

软硬岩互层边坡治理优化研究

刘金洋 许策 黄威
(武汉理工大学土木工程与建筑学院,湖北武汉 430070)

【摘要】 针对软硬互层边坡治理方案优化中存在方案偏好与客观信息问题,基于余弦决策原理,建立了软硬互层边坡治理方案优化余弦决策方法。该方法首先将评价指标划分5级,指标权重依据其级别来确定。然后根据余弦公式,计算待评价方案指标线段与理想方案指标线段之间夹角余弦值,建立软硬互层边坡治理方案优化模型。并将所建优化模型应用于彭家湾边坡治理方案优化,得到了最优治理方案,为其治理设计与施工决策提供依据。

【关键词】 软硬岩互层边坡;治理方案;优化;余弦决策法

【中图分类号】 P 642. 131

【文献标识码】 A

doi:10. 3969/j. issn. 1007-2993. 2019. 01. 003

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research on Optimization of Treatment of Slopes With Interbreeding of Soft and Hard Rocks

Liu Jinyang Xu Ce Huang Wei

(School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, Hubei, China)

【Abstract】 In view of optimization of treatment of slopes with interbreeding of soft and hard rocks, there are problems of scheme preference and objective information. And based on cosine decision principle, the cosine decision method has been established for optimization of slopes treatment scheme with interbreeding of soft and hard rocks. First of all, this method divides the evaluation index into 5 levels, and the weight of index is determined according to its level. And then according to the cosine formula, calculated the cosine of the angle between the index line of evaluation scheme and ideal target line segment, and building a model of optimization of treatment of slopes with interbreeding of soft and hard rocks. The model is applied to the optimization of Pengjiawan slope control scheme and the optimal treatment scheme is obtained, thus it provides the basis for its treatment design and construction decisions.

【Key words】 slopes with interbreeding of soft and hard rocks; treatment scheme; optimization; cosine decision principle

0 引言

由于岩性差异,软硬互层边坡比较常见。随着我国西部大开发的步伐加快,各种建设项目陆续上马,软硬岩互层型边坡地质灾害对国家建设和人民的生命财产安全构成了严重威胁^[1-4]。如三峡工程库区移民迁建工程在建设过程中形成了大量的软硬岩互层型高陡边坡,边坡失稳事故时有发生,严重威胁周边人民群众生命财产的安全。因此,研究软硬岩互层边坡破坏规律及其治理,不仅是工程建设的迫切需要,而且具有十分重要的科学意义^[5-8]。

目前多属性决策问题的研究取得了很多研究成果,并获得了广泛的应用^[9-12]。软硬互层边坡治理

方案优化也属于多属性决策问题。为此,基于余弦决策原理,建立软硬互层边坡治理方案优化余弦决策方法。该方法依据评价指标分级来确定其权重,降低指标权重主观性,由待评价方案指标线段与理想方案指标线段之间夹角余弦值大小比较建立软硬互层边坡治理方案优化决策模型。

1 软硬互层边坡治理优化余弦决策法

1.1 标准化决策矩阵建立

假定软硬互层边坡治理待选方案有 n 个。令 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ 为待选治理方案集;评价治理方案好坏的指标 $G = \{G_1, G_2, \dots, G_m\}$ 。 $Y = (y_{ij})_{n \times m}$ 为治理方案集 A_i 关于评价指标集 G_j 的决策

矩阵, $y_{ij} = f_i(x_j) (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m)$ 为治理方案 A_i 对评价指标 G_j 的属性值。

软硬互层边坡治理方案评价指标可分为效益型指标、成本型指标和适中型指标三类, 为了使这三类指标间具有可比较性, 对矩阵 Y 进行如下标准化处理:

1) 对于效益型评价指标 G_j , 令

$$r_{ij} = \frac{y_{ij} - \min y_{ij}}{\max y_{ij} - \min y_{ij}} \quad 1 \leq i \leq n \quad (1)$$

2) 对于成本型评价指标 G_j , 令

$$r_{ij} = \frac{\max y_{ij} - y_{ij}}{\max y_{ij} - \min y_{ij}} \quad 1 \leq i \leq n \quad (2)$$

3) 对于适中型评价指标 G_j , 令

$$r_{ij} = \frac{\max |y_{ij} - y^*| - |y_{ij} - y^*|}{\max |y_{ij} - y^*|} \quad 1 \leq i \leq n \quad (3)$$

式中, y^* 代表满意值, $i=1, 2, \dots, n$ 。

决策矩阵 Y 经处理后的标准矩阵记为 $R = (r_{ij})_{n \times m}$ 。

1.2 确定评价指标权重

因为治理方案的每个评价指标在方案优化中发挥不同作用, 所以可依据各个评价指标对方案优化的重要程度, 将全部评价指标分为 5 级, 见表 1。

表 1 治理方案评价指标分级表

	等级				
	一级	二级	三级	四级	五级
属性	特别重要	极重要	较重要	重要	一般
取值	(0.9, 1.0)	(0.8, 0.9)	(0.7, 0.8)	(0.6, 0.7)	(0.5, 0.6)

