

基于层次分析法的区域泥石流防治决策模型^{*}

马威^{1,2}, 林建南³, 汤连生², 廖化荣^{2,4}

(1. 广东省佛山地质局, 广东 佛山 528000; 2. 中山大学 地球科学系 岩土工程研究所, 广东 广州 510275;
3. 广东省地质建设工程集团公司, 广东 广州 510080; 4. 中山大学 应用力学与工程系, 广东 广州 510275)

摘要:从系统理论出发, 运用层次分析法 AHP 对与区域泥石流防治相关因子进行分析, 构建了基于层次分析法的区域泥石流防治决策模型。并以广东省潮揭地区泥石流防治决策为实例进行验证, 计算结果和实际情况较符合。

关键词:层次分析法(AHP); 区域泥石流; 防治; 决策模型

中图分类号: O223; P642.23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2009)02-0021-04

0 前言

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process) 简称 AHP, 是 20 世纪 70 年代由美国运筹学家 A. L. Saaty 提出的。它是一种实用的多准则决策方法, 能把一个复杂问题表示为有序的递阶层次结构, 通过人们的判断对决策方案的优劣进行排序。这种方法能够统一处理决策中的定性与定量因素, 具有实用性、系统性、简洁性等优点, 特别适合于社会经济系统的决策分析中使用^[1]。

区域泥石流防治涉及面广, 防治成本巨大, 而相应的资金投入有限, 如何把有限的资金合理分配到宣传预防、应急抢救、治理重建等各个环节中, 使泥石流防治达到最佳的效果, 就成了一个重要的问题^[2,3]。由于其中涉及到多个阶段、多个环节、多个因素, 不是一般的方法所能解决, 因此引入层次分析法, 将决策系统层次化, 简单化, 从而有利于作出最佳的防治决策。

1 基本模型的构建

区域泥石流防治是泥石流预警、预测、预报、应急救助、灾前宣传防治、灾后治理重建等一系列工作的综合, 是一个复杂的系统工程, 其中涉

及到多个阶段、多个环节、多个因素, 不是一般的方法所能解决; 而层次分析法能将这一复杂的决策系统层次化, 通过逐层比较各种关联因素的重要性来为分析、决策提供定量的依据, 从而使区域泥石流防治明朗化、清晰化, 最终作出最佳的防治决策, 其主要步骤和方法如下。

1.1 定义问题, 确定要完成的目标

泥石流的发生、发展和危害与特定的地理环境、形成因素等密切相关, 是一个复杂的系统, 对其有效的系统防治也应从宣传预防、应急救助和治理重建等环节入手。由于泥石流爆发面广, 防治成本巨大, 而相应的资金投入有限, 因此如何把有限的资金合理分配到其中的各个环节中, 使泥石流防治达到最佳的效果, 是区域泥石流防治的一个重要的问题。于是, 合理使用泥石流防治资金就成了区域泥石流防治的目标。

1.2 建立递阶层次结构模型

合理使用泥石流防治资金是区域泥石流防治的目标层 (A), 而相关的宣传预防、应急救助和治理重建等环节则成了其准则层 (B_i), 比准则层相对具体的措施如宣传工作、监测预报、应急措施、管理机构、工程措施、灾后重建等则构成了其子准则层 (C_i), 如果考虑到子准则层的模糊性, 可将其进一步细化为次子准则层 (D_i), 即图 1 中的第四层; 如果还需进一步细化, 则可以在第四层的基础上细化

^{*} 收稿日期: 2008-12-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40872205, 50279056); 全国高等学校博士学科专项科研基金资助项目(20070558032); 广东省自然科学基金资助项目(07003738); 广东省科技计划资助项目(2008B030303009, 2004B32801002, 2003C33301)

作者简介: 马威(1980-), 男, 湖北黄石人, 硕士, 主要从事地质灾害防治、岩土工程等方面的工作。

E-mail: xmawei2005@163.com

出第五层,甚至更多(考虑到计算的复杂性和重复性,本文仅以结构模型中的前三层 A 、 B 、 C 来研究)。据此,可建立如图 1 的递阶层次结构模型。

1.3 构造判断矩阵^[4]

