

目次

- 软酉空间及其运算性质 刘用麟, 吴成达 (1)
- 4 维 Novikov 代数的自同构 黄忠铨 (5)
- 一类非自治具有垂直和接触传染的传染病模型正周期解
..... 郑航, 许淑娴, 兰玲 (12)
- 一类新的秘密共享方案安全性分析及其改进
..... 庄锋茂, 胡慧丹, 林昌露 (17)
- 厦门市房价波动影响因素的灰色关联分析:
基于 2000—2016 年的数据 陈颖, 葛颖琦 (22)
- 图书馆服务质量评估的文献计量学研究
..... 卢佳青 (28)
- 以甘油为碳源生产细菌纤维素条件优化
..... 马春华, 辜文彦, 王依静 (34)
- 异源表达 TaEDR1 抑制拟南芥 *edr1* 白粉病抗性
..... 武广珩, 傅仙玉, 邓家耀, 刘金仙 (38)
- 壳聚糖-氯化钙复合涂膜对鲜切西蓝花的保鲜研究
..... 蒋变玲, 王梦梦, 陈琼, 段红, 韩方凯, 朱颖 (44)
- 溶菌酶对赤眼鳟保鲜效果的研究
..... 王昕岑, 林採凤, 吴美芳, 宋忠情, 张静 (49)
- 基于多目标优化的图像增强算法研究 郑瑾 (54)
- 基于差分进化算法的图像分割参数选择方法研究
..... 朱必熙, 张艳红 (58)
- 基于 NVH 特性的汽车大修周期的确定与实现
..... 林可春, 吕翱 (65)

武夷学院学报



国际标准连续出版物号: ISSN 1674-2109

中国标准连续出版物号: CN 35-1293/G4

第 37 卷 总第 170 期

2018 年 第 12 期(月刊)(卷终)

编辑委员会

- 顾问: 付贤智 黄汉升
兰思仁 杨江帆
李宝银
- 主任: 吴承祯
- 副主任: 刘用麟 (常务)
- 编委: (以姓氏笔画为序)
- 卢道明 叶琪瑛
刘用麟 刘清华
许亦善 李宝银
李远华 吴承祯
陈锋 陈荣村
陈宗道 陈良壁
沈慧芳 杜江伟
杨昇 张品端
张乔根 林超
郑细鸣 郑向敏
赵升云 郭翠莲
徐颖惠 路善全
蔡明田

编辑部

- 主编: 吴承祯
- 副主编: 刘用麟 (常务)
沈慧芳
- 责任编辑: 陈果 叶丽娜
赵其领 白琳
冯起国 夏婷婷
苏娟娟
- 英文审译: 魏景春

JOURNAL OF WUYI UNIVERSITY



山地型海绵城市建设规划研究
 ——以武夷山市城市规划为例
 何晨阳, 吴芳芳, 林皓, 胡家朋 (70)

工程项目进度风险因素叠加性影响研究
 黎恒杆, 陈金雄, 苏俊贤, 王中豪, 姜昆 (76)

《线性代数》在线开放课程的典型问题与教学设计
 朱荣坤, 谢加良, 高峰 (82)

基于分层实验和课程答辩的数据结构实践教学改革研究
 林丽惠 魏毅 (87)

地方特色《生态工程学》课程教学改革
 华伟平, 林志銮, 李灵, 郑茂钟, 叶宏萌, 林立(92)

IO口输出控制实验设计 叶希梅 (96)

应用型高校“现代移动通信原理”模块化教学改革
 ——以武夷学院为例
 刘奇, 夏婷婷, 蒋艺, 阎兵早 (99)

“轻体育”视角下高校散打课程“软式化”改革初探
 王伯余 (104)

软酉空间及其运算性质

刘用麟, 吴成达

(武夷学院 数学与计算机学院, 福建 武夷山 354300)

摘要:将软集合理论应用到酉空间中.首先给出酉空间和软集合理论的相关知识;再对软酉空间进行了合理的定义,给出具体的例子来证明软酉空间的存在性;接着研究软酉空间的运算性质,给出软酉空间的扩展交、限制交和限制差分;最后研究软酉空间的同态性质.

关键词:软酉空间;扩展交;限制交;限制差分;同态

中图分类号:O177 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-2109(2018)12-0001-04

由于客观世界中或客观世界在向人脑反映的过程中存在着大量的不精确、不完全或不完全可靠的信息(统称为不确定信息),因而,在现实社会中需要处理大量的不确定性信息,经典的数学方法不能有效地处理.目前有一些理论,如概率理论,模糊集理论和粗糙集理论被用来处理不确定性事物,但这些理论都有自己的困难和问题.Molodtsov^[1]认为原因之一可能是这些理论的参数工具不足.为了克服这些困难,1999年 Molodtsov 引进了软集的概念作为一种新的处理不确定性的数学工具,他同时指出了软集的若干可能应用方向.软集理论提出后,经过一些学者的扩展研究,取得了较大进展.Maji 等^[2]应用软集理论于决策分析,Maji 等^[3]还研究了软集理论的运算.随后,Ali 等^[4]指出了文^[3]中所提出的交、并运算的一些问题,并给出了新的运算.Chen 等^[5]提出了参数约简的一个新定义,并将这个定义与粗糙集理论中相关概念属性约简的进行比较.近年来,Aktas 等^[6]定义了软群并给出了相关

的性质,将软集理论应用到群结构上去.从此,一些学者成功地将软集合理论应用到各类代数系统上,如 Feng 等^[7]提出了软半环,Zhan 等^[8]提出了软 BL 代数,Acar 等^[9]提出了软环,Akram 等^[10-11]提出了软李代数、软 K-代数等概念.本文作者也对软代数理论作了一些研究,提出了软剩余格、软结合 BCI-代数等^[12-14].已经证明软代数具有与经典代数不一样的性质.

本文将软集合理论应用到酉空间中.首先给出酉空间和软集合理论的相关知识;再对软酉空间进行了合理的定义,给出具体的例子来证明软酉空间的存在性;接着研究软酉空间的运算性质,给出软酉空间的扩展交、限制交和限制差分;最后研究软酉空间的同态性质.

1 预备知识

1.1 欧几里得空间的定义及性质

定义 1.1.1^[15] 令 V 是实数域 \mathbf{R} 上一线性空间,在 V 上定义一个二元实函数,称为内积,记成 (α, β) ,它具有以下性质:

$$1、(\alpha, \beta) = (\beta, \alpha);$$

$$2、(k\alpha, \beta) = k(\alpha, \beta);$$

$$3、(\alpha + \beta, \gamma) = (\alpha, \gamma) + (\beta, \gamma);$$

$$4、(\alpha, \alpha) \geq 0, \text{当且仅当 } \alpha = 0 \text{ 时 } (\alpha, \alpha) = 0.$$

这里 α, β, γ 是 V 中任意向量, k 是任意实数,称这

收稿日期:2018-09-09

基金项目:国家自然科学基金(11726505);福建省科技项目(2016Y0077, 2013J01017, 2011Y0049);南平市科技项目(N2011WZ09)。

作者简介:刘用麟(1959-),男,汉族,教授,主要从事逻辑代数和软代数研究。

样的线性空间 V 为欧几里得空间。

定理 1.1.1^[15] 若 V_1, V_2 是欧式空间 V 的两个子空间,那么它们的交 $V_1 \cap V_2$ 也是 V 的子空间.

1.2 酉空间的定义及性质

欧式空间是专门对实数域上的线性空间而讨论的,因此,酉空间就是一种欧式空间.

定义 1.2.1^[15] 设 V 是复数域上的线性空间,在 V 上定义了一个二元复函数,称作内积,记成 (α, β) ,它具有以下性质:

- 1、 $(\alpha, \beta) = \overline{(\beta, \alpha)}$, 这里 $\overline{(\beta, \alpha)}$ 是 (β, α) 的共轭复数;
- 2、 $(k\alpha, \beta) = k(\alpha, \beta)$;
- 3、 $(\alpha + \beta, \gamma) = (\alpha, \gamma) + (\beta, \gamma)$;
- 4、 (α, α) 是非负实数,且 $(\alpha, \alpha) = 0$ 当且仅当 $\alpha = 0$.

这里 α, β, γ 是 V 中任意向量, k 是任意复数, 这样的线性空间 V 称为酉空间.

性质 1.2.1^[15] 由内积的定义可得到以下性质:

- 1、 $(\alpha, k\beta) = \overline{k}(\alpha, \beta)$;
- 2、 $(\alpha, \beta + \gamma) = (\alpha, \beta) + (\alpha, \gamma)$;
- 3、对任意的向量 α, β 有 $|\alpha, \beta| \leq |\alpha| |\beta|$, 当且仅当 α, β 线性相关时,等号成立.
- 4、向量 α, β , 当 $(\alpha, \beta) = 0$ 时称为正交或互相垂直.

定义 1.2.2^[15] 设 W 是酉空间 V 的一个非空子集,若对于 V 中的加法及复数域 C 与 V 的纯量乘法构成复数域 C 上的一个线性空间, 则称 W 为 V 的酉子空间.

1.3 软集合理论相关定义与基本运算

定义 1.3.1^[1] 设 U 是一个论域, E 是参数集, $U \subset E, P(U)$ 是 U 的幂集.若 F 是 A 到 $P(U)$ 的映射, 则称 (F, A) 为 U 上的一个软集合.

定义 1.3.2^[4] 设 U 的两个软集合分别是 (F, A) 和 (G, B) , 定义为 (H, C) 这两个软集合的扩展交, 此时 $C = A \cup B$, 则

$$\forall e \in C, H(e) = \begin{cases} F(e) & e \in A \setminus B \\ G(e) & e \in B \setminus A \\ F(e) \cap G(e) & e \in A \cap B \end{cases}$$

记为 $(F, A) \cap_E (G, B) = (H, C)$.

定义 1.3.3^[4] 设 U 的两个软集合分别是 (F, A) 和 $(G, B), A \cap B \neq \phi$

- 1、此时可对这两个软集合的限制交定义为软集

合 (H, C) , 即: $C = A \cap B, \forall e \in C, H(e) = F(e) \cap G(e)$ 记为 $(F, A) \cap_\Delta (G, B) = (H, C)$

2、此时可对这两个软集合的限制并定义为软集合 (H, C) , 即 $C = A \cap B, \forall e \in C, H(e) = F(e) \cup G(e)$. 记为 $(F, A) \cup_R (G, B) = (H, C)$

3、此时可对这两个软集合的限制差定义为软集合 (H, C) , 即 $C = A \cap B, \forall e \in C, H(e) = F(e) \setminus G(e)$, 记为 $(F, A) \cap_D (G, B) = (H, C)$

定义 1.3.4^[4] 设 U 的两个软集合分别是 (F, A) 和 (G, B) , 若满足以下条件

- 1、 $A \subset B$;
- 2、 $\forall x \in A, F(x) \subset H(x)$.

则称 (F, A) 为 (G, B) 的软子集, 记作 $(F, A) \subset (G, B)$.

2 软酉空间

2.1 软酉空间的定义

为了便于说明, 在这里令 V 是一个酉空间, A 是一个非空集合.

定义 2.1.1 设 (F, A) 是酉空间 V 上的一个软集合, 若 $\forall x \in A, F(x)$, 是 V 上的一个酉子空间, 则称 (F, A) 为 V 上的软酉空间.

定义 2.1.2 设 (F, A) 和 (G, B) 是酉空间上的两个软酉空间, 如果满足下列两个条件:

- 1、 $B \subset A$;
- 2、 $\forall x \in B, G(x) \subset F(x)$.

则称 (G, B) 是 (F, A) 的软酉子空间, 记为 $(F, A) \preceq (G, B)$.

推论 2.1.1 设 (F, A) 和 (G, B) 是 V 上的两个软酉空间, 当 $G = F$ 时, 仅需满足条件: $B \subset A$, 则 (G, B) 是 (F, A) 的软酉子空间.

2.2 软酉空间的例子

例 2.2.1 在线性空间 C^n 中, 对于向量 $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n), \beta = (b_1, b_2, \dots, b_n)$, 定义内 $(\alpha, \beta) = \alpha_1 \bar{b}_1 + \alpha_2 \bar{b}_2 + \dots + \alpha_n \bar{b}_n$ 积, 则 C^n 就成为一个酉空间. 取 $S = \{(0, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) \mid \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n \in C\}$, 易证 S 是 C^n 的酉子空间. 令 $A = \{0, 1\}$, 定义

$$F(x) = \begin{cases} C, & \text{当 } x=0 \\ S, & \text{当 } x=1 \end{cases}$$

则 (F, A) 为 C^n 上的软集合. 又 $F(0) = C^n, F(1) = S$ 皆是 C^n

的酉子空间,所以 (F,A) 为 C^n 上的软酉空间.

例 2.2.2 构造复数域 C 上的酉空间 $V = \{(0, x, y, z) \mid x, y, z \in C\}$, 设 $S_1 = \{(0, x, 0, 0) \mid x \in C\}$, $S_2 = \{(0, 0, y, 0) \mid y \in C\}$, $S_3 = \{(0, 0, 0, z) \mid z \in C\}$, 显然, S_1, S_2, S_3 都是 V 的酉子空间. 令 $A = \{a, b, c, d\}$.

$$F(x) = \begin{cases} V, & \text{当 } x=a \\ S_1, & \text{当 } x=b \\ S_2, & \text{当 } x=c \\ S_3, & \text{当 } x=d \end{cases}$$

于是 $F(a)=V, F(b)=S_1, F(c)=S_2, F(d)=S_3$, 都是 V 的酉子空间, 所以 (F,A) 为 $V = \{(0, x, y, z) \mid x, y, z \in C\}$ 上的软酉空间.

3 软酉空间的性质

3.1 软酉空间的扩展交

引理 3.1.1 若 A, B 均为酉空间 X 的酉子空间, 则 $A \cap B$ 也是 X 的酉子空间.

证明: 首先, 根据 $0 \in A, 0 \in B$ 可知 $0 \in A \cap B$, 因此 $A \cap B$ 是非空的. 其次, 若 $\alpha, \beta \in A \cap B$, 即 $\alpha, \beta \in A$, 且 $\alpha, \beta \in B$, 则 $\alpha + \beta \in A, \alpha + \beta \in B$, 于是 $\alpha + \beta \in A \cap B$. 对 $\alpha \in A \cap B, K \in C$, 即 $\alpha \in A, \alpha \in B$, 那么 $k\alpha \in A, k\alpha \in B$, 因此 $k\alpha \in A \cap B$, 所以 $A \cap B$ 也是 X 的酉子空间.

定理 3.1.1 如果 (F_1, A_1) 和 (F_2, A_2) 是酉空间 X 上的两个软酉空间, 则 $(F_1, A_1) \cap_E (F_2, A_2)$ 也是酉空间 X 上的软酉空间.

证明: 令 $(F, A) = (F_1, A_1) \cap_E (F_2, A_2)$, 其中 $A = A_1 \cup A_2, \forall x \in A$

$$F(x) = \begin{cases} F_1(x), & x \in A_1 \setminus A_2 \\ F_2(x), & x \in A_2 \setminus A_1 \\ F_1(x) \cap F_2(x) & x \in A_1 \cap A_2 \end{cases}$$

因为 (F_1, A_1) 和 (F_2, A_2) 都是酉空间 X 上的软酉空间, 对 $\forall x \in A$, 则 $x \in A_1 \setminus A_2$ 或 $x \in A_2 \setminus A_1$ 或 $x \in A_1 \cap A_2$ 三者必然成立一个, 若 $x \in A_2 \setminus A_1$ 或 $x \in A_1 \setminus A_2$ 则 $F(x) = F_1(x)$ 或 $F_2(x)$, 均为 X 的酉子空间. 若 $x \in A_1 \cap A_2$, 则 $F(x) = F_1(x) \cap F_2(x)$, 由引理 3.1.1, $F(x)$ 也为 X 的酉子空间. 因此是 (F, A) 是 X 上的软酉空间.

3.2 软酉空间的限制交

定理 3.2.1 如果 (F_1, A_1) 和 (F_2, A_2) 都是酉空间 X

上的软酉空间, 且 $A_1 \cap A_2 \neq \emptyset$, 则 $(F_1, A_1) \cap_\Delta (F_2, A_2)$ 也是 X 上的软酉空间.

证明: 令 $(F, A) = (F_1, A_1) \cap_\Delta (F_2, A_2)$, 其中 $A = A_1 \cap A_2$ 且对 $\forall x \in A, F(x) = F_1(x) \cap F_2(x)$. 由于 (F_1, A_1) 和 (F_2, A_2) 都是 X 上的软酉空间, 所以对 $\forall x \in A_1$, 有 $F_1(x)$ 是 X 上的酉子空间; 同理可得, $\forall x \in A_2$, 有 $F_2(x)$ 是 X 上的酉子空间, 因此, 对 $\forall x \in A$, 有 $F(x)$ 是 X 上的酉子空间, 从而 $(F_1, A_1) \cap_\Delta (F_2, A_2)$ 是 X 上的软酉空间.

3.3 软酉空间的限制差分

定理 3.3.1 如果 (F_1, A_1) 和 (F_2, A_2) 都是酉空间 X 上的软酉空间, 且 $A_1 \cap A_2 \neq \emptyset$, 则 $(F_1, A_1) \cap_D (F_2, A_2)$ 一定不是酉空间 X 上的软酉空间.

证明: 令 $(F, A) = (F_1, A_1) \cap_D (F_2, A_2)$, 其中 $A = A_1 \cap A_2$ 且对 $\forall x \in A, F(x) = F_1(x) \setminus F_2(x)$. 由已知, 对 $\forall x \in A, F_1(x), F_2(x)$ 为酉空间 X 的酉子空间, 所以 $0 \in F_1(x), 0 \in F_2(x)$, 故 $0 \notin F(x)$. 于是, $F(x)$ 不是酉空间 X 上的酉子空间, 故 $(F_1, A_1) \cap_D (F_2, A_2)$ 一定不是酉空间 X 上的软酉空间.

3.4 软酉空间的同态性质

定义 3.4.1 设 X 和 Y 是复数域 C 上两个酉空间, $f: A \rightarrow B$ 是一个映射, 若满足:

$$1、\forall \alpha, \beta \in A, \text{有 } f(\alpha + \beta) = f(\alpha) + f(\beta),$$

$$2、\forall k \in C, \alpha \in A, \text{有 } f(k\alpha) = kf(\alpha),$$

则称 f 是酉空间 A 到 B 的一个同态映射. 若 f 是满射, 则称 f 是酉空间 A 到 B 的一个满同态; 若 f 是单射, 则称 f 是酉空间 A 到 B 的一个单同态; 若 f 是双射, 称 f 是酉空间 A 到 B 的一个同构.

引理 3.4.1 设 X, Y 是两个酉空间, 如果 $f: X \rightarrow Y$ 为从 X 到 Y 的酉空间同态:

1、假设 X 的酉子空间为 M , 那么 Y 的酉子空间就是 $f(M)$.

2、假设 Y 的酉子空间为 L , 那么 X 的酉子空间就是 $f^{-1}(L)$.

证明: 设 $\forall y_1, y_2 \in f(M)$, 在 M 中存在两个元素 x_1, x_2 , 使得 $y_1 = f(x_1), y_2 = f(x_2)$. 则 $y_1 + y_2 = f(x_1) + f(x_2) = f(x_1 + x_2)$ 由 M 为 X 的酉子空间可知 $x_1 + x_2 \in M$, 从而 $y_1 + y_2 = f(x_1 + x_2) \in f(M)$; 设 $\forall k \in C, \forall y \in f(M)$, 则 M 中存在 x , 使得 $y = f(x)$, 于是 $ky = kf(x) = f(kx)$, 由于 $kx \in M$, 所以 $ky = f(kx) \in f(M)$. 因此 $f(M)$ 为 Y 的酉子空间. 同理可

证, $f^{-1}(L)$ 为 X 的酉子空间.

定理 3.4.1 设 X, Y 是两个酉空间, 如果 $f: X \rightarrow Y$ 为从 X 到 Y 的酉空间同态, (F, A) 是 X 上的软酉空间, 则 $(f(F), A)$ 是 Y 上的软酉空间.

证明: 首先由 $(f(F), A)$ 的定义知 $(f(F), A)$ 为 Y 上的软集. 由 (F, A) 是 X 上的软酉空间知, 对任意的 $\alpha \in A$, $F(\alpha)$ 是 X 的酉子空间, 由引理 3.4.1, 可知 $f(F(\alpha))$ 为 Y 的酉子空间, 即对任意的 $\alpha \in A$, $f(F)(\alpha)$ 是 Y 的酉子空间, 从而有 $(f(F), A)$ 是 Y 上的软酉空间.

定理 3.4.2 设 X, Y 是两个酉空间, 如果 $f: X \rightarrow Y$ 为从 X 到 Y 的酉空间同态, (H, B) 是 Y 上的软酉空间, 则 $(f^{-1}(H), B)$ 为 X 上的软酉空间.

证明: 首先由 $(f^{-1}(H), B)$ 的定义知 $(f^{-1}(H), B)$ 为 X 上的软集. 对任意的 $b \in B$, 由 (H, B) 是 Y 上的软酉空间知 $H(b)$ 是 Y 的酉子空间, 因此由引理 3.4.1, $f^{-1}(H(b))$ 是 X 的酉子空间, 即对任意的 $b \in B$, $f^{-1}(H)(b)$ 是 X 的酉子空间, 从而有 $(f^{-1}(H), B)$ 为 X 上的软酉空间.

定理 3.4.3 如果 $f: X \rightarrow Y$ 是一个酉空间同态, (F, A) 和 (H, B) 是酉空间 X 上的软酉空间, $(F, A) \preceq (H, B)$, 则 $(f(F), A) \preceq (f(H), B)$.

证明: 由 $(F, A) \preceq (H, B)$ 可知 $A \subset B$, 故对 $\forall x \in A$, 有 $F(x)$ 是 $H(x)$ 的酉子空间. 又由 f 是同态映射, 有 $f(F)(x) = f(F(x))$ 是 $f(H(x)) = f(H)(x)$ 的酉子空间, 由定理 3.4.1 可知 $(f(F), A)$ 与 $(f(H), B)$ 为 Y 上的软酉空间, 再根据定义 2.1.2 可得 $(f(F), A) \preceq (f(H), B)$.

参考文献:

[1] MOLODTSOV D. Soft set theory: First results [J]. Comput Math Appl, 1999, 37(4/5): 19–31.

[2] MAJI P K, ROY A R, BISWAS R. An application of soft sets

in a decision making problem [J]. Comput Math Appl, 2002, 44(8/9): 1077–1083.

[3] MAJI P K, ROY A R, BISWAS R. Soft set theory [J]. Comput Math Appl, 2003, 45(4–5): 555–562.

[4] ALI M I, FENG F, LIU X, et al. On some new operations in soft set theory [J]. Comput Math Appl, 2009, 57 (9): 1547–1553.

[5] CHEN D G, TSANG E C C, YEUNG D S, et al. The parametrization reduction of soft sets and its applications [J]. Comput Math Appl, 2005(49): 757–763.

[6] AKTAS H, GAGMAN N. Soft sets and soft groups [J]. Information Science, 2007, 177 (13): 2726–2735.

[7] FENG F, JUN Y B, ZHAO X. Soft semirings [J]. Comput Math Appl, 2008, 56(10): 2621–2628.

[8] ZHAN J, YUN Y B. Soft BL-algebras based on fuzzy sets [J]. Comput Math Appl, 2010, 59(6): 2037–2046.

[9] ACAR U, KOYUNCU F, TANAY B. Soft sets and soft rings [J]. Comput Math Appl, 2010, 59(11): 3458–3463.

[10] AKRAM M, FENG F. Soft intersection Lie algebras [J]. Quasi-groups and Related Systems, 2013(21): 1–10.

[11] AKRAM M, AI-SHEHRIE N O, ALGHAMDI R S. Fuzzy soft K-algebras [J]. Utilitas Mathematica, 2013(90): 307–325.

[12] LIU Y L, KIM H S. Non-commutative residuated lattices based on soft sets [J]. J Intelligent & Fuzzy Systems, 2015(29): 2271–2278.

[13] 刘用麟, 黄艺娟. 软结合 BCI 代数 [J]. 数学进展, 2016, 45 (4): 500–508.

[14] LIU Y L, KIM H S, NEGGERS J. Hyperfuzzy subsets and subgroupoids [J]. J Intelligent & Fuzzy Systems, 2017(33): 1553–1562.

[15] 王萼芳, 石生明. 高等代数 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 237–262.

(责任编辑: 叶丽娜)

The Soft Unitary Space and its Properties

LIU Yonglin, WU Chengda

(School of Mathematics and Computer, Wuyi University, Wuyishan, Fujian 354300)

Abstract: In this paper, the soft set theory is applied to unitary space. First, the relevant knowledge of unitary space and soft set theory is given. Then, a reasonable definition of the soft unitary space is given, and concrete examples are given to prove the existence of the soft unitary space. Then the operation properties of the soft unitary space are studied, and the extended intersection operation, the restricted intersection operation and the restricted difference operation of the soft unitary space are given. Finally, the homomorphism properties of the soft unitary space are studied.

Key words: soft unitary space; extended intersection; restricted intersection; restricted difference; homomorphism

4 维 Novikov 代数的自同构

黄忠铤

(武夷学院 数学与计算机学院, 福建 武夷山 354300)

摘要:对复数域上的四维 Novikov 代数, 确定每一类四维 Novikov 代数的自同构的结构形式, 利用表格的形式给出结果, 并由此讨论几何经典-矩阵和某些相空间.

关键词: Novikov 代数; 自同构; 几何经典-矩阵; 相空间

中图分类号: O152.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-2109(2018)12-0005-07

Novikov 代数^[1]是流体动力学的 Poisson 括号, Yang-Baxter 方程算子及李群的左不变仿射结构等相关联. 这种比较新的代数结构, 其与众不同的特征是其左乘算子形成一个李代数, 右乘算子是交换的. Novikov 代数与李代数在数学和物理的许多分支有众多的应用. 发展至今 Novikov 代数已获得了很重要的成果. Zelmanov^[2]指出特征 0 单有限维 Novikov 代数是一维的. 徐晓平^[3-4]确定了特征代数闭域上单 Novikov 代数的分类. 白承铭等人给出了复数域上的一维和二维 Novikov 代数, 以及相应自同构^[5-6]. Dietrich Burde 和 Willem de Graaf^[7]指出了复数域上的三维和四维 Novikov 代数的分类.

本文讨论四维 Novikov 代数的自同构. 取定一组特定的基, 利用每一类四维的 Novikov 代数在此基下的特征矩阵, 由 Novikov 代数的自同构的定义, 通过计算确定这类 Novikov 代数的自同构的结构形式, 以表格的形式给出所有的四维 Novikov 代数的自同构. 并由此讨论几何经典-矩阵和某些相空间.

1 预备知识

定义 1^[5] 设 A 是数域 F 上的向量空间, A 上的

收稿日期: 2018-05-25

基金项目: 福建省教育厅科技项目(JT180559, JB14107).

作者简介: 黄忠铤(1973-), 女, 汉族, 副教授, 主要从事李代数的研究.

双线性乘积 $(x, y) \rightarrow xy$

$$\text{满足 } (x_1, x_2, x_3) = (x_2, x_1, x_3) \quad (1)$$

$$\text{和 } (x_1 x_2) x_3 = (x_1 x_3) x_2, \quad (2)$$

$$\text{其中 } (x_1 x_2 x_3) = (x_1 x_2) x_3 - x_1 (x_2 x_3) \quad (3)$$

则称 A 为 Novikov 代数. 如果 A 中的乘法只满足方程 (1), 则称 A 为左对称代数.

定义 2^[6] 设 $\varphi \in \text{End}(A)$, 若 φ 成立

$$\varphi(x_1 x_2) = \varphi(x_1) \varphi(x_2), \quad \forall x_1, x_2 \in A$$

则称 φ 为 A 上的自同构.

一个 Novikov 代数(或一个左对称代数) A 的交换子

$$[x, y] = xy - yx$$

定义了一个次伴随李代数 (sub-adjacent Lie algebra) $G = G(A)$. 令 $L_x = xy, R_x = yx, \forall x, y \in A$, 则左乘算子构成一李代数, 右乘算子可交换.

2 4 维 Novikov 代数的自同构

设 A 是以 e_1, e_2, e_3, e_4 为基的 4 维 Novikov 代数, 称矩阵

$$C = \begin{bmatrix} e_1 e_1 & e_1 e_2 & e_1 e_3 & e_1 e_4 \\ e_2 e_1 & e_2 e_2 & e_2 e_3 & e_2 e_4 \\ e_3 e_1 & e_3 e_2 & e_3 e_3 & e_3 e_4 \\ e_4 e_1 & e_4 e_2 & e_4 e_3 & e_4 e_4 \end{bmatrix}$$

为 A 的特征矩阵.

应用文献 [7] 对 4 维 Novikov 代数的分类, 可计算自同构如下.

表 1 4 维 Novikov 代数的自同构

Table 1 Automorphism of the 4-dimensional Novikov algebra

名称	特征矩阵	自同构	名称	特征矩阵	自同构
$\mathcal{A}_{4,1}$	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix}$	$N_{10}^h(\partial)$ $(\partial \neq -\frac{1}{2})$	$\begin{pmatrix} 0 & (\partial+1)e_3 & 0 & 0 \\ \partial e_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e_3 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{11} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \pm\sqrt{a_{11}a_{22}} \end{pmatrix}$ $a_{11}a_{22} \neq 0$
$\mathcal{A}_{4,2}$	$\begin{pmatrix} e_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{11} & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{11}^2 & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & 0 & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & 0 & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix}$ $a_{11}(a_{33}a_{44} - a_{23}a_{43}) \neq 0$	$N_{11}^h(\partial)$ $(\partial = -\frac{1}{2})$	$\begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{2}e_3 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2}e_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e_3 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & 2a_{44} & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & a_{44} \end{pmatrix}$ $a_{44}(a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}) \neq 0$
$\mathcal{A}_{4,3}$	$\begin{pmatrix} e_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{11}^2 & 0 & 0 \\ a_{31} & 0 & a_{11} & a_{34} \\ a_{41} & 0 & 0 & a_{44} \end{pmatrix}$ $a_{11}a_{44} \neq 0$	N_{11}^h	$\begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{2}e_3 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2}e_3 & e_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e_3 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & 0 \\ 0 & a_{11} & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{11}^2 & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & \pm a_{11} \end{pmatrix}$ $a_{11} = 0$
$\mathcal{A}_{4,4}$	$\begin{pmatrix} e_2 & e_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{11} & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{11}^2 & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{11}^2 & a_{34} \\ a_{41} & 0 & 0 & a_{44} \end{pmatrix}$ $a_{11}a_{44} \neq 0$	$N_{12}^h(\partial)$	$\begin{pmatrix} 0 & (\partial+1)e_3 & 0 & 0 \\ \partial e_3 & e_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e_3 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{22}^2 & a_{12} & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ (2\partial+1)a_{11}a_{22} & a_{32} & a_{22}^2 & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & \pm a_{22}^2 \end{pmatrix}$ $a_{22} \neq 0$
$\mathcal{A}_{4,5}$	$\begin{pmatrix} -e_3 & e_4 & 0 & 0 \\ 0 & e_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \pm a_{11} & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{11}^2 & 0 \\ a_{41} & a_{42} & 0 & \pm a_{11}^2 \end{pmatrix}$ $a_{11} \neq 0$	N_{13}^h	$\begin{pmatrix} 0 & e_3 + e_4 & 0 & 0 \\ e_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & a_{12} & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & -a_{22}a_{21} & a_{12}a_{21} \\ a_{41} & a_{42} & -a_{22}a_{21} & 2a_{12}a_{21} \end{pmatrix}$ $-a_{11}a_{21} = 0$
$\mathcal{A}_{4,6}$	$\begin{pmatrix} 0 & e_4 & 0 & 0 \\ 0 & e_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{22}^2 & 0 \\ a_{41} & a_{42} & a_{12}a_{22} & a_{11}a_{22} \end{pmatrix}$ $a_{11}a_{22} \neq 0$	N_{14}^h	$\begin{pmatrix} 0 & e_3 + e_4 & 0 & 0 \\ e_4 & e_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{22}^2 & a_{12} & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ a_{12}a_{22} & a_{22} & a_{22}^2 & 0 \\ 2a_{12}a_{22} & a_{42} & 0 & a_{22}^2 \end{pmatrix}$ $a_{22} \neq 0$
$\mathcal{A}_{4,7}$	$\begin{pmatrix} e_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 & 0 \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix}$ $(\alpha_1, \alpha_j) = 0, (\alpha_j, \alpha_i) = a_{44}, j = 2, 3, i = 1, 2, 3$ $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 是三维列向量, 0 是三维零列向量, 且 $\det(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3) \neq 0, a_{44} \neq 0$.	$N_{15}^h(\partial)$	$\begin{pmatrix} e_3 & e_3 + e_4 & 0 & 0 \\ e_4 & \partial e_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	若 $a_{21} = 0$, $\begin{pmatrix} a_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{11}^2 & 0 \\ a_{41} & a_{42} & 0 & a_{11}^2 \end{pmatrix}$ $a_{11}a_{22} \neq 0$ 若 $a_{11} = 0$, $\begin{pmatrix} 0 & a_{12} & 0 & 0 \\ a_{12} & 0 & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & \partial a_{22} & a_{12}a_{21} \\ a_{41} & a_{42} & 0 & a_{12}a_{21} \end{pmatrix}$ $\partial a_{12}a_{21} \neq 0$
$\mathcal{A}_{4,8}$	$\begin{pmatrix} e_2 & e_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{11} & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{11}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \pm a_{11}^2 & 0 \\ a_{41} & a_{11}a_{21} & a_{43} & a_{11}^2 \end{pmatrix}$ $a_{11} \neq 0$	N_{16}^h	$\begin{pmatrix} e_3 & e_3 + e_4 & 0 & 0 \\ e_4 & e_1 & 0 & e_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e_3 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & a_{12} & 0 & 0 \\ a_{12} & 0 & 1 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & \partial a_{22} & a_{12}a_{21} \\ a_{41} & a_{42} & 0 & a_{12}a_{21} \end{pmatrix}$ $\partial a_{12}a_{21} \neq 0$
$\mathcal{A}_{4,9}$	$\begin{pmatrix} e_2 & e_3 & e_4 & 0 \\ 0 & e_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{11}^2 & 0 & 0 \\ a_{31} & 0 & a_{11}^2 & 0 \\ a_{41} & a_{11}a_{32} & 0 & a_{11}^2 \end{pmatrix}$ $a_{11} \neq 0$	N_{17}^h	$\begin{pmatrix} e_1 & e_2 + e_3 & e_3 & 0 \\ e_2 & e_3 & 0 & 0 \\ e_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{44} \end{pmatrix}$ $a_{44} \neq 0$
$\tilde{\mathcal{A}}_{4,0}$	$\begin{pmatrix} e_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e_4 \end{pmatrix}$	$(\varepsilon_{i_1}, \varepsilon_{i_2}, \varepsilon_{i_3}, \varepsilon_{i_4})$ 其中 $\varepsilon_{i_1}, \varepsilon_{i_2}, \varepsilon_{i_3}, \varepsilon_{i_4}$ 为 4 个不同的 4 维单位坐标向量组	N_{18}^h	$\begin{pmatrix} e_1 & e_2 + e_3 & e_3 & 0 \\ e_2 & 0 & 0 & 0 \\ e_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & a_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{44} \end{pmatrix}$ $a_{22}a_{44} \neq 0$
$2\mathcal{A}_0 + \bar{\mathcal{A}}_1$	$\begin{pmatrix} e_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e_3 & e_4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix}$ 或	N_{19}^h	$\begin{pmatrix} e_1 & e_2 + e_3 & e_3 & e_4 \\ e_2 & 0 & 0 & 0 \\ e_3 & 0 & 0 & 0 \\ e_4 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & a_{22} & a_{43} \\ 0 & a_{42} & 0 & a_{44} \end{pmatrix}$ $a_{22}a_{44} \neq 0$
$\tilde{2\mathcal{A}}_1$	$\begin{pmatrix} e_1 & e_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e_3 & e_4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & 1 & 0 \\ a_{41} & 0 & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix}$ $a_{22}a_{44} \neq 0$	N_{20}^h	$\begin{pmatrix} e_1 & e_2 + e_3 & e_3 & e_4 \\ e_2 & e_2 & 0 & 0 \\ e_3 & 0 & 0 & 0 \\ e_4 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & a_{44} \end{pmatrix}$ $a_{44} \neq 0$
		$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ a_{21} & 0 & a_{23} & a_{34} \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_{41} & a_{42} & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $a_{23}a_{42} = 0$	N_{21}^h	$\begin{pmatrix} e_1 & e_2 + e_3 & e_3 & e_4 \\ e_2 & e_4 & 0 & 0 \\ e_3 & 0 & 0 & 0 \\ e_4 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & a_{22} & 0 \\ 0 & a_{42} & 0 & a_{22}^2 \end{pmatrix}$ $a_{22} \neq 0$
			N_{22}^h	$\begin{pmatrix} e_1 & e_2 + e_3 & e_3 & e_4 \\ e_2 & 0 & 0 & e_3 \\ e_3 & 0 & 0 & 0 \\ e_4 & e_3 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & a_{22} & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ $a_{22} \neq 0$

续表 1

名称	特征矩阵	自同构	名称	特征矩阵	自同构	
$\tilde{A}_0 + \tilde{A}_{2,1}$	$\begin{pmatrix} e_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e_2 & e_3 & e_4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix}$ $a_{33}a_{44} - a_{34}a_{43} \neq 0$	N_{23}^h	$\begin{pmatrix} e_1 & e_2 + e_3 & e_3 & e_4 \\ e_2 & e_4 & 0 & e_3 \\ e_3 & 0 & 0 & 0 \\ e_4 & e_3 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & \pm 1 & \pm(a_{32} + a_{42}) \\ 0 & a_{42} & 0 & 1 \end{pmatrix}$	
$\tilde{A}_0 + \tilde{A}_{2,2}$	$\begin{pmatrix} e_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e_2 & e_3 & e_4 \\ 0 & 0 & e_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{33} & 0 \\ 0 & a_{42} & a_{43} & a_{33}^2 \end{pmatrix}$ $a_{33} \neq 0$	N_{24}^h	$\begin{pmatrix} e_1 & e_2 + e_3 & e_3 & e_4 \\ e_2 & e_3 & 0 & 0 \\ e_3 & 0 & 0 & 0 \\ e_4 & 0 & 0 & e_3 \end{pmatrix}$	若 $a_{42} = 0$, $\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & a_{24} \\ 0 & a_{32} & 1 & -a_{24} \\ 0 & 0 & 0 & \pm \sqrt{1 - a_{24}^2} \end{pmatrix}, a_{24} < 1$ 若 $a_{44} = 0$, $\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & a_{24} \\ a_{31} & \pm \sqrt{a_{22} - a_{22}^2} & a_{22} & -a_{24} \\ 0 & \pm a_{22} < 1, a_{24} \neq 0 \end{pmatrix}$	
$\tilde{A}_{3,1}$	$\begin{pmatrix} e_1 & e_2 & e_3 & e_4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{11} & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix}$ $\begin{vmatrix} a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} \neq 0$	N_{25}^h	$\begin{pmatrix} e_1 & e_2 + e_3 & e_3 & e_4 \\ e_2 & 0 & 0 & 0 \\ e_3 & 0 & 0 & 0 \\ e_4 & 0 & 0 & e_3 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{44}^2 & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & a_{44}^2 & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & a_{44} \end{pmatrix}$ $a_{44} \neq 0$	
$\tilde{A}_{3,2}$	$\begin{pmatrix} e_1 & e_2 & e_3 & e_4 \\ 0 & e_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{22}^2 & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & 0 & a_{44} \end{pmatrix}$ $a_{22}a_{44} \neq 0$	$N_{26}^h(\partial)$	$\begin{pmatrix} 0 & (\partial+1)e_3 & 0 & 0 \\ \partial e_3 & e_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e_4 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{22}^2 & a_{12} & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ (2\partial+1)a_{12}a_{22} & a_{32} & a_{22}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ $a_{22} \neq 0$	
$\tilde{A}_{3,3}$	$\begin{pmatrix} e_1 & e_2 & e_3 & e_4 \\ 0 & e_3 & e_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & a_{22}^2 & 0 \\ a_{41} & a_{42} & a_{22}a_{32} & a_{22}^3 \end{pmatrix}$ $a_{22} \neq 0$	$N_{27}^h(\partial)$ $(\partial = -\frac{1}{2})$	$\begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{2}e_3 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2}e_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e_4 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{11}a_{22} - a_{21}a_{12} & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ $\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} \neq 0$	
$3\tilde{A}_0 + \tilde{A}_1$	$\begin{pmatrix} e_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & \varepsilon_{13} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{44} \end{pmatrix}$ 其中 $\varepsilon_{11}, \varepsilon_{12}, \varepsilon_{13}$ 为 3 个不同的 3 维单位坐标向量组	$N_{27}^h(\partial)$ $(\partial \neq -\frac{1}{2})$	$\begin{pmatrix} 0 & (\partial+1)e_3 & 0 & 0 \\ \partial e_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e_4 \end{pmatrix}$	若 $a_{11} = 0$, $\begin{pmatrix} 0 & a_{12} & 0 & 0 \\ a_{21} & 0 & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & -a_{12}a_{21} & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, a_{12}a_{21} \neq 0$	
$\tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 + \tilde{A}_1$	$\begin{pmatrix} e_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e_2 & e_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & a_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{44} \end{pmatrix}$ $a_{33}a_{44} \neq 0$	若 $a_{21} = 0$, $\begin{pmatrix} a_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{11}a_{22} & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, a_{11}a_{22} \neq 0$	N_{28}^h	$\begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{2}e_3 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2}e_3 & e_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e_4 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{11}a_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ $a_{11}a_{22} \neq 0$
$\tilde{A}_{2,1} + \tilde{A}_1$	$\begin{pmatrix} e_1 & e_2 & e_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{44} \end{pmatrix}$ $\begin{vmatrix} a_{22} & a_{23} \\ a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} \neq 0$	N_{29}^h	$\begin{pmatrix} e_1 & e_2 + e_3 & e_3 & 0 \\ e_2 & e_3 & 0 & 0 \\ e_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e_4 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ $a_{22} \neq 0$	
$\tilde{A}_{2,2} + \tilde{A}_1$	$\begin{pmatrix} e_1 & e_2 & e_3 & 0 \\ 0 & e_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{22}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{44} \end{pmatrix}$ $a_{22}a_{44} \neq 0$				

续表2

名称	特征矩阵	自同构	名称	特征矩阵	自同构
$\tilde{2A}_0 + A_{21}$	$\begin{pmatrix} e_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{33} & a_{34} \\ 0 & 0 & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix}$	N_{30}^h	$\begin{pmatrix} e_1 & e_2 + e_3 & e_3 & 0 \\ e_2 & 0 & 0 & 0 \\ e_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e_4 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & a_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ $a_{22} \neq 0$
		$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{33} & a_{34} \\ 0 & 0 & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix}$ $\begin{vmatrix} a_{33} & a_{34} \\ a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} \neq 0$	N_1^{h2}	$\begin{pmatrix} 0 & e_3 & e_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{11} & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{11}a_{22} & 0 \\ a_{41} & a_{42} & a_{11}a_{32} & a_{11}^2a_{22} \end{pmatrix}$ $a_{11}a_{22} \neq 0$
$\tilde{2A}_0 + A_{22}$	$\begin{pmatrix} e_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{33} & 0 \\ 0 & 0 & a_{43} & a_{33}^2 \end{pmatrix}$	N_2^{h2}	$\begin{pmatrix} e_2 & e_3 & e_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{11} & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{11}^2 & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{11}a_{21} & a_{11}^3 & 0 \\ a_{41} & a_{11}a_{31} & a_{11}^2a_{21} & a_{11}^4 \end{pmatrix}$ $a_{11} \neq 0$
		$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{33} & 0 \\ 0 & 0 & a_{43} & a_{33}^2 \end{pmatrix}$ $a_{33} \neq 0$	N_3^{h2}	$\begin{pmatrix} 0 & e_3 + e_4 & e_4 & 0 \\ e_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{22} & 0 \\ a_{41} & a_{42} & a_{32} & a_{22}^2 \end{pmatrix}$ $a_{22} \neq 0$
$\tilde{A}_1 + A_{21}$	$\begin{pmatrix} e_1 & e_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{33} & a_{34} \\ 0 & 0 & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix}$	N_4^h	$\begin{pmatrix} e_2 & e_3 + e_4 & e_4 & 0 \\ e_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & 1 & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{21} & 1 & 0 \\ a_{41} & 2a_{21} + a_{31} & a_{21} & 1 \end{pmatrix}$
$\tilde{A}_1 + A_{22}$	$\begin{pmatrix} e_1 & e_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{33} & 0 \\ 0 & a_{42} & a_{43} & a_{33}^2 \end{pmatrix}$	N_5^h	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{2}e_4 & 0 \\ -e_3 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2}e_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ a_{31} & 0 & a_{11}a_{22} & 0 \\ a_{41} & a_{42} & 0 & a_{11}^2a_{22} \end{pmatrix}$ $a_{11}a_{22} \neq 0$
$\tilde{A}_0 + A_{31}$	$\begin{pmatrix} e_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ 0 & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ 0 & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix}$ $\begin{vmatrix} a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} \neq 0$	N_6^{h2}	$\begin{pmatrix} e_4 & 0 & \frac{1}{2}e_4 & 0 \\ -e_3 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2}e_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ a_{31} & 0 & a_{11} & 0 \\ a_{41} & a_{42} & 0 & a_{11}^2 \end{pmatrix}$ $a_{11} \neq 0$
$\tilde{A}_0 + A_{32}$	$\begin{pmatrix} e_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{33} & 0 \\ 0 & a_{42} & a_{43} & a_{22}a_{33} \end{pmatrix}$ $a_{22}a_{33} \neq 0$	N_7^h	$\begin{pmatrix} e_2 & 0 & \frac{1}{2}e_4 & 0 \\ -e_3 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2}e_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{11}^2 & 0 & 0 \\ a_{31} & 0 & a_{11}^3 & 0 \\ a_{41} & 0 & 0 & a_{11}^4 \end{pmatrix}$ $a_{11} \neq 0$
$\tilde{A}_0 + A_{33}$	$\begin{pmatrix} e_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & a_{22}^2 & a_{34} \\ 0 & a_{42} & 0 & a_{44} \end{pmatrix}$ $a_{22}a_{44} \neq 0$	$N_8^h(\partial)$ ($\partial = 0$)	$\begin{pmatrix} 0 & e_3 & e_4 & 0 \\ 0 & e_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{11}^2 & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & a_{11}^3 & 0 \\ a_{41} & a_{42} & a_{11}a_{32} & a_{11}^4 \end{pmatrix}$ $a_{11} \neq 0$
$\tilde{A}_0 + A_{34}$	$\begin{pmatrix} e_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e_3 & e_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & a_{22}^2 & 0 \\ 0 & a_{42} & a_{22}a_{32} & a_{22}^3 \end{pmatrix}$ $a_{22} \neq 0$	$N_8^h(\partial)$ ($\partial = -\frac{1}{2}$)	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{2}e_4 & 0 \\ -e_3 & e_4 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2}e_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{11}^2 & 0 & 0 \\ a_{31} & 0 & a_{11}^3 & 0 \\ a_{41} & a_{42} & 0 & a_{11}^4 \end{pmatrix}$ $a_{11} \neq 0$

续表 3

名称	特征矩阵	自同构	名称	特征矩阵	自同构
$N_1^h(\partial)$ ($\partial \neq -\frac{1}{2}$)	$\begin{pmatrix} 0 & (\partial+1)e_3 & 0 & 0 \\ \partial e_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	若 $a_{21} \neq 0$, $\begin{pmatrix} 0 & a_{12} & 0 & 0 \\ a_{21} & 0 & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & \frac{1}{\partial} a_{12} a_{21} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & 0 & a_{44} \end{pmatrix}$ $a_{12} a_{21} a_{44} \neq 0$ 若 $a_{21} = 0$, $\begin{pmatrix} a_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{11} a_{22} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & 0 & a_{44} \end{pmatrix}$ $a_{11} a_{22} a_{44} \neq 0$	$N_8^h(\partial)$ ($\partial \neq 0, \frac{1}{2}$)	$\begin{pmatrix} (2\partial^2 + \partial)e_2 & (2\partial + 1)e_3 & (\partial + 1)e_4 & 0 \\ 2\partial e_3 & e_4 & 0 & 0 \\ \partial e_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{11} & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{21}^2 & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{11}^3 & 0 \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44}^2 \end{pmatrix}$ $a_{11} \neq 0$ $a_{52} = \frac{4\partial + 1}{2\partial^2 + \partial} a_{11} a_{21}$, $a_{42} = \frac{1}{2\partial^2 + \partial} [(2\partial + 1)a_{11} a_{31}]$, $a_{43} = a_{11} a_{52}$
$N_1^h(\partial)$ ($\partial = -\frac{1}{2}$)	$\begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{2}e_3 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2}e_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{11} a_{22} - a_{12} a_{21} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & 0 & a_{44} \end{pmatrix}$ $a_{44}(a_{11} a_{22} - a_{12} a_{21}) \neq 0$	N_9^h	$\begin{pmatrix} e_3 & e_3 & e_4 & 0 \\ 0 & e_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{31} & 1 & 0 \\ a_{41} & a_{42} & a_{31} & 1 \end{pmatrix}$
$N_2^h(\partial)$	$\begin{pmatrix} 0 & (\partial+1)e_3 & 0 & 0 \\ \partial e_3 & e_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{11} a_{22} & 0 \\ a_{41} & a_{42} & 0 & a_{22}^2 \end{pmatrix}$ $a_{11} a_{22} \neq 0$	N_{11}^h	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{2}e_4 & 0 \\ -e_3 & e_4 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2}e_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ -2 & 1 & 0 & 0 \\ a_{31} & -4 & -1 & 0 \\ a_{41} & a_{42} & 4 & 1 \end{pmatrix}$
$N_5^h(\partial)$	$\begin{pmatrix} 0 & (\partial+1)e_3 & 0 & 0 \\ \partial e_3 & e_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{22}^2 & a_{12} & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ (2\partial+1)a_{11} a_{22} & a_{32} & a_{22}^3 & a_{34} \\ 0 & a_{42} & 0 & a_{44} \end{pmatrix}$ $a_{22} a_{44} \neq 0$	N_{12}^h	$\begin{pmatrix} e_4 & e_3 & e_4 & 0 \\ 0 & 2e_3 & e_4 & 0 \\ 0 & e_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & 1 & 0 \\ a_{41} & a_{42} & a_{52} & 1 \end{pmatrix}$
N_4^h	$\begin{pmatrix} e_3 & e_3 & 0 & 0 \\ 0 & e_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{11} & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{11}^2 & 0 \\ a_{41} & a_{42} & 0 & a_{11}^2 \end{pmatrix}$ $a_{11} \neq 0$	N_{13}^h	$\begin{pmatrix} 0 & e_3 & e_4 & 0 \\ 0 & 2e_3 & e_4 & 0 \\ 0 & e_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{11} & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{11} & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & a_{11}^2 & 0 \\ a_{41} & a_{42} & a_{11} a_{52} & a_{41}^3 \end{pmatrix}$ $a_{11} \neq 0$
N_5^h	$\begin{pmatrix} 0 & e_3 & 0 & 0 \\ 0 & e_4 & 0 & e_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e_3 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{22}^2 & a_{12} & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{22}^3 & a_{12} a_{22} + 2a_{22} a_{42} \\ 0 & a_{42} & 0 & a_{22}^2 \end{pmatrix}$ $a_{22} \neq 0$	N_{14}^h	$\begin{pmatrix} \partial e_4 & e_3 & e_4 & 0 \\ 0 & 2e_3 + e_4 & e_4 & 0 \\ 0 & e_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & 1 & 0 \\ a_{41} & a_{42} & a_{52} & 1 \end{pmatrix}$
N_6^h	$\begin{pmatrix} 0 & e_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e_3 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{11} & -2a_{42} & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{11} a_{22} & a_{34} \\ 0 & a_{42} & 0 & a_{11} \end{pmatrix}$ $a_{11} a_{22} \neq 0$	N_{15}^h	$\begin{pmatrix} e_1 & e_2 + e_3 & e_3 + e_4 & e_4 \\ e_2 & 0 & 0 & 0 \\ e_3 & 0 & 0 & 0 \\ e_4 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & a_{42} & 0 & a_{44} \end{pmatrix}$
N_7^h	$\begin{pmatrix} 0 & e_3 & 0 & 0 \\ 0 & e_1 + \partial e_4 & 0 & e_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e_3 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{22}^2 & a_{12} & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{22}^3 & a_{34} \\ 0 & a_{42} & 0 & a_{22}^2 \end{pmatrix}$ $a_{31} = a_{12} a_{22} + 2a_{22} a_{42} - \partial a_{34}$, $a_{22} \neq 0$	N_{16}^h	$\begin{pmatrix} e_1 & e_2 + e_3 & e_3 + e_4 & e_4 \\ e_2 & e_4 & 0 & 0 \\ e_3 & 0 & 0 & 0 \\ e_4 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & 1 & 0 \\ 0 & a_{42} & a_{32} & 1 \end{pmatrix}$
N_8^h	$\begin{pmatrix} e_3 & e_3 & 0 & 0 \\ 0 & e_4 & 0 & e_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e_3 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & a_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & 1 & a_{12}^2 + a_{12} + 2a_{42} \\ -a_{12} & a_{42} & 0 & 1 \end{pmatrix}$	N_{17}^h	$\begin{pmatrix} e_1 & e_2 + e_3 & e_3 + e_4 & e_4 \\ e_2 & 2e_3 + \partial e_4 & e_4 & 0 \\ e_3 & e_4 & 0 & 0 \\ e_4 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & 1 & 0 \\ 0 & a_{42} & a_{32} & 1 \end{pmatrix}$

续表 4

名称	特征矩阵	自同构	名称	特征矩阵	自同构
N_9^h	$\begin{pmatrix} e_3 & e_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e_3 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & 0 \\ 0 & a_{11} & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{11}^2 & a_{34} \\ -a_{12} & -\frac{1}{2a_{11}}(a_{12}^2 + a_{12}a_{11}) & 0 & a_{11} \end{pmatrix}$ $a_{11} \neq 0$			

定理 1 4 维 Novikov 代数的自同构见表 1.

证明 以 $N_{12}^{h_1}(\partial)$ 为例,其特征矩阵为

$$\begin{pmatrix} 0 & (\partial+1)e_3 & 0 & 0 \\ \partial e_3 & e_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e_3 \end{pmatrix}$$

设自同构 φ 在基 e_1, e_2, e_3, e_4 下的矩阵为

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix}$$

由自同构的定义,首先由 $\varphi(e_1e_2)=(\partial+1)\varphi(e_3)$,可得

$$\begin{cases} (\partial+1)a_{11}a_{22} + \partial a_{21}a_{12} + a_{41}a_{42} = (\partial+1)a_{33} \\ a_{21}a_{22} = (\partial+1)a_{33} \\ a_{23} = a_{43} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

由 $\varphi(e_2e_2)=\varphi(e_1)$,有

$$\begin{cases} (2\partial+1)a_{12}a_{22} + a_{42}^2 = a_{31} \\ a_{22}^2 = a_{11} \\ a_{21} = a_{41} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

利用已得 $a_{21}=a_{23}=a_{41}=a_{43}=0$,类似上面的过程可得

$$(\partial+1)a_{11}a_{24} = 0, \quad (6)$$

$$\partial a_{11}a_{24} = a_{33}, \quad (7)$$

$$\partial a_{22}a_{13} = 0, \quad (8)$$

$$(\partial+1)a_{12}a_{24} + \partial a_{22}a_{14} + a_{42}a_{44} = 0, \quad (9)$$

$$a_{22}a_{24} = 0 \quad (10)$$

$$(\partial+1)a_{13}a_{22} = 0, \quad (11)$$

$$(\partial+1)a_{13}a_{24} = 0, \quad (12)$$

$$\partial a_{24}a_{11} = 0, \quad (13)$$

$$(\partial+1)a_{14}a_{22} + \partial a_{24}a_{12} + a_{42}a_{44} = 0, \quad (14)$$

$$\partial a_{24}a_{11} = 0, \quad (15)$$

$$(2\partial+1)a_{14}a_{22} + a_{44}^2 = a_{33} \quad (16)$$

$$a_{24}^2 = a_{13} \quad (17)$$

由 (11)式减(8)式有 $a_{22}a_{13}=0$;由 (12)式减(15)式有 $a_{24}a_{13}=0$;若 $a_{13} \neq 0$,则 $a_{22}=a_{24}=0$,故该方阵的行列式为 0,这与 φ 为自同构矛盾.所以 $a_{13}=0$,由 (17) 有 $a_{24}=0$.从而 $a_{21}=a_{23}=a_{24}=0$,所以 $a_{22} \neq 0$.同理 $a_{33} \neq 0$,由(16) $a_{44}^2 = a_{33}$,故 $a_{44} \neq 0$.由 (14)式减(9)式有 $a_{14}a_{22}=0$,得 $a_{14}=0$,代入 (9)有 $a_{42}a_{44}=0$,得 $a_{42}=0$,由(4)及 (7)有 $a_{33}=a_{11}a_{22}$.由 (5)得 $a_{31}=(2\partial+1)a_{12}a_{22}$.因此自同构 φ 在基 e_1, e_2, e_3, e_4 下的矩阵为

$$\begin{pmatrix} a_{22}^2 & a_{12} & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ (2\partial+1)a_{12}a_{22} & a_{32} & a_{22}^3 & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & \pm a_{22}^{\frac{3}{2}} \end{pmatrix}, a_{22} \neq 0$$

推论 1 4 维 Novikov 代数的自同构群的维数是大于 0 的有限数.

3 对应的几何经典-矩阵和相空间的等价

Novikov 代数具有众多非结合代数所具有的普遍性质.任一 Novikov 代数的自同构也是其次-伴随李代数的自同构. Novikov 代数的自同构集合构成一个李群,其李代数恰是 Novikov 代数的导子代数.

设 G 是李代数,令 $r \in G \oplus G, r$ 是 G 上经典 Yang-Baxter 方程的解当且仅当 r 在 $U(G)$ 满足下式

$$[r_{12}, r_{13}] + [r_{12}, r_{23}] + [r_{13}, r_{23}] = 0$$

其中 $U(G)$ 是李代数 G 的泛包络代数, $r = \sum_i a_i \otimes b_i$,

$$r_{12} = \sum_i a_i \otimes b_i \otimes 1, r_{13} = \sum_i a_i \otimes 1 \otimes b_i, r_{23} = \sum_i 1 \otimes a_i \otimes b_i \quad [8].$$

若 $r = \sum_i (a_i \otimes b_i - b_i \otimes a_i)$, 则 r 称为反对称的. 令 X 是 C

上光滑仿射代数. 设 $r: C[X \times X] \rightarrow C[X \times X]$ 是导子, 若 r 在 $C[X \times X \times X]$ 上满足经典 Yang-Baxter 方程

$$[r_{12}, r_{13}] + [r_{12}, r_{23}] + [r_{13}, r_{23}] = 0,$$

且在 $C[X \times X]$ 上满足么正条件 $r + r_{21} = 0$, 则称 r 是几何经典 r -矩阵^[9].

