

文章编号:1674-2869(2010)01-0012-04

# 层次分析法在大冶高陡边坡危险性 分析中的应用

吴燕玲<sup>1,2</sup>, 曾凯波<sup>2</sup>, 周麟<sup>2</sup>, 李先福<sup>2\*</sup>

(1. 中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074;  
2. 武汉工程大学环境与城市建设学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:**大冶铁矿申报为首批国家矿山公园,为了保证游客和采矿人员与设备的安全,合理分析和评价高陡边坡的危险性具有很重要的意义.在野外研究的基础上,根据岩体结构、地质构造等特征,将大冶铁矿东露天采场高陡边坡分为 8 个区,分析出影响东露天采场高陡边坡的稳定性因素主要有岩土类型和性质、岩体结构及地质构造、地形地貌、水、诱发因素等.利用层次分析法建立的递阶层次结构,采用专家打分平均法对每个影响因子给予主观定量赋值,通过公式计算,可以得出每个区的相对危险性程度.分析结果表明 VI 区是最不稳定区; I 区和 III 区是不稳定区, V 区和 VII 区是欠稳定区.

**关键词:**层次分析法;大冶铁矿;高陡边坡;危险性分析

中图分类号:X43 文献标识码:A doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2010.01.005

## 0 引言

位于环太平洋构造活动带内的大冶铁矿是我国著名的接触交代型铁矿床,其东露天采场由象鼻山、狮子山、尖山三个矿段组成.目前大冶铁矿申报为首批国家矿山公园,由于地表资源已枯竭而转入地下开采,对边坡岩体形成了新的扰动,加速了高陡边坡的变形破坏.因此,如何安全有效地分析、评价边坡的稳定性,对于国家矿山公园采取合理措施保证游客和采矿人员与设备的安全具有重要的意义.

常见的边坡稳定分析理论主要有极限平衡理论、塑性极限分析、有限单元法、模糊综合评价方法、灰色聚类评价方法、可靠度评价方法以及神经网络评价方法等,然而这些评价方法都存在着一定的缺陷和局限性,要么算法过于复杂,可操作性不强,要么考虑的因素太少,计算误差较大<sup>[1]</sup>.由于常用的评价方法都存在着一定的缺陷和局限性,而层次分析法可以将复杂的指标进行分级分类,建立了简单的层次分析图,使较多影响边坡稳定性的因素真实地参与评判,不仅简化了计算,还解决了由于指标过多而难于确定各指标权重的问题<sup>[2]</sup>.

## 1 层次分析法

层次分析法 (Analytical hierarchy process, 简

称 AHP) 是一种定性分析与定量分析相结合的多目标决策分析方法.对于结构复杂的多准则、多目标决策问题,是一种有效的决策分析工具.其主要特点是通过建立递阶层次结构,把人们的判断转化为若干因素两两之间重要度的比较,从而把难于量化的定性判断转化为可操作的重要度的比较上面.在许多情况下,决策者可以直接使用 AHP 进行决策,极大地提高了决策的有效性、可靠性和可行性,但其本质是一种思维方式,它把复杂问题分解成多个组成因素,又将这些因素按支配关系分别形成递阶层次结构,通过两两比较的方法确定决策方案相对重要度的总的排序.整个过程体现了人决策思维的基本特征,即分解、判断、综合,克服了其它方法回避决策者主观判断的缺点<sup>[3-5]</sup>.

## 2 层次分析法在大冶铁矿边坡危险性分析的应用

### 2.1 东露天采场工程地质分区

由于东露天采场的地质情况复杂,根据大冶铁矿东露天采场不同地段的岩体结构、地质构造等特征可以由西向东分为 8 个区(见图 1).8 个区的工程地质条件如表 1.

收稿日期:2009-10-15

基金项目:国家自然科学基金项目(50874080)

作者简介:吴燕玲(1976-),女,湖北武汉人,讲师,博士研究生,研究方向:地质灾害防治.\*通信联系人.

