

# 目次

复 Hessian 矩阵性质及复正定性的研究  
..... 张宋传(1)

几种叉积图的平衡指标集 ..... 陈碧英(5)

求解可分解强凸优化问题的 FISTA-Barzilai-Borwein 算法  
..... 李 星, 邓康康, 李 超(12)

平面体系存在无穷远虚铰时几何组成分析  
..... 范卫琴, 颜玲月, 张红章(17)

完善中国互联网, 推动经济与税收发展  
——基于省级层面数据的实证分析  
..... 郑雪莲, 胡志勇, 陈雅琳(21)

Fama 五因子模型在中国证券市场有效性检验及改进研究  
..... 孙 策, 姜徐宁, 黄和亮(27)

可视化知识图谱的中国 SWAT 模型研究趋势分析  
..... 尤丽萍, 林雪儿, 林美娇, 刘君成, 何东进, 游巍斌(33)

香樟天然次生林种群空间分布格局及其关联性分析  
..... 靳少非, 许鲁东, 廖晓丽, 范胜煌(40)

汉中市古树名木科学文化价值额的计量分析  
..... 王哲, 江蓝, 蓝亦琦, 何中声, 刘金福, 廖咸康(47)

膜表面荷负电修饰与抗蛋白质污染性能分析  
..... 范荣玉, 郑细鸣, 陈彬梅(54)

分布式架构的智慧实验室的设计 ..... 吴伊萍(59)

CC2530 远程智能输液监控系统的设计与实现  
..... 陈 明, 沈俊慧, 朱其祥(64)

# 武夷学院学报



国际标准连续出版物号: ISSN 1674-2109

国内统一连续出版物号: CN 35-1293/G4

第 38 卷 总第 173 期

2019 年 第 3 期(月刊)

## 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: 郑细鸣

编 委: (以姓氏笔画为序)

卢道明 刘卫群 任宇红  
许亦善 李宝银 李远华  
吴承祯 陈 锋 沈慧芳  
杨 昇 张品端 张志雄  
张乔根 张国林 郑细鸣  
姜景莲 姚进生 赵升云  
郭翠莲 梁丽萍 雷能忠  
廖 斌

## 编辑部

主 编: 吴承祯

副 主 编: 郑细鸣 沈慧芳 陈 果

责任编辑: 叶丽娜 冯起国 白 琳  
夏婷婷 苏娟娟 赵其领  
张文静

英文审译: 魏景春

JOURNAL OF WUYI UNIVERSITY



一种新型高精度的 RC 振荡器设计  
 ..... 张明文,尹勇生,邓红辉(69)

SDN 和 OVERLAY 技术在高校云数据中心的应用  
 ..... 肖永钦,卓柳迎(73)

公共服务视域下泉州市全民健身“六边工程”研究  
 ..... 董婧涓(77)

普通本科高校健身路径现状分析  
 ——以芜湖市高校为例  
 ..... 闫林,张良,金庆红(83)

石壁客家民俗体育文化特征研究 ..... 崔胜利(88)

PBL 教学模式在独立学院课程教学中的应用  
 ——以植物生理学为例  
 ..... 叶小真,罗晓霞,陈全助,冯丽贞(92)

数学教学中的多媒体技术应用现状与问题思考  
 ..... 滕旭(96)

RPG 实训平台在土木工程施工技术教学中的应用  
 ..... 崔秀琴,苏万鑫,曾武华,黄晶晶(100)

PLS-SEM 和关联规则的《多元统计分析》教学效果影响因素  
 实证研究  
 ..... 旷开金,郑开焰,刘金福,徐道炜,裴文庆,郑斯琳(104)

# 复 Hessian 矩阵性质及复正定性的研究

张宋传

(武夷学院 数学与计算机学院, 福建 武夷山 354300)

**摘要:** 讨论复变实值函数复 Hessian 矩阵的性质, 获得一些新的结果, 并给出复 Hessian 矩阵复(半)正定性与 Hermite(半)正定性的一些充要条件。

**关键词:** 复 Hessian 阵; R-可微; 复正定矩阵; Hermite 正定矩阵

**中图分类号:** O151 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-2109(2019)03-0001-04

考虑复变量优化问题:

$$\min_{z \in \Omega \subseteq \mathbb{C}} g(z) \quad (1)$$

其中, 优化变量  $z$  取值范围是复数域, 目标函数为复变量实值函数。不同于实变量优化问题, 问题(1)中目标函数在非凸情形下, 不满足柯西-黎曼条件<sup>[1]</sup>, 因此传统的复变函数微分理论无法应用于复变量优化问题的算法设计和理论分析上。早在 20 世纪初, Wirtinger 便提出了一种扩展的复变函数微分理论<sup>[2]</sup>。直到上世纪 80 年代, 随着复变量优化问题在工程应用领域的广泛出现, Wirtinger 微分理论逐渐成为复变量优化问题研究的一个重要理论工具<sup>[5-9]</sup>。Brandwood 首次引入复梯度的概念<sup>[3]</sup>, A. van den Bos 进一步给出复 Hessian 矩阵及复域上泰勒展开式<sup>[4]</sup>, Kreutz-Delgado 系统总结了前人的成果, 将 Wirtinger 微分理论命名为 R-微分, 而将传统的复变函数微分理论称为 C-微分, 二者统称 CR 微分<sup>[10]</sup>。

问题(1)中目标函数复 Hessian 矩阵的相关性质, 尤其是复 Hessian 矩阵的复正定性研究非常有意义, 例如, 使用复 Hessian 矩阵的复正定性可以判断函数

凸性与否, 即问题(1)是否可收敛到局部/全局的最优解。此外, 复 Hessian 矩阵的复正定性在判断优化算法可行性时非常有用。关于复变实值函数的复 Hessian 矩阵定义最早出现在文献[4]中, 文献[10]指出复 Hessian 矩阵的定义是不唯一的, 复 Hessian 矩阵相关性质的研究可以参考文献[9-12]。在已有的研究基础上, 进一步讨论复变实值函数复 Hessian 矩阵的一些性质, 并给出复 Hessian 矩阵复(半)正定与 Hermite(半)正定的一些充要条件。

## 1 预备知识

本文中, 用  $\mathbf{C}^{m \times n}$  与  $\mathbf{R}^{m \times n}$  分别表示  $m \times n$  复矩阵集与实矩阵集,  $(\cdot)^T, \overline{(\cdot)}, (\cdot)^H$  分别表示矩阵或向量的转置, 共轭及共轭转置,  $\text{Re}(\cdot), \text{Im}(\cdot)$  分别表示复值对象的实部和虚部。  $n$  维复向量  $z$  与其共轭向量  $\bar{z}$  定义如下:

$$z = (z_1, z_2, \dots, z_n)^T \in \mathbf{C}^n$$
$$\bar{z} = (\bar{z}_1, \bar{z}_2, \dots, \bar{z}_n)^T \in \mathbf{C}^n$$

其中,  $z_i = x_i + jy_i, i=1, 2, \dots, n, j$  为虚数单位, 即  $j = \sqrt{-1}$ , 或者,  $z = x + jy, \bar{z} = x - jy$

其中,

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \in \mathbf{R}^n$$
$$y = (y_1, y_2, \dots, y_n)^T \in \mathbf{R}^n$$

若记

$$w = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \in \mathbf{R}^{2n}, v = \begin{pmatrix} z \\ \bar{z} \end{pmatrix} \in \mathbf{C}^{2n}$$

收稿日期: 2018-11-01

基金项目: 福建省自然科学基金项目(2017J01769); 武夷学院高层次人才科研启动基金项目(YJ201802)。

作者简介: 张宋传(1977-), 男, 汉族, 副教授, 主要从事复值动力学优化算法的研究。

则  $v=Jw$ , 辅助矩阵  $J$  定义为

$$J = \begin{pmatrix} I_n & jI_n \\ I_n & -jI_n \end{pmatrix} \in \mathbb{C}^{2n \times 2n}$$

其中,  $I_n$  表示  $n$  阶单位阵。显然,  $J$  是可逆阵, 有  $J^{-1} = \frac{1}{2} J^H$ , 因此,  $w = \frac{1}{2} J^T \bar{v}$ 。

$R$  微分中, 考虑复变实值函数的导数与微分时, 形式上将复变量  $z \in \mathbb{C}^n$  与它的共轭  $\bar{z}$  认为是两个独立的变量。

**定义 1**<sup>[10]</sup> 设函数  $g(z): \mathbb{C}^n \rightarrow \mathbb{C}$ ,  $g(z)$  关于  $z$  与  $\bar{z}$  的  $R$  导数与  $\bar{R}$  导数分别定义为:

$$R \text{ 导数} = \left. \frac{\partial g}{\partial z} \right|_{\bar{z}=\text{常数}}, \quad \bar{R} \text{ 导数} = \left. \frac{\partial g}{\partial \bar{z}} \right|_{z=\text{常数}}$$

**定义 2**<sup>[10]</sup> 设函数  $g(z): \mathbf{D} \subseteq \mathbb{C}^n \rightarrow \mathbb{C}$ , 设  $c$  是  $\mathbf{D}$  的一个内点, 如果存在  $c$  的一个球邻域  $\mathbf{B}(c)$ ,  $\mathbf{B}(c)$  中任一点的  $R$  导数与  $\bar{R}$  导数都存在, 并且  $c$  点的  $R$  导数与  $\bar{R}$  导数在  $c$  点上连续, 则称函数  $g(z)$  在点  $c$  上是  $R$  可微的; 如果  $\mathbf{D}$  是  $\mathbb{C}^n$  中的开子集, 函数  $g(z)$  在  $\mathbf{D}$  上任一点上都  $R$  可微, 则称  $g(z)$  在  $\mathbf{D}$  上是  $R$  可微的。

**定义 3**<sup>[10]</sup> 设  $\mathbf{D}$  是  $\mathbb{C}^n$  中的开子集, 则函数  $g(z): \mathbf{D} \rightarrow \mathbb{C}$ , 在  $\mathbf{D}$  上二阶  $R$  可微当且仅当  $R$  导数与  $\bar{R}$  导数在  $\mathbf{D}$  上是  $R$  可微的。

**定义 4**<sup>[10]</sup> 设函数  $g(z): \mathbf{D} \subseteq \mathbb{C}^n \rightarrow \mathbb{C}$  在  $\mathbf{D}$  内关于  $z$  与  $\bar{z}$  的二阶导数  $R$  与  $\bar{R}$  导数存在, 则  $g(z)$  的复 Hessian 矩阵定义为  $\nabla^2 g = \frac{\partial^2 g}{\partial v \partial v^T} \in \mathbb{C}^{2n \times 2n}$ , 其中,  $v = \begin{pmatrix} z \\ \bar{z} \end{pmatrix} \in \mathbb{C}^{2n}$ 。

注 1:  $g(z)$  的复 Hessian 矩阵定义是不唯一的, 最早出现在文献[4]中, 其  $v$  的结构定义为

$$v = (z_1, \bar{z}_1, \dots, z_n, \bar{z}_n)^T \in \mathbb{C}^{2n}$$

这在实际应用中不是很方便。Kreutz-Delgado 在文献[10]中给出另一个定义,

$$\nabla^2 g = \frac{\partial^2 g}{\partial v \partial v^T} \in \mathbb{C}^{2n \times 2n}$$

和定义 4 的最大不同只表现在  $g(z)$  的二阶泰勒展开式的不同。为了讨论方便, 本文只采用定义 4 中的形式。

$R$  微分中,  $g(z)$  常常写作  $g(z, \bar{z})$ 。另一方面,  $g(z)$  也可视为实变函数  $g(x, y)$ , 其中  $z = x + jy$ , 习惯上我们使用不同的函数名予以区分, 此处使用  $f(x, y)$  或  $f(w)$  表示, 同时记  $\nabla^2 f \in \mathbb{R}^{2n \times 2n}$  为  $f(x, y)$  的实 Hessian 矩阵。

**定义 5**<sup>[13]</sup> 设  $A \in \mathbb{R}^{2n \times 2n}$ , 如果对任意非零  $\xi \in \mathbb{R}^{2n}$ , 都有  $\xi^H A \xi \geq 0$ , 则称  $A$  为实半正定矩阵。若上式取严格不等号, 则称  $A$  为实正定矩阵。

**定义 6**<sup>[13]</sup> 设  $A \in \mathbb{C}^{n \times n}$ , 如果对任意非零  $\xi \in \mathbb{C}^n$ , 都有  $\text{Re}(\xi^H A \xi) \geq 0$ , 则称  $A$  为复半正定矩阵。若上式取严格不等号, 则称  $A$  为复正定矩阵。

易知, 如果  $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$ , 则  $A$  为复(半)正定矩阵当且仅当  $A$  为实(半)正定矩阵。

**定义 7**<sup>[13]</sup> 设  $A \in \mathbb{C}^{n \times n}$ ,  $A^H = A$ , 如果对任意非零  $\xi \in \mathbb{C}^n$ , 都有  $\xi^H A \xi \geq 0$ , 则称  $A$  为 Hermite 半正定矩阵。若上式取严格不等号, 则称  $A$  为 Hermite 正定矩阵。

显然, Hermite(半)正定矩阵是复(半)正定矩阵。

**引理 1**<sup>[14]</sup> 若  $A$  为复(半)正定矩阵, 对任意同阶可逆阵  $P$ ,  $P^H A P$  为复(半)正定矩阵。

## 2 主要结果

**定理 1** 设函数  $g(z): \mathbf{D} \subseteq \mathbb{C}^n \rightarrow \mathbb{R}$  在  $\mathbf{D}$  内关于  $z$  与  $\bar{z}$  的二阶  $R$  导数与  $\bar{R}$  导数存在, 则  $f(x, y)$  在实域  $\tilde{\mathbf{D}}$  内关于  $x$  与  $y$  的二阶偏导数存在, 且

$$\nabla^2 f = J^H \nabla^2 g J = J^H \begin{pmatrix} H_1 & H_2 \\ \bar{H}_2 & \bar{H}_1 \end{pmatrix} J, \quad (2)$$

其中,  $\tilde{\mathbf{D}} = \{(x, y) \in \mathbb{R}^{2n} \mid z = x + jy, z \in \mathbf{D}\}$ ,

$$H_1 = \frac{\partial^2 g}{\partial z \partial z^T} \in \mathbb{C}^{n \times n}, \quad H_2 = \frac{\partial^2 g}{\partial z \partial \bar{z}^H} \in \mathbb{C}^{n \times n}$$

证明见文献[11]命题 4, 事实上, 证明中仅用到二阶导数与导数存在这一事实, 因此本文定理 1 将原结论条件由“函数  $g(z): \mathbf{D} \subseteq \mathbb{C}^n \rightarrow \mathbb{R}$  在  $\mathbf{D}$  上二阶  $R$  可微”减弱为“函数  $g(z): \mathbf{D} \subseteq \mathbb{C}^n \rightarrow \mathbb{R}$  在  $\mathbf{D}$  内关于  $z$  与  $\bar{z}$  的二阶  $R$  导数与  $\bar{R}$  导数存在”。

显然,  $J^H \nabla^2 g J = J^H \nabla^2 g J$ 。

**定理 2** 设函数  $g(z): \mathbf{D} \subseteq \mathbb{C}^n \rightarrow \mathbb{R}$  在  $\mathbf{D}$  上二阶  $R$  可微, 则  $H_1 = H_1^H$  与  $H_2 = H_2^T$ , 进而  $\nabla^2 g = (\nabla^2 g)^H$ , 即  $\nabla^2 g$  是 Hermitian 阵, 同时,  $\nabla^2 f$  为实对称阵。

**证明:** 由于函数  $g(z): \mathbf{D} \subseteq \mathbb{C}^n \rightarrow \mathbb{R}$  在  $\mathbf{D}$  上二阶  $R$  可微, 根据 Hessian 矩阵对称性定理<sup>[15]</sup>,  $\forall i, k \in \{1, 2, \dots, n\}$  有

$$\frac{\partial^2 g}{\partial z_i \partial z_k} = \frac{\partial^2 g}{\partial z_k \partial z_i}, \quad \frac{\partial^2 g}{\partial \bar{z}_i \partial \bar{z}_k} = \frac{\partial^2 g}{\partial \bar{z}_k \partial \bar{z}_i}, \quad \frac{\partial^2 g}{\partial \bar{z}_i \partial z_k} = \frac{\partial^2 g}{\partial \bar{z}_k \partial z_i}$$

再由定理 1 易知结论成立。

**定理 3** 设函数  $g(z):D \subseteq \mathbf{C}^n \rightarrow \mathbf{R}$  在  $D$  内关于  $z$  与  $\bar{z}$  的二阶 R 导数与  $\bar{R}$  导数存在,  $\nabla^2 g$  是复(半)正定当且仅当  $\nabla^2 f$  是实(半)正定。

**证明:**  $J$  为可逆阵, 且  $\nabla^2 f = J^H \nabla^2 g J$ , 由引理 1 得。

**定理 4** 设函数  $g(z):D \subseteq \mathbf{C}^n \rightarrow \mathbf{R}$  在  $D$  内关于  $z$  与  $\bar{z}$  的二阶 R 导数与  $\bar{R}$  导数存在,  $\nabla^2 g$  是复半正定的当且仅当

$$\psi(\eta)^H \nabla^2 g \psi(\eta) \geq 0, \forall \eta \neq 0 \in \mathbf{C}^n, \quad (3)$$

其中,  $\psi(\eta) = \begin{pmatrix} \eta \\ \bar{\eta} \end{pmatrix}$ ;  $\nabla^2 g$  在  $D \subseteq \mathbf{C}^n$  上是复正定的当且仅当上式不等号严格成立。

**证明:** 不失一般性, 我们仅考虑复半正定的情形。如果  $\nabla^2 g$  是复半正定的,  $\forall \eta \neq 0 \in \mathbf{C}^n$ , 由定义 6 可得  $\text{Re}(\psi(\eta)^H \nabla^2 g \psi(\eta)) = \psi(\eta)^H \nabla^2 g \psi(\eta) \geq 0$ , (3) 式成立。

反之, 如果 (3) 式成立,  $\forall \xi \in \mathbf{R}^{2n}$ , 且  $\xi \neq 0$ , 由定理 1, 有  $\xi^H \nabla^2 f \xi = \xi^H J^H \nabla^2 g J \xi$ , 因为

$$J\xi = \begin{pmatrix} \eta \\ \bar{\eta} \end{pmatrix} = \psi(\eta) \neq 0,$$

故有  $\xi^H \nabla^2 f \xi = \psi(\eta)^H \nabla^2 g \psi(\eta) \geq 0$ , 即  $\nabla^2 f$  是实半正定的, 由定理 3 知,  $\nabla^2 g$  是复半正定, 证毕。

考虑到

$$\nabla^2 g = \begin{pmatrix} H_1 & H_2 \\ \bar{H}_2 & \bar{H}_1 \end{pmatrix},$$

进一步有:

**推论 1**  $\nabla^2 g$  是复半正定的当且仅当

$$\text{Re}(\eta^H H_1 \eta) + \text{Re}(\eta^H H_2 \bar{\eta}) \geq 0, \forall \eta \neq 0 \in \mathbf{C}^n;$$

$\nabla^2 g$  是复正定的当且仅当上式不等号严格成立。

结合定理 2, 我们有

**推论 2** 设函数  $g(z):D \subseteq \mathbf{C}^n \rightarrow \mathbf{R}$  在  $D$  上二阶 R 可微,  $\nabla^2 g$  是 Hermite 半正定矩阵当且仅当

$$(\eta^H H_1 \eta) + \text{Re}(\eta^H H_2 \bar{\eta}) \geq 0, \forall \eta \neq 0 \in \mathbf{C}^n;$$

$\nabla^2 g$  是 Hermite 正定矩阵当且仅当上式不等号严格成立。

### 3 例子

考虑如下复变量优化问题:

$$\begin{aligned} \min_{z \in \mathbf{C}^n} g(z) \\ \text{s.t. } Az = b \end{aligned} \quad (4)$$

其中,  $b \in \mathbf{C}^m, A \in \mathbf{C}^{m \times n}$  是行满秩的。文献[11]提出一种复值拉格朗日神经网络算法解该类优化问题, 若  $\nabla^2 g$  是复正定的, 则复值拉格朗日神经网络是李雅普诺夫意义下全局渐进稳定的, 输出轨迹全局收敛到问题的最优解。本节给出两个具体的复变量优化问题, 目标函数的复 Hessian 矩阵的正定性判定将应用第二节中的主要结果, 并通过复值拉格朗日神经网络算法求解, 实验进一步证实上述结果的有效性。

**例 1** 考虑  $g(z) = \text{Re}(z^H M z) + \text{Re}(q^H z)$ , 其中  $q \in \mathbf{C}^n, M \in \mathbf{C}^{n \times n}$  是复正定矩阵, 计算得

$$H_1 = \frac{1}{2}(M + M^H), H_2 = 0_{n \times n}$$

由推论 1 可知,  $\nabla^2 g$  是复正定矩阵。任取初始点, 求解该问题的复值拉格朗日神经网络是李雅普诺夫意义下全局渐进稳定的, 输出轨迹全局收敛到问题的最优解。图 1 展示了一数值实验中, 任取 10 个随机初始点, 输出解的目标函数值  $g(z(t))$  的收敛过程。

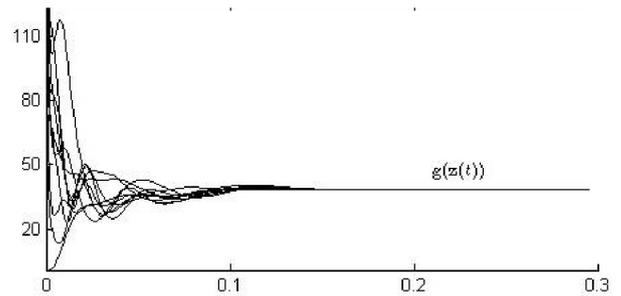


图 1 复值拉格朗日神经网络输出解的目标函数值的收敛过程

Figure 1 Transient behaviors of  $g(z(t))$  based on the complex-valued Lagrange neural network

**例 2** 考虑

$$\min_{z \in \mathbf{C}^2} g(z) = |z_1|^4 + |z_2|^6 + e^{\text{Re}(q^H z)}$$

$$\text{s.t. } (2-1.5j)z_1 + (2-j)z_2 = 1+2j,$$

其中  $q = (3-2j, 2+3j)^T$ . 计算得

$$H_1 = \begin{pmatrix} 4|z_1|^2 & 0 \\ 0 & 3|z_2|^4 + 6|z_2|^4 \end{pmatrix} + \frac{1}{4} e^{\text{Re}(q^H z)} q q^H$$

$$H_2 = \begin{pmatrix} 2z_1^2 & 0 \\ 0 & 6|z_2|^2 z_2 \end{pmatrix} + \frac{1}{4} e^{\text{Re}(q^H z)} q q^T$$

$\forall \eta \neq 0 \in \mathbf{C}^n$ , 易证得

$$\eta^H H_1 \eta + \text{Re}(\eta^H H_2 \bar{\eta}) > 0$$

由推论 2 可知,  $\nabla^2 g$  是 Hermite 正定矩阵。图 2 展示了任取 10 个随机初始点, 求解该问题的复值拉格朗日

神经网络输出解  $z(t)$  的收敛过程。

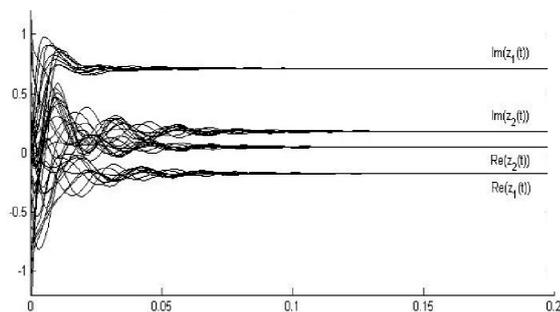


图2 复值拉格朗日神经网络输出解的收敛过程

Figure 2 Transient behaviors of  $z(t)$  based on the complex-valued Lagrange neural network

### 参考文献:

- [1] 钟玉泉.复变函数论[M].第3版.北京:高等教育,2006.
- [2] WIRTINGER W. Zur formalen theorie der funktionen von mehr komplexen veranderlichen[J]. Mathematische Annalen, 1927,97(1): 357 - 375.
- [3] BRANDWOOD D H. A complex gradient operator and its application in adaptive array theory [J].IEE Proc.F Commun. Radar Signal Proc., 1983, 130(1): 11-16.
- [4] VAN D B A. Complex gradient and Hessian [J]. IEE Proceedings-Vision Image and Signal Processing, 1995, 141(6): 380-383.
- [5] ZENG W, XU W. Fast estimation of sparse doubly spread acoustic channels [J]. Journal of the Acoustical Society of America, 2012, 131(1): 303-317.
- [6] XIA Y L, TOOK C C, MANDIC D P. An augmented affine projection algorithm for the filtering of noncircular complex signals[J]. Signal Processing, 2010, 90(6): 1788-1799.
- [7] NOVEY M, ADALI T. On extending the complex FastICA algorithm to noncircular sources [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2008, 56(5): 2148-2154.
- [8] LI H, ADALI T. Optimization in the complex domain for nonlinear adaptive filtering [C]. In: Proc.33rd Asilomar Conf. Signals, Syst., Comput., 2006:263-267.
- [9] SORBER L, BAREL I M V, Lathauwer L D. Unconstrained optimization of real functions in complex variables [J]. SIAM Journal on Optimization, 2012, 22(3): 879-898.
- [10] KREUTZ D K. The Complex Gradient Operator and the CR-Calculus [EB/OL]. [2016-01-10]. [http://dsp.ucsd.edu/~kreutz/PEI-05%20Support%20Files/complex\\_derivatives.pdf](http://dsp.ucsd.edu/~kreutz/PEI-05%20Support%20Files/complex_derivatives.pdf).
- [11] ZHANG S C, XIA Y S, ZHENG W. A complex-valued neural dynamical optimization approach and its stability analysis[J]. Neural Networks, 2015, 61(1):59-67.
- [12] HJORUNGNES A, GEDBERT D. Complex-Valued Matrix Differentiation: Techniques and Key Results [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2007, 55(6):2740-2746.
- [13] HORN R A, JOHNSON C R. Matrix analysis [M]. 北京:人民邮电出版社, 2005.
- [14] 李俊杰. 论复矩阵的正定性 [J]. 数学的实践与认识, 1995(2):59-63.
- [15] MAGNUS J R, NEUDECKER H. Matrix differential calculus with applications in statistics and econometrics[M]. Hoboken: Wiley, 1988.

(责任编辑:叶丽娜)

## A Research of the Properties of Complex Hessian Matrix and Its Complex Positive Definite

ZHANG Songchuan

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

**Abstract:** The properties of the complex Hessian matrices of real-valued functions with respect to a complex-valued vector variable are discussed and some new results are gained. In addition, several necessary and sufficient conditions of the complex positive (semi)definite and Hermitian positive (semi)definite of the complex Hessian matrices are established.

**Key words:** complex Hessian matrix; R-differentiable; complex positive definite matrix; Hermitian positive definite matrix

# 几种叉积图的平衡指标集

陈碧英

(武夷学院 数学与计算机学院, 福建 武夷山 354300)

**摘要:**研究轮图与轮图、圈与圈、完全二部图与完全二部图的叉积图的平衡指标集,得到一些叉积图的平衡指标集的准确值。

**关键词:**平衡指标集, 平衡标号, 叉积图

**中图分类号:** O157.5    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1674-2109(2019)03-0005-07

## 1 预备知识

**定义 1.1**<sup>[2]</sup> 设  $f:V(G) \rightarrow \{0,1\}$  是图  $G$  的一个顶点标号映射, 则由  $f$  可诱导出图  $G$  的一个部分边的标号  $f^*:E(G) \rightarrow \{0,1\}$ , 对任意的  $uv \in E(G)$ , 当且仅当  $f(u)=f(v)$  时, 有  $f^*(uv)=f(u)$ ; 若  $f(u) \neq f(v)$ , 则边  $uv$  未被  $f^*$  标号. 称  $B_f(G)=e_f(1)-e_f(0)$  为图  $G$  的平衡标号。

**定义 1.2**<sup>[2]</sup> 若  $|v_f(1)-v_f(0)| \leq 1$ , 称图  $G$  的这个标号  $f$  为友好标号; 称  $BI(G)=\{B_f(G) | f \text{ 为友好标号}\}$  为图  $G$  的平衡指标集。

**定义 1.3**<sup>[3]</sup> 设  $f:V(G) \rightarrow \{0,1\}$  是图  $G$  的一个点标号映射, 定义  $g:V(G) \rightarrow \{-0.5,0.5\}$ , 其中  $g=f-0.5$ . 则由  $g$  诱导出相应的边标号映射  $g^*:E(G) \rightarrow \{-1,0,1\}$ ,  $g^*(uv)=g(u)+g(v), \forall uv \in E(G)$ 。

**命题 1.1**<sup>[3]</sup> 若记  $v_g(i)$  为在点标号  $g$  下  $V(G)$  中标号为  $i$  的顶点数,  $e_g(i)$  为在  $g$  导出的边标号  $g^*$  下  $E(G)$  中标号为  $i$  的边数,  $B_g(G)=e_g(1)-e_g(-1)$ 。因此

$g^*(e)=-1$  等价于  $f^*(e)=0$ ,  $g^*(e)=1$  等价于  $f^*(e)=1$ ,  $g^*(e)=0$  等价于在  $f$  中  $e$  不标号。

**命题 1.2**<sup>[3]</sup>  $f$  为友好标号等价于  $|v_g(-0.5)-v_g(0.5)| \leq 1$ , 因此当时  $|v_g(-0.5)-v_g(0.5)| \leq 1, g$  为友好标号。

**命题 1.3**<sup>[3]</sup> 对于图  $G$  的一个  $\{-0.5,0.5\}$  标号, 记  $v_g^+=v_g(0.5), v_g^-=v_g(-0.5)$ , 则  $\sum_{u \in V} g(u) = \frac{1}{2}(v_g^+ - v_g^-)$ 。

**引理 1.1**<sup>[3]</sup> 若  $g$  为  $G=\{V(G),E(G)\}$  的任意一个  $\{-0.5,0.5\}$  标号, 则有  $B_g(G) = \sum_{e \in E} g^*(e) = \sum_{u \in V} \deg(u)g(u)$ 。

**定理 1.1**<sup>[3]</sup> 若  $g$  为  $r$ -正则  $G$  的任意一个  $\{-0.5,0.5\}$  标号, 则  $B_g(G) = \frac{r}{2}(v_g^+ - v_g^-)$ 。

**定义 1.4** 称一个图是  $(r,s)$ -正则的 ( $r \neq s$ ), 如果这个图的每个点的度数都是  $r$  或者  $s$ 。

**命题 1.4**<sup>[3]</sup> 若  $G=\{V(G),E(G)\}$  为  $(r,s)$ -正则图,  $g$  为  $G$  的任意一个  $\{-0.5,0.5\}$  标号, 则:

$$\begin{aligned} B_g(G) &= r \sum_{\substack{u \in V(G) \\ \deg(u)=r}} g(u) + s \sum_{\substack{v \in V(G) \\ \deg(v)=s}} g(v) \\ &= (r-s) \sum_{\substack{v \in V(G) \\ \deg(v)=r}} g(v) + s \sum_{v \in V(G)} g(v) \\ &= \frac{r-s}{2} (v_{g,s}^+ - v_{g,s}^-) + \frac{s}{2} (v_g^+ - v_g^-) \end{aligned}$$

收稿日期: 2018-11-27

基金项目: 武夷学院高层次人才科研启动基金项目 (YT201802)。

作者简介: 陈碧英 (1975-), 女, 汉族, 讲师, 主要从事图论的研究。

(其中  $\nu_{g,s}^+$  和  $\nu_{g,s}^-$  分别表示度为  $r$  的点中标号为 0.5 和 -0.5 的点的数目。)

定义 1.5 称一个图是  $(r,s,t)$ -正则的 ( $r \neq s \neq t$ ), 如果这个图的每个点的度数都是  $r$  或者  $s$ , 或者  $t$ 。

命题 1.5 若  $G=(V,E)$  为  $(r,s,t)$ -正则图,  $g$  为  $G$  的任意一个  $\{-0.5, 0.5\}$  标号, 则:

$$B_g(G) = r \sum_{\substack{u \in V(G) \\ \deg(u)=r}} g(u) + s \sum_{\substack{\nu \in V(G) \\ \deg(\nu)=s}} g(\nu) + t \sum_{\substack{w \in V(G) \\ \deg(w)=t}} g(w) =$$

$$r \sum_{u \in V(G)} g(u) + (s-r) \sum_{\substack{\nu \in V(G) \\ \deg(\nu)=s}} g(\nu) + (t-r) \sum_{\substack{w \in V(G) \\ \deg(w)=t}} g(w) =$$

$$\frac{r}{2}(\nu_g^+ - \nu_g^-) + \frac{s-r}{2}(\nu_{g,s}^+ - \nu_{g,s}^-) + \frac{t-r}{2}(\nu_{g,t}^+ - \nu_{g,t}^-)$$

定义 1.5 称一个图是  $(r,s,t,y)$ -正则的 ( $r \neq s \neq t \neq y$ ), 如果这个图的每个点的度数都是  $r$  或者  $s$ , 或者  $t$ , 或者  $y$ 。

命题 1.6 若  $G=(V,E)$  为  $(r,s,t,y)$ -正则图,  $g$  为  $G$  的任意一个  $\{-0.5, 0.5\}$  标号, 则

$$B_g(G) =$$

$$r \sum_{\substack{u \in V(G) \\ \deg(u)=r}} g(u) + s \sum_{\substack{\nu \in V(G) \\ \deg(\nu)=s}} g(\nu) + t \sum_{\substack{w \in V(G) \\ \deg(w)=t}} g(w) =$$

$$r \sum_{u \in V(G)} g(u) + (s-r) \sum_{\substack{\nu \in V(G) \\ \deg(\nu)=s}} g(\nu) + (t-r) \sum_{\substack{w \in V(G) \\ \deg(w)=t}} g(w) + (y-r) \sum_{\substack{z \in V(G) \\ \deg(z)=y}} g(z) =$$

$$\frac{r}{2}(\nu_g^+ - \nu_g^-) + \frac{s-r}{2}(\nu_{g,s}^+ - \nu_{g,s}^-) + \frac{t-r}{2}(\nu_{g,t}^+ - \nu_{g,t}^-) + \frac{y-r}{2}(\nu_{g,y}^+ - \nu_{g,y}^-)$$

设  $G_1=(V_1,E_1)$  与  $G_2=(V_2,E_2)$  是两个图,  $G_1$  与  $G_2$  的叉积图定义为:  $G_1 \times G_2 = (V, E)$ , 其中  $V = V_1 \times V_2 = \{(u_i, \nu_j) \mid \forall u_i \in V_1, \nu_j \in V_2\}$  且  $E = \{((u_1, \nu_1), (u_2, \nu_2)) \mid \forall (u_1, \nu_1), (u_2, \nu_2) \in V, (u_1, \nu_1) \in E_1 \text{ 且 } (\nu_1, \nu_2) \in E_2\}$

注意到任意图  $G$  的平衡指标集为非负整数集合。为了书写的方便, 对于非负整数  $a, b$  且  $a < b$ , 通常用  $[a, b]$  来表示  $[a, b]$  的所有整数, 即若  $BI(G) = [a, b]$ , 则  $BI(G) = \{a, a+1, \dots, b-1, b\}$ 。

$K_{m,n}$  为完全二部图,  $C_n$  为  $n$  个顶点的圈,  $P_n$  为  $n$  个顶点的路,  $W_n$  为  $n$  个顶点的轮图。在参考文献[4-5]中给出  $C_m \times C_n$  和  $P_2 \times P_n$  的平衡指标集。

## 2 若干叉积图的平衡指标集

定理 2.1  $BI(W_m \times W_m) =$

$$\begin{cases} \{2\} & m=2, \\ \{0\} & m=3, \\ \left\{0, (m-3), 2(m-3), \dots, \frac{7m+3}{2}(m-3)\right\} & m>3 \text{ 且 } m \text{ 为奇数} \\ \left\{\left|\frac{m-3}{2} \pm \frac{9}{2}\right|, \left|\frac{3(m-3)}{2} \pm \frac{9}{2}\right|, \dots, \left|\frac{(7m+3)(m-3)}{2} \pm \frac{9}{2}\right|\right\} & m>3 \text{ 且 } m \text{ 为偶数} \end{cases}$$

证明: (1)  $m=2$  时  $W_2 \times W_2$  是 4-正则图。

$$B_g(W_2 \times W_2) = \frac{4}{2}(\nu_g^+ - \nu_g^-)$$

$W_2 \times W_2$  共有 9 个点, 设  $g$  为友好标号, 则  $V_g^+ - V_g^- = \pm 1$ 。

$B_g(W_2 \times W_2) \in \{\pm 2\}$  故  $BI(W_2 \times W_2) = \{2\}$ 。

(2)  $m=3$  时,  $W_3 \times W_3$  是 9-正则图。

$$B_g(W_3 \times W_3) = \frac{9}{2}(\nu_g^+ - \nu_g^-)$$

$W_3 \times W_3$  共有 6 个点, 设  $g$  为友好标号, 则  $V_g^+ - V_g^- = 0$ 。

$B_g(W_3 \times W_3) = 0$ . 故  $BI(W_3 \times W_3) = \{0\}$ 。

(3)  $m \geq 4$  时,  $W_m \times W_m$  是  $(9, 3m, m^2)$ -正则图, 其中 9 度点有  $m^2$  个,  $3m$  度点有  $2m$  个,  $m^2$  度点有 1 个。

设  $r=9, s=3m, t=m^2$ , 则

$$B_g(W_m \times W_m) =$$

$$\frac{r}{2}(V_g^+ - V_g^-) + \frac{s-r}{2}(V_{g,s}^+ - V_{g,s}^-) + \frac{t-r}{2}(V_{g,t}^+ - V_{g,t}^-) =$$

$$\frac{9}{2}(V_g^+ - V_g^-) + \frac{3m-9}{2}(2V_{g,3m}^+ - 2m) + \frac{m^2-9}{2}(2V_{g,m^2}^+ - 1) =$$

$$\frac{9}{2}(V_g^+ - V_g^-) + 3(m-3)(V_{g,3m}^+ - m) + (m^2-9)(V_{g,m^2}^+ - \frac{1}{2}),$$

其中:  $V_{g,3m}^+ \in [0, 2m], V_{g,m^2}^+ \in [0, 1]$ 。

$W_m \times W_m$  共有  $(m+1)^2$  个点, 由于  $m \geq 4$  时,  $m^2 \geq 2m+1$ 。

因此,  $V_{g,3m}^+ \in [0, 2m], V_{g,m^2}^+ \in [0, 1]$  且  $V_{g,3m}^+, V_{g,m^2}^+$  取遍每一个值,  $W_m \times W_m$  都存在友好标号。

当  $(m+1)^2$  为偶数时, 即  $m$  为奇数时, 设  $g$  为友好标号, 则  $V_g^+ - V_g^- = 0$ 。

$$B_g(W_m \times W_m) = 3(m-3)(V_{g,3m}^+ - m) + (m^2-9)(V_{g,m^2}^+ - \frac{1}{2}).$$

故

$$B_g(W_m \times W_m) \in \left\{ 0, \pm(m-3), \pm 2(m-3), \dots, \pm \frac{7m+3}{2}(m-3) \right\}.$$

故

$$BI(W_m \times W_m) \in \left\{ 0, m-3, 2(m-3), \dots, \frac{7m+3}{2}(m-3) \right\}.$$

当  $(m+1)^2$  为奇数时, 即  $g$  为偶数时, 设  $g$  为友好标号,

则  $V_g^+ - V_g^- = \pm 1$ .

$$B_g(W_m \times W_m) = \pm \frac{9}{2} + 3(m-3)(V_{g,3m}^+ - m) + (m^2-9)(V_{g,m^2}^+ - \frac{1}{2}).$$

故  $B_g(W_m \times W_m) \in$

$$\left\{ \pm \frac{9}{2} \pm \frac{1}{2}(m-3), \pm \frac{9}{2} \pm \frac{3}{2}(m-3), \dots, \pm \frac{9}{2} \pm \frac{7m+3}{2}(m-3) \right\}.$$

故  $B_g(W_m \times W_m) \in$

$$\left\{ \pm \left[ \frac{m-3}{2} \pm \frac{9}{2} \right], \pm \left[ \frac{3(m-3)}{2} \pm \frac{9}{2} \right], \dots, \pm \left[ \frac{(7m+3)(m-3)}{2} \pm \frac{9}{2} \right] \right\}$$

故  $BI(W_m \times W_m) \in$

$$\left\{ \left| \frac{1}{2}(m-3) \pm \frac{9}{2} \right|, \left| \frac{3(m-3)}{2} \pm \frac{9}{2} \right|, \dots, \left| \frac{(7m+3)(m-3)}{2} \pm \frac{9}{2} \right| \right\}.$$

**定理 2.2**  $BI(C_m \times C_n) =$

$$\begin{cases} \{0\} & m=n=2, \\ \{0\} & n=2, m \geq 3, \\ \{0\} & m \geq n \geq 3 \text{ 且 } nm \text{ 为偶数} \\ \{2\}, & m \geq n \geq 3 \text{ 且 } nm \text{ 为奇数} \end{cases}$$

证明: (1)  $m=n=2$  时,  $C_2 \times C_2$  共有 4 个点, 每个点都是 1 度, 则

$$B_g(C_2 \times C_2) = \frac{1}{2}(V_g^+ - V_g^-) = 0. \text{ 故 } BI(C_2 \times C_2) = \{0\}.$$

(2)  $n=2$  且  $m \geq 3$  时,  $C_m \times C_2$  是 2-正则图, 则

$$B_g(C_m \times C_2) = \frac{2}{2}(V_g^+ - V_g^-).$$

$C_m \times C_2$  共有  $2m$  个点, 设  $g$  为友好标号, 则  $V_g^+ - V_g^- = 0$ .

故  $B_g(C_m \times C_2) = 0$ . 故  $BI(C_m \times C_2) = \{0\}$ .

(3)  $m \geq n \geq 3$  时,  $C_m \times C_n$  是 4-正则图, 则

$$B_g(C_m \times C_n) = \frac{4}{2}(V_g^+ - V_g^-).$$

$C_m \times C_n$  共有  $nm$  个点, 当  $nm$  为偶数时, 设  $g$  为友好标号, 则  $V_g^+ - V_g^- = 0, B_g(C_m \times C_n) = 0$ . 故  $BI(C_m \times C_n) = \{0\}$ .

当  $nm$  为奇数时, 设  $g$  为友好标号, 则  $V_g^+ - V_g^- = \pm 1$ .

$B_g(C_m \times C_n) \in \{\pm 2\}$  故  $BI(C_m \times C_n) = \{2\}$ .

**定理 2.3**  $BI(K_{1,m} \times K_{1,m}) =$

$$\begin{cases} [0, 4] & m=2, \\ \left\{ 0, (m-1), 2(m-3), \dots, \frac{3m+1}{2}(m-1) \right\} & m \geq 3 \text{ 且 } m \text{ 为奇数} \\ \left\{ \left| \frac{m-1}{2} \pm \frac{1}{2} \right|, \left| \frac{3(m-1)}{2} \pm \frac{1}{2} \right|, \dots, \left| \frac{(3m+1)(m-1)}{2} \pm \frac{1}{2} \right| \right\}, & m \geq 3 \text{ 且 } m \text{ 为奇数} \end{cases}$$

证明: (1)  $m=2$  时,  $K_{1,2} = P_3$ .

易证:  $BI(P_3 \times P_3) = [0, 4]$ .

(2)  $m \geq 3$  时,  $K_{1,m} \times K_{1,m}$  是  $(1, m, m^2)$ -正则图, 其中 1 度点有  $m^2$  个,  $m$  度点有  $2m$  个,  $m^2$  度点有 1 个.

设  $r=1, s=m, t=m^2$  则

$$B_g(K_{1,m} \times K_{1,m}) =$$

$$\frac{r}{2}(V_g^+ - V_g^-) + \frac{s-r}{2}(V_{gs}^+ - V_{gs}^-) + \frac{t-r}{2}(V_{gt}^+ - V_{gt}^-) =$$

$$\frac{1}{2}(V_g^+ - V_g^-) + \frac{m-1}{2}(2V_{gm}^+ - 2m) + \frac{m^2-1}{2}(2V_{g,m^2}^+ - 1) =$$

$$\frac{1}{2}(V_g^+ - V_g^-) + (m-1)(V_{gm}^+ - m) + (m^2-1)(V_{g,m^2}^+ - \frac{1}{2})$$

其中:  $V_{gm}^+ \in [0, 2m], V_{g,m^2}^+ \in [0, 1]$ .

$K_{1,m} \times K_{1,m}$  共有  $(m+1)^2$  个点, 由于  $m \geq 3$  时,  $m^2 \geq 2m+1$ .

因此,  $V_{gm}^+ \in [0, 2m], V_{g,m^2}^+ \in [0, 1]$  且  $V_{gm}^+, V_{g,m^2}^+$  取遍每一个值,  $K_{1,m} \times K_{1,m}$  都存在友好标号.

当  $(m+1)^2$  为偶数时, 即  $m$  为奇数, 设  $g$  为友好标号, 则  $V_g^+ - V_g^- = 0$ .

$$B_g(K_{1,m} \times K_{1,m}) = (m-1)(V_{gm}^+ - m) + (m^2-1)(V_{g,m^2}^+ - \frac{1}{2}).$$

$$\text{故 } B_g(K_{1,m} \times K_{1,m}) \in \left\{ 0, \pm(m-1), \pm 2(m-1), \dots, \pm \frac{3m+1}{2}(m-1) \right\}.$$

$$\text{故 } BI(K_{1,m} \times K_{1,m}) = \left\{ 0, m-1, 2(m-1), \dots, \frac{3m+1}{2}(m-1) \right\}.$$

当  $(m+1)^2$  为奇数时, 即  $m$  为偶数, 设  $g$  为友好标号,

则  $V_g^+ - V_g^- = \pm 1$ .

$$B_g(K_{1,m} \times K_{1,m}) = \pm \frac{1}{2}(m-1)(V_{gm}^+ - m) + (m^2-1)(V_{g,m^2}^+ - \frac{1}{2})$$

故  $B_g(K_{1,m} \times K_{1,m}) \in$

$$\left\{ \pm \frac{m-1}{2} \pm \frac{1}{2}, \pm \frac{3(m-1)}{2} \pm \frac{1}{2}, \dots, \pm \frac{(3m+1)(m-1)}{2} \pm \frac{1}{2} \right\}$$

故  $BI(K_{1,m} \times K_{1,m}) \in$

$$\left\{ \left| \frac{m-1}{2} \pm \frac{1}{2} \right|, \left| \frac{3(m-1)}{2} \pm \frac{1}{2} \right|, \dots, \left| \frac{(3m+1)(m-1)}{2} \pm \frac{1}{2} \right| \right\}.$$

引理 2.1 设  $A \geq 2$  为一正整数,则

$$\{2a+3b \mid a, b \in Z, 0 \leq a \leq A, 0 \leq b \leq b_0\}$$

$$= [0, 2A+3b_0] \setminus \{1, 2A+b_0-1\}.$$

证明:用数学归纳法来证.

(1)当  $A=2$  时,  $2a=0, 2, 4$ , 则  $2a+3b$  可以取  $0, 2, 4 (b=0); 3, 5, 7 (b=1); 6, 8, 10 (b=2); 9, 11, 13 (b=3); 12, 14, 16 (b=4) \dots 3b_0-6, 3b_0-4, 3b_0-2 (b=b_0-2); 3b_0-3, 3b_0-1, 3b_0+1 (b=b_0-1); 3b_0, 3b_0+2, 3b_0+4 (b=b_0)$ .

因此,  $2a+3b$  取遍了  $0, 2, 3, 4, 5, 6 \dots, 3b_0-3, 3b_0-2, 3b_0-1, 3b_0, 3b_0+1, 3b_0+2, 3b_0+4$ . 故此时结论成立.

(2) 假设结论对  $A \leq k-1$  成立, 下证结论对  $A=k$  也成立.

当  $a < k$  时,  $2a+3b$  可以取  $0, 2, 3, \dots, 2(k-1)+3b_0-2, 2(k-1)+3b_0$ .

当  $a=k$  时,  $2a+3b$  可以取  $2k, 2k+3, 2k+6, \dots, 2k+3(b_0-1), 2k+3b_0$ .

故  $2a+3b$  所有可能的取值为  $0, 2, 3, \dots, 2k+3b_0-3, 2k+3b_0-2, 2k+3b_0$  所以命题成立.

定理 2.4  $BI(K_{2,m} \times K_{1,m}) =$

$$\begin{cases} \{0, 1\} & m=1, \\ \{0, 2, 4\} & m=2, \\ [0, 10] & m=3, \\ [0, 53] \setminus \{52\} & m=5, \\ [0, 3m^2-4m-2] & m \geq 4 \text{ 且 } m \neq 5, \end{cases}$$

证明: (1)  $m=1$  时,  $P_3 \times P_2$  是 (1,2) 正则图, 其中 1 度点有 4 个, 2 度点有 2 个. 设  $r=1, s=2$  则

$$B_g(P_3 \times P_2) = \frac{r}{2}(V_g^+ - V_g^-) + \frac{s-r}{2}(V_{gs}^+ - V_{gs}^-) = \frac{1}{2}(V_g^+ - V_g^-) + \frac{2-1}{2}(2V_{g,2}^+ - 2) = \frac{1}{2}(V_g^+ - V_g^-) + (V_{g,2}^+ - 1),$$

其中:  $V_{g,2}^+ \in [0, 2]$ .

$P_3 \times P_2$  共有 6 个点, 由于  $4 > 2$ .

因此  $V_{g,2}^+ \in [0, 2]$ , 且  $V_{g,2}^+$  取遍每一个值,  $P_3 \times P_2$  都存在友好标号.

设  $g$  为友好标号, 则  $V_g^+ - V_g^- = 0$ .  $B_g(P_3 \times P_2) = V_{g,2}^+ - 1$ .

故  $B_g(P_3 \times P_2) \in [-1, 1]$ . 故  $BI(P_3 \times P_2) = \{0, 1\}$ .

(2)  $m=2$  时,  $K_{2,2} \times K_{1,2}$  是 (2,4)-正则图, 其中 2 度点有 8 个, 4 度点有 4 个.

设  $r=2, s=4$  则

$$B_g(K_{2,2} \times K_{1,2}) = \frac{r}{2}(V_g^+ - V_g^-) + \frac{s-r}{2}(V_{gs}^+ - V_{gs}^-) = \frac{2}{2}(V_g^+ - V_g^-) + \frac{4-2}{2}(2V_{g,4}^+ - 4) = \frac{1}{2}(V_g^+ - V_g^-) + 2(V_{g,4}^+ - 2),$$

其中:  $V_{g,4}^+ \in [0, 4]$ .

$K_{2,2} \times K_{1,2}$  共有 12 个点, 由于  $8 > 4$ .

因此,  $V_{g,4}^+ \in [0, 4]$  且  $V_{g,4}^+$  取遍每一个值时,  $K_{2,2} \times K_{1,2}$  都存在友好标号.

设  $g$  为友好标号, 则  $V_g^+ - V_g^- = 0$ .

$$B_g(K_{2,2} \times K_{1,2}) = 2(V_{g,4}^+ - 2).$$

故  $B_g(K_{2,2} \times K_{1,2}) \in \{0, \pm 2, \pm 4\}$ . 故  $BI(K_{2,2} \times K_{1,2}) = \{0, 2, 4\}$ .

(3)  $m=3$  时,  $K_{2,3} \times K_{1,3}$  是 (2,3,9)-正则图, 其中 2 度点有 12 个, 3 度点有 6 个, 9 度点有 2 个.

设  $r=2, s=3, t=9$ , 则

$$B_g(K_{2,3} \times K_{1,3}) = \frac{r}{2}(V_g^+ - V_g^-) + \frac{s-r}{2}(V_{gs}^+ - V_{gs}^-) + \frac{t-r}{2}(V_{gt}^+ - V_{gt}^-) = \frac{2}{2}(V_g^+ - V_g^-) + \frac{3-2}{2}(2V_{g,3}^+ - 6) + \frac{9-2}{2}(2V_{g,9}^+ - 2) = V_g^+ - V_g^- + (V_{g,3}^+ - 3) + 7(V_{g,9}^+ - 1)$$

其中:  $V_{g,3}^+ \in [0, 6], V_{g,9}^+ \in [0, 2]$ .

$K_{2,3} \times K_{1,3}$  共有 20 个点, 由于  $12 > 6+2$ .

因此,  $V_{g,3}^+ \in [0, 6], V_{g,9}^+ \in [0, 2]$  且  $V_{g,3}^+, V_{g,9}^+$  取遍每一个值时,  $K_{2,3} \times K_{1,3}$  都存在友好标号.

设  $g$  为友好标号, 则  $V_g^+ - V_g^- = 0$ .

$$B_g(K_{2,3} \times K_{1,3}) = V_{g,3}^+ - 3 + 7(V_{g,9}^+ - 1).$$

故  $B_g(K_{2,3} \times K_{1,3}) \in [-10, 10]$ . 故  $BI(K_{2,3} \times K_{1,3}) = [0, 10]$ .

(4)  $m \geq 4$  时,  $K_{2,m} \times K_{1,m}$  是  $(2, m, 2m, m^2)$  正则图, 其中 2 度点有  $m^2$  个,  $m$  度点有  $2m$  个,  $2m$  度点有  $m$  个,  $m^2$  度点有 2 个.

