

## 应用层次分析法进行金龙山滑坡危险度研究

吴 敏<sup>1,2</sup>, 陈永波<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

**摘 要:**层次分析法是一种定性定量相结合的方法,是解决复杂地质问题的一条有效途径,运用层次分析法对滑坡主要影响因素进行分析,建立对比矩阵,计算权向量,确定滑坡危险性等级,为滑坡预警和滑坡治理提供依据。

**关键词:**层次分析法;危险度区划;滑坡

**中图分类号:**P642.22

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2008)02-0239-02

## Study on the Danger Degree of Jinlongshan Landslide Using Analytic Hierarchy Process

WU Min<sup>1,2</sup>, CHEN Yong-bo<sup>1</sup>

(1. Institute of Mountain Hazard and Environment (IMHE), Chinese Academy of Sciences and Water Conservancy Ministry, Chengdu 610041, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** Analytic Hierarchy Process (AHP) is a qualitative and quantitative analysis method, which is efficient to resolve complicated geological problems. Using AHP analyzed the main affecting factors of landslide, established the pairing comparison matrix, calculated weighting vector, and also assessment indicators of hazard degree are defined. It provides a basis for warning and control of landslide.

**Key words:** Analytic Hierarchy Process; hazard degree assessment; landslide

### 1 层次分析法简介

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, 简称 AHP) 是 20 世纪 70 年代初美国运筹学家 Saaty 教授提出的一种简便、灵活而又实用的多准则决策方法,也是一种最优化技术,自层次分析法提出以来,在各行各业的决策问题上都有所应用。它首先把复杂的系统分解为若干子系统,并按其从属关系分组,形成有序的递阶层次结构;其次,通过就某种特性采用 1~9 标度法对每一元素进行两两比较后,构造一个比较矩阵,最后进行各指标层次单排序和层次总排序。

### 2 层次分析法的分析步骤

#### 2.1 建立层次结构模型

在深入分析实际问题的基础上,将有关的各个因素按照不同的属性自上而下地分解成若干个层次。同一层的诸因素从属于上一层的因素或对上层因素有影响,同时又支配下一层的因素或受到下层因素的作用。最上层为目标层,通常只有一个因素,最下层通常为方案或对象层,中间可以有一个或几个层次,通常为准则或指标层。

#### 2.2 构造比较矩阵

从层次结构模型的第 2 层开始,对于从属于(或影响及)上层每个因素的同一层诸因素,用 1~9 比较尺度构造成对

比较矩阵,直到最下层。具体方法是:首先确定评价目标  $A$ ;再选定对目标  $Z$  有影响的主要因素;最后比较  $n$  个因素  $x_1, x_2, \dots, x_n$  对目标  $Z$  的相对重要性,用两两比较的方法将各因素重要性的定性部分定量化。每次取 2 个因素  $x_i$  与  $x_j$ , 用  $a_{ij}$  表示  $x_i$  与  $x_j$  之比,构成判断矩阵  $A = (a_{ij})$ ,式中:  $a_{ij}$  由萨蒂的方法确定,见表 1。

表 1 判断矩阵标度及定义

标度	含 义
1	表示两个因素相比,具有相同重要性
3	表示两个因素相比,前者比后者稍重要
5	表示两个因素相比,前者比后者明显重要
7	表示两个因素相比,前者比后者强烈重要
9	表示两个因素相比,前者比后者极端重要
2, 4, 6, 8	表示上述相邻判断的中间值

#### 2.3 层次单排序

对每一个成对比较矩阵,利用求和法计算最大特征根及对应特征向量。原理是对于一致性判断矩阵,每一列归一化后就是相应的权重;对于非一致性判断矩阵,每一列归一化后近似其相应的权重,在这  $n$  个列向量求取算术平均值作为最后的权重。具体的公式如式(1)

收稿日期:200-04-20

基金项目:四川省二滩水电站金龙山谷坡变形监测(04H1220220)

作者简介:吴敏(1981-),江苏徐州人,硕士研究生,主要从事滑坡监测与滑坡危险性评价。E-mail: xiaoyu811225@163.com

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{ik}} (i, j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