另外, 相空间^[10] T^*G 满足如下条件: (1) $T^*G = G \oplus G^*$, 其中 \oplus 表示向量空间的直和, G^* 是 G 的对偶空间;

(2) T^*G 是满足如下定义的辛形式的李代数

$$\omega(u + u^*, v + v^*) = u^*(v) - v^*(u), \forall u, v \in G, u^*, v^* \in G^*.$$

该辛形式是 T^*G 上的一个 2-循环, 即

$$\omega([u_1 + u_1^*, u_2 + u_2^*], [u_3 + u_3^*]) + CP = 0, u_i \in G, u_i^* \in G^*,$$

其中 CP 表示循环置换.

几何经典 r -矩阵与相空间之间的关系有如下性质.

引理^[9] 令 G 是李代数, 则如下条件等价.

(1) 有一个左对称代数结构;

(2) T^*G 是相空间, 使在 T^*G 上的李括号由 $G \times G^*$ 给定, 即

$$[u_1 + u_1^*, u_2 + u_2^*] = [u_1, u_2] + \rho^*(u_1)u_2^* - \rho^*(u_2)u_1^*, \forall u_1, u_2 \in G, u_1^*, u_2^* \in G^*.$$

$\rho: G \rightarrow gl(V)$ 是 G 的表示, 且 $\rho^*: G \rightarrow gl(V^*)$ 是其对偶表示;

(3) 有一几何经典 r -矩阵. 即有一李代数 G' , 且 $\dim G' = \dim G$, G 是 G' 的表示空间, 使得对在 $G' \times G^*$ 上的经典 Yang-Baxter 方程, 在 $G \oplus G^* - G' \oplus G'$ 有反对称解; 在 $G' \times G^*$ 上的李代数由下式确定

$$[x + u_1^*, y + v^*] = [x, y] + \rho^*(x)v^* - \rho^*(y)u_1^*, \forall x, y \in G, u_1^*, v^* \in V^*.$$

定理 2 由 4 维 Novikov 代数的自同构的分类, 可确定相应相空间的等价映射及几何经典 r -矩阵的分类.

参考文献:

- [1] BALINSKY A A, NOVIKOV S. Poisson brackets of hydrodynamic type [J]. Soviet Mathematical Doklady, 1985 (32): 228-231.
- [2] ZELMANOV E. On a class of local translation invariant Lie algebras [J]. Mathematical Doklady, 1987(35): 216-218.
- [3] XU X P. On simple Novikov algebras and their irreducible modules [J]. Journal Algebra, 1996(185): 905-934.
- [4] XU X P. Novikov-Poisson algebras [J]. Journal Algebra, 1997, (190): 253-279.
- [5] BAI C M, MENG D J. The classification of Novikov algebras in low dimensions [J]. Journal of Physics A General Physics, 2001, 34(8): 1581-1594.
- [6] BAI C M, MENG D J. The automorphisms of Novikov algebras in low dimensions [J]. Journal of Physics A General Physics, 2003(36): 7715-7731.
- [7] BURDE D, GRAAF D W. Classification of Novikov algebras [J]. Applicable Algebra in Engineering Communication and Computing, 2013, 24(1): 1-15.
- [8] Kupershmidt B A. What a Classical r -Matrix Really Is [J]. Journal of Nonlinear Mathematical Physics, 1999(6): 448-488.
- [9] ETINGOF P, SCHEDLER T, SOLOVIEV A. Set-theoretical solutions to the quantum Yang-Baxter equation [J]. Duke Mathematical Journal, 1998, 100 (2) : 169-209.
- [10] KUPERSHMIT B A. On the Nature of the Virasoro Algebra [J]. Journal of Nonlinear Mathematical Physics, 1999(6): 222-245.

(责任编辑: 叶丽娜)

The Automorphisms for 4-Dimensional Novikov Algebras

HUANG Zhongxian

(School of Mathematics and Computer, Wuyi University, Wuyishan, Fujian 354300)

Abstract: In this paper, we compute the automorphisms for 4-dimensional Novikov Algebras. And we give the results in a table. We apply these results to study geometric classical r -matrices and certain phase spaces.

Key words: Novikov algebra; automorphism; geometric classical r -matrices; phase space

一类非自治具有垂直和接触传染的传染病模型正周期解

郑 航¹, 许淑娴², 兰 玲¹

(1.武夷学院 数学与计算机学院, 福建 武夷山 354300; 2.武夷学院 机电工程学院, 福建 武夷山 354300)

摘 要:应用重合度理论中的 Mawhin 连续定理, 讨论了一类非自治具有垂直传染和接触传染的传染病模型的正周期解存在性, 并获得了存在正周期解的充分条件, 最后用数值模拟验证了结果的正确性.

关键词: Mawhin 连续定理; 正周期解; 数值模拟

中图分类号: O175 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-2109(2018)12-0012-05

近年来, 传染病模型是生物数学领域研究的热点之一目前已有许多工作关于传染病模型^[1-5]. 而传染可分为垂直传染和接触 (水平) 传染, Michael、Fine、Busenberg 和 Cook^[6-9]等研究了垂直传染流行病模型, 分析了其模型的稳定性等动力学行为. 之后, 孟新柱和陈兰荪^[10], 刘开源等^[11]都提出在垂直传染模型中考虑脉冲和时滞因素, 更加符合实际情况. 另一方面, 韩丽涛^[12]讨论了两种群相互竞争的 SIRS 传染病模型的稳定性. 付景超等^[13]研究了具垂直传染和连续预防接种的 SIRS 传染病模型, 并分析了其稳定性. 傅金波和陈兰荪^[14]提出一类垂直传染和接触传染的传染病模型, 通过构造适当的 Lyapunov 函数来研究模型的全局稳定性条件. 然而在现实环境中, 很多因素是随时间发生周期性的变化, 模型的系数应该是随时间变化的. 因此有必要研究非自治情况, 但目前非自治传染病模型的正周期解研究较少. 夏米西努尔和腾志东^[15]研究了一类非自治 SIRS 传染病模型的持久性, 韩怡茹和吴事

良^[16]构造 Lyapunov 函数得出一类非自治 SIRS 传染病模型的全局稳定性, 并应用比较原理获得模型的持久性的充分条件. 陈文斌^[17]应用重合度理论讨论了一类具有时滞的非自治 SIR 传染病模型周期解存在性的充分条件. 因此受傅^[14]和陈^[17]的启发, 本文考虑参考文献 [14] 中的模型, 将其改进为非自治新系统, 研究一类非自治具有垂直和接触传染的传染病模型, 模型如下:

$$\begin{cases} \dot{N}(t) = (r(t) - d(t))N(t) - \frac{r(t)}{k(t)}N^2(t) - \mu(t)I(t)N(t), \\ \dot{I}(t) = [p(t)r(t) - (d(t) + \mu(t))]I(t) + \frac{\beta(t)k(t) - p(t)r(t)}{k(t)}N(t)I(t) - \beta(t)I^2(t) \end{cases} \quad (1)$$

其中 $N(t)$ 为 t 时刻生物种群的总数, $I(t)$ 表示为 t 时刻该种群的染病类. 其他参数的生物学意义见表 1.

表 1 参数表

Table 1 Parameters

$r(t)$	$k(t)$	$d(t)$	$\beta(t)$	$p(t)$	$\mu(t)$
t 时刻 增长量	t 时刻 环境 容纳量	t 时刻 自然 死亡量	t 时刻 接触的 比例数量	t 时刻染病 类中新生 个体染病 的比例系 数 $\in (0, 1)$	t 时刻 因病 死亡量

并假设所有参数均为具有 $w > 0$ 周期的正数, 且初值 $N(0) > 0, I(0) > 0$.

收稿日期: 2018-09-24

基金项目: 福建省中青年教师教育科研项目 (JT180558);

大学生创新创业训练计划项目 (201810397046)。

作者简介: 郑航 (1988-), 男, 汉族, 助教, 主要从事金融系统分析、微分方程与动力系统研究。

1 正周期解

本文应用重合度理论中的 Mawhin 连续定理来证明系统(1)周期解的存在性。并记一个连续周期函数 $f(x)$ 周期为 w , 引入下列记号:

$$f = \frac{1}{w} \int_0^w f(t) dt$$

引理 1.1 (Mawhin 连续定理^[7]): 设 $\bar{\Omega} \subset X$ 是一个有界开集, $L: \text{Dom } L \subset X \rightarrow Y$ 是一个指标为零的 Fred-holm 算子, $N: X \rightarrow Z$ 为 $\bar{\Omega}$ 上的 L -紧的, 假设:

(A1) 对 $\forall \lambda \in (0, 1), Lx = \lambda Nx$ 的任意解满足 $x \notin \partial\Omega$;

(A2) 对 $\forall x \in \Omega \cap \ker L, QNx \neq 0$, 且 $\deg\{JQN, \Omega \cap \ker L\} \neq 0$;

则算子方程 $Lx = Nx$ 在 $\text{Dom } L \cap \bar{\Omega}$ 上至少存在一个解。

定理 1.2 如果系统(1)满足以下三个条件:

$$(B1) \bar{r} > \bar{d}; (B2) \bar{p}\bar{r} > \bar{d} + \bar{\mu}; (B3) \bar{\beta} > \left(\frac{pr}{k}\right)$$

则系统(1)至少存在一个周期解。

证明: 令 $N(t) = e^{\tilde{N}(t)}$, $I(t) = e^{\tilde{I}(t)}$ 代入系统(1)得如下等价系统:

$$\begin{cases} \tilde{N}'(t) = (r(t) - d(t)) - \frac{r(t)}{k(t)} e^{\tilde{N}(t)} - \mu(t) e^{\tilde{I}(t)} \\ \tilde{I}'(t) = p(t)r(t) - (d(t) + \mu(t)) + \frac{\beta(t)k(t) - p(t)r(t)}{k(t)} e^{\tilde{N}(t)} - \beta(t) e^{\tilde{I}(t)} \end{cases} \quad (2)$$

记:

$$X = Y = \{(\tilde{N}(t), \tilde{I}(t))^T \mid \tilde{N}(t+w) = \tilde{N}(t), \tilde{I}(t+w) = \tilde{I}(t)\},$$

$$\text{且 } \|(\tilde{N}(t), \tilde{I}(t))^T\| = \max_{t \in [0, w]} (|\tilde{N}(t)| + |\tilde{I}(t)|),$$

则容易证得 X 和 Y 都是 Banach 空间。

又定义 $L: \text{Dom } L \subset X \rightarrow Y$

$$L(\tilde{N}(t), \tilde{I}(t))^T = (\tilde{N}'(t), \tilde{I}'(t))^T,$$

$N: X \rightarrow Z$, 进而得:

$$N \begin{bmatrix} \tilde{N}(t) \\ \tilde{I}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (r(t) - d(t)) - \frac{r(t)}{k(t)} e^{\tilde{N}(t)} - \mu(t) e^{\tilde{I}(t)} \\ p(t)r(t) - (d(t) + \mu(t)) + \frac{\beta(t)k(t) - p(t)r(t)}{k(t)} e^{\tilde{N}(t)} - \beta(t) e^{\tilde{I}(t)} \end{bmatrix},$$

又令

$$P \begin{bmatrix} \tilde{N}(t) \\ \tilde{I}(t) \end{bmatrix} = Q \begin{bmatrix} \tilde{N}(t) \\ \tilde{I}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{W} \int_0^w \tilde{N}(t) dt \\ \frac{1}{W} \int_0^w \tilde{I}(t) dt \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \tilde{N}(t) \\ \tilde{I}(t) \end{bmatrix} = X = Y,$$

则有

$$\ker L = \{(\tilde{N}, \tilde{I}) \in X \mid (\tilde{N}, \tilde{I}) = U, U \in R^2\},$$

$$\text{Im } L = \left\{(\tilde{N}, \tilde{I}) \in Y \mid \int_0^w \tilde{N}(t) dt = 0, \int_0^w \tilde{I}(t) dt = 0\right\}.$$

故 $\text{Im } L$ 是 Y 中的闭子集, 又由于 $\dim \ker L = \text{codim Im } L = 2 < +\infty$, 故 L 是指标为零的 Fred-holm 算子, 定义连续投影算子 P, Q 且满足: $\text{Im } P = \ker L, \text{Im } L = \ker Q = \text{Im}(I - Q)$, 因此 L 存在逆映射 $K_p: \text{Im } L \rightarrow \text{Dom } L \cap \ker P$, 具体为:

$$K_p \begin{bmatrix} \tilde{N}(t) \\ \tilde{I}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \int_0^w \tilde{N}(t) du - \frac{1}{w} \int_0^w \int_0^t \tilde{N}(u) du dt \\ \int_0^w \tilde{I}(t) dt - \frac{1}{w} \int_0^w \int_0^t \tilde{I}(u) du dt \end{bmatrix},$$

从而得:

$$QN \begin{bmatrix} \tilde{N}(t) \\ \tilde{I}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{w} \int_0^w [(r(t) - d(t)) - \frac{r(t)}{k(t)} e^{\tilde{N}(t)} - \mu(t) e^{\tilde{I}(t)}] dt \\ \frac{1}{w} \int_0^w [p(t)r(t) - (d(t) + \mu(t)) + \frac{\beta(t)k(t) - p(t)r(t)}{k(t)} e^{\tilde{N}(t)} - \beta(t) e^{\tilde{I}(t)}] dt \end{bmatrix},$$

$$K_p(1 - Q)N \begin{bmatrix} \tilde{N}(t) \\ \tilde{I}(t) \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} \int_0^w N_1(t) du - \frac{1}{w} \int_0^w \int_0^t N_1(u) du dt - \left(\frac{t}{w} - \frac{1}{2}\right) \int_0^t N_1(u) du \\ \int_0^w N_2(t) du - \frac{1}{w} \int_0^w \int_0^t N_2(u) du dt - \left(\frac{t}{w} - \frac{1}{2}\right) \int_0^t N_2(u) du \end{bmatrix}.$$

由 Lebesgue 收敛定理, 易知 QN 与 $K_p(1 - Q)N$ 是连续的. 再根据 Arzela-Ascoli 定理, 对于 X 中的任意有界开集 Ω , $QN(\bar{\Omega})$ 和 $K_p(1 - Q)N(\bar{\Omega})$ 是相对紧的. 故 N 为 $\bar{\Omega}$ 的 L -紧算子. 对应的算子方程 $Lx = Nx, \lambda \in (0, 1)$ 有:

$$\begin{cases} \tilde{N}'(t) = \lambda \left[(r(t) - d(t)) - \frac{r(t)}{k(t)} e^{\tilde{N}(t)} - \mu(t) e^{\tilde{I}(t)} \right] \\ \tilde{I}'(t) = \lambda \left[p(t)r(t) - (d(t) + \mu(t)) + \frac{\beta(t)k(t) - p(t)r(t)}{k(t)} e^{\tilde{N}(t)} - \beta(t) e^{\tilde{I}(t)} \right] \end{cases} \quad (3)$$

对(3)系统两边在 $[0, w]$ 上积分得:

$$\begin{cases} \int_0^w \tilde{N}'(t) dt = \lambda \int_0^w [(r(t)-d(t)) - \frac{r(t)}{k(t)} e^{-\mu(t)} \tilde{\gamma}(t)] dt \\ \int_0^w \tilde{I}'(t) dt = \lambda \int_0^w [p(t)r(t) - (d(t)+\mu(t)) + \frac{\beta(t)k(t)-p(t)r(t)}{k(t)} e^{-\tilde{\gamma}(t)} - \beta(t) e^{\tilde{\gamma}(t)}] dt. \end{cases} \quad (4)$$

由(4)推导得:

$$\begin{cases} w(\bar{r}-\bar{d}) = \int_0^w [\frac{r(t)}{k(t)} e^{-\tilde{\gamma}(t)} + \mu(t) e^{\tilde{\gamma}(t)}] dt, \\ w(\overline{pr} - (\bar{d} + \bar{\mu})) = \int_0^w [-\frac{\beta(t)k(t)-p(t)r(t)}{k(t)} e^{-\tilde{\gamma}(t)} + \beta(t) e^{\tilde{\gamma}(t)}] dt. \end{cases} \quad (5)$$

因此由(4), (5)得:

$$\begin{cases} \int_0^w \tilde{N}'(t) dt \leq \lambda \int_0^w [(r(t)-d(t)) + \frac{r(t)}{k(t)} e^{-\tilde{\gamma}(t)} + \mu(t) e^{\tilde{\gamma}(t)}] dt \\ \leq 2\lambda(\bar{r}-\bar{d}) \\ \int_0^w \tilde{I}'(t) dt \leq \lambda \int_0^w [p(t)r(t) - (d(t)+\mu(t)) + \frac{\beta(t)k(t)-p(t)r(t)}{k(t)} e^{-\tilde{\gamma}(t)} - \beta(t) e^{\tilde{\gamma}(t)}] dt \\ \leq 2\lambda w(\overline{pr} - (\bar{d} + \bar{\mu})). \end{cases} \quad (6)$$

又由于 $(\tilde{N}(t), \tilde{I}(t))^T \in X$, 故取 $\xi_i \in [0, w], \eta_i \in [0, w], i=1, 2$, 使得

$$N(\xi_1) = \min_{t \in [0, w]} \tilde{N}(t), \tilde{N}(\eta_1) = \max_{t \in [0, w]} \tilde{N}(t), \quad (7)$$

$$N(\xi_2) = \min_{t \in [0, w]} \tilde{I}(t), \tilde{I}(\eta_2) = \max_{t \in [0, w]} \tilde{I}(t). \quad (8)$$

由(5)第一个方程和(7)得:

$$w(\bar{r}-\bar{d}) \geq \int_0^w \frac{r(t)}{k(t)} e^{-\tilde{\gamma}(t)} dt \geq \int_0^w \frac{r(t)}{k(t)} e^{-\tilde{\gamma}(\xi_1)} dt,$$

故有

$$e^{\tilde{\gamma}(\xi_1)} \leq \frac{w(\bar{r}-\bar{d})}{w\left(\frac{r}{d}\right)} = \frac{\bar{r}-\bar{d}}{\left(\frac{r}{d}\right)} \Rightarrow \tilde{N}(\xi_1) \leq \ln \frac{\bar{r}-\bar{d}}{\left(\frac{r}{d}\right)},$$

再由(6), 所以

$$N(t) \leq \tilde{N}(\xi_1) + \int_0^w |\tilde{N}'(t)| dt \leq \ln \frac{\bar{r}-\bar{d}}{\left(\frac{r}{d}\right)} + 2\lambda w(\bar{r}-\bar{d}) := T_1. \quad (9)$$

同理, 由(5)第一个方程和(8)得:

$$w(\bar{r}-\bar{d}) \geq \int_0^w \mu(t) e^{\tilde{\gamma}(t)} dt \geq \int_0^w \mu(t) e^{\tilde{\gamma}(\xi_2)} dt,$$

进而得

$$e^{\tilde{\gamma}(\xi_2)} \leq \frac{w(\bar{r}-\bar{d})}{w\mu} = \frac{\bar{r}-\bar{d}}{\mu} \Rightarrow \tilde{N}(\xi_2) \leq \ln \frac{\bar{r}-\bar{d}}{\mu},$$

又根据(6), 因此

$$I(t) \leq \tilde{I}(\xi_2) + \int_0^w |\tilde{I}'(t)| dt \leq \ln \frac{\bar{r}-\bar{d}}{\mu} + 2\lambda w(\overline{pr} - (\bar{d} + \bar{\mu})) := T_2. \quad (10)$$

另一方面, 由(5)第二个方程和(8)得:

$$w(\overline{pr} - (\bar{d} + \bar{\mu})) \leq \int_0^w \beta(t) e^{\tilde{\gamma}(t)} dt \leq \int_0^w \beta(t) e^{\tilde{\gamma}(\eta_2)} dt,$$

故有

$$e^{\tilde{\gamma}(\eta_2)} \leq \frac{w(\overline{pr} - (\bar{d} + \bar{\mu}))}{w\beta} = \frac{\overline{pr} - (\bar{d} + \bar{\mu})}{\beta} \Rightarrow \tilde{I}(\eta_2) \geq \ln \frac{\overline{pr} - (\bar{d} + \bar{\mu})}{\beta},$$

又由(6), 因此

$$I(t) \geq \tilde{I}(\eta_2) - \int_0^w |\tilde{I}'(t)| dt \geq \ln \frac{\overline{pr} - (\bar{d} + \bar{\mu})}{\beta} + 2\lambda w(\overline{pr} - (\bar{d} + \bar{\mu})) := T_3. \quad (11)$$

由(5)第二个方程, (7), (8)得:

$$w(\overline{pr} - (\bar{d} + \bar{\mu})) \geq \int_0^w [-\frac{\beta(t)k(t)-p(t)r(t)}{k(t)} e^{-\tilde{\gamma}(\eta_2)} + \beta(t) e^{\tilde{\gamma}(\xi_1)}] dt,$$

进而得

$$\overline{pr} - (\bar{d} + \bar{\mu}) \geq \beta \frac{\overline{pr} - (\bar{d} + \bar{\mu})}{\beta} e^{-2\lambda w(\overline{pr} - (\bar{d} + \bar{\mu}))} - \left(\beta - \left(\frac{pr}{k}\right)\right) e^{\tilde{\gamma}(\eta_2)},$$

$$e^{\tilde{\gamma}(\eta_2)} \geq \frac{(\overline{pr} - (\bar{d} + \bar{\mu})) e^{-2\lambda w(\overline{pr} - (\bar{d} + \bar{\mu}))}}{\beta - \left(\frac{pr}{k}\right)}.$$

因此, 再由(6)得

$$\begin{aligned} N(t) &\geq \tilde{I}(\eta_2) - \int_0^w |\tilde{N}'(t)| dt \\ &\geq \ln \frac{(\overline{pr} - (\bar{d} + \bar{\mu})) e^{-2\lambda w(\overline{pr} - (\bar{d} + \bar{\mu}))}}{\beta - \left(\frac{pr}{k}\right)} - 2\lambda w(\bar{r}-\bar{d}) := T_4 \end{aligned} \quad (12)$$

综上, 由式(9)~(12)得

$$\max_{t \in [0, w]} |N(t)| \leq \max\{|T_1|, |T_4|\} = K_1, \max_{t \in [0, w]} |N(t)| \leq \max\{|T_2|, |T_3|\} = K_2.$$

显然, K_1, K_2 取值与 λ 无关, 令 $K = K_1 + K_2 + K_3$, 其中 $K_3 > 0$.

取 $\Omega = \{(\tilde{N}(t), \tilde{I}(t))^T \in X(\tilde{N}(t), \tilde{I}(t))^T < K\}$, 易证 Ω 满足引理 1.1 中(A1)条件.

为验证满足引理 1.1 中(A2)条件, 构造代数方程:

$$\begin{cases} \bar{r}-\bar{d} - \frac{1}{w} \int_0^w [(r(t)-d(t)) - \frac{r(t)}{k(t)} e^{-\tilde{\gamma}(t)} - \mu(t) e^{\tilde{\gamma}(t)}] dt = 0, \\ \overline{pr} - (\bar{d} + \bar{\mu}) + \frac{1}{w} \int_0^w [\frac{\beta(t)k(t)-p(t)r(t)}{k(t)} e^{-\tilde{\gamma}(t)} - \beta(t) e^{\tilde{\gamma}(t)}] dt = 0. \end{cases} \quad (13)$$

易得(13)有唯一正解 $(N^*, I^*) \in R^2$. 当 $(\tilde{N}(t), \tilde{I}(t))^T \in \partial\Omega \cap \ker L = \partial\Omega \cap R^2$ 时, $(\tilde{N}(t), \tilde{I}(t))^T$ 是 R^2 的一个常值向量, 且 $\|(\tilde{N}(t), \tilde{I}(t))^T\| = K$, 则

$$QN \begin{bmatrix} \tilde{N}(t) \\ \tilde{I}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{r-d} - \frac{1}{w} \int_0^w [(r(t)-d(t)) - \frac{r(t)}{k(t)} e^{-\tilde{N}(t)} - \mu(t) e^{-\tilde{I}(t)}] dt, \\ \overline{pr} - (\overline{d+\mu}) + \frac{1}{w} \int_0^w [\frac{\beta(t)k(t)-p(t)r(t)}{k(t)} e^{-\tilde{N}(t)} - \beta(t) e^{-\tilde{I}(t)}] dt. \end{bmatrix} \neq 0$$

综上, J 取为同构映射, 故可直接计算得

$$\deg\{JQN, \Omega \cap \ker L\} \neq 0$$

因此 Ω 满足引理 1.1 条件(A2). 故 $Lx=Nx$ 在 $Dom L \cap \overline{\Omega}$ 上至少存在一个解, 从而系统(1)至少存在一个周期解, 定理 1.2 证毕.

2 数值模拟

考虑如下非自治系统:

$$\begin{cases} \dot{N}(t) = (20 + \sin 2t - 2 - \cos 2t)N(t) - \frac{20 + \sin 2t}{2}N(t) - (3 + \cos 2t)I(t)N(t), \\ \dot{I}(t) = [0.58(20 + \sin 2t) - (5 + 2\cos 2t)]I(t) + (13 - \sin 2t - \frac{0.58(20 + \sin 2t)}{2})N(t)I(t) - (13 - \sin 2t)I^2(t) \end{cases} \quad (14)$$

其中, $r(t) = 20 + \sin 2t, d(t) = 2 + \cos 2t, k(t) = 2, \mu(t) = 3 + \cos 2t, p(t) = 0.58, \beta(t) = 13 - \sin 2t$. 由于 $\overline{r} = 20, \overline{d} = 2, \overline{pr} = 11.6, \overline{\mu} = 3, \overline{\beta} = 13, (\frac{\overline{pr}}{k}) = 5.8$, 显然满足定理 1.2 的 (B1)-(B3) 条件, 系统(14)至少存在一个周期解, 并用 matlab 数值仿真, 结果见图 1.

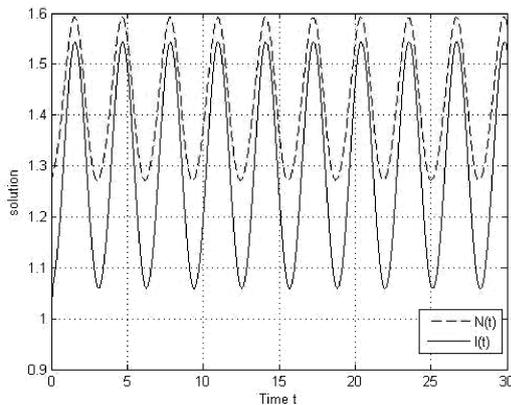


图 1 周期解图(初值)

Figure 1 Periodic Solution (Initial Value)

参考文献:

- [1] LI M Y, GRAEF J R, WANG L, et al. Global dynamics of a SEIR model with varying total population size [J]. Mathematical Biosciences, 1999, 160(2):191-213.
- [2] MA W, SONG M, Takeuchi Y. Global stability of an SIR epidemic model with time delay [J]. Applied Mathematics Letters, 2004, 17(10):1141-1145.
- [3] D'ONOFRIO A. Mixed pulse vaccination strategy in epidemic model with realistically distributed infectious and latent times [M]. Amsterdam: Elsevier Science Publisher, 2004.
- [4] LI G, ZHEN J. Global stability of a SEIR epidemic model with infectious force in latent, infected and immune period[J]. Chaos Solitons & Fractals, 2005, 25(5):1177-1184.
- [5] LU Z, CHI X, CHEN L. The effect of constant and pulse vaccination on SIR epidemic model with horizontal and vertical transmission[M]. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 2002.
- [6] BUSENBERG S, COOKE K L, Pozio M A. Analysis of a model of a vertically transmitted disease [J]. Journal of Mathematical Biology, 1983, 17(3):305.
- [7] LI M Y, SMITH H L, Wang L. Global Dynamics of an Seir Epidemic Model with Vertical Transmission [J]. Siam Journal on Applied Mathematics, 2001, 62(1):58-69.
- [8] MENG X, CHEN L. The dynamics of a new SIR epidemic model concerning pulse vaccination strategy [J]. Applied Mathematics & Computation, 2008, 197(2):582-597.
- [9] FINE P E. Vectors and vertical transmission: an epidemiologic perspective [J]. Annals of the New York Academy of Sciences, 2010, 266(1):173-194.
- [10] 孟新柱, 陈兰荪, 宋治涛. 一类新的含有垂直传染与脉冲免疫的时滞 SEIR 传染病模型的全局动力学行为[J]. 应用数学和力学, 2007(09):1123-1134.
- [11] 刘开源, 陈兰荪. 一类具有垂直传染与脉冲免疫的 SEIR 传染病模型的全局分析[J]. 系统科学与数学, 2010, 30(03): 323-333.
- [12] 韩丽涛, 原三领, 马知恩. 两种群相互竞争的 SIRS 传染病模型的稳定性[J]. 生物数学学报, 2003, 18(1):21-26.
- [13] 付景超, 井元伟, 张中华. 具垂直传染和连续预防接种的 SIRS 传染病模型的研究 [J]. 生物数学学报, 2008, 23(2): 273-278.
- [14] 傅金波, 陈兰荪. 具有垂直传染和接触传染的传染病模型的稳定性研究[J]. 数学杂志, 2016, 36(6):1283-1290.

- [15] 夏米西努尔·阿布都热合曼,滕志东.一类非自治 SIRS 传染病模型的持久性与灭绝性研究(英文)[J].生物数学学报, 2006,21(2):167-176.
- [16] 韩怡茹,吴事良.一类非自治 SIRS 传染病模型[J].兰州大学学报(自然科学版), 2017,53(5):671-678.
- [17] 陈文斌.一类具有时滞的非自治 SIR 传染病模型周期解的存在性[J].应用泛函分析学报,2013,15(4):349-354.
- (责任编辑:叶丽娜)

Positive Periodic Solution for a Class of Non-Autonomous Epidemic Models with Vertical and Contact Infections

ZHENG Hang¹, XU Shuxian², LAN Ling¹

(1.School of Mathematics and Computer Science, Wuyi University, Wuyishan, Fujian 354300;

2.School of Mechanical and Electrical Engineering,Wuyi University, Wuyishan, Fujian 354300)

Abstract: By using the Mawhin continuous theorem in the coincidence degree theory, the paper discusses the existence of positive periodic solutions for a class of non-autonomous epidemic models with vertical and contact infections, and sufficient conditions for the existence of positive periodic solutions are obtained. Finally, the correctness of the results is verified by an example and numerical simulation.

Key words: Mawhin continuous theorem; positive periodic solutions; numerical simulation

一类新的秘密共享方案安全性分析及其改进

庄锋茂¹, 胡慧丹², 林昌露²

(1.福建体育职业技术学院 公共基础部, 福建 福州 350003; 2.福建师范大学 数学与信息学院, 福建 福州 350117)

摘要:经安全分析发现(3,7)-门限秘密共享方案以及(7,7)-门限秘密共享方案无法确保秘密共享的隐私性,且(3,7)-门限秘密共享方案不满足秘密共享的正确性.为了克服这些安全隐患,改进了(3,7)-门限秘密共享方案使其能够满足秘密共享的安全性要求.在改进的方案中,通过加入一些随机值以减弱共享之间的相关性并确保了方案的隐私性,通过计算一些公开值来保证方案的正确性.

关键词:门限秘密共享; 格雷码; 异或运算; 安全分析

中图分类号:TP393 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-2109(2018)12-0017-05

1979年, Shamir^[1]利用拉格朗日插值多项式提出了 (t, n) -门限的秘密共享方案. 在该方案中, 一个诚实的第三方将秘密拆分成 n 份共享, 并将每一份共享秘密地分发给 n 位不同的参与者; 其中, 任意 t 个或大于 t 个参与者的合作能重构出秘密(正确性), 而任意小于 t 个参与者的合作得不到关于秘密的任何消息(隐私性). 同年, Blakley^[2]借助几何的方法提出了不同的秘密共享方案. 1983年, Mignotte^[3]和 Asmuth-Bloom^[4]借助中国剩余定理提出了新的门限秘密共享方案.

为了丰富秘密共享方案, 许多的学者利用不同的数学工具, 如: 二进制序列, 格, 二元对称多项式, 双线性映射, 等等, 分别地提出了各种秘密共享方案^[5-9], 以满足不同的应用需求. 2017年, Deepika 和 Sreekumar^[10]基于格雷码和异或运算提出了一类新的秘密共享方案. 其中利用格雷码技术实现秘密分发, 而用异或运算

实现安全的秘密重构. 作者称该方案无信息丢失且可应用于视觉密码学中. 显然, 参与者仅仅需要进行异或运算就能还原出秘密, 与传统的其他方案比较, 该方案可大量地减少了参与者的计算量. 通过详细的安全性分析发现, 该方案存在安全漏洞并给出了具体的攻击方式, 进而给出了一个改进的安全方案. 在改进方案中, 我们在共享生成阶段添加了随机值用以破坏共享之间的关联性; 通过一些公开值实现了方案的正确性.

1 预备知识

1.1 格雷码

格雷码是一类循环二进制单位距离码, 它是任意两个相邻的码字只有一位二进制数不同的编码, 它与奇偶校验码同属可靠性编码.

1.2 异或运算

异或也叫半加运算, 其运算法则相当于不带进位的二进制加法, 二进制下 1 表示真, 0 表示假, 则异或的运算法则为: $0 \oplus 0 = 0, 1 \oplus 0 = 0 \oplus 1 = 1, 1 \oplus 1 = 1$.

1.3 二进制码转换成格雷码

二进制码转换成格雷码, 其法则是保留二进制码的最高位作为格雷码的最高位, 而次高位格雷码为二进制码的高位与次高位相异或, 而格雷码其余各位与

收稿日期: 2018-08-17

项目基金: 国家自然科学基金(61572132); 福建省自然科学基金(2015J01239)。

作者简介: 庄锋茂(1978-), 男, 汉族, 讲师, 主要从事计算机应用研究; 胡慧丹(1993-), 女, 汉族, 研究生, 主要从事密码学研究。

通信作者: 林昌露(1978-), 男, 汉族, 副教授, 主要从事密码学研究。

次高位的求法类似. 例如:

某二进制数为: $B_{n-1}B_{n-2}\cdots B_2B_1B_0$

其对应的格雷码为: $G_{n-1}G_{n-2}\cdots G_2G_1G_0$

具体地, 最高位保留 $G_{n-1}=B_{n-1}$, 其他各位数 $G_i=B_{i+1}\oplus B_i$,

其中 $i=0, 1, \dots, n-2$.

2 Deepika-Sreekumar 的秘密共享方案

Deepika 和 Sreekumar^[10]借助格雷码与异或运算提出一类新的秘密共享方案, 该方案不同于基于多项式的秘密共享方案和基于中国剩余定理的秘密共享方案. 该方案利用简单的异或运算实现了秘密的重构, 这可大量地减低了每位参与用户的计算量. 本节主要简要回顾 Deepika-Sreekumar 的秘密共享方案. 具体地, Deepika 和 Sreekumar 给出了该类型秘密共享方案的两种构造: 一种是 (7, 7)-门限秘密共享方案, 即只有 7 个参与者都拿出他们的共享才能重构出秘密; 另一种是 (3, 7)-门限秘密共享方案, 即仅有三个特定的参与者就可还原秘密. 这两种情形的秘密共享方案的共享的生成算法是一样的, 但是它们的秘密恢复算法不一样. 具体步骤如下所示.

2.1 共享的生成算法

第一步: 输入主秘密 S , 将 S 转化为二进制数.

第二步: 将秘密 S 转化成它所对应的格雷码 G .

第二步: 计算共享 $S_1, S_1=G$; 将秘密 S_1 转化成它所对应的格雷码 G_1 .

第三步: 计算共享 $S_2, S_2=G_1$; 将秘密 S_2 转化成它所对应的格雷码 G_2 .

第四步: 计算共享 $S_3, S_3=G_2$; 将秘密 S_3 转化成它所对应的格雷码 G_3 .

第五步: 计算共享 $S_4, S_4=G_3$; 将秘密 S_4 转化成它所对应的格雷码 G_4 .

第六步: 计算共享 $S_5, S_5=G_4$; 将秘密 S_5 转化成它所对应的格雷码 G_5 .

第七步: 计算共享 $S_6, S_6=G_5$; 将秘密 S_6 转化成它所对应的格雷码 G_6 .

第八步: 计算共享 $S_7, S_7=G_6$.

第九步: 将二进制 $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7$ 转化为十进, 输出十进制的 7 个共享 $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7$, 并秘

密地分发给 7 位不同的参与者.

2.2 (3, 7)-门限秘密共享方案的重构算法

1) 第一阶段

第一步: 输入 $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7$.

第二步: 判定共享的下标 i 是否整除 2; 如果 $i-2=0$, 则 S_i 是授权集里的共享; 否则 S_i 不是授权集里的共享.

第三步: 输出共享 S_2, S_4, S_6 .

2) 第二阶段

第一步: 输入 S_2, S_4, S_6 , 并将 S_2, S_4, S_6 转化为二进制数.

第二步: 计算 $S_2\oplus S_4\oplus S_6$.

第三步: 将 M 转化为十进制数.

第四步: 输出秘密 $S=M$.

2.3 (7, 7)-门限秘密共享方案的重构算法

第一步: 输入 $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7$, 并将 $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7$ 转化为二进制数.

第二步: 计算 $S_1\oplus S_2\oplus S_3\oplus S_4\oplus S_5\oplus S_6\oplus S_7=M$.

第三步: 将 M 转化为十进制数.

第四步: 输出秘密 $S=M$.

3 安全漏洞分析

本节将通过具体实例来阐述 Deepika 和 Sreekumar 提出的两种情形的门限秘密共享方案存在严重的安全漏洞. 将指出它们无法满足门限秘密共享方案的最基本的隐私性与正确性要求. 不失一般性, 假设秘密 $S=860$, 通过执行“共享的生成算法”得到秘密 S 的二进制形式 $S=1101011100$, 以及 7 个共享: $S_1=1011110010$, $S_2=1110011011$, $S_3=1001010110$, $S_4=1101111101$, $S_5=1011010011$, $S_6=1110111010$, $S_7=1001110111$.

3.1 隐私性分析

将分析 Deepika 和 Sreekumar 设计的 (3, 7)-门限秘密共享方案与 (7, 7)-门限秘密共享方案均无法确保其隐私性: 1) 每个参与者利用所持有的一个共享都可以恢复秘密; 2) 参与者能获得其他参与者的共享.

3.1.1 参与者 P_1 利用 S_1 得到秘密 S

参与者 P_1 可通过执行以下的两个步骤成功地获得秘密.

第一步: P_1 可以得到 S 的格雷码 $G=S_1=1011110010$.

第二步:设 $S=B_9B_8B_7B_6B_5B_4B_3B_2B_1B_0$, $G=G_9G_8G_7G_6G_5G_4G_3G_2G_1G_0$,其中 $B_9=G_9=1$, $B_8=B_9\oplus G_8=1\oplus 0=1$, $B_7=B_8\oplus G_7=1\oplus 1=0$, $B_6=B_7\oplus G_6=0\oplus 1=1$, $B_5=B_6\oplus G_5=1\oplus 1=0$, $B_4=B_5\oplus G_4=0\oplus 1=1$, $B_3=B_4\oplus G_3=1\oplus 0=1$, $B_2=B_3\oplus G_2=1\oplus 0=1$, $B_1=B_2\oplus G_1=1\oplus 1=0$, $B_0=B_1\oplus G_0=0\oplus 0=0$,易知,参与者 P_1 通过以上计算可获得秘密 S .

3.1.2 参与者 P_i 获得其他参与者 P_j 的共享

参与者 P_i ($i=(2,3,\dots,7)$)不仅能得到秘密 S ,还能得到其他参与者 P_j ($j<i$)的共享.具体地,参与者 P_i ($i=(2,3,\dots,7)$)通过以下的步骤成功地获得其他参与者 P_j ($j<i$)的共享,且可恢复出秘密.

第一步: P_i 可以获得 P_{i-1} 的共享 S_{i-1} 的格雷码 $G_{i-1}=S_{i-1}$.

第二步:设 $S_{i-1}=S_{i-1_1}S_{i-1_2}S_{i-1_3}S_{i-1_4}S_{i-1_5}S_{i-1_6}S_{i-1_7}S_{i-1_8}S_{i-1_9}$, $G_{i-1}=G_{i-1_1}G_{i-1_2}G_{i-1_3}G_{i-1_4}G_{i-1_5}G_{i-1_6}G_{i-1_7}G_{i-1_8}G_{i-1_9}$,其中 $S_{i-1_1}=G_{i-1_1}$, $S_{i-1_2}=S_{i-1_1}\oplus G_{i-1_2}$, $S_{i-1_3}=S_{i-1_2}\oplus G_{i-1_3}$, $S_{i-1_4}=S_{i-1_3}\oplus G_{i-1_4}$, $S_{i-1_5}=S_{i-1_4}\oplus G_{i-1_5}$, $S_{i-1_6}=S_{i-1_5}\oplus G_{i-1_6}$, $S_{i-1_7}=S_{i-1_6}\oplus G_{i-1_7}$, $S_{i-1_8}=S_{i-1_7}\oplus G_{i-1_8}$, $S_{i-1_9}=S_{i-1_8}\oplus G_{i-1_9}$,从而获得共享 S_{i-1} .

第三步: P_i 重复的执行 $i-1$ 次步骤1,2即可得到 $S_{i-2},S_{i-3},\dots,S_1,S$,并可正确地恢复出秘密 S .

3.2 正确性分析

本节仅对 Deepika 和 Sreekumar 提出的 (3, 7)-门限秘密共享方案不满足正确性要求给出详细的分析.即该方案不满足任意3个或大于3个参与者能正确地恢复秘密;小于3个参与者无法还原秘密.由于(7, 7)-门限秘密共享方案中7个参与者全部参与能还原出秘密,因此 Deepika 和 Sreekumar 提出的(7, 7)-门限秘密共享方案满足正确性.通过以下例子说明(3, 7)-门限秘密共享存在的缺陷,具体步骤如下所示:

设参与者 P_1, P_2, P_3 去重构秘密,参与者 P_1, P_2, P_3 利用所得到的三个共享 $S_1=1011110010$, $S_2=1110011011$,和 $S_3=1001010110$ 进行异或运算去还原秘密.首先对 S_1 和 S_2 进行异或运算得结果 $m_1=S_1\oplus S_2=1011110010\oplus 1110011011=0101101001$,然后再将 m_1 和 S_3 进行异或运算得到结果 $m_2=m_1\oplus S_3=0101101001\oplus 1001010110=1100111111$.我们发现通过共享, S_1, S_2 和 S_3 所得到的结果 $m_2\neq S$.具体的重构秘密的运算过程如下所示.

$$P_1 \quad S_1=1011110010\oplus$$

$$P_2 \quad S_2=1110011011\oplus$$

$$P_3 \quad S_3=1001010110$$

$$1100111111$$

设参与者 P_1, P_2, P_4, P_6 去重构秘密,参与者 P_1, P_2, P_4, P_6 利用所得到的四个共享 $S_1=1011110010$, $S_2=1110011011$, $S_4=1101111101$ 和 $S_6=1110111010$ 执行重构算法去还原秘密.首先需要对 $S_1=1011110010$ 和 $S_2=1110011011$ 执行异或运算得到结果 $m_3=S_1\oplus S_2=0101101001$,然后再对 $m_3=0101101001$ 和 $S_4=1101111101$ 执行异或运算得到结果 $m_4=m_3\oplus S_4=1000010100$,最后计算 $m_4\oplus S_6$ 得到结果 $m_6=0110101110$.我们发现通过共享 S_1, S_2, S_4 和 S_6 所得到的结果 $m_6\neq S$.具体的运算过程如下所示.

$$P_1 \quad S_1=1011110010\oplus$$

$$P_2 \quad S_2=1110011011\oplus$$

$$P_4 \quad S_4=1101111101\oplus$$

$$P_6 \quad S_6=1110111010$$

$$01101 01110$$

通过以上的两个例子说明 Deepika 和 Sreekumar 所提出的(3, 7)-门限秘密共享方案无法满足任意的三个或大于三个参与者都能还原出真正的秘密这个性质.

4 方案改进

本节将改进 Deepika 和 Sreekumar 的秘密共享方案,仅对提出(3,7)-门限秘密共享方案的给出具体的改进.在改进的方案中,在重构阶段也仅只需要做异或运算,且满足正确性和隐私性.该改进方案的共享生成算法和秘密恢复算法分别描述如下.

4.1 共享生成算法

第一步:可信第三方执行第2.1节中“生成算法”过程中将秘密 S 生成7个伪共享 $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7$.

第二步:第三方任意的选择7个随机值 $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7$,将 $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7$ 转化为二进制数,再计算共享 $Y_1=S_1\oplus K_1, Y_2=S_2\oplus K_2, Y_3=S_3\oplus K_3, Y_4=S_4\oplus K_4, Y_5=S_5\oplus K_5, Y_6=S_6\oplus K_6, Y_7=S_7\oplus K_7$.

第三步:第三方计算公开值 A_{i_1, i_2, i_3} .具体地, $A_{i_1, i_2, i_3}=Y_{i_1}\oplus Y_{i_2}\oplus Y_{i_3}\oplus S$,其中这里 S 为秘密且 $\{i_1, i_2, i_3\}$ 是 $\{1, 2, \dots, 7\}$ 的任意3元子集,公开哈希值 $H(S)$,其中 H 为安全的哈

希函数.

第四步: 第三方通过安全的信道将 $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7$ 传输给参与者 $U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6, U_7$.

4.2 秘密重构算法

假设任意三位参与者 $U_{i_1}, U_{i_2}, U_{i_3}$ 重构秘密 S , 利用公开值 $A_{i_1 i_2 i_3}$ 和三个共享 $Y_{i_1}, Y_{i_2}, Y_{i_3}$ 即可计算秘密 $S = Y_{i_1} \oplus Y_{i_2} \oplus Y_{i_3} \oplus A_{i_1 i_2 i_3}$.

5 安全性分析

本节将通过两个定理来论证改进的秘密共享方案满足正确性和隐私性要求.

定理 1(正确性): 在改进方案中, 任意 3 个或大于 3 个的参与者利用手中的共享执行秘密重构算法可以重构出正确的秘密.

证明: 假设任意 3 个或大于 3 个参与者 $U_{i_1}, U_{i_2}, \dots, U_{i_j}$ ($j=3,4,5,6,7$) 重构秘密 S , 他们可以利用公开的值 $A_{i_1 i_2 i_3}$, 通过秘密重构算法可容易恢复出秘密. 在重构的过程中, 参与重构的参与者只需执行异或运算计算消息 $S' = Y_{i_1} \oplus Y_{i_2} \oplus Y_{i_3} \oplus A_{i_1 i_2 i_3}$ 就能恢复秘密. 若 $H(S') = H(S)$, 则所恢复的消息通过了分享秘密的验证. 这也表明计算的消息就是正确的秘密, 即 $S' = S$.

定理 2(隐私性): 在改进的方案中, 小于 3 个参与者利用手中的共享执行秘密重构算法无法恢复秘密.

证明: 不失一般性, 假定参与者 U_1, U_2 拟重构秘密 S . 由于参与者 U_1, U_2 只有共享 Y_1, Y_2 但没有公开值 $A_{1,2}$, 因此参与者无法利用公开值 $A_{1,2}$ 执行秘密重构算法, 这使得秘密重构算法无法正确的计算 $Y_1 \oplus Y_2 \oplus A_{1,2}$ 并恢复正确的秘密. 此外, 参与者 U_1 或 U_2 各自均无法通过公开值或自己的共享份额计算得到其他参与者的共享. 其原因是, 他们各自的共享中包含了一个随机值, 即 $Y_1 = S_1 \oplus K_1$ 和 $Y_2 = S_2 \oplus K_2$ 中分别含有随机值 K_1 和 K_2 , 且这随机值只有分发者知道, 而任何一个参与者不仅不知道与自己共享相关的随机值, 而且无法预测得到与其他参与者相关的那个随机值的任何信息.

6 总结

本文对 Deepika 和 Sreekumar 所提出的两种秘密共享方案给出了具体的安全性分析. 分析结果表明: 他们所提出的方案中每个参与者仅仅通过自己的共享可以还原秘密, 同时还能得到其他参与者的共享, 即无法达到隐私性. 同时通过两个具体的例子说明他们设计的(3,7)-门限的秘密共享方案无法保证正确性. 最后, 本文对(3,7)-门限的秘密共享方案给出了一种改进的方案, 并确保了改进的方案能达到秘密共享的隐私性及正确性.

参考文献:

- [1] SHAMIR A. How to share a secret [J]. Communication of the ACM, 1979, 22 (11): 612-613.
- [2] BLAKLEY G R. Safeguarding cryptographic keys [C]. In Proceedings of AFIPS'79, Computer Conf: AFIPS Press, 1979, 313-317.
- [3] MIGNOTTE M. How to share a secret [C]. In Proceeding of the Workshop on Cryptography: Heidelberg, LCNS 149, 1983, 371-375.
- [4] ASMUTH C, BLOOM J. A modular approach to key safeguarding [J]. IEEE transactions on information theory, 1983, 29 (2): 208-210.
- [5] 程叶霞, 杜跃进, 杨凯, 等. 一种基于二进制序列的秘密共享新方法[J]. 电信科学, 2015, 31 (11): 29-35.
- [6] 张红军, 刘珂, 牟占生. 基于格的门限秘密共享算法 [J]. 计算机工程, 2016, 42 (6): 139-143+150.
- [7] 顾为玉, 苗付友, 何晓婷. 基于二元对称多项式的公平秘密共享方案 [J]. 计算机工程与应用, 2016, 52(13): 38-42+109.
- [8] 张尚韬. 一种基于椭圆曲线自双线性映射的多秘密共享方案 [J]. 海南师范大学学报(自然科学版), 2016, 29 (01): 36-39.
- [9] 宋海龙, 王伟平. 基于精确再生码的秘密共享方案 [J]. 中南大学学报(自然科学版), 2017, 48 (4): 984-989.
- [10] DEEPIKA M P, SREEKUMAR A. Secret sharing using gray code and XOR operation [C]. In Proceedings of the Second International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT), 2017: 1-5.

(责任编辑: 叶丽娜)

Security Analysis and Improvement for a Class of Novel Secret Sharing Scheme

ZHUANG Fengmao¹, HU Huidan², LIN Changlu²

(1. Fujian Sport Vocation Education Technical College, Fuzhou, Fujian 350003;

2. School of Mathematics and Informatics, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350117)

Abstract: Deepika and Sreekumar proposed a new kind of secret sharing schemes including $(3, 7)$ -threshold secret sharing scheme and $(7, 7)$ -threshold secret sharing scheme based on gray code and XOR operation. However, we find that their proposed schemes cannot ensure the privacy of secret sharing, and furthermore, the $(3, 7)$ -threshold secret sharing scheme also cannot guarantee the correctness of secret sharing. In order to solve these security problems, we present an improved $(3, 7)$ -secret sharing scheme to ensure the privacy and the correctness. In our scheme, we reduce the correlation among the shares by adding some random values to insure the privacy, and generate some public values to ensure the correctness.