设  $r=2, s=m, t=2m, y=m^2$ , 则

$$\begin{aligned} B_g(K_{2m} \times K_{1m}) &= \\ \frac{r}{2}(V_g^+ - V_g^-) + \frac{s-r}{2}(V_{gs}^+ - V_{gs}^-) + \frac{t-r}{2}(V_{gt}^+ - V_{gt}^-) \\ &+ \frac{y-r}{2}(V_{gy}^+ - V_{gy}^-) = \\ \frac{2}{2}(V_g^+ - V_g^-) + \frac{m-2}{2}(2V_{gm}^+ - 2m) + \frac{2m-2}{2}(2V_{g2m}^+ - m) + \\ \frac{m^2-2}{2}(2V_{gm^2}^+ - 2) = \\ V_g^+ - V_g^- + (m-2)(V_{gm}^+ - m) + 2(m-2)(V_{g2m}^+ - \frac{m}{2}) + (m^2-2) \\ (V_{gm^2}^+ - 1), \end{aligned}$$

其中:  $V_{gm}^+ \in [0, 2m], V_{g2m}^+ \in [0, m], V_{gm^2}^+ \in [0, 2]$ 。

$K_{2m} \times K_{1m}$  共有  $m^2+3m+2$  个点, 由于  $m \geq 4$  时,  $m^2 \geq 2m+m+2$ 。

因此,  $V_{gm}^+ \in [0, 2m], V_{g2m}^+ \in [0, m], V_{gm^2}^+ \in [0, 2]$ 。且  $V_{gm}^+, V_{g2m}^+, V_{gm^2}^+$  取遍每一个值时,  $K_{2m} \times K_{1m}$  都存在友好标号。

又  $m^2+3m+2$  为偶数, 设  $g$  为友好标号, 则  $V_g^+ - V_g^- = 0$ 。

$$\begin{aligned} B_g(K_{2m} \times K_{1m}) &= \\ (m-2)(V_{gm}^+ - m) + 2(m-2)(V_{g2m}^+ - \frac{m}{2}) + (m^2-2)(V_{gm^2}^+ - 1) = \\ (m-2) \left[ V_{gm}^+ - m + 2(V_{g2m}^+ - \frac{m}{2}) + (m+2)V_{gm^2}^+ - 1 \right] + 2(V_{gm^2}^+ - 1). \end{aligned}$$

当  $m-2=3$  即  $m=5$  时

$$\begin{aligned} B_g(K_{2,5} \times K_{1,5}) &= \\ 3 \left[ V_{g,5}^+ - 5 + 2(V_{g,10}^+ - \frac{5}{2}) + 7(V_{g,25}^+ - 1) \right] + 2(V_{g,25}^+ - 1) \end{aligned}$$

故  $B_g(K_{2,5} \times K_{1,5}) \in [-53, 53] \setminus \{-52, 52\}$ 。故  $BI(K_{2,5} \times K_{1,5}) = [0, 53] \setminus \{52\}$ 。

当  $m-2 \neq 3$  即  $m \neq 5$  时

$$\begin{aligned} B_g(K_{2m} \times K_{1m}) &= \\ (m-2)(V_{gm}^+ - m) + 2(m-2)(V_{g2m}^+ - \frac{m}{2}) + (m^2-2)(V_{gm^2}^+ - 1) \end{aligned}$$

故  $B_g(K_{2m} \times K_{1m}) \in [-(3m^2-4m-2), 3m^2-4m-2]$ 。

故  $BI(K_{2m} \times K_{1m}) = [0, 3m^2-4m-2]$

### 定理 2.5

$$BI(K_{2m} \times K_{2m}) =$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} [0, 4] & m=1, \\ \{0\} & m=2, \\ [0, 18] \setminus \{17\} & m=3, \\ \{0, 4, 8, 12, \dots, 32, 36, 40\} & m=5, \\ \{0, (m-2), 2(m-2), \dots, (6m+4)(m-2)\} & m \geq 5 \text{ 且 } m \text{ 为偶数,} \\ \{2, |(m-2) \pm 2|, |2(m-2) \pm 2|, \dots, |(6m+4)(m-2) \pm 2|\} & m \geq 5 \text{ 且 } m \text{ 为奇数} \end{array} \right.$$

证明: (1)  $m=1$  时,  $P_3 \times P_3$  是  $(2, 1, 4)$ -正则图, 其中 2 度点有 4 个, 1 度点有 4 个, 4 度点有 1 个。

设  $r=2, s=1, t=4$ , 则

$$\begin{aligned} B_g(P_3 \times P_3) &= \\ \frac{r}{2}(V_g^+ - V_g^-) + \frac{s-r}{2}(V_{gs}^+ - V_{gs}^-) + \frac{t-r}{2}(V_{gt}^+ - V_{gt}^-) = \\ \frac{2}{2}(V_g^+ - V_g^-) + \frac{1-2}{2}(2V_{g1}^+ - 4) + \frac{4-2}{2}(2V_{g4}^+ - 1) = \\ V_g^+ - V_g^- + (V_{g1}^+ - 2) + 2(V_{g4}^+ - \frac{1}{2}) \end{aligned}$$

其中:  $V_{g1}^+ \in [0, 4], V_{g4}^+ \in [0, 1]$ 。

$P_3 \times P_3$  共有 9 个点, 由于  $4=4+1-1$ , 因此:

① 当  $V_g^+ - V_g^- = 1$  时,  $V_{g1}^+ \in [0, 4], V_{g4}^+ \in [0, 1]$  且  $V_{g1}^+, V_{g4}^+$  取遍每一个值,  $P_3 \times P_3$  都存在友好标号。

② 当  $V_g^+ - V_g^- = -1$  时,  $V_{g1}^+ \in [0, 4], V_{g4}^+ \in [0, 1]$  且  $V_{g1}^+ = 4, V_{g4}^+ = 1$  不能同时成立时,  $P_3 \times P_3$  都存在友好标号。

设  $g$  为友好标号, 则  $V_g^+ - V_g^- = \pm 1$ 。

$$B_g(P_3 \times P_3) = \pm 1 - (V_{g1}^+ - 2) + 2(V_{g4}^+ - \frac{1}{2}).$$

故  $B_g(P_3 \times P_3) \in [-4, 4]$ 。

故  $BI(P_3 \times P_3) = [0, 4]$ 。

(2)  $m=2$  时,  $K_{2,2} \times K_{2,2}$  是 4-正则图。

$$B_g(K_{2,2} \times K_{2,2}) = \frac{r}{2}(V_g^+ - V_g^-) = \frac{4}{2}(V_g^+ - V_g^-).$$

$K_{2,2} \times K_{2,2}$  共有 16 个点, 设  $g$  为友好标号, 则  $V_g^+ - V_g^- = 0$ ,  $B_g(K_{2,2} \times K_{2,2}) = 0$ , 故  $BI(K_{2,2} \times K_{2,2}) = \{0\}$ 。

(3)  $m=3$  时,  $K_{2,3} \times K_{2,3}$  是  $(6, 4, 9)$ -正则图, 其中 6 度点有 12 个, 4 度点有 9 个, 9 度点有 4 个。

设  $r=6, s=4, t=9$  则

$$\begin{aligned}
& B_g(K_{2,3} \times K_{2,3}) = \\
& \frac{r}{2}(V_g^+ - V_g^-) + \frac{s-r}{2}(V_{g,s}^+ - V_{g,s}^-) + \frac{t-r}{2}(V_{g,t}^+ - V_{g,t}^-) = \\
& \frac{6}{2}(V_g^+ - V_g^-) + \frac{4-6}{2}(2V_{g,4}^+ - 9) + \frac{9-6}{2}(2V_{g,9}^+ - 4) = \\
& 3(V_g^+ - V_g^-) - 2(V_{g,4}^+ - \frac{9}{2}) + 3(V_{g,9}^+ - 2)
\end{aligned}$$

其中:  $V_{g,4}^+ \in [0,9], V_{g,9}^+ \in [0,4]$ 。

$K_{2,3} \times K_{2,3}$  共有 25 个点, 由于  $12=9+4-1$ , 因此:

① 当  $V_g^+ - V_g^- = 1$  时,  $V_{g,4}^+ \in [0,9], V_{g,9}^+ \in [0,4]$  且  $V_{g,4}^+, V_{g,9}^+$  取遍每一个值时,  $K_{2,3} \times K_{2,3}$  都存在友好标号。

② 当  $V_g^+ - V_g^- = -1$  时,  $V_{g,4}^+ \in [0,9], V_{g,9}^+ \in [0,4]$  且  $V_{g,4}^+ = 9, V_{g,9}^+ = 4$  不能同时成立时,  $K_{2,3} \times K_{2,3}$  都存在友好标号。

设  $g$  为友好标号, 则  $V_g^+ - V_g^- = \pm 1$ 。

$$B_g(K_{2,3} \times K_{2,3}) = \pm 3 - 2(V_{g,4}^+ - \frac{9}{2}) + 3(V_{g,9}^+ - 2)。$$

故  $B_g(K_{2,3} \times K_{2,3}) \in [-18, 18] \setminus \{17\}$ 。

故  $BI(K_{2,3} \times K_{2,3}) \in [0, 18] \setminus \{17\}$ 。

(4)  $m=4$  时,  $K_{2,4} \times K_{2,4}$  是  $(4, 8, 16)$ -正则图, 其中 4 度点有 16 个, 8 度点有 16 个, 16 度点有 4 个。

设  $r=4, s=8, t=16$ , 则

$$\begin{aligned}
& B_g(K_{2,4} \times K_{2,4}) = \\
& \frac{r}{2}(V_g^+ - V_g^-) + \frac{s-r}{2}(V_{g,s}^+ - V_{g,s}^-) + \frac{t-r}{2}(V_{g,t}^+ - V_{g,t}^-) = \\
& \frac{4}{2}(V_g^+ - V_g^-) + \frac{8-4}{2}(2V_{g,8}^+ - 16) + \frac{16-4}{2}(2V_{g,16}^+ - 4) = \\
& 2(V_g^+ - V_g^-) + 4(V_{g,8}^+ - 8) + 12(V_{g,16}^+ - 2),
\end{aligned}$$

其中:  $V_{g,8}^+ \in [0, 16], V_{g,16}^+ \in [0, 4]$ 。

$K_{2,4} \times K_{2,4}$  共有 36 个点, 设  $g$  为友好标号, 则  $V_g^+ - V_g^- = 0$ 。

由于  $16 < 16 + 4$ , 因此,  $V_{g,8}^+ \in [0, 16], V_{g,16}^+ \in [0, 4]$  且  $V_{g,8}^+, V_{g,16}^+$  取遍每一个值时,  $K_{2,4} \times K_{2,4}$  会出现不友好标号, 因此要分情况具体讨论如下:

① 当  $V_{g,8}^+ = 0$  且  $V_{g,16}^+ \in [2, 4]$  时, 存在友好标号。

$$\begin{aligned}
& B_g(K_{2,4} \times K_{2,4}) = \\
& 4(V_{g,8}^+ - 8) + 12(V_{g,16}^+ - 2) =
\end{aligned}$$

$$4(0-8) + 12(V_{g,16}^+ - 2) =$$

$$-32 + 12(V_{g,16}^+ - 2)$$

故  $B_g(K_{2,4} \times K_{2,4}) \in \{-32, -20, -8\}$ 。

② 当  $V_{g,8}^+ = 1$  且  $V_{g,16}^+ \in [1, 4]$  时, 存在友好标号。

$$B_g(K_{2,4} \times K_{2,4}) =$$

$$4(V_{g,8}^+ - 8) + 12(V_{g,16}^+ - 2) =$$

$$-28 + 12(V_{g,16}^+ - 2)$$

故  $B_g(K_{2,4} \times K_{2,4}) \in \{-40, -28, -16, -4\}$ 。

③ 当  $V_{g,8}^+ \in [2, 14]$  且  $V_{g,16}^+ \in [0, 4]$  时, 存在友好标号。

$$B_g(K_{2,4} \times K_{2,4}) =$$

$$4(V_{g,8}^+ - 8) + 12(V_{g,16}^+ - 2) =$$

$$4[V_{g,8}^+ - 8 + 3(V_{g,16}^+ - 2)]$$

故  $B_g(K_{2,4} \times K_{2,4}) \in \{0, \pm 4, \pm 18, \pm 12, \pm 16, \pm 20, \pm 24, \pm 28, \pm 32, \pm 36, \pm 40\}$ 。

④ 当  $V_{g,8}^+ = 15$  且  $V_{g,16}^+ \in [0, 3]$  时, 存在友好标号。

$$B_g(K_{2,4} \times K_{2,4}) = 4(V_{g,8}^+ - 8) + 12(V_{g,16}^+ - 2) = 28 + 12(V_{g,16}^+ - 2)。$$

故  $B_g(K_{2,4} \times K_{2,4}) \in \{4, 16, 28, 40\}$ 。

⑤ 当  $V_{g,8}^+ = 16$  且  $V_{g,16}^+ \in [0, 2]$  时, 存在友好标号。

$$B_g(K_{2,4} \times K_{2,4}) = 4(V_{g,8}^+ - 8) + 12(V_{g,16}^+ - 2) = 32 + 12(V_{g,16}^+ - 2)。$$

故  $B_g(K_{2,4} \times K_{2,4}) \in \{8, 20, 32\}$ 。

因此,  $BI(K_{2,4} \times K_{2,4}) \in \{0, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40\}$ 。

(5) 当  $m \geq 5$ ,  $K_{2,m} \times K_{2,m}$  是  $(4, 2m, m^2)$ -正则图, 其中 4 度点有  $m^2$  个,  $2m$  度点有  $4m$  个,  $m^2$  度点有 4 个。

设  $r=4, s=2m, t=m^2$ , 则

$$B_g(K_{2,m} \times K_{2,m}) =$$

$$\frac{r}{2}(V_g^+ - V_g^-) + \frac{s-r}{2}(V_{g,s}^+ - V_{g,s}^-) + \frac{t-r}{2}(V_{g,t}^+ - V_{g,t}^-) =$$

$$\frac{4}{2}(V_g^+ - V_g^-) + \frac{2m-4}{2}(2V_{g,2m}^+ - 4m) + \frac{m^2-4}{2}(2V_{g,m^2}^+ - 4) =$$

$$2(V_g^+ - V_g^-) + 2(m-2)(V_{g,2m}^+ - 2m) + (m^2-4)(V_{g,m^2}^+ - 2),$$

其中:  $V_{g,2m}^+ \in [0, 4m], V_{g,m^2}^+ \in [0, 4]$ 。

$K_{2,m} \times K_{2,m}$  共有  $m^2 + 4m + 4$  个点, 由于  $m \geq 5$  时,  $m^2 \geq 4m + 4$ 。

因此,  $V_{g,2m}^+ \in [0, 4m], V_{g,m^2}^+ \in [0, 4]$  且  $V_{g,2m}^+, V_{g,m^2}^+$  取遍每

一个值时,  $K_{2m} \times K_{2m}$  都存在友好标号。

当  $m^2+4m+4$  为偶数时, 即  $m$  为偶数时, 设  $g$  为友

好标号, 则  $V_g^+ - V_g^- = 0$ 。

$$B_g(K_{2m} \times K_{2m}) =$$

$$2(m-2)(V_{g,2m}^+ - 2m) + (m^2-4)(V_{g,m}^+ - 2) =$$

$$2(m-2) \left[ (V_{g,2m}^+ - 2m) + \frac{m+2}{2}(V_{g,m}^+ - 2) \right]。$$

故  $B_g(K_{2m} \times K_{2m}) \in \{0, \pm(2m-4), \pm 2(2m-4), \dots, \pm(3m+2)(2m-4)\}。$

故  $BI(K_{2m} \times K_{2m}) \in \{0, 2m-4, 2(2m-4), \dots, (3m+2)(2m-4)\}。$

当  $m^2+4m+4$  为奇数时, 即  $m$  为奇数时, 设  $g$  为友好标

号, 则  $V_g^+ - V_g^- = \pm 1$ 。

$$B_g(K_{2m} \times K_{2m}) =$$

$$\pm 2 + 2(m-2)(V_{g,2m}^+ - 2m) + (m^2-4)(V_{g,m}^+ - 2) =$$

$$\pm 2 + (m-2) \left[ 2(V_{g,2m}^+ - 2m) + (m+2)(V_{g,m}^+ - 2) \right]。$$

故  $B_g(K_{2m} \times K_{2m}) \in \{\pm 2, \pm(m-2)\pm 2, \pm 2(m-2)\pm 2, \dots, \pm(6m+4)(m-2)\pm 2\}。$

故  $BI(K_{2m} \times K_{2m}) \in \{2, |(m-2)\pm 2|, |2(m-2)\pm 2|, \dots, |(6m+4)(m-2)\pm 2|\}。$

### 3 结论

通过证明得到  $W_n \times W_n, C_m \times C_n, K_{1,m} \times K_{1,m}, K_{2,m} \times K_{1,m}, K_{2,m} \times K_{2,m}$  叉积图的平衡指标集的准确值。

### 参考文献:

- [1] CAHIT I A weaker version of graceful and harmonious graphs [J]. *Ars Combin*, 1987(23):201-207.
- [2] LEE S M, LIU A, TAN S K. On balanced graphs [J]. *Congr*, 1992(87):59-64.
- [3] SHIU W C, KWONG H. An algebraic approach for finding balance index sets. *Australasian journal of combinatorics*, to appear.
- [4] SHIU W C, LING M H. Full friendly index sets of  $P_2 \times P_n$  [J]. *Discrete Mathematics*, 2008, 308(16):3688-3693.
- [5] SHIU W C, LING M H. Full friendly index sets of Cartesian products of two cycles [J]. *Acta Mathematica Sinica-English Series*, 2010, 26 (7):1233-1244.
- [6] 陈碧英.  $K_{1,m} \square K_{1,m}, K_{m,n+1} \square P_{n+1}, K_{m,n} \square C_t$  笛卡尔乘积图的平衡指标集 [J]. *武夷学院学报*, 2014, 33(2):43-49.

(责任编辑:叶丽娜)

## Balance Index Set of Cross Product Graphs

CHEN Biying

(School of Mathematics and Computer, Wuyi University, Wuyishan, Fujian 3543000)

**Abstract:** We mainly discuss the balance index set of cross product graphs, and exact balance index sets of some cross product graphs are also obtained.

**Key words:** balance index set; balanced labeling; cross product graphs

# 求解可分解强凸优化问题的 FISTA–Barzilai–Borwein 算法

李 星<sup>1</sup>, 邓康康<sup>1</sup>, 李 超<sup>2</sup>

(1.福州大学 数学与计算机科学学院, 福建 福州 350100; 2.武夷学院 数学与计算机科学学院, 福建 武夷山 354300)

**摘 要:**针对一类可分解的强凸优化问题提出一种快速临近 Barzilai–Borwein 算法, 采用 Barzilai–Borwein 步长作为快速迭代收缩/阈值(简称 FISTA–CD)算法中的步长因子, 并给出合适的参数更新准则, 从而加快算法的收敛速度。在适当的假设条件下证明该算法具有  $O(1/k^2)$  的收敛速率, 最后进行初步的数值实验验证算法的有效性。

**关键词:**Barzilai–Borwein 算法; 快速临近梯度算法; 步长因子  $O(1/k^2)$

**中图分类号:** O224    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1674–2109(2019)03–0012–05

近年来, 结构凸优化模型及其算法已经成为机器学习研究的热点, 尤其是非光滑优化技术。更好地利用非光滑项的结构对于一个算法获得良好的性能是至关重要的。考虑如下形式的可分解强凸优化问题

$$\min_{x \in E} F(x) = f(x) + g(x), \quad (1)$$

其中  $E$  为欧氏空间。通篇假设:

(a)  $f: E \rightarrow (-\infty, \infty]$  是强凸函数,  $\text{dom}(f) = \mathbf{R}^n$ , 即存在  $\sigma > 0$ ,

$$f(y) \geq f(x) + \langle \nabla f(x), y-x \rangle + \frac{\sigma}{2} \|y-x\|^2, \quad \forall x, y \in \text{dom}(f)$$

且在  $E$  上梯度  $\nabla f$  是利普希茨连续的, 即存在一个常数  $L_f$ , 使得

$$\| \nabla f(x) - \nabla f(y) \| \leq L_f \|x-y\|, \quad \forall x, y \in \text{dom}(f);$$

(b)  $g: E \rightarrow (-\infty, \infty]$  是闭凸(不一定可微)函数, 且  $\text{dom}(g) \subseteq \text{int}(\text{dom}(f))$ ;

(c) 问题(1)的最优解集  $\Omega^*$  是非空的, 最优值记为  $F_{opt}$ 。

临近梯度算法<sup>[9]</sup>是求解各种非光滑优化问题的常

用方法之一, 具有计算成本低、收敛性强和步长选择广<sup>[4,5,6]</sup>等优势。该算法具有如下迭代格式:

$$x_{k+1} = \arg \min_{x \in E} \left\{ f(x_k) + \langle \nabla f(x_k), x-x_k \rangle + g(x) + \frac{L_k}{2} \|x-x_k\|^2 \right\} \quad (2)$$

其中  $\nabla f(x_k)$  是  $f$  在  $x_k$  处的梯度。

经过简单运算, 并省略常数项, 可将式(2)改写为

$$x_{k+1} = \arg \min_{x \in E} \left\{ \frac{1}{L_k} g(x) + \frac{1}{2} \|x - (x_k - \frac{1}{L_k} \nabla f(x_k))\|^2 \right\}, \quad (3)$$

采用临近点算子, 式(3)写为

$$x_{k+1} = \text{prox}_{\frac{1}{L_k} g} \left( x_k - \frac{1}{L_k} \nabla f(x_k) \right) \quad (4)$$

临近梯度算法仅具有  $O(1/k)$  的收敛速率, 这里  $k$  是迭代次数。Beck 和 Teboulle<sup>[2]</sup>提出了一种快速临近梯度(简称 FISTA)算法, 并证明算法的全局收敛性和目标函数值的收敛速率。虽然 FISTA 算法<sup>[7,8]</sup>可以保证目标函数值具有  $O(1/k^2)$  的收敛速率, 但在实际应用中, 由于它的局部震荡性, 实验效果往往并不理想。为了克服 FISTA 算法的缺陷, Chambolle 和 Dossal<sup>[3]</sup>提出了快速迭代收缩/阈值(简称 FISTA–CD)算法, 通过对参数更新规则的修正, 提高了算法的实现效率, 并证明算法仍具有的收敛速率。2017 年, Beck<sup>[1]</sup>总结了大

收稿日期: 2018–10–15

作者简介: 李星(1993–), 女, 汉族, 硕士研究生, 主要从事最优化的数学理论的研究。

量的一阶优化方法,详细地介绍了不同的可分解优化问题,给出许多有效的求解算法模型,同时证明了算法的全局收敛性和  $O(1/k^2)$  的收敛速率。

#### 算法 1: FISTA-CD 算法

初始化: 给定  $x_0 \in \mathbf{R}^n$ ,  $t_0=1$ , 令  $y_0=x_0$ ,  $\eta=\frac{1}{L_0}$ ,  $d>0$ , 令  $k=0$ ;

执行下列步骤:

1) 令  $x_{k+1}=\text{prox}_{\eta g}(y_k-\eta \nabla f(y_k))$ ;

2) 令  $t_{k+1}=\frac{k+d+1}{d}$ ; (5)

3) 计算  $y_{k+1}=x_{k+1}+(\frac{t_k-1}{t_{k+1}})(x_{k+1}-x_k)$  (6)

4) 令  $k=k+1$ , 返回 1);

直到收敛。

Barzilai-Borwein 算法<sup>[4]</sup>是求解大规模无约束优化问题的重要方法之一,该方法在计算当前迭代步长时充分利用前一步的信息,尝试用一个标量矩阵  $\gamma_k I$  逼近  $B_k$ ,使  $B_k=\gamma_k I$  满足拟牛顿公式,达到较好逼近目标函数在  $x_k$  处的 Hessian 阵的效果。BB 步长具有如下形式

$$\gamma_k = \frac{S_k^T S_k}{S_k^T y_k} \quad (7)$$

其中  $s_k=x_k-x_{k-1}$ ,  $y_k=\nabla f(x_k)-\nabla f(x_{k-1})$ 。

受文献[1,3]的启发,提出一种与 BB 算法相结合的快速逼近 BB(简称 FISTA-BB)算法,主要有两个目的:一是采用 BB 步长作为 FISTA-CD 算法中的步长因子,使其有一个好的初始选择;二是选择合适的更新准则,加快算法的收敛速度。

全文结构如下:第 1 节描述了求解可分解强凸优化问题的 FISTA-BB 算法,并证明该算法具有全局收敛性和  $O(1/k^2)$  的收敛速率;第 2 节通过与当前高效算法进行详细的收敛性能数据比对,从而验证本文所构造的算法的有效性;最后,第 3 节对全文进行总结。

## 1 算法描述及收敛性分析

首先定义逼近梯度算子

$$T_L^{fg}(x) = \text{prox}_{\frac{1}{L}g}\left(x - \frac{1}{L}\nabla f(x)\right)$$

这里  $T_L^{fg}(x): \text{int}(\text{dom}(f)) \rightarrow E(L>0)$ 。

针对问题(1),我们提出一种 FISTA-BB 算法,具体框架如下:

#### 算法 2: FISTA-BB 算法

S0) 初始化: 给定  $x_0 \in \mathbf{R}^n$ , 令  $y_0=x_0$ ,  $k_{\max}>0$ ,  $\varepsilon>0$ ,  $t_0=1$ ,  $L_0>0$ ,  $\rho \in [0,1]$ ,  $0<q<(2-\rho)^2$ ,  $\mu>1$ , 令  $k=0$ ;

S1) 计算  $x_{k+1}$ , 即

$$x_{k+1} = \text{prox}_{\frac{1}{L_k}g}\left(y_k - \frac{1}{L_k}\nabla f(y_k)\right);$$

S2) 计算

$$t_{k+1} = \frac{p + \sqrt{q + 4t_k^2}}{2}; \quad (8)$$

和计算

$$y_{k+1} = x_{k+1} + \left(\frac{t_k-1}{t_{k+1}}\right)(x_{k+1}-x_k);$$

S3) 计算

$$a_{k+1} = \frac{(y_{k+1}-y_k)^T (\nabla f(x_{k+1})-\nabla f(y_k))}{(y_{k+1}-y_k)^T (y_{k+1}-y_k)} \quad (9)$$

令  $L_{k+1}=\mu^{i_k} a_{k+1}$ , 这里的  $i_k$  是满足下述条件的最小非负整数, 即

$$f(T_{L_{k+1}}^{fg}(y_{k+1})) \leq f(y_{k+1}) + \langle \nabla f(y_{k+1}), T_{L_{k+1}}^{fg}(y_{k+1}) - y_{k+1} \rangle + \frac{L_{k+1}}{2} \|T_{L_{k+1}}^{fg}(y_{k+1}) - y_{k+1}\|^2 \quad (10)$$

S4) 当  $k>k_{\max}$  或  $\|y_{k+1}-y_k\|<\varepsilon$  时, 停止迭代; 否则令  $k=k+1$ , 返回 S1)。

为了证明算法的收敛性,先给出如下 3 个引理:

**引理 1:** 假设  $f$  和  $g$  满足 (a) 和 (b), 对于任意的  $x \in E$ ,  $y \in \text{int}(\text{dom}(f))$ , 且  $L>0$  时, 满足

$$f(T_L(y)) \leq f(y) + \langle \nabla f(y), T_L(y) - y \rangle + \frac{L}{2} \|T_L(y) - y\|^2 \quad (11)$$

则有

$$F(x) - F(T_L(y)) \geq \frac{L}{2} \|x - T_L(y)\|^2 - \frac{L}{2} \|x - y\|^2 + \ell_f(x, y) \quad (12)$$

其中

$$\ell_f(x, y) = f(x) - f(y) - \langle \nabla f(y), x - y \rangle.$$

证明: 见文献[1]中第 281 页的定理 10.16。

**引理 2:** 假设  $f$  是强凸函数, 且满足

$$f(T_{L_k}(y_k)) \leq f(y_k) + \langle \nabla f(y_k), T_{L_k}(y_k) - y_k \rangle + \frac{L_k}{2} \|T_{L_k}(y_k) - y_k\|^2, \quad (13)$$

则对于任意的  $k \geq 0$ , 是  $L_k$  有界的, 即

$$\sigma \leq L_k \leq \mu L_f$$

其中  $\sigma > 0, \mu > 1$ 。

证明: 由于  $f$  是强凸函数, 且  $L_k \geq a_k > 0$ , 则有

$$a_k = \frac{(y_k - y_{k-1})^T (\nabla f(x_{k+1}) - \nabla f(y_k))}{(y_k - y_{k-1})^T (y_k - y_{k-1})} \geq \frac{\sigma \|y_k - y_{k-1}\|^2}{(y_k - y_{k-1})^T (y_k - y_{k-1})} = \sigma$$

从而得到  $L_k \geq \sigma$ 。

为了证明  $L_k \leq \mu L_f$ , 根据假设中函数  $f$  的光滑性, 得到

$$a_k = \frac{(y_k - y_{k-1})^T (\nabla f(y_k) - \nabla f(y_{k-1}))}{(y_k - y_{k-1})^T (y_k - y_{k-1})} \leq \frac{\|y_k - y_{k-1}\| \|\nabla f(y_k) - \nabla f(y_{k-1})\|}{(y_k - y_{k-1})^T (y_k - y_{k-1})} \leq L_f$$

用反证法, 假设  $L_k > \mu L_f$ , 等价于  $\mu a_k > \mu L_f$ , 于是有  $\mu^{i_k - 1} a_k > L_f$ , 根据假设中函数  $f$  的光滑性有

$$f(T_{i_k}(y_k)) \leq f(y_k) + \langle \nabla f(y_k), T_{i_k}(y_k) - y_k \rangle + \frac{\mu^{i_k - 1} a_k}{2} \|T_{i_k}(y_k) - y_k\|^2,$$

这和  $i_k$  为满足条件的最小非负整数相违背, 所以有  $\frac{L_k}{\mu} \leq L_f$ , 即有  $L_k \leq \mu L_f$ 。综合得到  $L_k \leq \max\{\mu L_f, L_f\} = \mu L_f$  即证。

引理 3: 当  $q \leq (2-p)^2$  时, 对于如下定义的序列  $\{t_k\}$ ,

$$t_0 = 1, t_{k+1} = \frac{p + \sqrt{q + 4t_k^2}}{2} \quad k \geq 0.$$

下列结论成立: (1)  $t_k \geq \frac{k+2}{2}$ ; (2)  $t_{k+1}^2 - t_k^2 \leq t_k^2$ 。

证明: 见文献[1]的第 292 页的引理 10.33 和第 294 页的备注 10.35。

定理: 设  $\{x_k\}$  由算法 2 产生的迭代点序列, 则当  $k \geq 1$  时, 对于任意的  $x^* \in \Omega^*$ , 有

$$F(x_k) - F_{opt} \leq \frac{2\mu L_f \|x_0 - x^*\|^2}{(k+2)^2} \quad (14)$$

证明: 令  $k \geq 1$ , 采用引理 1, 在式(12)中取  $x = t_k^{-1} x^* + (1 - t_k^{-1}) x_k$ ,  $L = L_k$  和  $y = y_k$  时, 得到

$$F(t_k^{-1} x^* + (1 - t_k^{-1}) x_k) - F(x_{k+1}) \geq \frac{L_k}{2} \|x_{k+1} - (t_k^{-1} x^* + (1 - t_k^{-1}) x_k)\|^2 - \frac{L_k}{2} \|y_k - (t_k^{-1} x^* + (1 - t_k^{-1}) x_k)\|^2$$

$$= \frac{L_k}{2t_k} \|t_k x_{k+1} - (x^* + (t_k - 1)x_k)\|^2 - \frac{L_k}{2t_k} \|t_k y_k - (x^* + (t_k - 1)x_k)\|^2 \quad (15)$$

根据  $F$  的凸性, 有

$$F(t_k^{-1} x^* + (1 - t_k^{-1}) x_k) \leq t_k^{-1} F(x^*) + (1 - t_k^{-1}) F(x_k).$$

对于任意的  $k \geq 0$ , 令  $v_k = F(x_k) - F_{opt}$ , 则

$$F(t_k^{-1} x^* + (1 - t_k^{-1}) x_k) - F(x_{k+1}) \leq (1 - t_k^{-1})(F(x_k) - F(x^*)) - (F(x_{k+1}) - F(x^*)) = (1 - t_k^{-1})v_k - v_{k+1} \quad (16)$$

另一方面, 由  $y_k = x_k + \frac{t_{k-1} - 1}{t_k}(x_k - x_{k-1})$ , 有

$$\|t_k y_k - (x^* + (t_k - 1)x_k)\|^2 = \|t_k y_k + (t_{k-1} - 1)(x_k - x_{k-1}) - (x^* + (t_k - 1)x_k)\|^2 = \|t_{k-1} x_k - (x^* + (t_k - 1)x_{k-1})\|^2 \quad (17)$$

结合(15), (16)和(17), 可以得到

$$(t_k^2 - t_k)v_k - t_k v_{k+1} \geq \frac{L_k}{2} \|u_{k+1}\|^2 - \frac{L_k}{2} \|u_k\|^2$$

这里对于任意的  $k \geq 0$ , 令  $u_k = t_k x_k - (x^* + (t_k - 1)x_{k-1})$

根据  $t_{k+1}$  的更新准则, 有  $t_k^2 - t_k = t_{k-1}^2$ 。因此

$$\frac{2}{L_k} t_{k-1}^2 v_k - \frac{2}{L_k} t_{k-1}^2 v_{k+1} \geq \|u_{k+1}\|^2 - \|u_k\|^2$$

由引理 2 知  $L_k \leq \mu L_f$ , 可以得到

$$t_k^2 v_{k+1} - t_{k-1}^2 v_k \leq \frac{L_k}{2} (\|u_k\|^2 - \|u_{k+1}\|^2) \leq \frac{\mu L_k}{2} (\|u_k\|^2 - \|u_{k+1}\|^2)$$

因此, 对于任意的  $k \geq 1$ , 利用  $u_k$  的定义, 有

$$t_k^2 v_{k+1} - t_0^2 v_1 \leq \frac{\mu L_k}{2} \|u_1\|^2 = \frac{\mu L_k}{2} \|x_1 - x^*\|^2, \quad (18)$$

又知  $t_0 = 1$ , 则

$$\frac{2}{\mu L_f} t_k^2 v_{k+1} \leq \|x_1 - x^*\|^2 + \frac{2}{\mu L_f} v_1 = \|x_1 - x^*\|^2 + \frac{2}{\mu L_f} (F(x_1) - F_{opt}) \quad (19)$$

在式(12)中, 令  $x = x^*$ ,  $y = y_0$  和  $L = L_0$ , 并考虑  $f$  的凸性, 满足

$$\frac{L_0}{2} (F(x^*) - F(x_1)) \geq \|x_1 - x^*\|^2 - \|y_0 - x^*\|^2, \quad (20)$$

对式(20),根据  $y_0=x_0$ , 得到

$$\|x_1-x^*\|^2 + \frac{2}{L_0}(F(x_1)-F_{opt}) \leq \|x_0-x^*\|^2 \quad (21)$$

由于  $L_0 \leq \mu L_f$ , 结合式(19)和(21), 得到

$$\begin{aligned} \frac{2}{\mu L_f} t_k^2 v_{k+1} &\leq \|x_1-x^*\|^2 + \frac{2}{L_0}(F(x_1)-F_{opt}) \\ &\leq \|x_0-x^*\|^2, \end{aligned} \quad (22)$$

对式(22)利用  $v_k$  的定义和引理 3, 得到

$$F(x_k)-F_{opt} \leq \frac{\mu L_k}{2t_k} \|x_0-x^*\|^2 \leq \frac{2\mu L_f}{(k+2)^2} \|x_0-x^*\|^2$$

即证。

## 2 数值实验

为了说明算法的有效性, 下面对本文所提出的 FISTA-BB 算法进行初步的数值实验。测试问题均选自文献[1], 算法的程序采用 Matlab R2016a 编制, 且所有实验在笔记本为 CPU 1.90GHz, RAM 6.00GB 上运行实现。

算例 3.1<sup>[1]</sup>: 求解如下问题

$$\min_{x \in R^n} \frac{1}{2} \|Ax-b\|^2 + \lambda \|x\|_1 \quad (23)$$

算例 3.2<sup>[1]</sup>: 求解如下问题

$$\min_{x \in R^n} \sqrt{1 + \|Ax\|_2^2} + \|Bx+b\|_2 \quad (24)$$

设计如下实验参数:

终止条件:  $\|y_{k+1}-y_k\| < \varepsilon$ ;

参数设定:  $\varepsilon=1.0e-6$ ,  $t_0=1$ ,  $L_0=2$ ,  $\mu=2$ ,  $k_{\max}=10^4$ , 在 FISTA-CD 算法中取  $d=2$ , 在 FISTA-BB 算法中取  $p=0$ ,  $q=4$ ;

实验数据: 算例 3.1 中, 令  $\lambda=0.002$ , 初始点为  $x=\text{ones}(n,1)$ ,  $x=(1:n/4)=0$ ,  $b=A*x$ ; 算例 3.2 中, 初始点为  $x=\text{zeros}(n,1)$ ,  $B=\text{rand}(n,n)$ ,  $b=\text{rand}(n,1)$ , 这里两个算例均取  $A$  为对称正定矩阵, 定义如下

$$\begin{aligned} DD &= 10 * \text{rand}(n,1); DD(n)=10; \\ DD &= [0.01:0.01:n/10]; \\ D &= \text{diag}(DD) \\ U &= \text{orth}(\text{rand}(n,n)) \\ A &= U^* * D * U \end{aligned}$$

通过使用 MATLAB 编程运算得到下面的测试结果, 表 1 和表 2 均列出了在不同的维数下, 分别对算

例 3.1 和算例 3.2 进行求解, 统计 FISTA-CD 算法和 FISTA-BB 算法的迭代次数(iter)和运算时间(cput 以秒为单位)的结果。

表 1 算例 3.1 的数值结果

n	FISTA-CD		FISTA-BB	
	iter	cput	iter	cput
100	1 786	0.85	239	0.24
400	3 776	2.81	434	0.72
800	4 445	8.75	718	3.76
1 200	5 063	21.04	1 120	15.71
1 600	5 728	39.22	1 350	34.02
2 000	6 713	73.57	1 808	63.03

表 2 算例 3.2 的数值结果

n	FISTA-CD		FISTA-BB	
	iter	cput	iter	cput
100	73	2.50	26	1.24
400	85	16.50	38	11.37
800	153	130.11	55	105.32
1 200	182	536.24	65	398.81
1 600	260	1 414.98	76	1 281.25
2 000	363	4 417.62	76	2 435.79

根据上述的数值实验结果可以看出: FISTA-BB 算法能够有效求解本文所考虑的相关问题, 同时在不同维数的情况下, 该算法的迭代次数和运算时间明显优于 FISTA-CD 算法。

## 3 结论

本文提出了求解可分解强凸优化问题 (1) 的 FISTA-BB 算法, 与文献[3] 给出的 FISTA-CD 算法相比, FISTA-BB 算法从很大程度上减少了迭代次数和降低了运算时间. 本文证明了 FISTA-BB 算法具有  $O(1/k^2)$  的收敛速率, 初步数值实验表明了算法的可行性和有效性。

## 参考文献:

- [1] BECK A. First-order Methods in Optimization [J]. Front matter. 2017(10):1137.

- [2] BECK A, TEBoulLE M. A fast iterative shrinkage–thresholding algorithm for linear inverse problems [J]. SIAM Journal on Imaging Sciences, 2009, 2(1): 183 – 202.
- [3] CHAMBOLLE A, DOSSAL C. On the convergence of the iterates of the “fast iterative shrinkage/thresholding algorithm” [J]. Journal of Optimization Theory and Applications, 2015, 166(3): 968 – 982.
- [4] BARZILAI J, BORWEIN J M. Two–point step size gradient methods [J]. IMA journal of numerical analysis, 1998, 8(1): 141 – 148.
- [5] NESTEROV Y. Gradient methods for minimizing composite functions [J]. Mathematical Programming, 2013, 140(1): 125–161.
- [6] NESTEROV Y. Gradient methods for minimizing composite objective function [J]. Core Discussion Paper, 2007, 140(1): 125–161.
- [7] O’DONOGHUE B, CANDES E. Adaptive restart for accelerated gradient schemes [J]. Foundations of computational mathematics, 2015, 15(3): 715 – 732.
- [8] BECK A, TEBoulLE M. Fast gradient–based algorithms for constrained total variation image denoising and deblurring problems [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2009, 18(11): 2419 – 2434.
- [9] NESTEROV Y. Introductory Lectures on Convex Optimization: A Basic Course[J]. Applied Optimization, 2004(5):236.
- [10] WRIGHT S, NOCEDAL J. Numerical optimization [M]. Berlin: Springer Science, 1999.
- [11] LIONS P L, MERCIER B. Splitting algorithms for the sum of two nonlinear operators [J]. SIAM Journal on Numerical Analysis, 1979, 16(6): 964 – 979.
- [12] PARIKH N, BOYD S. Proximal algorithms [J]. Foundations and Trends in Optimization, 2014, 1(3): 127 – 239.

(责任编辑:赵其领)

## A Fast Proximal Barzilai–Borwein Gradient Method for Solving Decomposable Strongly Convex Optimization Problems

LI Xing<sup>1</sup>, DENG Kangkang<sup>1</sup>, LI Chao<sup>2</sup>

(1. School of Mathematics and Computer Science, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350116;

2. School of Mathematics and Computer Science, Wuyi University, Wuyishan, Fujian 354300)

**Abstract:** In this paper, a fast proximal Barzilai–Borwein gradient method is proposed for solving decomposable strongly convex optimization problem, which uses Barzilai–Borwein stepsize as the step size factor given in the fast iterative shrinkage/thresholding algorithm, and gives suitable criteria for updating parameters, which speed up the convergence rate. Under some suitable conditions, the  $O(1/k^2)$  convergence rate of the proposed method is proved. Finally some primary numerical results indicate the validity of the method.

**Key words:** Barzilai–Borwein method; fast proximal gradient algorithm; step factor  $O(1/k^2)$

# 平面体系存在无穷远虚铰时几何组成分析

范卫琴<sup>1,2</sup>, 颜玲月<sup>2</sup>, 张红章<sup>1,2</sup>

(1.三明学院 建筑工程学院, 福建 三明 365004; 2.武汉市丰达地质工程有限公司, 湖北, 武汉 430074)

**摘要:**举例分析了组成无穷远铰的平行链杆为异侧或同侧情况下的平面体系几何组成,认为目前平面体系存在无穷远铰时的几何组成分析规则有待商榷,并通过分析平面体系发生微小位移后的几何特征,对该类问题的分析方法进行了探讨,完善了“铰接三角形规律”。

**关键词:** 几何组成分析;无穷远铰;几何瞬变;几何常变

**中图分类号:** O342; G642 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-2109(2019)03-0017-04

结构几何组成分析目的主要是:判定杆件体系是否几何可变,从而决定其能否用作结构;研究结构的几何组成,同时有助于结构静力分析。很多学者对几何组成分析规则进行了一系列总结和梳理,得出较为详尽的分析方法<sup>[1-4]</sup>。但这些文献对平面体系中存在无穷远虚铰时的分析方法论述较少,且举例偏简单,总结不完整,教材中也没有对此进行专门的论述。针对这个难点,文献<sup>[5-7]</sup>根据射影几何的相关概念推导出平面体系存在无穷远虚铰情况下的判定法则,还有学者<sup>[8]</sup>在结构自由度为零的情况下,运用“零载法”进行计算,认为当体系内力为零是唯一解时,体系几何不变;当体系内力有无穷多非零解时,体系几何瞬变。

通常几何组成分析的方法主要有“铰接三角形规律”、“零载法”等<sup>[9]</sup>。很明显,对于一个自由度为零的体系,在零载下,当结构内力有无穷多非零解时,结构体系有可能是几何瞬变、也有可能是几何常变,与论著<sup>[8]</sup>不一致。当结构存在着成对平行链杆时,根据近代欧

式几何学<sup>[10]</sup>认为此对平行链杆在无穷远处相交于一点,即形成一个无穷远虚铰,再依据相关文献<sup>[5-7]</sup>论述的规则来进行平面体系几何组成分析,有些情况下会得出不同的结果,现通过分析某三刚片体系的内部几何组成性质予以证明。

## 1 举例分析

### 1.1 解法一

如图 1 所示,平面体系由一系列链杆连接而成,图中  $AF$ 、 $BC$ 、 $FE$ 、 $CD$  四杆等长。选取杆件  $AB$ 、 $FC$ 、 $ED$  分别为刚片 I、II、III, I 和 II 之间通过  $AF$  和  $BC$  这对平行且等长链杆相连、II 和 III 之间通过  $FE$  和  $CD$  这对平行且等长链杆相连,分别形成无穷远虚铰,即“二铰无穷远”。I 和 III 之间通过杆件  $AD$  和  $BE$  相连,相交于 G 点。根据法则<sup>[5-7]</sup>“当结构有两个无穷远虚铰时,组成两个无穷远虚铰的两对平行链杆相互平行且等长,则常变。”据此,图 1 结构应为几何常变体系。

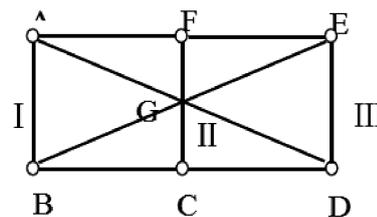


图 1 示例及第一种选取刚片的方法

Figure 1 Example and the first method for selecting a rigid piece

收稿日期:2018-09-07

基金资助:2017 年福建省高等学校创新创业教育基金项目《结构力学》资源共享课程建设;基于工程教育认证和德国 FH 理念的土木工程应用型人才培养改革研究重大教改项目(FBJG20170327);三明学院教学改革项目(J1710614)。

作者简介:范卫琴(1981-),女,汉族,讲师,主要从事结构力学教学和边坡稳定分析方面的研究。

### 1.2 解法二

对图 1 的杆件体系,选择不同对象为刚片和连接链杆,见图 2。选取杆件  $AD$ 、 $FC$ 、 $BE$  分别为刚片 I、II、III, I 和 II 之间通过杆件  $AF$  和  $CD$  这对平行且等长链杆相连、II 和 III 之间通过杆件  $FE$  和  $BC$  这对平行且等长链杆相连、I 和 III 之间通过杆件  $AB$  和  $ED$  这对平行且等长链杆相连,分别形成无穷远虚铰,即“三铰无穷远”。根据法则<sup>5-7</sup>“三铰无穷远,若三对平行链杆各自等长,则常变。”据此,图 1 所示结构应为几何常变体系。

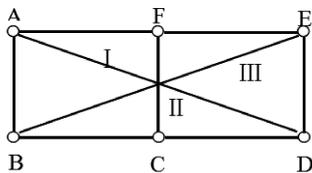


图 2 第二种选取刚片的方法

Figure 2 Second method for selecting rigid plates

### 1.3 解法三

针对图 1 的杆件体系,再次改变刚片的选择方式,选取杆件  $AF$ 、 $BE$ 、 $CD$  分别为刚片 I、II、III,见图 3。I 和 II 之间通过杆件  $AB$  和  $FE$  相交于虚铰 A, II 和 III 之间通过杆件  $ED$  和  $BC$  相交于虚铰 D, I 和 III 之间通过杆件  $FC$  和  $AD$  相连,铰点为 G,此次分析,三个铰点未出现无穷远的情况,A、D、G 三点在一条直线上,根据“三刚片”法则<sup>9</sup>,图 1 所示结构应为几何瞬变体系。

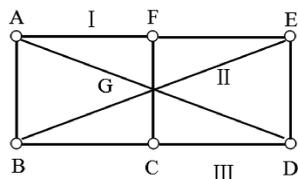


图 3 第三种选取刚片的方法

Figure 3 Third method for selecting rigid plates

由此可见,解法一、二的结果与解法三不一致。第三种分析方法中没有出现无穷远铰点,根据“三刚片法则”<sup>9</sup>得出的结果可靠,由此判定:前两种方法不够准确。

## 2 问题探讨

近代欧式几何学<sup>10</sup>中有如下定义:(1)两条或多条平行线可以说成有一公共的无穷远点,或者在无穷远

处相交;(2)在任一条直线上,有且只有一个无穷远点;(3)所有的无穷远点都在一条无穷远直线上。

由此很多学者都指出:平行链杆相当于无穷远处的虚铰,然而,在欧式平面上平行线是无交点的。因此,采用无穷远交点来判断几何组成分析,给出的答案不够精准。

祁皓<sup>11</sup>指出:(1)当三刚片体系中有一铰无穷远时,当另外两个铰的连线与组成无穷远铰点的两条平行链杆不平行时,几何不变;当体系发生微小位移后,另外两个铰的连线与组成无穷远铰点的两条平行链杆仍然平行时,几何常变;反之当体系发生微小位移后,另外两个铰的连线与组成无穷远铰点的两条平行链杆不平行时,几何瞬变。

(2)当三刚片体系中有两铰无穷远时,当组成无穷远铰点的两对平行链杆方向不平行时,几何不变;当组成无穷远铰点的两对平行链杆方向平行,但当体系发生微小位移后,组成无穷远铰点的两对平行链杆仍然平行时,几何常变;反之体系发生微小位移后,组成无穷远铰点的两对平行链杆不平行时,几何瞬变。

用此方法对图 1 结构进行几何组成分析,假定杆件  $AF$ 、 $BC$ 、 $FE$ 、 $CD$  发生如图 4 所示的微小位移且保持平行状态(虚线表示假定的变形形状),则变位之后的  $AD_1$ 、 $BE_1$  长度明显不等,而与原来相等的状态不符,则图 4 所示的变位是不可能的,则本例属于“两铰无穷远,发生微小位移为以后,组成无穷远铰点的两对平行链杆不可能平行”的状态,则体系瞬变。同理也可得出当选本文的“解法二”时,三铰无穷远,当发生微小位移后,组成无穷远铰的平行链杆不再保持平行状态,所以体系瞬变。采用这种判定法则,采用前述“解法一、二、三”这三种不同的刚片选取方法能得出相同的结果。

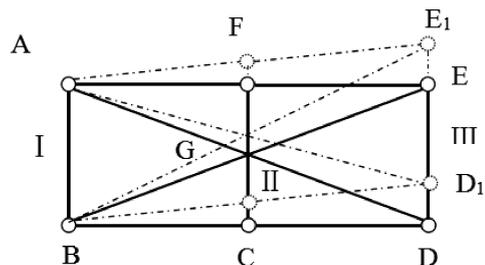


图 4 假定的微小位移示意图

Figure 4 Prototype of the assumed small displacement

### 3 规则总结

论著<sup>[4]</sup>所示的方法,相对于文献[5-7],描述更准确。但此法需要对可能发生的各种微小变形情况从几何角度进行分析,对初学者来讲,比较繁琐。本文根据几何变形的特点在文献[5-7]结论的基础上,对平面体系存在无穷远铰点时的解题规则进行重新整理,规则中,对于前述正确的论述,本文不再解释,对于本文提出的新观点,举例证明。

#### 3.1 平面体系存在一铰无穷远

(1)组成无穷远铰的两条平行链杆与另外两铰连线不平行时,三点不共线,几何不变。

(2)组成无穷远铰的两条平行链杆与另外两铰连线平行但不等长时,体系瞬变。

(3)组成无穷远铰的两条平行链杆与另外两铰连线同侧、平行且等长时,体系常变。如图5所示(虚线表示变形后的位置),杆件 $ACF$ 与 $BCE$ 中间的三根链杆 $AB$ 、 $CD$ 、 $EF$ 平行且相等均从同侧伸出,所以结构很容易左右晃动形成平行四边形体系。

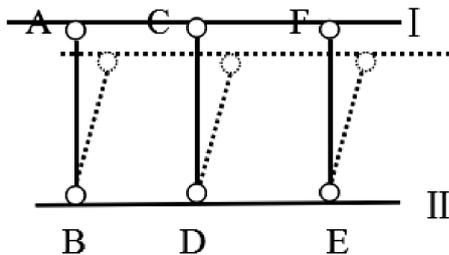


图5 平行链杆同侧连出

Figure 5 Parallel link rod with parallel side out

(4)上述第(3)条中,如果两平行链杆与另外两铰连线平行且等长,但三者异侧,则体系瞬变。如图6(a)或(b), $FAC$ 、 $FE$ 、 $BE$ 分别为刚片I、II、III。图中实线表示原结构体系,虚线表示可能发生的微小位移。I和II之间通过铰点A相连,II和III之间通过铰点E相连,I与III之间通过平行链杆 $AD$ 、 $BC$ 相连,平行且等长的三根杆件 $AD$ 、 $EF$ 、 $BC$ 分别从刚片III异侧连出,则体系发生微小运动之后,无法保持 $BC$ 、 $AD$ 、 $EF$ 三杆继续平行,如图虚线所示,体系瞬变。

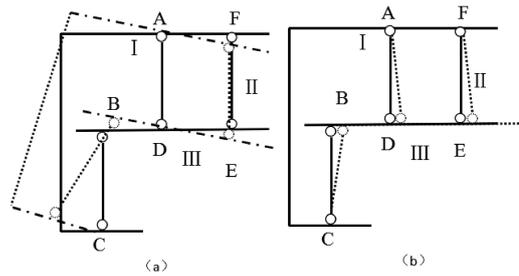


图6 平行链杆从刚片异侧连出

Figure 6 Parallel chain rods connected from the lateral side of rigid plates

#### 3.2 平面体系存在两铰无穷远

(1)组成无穷远铰的两对平行链杆相互不平行,则三铰不共点,体系几何不变;

(2)组成无穷远铰的两对平行链杆相互平行但不等长则瞬变;

(3)若上述四杆平行且等长,但从平行杆件是从刚片异侧连出时,则体系瞬变。举例见图1的示例,连接I和II的杆件 $AF$ 和 $BC$ 与连接II和III的杆件 $FE$ 和 $CD$ 分别从 $FC$ 异侧伸出,体系瞬变。

(4)若上述四杆平行且等长,但平行杆件从同侧连出时,则体系常变。如图7所示,选取杆件 $AH$ 、 $GF$ 、 $BCDE$ 分别为刚片I、II、III,I与III之间通过 $AB$ 、 $CK$ 相连,形成一无穷远虚铰,II与III之间通过 $GD$ 、 $FE$ 相连,形成一无穷远虚铰,I与II之间连接点为H,则形成两虚铰的四根平行链杆相互平行等长,且均从刚片III同侧连出,体系很明显可以变成平行四边形,为一几何常变体系。

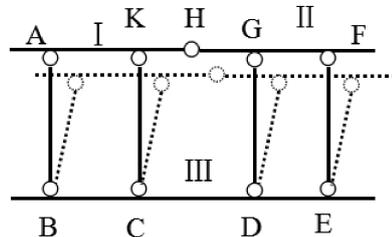


图7 平行链杆从刚片同侧连出

Figure 7 Parallel chain rods connected from the same side of the rigid sheet

#### 3.3 三铰无穷远

(1)若三对同侧平行链杆各自等长,则常变。

(2)若三对异侧平行链杆各自等长,则瞬变。举例如图2所示,在上述解法二的描述中,连接I和II的杆件 $AF$ 和 $CD$ ,分别从 $FC$ 杆异侧伸出、连接II和III的杆件 $FE$ 和 $BC$ ,分别从 $FC$ 杆异侧伸出、杆件 $AB$ 和

ED 分别从 I 和 III 异侧伸出,属于“三对异侧平行链杆各自等长”的类型,则体系为瞬变体系。

(3)若三对平行链杆各自不等长,则体系瞬变。

#### 4 结论

通过举例分析,对平面体系存在无穷远铰的几何组成分析的部分方法<sup>[5-7]</sup>进行了重新探讨,对“铰接三角形规律”进行了完善。建议解题时选择合适的链杆作为刚片,尽量少或避免出现无穷远虚铰。对于平面体系无法避免出现无穷远虚铰的情况,分析了这种体系微小变形后的几何特征,总结出此时几何组成分析可以遵循下列原则:

(1)当一铰无穷远时,且组成无穷远虚铰的两平行链杆与另二铰连线不平行,体系为几何不变;若二者平行不等长则为瞬变体系;若平行链杆与另二铰连线异侧、平行且等长,则为瞬变体系;若平行链杆与另二铰连线同侧、平行且等长,则为常变体系。

(2)当两铰无穷远,且组成两无穷远虚铰的两对平行链杆互不平行,体系为几何不变;若此四杆相互平行但不等长则为瞬变体系;若此四杆平行且等长但异侧连出,则为瞬变体系;若四杆同侧连出、平行且等长,则为常变体系。

(3)当三铰无穷远,一般情况下,体系瞬变;若三对同侧平行链杆各自等长,则常变;若三对平行链杆各自

等长,且其中有异侧连出的平行链杆,则为瞬变体系。

#### 参考文献:

- [1] 孙丽莹.平面体系几何组成分析广义三角形规则新思路[J].力学与实践,2013,35(6):84-87.
- [2] 张琳楠,徐春晖,秦太验.平面体系机动分析的一般方法[J].力学与实践,2014,36(6):738-741.
- [3] 邱秀梅,戴景军,孙建武.平面体系几何组成分析的方法技巧[J].力学与实践,2009,31(2):80-82.
- [4] 吴耀鹏,吴耀欢.平面体系几何组成分析的解析法研究[J].力学与实践,2012,34(6):62-64.
- [5] 郭翠芳.三刚片体系中虚铰在无穷远处情况的再讨论[J].宁波工程学院学报,2014,26(1):51-53.
- [6] 刘明华.探析平面体系几何组成分析中有关无穷远瞬铰[J].低碳世界,2014(9):317-318.
- [7] 杨治林.射影平面在结构几何组成分析中的应用[J].力学与实践,1999(3):57-58.
- [8] 雷钟和.结构力学学习指导[M].第2版.北京:高等教育出版社,2015.
- [9] 包世华,辛克贵.结构力学[M].第4版.武汉:武汉理工大学出版社,2015.
- [10] 约翰逊,单樽.近代欧式几何学[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2012.
- [11] 祁皓.结构力学学习辅导与解题指南[M].第2版.北京:清华大学出版社,2013.

(责任编辑:叶丽娜)

## Geometric Composition Analysis in Plane System with Virtual Hinged Joint Infinity

FAN Weiqin<sup>1,2</sup>, YAN Lingyue<sup>2</sup>, ZHANG Hongzhang<sup>1,2</sup>

(1.School of Architecture and Civil Engineering, Sanming University, Sanming, Fujian 365004;

2.Wuhan Fengda Geological Engineering Ltd, Wuhan, Hubei 430074)

**Abstract:** The geometric composition of a plane system with virtual hinged infinity which is formed by the same side or the opposite sides parallel chains is analyzed through examples. The problem on geometric composition analysis in plane system with virtual hinged joint infinity is pointed out. And then by analyzing the geometric characteristics of the plane system after a slight displacement, the analysis methods of the problem are discussed. And the method of "articulation triangle" is perfected.

