

轻小型喷灌机组技术评价主成分模型及应用

朱兴业, 袁寿其, 刘建瑞, 汤跃

(江苏大学流体机械工程技术研究中心, 镇江 212013)

摘要:为解决轻小型喷灌机组喷洒运行、效果检测和能耗分析中涉及到的技术指标综合评价问题, 提出采用主成分分析法对喷灌机组进行综合评价的数学模型。总结了喷灌机组喷灌面积、喷灌强度、组合均匀度和能耗等多种单技术评价指标, 增加了综合评价的过程。选取评价其技术特性的 5 个单重要指标, 应用所建的评价模型对 4 套喷灌机组进行综合评价。结果表明: 前 2 个主成分包含了 5 个指标全部信息的 98.75%, 最终利用综合主成分公式得到 4 套喷灌机组综合评价指标的排名。该模型可对喷灌机组技术指标进行综合评价, 也可对喷灌机组的设计优劣提供评判依据。

关键词: 喷灌机组, 主成分分析, 数学模型, 评价指标, 综合评价

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.11.017

中图分类号: S277.9⁺4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2010)-11-0098-05

朱兴业, 袁寿其, 刘建瑞, 等. 轻小型喷灌机组技术评价主成分模型及应用[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 98-102.
Zhu Xingye, Yuan Shouqi, Liu Jianrui, et al. Principal component model and application for technical evaluation index of light and small sprinkler irrigation system[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(11): 98-102. (in Chinese with English abstract)

0 引言

轻小型喷灌机组是中国一种比较有代表性的灌溉机组, 机组机动灵活, 适应中国农村发展的需要。目前, 机组存在整机配套性较差, 自动化控制水平低, 适应性差, 使用劳动强度大等问题^[1-2]。喷灌机组的每一个技术指标和运行参数, 均包含着有关机组运行状态的不同信息, 从不同方面评价喷灌机组往往需要许多不同的评价指标。

国内外众多学者对喷灌机组中单指标的评价与计算进行了大量的研究, 2009 年 Barbosa R N^[3]等人研究了喷灌中喷射速度和喷射沉积, 详细分析了喷灌强度对作物生长的影响; 2008 年 Ravindra V K^[4]等人提出一套线性规划模型, 评价经济投入和喷灌均匀度, 对加压灌溉进行了优化设计; 2008 年 Bahceci I^[5]等人在土耳其监测和评估了 38 组喷灌机组布置方式, 通过分析流量、工作压力、均匀系数等性能参数, 对布置间距的优化进行了计算; 2006 年 Romero J N O^[6]等人对 4 种不同组合的喷灌系统进行对比, 对它们每年的平均耗费进行了定量分析, 提出了一套能消耗费用模型; 2004 年 Martinez J M^[7]等人为永久设置的喷灌系统进行了水应用成本的详细分析, 研究结果为新系统设计和老系统改进提供了一个重要计算模型。在国内, 2008 年韩文霆^[8]提出一种 3 次样条 2 次插值的方法, 通过径向和周向的 3 次样条插值计算出未知点的降水深, 从而计算出喷灌均匀系数; 2006 年王桂锋^[9]等人通过编制计算机应用程序提出一套计算方法, 对

喷灌系统喷头组合形式与组合间距的优化进行了计算; 2005 年王云秀^[10]应用模糊综合评判原理, 建立了喷灌选型的模糊综合评判模型并应用于喷灌工程的设计; 2002 年门宝辉^[11]等人应用属性识别理论模型对喷头水力性能进行综合评价。

单一指标评价体系, 往往难以全面反映喷灌机组的运行状况, 将机组各评价指标包含的信息进行综合, 更全面地评价喷灌机组的优劣, 将为评价喷灌机组技术性能提供重要的决策支持。本文在总结喷灌机组单技术指标的基础上, 采用主成分分析法将多个指标转化为少数几个综合指标, 对轻小型喷灌机组综合技术指标进行统计分析, 为以后评价轻小型喷灌机组的优劣提供一种有效方法。