假设某个因素 A_i , 对其下层的 $B_1 \cdots B_n$ 具有支配关系, 那么需要确定的是 $B_1 \cdots B_n$ 对于 A_i 来说的

相对重要性权值的排序, 用两两对比的方法确定。比较量化的传统方法是 1~9 标度法, 本文使用在其基础上改进的 9/9~9/1 标度法^[5], 其含义见表 1。如 B_i 与 B_j 对于 A_i 的相对重要性表示为 B_i/B_j , B_j 与 B_i 对于 A_i 的相对重要性表示为 b_j/b_i , 其取值见表 1。

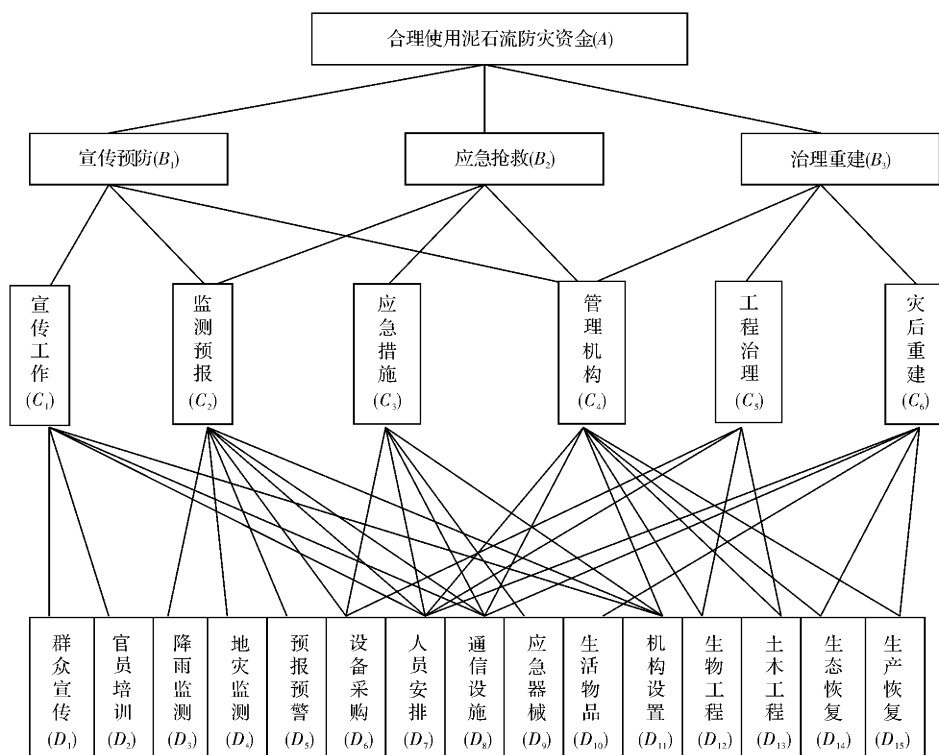


图 1 递阶层次结构模型

表 1 标度法比较

比较特征	1~9 标度法	9/9~9/1 标度法
表示两个因素相比, 具有同样的重要性	1	9/9
表示两个因素对比, 前一个因素比后一个因素稍微重要	3	9/9
表示两个因素对比, 前一个因素比后一个因素明显重要	5	9/9
表示两个因素对比, 前一个因素比后一个因素强烈重要	7	9/9
表示两个因素对比, 前一个因素比后一个因素极端重要	9	9/9
表示上述相邻判断的中值	2, 4, 6, 8	9/(k±1) 为小于 9 的奇数
表示上述后一因素对前一因素的相对重要性	倒数	倒数

据此, 可建立任意一个因素的下层相关因素的相对重要性单排序矩阵, 其基本形式如下:

$$A = \begin{pmatrix} b_1/b_1 & b_1/b_2 & \cdots & b_1/b_n \\ b_2/b_1 & b_2/b_2 & \cdots & b_2/b_n \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ b_n/b_1 & b_n/b_2 & \cdots & b_n/b_n \end{pmatrix}$$

1.4 层次单排序及一致性检验^[6]

为了测试评判的可靠性或一致性, 可以建立一个一致性指标。在层次分析中引入判断矩阵的最大特征值 λ_{\max} 和 n 之差与 $n-1$ 的比作为度量判断矩阵偏离一致性的指标 CI , 即用