**Key words:** geometric composition analysis; hinge of infinity; geometric transient; geometric variation constantly

# 完善中国互联网,推动经济与税收发展

## ——基于省级层面数据的实证分析

郑雪莲<sup>1</sup>, 胡志勇<sup>2</sup>, 陈雅琳<sup>2</sup>

(1.集美大学 诚毅学院, 福建 厦门 361021; 2.集美大学 财经学院, 福建 厦门 361021)

**摘要:** 互联网自上世纪九十年代以来迅速拓展,已成为当今中国推动经济发展和社会进步的重要信息基础设施。互联网对中国经济和社会的影响从长期来看,是积极、正面的;但从短期视角看,互联网也给零售业带来了巨大冲击,而政府为了进一步完善互联网,采取各种措施,包括税收政策来支持互联网发展。目前中国互联网发展对实体经济和税收的影响如何、是否还需要继续采取积极的税收政策来支持互联网发展等问题的回答需要更多的实证研究来支撑。为此,文章以2003-2014年中国30个省区(除西藏外)的社会消费品零售总额、GDP、税收收入为被解释变量构建三个面板数据模型进行实证分析。实证分析结果发现,互联网对零售业、实体经济和税收的存在显著正向影响。

**关键词:** 互联网;经济发展;税收

**中图分类号:** F49 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-2109(2019)03-0021-06

互联网又名 Internet,始于1969年美国的阿帕网,是网络与网络之间所串连成的庞大网络。经过短短十几年的发展,截止2018年1月全球使用互联网的网民数量已经超越了40亿,而同期的全球人口数量大约为76亿<sup>①</sup>。中国的互联网发展虽然起步比国际互联网发展晚,但是进入新世纪以来,同样快速发展。截至2017年12月,我国网民数量达到7.72亿,互联网普及率超过全球平均水平4.1%<sup>②</sup>。如今互联网已经成为中国信息文化的集散地和社会舆论的放大器,有着日益强大的社会影响力。党的十九大再次强调把互联网建设好、利用好、管理好的重要性,并将“加强互联网内容建设,建立网络综合治理体系,营造清朗的网络空间”这三大任务写入十九大报告。从公开发表

的文献和新闻报道看,互联网发展对经济产生积极影响是主流观点。然而,由于网络销售与消费日益流行,很多实体店的销售受到极大冲击,其中关于互联网发展对商品销售业及其税收影响的观点存在一些分歧。通过查阅近些年公开发表的相关文献,可以发现关于研究互联网对整体经济影响的实证及理论分析和互联网对税收的理论分析较多,而关于互联网发展对消费品零售业影响和对税收影响的实证分析文献很少。

互联网与经济的关系的研究主要有通过实证分析互联网对整体经济发展具有促进作用和通过理论分析互联网对经济发展的促进作用。其中,通过实证分析的研究有以下三种:(1)从微观上分析,分析互联网行业对经济增长的影响。李茂(2016)<sup>③</sup>《互联网行业推动地区经济增长实证分析——基于北京市数据》通过构造向量自变量模型对互联网行业与北京经济增长之间关系进行分析。(2)从宏观上分析,互联网发展对整体经济的影响。张李义(2017)<sup>④</sup>《互联网金融发展对经济增长影响的实证》通过实证分析互联网金融的发展能够有效的促进中国经济的发展。(3)从地区

收稿日期:2018-09-29

作者简介:郑雪莲(1983-),汉族,讲师,主要从事企业会计、政府会计、财政税收理论的研究。

通讯作者:胡志勇(1972-),男,汉族,副教授,硕士生导师,主要从事政府会计、财政税收理论与实践的研究。

差异性分析,互联网发展对经济的影响具有区域性。主要有张英海(2017)<sup>[3]</sup>《论“互联网+”时代我国经济增长的新形态》分析在“互联网+”对我国经济增长产生长期的稳定性拉动作用。综观上述研究结论,互联网对整体经济发展有积极影响,但对实体经济、零售业的影响目前的研究并未给出明确的答案。

同时,目前对于互联网和税收关系基的研究基本上都集中在从理论上分析互联网对税收的影响。主要集中在下面两种:一是介绍互联网对税收管理的影响。刘洁,蒋卫东(2017)<sup>[4]</sup>《“互联网+税务”新模式探讨》中介绍了“互联网+”从创新跨界合作、创新交易平台、创新纳税服务、创新网络信息和创新考评机制五个思维推动着税制新模式的转型。二是介绍互联网行业对税收的影响。赵福战(2016)<sup>[5]</sup>《产业关联视角下“互联网+”的税收效应——以福建省为例》利用税收产业模型分析了福建省互联网业对税收的影响。但是,这方面的研究大部分都不是实证分析,也并未说明对中国税收增长的作用,因此其结论的说服力有限。

为了进一步回答“互联网是否对商品零售业带来冲击”、“互联网对对实体经济影响如何”以及“互联网发展对税收增长的作用”,笔者以社会消费品零售总额、地区生产总值和地区税收收入为被解释变量构建三个面板数据模型,试图通过实证分析揭示互联网发展对零售业、实体经济以及税收增长三者的影响,从而给出相应的政策建议。

## 1 研究假设、模型设定与数据来源

文章选取了2003—2014年中国30个省区(除西藏外)各变量的年度数据,由于西藏个别数据缺失,并且个别指标的数据明显异常于其他地区,因此剔除了西藏的数据。为了控制异方差和多重共线性对实证分析的影响,文章数据部分采用对数形式,其面板基本模型如下:

$$\text{模型一: } \ln rs = \alpha_0 + \alpha_1 \ln net + \alpha_2 \ln cn + \lambda X + \mu$$

$$\text{模型二: } \ln gdp = \alpha_0 + \alpha_1 \ln net + \alpha_2 \ln cn + \lambda X + \mu$$

$$\text{模型三: } \ln tax = \alpha_0 + \alpha_1 \ln net + \alpha_2 \ln cn + \lambda X + \mu$$

被解释变量:①rs表示各省社会消费品零售总额

(万元)。②gdp表示各省生产总值(万元)。③tax表示各省当年税收收入(万元)。

解释变量:①互联网上网人数net(万人)。②快递数cn(万件):快递业务量2006年及以前为邮政特快专递,2007年起为规模以上(年业务收入200万元以上)快递服务企业业务量。③虚拟变量x4:若地区GDP增速超过8%,则x4=0,反之,x4=1。互联网可以通过观察互联网资源状况、基础设施建设情况、资源应用情况等指标来判断其发展。但如果考察其对零售业和经济发展的影响,互联网上网人数是一个关键且直接指标。物流是网络销售和消费重要纽带,从资料可获得性考虑,笔者选择快递数指标来衡量。虚拟变量用在模型一,主要考虑中国经济长期保持在8%以上(2012年中国经济发展增速7.8%)的发展速度,8%的经济增速对居民的经济预期及消费有很大影响,因此笔者将各省GDP增速是否超过8%设置为虚拟变量来考察其对地区社会消费品零售总额的影响。

其他控制变量:①对外开放度x1(%):对外开放度等于当年进出口总额与GDP的比值。②城镇化率x2(%):城镇化率等于城镇人数与常住人口数的比值。③就业人员文化水平x3(%):就业人员文化水平用大专及以上学历人口占劳动力的比例来表示。④虚拟变量x4:若地区GDP增速超过8%,则x4=0,反之,x4=1。⑤城镇居民人均可支配收入x5(万元)。其中,模型一的控制变量包括对外开放度、城镇化率、城镇居民人均可支配收入;模型二、三的控制变量包括对外开放度、城镇化率、就业人员文化水平。文章数据来源于2004—2015年《中国统计年鉴》及各省统计年鉴、中国经济与社会发展统计数据库。

## 2 实证分析结果

### 2.1 单位根检验

文章数据来自于全国30个省,面板数据不平衡,因此笔者采用适用于相同根检验的LLC检验、适用于不同单位根的ADF检验和PP检验。由表1的结果可知,面板数据存在单位根,表明该数据不平稳,且通过一阶差分后,仍有个别数据存在不平稳,因此再次进行二阶差分,检验结果拒绝存在单位根的原假设,即

所有变量均为二阶单整变量。

表 1 单位根检验

Table 1 Unie root test

检验变量	LLC 检验	ADF 检验	PP 检验
ln gdp	-13.877 2 (0.000 0)***	130.651 (0.000 0)***	309.172 (0.000 0)***
ln tax	-7.170 76(0.000 0)***	57.998 5(0.549 2)	149.615(0.000 0)***
ln rs	-10.410 7(0.000 0)***	122.323(0.000 0)***	152.875(0.000 0)***
ln net	-10.764 4 (0.000 0)***	72.027 3(0.137 4)	50.375 1(0.807 5)
ln cn	1.955 63(0.974 7)	4.837 66(1.000 0)	2.054 70(1.000 0)
x1	-3.561 67(0.000 2)***	76.218 7 (0.077 1)*	79.591 5 (0.046 1)**
x2	-4.096 09 (0.000 0)***	109.058 (0.000 1)***	149.866 (0.000 0)***
x3	5.662 23(1.000 0)	16.392 2(1.000 0)	15.455 1(1.000 0)
x5	25.889 9(1.000 0)	0.182 76(1.000 0)	0.103 48(1.000 0)
d <sup>1</sup> ln gdp	-22.391 9 (0)***	264.771(0)***	452.962(0)***
d <sup>1</sup> ln tax	-19.541 2(0)***	218.280(0)***	256.201(0)***
d <sup>1</sup> ln rs	-31.446 2(0)***	329.857(0)***	459.052(0)***
d <sup>1</sup> ln net	-16.589 8(0)***	192.990 (0)***	222.826(0)***
d <sup>1</sup> ln cn	-22.435 7 (0)***	264.026 (0)***	542.366 (0)***
d <sup>2</sup> x1	-29.166 0(0)***	308.769 (0)***	509.005 (0)***
d <sup>2</sup> x2	-59.022 5(0)***	361.164(0)***	459.280 (0)***
d <sup>2</sup> x3	-25.114 3(0)***	284.011(0)***	350.682(0)***
d <sup>2</sup> x5	-18.707 4(0)***	233.624(0)***	302.270(0)***

注:\*\*\*, \*\*, \* 分别表示在 1%、5%、10% 的显著性水平通过检验

## 2.2 面板协整检验

该面板数据变量存在二阶单整,所以笔者采用 e-droni 方法对该面板数据进行协整检验。如表 2 所示,除 panel v、panelrho 和 Group rho 检验接受原假设外,其余检验均拒绝“不存在协整关系”的原假设。综合考虑,笔者认为该模型存在协整关系,即该面板数据存在长期均衡关系因此可以进行回归分析。

## 2.3 面板数据模型的选定

Hausman 检验用于确定应该建立随机效应模型还是固定效应模型。由表 3 的检验结果可知,文章应采用固定效应模型。

表 3 Hasuman 检验

Table 3 Hasuman test

Test summary	chi-sq.statistic	chi-sq.d.f.	prob
模型一 Cross-section random	198.877 804	5	0.000 0
模型二 Cross-section random	46.003 389	5	0.000 0
模型三 Cross-section random	343.145 366	6	0.000 0

## 2.4 模型估计的结果

表 4 模型一的回归结果

Table 4 Regression results of model 1

Variable	Coefficient	SE	T-statistic
$\alpha$	10.554 01***	0.160 243	65.862 360
ln NET	0.678 565***	0.049 281	13.769 280
ln CN	0.264 089***	0.045 239	5.837 620
x1	0.000 922	0.000 657	1.402 910
x2	0.014 074***	0.003 007	4.680 470
x4	0.266 557***	0.092 997	2.866 285
x5	-0.537 992***	0.081 743	-6.581 467
R <sup>2</sup>	0.916 747	$\bar{R}^2$	0.915 332
F-statistic	647.852 1	Prob	0.000 000

注:\*, \*\*, \*\*\* 分别表示在 10%、5%和 1%的水平显著

表 5 模型二的回归结果

Table 5 Regression results of model 2

Variable	Coefficient	SE	T-statistic
$\alpha$	12.732 42***	0.118 071	107.837 0
ln NET	0.758 826***	0.042 745	17.752 34
ln CN	0.058 717*	0.030 009	1.956 640
x1	0.001 866**	0.000 592	3.152 778
x2	0.001 576	0.002 339	0.673 738
x3	-0.004 803	0.003 073	-1.563 220
R <sup>2</sup>	0.912 135	$\bar{R}^2$	0.910 894
F-statistic	734.985 9	Prob	0.000 000

注:\*, \*\*, \*\*\* 分别表示在 10%、5%和 1%的水平显著

表 2 协整检验

Table 2 Cointegration test

模型	Panel v	Panel rho	Panel pp	Panel ADF	Group rho	Group pp	Group ADF
模型一	-1.16	4.60	-7.81***	-3.04***	6.76	-18.61***	-3.134***
模型二	-1.26	5.20	-5.93***	-1.71***	7.71	-13.65***	-3.92***
模型三	-2.18	5.19	-8.11***	-5.07***	7.09	-24.56***	-6.33***

注:\*, \*\*, \*\*\* 分别表示在 10%、5%、1%的显著性水平上拒绝不存在协整关系的原假设。

表6 模型三的回归结果

Table 6 Regression results of model 3

Variable	Coefficient	SE	T-statistic
$\alpha$	9.512 075***	0.093 741	101.471 6
ln NET	0.686 082***	0.033 937	20.216 28
ln CN	0.133 952***	0.023 825	5.622 217
x1	0.003 534***	0.000 470	7.521 367
x2	0.005 886***	0.001 857	3.169 450
x3	0.007 225***	0.002 440	2.961 672
R <sup>2</sup>	0.955 227	$\bar{R}^2$	0.954 595
F-statistic	1 510.516	Prob	0.000 000

注: \*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 10%、5% 和 1% 的水平显著

实证结果如下: (1) 表 4 表明, 互联网、快递数、城镇化率、虚拟变量对各省社会零售总额在 1% 水平存在显著正向影响, 居民人均可支配收入在 1% 存在显著负向影响, 对外开放度的影响不显著。互联网的影响系数较高, 为 0.67。快递数的影响系数为 0.264, 虚拟变量的影响系数为 0.267; (2) 表 5 表明, 互联网对各省的 GDP 在 1% 水平存在显著正向影响, 影响系数达到 0.759。快递数对 GDP 在 10% 水平存在正向影响, 影响系数为 0.059<sup>③</sup>; (3) 表 6 表明, 互联网、快递数、对外开放度、城镇化率、就业人员文化水平对各省税收收入在 1% 水平存在显著正向影响, 其中互联网的影响系数较大, 影响系数为 0.686。快递数的影响系数为 0.134。几个控制变量的影响系数也较小。

## 2.5 对实证结果的分析

(1) 互联网对零售业的影响是积极的。文章实证结果显示, 互联网对零售业的影响是显著正向。这一结果并不能否定社会关于“网络销售冲击实体店”的说法, 但可以说明网络发展促进社会零售业发展。从现实情况看, 中国网民的增速逐年加大, 网民数量增速从 2005 年 8.5% 至 2012 年 42.1% 的, 互联网的普及率不断升高, 其中城镇居民互联网普及率从 2005 年的 35.9% 上升到 59.1%, 乡村居民互联网的普及率从 11.6% 上升到 23.7%<sup>⑥</sup>。这种良好的增长态势还在持续, 2017 年中国网民总数达到 7.72 亿, 普及率达到 55.8%, 超过全球平均水平 4%<sup>⑦</sup>。互联网的普及直接推动网络销售发展, 中国网络销售额从 2008 年的 170 亿美元增加到 2013 年的 2 850 亿美元 (当年美国网

络销售额为 2 520 亿美元), 2017 年中国网络零售额达到 7.18 万亿元人民币, 其中实物商品网上零售额 54 806 亿元, 占社会消费品零售总额 15.0%。可以预见, 中国未来居民会越来越习惯网络消费, 网络交易在一定程度上冲击实体店的经营, 但更方便居民消费, 也促进社会消费品零售业发展; (2) “互联网发展冲击实体经济”更不可信。中国实体经济出现问题的原因是多方面, 比如国际国内宏观经济形势不好, 财政体制及地方政绩考核制度导致的重复建设、盲目投资, 政府干预经济在不同层面还普遍存在, 企业缺乏研发投入导致商品同质、劣质, 大部分产品出现供给大于需求, 等等。从总体上看, 互联网发展不会对经济产生负面影响。文章实证结果显示, 互联网对各省的 GDP 影响是积极的, 影响系数达到 0.759。这是因为: 互联网的发展不仅推动社会零售业的发展, 同时带来搜索引擎、网络通讯、网络金融、网络娱乐、网络教育等发展。按照熊比特的创新理论, 这一系列发展都属于推动经济发展的创新, 它们给经济活动注入活力, 减少经济运行成本, 提高经济运行效率, 扩大经济发展规模。实际数据显示, 互联网在各个领域推动经济发展, 比如中国互联网络信息中心的《第 41 次中国互联网络发展状况统计报告》显示: 2017 年 12 月中国在线政务服务用户规模达到 4.85 亿, 政府应用网络提高服务效率; 网络广告市场规模达到 2 957 亿元; 中国互联网企业境内外企业 102 家; 网信独角兽企业 77 家; 互联网催生各种共享经济, 如共享单车、共享民宿、共享充电宝、网约车等。互联网正积极、深刻影响中国经济发展; (3) 互联网发展从长期整体来看促进税收的增长。互联网发展前期, 由于国家对互联网经济新业态的税收支持、电子商务税收征管困难和跨国电商 C2C 等原因, 导致一些税收的流失。然而, 从文章的实证结果可以看出, 互联网发展总体上对税收存在显著正向影响, 这主要是因为互联网发展大大节约经济交易成本, 促进经济规模扩大, 从而使得税收得到增长。

## 3 研究结论和对策建议

研究结果显示, 互联网对社会零售业是存在积极影响; 互联网对地区经济发展也有显著的正向影响;

互联网对税收贡献也是显著正向。因此,完善互联网发展对于促进我国经济发展和提高我国税收收入具有重要意义。基于文章的研究结果及中国经济发展的现实情况,笔者提出以下几点对策建议:

1.还中国互联网一个公平竞争环境,提高中国在国际税收制定中的话语权。

中国互联网发展已经深刻影响经济发展,税收对互联网经济的优惠支持可以逐渐转向公平原则。从文章实证分析结果和经济发展现实看,中国互联网经济自2009年进入快速发展阶段以来已经取得很大成就,不仅是在网络零售总额超过美国,还从各方面影响经济的发展。从税收公平原则角度看,中国对互联网经济的支持政策可以逐渐淡出,还经济一个公平竞争的税收环境。因此,笔者认为:(1)加强对网络电子商务活动的税收征管。中国应加强对B2B和B2C活动的税收征管,同时要研究如何加强对C2C的税收管理;(2)加强对互联网金融税收问题的研究,并对其进行税收征管。鉴于互联网金融创新活动已经相当活跃,从维护税收公平角度出发,笔者赞同加强对互联网金融活动税收征管的观点;(3)增强在跨国电子商务国际税收规则制定的话语权。跨国电子商务在世界各国越来越盛行,中国跨国电子商务的规模也逐渐扩大。有鉴于此,同时考虑中国税制结构以流转税为主的特点,中国应积极参与有关跨国电子商务国际税收规则制定讨论,增取更多规则制定的话语权。

2.综合改善其他条件,尤其是物流条件,提高互联网的积极作用。

中国互联网大发展对社会零售业是存在积极影响;对地区经济发展也有显著的正向影响;对税收贡献也是显著正向的。从文章的实证结果看,快件数、经济发展预期、城镇化率等因素都会对网络销售、经济都有显著正向影响,但影响系数都不大。从实际情况看,中国物流业发展速度较快,但行业规范和现代化水平尚需提升。近些年,中国城镇化建设步伐较大,未来城镇化率的提升还有空间。此外,近几年中国经济发展增速降低不少,居民对经济预期不佳也影响消费支出。因此,综合改善各方面条件对加强互联网的经济和税收作用是很有必要。

3.推动中国互联网与实体经济齐头并进,共同发展。

中国互联网与实体经济是互补关系。中国互联网发展对社会零售业、区域经济与税收的积极影响是值得肯定,其对经济主要是带来行为组织形式的改变,在短期内实现跨地区、跨国家经济交往,从而节约大量经济生产成本与交易成本。但互联网还是要建立在实体经济的基础上,但经济发展与税收增长主要还是依靠实体经济的发展。因此,国家政策一方面应该完善中国互联网发展。坚持发展与管理中国互联网并重,采取有效措施,扎实推进中国互联网持续健康发展;同时更应鼓励和支持实体经济创新发展,避免经济“脱实向虚”。

### 注释:

- ① 互联网数据研究机构 We Are Social 和 Hootsuite:《数字2018”互联网研究报告》。
- ② 中国互联网络信息中心(CNNIC):《第41次中国互联网络发展状况统计报告》。
- ③ 对各省gdp这一被解释变量,如果采用物流业产值做解释变量之一,那实证结果可能更理想。但考虑模型一和模型二保持相对一致,所以笔者将采用快递数做为解释变量。

### 参考文献:

- [1] 李茂,齐福全.互联网行业推动地区经济增长实证分析:基于北京市数据[J].中国市场,2016(39):76-85.
- [2] 张李义,涂奔.互联网金融发展对中国经济增长影响的实证[J].统计与决策,2017(11):143-147.
- [3] 张英海.论“互联网+”时代我国经济增长的新形态[J].中国市场,2017(30):74-75.
- [4] 刘洁,蒋卫东.“互联网+税务”新模式探讨[J].财会研究,2016(11):18-23.
- [5] 赵福战.产业关联视角下“互联网+”的税收效应:以福建省为例[J].税收经济研究,2016(02):72-79.
- [6] 《中国互联网整体网民发展状况——〈第31次中国互联网络发展状况调查报告(上)〉》[J].互联网天地,2013(1):88-93.
- [7] 中国互联网络信息中心:《第41次中国互联网络发展状况统计报告》[DB/OL].2018(1):21.
- [8] 魏红颜,徐迎春.中美互联网电子商务现状与涉税比较分析[J].当代经济,2015(29):6-7.
- [9] 中国互联网络信息中心:《第41次中国互联网络发展状况统计报告》,2018年1月:67.

(责任编辑:赵其领)

# Improving China's Internet and Promoting Economic and Tax Development

——Based on provincial level data

ZHENG Xuelian<sup>1</sup>, HU Zhiyong<sup>2</sup>, CHEN Yalin<sup>2</sup>

(1.Cheng Yi College, Jimei University, Xiamen, Fujian 361021;

2.School of Finance and Economy, Jimei University, Xiamen, Fujian 361021)

**Abstract:**The Internet sector has been developing fast in China since 1990s and serving as essential information infrastructure, which stimulates both economic development and social improvement. From a long-term perspective, the Internet is of great benefit to China's economy and society; whereas in the short run, the Internet has a huge crowding out effect on the retail sector. In the meanwhile, the Chinese government is taking steps to further support and promote the development of the Internet, including discretionary tax cuts. At present, more empirical researches are needed to study how the development of Internet sector affects the real economy and the government's tax revenues as well as whether tax policies are still needed to further back the development of the Internet sector. Hence, this paper studies these questions by building up a panel data model with three explained variables: retail sales of consumables, GDP and tax revenues. Evidence is from 30 provinces in China, except Tibet, from 2003 to 2014. Our study shows that the development of the Internet sector has a significantly positive effect on the retail sales, the real economy and government's tax income.

**Key words:** internet; economic development; taxation

# Fama 五因子模型在中国证券市场 有效性检验及改进研究

孙 策, 姜徐宁, 黄和亮

(福建农林大学 经济学院, 福建 福州 350002)

**摘 要:**自 CAPM 模型提出以来,资产定价理论一直在发展和完善,试图更好地解释资产组合的超额收益。Fama-French 五因子模型作为最前沿的定价理论,其在中国市场的有效性有待验证。使用 2000 年至 2018 年上市公司股票月度数据作为样本,利用 GRS 检验考察五因子模型在我国证券市场适用性,发现五因子定价模型在相比于同类资产定价模型确实提高了超额收益率的解释能力,但并不完美。结合前人研究,基于企业经营净现值原则对投资因子 CMA 进行了重构和改进,进一步地提高了五因子模型对超额收益的解释力度。

**关键词:**Fama 五因子模型;投资因子改进;GRS 检验

**中图分类号:**F224 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-2109(2019)03-0027-06

所有资产定价理论都基于一种简单思想:资产价格等于预期未来收益的折现;或者以无风险收益率去折现未来的收益,再加上一个代表风险溢价的误差因子。为此,资产定价理论中最核心的问题是如何将表示整个市场的变动情况或造成系统风险总体变动的随机变量暴露出来。Sharpe(1964)和 Lintner(1965)在“均值—方差”模型基础之上,提出的 CAPM 资产定价模型成为了金融的基本信条,旨在解释证券价格该如何依其自身风险确定或者说均衡价格是如何形成的<sup>[1-2]</sup>。然而 Basu(1977),Banz(1981),Jegadeesh(1990)和 Fama, French(1992)的研究表明资产组合的平均收益率并不仅仅由于市场风险所决定,而是与公司市值、账面资产比、前期收益率等因素有关<sup>[3-6]</sup>。自资产定价模型提出之后,学术界在对资产定价模型的有效性上不断努力,提出了各类定价模型,如基于劳动收入增长的 CAPM 模型、跨期资本资产定价模型 ICAPM 等,其中最为学界认可的是 Fama, French(1993)提出三因子模型, Fama 三因子模型认为横截面平均收益率的变化能

由市场因子 Mkt、市值因子 SMB、账面市值比因子 HML 三个风险因子所解释<sup>[7]</sup>。Fama, French(1993, 1996, 1997)分别通过对细分行业、债券市场、期货市场以及北美、欧洲、亚太证券市场都印证了其模型的普遍适用性,国内学者也对三因子在中国的适用性进行了检验,发现三因子模型在解释能力上相对其他模型有了明显提升<sup>[8-9]</sup>。Fama 三因子模型成为了多因子定价模型研究的范本,随后学界对因子的研究从未停止,陆续找到了 300 多种新因子。Carhart(1997)发现,在美国市场,过去收益率高的股票往往在未来也将拥有更高的收益,而这种“市场异象”并不能被 Fama 三因子模型很好的解释, Carhart 在原 Fama 三因子模型基础上加入了动量因子 MOM, 试图解释长期收益对股票价格的影响<sup>[10]</sup>。Avramov, Doron(2006)认为,单方面抛弃风险定价模型,去讨论市场异象或许操之过急,通过对收益率进行商业周期调整,提高了模型对动量等市场异象的解释力度<sup>[11]</sup>。

Williams 在 20 世纪 30 年代提出的股利折现估值模型:有相同期望股息的两个公司,拥有更低价格的公司,将有更高的期望收益率<sup>[12]</sup>。Miller and Modigliani (1961)的研究将股利贴现模型进行变形,得出未来预期盈利高的公司,将获得更高的股票收益。以上结论也得到了后续研究的验证<sup>[13]</sup>。Novy-Marx (2013)发现预期利润率和平均收益有很强的相关关系<sup>[14]</sup>, Aharoni, et

收稿日期:2018-11-20

作者简介:孙策(1994-),男,汉族,在读研究生,主要从事金融市场与投资研究。

通讯作者:黄和亮(1965-),男,汉族,教授,主要从事林业经济金融市场与投资研究。

al(2013)发现平均收益和投资存在显著的相关关系<sup>[15]</sup>, Fama, French(2014)通过引入 Williams 股利折现估值模型、Miller and Modigliani 定理,在原有三因子模型基础上,加入盈利因子 RMW 和投资因子 CMA 提出了 Fama 五因子模型,通过对股票月度数据进行实证,认为其在拟合性上相比 CAPM、Fama 三因子模型以及 Carhart (1997) 四因子模型有了很大的提升,解释了 71%–94% 的平均收益率变动<sup>[16]</sup>。Fama, French(2016)年针对北美、欧洲、亚太市场运用五因子定价模型进行分析,发现检验结果优于三因子模型<sup>[17]</sup>。五因子模型将人们对资本市场风险的认识提高到一个全新的高度。尽管五因子模型在解释超额收益力度上有了很大提升,五因子模型仍无法通过 GRS 检验,说明仍有未被模型解释的部分。黄惠平和彭博(2010)认为我国股票市场市值效应非常明显,流通市值小的公司组合的回报率高于流通市值大的公司组合的回报率,且价值股的收益高于成长股的收益<sup>[18]</sup>。宋光辉,董永琦等(2017),赵胜民等(2016)针对中国市场实证发现投资因子 CMA 为冗余因子<sup>[19–20]</sup>。Lu Zhang(2007)根据净现值原则 NPV,即理性的企业会优先投资净现值高的项目,随着投资项目被逐步挖掘和发现,盈利率会逐渐降低,当项目净现值为零时,企业将停止投资,提出  $q$  因子理论,认为投资越高的公司,未来的盈利率也越高,随之也要求更高的预期收益率,有别于 Fama (2014)的投资因子构造, Lu Zhang(2007)将企业投资定义为实体非金融投资<sup>[21]</sup>。

## 1 数据选择与因子构造

选取 2010—2018 年全 A 股票数据,同时剔除 ST、PT、BP 值为负值及停牌未交易的股票,由于我国新股上市的溢价效应,本文剔除及上市交易未满三个自然月的股票。数据来自 Resset 数据库、国泰安 CS-MAR 数据库。

### 1.1 投资组合构造

Fama 五因子模型如下:

$$R_{it}-R_{ft}=\alpha+\beta_i MKt_t+\beta_i SMB_t+\beta_i HML_t+\beta_i RMW_t+\beta_i CMA_t+\varepsilon_t \quad (1)$$

回归模型(1)中,  $R_{it}$  表示  $i$  资产组合在  $t$  月的加权收益率(考虑现金红利再投资),  $R_{ft}$  表示  $t$  月市场三个月无风险利率,与多数研究保持一致,采用三个月无风险利率,并将年化基准利率转化为以月度为单位计

量的收益数据。投资组合构造,采用 Fama, French (2013)年的做法,选取某两个维度(市值、账面市值比、营业利润率、投资风格)将股票池分割成 5×5 的 25 个资产组合,每年 6 月重构  $t$  年 7 月至  $t+1$  年 6 月资产组合。市值维度取  $t$  年 6 月底流通市值;账面市值比维度取  $t-1$  年 12 月底账面价值/流通市值;营业利润率维度取营业利润/所有者权益;投资风格维度我们采用  $t-1$  年总资产的年度同比增长率来定量。

### 1.2 因子构造

回归模型 (1) 中, Mkt 市场风险是指市场超额收益,市场流通市值加权月收益率(考虑现金红利再投资)减去无风险收益率。SMB 市值因子,小盘股组合和大盘股组合的月收益率之差;HML 账面市值比因子,高账面市值比组合和低账面市值比组合的月收益率之差;RMW 盈利能力因子,高盈利股票组合和低盈利组合的月收益率之差;CMA 投资风格因子,低投资比例股票组合和高投资比例股票组合的月收益率之差。本文以因子构造是有 2×3 因子构造法为例,首先将股票组合按照市值的中位数划分为两组,记为大市值(B)、小市值(S);账面市值比、盈利能力、投资风格分别以 30%、70%分位点划分为三组,分别记为高账面市值比(H)中等账面市值比(N)低账面市值比(L)、强盈利能力(R)中等盈利能力(N)弱盈利能力(W)、保守投资风格(C)中性投资风格(N)激进投资风格(A)。并对某两维度的交叉计算各分组收益率,如表 1,每月利用计算好的分组收益率计算各因子月收益率,得到风险因子的时间序列。

表 1 因子构造方式

Table 1 Factor construction

分组交叉	因子构造
规模、BP 两维度分组	SH SN SL BH BN BL
规模、盈利两维度分组	SR SN SW BR BN BW
规模、投资两维度分组	SC SN SA BC BN BA
市值因子	$SMB=(SH+SN+SL)/3-(BH+BN+BL)/3$
账面市值比因子	$HML=(BH+SH)/2-(BL+SL)/2$
盈利因子	$RMW=(BR+SR)/2-(BW+SW)/2$
投资因子	$CMA=(BC+SC)/2-(BA+SA)/2$

## 2 五因子模型在中国的适用性检验

### 2.1 风险因子描述性统计

表 2 是 2000—2018 年中美各风险因子月度收益

率描述性统计,Panel A 为中国市场数据,市值因子 SMB 均值最大为  $mean=0.73$ ,小盘股效应最为显著,盈利因子 RMW、投资因子 CMA 因子的均值仅为 0.06、0.07,即一年仅 0.72%、0.84% 的超额收益率,同时  $t$  值小于 1.68 临界值,表现并不显著。许多研究表明美国风险因子的表现长期来看是稳定且显著的,而 Panel B 是同期美股的描述性统计,在美证券市场中市场因子  $Mkt$  ( $mean=0.46, t=1.58$ )、估值因子 HML ( $mean=0.30, t=1.5$ ) 也无法在 10% 条件下显著。

表 2 风险因子月度收益率描述性统计

Table 2 Descriptive statistics of risk factors' monthly return					
Panel A 中国	$Mkt$	SMB	HML	RMW	CMA
Mean	0.51	0.73	0.24	0.06	0.07
t-Statistics	0.93	2.26	1.10	0.26	0.44
Panel B 美国	$Mkt$	SMB	HML	RMW	CMA
Mean	0.46	0.35	0.30	0.46	0.29
t-Statistics	1.58	2.01	1.50	2.70	2.09

## 2.2 风险因子累积净值曲线

李志冰等(2017)通过分时期对 A 股检验,发现不同时期,因子的表现并不一致,认为样本较小的情况下,描述性统计结果并不足够可信<sup>[23]</sup>。为了更好的刻画中美因子收益率的变化,本文将各因子月度收益率进行累加,绘制因子净值曲线图,图 1 是中国市场的因子累积净值曲线,期间 SMB 因子明显上升,说明在中国,小盘股效应相较于其他因子比较明显,而 RMW、CMA 因子在 0 轴上方反向震荡。图 2 是美国 1963—2017 年因子累积净值曲线,从长期来看,美国的因子累积净值曲线震荡向上,说明各因子确实可以带来明显的超额收益,但是从短期来看,因子累积净值曲线并无明显规律可循,如 2000—2011 年,CMA 因子呈现宽幅波动,2003—2017 年,RMW 因子窄幅波动。这种短期的因子收益率波动可能与市场投资者风险偏好切换、产业繁荣爆发期以及经济体所处的经济发展阶段有关。

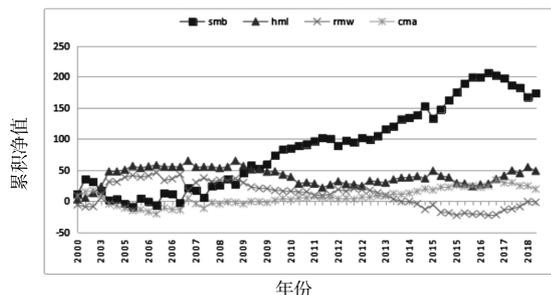


图 1 中国 2000—2018 年月度因子累积净值曲线

Figure 1 Monthly cumulative factor curve in China from 2000 to 2018

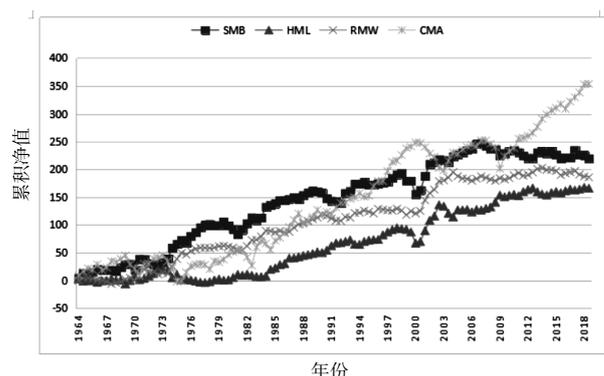


图 2 美国 1963—2017 年月度因子累积净值曲线

Figure 2 Monthly cumulative factor curve in the U.S from 1963 to 2017

## 2.3 GRS 检验

通过选取 size、bm、op、inv 中某两个维度依据每 20% 分位点,构建 5×5 组合。Gibbons, et al.(1989)提出 GRS 检验<sup>[22]</sup>,用来检测多资产组合 Alpha 截距项显著性,该检验的原假设为  $H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_N = 0$ 。具体做法是对 25 个股票组合逐次回归,对回归得出的 25 个 Alpha 做联合检验得出 GRS 统计量,并给出对应 P 值(PGRS)。表 3 中是 25 个 Alpha 绝对值的平均值,表示模型未解释部分的平均收益率。 $A |a_i| / A |r_i|$ 、 $A |\tilde{\alpha}_i|^2 / A |\tilde{\mu}_i|^2$  两个估计量都表示未被模型说明部分的比例,以上估计量都是越小越好。

通过表 3 GRS 检测结果发现,在不同资产组合分组中,GRS 统计量从上到下依次变小,说明五因子模型相比于 CAPM、三因子模型、Carhart 四因子模型更好的解释了超额收益率,但不能解释所有的超额收益率 (P-GRS 均在 5% 显著性下拒绝原假设)。值得注意的是,在 Panel C 分组,解释模型 FF 5 without CMA 的  $GRS=1.41$ 、 $PGRS=0.10116$ ,在 10% 的置信水平下无法拒绝联合为 0 原假设,表明该因子组合能够解释 size-inv 分组的超额收益。对比 FF 5 without CMA 和 FF 5 factor model 两项,五因子模型是否剔除 CMA 因子,检测结果没有太多区别,说明 CMA 因子的加入并不能提高模型的解释力度,CMA 可能是冗余因子。

## 2.4 因子冗余性检验

利用五因子模型(1)中四个因子(自变量)对余下一个因子(因变量)进行回归,用于检测因子冗余性,如果回归截距项显著异于 0,说明该因子有其他因子无法包涵的信息,不是冗余因子。表 4 展示了回归结果的截距项。回归(1)中市场因子  $Mkt$  回归截距项为 1.186% 在 5% 水平下无法拒绝为 0 假设,说明市场风

表 3 25 分组资产组合的 GRS 检测

Tab.3 25 Portfolios GRS test

解释模型	GRS	PGRS	$A a_i $	$A a_i /A r_i $	$A \tilde{\alpha}_i^2 /A \tilde{\mu}_i^2 $
Panel A: size-bm 分组					
CAPM	2.80	0.000 04	0.52	1.35	2.85
FF 3 factor model	2.50	0.000 25	0.25	0.64	0.32
Carhart four-factor model	2.40	0.000 48	0.25	0.65	0.31
FF 5 without CMA	2.13	0.002 38	0.21	0.54	0.11
FF 5 factor model	2.17	0.001 91	0.21	0.54	0.11
Panel B: size-op 分组					
CAPM	3.08	0.000 01	0.55	1.45	2.65
FF 3 factor model	3.11	0.000 01	0.35	0.93	0.93
Carhart four-factor model	2.97	0.000 01	0.34	0.90	0.98
FF 5 without CMA	2.15	0.002 13	0.22	0.59	0.17
FF 5 factor model	2.22	0.001 37	0.23	0.61	0.18
Panel C: size-inv 分组					
CAPM	2.09	0.002 90	0.50	1.31	2.43
FF 3 factor model	1.96	0.006 36	0.26	0.69	0.31
Carhart four-factor model	1.86	0.010 91	0.26	0.68	0.28
FF 5 without CMA	1.41	0.101 16	0.19	0.51	0.07
FF 5 factor model	1.66	0.030 68	0.20	0.53	0.07

表 4 风险因子冗余性检验

Table 4 Risk factors redundancy test

因变量	回归(1) Mkt	回归(2) SMB	回归(3) HML	回归(4) RMW	回归(5) CMA
2*3 分组截距项	1.186** (0.540)	0.957*** (0.164)	0.590*** (0.170)	0.425*** (0.104)	0.059 5 (0.109)
2*2 分组截距项	1.170** (0.532)	0.943*** (0.175)	0.481*** (0.131)	0.292*** (0.082 5)	-0.056 0 (0.087 3)
2*2*2*2 分组截距项	0.841 (0.544)	0.955*** (0.161)	0.434*** (0.110)	0.342*** (0.099 1)	-0.085 1 (0.077 1)

注:(1)括号内为估计量标准差;(2)\*、\*\*、\*\*\* 分别表示 10%、5%和 1%显著水平

险不是冗余因子,同样的我们可以发现 SMB、HML、RMW 无法被其余四个因子解释,而回归(5)投资因子 CMA 截距项 0.059 5,在 10%水平下接受为 0 假设,说明 CMA 能够被其他因子所解释,为冗余变量。为了增强结论的稳健性,分别对不同构造方式的因子进行冗余性检测,结论没有改变,说明投资 CMA 是冗余因子。

### 3 投资因子改进和评价

Fama (2014) 采用总资产同比增加值构建投资因子。考虑到中国市场的自身特点,上市公司金融资产中的公允价值、企业商誉、其他非经常损益、负债等项目占总资产的比重较大且存在较多极端情况,将总资产同比增长量作为投资因子的构造指标似乎有不足之处。企业在实际经营过程中,往往会依据净现值原则进行投资,即若项目未来现金流的现值大于投入成本,企业将会投资这个项目;若投资项目是无利可图

企业将不会对其进行投资。企业会不断寻找投资,直至最后一处投资的现值=成本。投资的公司越高的公司(在其他条件不变的情况下)未来将拥有更高的股票收益率,这也与 Novy-Marx(2013)的研究结论一致。因此本文采用 Lu Zhang(2007)的处理方法,利用为实体非金融实体投资构造风险因子<sup>[21]</sup>,这也更好地反应了企业在经营中体现的净现值原则。投资因子构造遵循了 Fama, French(2014)的处理方法<sup>[16]</sup>,用  $t-1$  年年末会计项目中的“购建固定资产、无形资产和其他长期资产所支付的现金总额”与  $t-1$  年总资产的比值作为  $t$  年 6 月的投资比(I/A),将前 30%高投资比公司与后 30%低投资比公司的月收益率做差作为投资因子 (Inv-Q)。

表 5 是对重构的投资因子 Inv-Q 进行冗余性检验结果,结果表明 Inv-Q 因子不能够被其余风险因子解释,截距项=-0.359( $p=0.093$ ),重构后的投资 Inv-Q 因子不是冗余因子。

表 5 Inv-Q 因子冗余性检验

Table 5 Inv-Q factor redundancy test

Inv-Q	Mkt	SMB	HML	RMW	Constant
Coef.	-0.031	-0.261	-0.007	0.201	-0.359
P>t	0.236	0.002	0.935	0.075	0.093

注:(1)括号内为估计量标准差;(2)\*、\*\*、\*\*\* 分别表示 10%、5%和 1%显著水平

由于 CMA 对模型的解释力度没有帮助,本文将 Fama 五因子模型中的 CMA 因子替换为投资因子  $Inv-Q$ ,调整后的模型  $Inv-Q$  5 factor model 如下:

$$R_{it} - R_{ft} = \alpha + \beta_i MKT_t + \beta_i SMB_t + \beta_i HML_t + \beta_i RMW_t + \beta_i inv - Q_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

表 6 是对  $Inv-Q$  5 factor model 回归模型 (2)的 GRS 检测结果,可以看出其相较于原五因子模型有了

表 6 Inv-Q 模型 25 分组资产组合 GRS 检测

Table 6 Inv-Q model 25 portfolios GRS test

分组	解释因子	GRS	PGRS	$A  a_i $	$A  a_i  / A  r_i $	$A  \tilde{\alpha}_i ^2 / A  \tilde{\mu}_i ^2$
Panel A: size-bm 分组	FF 5 factor model	2.17	0.00	0.21	0.54	0.11
	Inv-Q 5 factor model	2.03	0.00	0.19	0.49	0.09
Panel B: size-op 分组	FF 5 factor model	2.22	0.00	0.23	0.61	0.18
	Inv-Q 5 factor model	2.01	0.00	0.19	0.51	0.11
Panel C: size-inv 分组	FF 5 factor model	1.66	0.03	0.20	0.53	0.07
	Inv-Q 5 factor model	1.30	0.17	0.15	0.41	0.04

很大的提升,调整后的模型 GRS 相比于减小了 0.14-0.33,同时截距项平均值减小了 0.02-0.05,减小了 0.05-0.12,减小了 0.02-0.07,各类指标的一致减小。可以说明调整后的回归模型(2)在解释超额收益率上更有优势,在 size-inv 分组,模型加入  $Inv-Q$  后 PGRS=0.17,在 10%的置信度下接受原假设,但并未通过 size-bm、size-op 分组检测,说明检验结果并不稳健。

#### 4 结论

利用中国 A 股市场全样本 2000—2018 年的月度数据,通过绘制因子累积净值曲线图,对中美证券市场各风险因子表现进行比较分析。并对 Fama 五因子模型在中国的适用性进行检验,比较了 Fama 五因子模型与其他资产定价模型在解释力度上的差别,通过引入  $q$  因子构造方法,将投资定义为实体非金融投资,调整和改进了 Fama 五因子模型。本文研究表明:(1)长期来看,美国市场各风险因子可以带来显著的超额收益,而短期因子表现并无明显规律可循;中国存在明显的市值效应、估值效应,而盈利因子、投资因子不显著。这种短期的因子收益率波动可能市场投资

者风险偏好切换、产业繁荣爆发期以及经济体所处的发展阶段有关;(2)通过实证发现,五因子在对超额收益的解释力度上优于三因子模型、CAPM 模型、Carhart 四因子模型,与美国样本研究结果比较,五因子模型对中国证券市场超额收益的解释能力优于美国市场;(3)投资因子为冗余因子,通过引入  $q$  因子理论,将投资定义为实体非金融投资,调整后的五因子模型在解释力度上有了较大提升,并且在 size-inv 分组的 GRS 检验中表现为接受原假设。

本文极大的充实了中国市场多因子资产定价模型的研究,在探索更适用于中国的定价模型以及风险因子研究分析上提供了可借鉴的分析思路,为投资者、监管层提供了更好理解中国市场的参考方法,值得注意的是,调整后的因子模型仍不够稳健,仍有未知风险尚未发现,期待后续的研究和探索。

#### 参考文献:

- [1] SHARPE, WILLIAM F. On Capital Asset Prices: Reply. [J]. Journal of Finance, 1965, 20(1):94-95.
- [2] JOHN LINTNER. The valuation of risk assets and the selection of risky investments in stock portfolios and capital bud-

- gets.[J]Stochastic Optimization Models in Finance,1975,51(2): 131-155.
- [3] BASU S. Investment Performance of Common Stocks in Relation to Their Price-Earnings Ratios: A Test of the Efficient Market Hypothesis.[J] Journal of Finance, 1977,32(3):663-682.
- [4] BANZ, ROLF W. The relationship between return and market value of common stocks. [J]. Journal of Financial Economics,1981,9(1)3-18.
- [5] JEGADEESH, NARASIMHAN. Evidence of Predictable Behavior of Security Returns.[J].Journal of Finance ,1990,45(3): 881-898.
- [6] FAMA, EUGENE F, KENNETH R. French. The cross - section of expected stock returns.[J]. the Journal of Finance , 1992,47(2):427-465.
- [7] FAMA, EUGENE F, KENNETH R. French. Common risk factors in the returns on stocks and bonds.[J]. Journal of financial economics,1993,33(1):3-56.
- [8] FAMA, EUGENE F, KENNETH R. French. Multifactor explanations of asset pricing anomalies.[J]. The journal of finance ,1996,51(1): 55-84.
- [9] FAMA, EUGENE F, KENNETH R. French. Industry costs of equity. [J]. Journal of financial economics,1997,43(2): 153-193.
- [10] CARHART, MARK M. On persistence in mutual fund performance.[J]. The Journal of finance,1997, 52(1):57-82.
- [11] AVRAMOV, DORON, TARUN C. Asset pricing models and financial market anomalies. [J] .The Review of Financial Studies ,2006,19(3):1001-1040.
- [12] MILLER, MERTON H, FRANCO M. Dividend policy, growth, and the valuation of shares. [J].the Journal of Business, 1961,34(4):411-433.
- [13] NOVY -MARX, ROBERT. The other side of value: The gross profitability premium. [J]. Journal of Financial Economics,2013,108(1):1-28.
- [14] AHARONI G, BRUCE, QI. Stock returns and the Miller Modigliani valuation formula: Revisiting the Fama French analysis. [J]. Journal of Financial Economics,2013,110 (2): 347-357.
- [15] FAMA, EUGENE F, FRENCH K R. A five -factor asset pricing model.[J].Journal of Financial Economics,2015,116 (1):1-22.
- [16] FAMA, EUGENE F, FRENCH K R. International tests of a five-factor asset pricing mode.[J]. Journal of Financial Economics, 2016, 123(3).
- [17] 黄惠平,彭博.市场估值与价值投资策略:基于中国证券市场的经验研究[J].会计研究,2010(10):40-46+96.
- [18] 宋光辉,董永琦,陈杨炆,许林.中国股票市场流动性与动量效应:基于 Fama-French 五因子模型的进一步研究[J].金融经济研究,2017,32(1):36-50.
- [19] 赵胜民,闫红蕾,张凯.Fama-French 五因子模型比三因子模型更胜一筹吗:来自中国 A 股市场的经验证据[J].南开经济研究,2016(2):41-59.
- [20] CHEN L, ZHANG L. Neoclassical Factors[J]. "Social Science Electronic Publishing", 2007, 10(4):303-329.
- [21] GIBBONS M R, ROSS S A, SHANKEN J. A Test of the Efficiency of a Given Portfolio [J]. Econometrica, 1989, 57(5): 1121-1152.
- [22] 李志冰,杨光艺,冯永昌,等.Fama-French 五因子模型在中国股票市场的实证检验[J].金融研究,2017(6):191-206.

(责任编辑:赵其领)

## Validation and Improvement of Fama Five Factor Model in China Securities Market

SUN Ce, JIANG Xuning, HUANG Heliang

(School of Economics, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002)

**Abstract:** Since the CAPM model was put forward, asset pricing theory has been developing and perfecting, trying to better explain the excess return of assets. Fama-French five-factor model is the most advanced pricing theory. Its effectiveness in China's market needs to be verified. This paper uses monthly stock data of listed companies from 2000 to 2018 as samples and uses GRS test to examine the applicability of the five-factor model in China's securities market. It is found that the five-factor pricing model indeed improves the explanation of excess return compared with other asset pricing model but it is not perfect. This paper reconstructs and adjusts the investment factor CMA based on the principle of net present value of enterprise operation, and further improves the explanatory power of the five-factor model to excess return.

**Key words:** Fama five-factor model; investment factor modified; GRS test

# 可视化知识图谱的中国 SWAT 模型研究趋势分析

尤丽萍, 林雪儿, 林美娇, 刘君成, 何东进, 游巍斌\*\*

(福建农林大学 林学院, 福建 福州 350002)

**摘要:**采用文献计量方法和可视化分析软件 CiteSpace 对中国近 30 年来(1990—2017 年)涉及 SWAT 模型应用研究文献,从文献数量与研究趋势、文献关键词、文献期刊分布、文献研究机构与合作网络及文献研究作者合作网络 5 个方面系统梳理该模型发展历程与研究应用趋势。结果表明:①中国 SWAT 模型应用研究发文数量总体趋势明显增加;侧重于水文模拟方面和非点源污染研究方面的研究文献最为集中,而气候和环境变化对水文的响应研究成为新的热点方向;②从关键词的共现图谱来看,“敏感性分析”、“径流模拟”、“土地利用”、“气候变化”、“非点源污染”等是近年来 SWAT 模型研究中的高频关键词。该模型研究关键词共现图谱基本沿着这 5 个方向发展的同时,研究视角趋于多元化且呈现多学科交叉的特点。③《水利学报》、《资源科学》和《水土保持研究》3 个期刊从单篇文献引用次数、文献引用总次数,载文比例上均位列前三;④中国科学院地理科学与资源研究所、北京师范大学和武汉大学涉及 SWAT 模型的研究论文的引用量排名前三;并形成了以中国科学院地理科学与资源研究所和武汉大学为核心的 2 大合作机构网络。

**关键词:**SWAT 模型;文献计量;CiteSpace;流域;水文模拟

**中图分类号:**P333 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-2109(2019)03-0033-07

分布式水文模型研究是水文界研究的热点,是真实描述和科学揭示流域水文过程和规律的一个有效途径,为研究水文、生态和环境问题提供了一种有效的工具。SWAT(Soil and Water Assessment Tool)是一种具有很强的物理基础的长时段的流域分布式水文模型<sup>[1-2]</sup>。该模型适用于具有不同的土壤类型、不同的土地利用方式和管理条件下的复杂大流域,能在资料缺乏的地区建模,在加拿大和北美寒区具有广泛的应用<sup>[3]</sup>。随着模型发展和推广,目前 SWAT 模型成为流域

水文和生态环境问题研究的重要工具。SWAT 模型自 1990 年开发以来,在国外已广泛应用于水质和水量的模拟评估、非点源污染负荷估算及形成机制探讨、情景分析与预测、环境变化及农业管理措施对水文水质的影响、气候变化对区域水循环和作物生长的影响等多方面<sup>[4]</sup>。

国内 SWAT 模型的研究和应用从 2000 年前后起步,SWAT 模型的引入为西部寒冷地区水文过程的模拟提供了有用工具,它独特的分布式结构和运行控制方式也为我国分布式水文模型的研制开拓了视野<sup>[5]</sup>。SWAT 模型除了分布式径流模拟功能之外,还能用于面源污染、水土流失、土地利用和农业管理等方面的研究,是一个十分值得推广的综合性流域水文模型<sup>[6]</sup>。因此本文基于中国知网(CNKI),以“SWAT 模型”为主题词,对 1990—2017 年期间国内学者发表的相关文献进行计量分析,从文献数量与研究趋势、文献关键词、文献期刊分布、文献研究机构与合作网络及文献研究作者合作网络这五方面进行简要梳理国内对

**收稿日期:**2018-09-30

**基金项目:**国家自然科学基金基本资助项目(41301203);福建省科技厅引导性项目(2015N0018);福建农林大学 A 类毕业生科研启动资金资助项目(132130012)。

**作者简介:**尤丽萍(1994-),女,硕士研究生,主要从事森林资源经营管理的研究。

**通讯作者:**游巍斌(1984-),男,副教授、硕士生导师,主要从事景观生态学和自然地理学的研究。

SWAT 模型应用研究的发展历程及现状,以期服务于 SWAT 模型在我国的发展,并为我国的水资源管理、水土保持工作提供决策支持与依据。

## 1 研究方法

### 1.1 基于中国知网(CNKI)的文献计量

以中国知网(CNKI)为检索数据源,考虑到 SWAT 模型最早的版为 SWAT90s,故将检索时间段设置为:1990—2017年(2017年12月31日)。为保证检索结果的全面性,文献类型选择期刊和学位论文两类;最终以主题=“SWAT 模型”or 摘要=“SWAT”进行检索,获得文献 1 726 篇;在文献所属学科基础上,剔除不符合本研究要求文献 16 篇;最终确定 1 710 篇文献作为分析数据库。

### 1.2 基于知识图谱的可视化分析

伴随着数据仓库技术、信息技术和网络技术等的发展,对数据进行单纯的计量统计已经难以看出数据间更深层次的特点,数据可视化不仅能通过关系数据来识别和分析数据信息,而且能以更为直观的方式看到数据间的结构关系,从而对数据信息进行更加深入的观察和分析<sup>[7]</sup>。本文基于上文确定的中国知网(CNKI)的数据源,利用信息可视化软件 CiteSpace III, CiteSpace 软件由美国费城德雷克塞尔大学(Drexel)信息科学与技术学院的陈超美博士开发,他是国际上信息可视化领域的权威专家,多年致力于信息可视化方法及相关算法的研究。通过对文献信息的可视化,我们能够较为直观地识别学科前沿的演进路径及学科领域的经典基础文献<sup>[8]</sup>。本文通过运用信息可视化方法、文献计量统计方法和数据挖掘算法等,对引文进行相应数据挖掘和计量分析,以可视化的形式展现有关国内 SWAT 模型应用研究的发展进程和结构关系,掌握 SWAT 模型的研究现状、研究路径演变和发展趋势。

## 2 结果与分析

### 2.1 SWAT 模型文献数量与研究趋势

一定时期内的文献数量反映所研究对象的科学产出的多少,有助于了解目前学科研究的状况与发展

趋势<sup>[9]</sup>。关键词的中心度能较准确地反映了特定时期的核心研究主题和未来发展趋势<sup>[10]</sup>。根据关键词聚类图谱(图 2),整理出中心度较高的关键词进行分析(表 1),以期更全面地了解不同时期的 SWAT 模型应用研究的进展。

从每年发表文献数量和研究主题演变趋势来看(图 1 和表 1),我国应用 SWAT 模型的研究趋势总体上可划分为 3 个阶段:(1)1990—2005 年,年发文量 61 篇,占 1990—2017 年发表文献总量的 3.27%。国际上 SWAT 模型最早的版本始于 1990 年,然而我国较早研究 SWAT 模型是在 2001 年由北京林业大学水土保持学院的牛志明等共同创作的综合性论述文章《非点源污染模型在土壤侵蚀模拟中的应用及发展动态》<sup>[11]</sup>。这说明在这段期间对于 SWAT 模型的关注度较少,在此阶段的研究主题主要集中于国外 SWAT 模型的基础认识和相关理论的引入,以及对国内 SWAT 模型应用案例的评价。因此 SWAT,分布式水文模型,SWAT 模型等三个关键词的中心度较强,并且是整个研究领域的核心节点。(2)从 2006—2015 年开始,对 SWAT 模型的关注度开始提高,文献数量迅速增加,在 2015 年最高达 216 篇。随着“3S”技术的发展,SWAT 模型趋向于与高程模型(DEM)相结合,并与地理信息系统(GIS)和遥感(RS)集成。该阶段的关键词中心度具有相对的稳定性,变化幅度较小,大部分在 0.13~0.32 之间波动,个别关键词中心度在 0.02~0.08 之间波动。在此阶段的研究阶段主要集中于开展了非点源污染形成机制和水质模拟评估的探讨<sup>[12-13]</sup>,并在 GIS 的辅助下开始对流域模拟进行探讨以及土地利用变化产生的水文响应进行模拟预测<sup>[14]</sup>,表明 SWAT 模型在面源污染和覆被变化下的水文效应这两方面的研究在此期间是我国新的研究热点(3)在 2016—2017 年期间,发表文献与 2015 年的峰值相比,文献略有下降,但是国内 SWAT 模型开始出现了新的研究内容:气候变化对水文的响应研究<sup>[15-16]</sup>和水资源的管理研究<sup>[17-18]</sup>。在全球变暖背景下,研究气候变化对水文资源的影响将成为新的研究热点方向。

表 1 中国 1990–2017 SWAT 模型关键词中心度信息

Table 1 China's 1990–2017 SWAT model keyword centrality information

年份	关键词	中心度	年份	关键词	中心度	年份	关键词	中心度
2003	分布式水文模型	0.45	2008	水文响应	0.26	2012	子流域划分	0.02
2003	swat 模型	0.3	2009	水文效应	0.42	2012	洱海流域	0.03
2003	swat	0.71	2009	灌区	0.04	2013	流域	0.04
2003	非点源污染	0.29	2010	子流域	0.3	2013	参数率定	0.08
2007	径流模拟	0.26	2010	径流	0.34	2014	水文	0.16
2007	气候变化	0.32	2010	土地利用	0.23	2014	旱田改水田	0.04
2007	水文模型	0.18	2010	敏感性分析	0.83	2014	污染	0.18
2007	水资源	0.27	2010	径流量	0.19	2015	不确定性分析	0.22
2007	水文模拟	0.15	2010	子流域	0.3	2016	产沙量	0.17
2007	水资源	0.27	2010	土地利用/覆被变化	0.15	2016	晋江流域	0.04
2008	土地利用变化	0.2	2011	浑河流域	0.04	2016	水文过程	0.05
2008	模型	0.4	2011	模拟	0.3	2017	大汶河流域	0.01
2008	面源污染	0.13	2012	适用性	0.04			
2008	GIS	0.08	2012	三峡库区	0.12			

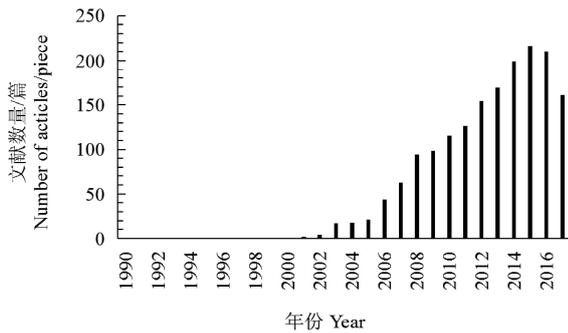


图 1 中国 SWAT 模型研究文献数量的时间分布

Figure 1 The time distribution of the number of literature in the study of SWAT model in China

## 2.2 文献关键词聚类分析

学科领域较长时期大量学术研究成果的关键词集合,可以揭示该学科总体内容特征、研究内容之间的内在联系、学术研究的发展脉络与发展方向等<sup>[19]</sup>。中国 SWAT 模型研究呈现出典型的研究初期状态,各聚类主要集中于 2007—2012 年,研究网络具有较强的集中性。从关键词的连线分布可以看出,研究围绕关键节点形成多个研究聚类,且以相似的颜色呈现(图 2)。剔除关键词 SWAT 模型、SWAT 和一些小聚类,因此,笔者将中国 SWAT 模型的研究领域重新划分为 #1 聚类敏感性分析、#2 聚类空间分布、#3 聚类径流模拟、#4 聚类土地利用变化和 #5 聚类非点源污染 5 个知识群组。

(1)“敏感性分析”聚类群。该群组的文献数量多。通过原文献追踪发现该聚类的研究主要集中在模型参数敏感性分析综述性研究。主要概括了 SWAT 模型构建及参数不确定分析、利用不同方法分别对模型进行敏感性分析以进行参数率定和利用不同算法进行流域的参数优化工作等综述性文章<sup>[20]</sup>,总结了 SWAT 模型中参数率定不确定性,以期为后面的研究者在应用 SWAT 模型时得到更准确的结果提供参考。

(2)“径流模拟”聚类群。该群组文献数量较多。在该群组中“土地利用/覆被变化”、“径流量”和“水文响应”等关键词出现的频率较高。且从节点间连线的颜色可以看出径流模拟一直贯穿于整个 SWAT 模型研究之中。研究邻域包括水量、土地利用变化及气候变化的水文响应、融雪和冻土对水文循环的影响<sup>[21–22]</sup>。

(3)“土地利用变化”聚类群。此聚类中“土地利用/覆被变化”、“人类活动”和“气候变化”等关键词存在一定的共生关系。表明了人类活动响应下景观格局变化对流域水质和水量的影响越来越受到我国学者的重视。通过原文献研究发现,土地利用变化与径流量之间的关系备受关注,针对特定区域,弄清土地利用变化与水文变化之间的联系,已经逐渐成为区域资源问题、环境问题及生态问题上政策效应分析的重要手段。

(4)“空间分布”聚类群。该群组文献数量较多。



北京师范大学和武汉大学。不同机构单篇文献引用次数差异较明显,最高的是中国科学院地理科学与资源研究所达到 42.79,较低的是西北农林科技大学仅 3.63。从研究合作网络(图 3)来看,中国对 SWAT 模型应用研究主要形成 2 大合作机构(见图 3 黑色方框)。分别在研究机构聚类合作图谱中形成了以中国科学院地理科学与资源研究所为核心的区域合作网络和以武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室以及河海大学水文水资源学院为主的合作网络,这两个聚类在整个网络中非常突出。

表 3 SWAT 模型主要研究机构简况(排名前 10)

Table3 The SWAT model focuses on institutional profiles (top10)

机构	篇数	文献引用总次数	单篇文献引用次数
中国科学院地理科学与资源研究所	72	3 081	42.79
北京师范大学	106	3 073	28.99
武汉大学	86	1 796	20.88
北京林业大学	47	638	13.57
中国水利水电科学研究院	40	403	10.08
浙江大学	39	362	9.28
福建师范大学	46	416	9.04
河海大学	74	602	8.14
吉林大学	40	308	7.70
西北农林科技大学	54	358	6.63

来源为中国知网(CNKI),表格中单位排序按单篇文献引用次数排序



图 3 SWAT 模型研究机构合作网络的可视化

Figure 3 Visualization of SWAT model research organization cooperative network

### 2.5 文献作者合作网络分析

发文作者是科学研究的主体,通过对发文作者合作网络的结构特征分析,可以反映出该领域的核心作者群之间的合作关系<sup>[35]</sup>。将 1 710 篇有效文献数据转换后导入 Citespace 软件,并进行相关设置后生成作者共引聚类知识图谱(图 4)。图 4 中的节点数量与大小代表了核心作者群体共现频次,线条数量与粗细反

映了作者合作关系与合作强度<sup>[34]</sup>,它们共同组成了作者群与合作网络的知识图谱。从合作网络来看,SWAT 模型应用研究形成了 4 个主要的核心研究团队(见图 4 黑色方框),各团队之间联系强度比较强。

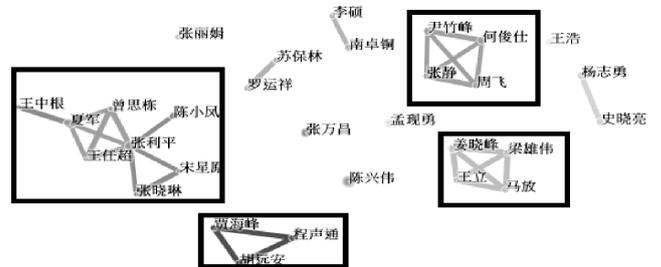


图 4 中国 1990—2017 SWAT 模型研究高产作者合作网络

Figure 4 China's 1990 to 2017 SWAT model research cooperation network for high yield authors

### 3 结论与讨论

基于中国知网(CNKI)数据库,以信息可视化软件 Citespace 和文献计量为研究手段,对我国涉及 SWAT 模型应用研究的文献数量与研究趋势、文献关键词、文献期刊分布、文献研究机构与合作网络及文献研究作者合作网络 5 个方面进行系统梳理。研究结果显示:

(1) 从文献数量与研究趋势分析来看,中国 SWAT 模型应用研究发文数量总体趋势明显增加,相对于国外,国内对 SWAT 模型的研究时间较短,并主要侧重于水文模拟方面和非点源污染研究方面,对城市化进程的水文响应模拟和在水土保持、非点源污染的控制管理工作方面尚不完善。

(2) 从关键词的共现图谱来看,“敏感性分析”、“径流模拟”、“土地利用”、“气候变化”、“非点源污染”等是近年来 SWAT 模型研究中的高频关键词。该模型研究关键词共现图谱基本沿着这 5 个方向发展的同时,研究视角趋于多元化且呈现多学科交叉的特点。在人类活动下导致的土地利用/覆被变化和气候变化日趋强烈的背景下,SWAT 模型在土地利用方式和气候变化条件下对径流产生的水文响应研究是新热点。

(3) 从文献所在期刊来看,《水利学报》《资源科学》和《水土保持研究》3 个期刊从单篇文献引用次数、文献引用总次数,载文比例上均位列前三。

(4)从研究机构分布与机构合作网络的可视化分析来看,无论是单篇文献引用次数还是文献引用总次数,中国科学院地理科学与资源研究所和武汉大学的文献引用次数都比较高,而且都形成了以其为主的2大合作机构。从发文作者合作网络分析来看,SWAT模型应用研究形成了4个主要的核心研究团队,各团队之间联系强度比较强。

近年来,国内外均对水资源评价和水文学研究逐渐被重视。国外应用SWAT模型研究内容涉及河流预测、水质评价、非点源污染控制等诸多方面。由上文可知,径流模拟和非点源污染模拟是我国研究的重点,涉及了水文循环中各要素的分析和不同气候、不同土地利用的水文响应。与国外相比,我国在管理措施、水资源利用和作物产量关系、模型的比较与联用方面的研究还比较欠缺。并且,Coffey等<sup>[36]</sup>应用SWAT模型模拟大肠杆菌在爱尔兰集水区的运输过程,得到比较理想的结果。而国内应用SWAT模拟细菌传输的研究涉及较少。此外,随着水资源越来越紧缺,我国又是一个干旱缺水严重的国家,因此有必要借鉴国外在水资源管理领域、环境变化及农业管理措施对水文水质的影响、气候变化对作物生长的影响等多方面的先进经验,以期水土保持、资源的合理规划、环境影响预测等工作提供比较有效、便捷的研究手段。

由于有些文献存在内容相近或相似的现象,根据文献数量分析SWAT模型发展历程存在一定的偏差。此外,Citespace分析工具对关键词共现率有门槛值要求<sup>[8]</sup>,这可能会导致最新发表的重要文献无法在分析中体现出来。尽管Citespace分析软件拥有先进的图谱绘制功能,但解读图谱仍然是一项有难度的工作,容易出现诸如误读、漏读和选择性解读等问题<sup>[8]</sup>,这些情况会在一定程度上影响结果分析,后续研究需要在Citespace方法应用上强化图谱解读的规范性和严谨。

### 参考文献:

- [1] 江净超,朱阿兴,秦承志,等.分布式水文模型软件系统研究综述[J].地理科学进展,2014,33(8):1090-1100.
- [2] ARNOLD J G, WILLIAMS J R, MAIDMENT D R. Continuous-Time Water and Sediment-Routing Model for Large Basins [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1995, 121 (8): 171-183.
- [3] NEI T C , S. L. , J. G. Wil liams. Soil and Water Assessment Tool Th eoretical Documentation, V ersi on 2000. http: //www. br. tamus. edu /sw at /. 2001.
- [4] GASSMAN, P W, REYES M, Green, C.H. (2007) The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development, Applications, and Future Directions. Transactions of the ASABE, 50, 1211-1250.
- [5] 赖格英,吴敦银,钟业喜,等.SWAT模型的开发与应用进展[J].河海大学学报(自然科学版),2012,40(3):243-251.
- [6] 王中根,刘昌明,黄友波.SWAT模型的原理、结构及应用研究[J].地理科学进展,2003(1):79-86.
- [7] 黄婷,郑荣宝,张雅琪.基于文献计量的国内外城市更新研究对比分析[J].城市规划,2017,41(5):111-121.
- [8] Chen, C. M. . Citespace II: Detecting and Visualizing Emerging Trends and Transient Patterns in Scientific Literature. Journal of the American Society for Information Science & Technology, 2006,57, 359-377.
- [9] 高俊宽.文献计量学方法在科学评价中的应用探讨[J].图书情报知识,2005(2):14-17.
- [10] 黄婷,郑荣宝,张雅琪.基于文献计量的国内外城市更新研究对比分析[J].城市规划,2017,41(5):111-121.
- [11] 牛志明,解明曙,孙阁,等.非点源污染模型在土壤侵蚀模拟中的应用及发展动态[J].北京林业大学学报,2001(2):78-84.
- [12] 何俊仕,周飞,张静,等.基于SWAT模型的浑河流域非点源污染负荷分析[J].水电能源科学,2011,29(12):35-37+45.
- [13] 胡远安,程声通,贾海峰,等.袁水上游小流域非点源污染研究:实验设计与数据初步分析[J].农业环境科学学报,2003(4):442-445.
- [14] 李硕. GIS和遥感辅助下流域模拟的空间离散化与参数化研究与应用[D].南京:南京师范大学,2002.
- [15] 马冲.气候变化对浙江省典型流域水文水资源的影响研究[D].杭州:浙江大学,2016.
- [16] 王苗,刘敏,夏智宏,等.基于SWAT模型模拟的未来气候变化对洪湖流域水资源影响研究 [J]. 气象与环境学报, 2016,32(4):39-47.
- [17] 张晓颖,袁刚,裴浩,等.基于SWAT模型的水资源与水环境综合管理规划研究:以临漳县为例[J].水科学与工程, 2011(3):11-13.
- [18] 申万明,杨瑞恒,胡新锁.SWAT模型在县级区域水资源管理中的应用[J].南水北调与水利科技,2010,8(4):107-110.

