

文章编号: 1006-7329(1999)03-0065-05

# 城市排水系统改造方案的综合评价方法探讨

13  
65-69

傅斌 张勤 张智

(重庆建筑大学 城市建设学院 400045)

TU992.03

**摘要** 为合理评价城市排水系统方案,探讨了评价方法的选用,并用加权平均法和模糊综合评价法对城市排水系统方案进行了综合评价,得到了合理的评价结果。

**关键词** 城市排水系统;加权平均法;模糊综合评价

**中图分类号** TU992.03

**文献标识码** A

随着城市经济及建设的发展,城市排水系统的改造已成为环境工程的一个重要组成之一。为控制水体污染,特别是保护城市饮用水源水质,实施水环境项目,需对旧城区排水系统加以改造。这不仅要涉及自然生态条件,而且包括了经济发展、环境保护、移民安置、施工管理等因素。准确、客观地反映多因素对城市排水系统改造方案的综合作用,关键在于指标、权重以及评价方法的合理选择,以某市现有排水系统改造方案为例,分析了常用的评价方法,并用加权平均法和模糊评判法评价城市排水系统改造方案。

## 1 问题的提出

任何一个多因素、多方案的综合评价问题,都与评价指标和权重有关。例如某市排水系统根据地质、地貌、技术经济目标以及三峡成库后的水质目标,拟定了四种方案:

A<sub>1</sub>——沿江截流; A<sub>2</sub>——区域截流(过A河); A<sub>3</sub>——区域截流(过B江); A<sub>4</sub>——局部截流;从该市社会效益、经济效益、环境效益等多方面考虑,经目标解析逐级分解,产生评价指标的3级结构体系,咨询有关专家得赋权方案,统计分析得指标权重(表1)。对此进行综合评价,选出最佳方案。

## 2 常用评价方法简介

评分法是最实用的综合评价法,它容易理解、操作方便。设有  $n$  个方案,  $m$  项指标,常用的评价方法有三种,分别表示为:

算术平均评分法: 
$$b_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m r_{ij} \quad (1)$$

连乘评分法: 
$$b_j = \prod_{i=1}^m r_{ij} \quad (2)$$

加权平均评分法: 
$$b_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \omega_i \cdot r_{ij} \quad (3)$$

式中:  $b_j$ ——第  $j$  个方案的总分( $j=1, 2, \dots, n$ );  $\omega_i$ ——第  $i$  项评价指标的权重( $i=1, 2, \dots, m$ );

收稿日期: 1998-10-20

作者简介: 傅斌, (1957-), 女, 重庆长寿人, 重庆建筑大学讲师, 从事市政工程研究。

表 1 指标体系、代码、权重以及方案对指标的排序(含排序依据)

一级指标	二级指标		三级指标		单因素权重、排序依据及结果					
	名称	代码 权重	名称	代码 权重 特性	总目标 权重	第1 (8分)	第2 (6分)	第3 (4分)	第4 (2分)	排序依据 说明
某市排水系统质量	土地方面	B <sub>1</sub> 0.15	总占地面积	C <sub>1</sub> 0.40 硬	0.060 0	A <sub>4</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	以少为好
			满足需求土地的可能性	C <sub>2</sub> 0.50 软	0.075 0	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	以少为好
			卫生防护带	C <sub>3</sub> 0.10 软	0.015 0	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	满足要求
	环境方面	B <sub>2</sub> 0.25	对水环境的影响	C <sub>4</sub> 0.30 软	0.075 0	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	有利保护
			对周围水环境的影响	C <sub>5</sub> 0.30 软	0.075 0	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> A <sub>3</sub>		A <sub>4</sub>	污染少好
			对饮用水源的影响	C <sub>6</sub> 0.40 软	0.100 0	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> A <sub>3</sub>		A <sub>4</sub>	以少为好
	经济方面	B <sub>3</sub> 0.25	总建设费用	C <sub>7</sub> 0.40 硬	0.100 0	A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>1</sub>	以少为好
			运行成本(计折旧)	C <sub>8</sub> 0.45 硬	0.112 5	A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>1</sub>	以少为好
			机会成本	C <sub>9</sub> 0.15 硬	0.037 5	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> A <sub>3</sub>		A <sub>4</sub>	以少为好
	施工方面	B <sub>4</sub> 0.10	总工程量	C <sub>10</sub> 0.60 硬	0.060 0	A <sub>4</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	以少为好
			施工难易程度	C <sub>11</sub> 0.40 软	0.040 0	A <sub>4</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	以小为好
	管理方面	B <sub>5</sub> 0.10	污水中途提升泵站管理	C <sub>12</sub> 0.40 硬	0.040 0	A <sub>4</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub>	数量少好
			污水处理厂管理	C <sub>13</sub> 0.45 硬	0.045 0	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> A <sub>3</sub>		A <sub>4</sub>	座数少好
			管渠维护管理	C <sub>14</sub> 0.15 硬	0.015 0	A <sub>4</sub>	A <sub>2</sub> A <sub>3</sub>		A <sub>1</sub>	以短为好
	动迁安置方面	B <sub>6</sub> 0.15	拆迁移民数量	C <sub>15</sub> 0.50 软	0.075 0	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>4</sub>	数量少好
			移民拆迁安置难易程度	C <sub>16</sub> 0.50 软	0.075 0	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>4</sub>	难度小好