在具体的软硬互层边坡治理方案优化中, 根据工程实际特点就可确定不同评价指标级别, 依据表 1 可得到评价指标 $G_j (j=1, 2, \dots, m)$ 的初始权重值 z_j 。采用模糊数学理论把它模糊处理为 $w_j = (z_j - a)/(b - a)$ (通常 $a=0.5, b=1.0$) 并归一化处理为

$$\bar{w}_j = w_j / \left[\sum_{i=1}^m w_i \right] \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

则每个评价指标权重 $\bar{w} = (\bar{w}_1, \bar{w}_2, \dots, \bar{w}_m)$, 且

$$\sum_{i=1}^m \bar{w}_i = 1。$$

1.3 治理方案优化模型

1) 基本原理

定义 I: 评价指标线段是指在 xoy 坐标系中, 以 o 为始点, 以治理方案 A_i 在评价指标 G_j 下的值 r_{ij} 为终点 a_{ij} 所形成的有向线段 oa_{ij} , 如图 1 所示。

定义 II: 理想评价指标线段是指在 xoy 坐标系

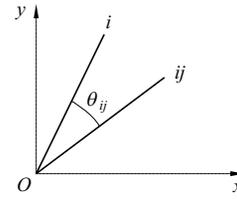


图 1 评价指标线段与锐夹角

中, 以 o 为始点, 以理想治理方案 A^* 在评价指标值 g_j 为终点 a_i 所形成的有向线段 oa_i , 如图 1 所示。

定义 III: 评价指标线段夹角是在 xoy 坐标系中, 理想评价指标线段与评价指标线段之间的锐夹角 θ_j , 如图 1 所示。

定义 IV: 假定集合 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$, 则其规范值为

$$\|A\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n a_i^2} \quad (5)$$

定义 V: 治理方案 $A_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$ 在评价指标 G_j 下的评价指标线段 oa_{ij} 与理想治理方案 $A^* = (g_1, g_2, \dots, g_m)$ 的评价指标值 g_j 的理想评价指标线段 oa_j 的夹角余弦值为

$$c_{ij} = \cos \theta_{ij} = \frac{r_{ij} g_j}{\|A_i\| \cdot \|A^*\|} = \frac{r_{ij} g_j}{\sqrt{\sum_{j=1}^m r_{ij}^2} \sqrt{\sum_{j=1}^m g_j^2}} \quad (6)$$

2) 治理方案优化模型

依据治理方案优选的相对性, 可以定义理想治理方案 $A^* = (g_1, g_2, \dots, g_m)$, 其中 $g_j = \max_{1 \leq i \leq n} r_{ij} (i=1, 2, \dots, n)$; 治理方案 $A_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im}), i=1, 2, \dots, n$ 。设 (a_1, a_2, \dots, a_m) 和 $(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im})$ 分别为 A^* 和 A_i 在 xoy 坐标系中所对应的点, 那么理想评价指标线段的集合为 $\{oa_1, oa_2, \dots, oa_m\}$, 待评价指标线段集合为 $\{oa_{i1}, oa_{i2}, \dots, oa_{im}\}$ 。理想评价指标线段 oa_j 与待评价指标线段 oa_{ij} 的锐夹角为 θ_j 。则可得到待评治理方案 A_i 与理想治理方案 A^* 之间的加权余弦值为

$$D_i = \bar{w}_1 \cos \theta_{i1} + \bar{w}_2 \cos \theta_{i2} + \dots + \bar{w}_m \cos \theta_{im} \quad (7)$$

因为 $0 \leq \cos \theta_{ij} = c_{ij} \leq 1$, 且 c_{ij} 是 θ_{ij} 的反函数, 因此, c_{ij} 越大代表待评治理方案 A_i 在评价指标 G_j 下的值 r_{ij} 与理想治理方案 A^* 的评价指标值 g_j 越靠近。所以, D_i 越大代表待评治理方案 A_i 越接近理想治理方案 A^* , 即是待评治理方案 A_i 越优。那么最优治理方案 A_i 的余弦优化决策模型可表达为

$$\max D_j = \max_{1 \leq i \leq n} \left[\sum_{j=1}^m \bar{w}_j \cos \theta_{ij} \right] \quad \sum_{j=1}^m \bar{w}_j = 1 \quad (8)$$