表 1 大冶铁矿东露天采分区工程地质条件

Table 1 Partion engineering geological condition in easten open pit of Daye iron mine

工程地质分区	位置	边坡要素			岩性	岩体结构类型	变形破坏方式
		长度/m	坡高/m	角度/(°)			
I 区	象鼻山西帮,南侧与大理岩侵入接触,东侧与碎裂结构滑坡群接触	200	约 250	50	花岗闪长岩	三组节理切割成块状结构	地裂缝、小崩塌
II 区	位于象鼻山北帮	200	约 150	45	花岗闪长岩	碎裂结构, F <sub>25</sub> 断层带为散体结构	滑坡群
III 区	象鼻山北帮,西与 II 区滑坡群相接,东与滑坡体接壤	250	约 160	45	花岗闪长岩	块状结构,断层带为层状碎裂结构	小崩塌
IV 区	狮子山北帮 F <sub>8</sub> 断裂带西侧	50	约 210	39	花岗闪长岩	碎裂结构	地裂缝、滑坡群
V 区	狮子山北帮 F <sub>8</sub> 东与区域性节理 J <sub>2</sub> 之间	300	约 260	45	花岗闪长岩	块状结构,断裂带为碎裂结构	地面塌陷、崩塌
VI 区	狮子山北帮 F <sub>9</sub> 的上盘	120	约 390	44	花岗闪长岩	碎裂结构, F <sub>9</sub> 断层带散体结构	滑坡、崩塌
VII 区	F <sub>9</sub> 断裂东侧	250	43		花岗闪长岩	块状结构,断层带碎裂结构	断层带小崩落
VIII 区	采场的南帮			43	大理岩	块状结构	小崩落

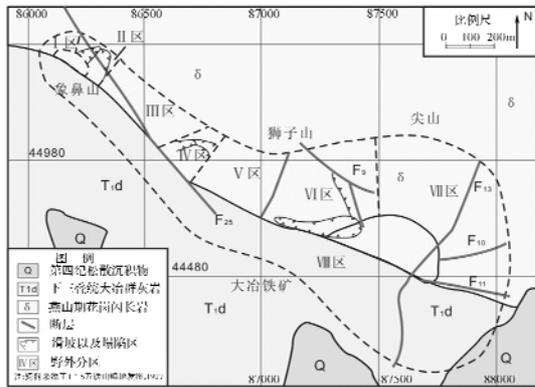


图 1 大冶铁矿东露天采场工程地质分区图<sup>[6]</sup>

Fig. 1 Geology engnccring partion map in easten open pit of Daye iron mine

2.2 影响边坡危险性因素

影响边坡危险性的因素很多,考虑所有的因素显然不切实际,指标过多会导致计算量太大,指标太少又容易造成较大误差,通过前面对大冶铁矿东露天采场进行分区研究,研究的不同分区工程地质条件,研究斜坡形成的地质历史和所处的自然地理位置及地质环境、斜坡的地貌和地质结构、发展演化阶段及变形破坏行迹,来分析主要的和次要的影响因素,可以总结出影响东露天采场的稳定性因素主要有岩土类型和性质、岩体结构及地质构造、地形地貌、水、诱发因素等。

2.3 建立递阶层次结构模型

2.3.1 建立递阶层次结构模型 利用层次分析法,将影响高陡边坡稳定性的因素分为一级指标、二级指标、基础指标。一级指标主要为:环境因素和触发因素环境因素的二级指标为地形地貌、地质构造、岩体质量、松散堆积物、植被、不良地质

现象,触发因素的二级指标地下开采;每一个二级指标下面都有基础指标。

每一级指标的权重是根据影响边坡危险性的程度及综合每个专家打分取平均值得出的<sup>[7-8]</sup>。大冶铁矿东露天采场高陡边坡危险性评价层次分析法的指标体系如表 2。