- [19] 李文兰,杨祖国.中国情报学期刊论文关键词词频分析[J].情报科学,2005(1):68-70+143.
- [20] 杨军军,高小红,李其江,等.湟水流域 SWAT 模型构建及参数不确定性分析[J].水土保持研究,2013,20(1):82-88+93.
- [21] 王艾.流域人类活动净氮输入的时空变化及其对河道水质的影响[D].北京:清华大学,2016.
- [22] 余文君,南卓铜,赵彦博,等.SWAT 模型融雪模块的改进[J].生态学报,2013,33(21):6992-7001.
- [23] 刘博,徐宗学.基于 SWAT 模型的北京沙河水库流域非点源污染模拟[J].农业工程学报,2011,27(5):52-61+401.
- [24] 张皓天,张弛,周惠成,等.基于 SWAT 模型的流域非点源污染模拟[J].河海大学学报(自然科学版),2010,38(6):644-650.
- [25] 胡文慧,李光永,孟国霞,等.基于 SWAT 模型的汾河灌区非点源污染负荷评估[J].水利学报,2013,44(11):1309-1316.
- [26] 杨武志,苏保林,罗运祥,等.点源影响下的 SWAT 模型非点源负荷核定方法[J].水电能源科学,2013,31(3):21-24.
- [27] 赖格英,吴敦银,钟业喜,等.SWAT 模型的开发与应用进展[J].河海大学学报(自然科学版),2012,40(3):243-251.
- [28] 庞靖鹏,徐宗学,刘昌明.SWAT 模型研究应用进展[J].水土保持研究,2007(3):31-35.
- [29] 张荣飞,王健力,李昌晓.土壤、水文综合工具(SWAT)模型的研究进展及展望[J].科学技术与工程,2014,14(4):137-142+14.
- [30] 胡彩虹,赵留香,王艺璇,等.气象、农业和水文干旱之间关联性分析[J].气象与环境科学,2016,39(4):1-6.
- [31] 李燕,梁忠民,赵卫民,等.基于 SWAT 模型的农业干旱评价方法与应用[J].南水北调与水利科技,2014,12(1):7-11.
- [32] 戴劲,章浩.SWAT 模型在我国水生态文明建设中的应用[J].安徽农业科学,2015,43(25):247-250+373.
- [33] 侯剑华.国际能源技术研究机构合作的可视化分析[J].情报杂志,2009,28(5):8-13.
- [34] 李杰,陈超美. CiteSpace:科技文本挖掘及可视化[M].首都经济贸易大学出版社,2015,78-79
- [35] 李伯华,罗琴,刘沛林,等.基于 Citespace 的中国传统村落研究知识图谱分析[J].经济地理,2017,37(9):207-214+232.
- [36] COFFEY R, CUMMINS E, BHREATHNACH N, et al. Development of a pathogen transport model for Irish catchments using SWAT [J]. Agricultural Water Management, 2010, 97(1): 101-111.

(责任编辑:赵其领)

## An Analysis of Research Trends of Chinese SWAT Model Based on Visual Knowledge Map

YOU Liping, LIN Xue'er, LIU Juncheng, HE Dongjin, YOU Weibin

(School of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002)

**Abstract:** The use of bibliometrics and visualization analysis software CiteSpace for China in the past 30 years (1990—2017) involved SWAT model applied research literature, from the number of documents and research trends, literature keywords, distribution of bibliographies, literature research institutions and cooperation networks and literature. The research author's cooperation network has systematically combed the development process of this model and research application trends in five aspects. The results show that: 1. the overall trend of the number of issued applications of China SWAT model has increased significantly; the research literature focusing on hydrological simulation and non-point source pollution research has been the most concentrated, and the response of climate and environmental changes to hydrology has become a new hotspot; 2. from the co-occurrence maps of keywords, "sensitivity analysis", "runoff simulation", "land use", "climate change" and "non-point source pollution" are the high-frequency key in SWAT model research in recent years. While studying the key co-occurrence maps in this model, the model is developing along these five directions. At the same time, the research perspective tends to be diversified and multidisciplinary. 3. Journal of Hydraulic Engineering, the three periodicals of "Resource Science" and "Soil and Water Conservation Research" rank among the top three in the number of citations, the total number of citations, and the proportion of paper citations; 4. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing Normal University and Wuhan the number of citations for research papers involving the SWAT model ranked top three; and a network of two cooperating agencies was established with the Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research of the Chinese Academy of Sciences and Wuhan University as the core.

**Key words:** SWAT model; bibliometrics; CiteSpace; watershed; hydrological simulation

# 香樟天然次生林种群空间分布格局及其关联性分析

靳少非<sup>1</sup>, 许鲁东<sup>2</sup>, 廖晓丽<sup>1</sup>, 范胜煌<sup>2</sup>

(1.闽江学院 地理科学系, 福建 福州 350108; 2.福建省林业勘察设计院, 福建 福州 350001)

**摘要:**以香樟天然次生林群落为对象,应用点格局分析法研究其空间分布格局及种间关系,为香樟天然次生林的保护与利用提供理论依据,研究结果表明:香樟天然次生林群落空间分布在小尺度上表现为聚集分布,随尺度的增大变为随机分布。群落优势树种的空间分布格局大部分呈现随机分布,个别小尺度上有聚集分布现象,其种群空间分布格局与群落整体空间分布格局相似;香樟与其他优势树种间大部分尺度上表现为相互独立的无关联性,部分尺度上有正关联,与杨桐在小尺度上存在负关联性;对香樟幼树、中树、大树三个发育阶段间绝大部分尺度上无显著关联性,幼树与中树、大树间部分尺度呈显著正关联,中树和大树间小尺度存在负关联性;群落演替处在相对稳定状态。

**关键词:**桂香樟;种群结构;空间分布;点格局分析;种间关联性

**中图分类号:**S718 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-2109(2019)03-0040-07

种群的空间分布格局是研究种群特征,种内和种间相互作用及与环境关系的重要手段,可反映种群个体在水平空间分配和分布状况<sup>[1-2]</sup>,对于揭示种群的形成和维持机制、探讨种内种间关系和种群环境关系有着重要理论意义<sup>[3-4]</sup>。种群空间分布格局的基本理论始于20世纪20年代<sup>[5]</sup>, Gleason 和 Svedburg 各自最早独立地用方差均值比率和卡方检验法进行空间分布格局研究<sup>[6-7]</sup>。我国在20世纪60年代陆续出现一些有关天然林空间分布格局的研究报道<sup>[8]</sup>。而点格局分析法作为研究种群的空间分布类型,种间的关联性和空间尺度关系的常用方法<sup>[9]</sup>,在1977年由Ripley首先提出<sup>[10]</sup>,20世纪90年代开始,我国学者开始运用点格局法进行乔木及草本等种群空间分布格局与空间关联性的研究<sup>[11]</sup>。近些年来,国内对林木空间分布格局的研究,多采用RipleyK-函数,在北方地区,田慧霞<sup>[12]</sup>、赵丽琼<sup>[13]</sup>、陈列<sup>[14]</sup>等学者运用RipleyK-函数分别对山西太岳山白

桦种群结构和空间分布格局、甘肃青海云杉种群空间分布格局、椴树红松林空间分布及空间关联进行研究。在南方地区,张忠华<sup>[15]</sup>、何增林<sup>[16]</sup>、徐化成<sup>[17]</sup>等人同样运用RipleyK-函数分别对桂林岩溶石山阴香种群的空间分布格局、海南热带山地夹竹桃科植物种群空间分布格局、对兴安落叶松不同年龄结构类型的种群空间分布格局进行了研究。香樟(*Cinnamomum camphora*),别名芳樟,木樟等,樟科樟属常绿乔木。是广泛分布于长江以南各省区的樟科常绿乔木,目前对香樟的研究主要集中于个体栽培、密度调控、城市绿化、叶片黄化、土壤微生物、精油提取等方面<sup>[18-21]</sup>。而对于香樟天然次生林的空间结构研究则鲜见报道,本研究以福建闽侯香樟次生天然林为研究对象,采用点格局分析方法对群落内香樟与各优势树种间、香樟种群内不同发育阶段间的空间关联进行分析,为香樟天然次生林的保护与利用提供理论依据。

收稿日期:2018-12-25

基金项目:国家自然科学基金(41701099)。

作者简介:靳少非(1987-),男,汉族,讲师,主要从事森林生态系统的研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地概况

研究区处于福建省福州市闽侯县白沙镇,位于闽

江之畔、闽侯县西北部,得名于闽江大量石英砂冲积,地处东经 118°51′~119°25′、北纬 25°47′~26°37′,白沙镇植被属亚热带常绿阔叶林,植被群落以香樟、马尾松、杉木、阔叶树、五节芒、芒萁骨等为主。该区域地处自然条件优越,气候温和,雨量充沛,土壤比较肥沃,有利于林木的生长,适宜建立以香樟为主的用材林基地。

## 1.2 调查方法

调查对象为香樟天然次生林群落,研究样地位于低山丘陵,样地海拔 250~350 m,坡度 26°,坡面向北,土壤为红壤,在该林分中采用相邻格子法设置两块 50 m×50 m 样地,分别记为样地 1 及样地 2,样地各边界按 5 m 间距进行分割,均匀的划分出 100 个 5 m×5 m 的正方形调查小样方,每个单元格的编号依据在样地中对应的行列,例如:单元格 1-2,即为位于第 1 行、第 2 列的单元格,行列值介于 1-10 之间。坐标转换:根据每个单元格在样地中的相应位置,把每株林木记录的坐标换算为以整个样地为一体的坐标。统一定义西南角为坐标原点,以此作为绘制林木空间分布图的基础。

## 2 研究方法

### 2.1 空间分布格局研究方法

采用点格局分析法进行空间分布格局研究,点格局分析法是以个体在空间的坐标为基础数据,每个个体可视为二维平面上的一个点,对点之间进行空间格局分析的一种方法,点格局分析法考虑了点的空间位置,是真正意义上的空间分析。

### 2.2 数据处理和分析

采用单变量 O-ring 函数并以完全空间随机模型为零模型分析香樟群落及各优势种群个体的空间分布格局<sup>[22]</sup>,采用双变量 O-ring 函数分析香樟种群不同发育阶段的空间关联性<sup>[23]</sup>。空间格局分析过程使用生态学软件 Programita2014 完成,空间尺度 0~25 m,步长 1 m,将植物种群个体视为二维平面上一个点,形成空间分布点图。为了提高种群空间分布的分析精度,经 199 次 Monte Carlo simulation 循环,得到置信区间 99% 的包迹线以检验点格局分析的显著性。对于单变量 O-ring 函数计算,实际数据计算得到的种群在不同尺度下 O(r)

值若在下包迹线以下,则为均匀分布;若在包迹线之间,则为随机分布;若在上包迹线以上,则为聚集分布。对于双变量 O-ring 函数计算,实际函数 O(r)值若高于置信区间上限,则在 r 尺度处正关联;若 O(r)值低于置信区间下限,则在 r 尺度处负关联;若 O(r)值在置信区间内,则表明种内和种间二者相互独立即无显著关联。

单变量 O-ring 计算公式:

$$O^w(r) = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Point}[R_i^w(r)]}{\sum_{i=1}^n \text{Area}[R_i^w(r)]}$$

双变量 O-ring 函数计算公式:

$$O_{12}^w(r) = \frac{\frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} \text{Point}_{s_2}[R_{1i}^w(r)]}{\frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} \text{Area}[R_{1i}^w(r)]}$$

$$\text{Point}_{s_2}[R_{1i}^w(r)] = \sum_x \sum_y S(x,y) P_2(x,y) I_r(x_i, y_i, x, y)$$

$$I_r(x_i, y_i, x, y) = \begin{cases} 1, & r - \frac{w}{2} \leq \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} \leq r + \frac{w}{2} \\ 0, & \text{其它} \end{cases}$$

$$\text{Area}[R_{1i}^w(r)] = z^2 \sum_x \sum_y S(x,y) I_r(x_i, y_i, x, y)$$

式中: $n_1$  是对象种 1 中的个体数量; $[R_{1i}^w(r)]$  表示在种群 1 中以第  $i$  个点为圆心,以  $r$  为半径,以  $w$  为宽的圆环; $\text{Point}_{s_2}[R_{1i}^w(r)]$  是对象种 2 在区域内的个体数; $\text{Area}[R_{1i}^w(r)]$  是样地面积; $(x_i, y_i)$  是对象种 1 第  $i$  个点的坐标; $S(x, y)$  为变量,  $(x, y)$  视是否在研究区域而定,在则值取 1, 否则值取 0; $P_2(x, y)$  是指每个小格中包含对象种 2 的点数; $I_r(x_i, y_i, x, y)$  也是一个变量, 随对象种 1 中第  $i$  个点为中心、以  $r$  为半径的圆而变; $z^2$  表示小格的面积。

## 3 结果与分析

### 3.1 香樟次生天然林群落的空间分布格局研究

#### 3.1.1 香樟群落整体空间分布格局

应用上述点格局分析法分别计算样地 1 与样地 2

群落空间分布结果如下:

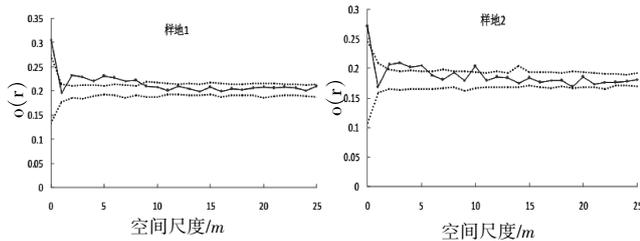


图1 群落空间分布格局

Figure 1 The spatial distribution pattern of camphor community

由图1与图2可见,样地1在3~9 m尺度下呈聚集分布,其他尺度随机分布;样地2在3~6 m和10 m下呈聚集分布,其他尺度随机分布。两个样地均表现为在小尺度下呈聚集分布,随着尺度增大,在大尺度下逐渐趋向于随机分布。两块样地整体空间分布格局变化趋势相似,这与香樟不同发育阶段数量特征统计分析结果相一致。

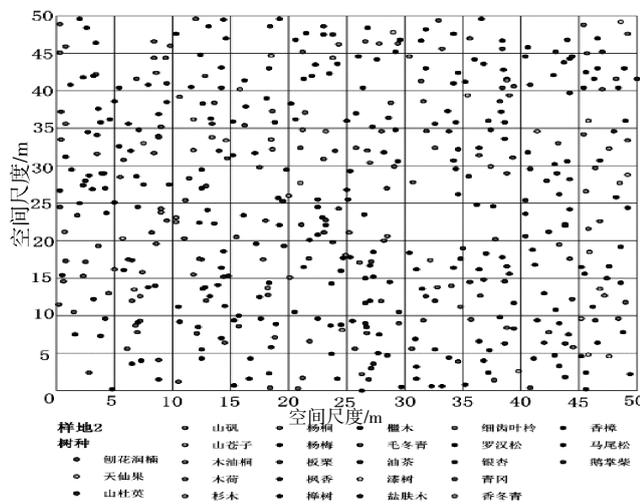
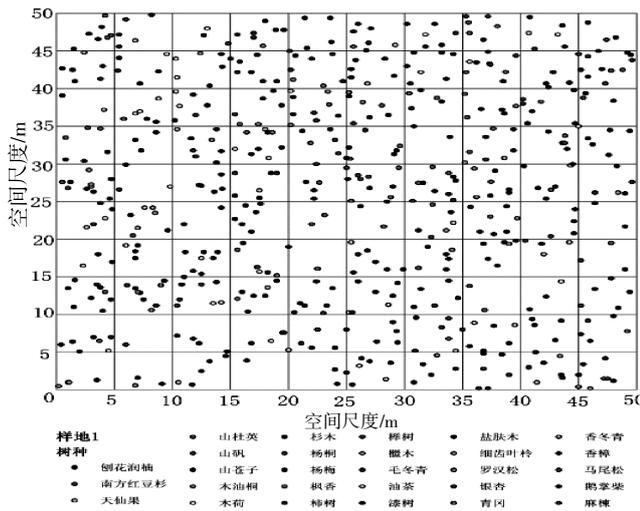


图2 样地内林木空间分布点图

Figure 2 Spatial distribution of forest trees in plots

### 3.1.2 香樟次生天然林群落优势树种空间分布格局

进一步应用点格局分析法分析计算样地1与样地2中优势树种空间分布结果如下

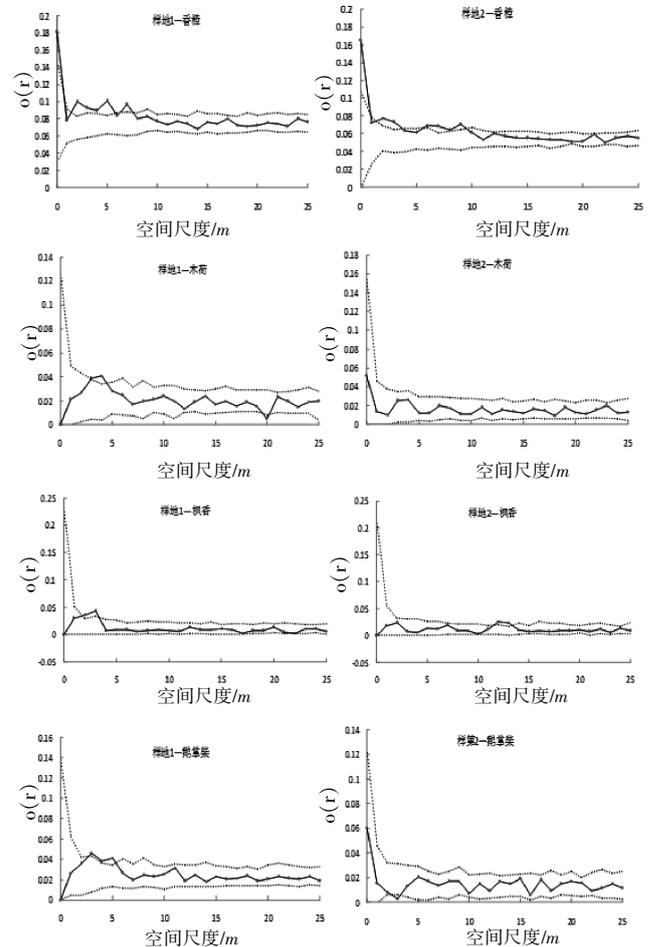


图3 各主要优势树种空间分布格局

Figure 3 Spatial distribution pattern of the main dominant species

由图3可见,样地1在2~5 m和7 m呈聚集分布,样地2在2~3 m和6~9 m呈聚集分布,大尺度上局部有些不同,但不影响整体大尺度上的随机分布的格局,其空间分布格局与群落整体相似,体现了香樟在群落中的优势地位;杨桐在样地1中除13~15 m尺度下呈聚集分布,其他尺度呈随机分布,在样地2中的除10 m和15 m尺度下呈均匀分布,其他尺度均呈随机分布,杨桐多尺度下的随机分布及小部分均匀分布可能与动物取食有关,植物种子是啮齿动物的取食对象,动物在取食过程中的搬运和储藏均可能导致杨桐在大尺度下的随机分布;青冈种群在样地1中5、7~9、14 m尺度下呈聚集分布,在样地2中5、7、10~11、15、20 m尺度下呈聚集分布,相较于其他树种,其聚集尺度范围更大,这可能与其实种子个体较大,掉落

较易聚于母株边形成聚集分布;木荷种群在样地 2 中呈随机分布,在样地 1 中 3~4 m 尺度下呈明显聚集分布;枫香在样地 1 中 3~4 m 尺度内呈聚集分布,其余呈随机分布,样地 2 内 12~13 m 尺度下呈聚集,其余尺度内随机分布;鹅掌柴在样地 1 内 3~5 m 尺度内呈聚集分布,其余尺度为随机分布,在样地 2 内 2~3 m 尺度下为均匀分布,其余尺度呈随机分布。大部分优势树种统一在大尺度下表现随机分布,在小尺度下呈现局部聚集,这与小尺度上的种内竞争、种子扩散机制及大尺度上的生境有关。

### 3.2 香樟与其他优势树种的空间关联性分析

通过香樟与其他优势树种间的空间关联性分析

以了解天然香樟次生林对于生境与空间的资源的适应性与依赖性,结果如下:

由表 1 可见,样地 1 中,香樟与木荷在 3~4、10~11、17、19~20 m 尺度上存在的正关联,大部分尺度下表现为相互独立;香樟与枫香在 5~6 m 和 16 m 尺度上表现为正关联;香樟与鹅掌柴在 22 m 尺度上呈正关联,其它尺度为无关联;香樟与青冈在 5~7、15~17 m 尺度上呈正关联,在其它尺度呈相互独立;香樟与杨桐在 2、8~9 m 尺度上呈正关联,在 6 m 尺度呈负关联,其他尺度呈相互独立特点。通过表 2 可见,样地 2 中,香樟与木荷在 2、5~6、12、16~17 m 尺度上呈正关联;与枫香在 3~4、11~12 m 及 19 m 尺度上呈正关联;

表 1 样地 1 主要树种和香樟的种间关联性

Table 1 Interspecific association of major tree species and cinnamomum camphora in plot 1

样地	种间	尺 度														
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
样地 1	香樟-木荷	r	r	r	+	+	r	r	r	r	r	+	+	r	r	r
	香樟-枫香	r	r	r	r	r	+	+	r	r	r	r	r	r	r	r
	香樟-鹅掌柴	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r
	香樟-青冈	r	r	r	r	r	+	+	+	r	r	r	r	r	r	r
	香樟-杨桐	r	r	+	r	r	r	-	r	+	+	r	r	r	r	r
样地	种间	尺 度														
		15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25				
样地 1	香樟-木荷	r	r	+	r	+	+	r	r	r	r	r				
	香樟-枫香	r	+	r	r	r	r	r	r	r	r	r				
	香樟-鹅掌柴	r	r	r	r	r	r	r	+	r	r	r				
	香樟-青冈	+	+	+	r	r	r	r	r	r	r	r				
	香樟-杨桐	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r				

注:-表示负关联;+表示正关联;r表示无显著关联

表 2 样地 2 主要树种和香樟的种间关联性

Table 2 Interspecific association of major tree species and cinnamomum camphora in plot 2

样地	种间	尺 度														
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
样地 2	香樟-木荷	r	r	+	r	r	+	+	r	r	r	r	r	+	r	r
	香樟-枫香	r	r	r	+	+	r	r	r	r	r	r	+	+	r	r
	香樟-鹅掌柴	r	r	r	r	r	+	+	r	r	r	r	r	r	r	r
	香樟-青冈	r	r	r	r	+	r	+	r	r	r	r	r	r	r	r
	香樟-杨桐	r	r	r	-	-	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r
样地	种间	尺 度														
		15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25				
样地 2	香樟-木荷	r	+	+	r	r	r	r	r	r	r	r				
	香樟-枫香	r	r	r	r	+	r	r	r	r	r	r				
	香樟-鹅掌柴	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r				
	香樟-青冈	+	+	r	+	+	r	r	r	r	r	r				
	香樟-杨桐	r	r	+	+	r	r	r	r	r	r	r				

注:-表示负关联;+表示正关联;r表示无显著关联



树种的随机与均匀分布则与啮齿动物取食密不可分。

树种间关联性是对环境和空间资源利用相适应的结果,对生境的依赖性往往决定种间关联性<sup>[25]</sup>。香樟与其他优势树种之间大部分尺度上表现为相互独立的无关联性,局部有正关联,这主要与优势树种生态习性各不相同有关,一定程度上说明香樟与这些优势树种可以共存,空间竞争较小,形成一定空间上的依赖。香樟与杨桐树种在样地 1 和样地 2 中小尺度上均存在负关联性,表明杨桐与香樟存在局部尺度上的激烈竞争,可能是在香樟所形成的主林层中存在一定数量杨桐,与其竞争空间资源较大所造成的。香樟与不同树种间空间关联性的不同,充分说明了不同树种间空间关联的复杂性,在今后更深入的研究中需做进一步的探讨。

对香樟幼树、中树、大树三个发育阶段间的空间关联性进行分析,两块样地中香樟三个发育阶段间绝大部分尺度上呈无显著关联性,幼树和中树、大树间小部分呈显著正关联,结果表明,香樟幼苗为获得更好的生长空间资源,出现在中树和大树斑块间隙,尽量减少中树和大树对其自身生长的影响,但在局部形成对中树和大树的依赖,表现出幼苗寻求中树和大树保护的生物特性。香樟中树和大树在样地 1 中 2 m 尺度上和样地 2 中 3~4 m 尺上呈现负关联性,表明在小尺度上香樟中树和大树间存在一定空间资源上的种内竞争,这一定程度上影响了中树生长为大树的速度。

一般而言,随着群落演替的发展,种间的正关联性程度逐渐加大,当群落演替到顶级群落时,种间关系表现为明显正关联<sup>[26]</sup>。本次研究的香樟次生天然林群落中优势种在大多数尺度上表现为相互独立的无关联性,说明香樟次生天然林群落的结构未达到很稳定的状态,处于相对稳定状态,群落演替发展处于演替初期群落地过渡阶段,在接下来的群落演替发展中,种间竞争竞争将越发激烈,物种更替频繁,种群更替速率加快,群落整体更新速率将处于较高水平。

## 参考文献:

- [1] 张金屯. 植物种群空间分布的点格局分析 [J]. 植物生态学报, 1998, 22(4):344-349.
- [2] 张金屯. 植被数量生态学方法[M]. 北京:中国科学技术出版社, 1995.
- [3] GREIG S P. Quantitative Plant Ecology [M]. Oxford:Blackwell Scientific Publication, 1983: 54-104.
- [4] 许强, 吕金枝, 苗艳明, 等. 翅果油树群落主要物种空间分布格局及其关联性[J]. 植物学报, 2016, 51(1):49-57.
- [5] 李明辉. 天山云杉天然林分空间格局的研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学, 2000:2-4.
- [6] GREIG S P. Quantitative Plant Ecology [M]. London: Butterworths.1964.
- [7] KERSHAW K A. Quantitative and Dynamic Plant Ecology [M]. London :Edward Arnold,1985:50-127.
- [8] 叶万国, 孙曦. 种群空间格局分布研究进展综述[J]. 绿色科技, 2009(3):22-24.
- [9] 刘妍妍. 典型阔叶红松林木本植物的空间分布格局及其与生境的关联性[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2014.
- [10] RIPLEY B D . Modelling spatial pattern [J].Journal of the Royal statistical Society: Series B,1977(39):17-212.
- [11] 张金屯, 孟东平. 芦芽山华北落叶松林不同龄级立木的点格局分析[J]. 生态学报,2004(1):35-40.
- [12] 田慧霞, 李钧敏, 毕润成, 等. 山西太岳山白桦种群结构和空间分布格局[J]. 生态学杂志, 2017, 36(1):1-10.
- [13] 赵丽琼, 黄华国, 梁大双, 等. 甘肃大野口青海云杉种群的空间分布格局[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(4):59-64.
- [14] 陈列, 赵秀海, 张赟. 长白山北坡椴树红松林空间分布及其空间关联[J]. 北京林业大学学报, 2009, 31(3):6-10.
- [15] 张忠华, 梁士楚, 胡刚. 桂林岩溶石山阴香种群的空间分布格局[J]. 福建林业科技, 2007, 34(3):103-106.
- [16] 何增丽. 海南尖峰岭热带山地雨林 4 种夹竹桃科植物空间分布格局研究[D]. 广州:华南农业大学, 2016.
- [17] 徐化成, 范兆飞. 兴安落叶松原始林林木空间格局的研究 [J]. 生态学报, 1994, 14(2):155-160.
- [18] 惠光秀. 上海香樟及女贞群落密度特征及邻体效应研究 [D]. 上海:华东师范大学,2010.
- [19] 胡凌, 商侃侃, 张庆费, 等. 密度调控对香樟人工林林木生长及空间分布的影响 [J]. 西北林学院学报,2014,29(2): 20-25.
- [20] 陈铁壁, 全沁果, 段丽萍, 等. 永州香樟叶精油的提取及其季节含量变化[J]. 天然产物研究与开发, 2016(1):83-89.
- [21] 袁梦, 陈晓娟, 秦金舟, 等. 生理性黄化香樟叶绿素荧光特性的研究[J]. 江西农业大学学报,2013,35(6):1193-1198.
- [22] 张莉, 陆畅, 李晓红, 等. 皇藏峪自然保护区青檀种群年龄结构及种内、种间竞争[J]. 上海交通大学学报(农业

- 科学版),2012(1):34-40.
- [23] 胡小兵, 于明坚. 青冈常绿阔叶林中青冈种群结构与分布格局[J]. 浙江大学学报(理学版), 2003(5):574-579.
- [24] HARMS K E, CONDIT R, HUBBELL S P. FOSTER R B. Habitat associations of trees and shrubs in a 50 -ha neotropical forest plot [J]. *Journal of Ecology*,2001,89 (6): 947-959.
- [25] WANG L, SUN Q W, HAO C Y, et al. Point pattern analysis of different age-class *Taxus chinensis* var. *mairei* individuals in mountainous area of southern Anhui Province[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010,21(2):272-278.

(责任编辑:叶丽娜)

## An Analysis on the Spatial Distribution Pattern and Interspecies Correlation of Natural Secondary Forest of *Cinuosomum Camphor*

JIN Shaofei<sup>1</sup>, XU Ludong<sup>2</sup>, LIAO Xiaoli<sup>1</sup>, FAN Shenghuang<sup>2</sup>

(1. School of Geography, Minjiang University, Fuzhou, Fujian 350108;

2. Fujian Forestry Prospect and Design Insitute, Fuzhou, Fujian 350001)

**Abstract:** To provide the theoretical and practical supports for the protection and utilization of natural secondary forest of *cinuosomum camphor*, a point pattern analysis method was performed to investigate the spatial distribution patterns and the interspecies relation of *cinuosomum camphor* in Minhou, Fujian Province. The results showed that the spatial distribution pattern of natural secondary forest communities of *cinuosomum camphor* was with random distribution pattern on a global scale, while with an aggretrate distribution pattern on a small scale. In addition, the spatial distribution patterns for the dominant species are with similar patterns with the entire community. There were no corelations between the community of *Cinuosomum camphor* and the other dominant species on the global scales, while positive corelations were found on small scale. Further, there were no significant corelations among the young saplings, middle trees and big trees on the global scale. However, according to results on a small scale, there were significant positive corelations between the saplings and the middle and large trees, and negative corelations between the small trees and the small trees. Our study illustrated that the community succession natural secondary forest of *cinuosomum camphor* was kept at a relatively stable stage.

**Key words:** *cinuosomum camphor*; community structure; spatial distribution; point pattern analysis method; interspecies correlation

# 汉中市古树名木科学文化价值额的计量分析

王哲<sup>1,2</sup>, 江蓝<sup>1,2</sup>, 蓝亦琦<sup>1,2</sup>, 何中声<sup>1,2</sup>, 刘金福<sup>1,2</sup>, 廖咸康<sup>3</sup>

(1.福建农林大学 海峡自然保护区研究中心, 福建 福州 350002; 2.生态与资源统计福建省高校重点实验室; 福建 福州 350002;  
3.安康学院 现代农业与生物科技学院, 陕西 安康 725000)

**摘要:**通过科学文化价值评估法对汉中市古树名木科学研究价值额、历史文化价值额与科学文化价值额进行统计,结果表明:该市古树名木科学研究价值额为75 162.16万元,历史文化价值额为19 594.83万元,科学文化价值总额约为94 756.99万元。从不同种类古树名木价值额来看,白皮松(*Pinus bungeana*)科学文化价值额和科学研究价值额最高,柏木(*Cupressus funebris*)历史文化价值额最高。从不同县区古树名木价值额来看,西乡县科学文化价值额和科学研究价值额最高,勉县的历史文化价值额最高。其结果旨在促进政府与民众对古树名木的重视与保护。

**关键词:**汉中;古树名木;价值评估;保护

**中图分类号:**S759.93 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-2109(2019)03-0047-07

古树名木多为乡土树种,其所处位置、生存环境及展现形态,直接或间接反映了当地地理、气象与水利等自然演替的历史信息<sup>[1]</sup>。但受自然灾害、工程建设等影响,古树名木遭受破坏,生长存活困难,如何评估古树名木价值额对保护古树名木资源、挖掘区域文化内涵、促进城市生态与文化建设具有重要意义,也备受国内外高度关注。董冬等(2011)使用AHP和FSE法侧重古评估树种景观与美学价值<sup>[2]</sup>,该研究适用于园林植物价值评估,对古树名木实际价值评估存在不足;胡月玲(2000)提出半定量评分法侧重对古树名木价值的定性评估<sup>[3]</sup>,而国外CTLA评估体系、Burnley评估体系、STEM评估体系与AVTW评估体系仅侧重对其基价与景观价值研究<sup>[4-6]</sup>,相关研究均未对古树名木

科研、历史、文化价值进行综合评估;王继程(2011)使用层次分析法侧重于景观,木材,林产品价值计算<sup>[7]</sup>;林思平(2014)年结合成本法、收益法、市场法、灰色关联度分析法与层次分析法计算古树名木价值<sup>[8]</sup>,该方法易受人为因素干扰,计算方式复杂,且实际古树名木养护成本有限,收益率有限;而米锋等(2006)提出科学文化价值评估法以树种价值为基准值,运用稀缺理论、资产评估理论等基本原理<sup>[9]</sup>,将古树名木树种基价与其独有的科研、历史、文化价值紧密结合。该方法不受主观因素影响,且适宜树龄大、历史文化厚重、科研意义重大的古树名木进行评估。

汉中市是秦蜀地域文化的交汇重镇,历史人文意义大。而古树名木记录了这一地区历史进程与时代变迁,如城固县春秋战国名医扁鹊手植银杏(*Ginkgo biloba*),西汉政治家张良手植干香柏(*C. duclouxiana*),西汉外交家张骞墓前柏木,洋县东汉造纸术改良家蔡伦墓柏木,略阳县唐代李白手植银杏等数量可观的各种名木和珍奇古树,每一株都充满历史文化与传奇典故<sup>[10]</sup>。该市古树名木虽分布广、种类多、数量大、树龄长且历史文化价值突出,但由于各种灾害导致其大都均有不同程度损伤。为此,通过对汉中市古树名木调查,联系当地森林资源与古树名木等数据采用园林树种

收稿日期:2018-03-15

基金项目:国家自然科学基金(31700550;31770678);福建省自然科学基金项目(2015J05051)。

作者简介:王哲(1993-),男,汉族,硕士研究生,主要从事生物多样性的研究。

通讯作者:何中声(1985-),男,博士,硕士生导师,主要从事野生动植物保护与利用研究;刘金福(1966-),男,教授,博士生导师,主要从事森林生态学的研究。

基价与科学文化价值评估法结合研究该市古树名木价值额,提出相应保护方案,旨在为古树名木合理管护提供依据。

### 1 研究区概况

汉中市北依秦岭,南临大巴山,中有汉中盆地,南高北低,地理位置介于东经 105°30'50"~108°16'45",北纬 32°08'54"~33°53'16"之间。辖区总面积 27107.5 km<sup>2</sup>,占陕西省总面积的 13.17%;包含 11 个县区与 1 国家级经济开发区,总人口 384.14 万,海拔分布 371~3071 m,年平均温度为 14 ℃,年降水量 750~900 mm,为典型湿润北亚热带季风气候<sup>[11]</sup>。该市生物资源丰富,垂直地带差异显著,植被茂密,主要分布有尖叶栎 (*Quercus oxyphylla*)、青冈 (*Cyclobalanopsis glauca*)、香樟 (*Cinnamomum camphora*)、白桦 (*Betula platyphyl-lla*)、山杨 (*Populus davidiana*)、油松 (*P. tabuliformis*)、冷杉 (*Abies fabri*)、云杉 (*Picea sperata*) 与杜鹃 (*Rhododendron simsii*)等<sup>[12]</sup>。其独特的地形、气候、水文和生物环境,为古树名木的生长与发育创造了良好的条件。

### 2 研究方法

#### 2.1 数据来源

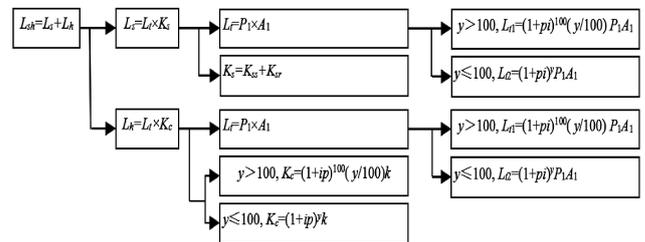
数据主要由当地林业部门历史数据(汉中市政发(2017)24 号文件)并结合外业实地调查,对汉中市 11 个县区进行全面统计,调查时间为 2015 年 7 月到 10 月,历时 3 个月,具体主要参照《全国古树名木普查建档技术规定》结合走访与问询参与 2017 年汉中市新一轮古树名木普查工作人员的方法,记录各古树名木的位置及其树种、保护级别、胸径、冠幅、树龄、典故系数等<sup>[9,13-15]</sup>。其中,将树龄在百年以上的大树定义为古树,而那些树种稀有、名贵或具有历史价值、纪念意义的树木则称为名木。调查得知名木为 2 株 48 年生水杉,分布在汉台区;1 株 310 年生旱莲,1 株 75 年生红豆树,1 株 45 年生喜树,1 株 110 年生黑壳楠,分布在勉县,其余大于 100 年的树种均作为古树统计。各树种的典故系数主要通过问询与查找古树名木相关的

历史和神话传说得出,经调查汉中市南郑县黎坪镇梨坪村苍坝有 3000 株巴山松大型古树群,西乡县堰口镇午子山有 21312 株白皮松古树群,由于其历史传说内容有限,典故系数为 0,其余古树名木大都集中在名胜古迹、庙宇、祠堂、村落旁,典故系数起点为 1,采用逐株标注再总体累积的方式计算。不同树种的苗木最低单价及相应树种价格则通过中国园林网苗木报价与市场调查(地径 2cm×树高 100cm)相结合获得<sup>[13]</sup>。稀有程度系数( $K_{sr}$ ),主要通过该树种所在森林类型林分面积占本省森林面积比例计算。

#### 2.2 古树名木价值额的计量

考虑到古树名木的树种特质、长势及所处环境及树龄差异,先通过相同冠幅×胸径园林树种价格控制古树名木基价,低于基价则以基价为准,其余均采用科学文化价值额计算。

科学文化价值额( $L_{sh}$ )包括科学研究价值额( $L_s$ )和历史文化价值额( $L_h$ ),分别以“树种价值”作为基准值,用科研价值级别系数和文化价值级别系数来体现<sup>[9]</sup>,见公式(\*1):式中, $L_{sh}$ 为科学文化价值额, $L_s$ 为科学研究价值额, $L_h$ 为历史文化价值额; $L_t$ 为树种价值额, $K_s$ 为科研价值级别系数; $A_1$ 为实际量; $L_{t_1}$ 为树龄  $y > 100$  年古树名木的树种价值额, $L_{t_2}$ 为树龄  $y \leq 100$  年古树名木的树种价值额, $P_t$ 为物价指数年增长率, $P_1$ 为树种目前最低苗木价格, $y$ 为树龄; $K_{ss}$ 为珍贵程度系数, $K_{sr}$ 为稀有程度系数; $K_c$ 为文化价值级别系数; $ip$ 为我国年均人口增长率, $k$ 为典故系数。



其中,古树名木株数( $A_1$ )和树龄( $y$ )通过实际调查得到。典故系数  $k$  是反映古树名木是否具有历史文化典故及衡量古树名木典故价值大小的度量值。根据有无典故、典故的真实性、典故的久远性及所涉及人物的知名度进行等级划分,即与帝王或国家元首有关( $k$ )为 4,与将相或社会名流有关则( $k$ )为 2,逸闻传说( $k$ )

为 1,没有典故则为 0。详情参见:汉中市政发(2017)24 号文件<sup>[3]</sup>。同时,根据农业生产资料价格指数<sup>[9,16]</sup>得出汉中物价指数年增长率为 0.054,通过《中国统计年鉴》获取我国年均人口增长率为 0.0081<sup>[6]</sup>。

对于树种珍贵系数的衡量,以某树种是否属于珍稀濒危保护植物为基础,并根据类别和保护级别来确定该树种的珍贵程度系数( $K_{ss}$ )。根据《中国珍稀濒危保护植物名录:第一册》现制定树种珍贵程度系数评分标准<sup>[7]</sup>,当等级分值为 5 时,类别为濒危,珍贵级别 1 级, ( $K_{ss}$ )为 3;等级分值为 3 时,类别为稀有,珍贵级别 2 级, ( $K_{ss}$ )为 2;等级分值为 1 时,类别为渐危,珍贵级别 3 级, ( $K_{ss}$ )为 1。稀有程度系数( $K_{sr}$ )的计算:

$$K_{sr} = S_a \times S_b^{-1} / \min \{ S_a \times S_b^{-1} \mid i=1,2,\dots,n \} \quad (1)$$

式中,  $S_a$  为陕西省林分总面积 639.3hm<sup>2</sup>,  $S_{bi}$  为陕西省第  $i$  个树种对应林木类型的林分面积,  $\min \{ S_a \times S_{bi}^{-1} \mid i=1,2,\dots,n \}$  为陕西省林分总面积与陕西省第  $n$  个树种林分面积的最小比值。据调查及资料整理分析,共列出了 11 个陕西省主要森林树种类型林分面积,  $n=11$ 。  $\min S_a \times S_{bi}^{-1}$  取 159.28/639.3 为 4.01。由此计算出得出陕西省森林树种稀有程度系数见表 1, 未涵盖的古树名木树种稀有程度系数( $K_{sr}$ )参见表 1 及备注中“其他林木”对应的稀有程度系数。

表 1 陕西省各树种稀有程度系数 ( $K_{sr}$ )

Table 1 The rarity coefficient of tree Species in shaanxi Province ( $K_{sr}$ )

森林树种类型	林木林分面积(S)	稀有程度系数( $K_{sr}$ )
桦木	22.08	7.22
辽东栎	71.64	2.23
栓皮栎	33.28	4.79
其他栎类	159.28	1.00
其他硬阔	144.83	1.10
软阔	82.25	1.94
油松	55.33	2.88
其他松类	29.10	5.48
其他针叶	32.00	4.98
其他林木类型	9.27	17.18

注:由于  $K_{sr}$  越大表明该树种在陕西省林分面积占有率越稀少即越稀有,因此“其他林木类型”的  $K_{sr}$  值应取最大值“17.18”。

### 3 结果与分析

#### 3.1 古树名木种类及数量

汉中辖区内古树名木调查共有 110 种,26 337 余株,见表 2。其中树龄最大为 1 株 3 700 年的青檀 (*Pteroceltis tatarinowii*),其次为 1 株 2 216 年干香柏,均分布在城固县。调查区数量最多的为白皮松 21 315 株,分布在西乡县;其次为巴山松(*P. henryi*)3 005 株,有 3 000 株分布在南郑县,其余分布在镇巴县。超过 100 株的树种有侧柏 (*Platycladus orientalis*)、铁坚杉 (*Keteleeria davidiana*)、铁杉 (*Tsuga chinensis*) 与黄连木 (*Pistacia chinensis*),其余调查区树种数量基本趋于一致。

#### 3.2 古树名木不同种类的价值额

不同树种价值额评估结果见表 2。调查区科学文化价值额达千万元以上的分别为白皮松、巴山松、柏木、侧柏、银杏、青檀、铁坚杉、桂花 (*Osmanthus fragrans*) 与铁杉;科学文化价值额达百万元以上的分别有黄连木、岩栎 (*Q. acrodonta*)、干香柏、楠木 (*Phoebe zhennan*)、柞木 (*Xylosma congesta*)、皂荚 (*Gleditsia sinensis*)、茶树 (*Camellia sinensis*)、红豆杉 (*Taxus wallichiana var. chinensis*)、七叶树 (*Aesculus chinensis*)、珊瑚朴 (*Celtis julianae*)、朴树 (*C. sinensis*) 与栓皮栎 (*Q. variabilis*);科学文化价值额在十万元以上的有油樟 (*C. longepaniculatum*)、榆树 (*Ulmus pumila*)、国槐 (*Sophora japonica*)、柘树 (*Maclura tricuspidata*)、包果柯 (*Lithocarpus cleistocarpus*)、糙叶树 (*Aphananthe aspera*)、油松、黑壳楠 (*Lindera megaphylla*)、合欢 (*Albizia julibrissin*)、鹅耳枥 (*Carpinus turczaninowii*)、飞蛾槭 (*Acer oblongum*)、枫杨 (*Pterocarya stenoptera*)、凌霄 (*Campsis grandiflora*)、枫香 (*Liquidambar formosana*)、麻栎 (*Q. acutissima*)、金弹子 (*Diospyros cathayensis*)、榉树 (*Zelkova serrata*)、红豆树 (*Ormosia hosiei*)、刺叶栎 (*Q. spinosa*)、柿树 (*D. kaki*)、石楠 (*Photinia serratifolia*)、高山柏 (*Juniperus squamata*)、紫薇 (*Lagerstroemia indica*)、马尾松 (*P.massoniana*)、三尖杉 (*Cephalotaxus fortunei*)、花楸树 (*Sorbus pohuashanensis*)、黄杉 (*Pseudotsuga sinensis*)、冷杉、粗糠树

表2 汉中市不同古树名木树种价值额(万元)

Table 2 Different ancient trees species value loss measurement of Hanzhong area(ten thousand yuan)

树种(株数)	$L_s$	$L_h$	$L_{sh}$	树种(株数)	$L_s$	$L_h$	$L_{sh}$	树种(株数)	$L_s$	$L_h$	$L_{sh}$
白皮松(21315)	72 846.30	209.53	73 057.96	香樟(14)	4.08	23.00	27.08	山桃(1)	0.38	2.33	2.71
巴山松(3005)	5 712.96	27.96	5 740.91	冬青(11)	3.32	21.86	25.18	红榔木(2)	0.66	2.07	2.73
柏木(428)	637.35	3 861.43	4 498.78	金弹子(9)	3.78	19.26	23.04	山桐子(1)	0.51	2.07	2.58
侧柏(117)	449.88	3 638.32	4 088.21	榉树(12)	9.84	19.18	29.02	四川木姜子(1)	0.51	2.07	2.58
银杏(231)	351.74	2 100.35	2 452.09	红豆树(3)	1.16	16.09	17.25	臭辣吴萸(1)	0.51	2.07	2.58
青檀(12)	85.46	1 850.59	1 936.05	刺叶栎(16)	2.72	15.95	18.67	杉木(5)	2.84	2.06	4.90
铁坚杉(109)	608.18	1 716.52	2 324.70	柿树(10)	3.29	13.80	17.09	枸树(2)	0.38	1.94	2.32
桂花(78)	81.85	1 428.27	1 510.12	石楠(3)	2.67	13.19	15.85	毛桐(1)	0.48	1.87	2.35
铁杉(110)	322.64	877.66	1 200.30	高山柏(2)	1.12	12.83	13.95	核桃树(3)	0.87	3.18	4.04
黄连木(245)	74.77	658.22	733.00	紫薇(13)	2.90	14.35	17.27	毛肋杜鹃(1)	0.97	1.65	2.62
岩栎(6)	15.58	531.36	546.94	马尾松(4)	4.93	12.70	17.64	旱柳(3)	0.84	1.57	2.41
干香柏(6)	50.94	507.89	558.84	三尖杉(2)	7.56	11.97	19.52	湘楠(2)	1.00	1.53	2.52
楠木(63)	76.66	285.56	362.22	花椒树(1)	1.39	11.59	12.98	银雀树(2)	1.16	1.50	2.66
柞木(55)	26.92	265.90	292.82	黄杉(1)	2.62	11.31	13.93	水青树(1)	0.91	1.45	2.36
皂荚(85)	20.09	184.54	204.63	冷杉(3)	9.57	10.64	20.21	紫荆(1)	0.35	1.43	1.78
茶树(2)	8.06	138.70	147.04	粗糠树(4)	1.93	9.49	11.41	秦岭冷杉(1)	2.39	1.43	3.83
红豆杉(10)	58.10	129.02	187.12	巴山冷杉(2)	6.85	9.10	15.95	石榴(1)	0.36	1.22	1.57
七叶树(18)	17.10	123.28	140.38	润楠(1)	2.52	8.39	10.91	沙梨(1)	0.38	1.16	1.54
珊瑚朴(10)	20.81	120.93	141.74	青冈(18)	1.97	8.65	10.61	望春玉兰(1)	0.30	1.12	1.42
朴树(14)	14.12	96.49	110.60	巴山榿(2)	1.59	8.40	9.99	云杉(1)	0.35	1.07	1.42
栓皮栎(38)	40.55	59.75	100.30	色木槭(1)	1.48	6.90	8.38	香果树(1)	0.25	1.03	1.29
油樟(8)	6.66	78.54	85.20	秀丽槭(6)	2.99	6.71	9.70	雀舌黄杨(1)	0.36	1.01	1.37
榆树(3)	2.89	65.13	68.01	青树栎(2)	0.74	6.39	7.13	苏铁(1)	2.07	1.01	3.07
国槐(21)	7.82	58.65	66.46	刺楸(2)	1.17	5.98	7.15	小叶青冈(3)	0.28	1.00	1.27
柘树(2)	3.43	58.05	61.48	榭栎(1)	0.63	5.80	6.43	柚木(1)	0.35	0.78	1.13
包果柯(11)	8.08	56.71	64.79	化香(4)	1.46	5.75	7.21	厚朴(1)	0.45	0.68	1.13
糙叶树(12)	7.28	53.44	60.72	青藤仔(2)	1.16	4.94	6.10	文冠果(1)	0.32	0.65	0.96
油松(7)	15.91	46.07	61.98	圆柏(4)	4.45	4.92	9.38	重阳木(2)	0.28	0.63	0.91
黑壳楠(8)	7.87	44.34	52.21	兴山榆(1)	0.74	4.85	5.60	曲脉卫矛(1)	0.12	0.47	0.59
合欢(8)	3.61	42.45	46.06	尖叶栎(2)	0.69	4.65	5.35	麻梨(1)	0.22	0.45	0.67
鹅耳枥(1)	1.78	38.01	39.79	臭椿(1)	0.91	4.30	5.21	榔榆(1)	0.22	0.45	0.67
飞蛾槭(18)	10.35	37.52	47.87	榔榆(1)	0.68	4.29	4.98	柚子(1)	0.18	0.41	0.59
枫杨(44)	10.63	37.09	47.72	银白杨(1)	0.69	4.20	4.89	桑树(1)	0.14	0.36	0.50
凌霄(2)	1.81	31.67	33.49	庙台槭(1)	1.16	3.62	4.78	无患子(1)	0.22	0.31	0.53
枫香(18)	5.69	24.12	29.81	旱莲(1)	0.52	3.31	3.84	菩提树(1)	0.14	0.30	0.44
麻栎(5)	11.75	23.95	35.70	杜梨(1)	0.58	2.96	3.54	卫矛(1)	0.06	0.19	0.26
水杉(2)			2.28	喜树(1)			3.50				

注：计算所得科学文化价值额小于同品质园林树种价值则直接采用园林树种价值额。括号内代表树种的株数，银杏：*Ginkgo biloba* Linn.;铁杉：*Tsuga chinensis* pritz.;侧柏：*Platycladus orientalis* (L.) Franco;干香柏：*Cupressus duclouxiana* Hickel;柏木：*C. funebris* Endl.;枫杨：*Pterocarya stenoptera* C. DC.;重阳木：*Bischofia polycarpa* (Levl.) Airy Shaw;香樟：*Cinnamomum camphora* (L.) Presl.;茶树：*Camellia sinensis*;黄连木：*Pistacia chinensis* Bunge;青檀：*Pteroceltis tatarinowii* Maxim.;糙叶树：*Aphananthe aspera* (Thunb.) Planch.;皂荚树：*Gleditsia sinensis* Lam.;桂花：*Osmanthus fragrans* Lour.;旱莲：*Magnolia soulangeana*.;红豆杉：*Taxus chinensis* (Pilger) Rehd.;国槐：*Sophora japonica* Linn.;白皮松：*Pinus bungeana* Zucc. ex Endl.;铁坚杉：*Keteleeria davidiana* (Bertr.) Beissn.;油樟：*C. longepaniculatum*;红豆树：*Ormosia hosiei* Hemsl. et Wils.;臭椿：*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle;七叶树：*Aesculus chinensis* Bunge;凌霄：*Campsis grandiflora* (Thunb.)Schum.;栓皮栎：*Quercus variabilis* Bl.;刺叶栎：*Q. spinosa* David ex Fr.;巴山松：*P. henryi* Mast;岩栎：

*Q. acrodonta* Seemen;楠木:*Phoebe zhenan* S. Lee;柞木:*Xylosma racemosum* (Sieb. et Zucc.)Miq;珊瑚朴:*Celtis julianae* Schneid;朴树:*C. sinensis* Pers;红榔木:*Ulmus pumila* L. Var. *Pilosa* Rehd;湘楠:*Phoebe hunanensis* Hand.-Mazz;银雀树:*Tapiscia sinensis*;水青树:*Tetracentron sinense* Oliv. 紫荆:*Cercis chinensis*;榆树:*Ulmus pumila* L;柘树:*Cudrania tricuspidata* (Carr.)Bur. ex Lavallee;包果柯:*Lithocarpus cleistocarpus*;油松:*P. tabuliformis* Carriere;黑壳楠:*Lindera megaphylla* Hemsl;合欢:*Albizia julibrissin* Durazz;鹅耳枥:*Carpinus turczaninowii* Hance;飞蛾槭:*Acer oblongum* Wall. ex DC;麻栎:*Q. acutissima* Carruth;冬青:*Ilex chinensis* Sims 金弹子:*Diospyros cathayensis*;榉树:*Zelkova serrata* (Thunb.) Makino;柿树:*D. kaki* Thunb;石楠:*Photinia serrulata* Lindl;高山柏:*Sabina squamata* (Buch.Ham.)Ant;紫薇:*Lagerstroemia indica* L;马尾松:*P. massoniana* Lamb;三尖杉:*Cephalotaxus fortunei* Hook. F;花椒树:*Sorbus pohuashanensis* (Hance)Hedl;黄杉:*Pseudotsuga sinensis* Dode;冷杉:*Abies fabri* (Mast.)Craib;粗糠树:*Ehretia macrophylla* Wall;巴山冷杉:*Abies fargesii* Franch;润楠:*Machilus pingii* Cheng ex Yang;青冈:*Cyclobalanopsis glauca*(Thunb)Oerst;巴山榧:*Torreya fargesii* Franch;色木槭:*Acer mono* Maxim;秀丽槭:*A. elegantulum* Fang et P. L. Chiu;青树栎:*Q. lanceolata* S. Z. Qu et W. H. Zhang 刺楸:*Kalopanax septemlobus* (Thunb.)Koidz. 榭栎:*Q. aliena* B;化香:*Platycarya strobilacea* Sieb.et Zucc;青藤仔:*Jasminum nervosum* Lour;圆柏:*Sabina chinensis* (L.)Ant;兴山榆:*Ulmus bergmanniana* Schneid. 尖叶栎:*Q. oxyphylla* (Wils.)Hand.-Mazz. 榔榆:*U. parvifolia* Jacq;银白杨:*Populus alba* L;庙台槭:*A. miaotaiense* P. C. Tsoong;杜梨:*Pyrus betulifolia* Bunge 山桃:*Amygdalus davidiana* (Carriere)de Vos ex Henry;山桐子:*Idesia polycarpa* 四川木姜子:*Litsea moupinensis* Lec. var. *szechuanica* (Allen) 臭辣芫荽:*Evodia fargesii* Dode 杉木:*Cunninghamia lanceolata*(Lamb.)Hook;构树:*Broussonetia papyrifera*;毛桐:*Mallotus barbatus* (Wall.)Muell. Arg. 核桃树:*Juglans*;毛肋杜鹃:*Rhododendron augustinii* Hemsl;旱柳:*Salix matsudana* Koidz;秦岭冷杉:*A. chensiensis* Tiegh;石榴:*Punica granatum* L;沙梨:*P. serotina*;望春玉兰:*M. biondii* Pamp;云杉:*Picea asperata* Mast;香果树:*Emmenopterys henryi* Oliv;雀舌黄杨:*Buxus bodinieri* Levl;苏铁:*Cycas revoluta* Thunb;小叶青冈:*. myrsinifolia* (Blume)Oersted;柚木:*Tectona grandis* L.F;厚朴:*Magnolia officinalis* Rehd. et Wils;文冠果:*Xanthoceras sorbifolium* Bunge;曲脉卫矛:*Euonymus venosus*;麻梨:*Pyrus serrulata* Rehd;柚子:*Citrus maxima* (Burm)Merr;桑树:*Morus alba*;无患子:*Sapindus mukorossi* Gaertn;菩提树:*Ficus religiosa* L. 卫矛:*E.alatus* (Thunb.)Sieb;水杉:*Metasequoia glyptostroboides* Hu et Cheng;红豆树:*Ormosia hosiei* Hemsl. et Wils.

