

泥石流沟最优治理方案选择的层次分析法模型

鞠远江¹, 曾思伟², 刘耕年¹

(1. 北京大学环境学院, 北京 100871; 2. 甘肃省科学院地质自然灾害防治研究所, 兰州 730000)

摘 要: 泥石流沟的治理, 主要是靠专家根据多年积累的经验来提出方案, 而大多数人是不能完全理解专家制定方案的具体根据的。实际当中, 往往需要专家不在场时即大概确定治理的基本方案, 利用层次分析法建立泥石流沟治理方案选择模型, 将专家制定方案的过程用模型来进行模拟, 通过对特定泥石流沟情况下模型的求解来判断该沟的最优治理方案。

关键词: 泥石流; 治理方案; 层次分析法; 模型

中图分类号: P642 23

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2003)03-0052-03

AHP Model Decides the Most Suited Controlling Scheme to Special Debris Flow Gully

JU Yuan-jiang¹, ZEN G Si-wei², L U Geng-nian¹

(1. College of Environmental Science, Peking University, Beijing 100871, China;

2. Geological Hazard Prevention Institute, Gansu Academy of Sciences, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract: To control debris flow, the scheme is mainly given by experts on their experience all the years, few people know how the experts deduced the special scheme. Yet, in some occasions, the basic scheme should be brought forward without expert on the spot. A AHP (Analytic Hierarchy Process) model was built to choose the best scheme. Simulate the thinking route of the experts, calculate on the model and find the most suited scheme to special debris flow gully.

Key words: debris flow; controlling scheme; AHP; model

1 层次分析法简介

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。国内在上个世纪 70 年代中期时已经有人进行 AHP 应用的研究, 30 多年以来在各个领域得到了极大的推广和应用, 也进行了很多改进^[1,2]。其根本思路就是把复杂的系统问题分解成各个组成因素, 并根据因素间的支配关系将其分成不同的层次, 待解方案层总是处在层次的最下层。在同一层中进行因素的两两对比, 确定它们的相对重要性, 并据此建立比较判断矩阵, 求解判断矩阵的特征根与特征向量, 得到同一层次中各因素对上层目标影响大小的权值, 最后根据方案层 (底层) 的权值进行对总目标 (顶层) 的优劣排序, 确定最优的方案。

2 方案选择模型

2.1 AHP 模型

对于泥石流沟的治理方案, 专家并不是一开始就考虑比较详细的, 如泥石流流速、流量、频率等因子, 必需有一个判断的最基本依据。治理工程是针对泥石流沟的危害性的, 所

以泥石流的危害性应是一个最基本依据; 另外必需考虑到工程的可行程度如何, 所以工程的可行性也是最基本的判断依据。而在实践中到底主要考虑这两个因素中的哪一个, 是根据具体情况决定的, 即根据具体情况决定这两个因素的相对重要性。然后对于这两个因素再分别考虑, 如对泥石流危害性应该考虑其是以淤埋为主还是以冲刷为主; 对可行性方面则应该判断是主要考虑工程是否能够实施还是经济是否能够承担; 在这些细节都考虑的情况下才可以针对某一种情况进行方案的两两对比, 确定其两两之间的优劣, 然后按一定的方法判断在所有方案中的最优方案。根据泥石流治理过程中专家的思考路线, 参考已经成熟的泥石流治理方案^[3], 依据泥石流防治实用性的三大原理^[5], 建立如图 1 所示的层次分析模型。

图中可见, 为了判断底层所有因素 (方案) 对实现总目标 (泥石流治理最优方案) 的优劣排序, 取准则层为危害性因素和可行性因素, 由于准则层的模糊性, 将其进一步细化为子准则层, 即图中的第三层。本模型的最终目的是将专家经验定量化, 所以建立层次判断矩阵是必经步骤, 为了表示的方

收稿日期: 2003-04-25

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划“典型山地-绿洲-荒漠系统的模拟及其预测模型”(批准号: 90102016)。

