

# 层次分析法在某工程生态护坡选型研究中的应用

柴先墩

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

**摘要:** 对于具体工程中生态护坡选型一直是主观性比较强的环节,对其最终选定型式的合理性往往有待商榷。以某工程为例,引入层次分析法,通过专家、业主单位对方案评价准则层、方案层价值矩阵进行赋值,并通过层次单排序、双排序及其一致性检验。应用结果表明:层次分析法计算结果稳定,应用效果较好。

**关键词:** 生态护坡;选型;层次分析法

**中图分类号:** TV861

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2021)09-0116-03

## 0 引言

作为生态环境建设的重要组成部分,生态型河道建设近些年在全国受到了高度重视,尤其是生态护岸<sup>[1]</sup>的理念在水利工程中得到了大力弘扬。为改善生态环境,提升城市水平,广州市南沙区政府实施了某河涌综合整治工程。整治河涌全长 5 524.3 m,河道须采用生态护坡。以往对于具体工程中生态护坡选型一直有主观性强、各因子权重不科学等问题。因此,此工程采用层次分析法对生态护坡选型进行研究,为生态护坡的选型提供依据。

## 1 层次分析法<sup>[2-4]</sup>

以深入分析问题为基础,将分析对象的因素建立起彼此相关因素的层次系统结构,可以清晰反映出相关因素(目标、准则、对象)的彼此关系,使决策者能够把复杂的问题进行逐一比较、判断,从中选择最优方案。运用层次分析法大体分成四个步骤:建立层次结构模型、构造比较判别矩阵、单准则下层次排序及其一致性检验、层次总排序及其一致性检验。

**步骤 1 建立层次结构模型<sup>[5]</sup>:**层次分析法先将决策的目标、评价准则和行动方案按它们之间的相互关系分为最高层、中间层和最低层,给出层次结构模型图,模型中目标、评价准则和行动方案处于不同层次,彼此之间关系用线段表示,评价准则可细分多层。典型层次结构模型如图 1 所示。

**步骤 2 构造判别矩阵:**对每一层级因素集  $A = \{A_1, A_2, A_3, \dots, A_n\}$ , 请有经验的专家按照 1~9 标

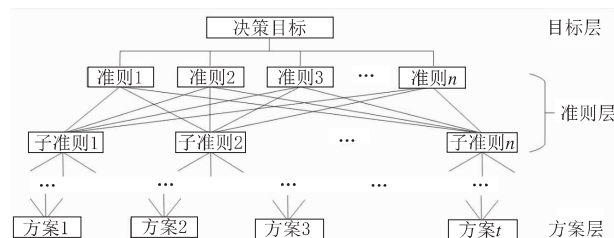


图 1 典型层次结构模型图

度法进行两两比较,构成判断矩阵  $a$ 。

$$a = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中,  $a_{ii}=1, a_{ij}>0, a_{ji}=1/a_{ij}, n$  为因素的个数。

**步骤 3 单准则下层次排序及其一致性检验:**单准则下层次排序及其一致性检验就是求解同一层次各要素对于其上一层次要素的相对重要性的排序权值,并对各判断矩阵的一致性进行检验。

将判断矩阵的列向量归一化,即:

$$\tilde{A}_{ij} = \left( \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \right)$$

将  $\tilde{A}_{ij}$  按行求和,即:

$$\tilde{W} = \left( \frac{\sum_{j=1}^n \tilde{A}_{1j}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{A}_{ij}}, \frac{\sum_{j=1}^n \tilde{A}_{2j}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{A}_{ij}}, \dots, \frac{\sum_{j=1}^n \tilde{A}_{nj}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{A}_{ij}} \right)^T$$

将  $\tilde{W}$  归一化后得:

$$W = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$$

$$\lambda = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{w_i}$$

式中:  $\lambda$  为  $A$  的最大特征值;  $\omega$  为归一化特征矩阵列向量。

**步骤 4 总排序一致性检验:**层次总排序就是从最

收稿日期: 2021-03-09

作者简介: 柴先墩(1989—), 男, 硕士, 工程师, 从事水利工程设计工作。

高层到最低层,逐层确定同一层次各要素对于最高层要素的排序权值,并检验各判断矩阵的一致性。计算方法与层次单排序及其一致性检验相同,只是将式中的层次 $\omega_k$ 替换为层次总排序权值 $\omega_k^*$ 。依此类推,直至最后一层指标为止。