(*Ehretia macrophylla*)、巴山冷杉 (*A. fargesii*)、润楠 (*Machilus nanmu*)与青冈;其余树种科学文化价值额均小于 10 万元。其中白皮松科学文化价值额与科学研究价值额最高,分别为 73 057.96 万元和 72 846.30 万元;历史文化价值额最高的为柏木 3 861.43 万元。卫矛(*Euonymus alatus*)科学文化价值额、历史文化价值额与科学研究价值额最低,分别为 0.26 万元、0.19 万元和 0.06 万元。

### 3.3 古树名木不同地域的价值额

汉中市各县古树名木数量及其科学文化价值总额见表 3,其中,西乡县共 21 551 株,总额约为 74 126.18 万元;勉县共 325 株,总额约为 8 689.47 万元;南郑县共 3 063 株,总额约为 6 072.25 万元;城固县古树名木共 170 株,总额约为 3 715.16 万元;镇巴县共 537 株,总额约为 3 002.74 万元;洋县共 234 株,总额约为 1 684.55 万元;略阳县共 84 株,总额约为 1 237.17 万

表 3 汉中不同县区古树名木科学文化价值(万元)

Table 3 Scientific and cultural values of ancient trees in different counties of Hanzhong area(ten thousand yuan)

区域	面积	株数	株数比例/%	$L_s$	$L_s$ 比例/%	$L_h$	$L_h$ 比例/%	$L_{sh}$	$L_{sh}$ 比例/%
西乡县	3 240	21 551	81.82	73 087.12	90.38	1 039.06	5.22	74 126.18	73.56
勉县	2 406	325	1.23	653.59	0.81	8 024.32	40.31	8 689.47	8.62
南郑县	2 809	3 063	11.63	5 759.31	7.12	312.94	1.57	6 072.25	6.03
城固县	2 265	170	0.65	464.34	0.57	3 250.82	16.33	3 715.16	3.69
镇巴县	3 437	537	2.04	97.78	0.12	2 904.96	14.59	3 002.74	2.98
洋县	3 206	234	0.89	282.13	0.35	1 402.42	7.05	1 684.55	1.67
略阳县	2 831	84	0.32	163.88	0.20	1 073.29	5.39	1 237.17	1.23
留坝县	1 958.2	36	0.14	109.15	0.13	988.34	4.97	1 097.49	1.09
宁强县	3 247	211	0.80	150.76	0.19	513.69	2.58	664.45	0.66
汉台区	556	59	0.22	52.37	0.06	244.27	1.23	296.64	0.29
佛坪县	1 279	70	0.27	43.45	0.05	150.53	0.76	193.98	0.19
总计	27 234.2	26 340	100.00	80 863.88	100.00	19 904.64	100.00	100 768.52	100.00

元;留坝县共36株,总额约为1 097.49万元;宁强县共211株,总额约为664.45万元;汉台区共59株,总额约为193.98万元;佛坪县共70株,总额约为193.98万元;整个汉中市古树名木科学文化价值额总值高达100 768.52万元以上。

## 4 小结与讨论

### 4.1 汉中市古树名木的价值额

汉中市古树名木总数110种26 340余株,科学文化价值额总计100 768.52万元。其中,白皮松科学文化价值额最高,超过7亿元;文冠果(*Xanthoceras sorbifolium*)、重阳木(*Bischofia polycarpa*)、曲脉卫矛(*E. venosus*)、麻梨(*Pyrus serrulata*)、榔榆(*U. parvifolia*)、柚子(*Citrus maxima*)、桑树(*Morus alba*)、无患子(*Sapindus saponaria*)、菩提树(*Ficus religiosa*)与卫矛价值额最低,仅几千元。该市古树名木的总价值集中于历史文化价值,主要由于树种树龄高,且大都存在典故。从不同古树名木价值额评估来看:白皮松科学文化价值额及科学研究价值额最高,柏木历史文化价值额最高,科学文化价值、科学研究价值与历史文化价值额最高并非为同一个种,主要原因在于:白皮松数量大、单价高,科研价值级别系数高且树种价值额大;而柏木典故系数及树龄大;青檀虽株数较少,但科学文化价值额高是因其树龄大,单价高,历史文化价值额高的缘故;卫矛科学文化价值额、历史文化价值额与科学研究价值额最低主要由树龄、株数、典故系数以及苗木单价共同决定。

比较汉中市各县古树名木科学文化价值额可知:西乡县古树名木科学文化价值额最高,为74 126.18万元,其次为勉县,科学文化价值额8 689.47万元,之后是南郑县与城固县,科学文化价值额分别为6 072.25万元与3 715.16万元;而西乡县古树名木科学研究价值额也最高,为73 087.12万元,其次是南郑县,为5 759.31万元;勉县的历史文化价值额最高,为8 024.32万元,之后是城固县,历史文化价值额为3 250.82万元,原因在于:西乡县分布有21 312株白皮松特大型古树群,且白皮松单价高,故县内古树名木价值额也最大;南郑县科学研究价值额较大的原因与之类似,因为县

内分布有3 000株巴山松古树群;而勉县文化底蕴深厚,历史上自然灾害及人为破坏较其他市少,更多千年高龄树木得以存活,且许多松柏类古树名木的成长都伴随着三国时期魏、蜀、吴著名人物的宦海沉浮以及国家的兴衰,典故多,故科学文化价值额随之变大;城固县科学文化价值额较高原因与勉县类似,因其县内有很多神医扁鹊及丝绸之路张骞的故事或传说。

### 4.2 古树名木受损程度及产生的价值影响

研究可知汉中市古树名木资源丰富,但调查发现其损伤程度大,汉中宁强县桃树沟红豆梁茶厂山原有林业局挂牌的百年红豆树2株,其中一棵树干朽烂数年,另一株根系也死亡过半。南郑县圣水寺文管所内一株2100多年西汉相国萧何手植汉桂树也出现生长危机,勉县武侯祠的旱莲也长势差。总之,由于该市古树树龄偏大,大都出现树体老化,主干腐朽,生理收支失去平衡现象并长期受吉丁虫、白蚁、介壳虫、天牛等多种虫害威胁;且除古树群外,大多数古树由于生长地的局限性导致土壤板结,通气不良。由于上述因素及资金问题、群众意识薄弱等导致该市每年有大量古树损伤加重甚至死亡,随之也产生了大量价值损失。

### 4.3 古树名木保护措施

开展补充建档工作,统计以往调查中缺失遗漏的古树名木<sup>[18-22]</sup>,并按树种的生物生理学特性,自身生长发育规律,生态特性,生存需求及其价值额对所有古树名木进行分类管护与复壮。对不同树种建立政策上独立完整的专项规划。规划的编制要充分体现古树名木的历史、文化功能及科学研究、生物与生态学价值<sup>[18]</sup>。通过科学规划来建立准确、系统、完善的古树名木养护管理体系,如设置古树名木二维码标牌让公众扫一扫了解树木的科学历史文化及其实际价值,结合公民参与、科研技术与资金支持,从而有效促进古树名木的保护。

## 参考文献:

- [1] 杨凌. 北方部分地区古树名木复壮养护技术现状及保护对策研究[D]. 咸阳:西北农林科技大学, 2015.
- [2] 董冬,周志翔,何云核,等. 基于游客支付意愿的古树名木资源保护经济价值评估:以安徽省九华山风景区为例[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(11):1334-1340.

- [3] 胡月玲,郑淑颖,管东生,等. 广州城市古树名木的评价[J]. 中国人口·资源与环境,2000(S2):45-47.
- [4] GARRY M. "The Burnley Method of Amenity Tree" Evaluation[J]. Australian Journal of Arboriculture,1988,1(1):19-26
- [5] FLOOK R. A standard method for treeevaluationSTEM[J]. Journal of the Royal New Zealand,1999,1(3):29
- [6] HELLIWELL D R. The Amenity Value of Trees and Woodlands [J]. Arboricultural Association Journal,1976,1 (5):128-131.
- [7] 王继程. 古树名木综合价值评价研究[D]. 南京:南京农业大学,2011.
- [8] 林思平. 古树名木资产评估研究[D]. 福州:福建农林大学,2017.
- [9] 米锋,李吉,张大红,等. 北京市林木额的价值计量研究:有关古树名木科学文化价值额计量方法的探讨[J]. 北京林业大学学报,2006,(S2):141-148.
- [10] 谢斌,郭俊荣,杨培华,等. 陕西省银杏古树名木调查[J]. 西北林学院学报,2003,18(3):31-33.
- [11] 危锋,常庆瑞,郑顺安. 汉中市退耕还林与可持续发展[J]. 西北林学院学报,2006,21(4):13-17.
- [12] 崔高阳,陈云明,曹阳,等. 陕西省森林生态系统碳储量分布格局分析[J]. 植物生态学报,2015,39(4):333-342.
- [13] 汉中市政府办. 汉中市人民政府关于印发汉中市古树名木目录的通知[Z],2017-9-15.
- [14] 王晶晶,唐丽玉,林定,等. 基于虚拟植物的古树名木三维管理信息系统的设计与实现 [J]. 中南林业科技大学学报,2012,32(2):60-63+69.
- [15] 易绮斐,王发国,叶琦君,等. 广州从化市古树名木资源调查初报[J]. 植物资源与环境学报,2011,20(1):69-73.
- [16] 中华人民共和国人民统计局. 中国统计年鉴:2011[M]. 北京:中国统计,2011(11):2.
- [17] 中国珍稀濒危保护植物名录[J]. 生物学通报,1987(7):23-28.
- [18] 徐炜. 古树名木价值评估标准的探讨[J]. 华南热带农业大学学报,2005,11(1):66-69.
- [19] 刘东明,王发国,陈红锋,等. 香港古树名木的调查及保护问题[J]. 生态环境,2008,17(4):1560-1565.
- [20] 周海华,王双龙. 我国古树名木资源法律保护探析[J]. 生态经济,2007(3):153-155.
- [21] BECKER N, FREEMAN S. The economic value of old growth trees in Israel[J]. Forest Policy and Economics,2009,11(8): 608-615.
- [22] ADAMS C, MOTTA R S, ORTIZ R A, et al. The use of contingent valuation for evaluating protected areas in the developing world: Economic valuation of Morro do Diabo State Park, Atlantic Rainforest, S o Paulo State (Brazil) [J]. Ecological Economics, 2008, 66(2):359-370.

(责任编辑:赵其领)

## A Quantitative Analysis on the Value of Ancient and Rare Trees of Hanzhong Area

WANG Zhe<sup>1,2</sup>, JIANG Lan<sup>1,2</sup>, LAN Yiqi<sup>1,2</sup>,  
HE Zhongsheng<sup>1,2</sup>, LIU Jinfu<sup>1,2</sup>, LIAO Xiankang<sup>3</sup>

(1. Cross-Strait Nature Reserve Research Center, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002;

2. Key Laboratory of Fujian Universities for Ecology and Resource Statistics, Fuzhou, Fujian 350002;

3. School of Modern Agriculture and Biotechnology, Ankang University, Ankang, Shanxi 725000)

**Abstract:** In this study, through scientific and cultural valuation method, the value of scientific research, historical culture, and scientific culture of ancient and famous trees in Hanzhong area were analyzed. The results showed that value of scientific research was 751.6216 million yuan, the historical culture value was 195.9483 million yuan, and the value of scientific culture was 947.5699 million yuan. Meanwhile, the value of different species ancient and famous trees showed that: *Pinus bungeana* had the highest scientific research value and scientific culture value, while *Cupressus funebris* had the highest historical culture value. The value of different counties ancient and famous trees showed that: Xixiang county had the highest scientific research value and scientific culture value, while Mian county had the highest historical culture value. The results aim to promote the government and people's attention and protection of ancient and famous trees.

**Key words:** Hanzhong; ancient and famous tree; value assessment; conservation

# 膜表面荷负电修饰与抗蛋白质污染性能分析

范荣玉, 郑细鸣, 陈彬梅

(绿色化工技术福建省高等学校重点实验室, 武夷学院 生态与资源工程学院, 福建 武夷山 354300)

**摘要:**采用多巴胺和聚苯乙烯磺酸钠作为修饰剂,通过一步反应在微孔聚丙烯膜(MPPM)表面构建了荷负电修饰层。分析了修饰前后膜表面化学组成的变化,考察了修饰膜的亲水性及抗蛋白质污染性能。结果表明,制得的修饰膜具有超亲水性,水通量大(在 0.05MPa 时,涂覆率为  $350 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$  的修饰膜水通量可高达  $3\ 581 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ),且对带负电的蛋白质具有很强的抗吸附能力,吸附量几乎为 0,蛋白质溶液通量下降率小,残留在膜表面的少量蛋白质可简单地用水清洗除去,展现出很好的应用前景。

**关键词:**微孔聚丙烯膜;表面修饰;荷电改性;亲水性;蛋白质污染

**中图分类号:** O63; TQ028.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-2109(2019)03-0054-05

膜分离技术由于具有分离效率高、工艺简单、污染较轻或无污染、耗能低等优势,被广泛地应用于水处理和食品等各种领域<sup>[1-3]</sup>。膜分离技术的核心是膜材料,因此膜材料的表面性质对分离起着至关重要的作用,它与污染物的相互作用在很大程度上决定了膜污染是否发生<sup>[4-6]</sup>。目前使用的膜材料多数为疏水性强的高分子材料,其疏水性易导致生物物质在膜表面发生非特异性吸附,引起膜的生物污染,进而影响膜的使用。改善膜的亲水性,阻抗生物物质在膜上的吸附,是近年来膜领域的研究热点之一<sup>[7-9]</sup>。

在通常条件下,大多数的蛋白质和胶体在水中呈电负性,在膜表面构建负电层可以有效阻抗多数蛋白质的污染<sup>[10]</sup>。聚苯乙烯磺酸钠(PSS)分子中含有的磺酸根基团是强阴离子性和强亲水性基团,因此将聚苯乙烯磺酸钠负载到膜表面上,将有助于膜亲水性的改善和减少带负电荷蛋白质的污染,但聚苯乙烯磺酸钠黏附性差,不易负载到膜上。多巴胺能通过氧化自聚形

成具有超强黏附性的聚多巴胺而牢固地粘附于膜的表面。本文采用多巴胺和聚苯乙烯磺酸钠作为修饰剂,通过多巴胺的氧化自聚,将 PSS 负载到膜表面上,从而制得具有强亲水性的荷负电修饰膜,并研究了修饰膜的抗蛋白质污染性能。

## 1 实验部分

### 1.1 试剂与仪器

微孔聚丙烯膜(MPPM),平均孔径  $0.2 \mu\text{m}$ ,孔隙率约 75%,德国 Membrana 公司生产;盐酸多巴胺(DBA),从阿拉丁试剂有限公司购买,分析纯;三(羟甲基)氨基甲烷、丙酮、牛血清蛋白(BSA),购于国药集团化学试剂有限公司,生物试剂;聚苯乙烯磺酸钠,美国 Sigma-Aldrich 有限公司生产。

AVATAR330 傅里叶变换红外光谱仪,美国 Thermo Nicolet 公司;UV-2550 型紫外可见分光光度计,日本岛津公司。

### 1.2 膜表面荷负电层的构建实验

将盐酸多巴胺溶解于浓度为  $0.01 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  的三(羟甲基)氨基甲烷-盐酸缓冲液中,配制成  $2.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  的溶液,加入一定量的聚苯乙烯磺酸钠,混合均匀;将经

收稿日期:2019-01-20

基金项目:福建省自然科学基金(2015J01602,2018J01446)。

作者简介:范荣玉(1970-),女,汉族,教授,主要从事吸附分离功能材料的研究。

过丙酮清洗的 MPPM 浸渍于上述混合溶液中,25℃下振荡反应 24 h,取出膜并用去离子水反复清洗至水无明显的颜色,真空干燥后即得到表面负载聚苯乙烯磺酸根的 MPPM,称为 MPPM-PDBA-PSS。

聚多巴胺修饰膜(MPPM-PDBA)的制备按照上述方法,但在多巴胺反应液中不加入聚苯乙烯磺酸钠。膜表面涂覆率( $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ )按式(1)计算:

$$\text{涂覆率} = \frac{W_1 - W_0}{S} \quad (1)$$

式中: $W_0$ 为修饰前膜重( $\mu\text{g}$ ); $W_1$ 为修饰后膜重( $\mu\text{g}$ ); $S$ 为膜表面积( $\text{cm}^2$ )。

### 1.3 膜的水通量测定

将待测膜装入死端过滤模具内,在一定压力(0.025~0.10 MPa)下测定膜的纯水通量( $WF, \text{L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ )。

$$WF = \frac{V}{A \cdot \Delta t} \quad (2)$$

式中, $V$ 为透过膜的液体体积(L), $A$ 为膜的有效过滤面积( $\text{m}^2$ ), $\Delta t$ 为渗透时间(h)。

### 1.4 蛋白质静态吸附量的测定

将待测膜放入小烧杯中,加入 20 mL、pH 为 3.0 (或 4.8、7.5)、浓度为  $1.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  的 BSA 溶液,在 25℃下恒温振荡吸附,每隔 30 min 取一次样,直到吸附平衡。使用 UV-2550 在 285 nm 处对 BSA 溶液进行吸光度测定,以 BSA 标准曲线为对照,计算出相应的 BSA 浓度,根据吸附前后 BSA 浓度的变化进行 BSA 吸附量( $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ )的计算,公式如下:

$$\text{吸附量} = \frac{(C_0 - C_1)}{S} \times V \times 10^6 \quad (3)$$

式中: $C_0$ 为吸附前蛋白质溶液的浓度( $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ); $C_1$ 为吸附后蛋白质溶液的浓度( $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ); $V$ 为蛋白质溶液的体积(L); $S$ 为膜表面积( $\text{cm}^2$ )。

### 1.5 蛋白质溶液通量及透过率测定

将待测膜装入死端过滤模具内,在 0.05 MPa 压力下测定浓度为  $0.5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  的蛋白质溶液通量,记录不同时刻的水通量并测定过滤液的吸光度,蛋白质溶液的透过率( $T$ )按式(4)计算:

$$T(\%) = \frac{C_p}{C_f} \times 100 \quad (4)$$

式中, $T$ 为蛋白质透过率(%); $C_p$ 为动态过滤过程中收集液的蛋白质浓度( $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ); $C_f$ 为蛋白质原液

浓度( $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )。

## 2 结果与讨论

### 2.1 膜的红外表征

研究采用 AVATAR330 傅里叶变换红外光谱仪分析了膜表面官能团信息,扫描范围:400~4 000  $\text{cm}^{-1}$ ,结果如图 1 所示。从图可以看出,通过多巴胺氧化聚合后的膜出现了 3 个新峰,1 509  $\text{cm}^{-1}$  处吸收峰来自聚多巴胺苯环 C=C 骨架振动和 N-H 剪切振动的叠加峰,1 600  $\text{cm}^{-1}$  吸收峰来自聚多巴胺仲胺键 N-H 弯曲振动<sup>[11]</sup>,1 299  $\text{cm}^{-1}$  吸收峰来自聚多巴胺 C-O 伸缩振动。在聚多巴胺溶液中加入聚苯乙烯磺酸钠,氧化自聚后获得的膜在 1 122  $\text{cm}^{-1}$  和 1 035  $\text{cm}^{-1}$  处增加了 S=O 不对称伸缩振动和对称伸缩振动吸收峰,在 675  $\text{cm}^{-1}$  处增加了 C-S 键的伸缩振动吸收峰,且随着负载率的提高,这些峰的强度也随之增加。以上事实表明,聚多巴胺和聚苯乙烯磺酸根已成功负载到 MPPM 膜表面。

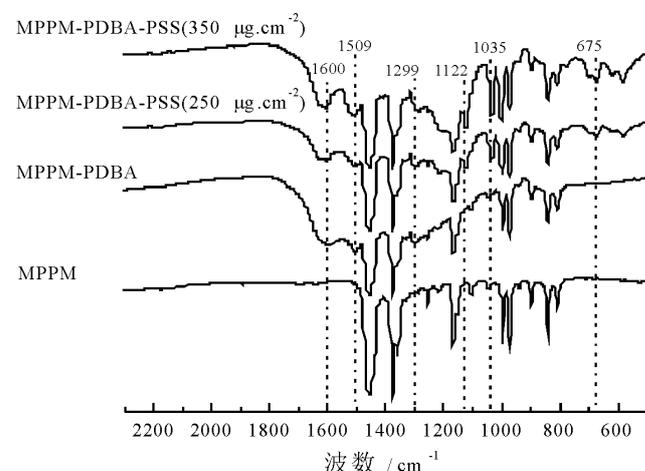


图 1 膜的 FTIR 谱图

Figure 1 FTIR spectra of membranes

### 2.2 膜的亲水性分析

研究通过考察膜的水通量变化来分析改性前后膜的亲水性,结果如图 2 所示。未修饰的 MPPM,即使在跨膜压力大至 0.10 MPa,水仍然无法透过膜,水通量始终为 0。负载聚多巴胺后,膜的亲水性得到改善,在跨膜压力为 0.025 MPa 时,水就能顺利透过膜。负载聚多巴胺和聚苯乙烯磺酸根后,膜的亲水性改善更加明显,在跨膜压力 0.025 MPa 时,负载率为  $250 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$  膜的水通量达  $1 591 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ,当跨膜压力提高到

0.10 MPa 时,膜的水通量升高至  $6\ 100\ \text{L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ,且随着聚多巴胺和聚苯乙烯磺酸根涂覆率的增加,膜的水通量也随着增加,当涂覆率升高到  $350\ \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ ,0.025 MPa 和 0.10 MPa 跨膜压力下的水通量分别升高到  $1\ 989\ \text{L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$  和  $7\ 427\ \text{L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 。从图还可以看出,修饰膜的水通量随渗透时间的延长而减小,但幅度不大,说明膜表面的修饰层比较稳定。

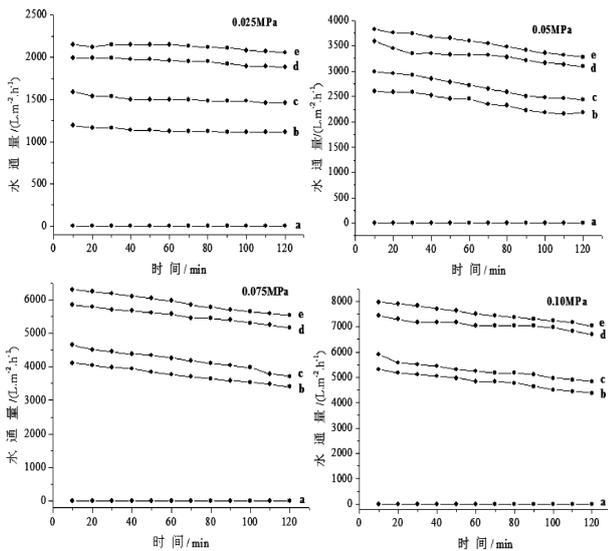


图2 不同压力下膜的水通量

Figure 2 Water flux of membranes under different pressures  
 a: MPPM; b: MPPM-PDBA; c: MPPM-PDBA-PSS ( $250\ \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ )  
 d: MPPM-PDBA-PSS ( $350\ \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ ); e: MPPM-PDBA-PSS ( $500\ \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ )

### 2.3 膜的蛋白质吸附性能

为了研究修饰后膜的抗蛋白质吸附性能,考察了膜对不同带电状态下 BSA 的吸附量变化,结果如图 3 所示。BSA 的等电点为 4.8,当溶液的 pH=3.0 时 BSA 带正电,pH=4.8 时 BSA 处于电中性状态,pH=7.5 时 BSA 带负电,因此研究通过调整溶液的 pH 值来改变 BSA 的带电性。从图 3 可以看出,膜对 BSA 的吸附量均随着吸附时间的延长而增加,并逐渐趋于饱和,属于 Langmuir 型单分子层化学吸附,但吸附量的大小有很大的不同。对于未修饰的 MPPM,其与 BSA 间存在较强的疏水作用<sup>[10]</sup>,无论带电情况如何,BSA 在膜上均有较大的吸附;pH=3.0 时,BSA 带正电,其与 MPPM-PDBA-PSS 表面荷负电基团会发生较强的静电吸附作用,导致 BSA 在 MPPM-PDBA-PSS 上有较大的吸附,吸附量明显大于未修饰的膜,且随涂覆率

的增大而增大;pH=4.8 时,BSA 处于电中性状态,其与膜之间只能通过疏水作用相互吸附,由于修饰后膜的亲水性明显改善,因此 BSA 在 MPPM-PDBA-PSS 上的吸附明显要弱于在 MPPM 上的吸附;pH=7.5 时,BSA 带负电,其与 MPPM-PDBA-PSS 表面荷负电基团会发生较强的静电排斥作用,导致 BSA 难于在 MPPM-PDBA-PSS 上吸附,吸附量几乎为 0,说明表面荷负电的 MPPM-PDBA-PSS 对荷负电的蛋白质具有良好的抗吸附性能。

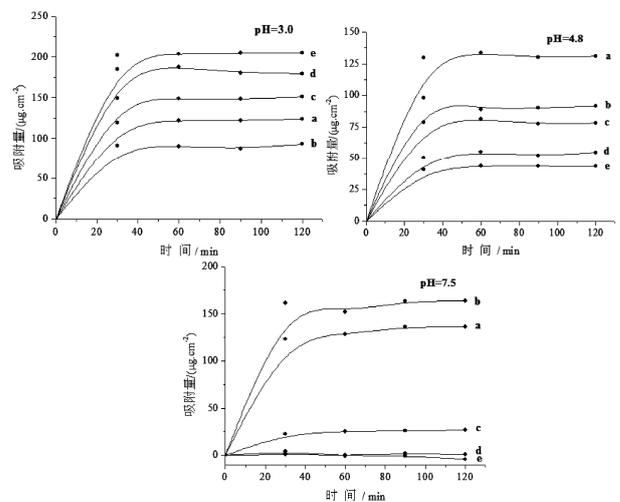


图3 膜对 BSA 的吸附量

Figure 3 Adsorption amount of membranes for BSA  
 a: MPPM; b: MPPM-PDBA; c: MPPM-PDBA-PSS ( $250\ \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ )  
 d: MPPM-PDBA-PSS ( $350\ \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ ); e: MPPM-PDBA-PSS ( $500\ \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ )

### 2.4 膜的蛋白质动态过滤

为了进一步考察膜的抗蛋白质污染性能,研究通过动态过滤实验考察了不同带电状态下 BSA 溶液的通量下降行为,结果如图 4 所示。从图可知,对于荷正电 BSA,其与 MPPM-PDBA-PSS 存在静电吸附作用,导致 BSA 大量吸附在膜上,通量随着渗透时间的延长而明显下降,BSA 的初始通过率仅为 73.4%;对于荷负电 BSA,其与 MPPM-PDBA-PSS 存在静电排斥作用,抑制了 BSA 在膜上的吸附,蛋白质溶液在膜上通量随着渗透时间的延长下降幅度明显变缓,BSA 的初始通过率高达 92.7%。研究还进一步考察了荷负电 BSA 在不同膜上的通量下降行为,结果如图 5 所示。从图可知,对于 MPPM-PDBA,溶液通量随着渗透时间的延长下降明显,BSA 的初始通过率仅为 74.5%;

而对于 MPPM-PDBA-PSS, 通量随着渗透时间的延长下降明显变缓, 且随着涂覆率的增大, 减缓幅度更加明显, 如涂覆率从  $250 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$  提高到  $350 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ , BSA 的初始通过率从 80.2% 提高到 92.7%。

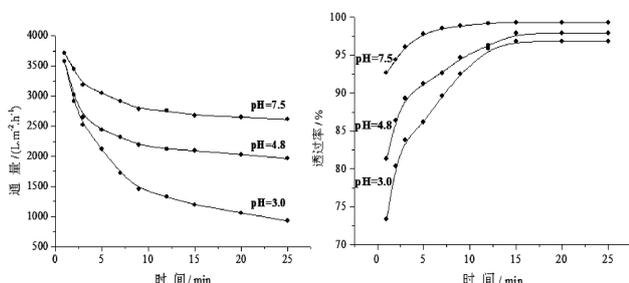


图 4 不同 pH 值 BSA 溶液通量下降行为(左)及透过率(右)

Figure 4 Flux decline behavior (left) and transmission (right) of BSA solution at different pH

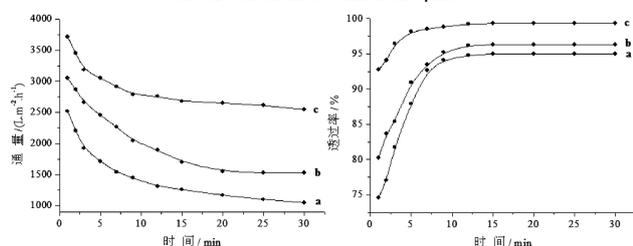


图 5 BSA 溶液在不同膜上的通量下降行为(左)及透过率(右)

Figure 5 Flux decline behavior (left) and transmission (right) of BSA solution on different membranes

a: MPPM-PDBA; b: MPPM-PDBA-PSS ( $250 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ ); c: MPPM-PDBA-PSS ( $350 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ )

## 2.5 膜的重复使用性能

为了考察修饰膜的重复使用性能, 对过滤 BSA 溶液后的膜用水漂洗, 并在 0.05 MPa 下测试纯水通量和 BSA 的透过率。实验进行了 3 个循环, 每个循环中膜依次过滤纯水和 BSA 溶液, 过滤 BSA 溶液后仅用水漂洗膜表面, 测试结果如图 6 所示。由图可知, 经过简单的漂洗, 膜表面的蛋白质即可清洗干净, 纯水通量可恢复到 80% 以上, 且 BSA 的透过率则保持在 92% 以上。说明 MPPM-PDBA-PSS 可以用水漂洗并反复使用。

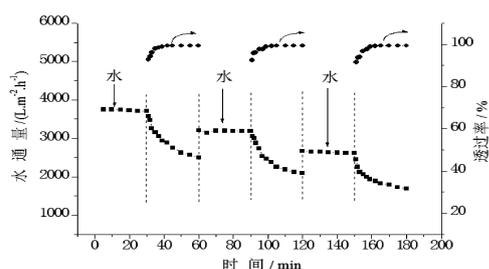


图 6 再生 MPPM-PDBA-PSS 的水通量和 BSA 透过率

Figure 6 Water flux and BSA transmission of reused MPPM-PDBA-PSS

## 3 结论

采用多巴胺和聚苯乙烯磺酸钠作为修饰剂, 通过多巴胺的氧化自聚制得具有高水通量的荷负电修饰膜, 制得的膜具有良好的抗蛋白质污染能力。在 0.05 MPa 下, 未经修饰 MPPM 水通量为 0, 仅用多巴胺修饰的膜水通量为  $2599 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ , 进一步用 PSS 修饰后, 在涂覆率仅为  $350 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$  时, 水通量就可高达  $3581 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ , 为聚多巴胺修饰膜的 1.4 倍。膜表面通过荷负电修饰后, 其与带负电的蛋白质会产生较强的静电排斥作用, 导致蛋白质难于在膜上吸附, 膜受到蛋白质的污染明显减弱, 且膜表面的蛋白质可用水清洗除去。该修饰方法工艺简单、环境友好且具有普适性, 展现出很好的应用前景。

## 参考文献:

- [1] BUONOMENNA M G. Membrane process for sustainable industrial growth [J]. RSC Advances, 2013, 3(17): 5694-5740.
- [2] YANK Y F, LI Y, LI Q L, et al. Surface hydrophilization of microporous polypropylene membrane by grafting zwitterionic polymer for antibiofouling [J]. Journal of Membrane Science, 2010(362): 255-264.
- [3] OBAID M, BARAKAT N A M, FADLI O A, et al. Effective and reusable oil/water separation membranes based on modified polysulfone electrospun nanofiber mats [J]. Chemical Engineering Journal, 2015(259): 449-456.
- [4] 范荣玉, 郑细鸣, 李彬彬. 聚丙烯微孔膜的表面矿化修饰及其亲水性能[J]. 化工学报, 2015, 66(2): 626-639.
- [5] 申利国, 陆晓峰, 潘玲, 等. PSS-PDADMAC 改性 PES 微滤膜及膜抗污染性能研究 [J]. 膜科学与技术, 2014, 34(6): 96-99.
- [6] PASMORE M, TODD P, SMITH S, et al. Effects of ultrafiltration membrane surface properties on Pseudomonas aeruginosa biofilm initiation for the purpose of reducing biofouling [J]. Journal of Membrane Science, 2001(194): 15-32.
- [7] LEE H S, LEE K D, PYO K B, et al. Catechol-grafted poly(ethylene glycol) for Pegylation on versatile substrates [J]. Langmuir, 2010, 26(6): 3790-3793.
- [8] KANG S M, HWANG N S, YEOM J, et al. One-step multi-

- purpose surface functionalization by adhesive catecholamine [J]. *Advanced Functional Materials*, 2012(22): 2949–2955.
- [9] BELFER S. Modification of ultrafiltration polyacrylonitrile membranes by sequential grafting of oppositely charged monomers: pH-dependent behavior of the modified membranes [J]. *Reactive and Functional Polymers*, 2003, 54(1–3): 155–165.
- [10] 郑细鸣, 万灵书, 仰云峰, 等. 聚丙烯微孔膜荷电表面的构建与阻抗蛋白质吸附性能[J]. *化工学报*, 2011,62(6):1633–1640.
- [11] JIANG J H, ZHU L P, ZHU L J, et al. Antifouling and antimicrobial polymer membranes based on bioinspired poly-dopamine and strong hydrogen-bonded poly (N-vinyl pyrrolidone) [J]. *ACS Applied Materials Interfaces*, 2013, 5 (24): 12895–12904.

(责任编辑:叶丽娜)

## Negatively Charged Surface Modification of Membrane and Its Resistance to Protein Pollution

FAN Rongyu, ZHENG Ximing, CHEN Binmei

(Key Laboratory of Green Chemical Technology of Fujian Province University,

School of Ecological and Resource Engineering, Wuyi University, Wuyishan, Fujian 354300)

**Abstract:** Using dopamine and sodium polystyrene sulfonate as modifiers, a negatively charged modification layer was constructed on the surface of microporous polypropylene membrane (MPPM) by one-step reaction. The changes of chemical composition of the membrane surface before and after modification were analyzed. The hydrophilicity and anti-protein fouling performance of the modified membranes was investigated. The results show that the modified membranes have superhydrophilicity and high water flux (at 0.05 MPa operating condition. The water flux of the modified membrane with a coating rate of  $350 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$  can reach  $3\ 581 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ). In addition, the modified membranes have strong anti-adsorption capacity for negatively charged proteins. The adsorption amounts are almost zero, the rates of decreased in flux of the protein solution are small, and the small amount of protein remaining on the membrane surface can be simply removed by water cleaning, which this modification membrane shows a good application prospect.

**Key words:** microporous polypropylene membranes; surface modification; charge modification; hydrophilicity; protein pollution

# 分布式架构的智慧实验室的设计

吴伊萍<sup>1,2,3</sup>

(1.泉州师范学院 数学与计算机科学学院, 福建 泉州 362000;  
2.福建省大数据管理新技术与知识工程重点实验室, 福建 泉州 362000;  
3.智能计算与信息处理福建省高等学校重点实验室, 福建 泉州 362000)

**摘要:**为推进实验教学手段现代化和实验室管理服务水平信息化,结合工作实践,分析了智慧实验室的内涵,提出了依托校园网络、物联网、虚拟仿真等信息技术,采用分布式架构,设计了智慧实验室。文章详细介绍了智慧实验室的设计、实现及其在实验教学与管理中的应用。智慧实验室的建设实现了实验教学与管理的网络化与智能化,提高了优质实验资源的共享率和实验技术队伍的工作效率。

**关键词:** 分布式架构;虚拟仿真;实验教学;实验室管理;智慧实验室

**中图分类号:** G482 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-2109(2019)03-0059-05

2012年3月教育部发布《教育信息化十年发展规划(2011—2020年)》,指出高等教育信息化重点推动信息技术与高等教育的深度融合,促进教学手段和方法现代化,推进教学实验平台信息化建设<sup>[1]</sup>等。2017年10月,党的第十九次代表大会报告中指出优先发展教育事业。加快一流大学和一流学科建设,实现高等教育内涵式发展。

近年来各级政府、教育主管部门、学校、教育行业等相关企事业单位加大了对教育信息化的研发和投入,各高校教育信息化水平不断提高,但仍存在着一些问题。如,国内各高校的信息化建设缺乏统一标准和规范;校内师生不清楚校内实验室所具备的软硬件资源,实验教学信息化程度和实验室服务水平还不足以满足师生个性化、多样化的教学、学习和科研需求;部分高校实验室信息化管理水平较低,实验室安全隐患多、实验资源分布不均、设备更新速度慢、设备利用率低,实验技术队伍建设滞后等问题。

对我校智慧实验室建设中的思路及应用场景进行梳理。首先分析了智慧实验室的内涵;其次介绍了

我校实验教学中心的工作需求,及采用分布式架构设计智慧实验室的优势;最后详细介绍了智慧实验室的系统设计及在实际工作中的应用,具体包括虚拟仿真实验教学平台、智能实验室管理平台以及实验中心门户网站的设计及应用。

## 1 智慧实验室的内涵

智慧实验室是高校发展智慧教育,培养智慧型人才,建设智慧校园,提升教学质量的重要阵地。伴随着智慧教育的发展,智慧校园的建设,智慧实验室作为智慧教育和智慧校园的重要组成部分,各级教育主管部门启动了虚拟仿真实验教学中心,国家级实验教学示范中心,省级实验教学示范中心、虚拟仿真实验教学项目等的建设与评审。智慧实验室的建设成为高校提升办学水平的重要内容。

关于智慧实验室的研究主要有两点。第一,借助新兴信息技术,推动实验教学改革,建设虚拟仿真实验教学中心,实现优质教学实验资源共享,提高资源利用率。王卫国等<sup>[2]</sup>介绍了国外高校以信息技术推动实验教学改革,应用信息可视化、立体显示、虚拟现实、增强现实、3D打印、人机交互等新兴信息技术在教育领域。刘亚丰等<sup>[3]</sup>指出利用云计算、云存储等技术,可实现教学实验资源的优化与共享,提高教学

收稿日期:2018-04-04

基金资助:2016年福建省中青年教师教育科研项目  
(JAT160424)。

作者简介:吴伊萍(1983-),女,汉族,实验师,主要从事虚拟现实,实验室建设与管理研究。

资源利用率。周世杰等<sup>[4]</sup>以网络信息安全中的攻防实验为例,依托虚拟仿真技术,开展网络攻击、病毒注入等实验,避免了在真实环境中开展实验的破坏性,突出了实验教学中虚拟仿真实验的必要性。第二,智慧实验室依托校园网络、物联网等技术,实现实验室管理的智能化与网络化,提高实验室的管理与服务水平。李伟等<sup>[5]</sup>基于分布式架构构建了大规模在线学习系统,解决了因链路带宽不足和传输数据量过大而导致的网络拥堵。彭一明等<sup>[6]</sup>利用物联网、智能控制等信息技术,构建物联、互联、智能化的智慧计算机实验室,以规范实验室的仪器设备、教学实践和数据分析等工作以及提高仪器设备的使用效率。周瑞等<sup>[7]</sup>指出智慧实验室系统是依托校园网络,应用物联网技术,实现实验室管理人员与师生互动的智能化、网络化的开放管理平台。崔贯勋<sup>[8]</sup>介绍了基于物联网技术的实验室智能综合管理系统,降低了实验室管理工作量。

综上所述,智慧实验室是在传统实验室的基础上依托校园网络、物联网、虚拟仿真等信息技术,实现实验室软硬件资源管理与利用的网络化与智能化,实现实验教学信息化。智慧实验室的建设,有利于推进虚拟仿真实验教学中心的建设,提高优质教学实验资源的共享率和利用率,降低实验室管理工作量,提升实验室管理与服务水平。未来,智慧实验室建设以满足教学、科研和社会需求的个性化与多样化为导向,创新实验室管理和服务,建立以人为本的高校智慧实践教学新阵地,不断提升高校办学水平。

## 2 智慧实验室系统设计

### 2.1 需求分析

以泉州师范学院信息技术实验教学中心的智慧实验室建设为例。2015年申报福建省高等学校实验教学示范中心建设项目,成功入选2015年省级实验教学示范中心建设项目。实验教学中心现有计算机公共机房9间,专业实验室10间,在建实验室6间,年服务人时数达到五十多万,设备数超1500件。主要工作内容包括:第一,全校计算机公共基础课程实验教学与考试;第二,教育科学学院、物理与信息工程学院、化工与材料学院、纺织与服装学院等11个学院的近百门

计算机辅助设计类课程的实践教学;第三,数学与计算机科学学院物联网工程、计算机科学与技术等四个专业的专业实验课;第四,承办各类计算机等级考试及大学生信息技术类竞赛;第五,服务社会,为企事业单位信息化培训考试等提供技术、设备和场所等服务。

### 2.2 分布式架构下的智慧实验室设计

为提高实验技术队伍工作效率,提升实验资源的共享率与利用率,推动实验教学改革,提升实验室管理水平,本文介绍了采用分布式架构,依托校园网络、物联网、虚拟仿真等信息技术,设计智慧实验室。分布式架构具有利用小型服务器代替大型机<sup>[9]</sup>,分布式处理数据的能力优于单个大型机<sup>[9]</sup>,单个软硬件资源的故障不会导致整个系统瘫痪<sup>[9]</sup>,后期扩展性更好等优点。由于我校属于地方高校,每年投入到实验教学的经费有限,采用分布式架构,实现了分期建设,逐期扩展,较好的解决了一次投入成本高的问题,保障了整个系统的稳定性和可靠性。

智慧实验室的设计,采用分布式架构,按照业务需求划分各个子系统,将智慧实验室分为虚拟仿真实验教学平台、智能实验室管理平台和实验教学中心门户网站三部分,如图1智慧实验室功能结构图所示。虚拟仿真实验教学平台由一系列实验教学软件和实验教学管理平台组成,实验教学管理平台包括平台行政中心、实验教学子系统、资源管理与共享子系统和交流中心子系统四部分。智能实验室管理平台由实验室环境监测系统、实验室视频监控管理系统、实验室门禁管理系统、以及实验室开放预约服务系统组成。实验教学中心门户网站是实验教学中心对外服务的窗口。

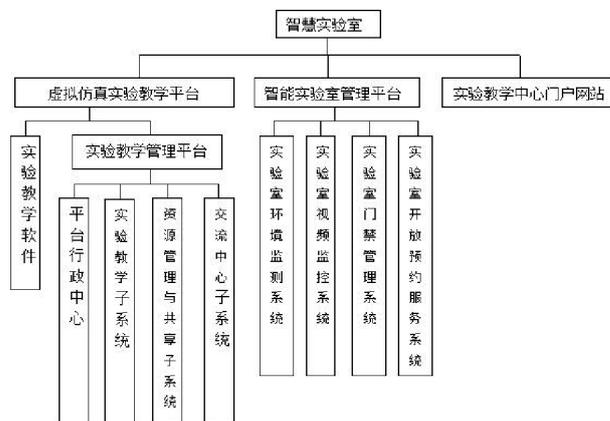


图1 智慧实验室功能结构图

Figure 1 Functional structure of smart laboratory

在系统的物理结构设计上,采用分层结构,按照从高到低分为:应用层、网络层和基础设施层,如图 2 智慧实验室系统架构图所示。各层功能如下:

(1)应用层:由不同功能的子系统组成,保障智慧实验室的正常服务。具体包括虚拟仿真实验教学平台、智能实验室管理平台及实验中心门户网站。虚拟仿真实验教学平台实现了远程在线实验和实验教学管理等功能。该平台可满足师生个性化、多样化的实验教学服务,有利于优质实验资源共享。智能实验室管理平台依托校园网络与物联网,实现实验场所的环境监测、视频监控与门禁管理,实现在线预约实验室及仪器设备等服务。实验中心网站包括中心介绍、通知公告、实验教学、规章制度、实验平台等栏目,便于师生及时了解实验教学中心的各种资源,保障信息的透明化。

(2)网络层:该层为智慧实验室的正常网络通信提供保障,由千兆以太网组成,实现视频、传感器、门禁、对讲系统、应用层各个系统等各类数据的可靠传输,为智慧实验室的各项实验教学与管理服务提供可靠的数据传输。

(3)基础设施层:该层是智慧实验室的最底层,负责数据采集、环境感知和数据存储,由服务器、增强型一体机、磁盘阵列、甲醛传感器、温度传感器、烟雾传感器、湿度传感器、刷卡机等设备组成。其中,摄像头负责实时采集实验室空间视频数据,传感器用于采集实验室甲醛、温度、湿度、烟雾等环境数据,刷卡机负责读取用户出入的一卡通信息,服务器、一体机、磁盘阵列等用来存储处理数据,从而实现智慧实验室的环境的全面感知和远程智能控制。

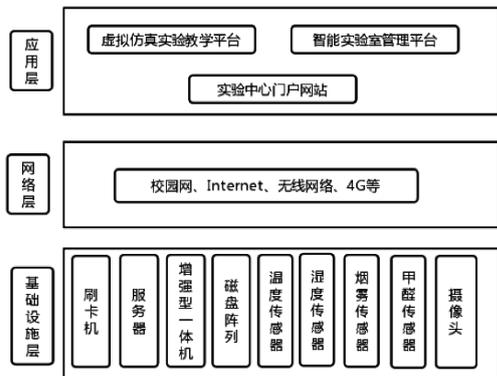


图 2 智慧实验室系统架构图

Figure 2 Architecture of smart laboratory

### 3 智慧实验室的实现

#### 3.1 关键技术

智慧实验室的实现运用了虚拟仿真技术、物联网技术、数据库技术和软件开发技术等。虚拟仿真实验教学平台的开发应用了计算机技术、多媒体技术、网络通信技术、电子技术和虚拟现实技术等,构建了新型的实验教学模式,采用 J2EE 开发,用 Java 语言实现。实验室环境监测系统基于云平台的框架搭建,采用浏览器/服务器模式(B/S 模式)设计,数据库操作层中间件 Hibernate,业务逻辑处理中间件 Spring,界面模型中间件 Struts,开发工具为 Myeclipse,web 发布容器 Tomcat,数据库 MySQL。该系统核心模块是接收设备数据的线程、定时器线程和数据管理线程。实验室门禁系统配置 2.8 寸 LCD 显示屏、200 万高清摄像头,设备支持 TCP/IP 与 Wi-Fi 通讯。实验室视频监控系统配置高清摄像头、网络硬盘录像机、网络视频服务器、IP Camera 等设备及视音频编解码卡,支持实时预览、录像存储、远程回放和下载等功能。实验教学中心门户网站是基于 WebPlus Pro 网站群平台实现的。

#### 3.2 智慧实验室运行机制

智慧实验室的部署与实施依托国内外相关企业强有力的技术团队支撑。实验技术队伍需要在工作学习中学习新技术并运用于工作中,不断更新服务方式,提高工作效率。智慧实验室的有效运作,依赖于实验教学中心规范化的管理制度以及教师、学生、实验技术队伍和管理层的支持。如图 3,全校师生通过互联网访问实验中心门户网站,通过该网站可直接访问虚拟仿真实验教学平台或智能实验室管理平台,了解中心所拥有的软硬件实验资源,预约使用实验室及相关仪器设备。实验技术队伍访问智能实验管理平台,根据权限处理各个子系统的事务,实时查看实验室动态、环境、处理师生预约、发布各类通知等。学生能访问相关网络学习资源,部分实验可在线完成实验的预习、操作、提交实验报告、向教师提问等。教师能在线部署实验内容(含操作小视频、实验指导手册、实验要求等),为学生答疑等。

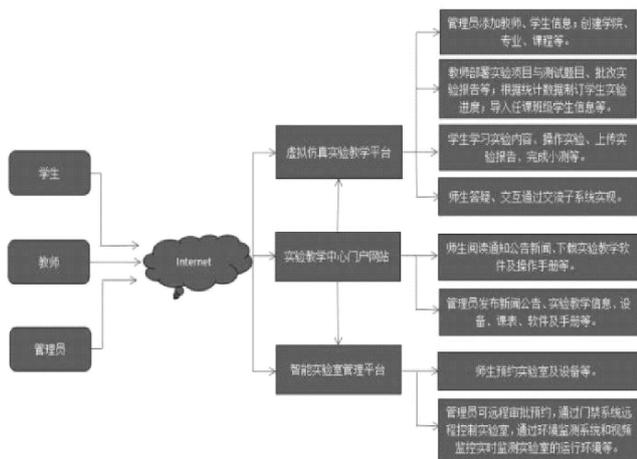


图3 智慧实验室运作机制图

Figure 3 Operation mechanism of smart laboratory

### 4 智慧实验室在实验教学与管理中的应用

从实验教学的角度,师生通过虚拟仿真实验平台实现了实验教学的网络化、信息化和智能化,实验教学效果好有较好地提升,学生的实践创新能力得到了较好训练。第一,解决了传统实验教学中高能耗、高危险、破坏性大、在实体实验设备上难以实现等问题。例如《模拟电路》通过 Proteus 实现了差分放大器特性的对称性验证;《网络信息安全》通过 VMWARE 等虚拟机环境实现了网络攻防与病毒攻防等实验;《物联网应用开发》借助虚拟仿真技术实现了停车场收费管理系统实验。“虚实结合”的实验教学模式,使学生在虚拟仿真的实验环境中充分运用所学理论知识,在实践中提升动手操作能力和创新能力。第二,在线实验教学环境打破了时空限制,学生通过自主反复多次练习,在课堂上实验操作效果更好。

从实验室管理的角度,传统模式下一个实验室工作人员只能管理临近的几个实验室。在智能实验室管理平台的帮助下,一个实验室工作人员通过实验室视频监控系统的帮助,能实时查看整个中心所有摄像头采集的实验室内外数据(如图4 监控视频所示),大大提高了实验室工作人员的工作效率,保障了实验室的安全。同理,通过环境监测系统(如图5 环境监测),能实时查看实验室温度、湿度、烟感、甲醛、空气质量,提醒实验室工作人员及时通风,保证实验室空气质量,为师生提供更优质的实验室环境。

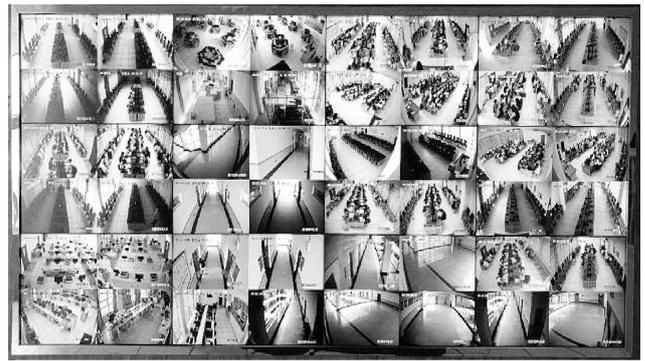


图4 监控视频

Figure 4 Surveillance Video

<b>黄朝阳511-2</b> 温度: 36°C 湿度: 36% 烟感: 0% 甲醛: 0.088mg/m3 空气质量: 577µg/m3	<b>黄朝阳511-1</b> 温度: 35.8°C 湿度: 34% 烟感: 0% 甲醛: 0.087mg/m3 空气质量: 586µg/m3	<b>黄朝阳510-2</b> 温度: 34.3°C 湿度: 33% 烟感: 0% 甲醛: 0.097mg/m3 空气质量: 589µg/m3	<b>黄朝阳510-1</b> 温度: 33.2°C 湿度: 37% 烟感: 0% 甲醛: 0.117mg/m3 空气质量: 565µg/m3 甲醛过高, 注意通风	<b>黄朝阳509-2</b> 温度: 32.7°C 湿度: 27% 烟感: 0% 甲醛: 0.046mg/m3 空气质量: 604µg/m3 空气质量不好, 注意通风
<b>黄朝阳509-1</b> 温度: 32.9°C 湿度: 27% 烟感: 0% 甲醛: 0.06mg/m3 空气质量: 616µg/m3 空气质量不好, 注意通风	<b>黄朝阳508-2</b> 温度: 26.7°C 湿度: 54% 烟感: 0% 甲醛: 0.027mg/m3 空气质量: 541µg/m3	<b>黄朝阳508-1</b> 温度: 27.4°C 湿度: 53% 烟感: 0% 甲醛: 0.046mg/m3 空气质量: 535µg/m3	<b>黄朝阳507-2</b> 温度: 32.2°C 湿度: 26% 烟感: 0% 甲醛: 0.04mg/m3 空气质量: 640µg/m3 空气质量不好, 注意通风	<b>黄朝阳507-1</b> 温度: 32.2°C 湿度: 25% 烟感: 0% 甲醛: 0.02mg/m3 空气质量: 616µg/m3 空气质量不好, 注意通风

图5 环境监测数据

Figure 5 Environmental monitoring data

### 5 结束语

智慧实验室建设是推进信息技术与高等教育深度融合,实现高等教育的内涵式发展的必然需求。本文依托校园网络、物联网、虚拟仿真等信息技术,采用分布式架构,实现了智慧实验室。它由虚拟仿真实验教学平台、智能实验室管理平台和实验中心门户网站组成。智慧实验室的建设推进了实验教学信息化与实验室管理与服务的智能化与网络化,提高了实验室工作人员的工作效率,实现了优质教学实验资源的共享,提高了实验资源的利用率,促进了本科教学质量的提升。

### 参考文献:

[1] 中华人民共和国教育部.教育信息化十年发展规划(2011—2020年)[EB/OL].(2012-03-13)[2016-11-23].http://www.moe.gov.cn/publicfiles/business/htmlfiles/moe/s3342/201203/133322.html.

- [2] 王卫国,胡今鸿,刘宏.国外高校虚拟仿真实验教学现状与发展[J].实验室研究与探索,2015,34(5):214-219.
- [3] 刘亚丰,余龙江.虚拟仿真实验教学中心建设理念及发展模式探索[J].实验技术与管理,2016,33(4):108-110,114.
- [4] 周世杰,吉家成,王华.虚拟仿真实验教学中心建设与实践[J].计算机教育,2015(9):5-11.
- [5] 李伟,张婧,程利涛.在线学习系统采用分布式架构的研究与实践[J].太原学院学报(自然科学版),2016,34(2):29-32.
- [6] 彭一明,范雪松,龙新征.构建物联、互联、智能化的智慧计算机实验室[J].实验技术与管理,2016,33(2):216-219.
- [7] 周瑞,李景宇,桑楠.基于物联网的智慧实验室系统的构建[J].实验科学与技术,2017,15(5):146-149+163.
- [8] 崔贯勋.基于云计算技术的计算机实验教学平台[J].实验室研究与探索,2013,32(10):447-450.
- [9] 黄光球,陆秋琴,李艳.分布式系统设计原理与应用[M].西安:西北工业大学出版社,2008.
- [10] 陈康贤.大型分布式网站架构设计与实践[M].北京:电子工业出版社,2014.

(责任编辑:叶丽娜)

## Design of Smart Laboratory Based on Distributed Architecture

WU Yiping<sup>1,2,3</sup>

(1.School of Mathematics and Computer Science, Quanzhou Normal University, Quanzhou, Fujian 362000;

2.Fujian Provincial Key Laboratory of Data Intensive Computing, Quanzhou, Fujian 362000;

3.Key Laboratory of Intelligent Computing and Information Processing in Fujian Province University, Quanzhou Normal University, Quanzhou, Fujian 362000)

**Abstract:** In order to promote the modernization of experimental teaching and informatization of laboratory management, in this paper, we first discussed the connotation of smart laboratory. Second, we designed a smart laboratory system using distributed architecture, which was based on information technology, such as campus network, Internet of things, and virtual simulation. Third, we introduced in detail the design and implementation of a smart laboratory and its application in experimental teaching and management. The construction of a smart laboratory has made experimental teaching and management become more networked and intelligent, improved the sharing of high-quality experimental resources and the work efficiency of experimental technical teams.