Key words: threshold secret sharing; gray code; XOR operation; security analysis

厦门市房价波动影响因素的灰色关联分析： 基于 2000—2016 年的数据

陈 颖, 葛颖琦

(武夷学院 数学与计算机学院, 武夷山市 354300)

摘 要:对造成房价波动的因素进行探究为城市房价管理提供了重要依据,文章利用灰色关联分析对厦门市房价影响因素进行研究。研究发现:宏观经济环境、房地产成本、住房需求这三个因素对厦门市地区商品房价格的持续上升有着显著的影响。城乡居民储蓄、房地产开发投资额、地区人均生产总值、城镇居民家庭人均可支配收入和城镇居民家庭人均消费性支出是影响厦门市房价的主要因素。

关键词:灰色关联分析;房价;影响因素

中图分类号:F293.30 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-2109(2018)12-0022-06

安居乐业是五千年来中国人民一直追求的理想生活。购置房产由实用性的生活保障也慢慢演变成投资性资产。近十年来,中国房价呈现出惊人的上涨趋势,一线城市的房价居高不下让人望而却步,二线城市房价也在飞速增长。过高的房价在某种程度上反映了中国贫富差距的严重性,限制了人们的购买力,直接影响了人民的生活质量,给社会的和谐发展带来很大的负面影响。在房价波动与房价影响因素的研究方面,国内外学者从多个层面进行了探讨。Jud 和 Winkler^[1]认为影响房价变化的因素是人口增长和建筑成本增加两部分。Chambers 和 Garriga^[2]通过时间序列的方法,发现影响房价的因素来源于收入水平和城市化水平。Duca 和 Muellbaur^[3]通过美国 50 个州的相关经济指标数据,运用回归模型分析得出房价与一些基本经济因素有关,进而根据模型预测出未来房价的走势。Ambrose 和 Lindenthal^[4]对土地地区划进行回归分析发现,土地资源是造成住房价格变动的因素。

收稿日期:2018-08-10

基金项目:2017 年度福建省中青年教育科研项目
(JAS170512)。

作者简介:陈颖(1989-),女,汉族,助教,主要从事应用统计的研究。

厦门市是一座现代化国际性港口风景旅游城市。舒适的居住环境、高速发展的经济、便利的交通等因素让更多人选择来厦门就业并就此定居。人员的拥挤,使得这个城市的房价近十年来一路攀升(见图 1、图 2)。尽管政府出台了许多控制房价上涨的政策,但是厦门的房价仍在 2017 年 12 月房价高达 47 177 元/m²。从图中可见 2016 年厦门市房价的增幅尤为突出。选择厦门市房价作为研究对象成为了学者的研究热点。一方面学者利用不同的预测理论对厦门市房价进行预测关注着其具体走势,如李华杰等^[5]运用 BP 神经网络方法进行仿真;黄嘉仪等^[6]利用灰色-马尔科夫模型对厦门市商品住宅均价进行预测等。另一方面学者则从理论入手,寻找厦门市房价的影响因素,借此来发现该地区房价的发展规律。如高慧玲^[7]利用多元回归模型,运用厦门市 1998—2010 年的相关数据得出城镇居民人均可支配收入和住宅竣工面积是影响厦门市商品住宅的两个关键因素。胡勤勤^[8]、陈小川等^[9]、谢清凡^[10]、郭金锻^[11]等学者利用不同年份的数据及不同的方法进行实证分析,得到相同的结果:地价对厦门市房价有着显著的影响。何浪^[12]研究表明公共设施可达性对住宅价格有显著的影响,其中教育设施尤其是城市中学对房价的影响有着突出的表现^[13]。

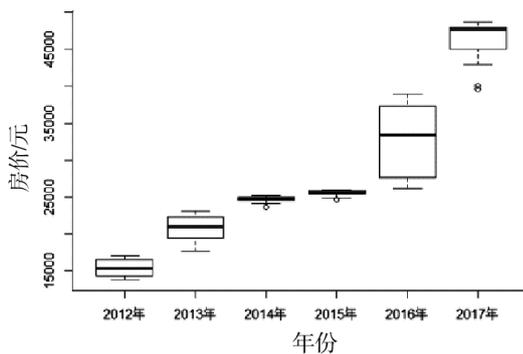


图1 2012—2017年厦门市月度房价均价箱线图
Figure 1 Box chart of monthly average house price in Xiamen from 2012 to 2017

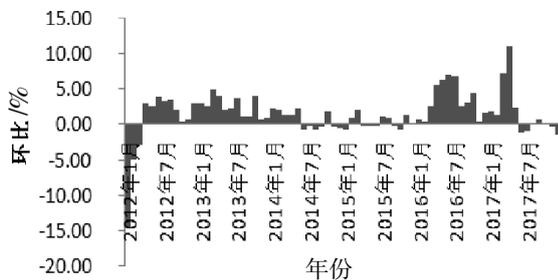


图2 2012—2017年厦门市月度房价均价环比柱形图
Figure 2 Sequential bar chart of monthly average house price in Xiamen from 2012 to 2017

在面对厦门市房地产价格复杂而多变的影响因素,单一研究某一因素显然是不够的。本文利用借助灰色系统理论只需少量数据便可作系统分析、模型建立等特点,从宏观经济环境、房地产成本、市场需求等方面对厦门市影响因素进行实证研究,揭示房价居高不下不断变化的内在原因,提出行之有效的对策。

1 灰色关联模型介绍与所选指标数据说明

1.1 灰色关联模型介绍

灰色关联分析方法^[4]是根据各因素变化曲线几何形状相似程度,来判断因素之间关联程度的方法,其基本思想是将评价指标原始观测数进行无量纲化处理,计算关联系数、关联度以及根据关联度大小对指标排序。

本文选定住宅商品房的平均销售价格为特征序列,其影响因素为相关序列。设

$$X_0=(x_0(1),x_0(2),\cdots,x_0(n)) \quad (1)$$

为系统的特征序列;

$$X_i=(x_i(1),x_i(2),\cdots,x_i(n)) \quad (i=1,2,\cdots,m) \quad (2)$$

为系统的相关序列。用均值化算子将各指标值进行无量纲化处理,算子为:

$$DX=(Dx(1),Dx(2),\cdots,Dx(n)),Dx(k)=\frac{x(k)}{\bar{x}} \quad (3)$$

其中, $\bar{x}=\frac{1}{n}\sum_{k=1}^n x(k)$, $Dx(k)$ 为特征序列的均值化灰色关联算子。

假设 $\gamma(Dx_0(k),Dx_i(k))$ 表示为 X_i 对 X_0 在 k 点的关联系数,则:

$$\gamma(Dx_0(k),Dx_i(k))=\frac{m+\xi M}{|Dx_0(k)-Dx_i(k)|+\xi M} \quad (4)$$

式中 $m=\min_j \min_k |Dx_0(k)-Dx_i(k)|$,

$M=\min_j \min_k |Dx_0(k)-Dx_i(k)|$, ξ 为分辨系数。

记 $\gamma(X_0,X_i)$ 表示 X_i 对 X_0 的灰色关联度,即相关序列对特征序列的灰色关联度,公式为:

$$\gamma(X_0,X_i)=\frac{1}{n}\sum_{k=1}^n \gamma(Dx_0(k),Dx_i(k)) \quad (5)$$

最后可以根据计算出的每个相关序列的灰色关联度 $\gamma(X_0,X_i)$ 按大小进行排列得到灰色关联序列。

1.2 指标的选取及数据来源说明

利用灰色关联分析研究厦门市房价影响因素,选择厦门市房价作为特征序列,度量指标为厦门市住宅商品房平均销售价格,用 Y 表示。主要从宏观经济因素、房地产成本因素、以及住房需求市场因素方面,对影响住房销售价格的诸多因素进行分析,作为比较数列,参考文献[16-18]选择如下影响因素进行研究,具体说明如下(具体测度由表1所示):

1. 地区人均生产总值。地区人均生产总值是指在一定时期内,一个地区的经济中所能生产出的全部最终产品和劳务的价值总和。地区人均生产总值的增长带动了人民生活水平的改善。随着经济水平的提高,居民对住宅需求增加,使得房价上涨。

2. 五年以上银行贷款利率。银行贷款利率是指借款期限内利息数额与本金额的比例,它是影响一国经济发展的重要因素。我国银行利率总体呈下降趋势,促进贷款买房,在一定程度上促进房地产价格上涨。

3. 城乡居民储蓄。城乡居民储蓄是银行存款的一种,专门吸收居民的节余货币收入。居民买房前必然

先进行必要的储蓄,房价越高,需要的储蓄越多,银行利用居民的存款贷款给房地产开发商做投资,开发商利用土地升值,提高房价。

4. 城镇居民家庭人均可支配收入。城镇居民人均可支配收入是指反映全国居民家庭全部现金收入能用于安排家庭日常生活的那部分收入。包括住房公积金,居民使用这笔资金购买房屋,影响房价的变动。

5. 竣工造价。成本因素主要受竣工造价的影响,随着建材价格的上涨,住宅商品房开发中的原材料和施工费用也随之提高。房地产的竣工造价越大,使住宅商品房的价格越高。

6. 房地产开发投资额。房地产开发投资是以货币形式表现房地产开发企业在一定时期内进行房屋建设,反映报告期内房地产开发经营企业在房屋建设工程、土地开发工程的实际投入。房地产开发投资越多,对房价的影响也就越大。

7. 住宅商品房平均销售价格面积。住宅商品房平均销售价格面积是指报告期内出售新建商品房屋的销售面积。由现房销售建筑面积和期房销售建筑面积两部分组成。销售面积越多,促进房价进一步增长。

8. 城镇居民家庭人均消费性支出。城镇居民家庭人均消费性支出是指城镇居民在购买商品和劳务活动两方面的支出。目前,城镇居民在购房方面的支出占城镇居民家庭人均消费性支出的比重最大。城镇居民家庭人均消费性支出对房价也有较大的影响。

9. 社会因素主要是受年平均总人口的影响,我国家庭人口规模趋向小型化,城市家庭平均人口数下降,以三口之家为核心,家庭单位数增多,这在很大程度上导致了人们对房地产需求的增加,使房地产价格有了上升的趋势。

以上变量所用的数据主要来源于国信房地产信息网、国统大数据、中国房地产数据研究院、国家统计局网站、厦门市统计局网站、安居客网站、房天下网站等,鉴于数据的可获得性和完备性,选取年份为 2000—2016 年 17 年间的年度数据,见表 2。

表 1 影响因素及其度量指标

Table 1 Influencing factors and their measurement indexes

影响因素	符号设定	度量指标
宏观经济	X_1	厦门市地区人均生产总值
	X_2	五年以上银行贷款利率
	X_3	城乡居民储蓄
	X_4	城镇居民家庭人均可支配收入
房地产成本	X_5	房地产开发投资额
	X_6	竣工造价
	X_7	住宅商品房平均销售价格面积
住房需求	X_8	城镇居民家庭人均消费性支出
	X_9	年末平均总人口

2 厦门市房价波动影响因素的实证分析

2.1 灰色关联分析计算过程

为了消除不同指标数据之间量纲不同的不良干扰,将所获得的 2000—2016 年 17 年间厦门市住宅商品房平均销售价格及影响房价的各因素质变的原始

表 2 影响厦门房价的因素数据汇总表

Table 2 Summary table of the data that effects Xiamen house price

年份	住宅商品房平均销售价格(元/平方米)	五年以上地区人均银行贷款生产利率(%)	地区人均生产总值(元/人)	城镇居民家庭人均消费性支出(元/人)	城镇居民家庭人均可支配收入(元/人)	城乡居民储蓄(万元)	竣工造价(元/平方米)	房地产开发投资额(万元)	住宅商品房销售面积(平方米)	年平均总人口(人)
2000	2 504.70	4.14	38 021	9 047	10 813	2 184 618	1 289.13	621 211	2 130 773	1 312 670
2001	2 558.99	4.59	41 111	8 490	11 365	2 622 327	1 174.53	566 315	2 153 073	1 328 135
2002	2 595.10	4.05	47 270	8 504	11 768	3 199 373	1 143.55	623 326	1 867 448	1 357 594
2003	3 137.19	4.05	53 586	9 459	12 915	3 971 559	1 303.87	792 737	2 171 255	1 394 584
2004	3 768.46	4.23	60 178	10 739	14 443	4 646 889	1 383.12	914 610	2 550 452	1 442 655
2005	4 744.01	4.41	65 697	11 849	16 403	5 850 735	1 318.79	1 140 742	2 723 155	1 499 950
2006	6 600.73	4.59	72 827	14 162	18 513	6 808 196	1 389.75	2 139 308	3 173 860	1 568 003
2007	8 907.02	4.77	82 988	16 380	21 503	7 399 980	1 231.95	3 457 362	3 695 570	1 638 097
2008	8 940.50	5.04	89 827	17 117	23 948	9 294 447	1 407.45	3 270 160	1 502 053	1 704 533
2009	8 935.13	4.05	98 150	17 990	26 131	11 580 996	1 417.18	2 945 940	4 013 036	1 753 347
2010	11 589.65	4.30	114 318	19 961	29 253	13 467 201	1 495.71	3 961 254	2 386 830	1 786 022
2011	13 426.27	4.50	137 064	22 314	33 565	14 983 667	1 665.67	4 381 217	2 721 301	1 827 353
2012	12 953.38	4.70	147 453	24 922	37 576	16 801 926	1 667.96	5 188 791	4 802 694	1 880 915
2013	14 551.12	4.50	153 374	26 864	41 360	19 002 981	3 164.16	5 318 029	5 815 237	1 938 512
2014	17 777.59	4.25	163 587	27 402	39 625	19 720 201	2 726.09	7 040 636	5 103 704	2 001 117
2015	18 928.07	4.00	167 204	28 929	42 607	20 502 746	3 312.97	7 740 727	3 458 945	2 072 929
2016	25 250.59	3.25	175 321	30 867	46 254	21 720 007	2 553.99	7 657 970	3 223 391	2 158 477

年度数据进行无量纲化处理,结果见表3所示。根据上面关于灰色关联分析介绍所述,利用MATLAB编程计算可得 $m=0.001\ 13$, $M=1.815\ 31$,同时取 $\xi=0.5^{[14]}$,获得特征序列和相关序列的灰色关联系数见表4。利

用式(5)可以得到灰色关联度见表5,可知灰色关联度大到小为:城乡居民储蓄、房地产商投资、经济增长水平、收入水平、消费水平、建筑成本、人口数量、平均销售价格面积、银行贷款利率。

表3 各指标变量值无量纲处理结果

Table3 Dimensionless processing results of the data of each indicator variable

年份	住宅商品房 平均销售 价格 (元/平方米)	五年以上银 行贷款 利率(%)	地区人均 生产总值 (元/人)	城镇居 民家庭 人均 消费性 支出 (元/人)	城镇居 民家庭 人均 可支配 收入 (元/人)	城乡居 民 储蓄 (万元)	竣工造 价 (元/平方米)	房地 产开 发 投资 额 (万 元)	住宅商 品房 销售 面积 (平方米)	年平 均 总 人 口 (人)
2000	0.254 7	0.958 6	0.378 4	0.504 3	0.419 6	0.202 1	0.739 2	0.182 8	0.677 2	0.778 5
2001	0.260 2	1.062 8	0.409 2	0.473 2	0.441 1	0.242 6	0.673 5	0.166 7	0.684 2	0.787 7
2002	0.263 9	0.937 8	0.470 5	0.474 0	0.456 7	0.296 0	0.655 8	0.183 5	0.593 5	0.805 1
2003	0.319 0	0.937 8	0.533 4	0.527 2	0.501 2	0.367 4	0.747 7	0.233 3	0.690 0	0.827 1
2004	0.383 2	0.979 4	0.599 0	0.598 6	0.560 5	0.429 9	0.793 1	0.269 2	0.810 5	0.855 6
2005	0.482 4	1.021 1	0.653 9	0.660 4	0.636 6	0.541 3	0.756 2	0.335 7	0.865 4	0.889 6
2006	0.671 3	1.062 8	0.724 9	0.789 4	0.718 5	0.629 8	0.796 9	0.629 6	1.008 7	0.929 9
2007	0.905 8	1.104 5	0.826 0	0.913 0	0.834 5	0.684 6	0.706 4	1.017 6	1.174 5	0.971 5
2008	0.909 2	1.167 0	0.894 1	0.954 1	0.929 4	0.859 9	0.807 1	0.962 5	0.477 4	1.010 9
2009	0.908 6	0.937 8	0.976 9	1.002 7	1.014 1	1.071 4	0.812 7	0.867 0	1.275 3	1.039 8
2010	1.178 6	0.995 6	1.137 8	1.112 6	1.135 3	1.245 9	0.857 7	1.165 9	0.758 5	1.059 2
2011	1.365 4	1.042 0	1.364 2	1.243 7	1.302 6	1.386 2	0.955 2	1.289 5	0.864 8	1.083 7
2012	1.317 3	1.088 3	1.467 6	1.389 1	1.458 3	1.554 4	0.956 5	1.527 2	1.526 3	1.115 5
2013	1.479 8	1.042 0	1.526 6	1.497 4	1.605 1	1.758 0	1.814 4	1.565 2	1.848 1	1.149 7
2014	1.807 9	0.984 1	1.628 2	1.527 3	1.537 8	1.824 4	1.563 2	2.072 2	1.622 0	1.186 8
2015	1.924 9	0.926 2	1.664 2	1.612 5	1.653 5	1.896 8	1.899 8	2.278 2	1.099 3	1.229 4
2016	2.567 8	0.752 5	1.745 0	1.720 5	1.795 1	2.009 4	1.464 5	2.253 9	1.024 4	1.280 1

表4 2000—2016年厦门市房价各因素灰色关联系数值

Table 4 Grey relation values of Xiamen city housing price factors from 2000 to 2016

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
γ_{01}	0.881 1	0.8600	0.815 6	0.809 9	0.808 9	0.842 1	0.945 4	0.920 3	0.984 8	0.931 1	0.958 1	0.999 9	0.859	0.952 1	0.835 7	0.777 8	0.525 2
γ_{02}	0.563 9	0.531 4	0.574 6	0.595 3	0.604 3	0.628 3	0.699 5	0.821 4	0.779 7	0.970 0	0.833 2	0.738 2	0.7995	0.675 4	0.524 8	0.476 7	0.333 7
γ_{03}	0.946 4	0.982 2	0.967	0.950 5	0.952 2	0.940 2	0.957 4	0.805	0.949 6	0.848 9	0.932 1	0.978 8	0.7938	0.766 3	0.983 3	0.971 1	0.619 9
γ_{04}	0.847 3	0.834 8	0.825 8	0.833 8	0.837 6	0.855 8	0.951 7	0.928 3	0.979 4	0.897 0	0.955 6	0.936 4	0.8666	0.879 8	0.771 6	0.770 7	0.540 8
γ_{05}	0.927 7	0.907 7	0.919 7	0.914 8	0.889 5	0.861 9	0.957 2	0.891 4	0.945 7	0.957 3	0.987 4	0.923 9	0.8132	0.915 1	0.775 4	0.720 7	0.743 9
γ_{06}	0.652 8	0.688 0	0.699 3	0.680 0	0.689 7	0.769 2	0.879 5	0.820 9	0.900 0	0.905 5	0.739 7	0.689 6	0.7164	0.731 5	0.788 6	0.974 3	0.451 9
γ_{07}	0.683 2	0.682 4	0.734 5	0.710 7	0.680 7	0.704 1	0.729 9	0.772 5	0.678 5	0.713 1	0.684 4	0.645 3	0.8138	0.712 2	0.831 0	0.524 3	0.370 8
γ_{08}	0.785 3	0.810 9	0.813	0.814 4	0.809 2	0.837 1	0.885 9	0.993 3	0.954 0	0.907 2	0.933 3	0.882 8	0.9278	0.982 2	0.764 8	0.744 8	0.517 8
γ_{09}	0.258 9	0.633 2	0.627 2	0.641 9	0.658 5	0.691 1	0.779 2	0.933 6	0.900 3	0.874 8	0.884 8	0.764 1	0.8191	0.734 2	0.594 4	0.566 9	0.413 9

注:表示房价对各影响因素的关联系数。

表5 住宅商品房平均销售价格与各影响因素的灰色关联度变量

Table 5 The grey relational variable between the average sale price of residential commodity housing and the influencing factors

变量	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
γ_i	0.865 1	0.655 9	0.902 6	0.853 7	0.885 4	0.751 6	0.686 6	0.844 9	0.692 7
排名	3	9	1	4	2	6	8	5	7

注:表示第项因素对房价的关联度

2.2 实证结果分析

由上述灰色关联度比较可以发现:各影响因素与住宅商品房平均销售价格之间的关联度在0.655 9到0.902 6之间,关联度数值比较大,说明所选的因素对厦门市房地产价格的影响较大,具有较强的关联关系。其中,城乡居民储蓄、房地产开发投资额、地区人均生产总值、城镇居民家庭人均可支配收入和城镇居民家庭人均消费性支出是影响厦门市房价的主要因素。

第一,影响厦门市房价最大的因素是储蓄情况,其对房价的关联度是0.902 7,说明银行利用居民存款借贷给房地产开发商,居民的存款越多,开发商借贷的资金越多,并且交付银行的利息越多,开发商为了回笼资金和赢得更多的利润使得房价上涨。

第二,房地产投资对房价的关联度是0.885 5,是影响房价的次要因素,说明开发商为了不亏损而且尽最大可能盈利的情况下,房地产开发投资金额越多,房地产价格越高。

第三,经济增长率对房价的关联度是0.865 2,说明厦门市发达的经济使得房价较多依赖于该地区的经济发展水平,经济发展速度越快,房价随之增长的速度也加快。

第四,收入水平与消费水平分别以是0.853 8和0.845 0的关联度影响房价,说明随着厦门市经济的良好发展,居民收入水平得到改善和提高,居民为了居住环境改善,居民对购买房子的消费支出占总支出的比重增大,增加商品房的需求,使得房地产呈现供货紧缺的状态,使得房价继续保持着上涨的趋势。

3 结论及政策建议

3.1 实证结论

从实证结果可以看出,宏观经济环境、房地产成本、住房需求这三个因素对厦门市地区商品房价格的

持续上升有着显著的影响。

高房价和高储蓄是我国令人关注的两大经济现象,其中一个基本思路是:居民买房前必然先进行必要的储蓄,房价越高,需要的储蓄越多,如Matthieu等^[9]利用中国6 000个年轻家庭的微观数据进行实证研究,发现:房价的上涨会引起储蓄率的上升,两者之间可能具有是非线性关系。另一个基本思路是:居民为了买房而准备的高储蓄,让房地产商增加了向银行的贷款,得到了资金的支持,利用土地升值,使得房价上涨,如双琰^[20]利用1994—2008年城乡储蓄与国内商品房平均价格两组时间序列数据进行格兰杰因果检验,实证结果表明:居民储蓄对房价上涨具有影响。显然,厦门市的高房价受到居民储蓄较大的影响。

厦门市房地产商投资对于房价的影响次于储蓄,房地产商通过不断增加投资额,拥有较多的可运转资金,从而增加对房屋的建造,住房供给量增加,相对价格下降。同时,经济发展水平、居民的可支配收入与消费三者以差距不大的关联度影响着厦门市的房价。自2000年中国加入世贸组织,厦门作为我国的经济特区之一,其经济得到了快速的发展,良好的经济水平带动了居民的收入和支出,提高了人民的生活水平。购买住房除了是必要的生活保障,同时也变成了居民投资的一种手段,在很大程度上增加了住房的需求量,也引起房价的上涨。从不断增加的房价可以看出,市场上对于住房的需求大于供给,因此引起房价的上涨。

从经济学角度理解,建筑成本是影响房价的重要因素,可见厦门市高房价的影响还是以成本来衡量售价的模式。为大多数学者所认同的是,利率政策是调整宏观经济的重要手段。面对中国的高房价的社会现象,紧缩的货币政策即加息有助于房地产价格的上涨,能够挤出房地产泡沫,使房价恢复理性。银行贷款利率理论上能够引发房价的下降,但是面对诸如通货膨胀率的不断增长、购房者财产增值和保值的心理预期等因

素,银行贷款利率的调整对于厦门市房价的影响不大。

3.2 政策建议

2017年以来,厦门市房价增长速度有所放缓,基于上面五个主要因素的影响,厦门市房价在短期内不会出现较大的波动。通过调整利率的货币政策对厦门市房价的调控作用虽能够起到抑制厦门市商品房价的上升幅度,但是长期发展中房价上涨的趋势可能还是无法避免。面对高房价问题,仅仅依靠市场的手段显然是行不通的。政府部门要加强规范房地产市场的投资行为,严厉打击投机性投资行为,限购限贷限售,加强对房地产价格的控制。同时,增加经济适用房的供应、提供政府廉租房、限制商品房投机行为、抑制房地产商的暴利等,有效地控制房价的异常增长。

参考文献:

- [1] Jud G D, Winkler D T. The Dynamics of Metropolitan Housing Prices [J]. *Journal of Real Estate Research*,2002(23):29-46.
- [2] Chambers M, Garriga C. Accounting for Changes in the Home Ownership Rate [J].*Computing in Economics and Finance*,2005(2):304-306.
- [3] Duca JV, Murphy A. House Prices and Credit Constraints: Making Sense of the US Experience [J]. *Economic Journal*, 2011(552):551-553.
- [4] Ambrose BW, Lindenthal T. House Prices and Fundamentals [J]. *Journal of Money Credit and Banking*,2013(2-3): 477-491.
- [5] 李华杰,武继灵.基于BP神经网络的厦门市房价预测[J].*山西广播电视大学学报*,2011(1):102-104.
- [6] 黄嘉仪,张小洪.基于灰色-马尔可夫模型的厦门市房价预测[J].*福建建筑*,2012(1):104-106.
- [7] 高慧玲.厦门市商品住宅价格影响因素分析及预测[D].哈尔滨:东北农业大学,2012.
- [8] 胡勤勤.房价与地价关系的再认识:基于厦门市2002-2008年统计数据的实证分析[J].*当代经济*,2009(16):10-12.
- [9] 陈晓川,杨海艳.厦门市房价与地价关系的实证分析[J].*长春理工大学学报(社会科学版)*,2013(11):96-99.
- [10] 谢清凡.福泉厦住宅市场价格泡沫程度实证研究[D].泉州:华侨大学,2014.
- [11] 郭金锻.基于时间维度的厦门市商品住宅房价与地价的关系分析[D].福州:福建农林大学,2015.
- [12] 何浪.公共设施可达性对住宅价格的影响研究[D].厦门:厦门大学,2014.
- [13] 王子骏,初松峰.基于GIS视角下城市中学对房价的影响分析:以厦门市为例[J].*中外建筑*,2016(5):55-57.
- [14] 刘思峰.灰色系统理论及其应用(第5版)[M].北京:科学出版社,2010.
- [15] 丁凤.房地产价格影响因素及预测研究[D].合肥:安徽财经大学,2014.
- [16] 樊俊杰.中国银行贷款与房地产价格关系研究[D].北京:北京交通大学,2010.
- [17] 谢真真.房地产开发交易成本及其对房价的影响作用研究[D].北京:北京交通大学,2014.
- [18] 周艳慧.我国房地产价格影响因素研究[D].郑州:郑州大学,2015.
- [19] M Bussière, Y Kalantzis, R Lafarguette, T Sicular. Understanding household savings in China: the role of the housing market and borrowing constraints [J]. *Mpra Paper*, 2013(27):1-40.
- [20] 双琰.刍议居民储蓄与房价的关系[J].*商业时代*,2011(6): 52-53+79.

(责任编辑:叶丽娜)

Research on the Influential Factors of Housing Prices Fluctuation in Xiamen Based on Grey Correlation Analysis: Based the Data from 2000 to 2016

CHEN Ying, GE Yingqi

(School of Mathematics and Computer, Wuyi University, Wuyishan, Fujian 354300)

Abstract: Research on the factors that cause the fluctuation of house price, this provides an important basis for city house price management. Based on grey relational analysis, the paper studies the price of Xiamen. The results find that macroeconomic environment, real estate cost and housing demand have a significant impact on the sustained rise of commercial housing prices in Xiamen. The main factors affecting the house prices in Xiamen are urban and rural savings, investment in real estate development, GDP, per capita disposable income of urban households and per capita consumption expenditure of urban households.

Key words: grey correlation analysis; housing prices; influence factor

图书馆服务质量评估的文献计量学研究

卢佳青

(三明学院 逸夫图书馆, 福建 三明 365000)

摘 要:文章梳理图书馆服务质量评估的发展历程,利用 CNKI 中国知网和万方数据知识服务平台的数据资源,对近十年图书馆服务质量评估方面的论文进行统计,采用文献计量方法,对国内学术发展趋势、期刊发文情况、期刊关键词、高被引论文情况、发文量较高的作者和研究机构方面进行分析和总结,并根据分析结果对图书馆服务质量评价体系的构建提出了一些建议,以期为图书馆服务质量评估和服务质量改进提供借鉴。

关键词:图书馆;服务质量;评价方法

中图分类号:G353.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-2109(2018)12-0028-06

随着大数据时代的形成和“互联网+”的发展,数字化、网络化的信息技术将传统图书馆推上了改革、转型、发展的风口浪尖。图书馆在资源形态和服务方式上都有了新的发展,馆藏资源借还服务由人工操作发展到自助借还,RFID 技术的发展使图书馆自动化管理更进一步,数字参考咨询服务由参加全球合作数字参考咨询项目 QuestionPoint 发展到建设并加入本土化协作体系 CVRS,虚拟参考咨询服务更是促进各院校间图书馆的合作,为读者提供不受时间、空间限制的咨询服务。时代的发展与科技的进步,都对图书馆服务质量提出了更高的要求,图书馆迫切需要对新的服务内容和手段进行评估,以促进服务的不断进步与完善。

1 图书馆服务质量评估的发展历程

我国图书馆服务质量评估是从上世纪 80 年代中期开始,30 年来,图书馆评估工作从无到有,走过了从个别院校试行、部分省际图书馆全面评估、部分地区或全国范围的省际各种单项评估、建立全国统一标准

的评估指标这样一条不断变化的道路^[1]。各个阶段的图书馆服务质量评估内容、模式和方法等方面都有其独有的特质。

在图书馆服务质量评估方法方面,图书馆人进行了以下探索:胡秀梅^[2]借鉴 SERVQUAL 工具的思想,通过差异性显著性检验方法对图书馆服务质量进行实证研究;董丽等^[3]使用 LibQUAL+TM 评价体系进行对高校图书馆服务质量评价方法的实证研究;马鹏等^[4]在 LibQUAL+TM 的基础上加入差距模型的构建,据此建立适用于公共图书馆服务质量评价的本土化指标体系;焦秋阳等^[5]针对满意度较低的图书馆,提出引入六西格玛理论并设计六西格玛在图书馆实行的步骤图;王荣祥^[6]提出基于 QFD 的图书馆服务质量评估方法;于良芝等^[7]探索分析 SERVQUAL 在我国高等学校图书馆的适用性,得出其收集的用户意见高度分散,质量测度信度较高但内容效度不足的结论;赵青^[8]将 SERVQUAL 模型使用在了对楚雄彝族自治州楚雄师范学院图书馆的服务质量的评价中,指出评价时使用合适的陈述项的重要性;朱天慧^[9]借鉴 LibQUAL+TM 模型,将质量功能展开(QFD)和灰色相关分析(GRA)模式引入高校图书馆服务质量评估中,将定性与定量结合起来。Cook C 等^[10]使用 LibQUAL+TM 评价体系对用户图书馆服务质量的看法做出定性研究;凌云飞研究了北卡罗莱纳州立大学格林斯巴勒分校 Secret Shopping 调查项目,并揭示项目对高校图书馆服务质量评

收稿日期:2017-06-15

基金项目:2015 年三明学院高等教育研究课题(SUHE1519);
2017 年福建省中青年教育科研项目(JZ170341)。

作者简介:卢佳青(1988-),女,汉族,馆员,主要从事参考
咨询研究。

估的启迪与意义;林绮^[12]研究了威尔士公共图书馆服务质量评估 MysteryShopping 项目,揭示该项目对国内公共图书馆服务质量评估的启示。在图书馆服务质量评估指标建立方面,施洲洋^[13]使用标杆分析与 ISO11620 图书馆绩效评估标准作为评估指标;沈剑^[14]结合美国 TexasA&M 大学图书馆进行服务质量评估的实例,探索将焦点团体法引入 SERVQUAL 的评估指标拟定的可行性;刘锦源^[15]提出建立图书馆服务质量量表,利用探索性和验证性两种因子分析法先后对该量表进行规范的实证研究,获得由馆员服务、资源获取、馆藏资源和图书馆环境四大指标构成的服务质量指标体系。

2 近十年图书馆服务质量评估的特点分析

本文通过文献计量方法,利用 CNKI 中国知网和万方知识服务平台的数据资源,对 2008—2017 年关于图书馆服务质量评价方面的论文进行统计分析,研究该领域的学术发展趋势、研究方向、学术成果,探索对图书馆服务质量评价的有效方式方法和具体指标。

2.1 学术发展趋势分析

由近十年国内图书馆服务质量评价研究的发文统计数据可以看出,关于图书馆服务质量评价的研究成果,期刊论文 687 篇,学位论文 95 篇,会议论文 15 篇,期刊论文占发文总量的 84%,其次是学位论文,占发文总量的 13.8%,最后是会议论文占比 2.2%。

表 1 近十年国内图书馆服务质量评价研究发文综合情况

Table 1 Research on the evaluation of the service quality of domestic libraries in the past ten years

年度	期刊论文	学位论文	会议论文	总发文量
2008	58	12	5	75
2009	58	5	2	65
2010	62	18	4	84
2011	64	14	1	79
2012	69	6	2	77
2013	64	12	0	76
2014	72	6	1	79
2015	50	8	0	58
2016	38	4	0	42
2017	42	10	0	52
合计	577	95	15	687

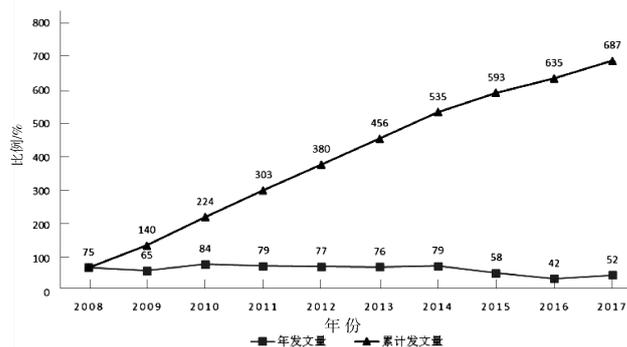


图 1 “图书馆服务质量评价”学术关注趋势图

Figure 1 "Library Service Quality Evaluation" trend of academic attention

某一领域的学术关注度和研究趋势,在一定程度上可以通过对年发文量和累计发文量的进一步研究反映出来。2008—2014 年期间,每年关于图书馆服务质量评价研究的论文数量基本相当,年发文量总体较为平稳,在 2015 和 2016 年呈下降趋势,在 2017 年又有所回升。从累计发文量来看,2008 年至 2017 年的累计发文量总体呈直线上升态势,在 2008—2014 年间曲线斜率基本不变,2014—2016 年的斜率较为平缓,2016—2017 年斜率有所增加。对比前 10 年该领域的发文总量,2008—2017 年的发文总量是 1998—2007 年的 5.5 倍(1998—2007 年的发文总量为 124 篇),这说明自我国图书馆服务质量评价研究起步以来,该研究始终处于不断发展进步中,按照整体趋势的走向分析,笔者认为现阶段的发文量小幅上升或下降都是由于该领域的研究正处于瓶颈阶段,其进一步的发展需要经过一定的时间积淀,一旦突破目前的瓶颈,该领域的研究必然会有长足的发展。

2.2 发文量较高的期刊统计分析

统计分析某一领域发文较多的期刊,可以明确哪些刊物更容易接纳该领域的论文,便于研究人员根据这一结果有针对性地查找相关文献。另一方面,论文发表在何种期刊上,可以显示出该领域当前的论文水平和研究深度。核心期刊是在期刊中比较被学术领域认可的、发文质量较高的刊物,对核心期刊所刊载的文献进行统计分析,可便于研究人员清晰该领域的研究程度。

如图 2 所示,从发文数量上来看,近十年刊载图书馆服务质量评价方面论文数量前三的期刊分别是

《图书情报工作》(55篇)、《科技情报开发与经济》(37篇)、《现代情报》(33篇)。

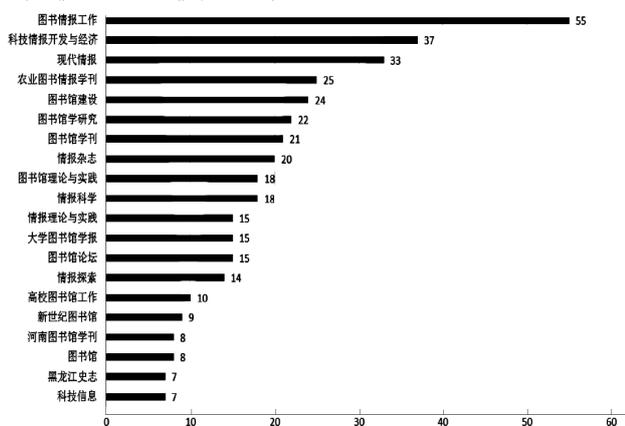


图2 发文量较高的期刊统计

Figure 2 Statistics of journals with a higher volume of articles

从发文量较高的期刊的质量来看,核心期刊占据半壁江山,可见图书馆服务质量评价研究的发文质量整体水平较高。从不同核心期刊分布比例上看,北大核心期刊占比37%,略高于占比32%的南大核心期刊,社科院核心期刊占比26%,中科院核心刊和中心所核心刊分别占比2%。从核心期刊的发文数量来看,《图书情报工作》收录图书馆服务质量评价研究方面的文献最多,以55篇的发文数量占该领域期刊总发文量的8%;《现代情报》以33篇的该类文献收录量位居第二,占该领域期刊总发文量的4.8%;《图书馆建设》收录该类文献24篇,占该领域期刊总发文量的3.5%。《图书情报工作》、《现代情报》、《图书馆建设》和《图书馆学研究》这四种期刊近十年的发文量均占核心期刊发文量的8%以上,是核心期刊中对图书馆服务质量评价方面研究采纳度较高的期刊。

2.3 期刊关键词分析

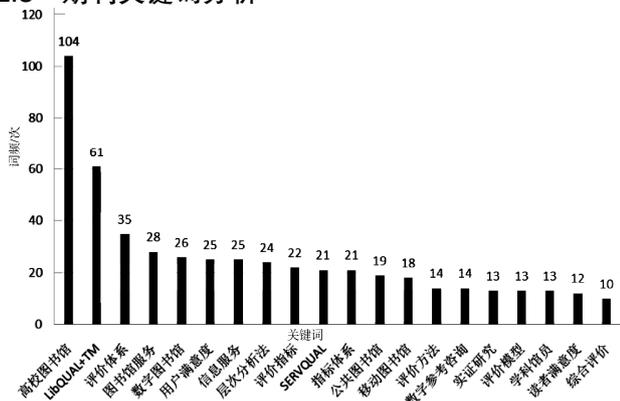


图3 期刊关键词分析

Figure 3 Keyword analysis

通过对期刊关键词的统计分析,有助于了解图书馆服务质量评价研究的热点走向,对进一步研究该领域的发展现状和未来趋势的预判具有重要意义。笔者认为,对期刊关键词的分析应分为两个部分,一个部分是对该研究领域的固有关键词进行分析,例如图书馆服务质量评价研究的固有关键词有:“服务质量”(词频160次)、“图书馆”(词频121次)、“服务质量评价”(词频79次)、“质量评价”(词频48次)、“评价”(词频28次)、“图书馆服务质量”(词频19次)等;另一部分是对除去该领域固有主题词后其他主题词的分析。对非固定主题词进行分析有助于发现该领域目前的研究手段、研究主体、研究方向与脉络以及研究目标等。

根据以上统计结果进行分析可知:从2008年至2017年,关于图书馆服务质量评价的工作一直都在不断探索中,从研究主体方面来看,相较于公共图书馆,高校图书馆是研究图书馆服务质量评价的主要阵地。从研究方式方法上看,注重采用评价模型来进行研究,主要采用LIBQUAL+TM、SERVQUAL、层次分析法、综合评价等评价方法进行研究,图书馆服务质量评价更为关注用户满意度,主要采用问卷调查的方式获取读者的真实感受。针对数字图书馆、移动图书馆、数字参考咨询、学科服务等方面进行实证研究,并尝试建立行之有效的图书馆服务质量评价指标体系。

2.4 高被引论文分析

对高被引论文进行分析,是由于高被引论文是被引用频次相对较高的学术论文,其被引频次能够较为直接客观反映该论文在某一领域的影响力,以及在学术交流中的作用和地位^[6],有助于掌握这一研究领域的发展现状和研究热点。统计显示,图书馆服务质量评价研究领域被引次数排前10的文献(见表2)均来源于核心期刊,值得注意的是,被引频次前3的文献,都来源于《中国图书馆学报》,但在之前的近十年发文较多期刊统计中,《中国图书馆学报》关于图书馆服务质量评价研究方面的文献仅为4篇,可见《中国图书馆学报》在该领域的文献质量水平较高,值得学者和该领域研究人员关注。

表 2 高被引论文统计

Table 2 Analysis of highly cited papers

论文题名	作者	期刊名称	被引次数	发表时间
国际图书馆服务质量评价:绩效评估与成效评估两大体系的形成与发展	张红霞	中国图书馆学报	97	2009
图书馆服务质量评价研究回顾与展望	施国洪 王治敏	中国图书馆学报	68	2009
我国图书馆服务质量测评量表构建及实证研究	施国洪 岳江君 陈敬贤	中国图书馆学报	50	2010
国外学术图书馆服务能力评价体系研究	吴娱 吴英梅 王琼	大学图书馆学报	37	2009
论 LibQual 作为图书馆服务质量评价工具的局限性	史继红	情报科学	34	2008
基于多维度多层次法的数字图书馆移动服务质量评价模型构建	赵杨	情报理论与实践	33	2014
ClimateQUALTM 图书馆服务质量评价新体系	包平 周丽	大学图书馆学报	33	2010
LibQUAL +TM—图书馆服务质量评价研究综述	曾照云	情报杂志	32	2009
1999—2008 年我国图书馆评估研究述评——对图书馆评估研究论文的计量分析	金胜男 贾东琴	中国图书馆学报	30	2010
图书馆服务质量评价指标体系研究	范小华 袁勇智 李启仁	图书馆建设	27	2009

就论文内容来看,主要分为以下三个方面:一是注重国外图书馆服务质量评价发展的研究。梳理了国际图书馆界在服务质量评价中,绩效评估和成效评估两大体系的形成和发展,认为二者皆是图书馆服务质量评价不可或缺的重要组成部分,并且国际图书馆界对图书馆的服务质量评价重心已经从绩效评估转移向成效评估^[17],对西方图书馆针对学术图书馆服务能力的 6 种评价指标体系进行研究,认为图书馆评价模式正由以测度图书馆内部工作业绩和服务效能为目的转移到以测度图书馆用户对图书馆服务满意程度为目的^[18]。二是注重评价模型的应用实证研究。对 SERVQUAL、LIBQUAL +TM、ClimateQUALTM 模型的引入、应用、修正等方面进行探讨,比较各个评价模型的量表指标差异^[19-20];针对模型的跨文化适用性,构建“中国化”的图书馆服务质量测评量表^[21];针对

LIBQUAL 模型作为评价工具的局限性,提出评价方法多元化互补,从不同角度评价图书馆服务水平^[22];采用多维度多层次方法,构建数字图书馆移动服务质量评价模型^[23]。三是,对国内外各类图书馆服务质量评价体系进行研究分析,尝试建立基于系统分析的图书馆服务质量评价体系^[24]。

2.5 作者和研究机构分析

2.5.1 发文量较多的作者统计分析

据统计结果可知,发文量最多的作者依次为江苏大学施国洪发文 (11 篇), 南京农业大学郑德俊 (7 篇), 山西大学齐向华、南通大学陈敬贤、南京邮电大学阚德涛发文量均为 5 篇,这 5 位作者近十年内在该领域的发文总量均 ≥ 5 篇,为该领域发文量较多的作者,并且发文量较多的作者全部来自高校,表明高校对图书馆服务质量评价的研究关注度更高,公共图书馆等其他机构对该领域的关注度相对不足。

2.5.2 发文量较高的研究机构统计分析

调查显示,发文量较多的 20 所机构中,有 5 所“211”、“985”院校:吉林大学、清华大学、西北工业大学、西北农林科技大学、武汉大学,1 所“211”院校——苏州大学,其余 14 所院校均为非“211”、“985”。在这 20 所机构中,江苏大学关于图书馆服务质量评价的发文数量最为突出,西安科技大学、吉林大学、河南工业大学等院校次之(图 4)。

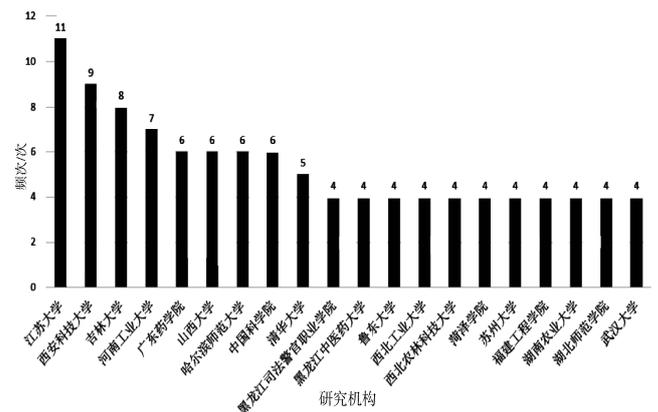


图 4 发文量较高的研究机构

Figure 4 Higher-rate research institutions

按地域分布来看,对发文量较高的研究机构分布不均,以华东地区院校居多,有 5 所高校图书馆,接下来分别是华中、东北地区各 4 所,华北、西北地区各 3 所,西南地区则没有关于该领域发文较多的机构。

“211”“985”院校拥有雄厚的人力、物力资源,但其在图书馆服务质量评估的探索上,并未及普通高校表现出的迫切和渴望。加之各高校所处省市的发展水平有所差距,对图书馆服务质量的重视程度各有不同,致使出现图5的分布结果。由此可见,关于图书馆服务质量评估研究的程度与认可度并非只受限于各个机构自身发展水平的影响。

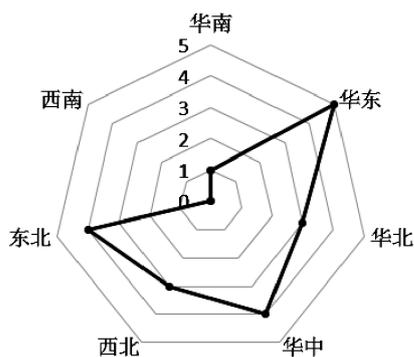


图5 发文量较高的研究机构地域分布图

Figure 5 Geographical distribution map of higher research institutions

3 优化图书馆服务质量评估的策略

通过对国内近十年图书馆服务质量评价研究的统计分析,可以看出我国关于图书馆服务质量的研究已取得了一定的成绩,但其如何突破现状,本文提出以下几方面建议:

1. 注重理论与实证相结合的研究方式。图书馆服务质量评价研究成果不应仅停留在理论的层面,应将评价方法更多地放入实践中进行检验。我国幅员辽阔,如何形成一套有效的图书馆服务质量评价体系,既能对图书馆基础性服务进行合理评价,又能根据不同地域不同类型的图书馆自身特色给出有效评价,还需要研究人员在实践中不断探索、收集反馈意见并作用于评价方法的修正上,不断完善图书馆服务质量评价的具体操作。

2. 拓宽图书馆服务质量评价的范围。时代不断发展,图书馆向用户提供馆藏文献信息资源满足用户的文献信息需求,仅依据馆藏数量来测度图书馆质量已经过时了^[29],统计显示,近些年的研究热点主要在移动图书馆、电子书、学科馆员、参考咨询等方面的服务质

量评价研究。随着用户需求不断提升,更多涉及用户切身直观感受的服务,应尽快被纳入图书馆服务质量评价体系中来,如信息传递服务质量、网络服务质量等方面的研究,以发展和创新的眼光看待图书馆服务质量评价研究。

3. 丰富研究人员群体。图书馆服务质量评价的研究阵营仍以高校图书馆为主,这说明图书馆服务质量评价还没有引起更多专业人员的重视。在信息时代,图书馆的服务方式不断转变,什么样的资源储备、网络环境、信息技术等才能有效的满足不同用户的需求,这就需要更多不同领域的研究人员参与到对图书馆服务质量评价的研究中来。

4. 完善图书馆服务质量评估体系。西方等发达国家对服务质量评价的研究起步早,可为我国图书馆服务质量评价研究提供一定参考,但我国的研究多是以大篇幅围绕国外的服务质量评价方法如 SERVQUAL 和 LIBQUAL+TM 进行介绍,缺少对评估周期的建立、评估结论信度、效度和公开度等方面的研究。合理的评估周期有利于图书馆发现自身问题,改进服务质量,强化服务理念,提升服务水平。对评估的结论进行适度公开,接受读者、各个机构的监督,能有效提升评估的公正性。

参考文献:

- [1] 王向军.高校图书馆评估 30 年回顾与展望[J].图书馆理论与实践,2010(3):67-69.
- [2] 胡秀梅,贾哲.基于差异显著性检验的图书馆服务质量评估方法探析[J].图书情报工作,2012(1):78-81.
- [3] 董丽,吴冬曼,周虹,等.基于 LibQUAL+~(TM)的图书馆服务质量评估方法研究和实践分析[J].现代图书情报技术,2006(3):76-81.
- [4] 马鹏,张伟华,张晓梅.LibQUAL+~(TM)与差距模型在公共图书馆服务质量评估中的应用扩展[J].图书馆建设,2012(10):65-69.
- [5] 焦秋阳,柴雅凌,袁宁.六西格玛理论在图书馆中的应用[J].情报科学,2008(3):427-430.
- [6] 王荣祥.基于 QFD 的图书馆服务质量评估方法研究[J].图书情报工作,2011(5):23-27.
- [7] 于良芝,王雅尊,洪秋兰.SERVQUAL 与我国高校图书馆服务质量评价:关于 SERVQUAL 适用性的定量研究[J].图书

- 情报工作,2005(6):90-94.
- [8] 赵青,宁德煌.刍议 SERVQUAL 在民族地区高校图书馆服务质量评估中的应用和改进[J].现代情报,2010(3):83-85.
- [9] 朱天慧.高校图书馆服务质量评估实证研究:基于质量功能展开和灰色相关分析[J].情报理论与实践,2013(10):77-80.
- [10] COOK C, HEATH F M. Users' perceptions of library service quality: a LibQual+ qualitative study[J]. Library Trends, 2001 (4):548-584.
- [11] 凌宇飞,周柳丽.北卡州立大学图书馆服务质量评估 Secret Shopping 项目研究[J].图书馆学研究,2014(7):97-101.
- [12] 林绮.基于 Mystery Shopping 的公共图书馆服务质量评估[J].图书馆研究,2014(2):39-41.
- [13] 施洲洋.试论图书馆服务质量评估的理论与实际[J].农业图书情报学刊,2008(12):202-204.
- [14] 沈健,陈振英.将焦点团体法引入 SERVQUAL 的可行性[J].图书情报工作,2006(8):124-127.
- [15] 刘锦源.图书馆服务质量度量:模型构建与实证研究[J].情报杂志,2009(2):151-154.
- [16] 彭年冬,谢珍暖.图书情报核心期刊高被引论文统计分析与研究[J].大学图书情报学刊,2014(4):88-93.
- [17] 张红霞.国际图书馆服务质量评价:绩效评估与成效评估
- 两大体系的形成与发展[J].中国图书馆学报,2009(1):78-85.
- [18] 王琼,吴娉,吴英梅.国外学术图书馆服务能力评价体系研究[J].大学图书馆学报,2009(2):85-90+60
- [19] 施国洪,王治敏.图书馆服务质量评价研究回顾与展望[J].中国图书馆学报,2009(5):91-98.
- [20] 包平,周丽.ClimateQUAL-(TM)图书馆服务质量评价新体系[J].大学图书馆学报,2010(5):96-100.
- [21] 施国洪,岳江君,陈敬贤.我国图书馆服务质量测评量表构建及实证研究[J].中国图书馆学报,2010(4):37-46.
- [22] 史继红.论 LibQual 作为图书馆服务质量评价工具的局限性[J].情报科学,2008(3):414-417.
- [23] 赵杨.基于多维度多层次法的数字图书馆移动服务质量评价模型构建[J].情报理论与实践,2014(4):86-91.
- [24] 范小华,袁勇智,李启仁.图书馆服务质量评价指标体系研究[J].图书馆建设,2009(8):46-50+54.
- [25] NITECKI D A. Changing the concept and measure of service quality in academic libraries[J]. The Journal of Academic Librarianship, 1996(5):181-190.

(责任编辑:苏娟娟)

Bibliometric Study of Library Service Quality Evaluation

LU Jiaqing

(Yi fu Library, Sanming University, Sanming, Fujian 365004)

Abstract: This article reviews the development history of library service quality assessment, using the data resources of CNKI and Wanfang Data Knowledge Service Platform, analyzes the statistics of the papers on library service quality assessment in recent ten years, and uses bibliometric methods to analyze and summarize domestic academic trends, periodical postings, journal keywords, high-cited papers, authors and research institution with a higher published volumes. According to the analysis results, some suggestions are put forward for the construction of library service quality evaluation system, in the hope of providing reference for library service quality assessment and service quality improvement.

Key words: library; service quality; evaluation method

以甘油为碳源生产细菌纤维素条件优化

马春华, 辜文彦, 王依静

(武夷学院 茶与食品学院, 福建 武夷山 354300)

摘要:以工业级甘油为碳源,利用木醋杆菌静态发酵将其转化成高附加价值的产品——细菌纤维素,通过不同接种量、不同甘油浓度及发酵时间对细菌纤维素合成的影响筛选发酵最佳条件,并利用傅里叶红外分析产物。研究结果表明:木醋杆菌静态发酵产物为细菌纤维素,且当接种量 6%、甘油浓度 2%、发酵时间 7 d 时,细菌纤维素合成量最高,可达 $5.4 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$;而 A4 尺寸大小细菌纤维素薄膜制备以不锈钢盆作为模具效果最好。

关键词:甘油;木醋杆菌;细菌纤维素;发酵条件

中图分类号:X172,TS201.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-2109(2018)12-0034-04

细菌纤维素(bacterial cellulose,简称 BC)是由各种类型的细菌合成的,在材料、造纸、医药及食品领域都有广泛的应用^[1-3]。与天然纤维素相比,细菌纤维素具有高持水性、高机械强度、良好生物相容性等独特性能^[4],但其发酵工艺落后、产量低、生产成本低一直是限制其应用于高附加值产品生产的瓶颈^[5]。在细菌纤维素的研究上,多集中在原料的利用、菌种的选育上^[6]及发酵条件的优化^[7]等。马霞等^[8]以酒糟浸出液发酵产细菌纤维素,研究出最优的培养基配;Cheng 等^[9]以水解玉米杆为碳源,绿色合成细菌纤维素;还有研究用豆渣制备 BC^[10]。

能够产生纤维素的微生物主要有 9 个属,但真正能够大批量生产细菌纤维素的只有醋酸菌属中的几个种,特别是醋酸菌属中的木醋杆菌,已成为生产 BC 的模式菌株^[11]。

近年来,由于能源紧缺及各国从环境保护和资源战略的角度出发,生质柴油发展迅速,甘油作为在生质柴油的炼制过程中含量最高的副产物(约为甘油量

的 10%),因生产过剩而价格下跌,开发甘油的新工业用途,意义重大。

有鉴于此,本研究利用木醋杆菌,以甘油为主要原料合成细菌纤维素,将可提升生质柴油制程中的副产品甘油的利用率,将其转化成高附加价值的产品——细菌纤维素。并开发 A4 尺寸大小的细菌纤维素,可以作为面膜裁剪原料,为细菌纤维素的开发利用开辟新的途径。

1 材料与方法

1.1 试验材料

菌种:木醋杆菌(*Acetobacter xylinum*)购自上海谷研生物;甘油,工业级,维之城化工有限公司。

1.2 试验仪器

立式压力蒸汽灭菌器(YXQ-LS-75SII)上海博讯实业有限公司医疗设备厂;恒温培养箱(DRP-9162)上海培因实验仪器有限公司;傅里叶变换红外光谱仪(Nicolet is5),Thermo Fisher。

1.3 培养基配方

斜面菌种培养基:葡萄糖 5%,蛋白胨 0.5%,酵母膏 0.5%,柠檬酸 0.1%, $\text{Na}_2\text{HPO}_4\cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 0.2%, KH_2PO_4 0.1%, $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.025%,琼脂 2%。

收稿日期:2018-08-17

基金项目:福建省教育厅(JA14316)。

作者简介:马春华(1972-),女,汉族,副教授,主要从事食品安全研究。

种子培养基:葡萄糖 2%,蛋白胨 0.5%,酵母膏 0.5%,柠檬酸 0.1%, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 0.2%, KH_2PO_4 0.1%, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.025%。

液态培养基:甘油(或葡萄糖)2%、酵母膏 0.5%,蛋白胨 0.5%,柠檬酸 0.5%, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 0.5%。

所有培养基 121 °C 灭菌 20 min。

1.4 三步发酵培养方法

1.4.1 一级种子震荡培养

取 1 环活化好的斜面种子接入 150 mL 种子培养基,充分振荡,30 °C 振荡培养 24 h。

1.4.2 二级种子扩大培养

取振荡培养后的种子培养基,以 10% 接种量接入相同体积的新种子培养基,30 °C 振荡培养 20 h。

1.4.3 静态发酵培养

取二级种子 10% 接种量接入盛有发酵培养基的培养容器中,30 °C 静置培养 7 d。

1.5 细菌纤维素的制备

按照上述发酵培养基的浓度配制液态培养基置于 250 ml 三角锥形瓶中,用矽胶塞将瓶口塞紧,灭菌。待降温降压后,无菌操作,接种种子液,充分摇动,使菌落分散均匀,于 30 °C 培养箱中静置培养,细菌纤维素膜形成后取出。A4 尺寸细菌纤维素,选用不锈钢、玻璃、塑料为材料的容器。

1.6 细菌纤维素的处理

从培养容器中取出细菌纤维素膜,用蒸馏水多次冲洗除去膜表面杂质,直至细菌纤维素膜呈白色半透明状,再用去离子水反复冲洗至中性,经冷冻干燥 36 h 后称重。纤维素产量表示为 g(纤维素/干重)/L(培养液)。

1.7 细菌纤维素鉴定

利用傅里叶红外光谱分析所得产物。

2 结果与讨论

2.1 接种量对 BC 合成的影响

按 2%、4%、6%、8%、10% 的接种量,30 °C 培养 7 d。如图 1 所示:不论是以葡萄糖或甘油为碳源,当接种量在 2%~6% 时,随着接种量的不断增加,BC 的合成逐渐增多,当接种量为 6% 时,BC 的产量最高。接种

量超 6% 以后,细菌纤维素的产量下降,相同条件下,甘油比葡萄糖合成更多的 BC。这是因为木醋杆菌为严格好氧菌,在接种量较高的情况下,木醋杆菌数量多,对氧气的需要量就大,但发酵液的溶氧条件有限,导致细菌因供氧不足影响到 BC 的合成^[12]。接种量也影响培养周期,种子溶液浓度高时,培养周期可以缩短,尤其是延迟期;当接种量太高的时候,往往会导致培养基中的底物在早期消耗过快,不利于后期细菌生长代谢产物的累积^[13]。

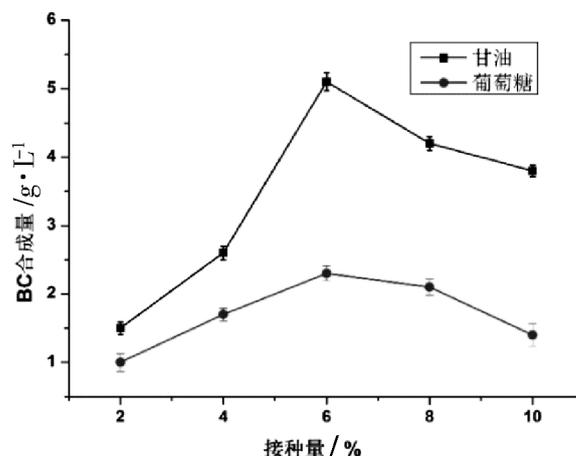


图 1 接种量对发酵的影响

Figure 1 Effect of inoculation amount on fermentation

2.2 甘油浓度对 BC 合成的影响

甘油浓度为 1%、1.5%、2%、2.5% 和 3%,接种量为 6%,30 °C 培养 7 d,甘油浓度对 BC 合成的影响如图 2 所示:当甘油浓度在 2% 时,BC 的合成量为 5.2 g · L⁻¹,继续增加甘油浓度时,产量略有下降,合成 BC 最适生产的甘油浓度为 2%。

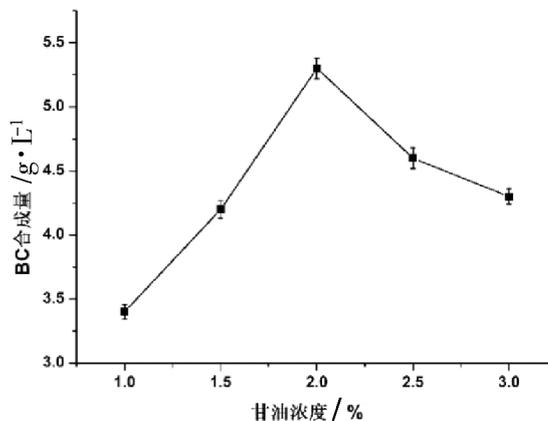


图 2 甘油的浓度对细菌纤维素产量的影响

Figure 2 Effects of concentration of glycerol on the yield of bacterial cellulose

2.3 培养时间对 BC 合成的影响

在培养温度为 30 ℃,甘油浓度为 2%,接种量为 6% 的条件下,考察 4、5、6、7、8 d,对细菌纤维素合成量的影响。结果如图 3 所示,最佳发酵时间为 7 d,吕鸿皓^[14]等木醋杆菌利用大豆糖蜜为原料生产 BC,最佳发酵时间为 6 d。

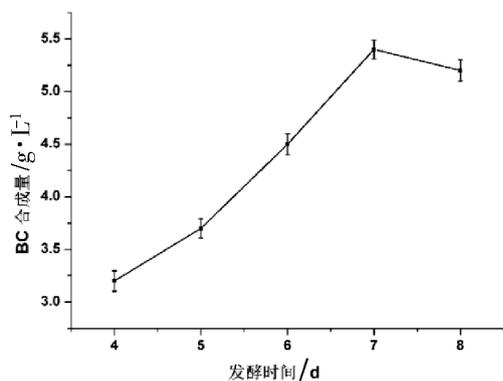


图 3 发酵时间对细菌纤维素产量的影响

Figure 3 Effects of fermentation time on cellulose production

2.4 A4 生物细菌纤维素膜的制备

2.4.1 培养模具的选择

选用不同材料的模具,进行 A4 大小 BC 膜的制备,结果如表 1 所示,以不锈钢材料的最好,BC 膜表面光滑平整,呈乳白色,如图 4,这个尺寸的 BC 膜可用作面膜材料。

表 1 不同材质培养器具对细菌纤维素外观形态的影响

Table 1 Effects of container material on the appearance of bacterial cellulose

材质	颜色	外观形态
不锈钢	米白	表面平整,较光滑
玻璃	微黄	表面有些微凹凸
塑料	土黄	表面凹凸明显

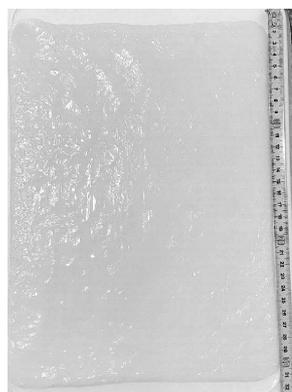


图 4 A4 大小细菌纤维素

Figure 4 A4 size of bacterial cellulose

2.5 红外光谱分析

从图 5 可以看到在 3 346 cm⁻¹ 处有一个强且宽的 -OH 振动伸缩峰,2 901 cm⁻¹ 处是 -CH 的伸缩振动峰,1 643 cm⁻¹ 处是 4 半缩醛基团的吸收峰,1 315 cm⁻¹ 代表 C-H 的伸缩振动,1 059 cm⁻¹ 代表 C-O-C 的伸缩振动^[14-15],这些基团与纤维素的分子结构式中所包含的有机化合物基团基本吻合。

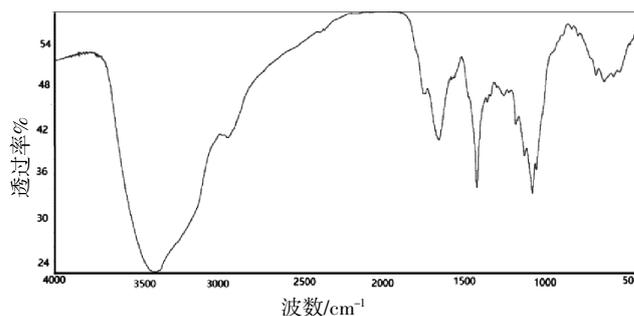


图 5 细菌纤维素红外光谱图

Figure 5 Infrared spectrum of bacterial cellulose

3 结论

本试验的结果表明:工业甘油适合做木醋杆菌发酵的基本培养基制备细菌纤维素,其发酵最佳条件为:甘油量 2%、接种量 6%、30 ℃ 静态培养 7 d,细菌纤维素的产量高达 5.4 g·L⁻¹。A4 尺寸大小的细菌纤维素薄膜制备以不锈钢盆作为模具效果最好。

参考文献:

- [1] CAMPANO C, MERAYO N, NEGRO C, et al. In situ production of bacterial cellulose to economically improve recycled paper properties [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018(6):201.
- [2] GULLO M, SOLA A, ZANICHELLI G, MONTORSI M, et al. Increased production of bacterial cellulose as starting point for scaled-up applications [J]. Appl Microbiol Biotechnol, 2017 (101):8115-8127.
- [3] LIN SP, LOIRA C I, CATCHMARK J M, IN J R, et al. Biosynthesis, production and applications of bacterial cellulose[J]. Cellulose, 2013 (20):2191-2219.
- [4] 夏文, 李政, 徐银莉, 等. 发酵原料对细菌纤维素产量的影响研究进展[J]. 食品工业科技, 2017(2): 358-362.
- [5] 陈华美, 刘四新, 李从发, 等. 细菌纤维素的生物合成与发

- 醇研究进展[J]. 热带作物学报, 2016(8): 1651-1657.
- [6] DU R P, ZHAO F K, PENG Q, et al. Production and characterization of bacterial cellulose produced by *Gluconacetobacter xylinus* isolated from Chinese persimmon vinegar [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2018(194): 200 - 207.
- [7] 陈海超,王延斌,熊强. 醋酸菌发酵产细菌纤维素培养基和培养条件的优化[J].食品工业科技, 2018(3):117-122.
- [8] 马霞,董炎炎,于海燕. 酒糟浸出液发酵产细菌纤维素工艺优化[J]. 农业工程学报, 2015(8): 302-307.
- [9] CHENG Z, YANG R, LIU X, et al. Green synthesis of bacterial cellulose via acetic acid pre-hydrolysis liquor of agricultural corn stalk used as carbon source[J]. *Bioresource Technology*, 2017(234):8-14.
- [10] 高媛,邹小周,洪枫,等. 大豆渣制备细菌纤维素的研究[J]. 纤维素科学与技术, 2018(2):17-24.
- [11] 程建军, 马佳歌, 尹园,等. 木醋杆菌发酵大豆糖蜜产细菌纤维素的研究[J]. 中国食品学报, 2018(8):125-135.
- [12] 张继东. 木醋杆菌发酵产细菌纤维素的研究[D]. 南京:南京理工大学, 2004.
- [13] 仲华维. 细菌纤维素的发酵生产及应用研究[D]. 济南:齐鲁工业大学, 2013.
- [14] 吕鸿皓,黄莉,党苗苗,等. 利用大豆糖蜜制备细菌纤维素[J]. 食品研究与开发, 2015(20): 165-169.
- [15] 宁永成. 有机化合物结构鉴定与有机波谱学[M]. 北京: 科学出版社, 2001:485-498.