步骤5 确定评价指标的权重值:最后一层要素的总排序权值计算结果,即可作为评价管理等实际问题的决策依据。

## 2 工程应用

### 2.1 项目概况

该工程为特色水上居住区的水系重构和景观建设,为更好的营造居住生活区奠定基础,建设河涌总长度5 524.3 m。

景观水位:4.70~5.30 m。

设计高水位:6.30 m。

规划河口宽度:50 m。

设计河底高程:1.90 m。

该工程河涌整治工程设计与生态、景观工程设计紧密结合,着重进行分区、分段设计。护岸满足河道的基本功能要求的同时,更注重对原有河道自然生态系统的保护,改善了河道水质,有效提升了滨水生态景观,并与城市生活有机融合,力图成为内水整治工程的典范。因此,护坡型式最终采用生态型护坡。

### 2.2 建设理念

(1)疏通水系,节点强化,实现防洪补强。

(2)结合周边环境特点,明确河段功能定位,制定河涌护岸设计方案。

(3)结合景观规划,丰富河道断面要素。

(4)结合沿河生态景观建设,打造贯通滨水廊道。

### 2.3 生态型护坡基本型式<sup>[6-7]</sup>

目前,国内生态型护坡主要以有以下几种型式:

(1)生态混凝土护坡

生态混凝土护坡以水泥、单粒级碎石、掺合料等为原料,制备出满足25%~30%孔隙率和强度要求的无砂大孔隙混凝土,在用复合改性营养材料进行处理后,在面层种植植物,植物在混凝土孔隙内发芽和生长。生态混凝土厚度为180 mm,强度等级为C15。该类型护坡表面可植草绿化,但绿化效果一般,且二次播种难度大(见图2)。

(2)格宾石笼护坡

格宾石笼护坡是在网片中填石构成的护坡结构。该类型护坡整体性好,可有效适应地基变形,抗冲



图2 生态混凝土护坡

刷能力较强,结构安全稳定。石笼钢丝通过特殊的防腐处理,强度高,耐腐蚀性强,结构使用寿命长。石块间隙内可长草,有效改善护岸绿化效果。配合新颖的金属网格及石块元素,大气现代,景观效果良好(见图3)。



图3 格宾石笼护坡

(3)生态袋护坡

生态袋护坡是通过生态袋三维排水联结扣把抗紫外线生态袋紧密联结,形成三角复合内摩擦紧锁的柔性护坡结构。该护坡有生态、环保、节能等特点。这种护坡结构对岸坡的坡度适应性能力较强,可用于较陡的边坡防护,绿化效果好,生态景观良好。但该型护坡施工维护期景观效果稍差,且工程投资偏高(见图4)。



图4 生态袋护坡

(4)三维水土保持毯护坡

三维水土保持毯护坡是新型柔性生态护坡结构,具有强度高(不低于2.0 kN/m)、耐老化等优点。三维水土保持毯铺设在土坡上,并通过一定间距布置的钢钉与土坡完全贴合,确保土体稳定。保护毯表面覆土,并在上部种植绿化植物,植物生长完全后根系会和保护毯缠绕在一起,可达到较好的抗冲刷效果(见图5)。

(5)塑筋水保抗冲椰垫护坡

塑筋水保抗冲椰垫是以椰丝纤维为原材料的一种柔性生态护坡结构。其采用简单实用的结构设计,具有透水、透气保水,植物根系便于穿过,强度高的



图5 三维水土保护毯护坡

优点。同时,它能够使边坡具有良好的抗冲能力,从而能够很好的防止土壤砂石流失,使设备具有良好的保护效果,能够有效的提高土壤渗透力、保土保肥。塑筋水保抗冲椰垫施工简便,施工周期短,施工技术不复杂,投资较省,具有较高的性价比(见图6)。



图6 塑筋水保抗冲椰垫

## 2.4 工程应用

### (1) 层次结构模型图

将 AHP 法应用于某工程生态护坡选型进行研究,首先建立层次结构模型,如下图7所示。

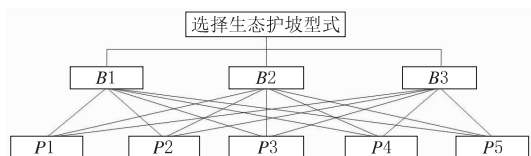


图7 生态护坡层次结构模型图

其中,B1为生态性;B2为经济性;B3为抗冲刷性;P1为生态混凝土护坡;P2为格宾石笼护坡;P3为生态袋护坡;P4为三维水土保护毯护坡;P5为塑筋水保抗冲椰垫护坡。