$r_{ij}$ ——第  $j$  个方案第  $i$  项指标得分;

算术平均评分法和连乘评分法都没有体现各项参评指标的重要程度,不能准确反映方案的优劣,这两种方法的区别在于连乘评分法比算术平均评分法灵敏度高,易判断。

### 3 加权平均评分法的应用

加权平均评分法能较好地解决各项评价指标的主次问题,是一种理想的综合评价法。此法的关键是评分,评分越准确结果越可靠。评分规则应做到公正、合理、全面,即使最后得分以评定人员所给分数的平均值来计,也难免掺杂人为因素。因此对指标按方案进行评分,是一项复杂的工作,相对来讲排序更容易。即对同一指标的方案,进行优劣排序,按递减的等差或等比数值评分,再由式(3)计算得综合评价结果。分等级评分的加权平均法简称为级差加权。不同名次的分数之差越大,各方案综合得分的差值也越大,拉开级差分有利于择优。评价实例中排水系统改造方案,首先按排序原则将方案对指标进行排序,然后根据优劣次序按等差给分,将 2 级指标的权重分解到 3 级(见表 1),方可用(3)式计算得城市排水系统改造方案综合评价结果(4.765, 6.090, 6.215, 3.475),优劣次序为 A<sub>3</sub>、A<sub>2</sub>、A<sub>1</sub>、A<sub>4</sub>。

直接对总目标进行评价,速度快、操作简单,但不便于过程分析,查找原因。必要时可进行逐级评价。以指标 B<sub>1</sub> 为例(土地方面),各方案得分依次为(4.6, 6.2, 4.8, 4.4),即在土地方面的优劣次序为 A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>、A<sub>1</sub>、A<sub>4</sub>。按此方法可得 2 级指标的评价结果。用 2 级指标的评价结果加权重,即得 1 级指标的评价结果。

### 4 模糊综合评判法的应用

#### 4.1 思路

对有3级指标的排水系统方案进行综合评价，还可以通过隶属函数计算指标实测值对方案的隶属度，经多级模糊运算求出方案的总隶属度，按最大隶属度原则择优。其思路是：由单指标隶属度构成模糊矩阵  $R = (r_{ij})_{m \times n}$ ，作权向量  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)$  与矩阵  $R$  的模糊运算  $B = \omega \odot R$ ，得方案对上级指标的隶属度，再由结果构成模糊矩阵。依此类推，逐级评价直至得到树形指标体系对各方案的最后隶属结果为止。常见的模糊算法“ $\odot$ ”有：

$$\textcircled{1} b_j = \bigvee_{i=1}^m (\omega_i \wedge r_{ij}) \quad \textcircled{2} b_j = \sum_{i=1}^m (\omega_i \wedge r_{ij}) \quad \textcircled{3} b_j = \bigvee_{i=1}^m (\omega_i \cdot r_{ij}) \quad \textcircled{4} b_j = \sum_{i=1}^m (\omega_i \cdot r_{ij})$$

式中：“ $\wedge$ ”、“ $\vee$ ”分别为取小、取大运算。而加权平均评分法正是按法 $\textcircled{4}$ 进行的1级模糊综合评价。

不同算法使综合评价更具有灵活性，法 $\textcircled{1}$ 计算简便，当信息丢失太多时改用法 $\textcircled{2}$ ，法 $\textcircled{3}$ 具有突出强项的功能，法 $\textcircled{4}$ 既突出主因素又兼顾其它，意义明确效果好，根据不同意义与要求选择算法很重要。

#### 4.2 排水系统方案的多级模糊综合评价

- 1) 评价指标的选取及权重计算如前所述，结果见表1。
- 2) 建立评语集： $A = \{A_1, A_2, A_3, A_4\}$  即  $A_i (i = 1 \dots 4)$  的综合作用结果。
- 3) 构造隶属函数，得单指标下隶属度。