(责任编辑:赵其领)

Optimization of Fermentation Conditions for Bacterial Cellulose Production by Using Glycerol

MA Chunhua, GU Wenyan, WANG Yijing

(School of Tea and Food, Wuyi University, Wuyishan, Fujian 354300)

Abstract: Bacterial cellulose (BC) was prepared to use industrial glycerol fermented by *acetobacter xylinum*. Fermentation conditions, such as inoculum size, glycerol concentration and fermentation time were optimized, and the obtained product was analyzed by using FT-IR spectra. Results showed that the fermentaiton product was BC, the production of BC could be 5.4 gL^{-1} with glycerol concentration of 2%, inoculation amount of bacteria of 6%, static fermentation for 7 days. Stainless steel basin was more suitable to produce an A4 bio-bacterial cellulose membrane.

Key words: glycerol; *acetobacter xylinum*; bacterial cellulose; fermentation conditions

异源表达 TaEDR1 抑制拟南芥 *edr1* 白粉病抗性

武广珩^{1,2}, 傅仙玉³, 邓家耀², 刘金仙^{3*}

(1.福建省生态产业绿色技术重点实验室, 福建 武夷山 354300; 2.武夷学院 生态与资源工程学院, 福建 武夷山 354300;
3.武夷学院 茶与食品学院, 福建 武夷山 354300)

摘 要:EDR1 是一个植物抗性相关基因, 编码一个 Raf 样 MAPKKK 蛋白激酶, 通过调节 MAPK 激酶级联通路调控植物免疫反应。本研究获得了小麦 TaEDR1 基因的全长 cDNA 序列, 构建进入过表达植物二元载体 pBI1.4t, 利用农杆菌介导法将 CaMV35S 过表达启动子驱动的 TaEDR1 基因(35S-TaEDR1-pBI1.4t)导入拟南芥 *edr1* 突变体中, 并利用白粉菌对转基因和野生型拟南芥进行接种处理。结果表明: TaEDR1 的异源表达能够抑制分生孢子梗生长少、过氧化氢大量积累和病程相关基因 AtPR1 大幅上调表达等 *edr1* 突变体抗白粉病表型。为今后 EDR1 基因抗病的功能研究及在其他经济作物中的应用奠定基础。

关键词:EDR1; 白粉病; 基因克隆; 异源表达; 功能分析

中图分类号:Q786 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-2109(2018)12-0038-06

白粉病是由白粉菌科(Erysiphales)真菌引起的植物病害。当植物被侵染时, 会产生大量由菌丝体、分生孢子梗和分生孢子构成的肉眼可见的白色粉状物, 并由此而得名。白粉病在全世界分布广泛, 危害双子叶植物, 如葡萄、草莓、黄瓜等。同时它也侵染诸多的禾本科植物, 如小麦、大麦、燕麦和多种牧草。其中小麦白粉病是由气传性专化寄生真菌布氏白粉菌(*Blumeria graminis*)引起的真菌性病害, 为世界各主要麦区的主要病害之一, 且发病范围日益扩大, 危害程度不断加重, 可引起 13.4%~34% 的产量损失^[1]。白粉菌

是高等植物的专性活体寄生菌, 通常生长在植物的表面, 菌丝体表生或半内生, 以吸器进入寄主细胞吸取养分, 从菌丝上长出直立的分生孢子梗, 在梗端形成单生或成串的分生孢子。

拟南芥白粉病抗性相关基因 EDR1 基因编码一个 Raf 样 MAPKKK 蛋白激酶负调控水杨酸(*Salicylic Acid, SA*)诱导的防卫反应, *edr1* 突变体表现出对白粉菌的抗性, 以及病原菌诱导后比野生型积累更多的 PR1 转录本^[2-3]。EDR1 通过与 MAPK 级联蛋白激酶 MKK4 和 MKK5 相互作用以及影响二者的蛋白表达水平来精确控制植物的免疫防卫反应^[4]。KEG 基因编码一个包含环指结构 E3 泛素连接酶结构域和激酶域的蛋白, 该基因的一个特异错义突变能够抑制 *edr1* 的相关表型^[5]。KEG 与 EDR1 相互作用并招募 EDR1 在反式高尔基体和早胞内体(TGN/EE)上定位^[6]。KEG 调控内膜系统蛋白的运输, 同时在白粉菌侵入的表皮细胞中发生特异性的降解^[7]。EDR1 还与另一个正调控植物免疫和细胞死亡的 E3 泛素连接酶 ATL1 在 TGN/EE 中相互作用; 当在拟南芥和烟草中过量表达 ATL1 导致植物出现细胞死亡的表型, 并且这种细胞死亡能

收稿日期:2018-07-07

基金项目:2016 福建省高校杰出青年科研人才培育计划(闽科教[2016]23 号); 福建省自然科学基金青年项目(2016J05086); 福建省属高校科研专项(JK2015050); 武夷学院引进人才科研启动项目(YJ201503)。

作者简介:武广珩(1981-), 男, 汉族, 讲师, 主要从事植物与微生物互作研究。

通讯作者:刘金仙(1981-), 女, 汉族, 副教授, 主要从事园艺植物分子生物学研究。

够被 EDR1 抑制;而与此对应的是,下调 ATL1 的表达能够有效的抑制 *edr1* 介导的白粉病的抗病表型,以上这些暗示 ATL1 可能是 EDR1 潜在的底物^[8]。近期研究发现,*edr1* 的抑制子基因 LIG1,编码一个糖基磷脂酰肌醇锚定蛋白,与 flg22 识别受体 FLS2 互作,调控 FLS2 蛋白的积累及 flg22 诱导的 FLS2 降解,影响 BIK1 的磷酸化和活性氧的产生等,从而调控 FLS2 激活的免疫反应^[9]。

EDR1 基因在在水稻和小麦的抗病中也表现出重要的作用。通过 CRISPR/Cas 系统的基因定点编辑技术在普通小麦中创制的 *Taedr1* 基因编辑突变体同样表现出对白粉菌的抗性,且无明显的发育缺陷,验证了 EDR1 基因在小麦育种的应用前景^[10]。水稻 *OsEDR1* 的 T-DNA 插入突变体和 RNAi 转基因植株对水稻白叶枯病菌黄单胞杆菌表现出抗性,在黄单胞杆菌和水稻的互作中,*OsEDR1* 的表达促进了乙烯的合成但抑制了水杨酸(SA)和茉莉酸(JA)介导的抗性信号通路^[11]。郭传宇等研究还发现 *AtEDR1* 也参与拟南芥对稻瘟菌的非寄主抗性^[12]。

为了进一步研究 EDR1 蛋白的抗白粉菌机制,明确 EDR1 蛋白是否具有跨物种的功能保守性,本研究选择研究较为清楚的小麦 EDR1 蛋白作为对象,构建了 TaEDR1 基因的过量表达载体并转化了拟南芥 *edr1* 突变体,对转基因拟南芥的抗病表型进行了相关分析,为解析 EDR1 蛋白功能,以及为 EDR1 同源蛋白在其他经济作物中的利用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

野生型拟南芥(*Arabidopsis thaliana*) Columbia-0 生态型(Col-0)、*pad4-1* 和 *edr1* 突变体,大肠杆菌 DH5 α ,农杆菌 GV3101 由本实验室保存。植物表达载体 pBI-1.4t,白粉菌菌株 *Golovinomyces cichoracearum* UCSC1 和小麦品种 KN199 由福建农林大学唐定中教授馈赠。

1.2 方 法

1.2.1 拟南芥的种植

拟南芥种子经表面消毒和 4℃春化处理三天,然后平

铺于在含有 1%蔗糖的 1/2 MS 固体培养基上,种子萌发 7 d 后移植。对于观察表型的植物和用于瞬时表达的烟草,需放置在 9 h 光照、光照强度 7 000~8 000 lx、相对湿度 50%~60%和温度 21~24℃的温室;对于收集种子的植物,我们将其放置在 16 h 光照、光照强度 10 000~12 000 lx、相对湿度 50%~60%和温度 21~24℃的温室。

1.2.2 载体构建

为了获得 35S-TaEDR1-pBI1.4t 载体,我们使用 Promega RNA 提取与反转录试剂盒获得小麦 KN199 幼苗(出芽 5 d)的 cDNA。以 cDNA 为模板,设计特异引物 OE-F(CGCTCGAGATGAAGATCCCGTTTGTGACCAAGT,划线部分为 Xho I 酶切位点)和 OE-R(CCGTCGACATGTGCGGTTCCACCGATATAAAGAT,划线部分为 Sal I 酶切位点)使用 KOD plus(东洋纺)将 TaEDR1 完整 CDS 序列扩增出来。扩增程序:96℃预变性 5 min,95℃变性 10 s,68℃延伸 3 min,68℃补充延伸 5 min,30 个循环。利用琼脂糖凝胶 DNA 回收试剂盒(中科瑞泰)回收目的片段,插入克隆载体 pEASY-Blunt Simple 中(北京全式金生物公司),将测序验证后的序列通过 Xho I 和 Sal I(大连宝生物公司)酶切后连入由 CaMV35S 驱动的植物表达载体 pBI1.4t 中,进行菌落 PCR 及双酶切检测,将验证正确的重组质粒转化农杆菌 GV3101 感受态细胞,进行菌落 PCR 鉴定阳性克隆。PCR 引物合成及产物测序由上海生工生物公司完成。

1.2.3 遗传转化与纯合体筛选

将上述含重组质粒的农杆菌活化后,继代培养至 OD₆₀₀=2.0,常温 3 200 g 离心收集菌体,用等体积含 0.03% SilwetL-77 的 5%蔗糖溶液重悬,使用 2 mL 吸管将重悬的菌液滴在拟南芥突变体 *edr1* 花上。暗培养 24 h 后放置于生长室,在长光照条件培养至种子成熟,得到 T0 代种子。将 T0 代种子在相应抗性(卡那霉素,50 μ g/mL)的不加蔗糖的 MS 平板上筛选,5~8 d 后挑选转化子,移苗到土中继续培养。T1 代转化子用 pBI1.4t 载体筛选标记基因新霉素磷酸转移酶 II(Neomycin phosphotransferase II, NPT II)基因片段进行扩增,设计引物 NPT II -F:5'-GGCTATTCGGCTATGACTGGGC-3' 和 NPT II -R:5'-GGCGATACCGTAAAGCACCAGG-3' PCR 验证,长度 660 bp。筛选得

到的转基因阳性植株，进一步培养收获转基因种子。提取筛选到的阳性植株 T3 代的叶片 RNA，反转录生成 cDNA，利用实时定量 PCR 仪 (Eppendorf Realplex2) 进行扩增 (SYBR Premix Ex Taq Kit, 反应程序为: 95 °C 预变性 90 s, 95 °C 变性 15 s, 55 °C 退火 15 s, 72 °C 延伸 20 s, 40 个循环)。以拟南芥 ACT2 基因为内参, 分别设计 TaEDR1 基因定量引物 Q-TaEDR1-F: 5'-GCTCATTGGCATTCAAGGGA-3' 和 Q-TaEDR1-R: 5'-GCATTGTCAGTGGCATTCT-3', 内参 ACT2 的引物 Q-ACT2-F: 5'-AGTGTCTGGATCGGTGGTTC-3' 和 Q-ACT2-R: 5'-CCCCAGCTTTTAAAGCCTTT-3'。病程相关基因 PR1 引物: Q-PR1-F: 5'-GTGGGTTAGCGA-GAAGGCTA-3' 和 Q-PR1-R: 5'-ACTTTGGCACATC-CGAGTCT-3'。

1.2.4 表型分析

Trypan Blue 染色: 由于 Trypan Blue 可以染色白粉菌的菌丝和分生孢子以及死亡的植物细胞。4 周大小的拟南芥植物叶片接种保存于易感性突变体 pad4-1 上的白粉菌菌株 *Golovinomyces cichoracearum* UC-SC1; 接种 6 d 后, 采收叶片, 将其置于 Trypan Blue 染液 (20 mL 乙醇, 10 mL 苯酚, 10 mL 超纯水, 10 mL 83% 乳酸和 10 mg 台盼蓝粉末) 中煮沸 2~5 min; 染色后的叶片用水合三氯乙醛 (2.5 g/ml) 过夜脱色; 用超纯水洗涤三次后用 50% 甘油保存。依据 Wang 等^[13]采用的方法, 显微镜下计数每个独立孢子形成的分生孢子梗的数目, 随后统计分析。对于基因型个体的表型记录, 则取接种 8 d 后的叶片进行 Trypan Blue 染色, 使用光学显微镜 (Leica DM2500) 进行观察和拍照。

DAB 染色: DAB 可以染色白粉菌的侵染植物细胞时产生的过氧化氢 (H₂O₂)。按一下步骤进行: 收集接种白粉菌 48 h 的叶片, 将其置于 DAB (1 mg/mL, pH=5.8) 染液中染色 12 h, 随后用无水乙醇脱色; 用超纯水洗涤三次后用 50% 甘油保存; 使用光学显微镜 (Leica DM2500) 进行观察和拍照。

1.2.5 数据分析

通过 GenBank 数据库进行序列检索, 利用 Clustal omega 软件进行序列比对, 用 MEGA 7 软件构建系统发育树。使用 Excel 2007 对分生孢子梗计数数据进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 EDR1 同源蛋白保守性

为了分析 EDR1 蛋白在植物中的保守性, 我们对 NCBI 数据库中 EDR1 近缘蛋白进行提取, 利用 Clustal Omega 软件进行比对分析 (<https://www.ebi.ac.uk/Tools/msa/clustalo/>) 并通过 MEGA7.0 软件构建蛋白序列进化树。发现 EDR1 同源蛋白存在于单子叶和双子叶植物中, 并呈现较高的保守性 (图 1A)。其中, 不同物种中 EDR1 蛋白的激酶结构域的一致性高达 89.3% (图 1B)。

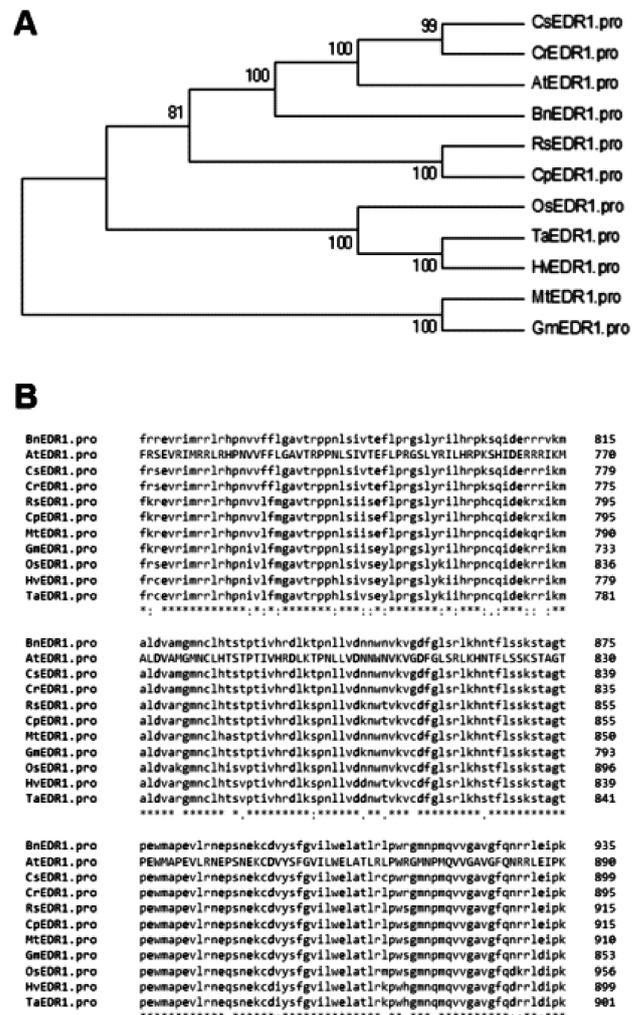


图 1 EDR1 同源蛋白序列分析

Figure 1 Sequence analysis of EDR1 homologous proteins

A: N-J 法构建 EDR1 同源蛋白系统进化树; B: EDR1 同源蛋白激酶结构域序列对比分析

CsEDR1, XP_010659952, *Camelina sativa*; CrEDR1,

XP_006306705, *Capsella rubella*; AtEDR1, AT1G08720, *Arabidopsis thaliana*; BnEDR1, XP_013672624, *Brassica napus*; RsEDR1, XP_018492499, *Raphanus sativus*; CpEDR1, XP_021891276, *Carica papaya*; OsEDR1, AAN61142, *Oryza sativa*; TaEDR1, AAU89661, *Triticum aestivum*; HvEDR1, AAG31142, *Hordeum vulgare*; MtEDR1, XP_013469013, *Medicago truncatula*; GmEDR1, ACQ57002, *Glycine max.*

2.2 TaEDR1 基因表达载体构建

为了在拟南芥中异源表达小麦的 TaEDR1 基因,播种小麦 KN199 种子,生长 5 d 后,收集新鲜叶片提取 RNA,经反转录获得 cDNA。利用特异性引物 OE-F 和 OE-R 扩增长度获得了 2896bp 的 TaEDR1 CDS 编码区(图 2A)。将 CDS 序列连接到 pEASY-Blunt Simple 克隆载体中,测序正确后用 Xho I 和 Sal I 双酶切连接到 pBI1.4t 表达载体。将构建好的重组表达载体 35S-TaEDR1-pBI1.4t 转化大肠杆菌并进行菌落 PCR 验证,提取验证正确的菌落质粒用 Xho I 和 Sal I 双酶切鉴定,能够切出目的片段,表明载体构建成功(图 2B)。

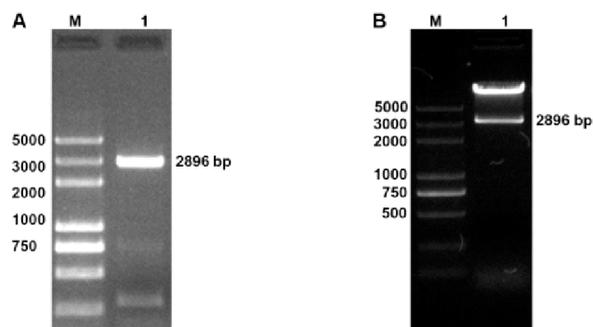


图 2 TaEDR1 CDS 表达载体的构建

Figure 2 TaEDR1 CDS expression vector constructed

A: KN199 中 TaEDR1 CDS 的扩增, M: marker, 1: TaEDR1 CDS;

B: 35S-TaEDR1-pBI1.4t 表达载体的双酶切鉴定, M: marker, 1: TaEDR1 CDS

2.3 异源表达 TaEDR1 抑制突变体 *edr1* 表型

通过农杆菌 GV3101 介导的浸花法将重组植物表达载体 35S-TaEDR1-pBI1.4t 转入拟南芥突变体 *edr1*, 获得 16 个具有 T1 代转化子, PCR 扩增转化子中的 NPTII 基因(660 bp), 发现 12 个阳性转基因植株(图 3A)。此后, 4 周大小的 12 个 T1 代的转基因植株、野生型和 *edr1* 接种白粉菌, 8 d 后发现 T1 代的转基因植株、野生型各自的叶片上都有大量白粉菌菌丝和

分生孢子梗的生长, 而 *edr1* 突变体仅有少量的菌丝和分生孢子梗, 并出现明显的细胞死亡。说明拟南芥中异源表达 TaEDR1 基因能够抑制突变体 *edr1* 的抗病表型(图 3B)。

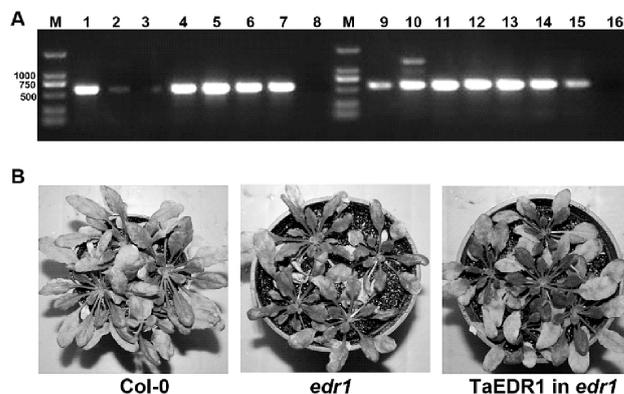


图 3 异源表达 TaEDR1 抑制拟南芥 *edr1* 突变体白粉菌抗病表型

Figure 3 Heterologous expression of TaEDR1 complementary *edr1* mutant resistance phenotype

A: 鉴定表达载体中 NPTII 基因, M: marker, 1-16: 16 个 T1 代转化子;

B: 拟南芥中异源表达 TaEDR1 能够互补 *edr1* 突变体白粉菌抗病表型

2.4 异源表达 TaEDR1 抑制突变体 *edr1* 中 PR 基因的表达和过氧化氢的积累

为了进一步了解 TaEDR1 在拟南芥抗病反应中的功能, 我们将 35S-TaEDR1-pBI1.4t 遗传转化植株收种和分离鉴定, 获得 T3 代的稳定转基因株系。提取这些株系的 RNA 并合成 cDNA, 利用实时荧光定量 PCR 检测 TaEDR1 在转基因株系中的表达水平, 选取表达量最高的 OE-5 进行后续实验(图 4A)。

为了明确 TaEDR1 在拟南芥中抑制 *edr1* 表型的能力, 4 周大小的野生型、*edr1* 和转基因植株 OE5 接种白粉菌。通过白粉菌在叶片表面的生长观察和白粉菌单个孢子上分生孢子梗生长的定量计数发现 OE5 和野生型无明显差异, 都明显多于 *edr1* 突变体上生长的分生孢子梗数, 即表现出更加抗病的表型(图 4B、4C 和 4E)。此外, 对 4 周大小的野生型、*edr1* 和 OE5 进行白粉菌接种, 在 48 h 后取新鲜叶片进行 DAB 染色。结果发现突变体 *edr1* 在白粉菌接种 48 h 后, 白粉菌孢子入侵点处出现大量过氧化氢积累, 而 Col-0 和 OE-5 植物仅出现少量积累(图 4D)。

为了了解突变体中病程相关基因表达是否发生变化,对 4 周大小的野生型 Col-0、edr1 和 OE5 接种白粉菌,在接种后 0、2、4 d 收集叶片提取 RNA、转录和对抗病相关基因 AtPR1 进行实时定量 PCR 分析。结果发现,接菌前后 Col-0 和 OE-5 中 AtPR1 基因的表达都没有明显的差异;突变体 edr1 中 AtPR1 的表达接菌后 2 d,较 Col-0 和 OE-5 已经出现明显的上调,在接菌后 4 d,上调幅度已经远大于 Col-0 和 OE-5(图 4F)。

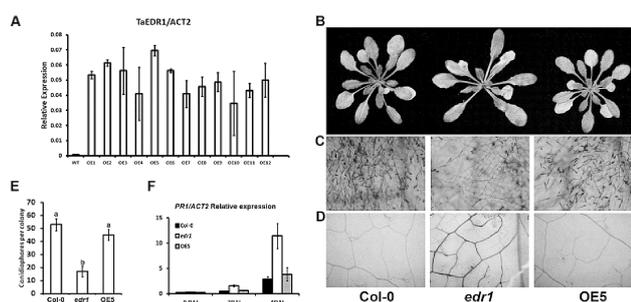


图 4 TaEDR1 抑制拟南芥 edr1 突变体中白粉菌诱导的 AtPR1 基因的大量表达和 H₂O₂ 的积累

Figure 4 TaEDR1 inhibits the expression of AtPR1 gene and accumulation of H₂O₂ in edr1 mutant

A: 在 12 个 T3 转基因植株中定量分析 TaEDR1 表达量,以 AtACT2 作为参照;B:4 周大小的野生型、edr1 和转基因植株 OE5,接种白粉菌后 8 d 的表型;C:Trypan Blue 染色(B)中的叶片;D:对 4 周大小的野生型、edr1 和转基因植株 OE5 进行白粉菌接种,48 h 后取新鲜叶片进行 DAB 染色,褐色显示过氧化氢的积累;E:定量分析野生型、edr1 和转基因植株 OE5 叶表面单克隆白粉菌形成分生孢子梗的数目。数据经 t 检验统计分析,不同字母代表差异显著。该实验重复 3 次,得到类似的结果(P<0.01);F:4 周大小的野生型、edr1 和转基因植株 OE5 接种白粉菌,实时定量 PCR 检测接种白粉菌后 0、2、4 d 的 AtPR1 的表达情况

3 讨论与结论

植物在生长发育的过程中可能会遭遇各种生物胁迫。以模式植物拟南芥为研究对象,人们通过鉴定和克隆对各种病原菌增强或减弱抗性的突变体,找到了很多基因参与了植物对病原微生物的防卫反应。EDR1 基因作为一个抗病基因,多项研究发现其调控了植物(拟南芥、水稻和小麦)对真菌和细菌的抗性^[2,10,11]。序列

比对发现来自于不同单双子叶植物的 EDR1 蛋白表现出很高的保守性,其抗性功能都表现出大量的过氧化氢和胍胍质的积累,以及病程相关基因 PR1 表达的大幅度上调^[4,10,12]。由此我们认为 EDR1 是一个具有广谱抗性的保守蛋白,在不同物种中发挥着类似的功能的基因。由此推测,不同来源的 EDR1 蛋白很可能能够在不同物种中发挥同样的功能。我们的结果证明了小麦的 EDR1 基因导入拟南芥中,小麦 EDR1 蛋白可以在拟南芥中发挥功能,并且激发与 AtEDR1 类似的信号通路。EDR1 蛋白在单双子叶植物中大量存在、功能高度保守,为我们今后在其它经济作物中利用 EDR1 同源基因提高不同植物抗病性,乃至在分子设计育种中的利用,提供了坚实的理论依据。

此外,复杂农作物物种的植物病理学研究由于缺乏相应的研究体系,发展较为缓慢。利用模式植物拟南芥和相应的突变体,与不同病原菌(假单胞杆菌、卵菌和白粉菌等)的植物病理研究系统的建立,将有利于复杂经济作物的抗病研究。

参考文献:

- [1] WU G H. Functional Analysis of Arabidopsis EDR4 in Powdery Mildew Resistance [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2015.
- [2] FRYE C A, INNES R W. An Arabidopsis mutant with enhanced resistance to powdery mildew [J]. Plant cell, 1998, 10 (6): 947.
- [3] FRYE C A, TANG D, INNES R W. Negative regulation of defense responses in plants by a conserved MAPKK kinase [J]. Proc Natl Acad Sci U S A, 2001, 98 (1): 373.
- [4] ZHAO C, NIE H, SHEN Q, et al. EDR1 physically interacts with MKK4/MKK5 and negatively regulates a MAP kinase cascade to modulate plant innate immunity.[J]. Plos Genetics, 2014, 10(5):e1004389.
- [5] WAWRZYNSKA A, CHRISYANSEN K M, LAN, Y, et al. Powdery mildew resistance conferred by loss of the enhanced disease resistance1 protein kinase is suppressed by a missense mutation in keep on going, a regulator of abscisic acid signaling[J]. Plant Physiol, 2008, 148 (3): 1510.
- [6] GU Y, INNES R W. The keep on going protein of Arabidopsis recruits the enhanced disease resistance1 protein to trans:

- Golgi network/early endosome vesicles [J]. *Plant Physiol*, 2011, 155 (4): 1827.
- [7] GU Y, INNERS R W. The keep on going protein of Arabidopsis regulates intracellular protein trafficking and is degraded during fungal infection[J]. *Plant cell*, 2012, 24 (11): 4717.
- [8] SERRANO I, GU Y, QI, D, et al. The Arabidopsis EDR1 protein kinase negatively regulates the ATL1 E3 ubiquitin ligase to suppress cell death[J]. *Plant cell*, 2014, 26 (11): 4532.
- [9] SHEN Q, BOURDAIS G, PAN, H, et al. Arabidopsis glycosylphosphatidylinositol -anchored protein LIG1 associates with and modulates FLS2 to regulate innate immunity[J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2017, 114 (22): 5749–5754.
- [10] ZHANG, Y, BAI, Y, WU, G, et al. Simultaneous modification of three homoeologs of TaEDR1 by genome editing enhances powdery mildew resistance in wheat [J]. *Plant Journal*, 2017, 91 (4): 714–724.
- [11] SHEN X, LIU H, YUAN, B, et al. OsEDR1 negatively regulates rice bacterial resistance via activation of ethylene biosynthesis[J]. *Plant Cell Environ*, Feb, 2011, 34 (2): 179.
- [12] GUO C Y, ZHENG Y Y, CUI B M. AtEDR1 Mediated Resistance to Magnaporthe oryzae in Arabidopsis thaliana [J]. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2011, 41(2):188–195.
- [13] WANG Y, NISHIMURA M T, ZHAO T, et al. ATG2, an autophagy - related protein, negatively affects powdery mildew resistance and mildew induced cell death in Arabidopsis[J]. *Plant Journal*, 2011, 68(1):74–87.

(责任编辑:叶丽娜)

Heterologous Expression of TaEDR1 Inhibits *Edr1* Powdery Mildew Resistance in Arabidopsis

WU Guangheng^{1,2}, FU Xianyu³, DENG Jiayao¹, LIU Jinxian^{3*}

(1. Provincial Key Laboratory of Eco-Industrial Green Technology, Wuyishan, Fujian 354300;

2. School of Ecology and Resources Engineering, Wuyi University, Wuyishan, Fujian 354300;

3. School of Tea and Food Science, Wuyi University, Wuyishan, Fujian 354300)

Abstract: EDR1 is a plant resistance-related gene encoding a Raf-like MAPKKK protein kinase, which regulates MAPK immune response through regulating the level of MAPK kinase cascade. In this study, full-length cDNA sequence of wheat TaEDR1 gene was cloned, and the plant over-expression vector 35S-TaEDR1-pBI1.4t was introduced into *edr1* mutant of Arabidopsis, and the transgenic Arabidopsis and wild type ones were inoculated by powdery mildew. The results showed that heterologous expression of TaEDR1 could effectively inhibit the phenotype of powdery mildew resistance, such as less growth of the conidia, great accumulation of hydrogen peroxide and up-regulation expression of AtPR1 in *edr1* mutant. It will lay the foundations for future research on the function of EDR1 gene and its application in other economic crops.

Key words: EDR1; powdery mildew; gene cloning; heterologous expression; functional analysis

壳聚糖-氯化钙复合涂膜对鲜切西蓝花的保鲜研究

蒋变玲, 王梦梦, 陈琼, 段红, 韩方凯, 朱颖

(宿州学院 生物与食品工程学院, 安徽 宿州 234000)

摘要:以鲜切西蓝花为材料,分别采用 1%壳聚糖、0.5%氯化钙、1%壳聚糖+0.5%氯化钙进行涂膜保鲜处理,蒸馏水处理相同时间为对照,研究壳聚糖-氯化钙涂膜对鲜切西蓝花的保鲜效果。结果表明:壳聚糖-氯化钙复合涂膜处理能够降低贮藏期间鲜切西蓝花超氧阴离子($O_2^{\cdot-}$)生成速率和丙二醛(MDA)的积累,保持超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性,延缓叶绿素降解,保持鲜切西蓝花的品质。

关键词:鲜切西蓝花;壳聚糖;氯化钙;复合涂膜

中图分类号:TS255.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-2109(2018)12-0044-05

西蓝花又称青花菜,是十字花科双子叶植物^[1]。其幼嫩花球和茎供食用^[2]。因其丰富的营养价值,市场需求量日益增大^[3]。

鲜切蔬菜既保持了蔬菜原有的新鲜状态,且因其方便、营养、卫生等特点,备受青睐^[4-5]。但鲜切蔬菜贮藏期间,会发生干枯缩水,逐渐腐烂变质,产生不良气味,感官品质有所下降,营养物质不断流失等问题导致其保质期较短^[6]。

壳聚糖是一种氨基类多糖,因其氢键能够相互交联形成网状样的结构,进而形成透明的具有多孔结构的薄膜,因此常被用于果蔬涂膜保鲜中^[7]。

Ca^{2+} 是植物必需的营养元素之一^[8],对于保持细胞壁的结构、维持细胞膜功能方面具有十分重要的意义。有研究表明,外源 Ca^{2+} 处理可以延长采摘冬枣的保存时间^[9]。连文琦等^[10]研究表明, $CaCl_2$ 处理使鲜切苹果的褐变程度得到明显的改变。葛金玉等^[11]研究显示,

$CaCl_2$ 处理使鲜切萝卜可滴定酸、可溶性蛋白都表现为先上升后下降。 $CaCl_2$ 处理鲜切水果能够提高 SOD、CAT 的活性。

本试验研究了氯化钙、壳聚糖及二者复合液涂膜处理对鲜切西蓝花的保鲜效果的影响,通过测定贮藏期间鲜切西蓝花的品质,为氯化钙壳聚糖复合涂膜保鲜研究提供了理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

新鲜西蓝花,购自大润发超市。

1.2 主要试剂及仪器设备

主要试剂:壳聚糖为食品级,氯化钙、过氧化氢、盐酸萘乙二胺、盐酸羟胺、磷酸氢二钾、三氯乙酸、磷酸氢二钠、乙二胺四乙酸二钠、PVPP、黄嘌呤、TBA、丙酮等为分析纯,亚硝酸钠、愈创木酚等为标准品,以上试剂购自阿拉丁试剂公司。

主要仪器设备:UV-5100H 型分光光度计、H1850 型离心机、HH-2 型水浴锅、WH-8 型天平等。

1.3 试验方法

1.3.1 试验材料处理

挑选花球大小一致无病虫害的新鲜西蓝花,用纯

收稿日期:2018-09-10

基金项目:宿州学院科研平台开放课题项目(szy2017ykf06);

安徽省大学生创新创业训练计划项目
(201710379089)。

作者简介:蒋变玲(1991-),女,汉族,助教,主要从事果蔬分子生物学研究。

水清洗并晾干,将西蓝花切成 0.5 cm×0.5 cm×3 cm 大小,随机分为 4 份,每份约 600 g。配制 1%壳聚糖溶液、0.5% 氯化钙溶液及两种溶液的 1:1 混合液作为复合涂膜液,将各组鲜切西蓝花均匀分为 3 份,分别完全浸泡于各溶液中处理 5 min,蒸馏水处理相同时间作为对照。处理结束后,迅速将样品取出,晾干表面的水分,于 4 ℃条件下贮藏 5 d,每天定时取样,进行各项指标测定。

1.3.2 理化指标测定

1.3.2.1 粗酶液的制备

取 2.0 g 样品,加入预冷的 50 mM pH 7.0 磷酸缓冲液 8 mL [内含 3 mM EDTA-2Na,0.5%(W/V)PVPP,0.1%(V/V)Tritonx-100],充分研磨,12 000 r/min 冷冻离心 10 min,上清液即为粗提液^[12],用于 SOD、APX、POD、O₂·⁻、MDA 的测定。

1.3.2.2 抗氧化酶活性的测定

(1)SOD 活性的测定根据赵健等^[13]的方法稍作改进。测定 530 nm 波长条件下样品的吸光度值。

计算方法:SOD 活性=(A_{对照}-A_{样品})÷(A_{样品试管}÷2)÷
V_{反应中酶液的体积}×W_{稀释倍数}×V_{样品的酶液总体积}÷m_{样品重}
酶活性单位:units·g⁻¹FW

(2)POD 活性测定根据 Roca J 等的方法^[14]。将 0.5 mL 样品酶提取液移至比色杯中并加入 3 mL 的愈创木酚溶液。迅速加入 0.2 mL 的 8 mmol/L H₂O₂,在 470 nm 波长条件下分别测定 10 s 和 70 s 的吸光度值。

计算方法:POD 活性=(A_{70秒}-A_{10秒})×V_{反应液总体积}÷
V_{反应液中酶液体积}÷V_{反应时用酶液体积}×V_{样品的酶液总体积}÷m_{样品重}÷
t_{反应用时}

酶活性单位:A470·g⁻¹FW·min⁻¹

(3)APX 活性的测定:参考 Yan J 等^[15]方法稍作改进。

结果计算:AXP 活力 (U·g⁻¹FW·min⁻¹)=
ΔOD_{290nm}×V_t÷V_s÷W÷t

式中,V_t为粗酶提取液总体积(mL);V_s为测定时所用提取液体积(mL);W为植物组织鲜重(g);t为时间(min)。

1.3.2.3 活性氧化指标测定

O₂·⁻生成速率的测定参考陈双颖^[16]的方法。

结果计算:[O₂·⁻]产生速率 (nmol·g⁻¹FW·min⁻¹)=
C[NO₂]⁻×2×V_t÷W÷t

式中:V_t为提取液总体积(mL);W为植物组织鲜重(g);t为反应时间(min)。

1.3.2.4 衰老生理指标测定

(1)叶绿素含量的测定根据王文杰等^[17]的方法加以改进。

计算公式为:Chla = (12.19A₆₆₅ - 3.45A₆₄₉) × V/1 000W

Chlb = (21.99A₆₆₅ - 5.32A₆₄₉) × V/1 000W

式中:Chla 代表叶绿素 a 含量,Chlb 代表叶绿素 b 含量,单位均为 (mg/g·FW);A₆₆₅、A₆₄₉ 分别代表 665 nm、649 nm 的吸光度值;V 为提取液体积(mL),W 为样品重量(g)。

(2)MDA 含量的测定采用硫代巴比妥酸(TBA)法^[18]。

计算方法:MDA 浓度(μmol·L⁻¹)=6.45(A₅₃₂-A₆₀₀)-
0.56A₄₅₀

MDA 含量(μmol·g⁻¹FW)= C×V_t/(V_s×FW)

式中:A₅₃₂、A₆₀₀ 分别代表 532 nm、600 nm 的吸光度值;V_t为提取液体积(mL),V_s为反应液中的试样体积(mL)。

2 结果与分析

2.1 壳聚糖、氯化钙及复合液处理对鲜切西蓝花抗氧化酶活性的影响

2.1.1 壳聚糖、氯化钙及复合溶液处理对鲜切西蓝花 SOD 活性的影响

SOD 是一种抗氧化酶,可通过对生物体内自由基的清除达到延缓果实衰老的效果^[3]。由图 1 可知,在鲜切西蓝花贮藏期间,各组的 SOD 活性均为先升高后下降,贮藏 2 d 时 SOD 活性最高。涂膜处理不同程度保持 SOD 活性,整个贮藏期间均高于对照组,其中,复合液涂膜保鲜处理组的鲜切西蓝花 SOD 活性最高。由此可知,壳聚糖、氯化钙及复合液涂膜处理可以有效地抑制鲜切西蓝花 SOD 的活性的下降,延缓鲜切西蓝花的衰老。其中壳聚糖-氯化钙复合液涂膜处理效果最好。

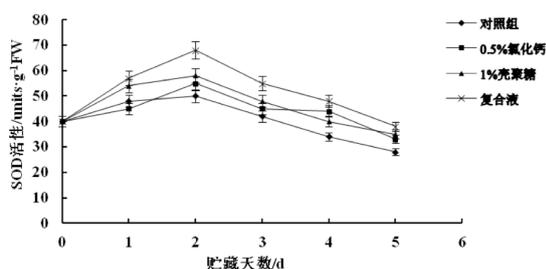


图1 不同涂膜处理对鲜切西兰花 SOD 活性的影响
Figure 1 Effects of different coating films on SOD of fresh-cut broccoli

2.1.2 壳聚糖、氯化钙及复合液处理对鲜切西兰花 POD 活性的影响

POD 影响植物的生长发育，可以清除质膜的 H_2O_2 ，是果蔬衰老的指标之一^[19]。由图 2 可知，在鲜切西兰花贮藏期间，各组 POD 活性先上升后下降，贮藏 3 d 时 POD 活性最高。这是由于切割时的损伤导致鲜切西兰花表面组织氧化胁迫使 POD 活性升高，随着鲜切西兰花的衰老，POD 活性下降。壳聚糖、氯化钙及复合液处理的鲜切西兰花 POD 活性始终高于对照组，其中壳复合液处理组的 POD 活性最高。这说明适当涂膜处理可以延缓果实衰老，与陈双颖等^[19]研究结果相吻合。

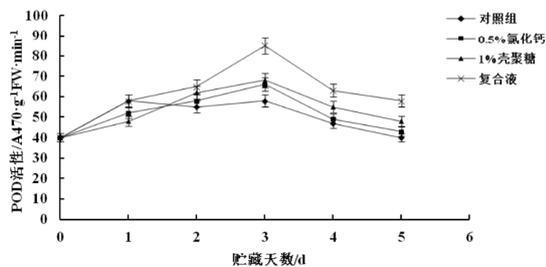


图2 不同涂膜处理对鲜切西兰花 POD 活性的影响
Figure 2 Effects of different coating films on POD of fresh-cut broccoli

2.1.3 壳聚糖、氯化钙及复合液处理对鲜切西兰花 APX 含量的影响

APX 是清除叶绿体中 H_2O_2 的关键酶，果蔬中的 APX 通过降低超氧阴离子产生速率，减弱脂质过氧化作用，使果蔬保鲜。由图 3 可知，鲜切西兰花的 APX 活性随着贮藏时间的延长不断下降。对照组的 APX 活性在贮藏 5 d 时为 2.2，而壳聚糖、氯化钙及复合液处理的鲜切西兰花中的 APX 活性保持较高水平且复合液处理鲜切西兰花中的 APX 活力最大。说明涂膜保鲜处

理能够抑制鲜切西兰花中 APX 活性的降低，保持其品质。这是因为涂膜处理在鲜切西兰花表面形成一层薄膜，使呼吸作用强度降低，APX 能保持较好的活性^[23]。

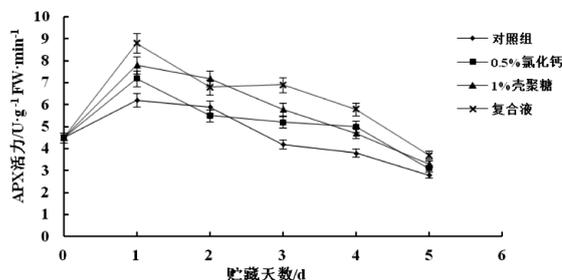


图3 不同涂膜处理对鲜切西兰花 APX 活性的影响

Figure 3 Effects of different coating films on APX of fresh-cut broccoli

2.2 壳聚糖、氯化钙及复合溶液处理对鲜切西兰花 $O_2\cdot^-$ 生成速率的影响

由图 4 可知，在鲜切西兰花贮藏期间， $O_2\cdot^-$ 生成速率先上升后下降。聚糖组在贮藏 3 d 时 $O_2\cdot^-$ 生成速率最高，其他三组在贮藏 4 d 时 $O_2\cdot^-$ 生成速率最高，壳聚糖、氯化钙及复合液处理的鲜切西兰花中的 $O_2\cdot^-$ 生成速率不同程度低于对照组。其中复合液处理组的鲜切西兰花 $O_2\cdot^-$ 生成速率最低，约为对照组的 0.58 倍。结果表明，涂膜处理可抑制 $O_2\cdot^-$ 生成速率，从而延缓鲜切西兰花品质的降低，其中复合液涂膜处理效果最好。这与罗海波等^[24]研究结果一致。鲜切西兰花在贮藏期间会产生具有强氧化性的活性氧自由基，它们会导致细胞 DNA 损坏、生物膜的结构和功能受到破坏^[23]。这是因为 SOD 可催化 $O_2\cdot^-$ ，涂膜处理可使 SOD 保持较高活性，进而抑制了 $O_2\cdot^-$ 的生成速率。

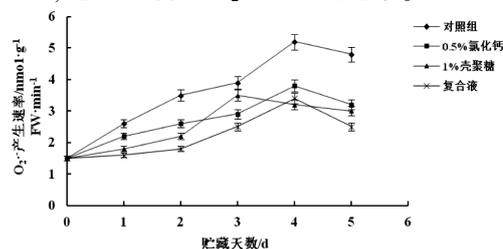


图4 不同涂膜处理对鲜切西兰花 $O_2\cdot^-$ 生成速率的影响

Figure 4 Effects of different coating films on the rate of superoxide anion formation of fresh-cut broccoli

2.3 壳聚糖、氯化钙及复合液处理对鲜切西兰花衰老生理指标的影响

2.3.1 壳聚糖、氯化钙及复合液处理对鲜切西兰花叶绿素含量的影响

叶绿素含量是反映西兰花感官品质优劣的重要

指标^[24]。由图 5 可知,鲜切西蓝花在贮藏期间叶绿素含量逐渐下降,壳聚糖、氯化钙及复合液处理鲜切西蓝花中叶绿素含量不同程度高于对照组,说明壳聚糖、氯化钙及壳聚糖·氯化钙涂膜处理可以延缓叶绿素的降解,其中复合液处理组的叶绿素含量下降程度低于其他组。涂膜处理延缓了鲜切西蓝花中的叶绿素降解,可能是抑制了叶绿素酶和脱镁螯合酶的活性^[1]。

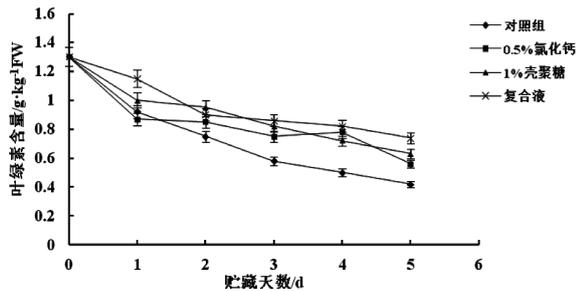


图 5 不同涂膜处理对鲜切西蓝花叶绿素含量的影响

Figure 5 Effects of different coating films on the chlorophyll content of fresh-cut broccoli

2.3.2 壳聚糖、氯化钙及复合液处理对鲜切西蓝花 MDA 含量的影响

MDA 是细胞膜脂过氧化的重要产物,其含量增加可加速膜的损伤,可用来判定植物的衰老^[2,25]。由图 6 可知,鲜切西蓝花贮藏期间,MDA 含量至贮藏 2 d 时达到最大值,对照组达到 $0.92 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$,随后各组 MDA 含量呈下降趋势,其中壳聚糖、氯化钙及复合液处理的鲜切西蓝花 MDA 含量始终低于对照组,且复合液处理的鲜切西蓝花中 MDA 含量与对照组差异显著。结果表明,涂膜处理能抑制 MDA 的产生并延缓其衰老,其中复合涂膜处理效果最好。壳聚糖、氯化钙和复合液处理使鲜切西蓝花 SOD、POD、APX 保持了较高活性,进而抑制了脂膜过氧化并降低 MDA 积累。

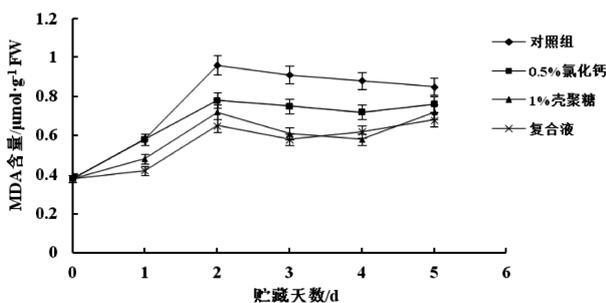


图 6 不同涂膜处理对鲜切西蓝花 MDA 含量的影响

Figure 6 Effects of different coating films on the content of MDA in fresh-cut broccoli

3 结论与讨论

果蔬经过鲜切加工后,其表面的损伤会激活一些生理生化反应,加速果蔬的营养流失、衰老及腐败变质^[9,10]。大量研究表明,壳聚糖的氢键相互交联形成的多孔薄膜和 Ca^{2+} 对植物细胞壁的支撑作用,能够减缓鲜切果蔬内部物质的转化和水分散失,维持细胞良好形态,进而降低鲜切果蔬的衰老及腐败变质进程^[7,8]。

本实验研究了不同涂膜处理对鲜切西蓝花的保鲜效果影响。结果表明,用 1%壳聚糖、0.5%氯化钙及二者的 1%壳聚糖+0.5%氯化钙复合液处理鲜切西蓝花,可保持贮藏期间的西蓝花中的 SOD、POD 和 APX 活性,降低 $\text{O}_2 \cdot^-$ 生成速率,抑制 MDA 的积累和叶绿素的降解,从而保持西蓝花的良好品质。且对 3 种涂膜保鲜效果比较发现,1%壳聚糖+0.5%氯化钙复合液处理效果最佳。

参考文献:

- [1] 汤月昌,许凤,王鸿飞,等.葡萄糖处理对青花菜品质和抗氧化性的影响[J].食品科学,2014,35(14):205-209.
- [2] 杨伟,张国斌,周德霞,等.水杨酸对不同灌水下限青花菜生理特性及产量品质的影响[J].西北植物学报,2014,34(5):1008-1014.
- [3] 王峰,陈名蔚,刘宗陈,等.鲜切西兰花保鲜技术分析[J].中国果菜,2018,38(5):1-4.
- [4] 李崇高,黄建初,邱红妹.响应面法优化鲜切菠萝壳聚糖涂膜保鲜的研究[J].食品与发酵工业,2018,44(9):182-187.
- [5] 孟令川,吕莹,陈湘宁.鲜切菜贮藏保鲜技术研究进展[J].中国农学通报,2013,29(9):190-196.
- [6] 王丹,马越,张超,等.鲜切蔬菜加工技术对产品品质的影响[J].食品科学技术学报,2017,35(6):17-20.
- [7] 张义雯,陈舜胜.壳聚糖纳米粒子的制备方法和抗菌机理[C]//中国食品科学技术学会第十三届年会论文摘要集.北京:中国食品科学技术学会年会,2016:319.
- [8] 张志刚,尚庆茂,董涛.水杨酸与氯化钙复配诱导黄瓜幼苗抗复合逆境效果研究[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2007,28(3):125-130.
- [9] 武继芸.不同涂膜处理对冬枣贮藏品质和抗氧化活性的影响[D].天津:天津大学,2016.

- [10] 连文绮, 樊迎, 张丹. 不同褐变抑制剂对鲜切苹果保鲜性能的影响[J]. 山西农业科学, 2018(2):284-287.
- [11] 葛金玉, 王艳颖, 刘程惠, 等. 氯化钙处理对鲜切萝卜生理与品质的影响[J]. 现代园艺, 2016(17):9-11.
- [12] 江英, 赵晓梅, 吴玉鹏. 西瓜不同贮藏过程中生理参数动态变化与贮藏效果相关性的研究 [J]. 食品科学, 2006, 27(4):241-244.
- [13] 赵建, 李想, 鲁政, 等. 影响超氧化物歧化酶活性测定的因素[J]. 食品科学, 2010, 31(9):216-218.
- [14] ROCA J, RODRIGUEZIL M J, GIL M A, et al. Survival and in vitro fertility of boar spermatozoa frozen in the presence of superoxide dismutase and/or catalase [J]. Journal of Andrology, 2005, 26(1):15-24.
- [15] YAN J, CAO J, JIANG W, et al. Effects of preharvest oligochitosan sprays on postharvest fungal diseases, storage quality, and defense responses in jujube (*Zizyphus jujuba* Mill. cv. Dongzao) fruit[J]. Scientia Horticulturae, 2012, 142(142):196-204.
- [16] 陈双颖. 化学处理对鲜切青花菜抗氧化特性的影响[D]. 天津:天津大学, 2015.
- [17] 王文杰, 贺海升, 关宇, 等. 丙酮和二甲基亚砷法测定植物叶绿素和类胡萝卜素的方法学比较 [J]. 植物研究, 2009, 29(2):224-229.
- [18] 刘莹, 徐关印. 盐碱胁迫下黄瓜丙二醛含量及有机硅的缓解效应[J]. 北方园艺, 2017, 12(22):1-5.
- [19] 史君彦, 高丽朴, 左进华, 等. 纳米膜和 PVC 膜包装对西兰花贮藏保鲜的影响 [J]. 食品工业科技, 2016, 37(19):255-258.
- [20] 陈双颖, 赵习姮, 刘洪竹, 等. 水杨酸和 H₂O₂ 处理对鲜切青花菜抗氧化特性的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(2):260-264.
- [21] 肖玮, 孙智慧, 刘洋, 等. 果蔬涂膜保鲜包装材料及技术应用研究进展[J]. 包装工程, 2017, 38(9):7-12.
- [22] 罗海波, 包永华, 何雄, 等. 鲜切茭白酚类物质测定及 POD 特性研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(15):127-132.

(责任编辑:叶丽娜)

Fresh-Keeping Effect of Chitosan-Calcium Chloride Coating Films on Fresh-Cut Broccoli

JIANG Bianling, WANG Mengmeng, CHEN Qiong,
DUAN Hong, HAN Fangkai, ZHU Ying

(School of Biological and Food Engineering, Suzhou University, Suzhou, Anhui 234000)

Abstract: In order to explore the feasibility of using chitosan-calcium chloride as coating films agent for keeping of fresh-cut broccoli, fresh-cut broccoli was treated with 1% chitosan, 0.5% calcium chloride, 1% chitosan and 0.5% calcium chloride. The control was the fresh-cut broccoli treated with distilled water. The result showed that the coatings could effectively reduce the rate of superoxide anion (O₂^{·-}) formation and the content of malondialdehyde (MDA). The activity of peroxidase (POD), superoxide dismutase (SOD) and ascorbic acid peroxy (APX) could be kept. The degradation of chlorophyll could be delayed. These results indicated that chitosan-calcium chloride coating could keep the quality of the fresh-cut broccoli more effectively than other groups.