式中:  $W_i$ ——权重向量;  $a_{ij}$ ——判断矩阵标度;  $a_{ik}$ ——判断矩阵列标度。

2.4 一致性检验

在实际中要求判断矩阵满足大体上的一致性,需进行一致性检验。只有通过检验,才能说明判断矩阵在逻辑上是合理的,才能继续对结果进行分析。一致性检验的步骤如下:

第一步,计算一致性指标  $C. I.$

$$C. I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

式中:  $\lambda_{\max}$ ——一致性矩阵的最大特征根;  $n$ ——成对比较因子的个数。

第二步,查表确定相应的平均随机一致性指标  $R. I.$ , 判断矩阵不同阶数查下表,得到平均随机一致性指标  $R. I.$

表 2 平均随机一致性指标  $R. I.$

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$R. I.$	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

第三步,计算一致性比例  $C. R.$  并进行判断

$$C. R. = \frac{C. I.}{R. I.} \quad (3)$$

式中:  $C. I.$ ——一致性指标;  $R. I.$ ——平均随机一致性指标。当  $C. R. < 0.1$  时,认为判断矩阵的一致性是可以接受的,  $C. R. > 0.1$  时,认为判断矩阵不符合一致性要求,需要对该判断矩阵进行重新修正。

3 应用实例

金龙山位于四川省攀枝花市二滩水电站库首左岸,属横断山脉中段,海拔 1 000~2 700 m,面积约 1.3 km<sup>2</sup> 坡体南缘为雅砻江(区内由北向南东流过),东西两侧分别为金龙沟和阿布郎当沟深切,坡体呈三面临空状态,区内属顺向坡,坡向 210°,坡度 22~30°,地层呈单斜,倾向南,倾角 35°,边坡

蠕滑方向为 210~220°,滑坡体距水电站坝轴线 570 m,距上游围堰 250 m,至左岸导流洞入口 80 m,金龙山滑坡稳定性直接关系二滩水电站建设和建成后的运营。

通过对研究区滑坡的各种要素的整理,提取出坡度、坡体结构、岩性、后缘变形、前缘变形、水文地质特征、滑坡规模、人为因素、降雨量等 9 种要素为准则层,与方案层的滑坡本底因子和诱发因子建立层次结构模型,按照标度指数得到的统计计算量,构成滑坡影响因素的判断矩阵为

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{4} & \frac{1}{5} & \frac{1}{6} & \frac{1}{7} & \frac{1}{8} & \frac{1}{9} \\ \frac{1}{2} & 1 & \frac{2}{3} & \frac{1}{2} & \frac{2}{5} & \frac{1}{3} & \frac{2}{7} & \frac{1}{4} & \frac{2}{9} \\ \frac{1}{3} & \frac{2}{3} & 1 & \frac{3}{4} & \frac{3}{5} & \frac{1}{2} & \frac{3}{7} & \frac{3}{8} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & \frac{3}{4} & 1 & \frac{4}{5} & \frac{2}{3} & \frac{4}{7} & \frac{1}{2} & \frac{4}{9} \\ \frac{1}{5} & \frac{2}{5} & \frac{3}{5} & \frac{4}{5} & 1 & \frac{5}{6} & \frac{5}{7} & \frac{5}{8} & \frac{5}{9} \\ \frac{1}{6} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & \frac{2}{3} & \frac{5}{6} & 1 & \frac{6}{7} & \frac{3}{4} & \frac{2}{3} \\ \frac{1}{7} & \frac{2}{7} & \frac{3}{7} & \frac{4}{7} & \frac{5}{7} & \frac{6}{7} & 1 & \frac{7}{8} & \frac{7}{9} \\ \frac{1}{8} & \frac{1}{4} & \frac{3}{8} & \frac{1}{2} & \frac{5}{8} & \frac{3}{4} & \frac{7}{8} & 1 & \frac{8}{9} \\ \frac{1}{9} & \frac{2}{9} & \frac{1}{3} & \frac{4}{9} & \frac{5}{9} & \frac{2}{3} & \frac{7}{9} & \frac{8}{9} & 1 \end{bmatrix}$$