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \quad (1)$$

式中: n 为判断矩阵阶数; λ_{\max} 为判断矩阵的最大特征值; CI 为判断矩阵一致性指标。

一般说来, 决策者判断一致性的难度随着判断矩阵的阶数的增加而增大的。为了度量不同阶判断矩阵是否具有满意的一致性, 需引入相对一致性的概念, 即随机一致性比率 CR :

$$CR = \frac{CI}{RI}, \quad (2)$$

式中: CI 为判断矩阵的一致性指标; RI 为平均随机一致性指标, 对 $n = 1, 2, 3 \cdots 10$, Saaty 给出了 RI 的值(表 2)^[1]。

表 2 平均随机一致性指标 RI 值 (Saaty)^[1]

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

1.5 层次总排序及一致性检验^[7]

上面得到的是一组元素对其上一层中某元素的权重向量。而我们最终要得到各元素, 特别是最低层中各元素(方案)对于目标的排序权重, 从而进行方案选择。因此, 总排序权重要自上而下地将单准则下的权重进行合成。

设上一层次(A 层)包含 $A_1, \cdots A_n$, 共 n 个因素, 它们的层次总排序权重分别为 $a_1, \cdots a_n$ 。又设其后的下一层次(B 层)包含 m 个因素 $B_1, \cdots B_m$, 它们关于 A_j 的层次单排序权重分别为 $b_{1j}, \cdots b_{mj}$ (当 B_i 与 A_j 无关联时, $b_{ij} = 0$)。现求 B 层中各因素关于总目标的权重, 即求 B 层各因素的层次总排序权重 $b_1, \cdots b_m$, 计算公式如下, 具体计算见表 3。

$$b_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} a_j, i = 1, \cdots m. \quad (3)$$

表 3 层次总排序计算表

	A_1	A_2	\cdots	A_n	B 层总排序权重
	a_1	a_2	\cdots	a_n	
B_1	b_{11}	b_{12}	\cdots	b_{1n}	$\sum_{j=1}^n b_{1j} a_j$
B_2	b_{21}	b_{22}	\cdots	b_{2n}	$\sum_{j=1}^n b_{2j} a_j$
\vdots	\cdots	\cdots	\cdots	\cdots	\vdots
B_m	b_{m1}	b_{m2}	\cdots	b_{mn}	$\sum_{j=1}^n b_{mj} a_j$

对层次总排序也需作一致性检验, 检验仍象层次总排序那样由高层到低层逐层进行。这是因为虽然各层次均已经过层次单排序的一致性检验, 各层对比较判断矩阵都已具有较为满意的一致性。但当综合考察时, 各层次的非一致性仍有可能积累起来, 引起最终分析结果较严重的非一致性。

设 B 层中与 A_j 相关的因素的成对比较判断矩阵在单排序中经一致性检验, 求得单排序一致性指标为 $CI(j)$, ($j = 1, \cdots, n$), 相应的平均随机一致性指标为 $RI(j)$, ($CI(j)$ 、 $RI(j)$ 已在层次单排

序时求得), 则 B 层总排序随机一致性比例为:

$$CR = \frac{\sum_{j=1}^n CI(j) a_j}{\sum_{j=1}^n RI(j) a_j}. \quad (4)$$

当 $CR < 0.10$ 时, 认为层次总排序结果具有较满意的一致性并接受该分析结果。

1.6 结论

根据层次总排序结果, 做出区域泥石流防治决策。

2 实例研究

本文以广东省潮揭地区为例^[8]进行模型的实际应用研究。第一步和第二步同第 1 节的 1.1 和 1.2, 第三步构造如下判断矩阵:

$$A = \begin{pmatrix} 9/9 & 1/9 & 3/9 \\ 9/1 & 9/9 & 9/7 \\ 9/3 & 7/9 & 9/9 \end{pmatrix} \quad B_1 = \begin{pmatrix} 9/9 & 1/9 & 5/9 \\ 9/1 & 9/9 & 9/5 \\ 9/5 & 5/9 & 9/9 \end{pmatrix}$$

$$B_2 = \begin{pmatrix} 9/9 & 1/9 & 7/9 \\ 9/1 & 9/9 & 9/1 \\ 9/7 & 1/9 & 9/9 \end{pmatrix} \quad B_3 = \begin{pmatrix} 9/9 & 5/9 & 5/9 \\ 9/5 & 9/9 & 9/7 \\ 9/5 & 7/9 & 9/9 \end{pmatrix}$$