表 2 大冶铁矿东露天采场高陡边坡危险性评价指标体系<sup>[3]</sup>

Table 2 High steep slop risk evaluate index system in Daye open pit iron mine

一级指标 (A)	二级指标 (B)	基础指标	状态	变量	
环境因素 (0.8)	地形地貌 (B <sub>1</sub> ) (0.1)	坡度 (0.1)	>35° (0.8)	X <sub>1</sub>	
			<35° (0.2)	X <sub>2</sub>	
	地质构造 (B <sub>2</sub> ) (0.3)	断层 (0.4)		延续性强 (0.7)	X <sub>3</sub>
				延续性弱 (0.3)	X <sub>4</sub>
		节理 (0.6)		顺向 (0.6)	X <sub>5</sub>
				陡 (0.3)	X <sub>6</sub>
				缓 (0.7)	X <sub>7</sub>
				逆向 (0.05)	X <sub>8</sub>
				切向 (0.35)	X <sub>9</sub>
					X <sub>10</sub>
	岩体质量 (B <sub>3</sub> ) (0.3)	结构类型 (0.7)		整体状 (0.05)	X <sub>11</sub>
				块状 (0.15)	X <sub>12</sub>
				碎裂状 (0.3)	X <sub>13</sub>
		风化程度 (0.3)		散体状 (0.5)	X <sub>14</sub>
				强风化 (0.5)	X <sub>15</sub>
				中风化 (0.3)	X <sub>16</sub>
	松散堆积物 (B <sub>4</sub> ) (0.05)	厚度 (0.05)		弱风化 (0.2)	X <sub>17</sub>
				-0 m (0)	X <sub>18</sub>
				<5 m (0.2)	X <sub>19</sub>
5~20 m (0.3)				X <sub>20</sub>	
植被 (0.05) (B <sub>5</sub> )	发育程度		>20 m (0.5)	X <sub>21</sub>	
			强 (1)/弱 (0)	X <sub>22</sub>	
			地裂缝 (0.1)	X <sub>23</sub>	
			滑坡 (0.9)	X <sub>24</sub>	
			有 (1)/无 (0)	X <sub>25</sub>	
触发因素 (0.2)	地下开采 (B <sub>7</sub> ) (1)		爆破 (0.4)	X <sub>26</sub>	
			开挖 (0.6)	X <sub>27</sub>	

注:( )中的数字表示指标的权重,每一级指标权重的和为 1。

2.3.2 对权向量进行一致性检验 由表 2 可

以看出来,对于边坡的危险性主要受二级指标(B)的影响,因此可以将二级指标(B)权向量构成检验矩阵.通过计算,检验矩阵的特征值是 $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = \lambda_5 = \lambda_6 = 0, \lambda_7 = 7$ ,因此,矩阵的 $\lambda_{\max} = 7$ ,二级指标(B)的个数 $n$ 是7,所以 $\lambda_{\max} = n = 7$ .说明该矩阵是一致性矩阵,上述权向量是合理的.

#### 2.4 分析边坡危险性

通过上面建立的评价体系,将每个基础指标对应的状态变量 $X_i$ 赋值1或0(是就是1,否就是0).利用公式(1),可以算出每个区的危险性程度, $F$ 表示危险程度,结果如表3.

$$F = 0.8 \times [0.1 \times (0.8 \times X_1 + 0.2 \times X_1) + 0.3 \times (0.4 \times (0.7 \times X_3 + 0.3 \times X_4) + 0.6 \times (0.6 \times (0.3 \times X_5 + 0.7 \times X_6) + 0.05 \times X_7 + 0.35 \times X_8)) + 0.3 \times (0.7 \times (0.05 \times X_9 + 0.15 \times X_{10} + 0.5 \times X_{11} + 0.3 \times X_{12})) + 0.3 \times (0.5 \times X_{13} + 0.3 \times X_{14} + 0.2 \times X_{15})) + 0.05 \times (0 \times X_{16} + 0.2 \times X_{17} + 0.3 \times X_{18} + 0.5 \times X_{19}) + 0.05 \times 1(0) \times X_{20} + 0.2 \times (0.1 \times 1(0) \times X_{21} + 0.9 \times 1(0) \times X_{22})] + 0.2 \times 1 \times [0.4 \times 1(0) \times X_{23} + 0.6 \times 1(0) \times X_{24}] \quad (1)$$

表3 不同分区的危险性程度

Table 3 Risk degree of different areas

分区	变量																								计算结果
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$	$X_{16}$	$X_{17}$	$X_{18}$	$X_{19}$	$X_{20}$	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_{23}$	$X_{24}$	
I	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0.62
II																									1.00
III	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0.60
IV																									1.00
V	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0.55
VI	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0.71
VII	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0.53
VIII	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0.33

### 3 结 语

a. 层次分析法能将复杂的边坡问题进行分层次的、拟定量的、规范化的处理.该方法不受参评指标数量限制,在条件允许的情况下,应考虑充分选取各个方面的影响因素,以使评价结果更能反映实际情况.层次分析法能使较多影响边坡稳定性的因素真实地参与评判,不仅简化了计算,还解决了由于指标过多而难于确定各指标权重的问题.该方法功能强,实际操作相对简单,因此便于

推广,实用价值大.