可以算出归一化的特征向量  $W = (0.1063, 0.1082, 0.1148, 0.1147, 0.1141, 0.1142, 0.1149, 0.1112, 0.1031)$  从而算出  $\lambda_{\max} = 9$ ,代入式(2)  $CI = 0$ ,根据表 2 可知  $RI = 1.45$ ,所以  $CR = 0 < 0.1$ ,于是矩阵  $A$  通过一次性检验,特征向量  $W$  可以作为权向量。

对于影响金龙山滑坡的主要影响因子降雨、水文地质特征、后缘变形、前缘变形、人为因素、滑坡规模、坡体结构、岩性、坡度等,按照对滑坡影响因素的大小进行分级,并对判别因子的作用指数按 0~1 级进行量化。如表 3。

表 3 金龙山滑坡危险度判别因子及作用指数

判别因子	特 征	指数
坡度	平均自然坡度 30°比较平缓	0.2
岩性	主要由玄武岩、黏土岩和阳新灰岩组成,玄武岩全风化带垂直深度一般在 10~15 m;强风化带深度在 40~50 m。岩体卸落极不均一,谷坡脚部水平深度为 40~60 m,谷坡上部可达 80~100 m,垂直深度一般为 50~60 m。玄武岩在强烈的风化及卸落作用下,浅部岩体完整性很差	0.7
坡体结构	坡体结构面主要以层间错动为主压扭性,破碎厚度为 0.1~1.0 m	0.4
滑坡规模	滑坡体积巨大,蠕滑岩体体积约 106 万 m <sup>3</sup> ,蠕变岩体约 76 万 m <sup>3</sup>	0.5
人为因素	黏土矿废址也是影响稳定性一个因素	0.5
后缘变形	后缘裂隙处于发展阶段,内部加速变形	0.4
前缘变形	有挤压和牵引蠕变现象,斜坡处于局部变形阶段	0.4
水文地质特征	松散的第四纪堆积物为透水区;新鲜的玄武岩为裂隙含水层;阳新灰岩总体为裂隙含水层,地下水多沿底板活动;梁山组黏土岩为相对隔水层;石灰系地层及灯影组白云岩均为裂隙承压含水层,但分布极不均匀,斜坡由于三面受切故形成了自给自泄的水文地质单元。据矿山钻孔资料表明,高程在 1 300 m 以上玄武岩内无潜水位;以下至 1 300 m 高程潜水埋深多在 60~80 m,江边一带埋深变浅(10~20 m),潜水无统一浸润曲线,坡脚水力坡度平缓。冲沟为斜坡中下部汇水区,雅砻江河谷和金龙沟为其主要排泄区	0.3
降雨量	该区降雨丰富,多年平均降水量在 800 mm 以上,主要集中在 6~10 月,最大日降水量在 209 mm,最大月降水量 446 mm,降雨对滑坡的发育起着重要的作用	0.8

### 2.3.6 部分农产品基地土壤、大气、农田灌溉水质评价查询

以农产品基地为索引,建立了7个县(区)共69个农产品基地产地环境评价查询子页,可查询了解基地土壤、大气、农田灌溉水质质量方面的共23个检测项目的实测数据和评价结果及施肥建议。

### 2.3.7 相关图件信息查询

在该界面内,建立了与系统相关的图件库,包括行政区划图、地形地貌图、降水等值线图、年平均气温等值线图、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温等值线图、植被状况图、土地利用现状图、土壤图、土壤耕层有机质分布及全氮点位图、耕层速效磷及速效钾分布点位图、微量元素(B,Mn,Cu,Zn,Fe)分布图、土壤改良利用分区图、土壤类型景观剖面图等。本图件库既可独立使用,又与其它相关网页建立关联。

### 2.4 专题研究主页的构建

在该界面内,将系统研发的有关成果加以整理,按文章篇目进行查询。

### 2.5 基础知识主页的构建

建立本模块可以帮助用户了解有关基础知识,包括环境条件与药用植物的生长发育、土壤与药用植物的生长发育、药用植物的土壤耕作、药用植物的田间管理、药用植物无公害栽培技术、药用植物现代设施栽培技术等6个专题。