**Key words:** distributed architecture; virtual simulation; experimental teaching; laboratory management; smart laboratory

# CC2530 远程智能输液监控系统的设计与实现

陈 明, 沈俊慧, 朱其祥

(福建船政交通职业学院信息工程系, 福建 福州 350001)

**摘 要:**设计出的医疗输液监测系统的一种设计与实现方案,该系统以 CC2530 单片机为核心,包括基于光电技术的点滴监测单元、基于 Zigbee 技术的无线网络、基于 ARM 和 Android 的人机交互终端系统。每个点滴监测单元把采集到的动态数据进行处理,通过 Zigbee 无线网络发送到护士站终端。护士站终端安装输液监控软件,对各个病床点滴集中监控。通过统一管理可实现历史数据储存、查询,个性化设置和语音提示等,并与医院原有网络联网,实现数据共享。

**关键词:**CC2530;智能输液;ZigBee 技术;流量控制;多路输液控制器

**中图分类号:**R472 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-2109(2019)03-0064-05

随着科学技术的迅速发展,大家对智能产品的要求也越来越高,智能医疗输液监控技术应用也会越来越广泛。但目前而言,大部分还处于手动的、普通的塑料产品,这远不能满足需求,因此这是一个有较大医用前景的技术。展望未来,医疗输液监控系统将有很大的发展空间,它将朝着更加方便更加智能的方向发展,以满足日益发展的社会需求。就国内市场需求而言,人们生活水平逐步提高,对生存环境质量的要求也越来越高,对医疗电器产品提出更高的要求。所以医疗输液监控系统的设计显得尤为重要。

通过研究医疗输液监控过程,设计了一种可远程监测和控制输液过程,远程实时采集人体体征信息的智能输液监控系统,实现病床管理的智能化、信息化和数字化,降低患者及患者家属的精神负担和忧虑,减轻护理人员的劳动强度,提高医疗单位管理质量。

## 1 远程智能输液监控系统结构

远程智能输液监控系统结构如图 1 所示。本系统

主要由输液监测器、多路输液控制器、ZigBee 无线网络节点、主控端和移动终端等构成。主要功能是监测多路输液器并能实现异常自动报警、自动续瓶,远程采集人体体征,并通过无线网络实现远程移动式终端(手机、平板电脑)实时监控、监测和报警。护士站或家庭护理人员不必长期监护,随身携带手机或平板可以自由到附近从事其他活动,既降低护理人员的劳动强度和精神负担,又提高了工作效率。

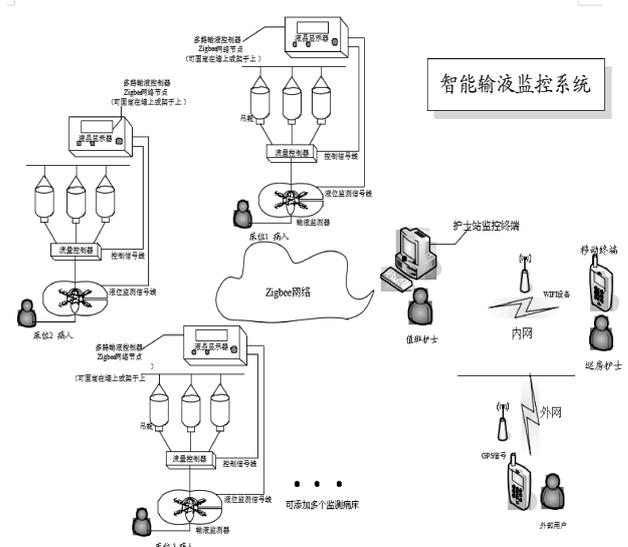


图 1 远程智能输液监控系统示意图

Figure 1 Schematic diagram of the remote intelligent infusion monitor system

收稿日期:2018-10-16

基金项目:福建省中青年教育科研项目(JA15663)。

作者简介:陈明(1984-),男,汉族,讲师,主要从事电子信息工程和计算机控制技术方面的研究。

## 2 系统的硬件模块设计

系统的硬件模块主要包括输液监测器、多路输液控制器、ZigBee 无线网络节点、主控端和移动终端等。其中输液监测器、多路输液控制器和 ZigBee 无线网络节点的核心是采用 CC2530 单片机系统,主控端和移动终端分别是基于现有的 PC 机和移动终端设备(手机、ipad 等)的应用。

### 2.1 CC2530 模块电路设计

控制电路和 ZigBee 无线网络节点均是以 CC2530 单片机为核心组成的控制电路。图 2 是 CC2530 模块电路原理图,它包括 CC2530 单片机模块、复位模块、天线模块、晶振模块以及一些外围低通滤波的电阻、电容和电感等。U4 是 CC2530 芯片,为整个电路的核心单片机;SMA 是 2.4G 天线座,其外围的电容电感匹配很重要;Y1 是 32MHZ 晶振,它让 CC2530 正常工作,并产生稳定的时钟频率;Y2 是 32.768KHZ 晶振,最主要使用在 Sleep Timer 和 Watchdog Timer 上,是为了减少芯片的功耗,在芯片睡眠时关闭内部某些电路,并以极低的频率工作。J4 是复位电路,主要是用来复位 CC2530 用的。L1 是磁珠,专用于抑制信号线、电源线上的高频噪声和尖峰干扰,还具有吸收静电脉冲的能力。

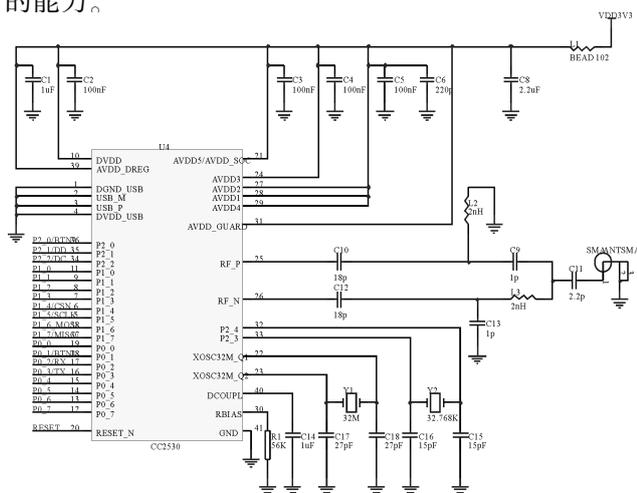


图 2 CC2530 模块电路原理图

Figure 2 Circuit schematic of CC2530 module

## 2.2 输液监测器设计

### 2.2.1 输液监测器工作原理及结构

输液监测器的工作原理如图 3 所示,由 CC2530

单片机控制电路和滴液监测电路组成。输液监测器采用编码后脉冲驱动激发电路,将检测到的脉冲整形放大,解码后再与原编码比较,以判断滴液情况。此方法一方面,大幅减少激发电路通电时间,大大降低功耗;另一方面,通过解码电路分析检测到的脉冲序列,而不是仅仅检测脉冲的形状,来判断滴液情况,大大提高可靠性。输液监测器还具有 zigbee 无线发送功能,所有控制及 zigbee 协议均是基于 CC2530 单片机系统完成。输液监测器实物如图 4 所示。

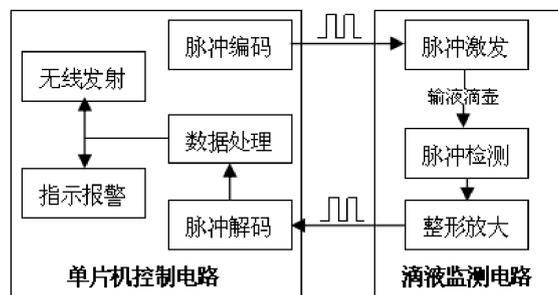


图 3 输液监测器原理框图

Figure 3 Schematic diagram of infusion monitor



图 4 输液监测器实物图

Figure 4 Physical diagram of infusion monitor

### 2.2.2 滴液监测电路设计

滴液监测电路由红外对管信号采集电路和信号处理电路组成,如图 5 所示。其中 LED1 是红外发射管,LED2 是光敏接收管,与限流电阻 R1、分压电阻 R2 构成红外对管信号采集电路。信号处理电路主要由比较器 LM358 完成,其中 S1 为可调电阻器,用来调节基准电压;R4 和 LL3 构成指示灯电路。

在无滴液落下时,发射管发射的红外光直接被接收管接收,使得接收管的阻值变小,因此 OUT 电压也就变小,此时 LM358 的 2 脚输入电压很小,当 LM358 的 2 脚输入电压比 LM358 的 3 脚电压低时,LM358

的1脚将输出高电平,此时指示熄灭;在有滴液落下时,发射的红外光被阻挡,使得接收管的阻值变大,因此OUT电压也就变大,此时LM358的2脚输入电压比较大,当LM358的2脚输入电压比LM358的3脚电压高时,LM358的1脚将输出低电平,此时指示灯亮。

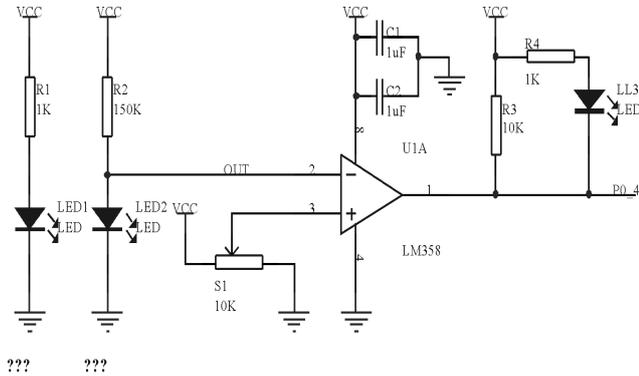


图5 滴液监测电路原理图

Figure 5 Schematic diagram of drip monitoring circuit

### 2.3 多路输液控制器设计

多路输液控制器原理:采用永磁式步进电机,通过控制脉冲个数来控制角位移量,带动如图6截流装置结构,使其开合达到精确位置,从而实现对输液管的夹断控制,再通过输液检测器的实时检测,反馈点滴数据到主控端,主控端经计算得到当前流量,从而控制多路输液器进行流量校正,达到流量控制的目的;通过控制脉冲频率来控制电机转动的速度和加速度,从而实现对输液管开关的调速目的。

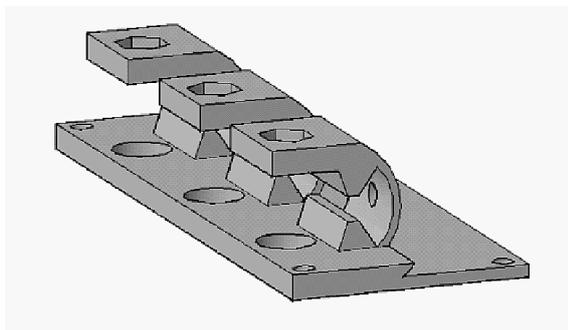


图6 滴液截流装置结构图

Figure 6 Structure diagram of drip interception device

结构安装:顶部套个螺母,步进电机旋转端子至下而上连接入螺母,并把步进电机固定于外壳装置,通过控制步进电机旋转带动顶部上下移动从而夹紧实现截流。

## 3 系统的软件设计

### 3.1 输液监测器软件设计

输液监测流程主要是检测水滴的脉冲,存储水滴数量,累计触发次数,检测中间协调器,串口初始化,串口发送数据等。程序流程如7所示。

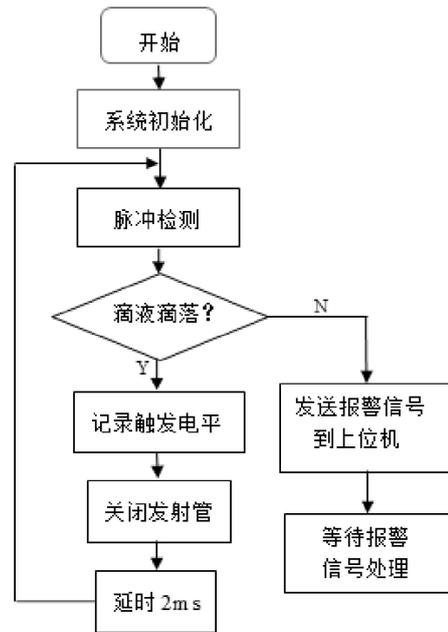


图7 输液监测器程序流程图

Figure 7 Procedure flow chart of infusion monitor

### 3.2 多路输液控制器软件设计

多路输液控制器软件主要流程是根据不同的信息控制步进电机通断,利用电机的正反转特性来带动截流夹的活动杆控制输液的通断和流速。截流器的开合可通过按键手动控制,也可通过接收远程无线数据指令控制,流程如8图所示。

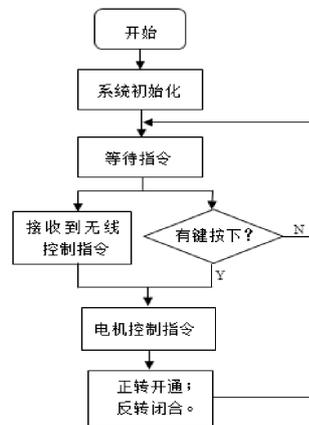


图8 多路输液控制器程序流程图

Figure 8 Procedure flow chart of multi-channel infusion controller

### 3.3 ZigBee 无线网络组网流程

组建一个完整的 ZigBee 网络包括两个步骤:第一步是协调器创建一个网络;第二步是路由器或终端节点加入网络。其中节点加入网络又包括两个步骤:通过协调器接入网络和通过已有父节点入网。

ZigBee 网络的建立是由协调器发起的,任何一个 ZigBee 节点要组建一个网络必须要满足以下两点:1.节点是 FFD 节点,具备 ZigBee 协调器能力;2.节点还没有与其它网络连接,当节点已经与其它网络连接时,此节点只能作为该网络的子节点,因为一个 ZigBee 网络中有且只有一个网络协调器。

网络建立流程步骤:

1.确定网络协调器。首先判断节点是否是 FFD 节点,接着判断此 FFD 节点是否在其它网络里或者网络里是否已经存在协调器。

2.进行信道扫描。

3.设置网络 ID。找到合适的信道后,协调器将为网络选定一个网络标识符(PAN ID),此 ID 在所使用的信道中是唯一的。协调器短地址通常设置为 0x0000。

协调器启动后,其它普通节点加入这个网络时,只需将本身的信道设置成与协调器信道相同,并进行信息认证,即可请求加入这个网络。

终端节点通过协调器加入网络:

1.查找网络协调器;

2.节点向协调器发送请求关联指令。协调器如果收到节点向其发的请求后会回复 ACK 确认帧,最后向 MAC 层收到连接原语是,则协调器会同是否这个关联请求;

3.等待协调器处理;

4.数据请求发送命令;

5.节点回复。

### 3.4 上位机软件设计

上位机软件即主控端和移动终端的监控软件。主控系统一般架设在医院的护士站等地方,主要由服务器机组和平台软件组成,当主控系统接收到监控数据后,终端监测软件会对数据进行各种分析、保存和管理。



图9 软件主界面

Figure 9 Software main interface

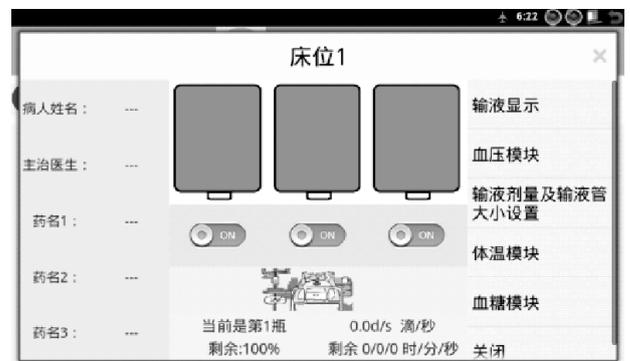


图10 软件详细界面

Figure 10 Software detailed interface



图11 系统软件实时应用界面截图

Figure 11 Screenshot of real-time application

interface of system software

上位机软件主界面和详细页面如图9和图10所示,实时应用界面如图11所示。主要功能设计如下:保留传统护士站服务病人的宗旨,可实时接收到来自病床的呼叫;点滴监控:可对输液剂量、输液管大小进行设置;可以监控输液药瓶中剩余量的百分比;可以监控输液的滴速,并可根据病人情况进行滴速的调整;可以预估输液剩余时间和完成时间;如有异常,可收到输液的异常报警。夹断控制:当收到输液完成的提示后,通过监测软件中的夹断设置功能,可以停止输

液以及根据设定要求控制自动续瓶单元实现换瓶。可以实时接收病人血压脉搏等多种身体特征参数。数据实时记录,最终通过无线传输到终端或者工作站实现远程监控。可以保存和实时更新病人的资料及药品资料。

#### 4 总结

针对医院护士站管理下的病区病床和需要护理人员监护的患者家庭设计了一种监护系统。主要实现输液监控、自动换瓶、血压监测、脉搏监测等,并通过无线网络实现远程移动式终端(手机、平板电脑)实时监控、监测和报警。护士站或家庭护理人员不必长期值守,随身携带手机或平板即可远程监护。系统在实际使用过程中,既降低护理人员的劳动强度和精神负担,又提高了工作效率。

#### 参考文献:

- [1] 章伟聪,俞新武,李忠成.基于 CC2530 及 ZigBee 协议栈设计无线网络传感器节点[J].计算机系统应用,2011,20(7):184-187,120.
- [2] 杨松,胡国荣,徐沛成.基于 CC2530 的 ZigBee 协议 MAC 层设计与实现[J].计算机工程与设计,2013,34(11):3840-3844.
- [3] 刘强,黄小红,冷延鹏,等.一种面向物联网的无线传感器网络优化部署策略[J].中国通信,2011,8(8):111-120.
- [4] LALIT S , PANKAJ S Y , REKHA R. Adaptability of IEEE 802.15.4(Zigbee) Protocol for Wireless Sensor network[J]. International Journal on Computer Science and Engineering, 2010, 2(3):554.
- [5] AMJAD G. Embedding and Verification of ZigBee Protocol Stack in Event-B [J]. Procedia Computer Science, 2011(5): 736-741.
- [6] XIN Z, CHEN G L, LI X W, et al. Research on the ZigBee Network and Equipment Design Based on the CC2530 [J]. EN, 2013, 158(11):89-94.
- [7] 周文光,魏培德,许新建,孔悦.一种输液监测与控制系统的的设计[J].医疗卫生装备,2012,33(11):26-27+30.
- [8] 黄政武.基于 ZigBee 技术的输液监控系统[J].桂林理工大学学报,2012,32(4):559-563.

(责任编辑:叶丽娜)

## Design and Implementation of Intelligent Transfusion Monitoring System Based on CC2530

CHEN Ming, SHEN Junhui, ZHU Qixiang

(Department of Information Engineering, Fujian Chuanzheng Communications College, Fuzhou, Fujian 350001)

**Abstract:** This paper presents a design and implementation scheme of medical infusion monitoring system, which is based on CC2530 single chip microcomputer, including the drop monitoring unit based on photoelectric technology, wireless network based on Zigbee technology, and human-computer interaction terminal system based on ARM and Android. Each drop monitor unit processes the collected dynamic data and sends it to the nurse station terminal through Zigbee wireless network. Infusion monitoring software is installed at the end of the nurses station to monitor all hospital beds. Through unified management, historical data storage, query, personalized settings and voice prompts can be realized, and the data can be shared with the original network of the hospital.

**Key words:** CC2530; intelligent infusion; ZigBee; flow control; multi-channel infusion controller

# 一种新型高精度的 RC 振荡器设计

张明文<sup>1</sup>, 尹勇生<sup>2</sup>, 邓红辉<sup>2</sup>

(1.武夷学院 机电工程学院, 福建 武夷山 354300; 2.合肥工业大学 微电子所, 安徽 合肥 230009)

**摘要:**提出一种改进型的基于 0.18  $\mu\text{m}$  CMOS 工艺的新型高精度 RC 振荡器电路,其整体结构中只使用一个比较器,利用参考电压和反馈电压比较来产生时钟脉冲。采用开关电容模块来产生与时钟频率和电源电压成比例同时受温度影响较小的参考电压,利用周期控制结构来产生反馈电压。由于在参考电压生成中引入了时钟脉冲,消除了比较器失调和延时的影响,提高了精度,整体结构简单,振荡频率较高,功耗较小,振荡中心频率为 20 MHz,功耗 18  $\mu\text{W}$ ,在  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $125\text{ }^{\circ}\text{C}$  温度范围内,可实现  $\pm 0.5\%$  的精度。

**关键词:**RC 振荡器;开关电容分压模块;周期控制结构;频率稳定

**中图分类号:**TN432.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-2109(2019)03-0069-04

目前芯片的功能越来越多,集成度越来越高,时钟信号做为当前很多芯片必不可少的组成部分<sup>[1]</sup>。时钟可以用外部晶体振荡器产生,也可以用片内振荡器来产生。但片外的晶体振荡器,功耗较大,无法集成在芯片内部<sup>[2]</sup>,成本较高,同时占用了 PCB 电路板的面积和芯片引脚。而 RC 振荡器由于结构简单、易于 CMOS 工艺集成、功耗低等优势<sup>[3]</sup>而成为目前片内集成振荡器的首选。但同时 RC 振荡器存在着频率不稳、易受电源电压、工艺偏差和比较器延时干扰等问题<sup>[4]</sup>。

在分析传统 RC 振荡器的基础上提出了一种改进型的 RC 振荡器,使其克服了频率不稳定、易受工艺偏差和比较器失调、延时影响等问题。

传统的 RC 振荡器结构和时序图<sup>[5]</sup>如图 1 所示。主要利用电流源在电阻 R 和电容 C 上产生电压,利用比较器比较其电压,并周期性对电容进行充放电来实现。具体工作原理如下:电路刚开始工作时假定  $V_o$  为低电平,此时  $M_1$  截止,电流  $I_1$  在电阻 R 上产生  $V_R=R*I_1$  的电压,电流  $I_2$  对电容 C 充电产生  $V_C$  电压,当  $V_C$  电压超过  $V_R$  后比较器翻转,输出  $V_o$  变为高,开关管  $M_1$  导通,电容 C 通过  $M_1$  开始放电,由于比较器失调和延时<sup>[6]</sup>的存在,输出  $V_o$  并不是立即翻转,电容 C 会持续放电一段时间, $V_C$  电压趋近于 0,此时  $V_o$  变为低电平,开关管  $M_1$  关断,电流  $I_2$  开始对电容 C 充电。以上过程不断重复,电路就是在这样的循环中产生出振荡的  $V_o$ 。其时序图也见图 1,  $V_R=R*I_1$  为定值,电容电压  $V_C$  慢慢线性增加,在  $V_C$  等于  $V_R$  时由于比较器存在失调和延时, $V_o$  并不是立即翻转,而是保持原状态,直到  $V_C$  电压上升到  $V_C=R*I_1+V_{OS}$ ,其中  $V_{OS}$  为比较器的失调电压,这个时候  $V_o$  才翻转,比较器的失调电压最终会转化成总的延时时间,充电时间主要取决于电阻 R、电容 C 的大小、电流  $I_1$  和  $I_2$  的比例和延时时间。 $V_o$  翻转后, $M_1$  开启,电容 C 开始放电,放电时间取决于电容 C 的大小和  $M_1$  晶体管所允许流过的电流大小。在一个振荡周期中,其周期时间由充电时间  $t_{Charge}$ 、延时时间  $t_{delay}$  和放电时间  $t_{disCharge}$  组成<sup>[7]</sup>,其中为了方便,将  $t_{Charge}$  表示为  $t_1$ 、延迟时间  $t_{delay}$  表示为  $t_2$  和放电

## 1 传统的 RC 振荡器及其工作原理

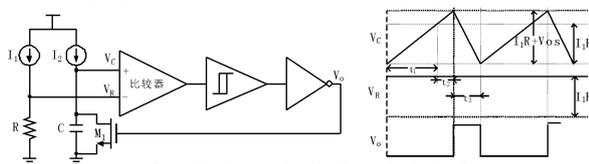


图 1 传统 RC 振荡器及其时序图

Figure 1 Traditional RC oscillator and its timing diagram

收稿日期:2018-10-12

基金项目:福建省中青年骨干教师科研项目(JAT170589);武夷学院校科研基金(XD201513)。

作者简介:张明文(1986-),男,汉族,讲师,主要研究方向:混合信号集成电路设计。

时间  $t_{disCharge}$  表示为  $t_3$ 。由图 1 中可得式(1)、(2):

电容的充电时间为:

$$t_1 = \frac{R I_1 C}{I_2} \tag{1}$$

$$T = t_1 + t_2 + t_3 = \frac{R I_1 C}{I_2} + t_{delay} + t_{discharge} \tag{2}$$

由上式(2)可知在振荡器的一个周期中,振荡器的振荡周期与电流  $I_1$ 、 $I_2$ 、电阻  $R$  的数值、电容  $C$  的数值、延时时间和放电时间都有关系。其中,放电时间又和电容  $C$  和  $M_1$  晶体管有关。这样,从总体来看,振荡器的振荡周期与电流  $I_1$ 、 $I_2$ 、电阻  $R$  的数值、电容  $C$  的数值、延时时间和  $M_1$  晶体管有关。为简化分析假定电流  $I_1$ 、 $I_2$  成比例关系。这时振荡器的振荡周期只与电阻  $R$  的数值、电容  $C$  的数值、延时时间和  $M_1$  晶体管有关。在振荡器设计中,频率是重要的指标,而频率和周期有关。为了保证频率稳定度,要做好这些器件参数的匹配、减小或者消除比较器的失调和延时、保证电阻  $R$ 、电容  $C$  与  $M_1$  晶体管的精度<sup>[9]</sup>。然而,1)在充电阶段,需要电阻  $R$  和电容  $C$  产生电压,在半导体工艺中,电阻  $R$  和电容  $C$  是两种不同的器件,它们的特性是不相同的,要使两者产生相同的电压是很困难的;2)在振荡器实际工作之间,振荡器的翻转主要靠比较器两端电压的差值来确定,这个差值又会受到比较器有限增益和失调电压的影响;3)放电时间很容易受到开关管和电容的影响;4)电路内产生的参考电压又很容易受电源电压和温度的影响。以上四点容易造成 RC 振荡器的频率不稳定。因此根据公式(2)和以上分析,传统的振荡器振荡周期由充电时间  $t_{Charge}$ 、延时时间  $t_{delay}$  和放电时间  $t_{disCharge}$  三部分组成,三部分时间相互独立又分别受不同的因素影响很难恒定,所以造成传统的振荡器振荡频率不稳定。基于此本文提出一种新的改进型 RC 振荡器,在新型振荡中,将只有充电时间  $t_{Charge}$  和放电时间  $t_{disCharge}$  两部分组成,与延时时间  $t_{delay}$  没有关系。其中,放电时间  $t_{disCharge}$  占大部分周期时间,充电时间  $t_{Charge}$  只占小部分周期时间,这样振荡周期基本只受放电时间  $t_{disCharge}$  的影响,从而实现了振荡频率的稳定。

## 2 改进的新型 RC 振荡器

改进后的 RC 振荡器结构图如图 2 所示,主要由开关电容分压模块<sup>[9]</sup>、比较器、施密特触发器、周期控制结构和反相器组成。

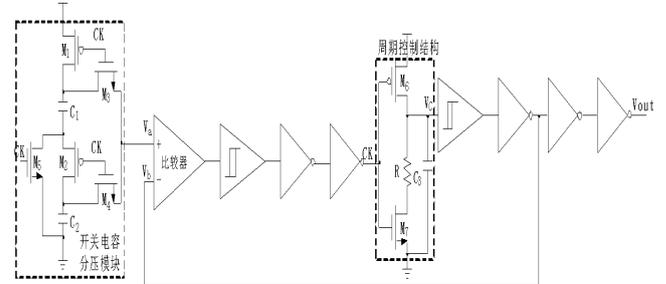


图 2 改进的 RC 振荡器

Figure 2 Improved RC oscillator

其工作原理如下:当  $CK$  为 0 时,开关管  $M_1$ 、 $M_2$  导通,等值的电容  $C_1$  和  $C_2$  开始通过电源电压储能,此时,  $M_3$  和  $M_4$  截止,  $V_a$  输出低电平,同时开关管  $M_6$  导通,开始给电容  $C_3$  充电,  $V_c$  电压开始上升,经施密特触发器和反相器整形后变成接近电源电压的数值,远远超过  $V_a$ ,这时比较器反转,输出低电平,  $CK$  变为高电平,开关管  $M_3$ 、 $M_4$  和  $M_5$  导通,  $M_1$  和  $M_2$  截止,电容  $C_1$  和  $C_2$  并联往外输出定值电压,此时开关管  $M_7$  导通,电容  $C_3$  通过电阻  $R$  和  $M_7$  开始放电,  $V_c$  电压不断降低,经施密特触发器和反相器整形后变成接近 0 的数值,远低于  $V_a$ ,比较器反转,输出高电平。

### 2.1 开关电容分压模块

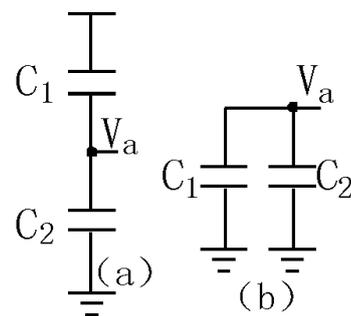


图 3 开关电容分压模块

Figure 3 Switched capacitor voltage divider module

开关电容分压模块工作状态如图 3 所示,其中  $CK$  为 0 即低电平时,  $M_1$ 、 $M_2$  导通,  $M_3$ 、 $M_4$  和  $M_5$  截止,开关电容分压模块可简化为如图 3(a)所示,为储能阶段,储存的总能量为  $Q=2 * C * V_{dd}$ ,  $C_1=C_2=C$  则每个电容储存的能量为  $Q C_1=Q C_2=0.5 * C * V_{dd}$ 。当  $CK$  为 1 即高电

平时, $M_1$ 、 $M_2$ 截止, $M_3$ 、 $M_4$ 和 $M_5$ 导通,开关电容分压模块可简化为如图3(b)所示,此时两个电容 $C_1$ 、 $C_2$ 并联向外提供电压,其电压值 $V_a=0.5*V_{dd}$ ,约为电源电压的一半。

## 2.2 周期控制结构

周期控制结构见图2,当 $CK$ 为0即低电平时, $M_6$ 导通, $M_7$ 截止,电容开始充电, $V_c$ 电压开始上升,当超过施密特触发器的触发电平时,施密特触发器翻转输出低电平,经反相器整形后输出接近电源电压的高电平 $V_b$ ,此时 $V_b$ 远高于 $V_a$ ,比较器翻转,输出低电平, $CK$ 变为高电平, $M_7$ 导通, $M_6$ 截止,电容通过电阻 $R$ 和 $M_7$ 开始放电,这里电阻 $R$ 的作用一是让 $V_c$ 维持在一个比较大数值,二是延长电容 $C$ 的放电时间,使传统结构中时钟信号的周期由充电和放电周期组成,变为放电时间占主要,充电时间只占很小的比例。由于充电和放电电流很难完全相等,所以充电和放电时间之和恒定是很困难的,但是保证一个电流一致是容易的。当低于施密特触发器的触发电平时,施密特触发器翻转输出高电平,经反相器整形后输出接近地的电平 $V_b$ ,此时 $V_b$ 远于低 $V_a$ ,比较器翻转,输出高电平, $CK$ 变为低电平。在该结构中,设流过 $M_6$ 的电流为 $I_{Charge}$ ,流过 $M_7$ 的电流为 $I_{disCharge}$ ,则可得公式(3)

$$I_{Charge} * t_{Charge} = RC * I_{disCharge} \quad (3)$$

根据电荷守恒和式(3),可得公式(4)

$$I_{Charge} * t_{Charge} = I_{disCharge} * t_{disCharge} \quad (4)$$

由式(3)和式(4)可得:

$$t_{disCharge} = RC \quad (5)$$

即在这种结构中,最后的放电时间只和 $RC$ 有关。据上面分析, $t_{disCharge}$ 远大于 $t_{Charge}$ ,我们按最后产生的时钟信号为90%占空比,则时钟信号周期 $T=t_{Charge}+t_{disCharge}=1.11 RC$ 。在本设计中,取 $C_3=1.5 \text{ pF}$ , $R=30 \text{ k}\Omega$ 。

## 2.3 比较器和施密特触发器

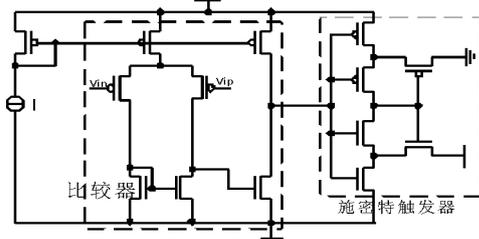


图4 比较器和施密特触发器结构图

Figure 4 Comparator and schmitt flip-flop structure

本设计采用的比较器和施密特触发器结构<sup>[10,11]</sup>如图4所示,比较器为传统的 $P$ 输入两级结构。由于工艺制造偏差等因素,比较器会存在失调,由于本设计是低功耗设计,比较器的电流较小,所以比较器会存在延时,同时,延时还容易随着电源电压的变化而变化,失调和延时都会传递到比较器的输出端,进而都会影响时钟信号的频率稳定度,而本设计的结构则可以有效地抑制失调和延时的非理想因素影响。因为如果电路振荡出的 $CK$ 信号受非理想因素影响,这种非理想性就会在 $V_a$ 上反映出来,同样,这种非理想性也会传递到 $V_b$ 上, $V_a$ 、 $V_b$ 做为比较器输入端,两者的非理想性就会相互抵消,从而减小非理想性的影响。

## 3 仿真验证

整个电路设计是基于 $tsmc$   $0.18 \mu\text{m}$   $CMOS$   $1.8 \text{ V}$ 工艺实现,其中, $C_1=C_2=0.6 \text{ pF}$ , $C_3=1.5 \text{ pF}$ , $R=30 \text{ k}\Omega$ 。在Cadence spectre下仿真结果图5-7和表1、2显示:

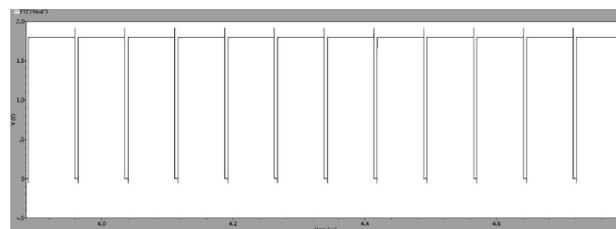


图5 RC振荡器的 $V_{out}$ 输出图

Figure 5  $V_{out}$  output diagram of RC oscillator

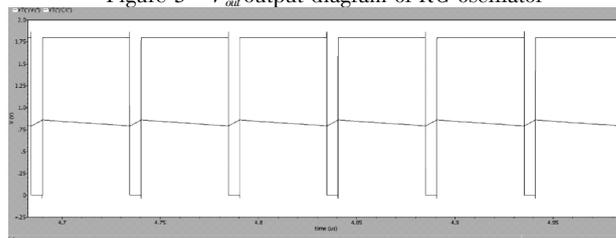


图6 周期控制结构 $V_c$ 输出波形图

Figure 6 Output waveform of periodic control structure  $V_c$

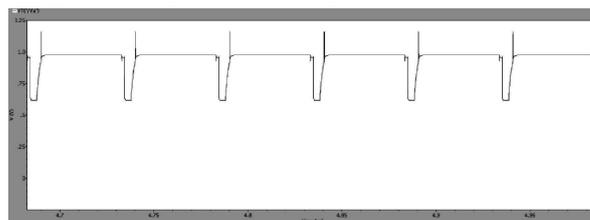


图7 开关电容分压模块的输出波形图

Figure 7 Output waveform of switched capacitor voltage divider module

Corner 仿真结果如下:其中电源电压波动 10%,

表 1 电路的仿真测试结果

Table 1 Circuit simulation test results

工艺角 温度	tt/频率(MHz)	ss/频率(MHz)	ff/频率(MHz)
-40	19.37	19.29	20.1
0	19.6	19.29	20.2
27	19.94	19.54	20.33
85	20.08	19.25	20.34
125	20.05	19.56	19.72

表 2 与参考文献的比较

Table 2 Comparisons with references

	文献 1	文献 4	文献 5	文献 7	文献 8	文献 9	本文
工艺 ( $\mu\text{m}$ )	0.13	0.35	0.18	0.18	0.35	0.18	0.18
频率 (MHz)	306	135-450	11.5	2	1	5	20
精度 (%)	$\pm 0.42$	-	$\pm 1$	$\pm 0.5$	$\pm 0.96$	$\pm 0.25$	$\pm 0.5$
温度 范围( $^{\circ}\text{C}$ )	-10~80	-40~125	-10~90	-40~125	-40~75	-40~125	-40~125

参考文献:

[1] 骆建军,范旭东,刘海鑫. 一种应用于 SD/MMC 控制器的 RC 振荡器设计 [J]. 杭州电子科技大学学报 (自然科学版),

2017,37(1):6-10.  
 [2] 熊江,雷长发,刘威,等. 一种新型电流源的 RC 振荡器电路设计[J].中国集成电路, 2015, 11:25-28.  
 [3] 张竹贤,吴传奎,王鑫,等. 一种线性 RC 压控振荡器的设计[J].微电子学,2013, 43(5): 607- 610.  
 [4] 张庆岭,崔佳男,张其营,等. 一种同步模式 RC 振荡器的设计[J].微电子学,2014,44(4): 447-450,455.  
 [5] ARUN, A RC Oscillator with Comparator Offset Cancellation [J]. Ieee Journal of solid-state circuits, 2016, 51 (8):1866-1877.  
 [6] 龙爽,陈岚,陈巍巍,等. 一种基于比较器失配补偿的高稳定性 RC 振荡器[J].微电子学, 2014, 44(4):455-458,462.  
 [7] 王洪祥,赵野,黑勇. 一种带有迟滞比较器的新型 RC 振荡器[J].科学技术与工程,2013,13 (18) :5345-5349.  
 [8] 秦松, 王磊. 一种与比较器延迟无关的高精度 CMOS 振荡器[J].电子科技, 2017, 30(5): 94-97.  
 [9] ANAND A 0.68nW/kHz Supply -Independent Relaxation Oscillator with  $\pm 0.49\%/V$  and 96ppm/ $^{\circ}\text{C}$  Stability[J]. Ieee Journal of solid-state circuits,2017(2):95-97.  
 [10] 池增奇,韩志刚,阴智昊. 一种高精度片上 RC 振荡器的设计[J].中国集成电路,2017(6)26-29,67.  
 [11] 董春雷,宁振球,金星,等. 一种带温度补偿的高精度片上 RC 振荡器[J].微电子学,2015, 45(1):58-62.

(责任编辑:赵其领)

## A New High Precision RC Oscillator Design

ZHANG Mingwen<sup>1</sup>, YINYongsheng<sup>2</sup>, DENG Honghui<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Wuyi University, Wuyishan, Fujian 354300;

2. Institute of VLSI Design, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui, 230009)

**Abstract:** This paper presents a new type of high precision RC oscillator circuit based on 0.18  $\mu\text{m}$  CMOS technology, in which only one comparator is used to generate clock pulses by comparing the reference voltage with the feedback voltage. Switched capacitor module is used to generate reference voltage which is proportional to clock frequency and power supply voltage meanwhile is less affected by temperature. Periodic control structure is used to generate feedback voltage. Due to the introduction of clock pulse into the reference voltage generation, the influence of the comparator offset and delay is eliminated, and the accuracy is improved. The overall structure is simple, the oscillation frequency is high, and the power consumption is small. The oscillation center frequency is 20 MHz, and the power consumption is 18  $\mu\text{W}$ . In the temperature range of - 40 to 125  $^{\circ}\text{C}$ , the accuracy of  $\pm 0.5\%$  can be achieved.

**Key words:** RC oscillator; switched capacitor voltage divider module; periodic control structure; frequency stability

# SDN 和 OVERLAY 技术在高校云数据中心的应用

肖永钦, 卓柳迎

(福建师范大学 信息化建设与管理办公室 网络与数据中心, 福建 福州 350117)

**摘要:**从多租户应用需求出发,针对传统网络架构面临的困境,提出 SDN(软件定义网络)和 OVERLAY 技术在新的网络架构中的应用进行探讨,解决传统数据中心在资源统一分配、多租户隔离、统一出口和统一管理等方面存在的不足,同时分析并阐述了基于 SDN 和 OVERLAY 技术来构建 VDC 中心。

**关键词:**软件定义网络;OVERLAY 技术;虚拟数据中心;openflow 软件;统一管理

**中图分类号:**TP393.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-2109(2019)03-0073-04

传统数据中心建设思路大部分都是从硬件建设的角度出发,以高性能、高可靠性作为建设需求,从而造成很多服务器、网络、存储等硬件资源利用不充分,造成资源浪费。这种建设思路大多是由业务或建设者的经验来驱动,具有一定局限性和被动性。将从 SDN 和 OVERLAY 在云数据中心中应用这个点切入研究,从而为高校云数据中心建设打开一个新思路,为用户提供虚拟化资源共享池包括网络、服务器、存储、应用、服务,实现资源按需提供服务,同时通过统一管理、统一运营,提高云计算等业务发放及部署效率。

## 1 高校校园网数据中心建设与管理现状

高校校园网数据中心发展经历了服务器虚拟化部署、数据中心自动化部署、多云化部署三个阶段。多数高校校园网数据中心正处于第一阶段向第二阶段的演进中。当前,高校数据中心大部分只运行校内公共业务,各部门的专有业务由各自负责,或者仅仅是将硬件托管于校园云数据中心内。通过服务器虚拟化技术及云平台技术,将整个学校计算、存储资源进行整合,再以虚拟机的方式进行发放。但目前还都是承载在传统

网络上,发放计算资源的同时,需要对网络配置加以手工调整,以满足访问、隔离等需求。而想要实现“云网联动”的网络自动化部署,必须要承载于软件定义网络<sup>[1]</sup>(SDN),可分为软件 SDN 及硬件 SDN 两种方式实现。

两种 SDN 技术各有所长,软件 SDN 技术会将虚拟交换机<sup>[2]</sup>(vSwitch)部署在服务器上,并开启 VXLAN<sup>[3]</sup>技术,形成一个虚拟的大二层网络,配合虚拟防火墙(vFireWall)实现各租户的访问与控制。此种技术对于交换机设备无特殊要求,性能能够承载业务即可,对于现网改造冲击较小,但对于服务器性能消耗较高,vSwitch 的转发性能也受限于服务器,因此硬件 SDN 技术应运而生。硬件 SDN 首先要求交换机支持 VXLAN 技术<sup>[4]</sup>,同时要求支持 openflow<sup>[5]</sup>等软件定义对接技术,通过 SDN 控制器实现对于硬件交换机的统一配置下发、管理,此种方式业界称之为 OVERLAY。SDN 控制器再与云平台进行对接,实现计算、网络资源的统一、自动发放,摆脱现有的配置命令行操作。高校校园网数据中心建设仍然存在云业务发放效率低、网络设备难以统一管控和按需扩展、网络资源无法灵活调度网络资源浪费的问题。

### 1.1 传统网络的技术缺陷

#### 1.1.1 传统网络架构对东西流量限制

在传统网络技术架构下部署大规模虚拟机的应用场景,要求虚拟机迁移时其 IP 地址、MAC 地址保持不变,需要一个二层局域网,但已有二层技术存在两点不

收稿日期:2018-09-13

基金项目:2016 年福建省青年教师科研项目(高校教育信息化专项)(JAT160138)。

作者简介:肖永钦(1975-),男,汉族,工程师,主要从事大数据,网络安全的研究。

足:一是 STP (Spanning Tree Protocol)技术存在维护和部署繁琐,部署网络规模不宜过大,限制网络的扩展能力;二是各厂家私有网络虚拟化技术 CSS/IRF/vPC<sup>[6]</sup>等,对于网络的拓扑架构有较为严格的要求,只适合中小规模网络部署。

### 1.1.2 业务规模受限于网络设备规格

云数据中心虚拟机的大规模部署,虚拟机的规模受二层地址表项的大小限制,尤其是接入交换机的规格限制,较小的二层地址表规格,限制了整个校园云数据中心的业务规模。

### 1.1.3 不宜部署大规模租户

VLAN 技术常用来部署云业务场景需要对大量租户进行安全隔离,但在大量租户场景下会有两大限制:一是针对公有云或大型私有云部署需求,VLAN 仅有 4096 个可用量,不能满足需求;二是如果将 VLAN 部署在大型私有云上,会使得在数据中心内所有 VLAN 都被允许通过,会产生任何一个 VLAN 的广播数据会在整个数据中心内泛洪,消耗网络带宽的同时带来维护的困难。

## 1.2 OVERLAY 网络应运而生

OVERLAY 是一种在物理网络架构基础上叠加的虚拟化技术,其结点可以看作是通过虚拟或逻辑链路连接起来的,具有独立的控制和转发平面,实现应用在网络上的承载,并能与其它网络业务分离。针对传统网络在云数据中心大规模部署中存在的三大技术缺陷,提出了三种解决方案。

### 1.2.1 传统网络架构对东西流量限制的解决方案

OVERLAY 方案是只要 IP 路由可达就可以部署 OVERLAY 网络,原理是把报文的二层头封装在 IP 报文之内的新数据格式。路由网络对网络结构没有特殊要求,因为它已经非常成熟了。同时 OVERLAY 网络具备可扩展性、可负载均衡性、可自愈性<sup>[7]</sup>等特点。

### 1.2.2 业务规模受限于网络设备规格的解决方案

OVERLAY 网络部署后,数据封装在 IP 数据包中,对于接入交换机来说,仅需要学习隧道端点的 MAC 地址,这样很大程度上降低交换机对于 MAC 地址容量的要求。为了提高表项总规格,通常也采用分布式网关部署。

### 1.2.3 不宜部署大规模租户的解决方案

在 OVERLAY 技术中采用扩展隔离标识的比特

位数,能够突破 VLAN 4K 限制,最高支持 16M 用户。针对部署 VLAN 场景下的广播风暴问题,OVERLAY 对广播流量转化成组播流量,避免无效流量浪费带宽<sup>[8]</sup>。

## 2 VDC 数据中心模型设计和实现

VDC <sup>[8]</sup>(Virtual Data Center) 是由一定的计算资源、网络资源和存储资源组成的虚拟资源池,将物理资源池化后,按组织、业务需要灵活分配,构建的一个逻辑的数据中心,包括数据中心需要的计算、存储和网络资源,向最终用户提供一个虚拟的所见即所得的数据中心,不同 VDC 之间的资源是隔离的。VPC (Virtual Private Cloud)<sup>[9]</sup>是在 VDC 上申请的虚拟私有云。VPC 用于构建隔离的、租户自主配置和管理的虚拟网络环境。

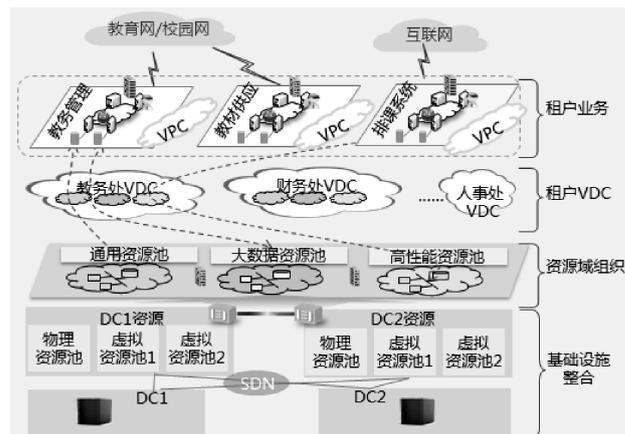


图 1 VDC 中心逻辑图

Figure 1 Virtual data center logic diagram

如图 1, 将基础设施进行整合后进行虚拟化形成 VDC 中心, 给校园内各类租户提供信息化基础服务。在校园云数据中心建设中, 需要基于云平台的 VDC 来解决设备资源利用率低、各业务部门对资源需求多、各部门对资源安全隔离的要求、资源统一管理难等问题, 实现校园云服务一站式基础设施服务, 实现分权分域管理, 降低管理成本。

### 2.1 基于 SDN 的 VDC 解决方案设计

如图 2 所示, SDN 的 VDC 解决方案可以分为以下 4 个层面。

#### 2.1.1 业务呈现/协同层(帽子)

提供面向运营商、高校、VPC、RSP 的 Portal; 提供灵活定制化的业务界面; 协同计算, 存储, 网络资源。

2.1.2 网络控制层(大脑)

通过标准的南向接口支持 openflow/OvsDB/Net-Conf<sup>[10]</sup>等标准,屏蔽了底层物理转发设备的差异,实现了资源的虚拟化。

通过标准的北向接口支持开放 API<sup>[11]</sup>,对接多种云平台,能够提供独立编排运维界面,实现网络业务快速定制和自动发放。

2.1.3 Fabric 网络层(骨干/四肢)

由物理/虚拟网络设备组成的基础网络,提供 L2~L3 层(骨干),L4~L7 层(四肢)网络服务。

数据中心网络主流技术有:VLAN,CSS/SVF<sup>[12]</sup>,Trill,VXLAN。其中 Trill/VXLAN 属于 OVERLAY 技术。

2.1.4 服务器层(鞋子)

数据中心网络可对接一种或多种计算/存储资源池。计算与网络控制协同,完成虚拟机自动化发放,位置自动感知,网络自动化开通。



图 2 基于 SDN 的 VDC 中心设计图

Figure 2 Virtual data center design based on SDN

2.2 基于OVERLAY的 VDC 方案物理架构

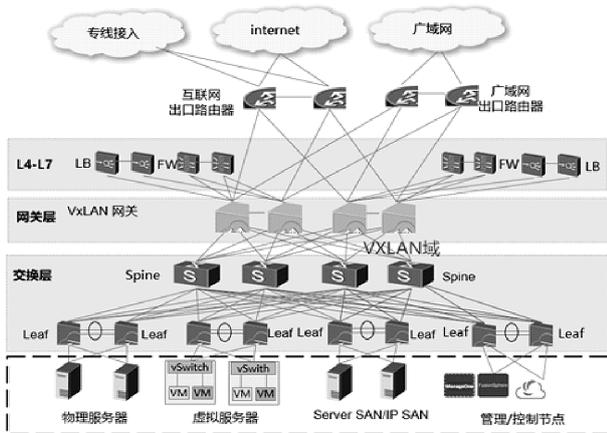


图 4 基于 OVERLAY 的 VDC 物理架构

Figure 4 Virtual data center physical architecture based on OVERLAY

2.2.1 物理网络架构设计

UNDERLAY 网络采用 Spine-Leaf 架构,灵活扩

展服务器组网规模, Leaf 层接入计算(物理服务/虚拟服务器)、存储业务、AC 管理网采用 UnderLay。

2.2.2 VXLAN Overlay 网络架构设计

Overlay 网络使用 VXLAN 构建大二层,VTEP 部署在 Leaf 交换机。VXLAN L3 网关采用硬件集中式,一个 Fabirc 可部署 2 组网关,支持业务的扩展,VxLAN 网关同时连接外部网络,旁挂 L4-L7 VAS 业务设备。计算业务由 OVERLAY 网络承载,OVERLAY 层面网络业务由 SDN 控制器集中控制。

2.3 基于 OVERLAY 的 VDC 方案流量模型

2.3.1 硬件集中式 VxLAN 流量分类

DCN 流量从方向和范围看,可以分为东西向流量(数据中心内部互访)和南北向流量(数据中心内外访问)。DCN 流量从租户角度分析,可以分为 4 类,1)租户内部同子网流量,2)租户内部跨子网流量,3)跨租户流量,4)DC 外部用户访问流量。

2.3.2 硬件集中式 VxLAN 流量路径

同一租户同子网流量,属于同一个 VXLAN L2 广播域,直接二层转发。同一租户同跨子网流量,属于不同 VXLAN L2 广播域,需要上送到 VXLAN 网关进行转发,但是不经过防火墙。租户间互访流量,属于跨子网转发且存在安全隔离需求,因此流量需要到 VXLAN L3 网关并经过防火墙。数据中心外部用户访问数据中心内部某租户服务器,一般要经过 IPS/FW、LB、VXLAN 网关、ToR 节点再到租户服务器。

流量模型如图 5 所示。

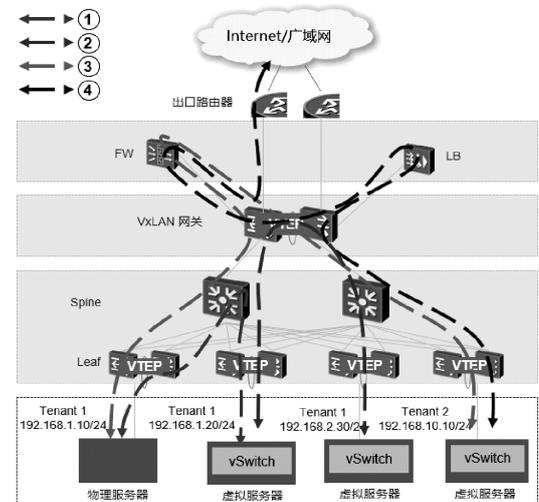


图 5 基于 OVERLAY 的 VDC 流量模型

Figure 5 Virtual data center traffic model based on Overlay

## 2.4 Overlay 网络方案优势

按照传统方案业务部署会通过命令行方式,批量配置一个个物理设备,需要进行 VLAN 划分、权限管理、路由设置、IP 地址规划等手工配置工作。配置繁琐复杂,耗时且易出错。当新增或调整原有业务、网络配合新建或调整时,需要重新配置多个设备,效率比较低,业务平均上线周期约 1 个月。以福建师范大学为例,应用基于 OVERLAY 的 SDN 技术后,通过的实测数据,可实现 5 分钟内完成业务自动化部署,通过对数据中心 Overlay 逻辑网络的自动化,实现了在不改变物理拓扑的情况下,实时、迅速地打通或调整网络,实现业务端到端地自动上线。

## 3 结语

目前高校云数据中心建设是一个趋势,应用 SDN 和 OVERLAY 技术,通过 VDC 可以整合各部门的资源,实现资源集中化,可以提升高校云计算等业务发放及部署效率,增加设备使用率,避免重复建设,同时实现全校数据中心资源统一管控和按需扩展,网络灵活调度,避免资源浪费,为教育信息化 2.0 提供了极大的支撑,为加快智慧校园建设、提升教育信息化应用水平提供了重要保障。

## 参考文献:

[1] 张卫峰.深度解析 SDN 利益、战略、技术、实践[M].北京:电

子工业出版社,2014:173-179.

- [2] 雷葆华,王峰,王茜,等.SDN 核心技术剖析和实战指南[M].北京:电子工业出版社,2013:1-66.
- [3] 孙铭浩.VXLAN 隧道的设计与实现 [D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2014.
- [4] 刘诚明.软件定义网络技术及应用[M].北京:人民邮电出版社,2013:10.
- [5] SIAMAK A. 软件定义网络:基于 OpenFlow 的 SDN 技术揭秘[M].北京:机械工业出版社,2014:6.
- [6] JAIN R, PAUL S. Network virtualization and software defined networking for cloud computing: a survey[J]. Communications Magazine, IEEE, 2013, 51( 11) : 24-31.
- [7] OSWALD C, SIAMAK A. Software-Defined Networking with OpenFlow-Second Edition [M].Birmingham:Packt Publishing Limited,2017:10.
- [8] ELLIOTT C. GENI: Opening up new classes of experiments in global networking. IEEE Internet Computing, 2010,14(1):39-42.
- [9] THOMAS D.NADEAU,KEN G. 软件定义网络:SDN 与 Openflow 解析.人民邮电出版社,2014,5.
- [10] 桑塔纳.数据中心虚拟化技术权威指南[M].张其光,袁强,薛润忠,译.北京:人民邮电出版社,2015:2.
- [11] KOPONEN T,AMIDON K,BALLAND P,et al. Network virtualization in multi-tenant datacenters[C] /USENIX NSDI. 2014.
- [12] 英特尔开源技术中心.OpenStack 设计与实现[M].北京:电子工业出版社,2017:5.

(责任编辑:叶丽娜)

# An Applied Analysis on SDN and OVERLAY Technology in University Cloud Data Center

XIAO Yongqin, ZHUO Liuying

(Information Construction and Management Office, Network and Data Center,  
Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350117)

**Abstract:** Starting from the multi-tenant application requirements, this paper proposes the application of SDN (software-defined network) and OVERLAY technology in the new network architecture to solve the dilemma faced by traditional network architecture, and solves the problem of unified allocation of resources, multi-tenant isolation and unification in traditional data centers. The shortcomings in export and unified management are indicated, and the construction of VDC center based on SDN and OVERLAY technology is analyzed and expounded.