1 现有技术指标

轻小型喷灌机组中关键设备包括泵机组、管路、喷头等, 主要从外部喷洒效果及机组能耗 2 个方面进行评价, 其中外部喷洒效果主要包括喷灌面积、喷灌强度、喷灌均匀度等, 机组能耗主要包括效率指标和能耗特性。

1.1 喷洒效果指标

1.1.1 喷灌面积

图 1 为喷灌机组试验示意图, 可列出喷灌面积的计算公式如下

$$S = ((x-1)k_a R) \cdot 2k_b R \quad (1)$$

式中, S 为喷灌面积, m^2 ; x 为喷头数量; k_a 为横向组合间距系数; k_b 为纵向组合间距系数; R 为喷头射程, m 。

1.1.2 喷灌强度

目前计算旋转式喷头的点喷灌强度可用下述公式

$$p_i = h_i / t \quad (2)$$

式中, p_i 为点喷灌强度, mm/h ; h_i 为测点降水深度, mm ; t 为喷头旋转时间, h 。

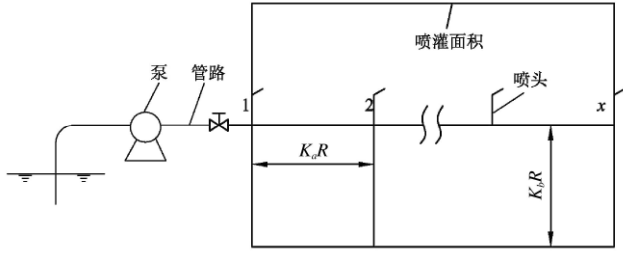
收稿日期: 2010-02-23 修改日期: 2010-10-21

基金项目: 国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2006AA100211);

国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2011AA100506, 2006AA100211)

作者简介: 朱兴业(1982-), 男, 浙江永康人, 博士后, 主要从事流体机械及排灌机械研究。镇江 江苏大学流体机械工程技术研究中心, 212013。

Email: xingye488@163.com



注：x 为喷头数量；R 为喷头射程，m； k_a 为横向组间间距系数； k_b 为纵向组间间距系数

图 1 喷灌机组试验示意图

Fig.1 Layout of the sprinkler irrigation system

平均喷灌强度是指控制面积内各点喷灌强度的平均值，当各点代表面积一样大时，按下式计算

$$\bar{\rho} = \sum_{i=1}^n \rho_i / n \quad (3)$$

式中 $\bar{\rho}$ 为平均喷灌强度，mm/h。

1.1.3 组合喷灌均匀度

根据试验中实际测量的数据，采用 Christiansen 算法^[12]，喷灌均匀系数按下式计算

$$C_u = 1 - \frac{\Delta h}{\bar{h}} \quad (4)$$

式中， Δh 为喷洒水深的平均离差，mm； \bar{h} 为喷洒水深的平均值，mm。

每个测点代表的面积相等，则

$$\bar{h} = \sum_{i=1}^n h_i / n, \quad \Delta h = \sum_{i=1}^n |h_i - \bar{h}| / n \quad (5)$$

1.2 能耗指标

本文中喷灌机组的能耗指标是能量性能指标，是指耗用能量中的有效能量和消耗能量可产生效果的指标。喷灌机组能耗指标包括 2 部分：效率指标和能耗特性。效率指标是指喷灌机组消耗的能量中有效能量的比例，能耗特性是指消耗能量所实现的总流量、总喷洒面积和喷洒均匀程度。