### (2) 构造比较判别矩阵

本工程属于内河涌,河涌为排涝、调蓄和景观型河道,河涌护坡以生态、经济性为主,抗冲刷性为辅,通过业主单位及专家打分对方案评价准则层、方案层价值矩阵进行赋值:

$$A-B: \begin{bmatrix} 1.0 & 5.0 & 7.0 \\ 0.2 & 1.0 & 3.0 \\ 1/7 & 1/3 & 1.0 \end{bmatrix}$$

$$B1-P: \begin{bmatrix} 1.0 & 1/3 & 1/4 & 1/5 & 1/4 \\ 3.0 & 1.0 & 1/2 & 1/4 & 1/3 \\ 4.0 & 2.0 & 1.0 & 1/2 & 1.0 \\ 5.0 & 4.0 & 2.0 & 1.0 & 2.0 \\ 4.0 & 3.0 & 1.0 & 1.2 & 1.0 \end{bmatrix}$$

$$B2-P: \begin{bmatrix} 1.0 & 5.0 & 1/3 & 1/7 & 1/15 \\ 1/5 & 1.0 & 1/9 & 1/14 & 1/19 \\ 3.0 & 9.0 & 1.0 & 1/5 & 1/17 \\ 7.0 & 14.0 & 5.0 & 1.0 & 1/7 \\ 15.0 & 19.0 & 17.0 & 7.0 & 1.0 \end{bmatrix}$$

$$B3-P: \begin{bmatrix} 1.0 & 2.0 & 5.0 & 7.0 & 9.0 \\ 1/2 & 1.0 & 3.0 & 6.0 & 8.0 \\ 1/5 & 1/3 & 1.0 & 7.0 & 9.0 \\ 1/7 & 1/6 & 1/7 & 1.0 & 3.0 \\ 1/9 & 1/8 & 1/9 & 1/3 & 1.0 \end{bmatrix}$$

### (3) 层次单排序、总排序及其一致性检验

表1 生态护坡选型计算结果表

| 矩阵   | 层次单排序的权重向量                              | $\lambda_{\max}$ | CI    | RI   | CR    |
|------|-----------------------------------------|------------------|-------|------|-------|
| A-B  | $(0.723, 0.193, 0.083)^T$               | 3.066            | 0.030 | 0.58 | 0.052 |
| B1-P | $(0.056, 0.111, 0.212, 0.389, 0.232)^T$ | 5.10             | 0.025 | 1.12 | 0.022 |
| B2-P | $(0.045, 0.016, 0.083, 0.200, 0.656)^T$ | 5.07             | 0.018 | 1.12 | 0.016 |
| B3-P | $(0.446, 0.281, 0.186, 0.056, 0.030)^T$ | 5.48             | 0.120 | 1.12 | 0.107 |

依表1中的数据,通过进一步计算可得 $CR^{(3)} = 0.076 < 0.1$ ,因此,四个层次单排序CR的值及总排序一致性检验均满足要求。第三层(P层)相对于总目标的排序向量为:

$$W = (P_1^{(3)} P_2^{(3)} P_3^{(3)}) W^{(2)}$$

$$= \begin{bmatrix} 0.056 & 0.048 & 0.446 \\ 0.111 & 0.021 & 0.723 \\ 0.212 & 0.078 & 0.193 \\ 0.389 & 0.181 & 0.083 \\ 0.232 & 0.672 & 0.030 \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0.723 \\ 0.193 \\ 0.083 \end{pmatrix}$$

$$= (0.087, 0.108, 0.184, 0.321, 0.300)^T$$

式中:W为准则层矩阵归一化特征列向量。

### (4) 结论

对生态护坡的选型这一总目标,所考虑五种方案的相对优先排序为:

- P4(三维水土保护毯护坡),权重为0.321;
- P5(塑筋水保抗冲椰垫护坡),权重为0.300;
- P3(生态袋护坡),权重为0.184;
- P2(格宾石笼护坡),权重为0.108;
- P1(生态混凝土护坡),权重为0.087。

综上,本工程生态护坡型式选用三维水土保护毯护坡。

## 3 结 语

(1)在生态护坡的选型中引入层次分析法,用以解决工程中生态护坡设计选型,能提高生态护坡在

(下转第142页)

150 kPa 时,铝合金人行天桥扩大基础短边尺寸基本可以控制在 3.0 m 以内;重量在 30 t 以下,天桥扩大基础基本可以通过公路运输到现场进行安装。

因此,对铝合金人行天桥采用扩大基础方案时的快速化施工方案如下:

(1)根据地质条件选择适当的持力层。当持力层地基承载力  $f_{a0}$  太小导致基础尺寸过大时,通过合适的地基处理、加固措施提高承载力。

(2)预制场预制扩大基础并预埋法兰盘和螺栓。

(3)基坑开挖、基础运输至现场并吊装。

(4)预制并运输钢立柱。

(5)基础和立柱通过螺栓连接并回填基坑。

完成以上步骤即可施工上部结构,相比现浇扩大基础,可大大节省现场施工时间。钢立柱与预制扩大基础连接示意如图 6 所示。

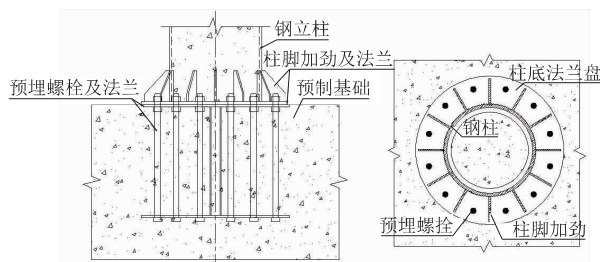


图 6 钢立柱与预制扩大基础连接示意

上述施工方案中制约现场施工工期的主要是地基处理的工期,本文推荐采用下述较为快速的地基处理方法。

地基处理的基本方法一般有置换、夯实、挤密、排水、胶结、加筋等。一般来说,换土垫层法操作简单,成本较低,速度快,适用性强,可作为扩大基础软弱地基处理的首选方案。但其只适合处理 3 m 范围内

的换土垫层,换土厚度越大,造价成本越高,也不适合处理地下水位高、渗透性强的地基。因此,当基础底部软弱土层层底埋深较浅时( $<4$  m),推荐采用换填法进行地基处理。

当软弱土层层底埋深较深时(4~8 m),推荐采用预制桩进行加固。预制桩桩体采用边长 150~300 mm 的钢筋混凝土方桩,现场直接打入至持力层,然后铺设褥垫层。此方法操作简单、速度较快、适用性较强。而对于软弱土层层底埋深过深时,不推荐采用扩大基础。

## 4 结 语

本文结合铝合金人行天桥的特点,按两种跨径的桁架式铝合金人行天桥分别计算出下部基础的大致尺寸,并分别提出了采用桩基础和扩大基础对应的快速化施工方案。相比传统现浇桩基础/扩大基础方案,可大大缩短现场施工的工期。对于 PC 桩与立柱的连接提出了三种连接构造,对于扩大基础地基处理推荐了较为快速的处理方案,可为铝合金人行天桥下部基础快速化施工提供参考。

### 参考文献:

- [1] 孙旭霞,肖佳明,郑本辉.桁架式铝合金人行天桥的应用与发展概述[J].城市道桥与防洪,2020,259(11):76-78.
- [2] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [3] JTG 3363—2019,公路桥涵地基与基础设计规范[S].
- [4] 蒋勤俭,王晓峰,钟志强,等.2012年预制混凝土行业发展报告[J].混凝土世界,2013(3):49-53.
- [5] GB 13476—2009,先张法预应力混凝土管桩[S].
- [6] JGJ/T 406—2017,预应力混凝土管桩技术标准[S].
- [7] 10G409,预应力混凝土管桩[S].

(上接第 118 页)

具体工程中选型的科学性,减少由设计人员主观性带来的局限,提高决策的合理性。

(2)实例应用表明,该算法计算方便,结果稳定,在生态护坡的选型中具有可行性和适用性。

### 参考文献:

- [1] 王思腾,唐慧雅.关于生态河道堤防护岸工程的设计[J].工程建设与设计,2020(11):113-115.
- [2] 吴君民,贾卉.基于层次分析法的智能垃圾分类回收效益影响因素研究[J].价值工程,2020,39(1):85-89.

- [3] 张臻,王龙昌,杨松,等.基于 AHP 法的四川省水资源可持续利用综合评价[J].干旱地区农业研究,2009,27(4):213-218.
- [4] 蔡楠,杨扬,方建德,等.基于层次分析法的城市河流生态修复评估[J].长江流域资源与环境,2010,27(4):213-218.
- [5] 范道津.现代咨询方法与实务[M].中国计划出版社,2009.
- [6] 梁慷,曹欣,王红霞.常见生态护坡形式及特点[J].基建管理优化,2016(28):31.
- [7] 束明方.生态护坡在水利工程中的设计形式[J].建筑建材装饰,2018,(1):194.