作者简介: 鞠远江 (1975-), 男, 博士研究生, 地貌学专业。

便需要用符号来代替模型中各层因素, 分别用 M、S、T、F 代表模型的第一至第四层因素, 即 M 层对 S 层有支配关系, S

层对 T 层有支配关系, T 层对 F 层有支配关系, 如图 2。

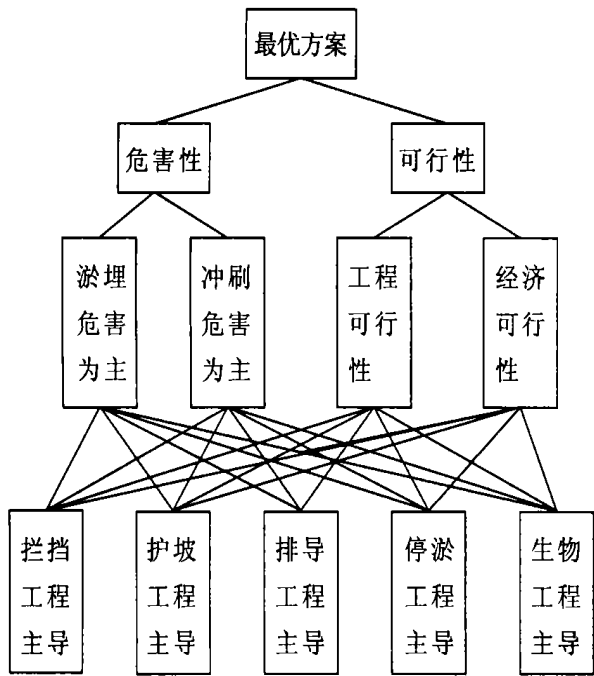


图 1 AHP 模型框图

假设某个因素 A_i , 对其下层的 $B_1 \dots B_n$ 具有支配关系, 那么需要确定的是 $B_1 \dots B_n$ 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。将比较量化的传统方法是 1~9 标度法, 即将同一层两因素对上层相关因素的相对重要性用 1~9 的自然数和其倒数来表示, 但由于 1~9 标度法相对粗糙, 很多人进行了改进, 提出了其他一些标度法, 本文使用 9/9~9/1 标度法^[2], 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 。据此, 可以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, 其基本形式如式(1)。

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	9/7
表示两个因素对比, 前一个因素比后一个因素明显重要	5	9/5
表示两个因素对比, 前一个因素比后一个因素强烈重要	7	9/3
表示两个因素对比, 前一个因素比后一个因素极端重要	9	9/1
表示上述相邻判断的中值	2, 4, 6, 8	9/(k ± 1) k 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

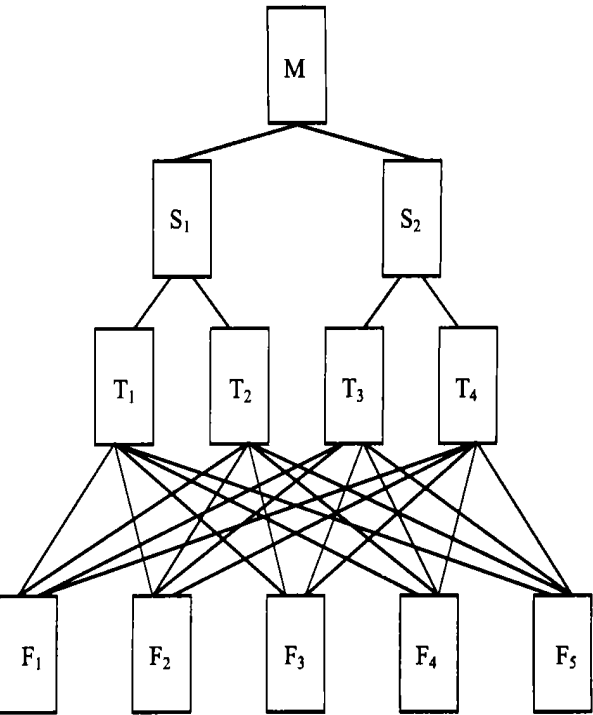


图 2 AHP 模型符号框图

$$jzh=\begin{bmatrix}b_1/b_1&b_1/b_2&\dots&b_1/b_n\\b_2/b_1&b_2/b_2&\dots&b_2/b_n\\\dots&\dots&\dots&\dots\\b_n/b_1&b_n/b_2&\dots&b_n/b_n\end{bmatrix}\tag{1}$$