**Key words:** software definition network; OVERLAY technology; virtual data centres; openflow software; unified management

# 公共服务视域下泉州市全民健身“六边工程”研究

董婧涓

(泉州师范学院 体育学院, 福建 泉州 362000)

**摘要:**采用文献资料、实地调研、访谈等方法对泉州市全民健身工作进行调查,围绕体育“六边”工程梳理泉州市全民健身的现状和存在问题。结果表明:泉州市“六边工程”建设成效显著,但存在社会资本对全民健身投入较少、公共体育设施管理维护难、特色体育赛事培育投入少等问题,建议泉州市在体育场馆开放、社会资本准入、品牌赛事规划等方面加强泉州公共体育服务体系建设,推动全民健身工作开展。

**关键词:**公共服务;六边工程;泉州市全民健身

**中图分类号:**G8   **文献标识码:**A   **文章编号:**1674-2109(2019)03-0077-06

公共服务是 21 世纪公共行政和政府改革的核心理念,它同经济调节、市场监管、社会管理组成了现代政府的四大职能。体育公共服务是指为了满足群众公共体育需求而向社会提供的所有体育产品和服务。<sup>[1]</sup>随着近几年来政府改革的推进和“公共服务型政府”的提出,加强公共服务已成为各级党委、政府的普遍共识。而人民对于公共服务的需求也呈现多元化和多样化的趋势。体育作为社会性公共服务的一部分,体育行政主管部门基于建设服务型政府的价值取向,已将公共体育服务体系纳入议事日程,并对区域内公共体育服务体系的建设进行了积极探索。十三五以来,国家陆续颁布《全民健身计划(2016-2020)》、《“健康中国 2030”规划纲要》等系列文件,全民健身上升为国家战略,覆盖城乡、比较健全的全民健身公共服务体系基本形成,为提供更加完备公共体育服务、建设体育强国奠定坚实基础。到 2020 年,群众体育健身意识

普遍增强,参加体育锻炼的人数明显增加,支撑国家发展目标、与全面建成小康社会相适应的全民健身公共服务体系日趋完善,政府主导、部门协同、全社会共同参与的全民健身事业发展格局更加明晰,全民健身公共服务体系建设也成为推动战略实施的应有之义。为此,本研究依托福建省全民健身实施计划(2016—2020)督查之机,采用文献资料法、访谈法、数理统计法和实地调研法等对泉州市各县市区全民健身场地设施、体育活动、体育赛事、体育组织、体育指导和体育文化建设等“六边工程”建设情况进行深入调查,以期理清新形势下全民健身发展思路,切实发挥政府和体育行政职能部门履行全民健身公共服务职能的作用,为泉州市、晋江市创建“全民健身模范城市”提供依据。

## 1 公共服务视域下泉州市全民健身“六边工程”现状

### 1.1 群众身边场地设施

体育场地设施体系是由满足公众公共体育需求的场地、设施等要素构成的有机整体。场地设施体系是公共体育服务体系的物质载体。公共体育场地设施主要包括公共体育场馆、学校及机关和企事业单位所

收稿日期:2018-09-18

基金项目:福建省体育局委托课题(2018SH120);2018 年福建省中青年教育科研项目(JAS180336);“福建省体育产业研究中心”研究成果。

作者简介:董婧涓(1985-),女,汉族,助教,主要从事社会体育管理研究。

属的体育场地设施、以全民健身路径工程为主的社会健身休闲场地、商业性健身设施。<sup>[2]</sup> 据调查显示,2013—2017年泉州市以年均六千万元的投资力度,新建全民健身路径、篮球场、羽毛球场、门球场、登山步道、健身公园等1 185个,场地面积超60万平方米。2016—2017年,泉州市、县两级更是投入场地设施建设21 021万元(含政府财政预算、体彩公益金投入和社会资助),场地设施维护1 965万元。此外,泉州市各县(市、区)59座公园内配备各类球场、全民健身路径、慢行步道、篮球场等健身设施,总计投资3.36亿元;共有体育公园19个、各级全民健身中心(活动中心)36个。

泉州市综合运用多种形式的财税优惠政策,促使各类生产要素向公共体育服务领域合理流动,建立起覆盖城乡的多样化公共体育场地设施。2013年第六次全国场地普查显示,泉州市共有体育场地12 272个,每万人拥有体育场地14.68个,低于全省16.62个的平均水平,居全省第八位;体育场地面积1580.81平方米,人均体育场地面积1.41平方米,低于全省1.59平方米的平均值,位居全省第七位;体育场地建设投资740 757万元,人均体育场地建设投资886元。<sup>[3]</sup> 根据《泉州市全民健身实施计划(2016—2020)》中体育场地设施建设的目标是“到2020年人均体育场地面积达到2.0平方米”,按照这个目标,泉州市平均每年人均体育场地面积应增长0.084平方米,场地总面积每年需增加60.69万平方米。近几年,泉州市坚持以项目为支撑,持续完善和提升群众体育基础设施建设。除了落实推进中央转移支付项目及省委、省政府为民办实事项目外,还通过市财政投入、体彩公益金和社会赞助等多种渠道,逐步加大体育公共服务设施建设投资。

### 1.2 群众身边的体育活动

体育活动是体育的本质所在,市公共体育服务体系的核心。没有体育活动,公共体育服务体系中的其他任何要素均会失去发挥作用的载体。<sup>[4]</sup> 全民健身活动作为基层全民健身的重要组成部分,泉州市借助“全民健身日”、节假日等节点,使全民健身活动常态化开展。2017年全市共举办各级各类全民健身活动212场次(与各县区提出的活动场次目标尚有差距),参与人数达到55 000人次,财政投入约210万元,社会投

入约300万元。在举办的212场全民健身活动中,有149场由当地街道、乡镇或社区主办,35场由地方体育部门主办,25场由体育社会组织(老体协、单项运动项目协会、体育俱乐部)主办,另有7场由其他行业或单位主办。许多全民健身活动在不断创新中得到发展,形成了许多具有相当影响力的“一地一品牌”、“一县一特色”全民健身品牌活动,如晋江英林镇第八届科技文化艺术(排球文化)节、石狮宝盖镇8.8全民健身展示活动等活动都已举办5年以上,形成一定的社会效益。

从相关数据分析来看,泉州市群众身边的健身活动呈现三大转变趋势,一是活动的形式从大型展示活动向就近就便、小型多样转变;二是活动的层次由城市向乡村基层延伸;三是活动的组织由政府主导向社会力量主动参与转变,活动投入的社会投入经费超过政府投入。但从调查来看,绝大部分活动项目属于娱乐性质,其主要原因在于居民体育服务的资金不足,缺乏自我发展能力,开展居民体育服务活动经费主要由区、街、居委会筹集,且许多居民体育服务项目以无偿或低偿服务为主,自身积累能力较差。<sup>[4]</sup>

### 1.3 群众身边的体育赛事

群众身边的体育赛事包含全民健身运动会系列比赛、以及全民健身运动会系列比赛外的国际性赛事、全国性赛事、海峡两岸赛事、地方传统赛事及其他体育赛事。2013年以来泉州市按照省里部署开始举行全民健身运动会,至今全民健身运动会系列比赛已成为全民体育赛事的标杆。2017年,全市举行了全民健身运动会各类赛事109场次,其中足球赛事7场、篮球赛事18场、气排球赛事3场、羽毛球赛事7场、乒乓球赛事11场、棋类赛事12场、传统项目(武术、太极、健身气功)赛事12场、游泳赛事5场、跑步徒步赛事7场、其他项目赛事27场,参与人数约19 000人次,财政投入约200万,社会赞助约100万。全民健身运动会作为泉州各县区全民健身品牌赛事活动之一,主要由当地全民健身领导小组或体育部门主办,90%以上的赛事以政府购买公共服务方式委托具有资质的当地体育社会组织或企业承办。从赛事参加人群来看,在足球、跆拳道、棋类等项目上,出现了少儿级别的比赛。

2017年,泉州全市共举办除全民健身运动会系列比赛外的各类体育赛事约470项,其中品牌赛事20项,其他群众体育赛事450项,赛事参赛人数超过12万人次,财政投入约1700万元,社会投入约1850万元。品牌赛事中包括国际级赛事3项(2017年海上丝绸之路环泉州湾国际公路自行车赛、2017年晋江国际全程马拉松赛、2017国际沙滩足球大奖赛)、全国性赛事10项(2017年“舒华杯”全国健美健身冠军总决赛、2017—2018CBA联赛等)、海峡两岸赛事4项(2017年第二届晋华杯海峡两岸暨港澳地区群众羽毛球比赛、海峡两岸(泉州)高山徒步大赛等)、地方特色赛事3项(石狮市第八届村级篮球联赛、惠安县第十八届“广海杯”职工男子篮球赛等),其中4项赛事已举办5年以上,如石狮市的村级篮球联赛还吸引大批球星参赛,另外有10项赛事为今年首次举办。20项品牌赛事参赛人数达17000人次,财政投入约1000万元,社会投入约850万元。晋江在打造品牌赛事方面较为突出,不仅有参赛人数众多的马拉松赛,也有职业化的品牌赛事CBA篮球联赛,凸显了体育城市的特色;但部分县区缺少品牌赛事,如泉港、鲤城等县区,尚未形成赛事的品牌化。

泉州市在积极打造品牌赛事的同时,还推进群众性的小型体育赛事的开展。2017年全市共举办各类群众体育赛事450场次,财政投入约700万元,社会投入约1000万元,赛事以足球、篮球、气排球、乒乓球、羽毛球等传统项目为主,参与人数约11万人次。目前,群众体育赛事呈现向村镇、社区等基层部门延伸的趋势,且不少群体赛事已举办多届,其中连续举办5年以上(含5年)的赛事有42项,占总数的10%,如晋江金井镇“新市杯”男子篮球基层赛已连续举办25年,成为当地群体赛事的特色。但从群体赛事项目来看,多集中在篮球、乒乓球、足球等传统赛事,缺少新兴运动项目,活动项目和形式对年轻人吸引力不足。

为了丰富体育赛事服务供给,提高赛事效果,应大力提倡体育项目创新,积极引进适合不同人群的新型体育项目,对深受群众欢迎、有较好健身作用的新体育项目进行资助;各地结合经济社会发展基础和自然资源条件,打造“一县一品牌”品牌赛事目标,以全民健身运动会系列赛事为龙头,依托机关、企事业单位和社会组织因时因地因需开展不同层析、不同类型的全民健身赛事活动,丰富和完善全民健身活动体系,调动更多的人参加体育健身活动。

#### 1.4 群众身边的体育组织

建立健全公共体育组织体系是公共体育服务体系构建的必要条件,是在公共体育服务体系中发挥主导作用的载体。一切公共体育政策的制定、公共体育服务的提供、公共体育服务方式的确立,最终都要直接或间接通过组织体系的组织、监督、协调、监控等环节来实现。根据组织体性质不同,群众体育建设过程包括强化行政服务职能、发展体育社团、发展体育指导员队伍、发展志愿服务。<sup>[5]</sup>

泉州市通过成立和完善各级全民健身领导小组,建立健全市、县、镇(街道)、行政村(社区)、自然村(小区)五级全民健身纵向组织网络,形成覆盖各单项体育协会、人群体育协会和俱乐部等全民健身的横向组织网络,推动体育组织的实体化进程。截止2017年12月,全市已注册各类体育社会组织392个,会员人数约12万人次(各县区体育社会组织情况汇总表3)。从体育社会组织类型来看,体育总会13个、老体协11个、农体协7个,占比8%;各类单项协会266个,占比

表1 部分县区2017年品牌赛事汇总

Table 1 Summary on brand sport events of partial counties and districts in 2017

县区	场次	参加人数 (人次)	财政投入 (万元)	社会赞助 (万元)	项目
丰泽区	1	80	--	--	足球
石狮市	3	1270	15.00	128.00	篮球、足球、象棋
晋江市	6	11173	550.00	350.00	篮球、羽毛球、 弓箭、徒步越野、 马拉松、健身健美
南安市	2	289	148.79	160.00	篮球、汽车越野赛
惠安县	2	210	--	--	篮球、沙滩足球
永春县	5	3532	233.00	197.00	广场舞、徒步、 武术、篮球
台商 投资区	1	100	--	--	自行车

67.8%,其中球类项目、武术等传统单项协会居多;各类体育类民办非企业单位 95 个,占比 24.2%,其中永春县各类白鹤拳研究会数量最具规模。从个体体育组织成立的时间来看,近五年成立的体育社会组织 123 个,约占总数的 37%,其中 2013 年成立 18 个,2014 年成立 28 个,2015 年成立 37 个,2016 年成立 26 个,2017 年成立 14 个。除各类体育组织外,泉州市还依托分布在社区、公园、广场等区域建有全民健身站点 663 个,开展了太极、健身气功、篮球、游泳、广场舞、气排球、门球、地掷球等健身活动的组织、指导和培训,活动人数达 8 万人次,这些全民健身站点都拥有 100~1 500 平方米不等的健身场所,每个站点均配置了 1~3 名社会体育指导员,站点稳定的健身人数达到 8 万人次。

由此可见,党的十八大以来党中央加快转变政府职能、创新社会治理的一系列重大改革创新举措,为深化体育社会组织改革创造了良好的外部环境条件,特别 2014 年 10 月 20 日,国务院印发《关于加快发展体育产业促进体育消费的若干意见》,提出将全民健身上升为国家战略,其中多个地方涉及体育社会组织的改革创新。近年来,随着加快转变政府职能、创新体育管理体制、推广政府购买服务等一系列改革措施的实施,更是进一步激发和释放了体育社会组织的活力,体育社会组织迎来迅速成长的契机,县(市、区)级的体育社会组织呈现出快速发展的趋势,逐步成为提供多元体育供给的重要组成部分,大部分县区已提前完成《实施计划》提出的体育社会组织的工作目标。<sup>[6]</sup>

### 1.5 群众身边的体育指导

群众体育指导主要包括健身理论研究、健身方法研究与推广、运动技术指导等。自 1993 年我国推行社会体育指导员技术等级制度以来,我国社会体育指导员已经成为推动群众体育事业发展的重要力量。截止 2016 年,泉州市共有社会体育指导员 13 700 多名,其中国家级 52 人、一级 291 人、二级 2 743 人、三级

10 284 人。2016—2017 年,全市共举办了 30 多期二级、三级社会体育指导员培训班,培训骨干 1 600 多人,为市民健身提供科学指导和服务。然而,目前社会体育指导员大都是兼职人员,他们大多有主业的工作,对于健身指导工作的时间及其有限,加之提高自身指导水平的动力不足以及目前还没有建立完善的社会体育指导员管理体系,没有形成组织落实,结构合理,覆盖城乡的全民健身志愿服务队伍。因此,社会体育指导员的积极性不高,不能够有效发挥“领头羊”的作用。<sup>[6]</sup>

国民体质监测工作作为群众身边健身指导的另一重要组成部分,全市体质监测工作主要依托国民体质监测站和大中型体育场馆进行,为群众提供体质监测、运动能力评定等,截止 2017 年,各县区共有国民体质监测站点 10 个,2016—2017 年共为群众体质监测近 25 000 例,当然还有些区县尚未建设国民体质监测站点,常态化国民体质监测服务滞后。

### 1.6 群众身边的体育文化

体育文化建设在传播社会主义先进文化方面具有积极作用和重要社会功能,挖掘体育文化内涵,泉州通过一系列赛事报道、理念宣传、公益广告、民俗传统体育活动传播闽南文化,助力泉州打造海丝文化城市品牌。泉州市通过广播、电视等媒体,以及全民健身站点等场所,对全民健身活动和赛事进行报道和宣传,如《泉州晚报》开设文体版面,每日报道国内外体育信息及泉州本土的体育活动;泉州电视台除日常的全民健身活动宣传外,还制作播出以“全民健身”为主题的公益广告;泉州广播台开设“晋江体育之声”频道,晋江市侨乡频道开设《晋江体育》日播栏目等。通过多种渠道宣传和推广体育文化,倡导全民健身理念,提升全民健身素养。与此同时,各地在推广体育文化过程中,也涌现了一批全民健身活动的先进单位和个人,成为传播健身新理念、营造健身文化氛围的带

表 2 部分县区体育社会组织个数汇总

Table 2 Summary on sport social organizations quantity in each county and district

县区	市直	鲤城	丰泽	洛江	泉港	石狮	晋江	南安	惠安	安溪	永春	德化	台商投资区
个数	43	8	13	10	22	49	80	40	26	8	66	14	13

头人。

民俗传统体育活动方面,泉州市目前开展的民间民族传统体育项目主要有舞龙舞狮、抓鸭子、扒龙船、五祖拳、扁担拳、健身气功、龙舟、白鹤拳、拍胸舞等,并以此开展汇集体育健身与竞技娱乐的民俗活动,挖掘和传承闽南传统体育文化,加强民族民间民俗传统体育保护和推广,打造特色体育节庆活动。如晋江安海的水上捉鸭子活动,已列入第九届海峡论坛、晋江市(安海)第六届两岸端午民俗旅游文化节的活动之一。

## 2 公共服务视域下泉州市全民健身“六边工程”发展困境与对策

随着泉州全民健身“六边工程”的开展,泉州全民健身体系建设日益完善,但是仍然存在着一些历史遗留问题亟待改善。其一,体育公共服务作为社会性公共服务,其实质是满足人的体育公共需求,全民健身的前提条件是要有体育场地设施给予保障,而目前泉州市体育场地设施尤其是中心城区体育设施建设与居民的实际需求仍有差距,社区中小型多功能运动场馆、社区公共健身广场等相当缺乏,体育场地与城市公园融合建设机制体制尚未建立。其二,随着体育产业、全民健身等相关政策文件的出台,极大的鼓励和支持民间资本进入泉州体育产业,但目前政府购买公共体育服务的机制还不完善,民间资本进入渠道不规范、程序不完善,可依据的文件规范有限,造成实际操作的困难。其三,泉州品牌赛事活动存在地区发展不均衡的问题,经济较发达城镇赛事活动丰富,资金充裕,而山区地区主要依靠政府投入,社会赞助较少。大部分乡镇缺少国际性、全国性的品牌赛事,赛事知名度多局限于本地或周边地区,影响力有限。赛事缺乏足够的赛前和赛后客观评估,赛事产品的经济和社会价值没有得到充分开发。针对以上问题,相关部门需要借鉴其他城市全民健身体系建设经验,进一步推动落实泉州“六边工程”规划:

### 2.1 推动体育设施改造升级,规范体育场馆开放办法

加快推进企事业、学校体育场馆设施向社会开放。与此同时,在规划时尽量将学校、单位的体育设施

进行隔离规划,有条件的向周边居民开放,实现健身资源共享。县市区人民政府对于社会开放体育设施的学校、单位给与经费支持和办理有关责任保险,指导相关单位采取多种形式的开放管理模式。做好大型体育场馆对外开放,通过管办分离、公建民营等模式,推动政府购买公共服务,从而推行市场化商业运作,鼓励社会体育资源融入公共服务体系。

### 2.2 完善社会资本准入机制,鼓励社会力量参与公共服务

出台相对完善的社会资本参与全民健身事业的文件规范,鼓励社会资本或体育组织在体育场地设施建设改造、赛事服务、国民体质监测等方面积极参与,并建立第三方评估机制,规范社会资本的进入。建立健全政府向社会力量购买服务机制,及时、充分向社会公布购买的服务项目、内容以及对承接主体的要求和绩效评价标准等信息,建立健全项目申报、预算编报、组织采购、项目监管、绩效评价的规范化流程。<sup>[7]</sup>

### 2.3 完善品牌赛事活动规划布局

加强对体育赛事活动的战略规划和布局,进一步优化赛事活动结构,形成高端品牌赛事、职业体育赛事、传统特色赛事与全民健身赛事活动互为补充、互为促进的细分格局。鼓励各县区结合经济社会发展基础和自然资源条件,依托海丝和两岸资源优势,积极探索发展海丝沿线国家和海峡两岸自主品牌赛事;挖掘和传承闽南传统体育文化,加强民族民间民俗传统体育保护和推广,打造传统特色体育赛事活动;以全民健身运动会系列赛事为龙头,依托机关、企事业单位和社会组织因时因地按需开展不同层次、不同类型的全民健身赛事活动,打造具有泉州自主IP的全民健身品牌赛事。<sup>[8]</sup>引导社会力量参与举办体育赛事,逐步建立和完善以市场为主的办赛机制,政府以购买公共体育服务方式给予扶持,并提供安保、交通、医疗等保障服务类资源。

## 参考文献:

- [1] 廖勇娟. 公共服务视域下的学校体育资源开放研究 [D].长沙:湖南师范大学,2013:1.
- [2] 肖林鹏,李宗浩,杨晓晨.我国公共体育服务体系概念开发及其结构探讨[J].天津体育学院学报,2007(22):472-476.

- [3] 许月云.泉州市体育场地建设与运营发展研究[M].北京:北京体育大学出版社,2015:19-24.
- [4] 樊炳有,高军著.体育公共服务:内涵、目标及运行机制[M].北京:人民体育出版社,2010:199.
- [5] 宋伟,鲍东东主编.苏州公共体育服务体系示范区建设[M].北京:中国科学技术大学出版社,2016:72.
- [6] 许月云,许红峰,董婧涓等.福建省全民健身实施计划(2016-2020)督查报告[R].福州:福建省体育局,2018.
- [7] 国务院办公厅文件. 国务院办公厅关于政府向社会力量购买服务的指导意见 (国办发〔2013〕96号)[EB/OL].http://www.gov.cn/zwjk/2013-09-30/content\_2498186.htm.
- [8] 许月云,王延婷,许红峰.福建省《全民健身实施计划(2011-2015年)》研究[J]. 体育文化导刊,2017(3):62-67.

(责任编辑:夏婷婷)

## A Research on Quanzhou National Fitness "Six-Sided Project" from the Perspective of Public Service

DONG Jingjuan

(School of Sports, Quanzhou Normal University, Quanzhou, Fujian 362000)

**Abstract:** By the means of documentary materials, interviews and field study, this paper researches the current situation of Quanzhou national fitness and analyzes the pros and cons of Quanzhou "Six-Sided Project". The study shows that Quanzhou "Six-Sided Project" has made remarkable achievements while also suffering from social capital shortage, public sports facilities maintenance shortage and special sports events investment inadequate. Therefore, the paper suggests that Quanzhou continue to strengthen public sports service system and national fitness project through sports facilities opening, social capital access and brand sport events building.

**Key words:** public service; six-sided project; Quanzhou national fitness

# 普通本科高校健身路径现状分析

——以芜湖市高校为例

闫林, 张 良, 金庆红

(安徽工程大学 体育学院, 安徽 芜湖 241000)

**摘 要:**运用文献资料法、实地调查法、访谈法、问卷调查法等,对芜湖市本科高校健身路径的使用、建设、管理等情况进行调查,对所发现的问题,提出意见与建议,以推动健身路径在高校中建设的良性发展。研究结果:(1)本科高校健身路径基本能满足学生的锻炼需求,但在种类、安全、位置、维修及经费投入方面存在不足。(2)在使用健身路径的学生中,以低年级男生居多。种类单一和选址不当是影响学生使用健身路径进行锻炼的主要原因。大部分学生利用健身路径的次数少、时间短,使用率偏低,未形成良好的健身习惯。(3)高校在健身路径的管理制度、宣传、专业人士指导、主题活动等方面仍存在不足,不利于健身路径在高校中的良性发展。建议:(1)科学建设高校健身路径,加强专业人士技术指导(2)加大对健身路径的宣传,增加主题活动。(3)制定相关管理制度,规范管理工作,明确责权分工,完善监管机制。

**关键词:**高校;健身路径;问卷调查

**中文分类号:**G806 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-2109(2019)03-0083-05

健身路径是指在社区、公园等公共场合设置的,供群众健身、休闲使用的一系列体育器械。在国外称之为“社区体育锻炼设施”“室外健身”等。在我国健身路径统称为“全民健身路径”<sup>[1]</sup>。建国 60 多年以来中国体育事业蓬勃发展,党的十九大指出:“广泛开展全民健身活动,加快推进体育强国建设”<sup>[2]</sup>。现如今我国参加体育锻炼的人数逐渐增加,人民的体质有了很大的改善。2016 年国务院颁发的《全民健身计划》中指出:“将青少年作为实施全民健身计划的重点人群大力普及青少年体育活动,提高青少年身体素质,加强学校体育教育。保证学生在校的体育场地和锻炼时间”<sup>[3]</sup>。

国务院将全民健身上升为国家战略,并进而提出了“没有全民健康,就没有全民小康”的战略部署。大

部分高校也陆续引进了健身路径器械,不仅为广大师生提供了锻炼场所,同时也响应国家政策,积极向社会开放。但亦有研究发现,部分高校在健身路径的使用、管理、建设等方面存在有诸多问题。例如易娟在《南昌市高校健身路径发展现状及对策研究》一文中提到“由于学生对于闲暇时间规划及其自身锻炼意识的影响,在健身路径的建设上表现不均匀,在利用率上不充分,锻炼方法不科学”<sup>[4]</sup>。段金狮在《山西省高校学生利用健身路径参与阳光体育锻炼的基本特征调查及分析》中指出:“高校大学生使用健身路径进行锻炼过程中,存在的主要问题是缺乏专业人士指导、器械单一且损坏严重”<sup>[5]</sup>。

据此,对芜湖市本科高校健身路径的使用、建设、管理等情况进行调查,对所出现的问题,提出意见与建议,以推动健身路径在高校中的良性发展。

收稿日期:2018-06-13

基金项目:安徽省高校人文社会科学研究项目(SK2017A0124);安徽省教育厅教研项目(JD00218111);安徽工程大学青年科研基金(2016YQ28)。

作者简介:闫林(1983-),男,汉族,讲师,主要从事体育学研究。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

以芜湖市本科高校健身路径为研究对象。抽取安

徽师范大学、安徽工程大学、皖南医学院三所高校为调查对象。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 文献资料法

通过知网、万方等数据库浏览查阅有关健身计划、健身工程、健身路径等文献资料及著作;浏览三所高校的网站了解相关政策,对其健身路径工程的发展与分布有了初步的了解;访问国家体育总局网站,查阅我国近年来关于高校体育、高校健身计划的政策文件。

### 1.2.2 问卷调查法

设计《芜湖市本科高校健身路径使用现状》调查问卷。其效度、信度经相关专家检验,符合调查要求。每个学校的在校生随机发放100份,共300份,回收295份,有效问卷289份。回收率和有效率分别为98.3%和98%。

### 1.2.3 实地调查法

深入调查三所高校健身路径数量、种类、使用及维护情况,获得第一手资料。

### 1.2.4 访谈法

依据研究需要,制定访谈提纲,对调查对象的健身路径负责人进行访谈,了解高校健身路径的建设、管理、经费等情况。

### 1.2.5 数理统计法

运用Excel统计软件对得到的数据进行统计分析。

## 2 研究结果与分析

### 2.1 芜湖市本科高校健身路径设施状况

#### 2.1.1 芜湖市本科高校健身路径器材配置情况

表1 健身路径条数及种类

Table1 Number and type of fitness paths

高校名称	路径条数	种类
安徽工程大学	8	13
安徽师范大学	5	12
皖南医学院	2	7

如表1所示,芜湖市普通高校健身路径器材数量、种类分布差别不大,条数在2~8之间,种类在7~13之间。三所高校健身路径主要以单杠双杠、高低杠、云梯、太空漫步机、扭腰器为主。调查发现,安徽工程大学健身路径与另外两个高校的种类相比,比较单一化,8条路径基本上以单杠双杠为主。另外两个高校种类较多且数量均匀。这与三所高校的学科分类有关。

2017年4月20日国家体育总局印发《室外健身器材配建管理办法》,以规范室外健身器材的建设,切实保障人民群众的体育健身权益和生命安全<sup>[6]</sup>。调查发现,三所高校的健身路径在质量安全方面整体较好,但有个别区域存在安全隐患。如器械老化、生锈、长期无人管理维护、选址安装不合理等。三所高校所有的器械均没有安全警示牌和使用方法说明。致使锻炼者盲目锻炼,且不利于人身安全。

选址方面,安徽师范大学和皖南医学院的路径选址都偏向于操场附近,远离教学区和学生宿舍。而安徽工程大学的路径选址分布较广,分散于操场附近、学生宿舍和教职工公寓周边。

#### 2.1.2 芜湖市本科高校健身路径经费筹集情况

如表2所示,通过与各个高校健身路径负责人访谈了解到,三所高校的经费来源主要是靠学校拨款建设,其次少部分经费来源于体育部门经费。由此表明,芜湖市三所高校健身路径的建设经费来源渠道过于单一,有待拓展。

表2 芜湖市三所高校健身路径经费来源情况(100%)

Table 2 Sources of funding for fitness routes in three colleges of Wuhu City (100%)

高校名称	学校直接拨款	体育部门经费	校外赞助
安徽工程大学	85%	15%	0%
安徽师范大学	80%	20%	0%
皖南医学院	100%	0%	0%

#### 2.2 芜湖市本科高校健身路径使用现状

健身路径以健身为主要功能,休闲趣味性为辅助功能。通过调查,芜湖市三所高校整体使用情况较好,锻炼者能充分利用。但也有个别路径没有起到它本身

的锻炼功能。学生宿舍和教职工公寓周边的路径经常被学生和教职工用来晒衣服、挂被单等,还有少部分健身路径建设在偏僻的树林里,常年无人使用造成器材生锈老化、地面杂草丛生。不仅占用了学校体育资源,还影响了校园美观。

2.2.1 高校学生对“全民健身工程”了解情况

表 3 高校学生对“全民健身工程”了解情况(N=289)

Table 3 College students' understanding of the "National Fitness Program" (N=289)

程度	非常了解	比较了解	一般	不太了解	从没听说过
人数	0	34	105	121	29
%	0	11.8	36.3	41.9	10

通过表 3 所示,近 90%的学生选择一般、不太了解或从没听过,反映出学生对“全民健身工程”的了解严重不足,学校应加大宣传力度,举办相关活动。

2.2.2 学生使用健身路径情况

由表 4 可知,高校学生利用健身路径锻炼的占 62.5%,不利用者占 37.5%。表明健身路径也是高校学生的一种重要锻炼方式,但高校应加大对健身路径的宣传,提高健身路径的认知度和利用率。锻炼者当中,男生占 58%,女生占 42%。年级方面,大一至研究生利用人数呈递减状态。且大四与研究生锻炼人数比低年级显著减少,经调查其主要原因为校外实习、写论文等。

表 4 高校学生使用健身路径情况(N=289)

Table 4 Situation of using fitness path for college students (N=289)

是否利用		性别		年 级					总计 289
		男	女	大一	大二	大三	大四	研究生	
利用	人数	101	77	58	55	40	15	10	178
	%	58.0%	42.0%	33.0%	31.0%	22.0%	8.0%	6.0%	62.5%
不利用	人数	77	34	37	33	21	13	7	111
	%	69.0%	31.0%	33.0%	30.0%	19.0%	12.0%	6.0%	37.5%

表 6 学生使用健身路径锻炼的频率与持续时间情况(N=178)

Table 6 Frequency and duration of student exercise using fitness path (N=178)

人数/%	每周利用次数			每次持续时间		
	3次或3次以上	3次以下	1次	1h以上	0.5~1h	0.5h以内
人数	44	48	86	45	102	31
%	24.7	27	48.3	25.3	57.3	17.4

2.2.3 学生未利用健身路径锻炼的原因

表 5 高校学生未利用高校健身路径锻炼的原因(N=111)

Table 5 Reasons for college students not using college

fitness path (N=111)			
不利用的原因	人数	%	排序
健身路径器材太简单	19	17.1	4
不知道健身路径器材使用方法	27	24.3	3
很容易受伤	11	9.9	5
习惯其他锻炼方式	53	46.8	1
其他	32	28.8	2

表 5 显示,学生不利用高校健身路径进行锻炼的因素排序为:习惯其他健身方式、其他、不知道健身路径器材使用方法、健身路径器材太简单、很容易受伤。经调查,选“其他”选项的主要原因为不参加体育运动和附近没有健身路径点。

2.2.4 学生利用健身路径锻炼行为状况分析

由表 6 可知,每周利用健身路径锻炼次数在 3 次以上的占 24.7%,三次以下的占 27%,只锻炼一次的超过 48%。每次锻炼时间在 0.5 个小时以内的占 17.4%,0.5~1 小时的占 57.3%,1 小时以上占 25.3%。从运动生理学角度分析,每周 3~4 次、每次持续 1 小时的锻炼效果最佳<sup>[7]</sup>。可见,高校学生利用健身路径锻炼的次数过少、持续时间较短。

2.3 芜湖市本科高校健身路径管理现状与分析

伴随《全民健身条例》和《全民健身计划 2016—

2020》的相继颁布,全民健身公共服务体系的构建与长效运行成为了国家体育总局未来5年的工作重点<sup>[8]</sup>。包括高校在内,当前我国全民健身公共服务不足,不能满足群众日益增长的需求。

### 2.3.1 规章制度

规范、严谨的管理制度,是场地器材得以优化使用的重要保障。通过访谈了解到,芜湖市三所本科高校均有负责健身路径工作的管理部门,但是没有对高校健身路径的管理、使用等制定专门的规章制度。只是作为学校普通的体育器材来建设维护,导致其没有得到广大师生的重视,没有发挥应有的作用。

### 2.3.2 宣传

所调查的三所高校中,均没有对健身路径的锻炼进行宣传,表明学校和相关负责部门对其重视度不够,影响了健身路径在高校中的发展。

### 2.3.3 专业人士指导

科学、合理的锻炼方法是取得最佳锻炼效果的基本条件。调查对象中普通大学生的公共体育课主要以各运动项目为主,有关健身路径的知识很少,且均没有安排专业人士来指导健身路径的使用。高校应积极地组织体育教师和体育专业的学生,组成健身路径锻炼指导队伍,明确责任,指导学生科学健身。

### 2.3.4 开放情况

通过实地调查,芜湖市三所高校的健身路径场地均安装在室外,对本校学生、教职工及家属和附近的居民,全部免费开放。因此有不少校外人员选择在高校锻炼,许多附近居民认为高校体育氛围浓厚,健身器材数量种类较多,场地设施完善,是锻炼身体的最佳场所。

### 2.3.5 健身路径活动开展状况

调查对象中仅有一所高校举办过以健身路径为锻炼手段的体育活动,但仅仅是把此类活动放到校运动会上,且只有引体向上一种项目。

### 2.3.6 管理与维修情况

经访谈了解到,三所高校均定期对大部分健身路径进行检查及维修,但检查间隔时间较长,一般在一个学期左右。有少部分路径点由于选址不好,无人管理维修,而荒废闲置。在管理方面,部分学校健身路径管理分为两个部门,例如体育学院和总务处,导致管理不专一,责任分工不清。高校应制定相关的管理制度,明确责权分工,完善监管机制。

## 2.4 芜湖市本科高校健身路径满意度调查

大学生对本校健身路径的数量结构、品种质量、选址分布、使用安全的满意度,反映了高校健身路径的建设情况。技术指导和管理维护反映了高校健身路径的管理维护情况。如表7,学生对高校健身路径各方面的正向评价平均为34%,负向评价仅19.7%,中肯评价多占46.3%。表明芜湖市本科高校健身路径的建设基本能满足学生需求。

## 3 结论和建议

### 3.1 结论

(1)本科高校健身路径基本能满足学生的锻炼需求,但在种类、安全、位置、维修、经费投入、管理、宣传等方面存在不足。

(2)在使用健身路径的学生中,以低年级男生居多。种类单一和选址不当是影响学生使用健身路径进

表7 高校健身路径满意度调查(N=178)

Table 7 Fitness course satisfaction survey (N=178)

建设情况	很满意		比较满意		一般		不满意		很不满意	
	人数	%	人数	%	人数	%	人数	%	人数	%
数量结构	15	8.4	57	32.0	76	42.7	23	12.9	7	3.9
品种质量	13	7.3	49	27.5	72	40.4	34	19.1	10	5.6
选址分布	25	14.0	66	37.1	81	45.5	4	2.2	2	1.1
使用安全	9	5.1	23	12.9	93	52.2	36	20.2	17	9.6
技术指导	13	7.3	19	10.7	87	48.9	44	24.7	15	8.4
管理维护	11	6.2	63	35.4	85	47.8	10	5.6	9	5.1
平均	14.3	8.1	46.2	25.9	82.3	46.3	25.2	14.1	10.0	5.6

行锻炼的主要原因。大部分学生利用健身路径的次数少、时间短,未形成良好的健身习惯。

### 3.2 建议

科学建设高校健身路径,加强专业人士技术指导。加大对健身路径的宣传,增加主题活动。制定相关管理制度,规范管理工作,明确责权分工,完善监管机制。

### 参考文献:

- [1] 刘东波.全民健身路径管理中的责权问题研究[J].西安体育学院学报,2015(4):415-417.
- [2] 习近平.决胜全面建成小康社会夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利[J].实践(党的教育版),2017(11):4-20.
- [3] 许田宇.基于政策工具视角下中国全民健身计划(2016-

2020年)政策文本分析[D].上海:上海师范大学,2018.

- [4] 易娟.南昌市高校健身路径发展现状及对策研究[D].南昌:江西师范大学,2009.
- [5] 段金狮.山西省高校学生利用健身路径参与阳光体育锻炼的基本特征调查及分析[J].新疆师范大学学报(自然科学版),2013(1):60-64.
- [6] 国家体育总局.室外健身器材配建管理办法[J].国务院公报,2018(4):67-69.
- [7] 杨静宜.运动处方[M].北京:高等教育出版社,2005:10.
- [8] 张瑞林,王晓芳,王先亮.我国全民健身公共服务体系动力机制建设[J].上海体育学院学报,2013(1):19-22.

(责任编辑:夏婷婷)

## An Analysis on the Current Status of Fitness Path in Wuhu Undergraduate Colleges

YAN Lin, ZHANG Liang, JIN Qinghong

(School of Physical Education, Anhui University of Engineering, Wuhu, Anhui 241000)

**Abstract:** Using the methods of literature, field investigation, interview, questionnaire etc., to investigate and study the use, construction and management of fitness paths in Wuhu undergraduate colleges, and to put forward opinions and suggestions on the problems that have arisen in order to promote the healthy development of fitness paths in colleges and universities. Results:(1) The fitness path of undergraduate colleges and universities can basically meet students' exercise needs, but there are deficiencies in terms of type, safety, location, maintenance and funding. (2) Most students use the college fitness path to exercise, mostly boys in the lower grades. Getting used to other types of exercise and poor physical fitness path location are the main reasons why students do not use physical fitness path to exercise. Most students use the fitness path less often, the time is short, the usage rate is low, and do not form the good fitness habit.(3) There are still deficiencies in the management regulations, publicity, exercise guidance, and thematic activities of fitness paths in colleges and universities, which are not conducive to the sound development of fitness paths in universities. Suggestions:(1) Scientific construction of fitness paths in colleges and universities, strengthening technical guidance for professionals, and (2) increasing the publicity of fitness paths and increasing the number of thematic activities. (3) Formulate relevant management systems, standardize the management work, clearly define the division of responsibilities and powers, and improve the supervision mechanism.

**Key words:** colleges and universities; fitness path; questionnaire

# 石壁客家民俗体育文化特征研究

崔胜利

(三明学院 体育学院, 福建 三明 365004)

**摘要:**石壁客家民俗体育是客家文化的重要组成部分,也是客家文化的充分表达和集中体现。在此采用文献资料等方法对石壁客家民俗体育文化基本特征进行系统研究。结果表明,石壁客家体育文化的特征包括显性特征和隐性特征,其中显性特征表现为宗教与信仰性、节庆与仪式性、地域与民族性、历史与传承性;隐性特征表现为竞技与娱乐性、表演与观赏性、差异与共通性。

**关键词:**石壁;客家;民俗体育

**中图分类号:**G85 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-2109(2019)03-0088-04

客家文化,源远流长。石壁是世界客属公认的总祖地。客家先民以其敢于冒险、不畏艰难、开拓进取的“硬颈”和“葛藤”精神,在这片“避难良所”的沃土上,拓林垦荒、繁衍生息,创造了光辉耀眼的客家文化,其中源远流长的石壁客家民俗体育文化尤其显得光彩夺目。伴随着缓缓流淌的历史长河,它们产生于客家人长期的生产劳动、尊祖祭祀、保家卫国、娱人悦神<sup>[1]</sup>过程中,并随着客家人的生产和生活代代传承。对独具特色的石壁客家民俗体育文化的基本特征进行深入分析和研究对丰富客家体育文化内涵、传承客家体育精神具有重要的历史价值和现实意义。

## 1 石壁客家民俗体育文化概述

客家体育文化多姿多彩,自然天成。<sup>[2]</sup>客家民俗体育文化是客家先民在长期的劳动生产过程中积累形成的以宗族群体为本、以儒学伦理为中心,强调整体性、统一性和兼容并蓄的客家民俗体育文化圈。<sup>[3]</sup>它充

分体现了客家人的“硬颈”精神,是反映客家人生活、经济、政治、文化、宗教以及风土人情的生动画卷。

“北有大槐树,南有石壁村”明确了石壁在客家历史中的重要地位和文化象征意义。石壁,又称玉屏、石壁、石碧等,地处闽赣交界地、武夷山南段山脉的东麓。石壁地区气候温和,夏无酷暑,冬无严冬,是客家先民躲避战乱、休养生息的理想之所。石壁既是一个地理概念,又是一个文化符号。它主要指以石壁为中心的闽赣地区,是客家先民重要的聚集地和播迁地,是孕育客家文化的摇篮。<sup>[4]</sup>石壁客家民俗体育文化是客家文化的重要组成部分,不仅内容丰富、形式多样,如舞龙、舞狮、划旱船、踩高跷、舞傀儡、马灯舞、回回舞、铁杆故事、踏地故事等等,而且历史气息浓厚和风格独特。因此,分析和研究石壁客家民俗体育的基本特征对丰富客家文化内涵具有重要意义。

## 2 石壁客家民俗体育文化的基本特征

石壁客家民俗体育基本特征应该包括两方面内容:一方面是石壁客家民俗体育文化在时间、空间以及发展演变中所表现出来的特征,即石壁客家民俗体育文化的显性特征;另一方面是石壁客家民俗体育文化的本质属性所表现出来的特征,即石壁客家体育文化的隐性特征。两方面内容的结合就构成了石壁客家民俗体育文化的基本特征。

收稿日期:2018-06-15

基金项目:2017年三明学院引进高层次人才科研启动经费支持项目(17YG04S);2018年三明学院教育教学改革项目立项(J1811119)。

作者简介:崔胜利(1984-),男,汉族,讲师,博士,主要从事学校体育、客家民俗体育研究。

## 2.1 显性特征

### 2.1.1 宗教与信仰性

宗教信仰为民俗体育文化传承提供了意识形态、器物与制度的记忆与表达,是塑造民俗体育文化的精神本源。<sup>[5]</sup>美国法学家 Harold J.Berman 认为“早期的体育萌芽与宗教信仰有着密切的关系,而且在体育的发展过程中一直受到宗教的影响。”千百年来,由于石壁客家先民多来自饱经战乱的中原地区,经历多次辗转迁徙的艰辛与磨难,在辗转定居在偏远的石壁之后,还要面对天灾、战乱、野兽、疾病等的威胁,石壁客家人自然而然产生强烈的消灾禳祸、祈求平安的宗教信仰诉求。因此,石壁客家民俗体育文化表现为显著的宗教信仰特征。例如:石壁的舞龙、舞傩子、舞狮、闹花灯等这些建立在宗教信仰基础上的民俗体育活动,被赋予了丰富的宗教信仰元素。它们在漫长的“传承—融合—再传承”过程中已经成为代表石壁客家精神品性的特殊符号。

表 1 石壁地区部分民俗体育活动的宗教信仰内涵

Table 1 The religious connotation of some folk sports activities in Shibi region

民俗体育活动	内容与宗教信仰内涵
闹花灯	石壁花灯具有相对独特的风格且种类繁多,如文武灯、关刀灯、高棚灯、角子灯、五谷丰收灯等等,石壁客家人通过闹花灯祈求和平安康和吉祥如意等。
舞龙	石壁舞龙种类繁多,包括稻草龙、板凳龙、布篓龙、线香龙等等,龙作为中华民族的象征,舞龙反映了石壁客家人对龙和先祖的信仰崇拜,同时祈求风调雨顺、五谷丰登等。
舞傩子	舞傩子包括“天官赐福”、民间武术表演以及“筒车卷水”“叠罗汉”“老鹰窥井”等传统项目,寓意石壁客家乡民们新年吉祥、万事如意的良好心愿。
舞狮	石壁客家舞狮分为文师和武狮,通常在农历正月、中秋节等重大节日举行,狮子是石壁客家人心目中的瑞兽,能够镇邪祈福。他们相信舞狮可以实现平安吉祥、人财两旺的美丽愿望。

通过民俗体育表现,寄托了民众对现实生活的信仰诉求。如石壁客家人每逢春节与元宵,在闹花灯过程中,体现人们对火的崇拜,也体现红红火火的现实生活诉求;与此同时,各种形式的花灯赋予不同的信仰诉求,如文武灯、关刀灯,暗含了石壁客家人对文臣武将的崇拜,在石壁当地还有关圣庙、双忠庙(祀张巡、许远)等,宁化县城有文庙,信仰诉求往往与民俗表现融为一体;由此观之,闹花灯具有极强的信仰元

素,反映了当地民众的信仰诉求。在中国传统社会之中,过节本来具备双层的含义:一是庆祝;二是祭祀。无论是舞龙、舞傩子,还是舞狮,通过民俗体育表演,来增强节日的热闹气氛,这是庆祝功能的一种方式;此外,还可以通过表演,达到驱邪、消灾、禳祸、诉福、保平安等功能,这一切使得这些民俗体育赋予深厚的信仰特性。

### 2.1.2 节庆与仪式性

节庆仪式是人类千百年来形成的相对稳定的文化体系。它将彼时彼地人们的宗教、生产、生活、经济、审美等通过多种多样的民俗体育活动重现历史文化情境,让人们从中感悟人、自然、社会之间的不可分割性。<sup>[6]</sup>多数的石壁客家民俗体育活动表现出一定的节庆与仪式性特征。它不仅能够烘托节日气氛,而且还能维护客家族群的内部秩序,强化族群文化,并进一步加深客家人对石壁客家文化的认同感。如石壁客家舞龙就包含请龙、舞龙、游龙等特定仪式。其一,请龙。龙头到“后龙山”上焚香祭拜后,点燃龙身节内的“油缠”,由首者为龙点睛,谓之“请龙”;其二,舞龙。点完睛的龙放于宗祠内,正月期间舞龙时请出。一大早,舞龙者、牌子锣鼓队员集于宗祠内,先进行表演,随后走村串户进行表演;其三,游龙。龙灯出游,走村串户,所到之处,人们燃香鸣炮迎接,以祈新年去病消灾,恩赐祥瑞。最后一晚,需敲锣打鼓将龙头、龙尾送往河边焚烧,化龙而去。通过这些仪式来保佑大家新年吉祥,万事如意,增加节日的喜庆氛围。

表 2 石壁客家节庆民俗体育活动内容要素

Table 2 The elements of hakka festival folk sports in Shibi

节日名称	活动内容	时间	地点
春节	舞龙、舞狮、跑旱船、踩高跷、舞傩子、铁杆故事、游花灯	正月初八	祖祠、村内郊外
元宵节	闹花灯(高棚灯、池家文武灯、关刀灯舞、延祥花灯)水茜踩地故事、湖村回回子舞、马灯舞、放水龙	正月十三至十五	祖祠、村内空地
立春	舞傩子(天官赐福、筒车卷水、叠罗汉、老鹰窥井)、鞭春牛	农历二月初四左右	田间地头、郊外
端午节	舞龙	农历五月初五	祖祠、本村界内
中秋节	舞狮(打黑狮)船灯、高跷、龟蚌舞	农历八月十五	祖祠、房前屋后、村内空地

### 2.1.3 地域与民族性

石壁客家民俗体育具有多地域和多民族性特征。地域性是民俗体育在空间上显示出来的特征,<sup>[7]</sup>决定因素包括自然环境、社会环境、人文环境等。“十里不同风,百里不同俗”正是不同民俗体育活动地域性特征的生动写照。民族性指一定民族在特定区域条件下形成的独特的民俗体育文化,<sup>[8]</sup>与不同民族的民风民俗存在密切联系。<sup>[9]</sup>

石壁地处福建宁化县西部,与江西省石城县毗邻,范围包括古时宁化西部的龙上上里、龙上下里和龙下里,石壁虽属山区,但域内以盆地、丘陵、低山等为主,易于开发且矿藏、森林资源丰富,古时有“陟跻五里,曲径苍林”之说。石壁是古代闽赣陆路重要的省际交通枢纽。它是当时闽人北上重要通道之一,也是北人南下进入闽西的重要通道。同时,石壁境内淮土溪是贡水源头之一,也是当时极为重要的航道。此外,石壁客家民俗体育文化还表现为多民族性特点。由于北方汉人(即客家先民)辗转栖居以及与畬、瑶等原住居民的民族融合使石壁客家民俗体育文化既有中原文化的主体内容,又融入了江淮文化、荆楚文化、长江文化,畬、瑶文化以及古百越文化等而表现出显著的多民族性特征。正是石壁这样一块物华天宝、人杰地灵的客家文化热土孕育了具有独特地域与民族性特征的石壁客家民俗体育文化并得以代代相传。例如,湖村的回回子舞,动作仍为模仿西域人行走、摔跤、角力等肢体动作,表演者配之以锣、鼓、快板等乐器,显示了中原文化与西域论碰撞融合的特性。又如畬族、瑶族、土家族、白族等尤其崇拜五谷神,在南方各地存有大量的五谷神,石壁客家人也不例外,正月初七石壁镇陈塘村祭祀五谷神,抬五谷神像,在稻田里奔跑、摔跤、摔泥巴、泼泥水,即客家人的“闹春田”,这种习俗显示了中原文化与南方文化的融合,体现也客家文化作为汉民族文化一个支系的独特性。

### 2.1.4 历史与传承性

石壁民俗体育文化具有历史与传承性的显著特征。历史性指民俗体育在特定历史时期发展过程中的时代性标志。传承性包括民俗体育在时间上的连续性和在空间上的扩布性。<sup>[10]</sup>如石壁花灯最早可追溯到唐宋年间,流传至今已有上千年历史。经过近千年的传

入、聚合、融合、演化、传承,石壁花灯不仅种类繁多,而且文化内涵不断丰富,淮土高棚灯、池家文武灯、牌坊灯、桃李园灯等极具有代表性。其中,延祥花灯已经有600多年历史,据《延祥村史》载:“延祥花灯自正德年间杨德安出任浙江金华知府时参观苏杭式归来传授仿效相沿至今。”现在每年农历正月十三至十五仍然举办延续几百年的传统迎神赛灯习俗。石壁民俗体育历史悠久,时至今日已经从当初原始祈福驱邪的宗教信仰历经传承、创新发展成为今天丰富农村文化生活,实现国家乡村振兴战略的重要载体。石壁客家民俗体育文化集客家民间艺术与民俗体育于一身,已经成为宣传、弘扬客家文化的一张靓丽名片。

## 2.2 隐性特征

### 2.2.1 竞技与娱乐性

人类学越来越清楚地表明,古代社会生活通常是如何在群体自身的对抗和对立结构上建立起来的,群体的整个精神世界又是如何对应这种深刻的二元结构的。<sup>[11]</sup>竞争是人类社会普遍存在的社会现象,是人类社会和自然界赖以进步的力量。竞技与娱乐性是石壁民俗体育重要的内部特征。例如:石壁舞狮通常在锣鼓的伴奏中,舞狮人做“搔痒、打滚、洗面、蹂球”等动作,其憨态可掬的以舌舔毛、架身翻滚、摇头摆尾等表演不仅给客家乡民们带来快乐,还能满足生活、发展以及精神享受的需求。但是,当“黑狮”出现时便有“傲视群狮”,挑战强手的意思,这时青狮会主动发起挑战,一场热闹的舞狮竞技不可避免,而且不分出高低是不会收场的。由此,石壁客家民俗体育的竞技和娱乐性已经表现得淋漓尽致了。

### 2.2.2 表演与观赏性

表演与观赏性是石壁民俗体育的重要内部特征之一。石壁地区的马灯舞是具有中原文化特色的民俗体育活动,其内容和形式极具表演与观赏性。马灯舞又称跑竹马、马头灯、竹马灯,于元代传入石壁,盛于清代,石壁、禾口、淮土等地十分盛行。最初为简单的民间舞蹈表演,一演员扮官员,腰系竹马,竹马分马头和马身尾,马身四周用布围住,以遮住演员的双脚。在马的脖子上系响铃,舞者一手执马鞭,一手抓缰绳,表演形象、生动、逼真。另一演员扮小丑饰马夫,一手牵马绳,一手执凉伞,引马做奔腾前进状。官员气宇轩

昂,小丑则动作滑稽,整个场景对照鲜明,生动有趣。后来石壁客家人又增加了花脸、老生、小旦等饰演舞马人,配上二胡、唢呐等乐器,大大增加了马灯舞的观赏性和艺术价值。

### 2.2.3 差异与共通性

石壁民俗体育文化具有差异性和人类文化的共通性。差异性指同一民俗体育事象在不同地域不同民族中所具有的不同特色。共通性指不同地域、不同民族的民俗体育活动中相似或相近的因素。它是民俗体育广泛存在的本质属性,是人类文化发展的必然结果。例如石壁民俗体育中的舞龙、舞狮虽然在名称、内容、形式上有所差异,但是不可否认的是它们与其他地区的舞龙、舞狮具有中华文化的共通性。民俗体育的共通性是人类文化中相似、相近的文化元素在民俗体育中的集中反映,它是不同地域民俗体育文化交流和传播并逐渐

## 3 结语

客家文化是灿烂的中华民族文化的一部分,客家先民们凭借“硬颈”精神历经苦难创造了个性鲜明、光辉灿烂的客家文化。石壁在客家文化史中占有重要地位,它是孕育客家文化的摇篮。石壁客家民俗体育文化是客家文化的重要组成部分,也是客家文化的充分表达和集中体现。本研究对石壁客家民俗体育的基本特征进行抽象、概括,目的在于从总体上正确认识和把握石壁客家民俗体育文化的基本特征。只有明确客

家民俗体育的特征,才能进一步厘清客家民俗体育的产生、发展及其演变规律,并为客家民俗体育文化的开发、推广创造条件。

### 参考文献:

- [1] 张华江,王晓东.汉水流域民俗体育的文化特征及社会功能[J].广州体育学院学报,2015,35(2):20-22.
- [2] 吴玉华,冯志敏,曾飙.客家体育的特征与功能[J].山西大学体育学院学报,2005,12(4):41-43.
- [3] 郭善强.闽西客家体育文化研究[J].南京体育学院学报(自然科学版),2012,11(3):130-132.
- [4] 廖开顺,刘善群,蔡登秋,等.石壁客家述论[M].郑州:河南人民出版社,2012:353-364.
- [5] 王智慧.图腾崇拜与宗教信仰:民族传统体育文化传承的精神力量[J].体育与科学,2012,33(6):12-17.
- [6] 张武生.唐代节日中的民俗体育[J].榆林学院学报,2012,22(6):64-66.
- [7] 中国体育科学学会.体育科学词典[M].北京:高等教育出版社,2000:178.
- [8] 涂传飞,余万予,等.对民俗体育特征的研究[J].武汉体育学院学报,2005,39(11):6-9.
- [9] 徐琳.论我国民俗体育的地域文化特征与发展[J].成都体育学院学报,2009,35(5):34-36.
- [10] 中国体育史学会.中国近代体育史[M].北京:北京体育出版社,1992:12-22.
- [11] 约翰·赫依津哈.游戏的人:文化的游戏要素研究[M].傅存良,译.北京:北京大学出版社,2014:54-91.

(责任编辑:苏娟娟)

## A Research on the Characteristics of Hakka Folk Sports Culture in Shibi

CUI Shengli

(School of Physical Education, Sanming University, Sanming, Fujian 365004)

**Abstract:** The hakka folk sports in Shibi is an important part of hakka culture, and it is also the full expression and concentrated expression of hakka culture. The basic characteristics of Shibi hakka sports culture were systematically studied by means of literature and materials. The results show that Shibi characteristics of the hakka folk sports culture include the dominant and recessive characteristics, the dominant characteristic of religion and faith, festivals and ritual, geography and nationality, history and inheritance; Recessive features include competition and entertainment, performance and appreciation, difference and commonality.

**Key words:** Shibi; Hakka; folk sports; characteristics

# PBL 教学模式在独立学院课程教学中的应用

——以植物生理学为例

叶小真<sup>1</sup>, 罗晓霞<sup>2</sup>, 陈全助<sup>1</sup>, 冯丽贞<sup>3</sup>

(1.福建农林大学 金山学院, 福建 福州 350002; 2.信阳学院 教务处, 河南 信阳 464000;

3.福建农林大学 林学院, 福建 福州 350002)

**摘要:**根据独立学院学生特点,以植物生理学为例,围绕讨论小组设立、提出课程相关问题、课前问题准备、组织学生讨论以及课程最终成绩评定等5个方面,对基于问题的学习即PBL教学模式在独立学院课程教学中的应用进行全面探讨,并通过分析考试成绩检验PBL教学模式对学生学习效果的影响,希望为PBL教学模式在独立学院其他课程教学中的推广应用提供参考。

**关键词:**基于问题的学习;独立学院;植物生理学;课程教学

**中图分类号:**G642.0 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-2109(2019)03-0092-04

独立学院的人才培养目标是应用型人才,即培养学生的创新能力和解决实际问题的能力<sup>[1]</sup>。独立学院的学生具有不同于普通高校本科学生的诸多特征,故应根据独立学院学生特点及人才培养目标,采用适合其学习状态的课程教学模式<sup>[2]</sup>。植物生理学是植物生产类专业的基础课和骨干课,学生通过对其基本原理和基本概念的认知和掌握,能为其后续专业课程的学习打下基础,是专业学习过程中极其关键的环节<sup>[3-4]</sup>。本文在分析独立学院学生特点的基础上,说明了基于问题的学习(problem-based learning, PBL)教学模式的特点及其常规性流程,进一步以植物生理学课程教学为例,探讨了PBL教学模式在独立学院课程教学中的应用,对提高独立学院课程的教学效果与质量具有一定的参考意义。

## 1 独立学院学生特点

与普通高校的学生相比,独立学院的学生个性鲜

明,自我意识强烈,社会活动能力强,在人际沟通、组织协调以及动手实践能力等方面有一定优势<sup>[5-6]</sup>。但独立学院的学生又大多缺乏合作意识,文化基础知识较薄弱,喜欢独来独往,在学习方面总体表现为学习目的性不太明确,学习习惯欠佳,自主学习能力和毅力不够,具有畏难情绪,上课不专心,课后不复习,经常迟到早退等特点<sup>[7]</sup>。根据独立学院学生的这些特点,若采用合适的教学模式,充分发挥其优势,将能提高教学效果和质量。

## 2 PBL 教学特点

基于问题的学习(problem-based learning, PBL),也被称作“问题式学习”,在上个世纪60年代应用于医学教学领域,随后又被推广应用于其他学科教学领域,教学成效明显<sup>[8-13]</sup>。PBL教学法主要由3个环节构成即提出问题、组织讨论和成绩评定。其在教学过程中主要以学生为主体,与以教师为主导的传统教学法形成了显著区别。首先由教师针对教学要求和学习目标提出相应的问题(亦可由学生根据生活中发现的有关现象提出问题),然后学生围绕提出的问题,主动学习教材相关内容,并收集研究有关的文献资料以获得初步答案,最后再通过小组成员讨论和研究解决所提出的问题。学生在PBL教学法的学习过程中,教师的作用不是回答问题和提供参考答案,而是启发和引导学生思考,指导学生查找相关问题的答案,控制学生

收稿日期:2018-06-11

基金项目:福建省实验教学示范中心(0137sf);福建省示范性应用型专业群建设(y160201);“农林经济管理”应用型学科建设方向2——农业资源与环境管理项目(yz180701)。

作者简介:叶小真(1983-),女,汉族,博士,讲师,主要从事树木病理生理研究。

通讯作者:冯丽贞(1965-),女,汉族,博士,教授,主要从事树木生理研究。

讨论的方向和时间,记录每位学生的表现,其最终目的都是为了提高学生分析问题、解决问题的能力,重在通过提出问题来引导学生掌握学习知识和解决实际问题的方法与技巧,从而确保学生完成学习目标。由此可见,PBL教学法与传统教学法有明显的区别。在独立学院实施PBL教学法,根据独立学院学生的特点,组织和引导学生自觉、自愿地参与学习,变“要我学”为“我要学”的主动行动,充分发挥学生学习的主体作用和主观能动性,对保证课程教学质量并实现教学目标有显著的成效。

### 3 PBL教学模式在植物生理学教学中的应用

#### 3.1 植物生理学的教学现状

植物生理学是生物类学科各专业必修的一门专业基础课程,它是研究植物生命活动规律的科学,是在认识植物形态、解剖和分类基础上,采用不断发展的生物学、物理学、化学、数学等理论和方法,研究植物生命现象的生物物理及生物化学变化及其过程,以及环境条件对植物生命活动影响的本质。其任务是认识和解释生命现象,且要掌握其规律和机制,能动地为农林业等生产实践服务。因此,保证教学质量在学生后续的专业学习及今后的生产实践和科学研究中都具有重要意义。

植物生理学是一门理论性很强的学科,其专业术语多,所涉及的各种生理代谢反应错综复杂,解释抽象晦涩,部分学生因为前期没能真正掌握植物学和生物化学等相关基础课程的学习,基础知识不扎实,导致对植物生理学内容难以理解和掌握,结果对这门课程的学习产生了畏难和抵触情绪。特别是近年来,由于分子生物学、细胞生物学、遗传学等学科的交叉渗透,使植物生理学有了日新月异的发展,造成教师在上课过程中既要全面而系统讲授植物生理学基本原理、理论与技能,又要适当地介绍该学科最新研究成果,导致课堂教学内容越来越多,但教学总时数又有限,如此必然影响了课堂教学效果,给课堂教学增加了诸多难度。另外在独立学院学生学习植物生理学过程中,采用常规讲授式的教学方式普遍造成学生上课缺乏兴趣,不做笔记,课后不看教材,未能及时复习课堂教学内容,对本课程基本教学知识点缺乏理解,更无法消化吸收,只是在考试前盲目搜集和记忆试题,

出现为考试而学习的现象。如此学习势必造成学生对这门课程一知半解,甚至一窍不通,更谈不上应用该课程的基本理论知识去分析和解决生产实践中遇到的相关问题,结果彻底偏离了教学要求与目标。因此,若不及时根据独立学院学生的特点,改革植物生理学等专业基础课的教学模式,将会影响后续专业核心课及选修课的教学效果和教学质量,也势必影响独立学院应用型人才培养目标的实现。

#### 3.2 PBL教学法在独立学院植物生理学教学中的实施方案

##### 3.2.1 成立小组

首先由学生根据兴趣爱好自由组合成几个讨论小组,教师根据学生的层次可做适当调整,以优化小组结构,最终形成大约4-5个成员组成的若干小组。每个小组指定一负责人,明确各小组成员的角色和任务,通过相互分析讨论和协调配合来共同解决教师或小组成员所提出的每个问题。

##### 3.2.2 提出问题

在PBL教学过程中,学生围绕问题展开一系列的学习活动,所以提出的问题不仅要能完成教学大纲所规定的教学任务,还应具有趣味性和实用性,寓教于乐,围绕专业核心技能的培养,使学生充分掌握基础理论知识并提高理论联系实际的能力。我们通过以下部分植物生理学课程相关问题来表达PBL教学法的问题提出。(1)生产上为何要进行田间管理,有哪些具体措施?(水分代谢和矿质营养及外界环境对植物生长的影响)(2)将光合作用比作物质生产过程,那么该生产过程原材料、产品是什么?工厂、车间是什么?工人有哪些?生产流程是怎样?制约因素有哪些?(光合作用)(3)新鲜果蔬是如何贮藏的?(呼吸作用)(4)为什么人们常说“树怕剥皮,不怕空心”?(水分、矿物质及有机物的运输规律)(5)要使果树矮壮分蘖多产量高,你在植物激素应用方面有哪些建议?(植物激素的生理作用)(6)木本植物种子繁育时间长,如何实现快速繁殖?(植物组织培养技术等)(7)去超市你是如何选择水果?(果实成熟生理)(8)红树林植物为何能生活在海水中?(植物抗性生理)。这些问题既通俗常见、贴近生活,又紧密联系生产实际,不仅让学生亲身感受这门课理论和实践紧密结合,而且也使他们明白学有所得,学有所获,学有所用,学以致用,从而增强了对理论知识学习的兴趣和动力。

### 3.2.3 准备问题

PBL 教学模式中对所提出的问题,学生是否课前准备充分,对提高整个课程教学效果起到重要作用。必须严格要求学生针对以上问题,以小组或个人为单位,通过仔细阅读教材和查阅相关资料认真进行自学,并将所准备的问题带到课堂进行小组讨论(具体可根据课程学时情况分阶段开展教学活动)。

### 3.2.4 组织讨论

小组讨论是 PBL 教学过程中最重要的环节。积极合理有效的讨论不仅能激发学生学习兴趣,调动学生学习积极性,且能加深和巩固学生对知识点理解,提高学生分析问题和解决问题能力。为了保证课程讨论效果,教师必须全程跟踪讨论的整个过程,既要帮助小组理清思路,防止跑题;又要适时启发,巧妙引导,及时总结。该教学环节要求教师认真充分备课,以确保教学效果与质量。教师组织小组讨论的基本程序是:首先,教师应询问小组成员有谁能解释该问题,若有学生解释正确的,教师应询问小组其他成员是否有不同意见(小组其他成员有不同意见的,教师应鼓励学生积极发表意见)并适时总结,若有学生解释错误的,教师亦应询问小组其他成员是否有不同意见并指出错误之原因,适时总结该知识点。其次,若没有学生对该问题展开讨论,此情形则要求教师引导学生分析问题及解决问题,该环节成为 PBL 教学法的核心部分。最后尚须布置课堂讨论后的作业环节,以强化教学效果。受文章篇幅制约,以下仅举一例加以说明。

如针对以上第 4 个问题:为什么人们常说“树怕剥皮,不怕空心”?教师对该问题的引导环节首先可回顾植物各器官的功能,植物根——吸收水、肥,茎——输导和支持,叶——制造有机物,植物生长各器官养分要交流,让学生感受到植物体内物质运输的必要性;其次再引出植物维管系统韧皮部和木质部所处的位置和功能;第三解释树怕剥皮原理,广义树皮含内树皮即韧皮部,韧皮部是输导有机物的结构,树皮被剥就会阻断有机物向下运输,根长期得不到营养就会饿死;第四再解释树不怕空心原理,树心含边材和心材即木质部,空心的是木材的心材部分,而心材已丧失输水机能,但植物边材始终存在,边材具输水机能,如此仍可满足植物对水分的需求。这就是“树怕剥皮,不怕空心”的生理学道理,所以生产上采用“环割”可使来年丰产,其原因就是减少有机物向根运输,使其

多开花结实,当然在环割时要注意环割高度,若根长期得不到营养就会饿死。最后由各小组的发言人(或教师)进行总结和归纳,并安排小组成员提交问题的答案(即课后作业),以此揭示植物体内物质长距离运输的一般规律:水分和矿物质在木质部向上运输;有机物在韧皮部双向运输;生长素具有极性运输特点,即从形态学上端往下端运输。这样通过逐步引导让学生系统掌握植物体内物质运输的一般规律及其理论在生产实践中的运用,最终达到培养应用型人才培养目的。

### 3.2.5 成绩评定

传统教学法对学生的成绩评定往往基于学生对知识点的记忆能力,而 PBL 教学法着重评价学生的综合能力,包括学生学习态度、自主学习能力、知识运用能力、逻辑推理能力、语言表述能力、人际沟通能力及团队协作精神等等。具体而言,PBL 教学法成绩评定主要包括 4 部分内容:课前准备情况(材料收集与整理)、课堂表现(参与情况)、课后作业(完成质量)及期末考试(知识把握程度)。这 4 个成绩评定环节所占比例由教师自行控制。这种综合评价方式更能综合反映学生的素质,有利于实现独立学院应用型人才培养目标。

## 3.3 教学效果评价

我们将 PBL 教学模式应用到福建农林大学金山学院农学和林学两个专业的植物生理学课程教学中。为了检验 PBL 教学模式对学生学习效果的影响,我们分析了 2011 级、2012 级和 2013 级农学及林学专业的考试成绩。结果表明(图 1),除了 2012 级林学外,学生成绩优良率总体逐年提高,说明 PBL 教学模式能促进学生对理论知识的掌握和应用,适合在植物生理学的理论教学过程中长期推广应用。

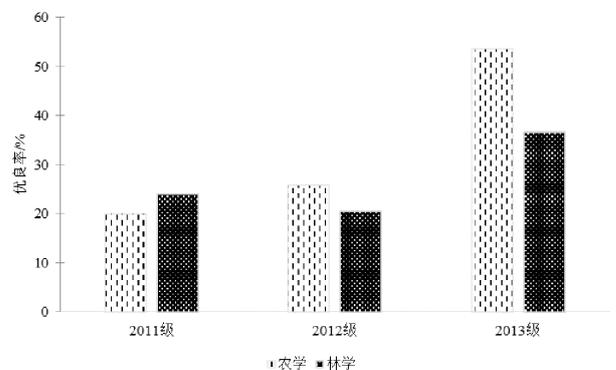


图 1 应用 PBL 教学模式后学生成绩优良率统计

Figure 1 The statistical results of the excellent rate after the application of PBL teaching mode

## 4 结论与讨论

独立学院大多是依托普通高校发展起来的,其课程教学不能照搬传统高校的本科教学模式,而应与其自身的实际情况及学生学习特点相结合,以此来提高课程教学效果,并进而体现独立学院的人才培养特点和办学特色。PBL教学模式是以学生为主体,围绕情境问题展开的探究性学习活动,它能充分利用独立学院学生的特点,激发学生的学习乐趣,培养学生自主学习能力和团队协作精神,提高学生个人综合素质,因此更适合独立学院的有关课程教学工作。本研究将PBL教学模式应用到独立学院植物生理学的课程教学中,结果发现PBL教学模式能促进学生对植物生理学相关知识的掌握程度,且能充分利用学生个性特点,如有些学生喜欢查阅相关书籍资料归纳总结知识点,有些学生善于组织协调完成小组学习任务。当然,PBL教学过程中也存在一些问题,如PBL教学模式亦并非适合植物生理学所有教学内容。因此,在今后的教学实践中尚须不断研究探讨和改革实践,进一步完善植物生理学教学模式,从而实质性地提高该课程的教学效果和教学质量。

### 参考文献:

[1] 任淑华,孟全.创新独立学院人才培养模式刍议[J].中国高等教育,2012(7):37-38.