Key words: fresh-cut broccoli; chitosan; calcium chloride; coating films

溶菌酶对赤眼鳟保鲜效果的研究

王昕岑, 林采风, 吴美芳, 宋忠情, 张 静

(武夷学院 茶与食品学院, 福建 武夷山 354300)

摘要:以赤眼鳟为原料,探究溶菌酶处理赤眼鳟(红眼鱼)的保鲜效果。通过感官指标、pH 值、盐溶性肌原纤维蛋白、挥发性盐基氮(TVBN)、硫代巴比妥酸值(TBARS)及菌落总数的测定,分析赤眼鳟在(4 ± 0.5)℃冷藏过程中的品质变化。结果表明:赤眼鳟鱼肉经不同浓度溶菌酶溶液处理后,冷藏条件下,其感官评分和盐溶性肌原纤维蛋白的溶解性下降较迟缓,TVBN 值、TBARS 值、菌落总数均比对照组低,pH 值的变化较稳定。添加 0.5 %溶菌酶的样品的保鲜效果最好,在第 8 d 时,赤眼鳟鱼肉样品的菌落总数为 6.59 logcfu/g,pH 值为 7.04,感官评分为 37,TVBN 值为 18.08 mg/100g,TBARS 值为 1.063 mg/kg,肌原纤维蛋白溶解度为 38.96 mgpro/g。

关键词:赤眼鳟;溶菌酶;保鲜

中图分类号:S983 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-2109(2018)12-0049-05

赤眼鳟(*Squaliobarbus Curriculus*),又名红眼鱼,属鲤形目,鲤科,雅罗鱼亚科,是武夷山九曲溪特有品种,现在当地已将其列入旅游资源。赤眼鳟的外形独特,肉质细嫩,味道鲜美,营养丰富^[1],是一种营养价值高、值得开发保鲜的优质淡水鱼类。鱼肉含水量高,鱼体死后体内蛋白质、脂类物质、碳水化合物易发生不同程度降解,引起鱼肉风味的变化和感官品质的下降^[2]。后期微生物的快速繁殖分解鱼肉中的蛋白质及其他含氮类物质,产生具有腐败臭味的产物,如氨、硫化氢等,令鱼肉变质不能食用^[3]。

目前,水产品贮藏或运输过程中主要是通过低温冷藏^[4]、气调保鲜^[5-6]、辐射保鲜^[7]及化学保鲜等,化学保鲜操作简单方便、效果明显,是目前运用的较普遍的保鲜方式,其中开发天然安全无污染的天然保鲜剂,提高食品的质量安全,降低化学残留,是水产品保鲜技术未来的发展趋势^[8]。溶菌酶(Lysozyme)又称胞壁

质酶,能够通过水解细菌中的多糖致使细胞壁破裂,抑制细菌增长,而且还具有天然、无毒、安全等优点^[9],如今已作为天然保鲜剂广泛的应用到食品保鲜中。湖南农业大学开发的保鲜剂运用到冷却肉保鲜中可使冷却肉的保质期延长 1~4 倍^[10];蓝蔚青^[11]等研究发现,经溶菌酶处理后的鱼肉在 4℃贮藏条件下,各项指标均优于未经处理的对照组。

本研究拟以赤眼鳟为研究对象,以溶菌酶为保鲜剂,通过分析赤眼鳟的感官指标、pH 值、TVB-N 值、菌落总数、盐溶性肌原纤维蛋白及 TBARS 等指标的变化,对赤眼鳟的保鲜效果做综合分析。

1 材料与方法

1.1 实验原料及试剂

赤眼鳟(红眼鱼):购于武夷山市本地农贸市场,原料鱼购进时选择大小一致(约 1.2 kg)、健康无疾病的原料,去鳞、去尾、去鳍、去内脏、去头后切成大小一致、重量约为 50 g 的鱼块备用;溶菌酶(20 000 U/mg)、牛血清白蛋白(BSA)购于上海蓝季生物有限公司;其他分析试剂均为分析纯。

收稿日期:2018-06-11

基金项目:福建省教育厅科技项目(JAT160522)。

作者简介:王昕岑(1990-),女,汉族,助教,主要从事食品化学的研究。

1.2 仪器与设备

YXQ-LS-75S11 立式压力蒸汽灭菌器 上海博迅公司; Neofuge23R 台式高速冷冻离心机 上海力申公司; TH600 广州耐雪公司; H12221 pH 计 深圳誉达公司; HH-S4 数显恒温水浴锅 常州中捷公司; V-1100 可见分光光度计 上海美普达公司; BLD-246WTM(E) 冰箱 合肥美的公司。

1.3 实验方法

1.3.1 样品的处理

取 1.1 中处理的赤眼鲟鱼片, 随机分组, 将鱼片分别放入 0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、0.6% 溶菌酶溶液中浸泡 10 min 后取出沥干 3 min, 放入保鲜袋并做好标记后置于 $(4 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 条件下贮存待用。设置取样时间为每 2 d 取样 1 次, 总贮存时间为 12 d。样品取出后匀浆以备后续指标测定。

1.3.2 赤眼鲟鲜度评价指标测定

1.3.2.1 感官评定

感官评定方法参照叶萍萍^[2]的研究并与本次实验相结合做适当的改动如表 1 所示, 在不同溶菌酶添加量情况下分别对其感官鲜度进行评价。并参照表 1 对两种不同浓度保鲜剂处理过的鱼肉进行感官评价, 评分小组由 5 名食品专业的人员组成, 评分结果取平均值。

1.3.2.2 pH 值测定

取 1.3.1 中处理好的鱼肉 10 g, 加入 100 mL 蒸馏

水中, 搅拌均匀后静置 30 min, 离心后上清液参照 GB 5009.237—2016 的方法^[13]进行测定, 平行测定三次。

1.3.2.3 挥发性盐基氮(TVBN)的测定

取 1.3.1 中处理好的鱼肉 10 g, 均质后参照 GB 5009.228—2016 的方法^[14]进行测定, 平行测定三次。

1.3.2.4 菌落总数的测定

取 1.3.1 中处理好的鱼肉 25 g, 采用无菌生理盐水均质后参照 GB 4789.2—2016 的方法^[15]进行测定, 平行测定三次, 结果以对数表示即 log cfu/g。

1.3.2.5 盐溶性肌原纤维蛋白的测定

参照俞静芬^[16]的研究, 并做适当调整。准确称取 1.0 g 鱼肉, 加入 9 倍体积高离子强度的磷酸盐缓冲液, 振摇 3 min 后再加入 10 倍体积的相应缓冲液, 在 4°C 条件下静置 3 h 后在 4°C 下离心 30 min 后, 得到的上清液用双缩脲方法进行测定。

1.3.2.6 硫代巴比妥酸值(TBARS)的测定

参照 Sinnhuber^[17]的方法, 准确称取 1.0 g 样品于反应管中, 然后加入 2.5 mL 三氯乙酸溶液混合均匀, 再加入 2 mL 蒸馏水, 均质 1 min 后, 在 3 000 rpm 条件下离心 20 min, 取 2 mL 上清液加入 2 mL TBA 溶液, 在沸水浴中保持 20 min, 冷却之后, 在 532 nm 处测吸光度。用 1 mL 三氯乙酸溶液和 1 mL 水加

表 1 感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation criteria

项 目	好(10分)	较好(8分)	一般(6分)	较差(4分)	差(2分)
色泽	色泽正常,肌肉表面湿润光滑,富有光泽	色泽正常,肌肉表面稍干,有光泽	色泽稍暗淡,肌肉表面少许粘液	色泽较暗淡,肌肉表面覆盖粘液,无光泽	色泽暗淡,肌肉表面明显粘液,无光泽
生鱼片	固有香味浓郁	固有香味较浓郁	固有香味淡,腥味明显	略带腥臭和氨臭味	明显氨臭味
组织形态	纹理很清晰,富有弹性,压后立即回复	纹理清晰,有弹性,压后较快回复	肌肉组织不紧密,较有弹性,压后回复较慢	肌肉组织局部松散,稍有弹性,压后回复很慢	肌肉组织松散,无弹性,压后不回复
气味	鱼肉固有的香味,清新	鱼肉固有的香味	固有香味淡	略带腥臭味	明显腥臭味
熟鱼片	固有鲜味浓郁,弹性好	固有鲜味较浓郁,较有弹性	固有鲜味淡,弹性一般	无鲜味,弹性较差	无鲜味,有腥臭味
汤汁形态	很清晰,无碎肉	较清晰,无碎肉	较清晰,有少量碎肉	汤汁较浑浊	汤汁很浑浊

2 mL TBA 溶液做空白, TBARS 计算如下:

$$\text{TBARS}(\text{mgMDA}/\text{kg}) = A_{532} \times 9.48$$

2 结果与分析

2.1 添加溶菌酶对赤眼鲷理化指标的影响

2.1.1 不同浓度溶菌酶对赤眼鲷感官评分的影响

从图 1 可知,赤眼鲷在冷藏初期,感官评分会随着时间的推移慢慢下降,添加溶菌酶的赤眼鲷在感官评分上与未添加的赤眼鲷两者无明显差别,但随着时间的延长,经过溶菌酶处理的鱼肉的感官评分与未经处理的鱼肉的感官评分变化愈加明显。对照组在第 8 d 时已有轻微的异味且弹性较差,表面有少许粘液。在第 10 d 时,对照组的鱼肉组织发软无弹性并伴随着较大的氨臭味,在感官上已到了不能接受的程度。随溶菌酶添加量增加,鱼肉感官评分上升,但溶菌酶添加量增加到 0.6% 时,其感官评分与 0.5% 溶菌酶添加量无显著差异 ($p > 0.05$),可能是溶菌酶酶解效果饱和。溶菌酶处理组在第 8 d 时,并未产生不良的异味,肌肉稍有弹性,组织形态纹理较清晰,到第 10 d 时,稍有异味,鱼肉表面附有少许粘液。因此,为节约成本,以添加了 0.5% 溶菌酶的赤眼鲷鱼肉的感官评定效果最好。

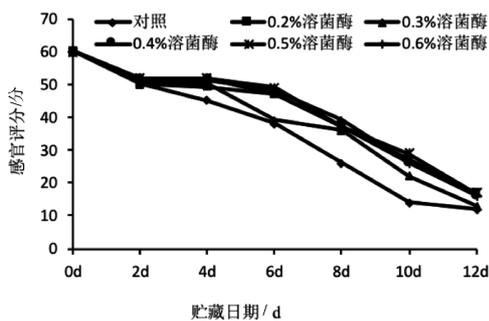


图 1 添加溶菌酶对赤眼鲷的感官评分的影响

Figure 1 Effects of lysozyme on sensory evaluation of *Spauliobarbus curriculus*

2.1.2 不同浓度溶菌酶对赤眼鲷 pH 值的影响

如图 2 所示,添加了溶菌酶的赤眼鲷鱼肉的 pH 值与对照组的 pH 值均随着贮藏时间的延长缓慢上升,这是因为在贮藏过程中鱼肉中所含蛋白质被分解生成碱性胺和氨类,鱼肉中的碱性物质含量增多, pH 值增加^[18]。如图 2 可看出经过溶菌酶处理的鱼肉的 pH 的变化幅度均要比对照组小,且经过 0.5% 的溶菌酶

处理过的赤眼鲷的 pH 值的变化趋势最小,说明在此处理条件下鱼肉蛋白质分解较少,因此,以 0.5% 的溶菌酶样品的保鲜效果最佳。

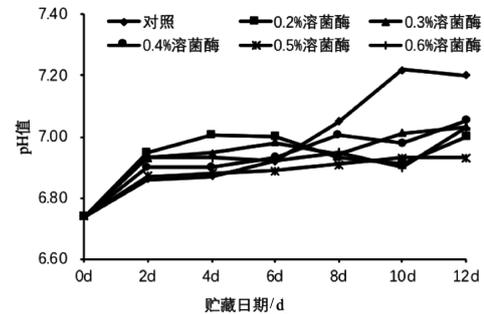


图 2 添加溶菌酶对赤眼鲷的 pH 值的影响

Figure 2 Effects of lysozyme on pH value of *Spauliobarbus curriculus*

2.1.3 不同浓度溶菌酶对赤眼鲷挥发性盐基氮 (TVB-N) 的影响

挥发性盐基氮 (TVB-N) 与感官评定, 菌落总数存在相关性, 因此被作为评判水产品保鲜效果的重要指标。在贮藏过程中, 鱼肉中的蛋白质会被分解生成具有腐败臭味的氨和胺类等化合物。图 3 显示的是添加了溶菌酶的赤眼鲷鱼肉的 TVB-N 值的变化, 在冷藏过程中, 各样品的 TVB-N 值随着时间的延长不断增大。如图所示, 经溶菌酶处理的赤眼鲷的 TVB-N 值均低于对照组, 随着溶菌酶添加量的增加, 赤眼鲷的 TVB-N 值呈下降趋势, 且添加了 0.5% 的溶菌酶的样品的 TVB-N 值要低于其他样品, 在第 8 d 时的 TVB-N 值为 18.08 mg/100g, 溶菌酶添加量在 0.6% 时, 赤眼鲷的 TVB-N 值上升, 可能是溶菌酶对蛋白质的水解有一定的影响; 而对照组在第 8 d 时 TVB-N 值已达到 23.87 mg/100g, 超过了食品安全国家标准规定淡水鱼 TVB-N 值限量标准 (20 mg/100g)^[19]。

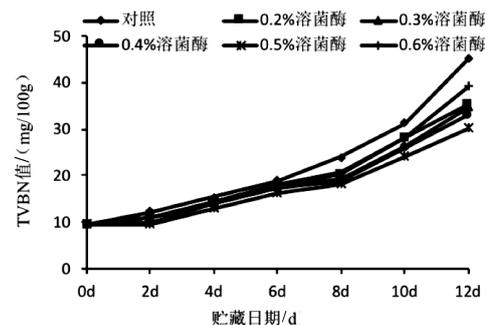


图 3 添加溶菌酶对赤眼鲷的 TVBN 值的影响

Figure 3 Effect of lysozyme on TVB-N value of *Squialiobarbus curriculus*

2.1.4 不同浓度溶菌酶对赤眼鲢菌落总数的影响

图4显示的是经过不同浓度溶菌酶处理的赤眼鲢的菌落总数的变化。如图所示,经溶菌酶溶液处理的赤眼鲢鱼肉的菌落总数在保鲜过程中会随时间的推移呈上升趋势。经溶菌酶处理的赤眼鲢鱼肉的菌落总数在保鲜初始阶段没有较大的变化,经溶菌酶溶液处理过的赤眼鲢鱼肉的菌落总数增长速度均比对照组的低,且随着溶菌酶添加量的增加,赤眼鲢样品中的菌落总数明显减少,说明溶菌酶可抑制赤眼鲢鱼肉的微生物繁殖。其中以0.5%溶菌酶样品的保鲜效果最佳,在第10d时,菌落总数为 4.81×10^5 cfu/g,而对照组菌落总数已增长到 8.60×10^5 cfu/g,超出标准规定^[20]的最低限度($\leq 5 \times 10^5$ cfu/g)。

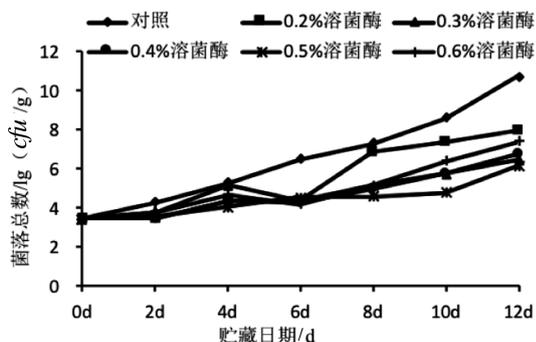


图4 添加溶菌酶对赤眼鲢的菌落总数的影响

Figure 4 Effects of lysozyme on TVC of *Spudliobarbus curriculus*

2.1.5 不同浓度溶菌酶对赤眼鲢蛋白质溶解度的影响

肌原纤维蛋白的盐溶性作为判断蛋白质是否变性的依据,可在一定程度上可以反映出鱼肉保鲜的效果。图5表示的是经过不同溶菌酶溶液处理的赤眼鲢鱼肉在冷藏过程中的蛋白质溶解度的变化。可以从图5中看出,在冷藏过程中赤眼鲢的蛋白质溶解度随着时间的延长不断降低,这是由于蛋白质在贮藏过程中被分解转化为其他物质。未经溶菌酶处理的赤眼鲢鱼肉的蛋白质溶解度下降的最快,而经溶菌酶处理过的鱼肉的蛋白溶解度下降速率较慢,溶菌酶加入的量会影响赤眼鲢蛋白质的溶解性,说明溶菌酶可延缓盐溶性肌原纤维蛋白的变性。随着溶菌酶添加量的增加,蛋白质的溶解度下降速度减慢,其中以0.5%和0.6%溶菌酶的样品的保鲜效果最佳,为节约成本,选择最佳溶菌酶添加量为0.5%。在此添加量下,贮藏至12d时,蛋白质溶解度为31.17 mgpro/g,而对照组的

蛋白质溶解度为19.53 mgpro/g。

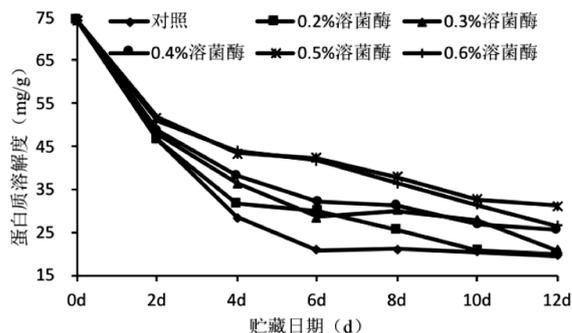


图5 添加溶菌酶对赤眼鲢的肌原纤维蛋白溶解性的影响

Figure 5 Effects of lysozyme on myofibrillar protein extractability of *Spudliobarbus curriculus*

2.1.6 不同浓度溶菌酶对红眼鱼硫代巴比妥酸值(TBARS)的影响

如图6所示,通过观察经过不同浓度溶菌酶处理的赤眼鲢在贮藏过程中TBARS值的变化,可知随着时间延长,各溶菌酶处理组的鱼肉的TBARS值呈上升趋势,对照组在第6d时已达到1.1112 mg/kg,已超过了良质肉的最低限度(>1.1 mg/kg)。随着溶菌酶添加量由0.2%增加至0.5%,赤眼鲢的TBARS值呈下降的趋势,而0.6%添加量的TBARS值与0.2%添加量接近,高于其他处理组,可能是由于溶菌酶对微生物作用时产生的代谢产物对脂质氧化有影响。处理组的TBARS值在第6d均在最低限度范围内,其中以0.5%溶菌酶组的保鲜效果最佳,其TBARS值为0.637 mg/kg。

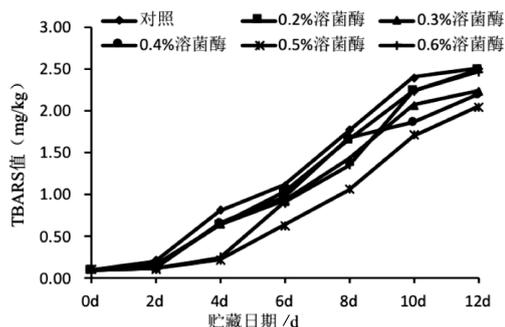


图6 添加溶菌酶对赤眼鲢的TBARS值的影响

Figure 6 Effects of lysozyme on TBARS value of *Spudliobarbus curriculus*

3 结论

采用溶菌酶处理鱼肉,并置于 $(4 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 条件下

冷藏保鲜,结果表明,储藏到第6 d时,未添加保鲜剂的样品已变质。随溶菌酶添加量的增加,赤眼鲟的保鲜效果增加,其中以添加量为0.5%的样品保鲜效果最好,在第8 d时,赤眼鲟样品的菌落总数为6.59 cfu/g, pH值为7.04,感官评分为37,TVBN值为18.08 mg/100g, TBARS值为1.260 mg/kg,蛋白质溶解度为38.96 mg/g,以0.5%溶菌酶处理赤眼鲟鱼肉,能使在4℃下贮藏达12 d。

参考文献:

- [1] 杨四秀,郑陶生.赤眼鲟的含肉率和营养价值分析[J].安徽农业科学,2010, 38(22):11835-11837.
- [2] TRUONG B Q, BUCKOW R, STATHOPOULOS C E, et al. Advances in High-Pressure Processing of Fish Muscles[J]. Food Engineering Reviews,2015,7(2):109-129.
- [3] 汪金林.茶多酚对冷藏养殖大黄鱼品质影响的研究[D].杭州:浙江工商大学,2012.
- [4] 樊丹敏,莫新春.海水鱼低温保鲜过程中鲜度和风味的研究现状[J].食品工业,2015(10):248-251.
- [5] 龚婷,熊善柏,陈加平,等.冰温气调保鲜草鱼片加工过程中的减菌化处理[J].华中农业大学学报,2009,28(1):111-115.
- [6] 戴志远,翁丽萍,王宏海.养殖大黄鱼气调包装保鲜工艺研究[J].中国食品学报,2010,10(5):204-211.
- [7] 杨文鸽,傅春燕,徐大伦,等.电子束辐照对美国红鱼杀菌保鲜效果的研究[J].核农学报,2010,24(5):991-995.
- [8] 蒋兰宏,周友亚.茶多酚作为抗氧化剂在鱼肉中的应用[J].河北师范大学学报:自然科学版,2003,27(6):606-607.
- [9] 任西营,胡亚芹,胡庆兰,等.溶菌酶在水产品防腐保鲜中的应用[J].食品工业科技,2013,34(8):390-394.
- [10] 张凤凯,马美湖.溶菌酶及其食品保鲜剂的应用[J].肉类研究,2001(4):41-42.
- [11] 蓝蔚青,谢晶.溶菌酶对带鱼冷藏保鲜效果的影响[J].湖南农业科学,2010(17):114-118.
- [12] 叶萍萍.微冻鳙鱼保鲜技术研究[D].扬州:扬州大学,2011.
- [13] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB5009.237-2016 食品安全国家标准.食品pH值的测定[S].北京:中国标准出版社,2015.
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB5009.228-2016 食品安全国家标准:食品中挥发性盐基氮的测定[S].北京:中国标准出版社,2015.
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB4789.2-2016 食品安全国家标准:食品微生物学检验菌落总数测定[S].北京:中国标准出版社,2015.
- [16] 俞静芬.淡水鱼鳙鱼的微冻与冰温保鲜技术研究[D].杭州:浙江工业大学,2007.
- [17] SINNHUBER N. Effect of brine immersion freezing on the determination of ecological tracers in fish[J]. European Food Research and Technology,2014,238(6):1057-1062.
- [18] 李颖畅,刘明爽,李乐,等.蓝莓叶多酚对冷藏鲈鱼品质的影响[J].中国食品学报,2015,15(2):120-125.
- [19] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB2733-2015 食品安全国家标准:鲜、冻动物性水产品[S].北京:中国标准出版社,2015.
- [20] International Association of Microbiological Societies, International Commission on Microbiological Specifications for Foods. Sampling for microbiological analysis: principles and specific applications[M]// Microorganisms in foods. Liniv. of Toronto Pr, 1986.

(责任编辑:赵其领)

Fresh-Keeping Effects of Lysozyme on *Spualio barb us curriculus*

WANG Xincen, LIN Caifeng, WU Meifang, SONG Zhongqing, ZHANG Jing

(School of Tea and Food, Wuyi University, Wuyishan, Fujian 354300)

Abstract: In this paper, the preservative effects of lysozyme on *Spualio barb us curriculus* were studied. The sensory analysis, pH value, salinity myofibrillar protein, volatile base nitrogen (TVBN), thiobarbituric acid (TBARS) and colony count were measured during storage at 4℃. The results showed that the contents of TVBN, TBARS and colony were lower than the control group, sensory analysis and solubility of myofibrin decreased slowly, and the pH value changed more stably. The 0.5 % lysozyme treated showed the best preservatives effects. On the 8th day, colony count of *Spualio barb us curriculus* was 6.59 logcfu/g, pH was 7.04, sensory analysis was 37, and TVBN was 18.08 mg/100 g, TBARS of 1.063 mg/kg, myofibrillar protein solubility of 38.96 mgpro/g.

Key words: *Spualio barb us curriculus*; lysozyme; fresh-keeping

基于多目标优化的图像增强算法研究

郑 瑾

(福建船政交通职业学院 信息工程系, 福建 福州 350007)

摘 要:将图像增强问题建模为一个有约束的多目标优化问题(Multi Objective Optimization Problem, MOOP), 采用多目标遗传算法求解随机共振噪声分布的最优参数。提出的算法在低质量的图像中加入适量的噪声, 以提高次优增强图像的性能。性能评估部分使用实例验证了该算法的有效性。

关键词:图像增强; 噪声; 多目标优化; 遗传算法

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-2109(2018)12-0054-04

图像增强的目的是提高图像的亮度、对比度和细节, 以此更好地表达图像的视觉信息。与传统的图像增强技术^[1-2]相比, 基于噪声的信号增强和图像处理是一种全新的技术^[3-5]。由于非线性系统中噪声能够增强微弱信号的检测能力, 因此该类技术能够在输入图像或信号中加入噪声以提高算法的性能。这种信号、噪声和非线性随机系统所产生的协同现象被称为随机共振。主要贡献是设计了一种基于多目标优化的图像增强方法, 通过求解有约束的多目标优化问题, 得到增强图像所添加噪声的最优参数。

1 问题建模

主要研究如何改进现有的几种图像增强算法, 并保持其结构不变, 包括算法的参数不变。为了达到这一目标, 首先将图像增强问题建模为带有约束条件的多目标优化问题, 如下所示:

$$\max f(x)=[f_1(x), f_2(x, y)]$$

$$\text{s.t. } f_2(x, y) \geq s \quad (1)$$

多目标优化问题(1)的目标是同时优化函数 $f_1(x)$ 和 $f_2(x, y)$, 其中, 函数 $f_1(x)$ 表示了增强后图像 x 的特性; 函数 $f_2(x, y)$ 是增强后图像 x 与原始图像 y 的相似度; 约束条件用于防止图像过增强 (over-enhancement) 现象的出现, 即保证了经过增强处理后的图像至少与原始图像具有一定的相似性。增强后的图像表示为 $x = D(y)$, D 是图像增强算法。由问题(1)可知, 扩大解的可行域能提高算法的性能。在扩大可行域之后, 通过求解带有约束的 MOOP 就能产生帕累托前沿 (即非支配解), 然后使用标准从帕累托前沿中选择更合适的解。降低 s 的值是扩大可行域的另一种方法。但是, 如果将 s 值设置过低, 则可能无法保持增强图像与原始图像之间的相似性。因此必须将 s 设定为一个合理的常数, 并使用随机共振噪声来扩大可行域。

假设 n 是随机共振噪声, 其概率密度函数为 $P_n(n)$ 。我们将噪声添加到原始图像的每一个像素中, 得到具有噪声的图像 z , 其中 $z = y + n$ 。对噪声图像 z 应用图像增强算法 D , 能得到带有噪声的增强图像 x' , 即 $x' = D(z(n))$ 。此时, 对于每一个原始图像 y , 我们将可行域从 x 扩大成为 x' 。接下来, 我们使用凸组合进一步扩大可行域。我们给每一个参与组合的增强图像分配相

收稿日期: 2018-07-10

作者简介: 郑瑾 (1983-), 女, 汉族, 讲师, 主要从事计算机应用的研究。

等的权重,可得

$$C(z) = \frac{\sum_{i=1}^K D(z(n_i))}{K} \quad (2)$$

式(2)中, K 是凸组合中增强图像的个数,每一个增强图像的权重是 $1/K$ 。对于给定的 K ,我们根据相互独立的概率分布函数 $P_n(n)$ 生成最多 K 个噪声矩阵。至此,我们通过添加噪声和凸组合的方式,扩大了多目标优化问题的可行域。扩大可行域后的多目标优化问题如下所示:

$$\begin{aligned} \max \quad & f(x) = [f_1(C(z)), f_2(C(z), y)] \\ \text{s.t.} \quad & f_2(C(z), y) \geq 1 \end{aligned} \quad (3)$$

然而,确定随机共振噪声的最优概率密度函数取决于图像增强算法 D , $f_1(x)$, $f_2(x, y)$ 和原始图像的性质。因此,我们需要预先确定噪声的形式及其参数。虽然这种做法并不能找到最优的噪声参数,但能使算法易于实现。这是因为在实际应用中难以找到确定噪声最佳形式所需的信息。我们从噪声库中选择合适的噪声形式,噪声库中包含多个具有可调参数的随机共振噪声,例如高斯噪声。帕累托最优前沿包含了最优噪声的非支配解,是通过求解优化问题(3)得到的。增强图像的最终解决方案是根据式(4)所示的准则从帕累托最优前沿中选择噪声的最佳参数。

一般来说,很难得到多目标优化问题(3)的解析解。因此,采用带精英策略的非支配排序遗传算法求解优化问题(3),即寻找优化问题(3)的帕累托最优前沿。如果引入噪声会降低增强图像的质量,则不会使用噪声。事实上,从人视觉的角度出发,从帕累托最优前沿中选择的噪声并不一定能保证增强图像会有更好的质量。因此,我们提出一个符合人类视觉系统标准的选择方案。优化问题(3)中的两个目标函数分别代表不同的图像特征,将它们结合起来能使增强图像更符合人类视觉系统的标准。使用两个目标函数的线性组合作为评价图像质量的标准,并以该标准从帕累托最优前沿中选择合适的解。对于权重 w_1, w_2 ,若帕累托最优前沿的解满足优化问题(4),该解即为合适的解。

$$\begin{aligned} \max \quad & w f_1(C(z)) + w f_2(C(z), y) \\ \text{s.t.} \quad & w f_1(C(z)) + w f_2(C(z), y) - w f_1(x) - w f_2(x, y) > 0 \end{aligned} \quad (4)$$

这种选择方案的优点是能够通过线性组合同时考虑增强图像的不同特征。此外,在人类视觉系统的指导下,可以显著降低解集的大小。我们选择特定的目标函数对来说明该图像增强算法的有效性。对于函数 $f_2(x, y)$,我们采用结构相似度函数来度量增强图像和原始图像的一致性,该函数如式(5)所示。

$$\text{Sim}(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)} \quad (5)$$

$\text{Sim}(x, y)$ 的值越高,则说明增强图像和原始图像的相似度越高。图像的对比敏感度信息是图像质量的重要指标。对于函数 $f_1(x)$,我们选择函数 $CS(x)$ (如式(6)所示)作为图像对比敏感度的度量,以提高增强图像的对比敏感度。式(6)中, L, W 分别是图像的长和宽, $co(m, n)$ 是分解系数, $csf(m, n)$ 是对比敏感度函数,计算方式如下所示^[6]:

$$CS(x) = \frac{\sum_{m=1}^{L/4} \sum_{n=1}^{W/4} co(m, n) csf(m, n)}{LW} \quad (6)$$

接下来是采用多目标遗传算法求解优化问题。适应度函数的定义如下: $\text{FitFun}(z, y) = w f_1(C(z)) + w f_2(C(z), y)$,其中 (z, y) 变量代表一个个体。如果适应度函数中的权重值(即 w)是常数,那么算法的搜索方向就会被固定。为了不陷入局部最优解,我们采用随机的权重值,从不同的搜索方向出发搜索帕累托最优解。随机权重的计算方式如公式(7)所示。

$$w_i = \frac{U_i}{\sum_{j=1}^n U_j} \quad (7)$$

其中, U_i 服从 $[0, 1]$ 的均匀分布,因此是属于区间 $[0, 1]$ 的实数。在多目标遗传算法的执行过程中,每一代都要存储和更新一组帕累托最优解。从每一代的集合中随机选择一定数量的个体,这些个体被称为精英。这种精英保护策略在维持种群多样性方面具有一定的作用。算法的伪代码如下所示。该算法提出一种基于非支配排序的遗传算法,通过结合父代和后代种群并选择最好的帕累托解来创建一个匹配池。该算法的主要伪代码如表1所示。

表 1 多目标遗传算法

Table 1 Multi-objective genetic algorithm

算法 1 多目标遗传算法

```

1: NumOfSolu = |S|; // NumOfSolu 是解的个数
2: For each k in NumOfSolu do
3:   S[k].dis = 0; //初始化
4: End for
5: For each f in F do
6:   S = sort(S, f); //根据目标函数的值排序
7:   S[1].dis = S[ NumOfSolu ].dis = inf; //选择边界节点
8:   For i = 2 to NumOfSolu - 1 do //对于非边界节点
9:     S[i].dis = S[i].dis + (S[i + 1].f - S[i - 1].f) / (fm.MAX - fm.
MIN);
10:   Rt = Pt Qt; //结合父代染色体和后代
11:   For each p in Rt do //接下来进行快速非支配解排序
12:     Sp = NULL;
13:     np = 0;
14:     For each q in Qt do
15:       If p dominates q then //当 p 支配 q
16:         Sp = Sp + q;
17:       Else
18:         np = np + 1;
19:       End if
20:       If np == 0 then
21:         pr = 1;
22:         Front1 = Front1 + p;
23:       End if
24:     End for
25:   End for
26:   i = 1;
27:   While ! Front1 do
28:     For each p in Front1 do
29:       For each q in Sp do
30:         np = np - 1;
31:         If np = 0 do
32:           pr = i + 1;
33:           Q = Q + q;
34:         End if
35:       End for
36:     End for
37:   End while
38:   While | Pt | + | Front1 | <= N do
39:     CDA( Front1 ); //计算帕累托前沿的距离
40:     Pt + 1 = Pt + 1 Front1; //将第 i 个帕累托前沿添加到
种群中
41:     i = i + 1;
42:   End while
43:   SortDescend(Front1); //对帕累托前沿进行降序排序
44:   Pt + 1 = Pt + 1 Front1 [ 1 : N - | Pt + 1 |]; //选择前 N - 1
Pt + 1 个帕累托解
45:   Qt + 1 = CreateNew(Pt + 1); //产生新种群
46:   t = t + 1;
47: End for

```

2 性能评估

本节对提出的算法性能进行评估。实验的参数设置如下:遗传算法的种群规模为 100,算法迭代的代数 为 50,参数 K 为 35,参数 s 为 0.6。我们将提出的算法 与基于非线性传递函数的方法(NTrF)^[7]和基于对比度 的方法(ConB)^[8]进行比较,考察该算法在图像指标和 视觉效果两方面的性能。考察的图像指标包括了平均 偏差、信息熵、标准差、相关性以及计算开销。我们从

谷歌数据库中选取了 20 多幅图像作为测试图像,由 于篇幅有限,仅呈现其中 3 幅图像的实验结果。表 2 是 三种算法在不同图像指标下的结果,图 1 呈现了三种 算法在视觉效果方面的实验结果。结合表 2 和图 1 的 结果可知,该算法不仅有较好的图像指标,而且还 有很好的视觉效果。

表 2 三种算法的图像指标结果

Table 2 Result of image indicator among three algorithms

	图片 1			图片 2			图片 3		
	NTrF	ConB	多目标 优化算法	NTrF	ConB	多目标 优化算法	NTrF	ConB	多目标 优化算法
平均偏差	0.071	0.054	0.018	0.039	0.041	0.032	0.042	0.034	0.021
信息熵	8.245	6.028	9.249	7.583	5.938	8.486	5.273	4.701	5.989
标准差	86.114	88.931	81.373	71.615	74.531	67.471	47.739	49.351	44.744
相关性	0.812	0.887	0.928	0.901	0.846	0.944	0.628	0.591	0.634
计算开销	12.818	13.826	12.059	10.941	11.788	10.145	7.572	8.051	7.139



(a) (b)



(a) (b)



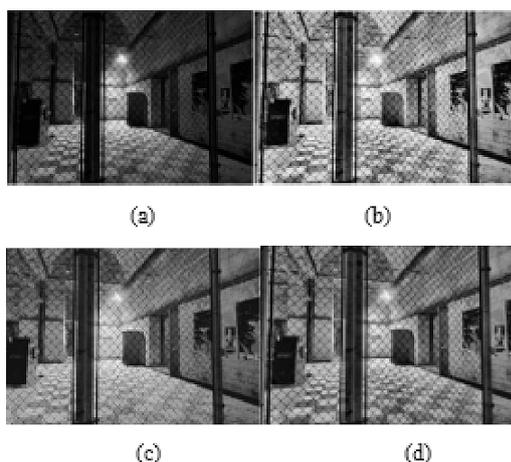


图 1 三种算法的视觉效果

Figure1 Result of visual effect among three algorithms

(a) Original image, (b) NTrF, (c) ConB, (d) Proposed algorithm

(a)是原始图像,(b)是 NTrF,(c)是 ConB,(d)是多目标优化算法

3 结论

将图像增强问题建模为一个带有约束的多目标优化问题,通过加入随机共振噪声改善解的帕累托最优前沿,并采用多目标遗传算法求解最优噪声参数。实验结果表明,该算法具有良好的性能。未来的研究方向在于研究不同随机共振噪声对图像增强的影响。

参考文献:

- [1] JAIN A K. Fundamentals of digital image processing[M]. New Jersey: Wiley-Blackwell, 2011.

- [2] DABOV K, FOI A, KATKOVNIK V, et al. Image denoising by Sparse 3-D transform-domain collaborative Filtering[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2007, 16(8):2080.
- [3] CHEN H, VARSHNEY P K, KAY S M, et al. Theory of the stochastic resonance effect in signal detection: Part I: Fixed Detectors [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2007, 55(7):3172-3184.
- [4] RALLABABDI V P S. Enhancement of ultrasound images using stochastic resonance-based wavelet transform[J]. Computerized Medical Imaging & Graphics the Official Journal of the Computerized Medical Imaging Society, 2008, 32(4):316-320.
- [5] PENG R, CHEN H, VARSHNEY P K, et al. Stochastic resonance: an approach for enhanced medical image processing [C]// Life Science Systems and Applications Workshop, 2007. LISA 2007. IEEE/NIH. IEEE, 2007:253-256.
- [6] PANETTA K A, WHARTON E J, AGAIAN S S. Human visual system-based image enhancement and logarithmic contrast measure. [J]. IEEE Trans Syst Man Cybern B Cybern, 2008, 38(1):174-188.
- [7] GHIMIRE D, LEE J. Nonlinear transfer function-based local approach for color image enhancement[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2011, 57(2):8.
- [8] NANDAL A, BHASKAR V, DHAKA A. Contrast-based image enhancement algorithm using grey-scale and colour space[J]. IET Signal Processing, 2018, 12(4): 514-521.

(责任编辑:叶丽娜)

Research on Image Enhancement Algorithm Based on Multi-Objective Optimization

ZHENG Jin

(Department of Information Engineering, Fujian Chuanzheng Communications College, Fuzhou, Fujian 350007)

Abstract: The image enhancement problem is modelled as a constrained multi-objective optimization problem (MOOP), a MOOP technology based on genetic algorithm is applied to solve the optimal solution to parameters of stochastic resonance noise distribution. In order to improve the performance of sub-optimal image enhancement, the proposed algorithm adds a suitable amount of noise to the low-quality image. Some examples are used to verify the effectiveness of the algorithm in the evaluation part.

Key words: image enhancement; noise; multi-objective optimization; genetic algorithm

基于差分进化算法的图像分割参数选择方法研究

朱必熙, 张艳红

(福建幼儿师范高等专科学校 人文科学系, 福建 福州 350013)

摘要: 通过将差分进化算法引入差异度实验法图像分割参数的选择, 根据参考图与差异度准则选择最佳的分割参数, 可在一定程度上减少分割参数选择的盲目性。利用设计的软件原型系统对航空彩色图像的“最优”分割参数的选择进行实验分析, 结果表明该方法可以获得较理想的分割参数及分割结果。同时, 也可看出对于多尺度图像分割方法, 较理想的分割结果对应的分割参数并不是唯一的。

关键词: 差分进化; 图像分割; 参数优化; OBIA

中图分类号: TP75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-2109(2018)12-0058-07

随着卫星发射技术、传感器技术与数据传输技术的发展, 遥感图像的空间分辨率得到了很大的提高。高分辨率遥感图像的纹理、几何形状更加清晰、细致, 但也使地物对应的图像更加复杂。对于如何从这些高分辨率图像提取有意义的信息存在不少挑战。基于对象的图像分析方法 (Object-Based Image Analysis, OBIA), 是以图像对象作为分析单元, 可充分利用地物光谱、纹理、几何和拓扑关系等多种特征的图像分析方法^[1]。该方法近年在图像分析中得到快速的发展。图像分割获取的对象单元是 OBIA 的首要 and 关键步骤, 直接影响后续基于图像对象分析与信息提取的精度。

鉴于图像分割对基于对象的图像分析方法的重要性, 众多学者对图像分割进行了深入而广泛的研究, 许多适用于遥感图像分割的算法被相继提出^[2]。其中, 基于区域生长的多尺度图像分割方法可以结合多种特征, 进行多尺度的图像分割, 被广泛应用于遥感图像的分割^[3-6]。由于地物结构的复杂性、对地物本征

尺度认识的不足、遥感图像量测尺度的不变性及图像分割算法中尺度参数与实际地物尺度之间联系的物理含义不确定性等原因, 在实际应用中如何选择一个或多个合适的尺度进行图像的分割还是一个亟待深入研究和解决的问题。

本文通过将差分进化算法 (Differential Evolution, 简称 DE) 引入图像多尺度分割参数的选择, 根据参考图与差异度准则选择最佳的分割参数, 可在一定程度上减少分割参数选择的盲目性, 这对于提高 OBIA 图像分类精度及其该方法的推广应用具有重要的意义。

1 研究方法

1.1 多尺度图像分割方法

本研究采用 Baatz 和 Schäpe 2000 年提出的基于区域生长的多尺度图像分割算法作图像分割算法^[4]。该算法根据区域虚拟合并前后的灰度特征标准差 ΔStd 、紧凑度 $\Delta Comp$ 与光滑度 $\Delta Smooth$ 变化量, 通过加权得到综合异质性测度 HC , 作为最终的合并准则测度, 定义如式 (1)。 w_1 为灰度标准差变化量的权重, w_2 为形状因子中紧凑度的权重^[6]。

$$HC = w_1 \cdot \Delta Std + (1 - w_1) (w_2 \Delta Comp + (1 - w_2) \Delta Smooth) \quad (1)$$

收稿日期: 2018-09-16

基金项目: 福建省教育厅科技项目 (JAT160784)。

作者简介: 朱必熙 (1985-), 女, 汉族, 讲师, 主要从事教学管理, 信息技术应用的研究。

标准差变化量 ΔStd 根据式(2)进行计算。其中, n 为通道(波段)数, p_i 为第 i 通道的权重, a_m 和 Std_{m_i} 为合并后的区域大小和第 i 通道的标准差, a_1 和 a_2 为合并的两个区域的大小, Std_{1_i} 和 Std_{2_i} 为合并前两个区域第 i 通道的标准差。

$$\Delta Std = \sum_{i=1}^n p_i (a_m \cdot Std_{m_i} - (a_1 \cdot Std_{1_i} + a_2 \cdot Std_{2_i})) / \sum_{i=1}^n p_i \quad (2)$$

合并前后区域的紧凑度变化量 $\Delta Comp$ 定义如式(3)。 a_m, a_1 和 a_2 为合并的两个区域的大小, l_m, l_1 和 l_2 的为合并后及合并前的区域边界长度。如果紧凑度变化量小,两区域合并的可能性大。

$$\Delta Comp = a_m \cdot \frac{l_m}{\sqrt{a_m}} - (a_1 \cdot \frac{l_1}{\sqrt{a_1}} + a_2 \cdot \frac{l_2}{\sqrt{a_2}}) \quad (3)$$

合并前后区域的光滑度变化量定义如式(4),和的含义同式(2),和的为合并后及合并前的区域边界长度,和的为合并后及合并前的区域外接矩形的周长。如果光滑度变化量小,两区域合并的可能性大。

$$\Delta Smooth = a_m \cdot \frac{l_m}{\sqrt{b_m}} - (a_1 \cdot \frac{l_1}{\sqrt{b_1}} + a_2 \cdot \frac{l_2}{\sqrt{b_2}}) \quad (4)$$

1.2 差分进化算法

差分进化算法是一种基于随机并行搜索策略的启发式优化方法^[7]。它对非线性不可微连续空间函数进行优化、具有向种群个体学习的能力,其比遗传算法、微粒群算法等其它进化算法更优越的性能^[8]。差分进化算法保留了基于种群的全局搜索策略,采用实数编码、基于差分的简单变异操作和一对一的竞争生存策略,降低了进化操作的复杂性。其特有的进化操作,使得其具有较强的全局收敛能力和鲁棒性,非常适合于求解一些复杂环境中的优化问题^[9]。

差分进化算法根据要求解的参数及问题求解空间随机产生初始种群,接着通过差分变异、修补与杂交等操作,产生中间个体(或称试验个体),然后通过选择操作生成下一代个体。算法通过不断迭代进化,引导搜索向最优解逼近。算法的主要步骤如图1所示。

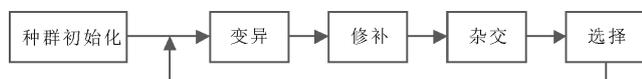


图1 差分进化算法的主要步骤

Figure 1 Main steps of differential evolution algorithm

1.2.1 种群初始化

设 NP 代表种群数目, D 为问题求解的维度, $x_{ij}(0)$ 表示初始种群(第0代)中第 i 个个体的第 j 维分量; x_{ij}^L 与 x_{ij}^U 为第 j 维分量的最小与最大取值范围。则种群初始算子用式5和6进行。

$$\{xi(0) | x_{ij}^L \leq x_{ij}(0) \leq x_{ij}^U\} \quad (5)$$

$$x_{ij}(0) = x_{ij}^L + rand(0,1)(x_{ij}^U - x_{ij}^L) \quad (6)$$

式中 $i=1,2,\dots,NP; j=1,2,\dots,D$; $rand(0,1)$ 表示生成 $[0,1]$ 的随机函数。

1.2.2 变异算子

差分进化算法通过将基向量加上因子缩放后的差分向量得到变异向量实现个体的变异。不同的基向量选择方式与不同的差分向量个数构成不同的差分变异算子。基向量的选择方式一般有随机选择和选择当代种群中最佳个体作为基向量两种方式;差分向量的个数一般为1或2。如式(7)的差分变异算子采取最佳个体作为基向量加上对一个差分向量进行缩放得到变异个体。

$$V_i(g) = x_{best}(g) + F(x_{r1}(g) - x_{r2}(g)) \quad (7)$$

其中, $x_{best}(g)$ 为当前群体的最优个体向量; $x_i(g)$ 为目标(父)向量; $r1 \neq r2 \neq i$ 为集合 $\{1,2,\dots,NP\}$ 中随机选择的2互不相同的整数; $x_i(g)$ 是变异向量; F 为缩放因子或称变异概率,取值范围为 $[0,1+]$ 差分算子是差分进化算法最重要的算子。目前的DE研究者设计了一些常用的变异算子,为了区分这些算子,采用“DE/a/b”来表示,DE表示差分进化算法; a 代表基向量的选择方式(用rand表示随机选择;best表示选择当代种群中最佳个体); b 表示差分向量的个数。比较常用的有变异算子可以参考文献[8]。

1.2.3 修补算子

变异后的个体可能落在解的搜索空间外,需采取修补手段,修补算子描述如式(8)。

$$V_{ij}(g) = \begin{cases} \min\{U_j, 2L_j - V_{ij}(g)\}, & \text{if } V_{ij}(g) < L_j \\ \max\{L_j, 2U_j - V_{ij}(g)\}, & \text{if } V_{ij}(g) > U_j \end{cases} \quad (8)$$

1.2.4 杂交算子

DE算法通过杂交操作生成试验向量,杂交操作通过基准向量和变异向量进行,并采用离散杂交算子

提高种群的多样性，常用的杂交算子有指数杂交算子和二项式杂交算子。指数杂交算子的交叉操作按式(9)进行。二项式杂交算子的操作可以参考文献[11]。

$$u_{ij}(g) = \begin{cases} u_{ij}(g), & j = \langle l \rangle_D, \langle l-1 \rangle_D, \dots, \langle l+L+1 \rangle_D \\ x_{ij}(g), & \text{其他} \end{cases} \quad (9)$$

其中, $\langle l \rangle_D$ 表示对 D 取模运算, l 是 $[1, D]$ 之间的一个随机整数, 整数 L 在 1 和 D 之间。

1.2.5 选择算子

DE 算法根据目标向量和试验向量的适应度 $f(\cdot)$ 来选择最优个体, 如果试验向量的适应度 $f(u_i(g))$ 好于目标向量的适应度 $f(x_i(g))$, 保留试验向量, 否则保留目标向量。选择算子可按式(10)进行描述。

$$x_i(g+1) = \begin{cases} u_i(g), & f(u_i(g)) \leq f(x_i(g)) \\ x_i(g), & \text{其他} \end{cases} \quad (10)$$

1.3 分割对象的评价方法

基于参考对象的图像分割结果评价, 通过计算分割结果与参考图对应区域的符合度来评价分割结果的优劣。符合度评价指标的设计直接影响分割结果优劣的选择。本研究采用 Pont-Tuset 和 Marques 提出的 Precision and Recall (F) 差异度指数作为评价指标[11]。该指标根据对参考对象和分割对象重叠情况的不同, 将分割图像的像素分为四种区域, 并据此定义分割对象与参考对象的差异度量指标 F 。这四种区域的定义如图 2 所示, 其中绿色线条包围的区域表示参考图班 R 的范围, 红色线条包含的区域表示分割区域 S 的范围, tp 表示正确分割的区域 (即 $tp = R \cap S$ 的部分), fp 表示过分割区域 (即 $fp = S - (R \cap S)$ 的部分), fn 表示欠分割区域 (即 $fn = R - (R \cap S)$ 的部分), 剩余的部分表示不相关区域用 tn 表示, 即 $tn = I - (R \cup S)$, I 表示整个图像。基于分割图班的正确分割率 R_{sk} 和基于参考图的正确分割率 R_{rk} , 按式(11)计算, 并根据式(12)计算差异度量指标 F_k 。所有参考图的对应分割结果的差异度量指标 F 按式(13)计算。该指标取值范围为 $[0, 1]$: 数值越小, 符合度越好; 等于 0 表示分割对象与参考对象完全一致; 等于 1 则表示完全不一致。

$$R_{sk} = \frac{tp_k}{tp_k + fp_k}, R_{rk} = \frac{tp_k}{tp_k + fn_k} \quad (11)$$

$$F_k = 1 - \frac{2R_{sk}R_{rk}}{R_{sk} + R_{rk}} \quad (12)$$

$$F = \frac{1}{N_r} \sum_{k=1}^{N_r} \left(1 - \frac{2R_{sk}R_{rk}}{R_{sk} + R_{rk}} \right) \quad (13)$$

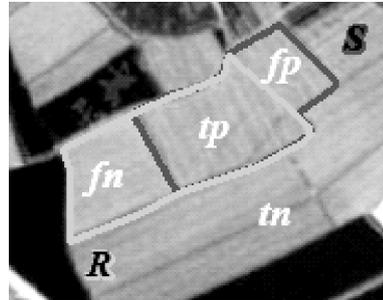


图 2 图像的像素四种区域划分

Figure 2 Pixels of images divided into four regions

1.4 基于差分进化算法的多尺度图像分割参数选择方法

多尺度图像分割最优分割参数解的求解采用差分进化算法进行优化时, 选择分割算法的尺度参数、光谱特征权重与紧凑度权重参数作为差分进化算法的问题求解空间, 将分割算法、分割评价方法及差分进化算法进行有效集成, 具体集成流程如图 3 所示。

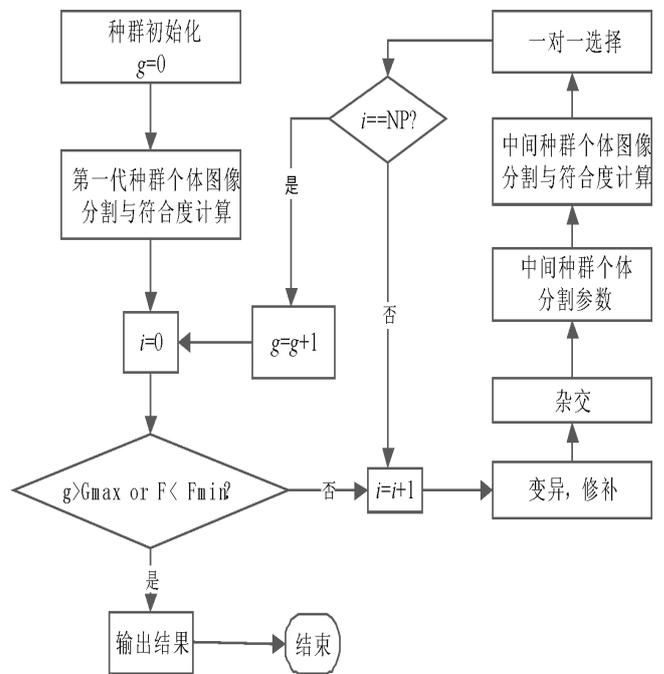


图 3 基于差分进化算法的多尺度图像分割参数选择流程

Figure 3 Selection process of multiscale image segmentation parameters based on differential evolution algorithm

1.4.1 分割参数种群初始化与分割评价

基于 DE 算法的多尺度图像分割参数选择涉及到尺度、光谱权重、紧致度权重等 3 个参数的优化,其问题的求解空间为这三个参数设置的最小与最大值。根据设置的种群大小 NP ,采用式(6)进行分割参数种群的初始化。

根据初始化种群个体的分割参数,利用多尺度分割算法对每个个体进行分割,并利用差异度指数 F 对每个个体的分割结果进行评价。

1.4.2 算法控制参数

DE 算法涉及种群大小 NP 、差分进化最大代数 G 、差分策略、缩放因子 F 、杂交概率 CR 、差异度终止阈值的 5 个控制参数。其中 NP 、 F 和 CR 为控制参数,其设置的数值会影响搜索最优分割尺度参数和收敛速度;最大代数 G 与差异度终止阈值用于控制进化终止的条件,如果满足条件则终止进化,将得到最佳个体的分割参数作为最优分割参数输出;若否,继续差分进化。

种群大小 NP :较大的群体会增加个体的多样性,加大搜索到最优解的可能性,但会降低收敛速度;较小的群体会加快收敛速度,但容易导致局部收敛或停止进化。

缩放因子 F :用于控制搜索步长,较小的 F 会加快收敛,但容易导致局部收敛,出现“早熟”现象;较大的 F 值会增加算法跳出局部最优解的可能性,但 $F > 1$ 会降低收敛速度,根据 Storn 和 Prince 的建议 F 的合理取值在 $[0.4, 1.0]$ 范围内^[7],较好的初始值 $F = 0.5$ ^[12]。

杂交概率 CR :该参数的设置主要取决于所求解的问题,对于自变量相互独立的问题, CR 可设置较小的值,而对于自变量相互依赖的问题, CR 应设置较大一些。赵艳丽^[9]指出,一般初始取值为 0.3。

差分进化策略:依据变异和杂交算子的不同,可设计不同的差分进化策略。按“ $DE/a/b/c$ ”来表示不同的差分策略。其中 DE 表示差分进化算法; a 表示基向量的选择方式(用 rand 表示随机选择;best 表示选择当代种群中最佳个体); b 表示差分向量的个数,一般为 1 或 2; c 表示不同的杂交算子,分别用 bin 和 exp 表示二项式杂交和指数杂交。表 1 为常见的一些组合策略^[6]。

表 1 差分策略

Table 1 Differential strategy

差分策略	说明	差分策略	说明
DE/rand/1/bin	DE/rand/1 变异与二项式杂交	DE/rand/2/bin	DE/rand/2 变异与二项式杂交
DE/rand/1/exp	DE/rand/1 变异与指数杂交	DE/rand/2/exp	DE/rand/2 变异与指数杂交
DE/best/1/bin	DE/best/1 变异与二项式杂交	DE/best/2/bin	DE/best/2 变异与二项式杂交
DE/best/1/exp	DE/best/1 变异与指数杂交	DE/best/2/exp	DE/best/2 变异与指数杂交

2 原型系统设计与实验

2.1 原型系统设计

根据设计的基于 DE 算法的多尺度图像分割参数选择模型,在 Matlab 中进行原型系统的设计。软件原型系统的图形用户界面如图 4 所示,左侧提供打开分割图像与参考对象、设置多尺度图像分割参数搜索空间与差分进化算法控制参数等用户交互接口,右侧提供图像显示,用于显示打开图像、参考对象及分割结果等数据。其中为了降低使用的复杂度,原型系统中将缩放因子 F 固定为 0.5、杂交概率 CR 固定为 0.3。

在利用该原型系统进行多尺度分割参数选择时,用户需要打开待分割图像及分割图斑的参考对象。设置完多尺度图像分割参数搜索空间与差分进化算法控制参数及输出结果的名称后,单击运行即可进行基于 DE 算法的多尺度图像分割参数选择,得到最佳的分割参数及其对应的分割结果。



图 4 软件原型系统界面

Figure 4 Software prototype system interface

2.2 实验数据

为了试验测试所使用的方法在图像分割参数选择的可行性,以 2014 年 11 月 16 日拍摄的福建省永安市燕西街道大炼村地区的部分航空彩色图像(如图 5)为待分割图像进行试验。该航空图像的大小为 512×512 像素、以空间分辨率为 0.6 m,包含位深为 8 比特的红、绿、蓝三个波段(通道)。该图像主要由耕地、房屋、道路和河流等主要地物构成,通过在 ArcMap 软件以该航空图像为底图,进行人工数字化,获得 20 块耕地地块作为参考对象(如图 6 所示)。

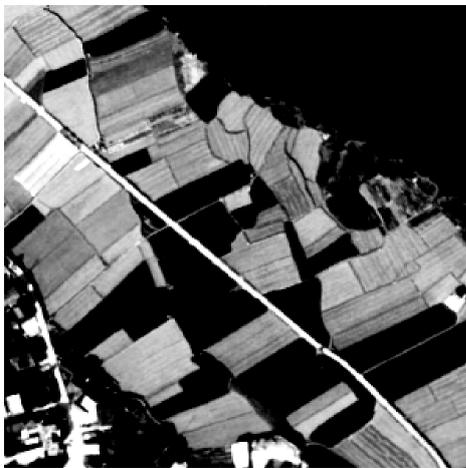


图 5 待分割航空图像

Figure 5 Aviation images to be split

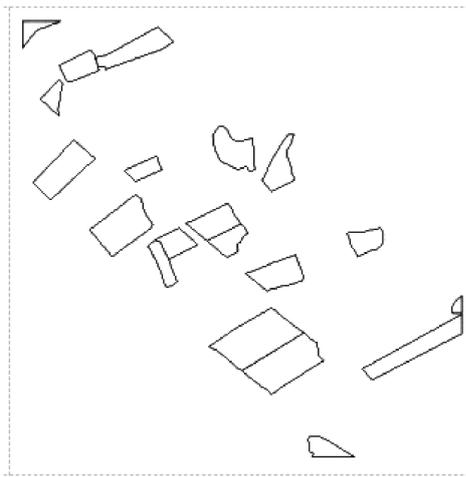


图 6 参考对象

Figure 6 Reference objects

2.3 实验设计

2.3.1 试验的计算机环境

试验的原型系统软件在 64 位版本的 Win10 操作系统的笔记本上运行。笔记本的 CPU 为 Intel(R) Core (TM) i3-2310M 四核 CPU(2.10GHz)、内存 10.0GB、显

存 2GB 的 NVIDIA GeForce GT 550M 显卡。

2.3.2 试验的控制参数设计

通过将分割参数的搜索空间设置为:尺度参数 [10,100]、光谱权重[0.6,0.9]、紧致度权重[0.4,0.6];将差分进化算法的参数设置为:种群数量 10、进化代数 10、最小误差 1×10^{-16} ,差分策略选择为 DE/best/1/exp。利用软件原型系统进行尺度、光谱权重与紧致度权重参数的选择实验。

同时,为了评价差分进化算法选择的分割参数的稳定性,设计进行 20 次的最佳分割参数搜索选择实验,根据得到的实验结果进行算法的稳定性评价。

3 结果与分析

3.1 实验结果

对 20 次实验得到的最佳分割参数按符合度从小到大排序,如表 2 所示。符合度最佳的分割结果如图 7 所示,符合度最差的分割结果如图 8 所示。



图 7 符合度最小分割结果(实验 12)

Figure 7 Minimum compliance results(experiment 12)



图 8 符合度最大分割结果(实验 7)

Figure 8 Maximum compliance segmentation results(experiment 7)

注:黄色线条为分割的图像对象边界线

表 2 多尺度图像分割参数差分进化选择结果

Table 2 Differential evolution selection of multiscale image segmentation parameters

实验次序	尺度参数	光谱权重	紧致度权重	符合度	排序	实验次序	尺度参数	光谱权重	紧致度权重	符合度	排序
12	41	0.694	0.405	0.084	1	15	45	0.695	0.400	0.179	11
9	40	0.696	0.412	0.130	2	6	53	0.822	0.484	0.220	12
13	33	0.686	0.407	0.131	3	3	55	0.600	0.524	0.221	13
11	43	0.662	0.404	0.131	4	2	39	0.700	0.422	0.224	14
14	53	0.820	0.469	0.173	5	16	33	0.691	0.527	0.224	15
5	33	0.677	0.544	0.176	6	8	31	0.614	0.600	0.224	16
4	36	0.677	0.543	0.177	7	17	45	0.900	0.547	0.226	17
18	45	0.675	0.458	0.178	8	10	35	0.826	0.525	0.272	18
1	34	0.665	0.579	0.178	9	20	39	0.600	0.600	0.273	19
19	47	0.705	0.437	0.178	10	7	55	0.803	0.400	0.275	20

3.2 分析与讨论

针对本实验数据,从 20 次的实验结果看,差分进化算法在度尺度图像分割参数选择时,相同的参数搜索空间范围、相同的差分进化控制参数,得到的符合度值在[0.084,0.274]之间,均值为 0.194,难以获得统一的最优分割结果,但都可以获得相对较理想的分割结果。从 20 次实验获得的分割参数的尺度值介于 [31,55]、光谱权重和紧致度权重的取值介于参数设置的搜索空间范围之内,可以看出:不同的尺度参数、光谱和紧致度权重的组合,可以获得相近的分割结果。从实验数据的分析可以初步得出,多尺度图像分割对于相同的分割结果,可以由不同的参数组合进行分割得到。

4 结论

本研究实现了基于差分进化方法的多尺度图像分割参数的选择,可根据参考图与差异度准则选择“最优”的分割参数,相对于传统的人工试错的办法选择分割参数,减少分割参数选择的盲目性,达到了多尺度图像分割参数的客观、量化选择的目标。

对于实验的航空彩色图像的“最优”的分割参数选择结果看,采用多尺度图像分割方法对其进行图像对象分割时,通过不同的尺度参数、光谱和紧致度权重的组合,可以获得相近的分割结果。因此,鉴于分割

参数的组合数量之多,仅通过人工试错的方法,难以找到合适的分割参数。通过本文提出的方法可以获得较理想的分割参数及分割结果。

参考文献:

- [1] 朱俊杰,范湘涛,杜小平. 面向对象的高分辨率遥感图像分析[M]. 北京:科学出版社, 2014.
- [2] DEY V, ZHANG Y, ZHONG M. A review on image segmentation techniques with remote sensing perspective [C]// ISPRS TC VII Symposium - 100 Years ISPRS, Vienna, Austria, 2010: 31-42.
- [3] STAIB L H, DUNCAN J S. Boundary finding with parametrically deformable models[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(11): 1061-1075.
- [4] BAATZ M, SCHAPE A. Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation [J]. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2000;58(3-4).
- [5] ZHANG X P, FENG X. Fast Hierarchical Segmentation of High-Resolution Remote Sensing Image with Adaptive Edge Penalty [J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2015, 80(1):71-80.
- [6] 黄万里. 基于高分卫星数据多尺度图像分割方法的天山森林小班边界提取研究[D]. 福州:福建师范大学, 2015.
- [7] STORN R, PRICE K. Differential evolution - A simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces [J]. Journal of Global Optimization, 1997,11 (4):341-

- 359.
- [8] 汪慎文,丁立新,张文生,等. 差分进化算法研究进展[J]. 武汉大学学报(理学版), 2014,60(4):283-292.
- [9] 赵艳丽. 差分进化算法在图像处理中的应用研究[D]. 北京: 中国石油大学, 2010.
- [10] 张春美, 陈杰, 辛斌. 参数适应性分布式差分进化算法[J]. 控制与决策, 2014, 29(4):701-706.
- [11] PONTTUSET J, MARQUES F. Measures and Meta-Measures for the Supervised Evaluation of Image Segmentation [C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE Computer Society, 2013:2131-2138.
- [12] 蔡之华. 差分演化算法及其应用[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 2010.