1.2.1 效率指标

喷灌机组效率指标包括泵机组效率、管路效率和喷头效率。

1) 泵机组有效功率又称输出功率，用 P_e 表示

$$P_e = \rho g Q H / 3600 \quad (6)$$

式中， ρ 为流体的密度， kg/m^3 ； g 为重力加速度， m/s^2 ； Q 为流量， m^3/h ； H 为扬程，m。

泵机组的效率 η_1 为

$$\eta_1 = \frac{P_e}{P} \quad (7)$$

式中 P 为轴功率，kW。

2) 单位质量流体的沿程损失 h_f 和局部损失 h_j 分别为

$$h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}, \quad h_j = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (8)$$

总水头损失为

$$h_w = \sum h_f + \sum h_j \quad (9)$$

式中， λ 为沿程阻力系数； ζ 为局部阻力系数； l 为管路长度，m； d 为管路直径，m； v 为平均流速，m/s。

管路效率为 1 与总损失与有效功率之比的差值，用 η_2 表示，即

$$\eta_2 = 1 - \frac{m v g h_w}{P_e} \quad (10)$$

式中 m 为流体质量，kg。

3) 喷头处所耗的能量包括 2 部分，克服阻力完成喷头旋转运动的能量和有效喷灌喷洒的能量。单位时间内喷头所受阻力耗能为

$$Z = f N r \omega \quad (11)$$

式中， Z 为喷头阻力耗能，kW； f 为喷头旋转摩擦系数； N 为喷头所受正压力，N； r 为喷头转体半径，m； ω 为旋转角速度，rad/s。

喷头效率是指有效喷灌喷洒功率与所提供功率之比，用 η_3 表示，即

$$\eta_3 = 1 - \frac{f N r \omega}{P_e - m v g h_w} \quad (12)$$

喷灌机组的效率指标为泵效率、管路效率和喷头效率的乘积，即

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \quad (13)$$

1.2.2 能耗特性

对比不同的喷灌机组，能耗特性的确定方法在于：在相同的能量消耗之下，所能完成的总流量、总喷洒面积和所达到的喷洒均匀度，三者的权重相同。测量能耗特性为三指标的试验设计，适用综合评分法将三指标转化成单一的综合能耗指标对其进行分析。

$$\begin{aligned} Y_1 &= k_1 Q / W \\ Y_2 &= k_2 S / W \\ Y_3 &= k_3 C_u / W \\ Y &= Y_1 + Y_2 + Y_3 \end{aligned} \quad (14)$$

式中， Y_1 、 Y_2 、 Y_3 为单指标评分； Y 为综合评分； k_1 为指标 1 的修正值， $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ ； k_2 为指标 2 的修正值， kW/m^2 ； k_3 为指标 3 的修正值，kW； W 为所耗能量，kW。

对于上式中各指标的修正值，根据专业知识，对各项指标的重要程度分别给予赋值。通过修正值的修正，使各单指标计算结果为无量纲，并在相同的数量级上。

2 主成分分析方法

主成分分析法 (principal component analysis) 于 1933 年由 Hotelling 首先提出，是把多指标转化为少数几个综合指标的多元统计分析方法。一般来说主成分分析的基本操作步骤如下^[13]。

1) 指标的标准化

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \bar{x}_{ij}}{S_j} \quad (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m) \quad (15)$$

式中， \bar{x}_{ij} 及 S_j 分别是 x_{ij} 的平均数及标准差； x_{ij}^* 的平均数为 0，标准差为 1。

2) 计算相关系数矩阵 O 。相关系数 (ρ) 表示的是两变量之间的线性关系, 它不因测量单位的变化而变化, 其范围在 $-1 \sim 1$ 之间, -1 表示完全负相关, 1 表示完全正相关, 0 表示不相关。计算出某一变量与所有变量之间的相关系数, 从而建立出来的矩阵即为相关系数矩阵。

