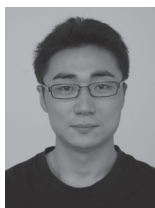


· 港 航 ·



长江南京以下12.5 m深水航道一期工程 白茆沙河段航道整治建筑物选型

蔡建冬, 陈海峰, 高志伟

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海200032)

摘要: 针对航道整治建筑物结构形式选择涉及复杂因素较多的问题, 为降低主观、片面因素影响, 使结构选型更加科学合理, 提出了模糊综合评价方法, 以用于选型决策。并结合白茆沙整治工程实例, 确定了影响结构选型的指标体系, 通过对比分析计算, 得出了最佳结构形式, 验证了该方法对于航道整治结构选型的适用性。

关键词: 航道整治; 结构选型; 模糊综合评价; 隶属度

中图分类号: U 617.9

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)10-0060-04

Type selection of marine structure for regulation works in Baimaoshan waterway of 12.5 m deepwater channel project of Yangtze River downstream from Nanjing

CAI Jian-dong, CHEN Hai-feng, GAO Zhi-wei

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: For type selection of marine structure involves many complex factors. In order to reduce the influences of subjective & one-sided factors and make the structure selection more scientific and rational, we propose the fuzzy comprehensive evaluation method to determine the index system of structure selection. Based on the practice of Baimaoshan regulation engineering, we get the best structure type and verify the adaptability of the method for the selection of marine structures.

Key words: navigation channel regulation; structure type selection; fuzzy comprehension evaluation; membership

长江南京以下12.5 m深水航道工程是“十二五”期间全国内河水运投资规模最大、技术最复杂的重大工程, 白茆沙水道整治属于先期实施的控导工程, 而整治建筑物结构的选择直接影响整个整治效果。选择合理的结构方案需综合考虑适用性、经济性、技术性等诸多因素, 这些因素中既有可定量计算的指标, 也有只能定性描述的指标, 传统的整治建筑物结构选择多为对各方方案优缺点进行笼统分析, 经综合比较后确定, 但这种方法受决策者的学识、经验和主观意向影响较大^[1]。本项目应用模糊综合评价方法进行选型

决策, 对各评价指标量化计算, 克服主观性、片面性和盲目性, 有利于得出最佳结构方案。

1 工程概况

白茆沙水道整治工程(图1)共分成3个部分: 维持沙体形态的南北潜堤、稳定沙头并控制分流比的头部潜堤、潜堤南侧促淤固滩的丁坝群。南北潜堤为绕白茆沙周边的半椭圆形, 总长13 450 m, 头部潜堤根部和南北潜堤衔接, 堤头向上游延伸, 长3 500 m, 南侧布置3条潜丁坝, 北侧布置4道短丁坝, 坝根均与潜堤相接。

收稿日期: 2013-08-10

作者简介: 蔡建冬(1981—), 男, 工程师, 从事港口航道工程设计研究工作。

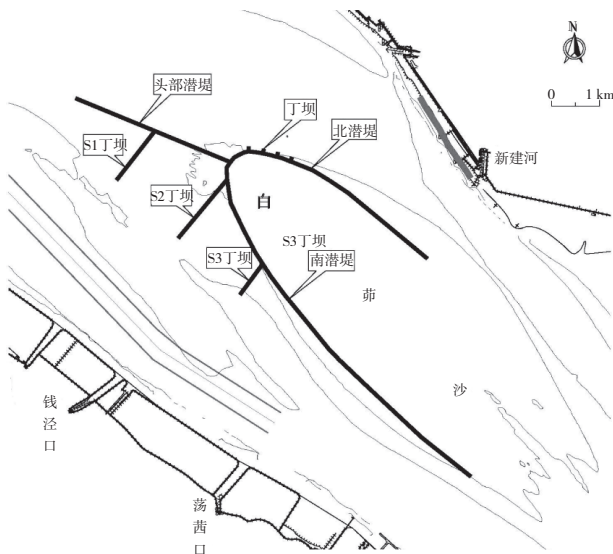


图1 白茆沙整治建筑物平面形态

2 模糊综合评价方法

模糊综合评价方法是运用模糊数学理论对方案的优劣程度进行多个因素评价的一种数学综合分析的方法, 对于难以定量计算的影响因素可通过对方案的隶属度和权重来进行比较分析。在建立对象集和因素集的基础上, 对定性指标进行量化, 并经归一化后确定出各因素对于方案的隶属度。分析出各因素的权重, 即影响程度后, 得到综合评价矩阵, 经运算后得出各方案的优劣排序, 得出最优方案。

3 模糊综合评价方法应用于结构选型

3.1 确定备选方案集

白茆沙整治工程水工建筑物功能主要为导流和固沙, 结合地质和水流特点分析, 初步选取结构形式如下:

1) 抛石堤: 在当地材料来源丰富的情况下价格相对低廉, 是已建长江航道整治工程运用比较成熟的坝体堤心, 可作为堤心材料的首选。

2) 块石护面砂芯堤: 当高水深区段较长时, 为减小抛石工程量, 可采用袋装砂堤心代替抛石堤心, 砂被式充填袋堤在断面构造上层次较多。

3) 模袋混凝土护面砂芯堤: 模袋混凝土护面代替大块石, 提高了堤身抗冲刷性能。

4) 削角王字块堤: 两侧为斜面加直面, 两端

的侧板在波浪力作用下, 波峰沿倾斜的侧面板越过堤顶, 使构件所承受的波浪压力较小。

5) 倒T型块堤: 设计创意来自河道整治建筑物中导堤与齿坝的整体布置形状, 其最大优势是不用配筋, 此构件适合于中等水深区。

6) 钢板桩堤: 堤身由钢板和砂构成, 堤身结构安全性好、耐久可靠。但造价较高, 水下施工复杂, 适合于水深较大, 水流条件恶劣地区。

7) 半圆体堤: 上部结构由预制半圆型拱圆和底板组成, 安放在抛石基础上, 两侧由抛石棱体锁定, 具有抗浪稳定性高、结构力学特性好、水平波力小等优点^[2]。

根据以上初选方案, 构成备选方案集如下:

$U = \{1 \text{ 抛石堤}, 2 \text{ 块石护面砂芯堤}, 3 \text{ 模袋混凝土护面砂芯堤}, 4 \text{ 削角王字块堤}, 5 \text{ 倒T型块堤}, 6 \text{ 钢板桩堤}, 7 \text{ 半圆体堤}\}$ (1)

3.2 确定评价因素集

影响整治建筑物选型的因素较多, 结合航道整治工程的特点, 本文选取影响较大的安全耐久性 (f_1)、整治效果 (f_2)、每延米堤身造价 (f_3)、施工难度 (f_4)、施工工期 (f_5)、对调整的适应性 (f_6) 共 6 个评价指标构成评价因素集:

$V = \{1 \text{ 安全耐久性}, 2 \text{ 整治效果}, 3 \text{ 每延米堤身造价}, 4 \text{ 施工难度}, 5 \text{ 施工工期}, 6 \text{ 对调整的适应性}\}$ (2)

3.3 建立评价指标体系

针对各方案的特点, 对各指标进行定性描述和定量计算, 见表 2。

3.4 确定隶属度

把定性指标量化得到 3 m 高和 6 m 高堤身各因素指标的特征值矩阵 T_{3m} 和 T_{6m} :

$$T_{3m} = \begin{pmatrix} 8 & 9 & 3.18 & 11 & 9 & 9 \\ 6 & 9 & 3.20 & 14 & 8 & 9 \\ 6 & 8 & 3.55 & 14 & 8 & 9 \\ 7 & 8 & 3.28 & 11 & 7 & 8 \\ 7 & 8 & 3.60 & 11 & 7 & 8 \\ 5 & 8 & 3.52 & 14 & 6 & 7 \\ 9 & 9 & 3.44 & 11 & 7 & 8 \end{pmatrix} \quad (3)$$

表2 评价指标

方案序号	结构方案	堤高/m	安全耐久性 f_1	整治效果 f_2	技术经济 $f_3/(万元 \cdot m^{-1})$	施工工期 $f_4/(月 \cdot 5 km^{-1})$	施工难度 f_5	调整适应性 f_6
A ₁	抛石堤	3	好	好	3.18	10	一般	好
		6	好	好	4.35	13	一般	好
A ₂	块石护面砂芯堤	3	一般	好	3.20	14	一般	较好
		6	一般	好	3.93	15	一般	较好
A ₃	模袋混凝土护面砂芯堤	3	一般	较好	3.55	14	较大	一般
		6	一般	较好	4.77	15	较大	一般
A ₄	削角王字块堤	3	较好	较好	3.28	10	较大	较差
		6	较好	较好	4.50	13	较大	较差
A ₅	倒T形块堤	3	一般	较好	3.60	10	较大	较差
		6	一般	较好	4.68	12	较大	较差
A ₆	钢板桩堤	3	较差	较好	3.52	14	大	差
		6	较差	较好	4.66	15	大	差
A ₇	半圆体堤	3	好	好	3.44	12	一般	较差
		6	好	好	4.56	13	一般	较差

$$T_{6m} = \begin{pmatrix} 8 & 9 & 4.56 & 13 & 9 & 9 \\ 6 & 9 & 3.93 & 15 & 8 & 9 \\ 6 & 8 & 4.77 & 15 & 8 & 9 \\ 7 & 8 & 4.50 & 13 & 8 & 8 \\ 7 & 8 & 4.68 & 13 & 8 & 8 \\ 5 & 8 & 4.66 & 15 & 7 & 7 \\ 9 & 9 & 4.35 & 12 & 8 & 8 \end{pmatrix} \quad (4)$$