##### (1) 硬指标隶属度

方案对指标的实测值是  $\alpha_{ij}$ ，指标对方案的隶属度为  $r_{ij}$ ，设方案对指标的最大(小)许可值是  $\max$  ( $\min$ )，则排序准则“以少为好”的硬指标隶属函数，用距离之比表示为：

$$r_{ij} = \frac{\min - \alpha_{ij}}{\max - \min} \quad r_{ij} \in [0, 1] \quad (4)$$

“以多为好”分子改为  $\min - \alpha_{ij}$ ，由此算得硬指标隶属度(表2)。

表2 硬指标评价值及隶属度

方案	$C_1$ (Ha)		$C_2$ (元/ $m^3$ )		$C_3$ (元/ $m^2$ )		$C_4$ (万元)		$C_{10}$ (万元)		$C_{12}$ (座)		$C_{11}$ (座)		$C_{14}$ (100m)	
	$\alpha_{1j}$	$r_{1j}$	$\alpha_{2j}$	$r_{2j}$	$\alpha_{3j}$	$r_{3j}$	$\alpha_{4j}$	$r_{4j}$	$\alpha_{10j}$	$r_{10j}$	$\alpha_{12j}$	$r_{12j}$	$\alpha_{11j}$	$r_{11j}$	$\alpha_{14j}$	$r_{14j}$
	$A_1$	238.2	0.03	2 912.2	0.15	0.93	0.28	149 671.5	0.99	341 267.3	0.17	11	0.27	3	1.00	1 139.6
$A_2$	207.0	0.55	2 611.2	0.65	0.82	0.72	194 677.0	0.86	320 178.5	0.60	4	0.73	10	0.61	559.8	0.53
$A_3$	197.7	0.71	2 516.3	0.81	0.79	0.84	195 996.0	0.86	312 889.5	0.74	2	0.87	10	0.61	449.2	0.63
$A_4$	187.0	0.88	2 897.5	0.17	0.85	0.60	500 841.1	0.03	320 897.8	0.58	0	1.00	21	0.00	0.0	1.00
max	240		3 000		1.00		510 000		350 000		15		21		1 200	
min	180		2 400		0.75		145 000		300 000		0		3		0	

(2) 软指标隶属度根据调查值按分级标准(表3)评定而得(见表4)。

表3 软指标分级标准

等级	优	良	中	差	最差
隶属度	0.90~1.00	0.70~0.89	0.50~0.69	0.30~0.49	<0.30

表4 软指标隶属度

方案	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$	$C_{13}$	$C_{15}$	$C_{16}$
$A_1$	0.88	0.90	0.85	0.85	0.95	0.60	0.70	0.75
$A_2$	0.95	0.85	0.80	0.70	0.75	0.70	0.95	0.95
$A_3$	0.75	0.65	0.65	0.70	0.75	0.75	0.75	0.80
$A_4$	0.55	0.55	0.60	0.50	0.65	0.90	0.60	0.65

4) 构成单因子模糊综合评价矩阵。

用表 2、表 4 中隶属度, 构成单指标下模糊矩阵:

$$R_{\text{土地}} = \begin{bmatrix} A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ 0.03 & 0.55 & 0.71 & 0.88 \\ 0.80 & 0.95 & 0.75 & 0.55 \\ 0.90 & 0.85 & 0.65 & 0.55 \end{bmatrix} \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{matrix} \quad (5)$$

$$R_{\text{环境}} = \begin{bmatrix} 0.85 & 0.80 & 0.65 & 0.60 \\ 0.85 & 0.70 & 0.70 & 0.50 \\ 0.95 & 0.75 & 0.75 & 0.65 \end{bmatrix} \begin{matrix} C_4 \\ C_5 \\ C_6 \end{matrix} \quad (6)$$

$$R_{\text{经济}} = \begin{bmatrix} 0.15 & 0.65 & 0.81 & 0.17 \\ 0.28 & 0.72 & 0.84 & 0.60 \\ 0.99 & 0.86 & 0.86 & 0.03 \end{bmatrix} \begin{matrix} C_7 \\ C_8 \\ C_9 \end{matrix} \quad (7)$$

$$R_{\text{施工}} = \begin{bmatrix} 0.17 & 0.60 & 0.74 & 0.58 \\ 0.60 & 0.70 & 0.75 & 0.90 \end{bmatrix} \begin{matrix} C_{10} \\ C_{11} \end{matrix} \quad (8)$$