(责任编辑:叶丽娜)

Study on the Method of Image Segmentation Parameter Selection Based on Differential Evolution Algorithm

ZHU Bixi, ZHANG Yanhong

(Department of Humanities, Fujian Preschool Education College, Fuzhou, Fujian 350007)

Abstract: In this paper, the differential evolution algorithm was used to select the image segmentation parameters according to the difference experiment method. Using this method, the aimless of segmentation parameters selection can be reduced to some extent. The optimal segmentation parameters of aerial color images are selected by using the software prototype system. The results show that this method can obtain ideal segmentation parameters and segmentation results. At the same time, it can be seen that for multi-scale image segmentation methods, the segmentation parameters corresponding to the ideal segmentation results are not unique.

Key words: differential evolution; image segmentation; parameter optimization; OBIA

基于 NVH 特性的汽车大修周期的确定与实现

林可春, 吕 翱

(福建船政交通职业学院 汽车系, 福建 福州 350007)

摘 要:本文针对汽车运行故障发生的随机特性,构建了 NVH 特性下的汽车可用度的马尔科夫过程模型,并以此模型分析了随机情况对汽车可用度的影响。最后,在故障诊断新理念——“状态维修”理论指导下,分别以最大可用度和最大效益为目标完成了对汽车大修周期的确定,给出具体的计算及模拟实现过程。

关键词:马尔科夫;最大可用度;最大效益;汽车大修周期

中图分类号:U472.43 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-2109(2018)12-0065-05

就单台车辆而言,车辆在使用过程中发生的现故障具有随机性和不可预知性。在同款车型的同批次车辆中,有些车辆在使用若干年后才出现问题,而有些则在使用几个月后便发生故障。因此,概率统计概念及其指标测量方法常用于汽车维修管理。

1 可用度与维修度

对于可修复的系统,我们不仅关心其发生故障的可能性大小,而且关心其故障的数量,并且也对维修所需的时间感兴趣,这就是可用度和维修度^[1-2]。

可用度的定义为:在任何时刻任务需要时车辆能够正常使用的概率。可用性与时间有关。如图 1 所示,图中的存贮、物流等耗时作为“非工作时间”。能工作时间和不能工作时间组成了预计总工作时间(TT),期中能工作时间又分为工作时间(OT)和待命时间(ST);不能工作时间由行政和后勤供应操作中使用的非维护时间(ALDT)和总维护时间(TMT)组成。计划外修理时间(TCM)和计划修理时间(TPM)构成了总修理时间(TMT);而非维修时间(ALDT)通常包括在计划

外和计划维修期间使用的非维修时间。由此,可以得到可用性 A:

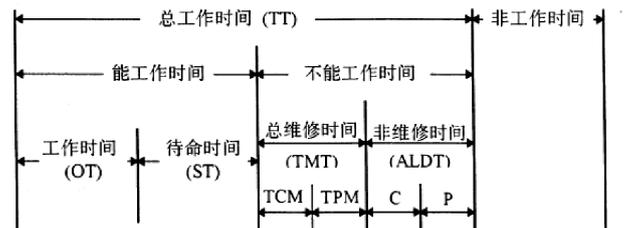


图 1 汽车总工作时间历程的分解

Figure 1 Decomposition of total working time of auto mobile

$$A = \frac{OT+ST}{OT+ST+TCM+ALDT+TPM} \quad (1)$$

2 NVH 特性下的汽车可用度的马尔科夫过程模型分析

2.1 马尔可夫过程的含义

马尔可夫过程是一个没有后效应的随机过程,对于状态离散、时间连续的马尔可夫过程可以表述为^[3-4]:设这一随机过程中 $\{X(t), t \in [0, \infty)\}$ 的状态空间为 E,任意的整数 $m (m \geq 2)$ 和 m 个时刻的 $t_1, t_2, \dots, t_m (0 \leq t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_m)$, 正数 s 以及 i_1, i_2, \dots, i_m , 满足以下条件:

$$\begin{aligned} P\{X(t_m+s)=j \mid X(t_1)=i_1, X(t_2)=i_2, \dots, X(t_m)=i_m, \} \\ = P\{X(t_m+s)=j \mid X(t_m)=i_m \} \end{aligned} \quad (2)$$

则称为 $\{X(t), t \in [0, \infty)\}$ 马尔可夫过程。

收稿日期:2018-09-21

基金项目:福建省教育厅 2018 年度省级技能大师工作室
(闽人社文[2018]200 号)。

作者简介:林可春(1975-),男,汉族,副教授,主要从事汽车运用与维修研究。

在(2)式中,如果 t_m 代表当前某一时刻, t_1, t_2, \dots, t_{m-1} 表示过去时刻,而 t_{m+s} 为将来时刻,那么这个公式表明在 t_{m+s} 时刻的状态仅仅取决于现在时刻 t_m 存在的状态,而与过去时刻 t_1, t_2, \dots, t_{m-1} 过程无关。(2)式中右边条件概率的形式为:

$$P\{X(t_m+s)=j | X(t)=i, t \geq 0, s > 0\} \quad (3)$$

上式称为马尔可夫过程的转移概率函数,可记为 $p_{ij}(t, t+s)$, 描述为马尔可夫过程由 t 时刻经 s 时间之后由 i 状态变成 j 状态的概率。此时,转移概率函数可记为 $p_{ij}(s)$, 即

$$p_{ij}(s) = p_{ij}(t, t+s) = P\{X(t_m+s)=j | X(t)=i, t \geq 0, s > 0\} \quad (4)$$

对于汽车在使用寿命期间中随时都有可能处于工作状态、故障状态或维修状态,这是一种随机现象。在汽车的使用寿命期间随机故障发生的过程则是马尔科夫过程^[4]。

2.2 汽车 NVH 特性下的可用度马尔可夫过程模型

对于可修复的单部件系统,假设组件正常时工作,组件发生故障时执行修复,修复后投入使用,则组件寿命 X 服从参数 λ 的指数分布。

$$F(t) = P\{X \leq t\} = 1 - e^{-\lambda t} \quad (5)$$

部件故障修理的时间 Y 服从参数指数 μ 分布,可表示为:

$$M(t) = P\{Y \leq t\} = 1 - e^{-\mu t} \quad (6)$$

又因为维修与工作为独立事件,即:

$$X(t) = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}$$

0 为当系统工作时,1 为当系统维修时。

系统在时间 t 上可以处于工作状态的概率是:

$$P_0(t) = P\{X(t)=0\}$$

处于维修状态的概率为:

$$P_1(t) = P\{X(t)=1\}$$

单部件的四种可能状态的状态转移概率可以通过在 $P_{ij}(\Delta t)$ 表示 t 时刻系统处于状态 i 时,经过 Δt 后转变成状态 j 的状态转移概率来计算。

(1)系统在时间 t 处于工作状态,经 Δt 后仍处于工作状态的转移概率 $P_{00}(\Delta t) \approx 1 - \lambda \Delta t$ 。

(2)系统在时间 t 处于故障状态,经 Δt 后系统修复处于工作状态的转移概率 $P_{10}(\Delta t) \mu \Delta t$ 。

(3)系统在时间 t 是工作状态,在 Δt 之后,系统变成故障的转移概率 $P_{01}(\Delta t) \approx \lambda \Delta t$ 。

(4)系统在时间 t 处于故障状态,经过 Δt 后系统仍然处于故障状态的转移概率 $P_{11}(\Delta t) \approx 1 - \mu \Delta t$ 。

单部件系统的马尔可夫过程如图 2 所示。

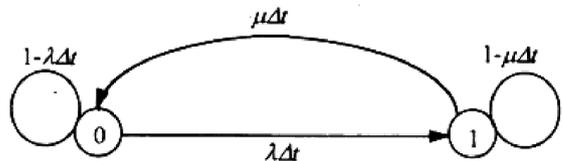


图 2 单部件系统马尔可夫过程

Figure 2 Markov process of single component system

由全概率公式知:

$$P_0(t - \Delta t) = P_0(t)P_{00}(\Delta t) - P_1(t)P_{10}(\Delta t) = (1 - \lambda \Delta t)P_0(t) - \mu \Delta t P_1(t) \quad (7)$$

$$P_1(t - \Delta t) = P_0(t)P_{01}(\Delta t) - P_1(t)P_{11}(\Delta t) = \lambda \Delta t P_0(t) - (1 - \mu \Delta t)P_1(t) \quad (8)$$

由式(7)和(8)推导得:

$$P_0(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\mu}{\mu + \lambda} e^{-(\mu + \lambda)t} \quad (9)$$

由系统可用度的概念得:

$$A(t) = P_0(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\mu}{\mu + \lambda} e^{-(\mu + \lambda)t} \quad (10)$$

对于可修复串联系统,可分为 n 个相同部件的串联情况和 n 个不同部件的串联情况两种。当 n 个串联部件相同时,若给定初始条件为: $(P_0(0), P_1(0)) = (1, 0)$ 。推导得系统的可用度为:

$$A(t) = \frac{\mu}{\mu + n\lambda} + \frac{\mu}{\mu + n\lambda} e^{-(\mu + n\lambda)t} \quad (11)$$

若已知汽车的失效率 λ 和维修率 μ , 则可由公式(10)或公式(11)算出在任一时刻汽车的可用度,某段时间内 $A(t)$ 的平均值为:

$$A_m(t) = \frac{1}{T} \int_0^T A(t) dt \quad (12)$$

$A_m(t)$ 称为一段时间的平均可用度。当 $t \rightarrow \infty$ 时称为稳态可用度,记为:

$$A^*(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T A(t) dt$$

将式(10)代入得:

$$A^*(\infty) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \quad (13)$$

在随机故障期间,失效率 λ 的倒数称之为平均故

障间隔时间(MTBF), 维修率 μ 的倒数则是修复所需的时间, 即平均修复时间(MTTR), 此时公式(13)为:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (14)$$

3 以最大可用度为目标的汽车最佳大修周期的诊断及仿真模拟

3.1 以最大可用度为目标的汽车最佳大修周期的诊断

借助于计算机仿真方法可以求解汽车发动机任一时刻的可用度, 并且用最大可用度法解决最佳大修周期的问题。

当汽车故障率和维修率都不变时, 系统在任何时间 t 处于可操作状态的概率可以通过使用公式(10)确定。使用一般的分析方法很难解决系统的可用性问题, 但可使用计算机模拟方法得出汽车发动机某一时刻的可用度, 从而确定最佳检修周期。解题步骤如下:

(1) 根据给定的分布函数进行故障模拟采样

已知的失效分布函数 $F(t)$ 是单调递增的连续分布函数, 当 $F(t)$ 的反函数存在时, 设 Z 作为均匀分布在 $[0, 1]$ 上的随机变量, 则

$$\xi = F^{-1}(Z) \quad (15)$$

为服从 $F(t)$ 分布函数的随机变量。因此, 我们可以用 Z 产生的简单子样 Z_1, Z_2, \dots, Z_n 来产生随机变量的抽样值。

当 $F(t)$ 服从威布尔分布时:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m} \quad \text{得,}$$

$$\xi = F^{-1}(Z) = \eta [-\ln(1-Z)]^{\frac{1}{m}} \quad (16)$$

将 $[0, 1]$ 间的均匀随机抽样值代入式(16)得出故障所出现的时间服从 $F(t)$ 随机变量的 ξ 随机抽样值。

(2) 根据最大可用度得到汽车最佳维修周期

根据公式(11)计算汽车发动机可用度, 若一个大修周期内出现 K 次故障, 每次故障所需修理时间并不完全相等。一组从现场调查得到某型汽车发动机故障分布和事后维修所需时间如表 1 所示, 拟合所得到故障修复时间的分布函数为:

$$F(t) = e^{-\left(\frac{t}{46}\right)^{104}} \quad (17)$$

故障发生的时间分布为:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{429}\right)^{218}} \quad (18)$$

表 1 某型汽车发动机的故障分布和维修的时间分布

Table 1 Distribution of faults and time distribution of maintenance for an automobile engine

	小时									
汽车编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
故障时间	95	125	230	373	406	470	490	520	581	612
汽车编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
修复时间	5	8	12	21	22	35	48	80	110	111

虽然每次大修所需的时间不同, 但离散不大, 可以近似用对数正态分布描述, 从现场调查我们得到大修复时间如表 1 所示, 拟合后服从以下分布:

$$\ln F_{\mu} \sim N(0.66, 0.164^2) \quad (19)$$

表 2 某型汽车发动机大修时间分布

Table 2 Distribution of overhaul time of an automobile engine

	小时									
汽车编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
大修时间	650	710	740	790	810	770	730	950	820	520

1.3.2 最佳维修周期的 Monte-Carlo 仿真求解^[5]

按照以下步骤执行最佳维修周期的计算机模拟。

步骤 1: 根据经验先假设一个大修周期 T ;

步骤 2: 根据故障分布函数, 修复时间分布函数和大修时间分布函数对样本进行随机采样;

步骤 3: 计算在 T 周期内的随机故障数 K , 可以根据 Monte-Carlo 仿真求解最佳大修周期的关键步骤;

步骤 4: 把假设的大修周期数 T 和随机抽样得到的特殊随机数代入公式(10)就可以得到一个 $A(t)$ 值。反复执行上述采样和计算可以获得稳定的可用度 $A(t)$ 。

步骤 5: 改变假设的大修周期(均匀递增) T_i , 重复上述步骤得出一系列与 T_i 对应的 A_i 值, 绘制 $A_i - T_i$ 曲线确定最佳大修周期。图 3 为计算机仿真计算框图。

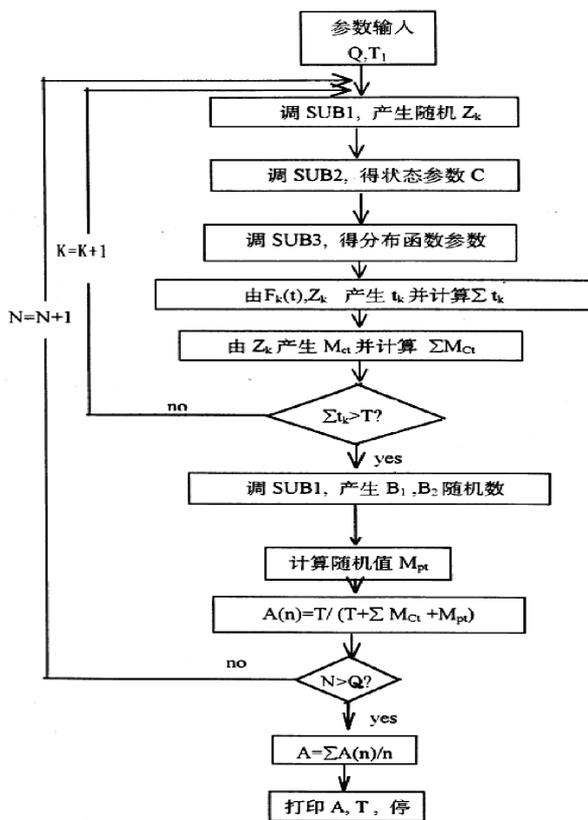


图3 计算机仿真计算框图

Figure 3 Computer simulation calculation block diagram

4 以最大效益为目标的汽车大修周期的诊断及实现

4.1 效益度的概念及其仿真模型

1) 效益度的概念

效益度是汽车在给定时间内所能带来经济效益能力的概率。这个参数可以作为系统在任一时刻所处的状态下能否带来经济效益的度量。用累积收益参数 x 来代替可用度中的工作累积时间 t , 则效益度是收益 x 的函数^[6]。

$V(x)$ 表示到累积收益 x 时, 系统可带来经济效益能力的概率。

$V(x)$ 可定义为:

$V(x) = \text{系统累积收益} / (\text{系统累积收益} + \text{系统维修费用})$

x 可称为广义的时间, 例如说“到累积收效 x 时”就相当于说“到时刻 t 时”。

2) 最大效益的度量方法

在使用汽车时, 由于磨损、老化等原因, 能源消耗

和维护成本等成本指标将增加而带来负效益。汽车使用以创造经济效益为目的, 选择最佳经济效益作为确定汽车检修周期的目标受到企业的欢迎。参考汽车可用性的计算公式, 给出了考虑车辆大修成本的效益度计算的公式:

$$V(x) = \frac{X}{X + \sum_{j=1}^k N_{cx_j} + G_{px}} \quad (20)$$

式中, X 为以累积效益为度量的大修周期, N_{cx_j} 为每次故障所需修理费用, G_{px} 为大修所花费的费用。若在一个大修周期内出现 K 次故障, 则总的故障修理费累积为 $\sum_{j=1}^k N_{cx_j}$ 。

4.2 对汽车大修周期的仿真实现及结果分析

通过现场调查和对汽车振动系统的状态监测, 得到表3、表4和表5三组数据, 表3为汽车故障分布数据, 表4为故障修理费用分布数据, 表5为汽车大修费用分布数据, 并且已知001#汽车在一个大修周期内的累积效益为145万元。

表3 汽车故障分布数据

Table 3 Distribution data of vehicle faults

汽车编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
第一次故障时										
累积收益 (万元)	3.5	2.2	6.1	9.5	10.1	12.2	12.8	13.4	14.5	15.6

表4 故障修理费用分布数据

Table 4 Distribution data of trouble shooting costs

汽车编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
维修费用 (万元)	1.2	0.6	1.1	1.7	2.6	2.7	4.1	5	6	7.5

表5 汽车大修费用分布数据

Table 5 Distribution data of vehicle overhaul costs

汽车编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
大修费用 (万元)	17	18	19	21	22	20	18	23	21	13

由仿真系统自动参数估计得到:

故障分布函数服从威布尔分布, 有:

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{1}{10.6}\right)^{1.63} x} \quad (21)$$

故障修复的费用分布函数服从威尔分布, 可得:

$$F_{cx}(N_{cx}) = 1 - e^{-\left(\frac{1}{4.4}\right)^{1.46}} \quad (22)$$

大修所需费用服从对数正态分布:

$$\ln F_{px}(G_{px}) \sim N(2.9, 0.169^2) \quad (23)$$

图 4 为三台汽车发动机按最大效益度仿真得到的 V-X 曲线。

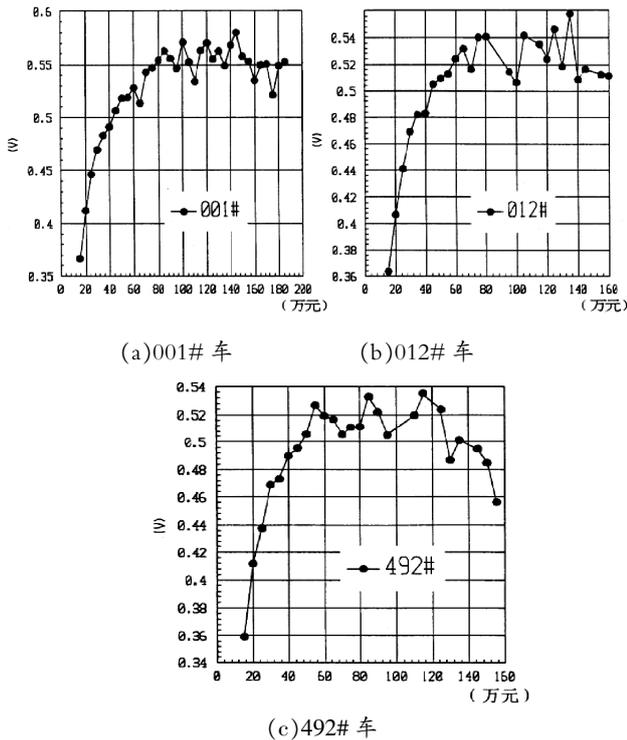


图 4 三台汽车的仿真 V-X 曲线

Figure 4 Simulated V-X curve of three vehicles

5 小结

本文从汽车运行故障发生的随机特性, 构建了 NVH 特性下的汽车可用度的马尔科夫过程模型, 分析了随机情况对汽车可用度的影响。最后, 分别以最大可用度和最大效益为目标完成了对汽车大修周期的确定, 对汽车运营企业有一定参考作用。

参考文献:

- [1] KAPUR K C, LAMERSON L R. Reliability in Engineering Design [M]. John Wiley and Sons, 1979.
- [2] GOLANT A S. Maintainability and maintenance management [J]. Engineering Management International, 1982, 1(3): 243-244.
- [3] A.T.BHARUCHA-REID. 马尔柯夫过程论初步及其应用[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1979.
- [4] 邓肯, A.A. 龙什凯维奇. 马尔可夫过程[M]. 北京: 科学出版社, 1988: 8.
- [5] 方再根. 计算机模拟和蒙特卡洛方法[M]. 北京: 北京工业出版社, 1981: 6.
- [6] 杜小平. 确定费用最小原则下设备最佳预防维修周期的计算机仿真方法[J]. 设备管理与维修, 1996(2): 4-6.

(责任编辑: 赵其领)

Determination and Realization of Vehicle Overhaul Cycle Based on NVH Characteristics

LIN Kechun, LV Ao

(Department of Automobile, Fujian Chuanzheng Communications College, Fuzhou, Fujian 350007)

Abstract: In this paper, the Markoff process model of automobile availability under the characteristic of NVH is built in view of the random characteristics of automobile running fault, and the effect of random condition on vehicle availability is analyzed by this model. Finally, under the guidance of the new concept of fault diagnosis, "state maintenance" theory, the vehicle overhaul cycle is determined with the goal of maximum availability and maximum benefit, and the concrete calculation and simulation process is given.

Key words: Markoff; maximum availability; maximum benefit; vehicle overhaul cycle

山地型海绵城市建设规划研究

——以武夷山市城市规划为例

何晨阳¹, 吴芳芳², 林 皓², 胡家朋²

(1.武夷学院 海峡成功学院, 福建 武夷山 354300;

2.武夷学院 生态与资源工程学院, 福建省生态产业绿色技术重点实验室, 福建 武夷山 354300)

摘 要:针对山地型城市地形地貌、降雨、气候水文等特点,借鉴海绵城市建设理念,以武夷山市为研究对象,构建山地型海绵城市建设规划方法,为海绵城市规划设计者和政府管理决策者提供参考。利用地理信息技术对武夷山市植被覆盖度、地形、河流和排水基础设施进行现状分析,分析造成武夷山市内涝的成因。同时根据武夷山市中部地区低植被覆盖度、低坡度、低高程的自然条件,建立以中部地区为防涝缓冲带,提出改善缓冲带的排水设施系统、保护河道和建立可渗透的城市配套设施等措施以达到防涝的目的。

关键词:山地城市;生态学理念;规划;武夷山市

中图分类号:TU984;TU992 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-2109(2018)12-0070-06

近年来,随着城市化的进程加快,生态环境破坏日益严峻,渗透、慢排的绿色排水基础设施演变成封闭、快排的灰色排水系统^[1]。排水管网虽然能够加快雨洪的排放,但一旦超出其承载负荷,容易发生内涝现象^[2]。山地城市地貌复杂,地形多变,生态环境脆弱,降雨产流有别其他城市,洪涝灾害更易发生。海绵城市是指城市能够像海绵一样,在对环境变化的适应和应对自然灾害等方面具有良好的弹性,下雨时进行吸水、蓄水、渗水、净水,在需要将蓄存的水释放并加以利用^[3-4];同时在确保城市排水防涝安全的前提下,最大限度地实现雨水在城市区域的积存、渗透和净化,促进雨水资源的利用和生态环境的保护^[5]。

目前,我国海绵城市的建设仍处于探索阶段,针对山地城市新区的实践并不多^[6-7]。基于此,本文以对

武夷山市海绵城市建设进行规划与研究为例,旨在为山地型海绵城市规划设计者和政府管理决策者提供参考。

1 研究区概况

1.1 地理位置

武夷山市位于福建省北部,地处闽、赣两省交界处,全境东西宽 70 km,南北长 72.5 km,如图 1 所示。东连浦城县,南接建阳市,西临光泽县,北与江西铅山县毗邻,全市总面积 2 803 km²。

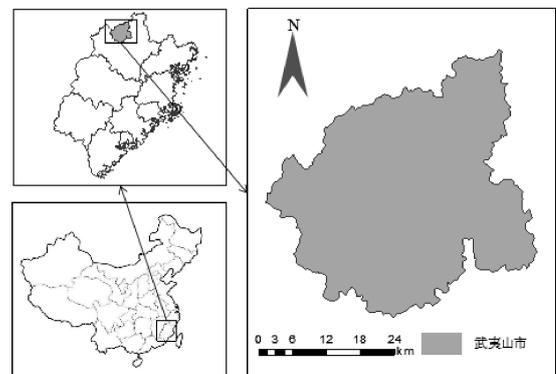


图 1 武夷山市地理区位图

Figure 1 Geographical location of Wuyishan city

收稿日期:2018-06-12

基金项目:国家自然科学基金(51406141);福建省高校产学研合作项目(2018Y4011)。

作者简介:何晨阳(1997-),女,汉族,环境工程专业本科生,主要从事环境规划的研究。

通讯作者:林皓(1979-),男,汉族,高级工程师,主要从事环境规划及水处理技术领域的研究。

1.2 地形地貌

武夷山市地貌类型复杂多样,西部、北部和东部以侵蚀构造地貌为主,中部、南部以堆积剥蚀地貌为主,如图2所示。地形从西、北、东面向中部崇阳溪河谷降低,地表结构呈现向南倾斜的马蹄形山间盆谷,盆谷底部地势起伏较为平缓。地貌类型有中山、低山、高丘、低丘、盆谷和平原等。

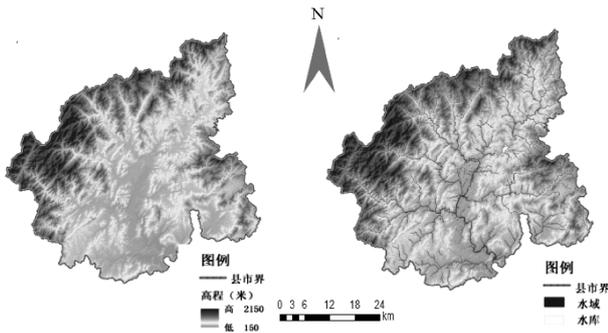


图2 武夷山地形与水文特点

Figure 2 The topography and hydrographic characteristics of Wuyishan city

1.3 水文条件

由图2可知,武夷山市河流均属闽江水系、崇阳溪流域。在构造和地形的控制下,河流多沿断裂发育,主支流成直角交汇,构成近似于平行而又向心的网络水系。流域内主要支流在崇阳溪两侧呈对称分布,右边有东溪、梅溪;左边有西溪、黄柏溪、九曲溪,境内流域面积2 800.14 km²,河长约116 km。

2 现状分析与存在问题

2.1 生态环境条件

武夷山市位于我国东南沿海地区,纬度低,离海洋近,受夏季风影响时间长,雨季长,夏秋季节经常受台风影响,带来丰富的降水,水量充足。武夷山地形环境如图3所示,地势崎岖,结构复杂,中部地区坡度较低,属于山地城市。不同于重庆兰州等地城市选址和建筑直接修建在起伏不平的坡地上,而是将城市建筑在低洼地带。而武夷山整个地形存在大量坡度大于20°的区域,由于降雨丰富,降雨产生的地表径流呈现出产流时间短、产流量大、汇流时间和距离短等现象,极易造成径流速度过快,冲刷力大等特点,加之山地

城市地质结构不稳定、生态环境脆弱,极易造成水土流失、甚至滑坡、泥石流等地质灾害。据调查,全市水土流失占全市总面积的2.1%,其中强度、极强度、剧烈流失面积分别占流失总面积的26.3%、23.8%、21.9%^[8]。

由于武夷山产茶,山地开发利用过度,地表土壤贫瘠,花岗岩、变质岩等广泛裸露,对雨水的渗蓄能力造成极大的限制。有调查显示水域面积因为人为将其不断转化为其他的用地类型以及一些不可避免的自然因素,近二十年减少幅度达30%^[9]。同时由于地面自然坡降变化为1~5 m(个别地段达8 m),水的流动性占主导,不利于雨水渗透,地表的排滞能力随着坡度的增加而剧减,加剧了城市降雨难以渗蓄利用。

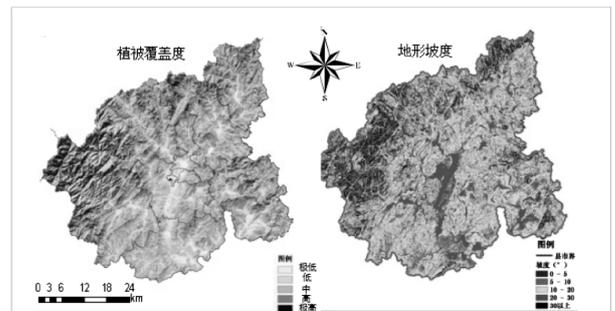


图3 武夷山市生态环境

Figure 3 Ecological environment in Wuyishan city

2.2 气候条件

武夷山属中亚热带季风湿润气候区,一年四季境内气候差异较大,年均气温19.7℃。春末夏初(5—6月)为雨季,多暴雨,局部地区经常发生洪涝;多年平均降雨量为1 910 mm,是福建省闽北的高雨区,而降雨量又随地形地貌特征分布,从西北向东南和从东北向西南逐渐递减;一年中,降雨日和降雨量在时空分布不平衡,主要集中在3—7月,这五个月降雨量总量占全年的70%,是溪河洪水的主要季节,有时出现地区性雷阵雨和在台风影响下的降雨,雨后又常发生旱情,地表植被枯死裸露。这也是造成武夷山洪涝形成的气候原因。

2.3 城市建设

在城市建设扩张的过程中,对周边的地形环境人工改造,导致原有的自然泄洪通道变小或切断;洼地、池塘被人为填平变成硬质人工垫层,原有的泄洪蓄水能力降低。加之武夷山原有的排水基础设施承载力

低,武夷山市排水分区与管网建设情况见表1,污水主干管管网未成系统,支管系统不健全,一些市政道路下污水管道也未完全衔接,污水管网未成系统,导致污水只能排入雨水系统,造成污染,另外管网维护不到位,导致雨污水管道混接以及管道堵塞淤积较为严重。部分小区内部排水按分流设计,但却未能按分流实施到位。大部分地区雨水管网不完善,部分通过道路边沟和排水沟、冲沟排出雨水,部分地区为雨污合流制,雨水进入污水处理厂进行处理。新规划地区普遍进行雨污分流制规划,但尚未形成系统,雨水通过管道进入排洪沟和其他水系。

武夷山市老城区缺乏统一的规划指引,城市“摊大饼”的发展模式使城市管理和承载空间压力增大,仍然处于传统的开发状态,林地、园地、农田等绿色设施遭到过度开发,导致城区建筑密度强,可用的绿地面积不足。另外城市的铺装设计不合理,可渗透路面的城市配套设施较少,水泥路面仍较多使用。

表1 武夷山市排水系统现状

Table 1 Drainage system in Wuyishan city

分区	排水设施与管网情况
北城新区	北城新区基本处于未开发状态,无市政配套设施
武夷山市区	旧城排水片区:雨污水合流就近排入江、河
旅游度假区	污水管网系统尚未建设完善,大部分建筑污水经化粪池处理后外排
仙店生态创业园	园区排水管网基本按照雨污分流制进行建设,但存在企业级公建用户污水出水户管存在接入雨水系统的,雨水口接入市政污水管网等雨污混接问题。
大红袍山庄	室内污、废水分流,生活污水经管道收集经室外化粪池后拟排入附近待建市政污水管网,最终排入第二污水处理厂。

3 武夷山海绵城市建设的思路与对策

3.1 武夷山海绵城市建设思路

结合与海绵城市理念相关的国家文件、标准等^[10],制定了武夷山海绵城市建设思路,如图4所示。在进行城市总体规划阶段提出武夷山市海绵城市建设开发策略、原则、目标等要求;在控制性详细规划阶段确定控制目标和指标;在修建性详细规划阶段,确定建筑、道路交通、绿地等工程中各种LID (Low Impact

Development)设施的选择,空间布局和规模。最终通过设计、施工、运行实现海绵城市的实施。

结合对武夷山市的城市现状用地特征、生态环境条件、交通状况及城市气候特征等进行充分的调查研究,分析城市绿地系统、排水系统及自然环境的限制因素,发现城市内涝存在的问题,科学合理制定LID规划设计,如排水基础设施的规划、海绵载体选择等。其中排水基础设施的规划,做到雨污分流,排放有序,做到不同管道协调统一。海绵载体的选择从功能上可分为水资源和城市配套设施,在水资源方面做到保护与改善,防止原有的湿地被破坏污染;在城市配套设施方面上,可选择具有渗透、慢排的绿色植被系统,建立渗透水装置如可渗透路面等,另外构建降水调节系统以防备在雨量大的时候能够及时分流雨洪的压力^[11-12]。

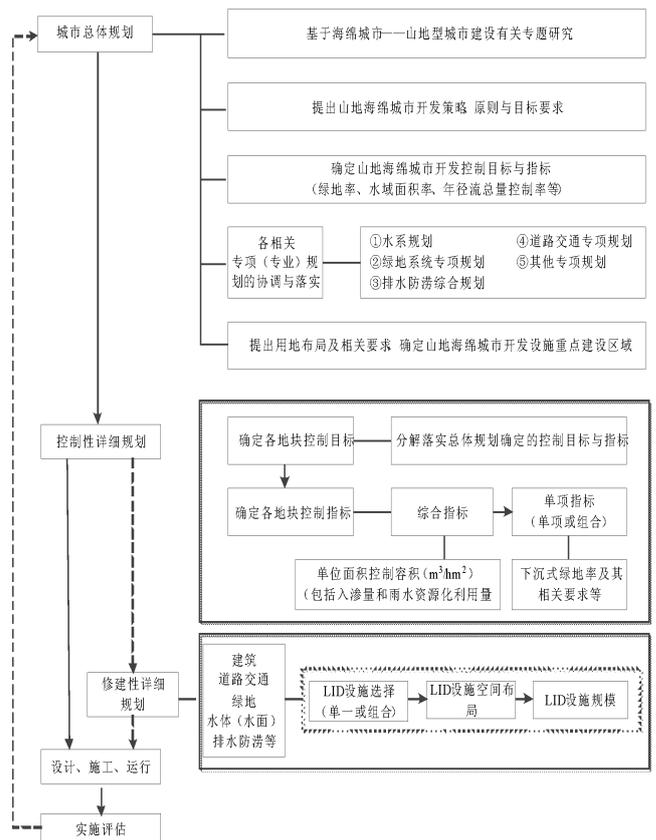


图4 武夷山海绵城市建设规划思路

Figure 4 Planning idea of sponge city construction in Wuyishan city

3.2 武夷山市海绵城市建设对策

3.2.1 防涝整体格局规划

武夷山市洪涝灾害频繁,多为山溪性的洪水。为降低洪水带来的危害,大部分河流进行了人工改造,

削弱河流自然的泄洪蓄洪、生物栖息地、美学等功能。因此,防涝安全格局可利用河流沿岸的缓冲区、支流、水库、湿地等构成一个涵蓄水系统,如图5所示。从整个流域出发,预留出可供调、蓄、滞水的洪水宣泄空间,最大限度减少洪涝灾害的损失,从而达到安全的目标。根据《防洪标准 GB50201-2014》^[13],中心城区近期防洪标准为50年一遇,景区及乡镇标准为20年一遇,加大堤防工程建设力度,进一步完善东溪、西溪、九曲溪、梅溪、崇阳溪穿越城区及乡镇段的防洪堤防工程。健全完善防洪预警系统,建设雨、水情采集站点和终端处理中心,防汛水利一体化平台,形成防汛用户管理、防汛工程系统管理、实时水情地理信息查询、台风路径查询、卫星云图查询、抢险救灾管理、汛情信息警报和灾情统计上报系统等^[14]。利用现代化手段,提升信息的收集和处理能力,完善防洪预案,提高全市的防洪减灾决策指挥水平。

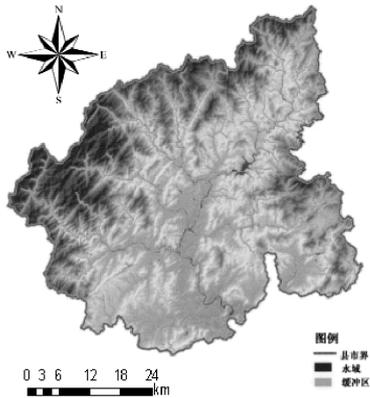


图5 武夷山市防涝缓冲区整体格局

Figure 5 Overall pattern of waterlogging buffer zone in Wuyishan City

3.2.2 排水系统的规划

排水系统规划任务是推进中心城污水收集与处理,减少污染排放,提升城区水环境质量。规划中心城区污水集中处理率达到95%以上^[13]。推进降雨径流的综合管理与利用,提升城市生态排水能力,保障城市排水排涝安全。近期旧城区采用截流式合流制,远期改造为完全分流制;其他城区均为完全分流制。结合马厂洲污水处理厂建设再生水厂,规模为 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,中心城区污水再生利用率达到20%以上,再生水水质满足回用指标后用于生态补水及绿化浇洒。以武夷大道及崇阳溪两侧为主要污水排放通道,布置d400-d1200

管径的污水管网,接入各分区污水处理厂。一般地区雨水管道设计重现期为2年一遇,重要地区取5年一遇,地下通道及下沉式广场等取10年一遇。充分结合地形布置雨水管渠,结合海绵城市建设,综合考虑雨水渗透、净化与排放需求,使雨水经过必要的渗透及净化后排入水体,如图6所示。

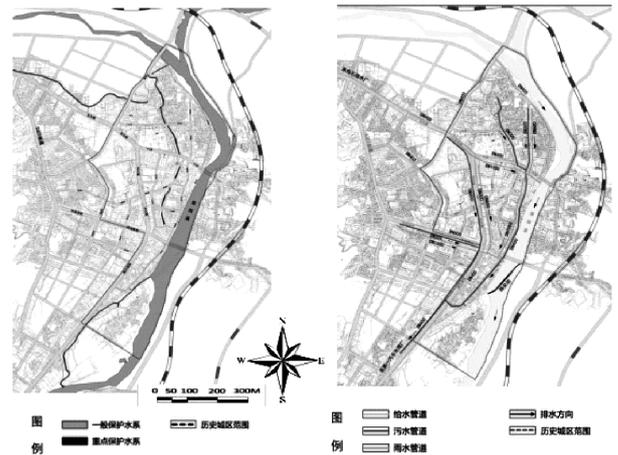


图6 武夷山市区排水系统规划前后对比

Figure 6 Comparison of drainage system planning in Wuyishan City

3.2.3 河道的保护与整治

推进水环境治理实施崇阳溪河道清淤、埋设两岸截污管、河道生态修复等工程,开展初期雨水收集处理工程,完善中心城区排水管网体系。加强环境基础设施建设,完善污水处理设施和生活垃圾转运设施(表2、图7)。保护中心城区及近郊6条主要溪(河)流,包括清猷河、崇阳溪、西溪、梅溪、黄柏溪及其流经串联的风貌景观区段的传统生态文化景观特征。保护崇阳溪的自然生态系统,严格控制崇阳溪两侧的环境容量。城市、村镇建设和发展不得占用河道管理范围;禁止破坏水域周边的植被,严禁侵占水面进行相关建设;保护现有水系,逐步恢复对全局水系组织具有重要作用的已消失的河道;保护历史水系和历史桥梁的名称;保护历史城区与水系的肌理与空间关系;地方河道主管部门会同文物主管部门负责水系水工遗存(河道、坝、渡口、码头、堤防等)的保护和监督管理工作;并对其他水利设施等历史与环境资源持续不断的进行考古调查和研究。在河岸生态退让保护线内不得擅自建设与防洪、水文、交通、园林景观、取水、排水、排污管网无关的设施。

表 2 河道保护规划要求

Table 2 Watercourse protection planning requirements

河道	河道名称	保护范围
一级河道	崇阳溪、西溪等主干道	保护退让范围为河道两侧 50 m 以内
二级河道	梅溪、黄柏溪、九曲溪、东溪等	河道两侧 30 m 保护退让范围
三级河道	境内其他水系支流	划定保护退让范围 15 m



图 7 河道保护规划

Figure 7 River protection planning

3.2.4 城市配套设施的建设

城市配套设施的建设能够保证防涝整体格局的有效进行。雨水通过具有下渗、滞蓄、净化、回用的海绵体,最后剩余部分径流通过管网、泵站外排,可有效提高城市排水系统的标准,缓减城市内涝的压力^[4]。建设海绵城市,关键在于不断提高海绵体的规模和质量。各地区应最大限度地保护原有的河湖、湿地、坑塘、沟渠等海绵体不受开发活动的影响;受到破坏的海绵体也应通过综合运用物理、生物和生态等手段逐步修复,并维持一定比例的生态空间^[5]。建设海绵城市要以城市建筑、小区、道路、绿地与广场等建设为载体。比如让城市屋顶“绿起来”,绿色屋顶在滞留雨水的同时还起到节能减排、缓解热岛效应的功效;同时道路、广场也可以采用透水铺装,城市中的绿地更应充分沉下去。

4 结束语

针对武夷山市地形地貌多样,雨季多雨、溪流洪水频发,城市内涝严重,而非雨季易发生干旱的特点。

结合海绵城市理念制定武夷山市城市的建设规划,在总体规划和控制性详细规划指导下对建筑、道路交通、绿地等工程进行低影响开发建设。完善城市市政雨水管线基础上,对雨水进行积存、渗透;同时开展超标雨水径流排放系统,通过自然水体、多功能调蓄水体、行泄通道,用于应对超标雨水径流。加强对城市蓝线内水体及绿地的保护。规划采用透水铺装、低势绿地、生物滞留系统等低影响开发模式,提高雨水渗透及利用率。通过低影响开发,实现年径流总量控制率达到 75%以上的目标。

海绵城市的建设是城市发展理念和建设方式转型的重要标志,应遵循生态优先原则,结合自然途径与人工措施,最大限度实现雨水在城市区域的积存、渗透和净化,促进雨水资源的利用和生态环境保护。因此海绵城市的建设需考虑其复杂性和长期性,不同的城市的特点和优势不同,在建设过程中应该在科学规划的前提下,结合自身特点因地制宜以慢排,从而改善城市生态面貌,提高生活质量。

参考文献:

- [1] 董淑秋,韩志刚. 基于“生态海绵城市”构建的雨水利用规划研究[J]. 城市发展研究,2011,18(12):37-41.
- [2] 俞孔坚,李迪华,袁弘,等. “海绵城市”理论与实践[J]. 城市规划,2015,39(6):26-36.
- [3] 邹宇,许乙青,邱灿红. 南方多雨地区海绵城市建设研究:以湖南省宁乡县为例[J]. 经济地理,2015,35(9):65-71,78.
- [4] XU Y S, SHEN S L, LAI Y, ZHOU A N. Design of sponge city: Lessons learnt from an ancient drainage system in Ganzhou, China[J]. Journal of Hydrology, 2018, 563(2): 900-908.
- [5] 仇保兴. 海绵城市(LID)的内涵、途径与展望[J]. 给水排水, 2015,51(3):1-7.
- [6] 袁再健,梁晨,李定强. 中国海绵城市研究进展与展望[J]. 生态环境学报,2017,26(5):896-901.
- [7] Dai L, van Rijswick H F M W, Driessen P P J, Keessen A M, Governance of the Sponge City Program in China with Wuhan as a case study[J]. International Journal of Water Resources Development, 2018, 34 (4): 578-596.
- [8] 乔青. 基于 RS & GIS 技术的武夷山市景观格局分析与生态保护研究[D]. 石家庄:河北师范大学,2004.
- [9] 何苇航,耿丹丹,王瑶,等. 武夷山市土地利用变化遥感监

- 测分析[J]. 测绘科学, 2017,42(11):47-55
- [10] 李俊奇,黄静岩,王文亮. 基于问题导向的建成区海绵城市建设策略[J]. 给水排水,2017,43(8):41-46.
- [11] 车生泉,谢长坤,陈丹,等. 海绵城市理论与技术发展沿革及构建途径[J]. 中国园林,2015,31(6):11-15.
- [12] 姜勇. 武汉市海绵城市规划设计导则编制技术难点探讨[J]. 城市规划,2016,40(3):103-107.
- [13] 王兴超. 基于生态水利的海绵城市设计原则[J]. 水土保持通报,2017,37(5):250-254, 289.
- [14] 王宁. 厦门海绵城市专项规划编制实践与思考[J]. 城市规划,2017,41(6):108-115.
- [15] 张青萍,李晓策,陈逸帆,等. 海绵城市背景下的城市雨洪景观安全格局研究[J]. 现代城市研究,2016(7):6-11,28.
- (责任编辑:叶丽娜)

The Research on Sponge City Construction in Mountainous City ——A Case Study of Wuyishan City

HE Chenyang¹, LIN Hao², WU Fangfang², HU Jiapeng²

(1. School of Strait, Wuyi University, Wuyishan, Fujian 354300;

2. School of Ecological and Resources Engineering, Fujian Provincial Key Laboratory of
Eco-Industrial Green Technology, Wuyi University, Wuyishan, Fujian 354300)

Abstract: Taking Wuyishan city as the study object, the mountain type sponge city was constructed based on characteristics of mountainous cities such as landform, rainfall and climate, and the construction concept of “sponge city”. It offers references for planning designer and government management decision maker to construct sponge city. The current situation of vegetation coverage, topography, river and drainage infrastructure of Wuyishan city were analyzed with the support of geographical information system. The causes of waterlogging of Wuyishan city were analyzed. Meanwhile, the measures such as establishment of waterlogging buffer in the midland, improvement of drainage system in buffer zone, protecting river and construction of permeable supporting facilities in cities were adopted to prevent waterlogging, which was based on the low vegetation coverage of midland, low gradient and ground elevation of Wuyishan city.

Key words: mountainous cities; ecological concept; planning; Wuyishan city

工程项目进度风险因素叠加性影响研究

黎恒杆¹, 陈金雄², 苏俊贤², 王中豪¹, 姜 昆¹

(1.武夷学院 土木工程与建筑学院, 福建 武夷山 354300; 2.武夷学院 数学与计算机学院, 福建 武夷山 354300)

摘 要:利用贝叶斯网络分析了在工程项目中,影响工程进度风险的各因素在不同状态下对工程进度的叠加性影响情况。利用贝叶斯网络建立分析模型,对本地近五年的工程建设项目资料进行分析,比较了风险因素的叠加和非叠加的影响。当因素状态为中、效率为差时,单个因素分别发生引起的进度风险之和是多个因素同时产生影响的 1.46 倍;当因素状态、效率均为差时,单个因素分别发生引起的进度风险之和是多个因素同时产生影响的-4.29 倍;当因素状态、效率均为高时,单个因素分别发生引起的进度风险之和是多个因素同时产生影响的 0.89 倍。结果表明多个风险因素作用下产生的工程项目进度风险为非叠加性,且非叠加性影响的大小视项目管理的效率、风险因素的状态而定。

关键词:工程项目; 风险因素; 贝叶斯网络; 叠加性

中图分类号: F416.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-2109(2018)12-0076-06

工程建设项目通常具有投资大、建设周期长及影响因素多的特点,因此对工程建设项目进行有效的控制和风险管理是影响工程建设项目成败的关键。工程建设项目控制的要素很多,如目标、进度、成本、质量、安全等。由于工程进度的显性特征,其还往往会影响到其他控制要素,因此在工程建设项目中进度控制是关键的,倘若项目的进度失控,它不仅会影响其他目标,还将导致项目资源的巨大浪费。实践和理论都表明影响工程建设项目进度风险的因素很多,如表 1 所示。

表 1 影响工程项目进度风险因素及其体现

Table 1 Risk factors and its embodiments effecting schedule management on project

风险因素	风险体现		
人的因素	人员不足	人员工作积极性	各种申请审批延误
	事故调查处理	验收组织不及时	土地审批手续
设备因素	设备故障	设备供应不足	机械不匹配
	设备检修	设备先进性	
材料因素	材料质量	材料供应不及时	材料匹配
技术因素	勘察资料不准确	图纸配套不及时	工程变更
	施工方案不当	供水、电不及时	
资金因素	青苗补偿不足	资金不足	合同款支付不及时
	资金安排不合理		
环境因素	恶劣天气	自然灾害	刑事案件
	政治活动	生产供给中断	交通管制
组织因素	施工组织不当	管理方式不当	激励机制
	合同纠纷		
其他因素	地下文物	社会法规	

这些风险因素来自多层次、多方面,有的是容易度量(或可预知),有的则不容易度量(或不可预知),它们之间还会相互作用影响(即风险的叠加性)。从工程建设项目风险因素的叠加性影响进行研究,期待在

收稿日期:2018-06-18

基金项目:福建省教育厅教育科研项目(JAT170603);福建省本科高校教育教学改革研究项目(FB-JG20170076);福建省省级大学生创新训练项目(201610397034、201510397003)。

作者简介:黎恒杆(1980-),男,汉族,讲师,主要从事工程管理、土木工程的研究。

大量实际工程建设项目数据分析基础上,利用贝叶斯网络建立分析模型,比较风险因素的叠加和非叠加的影响。

国内外研究者关于工程建设项目进度风险的研究并不少见,基本是利用数学模型(如层次分析法、模糊数学法、网络分析法、蒙特卡法、粗集神经网络法、贝叶斯网络)进行研究,很好的丰富和完善了工程建设项目风险管理研究领域。欧阳焜^[1]对 BIM 技术下项目工程的相关概念、影响因素和保障措施进行研究,建立多因素随机性工程项目进度预测模型。武民民^[2]通过比较矩阵法和专家经验法分别确定了工程进度影响因子的权重值,为确定 2 种方法获得的权重值中的较优者,采用遗传算法,应用 MATLAB 软件对问题进行了模拟仿真。田耐^[3]提出一种环境因素对桥梁建造工程进度管理影响的建模方案,在环境因素建模分析的基础上,引进了 EECR 技术,能够准确的评估环境因素对桥梁建造工程管理过程的影响程度。武菲菲等^[4]从分析影响项目工期的风险因素出发,对每一风险因素所引起的项目作业拖延时间根据其特征可以给出不同的假设分布,确定各风险因素对作业的影响,并通过蒙特卡罗模拟确定项目各路径工期的分布。黄建文等^[5]针对传统计划评审技术在计算完工概率时假设条件的局限性(假设条件与工程实际存在偏差,导致完工概率偏大),提出了基于贝叶斯网络的施工进度完工概率分析方法。项勇^[6]在贝叶斯网络图的理念下,引入非叠加性原理,探讨多个风险因素共同作用的影响。Steven Doskey^[7]等用贝叶斯网络度量系统工程,用以鉴别和分析系统工程的模式和预测可以的风险,并把它发展成为一个复杂的信息系统; Lee 等^[8]用贝叶斯网络对大工程进行风险管理,并把它应用于韩国的造船工业中。刘俊艳、王卓甫^[9]采用贝叶斯网络方法验证风险因素同时发生时产生的影响是否等于各风险因素单独作用下所产生的影响之和。

从上述文献可看出国内对工程建设项目进度风险因素的研究大量运用了各种数学理论方法,但未能就风险因素的独立性和叠加影响进行对比分析。在实际的工程建设项目活动中,必然同时存在多个风险因素影响。对于这些风险因素之间的关系和对控制目标所产生影响的叠加性和非叠加性研究,无论是工程界

还是学术界均较为少见,而这种综合的影响对项目管理者所作出的决策、规划都非常重要。因此本文拟在调查大量的工程建设项目案例数据基础上,利用贝叶斯网络方法分析工程建设项目风险因素的叠加性和非叠加性影响。

2 基于贝叶斯网络的风险因素模型建立

2.1 贝叶斯网络模型

贝叶斯网络是一个带有概率的有向无环图,这个图模型能够表示变量集合的联合概率分布,可以分析大量变量之间的相互关系,利用贝叶斯定理的学习和统计推断功能实现预测、诊断、分类等任务^[10]。它是联合概率分布的分解是一种表示,即,假设网络中的变量为 X_1, X_2, \dots, X_n , 假设给定 $\pi(X_i)$, X_i 与 $\{X_1, X_2, \dots, X_{i-1}\}$ 中其它变量条件独立,那么联合概率分布为:

$$P(X_1, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i | X_1, \dots, X_{i-1}) = \prod_{i=1}^n P(X_i | \pi(X_i)) \quad (1)$$

公式(1),其中当 $\pi(X_i) = \theta$ 时, $P(X_i | \pi(X_i))$ 即是边缘分布 $P(X_i)$ 。

利用贝叶斯网络可以容易求解节点的后验概率,先验概率和后验概率是相对于某组数据而言的。设 X, Y 为两个随机变量, $X=x$ 为某一假设, $Y=y$ 为一组数据,在考虑数据 $Y=y$ 之前,对事件 $X=x$ 的概率估计 $P(X=x)$ 成为先验概率。而在考虑数据之后,对 $X=x$ 的概率估计 $P(X=x | Y=y)$ 成为后验概率。贝叶斯定理给出了先验概率及后验概率之间的关系,即贝叶斯公式:

$$P(X=x | Y=y) = \frac{P(X=x, Y=y)}{P(Y=y)} = \frac{P(X=x)P(Y=y | X=x)}{P(Y=y)} \quad (2)$$

公式(2),式中 $P(X=x, Y=y)$ 是 $X=x \wedge Y=y$ 的联合概率; $P(X=x)$ 为先验概率; $P(X=x | Y=y)$ 是 A 的后验概率,且如果 X, Y 独立,则 $P(X=x | Y=y) = P(X=x)$; $P(Y=y | X=x)$ 为 A 的联合概率。

2.2 模型的建立

选择贝叶斯网络模型进行工程项目进度风险因素的叠加和非叠加性分析,可以分析到某项作业内容是受到何种风险因素及作用程度的影响,同时可以计算这些风险因素对工期变化的影响概率。在利用贝叶斯网络分析时须了解各种风险因素的效率以及工程

项目所处的运行状态,这些数据可以通过收集实际工程项目运行资料统计得到。具体利用贝叶斯网络进行工程进度分析的步骤如下:

(1)通过实际工程项目运行资料的统计,选择影响工程进度较为明显的风险因素;

(2)建立工程进度风险贝叶斯网络,把工程项目的网络图用贝叶斯网络形式表现;贝叶斯网络中各节点即为各工程活动,网络箭头表示工程活动间的逻辑关系;再将风险因素加入工程进度贝叶斯网络中构成了工程项目进度风险贝叶斯网络;

(3)利用贝叶斯公式计算受多个风险因素影响下的工程活动进度风险;

(4)利用贝叶斯公式逐一分别计算第三步风险因素单独作用下的工程活动进度风险;

(5)比较第 3、4 步计算结果,分析验证风险因素是否存在非叠加影响。

3 实例分析

在工程项目实践中可以显而易见的感知到项目的运行往往处于某一种状态(定义这些状态为好、中、差),在不同的状态下各进度风险影响因素的效率是不一样的,为了验证贝叶斯网络模型的有效性和精度,收集了本地近五年的工程建设项目资料,通过专家评估法得到因素状态和效率概率的先验概率分别为好(0.64)、中(0.22)、差(0.14)和高(0.82)、低(0.18);其余数据如表 2 所示。

表 2 项目进度风险因素状态、效率及概率表

Table 2 Status, efficiency and probability of schedule management on project

因素状态(Z)	好		中		差	
	高	低	高	低	高	低
影响因素(Y)	效率(X)					
人的因素	0.66	0.34	0.6	0.4	0.32	0.68
设备因素	0.73	0.27	0.68	0.32	0.44	0.56
材料因素	0.74	0.26	0.55	0.45	0.47	0.53
技术因素	0.82	0.18	0.45	0.55	0.35	0.65
资金因素	0.87	0.13	0.44	0.56	0.22	0.78
环境因素	0.66	0.34	0.52	0.48	0.31	0.69
组织因素	0.63	0.37	0.58	0.42	0.23	0.77
其他因素	0.89	0.11	0.77	0.23	0.41	0.59

3.1 计算工程项目进度的后验概率

由公式(2)计算得工程进度各影响因素的后验概率如表 3 所示。

表 3 影响因素后验概率表

Table 3 Posterior probability of effect factors

影响因素	后验概率	影响因素	后验概率
人的因素	0.553 0	资金因素	0.618 0
设备因素	0.614 2	环境因素	0.551 3
材料因素	0.602 7	组织因素	0.540 3
技术因素	0.610 6	其他因素	0.689 7

3.2 叠加性影响分析

(1)假设某时段因素状态为“中”,即 $P(Z=好)=0$, $P(Z=中)=0.86$, $P(Z=差)=0.14$,而效率不变,根据贝叶斯公式此时的进度因素风险概率如表 4 所示。

表 4 (1)状态下的影响因素风险概率表

Table 4 Risk probability of effect factor under condition 1

影响因素	后验概率	影响因素	后验概率
人的因素	0.531 8	资金因素	0.441 9
设备因素	0.593 7	环境因素	0.494 0
材料因素	0.524 8	组织因素	0.519 8
技术因素	0.459 0	其他因素	0.640 5

(2)假设某时段因素状态为“差”,即 $P(Z=好)=0$, $P(Z=中)=0.22$, $P(Z=差)=0.78$,而效率不变,根据贝叶斯公式此时的进度因素风险概率如表 5 所示。

表 5 (2)状态下的影响因素风险概率表

Table 5 Risk probability of effect factor under condition 2

影响因素	后验概率	影响因素	后验概率
人的因素	0.424 2	资金因素	0.351 8
设备因素	0.495 4	环境因素	0.408 0
材料因素	0.492 1	组织因素	0.376 5
技术因素	0.418 1	其他因素	0.493 1

(3)假设某时段效率为“低”,即 $P(X=低)=1$, $P(X=高)=0$,而因素状态不变,根据贝叶斯公式此时的进度因素风险概率如表 6 所示。

表 6 (3)状态下的影响因素风险概率表

Table 6 Risk probability of effect factor under condition 3

影响因素	后验概率	影响因素	后验概率
人的因素	0.400 8	资金因素	0.315 6
设备因素	0.321 6	环境因素	0.419 8
材料因素	0.339 6	组织因素	0.437 0
技术因素	0.327 2	其他因素	0.203 6

(4)假设某时段效率为“低”,即 $P(X=低)=1$, $P(X=高)=0$, 而因素状态为“中”,即 $P(Z=好)=0$, $P(Z=中)=0.86$, $P(Z=差)=0.14$, 根据贝叶斯公式此时的进度因素风险概率如表 7 所示。

表 7 (4)状态下的影响因素风险概率表

Table 7 Risk probability of effect factor under condition 4

影响因素	后验概率	影响因素	后验概率
人的因素	0.439 2	资金因素	0.590 8
设备因素	0.353 6	环境因素	0.509 4
材料因素	0.461 2	组织因素	0.469 0
技术因素	0.564 0	其他因素	0.280 4

(5)假设某时段效率为“低”,即 $P(X=低)=1$, $P(X=高)=0$, 而因素状态为“差”,即 $P(Z=好)=0$, $P(Z=中)=0.22$, $P(Z=差)=0.78$, 根据贝叶斯公式此时的进度因素

风险概率如表 8 所示。

表 8 (5)状态下的影响因素风险概率表

Table 8 Risk probability of effect factor under condition 5

影响因素	后验概率	影响因素	后验概率
人的因素	0.618 4	资金因素	0.731 6
设备因素	0.507 2	环境因素	0.643 8
材料因素	0.512 4	组织因素	0.693 0
技术因素	0.628 0	其他因素	0.510 8

综合比较上述(1)-(5)的 5 种情形,当因素状态和效率分别或同时处于劣势时,工程进度风险与最初的计算相比较发生了相应的变化,如表 9 所示。

由表 9 可知,当因素状态为中、效率为差时,他们所引起的进度风险的变化量之和为-0.166 3, 不等于当因素状态和效率同时处于劣势时所引起的进度风险变化量-0.113 8。此时,单个因素分别发生引起的进度风险之和是多个因素同时恶化产生的影响的 1.461 3 倍;当因素状态为差、效率为差时,他们所引起的进度风险的变化量之和为-0.281 0, 不等于当因素状态和效率同时处于劣势时所引起的进度风险变化量 0.065 4。此时,单个因素分别发生引起的进度风险之和是多个因素同时恶化产生的影响的-4.296 6 倍。

(6)假设某时段因素状态为“好”,即 $P(Z=好)=1$,

表 9(1)-(5)状态下各因素叠加性影响分析表

Table 9 Analysis of superposition effects of factors under conditions from 1 to 5

影响因素(Y)	原始风险	$\Delta(1)$	$\Delta(2)$	$\Delta(3)$	$\Delta(4)$	$\Delta(5)$	$\Delta(1)+\Delta(3)$	$\Delta(2)+\Delta(3)$
人的因素	0.553 0	-0.014 1	-0.128 8	-0.152 2	-0.113 8	0.065 4	-0.166 3	-0.281 0
设备因素	0.614 2	-0.020 5	-0.118 8	-0.292 6	-0.260 6	-0.107 0	-0.313 1	-0.411 4
材料因素	0.602 7	-0.077 9	-0.110 6	-0.263 1	-0.141 5	-0.090 3	-0.341 0	-0.373 7
技术因素	0.610 6	-0.151 6	-0.192 5	-0.283 4	-0.046 6	0.017 4	-0.435 0	-0.475 9
资金因素	0.618 0	-0.176 1	-0.266 2	-0.302 4	-0.027 2	0.113 8	-0.478 5	-0.568 6
环境因素	0.551 3	-0.057 3	-0.143 3	-0.131 5	-0.041 9	0.092 5	-0.188 8	-0.274 8
组织因素	0.540 3	-0.020 5	-0.163 8	-0.103 3	-0.071 3	0.152 7	-0.123 8	-0.267 1
其他因素	0.689 7	-0.049 2	-0.196 6	-0.486 1	-0.409 3	-0.178 9	-0.535 3	-0.682 7

$P(Z=中)=0, P(Z=差)=0$, 而效率不变, 此时的进度风险为, 根据贝叶斯公式此时的进度因素风险概率如表 10 所示。

表 10 (6) 状态下的影响因素风险概率表

Table 10 Risk probability of effect factor under condition 6

影响因素	后验概率	影响因素	后验概率
人的因素	0.602 4	资金因素	0.736 8
设备因素	0.647 2	环境因素	0.602 4
材料因素	0.653 6	组织因素	0.583 2
技术因素	0.704 8	其他因素	0.749 6

(7) 假设某时段效率为“高”, 即 $P(X=低)=1, P(X=高)=0$, 而因素状态不变, 此时的进度风险为, 根据贝叶斯公式此时的进度因素风险概率如表 11 所示。

表 11 (7) 状态下的影响因素风险概率表

Table 11 Risk probability of effect factor under condition 7

影响因素	后验概率	影响因素	后验概率
人的因素	0.599 2	资金因素	0.684 4
设备因素	0.678 4	环境因素	0.580 2
材料因素	0.660 4	组织因素	0.563 0
技术因素	0.672 8	其他因素	0.796 4

(8) 假设某时段因素状态为“好”, 即 $P(Z=好)=1, P(Z=中)=0, P(Z=差)=0$, 效率为“高”, 即 $P(X=低)=1, P(X=高)=0$, 此时的进度风险为, 此时的进度风险为, 根据贝叶斯公式此时的进度因素风险概率如表 12 所示。

表 12 (8) 状态下的影响因素风险概率表

Table 12 Risk probability of effect factor under condition 8

影响因素	后验概率	影响因素	后验概率
人的因素	0.660 0	资金因素	0.870 0
设备因素	0.730 0	环境因素	0.660 0
材料因素	0.740 0	组织因素	0.630 0
技术因素	0.820 0	其他因素	0.890 0

综合比较上述(6)-(8)的 3 种情形, 当因素状态和效率分别或同时处于优势时, 工程进度风险与最初的计算相比较发生了相应的变化, 如表 13 所示。

表 13 (6)-(8) 状态下各因素叠加性影响分析表

Table 13 Analysis of superposition effects of factors under conditions from 6 to 8

影响因素(Y)	原始风险	$\Delta(6)$	$\Delta(7)$	$\Delta(8)$	$\Delta(6)+\Delta(7)$
人的因素	0.553 0	0.049 4	0.046 2	0.107 0	0.095 6
设备因素	0.614 2	0.033 0	0.064 2	0.115 8	0.097 2
材料因素	0.602 7	0.050 9	0.057 7	0.137 3	0.108 6
技术因素	0.610 6	0.094 2	0.062 2	0.209 4	0.156 4
资金因素	0.618 0	0.118 8	0.066 4	0.252 0	0.185 2
环境因素	0.551 3	0.051 1	0.028 9	0.108 7	0.080 0
组织因素	0.540 3	0.042 9	0.022 7	0.089 7	0.065 6
其他因素	0.689 7	0.059 9	0.106 7	0.200 3	0.166 6

由表 13 可知, 当因素状态为好、效率为高时, 他们所引起的进度风险的变化量之和为 0.095 6, 不等于当因素状态和效率同时处于优势时所引起的进度风险变化量 0.107 0。此时, 单个因素分别发生引起的进度风险之和是多个因素同时恶化产生的影响的 0.893 5 倍。

4 结论

本文利用贝叶斯网络分析了在工程项目中, 影响工程进度风险的各因素在不同状态下对工程进度的非叠加性影响的情况。通过案例计算说明得出结论:

(1) 对影响工程项目进度风险因素进行分析研究, 表明多个风险因素作用下产生的工程项目进度风险为非叠加性, 且非叠加性影响的大小视项目管理的效率、风险因素的状态而定。

(2) 本模型利用贝叶斯网络分析了在工程项目中, 影响工程进度风险各因素在不同状态下对工程进度的非叠加性影响的情况。由于不同组合及不同组合节点状态产生的非叠加性影响大小不同, 而又不可能尽数各种风险因素及组合, 故何种状况非叠加性影响大于叠加和, 何种状况非叠加性影响小于叠加和尚不能确定。

(3) 各风险因素之间的相互作用影响的原因还有待进一步研究分析, 文中只做了三种因素的叠加研究, 在某些极端情况下所有因素的叠加情况还需进一步研究。

参考文献:

- [1] 欧阳焜.BIM 多因素随机性工程项目进度预测模型研究[J]. 建筑技术,2017,48(4):395-398.
- [2] 武民民. 工程进度影响因子权重优化分析 [J]. 新技术新工艺,2015(12):67-70.
- [3] 田耐. 环境因素对桥梁建设工程进度管理的影响研究[J]. 环境科学与管理,2017(9):86-90
- [4] 武菲菲,王学海,程铁信等. 基于 PERT 的多因素影响下的项目工期风险评价[J]. 工业工程,2015(6):89-92
- [5] 黄建文. 基于贝叶斯网络的工程项目进度完工概率分析[J]. 数学的实践与认知,2017(6):87-93.
- [6] 项勇,任宏. 工程项目工期风险因素影响分析:基于贝叶斯网络理论和非叠加原理[J]. 技术经济与管理研究,2015(2):3-7.
- [7] DOSKEY S , MAZZUCHI T, SARKANI S . A Measure of Systems Engineering Effectiveness in Acquisition of Complex Information Systems: A Bayesian Belief Network Approach[J]. Ieee Systems Journal 2015, 9 (2), 442-450.
- [8] LEE, E , PARK Y ,SHIN J G . Large engineering project risk management using a Bayesian belief network [J]. Expert Systems with Applications 2009, 36 (3), 5880-5887.
- [9] 刘俊艳,王卓甫. 工程进度风险因素的非叠加性影响[J]. 系统工程理论与实践,2011,31(8):1517-1523.
- [10] 邓东磊,胡颖. 基于贝叶斯网络的施工项目进度计划动态更新方法[J]. 价值工程,2017(33):45-48.