相关系数矩阵 $O=[o_{ij}]_{m \times m}$ 。

3) 计算相关系数矩阵 O 的特征根 λ_j ($j=1, 2, \dots, m$) 及单位特征向量。

将特征根由大到小排列, $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3 \geq \dots \geq \lambda_m \geq 0$, 在实际应用中, 一般取 p 个主成分, $p < m$, 且使累计贡献率达到 85% 以上。即

$$\sum_{i=1}^p \lambda_i / \sum_{i=1}^m \lambda_i \geq 85\%$$

计算特征向量, 将特征根 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3 \geq \dots \geq \lambda_m \geq 0$ 与对应的特征向量相互正交, 并将其代入以下方程组

$$\begin{bmatrix} \lambda_i - 1 & -r_{12} & \dots & -r_{1p} \\ -r_{21} & \lambda_i - 1 & \dots & -r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ -r_{p1} & -r_{p2} & \dots & \lambda_i - 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_{1i} \\ \alpha_{2i} \\ \vdots \\ \alpha_{pi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (i=1, 2, \dots, p)$$

求出相应 λ_i 的特征向量 $A_i=(\alpha_{1i}, \alpha_{2i}, \dots, \alpha_{pi})$, 且各分量满足

$$\alpha_{1i}^2 + \alpha_{2i}^2 + \dots + \alpha_{pi}^2 = 1 \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (16)$$

4) 求各主成分 z_i , 根据求得的 m 个特征向量, p 个主成分表达式分别为

$$\begin{cases} z_1 = \alpha_{11}x_1^* + \alpha_{12}x_2^* + \dots + \alpha_{1n}x_n^* \\ z_2 = \alpha_{21}x_1^* + \alpha_{22}x_2^* + \dots + \alpha_{2n}x_n^* \\ \dots\dots\dots \\ z_p = \alpha_{p1}x_1^* + \alpha_{p2}x_2^* + \dots + \alpha_{pn}x_n^* \end{cases} \quad (17)$$

上式就是主成分分析的模型, 其通式为

$$z_i = \alpha_{i1}x_1^* + \alpha_{i2}x_2^* + \dots + \alpha_{in}x_n^* \quad (i=1, 2, \dots, p)$$

各个综合指标 z_i 为原指标的主成分, z_1, z_2, \dots, z_p 分别称为第 1 主成分、第 2 主成分...第 p 主成分。

5) 求各例样品在 p 个主成分的得分, 将每个样本的主成分得分代入得到每个样本的综合得分, 为方便计算主成分得分值, 根据标准化变换公式 (17) 得到用原指标 x_1, x_2, \dots, x_n 表示的各个主成分。

6) 计算原指标与主成分的因子载荷, 根据因子载荷的大小进行显著性分析, 依据一定的准则, 可对样本进行排序。

综上所述, 主成分分析方法的基本步骤可以概括为: 第 1 步, 样本数据标准化变换; 第 2 步, 指标之间的相关性判定; 第 3 步, 确定主成分个数 p ; 第 4 步, 综合主成分评价公式的确定; 第 5 步, 求出各例样品的主成分得分; 第 6 步, 对主成分进行综合评价。

3 应用实例

本文中以 4 套轻小型喷灌机组为例, 表 1 中列出喷灌机组关键设备中泵和喷头的组成情况。其技术指标数据根据喷头组合布置形式, 通过试验测量^[14-15], 再用本文中单指标的计算公式计算得出, 计算能耗特性时分别取各修正值 $k_1=0.1, k_2=1, k_3=10$ 。表 1 中列出 4 套喷灌机组实际运行时的主要技术指标, 其中轴功率、流量通过试验获得, 喷灌面积、喷灌强度、喷洒均匀系数、效率指标、能耗特性通过试验和上述公式计算获得, 运用主成分分析法对各机组的主要技术指标进行综合评价。