根据模型, 形如式(1)的单排序矩阵共有 7 个。需要对各个矩阵的上三角或下三角矩阵进行赋值, 矩阵被赋值后, 计算矩阵的最大特征根及对应的特征向量, 理论上这个特征向量对应的就是所计算矩阵的单排序权值向量, 但由于某些矩阵为二阶以上矩阵, 其一致性需要检验, 其检验标准如式 2。

$$CR=\frac{CI}{RI}=\frac{\lambda_{max}-n/n-1}{RI}<0.10\tag{2}$$

式中: CR ——判断矩阵的随机一致性比例; CI ——判断矩阵的一致性指标; RI ——判断矩阵的平均随机一致性指标, 其值如表 2 所示; λ_{max} ——判断矩阵的最大特征根; n ——判断矩阵的阶数。

表 2 RI 值表

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

在 CR 检验通不过的情况下, 需要对判断矩阵的初值进行调整, 直至通过, 然后才进行总排序的计算。总排序矩阵的构造需要用到单排序矩阵的计算结果。假设 A、B 两层, A 层对 B 层有支配关系, A 层对于总目标的总排序权重和 A 层每一因素支配下的 B 层各因素的单排序权重已知, 则 B 层总排序权重计算过程如表 3。

表 3 总排序权重计算过程表

	A_1	A_2	...	A_n	B 层总排序权重
	a_1	a_2	...	a_n	
B_1	b_{11}	b_{12}	...	b_{1n}	$b_1 = \sum_{j=1}^n a_j b_{1j}$
B_2	b_{21}	b_{22}	...	b_{2n}	$b_2 = \sum_{j=1}^n a_j b_{2j}$
...		
B_m	b_{m1}	b_{m2}	...	b_{mn}	$b_m = \sum_{j=1}^n a_j b_{mj}$

表 2 中 a_i 表示 A 层对目标层的总排序权重, b_{ij} 表示 B 层第 i 个因素对于 A 层第 j 个因素的单排序权重, 其值为对应矩阵特征向量的对应元素的值^[1]。

2.2 判断矩阵赋初值的依据

由以上权重的判断过程来看, 定量化最关键的步骤就是单排序判断矩阵的赋初值, 实际上对矩阵赋初值就是初步确定每一层次中相邻两因素的相对重要性。对于所建模型来说, 其各单排序矩阵的初值确定需要根据泥石流沟的具体情况, 如表 4 所示。

表 4 单排序矩阵赋初值依据表

上层因素	下层因素	判断依据
M	S_1, S_2	泥石流危害对象的重要程度
S_1	T_1, T_2	泥石流性质、规模、危害对象的类型及与泥石流沟的相对位置
S_2	T_3, T_4	泥石流规模、总投资预算、流域地质地理条件等
T_1	F_1, F_2, F_3, F_4, F_5	泥石流性质、规模、频率、补给物质性质与数量流域 DEM (坡向坡度、沟床比降等)
T_2	F_1, F_2, F_3, F_4, F_5	
T_3	F_1, F_2, F_3, F_4, F_5	
T_4	F_1, F_2, F_3, F_4, F_5	

表 4 中, 第一行表示模型中第二层次的矩阵, 也就是说在判断优先考虑泥石流的危害性还是治理的可行性时, 需要参照泥石流危害对象的重要程度, 一般情况下, 只要考虑到泥石流沟的治理, 总是前者的权重要大的。第二行表示泥石流危害形式权重的判断矩阵, 一般情况下黏性泥石流以淤埋为主, 稀性泥石流以冲刷为主, 应该根据具体泥石流沟做出定量的判断。第三行表示泥石流沟治理可行性权重的判断矩阵, 应根据流域的具体地质地理条件及经济条件决定制约工程实施的瓶颈。余下的四个矩阵, 其形式相同。前两个判断不同危害形式下各种方案的优劣, 后两个判断分别考虑工程可行性和经济可行性时, 各种方案的优劣。这部分是根据泥石流沟的最详细的特征来进行判断。

3 模型应用实例研究

选取 G212 线经过陇南地区的典型泥石流沟 k442+ 169

参考文献:

[1] 赵焕臣, 等. 层次分析法——一种简易的新决策方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1986
[2] 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.
[3] 周必凡, 等. 泥石流防治指南 [M]. 北京: 科学出版社, 1991.
[4] 商立群. 层次分析法中判断矩阵一致性的改进研究 [J]. 西安科技学院学报, 2001, 21 (4): 375- 376
[5] 李德基. 浅论泥石流防治的实用性原理 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 1997, 8 (2): 55- 71.