(责任编辑:叶丽娜)

Studies on the Additivity of Risk Factors of Project ScheduleLI Henggan¹, CHEN Jinxiong², SU Junxian², WANG Zhonghao¹, JIANG Kun¹

(1.School of Architecture and Civil Engineering, Wuyi University, Wuyishan, Fujian 354300;

2. School of Mathematics and Computer Science, Wuyi University, Wuyishan, Fujian 354300)

Abstract: The additivity of risk factors of project was studied by using Bayesian net analysis model. The local recent five years project data was analyzed, additivity and non-additivity of risk factors were investigated. When factor conditions were medium and efficiency was bad, the sum of schedule factor caused by single factor was 1.46 times than that caused by several factors. When factor conditions and efficiency were bad, the sum of schedule factor caused by single factor was -4.29 times than that caused by several factors; when factor condition and efficiency were high, the sum of schedule factor caused by single factor was 0.89 times than that caused by several factors. Results showed that project schedule risk caused by several risk factors was non-additivity, and the effect of non-additivity depended on efficiency of project management and the condition of risk factor conditions.

Key words: project; risk factor; Bayesian networks; additivity

《线性代数》在线开放课程的 典型问题与教学设计

朱荣坤, 谢加良, 高峰

(集美大学 理学院, 福建 厦门 361021)

摘要:结合在线开放课程属性,整合线性代数中的行列式计算、方阵运算性质、初等变换的应用、阶梯形矩阵的化简、特征值与特征向量等典型问题的知识点;归纳行列式与矩阵、初等变换、求解线性方程组等过程的易错点;构建以线性方程组和等价命题为主线的线性代数理论框架,并以国内经典代数教材中的一道典型行列式为背景进一步变式为线性方程组、向量组的线性相关性、矩阵、特征值、二次型等问题,体现有别于传统大学数学课堂教学过程的设计理念。

关键词:线性代数;在线开放课程;教学设计;变式

中图分类号: G642 **文献标识码:** C **文章编号:** 1674-2109(2018)12-0082-05

近年来,随着互联网的全面普及和教育技术的不断革新,大规模在线开放课程在全球兴起。高等教育领域掀起了一股以“降低教育成本、促进教育公平、提升教学质量、提倡终身学习”为宗旨的在线开放课程建设的浪潮,为“互联网+”时代的高等教育改革注入了新的活力。2015年4月,《教育部关于加强高等学校在线开放课程建设应用与管理的意见》^[1]出台,提出“鼓励高校结合本校人才培养目标 and 需求,通过在线学习、在线学习与课堂教学相结合等多种方式应用在线开放课程”,这对推动我国大规模在线开放课程体系建设探索“高校主体、政府支持、社会参与”的中国特色发展道路具有重大指导意义。

尽管在线开放课程的开发与建设如火如荼,但在具体实施过程中也遇到了许多障碍和问题^[2-3],优质专业性课程的稀缺便是其中亟待解决的一个重要问题。积累相当规模的优质专业课程,并广泛融入整个高校

课程教学系统,是全面建设在线开放课程体系,不断推进新时期高等教育改革的先决条件和重要环节。然而,现实是我国的优质专业在线课程建设还非常薄弱。集美大学自2016年开始进行《线性代数》在线课程建设,课程组成员根据在线开放课程建设的原则,结合在线开放课程属性,引入最新信息和教育技术,进行相关教学内容设计,进一步依托教改项目《代数类基础课程的典型问题与方法研究》,凝练出多讲“典型例题”,增补教学内容,整合知识体系^[4]。《线性代数》是高校理工科、经管类各专业的数学必修课程。在多年的课堂教学实践中观察可见,学生在该课程学习中独立思考能力较差,在接触具体内容时,通常是“知其然不知其所以然”,解题时只会套公式,缺乏在理解的基础上灵活应用的能力^[5-7]。鉴于在线开放课程资源丰富、选择多元、方式灵活、互动性强等特点,本文通过分析线性代数中的知识点、结合多年课堂教学经验强调易错点以及基于线性方程组和等价命题构建框架图等方式,提出《线性代数》在线开放课程教学设计的新思路、新方案。

1 整合知识点

概念多、性质杂,逻辑性强,知识点前后纵横交错,是《线性代数》的课程特点。教学中要把前后知识点

收稿日期:2018-07-18

基金项目:福建省教育教学改革项目(JZ160137);集美大学教改项目(JY17085,JY18105)。

作者简介:朱荣坤(1965-),男,汉族,副教授,主要从事代数学以及数学学科教学法研究。

通信作者:谢加良(1981-),男,汉族,副教授,主要从事格上拓扑、模糊代数以及数学学科教学法的研究。

的典型问题进行有效的联系、整合、提炼,这对学生大有帮助. 整合知识点体现出在线课程教学注重学生的学而设计的理念,不仅根据所开设的课程和使用的教材来确定,更主要的是根据所隶属的更大系统的学习需求,根据学习者的学习能力和水平来设计.

1.1 行列式的典型问题

主要思路:化零(观察特点,选择作行或列变换,化简为三角形或者降阶)

重要技巧:

- ①把某一行(列)的倍数加到其余各行(列);
- ②把所有行(列)加到同一行(列);
- ③逐行(列)相加(减).

基本方法:

①按定义或按某一行(列)展开(先化0,再展开,展开后注意各项的符号!)

②化为三角形

常用公式: $|A \cdot B| = |A| \cdot |B|$, $|kA_n| = k^n |A|$, $|-A_n| = (-1)^n |A|$.

典型例题:爪形行列式、非对角线元素全相等的行列式.

掌握了这些基本要点,计算基本类型的行列式就能有章可循.

1.2 方阵的运算性质

矩阵常见的运算有加法、数乘、乘法、逆、转置等,彼此之间既有联系又有区别,通过梳理、提升知识点,可列表如下(表中涉及的运算均有意义).

1.3 初等变换的应用

初等变换是线性代数中的一个极为重要的工具,利用它可以解决许多问题.通过初等变换,就可以把线性代数的主体内容“串”起来,它是线性代数的教学主线,贯穿整个教学始终^[5],需要加以强化.

教学中要时刻提醒学生思考这样的问题:初等变换可以解决哪些问题?其中哪些可作行变换也可作列

变换?哪些只能作行变换?学生普遍容易出现的错误是:求特征向量时,先对特征多项式做列变换化简,再回到对应的矩阵形式去求解齐次线性方程组从而得到基础解系,错误地认为这就是所求的特征向量,且检查多遍也找不出错在哪里.一般可要求学生只用行变换以避免出错.

1.4 阶梯形(行最简形)矩阵的化简

阶梯形是线性代数的一个重要求解目标,许多问题都可归结为化阶梯形矩阵,它的最大好处是便于求秩和求解.涉及到的问题主要有:线性方程组的求解(含基础解系)与讨论、向量组的秩与极大无关组及其线性表示问题、逆矩阵、矩阵的秩、特征向量的求法.因此,在教学中一定要引导学生熟练掌握阶梯形的化法,一般方法是:逐列按行非零首元从上而下化零(行最简形需再从下而上化零);非零首元要尽量简单(最好是 ± 1),避开或推迟分数计算.

1.5 特征值特征向量的注意事项

(1)如何计算特征多项式 $|A - \lambda E|$?(对角元中含有 λ ;不能先化简 A ,再减去 λE)

(2)求特征值,能不能列变换?(可以);求特征向量,能不能列变换?(不可).

(3)如何确定特征向量要求几个?($n - r(A - \lambda E)$);对错怎么检查?(代入验证).

(4)特征向量一定非零(如果求出特征向量为零,一定是算错了)

1.6 解题套路举例

线性代数存在一些解题套路,教学中可以加以引导.例如:

(1)涉及伴随矩阵问题,往往要利用到基本公式 $AA^* = A^*A = |A|E$ 及其重要推论 $|A^*| = |A|^{n-1}$.

(2)“拼凑”逆矩阵:

题型:已知 n 阶方阵 A 的某个多项式 $f(A) = 0$,证明与 A 有关的矩阵 \square 可逆,并求 \square^{-1} .

表 1 矩阵常见的运算

Table 1 Common operations of matrices

方 阵	运 算					
	加法	数乘	乘法	逆	转置	伴随
转置	$(A+B)^T = A^T + B^T$	$(kA)^T = kA^T$	$(AB)^T = B^T A^T$	$(A^T)^{-1} = (A^{-1})^T$	$(A^T)^T = A$	$(A^T)^* = (A^*)^T$
行列式	$ A+B \neq A + B $	$ kA = k^n A $	$ AB = A B $	$ A^{-1} = A ^{-1}$	$ A^T = A $	$ A^* = A ^{n-1}$
逆	$(A+B)^{-1} \neq A^{-1} + B^{-1}$	$(kA)^{-1} = \frac{1}{k} A^{-1}$	$(AB)^{-1} = B^{-1} A^{-1}$	$(A^{-1})^{-1} = A$	$(A^{-1})^T = (A^T)^{-1}$	$(A^{-1})^* = (A^*)^{-1}$
伴随	$(A+B)^* \neq A^* + B^*$	$(kA)^* = k^{n-1} A^*$	$(AB)^* = B^* A^*$	$(A^*)^{-1} = (A^{-1})^*$	$(A^*)^T = (A^T)^*$	$(A^*)^* = A ^{n-2} A$

比如 $A^2 - A - 2E = 0$, 求 $(A + 2E)^{-1} = ?$

解法: 可把 $f(A) = 0$ 根据目标矩阵 \square 进行“拼凑”因式, 得到矩阵 \blacktriangle , 满足 $\square \cdot \blacktriangle = E$ (或 $\blacktriangle \cdot \square = E$); 或者利用待定系数法.

(3) 线性无关的常规证明: 先假设向量组的线性组合为零, 设法变形为与已知条件有关的等式, 利用已知条件得出相关结果, 最终推导出线性组合的系数全部为零.

2 强调易错点

易错点, 即学生普遍容易出现错误的知识点, 有的是同一教学班级作业中体现出来的共性问题, 甚至是历届学生都经常出现的典型错误, 而学生自己往往没有意识到. 因此, 在线课程教学中必须及时强调易错点, 充分考虑学习者的初始特征, 特别是有关学习方面的特征, 并据此安排不同的教学目标, 进行不同的教学设计. 杜绝了易错点, 也就澄清了知识点的模糊理解, 对提高课程认知水平的意义显而易见.

2.1 矩阵与行列式的基本区别

在符号、阶数、加法、数乘、乘法、转置等运算方式及其运算规律存在很大不同, 易混淆.

表 2 矩阵和行列式的区别

Table 2 Differences between matrices and determinants

	矩阵	行列式
符号	() 或 []	
运算结果	矩阵(表格)	数
阶数	行数不恒等于列数	行数恒等于列数(方阵才有行列式!)
加法	每一行(或列)对应相加	某一行(或列)对应相加(其余不动)
数乘	k 乘以每一行(或列)	k 乘以某一行(或列)
乘法	左矩阵的列数必须等于右矩阵的行数才能相乘; 左乘、右乘不一样	左乘、右乘一样; 乘法运算规则和矩阵一样
乘法可交换	不成立	成立
转置	不恒等	相等
化简符号	\rightarrow 或 \sim	$=$

2.2 矩阵乘法交换律的不成立

导致矩阵的乘法性质与数的乘法存在许多不同之处, 这往往是学生容易“想当然”的出错之处. 比如 $AB = 0 \not\Rightarrow A = 0 \text{ or } B = 0$ (矩阵存在零因子), 又如矩阵乘法

不满足交换律, 所以要想方设法让学生切实掌握乘法必须区分左乘、右乘.

2.3 行列式计算常见的易错点

- (1) 展开后漏符号项、漏展开项;
- (2) 四阶(及以上阶数)按对角线法则展开;
- (3) 把一个行数、列数不相等的所谓“行列式”计算得煞有其事;
- (4) $|A \pm B| = |A| \pm |B|$ 这个错误结论也是学生经常误用的. 比如误用如下错误关系式

$$\begin{vmatrix} a_1+b_1 & a_2+b_2 \\ a_3+b_3 & a_4+b_4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_1 & a_2 \\ a_3 & a_4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} b_1 & b_2 \\ b_3 & b_4 \end{vmatrix}$$

2.4 线性方程组的通解

特解由原线性方程组求得, 基础解系则由导出组求得, 也就是说特解与常数项有关、求基础解系时与常数项无关(必须为零), 学生容易保留常数项去求基础解系. 线性方程组是否有解, 要把矩阵的秩与 n 作比较, 特别要注意 n 的含义, 它指未知数个数, 也是系数矩阵的列数, 但未必是行数、也未必是方程组的方程个数. 在教学中应特别强调注意方程的个数与是否有解没有直接联系.

3 构建框架图

在线课程教学设计以先进教育教学理念做指导, 除了体现课堂教学设计中知识的记忆之外, 还强调意义的建构. 这种建构的意义在于帮助学生对当前学习内容所反映的事物性质、规律以及事物之间的内在联系达到较深刻的理解, 从而达到融会贯通, 真正形成自己的知识体系.

因此, 基于知识架构, 我们以线性方程组为主线构建《线性代数》课程的知识框架图, 如图 1.

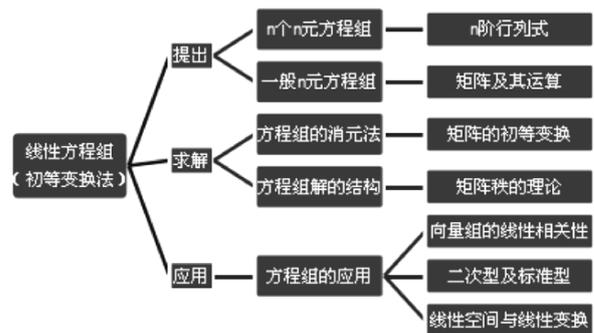


图 1 《线性代数》课程的知识框架图

Figure 1 Knowledge framework diagram for the linear algebra course

而与此框架图相应的一个等价命题几乎贯穿着线性代数整个课程内容,即:

n 元齐次方程组 $AX=0$ 有非零解 $\Leftrightarrow r(A_{sn}) < n \Leftrightarrow A$ 的列向量组线性相关 $\Leftrightarrow |A| \stackrel{s=n}{=} 0$ (即 A 不可逆) $\Leftrightarrow A$ 含有零特征值.

如果考虑这个结论及其逆否命题,以典型行列式为背景显然可以构造出一系列类型题.

在国内《线性代数》《高等代数》经典代数教材中都有如下一道典型的行列式习题^[8,9]:

$$\begin{vmatrix} a & b & b & \cdots & b \\ b & a & b & \cdots & b \\ b & b & a & \cdots & b \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b & b & b & \cdots & a \end{vmatrix}$$

由于行列式问题常常可以演化为线性方程组、向量组的线性相关性、矩阵、特征值、二次型等问题,所以可在教学中进一步作变式,体现数学解题中的转化思想.这种变式题型在线性代数考研中经常出现.

变式 1 联系线性方程组解的问题.

例 1^[10](数学③,2002)设齐次线性方程组

$$\begin{cases} ax_1+bx_2+bx_3+\cdots+bx_n=0 \\ bx_1+ax_2+bx_3+\cdots+bx_n=0 \\ \vdots \\ bx_1+bx_2+bx_3+\cdots+ax_n=0 \end{cases}$$

其中 $a \neq 0, b \neq 0, n \geq 2$. 试讨论 a, b 为何值时,方程组仅有零解,有无穷多解? 在有无穷多解时,求出全部解,并用基础解系表示全部解.

变式 2 联系矩阵问题.比如可逆、秩、向量组的线性相关性.

例 2^[10](数学③④,2001)设矩阵 $A = \begin{pmatrix} k & 1 & 1 & 1 \\ 1 & k & 1 & 1 \\ 1 & 1 & k & 1 \\ 1 & 1 & 1 & k \end{pmatrix}$,

且秩 $(A) = 3$, 则 $k = \underline{\hspace{2cm}}$.

本题可推广为 n 阶情形.

下例是作者于在线课程建设中编制的一道具有一定综合性系列题.

例 3 设 $n(n \geq 2)$ 阶矩阵 $A = \begin{pmatrix} 1 & a & a & \cdots & a \\ a & 1 & a & \cdots & a \\ a & a & 1 & \cdots & a \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a & a & a & \cdots & 1 \end{pmatrix}$

- ①求行列式 $|A|$;
- ②判定 A 的列向量组的线性相关性;
- ③讨论 A 的秩;
- ④确定当 A 的伴随矩阵 A^* 可逆时, a 应该满足的条件;

⑤讨论齐次方程组 $Ax=0$ 的解,并求通解.

变式 3 联系特征值问题.

例 4^[10](数学③,2004)设 n 阶矩阵 $A = \begin{pmatrix} 1 & b & \cdots & b \\ b & 1 & \cdots & b \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b & b & \cdots & 1 \end{pmatrix}$

- ①求 A 的特征值和特征向量;
- ②求可逆矩阵 P , 使得 $P^{-1}AP$ 为对角矩阵.

变式 4 联系二次型问题.可借助典型行列式的矩阵形式探讨对应二次型的正定性等问题.

例 5^[10](数学①②③④,2007)设 $A = \begin{pmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{pmatrix}$,

$B = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ 则 A 与 B ()

- ①合同且相似;②合同但不相似;③不合同但相似;④既合同又相似.

本题合同是二次型的概念,相似问题可从讨论特征值入手.特征多项式 $|\lambda E - A|$ 是典型行列式,可求 A 的特征值为 0,3,3.特征值不同则不相似,但正负惯性指数相同,所以合同.

这里,体现了数学解题中的转化思想,即把要解决的未知、陌生的问题转化为已知、熟悉的问题来处理,通过精选习题、变式探究、总结升华,培养学生灵活变通的思维品质.掌握这种转化思想,乃至能将一类问题之间的联系看清、摸透,不管它以何种形式或面目出现,都可以快速找到解题思路,进而大大提高解题能力和技巧.

在线开放课程是“互联网+”时代高等教育质量切实提升、教学改革深化开展的关键一环;是打破时空

限制和知识藩篱,整合全国教学资源为大众共享的有效途径;是实现全民学习、终身学习的重要平台.在线开放课程体系建设是一项复杂的、综合性的系统工程.相比于传统教学模式,在线课程在教学内容和教学设计上要求更严谨,既要充分考虑到课程内容的多少,又得兼顾学生可接受的程度.因此,我们通过总结多年线下教学中的经验和学生的反馈情况,在每个不超过 15 min 的微课中整合知识点、强调易错点以及构建框架图.同时,我们通过课后作业配备、例题选讲、在线答疑、阶段小结、期考复习等方式进行补充和完善.由此,体现出在线课程模式比传统教学模式在时间、空间、交流互动、考核等多方面的优势.

在不断向纵深推进的过程中,尚有诸多问题亟待解决,诸多工作有待开展,同时也有广阔的空间可以探索.在线开放课程的建设和完善,要求高校教师调整角色定位,从单纯的知识传授者转向多元的学习引领者.在实践层面,教师在给予学习者基础课程资源的同时,还要针对不同专业背景、不同层次需求的学生设计不同的学习内容,进一步整合知识点,总结在课堂教学中出现的典型问题等,多种方式并行,以此作为在线开放课程资源的有益补充.

参考文献:

- [1] 中国教育信息化网. 教育部关于加强高等学校在线开放课程建设应用与管理的意见[J]. 中华人民共和国国务院公报, 2015(18):48-50.
- [2] 刘华. 在线课程融入高校课程教学系统: 障碍及其突破[J]. 高等教育研究, 2016(5):68-72.
- [3] 王卫军, 杨薇薇, 邓茜, 等. 在线课程设计的原则与理念思考[J]. 现代远距离教育, 2016(5):54-60.
- [4] 高峰,朱荣坤,谢加良.线性代数[EB/OL].(2018-09-27)<https://jmu.gaobiaobang.com/#/courses/detail/28758>.
- [5] 王利东, 刘婧. 从应用实例出发的线性代数教学模式探讨[J]. 数学教育学报, 2012(3): 83-85.
- [6] 谢加良, 朱荣坤, 宾红华. 新工科理念下线性代数课程教学设计探索[J]. 长春师范大学学报, 2018(4): 131-133.
- [7] 李小平. 关于《线性代数》教学改革的一些思考[J]. 大学数学, 2011(3):22-25.
- [8] 同济大学数学系. 线性代数[M]. 第 6 版. 北京: 高等教育出版社, 2014.
- [9] 北京大学数学系. 高等代数[M]. 第 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [10] 李恒沛, 高文森. 2012 年历年考研数学真题名家解析与指导[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2011.

(责任编辑:叶丽娜)

Typical Problems and Instructional Design of Online Open Course of Linear Algebra

ZHU Rongkun, XIE Jialiang, GAO Feng

(School of Science, Jimei University, Xiamen, Fujian 361021)

Abstract: In this paper, we discuss the typical problems and instructional design of linear algebra based on the attribution of online open course. Firstly, we integrate the knowledge points of typical problems in linear algebra, including the determinant calculation, the property of the matrix operation, the application of elementary transformation, the simplification of the ladder matrix, the eigenvalues and eigenvectors, etc.. Secondly, We summarize error prone points, such as determinant and matrix, elementary transformation and solving linear equations. Thirdly, we construct a linear algebra theoretical framework based on linear equations and equivalent proposition. Furthermore, we transform a typical determinant into linear equations, linear correlation, matrix, eigenvalue, quadratic form, and so on. These measures reflect the design concept which is different from the traditional university mathematics classroom teaching process.

Key words: linear algebra; online open course; instructional design; variant

基于分层实验和课程答辩的数据结构 实践教学改革研究

林丽惠 魏毅

(武夷学院 数学与计算机学院, 福建 武夷山 354300)

摘要:针对数据结构实践教学难以达到预期效果的问题,从实践教学内容、实践教学模式和实践教学考核等方面提出一个数据结构实践教学改革方案。循序渐进地设计基础知识实验、验证型实验、设计型实验、综合型实验等不同层次的实验,以满足不同层次的学生需求。为增强教学效果,加强实验课前和课后的辅导,实践教学考核增设课程答辩环节。教学实践表明该改革方案能够切实保障数据结构实践教学取得应有的教学效果。

关键词:数据结构;实践教学;教学改革;分层实验;课程答辩

中图分类号:G642.0 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-2109(2018)12-0087-05

“数据结构”是计算机程序设计的重要理论技术基础,是计算机学科的核心课程,其在计算机科学中是一门综合性的专业必修课。^[1]“数据结构”课程的重要性可以从其在用计算机解决问题的过程中发挥的作用体现出。用计算机解决问题的过程及数据结构在此过程中发挥的作用如图 1 所示。

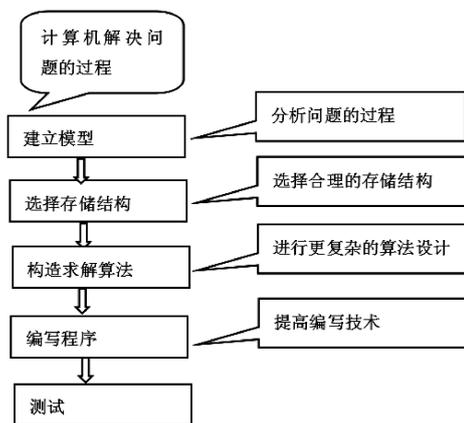


图 1 计算机解决问题的过程及数据结构在此过程中发挥的作用

Figure 1 The process of solving a problem by computer and the role of data structure in this process

“数据结构”课程的教学要求学生掌握分析计算机要处理的数据的特性,为这些数据选择合适的逻辑结构、存储结构,并设计相应的算法解决实际问题。学生学习“数据结构”课程的过程也是进行复杂程序设计训练的过程。通过“数据结构”课程的学习,学生将具备编写结构清晰、正确易读和符合软件工程规范的程序的能力。^[2-3]“数据结构”教学包括理论教学环节和实践教学环节。数据结构的逻辑思想能在理论教学环节中陈述清楚,但是逻辑思想的具体实现则要通过实践教学环节完成。^[4]实践教学环节十分重要,通过实践教学环节,可以加强和提升学生对“数据结构”理论教学环节内容的理解。通过为某一种具体数据结构选择合适的存储结构,并设计相应的算法解决问题,真正在计算机上实现某一种数据结构,理解“数据结构”的真谛;同时通过综合型实验,综合运用所学课程知识,选择适当的数据结构,并设计相应算法解决实际问题,进一步锻炼学生进行复杂程序设计的能力,让学生感受软件开发的规范,全面培养学生综合运用知识的能力。

但是长期以来,我们发现“数据结构”实践教学环节并没有达到预期的效果,存在多方面的问题,影响了计算机学科高素质人才的培养。目前实践教学现状存在以下问题:

收稿日期:2018-08-11

基金项目:武夷学院质量工程建设项目(xj2012046);武夷学院教育教学改革重点项目(JG201701)。

作者简介:林丽惠(1980-),女,汉,副教授,主要研究方向:图像与视频处理技术。

(1)“数据结构”实践环节对学生的程序设计能力要求较高,而学生对“数据结构”的先修课程中的程序设计知识点掌握不够扎实,造成学生感觉编写程序困难,对“数据结构”的实践产生畏惧心理。

(2)“数据结构”课程内容的理解比较抽象,“数据结构”实践环节要求将抽象的理论知识通过程序设计实现,而学生不能将数据结构中的逻辑结构与实际在计算机中的存储结构有机结合并设计合适的算法解决问题,造成学生不能正确理解数据结构,从而对“数据结构”的学习丧失积极性和主动性。

(3)“数据结构”实践环节的考核,目前大多是依据实验报告的成绩作为实践环节的考核成绩,而部分学生在“数据结构”实践环节中具有依赖心理,不喜欢动脑思考,不能独立调试程序,依靠抄袭实验报告来应付实践环节的考核,影响了“数据结构”实践环节的教学效果。

因此,我们迫切需要对“数据结构”实践环节的教学进行改革,寻求突破,提高“数据结构”实践教学环节的效果,提高学生进行复杂程序设计的能力^[5-6]。

1 实践教学内容改革

合理安排和精心设置实验内容将有助于帮助学生逐步建立编写程序的信心,让学生体会到通过努力克服困难解决问题的成就感,提升学生对“数据结构”课程的理解和兴趣,锻炼学生将数据结构理论转化成编写程序解决实际问题的能力^[7]。

1.1 基础知识实验设置

根据多年的教学观察发现,学生在“数据结构”实验编程的薄弱环节主要集中在以下方面的 C 语言程序设计知识点:描述存储结构时结构体的定义、结构体成员的引用方法,类型定义“typedef”的使用方法,指针、动态内存分配的原理及方法,算法和程序的区别与转换方法,函数返回执行状态的理解,程序组织及代码复用的方法等。针对这部分学生掌握薄弱但是对“数据结构”实验编程又是极其重要的内容,在“数据结构”实践环节的初始,设置基础知识实验,实验内容涵盖上述知识点,对上述知识点内容进行编程集训,起到对 C 语言程序设计复习巩固和查缺补漏的作

用,为学生更好地理解“数据结构”提供先修知识准备,为“数据结构”实验编程消除先修知识上的技术障碍。

1.2 验证型实验设置

验证型实验主要是上机实现数据结构课程各个章节中涉及的相关基础算法,使学生进一步领会其原理和验证算法的正确性。验证型实验的实验内容主要是实现各种数据结构采用不同存储结构时的基本操作,包括建立、查找、插入、删除等基本操作。学生通过做验证型实验,可以加深和巩固对不同数据结构不同操作的理解,深刻体会同一种数据结构采用不同存储结构时有哪些不同的特点及操作方法的异同之处,同时也为后续的设计型实验和综合型实验打下扎实理论和实验基础。^[8]验证型实验还能检测学生的基础编程能力,学生也可以在验证型实验的过程中对编程知识进行补缺补漏,提高基础编程能力。同时,通过验证型实验编程实现的算法可以保留,提供给后续的设计型实验和综合型实验调用。这样,在后续的设计型实验和综合型实验中,学生就可以不要纠结在一些细小的编程问题,可以将精力用在更高层次的数据结构和算法的设计上。做好验证型实验能够激发学生学习“数据结构”的兴趣和信心。验证型实验的实验内容设置如表 1。

表 1 验证型实验的内容

Table 1 The content of verification experiment

序号	实验名称	实验内容
1	线性表的基本操作	线性表分别采用顺序存储结构和链式存储结构时的建立、插入和删除操作的实现
2	栈和队列的基本操作	栈和队列分别采用顺序存储结构和链式存储结构时的建立、插入和删除操作的实现
3	串的基本操作	串分别采用定长顺序存储结构和堆分配存储结构时建立串、插入子串、删除子串、串的模式匹配等操作的实现
4	二叉树的基本操作	采用二叉链表存储结构时构造二叉树、遍历二叉树、线索化二叉树等操作的实现
5	图的基本操作	采用邻接矩阵存储结构时图的建立、图的遍历、求图的最小生成树、求带权有向图的最短路径等算法的实现

例如,在验证型实验“线性表的基本操作”中,要求学生编写程序分别实现顺序表和链表的整体建表算法和各种基本运算,并在此基础上设计一个主程序,完成建立顺序表和链表以及插入元素、删除元素、

输出顺序表和链表元素的功能。通过做这个实验,能够增进学生对“数据结构”本质的理解,使学生能够掌握非数值计算的程序设计问题中计算机的操作对象以及对象之间的关系的表示方法,能够掌握对这些操作对象进行各种操作的方法,同时也能够更加深刻地理解“数据结构+算法=程序设计”这个有关程序设计的经典名句。

1.3 设计型实验设置

设计型实验通过采用数据结构的基本方法,分析并且选择某种数据结构,采用某种存储结构,设计合适的算法并加以实现来求解问题。^[9]通过设计型实验,学生才能真正理解如何应用“数据结构”来解决实际的问题,真正理解学习“数据结构”课程的意义。设计型实验通常还具有一定的实用性和趣味性,可以增进学生对实验课的兴趣。因此,根据教学目标,精心设置出适当难度和规模的设计型实验是非常重要的。

例如,针对队列的应用,设置“猴子选大王”这个设计型实验。给出“猴子选大王”的问题描述如下: n 只猴子(n 不超过50)围成一个圈。从某一只开始依次给猴子们编号,从1到 n 。然后从第一只猴子开始依次报数,从1数到 m ,报到 m 的猴子离开此圈。离开此圈的猴子的下一只猴子再开始从1报数,报到 m 的猴子再离开此圈。以此循环,直到圈中剩下最后一只猴子,这只猴子就是大王。要求编程实现,输入 n 和 m ,依次输出离开圈子的猴子编号,然后输出大王的编号。^[10]对于此问题的解决,首先要求学生分析问题,选择合适的的数据结构。根据问题描述, n 只猴子围成一个圈,正好对应数据结构里的循环链表,每只猴子为循环链表的一个结点。“从某一只开始依次给猴子们编号,从1到 n 。”的操作即为:给循环链表的结点编号,从某个结点开始编号,从1到 n 。“从第一只猴子开始依次报数,从1数到 m ,报到 m 的猴子离开此圈”的操作相当于从循环链表中删除一个结点。经过分析可知,该问题的程序编写包括以下实现过程:建立单链表;报数利用do-while循环实现猴子的出列(即删除结点操作);判断循环链表是否最终剩下一个结点,剩下的一个结点即为大王。

综上,学生做设计型实验的过程实际上就是进行了包括分析、设计、编码和调试等一系列操作的训练。

因此,学生通过做设计型实验,能够更加深刻地理解和掌握数据结构的选择和应用、数据结构的存储表示方法,并且通过设计合适的算法巩固并提高分析问题、解决实际问题的能力。

设计型实验的实验内容设置如表2。

表2 设计型实验的内容

Table 2 The content of designing experiment

序号	实验名称	实验内容
1	实现两个多项式相加运算	用单链表存储一元多项式,并实现两个多项式相加运算。
2	猴子选大王问题	n 只猴子围成一圈,编号从1到 n 。第一只猴子从1开始依次报数,报到 m 的猴子离开圈。下一只猴子开始再从1开始报数,报到 m 的再离开。以此类推,直到最后剩下一只猴子为大王,求大王的编号。
3	文本加密和解密程序	根据事先给定的字母映射表,将输入的文本串进行加密后输出,然后进行解密并输出。
4	求二叉树中结点的路径	采用先序遍历方法输出所有从叶子结点到根结点的逆路径;采用先序遍历方法输出第一条最长的逆路径。
5	求带权有向图中的最小环	带权有向图 G 采用邻接矩阵存储,输出 G 中的一个最小环。

1.4 综合型实验设置

综合型实验是综合运用“数据结构”课程中多个相关知识点求解比较复杂的问题,或者同一个问题用多种方法求解,能够提升学生对“数据结构”的整体认识,提高学生分析解决复杂问题的能力。综合型实验的题目有很多,常见的综合型实验题目有:通讯录管理系统问题、停车场管理系统问题、校园导航系统问题、八皇后问题等。

例如,“停车场管理系统”的问题描述如下:有一个只有一个大门可以进出的狭长停车场,可以停放 n 辆汽车。最早进入停车场的车停放在狭长停车场的最靠里面的车位,其它车辆按到达时间依次从里往外停放。如果停车场车位已满,后面到达的车辆依次在停车场大门外的便道上停放等待。如果停车场有车辆要离开,排在这辆车后面进入停车场的车辆都要先退出停车场,等待这辆车离开后,再依原来的次序依次开进停车场停放。一旦停车场有空余的车位,排在便道上的车辆依次开进停车场停放。每辆车都依据其在停

车场内停放的时间长度交费。在便道上停放的车辆不收费。要求编制一程序实现对停车场的管理。对于此问题的解决,首先要求学生分析问题,选择合适的的数据结构。根据问题描述,可以设计两个堆栈,分别用来模拟狭长停车场和临时停车场。当狭长停车场有车辆要离开时,排在这辆要离开车后面进入停车场的车辆都先退出到临时停车场,为要离开车让路。选择堆栈来模拟狭长停车场和临时停车场是因为堆栈具有“后进先出”的特点,这与停车场车辆进出的顺序要求是相符的。同时,使用一个链队列来模拟当停车场车位已满时需要停放车辆的停车场大门外的便道。选择队列来模拟便道,是因为这个便道上的车辆将具有“先进先出”的特点。一旦停车场有空余的车位,排在便道上的第一辆车离开便道,开进停车场停放,便道上原来的第二辆车成为便道上的第一辆车。这个操作就是删除链队列的队头元素,并将这个队头元素插入到狭长停车场这个堆栈中。以上“停车场管理系统”问题同时使用到了栈和链式队列两种数据结构。

设计数据结构的过程,首先要求设计逻辑结构,然后再设计存储结构,最后是在此基础上设计算法,解决问题。这过程中每个环节都对问题求解的性能有重要影响。这就要求学生对特定的问题不仅能够设计出相应的数据结构和算法,还要对所设计的算法的相关性能(包括时间性能和空间性能等)进行分析比较,然后给出最合适的选择。因此,综合型实验还要求学生能够对同一个问题用多种方法求解,再根据实际情况选择一种最优的解决方法。

综上,通过做综合型实验,能够增强学生综合运用课程中的知识与方法的能力,能够提升学生对给定的问题设计出合适的数据结构和算法并解决实际问题的综合实践能力。

2 实践教学模式改革

在实践教学中,循序渐进地安排实验内容,从验证型实验,到设计型实验,再到综合型实验。每个章节的实验内容均按由浅入深、由易到难的原则设计不同层次的实验。验证型实验和设计型实验属于必做实验,综合型实验属于选做实验,以满足不同层次的学

生需求。

为增强教学效果,教师应提前布置实验任务,要求学生课前预习实验内容,带着问题参加实验。在实验课上,教师重点讲解实验中比较关键的内容,采用启发式的方式辅助学生解决问题。在实验课结束前,对实验内容和出现的问题进行总结。并且在课后加强与学生交流沟通,通过课程网站和教师主页进行课后答疑,切实保证学生能真正掌握实验所要求的内容,切实保障实践教学应有的教学效果^[1]。

3 实践教学考核改革

对于实践教学考核,除了提交实验报告,增设课程答辩环节。答辩时主要采用学生讲解、演示测试过程、老师提问和小组讨论的方式,以便深入了解学生对实验内容的掌握情况。实践教学考核的成绩为实验报告成绩和课程答辩成绩的综合成绩。实践教学考核增设课程答辩环节后,部分偷懒的学生就不能再依靠抄袭实验报告来应付实践环节的考核,激发他们必须通过努力扎实掌握实验内容,^[2]切实保障实践教学应有的教学效果。

4 结论

本研究从实践教学内容、实践教学模式和实践教学考核等方面进行数据结构实践教学改革研究,提出一个基于分层实验和课程答辩的数据结构实践教学改革方案。在实践教学内容上,循序渐进地设计基础知识实验、验证型实验、设计型实验、综合型实验等不同层次的实验,以满足不同层次的学生需求。在实践教学模式上,加强实验课课前和课后的辅导。要求学生课前预习实验内容,带着问题参加实验,通过课程网站和教师主页进行课后答疑。实践教学考核增设课程答辩环节。使用本研究提出的数据结构实践教学改革方案,经过对连续四届计算机科学与技术专业的《数据结构》实践教学进行改革探索,教学实践表明本研究实施的教学改革方案能够切实保障数据结构实践教学取得应有的教学效果。主要体现在对《数据结构》这门课程,学生学习的积极性和主动性提高了,综

合应用数据结构的知识编写程序的能力也提高了。

参考文献:

- [1] 严蔚敏,吴伟民. 数据结构 (C 语言版)[M]. 北京:清华大学出版社, 2012.
- [2] 刘丽杰.《数据结构》课程教学改革研究[J]. 长江大学学报:自科版, 2011, 8(2):132-134.
- [3] 鹿咏. 数据结构与算法课程教学方法的思考 [J]. 计算机教育, 2010, 113(5):88-90.
- [4] 秦玉平. 数据结构课程实践教学改革与实践 [J]. 渤海大学学报:自然科学版, 2013(4):398-400.
- [5] 邹超伟, 杨炼, 毛韶阳. 数据结构实践教学体系优化设计研究[J]. 计算机教育, 2013(16):131-134.
- [6] 李群. 基于探究式学习理论的“数据结构”实践教学模式改革[J]. 创新与创业教育, 2014(5):46-48.
- [7] 刘晓静, 王晓英, 张玉安, 等. 以创新人才培养为目标的数据结构实验教学改革 [J]. 实验技术与管理, 2014, 31(11):184-187.
- [8] 张蕊, 蒋廷耀, 但志平, 等. 基于分层教学和课题答辩的《数据结构》实践教学的改革研究[J]. 教育教学论坛, 2013(5):43-44.
- [9] 陈瑛. 从“数据结构”课程特征本质谈实践教学改革[J]. 计算机教育, 2012(6):33-35.
- [10] 王胜. 模拟淘汰程序的设计方法研究:以“猴子选大王”程序为例[J]. 无线互联科技, 2016(9):109-111.
- [11] 王玉国. 数据结构课程实践教学改革研究[J]. 通化师范学院学报, 2014(4):64-66.
- [12] 孟佳娜, 孙雪莲, 刘力军, 等. “数据结构”课程实验教学改革探讨[J]. 大连民族大学学报, 2010, 12(3):272-273.

(责任编辑:叶丽娜)

Research on the Reform of the Practical Teaching of Data Structure Based on Layered Experiment and Course Defense

LIN Lihui WEI Yi

(School of Mathematics and Computer Science, Wuyi University, Wuyishan, Fujian 354300)

Abstract: Aiming at dealing with the problem that it is difficult to achieve the expected effect in the practical teaching of data structure, a plan of practical teaching reform for data structure is proposed based on the content of practical teaching, the mode of practical teaching and the assessment of practical teaching. In order to meet the needs of students at different levels, the basic knowledge experiments, verifying experiments, design-based experiments and comprehensive experiments are designed step by step. In order to enhance the teaching effect, the guidance before and after the experiments is strengthened, and a course defense in the practice teaching assessment is provided. Teaching practice shows that the reform program can effectively guarantee the effect of data structure practice teaching.

Key words: data structure; practical teaching; teaching reform; layered experiment; course defense

地方特色《生态工程学》课程教学改革

华伟平^{1,2}, 林志銮², 李 灵^{1,2}, 郑茂钟^{1,2}, 叶宏萌^{1,2}, 林 立^{1,2}

(1.福建省生态产业绿色技术重点实验室, 福建 武夷山 354300; 2.武夷学院生态与资源工程学院, 福建 武夷山 354300)

摘 要:为解决《生态工程学》课程特色不凸显、实践环节薄弱、教学效果不佳等问题,从教学内容的“金课”打造、以设计能力为目的的实践环节、以案例式教学为主的多元化教学方式等方面展开论述,对地方特色化办学提供指导意义,为提高《生态工程学》课程教学质量和效果提供理论支持,并在新工科建设背景下,提出了下一步课程教学改革的方向。

关键词:地方特色;教学改革;《生态工程学》课程;案例化教学

中图分类号:G642.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-2109(2018)12-0092-04

《生态工程学》课程是生态学专业的专业课程之一,也是环境生态工程专业标志性核心课程之一,是培育学生生态工程技术能力的重要课程。因此,该课程在有生态学、环境生态工程专业的高校均有开设,或有相关配套的课程,而且有些高校在环境工程专业上也开设生态工程学^[1]。生态工程学以复杂的社会-经济-自然复合生态系统为研究对象,应用生态学的基本理论和原则,结合系统工程最优化方法,以整体调控为手段,以人与自然协调关系为基础,高效和谐为方向,为人类社会与自然环境的和谐发展以及资源环境的可持续发展服务的一门新兴交叉学科,如何培育出兼具生态和工程方面的技术人才是我们教

学人员需要认真思考和探索的问题。但目前该课程设置还存在问题,如特色不明显、实践环节少或未开设、工程能力培育缺乏、教材内容陈旧等问题。针对目前该课程存在的问题,并结合区域资源特色及最新生态工程研究进展,通过教学实践,总结相关的经验和教训,提出教改设想,凸显《生态工程学》课程地方办学特色,推动环境生态工程专业新兴工科本学科教学质量的提高。

1 课程教学存在问题探讨

1.1 教学内容繁多,特色不突出

通过本课程的教学,使教学对象了解和掌握有关生态工程学的基本理论,在生态恢复、污染治理、复合农业、城镇发展以及海滩开发与管理等主要方面的生态工程技术及其应用方法和途径。《生态工程学》包含生态工程设计基本原理、土壤恢复生态工程、农田复合生态工程、养殖业生态工程、土壤污染修复生态工程、水体污染修复生态工程、固体废弃物利用生态工程、微生物生态工程及综合生态工程等 9 个板块的教学内容,涉及生态学、生物学、林学、环境工程学、区域经济学等交叉性高的学科知识,而却一般安排 48 学时,教师不仅需要具有很高的教学水平,而且要有广

收稿日期:2018-09-16

基金项目:福建省高校产学研合作项目(2016N5011);武夷学院教学改革研究项目(JG201740);武夷学院校科研项目(XL201512S);福建省中青年教育科研资助项目(JT180554);基于双创视角的应用型高校校企合作与人才培养关系研究(JAS170533)。

作者简介:华伟平(1988-),男,汉族,讲师,主要从事森林资源资产评估和生态学研究。

通讯作者:李灵(1973-),女,汉族,副教授,博士,主要从事土壤生态学研究。

泛的知识结构体系及丰富的实践经验,才能高质量的完成理论原理讲授的教学任务^[2-3]。课程内容未结合地方区域资源进行教学内容重构,联系不紧密,特色不明显。通过问卷的形式,开展了《生态工程学》课程内容满意度调查,分析发现 64.53% 的学生认为该课程内容较繁多、知识偏理论、较难理解。因此,该课程必须在较紧凑的教学时间内结合地方环境资源状况,针对性重构教学内容,与地方经济发展、环境修复、生态保护等紧密结合,突出高校在服务地方上的能力和水平。

1.2 实践环节少或未开设

生态工程的概念在 20 世纪 60 年代由 Odum H.T. 和马世骏提出,至今有半个世纪,目前有近 50 所具有生态学专业的高校,但部分高校由于教师实践经验缺乏、课时较少、实践条件不具备等,而未开设实践环节;或虽开设了实践教学环节,但也是简单的课程设计;或虽单独地开设了一周的实践环节,但学生无法在短时间内系统地完成一项工程实践。同时,在教学参考书上,虽然有关于《生态工程学》的参考书目,但较多的教学材料更适合研究生教学,且通用性较差,具有很大的局限性,而关于《生态工程学》实践、实验指导教材为空白。通过电话回访、QQ 和微信等网络调查的方式,询问了 30 个毕业生,不管是在生态环境相关事业单位的学生,还是从事环境评价的学生,有 81.26% 的认为生态工程学的实践对工作具有极大的帮助。因此,必须进行教学改革,鼓励高校创造机会开设生态工程学实践教学环节,提高学生工程实践能力。

1.3 教学方法传统,效果不明显

现阶段,讲授式教学还是《生态工程学》课程的主要教学方式,虽然该传统教学方法所涉及教学内容丰富、注重知识传授,但由于学生思考较少、被动接受知识,对学生思维、创新等能力的训练缺乏,导致课程教学效果不显著^[4]。从课程知识体系视角考虑,生态工程学作为一门涉及面广、综合性高、技术性强等学科,且随着现代科学技术的发展,关于环境修复的工程技术越来越先进,案例也越来越多,还是以讲授式教学为教学主要手段时,教学效果也往往不明显。因此,需要结合实用性、技术性、综合性等应用科学与技术的课程性质,考虑以案例式教学为主、多种教学方法并存的多元化教学课程改革^[5-9]。

2 课程教学改革

2.1 结合区域资源特色、实用的“金课”打造

结合现有《生态工程学》课程内容繁多、特色不明显等问题,应将教学内容进行重构,把不必要的、意义不大的、较陈旧的、涉及领域较大的、工程特色不明显的内容进行“脱水”,比如课程上所涉及的生态建模、计算机编程技术等内容删除,从而将节约的宝贵时间应用于重点章节、重要知识点上,打造“金课”,比如应用广泛、技术成熟、实践性强的生态工程设计、农林复合经营、生态修复等内容;注重学科前沿性、发展性、科学性,将最新的生态工程技术融入到课程教学内容中,将领域内学者的研究成果作为讨论教学内容,帮助学生最新的科研动态和工程技术方法。课程教学内容应与地方资源状况紧密结合,突出地方办学的特色,如沿海高校应将海洋生态系统破坏、污染及治理作为重点课程内容融入到《生态工程学》课程中,省会、一线、二线等高度发达城市的高校应将城市发展带来的环境污染及修复内容作为重点;山区高校应结合地方的资源情况进行具体办学,如福建闽北地区森林资源丰富,在教学内容上,除了掌握生态工程设计方面的内容外,应掌握林业生态工程相关的知识点;又如地处武夷山的武夷学院生态学专业,《生态工程学》课程内容可以结合大武夷生态圈的茶园资源、竹林资源开展水土流失、农药污染、土壤退化等问题开展教学,将茶园的大面积开垦造成的水土流失治理模式与学生实践环节结合起来,不仅完成了理论和实践教学任务,而且突出了地方办学的特色,为闽北生态环境问题的治理、接地气的人才培育提供支持。

因此,在理论教学上,将应用广泛、技术成熟、实践性强的内容进行保留,并融入学科前沿性研究内容融入教学内容中,使学生熟悉掌握设计流程、施工步骤、管理与保护等全过程技术能力,改革后的理论教学大致框架见图 1。

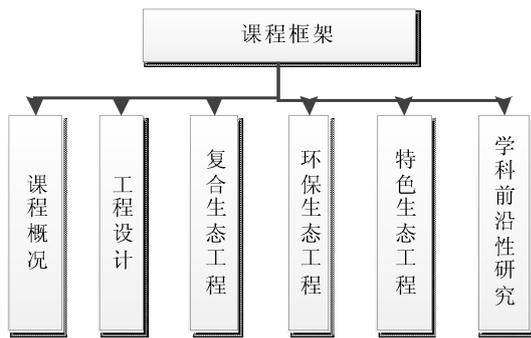


图 1 课程教学框架

Figure 1 Curriculum teaching framework

2.2 以设计能力为目的的实践环节

为解决生态工程的实践环节存在时间短、质量不高、工程特色不显著或未开设等问题,同时保证学生能将理论知识应用于生产实践上,提高动手能力,巩固教学内容,首先将生态工程的实验内容直接废除,因为很多实验内容在其他课程上已经开设或者是相近的实验项目,没进行重复实验,如土壤理化性质的测定与《土壤学》课程实验重复、水和大气环境监测相关实验与《环境监测》课程实验重复、微生物相关实验又与《微生物学》课程实验重复等,因此在培养方案上进一步优化,删除性质接近的实验项目,从而将节约的时间用于实践环节上,解决生态工程学实践环节时间不足的问题;其次,在实践内容上,要注重培育学生的生态工程设计能力,将参观、调查、实验、设计相结合,使学生完成实习的同时,又不忽略培育学生的设计能力,确实体现出《生态工程学》的“工程”两字,培育出兼具生态和工程方面的技术人才;最后,在实践基地上,学校、学院在资金、人力、资源等方法给予支持,建立更多固定的生态实践教学基地,为学生创造良好的实践教学条件。

2.3 以案例式教学为主的多元化教学方式

生态工程学实质上是系列相关修复案例的堆砌起来的,因此案例化教学^[10-12]是生态工程非常必要的教学手段,不仅可以达到较好的教学效果,学生的积极性、创造性得以激发,而且通过师生互动,增强师生的合作与交流,具体可以从如下开展教学。

对于易懂、简单的知识点,以讲授式教学为主要方法,因为简单内容能让学生容易接受,且提供较丰富的知识点;对于这部分内容,教师一定要认真做好 PPT,如将治理前生态环境问题、治理中的动态变化、

治理后的环境现状等制作 Flash 短片。对于重点、难点内容,以案例式教学为主要方法,如生态工程的生态原理、工程技术、工程模式、工程设计、工程评价等内容,通过利用生态工程的案例进行分析,如协调与平衡的原理,可以通过水体富营养化的案例进行分析,使学生理解其实是生物的数量与环境的适应知识。对于前沿性、社会热点知识,可以采用专题讨论的教学模式,比如以 5 个学生为小组,通过文献检索、网络查阅等方式,形成一个研究对象、解决方法、相关结果的研讨报告,并进行汇报,可以提高学生查阅文献、写作、协作等能力,为毕业论文、工作奠定基础。

在采用案例化教学过程中,注意教学方式,不要长时间的讲解案例,否则由于学生的疲倦,导致教学效果不显著,应注重教学方式的多样化。这也是由于生态工程教学内容的多样化,从而使教师可以进行多样化案例教学,如以教师为主的案例化分析法、以学生为主的案例化讨论法等。同时,要建立合理的奖惩机制,鼓励和引导学生积极参加案例化教学,如完善平时成绩考核方式、课题口头表扬等。

2.4 教学考核评价制度的完善

不管何种课程的教学改革,最终目的就是提高教学质量,而合理、科学地教学考核评价制度不仅能体现出公平、公正性的问题,而且保证了教学质量。而兼具理论、实践两种课程教学内容的《生态工程学》课程应该注意实践环节的考核评价制度。教学成效应注重学生平时表现,以往的教学考核中,该课程的综合成绩为 $30\% \times \text{平时成绩} + 70\% \times \text{期末成绩}$,这种考核评价难以真实反映学生的平时表现,同时也无法体现出学生的实践能力。因此,本文认为《生态工程学》课程的综合成绩考核评价改为 $30\% \times \text{平时成绩} + 20\% \times \text{实践} + 50\% \times \text{期末成绩}$,其中平时成绩涉及课堂发言、平时出勤、学术讨论、作业情况等内容,平时成绩各评价指标具体所占比例可按上课班级学生特点进行制定。

3 小结和展望

《生态工程学》课程是环境生态学和生态学专业的专业课程之一,但由于课程教学内容繁多与时间紧凑的矛盾问题,在教学过程中,一定要注意教学内

容的合理安排,以去除“拖水”的内容、打造“金课”为方向,以培育应用技术型高水平复合人才为目标,教师要结合区域资源情况及最新的研究动态,采用以案例式教学为主、其他教学方式并存的多元化教学方式,大大提高教学质量和效果。

当然,在新工科建设背景下,《生态工程学》课程除了在需要在工程特色^[9]的理论知识内容方面再完善外,还需要在一下几个方面努力:①打造一本实用性强、应用型广的生态工程学实践教材;②建设《生态工程学》国家级、省级精品课程;③完善网络教学、多媒体教学等现代教学手段。

参考文献:

- [1] 李柏林,李晔,章文琴,等.生态工程学在环境类专业中的教学实践探索[J].内蒙古师范大学学报:哲学社会科学版,2015,44(3):100-103.
- [2] 徐小逊,朱雪梅,鲜骏仁,等.生态工程学课程教学改革探索[J].安徽农业科学,2012,40(11):6948-6949.
- [3] 李键,洪滔,范海兰,等.《生态工程学》课程教学改革初探[J].西南农业大学学报:社会科学版,2011,9(8):208-210.
- [4] 王梅,楚光明,李荣,等.案例教学模式在林业生态工程教学中的应用[J].安徽农学通报,2015,21(Z1):151-152.
- [5] 杨钙仁,庄嘉,蒋国凤.凸显工程特色的《生态工程学》教学改革[J].吉林省教育学院学报,2014,30(4):25-26.
- [6] 彭思利.刍议案例教学法在《生态工程学》课程教学中的应用[J].科技创新导报,2017,14(22):215+217.
- [7] 李柏林,李晔,章文琴,等.生态工程学在环境类专业中的教学实践探索[J].内蒙古师范大学学报:哲学社会科学版,2015,44(3):100-103.
- [8] 郭匿春,巫厚长,王育鹏,等.高等农林院校生态工程学课程教学方法改革浅谈[J].农业与技术,2015,35(4):252-253.
- [9] 杨红飞,黄永杰,杨世勇,等.案例教学在生态工程教学中的应用研究[J].安徽农业科学,2015,43(4):385-386.
- [10] 毕方明,杨文嘉.算法与复杂度分析案例化教学改革[J].教育教学论坛,2018(44):102-103.
- [11] 王星颖.基于应用型人才培养的案例化、专题化教学模式研究:以计量经济学为例[J].知识经济,2018(18):175-176.
- [12] 蒋艺,江玲,夏婷婷.翻转课堂在案例化教学中的应用[J].武夷学院学报,2018,37(3):106-109.