利用隶属度函数式

$$r_{ij} = \begin{cases} 0 & x_{ij} \leq a \\ \frac{x_{ij} - a}{b - a} & a < x_{ij} < b \\ 1 & x_{ij} \geq b \end{cases} \quad (5)$$

$i=1, 2, \dots, m \quad j=1, 2, \dots, n$

得出各因素的评判矩阵 P_{3m} 和 P_{6m} 为

$$P_{3m} = \begin{pmatrix} 0.750 & 1.000 & 1.000 & 1.000 & 1.000 & 1.000 \\ 0.250 & 1.000 & 0.952 & 0.000 & 0.667 & 1.000 \\ 0.250 & 1.000 & 0.119 & 0.000 & 0.667 & 1.000 \\ 0.500 & 0.000 & 0.762 & 1.000 & 0.333 & 0.500 \\ 0.500 & 0.000 & 0.000 & 1.000 & 0.333 & 0.500 \\ 0.000 & 0.000 & 0.190 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 1.000 & 1.000 & 0.381 & 1.000 & 0.333 & 0.500 \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$P_{6m} = \begin{pmatrix} 0.750 & 1.000 & 0.250 & 0.667 & 1.000 & 1.000 \\ 0.250 & 1.000 & 1.000 & 0.000 & 0.500 & 1.000 \\ 0.250 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.500 & 1.000 \\ 0.500 & 0.000 & 0.321 & 0.667 & 0.500 & 0.500 \\ 0.500 & 0.000 & 0.107 & 0.667 & 0.500 & 0.500 \\ 0.000 & 0.000 & 0.131 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 1.000 & 1.000 & 0.500 & 1.000 & 0.500 & 0.500 \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$\text{依据 } a_i = \frac{k_i}{\sum_{i=1}^m k_i} \quad (8)$$

将各因素进行归一化处理, 得到 P_{3m}^0 和 P_{6m}^0 为

$$P_{3m}^0 = \begin{pmatrix} 0.231 & 0.333 & 0.294 & 0.250 & 0.300 & 0.222 \\ 0.077 & 0.333 & 0.280 & 0.000 & 0.200 & 0.222 \\ 0.077 & 0.000 & 0.035 & 0.000 & 0.200 & 0.222 \\ 0.154 & 0.000 & 0.224 & 0.250 & 0.100 & 0.111 \\ 0.154 & 0.000 & 0.000 & 0.250 & 0.100 & 0.111 \\ 0.000 & 0.000 & 0.056 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.308 & 0.333 & 0.112 & 0.250 & 0.100 & 0.111 \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$P_{6m}^0 = \begin{pmatrix} 0.231 & 0.333 & 0.108 & 0.222 & 0.286 & 0.222 \\ 0.077 & 0.333 & 0.433 & 0.000 & 0.143 & 0.222 \\ 0.077 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.143 & 0.222 \\ 0.154 & 0.000 & 0.139 & 0.222 & 0.143 & 0.111 \\ 0.154 & 0.000 & 0.046 & 0.222 & 0.143 & 0.111 \\ 0.000 & 0.000 & 0.057 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.308 & 0.333 & 0.216 & 0.333 & 0.143 & 0.111 \end{pmatrix} \quad (10)$$

3.5 确定权重矩阵

为降低评判的片面性影响, 采用强制打分法对因素的重要性进行两两比较, 分值范围为0~4分, 重要的打4分, 相对不重要的打0分, 计算结果见表3。

得到权重矩阵 $Q=\{0.246, 0.197, 0.213, 0.098, 0.131, 0.115\}$ 。

3.6 优选结果分析

将权重矩阵 Q 与归一化的评判矩阵 P_{3m}^0 和 P_{6m}^0 相乘, 得到评判结果矩阵 J_{3m} 和 J_{6m} 如下:

表3 指标权重

因素	安全耐久性 f_1	整治效果 f_2	技术经济 f_3	施工工期 f_4	施工难度 f_5	调整适应性 f_6	功能总分	功能权重
安全耐久性 f_1	0	2	2	4	3	4	15	0.246
整治效果 f_2	2	0	2	2	3	3	12	0.197
技术经济 f_3	2	2	0	4	2	3	13	0.213
施工工期 f_4	0	2	0	0	2	2	6	0.098
施工难度 f_5	2	1	2	2	0	1	8	0.131
调整适应性 f_6	0	1	1	2	3	0	7	0.115

$$J_{3m} = Q \times P_{3m}^0 = \begin{pmatrix} 0.246 \\ 0.197 \\ 0.213 \\ 0.098 \\ 0.131 \\ 0.115 \end{pmatrix}^T \times \begin{pmatrix} 0.231 & 0.333 & 0.294 & 0.250 & 0.300 & 0.222 \\ 0.077 & 0.333 & 0.280 & 0.000 & 0.200 & 0.222 \\ 0.077 & 0.000 & 0.035 & 0.000 & 0.200 & 0.222 \\ 0.154 & 0.000 & 0.224 & 0.250 & 0.100 & 0.111 \\ 0.154 & 0.000 & 0.000 & 0.250 & 0.100 & 0.111 \\ 0.000 & 0.000 & 0.056 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.308 & 0.333 & 0.112 & 0.250 & 0.100 & 0.111 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.274 \\ 0.196 \\ 0.078 \\ 0.136 \\ 0.088 \\ 0.012 \\ 0.216 \end{pmatrix}^T \begin{matrix} \textcircled{1} \\ \textcircled{3} \\ \textcircled{6} \\ \textcircled{4} \\ \textcircled{5} \\ \textcircled{7} \\ \textcircled{2} \end{matrix} \quad (11)$$

$$J_{6m} = Q \times P_{6m}^0 = \begin{pmatrix} 0.246 \\ 0.197 \\ 0.213 \\ 0.098 \\ 0.131 \\ 0.115 \end{pmatrix}^T \times \begin{pmatrix} 0.231 & 0.333 & 0.108 & 0.222 & 0.286 & 0.222 \\ 0.077 & 0.333 & 0.433 & 0.000 & 0.143 & 0.222 \\ 0.077 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.143 & 0.222 \\ 0.154 & 0.000 & 0.139 & 0.222 & 0.143 & 0.111 \\ 0.154 & 0.000 & 0.046 & 0.222 & 0.143 & 0.111 \\ 0.000 & 0.000 & 0.057 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.308 & 0.333 & 0.216 & 0.333 & 0.143 & 0.111 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.230 \\ 0.221 \\ 0.063 \\ 0.121 \\ 0.101 \\ 0.012 \\ 0.252 \end{pmatrix}^T \begin{matrix} \textcircled{2} \\ \textcircled{3} \\ \textcircled{6} \\ \textcircled{4} \\ \textcircled{5} \\ \textcircled{7} \\ \textcircled{1} \end{matrix} \quad (12)$$

根据最大隶属度原则, 最接近 1 值为最优方案。由计算结果排名得出, 3 m 高堤身最优方案为第 1 方案, 即抛石斜坡堤结构; 6 m 高堤身最优方案为第 7 方案, 即半圆体混合堤结构。

4 具体实施方案^[3]

根据上述结构选型结果, 堤身高度较小区段采用抛石堤, 堤身高度较大区段采用半圆体混合堤, 在头部潜堤、潜堤和丁坝的堤头段考虑水流冲刷强烈和后期调整提高的可能, 采用全抛石堤断面, 并放缓坡比。白茆沙整治建筑物结构典型

断面见图 2 和图 3。

5 结语

白茆沙水道整治工程已于 2012 年 9 月开工, 设计充分考虑整治建筑物选型的各种因素影响, 并采用模糊综合评价方法对结构方案进行筛选, 将耐久性、施工难度等定性指标用隶属度和权重来合理量化, 并细化至对于不同区段的适用性, 取得了良好效果, 说明了该方法应用于结构选型的科学性与客观性, 可为类似河段航道整治建筑物选型设计提供借鉴。

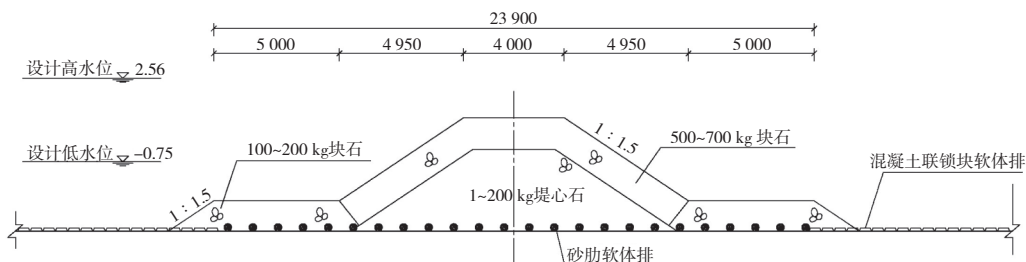


图2 抛石堤典型断面