通过分析可知, 表 1 中后 5 个指标是评价轻小型喷灌机组技术特性的几个重要指标, 从而可以建立矩阵

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_5\}$$

式中, x_1 为喷灌面积; x_2 为喷灌强度; x_3 为喷洒均匀系数; x_4 为效率指标; x_5 为能耗特性。

表 1 4 套轻小型喷灌机组主要技术指标

Table 1 Main technical index of four light-duty irrigation systems

型 号	喷头数量×型号	轴功率/ kW	流量 Q / ($m^3 \cdot h^{-1}$)	喷灌面积/ km^2	喷灌强度/ ($mm \cdot h^{-1}$)	喷洒均匀系数	效率指标/ %	能耗特性
50ZB-30Q	14×10PXH	2.19	14.2	3.7	7.13	0.86	44.8	6.26
50ZB-25D	20×15PY	2.66	24.6	8.5	4.52	0.87	48.5	7.39
150QJ20-65	3×30PY	5.53	19.5	5.1	7.68	0.85	52.3	2.81
65ZB-40C	10×20PY	5.9	29.3	7.2	6.69	0.86	54.8	3.17

各变量的数量级和量纲等存在较大的差异, 首先对各指标数据进行标准化。根据计算出的相关系数矩阵写出下列基本方程组

$$S = \begin{cases} x_1 - 0.815x_2 + 0.649x_3 + 0.421x_4 + 0.199x_5 = \lambda_j x_1 \\ -0.815x_1 + x_2 - 0.932x_3 + 0.182x_4 - 0.730x_5 = \lambda_j x_2 \\ 0.649x_1 - 0.932x_2 + x_3 - 0.354x_4 + 0.825x_5 = \lambda_j x_3 \\ 0.421x_1 + 0.182x_2 - 0.354x_3 + x_4 - 0.803x_5 = \lambda_j x_4 \\ 0.199x_1 - 0.730x_2 + 0.825x_3 - 0.803x_4 + x_5 = \lambda_j x_5 \end{cases} \quad (18)$$

解基本方程组, 由相关系数矩阵得到特征根 λ_j ($j=1, 2, \dots, 5$) 及各个主成分的方差贡献、贡献率、累计贡献率和主成分的系数。其中, 方差贡献为相关系数矩阵的特征值, 贡献率为各特征值所占总数的比率, 累计贡献率为前 n ($n=1, 2, 3, \dots$) 个主成分贡献率之和。计算相关矩阵 X 的特征值及单位特征向量, 对各喷灌机组的数据进行主成分的分析。

表 2 为各主成分的方差贡献率, 方差贡献率越大, 它所对应的主成分包含原指标的信息就越多。第 1 个至第 5 个主成分的贡献率分别为 64.75%, 34.00%, 1.25%,

0 和 0, 前 2 个主成分包含了原来 5 个指标全部信息的 98.75%, 因此, 选取第 1 主成分和第 2 主成分, 忽略其他主成分。

第 1 主成分:

$$z_1 = -0.3937x_1^* + 0.4740x_2^* - 0.4584x_3^* - 0.4666x_4^* + 0.4388x_5^*$$

第 2 主成分:

$$z_2 = 0.7348x_1^* + 0.1884x_2^* - 0.4571x_3^* + 0.3289x_4^* + 0.3280x_5^*$$

表 2 各主成分的方差贡献率

Table 2 Variance contribution rate of principle component

主成分	方差贡献	贡献率/%	累计贡献率/%
z_1	3.2375	64.75	64.75
z_2	1.7000	34.00	98.75
z_3	0.0625	1.25	100
z_4	0	0	100
z_5	0	0	100

表 3 为主成分系数矩阵, 通过各指标主成分的值, 计算出因子载荷。

表 3 主成分系数矩阵

Table 3 Coefficient matrix of principle component

	x_1^*	x_2^*	x_3^*	x_4^*	x_5^*
z_1	-0.3937	0.4740	-0.4584	-0.4666	0.4388
z_2	0.7348	0.1884	-0.4571	0.3289	0.3280
z_3	-0.2461	0.4946	-0.3264	0.4397	-0.6284
z_4	0.3945	0.6445	0.5264	-0.3523	-0.1671
z_5	-0.0492	-0.6453	0.6836	-0.1988	-0.2726