### 2.6 在线助手主页的构建

在线助手是一部电子版的使用说明,用其可以了解系统的组成和构建情况,对系统的使用和操作提供在线帮助。

### 2.7 专家答疑主页的构建

专家答疑是专家和用户之间沟通的桥梁,是重要的网上互动平台。针对生产实践中的问题,聘请专家进行答疑,帮助用户解决疑难问题。

## 3 讨论与建议

(1)商洛市中药材种植土壤肥料信息系统的研发为用户提供了便捷的信息服务,但受经费、人员等条件的限制,数据库中尚缺乏与中药材种植有关的重金属、农残、肥料试验等

详细资料,特别是系统数据的不断更新和动态管理是值得关注的一个现实问题;(2)建立覆盖全市药源基地的土壤农化检测服务体系,及时检测土壤肥力的动态变化,收集与中药材种植有关的重金属、农残、肥料试验等有关资料,充实系统数据库;(3)根据系统应用情况及用户反馈意见,及时测试、改进、完善系统建设;(4)加强RS(遥感)、GPS(全球定位系统)、GIS(地理信息系统)技术在商洛中药材基地建设中的应用,为系统的动态建设和管理提供现代科技支撑。

### 参考文献:

- [1] 贺立簿,黄魏,张勇.湖北省土壤肥料信息管理系统研究[J].华中农业大学学报,1999(增刊):258-26.
- [2] 张维理,刘建利,徐爱国,等.我国烟草土壤肥料信息系统的开发与应用[J].中国烟草学报,2003(增刊):1-8.
- [3] 黄魏,贺立源,蔡崇法.贺胜桥镇土壤肥料信息系统的研制[J].华中农业大学学报,2000,19(5):450-455.
- [4] 张维理.农业信息技术在我国的发展前景和机遇[J].土壤肥料,1998(3):1-4.
- [5] 张维理,等.中国土壤肥料信息系统及其在养分资源管理上的应用[M].北京:中国大地出版社,2001.
- [6] 张晓虎.商洛市中药材种植药源基地土壤肥力的研究初报[J].陕西农业科学,2007(3):53-55.
- [7] 商洛地区土壤普查办公室.商洛土壤[M].西安:陕西人民出版社,1989.
- [8] 杨蓉.浅谈网站设计与制作[J].黑龙江科技信息,2007(1):44.
- [9] 姜亚军,王艳芳.谈网站建设中数据库的综合运用[J].辽宁教育行政学院学报,2006(4):95.
- [10] 张秋颖.基于ASP、SQL server技术的门户网站设计与实现[J].计算机与现代化,2006(12):125-129.
- [11] 宋牛,宋晓强,杨洪伟,等.网站动态信息维护子系统的设计与实现[J].农业网络信息,2006(11):38-40.

(上接第240页)

### 建立滑坡危险度数学模型

$$B_{\text{滑坡}} = \sum_{i=1}^n W_i \cdot I_i \quad (4)$$

式中: $B_{\text{滑坡}}$ ——滑坡危险度系数; $W_i$ ——权重; $I_i$ ——指数,经计算得到金龙山滑坡的危险度系数为0.466。

模型经过调试,试运算将危险度分为4级,分别是严重危险区 $>0.75$ ,较严重危险区 $0.65 \sim 0.76$ ,较轻微危险区 $0.4 \sim 0.65$ ,极轻微危险区 $<0$ 。据以上分类,金龙山滑坡属于较轻微危险区。

## 4 结论

在运用层次分析法对滑坡危险度区划时,通过建立层次结构模型和构建成对比较矩阵把定性和定量信息结合起来。运用成对比较矩阵的权向量来作为评价因子的权重,较好地克服了确定评价因子权重的主观性,并通过成对比较矩阵算

出权向量,通过建立的滑坡危险度模型得出金龙山滑坡属于较轻微危险区。

### 参考文献:

- [1] 王莲芬,等.层次分析法引论[M].北京:中国人民大学出版社,1990:5-18.
- [2] 乔建平.滑坡减灾理论与实践[M].北京:科学出版社,1997:127-131.
- [3] 严春风,等.岩体强度准则概率模型及其应用[M].重庆:重庆大学出版社,1999:150-180.
- [4] 樊晓一,乔建,陈永波.层次分析法在典型滑坡危险度评价中的应用[J].自然灾害学报,2004,13(1):72-76.
- [5] William E. Stein. the harmonic consistency index for the analytic hierarchy process[J]. European Journal of Operational Research,2007,177:488-497.