- [2] 姜启波.独立学院教学改革思考[J].时代金融,2015(36):189-190.
- [3] 刘亚军,高丽萍,王云生,等.学分制下植物生理学课程教学研究[J].安徽农业科学,2012(33):16475-16477.
- [4] 黄勇,何小力.独立学院植物生产类专业植物形态解剖实验实践教改研究[J].现代农业科学,2011(10):17-18.
- [5] 李玉雄,陈新颖,黎黎.普通本科院校与所属独立学院学生SCL-90比较分析[J].湖北民族学院学报(哲学社会科学版),2017(5):185-188.
- [6] 罗钟桓,关铁峰,王丽敏,等.某独立学院大学生心理问题及其与自尊、应对、归因关系[J].中国健康心理学杂志,2008(4):364-366.
- [7] 龙玲玲,梁铁奎.论独立学院学生自主学习能力的培养[J].中国成人教育,2013(12):121-122.
- [8] 李丽.PBL教学模式研究综述[J].佳木斯职业学院学报,2018(2):212-213.
- [9] 王映学,寇冬泉.基于问题的学习模式在教育心理学课程教学中的应用[J].扬州大学学报(高教研究版),2014(1):83-87.
- [10] 赵海涛,刘继和.“基于问题的学习”与传统教学模式的比较研究[J].外国教育研究,2007(12):53-57.
- [11] 叶树江,袁海燕.适应认证要求推进工程教育问题学习(PBL)教学模式实施[J].黑龙江高教研究,2016(2):171-173.
- [12] 刘曼丽,刘金保.PBL教学模式对提高口腔修复学教学效果的研究[J].人人健康,2018(2):277.
- [13] 蓝培基.PBL教学模式在本科医学细胞生物学教学中的应用[J].中国组织化学与细胞化学杂志,2018(4):397-400.

(责任编辑:叶丽娜)

## Application of Problem-Based Learning Model in the Course Teaching of Independent Colleges —A Case Study on the Course of *Plant Physiology*

YE Xiaozhen<sup>1</sup>, LUO Xiaoxia<sup>3</sup>, CHEN Quanzhu<sup>1</sup>, FENG Lizhen<sup>2\*</sup>

(1. Jinshan College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002;

2. Academic Affairs Office, Xinyang University, Xinyang, Henan 464000;

3. School of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002)

**Abstract:** Based on the characteristics of independent college student, problem-based learning (PBL) teaching model was applied in *plant physiology* of independent colleges. It was done from five aspects, setting up discussion groups, offering questions, preparing materials, organizing students, evaluating the results. The effect of PBL teaching mode on students' learning was tested by analyzing the examination results. This can provide reference for extensive application of PBL teaching model in other courses teaching of independent colleges.

**Key words:** problem-based learning; independent colleges; *plant physiology*; course teaching

# 数学教学中的多媒体技术应用现状与问题思考

滕 旭

(云南大学 旅游文化学院, 云南 丽江 674100)

**摘 要:**随着计算机技术的普及,多媒体技术在教学中所起的作用越来越重要。数学以其抽象性,概念性强的特点更适合多媒体技术辅助教学。本文从多媒体技术在数学教学中的应用的手段,效果等方面探讨了应用现状及存在问题和解决方案。

**关键词:**数学教学;多媒体技术;教学研究

**中图分类号:**G421 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-2109(2019)03-0096-04

## 1 概述

多媒体教学正成为主流的教学方式,多媒体教室成了各个学校基本硬件设施之一。数学教学的特殊性决定了其多媒体应用中有许多问题需要进一步研究探讨。吴仁芳,沈文选探讨了数学教学多媒体应用中教师角色的转换<sup>[1]</sup>。黄宽娜,刘徽,李木华,郭迎春提出了基于多媒体技术的数学教学实验教学模式,并对本校的实践经验进行了研究与总结<sup>[2-3]</sup>。吴华,魏佳,胡宁对数学多媒体课件的设计原则进行了详细的探讨,对数学多媒体课件设计提供了良好的参照依据<sup>[4]</sup>。那么利用多媒体工具进行数学教学真的就能有效提高教学效果吗?对这一问题张波,张颖,吴建华,宋春燕,李维,黄鹏程等学者进行了有益的探索与思考。本文结合作者在教学过程中的实践经验,对多媒体技术在数学中的应用现状进行总结,并对存在的问题提出应对方案<sup>[5-8]</sup>。

## 2 数学教学中多媒体技术的应用现状及存在问题

### 2.1 教材搬家

数学教学中的任何一个概念哪怕是数字1都需要师生共同结合具体实例抽象出来,课堂上教师板书概念的时机、节奏、手势、语调等因素一起促成了师生的认知。多媒体技术应用推广普及的过程中,教师可以将教学内容事先准备在课件上,还可以增加图文,声音等素材丰富教学内容,极大地提高了教学效果。但是对数学课来讲,这样作不仅不能提高教学效果,而且还会对教学产生很大的负面影响。很多教师将教材中的定义,定理,甚至证明过程做在课件上,上课时将这些内容放映给学生,这种授课方式方便了教师,苦了学生。这种教材搬家式多媒体应用,放弃了对数学教学十分有意义的传统教学方式,对数学教学来说是一种灾难。

### 2.2 片段化

教学过程是一个动态、交互、十分复杂而且夹杂细腻情感的过程,数学教学尤为如此,因此教师一定要从全局考虑进行教学设计<sup>[9]</sup>。教学中过于抽象的内容,通常可以借助多媒体技术制作成动画,通过形象

收稿日期:2018-09-29

作者简介:滕旭(1977-),男,汉族,讲师,主要从事数学教学方法,数值计算方法的研究。

直观的演示帮助学生理解。例如定积分的概念,重积分的概念,向量组的相关性,假设检验的基本思想等内容都有大量的动画演示课件。但我们一定要清楚,多媒体技术再先进,只能是辅助教学,能用传统教学方式讲清楚的内容,不一定要用计算机。多媒体技术的使用不是越多越好,一定要恰当的嵌入到教学过程中,做到无缝对接,才能较大的提高教学效果。很多教师在使用多媒体动画课件时,往往没用对教学过程进行精心设计,对传统教学方式不容易讲清楚的内容过于依赖动画演示,造成课件应用的片段化。

### 2.3 重展示轻过程,教学内容过量

建构主义教学的数学教学设计<sup>[10]</sup>要求从“教师为中心”转变为“学生为中心”。教学设计的主要任务是创设学生认知的情景,教师引导学生主动的对数学概念进行意义重构,形成自己的认知结构。当前大部分课件均以文字、图像、声音、动画等内容组成,设计了“引入新课”、“讲授新课”、“典例分析”、“课堂练习”、“小结及作业”等教学环节,教师在教学过程中按照课件上的教学环节进行展示并讲解即可。这种课件将传统教学中以“教师为中心”的过程教学弊端发展到了极致,完全是教师事先准备好的脚本的机械演练,学生完全处于从属的角色,十分不利于提高教学效果。由于教学内容大量事先放在了课件上,减少了教师在课堂上进行板书的时间,在对数学概念的产生背景、形成发展过程、分析解决问题的思路等方面缺乏灵活性,常常造成学生学习知识的深度不够,浅尝辄止,导致教学内容超出学生接受能力。

### 2.4 多媒体与板书配合不当

板书在教学过程中的作用不仅仅是教材知识的迁移,板书内容的顺序与节奏,重难点的颜色变换等手段大大地提高了教学效果。“数学教学是学生思维活动的锻炼,是思维的体操”恰当的板书正是指导体操节拍的强有力的工具<sup>[11]</sup>。很多教师将授课内容大量的放在课件上,上课成了教学内容的放映,学生不是在上課,更像是在看一个蹩脚的电影。还有的教师把重点放在课件的展示上,制作大量的动画、添加了大量的声效,课件制作的很精美,结果学生被这些华丽的场景吸引,对学生的思维活动对来了很大的干扰,反而影响了学生对数学概念的理解与掌握。当然多媒

体课件制作动画对教学中比较抽象内容进行动画演示,通过形象思维到抽象思维帮助学生理解教学内容所起到的积极作用也是不容忽视的,教学实践中很多教师不能将二者完美的结合起来,多媒体与板书配合不当,不能取得良好的教学效果。

### 2.5 教师应用技能不足

多媒体教学是一项系统工程,对教师提出了更高的要求,教师不仅要熟练多媒体制作课件技术,而且还要精通教育教学理论。利用多媒体教学进行教学时,要精心设计,对教学过程进行重构,才能取得良好的效果。当前多媒体课件设计软件种类很多,常用的有Flash、Authorware、几何画板、Powerpoint等,教师只有对这些软件均能熟练应用才能设计出优质的教学课件。

近年来,许多教师通过自学或参加培训提高多媒体技术应用能力,但总体上看在教学过程中能熟练应用的并不多。许多教师仅仅能使用Powerpoint制作简单的课件,甚至有的教师把课件与PPT等同起来,只有个别教师能作出简单的动画,这些都说明了多媒体技术的应用现在是一个较低的水平。

当前教师培训还有一个特别大的误区,几乎所有的培训比较偏重多媒体软件技术的应用技能上,培训内容大都停留在操作层面上,而对教育教学理论、新的教学设计理念、教学范式的转变等方面关注不够,导致教师在参加培训后并不能将学到的操作技能有效应用于教学设计<sup>[12]</sup>。

## 3 应对策略

### 3.1 学习先进的教学理念

多媒体技术仅仅是区别于黑板、粉笔的一种教学工具,任何将多媒体技术神话的思想必然导致教学效果的降低,提高教学效果的首要问题是改变教学理念。瑞士学者皮亚杰(J.Piaget)最早提出的“建构主义学习观”已经为越来越多的教育工作者接受,并在教学实践中得到了良好的效果。建构主义学习理论的基本观点认为,知识是学生在一定的情景下,通过教师的指导,利用必需的教学资料通过“同化”和“顺应”两种建构过程获得的。所谓“同化”即是把新知识纳入原

有认知结构,扩大知识范围的过程;所谓“顺应”即是改变认知结构以适应新知识的需要。教学的核心任务就是帮助学生完成建构过程,因此多媒体技术仅仅是实现这一教学任务的一种新的手段罢了,而且这种手段相比传统的教学手段各有千秋,必须做的优势互补,才能更好的服务教学,提高教学效果。建构主义理论还强调学生为中心,因此教学过程中还必须树立由“教师为中心”向“学生为中心”的观念转变。

当前的“翻转课堂”、“混合式教学”正是建构主义教学理论的进一步发展,随着多媒体技术及互联网技术的发展与普及,学生为中心的教学理念进一步发展<sup>[3]</sup>。学生可以借助多媒体课件通过互联网技术在线学习,教师在课堂上仅仅成了帮助学生完成思维建构的引导者,课上与课下实现了“翻转”。学习不再局限与课堂讲授一种方式,而是学生自学、教师引导、实验教学等多种教学方式的“混合式教学”。在新的教学改革冲击下,对多媒体教学的应用方式及教师的应用能力提出了更高的要求,因此学习先进的教学理念,灵活应用多媒体技术是提高教学效果的主要任务。

### 3.2 整合教学设计,确立学生为中心的教学理念

传统教学方法强调课堂授课艺术,板书、语言、教学肢体动作、表情感染等方面都是为了提高课堂教学效果,多媒体技术的引入对教学中难于理解的抽象概念直观具体化,在帮助教师化解教学难点方面起到了明显的作用。当前“翻转课堂”这一新的教学方式的引入,为多媒体技术的施展提供了广阔的舞台。为了贯彻“学生为中心”的教学理念,教学设计的范围产生了很大延伸,由课堂内延伸到课堂外,只有将课堂内外整合而做的教学设计才能取得良好的教学效果。传统教学方式的优势主要体现在课堂教学上,而多媒体课件可听、可视、动画模拟等特点可以激起学生的学习兴趣,正好可以在课外教学环节发挥作用。通过精心设计课件放在课外线上资源平台上供学生自学使用,可以为课堂教学创造有利条件,整体上提高教学质量。

### 3.3 开展数学实验,确立做中学的学习模式

数学课既是理论的课程又是应用的课程,更是实验的课程。数学中的很多定理都是实践经验的总结,许多应用方法更是实践的结果,传统教学方式无法通过具体的实验使学生形成感性认识,往往讲完了学生

就懂了,可是过一段时间又忘了。究其原因,主要是没有形成实践经验,认识不够深刻。数学实验的设置把传统的“灌输式”教育模式转变为学生做中学的“吸收式”教育模式,结合多媒体技术精心设计数学实验,能让学生在自身亲身体验中计算、检验、发现问题加深对数学概念、定理、应用原理的理解,体验成就感,提高学习兴趣。

### 3.4 加强师资培训建设

在新的教学环境下,多媒体技术的使用是一个系统化的工程,对教师提出了很高的要求,教师要学习的内容不再仅仅是多媒体技术的操作性技能的方面,更多的是新的教学理念的理解与实践。随着互联网与多媒体技术及现代教育技术的不断融合,教师在教学过程中的地位逐步发生着变化,教师不再仅仅是课堂上知识的传授者,还是整个教学过程的设计者,开发者、学生学习的引导者。

为了适应新时代教学的需要,就必须积极组织教师进行现代教学培训。培训内容要多元化,不仅包括传统意义上的多媒体课件的制作技术,还要包括多媒体技术完美融合在教学过程中需要的教育教学理论等方面内容。

## 4 结论

综上所述,当前多媒体技术应用多局限于传统教学方式中辅助难点的突破,在课堂教学中多媒体技术的作用还十分有限。

为了充分发挥多媒体技术的优势,要在教学中更新教学观念,大胆创新尝试,既要发挥传统教学方式的优势,又要将多媒体技术整合在教学过程,才能取得较好的教学效果。

### 参考文献:

- [1] 吴仁芳,沈文选.多媒体辅助数学教学:关于教师角色的探析[J].数学教育学报,2005(2),14(1):86-88.
- [2] 黄宽娜,刘徽,李木华.基于信息技术的高等数学实验教学模式研究[J].西南师范大学学报(自然科学版),2011(4),36(2):210-215.
- [3] 郭迎春.实验与教学相结合改革高等数学教育模式[J].数学

- 教育学报,2008(6),17(3):76-77.
- [4] 吴华,魏佳,胡宁.数学计算机辅助教学的设计原则[J].数学教育学报,2006(5),15(2):84-86.
- [5] 张波.关于数学 CAI 公开课的思考[J].数学教育学报,2001(2),10(1):44-47.
- [6] 张颖,吴建华.高等数学多媒体辅助教学的实践与思考[J].高等数学研究,2006(7),9(4):110-112 转 121.
- [7] 宋春燕,李维.浅谈多媒体教学的优势与不足[J].高等数学研究,2007(2),10(1):106-107.
- [8] 黄鹏程. 中学数学多媒体教学的误区 [J]. 数学教育学报,2001(8),10(3):98-100.
- [9] 许兴业,胡展航.关于计算机辅助中学数学教学的问题及其解决[J].数学教育学报,2003(11),12(4):55-58.
- [10] 朱燕,张红军.论建构主义观下的数学教学设计[J].沈阳师范大学学报(自然科学版).2004(4),22(2):148-151.
- [11] 孙名符,方勤华.运用评价手段提高信息技术用于数学课堂教学的有效性[J].数学教育学报,2007,16(1):89-92.
- [12] 李莹.谈多媒体辅助数学教学的误区及解决方法[J].教育探索,2005(3):72-73.
- [13] 秦超,谢非,高洁.影响翻转课堂学习适应性的关键因素[J].现代教育技术,2018,28(5):54-60.

(责任编辑:赵其领)

## The Present Situation and Problems of the Application of Multimedia Technology in Mathematics Teaching

TENG Xu

(School of Tourism and Culture, Yunnan University, Lijiang, Yunnan 674100)

**Abstract:** With the popularization of computer technology, multimedia technology plays a more and more important role in teaching. Mathematics is more suitable for multimedia teaching because of its abstract and conceptual characteristics. In this paper, the present situation and existing problems of the application are discussed and the solutions are put forward from the aspects of the means and effects of the application of multimedia technology in mathematics teaching.

**Key words:** mathematical teaching; multimedia technology; teaching research

# RPG 实训平台在土木工程施工技术教学中的应用

崔秀琴, 苏万鑫, 曾武华, 黄晶晶

(三明学院 建筑工程学院, 福建 三明 365004)

**摘要:**分析了应用型本科院校工程造价专业、土木工程专业土木工程施工技术课程教学的特点及存在的问题,以2015级、2016级工程造价专业土木工程施工技术仿真实训为例,讨论了RPG实训平台软件应用在土木工程施工技术课程教学中的优缺点及改进方向,为促进仿真辅助教学发展进行了有益地探索。

**关键词:**土木工程施工技术;RPG实训;实践教学;教学改革

**中图分类号:**G434 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-2109(2019)03-0100-04

“土木工程施工技术”是工程造价专业、土木工程专业学生的一门主要专业课,是通过对建筑工程各主要工种施工工艺原理和施工方法的研究,培养学生具有选择经济、合理施工方案的能力的课程<sup>[1]</sup>。土木工程施工技术所讲授的知识是应用型本科院校工程造价专业、土木工程专业的学生工作以后所需的主要专业知识,为后续的建筑计量与计价、毕业设计、毕业实习等课程打下良好基础。对学生的就业以及以后职业发展至关重要,因此学好土木工程施工技术课程对工程造价专业、土木工程专业的学生具有特别的意义。

## 1 土木工程施工技术课程教学特点和存在的问题

在土木工程施工技术课程具有综合性强、实践性强和应用性强的特点<sup>[2]</sup>。由于建筑施工课程的知识比较离散,并且与工程实际联系比较紧密,因此,学生在

学习这门课程过程中,常常感到知识点较多,比较繁杂、抽象,从而产生枯燥、乏味的感觉。在以往的教学过程中,虽然采用了多媒体教学,增加了现场图片、视频、动画、录像等内容的比重<sup>[3]</sup>,并且达到了一定的效果,但仍存在学生参与程度相对较少、课堂互动不够、个别学生兴趣不高的问题。

为了提高教学效果,目前许多学校都建立了实验(实训)中心,这无疑方便了学生的实践教学实习。然而土木专业实验(实训)中心也存在以下问题:

(1) 实验(实训)教学平台往往在不同时期投入不同的建设项目,从而缺乏整体可持续可扩展规划,存在重复内容,资源整合困难。

(2) 实验(实训)教学平台教学中,学生的许多精力往往被耗费在与课程知识点不相关的具体操作过程(甚至是体力操作过程)当中,从而不能有效调动学生学习积极主动性。而且过多的强调操作技能是职业院校的培养重点,与应用型本科的培养目标不符。

(3) 实验(实训)教学平台资源消耗相对比较大,也存在安全风险。

(4) 教师对实验(实训)过程的跟踪定位指导困难。

随着计算机虚拟仿真技术的发展,依托虚拟现实、多媒体、人机交互、数据库和网络通讯等技术,构建高度仿真的虚拟环境和实验对象,实现身临其境效果的辅助教学形式是解决上述问题的较佳手段<sup>[4]</sup>。目前,许

收稿日期:2018-08-24

基金项目:福建省重大教改项目(FB-JG20170327);福建省高等教育教学改革研究项目(JZ160326);三明学院教育教学改革项目(J150621)。

作者简介:崔秀琴(1967-),女,汉族,教授,硕士生导师,主要从事混凝土与砌体结构性能研究。

多学校都建立了这种虚拟仿真实验教学中心<sup>[5-7]</sup>。

建筑工程学生 RPG 实训平台正是其中一种应用型本科院校在土木工程施工技术课中的比较适合的辅助教学手段。RPG 即角色扮演游戏 (Role Play Game) 的简称。在 RPG 中,通常由操作者扮演游戏中的一个或数个角色,接受来自系统发布的任务并且通过学习来完成任务。建筑工程学生 RPG 实训平台仿真系统具有代入感强,场景逼真,寓教于乐,互动性强、角色扮演等特点。这些特点可以很好地弥补传统土木工程施工技术课的不足,并且成本相对低廉。

土木工程施工技术具有实践性比较强的特点,非常适合运用虚拟仿真技术,并在一定程度上解决其应用和教育当中存在的问题。因其具有投入小,维护成本低、操作简单、操作风险低的特点,也将成为实验课程设计的主要技术实现之一。

## 2 土木工程施工技术仿真演练中心介绍

建筑工程学生 RPG 实训平台是广联达公司出品的一款虚拟仿真软件。其软件包括土木工程施工技术仿真演练中心、工程识图三维仿真实训系统、房屋建筑构造仿真实训展馆、安全文明施工工地仿真实训系统等模块。每一个模块都可以做为一个独立的软件来安装、使用。该系列软件具有角色扮演、多人同时在线、多种学习模式、实训任务引导、3D/4D 互动教学、趣味考核等特点。

土木工程施工技术仿真演练中心是广联达建筑工程学生 RPG 实训平台中的一个有关土木工程施工技术教学的模块,由学生端、教师端和后台三部分组成。

在学生端,老师可以通过任务引导学生在线、多种学习模式、实训任务引导、3D/4D 互动教学、趣味考核等特点。

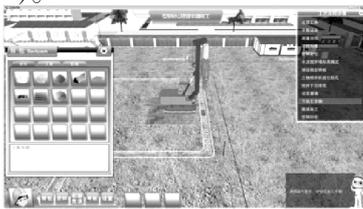


图 1 学习施工工艺的操作功能界面

Figure 1 Functional interface for process



图 2 学习自主考核操作功能界面

Figure 2 Functional interface for learning construction learning self-assessment

在教师端,老师可通过 4D 微课或者边操作、边讲解模式对学生进行分解讲解工艺。老师可通过后台对学生的成绩、正确率等进行查询和导出 Excel,方便老师分班级、分专业的成绩管理(如图 3)。

班级	学号	得分	正确率	排名	总分
2007381010	0	14%	1	38	
2007381011	0	17%	1	0	
222222	0	17%	1	0	
458758	90	29%	1	-6	

图 3 教学端成绩管理操作功能界面

Figure 3 Performance management function interface at the teaching end

## 3 土木工程施工技术仿真演练中心在教学中实践

我院 2015 级、2016 级工程造价专业、2015 级土木工程专业学生已开设土木工程施工技术仿真实训,学生通过扮演实习生角色、工作岗位角色,在自由练习模式下,学生进入学习场景,自由学习和练习,通过 4D 微课学习掌握相关知识;任务考核模式下,学生按照任务引导,依次完成任务,掌握施工工艺的操作。

结合土木工程施工技术仿真实训的特点,提出任务驱动式实训教学模式。实训一般为分为实训前、实训中、实训后三个部分。

### (1) 实训前阶段

实训前阶段主要是教师的实训内容准备以及学生自主学习。教师根据要学习的内容选择相应的实训的具体内容、方案。教师在实训前将实训内容相关资

料(视频、课件、参考书)在超星学习通平台发布。学生根据这些相关资料进行预习,对所要实训内容有一定的知识了解,以免实训时不知所措。

#### (2)实训中阶段

实训活动从提出实训任务开始,比如“基坑开挖的具体流程?”来引导学生进入实训主题。进入实训主题后,教师首先简要回顾一下实训主题相关的施工技术理论知识点,然后进行仿真实训阶段。首先教师采取讲解练习模式发放任务,让学生对实训主题相关知识进行练习,这是实训过程的主要阶段,同时学生问题也会比较多,教师随时进行讲解、答疑。讲解练习实训模式以后,教师发放自由练习模式实训任务,对刚才学生对所学知识点进行复习,并使学生稍微放松休息一下,控制实训节奏。最后进行任务考核模式,学生按照任务引导,依次完成任务,并且最终形成成绩单。

#### (3)实训后阶段

实训后进行总结、交流、反馈,进一步巩固实训效果。实训后通过超星学习通进行在线交流讨论。讨论采取主要由学生自主讨论,教师加以一定的引导方式,并指定学委进行记录和管理。

### 4 土木工程施工技术仿真演练中心在教学中的教学效果和存在的不足

通过前面介绍可以看到,土木工程施工技术仿真演练中心系统是一款功能比较齐全的仿真互动软件。将其应用于土木工程施工技术课程的教学,确实可以提高学生学习建筑施工课程的学习兴趣,寓教于乐。学生在虚拟仿真系统中能够直观的看到建筑施工全过程,从而对建筑施工过程有一个直观的了解。

通过实训中对教师发放的实训任务的完成,使学生对施工过程中的施工技术的关键知识点、施工工艺、施工过程都有相当熟练的掌握。通过仿真实训以后,学生对施工现场施场的认识有明显的提高,从而为建筑工程计量与计价课程教学打下良好基础。2017年10月,2015级工程造价专业学生陈霞、黎小宁、陈珏如组队,参加了中国建设教育协会主办的全国高等院校BIM应用技能比赛中的建筑工程岗位从业技能仿真大赛,获得三等奖。2018年10月,由2015级、

2016级工程造价专业学生陈霞、李钊杰、龚美琪组队,2015土木工程专业学生赖玲、林君、洪乐阳组队,参加中国建设教育协会主办的建筑工程岗位从业技能仿真大赛。获得单项第一名4项,团体奖三等奖1项。通过参加建筑工程岗位从业技能仿真大赛,参赛学生对建筑工程施工工艺掌握更加熟练,增强学生实践能力。

但在教学过程中需要注意,因为实训平台融入了RPG游戏元素,因此在使用实训平台过程中,有时学生会将注意力转移到学习以外的操作上,上课时老师要留意学生动态,及时提醒学生。

虽然土木工程施工技术仿真演练中心系统在用于土木工程施工技术课程的教学,中总体的效果良好,但在教学过程中,个人体会土木工程施工技术仿真演练中心软件存在以下不足:

(1)因软件加密问题,学生端需要在实验室机房中使用,而实验室机房还要安排其他课程教学,所以学生不可能灵活安排时间来使用学生端来进行练习,从而限制了软件的使用。

(2)仿真系统虽然可以通过选择章节模块来选择教学内容,但章节模块分类仍过于粗糙。在大类下的一些小的章节内容不能取舍,从而使教学内容灵活性不够。

(3)考核内容过于偏重实际工程指标性知识,而对基本概念和基本原理内容考核不够。

(4)软件有些功能只能通过快捷键来完成,而不能通过软件界面来实现,用户友好程度还需改进。

(5)用户名最多9位字符,而一些学校的学生学号往往超过9位,从而不能用完整的学号做为用户名,使用户管理不便。

(6)学生在完成任务时不允许“出错”,学生在某一步骤出错后不会继续下一步的施工,这与实际情况有一定的差别。

### 5 结论

通过2015级、2016级工程造价专业、2015级土木工程专业开设土木工程施工技术仿真实训课程,将以RPG为特点的土木工程施工技术仿真演练中心模块引入土木工程施工技术课程教学中,弥补了传统课

堂教学互动不足的缺点,是辅助教学手段的重要内容,实践教学手段的重要补充,使学生熟练掌握建筑工程施工岗位从业技能,增强学生的实践能力。虽然该软件存在一些缺点和不足,仍然具有很大的改进空间,但仍不失为目前应用型本科学校土木工程专业学生学习土木工程施工技术课程时的一种经济易行的教学辅助手段。

### 参考文献:

- [1] 刘宗仁.土木工程施工[M].北京:高等教育出版社,2009.
- [2] 李立军,杨秋学.土木工程施工课程教学改革探讨[J].高等建筑教育,2011,20(1):83-85.
- [3] 倪国栋.土木工程施工课程教学改革探讨[J].高等建筑教育,2010,19(1):58-61.
- [4] 雷东.力学虚拟仿真教学实验室建设的探讨[J].实验技术与管理,2010,19(1):58-61.
- [5] 孙澄宇,黄一如.同济大学虚拟仿真实验教学 2.0 建设[J].城市建设,2015(10):43-46.
- [6] 徐明,熊宏齐,吴刚,等.土木工程虚拟仿真实验教学中心建设[J].实验室研究与探索,2016,35(2):139-142.
- [7] 李彬彬,苏明周.土木工程虚拟仿真实验教学体系探索与构建[J].西安建筑科技大学学报(社会科学版),2015,34(2):96-100.

(责任编辑:叶丽娜)

## The Application of RPG Practice Training Platform in Civil Engineering Construction Technology Teaching

CUI Xiuqin, SU Wanxin, ZENG Wuhua, HUANG Jingjing

(School of Civil Engineering and Architecture, Sanming University, Sanming, Fujian 365004)

**Abstract:** Taking examples in practice training of grade 2015 and 2016 students of engineering cost specialty, the characteristics and problems of civil engineering construction technology course in application-oriented colleges and universities are analyzed in the article. And in civil engineering construction technology course teaching the merits and demerits of the application of RPG practice training platform software are discussed, which will make some beneficial exploratory work on the development of simulation assistant teaching.

**Key words:** civil engineering construction technology; RPG practice training; practice teaching; teaching reform

# PLS-SEM 和关联规则的《多元统计分析》 教学效果影响因素实证研究

旷开金<sup>1,4</sup>, 郑开焰<sup>1</sup>, 刘金福<sup>\*2,4</sup>, 徐道炜<sup>3,4</sup>, 裴文庆<sup>2</sup>, 郑斯琳<sup>1</sup>

(1.福建江夏学院 金融学院, 福建 福州 350108; 2.福建农林大学 计算机与信息学院, 福建 福州 350002;  
3.福建农林大学 林学院, 福建 福州 350002; 4.生态与资源统计福建省高校重点实验室, 福建 福州 350002)

**摘要:**《应用多元统计分析》是高等院校统计学专业的重要的实用性必修主干课程,主要运用数理统计的方法来研究多变量的相互依赖关系和内在统计规律。通过班级调查问卷收集实际数据,运用可视化原理、结构方程模型、关联规则,从实证角度分析探讨影响教学效果的影响因素并提出相关建议。

**关键词:**多元统计分析;SEM模型;可视化;关联规则

**中图分类号:**G642.0 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-2109(2019)03-0104-06

多元统计分析是统计学中讨论多维随机变量的统计方法,是处理多维数据不可缺少的重要工具,它能够在多个对象和多个指标互相关联的情况下分析数据间的统计规律<sup>[1]</sup>。多元统计分析是统计学专业中的一门应用性、操作性极强的核心专业课,是统计学专业的主干课程,随着计算机的广泛应用,统计软件的普及,日益受到人们关注,被广泛应用于各个领域<sup>[2]</sup>。然而,随着大数据时代来临,各种各样信息资料的爆炸式增长给多元统计分析课程教学带来了前所未有的挑战<sup>[3]</sup>。《多元统计分析》作为一门技术性课程,在各专业领域都具有应用背景,相关学者也开展了一定的研究。纪志荣<sup>[4]</sup>等对农林类统计学专业教学,分析了目前课程教学存在的问题,从教学理念、教学目标、教学内容、实践教学等方面入手,全面、系统地论述了教学体

系改革的内容、方法和途径。马金凤等<sup>[5]</sup>结合多元统计分析课程特点、教学中存在的问题及应用现状,提出对该课程进行教学改革,如淡化数学理论,以激发兴趣为导向,强化实践能力培养,优化考核方式等措施,以提高医学研究生多元统计分析的理论水平和实际应用能力。

然而,目前学者针对《多元统计分析》教学改革的探讨局限于定性讨论,缺乏相关实证研究。文章基于实际调查数据,运用可视化原理,结构方程模型及关联规则方法,探讨《多元统计分析》教学影响因素,并提出有效改进措施,旨在有针对性提升教学效果提供可靠参考依据。

## 1 问卷设计和样本获取

### 1.1 题目设计

问卷编制了20个题目(含一道开放性问题),并采用五级评分设计了题目选项,5分代表“非常满意”,1分代表“非常不满意”,研究表明问卷所有量化题目分值取值方向一致即可。根据问卷调查,进行了预调查及问卷信度和效度分析,并据此对问卷进行了修改,确定了正式问卷。

收稿日期:2018-10-29

基金项目:福建江夏学院2018年校级教学改革研究项目(J2018B019);国家自然科学基金(31770678);国家统计局重点项目(2015LZ18)。

作者简介:旷开金(1988-),男,汉族,中级统计师,研究方向:数据挖掘、数据可视化。

通讯作者:刘金福(1966-),男,汉族,教授,博士生导师,研究方向:生物统计学。

### 1.2 样本选择与数据收集

研究以教学班级 83 名统计学专业学生为调查对象,分析不同态度、行为和学习方法因素下,多元统计分析学习效果的影响路径。调查过程中,调查人员亲自向被调查对象发放问卷,当面填写、回收。此次调查共发放问卷 83 份,回收 83 份,有效问卷 83 份。其中,男性占比 30.10%,女性占比 69.90%,卡方检验表明,男女比例与专业实际男女比无显著差异( $P>0.05$ )。因《多元统计分析》为统计学专业学生的必修专业课,调查样本具有一定的代表性。

### 1.3 信度与效度分析

为检验所获取数据的可靠性和有效性,对调查问卷进行信度和效度分析,运用 Cronbach  $\alpha$  系数检验问卷信度,用 KMO 和 Bartlett 球形检验分析问卷效度。结果显示,每个结构变量以及总体的 Cronbach  $\alpha$  系数均大于 0.7,说明问卷具有较高信度;总体 KMO 系数大于 0.8,且 Bartlett 球形检验  $P$  值小于 0.01,说明问卷具有较高效度。

## 2 数据可视化分析

### 2.1 不同态度与行为与成绩马赛图

为分析作业态度(ZY\_attitude),作业方法 ZY\_method)与《多元统计分析》(DYScore)之间的关联,基于两个以上的类别型变量,通过绘制马赛克图(mosaic plot)描述相互之间的关联分析。作业态度表示是否能自己独立认真及时完成作业,其中,不作业=1,偶尔=2,经常=3,每次都独立按时完成作业=4。作业方法表示对做布置的作业喜欢以何种方式完成,其中,按照给出的步骤解答=1,按照自己的思路完成=2,和同学们讨论=3,查找资料=4。在马赛克图中,嵌套矩形面积正比于单元格频率,其中该频率即多维列联表中的频率,颜色或阴影可表示拟合模型的残差值。由马赛克图(图 1)可知,变量之间存在关联。经常自己独立认真及时完成作业的同学,并且按步解答的同学,期末成绩在 80~89 分居多,偶尔独立认真及时完成作业的同学,并且按步解答的同学,期末成绩在 60~69 分居多。还有一部分同学作业未按时完成,作业完成喜欢与同学交流讨论,但成绩在 60~69 分之间。马赛克图分析

表明,大部分同学缺乏独立思考能力,解题缺乏查阅资料能力,造成不能完全理解知识要领。

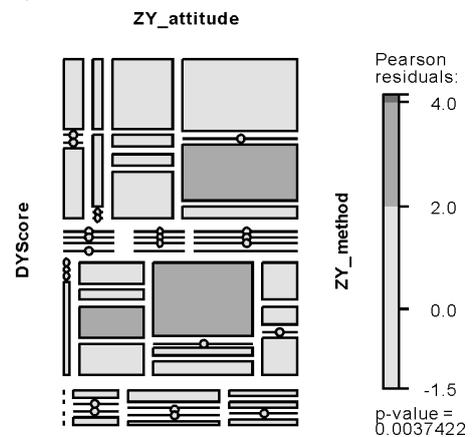


图 1 马赛克图

Figure 1 Graph of Mosaic

### 2.2 成绩与学习态度、学习方法相关图

为了将有相似相关模式的变量聚集在一起,运用相关系数图刻画不同科目成绩间相关性。相关系数图中,主对角线下方的单元格,蓝色和从左下指向右上的斜杠表示单元格中的两个变量呈正相关,而浅黄色从左上指向右下的斜杠表示变量呈负相关。色彩越深,饱和度越高,说明变量相关性越大,相关性接近于 0 的单元格基本无色。上三角单元格用饼图展示了相同的信息,同样色彩越深,饱和度越高,说明变量相关性越大。正相关性将从 12 点钟处开始顺时针填充饼图,而负相关性则逆时针方向填充饼图。由表 1 和图 2 可知,《高等数学》成绩(GSScore)、《线性代数》成绩(XDScore)、《概率论与数理统计》成绩(GLLScore)、作业态度(ZY\_attitude)与《多元统计分析》成绩(DYScore)呈显著正相关关系( $P<0.01$ ),且《高等数学》成绩(GSScore)、《线性代数》成绩(XDScore)、《概率论与数理统计》成绩(GLLScore)之间亦呈显著正相关关系( $P<0.05$ ),表明这三科学习成绩与多元统计分析成绩间关联紧密。但作业方法(ZY\_method)与《多元统计分析》成绩呈负相关关系,这或许与平时作业布置形式有关,调查数据显示,51.22%同学喜欢按照给出的步骤解答,而只有 7.32%的同学能独立查阅资料思考,表明在学习中学生依赖性较强,独立思考能力缺乏,甚至只为应付学业。因此,在教学改革中应着力培养学生独立解决问题思考能力,并着力巩固相关基础数理知识。

表 1 不同科目成绩间相关系数

Table 1 Correlation coefficient between different subjects

相关系数	GSScore	XDScore	GLLScore	DYScore	ZY_attitude	ZY_method
GSScore	1.0000	0.52**	0.43**	0.47**	0.28*	0.2000
XDScore	0.52**	1.0000	0.46**	0.49**	0.31**	0.0100
GLLScore	0.43**	0.46**	1.0000	0.49**	0.43**	0.0700
DYScore	0.47**	0.49**	0.49**	1.0000	0.40**	-0.1000
ZY_attitude	0.28*	0.31**	0.43**	0.40**	1.0000	0.0100
ZY_method	0.2000	0.0100	0.0700	-0.1000	0.0100	1.0000

注:\* P<0.05;\*\*P<0.01

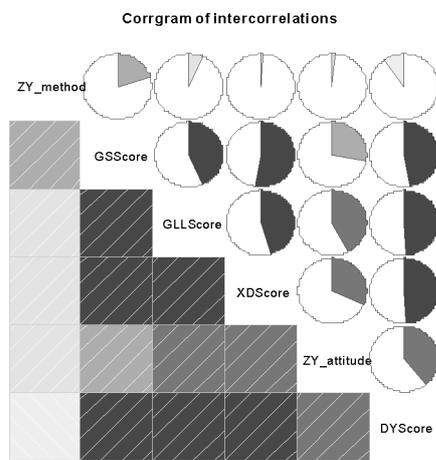


图 2 不同科目成绩间相关系数图

Figure 2 Graph of correlation coefficient between different subjects

### 3 结构方程模型

#### 3.1 结构方程模型原理

结构方程模型为近 30 年来在应用统计领域广泛使用的数据分析方法,一般由测量方程和结构方程构成,为反映隐变量和显变量的一组方程。测量方程描述隐变量与指标之间的关系,结构方程则反映隐变量之间的关系。测量模型可用如下方程表达:

$$\begin{cases} y = \Lambda_y \eta + \varepsilon \\ x = \Lambda_x \zeta + \delta \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $\eta$  为内生隐变量,  $\zeta$  为外生隐变量,  $X$  与  $Y$  为显变量。  $\Lambda_x$  和  $\Lambda_y$  反映  $X$  对  $\zeta$  和  $Y$  对  $\eta$  的关系强弱系数矩阵。  $\varepsilon$  和  $\delta$  为  $Y$  与  $X$  的测量误差。

结构模型可用如下方程表达:

$$\eta = B\eta + T\zeta + \zeta \quad (2)$$

其中,  $B$  表示内生隐变量之间的关系,  $T$  代表外生

隐变量对内生隐变量的影响。  $\zeta$  为结构方程误差项。

#### 3.2 结构方程模型构建

为研究变量间相互关系,设定学习态度、学习方法、学习效果为潜变量。在进行结构方程模型分析前,需要根据研究的问题确定显变量和潜变量间的关系。结构方程模型分析方法主要有偏最小二乘法(PLS)和协方差法,偏最小二乘法不对数据做任何分布,根据原始数据迭代,从而估计出隐变量的值。文章基于 R 中 plspm 包,基于偏最小二乘方法和结构方程模型原理,构建结构方程模型。结果表明,均方根残差 RMR 为 0.098,拟合优度 GFI 为 0.863,表示模型拟合度较好,图 3 和表 2 反映了潜变量间的相互关系。由图 3 和表 2 可知,学习态度、学习方法对学习效果具有显著的正向影响。同时,学习态度潜变量、学习方法潜变量对学习效果潜变量的路径系数分别是 0.618 和 0.448,说明学习态度对学习效果的影响最大,学习方法次之。这可能是在课堂中,能勤于思考、课前复习,经常反思学习行为的同学,往往学习能达到事半功倍的效果。进一步分析学习态度潜变量对学习效果潜变量影响,其间接路径系数和直接路径系数分别为 0.284 和 0.334 和,表明学习态度通过合理的学习方法有助于提升学习效果。

图 4 反映了测量模型方程中可测变量与潜变量间的相互关系。由图 4 可知,能积极思考,反思学习态度、课前预习,这三个可测变量在反映潜变量学习态度上影响程度相当且倾向一致,表明三者之间是相辅相成。能与同学沟通交流,能够批判性地理解和认识所学知识是学习方法潜变量中重要因素,说明理解知识和沟通交流对学习的效果具有提升意义。

表 2 结构方程模型效应

Table 2 Effect of structural equation model

序号	relationships	dir.effects	ind.effects	tot.effects	P-value
1	Taidu ->method	0.634	0.000	0.634	<0.01
2	Taidu -> Xiaoguo	0.334	0.284	0.618	<0.01
3	method -> Xiaoguo	0.448	0.000	0.448	<0.01

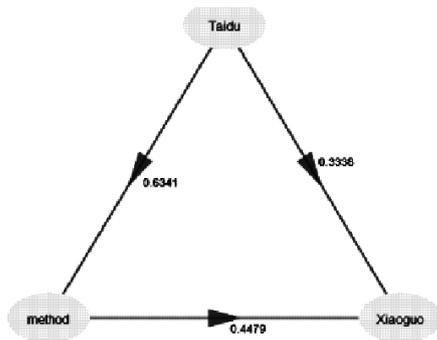


图 3 潜变量间效应图

Figure 3 Effect diagram of latent variables

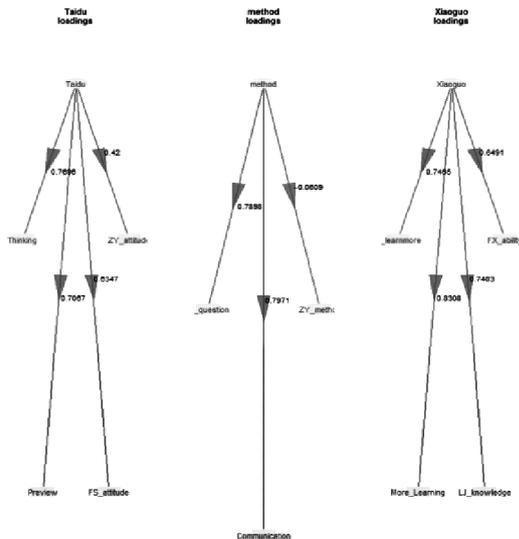


图 4 潜变量与观测变量间效应图

Figure 4 Effect diagram between latent variable and observation variable

#### 4 关联规则分析

关联分析的概念由 1993 年 Agrawal, Imielinski 和 Swami 提出,是揭示数据内在结构的重要手段,在定位顾客顾客消费、保险、医疗领域发挥了重要作用。关联分析中,规则置信度、规则支持度、提升度是重要的概

念,可由以下定义测度<sup>[6]</sup>。规则置信度(confidence)是简单关联规则的度量,反映了 X 出现条件下 Y 出现的概率,即

$$C_{|X \rightarrow Y|} = \frac{|T(X \cap Y)|}{|T(X)|} \quad (3)$$

式中,  $|T(X)|$  为包含项目 X 的事务数,  $|T(X \cap Y)|$  表示同时项目 X 和项目 Y 的事务数。

规则支持度(support),定义为项目 X 和项目 Y 同时出现的概率,即

$$S_{|X \rightarrow Y|} = \frac{|T(X \cap Y)|}{|T|} \quad (4)$$

式中,  $|T|$  为总事务数。

提升度(lift)定义为规则置信度与后项支持度之比,用来衡量规则的实用性,有实用价值的关联规则为规则提升度大于 1 的规则,数学表达式为:

$$L_{|X \rightarrow Y|} = \frac{C_{|X \rightarrow Y|}}{S_{|Y|}} = \frac{S_{|X \rightarrow Y|}}{S_{|X|} S_{|Y|}} \quad (5)$$

式中,  $S_{|X|} = \frac{|T(X)|}{|T|}$  为前项支持度,  $S_{|Y|} = \frac{|T(Y)|}{|T|}$  为后

项支持度。

关联规则分析常用的算法有 Apriori 算法和 Eclat 算法。Apriori 算法可克服简单搜索可能产生的大量无效规则,计算效率低下等问题。文章基于 Apriori 算法<sup>[6-7]</sup>,分析不同置信度和支持度下,选择提升度大于 1 的规则,分析《多元统计分析》期末考试成绩满意度与其他因子间的关联,结果见表 3。由表 3 可知,关联规则后项支持度期末成绩满意度主要为满意和一般。在期末成绩满意中,能理解所学知识,能运用所学知识理解生活和学习中问题的个体,期末考试成绩满意度也高。调查数据表明,能理解所学知识,能运用所学知识理解生活和学习中问题的学生中,期末考试成绩满意及非常满意的占 80%,这一部分学生能理解整个教学课程的来龙去脉,并运用到实际,这与主动思考问题是分不开的。另一些个体特征表现为,课程考试成绩较高,希望能进一步加深学习,期末考试成绩满意度较高,表明这部分同学学习目标明确,主动性强。还有一些个体特征表现为,课堂积极思考,时常与同学沟通学习经验,对教学方式较为认可,表明这部分同学,由于课堂本身激发了兴趣,从而促进学习的自发性、主动性。

在期末考试满意度一般中,个体满意度倾向表现为与基础课程息息相关。这部分同学《高等数学》、《线性代数》、《概率论与数理统计》成绩集中在60~79分之间,针对《多元统计分析》的数据处理方法不明确,表现为学习效果满意度一般。调查数据表明,高数成绩、线性代数成绩在60~79分之间,分析能力提高不确定的学生中,认为期末考试满意度一般占81.82%,仅有18.18%个体满意。

### 5 结论与讨论

文章运用可视化原理,结构方程模型,关联规则原理,实证分析了影响《多元统计分析》的影响因素。

(1)通过可视化原理表明,《高等数学》成绩、《线性代数》成绩、《概率论与数理统计》成绩、作业态度与《多元统计分析》成绩呈显著正相关关系( $P < 0.01$ ),但作业方法与《多元统计分析》成绩呈负相关关系。根据调查发现,大部分同学对平时布置作业喜欢按照给出的步骤解答,缺乏独立思考能力,以至于换种形式就无从下手。因此,在教学改革中可以尝试通过课堂学生间相互留问,学生间相互课后释疑的方式着力培养学生独立解决问题思考能力。

(2)结构方程模型结果表明,学习态度、学习方法

对学习效果具有显著的正向影响。且学习态度对学习效果的影响最大,学习方法次之。其中,学习态度潜变量对学习效果潜变量影响,其间接路径系数和直接路径系数分别达0.284和0.334。在可测变量中,能积极思考,反思学习态度、课前预习,在反映潜变量学习态度上影响程度相当且倾向一致,同时沟通交流,能够批判性地理解和认识所学知识是学习方法潜变量中重要因素。因此,在今后教学中,可以尝试通过实验教程,案例分析,竞赛引导等形式,着力培养学生良好的沟通交流、反思学习习惯。

(3)关联规则表明,能运用所学知识理解生活和学习中问题;希望能进一步加深学习;课堂积极思考,时常与同学沟通学习经验,对教学方式较为认可对自身学习满意度较高。而另一方面表明,基础课程成绩一般的个体学习效果满意度倾向一般。关联规则结果将可视化与结构方程模型结果相统一,因此,对于《多元统计分析》课程的教学特点,积极加入思考,同时巩固基础课程至关重要。

多元统计分析是一门研究多指标随机现象统计规律的统计学科,随着计算机的普遍应用和软件的迅猛发展以及大数据时代的来临,已在经济、金融保险、生物医学、环境数据、管理工程等相关领域发挥重要作用。今后教学过程中,应着力调动学生积极性,可

表3 关联规则表

Table 3 Table of association rules

序号	前项	后项	支持度	置信度	提升度	规则数
1	{能理解所学知识=符合,能运用所学知识理解生活和学习中问题=符合}	{期末成绩满意度=满意}	0.108 4	0.818 2	2.122 2	9
2	{考试分数=80~89分,希望能进一步学习数据=符合}	{期末成绩满意度=满意}	0.132 5	0.846 2	2.194 7	11
3	{多元统计考试分数=80~89分,分析能力得到提高=符合,课堂中积极思考=符合}	{期末成绩满意度=满意}	0.108 4	0.900 0	2.334 4	9
4	{考试分数=80~89分}	{期末成绩满意度=满意}	0.204 8	0.586 2	1.520 5	17
5	{主动和同学交流经验和心得=有时如此}	{期末成绩满意度=满意}	0.241 0	0.571 4	1.482 1	20
6	{教学方式满意度=满意}	{期末成绩满意度=满意}	0.265 1	0.500 0	1.296 9	22
7	{课堂中积极思考=符合,教学方式满意度=满意}	{期末成绩满意度=满意}	0.216 9	0.600 0	1.556 3	18
8	{高数成绩=60~79分,线性代数成绩=60~79分,分析能力得到提高=不确定}	{期末成绩满意度=一般}	0.108 4	0.818 2	2.057 9	9
9	{线性代数成绩=60~79分,概率论成绩=60~79分,分析能力得到提高=不确定}	{期末成绩满意度=一般}	0.108 4	0.900 0	2.263 6	9

尝试运用可视化原理,激发学生学习兴趣,将教学与科研、竞赛相结合,达到学以致用用的效果。

### 参考文献:

- [1] 刘银萍,安丽微.多元统计分析课程教学的探索与实践[J].吉林师范大学学报(自然科学版),2011(3):96-97+101.
- [2] 朱辉.《应用多元统计分析》课程教学改革实践探索:立足于“学以致用”视角[J].统计与咨询,2012(3):38-39.
- [3] 朱辉.大数据时代多元统计分析课程教学模式构建[J].统计与管理,2016(12):11-15.
- [4] 纪志荣,何东进,刘金福等.农林院校统计学专业《多元统计分析》课程教学探索[J].教育教学论坛,2017(4):135-136.
- [5] 马金凤,严卫丽等.医学研究生多元统计分析课程的教学改革[J].医学研究与教育,2010,27(3):97-99.
- [6] 薛薇.R语言数据挖掘 [M].北京:中国人民大学出版社,2016:319-355.
- [7] 吴喜之.复杂数据统计方法:基于R的应用(第三版)[M].北京:中国人民大学出版社,2015:179-187.

(责任编辑:赵其领)

## An Empirical Study on the Influencing Factors of Teaching Effect of Multivariate Statistical Analysis Based on PLS-SEM Model and Association Rules

KUANG Kaijin<sup>1,4</sup>, ZHENG Kaiyan<sup>1</sup>, LIU Jinfu<sup>\*2,4</sup>,

XU Daowei<sup>3,4</sup>, PEI Wenqing<sup>2</sup>, ZHENG Silin<sup>1</sup>

(1. School of Finance, Fujian Jiang Xia University, Fuzhou, Fujian 350108;

2. School of Computer and Information Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002;

3. School of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002;

4. Key Laboratory of Fujian Universities for Ecology and Resource Statistics, Fuzhou, Fujian 350002)

**Abstract:** *Application of multivariate statistical analysis* is an important compulsory course in the major of statistics in colleges and universities. This paper collects the actual data through the class questionnaire, applies the visualization theory, the structural equation model and association rule to analyze and discuss the influencing factors of the teaching effect from the empirical angle and put forward the relevant suggestions.

**Key words:** multivariate statistical analysis; SEM model; visualization; association rules

# JOURNAL OF WUYI UNIVERSITY

---

No.3 Vol.38, Mar., 2019

- A Research of the Properties of Complex Hessian Matrix and Its Complex Positive Definite  
..... ZHANG Songchuan(1)
- Balance Index Set of Cross Product Graphs ..... CHEN Biying(5)
- A Fast Proximal Barzilai–Borwein Gradient Method for Solving Decomposable Strongly Convex Optimization  
Problems ..... LI Xing, DENG Kangkang, LI Chao(12)
- Geometric Composition Analysis in Plane System with Virtual Hinged Joint Infinity  
..... FAN Weiqin, YAN Lingyue, ZHANG Hongzhang(17)
- Improving China's Internet and Promoting Economic and Tax Development  
——Based on provincial level data ..... ZHENG Xuelian, HU Zhiyong, CHEN Yalin(21)
- Validation and Improvement of Fama Five Factor Model in China Securities Market  
..... SUN Ce, JIANG Xuning, HUANG Heliang(27)
- An Analysis of Research Trends of Chinese SWAT Model Based on Visual Knowledge Map  
..... YOU Liping, LIN Xue'er, LIU Juncheng, HE Dongjin, YOU Weibin(33)
- An Analysis on the Spatial Distribution Pattern and Interspecies Correlation of Natural Secondary Forest of  
Cinuomomum Camphor ..... JIN Shaofei, XU Ludong, LIAO Xiaoli, FAN Shenghuang(40)
- A Quantitative Analysis on the Value of Ancient and Rare Trees of Hanzhong Area  
..... WANG Zhe, JIANG Lan, LAN Yiqi, HE Zhongsheng, LIU Jinfu, LIAO Xiankang(47)
- Negatively Charged Surface Modification of Membrane and Its Resistance to Protein Pollution  
..... FAN Rongyu, ZHENG Ximing, CHEN Binmei(54)
- Design of Smart Laboratory Based on Distributed Architecture ..... WU Yiping(59)
- Design and Implementation of Intelligent Transfusion Monitoring System Based on CC2530  
..... CHEN Ming, SHEN Junhui, ZHU Qixiang(64)
- A New High Precision RC Oscillator Design ..... ZHANG Mingwen, YINYongsheng, DENG Honghui(69)
- An Applied Analysis on SDN and OVERLAY Technology in University Cloud Data Center  
..... XIAO Yongqin, ZHUO Liuying(73)
- A Research on Quanzhou National Fitness "Six-Sided Project" from the Perspective of Public Service  
..... DONG Jingjuan(77)
- An Analysis Current Status of Fitness Path in Wuhu Undergraduate Colleges  
..... YAN Lin, ZHANG Liang, JIN Qinghong(83)
- A Research on the Characteristics of Hakka Folk Sports Culture in Shibi ..... CUI Shengli(88)
- Application of Problem–Based Learning Model in the Course Teaching of Independent Colleges  
——A Case Study on the Course of *Plant Physiology*  
..... YE Xiaozhen, LUO Xiaoxia, CHEN Quanzhu, FENG Lizhen(92)
- The Present Situation and Problems of the Application of Multimedia Technology in Mathematics Teaching  
..... TENG Xu(96)
- The Application of RPG Practice Training Platform in Civil Engineering Construction Technology Teaching  
..... CUI Xiuqin, SU Wanxin, ZENG Wuhua, HUANG Jingjing(100)
- An Empirical Study on the Influencing Factors of Teaching Effect of Multivariate Statistical Analysis Based on  
PLS–SEM Model and Association Rules  
..... KUANG Kaijin, ZHENG Kaiyan, LIU Jinfu, XU Daowei, PEI Wenqing, ZHENG Silin(104)