表 4 为因子载荷, 即原指标与主成分的相关系数。根据因子载荷的大小, 决定 z_1 大小的主要是 x_1^* 、 x_2^* 和 x_4^* , 决定 z_2 大小的主要是 x_1^* 和 x_4^* 。第一主成分 z_1 在喷灌面积上的权重大于 0.9, 反映的是喷灌机组所能控制的喷洒面积; 第二主成分 z_2 在效率指标的权重均大于 0.8, 反映的是喷灌机组的能量利用效率。

表 4 因子载荷

Table 4 Factor loading

	x_1^*	x_2^*	x_3^*	x_4^*	x_5^*
z_1	-0.972	0.669	-0.515	-0.603	0.009
z_2	0.757	-0.253	-0.003	0.885	-0.472

利用综合主成分公式^[16]: $z = 0.6475z_1 + 0.34z_2$, 可以得到喷灌机组综合技术评价指标的排名。

表 5 为用主成分分析法综合评价 4 台喷灌机组技术指标的排名, 本方法消除了单技术指标的片面评价, 因而更具有客观性。可见, 应用主成分分析法, 可对一定的指标进行综合处理后, 获得一个单一的、易于比较的新的评价指标, 用于喷灌机组的技术指标综合评价。

表 5 喷灌机组综合技术评价指标的排名

Table 5 Ordering for evaluation function values

喷灌机组	z 值	排序
50ZB-30Q	0.640	1
50ZB-25D	-0.589	4
150QI20-65/5	0.409	2
65ZB-40C	-0.460	3

4 结 论

1) 针对轻小型喷灌机组中技术指标的个数多, 又互有相关性的问题, 首次提出一种评价的指标——综合评价指标。采用严格的数学推导, 建立了一套数学模型, 将主成分分析法应用于轻小型喷灌机组, 进行综合评价以确定喷灌机组的设计优劣。

2) 选取了 4 套轻小型喷灌机组进行实例说明此套数学模型的应用, 技术评价指标包括喷灌面积、喷灌强度、喷灌均匀度和能耗指标等, 其中能耗指标包括效率指标和能耗特性。结果表明: 前 2 个主成分包含了 5 个指标全部信息的 98.75%, 最终利用综合主成分公式得到 4 套喷灌机组综合技术评价指标的排名。综合评价指标可对喷灌机组技术指标进行定量评价, 也可对喷灌机组的设计提供论据。

[参 考 文 献]

- [1] 袁寿其, 王新坤. 我国排灌机械的研究现状与展望[J]. 农业机械学报, 2008, 39(10): 52—58.
Yuan Shouqi, Wang Xinkun. Present research situation and perspective of drainage and irrigation machinery in China[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 39(10): 52—58. (in Chinese with English abstract)
- [2] 潘中永, 刘建瑞, 施卫东, 等. 轻小型移动式喷灌机组现状及其与国外的差距[J]. 排灌机械, 2003, 21(1): 25—28.
Pan Zhongyong, Liu Jianrui, Shi Weidong, et al. Status of light weight and small size movable sprinkler irrigation set and its gap with advanced countries[J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2003, 21(1): 25—28. (in Chinese with English abstract)
- [3] Barbosa R N, Griffin J L, Hollier C A. Effect of spray rate and method of application in spray deposition[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2009, 25(2): 181—184.
- [4] Ravindra V K, Rajesh P S, Pooran S M. Optimal design of pressurized irrigation subunit[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2008, 134(2): 137—146.
- [5] Bahceci I, Tari A F, Dinc N, et al. Performance analysis of collective set-move lateral sprinkler irrigation systems used in central anatolia[J]. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 2008, (32): 435—449.
- [6] Romero J N O, Martinez J M, Martinez R S, et al. Set sprinkler irrigation and its cost[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2006, 132(5): 445—452.
- [7] Martinez J M, Martinez R S, Tarjuelo J M, et al. Analysis of water application cost with permanent set sprinkler irrigation systems[J]. Irrigation Science, 2004, (23): 103—110.
- [8] 韩文霆. 喷灌均匀系数的三次样条两次插值计算方法[J]. 农业机械学报, 2008, 39(10): 134—139.
Han Wenting. Calculation of sprinkler irrigation uniformity by double interpolation using cubic splines and linear lines[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 39(10): 134—139. (in Chinese with English abstract)
- [9] 王桂锋, 王雯婷, 徐飞, 等. 喷灌系统喷头组合形式与组合间距的优化计算[J]. 黑龙江水专学报, 2006, 33(2):