通过层次法对边坡的危险性量化分析,上面计算的数据是在0~1之间,如果计算结果是0的话,表明影响边坡危险的因素都不存在,边坡处于非常稳定状态;如果计算结果是1的话,表明所有的影响边坡危险性因素都具备,边坡处于已经破坏状态.根据黄建文等<sup>[11]</sup>提出采用0.5~1.0之间的数值来对两者之间的重要程度进行标度,当两者间进行比较时,将其看作一总体,按两者占总体的百分比来确定其重要程度,这样更能合理的反映实际情况.比如可用0.5表示两者同等重要,其意义为两者各占50%,边坡处于极限平衡状态;用0.6表示一者比另一者稍重要,其意义为一者占60%,而另一者占40%,边坡不稳定趋势增多;……,这样标度能客观的描述两者之间的重要程度而不至于在计算分析中将它们之间关系进一步扩大.

根据表3的计算结果,大冶东露天采场II区和IV区属于已经破坏的区域,而VI区是最不稳定区;I区和III区是不稳定区,V区和VII区是欠稳定区,VIII区是稳定区.

推广,实用价值大.

b. 根据层次分析法研究,大冶东露天采场II区和IV区属于已经破坏的区域,而VI区是最不稳定区;I区和III区是不稳定区,V区和VII区是欠稳定区,VIII区是稳定区.

致谢:参加研究的还有余世雄、刘雅玲、李建林、侯赠、谢海波、杨康康同学.另外,本研究得到武汉工程大学大冶铁矿边坡课题组及大冶铁矿的相关同志大力支持,在此一并感谢!

## 参考文献:

- [1] 黄建文,李建林,周宜红.基于AHP的模糊评判法在边坡稳定性评价中的应用[J].岩石力学与工程学报,2007,26(1):2627-2632.
- [2] 谢全敏,朱瑞麟.岩体边坡稳定性灰色聚类空间预测方法.金属矿山[J],1997(6):1-5.
- [3] 于雯雯,梁育填,张祥桔.ΔHP法在潭柘寺镇旅游资源定量评价中的应用[J].首都师范大学学报:自然科学版,2008,29(4):59-61.
- [4] 宋建红,马磊,刘杰,等.基于ΔHP法的新疆石河子地区旅游资源评价体系研究[J].江西农业学报,2008,20(1):152-153.
- [5] 李志强,王昭君,左乐,等.层次分析法在确定延安市自然旅游资源评价体系权重中的应用[J].延安大学学报:自然科学版,2009,28(1):73-75.
- [6] Zhou Chunmei, Wu Yanling, Qin Sunwei, et al. Slope hazards and system design of emergency rescue in DaYe iron mine[C]// Qiyuan Pcbg, Yun Pu, Kelvin C P Wang, et al. International conference on transportation engineering 2009 (Volume Five), The American Society of Civil Engineers, 2009: 4098-4103.
- [7] 蔡爱萍,杜宇飞.基于专家打分的岩质边坡稳定性评价简易模型[J].岩土工程界,2007,11(3):59-60.
- [8] 高峰,周科平,胡建华.采场稳定性的模糊物元评价模型及应用研究[J].采矿与安全工程学报,2006,23(2):164-168.

## Apply analytical hierarchy process to analyse the risk of high steep slope in Daye iron mine

WU Yan-ling<sup>1,2</sup>, ZENG Kai-bo<sup>2</sup>, ZHOU Lin<sup>2</sup>, LI Xian-fu<sup>2</sup>

(1. School of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. School of Environment and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Daye iron mine was one of the first National Mine Parks. To ensure the safety of passengers and mining personnel, it is very important to analyse and evaluate the risk of the high steep slope. On the basis of field study, the high steep slope in Daye eastern open pit iron mine was divided into 8 areas according to the characteristics of rock mass structures and geological structures. The effect factors of the eastern open pit high steep slope included rock type and character, rock mass structure, geologic construct, landform, water and inducements, etc. The step-down arrangement was constituted on the basis of analytical hierarchy process. Right weight was obtained by the average of influence risk degree to slope and the comprehensive of every experts' fraction given. We calculate the score of each area through formula. The result of analysis reveals that area I and III are instable areas and area V and VII are unstable areas and area VIII is extremely unstable area.

**Key words:** analytical hierarchy process; daye iron mine; high steep slope; risk analysis

本文编辑:龚晓宁