2 工程应用

2.1 工程概况

彭家湾边坡体位于兴山县高岭镇太阳岭村境内,宜巴高速公路凉台河大桥西段和王家屋场大桥及部分路基从该边坡体前缘通过。边坡呈喇叭形,后缘宽 400 m、中部宽 750 m、前缘宽 1350 m,滑动方向 45°,纵长 1400 m。由上覆崩坡堆积体和下伏侏罗系下统沙溪庙组(J₂x)灰色、紫红色软硬相间的不等厚的互层状长石石英砂岩、泥岩组成,岩层倾角约 16°,岩层产状与坡面构成近水平状层状结构边坡。彭家湾边坡属于侏罗系砂岩、粉砂岩、泥岩互层的软硬岩互层型边坡(见图 2)。在天然状态下,该边坡由于岩层倾角小于层面内摩擦角且具有后缘张裂隙,边坡在坡脚开挖后仍能保持稳定状态,但在降雨条件下往往引起边坡的滑移破坏,造成大规模的地质灾害。

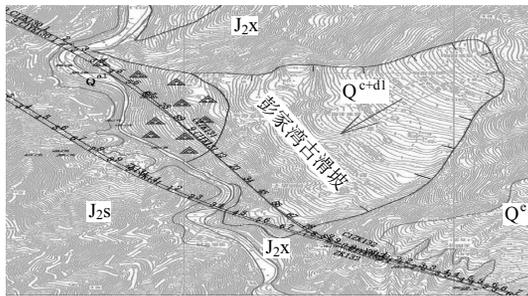


图 2 彭家湾边坡地质地形图

2.2 边坡治理方案集

根据彭家湾边坡的工程地质条件、岩体结构、坡体结构特征和边坡的变形破坏机制等,在咨询多个专家和管理部门基础上,初步拟定彭家湾边坡治理方案有五个:锚索+挡墙+截排水(A₁),格构+挡墙+截排水(A₂),抗滑桩+锚索+截排水(A₃),抗滑桩+挡墙+截排水(A₄),格构+锚索+截排水(A₅)。

2.3 治理优化决策分析

对彭家湾边坡治理方案的选择,作为投资方,则希望治理费用越少的方案越好;作为工程技术专家,通常倾向选择自己偏好的治理方案。为了对彭家湾边坡治理方案作出科学合理的选择,这里选取 6 项评价指标(属性):投资(G₁)、治理效果(G₂)、施工可行性(G₃)、工程有效期(G₄)、工程对环境影响(G₅)和工程风险(G₆)。采用专家打分并进行归一化处

理后,每个治理方案在各指标下的具体属性值见表 2。

表 2 每个方案在各指标下的具体属性值

指标	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
G ₁	0.93	0.92	0.87	0.93	0.97
G ₂	0.90	0.89	0.92	0.97	0.91
G ₃	0.88	0.94	0.95	0.92	0.94
G ₄	0.87	0.91	0.89	0.95	0.85
G ₅	0.93	0.86	0.92	0.90	0.92
G ₆	0.89	0.94	0.93	0.92	0.96

根据表 2 可建立经处理后标准化决策矩阵 R 为

$$R = \begin{bmatrix} 0 & 0.31 & 0 & 1 & 0.25 & 1 \\ 1 & 0.84 & 0.70 & 0.75 & 0.50 & 0.33 \\ 0.33 & 0 & 1 & 0.25 & 1 & 0.60 \\ 0.67 & 0.51 & 0.30 & 0.51 & 0 & 0 \\ 0.67 & 1 & 0.82 & 0 & 0.75 & 0.33 \end{bmatrix}$$

根据表 1 可得各评价指标的权重见表 3。

表 3 各评价指标权重值

	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅
等级	二级	三级	三级	三级	二级
z _j	0.85	0.71	0.73	0.78	0.86
w _j	0.7	0.42	0.46	0.56	0.72
\bar{w}_j	0.21	0.12	0.14	0.17	0.21

令理想方案 A*=(1,1,1,1,1,1),则每个待评治理方案的评价指标线段与理想治理方案的评价指标线段的夹角余弦值见表 4。

表 4 指标线段的夹角余弦值

方案	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅
1	0.325	0.087	0	0.298	0
2	0.145	0	0.233	0.074	0.096
3	0.106	0.285	0.191	0	0.193
4	0.109	0.238	0.163	0.222	0.289
5	0	0.145	0.067	0.150	0.193

由表 4 可知

$$D_1 = \sum_{j=1}^6 \bar{w}_j \cos \theta_{1j} = \sum_{j=1}^6 \bar{w}_j c_{1j} = 0.140, \text{同理可得: } D_2 = 0.151, D_3 = 0.157, D_4 = 0.195, D_5 = 0.093.$$