- 36—39.
- Wang Guifeng, Yu Wenting, Xu Fei, et al. Optimal calculation for nozzle combination form of sprinkling system and combination space[J]. Journal of Heilongjiang Hydraulic Engineering College, 2006, 33(2): 36—39. (in Chinese with English abstract)
- [10] 王云秀. 模糊综合评判法在喷灌形式优选中的应用[J]. 节水灌溉, 2005, (2): 43—44.
- Wang Yunxiu. Application of fuzzy comprehensive evaluation in optimization of spray form[J]. Water Saving Irrigation, 2005, (2): 43—44. (in Chinese with English abstract)
- [11] 门宝辉, 梁川. 喷头水力性能评价的属性识别模型及应用[J]. 节水灌溉, 2002, (5): 5—6
- Men Baohui, Liang Chuan. Property recognition model and application for sprinkler hydraulic performance evaluation[J]. Water Saving Irrigation, 2002, (5): 5—6. (in Chinese with English abstract)
- [12] Christiansen J E. Irrigation by sprinkling[R]. Bulletin 670, California agricultural experiment Station, University of California, Berkeley, California, 1942.
- [13] 余家林, 肖枝洪. 多元统计及 SAS 应用[M]. 武昌: 武汉大学出版社, 2008.
- [14] 李雪转, 樊贵盛, 王雪. 影响土壤入渗积水时间因素的试验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 27—31.
- Li Xuezhuan, Fan Guisheng, Wang Xue. Experiments on factors affecting ponding time under soil infiltration conditions[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(9): 27—31. (in Chinese with English abstract)
- [15] 刘海军, 黄冠华, 王明强, 等. 基于蒸发皿水面蒸发量制定冬小麦喷灌计划[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 11—17.
- Liu Haijun, Huang Guanhua, Wang Mingqiang, et al. Sprinkler irrigation scheme of winter wheat based on water surface evaporation of a 20 cm standard pan[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(1): 11—17. (in Chinese with English abstract)
- [16] 王芳. 主成分分析与因子分析的异同比较及应用[J]. 统计教育, 2003, (5): 14—17.
- Wang Fang. Comparison and application of principal component analysis and factor analysis[J]. Statistics Education, 2003, (5): 14—17. (in Chinese with English abstract)

Principal component model and application for technical evaluation index of light and small sprinkler irrigation system

Zhu Xingye, Yuan Shouqi, Liu Jianrui, Tang Yue

(Research Center of Fluid Machinery Engineering and Technology, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: To overcome the comprehensive evaluation problems for analysis on light and small sprinkler irrigation system, an idea of principal component analysis (PCA) method was presented, and the mathematical model of comprehensive evaluation was established. Five important single technical indexes, which were used for evaluating its technical characteristic, included irrigated area, irrigated depth, uniformity coefficient and energy consumption. Four light and small sprinkler irrigation systems were evaluated by using the composite model. Results showed the former two principal components contained 98.75% of the information for the five indexes. At last, the composite index rank of the four systems was got by the integrated equation. The mathematical model can be used for comprehensively evaluating the index of light and small sprinkler irrigation system and provide proofs for optimal design of the sprinkler irrigation system.

Key words: sprinkler systems, principal component analysis, mathematical models, evaluation index, comprehensive evaluation