(责任编辑:叶丽娜)

Teaching Reform of Ecological Engineering Course with Local Characteristics

HUA Weiping^{1,2}, LI Ling^{1,2}, ZHENG Maozhong^{1,2}, YE Hongmeng^{1,2}, LIN Li

(1. Fujian Provincial Key Laboratory of Eco-Industrial Green Technology, Wuyishan, Fujian 354300;

2. School of Ecology and Resource Engineering, Wuyi University, Wuyishan, Fujian 354300)

Abstract: In order to solve the problems of ecological engineering course such as not highlighting the characteristics of the course, weak practice links and poor teaching effect, this paper discusses the construction of "golden course" in teaching content, practice links aiming at design ability and diversified teaching methods mainly based on case-based teaching so as to provide guidance for running schools with local characteristics. In order to improve the teaching quality and effect of eco-engineering course, this paper puts forward the direction of teaching reform in the next step under the background of new subject construction.

Key words: local characteristics; teaching reform; ecological engineering course; case teaching

IO 口输出控制实验设计

叶希梅

(武夷学院 机电工程学院, 福建 武夷山 354300)

摘要:分析了嵌入式系统实验教学中常见的 IO 口输出控制实验存在实验过程简单、实验内容不充实等问题。设计了参数化 IO 口输出控制程序和数据化 IO 口输出控制程序,并设计实验数据记录表等内容。经实验教学证明,该实验设计在改善实验内容和提高学生兴趣方面起到了较好的作用。

关键词:嵌入式系统;IO 口输出控制;实验

中图分类号:G642.0,TP391.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-2109(2018)12-0096-03

嵌入式系统在各行各业中广泛应用,与之对应的教学实验内容、方法、设备等研究工作也开展的非常激烈。漆强^[1]介绍了嵌入式口袋实验室的设计过程,李杜蕾等^[2]针对传统教学中存在专业课实验时间迟、与工程实践脱节等问题,然后以物联网智能家居系统为例开展嵌入式系统教学与实验的改革,曹俊武等^[3]为了理顺嵌入式系统教学、实验、实践等关系,创建了嵌入式实验创新平台,整合嵌入式系统基础实验、操作系统实验、工程训练项目等内容,郭国法等^[4]引入 CDIO 工程教育理念开展嵌入式系统教学与实验,使嵌入式系统的实验项目与工程应用结合度更高。郑宁汉等^[5]讨论了如何设计一个适应现代学生的实验,主要从完整性、开放性、可升级性、灵活性角度进行设计,较好的激发学生学习兴趣。综上所述,目前的嵌入式系统实验教学研究主要以体系、方法、系统方面的研究居多,而具体实验项目设计方面的研究较少。本文以常见的 IO 口输出控制实验设计为例,分析实验

内容设计如何将理论知识与工程应用相结合。

1 常见 IO 口输出控制实验

常见的 IO 口输出控制实验有 LED 灯控制、蜂鸣器、流水灯等,其中流水灯实验电路如图 1 所示。实验程序通常是用程序控制 LED 从左到右逐个点亮或多个灯点亮。对应的实验程序简单明了、直观易懂,如图 2 所示。该实验内容简单,基本实现了 IO 口控制方式的验证。学生实验时可操作和调整的内容少、实验过程简单、实验不充实。因此,有必要重新设计实验程序,引导学生深入理解 IO 口的工作原理和控制方法,以便更好的进行后续学习。

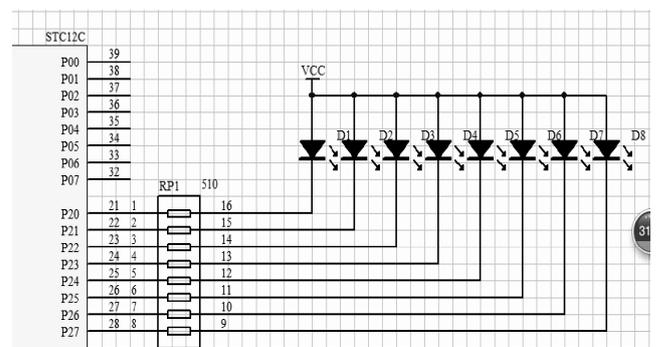


图 1 单片机流水灯实验电路

Figure 1 Experimental Circuit of Single Chip Microcomputer Pipeline Lamp

收稿日期:2018-10-18

基金项目:福建省教育厅省级教学中心建设项目 (sjjxzx201701); 武夷学院 2017 年教育改革与教学研究项目 (XJPY201705)。

作者简介:叶希梅(1980-),男,汉族,硕士,讲师,主要从事嵌入式系统应用研究。

```

void IO_LED_Pro1(void)
{
    P2=0xfe ; //最左LED亮
    DelayMS(100); //延迟0.1秒
    P2=0xfd ; DelayMS(100); //延迟0.1秒
    P2=0xfb ; DelayMS(100); //延迟0.1秒
    P2=0xf7 ; DelayMS(100); //延迟0.1秒
    P2=0xef ; DelayMS(100); //延迟0.1秒
    P2=0xdf ; DelayMS(100); //延迟0.1秒
    P2=0xbf ; DelayMS(100); //延迟0.1秒
    P2=0x7f ; //最右LED亮
    DelayMS(100); //延迟0.1秒
}

void IO_LED_Pro2(void)
{
    unsigned char i,dat;
    dat=0x1;
    for(i=0;i<8;i++)
    {
        P2 = ~dat; //输出控制LED数据
        DelayMS(100); //延迟0.1秒
        dat = dat<<1; //改变LED显示
    }
}

```

图 2 两种 LED 流水灯控制程序

Figure 2 Two control procedures of LED Pipeline Lamp

2 参数化 IO 口输出控制实验设计

上述实验程序的数据以常数的方式给定,虽然实现了所需的功能,但却很难与其它程序共享程序。若将实验程序的各种数据参数化,就可以更好进行程序共用。我们可以把 LED 显示的数据和 LED 的亮暗时间当作参数,把 LED 控制功能用函数包装起来。实验时,只要用不同的参数代入参数化 IO 控制程序,就可以得到 LED 显示内容与亮暗时间各不相同的实验现象。图 3 左侧程序为参数化 IO 口输出控制基本程序,右侧程序调用左侧基本程序,代入合适的数据,实现了流水灯功能。通过调整时间,还可以给流水灯的每一阶段不同的时间。

```

void IO_LED_Param1(U8 dat,U8 timeon,U8 timeoff)
{
    P2 = ~dat; //输出控制LED数据
    DelayMS(timeon); //LED亮延迟
    P2 = 0xff; //LED暗
    DelayMS(timeoff); //LED暗延迟
}

void IO_LED_Pro3(void)
{
    IO_LED_Param1(0xfe,100,1); //最左LED亮
    IO_LED_Param1(0xfd,100,1);
    IO_LED_Param1(0xfb,100,1);
    IO_LED_Param1(0xf7,100,1);
    IO_LED_Param1(0xef,100,1);
    IO_LED_Param1(0xdf,100,1);
    IO_LED_Param1(0xbf,100,1);
    IO_LED_Param1(0x7f,100,1); //最右LED亮
}

```

图 3 LED 控制功能函数与流水灯应用程序

Figure 3 LED Control Function and Pipeline Lamp Application Program

3 数据化 IO 口输出控制实验设计

参数化的 IO 控制函数让简单的 LED 电路有更

加丰富的功能。若将上文中的 LED 控制功能函数的参数以变量形式代入,再添加一些辅助程序,则可以设计出更加有意思的功能程序,如 LED 摇摇棒,LED 点阵显示器,闪光莫尔斯码发送器等。下面以闪光莫尔斯码发送器设计为例说明 IO 口输出控制函数的数据化实现过程。

在设计闪光莫尔斯码发送器时,首先需要了解莫尔斯码的特点和发送方法,然后设计基本莫尔斯码发生程序和莫尔斯编码表。例如 ABC 的莫尔斯码分别是:点划,划点点点,划点划点。用 16 位数的高 8 位表示码数,低 8 位表示编码内容(0 为点,1 为划),ABC 的编码分别为 0x202, 0x401,0x405。根据编码规则和莫尔斯码发送时间规率,设计出莫尔斯码发生器程序如图 4 所示。下面的函数以参数化 IO 口输出控制函数为基础,根据莫尔斯码的信息,将 LED 的亮暗的时间信息用变量代入,实现了莫尔码的输出功能。

```

U16 MORSETAB[]={0x202,0x401,0x405,.....};
void IO_LED_Morse(U8 morsesdat,U8 mortime)
{
    U8 i,dat;
    dat = MORSETAB[morsesdat] & 0xff; //取出morse码
    i = MORSETAB[morsesdat]/256; //取出每个字母点划数
    for(;i>0,i--)
    {
        if(dat & 0x1) IO_LED_Param1(0xfe,mortime*3,mortime*2); //发送划
        else IO_LED_Param1(0xfe,mortime,mortime*2); //发送点
        dat = dat/2;
    }
}

```

图 4 莫尔斯码发生器程序

Figure 4 Morse code generator program

4 IO 口输出控制实验数据记录

原有 IO 口输出控制实验基本实现了 IO 口功能的演示与训练,实验数据方面几乎没有什么可记录的内容,而实验数据的分析对于理解实验原理、灵活应用实验原理都有很重要的作用。加入参数化和数据化之后,IO 口输出控制实验的数据包含了实验现象、LED 亮暗时间,LED 亮暗情况、LED 控制数据、不同时间与数据的实验现象差异等内容,数据记录表格如表 1,2 所示。通过这些表格,建立起数据与实验现象的对应关系,分析实验数据与实验现象之间的对应关系和

不同行数据对应的实验现象差异,可以更好的理解 IO 口输出控制功能和应用。

表 1 IO 口输出参数化控制实验程序测试

Table 1 Test of Parametric Control Experiment

Program for IO Port Output

序号	LED 亮的 时间 timeon	LED 暗的 时间 timeoff	LED 显示现象 (5 秒内改变次数)	与设计 目标差异
1	100	200	16	一致
2				
3				
4				
5				

表 2 莫尔斯码发送程序功能测试

Table 2 Functional Test of Morse Code Sender

序号	输入数据	时间参数	LED 亮暗情况	与设计目 标差异
1	A	50	LED 先一短亮, 再一长亮	一致
2				
3				
4				
5				

通过对数据和实验现象的分析,较好的实现了 IO 口功能与结构化程序设计知识的融会贯通。

5 结论

本文针对常见的 IO 输出控制实验存在的实验过程简单、不充实、不方便调整等问题,设计了参数化 IO 输出控制程序和数据化 IO 输出控制程序,在原先验证性实验程的基础上加入有效的实验量化数据和设计性实验内容,将程序设计基础知识与硬件电路进行有效结合。该实验设计丰富了实验内容和实验现象。经过 3 轮实验教学,学生实验后对 IO 口控制功能的应用更加熟练,学习兴趣也有较大提高。

参考文献:

- [1] 漆强,刘爽.基于嵌入式系统的“口袋实验室”设计[J].实验技术与管理,2015,32(12):97-102.
- [2] 李杜蕾,刘小飞,杨婷婷.嵌入式课程创新实验项目设计[J].实验室科学,2015,18(1):72-74.
- [3] 曹俊武,何剑锋,何月顺,等.嵌入式系统平台下创新实验方案的探究与实践 [J]. 东华理工大学学报:社会科学版,2013,32(116):81-83.
- [4] 郭国法,宫瑶,张开生. 嵌入式课程递阶教学平台的平台教学模式 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2015,15(9), 22-25.
- [5] 郑宁汉,陶品,宋思超.嵌入式实验系统设计原则的一些探讨 [J].计算机教育,2014,209(5):118-121.

(责任编辑:叶丽娜)

Experimental design of IO port output control

YE Ximei

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Wuyi University, Wuyishan, Fujian 354300)

Abstract: Analyzes the problems of simple experiment content in IO port output control experiment of embedded system experiment teaching. this paper explores Parameterized IO port output control program and Data oriented IO port output control program, and designed experiment data record form and so on. Through the experimental teaching, this design has played a better role in improving the experimental content and improving student's interest.

Key words: Embedded system; IO port output control; experiment

应用型高校“现代移动通信原理”模块化教学改革

——以武夷学院为例

刘 奇, 夏婷婷, 蒋 艺, 阎兵早

(武夷学院 数学与计算机学院, 福建 武夷山 354300)

摘 要:分析了模块化教学对建设应用型高校的意义,讨论了模块化教学的基本概念,以武夷学院为例,提出了基于模块化教学理念的“现代移动通信原理”教学改革方案,获得了一定的教学改革成果,反思了目前改革存在的问题并提出了具体的解决方案。

关键词:应用型大学;模块化教学;现代移动通信原理

中图分类号:TN105 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-2109(2018)12-0099-05

近年来,我国高等教育由原来的精英教育模式转型为大众教育模式,这也导致高校生源,特别是地方院校生源素质有降低的趋势,地方院校课程体系缺乏更新,加上社会科学技术的飞速发展等因素,高校毕业生难于适应社会岗位的需求。在此背景下,2015年中华人民共和国教育部、国家发展改革委、财政部联合下发了《关于引导部分地方普通本科高校向应用型转变的指导意见》,鼓励地方院校向应用型大学转型,核心思想是要培养理论基础好,实践能力强的应用型人才。

德国是发展应用型大学较早的国家之一,几十年的探索形成了一套较为成熟的应用型人才培养方案,主要采取了模块化教学手段,成功的培养了一批高水平的应用型人才,成为了世界应用型高校办学的典范^[1]。我国高校人才培养目标与德国高校有相似之处,借鉴德国应用型大学办学的成功经验对我国高校改革有较大的

帮助^[2]。

模块化教学的优势和特点近年来也受到国内外大学的重视,已经有许多学者将模块化教学体系的概念引入到具体课程教学当中去^[3-6],但基于模块化教学的“现代通信原理”课程改革目前未见报道。“现代移动通信原理”主要是针对高等院校本科高年级学生或研究生安排的课程,课程基本概念和原理性的知识较多,课程安排学时数相对较少,而移动通信技术更新快,实践性强,如何培养学生获取一定深度的理论知识的基础上,又具备较强实践应用能力,是该门课程探索的重点。

1 模块化教学的基本概念和特征

由文献[1,2]可知,“模块化教学”是将一门课程划分为若干个模块,每个模块划分的依据主要是以社会职业技能为导向,学生既要掌握一定宽度和深度的专业理论知识,也要有一定的实践能力,是职业技能和专业能力的融合。与模块化教学相比,传统课程的教学是以该课程为一个整体模块,教学过程一定要保证该课程的系统性和完整性。模块化教学中的模块可以是一门课程的片段,也可以是多门课程的融合,主要目的是让学生获得较好的专业知识和较强的职业技

收稿日期:2018-09-21

基金项目:福建省中青年教育科研项目(JT180557);
福建省教育厅科技项目(JA12322);武夷学院
科研基金(xl201018);武夷学院教改项目
(JG201713)。

作者简介:刘奇(1982-),男,汉族,讲师,主要从事移动通信与传感器方面的研究。

能水平,缩小学校教学与社会需求的距离。从整个专业学科体系来看,构建学科的模块化教学体系,能最大限度的降低课程之间的内容重复,增强课程之间的紧凑性。

2 模块化教学体系的构建思路

2.1 专业课程社会需求调研

首先要调查本专业在读学生学习情况,对本校学生素质能力进行评价。分析往届毕业生对课程的掌握情况,跟踪毕业生在相关岗位的工作状况,对近几届学生掌握的专业知识和实践能力进行评价,获取相关数据,为课程改革提供重要依据。

2.2 人才培养目标的确认

分析(1)获取的数据,掌握社会岗位的需求,根据 2015 年我国教育部下发的《关于引导部分地方普通本科高校向应用型转变的指导意见》和学校办学定位的特点,对当前培养方案的不足之处进行改进,既要满足课程的专业知识和职业能力的要求,也要重视学生素质的拓展。

2.3 能力要素的组合

根据人才培养目标的要求,分解各个模块的要素,对教学内容进行重组。依照学校办学的目标定位,分析社会岗位的需求,对相应课程进行必要的补充,精简关联性不强的教学内容,提高学生行业素质,缩短学校教学与岗位要求的距离。

3 武夷学院“现代移动通信原理”模块化教学实施方案

武夷学院是 2007 新办全日制普通本科院校,也是首批积极响应国家教育部号召,以建设高水平应用型本科院校为发展目标定位的地方性本科院校。传统课程教学要求学生完整和系统的掌握专业知识,根据学校定位要求,课程改革应以社会需求为基础,根据专业职业技能特点为依据,对课程进行模块化处理,培养学生有一定深度和广度的理论知识,具备较强社会实践应用能力,图 1 为《现代移动通信原理》课程实施方案流程。

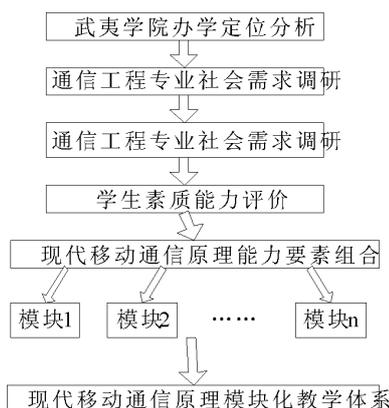


图 1 现代移动通信原理模块化教学实施方案流程

Figure 1 Flow of modular teaching scheme for modern mobile communication principles

3.1 “现代移动通信原理”教学模块的分解

根据武夷学院往届毕业生回访的反馈信息,我校通信工程专业学生较多涉及了运营管理、系统集成及维护、产品销售等方面的工作,而从事通信技术开发、产品设计制造等方面的学生很少。主要原因是学生实践能力不够强,无法胜任行业要求或进入行业角色较慢,这其中不乏有学习成绩较好的同学出现该现象。随着通信行业的发展,第 5 代移动通信技术已经成熟,对通信技术行业人才的研发能力要求也在进一步提高,“现代移动通信原理”课程有较多知识涉及到技术研发的基础技能,继续按照传统模式下的基础教学难于满足行业要求。

“现代移动通信原理”涉及的先修课程有“通信原理”,“信息论与编码”等,培养计划设置的课程学时数为 48 学时,其中实验学时数为 0。按模块化教学要求应从以下几点进行改革:

(1)通信系统的基本概念、基本原理、编码理论等在先修课都有详细介绍,建议将该部分划分一个模块,根据需求精减一部分内容,将单纯的理论讲解改为实验仿真加理论分析,该模块用 4 课时进行介绍。重点介绍数字调制系统、模数转换原理、编码、信号同步和信道复用,CDMA 技术可以按照仿真模型分析信号传输流程,通过现象说明输入与输出之间的关系,为衔接好第四代移动通信的技术的学习打下基础。

(2)第四代移动通信调制技术作为第二个模块,主要针对的是 OFDM 技术的教学,该模块建议用 20 学时完成。模块主要要素有:1、OFDM 工作原理,重点

分析保护间隔、循环前缀和加窗技术。根据我校生源情况,建议略去模型数学推导过程,重点分析每个模块的物理意义,通过仿真现象和具体程序实现步骤对应基础理论讲解。2、OFDM 峰均比问题,该问题是目前的研究热点,重点介绍几种解决峰均比问题的方法。3、OFDM 系统的同步问题,可以简要介绍同步误差出现的影响,重点分析当前热门的算法,通过仿真演示,程序分析等巩固同步技术的概念。4、OFDM 系统中的信道估计技术,说明信道估计的意义,重点分析 LS 和 LMMSE 两种算法,其他算法只做仿真演示,说明各算法优缺点即可。5、OFDM 多址接入技术,该模块要素难度较大,建议简要介绍下多址技术的方案,重点分析与 TDMA、CDMA 结合的系统,可采用 Simulink 模块仿真,说明工作原理和信号流程,分析系统效果,精简不必要的理论分析和数学推导过程。

(3)OFDM 系统下的资源调度可以作为第三个模块,建议 4 个学时完成。根据调研情况可以看出,在研发类岗位有涉及到相关知识点,该模块是本课程的有效补充,目的是提高学生的职业技能。该模块理论难度较大,主要通过仿真和程序单步调试讲解,再回顾基本理论能有不错的效果。

(4)将智能天线技术作为第四个模块,建议 16 学时完成该模块讲解。分解要素主要有:1、MIMO 系统信号处理,重点讲解接收机和检测算法,主要以仿真和程序分析为主,中间穿插讲解基本原理,学生能够直观了解 MIMO 系统的工作原理和特点。2、MIMO-OFDM 系统,该模块要素是整个模块的重点内容,也是研究热点。系统的时频同步和信道估计技术需要仿真演示和程序分析,精简不必要的理论分析,该要素只有通过实验数据分析和程序思想的理解才更容易被掌握。3、天线选择和波束选择,该点要素引入雷达技术的概念,简要介绍 MIMO 雷达系统工作原理,重点分析天线与波束的选择。

(5)未来移动通信系统技术作为第五个模块,该模块用 4 学时完成。重点介绍 LTE 长期演进技术,系统讨论 LTE 的技术要求、无线接口协议和物理层技术等。

3.2 打造一支教学能力过硬,专业能力强的教学团队

(1)结合教师队伍研究方向的特点,形成团队教学按照 3.1 的模块化教学改革要求,每个模块专业

方向要求比较高,例如模块二和模块三更加适合研究移动通信技术的教师教学,模块四适合研究移动通信和雷达技术的教师讲解,而模块五适合网络通信研究的教师教学。按上述改革要求,单个教师进行教学难度较大,很难做到深入浅出,所以该门课程按不同研究方向的教师上课会更加有效果。应该注意团队教学需要对整个专业培养计划进行模块化分解,这样可以避免重复教学的现象。

(2)不断提高教师队伍职业技能水平

定期利用节假日送专业教师下到企业进修学习,实时掌握通信专业技术的发展状况和岗位需求,教师在职业技能水平提高的同时,也进一步加强了基础理论概念的理解。教师也能通过实际案例教学激励学生对专业学习的兴趣。聘请企业技术骨干来校讲课,特别是实践课程。邀请企业专家参与到模块化教学设计的过程中去。条件允许的情况下可以引进国内外优秀学者,或派送老师出国交流学习,开阔专业教师队伍的视野。鼓励专业教师多做教学相关的教改和科研论文,对获得成果的老师提供一定的奖励,在科研提升的过程中,教学水平和实践动手能力也得到了提高。

3.3 建设第二课堂,培养学生自主学习的能力

根据模块教学的理念,模块的划分和要素的构成是依据社会岗位的需求和专业技能发展的状况建立起来的。所以教学目标要求学生掌握一定深度的专业知识,这与课堂时间有限形成了矛盾。此外在实践能力方面的培养是一个重点,而学生并没有太多机会能够进行实践操作,因此建立第二课堂教学是完善课程教学改革的有效补充。可以利用我院空余实验机房,在固定时间对学生进行开放,专业教师在课堂布置好实验题目让学生自主完成。“现代移动通信原理”中涉及较多复杂的算法问题,一些经典算法比较成熟,学生通过互联网也较容易获取,可以要求学生自主查材料并在机房验证。通过第二课堂的学习,学生发挥了主观能动性,提升了实践能力,教师只需在课堂花较短的时间进行点评指导就能深化学生的知识体系。

3.4 课程采用多元化考核机制对学生成绩进行评定

学生成绩不能简单以期末考试成绩作为最终评定,应采用多元化的评定方式,综合评定课程的成绩。建议将平时成绩纳入考核机制,平时成绩的比例重点

分布在同学第二课堂的表现,评定依据主要包括学生在第二课堂作业完成的效果、查找和分析文献的能力,学生优秀作品的展示等等,最大程度的激励学生自主学习的积极性。除此之外,每完成一个模块教学,专业教师应布置相应的一个大课题,按学生特点组成团队进行讨论和解决问题,对优秀的团队和突出表现者给予更高的平时分激励,帮助学生建立团队协作意识,增强集体荣誉感。课堂表现也是平时分的另一重要依据,包括学生的出勤,平时作业上交情况,课堂表现等等。总之,通过多元化机制能更全面的评价学生的专业素质,培养学生的专业兴趣和自信心,形成专业认同感。

4 “现代移动通信原理”模块化教学成效和反思

4.1 模块化教学取得的成效

(1)往届学生普遍对“现代移动通信原理”课程的学习兴趣不高,主要原因是学不懂,理论过于抽象。采用了团队教学后,充分发挥了团队老师各自学科的特长,每个模块的理论教学和实践教学融合度更高,学生反应强烈,学习兴趣较高,对各个模块的知识理解会更深入。团队教师之间取长补短,在教学讨论过程中不断完善和提高了自身专业技能。

(2)往届毕业生普遍反应融入企业时间较长,理论知识和企业需求有滞后现象。教师去企业培训和学习,增强了课程更深层次的理解,为制定课程模块化改革方案提供了重要依据,通过具体岗位实例教学培养了学生的专业技能,缩短了课堂教学与企业需求的距离,培养了学生的学习兴趣和专业认同感。

(3)往届学生调研情况说明学生学习比较被动,缺乏主动性和方向性。通过第二课堂的教学的改革,较好的促进了学生自主学习的积极性,学生发现问题,解决问题的能力得到提升。学生利用网络资源获取有用信息的能力普遍得到提高,实际操作能力和专业技能都有很大的提升,团队协作能力和集体荣誉感明显增强。

(4)模块教学过程中,学生可以根据自身对各个模块掌握的程度和兴趣爱好,继续进一步深入研究,为职业规划创造了条件,实验室长期开放为学生提供

了必要的实验条件,实验室利用率也得到了提高。

4.2 模块化教学存在的问题和反思

(1)“现代移动通信原理”课程各个模块对专业理论知识要求较高,也需要好的数学基础,部分同学理论知识的学习深度不够,对实验现象理解不够清晰。主要原因是先修课程专业基础不够扎实,数学能力有限,另一重要原因是前期调研不够全面,对院的生源素质研究不够充分。

(2)“现代移动通信原理”模块化教学改革和其他相关学科融合度不高,目前属于试点改革课程,后续还需对通信工程专业培养计划进行完善和修改,保证相关课程模块要素的组合更加科学。

(4)学校应提供必要的教改项目支持,鼓励专业老师开展教研活动,专业教师在教研和科学研究中不断获取最前沿的知识,转化到课堂中去。

5 总结

模块化教学对建设应用型高校有一定的指导意义,依据武夷学院通信工程系现状,对“现代移动通信原理”课程进行了模块化教学改革,提出了具体的实施方案,获得了一定的教学改革成果。提出了目前改革过程中存在的具体问题并给出了相应的解决方案。

总之模块化教学模式应根据学校的具体情况进行调整,完全照搬国外经验或国内其他学校的改革方式不一定合理。结合本专业教学条件和学生生源素质的特点,在改革过程中不断完善课程各个模块的组成要素,在评价教学质量过程中发现和解决问题,形成一套较好的应用型人才培养方案。

参考文献:

- [1] 黄怡. 应用型高校财务管理专业模块化教学改革探索:借鉴德国应用技术大学经验 [J]. 莆田学院学报, 2017,24(6): 89-94.
- [2] 高葛. 借鉴德国应用技术大学办学经验,促进我国高校转型发展[J]. 大学教育, 2015(8):9-10.
- [3] KARTHIKEYAN K, KUMAR A, A B, et al. Integrated modular teaching in undergraduate medicine [J]. National Medical Journal of India, 2014, 27(27):90-94.
- [4] ALI R, GHAZI, S R. Effectiveness of modular teaching in

- biology at secondary level [J]. Asian Social Science, 2010, 6(9): 22-27.
- [5] 闫朝华. 工业设计专业模块化教学改革与实践:借鉴德国应用型人才培养模式[J]. 应用型高等教育研究, 2016,1(2): 45-52.
- [6] 吴珊丹. 模块化教学模式在《3DMAX》课程改革中的应用[J]. 内蒙古农业大学学报:社会科学版, 2016,4(18):88-92.
- (责任编辑:叶丽娜)

Modular teaching reform of "modern mobile communication principle" in applied universities

——Taking wuyi university as an example

LIU Qi, XIA Tingting, JINANG Yi, YAN Bingzao

(School of Mathematics and Computer, Wuyi University, Wuyishan, Fujian 354300)

Abstract: The significance of modular teaching to the construction of applied colleges and universities is analyzed and the basic concept of modular teaching is discussed. Take wuyi college for example, the teaching reform plan of "modern mobile communication principle" based on modular teaching idea is proposed. Obtained certain teaching reform achievements, reflect on the problems existing in the current reform and proposed the concrete solution.

Key words: Applied university; Modular teaching; Modern mobile communication principles

“轻体育”视角下高校散打课程“软式化”改革初探

王伯余

(泉州师范学院 体育学院, 福建 泉州 362000)

摘要:高校散打课程是高校体育课程的重要组成部分,是培养学生的身心发展的重要课程之一,但是当前高校散打出现了教学模式单一、竞技性强、师资不足、学生兴趣薄弱等困境。针对这种现象,结合时代发展需要和当今流行的轻体育特点,提出对当前开展的高校散打课程进行软式化的改革,对其软式化的改革途径进行探索,并对其改革过程中需要注意的一些问题提出初步的分析,使其真正符合普通学生的发展和体育需求的一门体育课程。

关键词:轻体育;高校散打;软式

中图分类号:G852.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-2109(2018)12-0104-06

1 当今高校散打课程开展现状

散打运动因为其在提高学生协调、柔韧、灵敏等素质和锻炼学生的意志品质、促进学生全面发展等方面具有良好的教育效果,因而被各个高校作为一门重要的体育课程。但是,随着社会的发展和高校体育课程需求的不断提高,当今散打课程无论是在课程设置还是在课程实施上都出现了一定的滞后^[1],同时在师资和场地设施的配备上,也表现出了一定的不足。

1.1 学校对于散打文化的传播少

当今社会,学生的体育需求已经从单纯的感官刺激和身体素质的提升向更高层次的精神需求、审美需求、文化需求发生转变,但是在当今高校散打课程教学过程中,教师教学的重点依然是散打技术动作的准确性,散打技战术的不断重复练习,对于传统武术文化重要组成部分的散打文化以及散打精神,教师却很少向学生进行讲解和传播。高校散打课程必须懂得如何继承和发扬中国传统武术文化的精髓,如何做好对

传统武术文化和散打文化进行宣扬,培养学生对武术散打文化的热爱,才能够在高校体育和高校教育中很好的发展。

1.2 教学模式相对单一

在当前高校散打课程中,普通高校的散打课程教学还是比较偏向竞技化,以比较传统的教学模式为主,教学模式比较单一。在教学手段上和教学方法上,还是以教师示范学生模仿的“言传身教”方法为主,手段和方法相对比较落后。教学模式和手段的相对单一,使得学生对散打课程学习兴趣降低,动力不足,少部分学生甚至对其心生厌倦。因此,对当前散打课程的教学模式进行改革创新,对其教学手段和方法进行丰富转变,也是十分必要的。

1.3 散打课程师资力量较弱、场地匮乏

当前高校散打课程的师资力量方面也参差不齐,一些技术水平较高的教师学历科研水平相对较低,一些高校散打课程的教师则可能由武术教师兼任,在年龄组合上缺乏一定的梯度,而且散打教师的男女性别比也较高,男教师占较高比例,女散打教师相对缺乏。同时,散打课程在场地资源上也相对匮乏,一些学校的散打课程的很少有专门的散打场地,教学场地多以和其他课程共用场地为主,如跆拳道课程、舞蹈课程,各个学校场地数量、安全保护设施也不足。

收稿时间:2018-06-12

作者简介:王伯余(1976-),男,汉族,副教授,主从事民族传统体育研究。

1.4 学生对高校散打课程兴趣薄弱

作为传统武术课程的重要组成部分的高校散打课程,在学生的身心发展、社会适应以及爱国情怀等方面发挥着重要的教育作用。然而由于高校散打教学模式的单一化、教学手段的竞技化、散打文化的传播的薄弱化等特点,使得高校学生对散打课程存有一定的偏见,学生普遍对散打课程的学习兴趣偏低,认为散打就是“中国的拳击”,就是打架,太过暴力,很多大学生对散打课程往往敬而远之,尤其是女学生更是很少学习散打课程。

2 “轻体育”和“软式化”的含义解析

2.1 “轻体育”的含义解析以及特点

“轻体育”也称“轻松体育”或“快乐体育”,这是一种不拘形式、不重视输赢,只追求在愉快的运动中有利于身心健康的体育运动^[1]。轻体育与竞技体育截然相反,竞技体育主要以挑战人类生理极限为目的,轻体育主要以休闲和娱乐为目标,轻体育是一种愉快的运动方式,它是随着人民生活物质水平的提高,是人们对随着时代发展对体育的新的诉求,是经济发展和社会进步的新产物。“轻体育”的主要特征有四点。

第一,能耗低。能耗低是指轻体育运动项目的体能消耗相对较低,轻体育主张低强度轻负荷,反对较大的运动量,其主要目的是在体能消耗较少的情况下,动员协调身体各个系统和谐工作,达到一个愉悦身心的目的。

第二,形式多。形式多是指轻体育运动的运动形式多,不受限制,轻体育运动对运动形式没有要求,既可以是个人形式的,也可以是群体形式的;既可以是行进间的,也可以是原地的;可以借助器材、可以音乐伴奏;多种形式任意选择和搭配。

第三,时间活。时间活是指轻体育运动的时间安排可以比较灵活,可以安排在一些比较零散的时间内,早晨傍晚、茶钱饭后,甚至一些零散的时间,工作放松的时间,这样为人们快节奏的生活带来了健康的保障条件。

2.2 “软式化”含义解析

所谓“软式化”是指竞技体育项目通过改造,实现运动负荷的轻松化、难度负荷的简单化、运动形式的

娱乐化、运动环境的卫生化、运动方式的文明化和运动行为的加强化,适当降低竞争性,提高趣味性和娱乐性,在竞技体育项目的基础上派生或分化出适合普通群众直接参与的“轻体育”项目^[2]。软式化项目是一个运动项目更好适应社会发展的一种表现,传统竞技项目因其“刚性”、“硬性”特点,主要面向的对象是竞技体育者和少部分体育爱好者,但是经过软式化后的竞技项目则能更好的为广大人民接受。软式化是一个运动项目社会形态的多元化,只有将项目的竞技性与普及性相统一,单一存在的“硬性”与广泛存在的“软性”相统一后,^[3]一个运动项目只有具有多种存在形式,才能更好的被人民接受,更好的适应社会的发展。

3 高校散打课程软式化改革思路

散打课程之所以被高校引进作为一门高校体育课程,是因为其不仅能提高学生的身体素质,同时在学生的神经系统发展、心理素质发展、意志力品质培养和陶冶情操等方面都有显著的作用。高校散打课程是培养学生全面发展的一门重要体育课程,散打课程在社会不断发展的今天,如何去不断自我提升,更好的继续发挥自己积极的作用,完成体育课程的教育目标,是值得思索的。^[4]同时,散打作为我国传统的一部分,也应该积极探索,在这样一个在这样一个大众化的时代,如何更好地推广和普及自身,如何在广大人民群众中扩大自身的影响力,为中国传统武术文化的传承和发展做贡献。

在当今社会,一些运动强度相对较低,不仅能达到强身健体,而且能够满足愉悦身心的体育项目更容易为广大人民接受,当下比较流行的跆拳道运动就是一个很好的例子。跆拳道运动在我国80年代起步,相对较晚,而且群众基础也比较薄弱,1995年后才在我国民间正式发展,但21世纪后,该项目在我国群众群体尤其是青少年群体之间发展火爆。究其原因是因为跆拳道运动能够紧跟时代需要的节奏,不断为适应大众需求而做出改变,在技术动作上动作优美,观赏性强,以单个和组合技术动作为主,简单易学,也有很好的健身效果,同时发展以表演为主的跆拳道品势项目,不同年龄段的青少年都可以参加段位考级,也十分注重服装礼仪的规范。跆拳道在我国的成功告诉我们,一个体育项目要想更好的适应社会,更好的为人

们所接受,就应该不断做出改变,以符合社会的发展,满足人们的体育需求。跆拳道成功也带给我们反思:高校散打课程应该如何实现自身的转变,去更好的符合学校体育的发展,满足当前高校学生的体育需求。

同时,当今我国正在极力倡导国家传统文化的继承和发扬,提高国家民族的自信力,武术文化作为我国传统文化的重要组成部分,应该积极抓住机遇,完成自我的传承和发展,因此,参考跆拳道运动的成功经验,结合当前大众体育的需求和比较流行的轻体育运动的特点,可以尝试对当前高校散打课程进行软式化改革。其改革思路如图1。

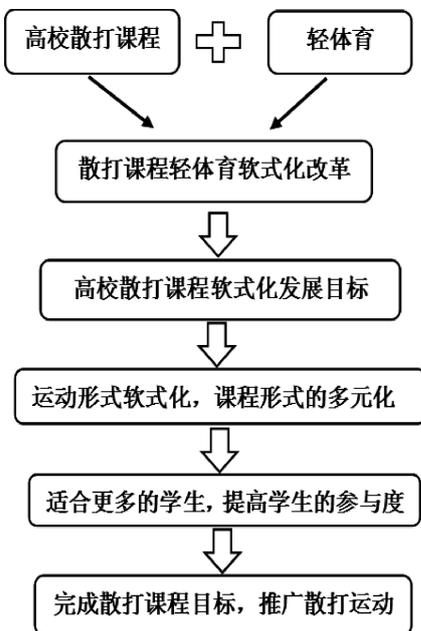


图1 高校散打课程软式化改革思路

Figure 1 The reform ideas of light sports and soft technology in sanda course in colleges

4 高校散打课程“轻体育软式化”改革实施途径的探索

对高校散打课程软式化改革,就是结合轻体育的特点,将原来偏向于竞技散打的高校散打课程软式化,以高校散打课程为原型,通过一系列的研究与实践,把高校散打教学的教学内容、教学形式等经过多种形式的改造,并配套与相应的教学师资,建立相应的课程评价等,建议一个软式化散打课程体系,使之成为一门更加适合广大高校学生直接参与的高校体育课程,如图2。

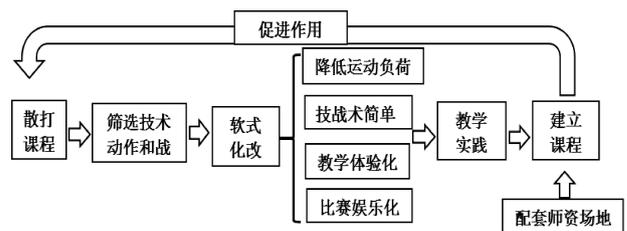


图2 高校散打课程软式化改革探索技术路线

Figure 2 The technological route of the soft technology reform exploring in sanda course in colleges

4.1 初步选定适合轻体育化的散打技术动作和战术形式

当今高校散打课程基本上是以竞技散打为模型,主要特点是全面灵活的复杂的技术体系,表现为“远踢(腿法)、近打(手法)、贴身摔”,战术上追求凶狠的杀伤力并且突出踢打、摔法的时效性。这是高校散打的技战术特点,然而并不是所有的高校散打技术动作和战术形式都适合对其进行改造,因此,我们必须要认真研究和探索,^[1]在高校散打所有技术动作和战术形式里,选出比较适合轻体育化改革的一些技术动作和战术形式,如散打的一些步法、手法、腿法动作,以及一些多种技术组合的战术形式等,弱化删除一些竞技性摔打动作,建立散打软式化技术动作和战术形式的单元,并把这些单元结合轻体育的特点按照符合人体运动规律的形式进行软式化编排组合。

4.2 对选定的技战术动作进行软式化改造

选定后的散打技战术单元群,需要进行重新的软式化改造。高校散打从负荷角度来讲,有着较高的运动负荷和运动强度,从技战术特点分析,高校散打课程技战术须对比较复杂而且以重创对手为目的,在比赛形式上过于注重结果,淡化了比赛的过程,使学生缺少了对散打比赛过程的体验。因此针对高校散打的一些特点,结合请体育运动的特点,可以围绕“强化动作、弱化竞技”为中心,围绕轻松化运动负荷、简单化运动技战术、体验化教学过程、娱乐化比赛形式等方面进行改造。

(1) 负荷轻量化

在运动时间上,以缩短比赛时间为主;在击技效果上以“点到为主”禁止重击和击打头部,在负荷强度和负荷量上以轻负荷小强度技术动作为主。

(2) 技战术简单化

技术动作可以以单一技术动作为主,单一的踢法、手法、腿法等,战术可以以单一的进攻战术或单一

的防守战术为主,注意技术与战术的结合与重新编排。

(3)过程体验化

可以以住“点到为止”、“遵礼明德”为原则,始终贯穿与整个教学过程中,并多组织体验化比赛。

(4)比赛娱乐化

主要以追求比赛的趣味性为主,最大程度降低比赛的危险性,对于一些比较危险的重击重摔的动作,应该明确禁止;对于一些摔法可以适当改变规则,以接住对方的肢体,做出摔打动作即得分等等。

4.3 对软式化后的散打进行教学实践检验

软式化的散打,对于高校体育课程来说是一个新生的课程,对于一个新生的体育课程它能否实现校体育课程的教学目标,它应该如何去组织实施教学过程以及它能否被广大高校学生所接受,进行教学实践检验是最好的方式。因此,在对高校散打课程进行改造以后,我们要选择几个教学试验班级对其教学效果进行实践检验,同时也可以在教学实践的过程中去发现我们理论上的不足、去发现更适合学生的运动技战术形式、去发现更好的教学模式和组织形式,去发现如何更好的达到体育课程的教学目标。并对教学课程过程进行文字记录和录制视频,以便时时会看反思,总结出需要改进的地方。^[9]对于参加轻体育散打课程学生,应该对做一些回访和问卷调查,了解学生的切身体验和运动需求,针对不足之处进行改进。软式化后的课程只有经过多次的实践检验和不断的改进提高,才能成为一门真正的为高校学生喜爱的体育课程。

4.4 建立软式化散打体育课程体系

课程体系是指同一专业不同课程门类按照门类顺序排列,是教学内容和进程的总和,课程体系主要是在课程观的指导下,课程目标、课程内容、课程结构和课程活动方式等相互协作而形成的一个统一体系。软式化的高校散打成为一门高校体育课程,必须有与之相配套的课程体系。软式化的高校散打课程的课程体系可以参照高校散打体育课程体系来建立,但是它又必须有明显区别于原来的高校散打课程,有自己特色的课程观、目标、内容、结构、活动方式和课程评价方式。例如可以以“轻松运动、娱乐健身”为核心建立课程观;在课程目标和内容的设置上可以以武术礼仪、调动学生参与性、掌握基本散打动作、体验比赛等为主;在课程结构上要从易到难,有一定的梯度;活动方式和评价方式也应该以轻松越快的活动形式、学生

的参与程度和主观体验感受为主,淡化竞技过程和比赛结果的开放式评价为主。只有建立软式化的散打课程体系,它才能更好的指导软式化散打的课程实施,软式化的散打才不仅仅是一项被改造的体育项目,而是真正的成为了一门高校的体育课程,见图3。

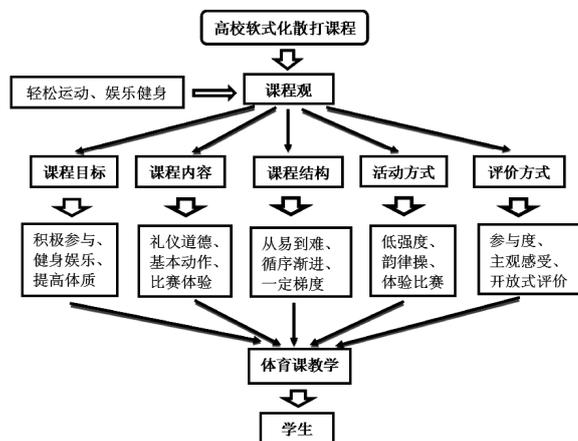


图3 高校软式化散打课程体系图

Figure 3 The system of the soft technology sanda course in colleges

4.5 配套软式化散打课程的体育师资和场地设施

体育师资是高校体育课程的具体实施者,高下体育师资的业务能力高低直接决定着高校体育课程开展的质量水平,不同体育师资和场地设施的配备也直接影响高校体育课程的教学效果。虽然散打课程已经进入高校很久,但是软式化后的散打课程的教学实施又不同于原来的竞技化散打课程的教学,如何更好地实施软式化后的散打课程的教学,是软式化散打课程能否立足高校体育课程关键。由于软式化的散打课程有自己单独的课程体系,有些教学内容和组织方式会采用一些节奏比较欢快的音乐下以运动操的形式,而且软式化了散打技战术的竞技性,因此在课程实施的过程中对高校体育师资和场地设施又提出了新的要求。对于软式化的散打课程,一些喜欢节奏性韵律性比较强的女生也会成为新的授课对象,适当的增加女性体育教师参与软式化散打课程的教学也是十分必要的。因此对于软式化后散打课程的师资和场地配备上建议:加强体育授课教师对于软式化散打课程的理论学习,对于传统的竞技散打授课教师在运动教学方面进行培训,也可以培训一些健美操、啦啦操体育教师对于散打技术动作和战术的学习,同时考虑女性散打教师的配备需要占一定的比例。在场地上,有能力的学校最好可以建立专门的散打场地,合理的对其他

场地进行改造和利用,在场地的面积和安全设施的供应上,给予充足的保障。

5 高校散打课程“轻体育软式化”改革实施的要点把控

高校散打课程作为一门高校体育课程,在锻炼高校学生身体协调灵敏力量等素质,培养学生的意志力和进取心等品质,以及在学生的心理素质和良好的社会适应性方面都有着十分重要的作用。^[7]

5.1 软式化后散打课程作为体育课程基本原则的遵循

高校体育教育是高校教育的重要组成部分,其主要实现形式是高校体育课程教学的开展。软式化高校散打课程进入高校,作为高校体育一门新的课程,它需要遵循体育课程的一些基本原则。高校体育课程是主要通过身体练习为主要手段,通过科学的安排锻炼过程,达到增强体质、增进健康和提高体育素养为主要目标的课程。高校体育课程主要以促进学生身心发展为主,同时和思想教育、文化科学教育、生活与体育技能学习相结合,完成对学生全面发展的教育。因此,软式化后的散打课程进入高校体育课程后,要在体育课程基本原则指导的前提下,充分发挥自身的价值,实现高校体育在学生运动参与、技能学习、身心健康以及社会适应性等各方面的目标。

5.2 软式化后散打课程的课程定位

软式化后的高校散打的定位该如何确定,软式化后的高校散打课程的定位是相对于原来的传统的高校散打课程而言,我认为软式化后的高校散打课程可以作为一门新的散打课程与原来的散打课程并存,并不是软式化后的高校散打课程“后来居上”或者“喧宾夺主”取而代之。软式化后的高校散打课程和原来高校偏向竞技实战的散打课程都是高校散打课程的存在形式,二者应相互并立、相互促进。软式化后的散打课程是培养广大学生积极参与散打课程学习的一门课程,主要以健身为目的,其授课对象为广大的散打课程初级学习者和一些女学生,课程定位为散打的课程初级班和中级班;传统的高校散打课程则主要满足学生更高的体育需求和爱好,其授课对象为身体素质较好的及对散打运动有较高兴趣的学生,其课程定位为中级班和高级班。只有二者完成自身的职责并相互配合,才能更好的完成高校散打课程的目标并把散打

运动不断推广发扬光大,见图4。

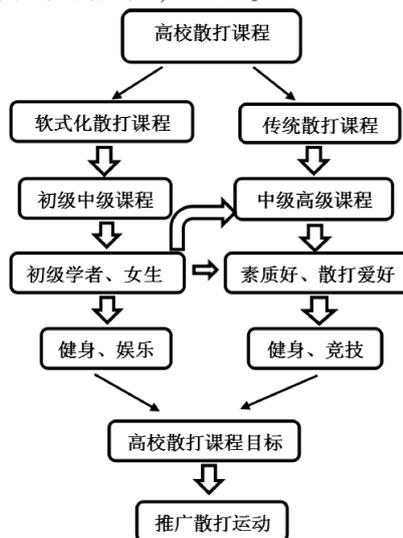


图4 高校散打课程关系

Figure 4 The relationship of sada course in colleges

5.3 软式化后散打技术或战术标准的把控

对高校散打进行软式化改革,“轻”只是相对于竞技散打高负荷大强度而言,“软”只是相对于竞技散打追求技击追求结果而言。对高校散打进行技战术改造,我们需要明白我们只是选取一些相对简单且适合轻体育运动的散打技战术动作,对其进行从新的组合、编排,使其在教学组织和安排上更容易被学生接受和喜爱,同时也能够达到相应的体育教学目标,而不是降低散打原来的技战术动作标准,或者对原来的散打技术或战术进行改动。因此,在对高校散打课程进行软式化改革,需要我们在其技术动作和战术的标准上进行严格把控,这样才有利于学生在对散打课程进行更深一步的学习打下基础。

5.4 软式化后散打课程运动损伤的规避与防治

高校传统散打课程强度较大、对抗强,容易发生运动损伤。软式化散打课程能够有效规避大学生在散打课程上受伤的情况。同时,还可以从以下几方面规避运动损伤的发生。首先,进行充分的课前准备活动,调动学生身体系统的生理机能。其次,强制性佩戴安全的运动护具,保护学生在技击动作中的意外伤害。再次,强调软式化散打规则,以“轻击轻打、点到为止”的方式来进行实战对抗。

5.5 软式化后散打课程可以借鉴其他改造课程的经验

随着高校体育教育改革的提出,高校体育教师也是不断的积极探索核研究,并取得了一定的成绩。在体育课程改革方面也有一些课程比较成功,比如软式

排球、气排球、搏击操、武术操等课程,它们在原来的课程基础上,紧跟时代步伐并结合学生需要,通过改造授课器材、改变比赛规则、编排新的形式等方式,实现了自身的突破,更好地适应了当代大学体育课程的需要。我们在对高校传统的散打课程进行软式化的改革时,可以适当的借鉴其他一些已经取得成功的体育课程的经验,比如在比赛规则上可以借鉴空手道,制定一套“点到为止、没有重击,轻摔轻打”新的比赛规则,以便于软式化的散打课程更具娱乐性和健身性;在编排形式上借鉴一下搏击操和武术操等如何进行编排,如何使软式化后的散打课程更具节奏韵律性和表演形式;在课程的教学模式、服装着装和礼仪道德方面,可以借鉴一下跆拳道成功经验。好多其他课程的成功都是有一些可以值得我们学习的地方,我们在对高校传统课程软式化改革要懂得批判式借鉴。

6 小结

高校体育提出教育改革后,无论从教学理论、教学模式还是体育课程等方面,高校体育工作者都进行了孜孜不倦的探索,并取得了一定的成就。对高校散打课程进行软式化改革也并非无稽之谈纸上谈兵,其他体育课程的改革也有一些成功的案例。我们在结合轻体育的特点,在原有的传统的高校散打课程的基础上,对其技战术、规则、比赛形式等进行合理的软式化,并通过教学实践的反复检验,建立软式化的高校

散打课程体系,配套相应的体育师资场地。^[8]同时散打课程的改革需要注意遵循高校体育课程的基本原则,注意改革后的软式化的散打课程的课程定位,同时注意散打基本技战术的标准的把控,并注意借鉴其他改革成功的体育课程的经验,我相信高校散打课程软式化改革一定会取得成功,在高校体育教育中发挥它更大的作用,同时也会更好的促进传统散打的传播和发扬光大。

参考文献:

- [1] 杨文轩,陈琦.体育原理[M].北京:高等教育出版社,2004:114.
- [2] 李杰凯. 竞技运动项目“软式化”趋势与体育器材的研制[J]. 上海体育学院学报,1999 (4):26-31.
- [3] 包希哲,胡永芳等.“轻体育”背景下的排球“软式化”发展现状及前景展望[J].当代体育科技,2017(24):204-205.
- [4] 朱瑞琪,高亮. 竞技散打“轻体育”化改造:学校开展武术散打教学的理性思考[J]. 广州体育学院学报,2006(6):91-94.
- [5] 朱惠平.“轻体育”背景下乒乓球运动“软式化”研究[J].南京体育大学学报,2015(2):67-70.
- [6] 李俊峰.民族传统体育专业散打学生基本技能培养模式[J].北京体育大学学报,2012(12):84-87.
- [7] 臧秋华.论轻体育[J].体育文化导刊,2008(12):56-58.
- [8] 姜熙,朱东.论武术的软式化发展[J].体育科学研究,2008(1):49-52.

(责任编辑:夏婷婷)

The Discussion of Course Reform of Sanda of College on Light Sports Perspective

WANG Boyu

(School of Physical Education, Quanzhou Normal University, Quanzhou, Fujian 362000)

Abstract: Sanda Course is an important part of college physical education curriculum, it is one of the important courses to cultivate students' physical and mental development. But at present, Sanda Course in Colleges has such problems as single teaching mode, strong competition, lacking of teachers, and Students' interest is weak. In view of this phenomenon, combined with the needs of the times and the characteristics of popular light sports, put forward the soft reform of the current Sanda Course in Colleges. explore the way of its soft reform, and also makes a preliminary analysis of some problems needing attention in the process of reformation ,To make Sanda Course be a true course that really meets the needs of the development of ordinary students. At the same time, it also contributes to the promotion of Sanda and martial arts teaching reform.

Key words: light sports; sanda of college; soft technology

JOURNAL OF WUYI UNIVERSITY

No.12 Vol.37, Dec., 2018

- The Soft Unitary Space and its Properties LIU Yonglin,WU Chengda(1)
- The Automorphisms for 4-Dimensional Novikov Algebras HUANG Zhongxian(5)
- Positive Periodic Solution for a Class of Non-Autonomous Epidemic Models with Vertical and Contact Infections
..... ZHENG Hang, XU Shuxian, LAN Ling(12)
- Security Analysis and Improvement for a Class of Novel Secret Sharing Scheme
..... ZHUANG Fengmao, HU Huidan, LIN Changlu(17)
- Research on the Influential Factors of Housing Prices Fluctuation in Xiamen Based on Grey Correlation Analysis:
Based the Data from 2000 to 2016 CHEN Ying, GE Yingqi(22)
- Bibliometric Study of Library Service Quality Evaluation LU Jiaqing(28)
- Optimization of Fermentation Conditions for Bacterial Cellulose Production by Using Glycerol
..... MA Chunhua, GU Wenyan, WANG Yijing(34)
- Heterologous Expression of TaEDR1 Inhibits Edr1 Powdery Mildew Resistance in Arabidopsis
..... WU Guangheng, FU Xianyu, DENG Jiayao, LIU Jinxian(38)
- Fresh-Keeping Effect of Chitosan-Calcium Chloride Coating Films on Fresh-Cut Broccoli
..... JIANG Bianling, WANG Mengmeng, CHEN Qiong, DUAN Hong, HAN Fangkai, ZHU Ying (44)
- Fresh-Keeping Effects of Lysozyme on *Spauliobarbus curriculus*
..... WANG Xincen, LIN Caifeng, WU Meifang, SONG Zhongqing, ZHANG Jing(49)
- Research on Image Enhancement Algorithm Based on Multi-Objective Optimization ZHENG Jin(54)
- Study on the Method of Image Segmentation Parameter Selection Based on Differential Evolution Algorithm
..... ZHU Bixi, ZHANG Yanhong(58)
- Determination and Realization of Vehicle Overhaul Cycle Based on NVH Characteristics
..... LIN Kechun, LV AO(65)
- The Research on Sponge City Construction in Mountainous City
——A Case Study of Wuyishan City HE Chenyang, LIN Hao, WU Fangfang, HU Jiapeng(70)
- Studies on the Additivity of Risk Factors of Project Schedule
..... LI Henggan, CHEN Jinxiong, SU Junxian, WANG Zhonghao, JIANG Kun(76)
- Typical Problems and Instructional Design of Online Open Course of Linear Algebra
..... ZHU Rongkun, XIE Jiali, GAO Feng(82)
- Research on the Reform of the Practical Teaching of Data Structure Based on Layered Experiment and
Course Defense LIN Lihui WEI Yi(87)
- Teaching Reform of Ecological Engineering Course with Local Characteristics
..... HUA Weiping, LI Ling, ZHENG Maozhong, YE Hongmeng, LIN Li(92)
- Experimental Design of IO Port Output Control YE Ximei(96)
- Modular Teaching Reform of "Modern Mobile Communication Principle" in Applied Universities
——Taking Wuyi University as an Example LIU Qi, XIA Tingting, JINANG Yi, YAN Bingzao (99)
- The Discussion of Course Reform of Sanda of College on Light Sports Perspective WANG Boyu(104)