第四步: 层次单排序及一致性检验结果如表 4。

表 4 层次 B 对 A 的单排序及一致性检验表

A	B_1	B_2	B_3	层次 B 的单排序
B_1	9/9	1/9	3/9	0.083
B_2	9/1	9/9	9/7	0.645
B_3	9/3	7/9	9/9	0.273

最大的特征向量 $\lambda_{\max} = 3.080$, 一致性指标 $CI = 0.040$, 随机一致性比率 $CR = 0.069$, 具有满意的一致性。同理, 可以计算得层次 C 对 B_1 、 B_2 、 B_3 的单排序及一致性检验, 计算结果都具有较满意的一致性。

第五步: 层次总排序及一致性检验结果如表 5。

表 5 层次总排序及一致性检验结果表

	B_1	B_2	B_3	层次 C 总排序
	0.083	0.645	0.273	
C_1	0.099	0	0	0.008
C_2	0.702	0.081	0	0.110
C_3	0	0.816	0	0.526
C_4	0.199	0.103	0.216	0.142
C_5	0	0	0.418	0.114
C_6	0	0	0.366	0.100

总排序的一致性检验 $CR = 0.014$ ，也具有较满意的一致性。

第六步：结论。

由上面的计算可以得出 6 项措施的相对总排序为 $C_3 > C_4 > C_5 > C_2 > C_6 > C_1$ ，由此可初步做出区域泥石流防治决策，6 项措施的资金分配比重为：应急措施 52.60%，管理机构 14.17%，工程措施 11.41%，监测预报 11.01%，灾后重建 9.99%，宣传工作 0.82%。计算结果与潮揭地区的实际情况基本符合，说明模型具有一定的实际意义。

3 结论

区域泥石流防治的决策涉及到多个阶段和因素，是一个复杂的综合体，不是一般的方法所能解决的，本文从系统理论出发，引入层次分析法，将复杂的决策系统层次化，通过逐层比较各种关联因素的重要性来为分析、决策提供定量的依据，从而使区域泥石流防治明朗化、清晰化，最终作出最佳的防治决策。最后通过潮揭地区的泥石流防

治决策为实例进行验证，计算结果和实际情况比较符合，说明该方法具有一定的实际意义，可作为一种简单易行的方法应用于区域泥石流防治的初步决策中。

参考文献：

- [1] 赵焕臣，许树柏. 层次分析法——一种简易的新决策方法[M]. 北京：科学出版社，1986：1-2，26.
- [2] 胡封兵，高甲荣，陈子珊，等. 泥石流风险评价[J]. 灾害学，2006，21(3)：36-41.
- [3] 李阔，唐川. 泥石流危险性评价研究进展[J]. 灾害学，2007，22(1)：106-111.
- [4] 鞠远江，曾思伟，刘耕年. 泥石流沟最优治理方案选择的层次分析法模型[J]. 水土保持研究，2003，10(3)：52-54.
- [5] 张晨光，吴泽宁. 层次分析法(AHP)比例标度的分析与改进[J]. 郑州工业大学学报，2000，21(2)：85-87.
- [6] 许树柏. 实用决策方法——层次分析法原理[M]. 天津：天津大学出版社，1988：51-59.
- [7] 刘新宪，朱道立. 选择与判断——AHP(层次分析法)决策[M]. 上海：上海科学普及出版社，1990：37-30.
- [8] 马威. 潮揭泥石流形成机理及防治方法研究[D]. 广州：中山大学，2007：59-67.

The Decision Model for Regional Debris Flow Prevention Based on Analytical Hierarchy Process

Ma Wei^{1,2}, Zhang Jiannan³, Tang Liansheng² and Liao Huarong^{2,4}

- (1. Foshan Geological Bureau of Guangdong Province, Foshan 528000, China; 2. Department of Earth Sciences, Geotechnical Engineering Institute, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China; 3. Geological Construction Engineering Group Corporation of Guangdong Province, Guangzhou 510080, China; 4. Department of Applied Mechanics and Engineering, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: In the light of system theory, the associated factors of regional debris flow prevention is analyzed by use of the analytical hierarchy process (AHP) and an AHP-based decision model for regional debris flow prevention is established. The model is verified with a case of debris flow prevention in the Chaojie area. The calculated results conform the reality.

Key words: analytic hierarchy process (AHP); regional debris flow; prevention; decision model