处的桑园子沟为例。桑园子沟位于白龙江左岸, 流域面积 3 19 km², 主沟长度 3 7 km, 主沟平均比降 27%。沟谷内山坡平均坡度 19°, 泥石流的重要补给源为流域内的滑坡与坍塌, 共有滑坡 5 处, 总面积 0 09 km², 总补给量 200 × 10⁴ m³; 泥石流性质为稀性间黏性, 爆发频率为一年几次或几年一次; 桑园子沟正处于发育旺盛期, 主要危害方式是冲埋农田和公路, 常因沟道淤积泥石流漫流成灾。

对于这样一条泥石流沟, 我们按照模型的思路进行判断, 首先需要进行的的就是模型的 7 个单排序矩阵的赋初值。由于前三个矩阵均是二阶的, 肯定满足一致性要求, 其值可以直接给出, 实际上每个矩阵只赋一个比较值即可, 也就是模型中前一因素对后一因素的相对重要性。则这三个值分别为: $S_1/S_2 = 9/5$, 因为该泥石流沟对 G212 线的危害较大, 所以对其治理的要求迫切, 对于可行性来说很明显需要优先考虑危害性; $T_1/T_2 = 9/3$, 根据实际调查, 该泥石流沟主要危害方式是淤埋, 相对于冲刷危害来说, 淤埋危害具有强烈的重要性; $T_3/T_4 = 9/9$, 因为流域所处地区地质地理条件比较复杂, 如果采取很完善的综合治理方法的话, 投资会很大, 所以这两个因素是需要兼顾的, 其重要性比较定为同等重要。底层的四个矩阵都是 5 阶矩阵, 分别用 T_1, T_2, T_3, T_4 表示, 通过一致性检验的初值如下:

$$T_1 = \begin{matrix} & \begin{matrix} 9/9 & 5/9 & 3/9 & 9/9 & 9/5 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 9/5 & 9/9 & 3/9 & 7/9 & 9/3 \end{matrix} & \begin{matrix} 9/9 & 9/3 & 9/5 & 9/5 & 9/7 \end{matrix} \end{matrix}$$
$$T_2 = \begin{matrix} & \begin{matrix} 9/9 & 9/7 & 9/9 & 9/9 & 7/9 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 9/9 & 9/7 & 5/9 & 9/9 & 9/3 \end{matrix} & \begin{matrix} 5/9 & 9/7 & 9/9 & 9/9 & 7/9 \end{matrix} \end{matrix}$$
$$T_3 = \begin{matrix} & \begin{matrix} 9/9 & 3/9 & 1/9 & 3/9 & 9/9 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 9/9 & 7/9 & 5/9 & 9/7 & 9/5 \end{matrix} & \begin{matrix} 9/9 & 9/9 & 7/9 & 5/9 & 5/9 \end{matrix} \end{matrix}$$
$$T_4 = \begin{matrix} & \begin{matrix} 9/9 & 9/7 & 9/9 & 9/7 & 9/5 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 7/9 & 5/9 & 3/9 & 9/9 & 9/7 \end{matrix} & \begin{matrix} 9/5 & 9/5 & 7/9 & 9/9 & 9/9 \end{matrix} \end{matrix}$$

按照上面的赋值计算出的方案层权重如表 5:

表 5 方案权重表

方案	拦挡工程 主导	护坡工程 主导	排导工程 主导	停淤工程 主导	生物工程 主导
权重	0 17064	0 173035	0 356113	0 191053	0 10916

从表 5 的结果看出, 模型对桑园子沟的治理给出的最优方案为排导工程主导方案, 而与实际中泥石流沟的治理情况相比较, 发现该沟采用的正是排导沟与拦挡坝相结合的治理方案, 说明模型可以在实际工程中应用。