$$R_{\text{管理}} = \begin{bmatrix} 0.27 & 0.73 & 0.87 & 1.00 \\ 1.00 & 0.61 & 0.61 & 0.00 \\ 0.05 & 0.53 & 0.63 & 1.00 \end{bmatrix} \begin{matrix} C_{12} \\ C_{13} \\ C_{14} \end{matrix} \quad (9)$$

$$R_{\text{动迁安置}} = \begin{bmatrix} 0.70 & 0.95 & 0.75 & 0.60 \\ 0.75 & 0.95 & 0.80 & 0.65 \end{bmatrix} \begin{matrix} C_{15} \\ C_{16} \end{matrix} \quad (10)$$

5) 多级模糊综合评价

由矩阵乘法运算得 2 级指标评价结果:  $B_1 = (0.40 \ 0.50 \ 0.10) \cdot R_{\text{土地}} = (0.502 \ 0.780 \ 0.724 \ 0.682)$ , 即土地方面  $A_2$  最好。同理有:

$$\begin{aligned} B_2 &= (0.890 \ 0.750 \ 0.750 \ 0.590) & B_3 &= (0.335 \ 0.713 \ 0.831 \ 0.343) \\ B_4 &= (0.342 \ 0.640 \ 0.744 \ 0.708) & B_5 &= (0.566 \ 0.646 \ 0.668 \ 0.550) \\ B_6 &= (0.725 \ 0.950 \ 0.775 \ 0.625) \end{aligned}$$

再由:  $A = (0.15 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.10 \ 0.10 \ 0.15) \cdot (B_1 \ B_2 \ B_3 \ B_4 \ B_5 \ B_6)^T = (0.581 \ 0.754 \ 0.751 \ 0.551)$  归一处理  $\begin{pmatrix} A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ 0.22 & 0.29 & 0.28 & 0.21 \end{pmatrix}$  得 1 级指标对方案的隶属度。

虽然  $A_3$  的隶属度略高于  $A_2$ , 在复杂的排水工程改造方案中可视为能互为替代的方案, 应结合该市实际, 参考 2 级指标评价结果加以选择。如在权重最大的  $B_2$ 、 $B_3$  指标中, 该市更在乎经济, 而  $A_3$  在经济方面的评价优于  $A_2$ , 故排水系统改造方案选  $A_3$ 。

## 5 结 论

1) 加权平均法合理、可行、容易理解, 操作起来简单、方便, 是一种理想的综合评价法。根据指标实测值评分结果准确、可靠。当评价多级指标的方案时, 应分解权重转化为单指标评价。转化过程中因评价级数多, 造成分解后的权重太小时, 有可能评价结果不明显。如用分解后的权向量乘以由 (5)(6)(7)(8)(9)(10) 构成的隶属矩阵, 得方案总隶属度依次为 (0.581 0.754 0.755 0.555),  $A_2$ 、 $A_3$  的总隶属度只差 0.01, 优势不明显。有时甚至得不到结果, 解决的办法是进行多级评价。

2) 用加权法时按等级评分即级差加权, 操作非常简便。突出了方案对指标的排序, 而不需考虑排序中两指标间的实际差距, 评价结果反映了排序等级与权重的综合作用, 故为实用的择优法。

3) 多级模糊综合评价运算丰富, 理论性强、适应性广、灵活性大。构造合理的隶属函数量化指标实得值, 结果准确地反映了权重与指标实测值的综合作用效果。用隶属函数代替加权法的平均

评分,使评价结果更合理、可靠,且伴随而得的中间结果具有很好的参考价值。

排水系统方案综合评价方法各有所长,结合工程实际以“简单、合理、可靠”为原则选择。

### 参 考 文 献

- 1 关 坪,等. 环境保护管理与污染治理[M]. 北京:国防工业出版社,1995.8
- 2 伍芬元. 非零值加权平均评分法在优化给排水工程方案中的应用[J]. 给水排水,1994,20(5):18

## Research on Assessment Method of Urban Drainage Systems Reformation

*FU Bin, ZHANG Qin, ZHANG Zhi*

(Faculty of Urban Construction Engineering, Chongqing Jianzhu University, 400045, China)

**Abstract** A reasonable selection of the method for evaluating the urban drainage system was discussed in this paper. Weighted average method and fuzzy synthetic evaluation were used to evaluate a modern urban drainage system, and a reasonable conclusion was obtained.

**Key Words** urban drainage system; weighted average method; fuzzy synthetic evaluation