由此可知 D₄>D₃>D₂>D₁>D₅,即彭家湾边坡治理方案优劣排序为 A₄>A₃>A₂>A₁>A₅,所

以,彭家湾边坡治理方案采用抗滑桩+挡墙+截排水综合治理方案最优。该治理工程已实施,运行期的监测数据反映彭家湾边坡治理后变形很小,治理效果良好。

3 结论

软硬互层边坡治理方案优化属于多属性决策问题。基于余弦决策原理,建立软硬互层边坡治理方案优化余弦决策方法,并将该方法应用于彭家湾边坡治理方案优化,获得了较好效果。本文所建立的软硬互层边坡治理方案优化模型不仅减少了主观性,而且克服了治理方案优化模型计算复杂性,具有计算简单和运用方便等特点,有较大的实用价值。

参 考 文 献

- [1] 董金玉,杨继红,伍法权,等. 三峡库区软硬互层近水平地层高切坡崩塌研究[J]. 岩土力学,2010,31(1): 151-157.
- [2] 魏玉峰,聂德新,吕生弟,等. 溃屈软硬相间顺层斜坡滑移-弯曲破坏机制分析的[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2009,36(3): 287-291.
- [3] 陈小婷,黄波林,刘广宁,等. 三峡库区平缓层状软硬相间斜坡变形模式变化分析[J]. 地质灾害与环境保护,2009,20(2):57-61.
- [4] 吉随旺,张倬元,王凌云,等. 近水平软硬互层斜坡变

形破坏机制[J]. 中国地质灾害与防治学报,2000,11(9):49-52.

- [5] 谢全敏,王红彬. 边坡治理群决策的二维足码定位法研究[J]. 岩土力学,2009,30(2):429-432.
- [6] 谢全敏,丁保艳. 基于案例的边坡治理方案选择决策支持系统研究[J]. 岩土力学,2008,29(5): 1351-1355.
- [7] 谢全敏,夏元友. 滑坡灾害治理方案的多属性决策方法研究[J]. 岩土工程学报,2004,26(5): 623-626.
- [8] Quanmin Xie, Yuan-you Xia. A multi-objective decision-making method for the treatment scheme of landslide hazard[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing,2004,11(2): 101-105.
- [9] 刘家学. 带有方案偏好信息的多指标决策法[J]. 系统工程与电子技术,1999,21(1):4-7.
- [10] 王应明. 多指标决策与评价新方法—投影法[J]. 系统工程与电子技术,1999,21(3):1-3.
- [11] 曾 玲. 给出方案偏好值的模糊多属性决策方法[J]. 桂林电子工业学院学报,2005,25(1):55-58.
- [12] 徐泽水,赵 华. 偏好信息为模糊互反判断矩阵的模糊多属性决策法[J]. 模糊系统与数学,2004,18(4): 115-121.

收稿日期:2018-07-25

(上接第5页)

4 结论

我国海岸线长,滩涂面积广,水陆两栖勘察平台的研发,可有效解决这一区域岩土工程勘探取样和各类岩土测试;本发明也可满足于江、河、湖、塘、水域及砂质海岸、泥质海岸、河口潮间带区域勘察,用途广泛。

1)行走模块,将陆域勘察从平原扩展至近海滩涂及软弱土层带区域。

2)调平模块,解决了斜坡或崎岖处勘察造成钻孔倾斜的难题。

3)推进模块,平台具有自航能力,无需辅助船舶拖航,提升作业效率,降低勘察成本。

4)升降模块,形成一个海上固定勘察平台,使现有的岩土测试依托本发明而延伸至海域。

5)平台模块独立设计,按需组装,便于运输,克服了滩涂区勘察筑路、围堤、建造平台的难题,最有效地保护海岸生态环境。

上述针对海岸滩涂勘察开发的一种两栖平台,为今后我国水运勘察装备一体化研究提供了有益参考。

参 考 文 献

- [1] 常士骠,张苏民. 工程地质手册(第四版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [2] 胡建平. 近海工程船载式勘探平台系统创新与应用[J]. 中国港湾建设,2014(4):1-5.
- [3] 胡建平,李孝杰. 大型邮轮码头勘察新技术的应用[J]. 工程勘察,2017,45(5):22-27.
- [4] 代卫强,程新生,李银海,等. 一种潮间带双栖钻探平台装置:中国,ZL201520038041.X[P]. 2015-06-24.
- [5] GB 50021—2001 岩土工程勘察规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [6] 王学军,王万众. 浮箱式水上勘探作业平台:中国,ZL201410688376.6[P]. 2015-03-04.
- [7] 邱道宏. 滩涂静力触探履带式载体机械结构研究[D]. 长春:吉林大学,2005.
- [8] 杨宏忠. 江苏海岸滩涂资源可持续开发的战略选择[D]. 北京:中国地质大学(北京),2012.

收稿日期:2018-08-24