

西南山区水电站库区地质灾害模糊综合评价

张会刚¹, 姜志玲², 王维早³

(1. 铁道第二勘测设计院地勘分院地质二所, 成都 610031;

2. 华东交通大学电气学院, 南昌 330013; 3. 石家庄经济学院工程学院, 石家庄 050031)

摘 要: 基于水电站库区地质环境条件的复杂性, 选择历史灾害危险性、地质环境条件、承灾体易损性 3 个基本要素和相应的 16 个评价因子作为评价因素, 利用模糊综合评价方法, 对西南山区水电站地质灾害危害性进行分区评估, 并对灾害做出趋势分析。

关键词: 地质灾害; 模糊综合评判; 指标体系; 西南山区水电站

中图分类号: P694; T V738

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)04-0030-03

Geological Hazard Fuzzy Comprehensive Evaluation – estimation of Power Station in Southwest Mountainous Area

ZHANG Hui-gang¹, JIANG Zhi-ling², WANG Wei-zao³

(1. The Second Survey & Design Institute of China Railways, Chengdu 610031, China;

2. East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China;

3. Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, China)

Abstract: Based on the complexity of geological environmental conditions of power station in southwest mountain, harmfulness of historical disaster, geological environmental conditions and the degree of injured bodies to undertake disaster are selected as basic factors and 16 relevant factors are selected to act as evaluating factors, fuzzy comprehensive evaluation – estimation is used to evaluate geological hazard of power station in southwest mountain and the trend of the geological hazard is predicted.

Key words: geological hazard; fuzzy comprehensive evaluation – estimation; index system; power station of southwest mountain

1 引 言

随着国民经济的持续快速发展和西部大开发战略的进一步实施, 我国水利水电资源的开发利用进入了前所未有的阶段。但经济发展是一把双刃剑, 在提高人类生活水平, 满足人类不断增长需求的同时, 可能导致环境问题, 反馈于人类自身。而建设用地地质灾害危险性评估正是权衡建设与环境地质灾害之间的关系, 确保建设与环境可持续发展的纽带。西部地区地质灾害评价的目的是为西部经济发展提供地质服务, 通过对地质环境因素及其现状的研究进而对地质环境进行评价分析, 找出其对开发的影响、变化趋势和发展规律。对西部地区开发中地质灾害的研究程度, 随全球对地质灾害问题的认识和国家及西部地区经济发展水平的提高而逐步提高。

为避免库区地质环境恶化, 防止工程建设遭受地质灾害危害, 我国先后颁布了《地质灾害防治管理办法》、《关于实行建设用地地质灾害危险性评估的通知》等法规, 将地质灾害防治管理工作纳入法制轨道, 并规定城市建设、工程建设在项目选址阶段必须进行地质灾害危险性评估; 而地质灾害危险性综合评判尚处于探索阶段, 因西南山区水电站库区地质环境的复杂性、评价对象的层次性、评价标准中存在的模糊性以及评价影响因素的模糊性或不确定性、定性指标难以定

量化等一系列的问题, 使得我们难以用经典的数学模型加以统一量度, 多采用以隶属度来描述模糊界限的模糊综合评判方法。

2 地质环境背景

西南山区河流域主要受高空西风环流、印度洋和太平洋季风气流控制。如大渡河流域河谷深切, 气候垂直变化大, 且昼夜温差变化大, 风化强烈; 降雨量年内主要集中在 5~10 月, 而 6~9 月降雨最多, 约占全年降雨量的 75%; 总的地势是西北高、东南低, 并且喜马拉雅地质运动引起山脉隆起高原上升, 地质构造复杂, 岩性多变, 跨越色达 – 松潘断块、川滇南北向构造带北段、甘孜 – 康定断块、川中台拗四个构造地质单元, 断裂活动较频繁, 且烈度较大; 河谷盆地串珠状镶嵌在大渡河峡谷之间。工程区为高山至中高山深切切割沟谷, 切割深度多数在 700 m 以上, 沟谷两侧山坡坡度在 35°左右, 风化卸荷强烈, 以沟状侵蚀和重力侵蚀为主, 崩塌、滑坡、泥石流等不良地质现象较多; 水库蓄水后宽谷地段阶面高程与库水面接近的阶地出现浸没; 近库岸土质岸坡在水库蓄水后出现库岸再造; 断裂发育, 存在水库诱发地震的可能性。

3 模糊综合评判模型

库区地质灾害危险性综合评判的方法较多, 考虑到峡谷

* 收稿日期: 2005-06-21

作者简介: 张会刚 (1975-), 男, 河南许昌人, 助理工程师, 主要从事公路、铁路、地铁方面的勘察以及地质灾害评估防治方面的工作。

型水库的具体特点以及评估评价和评估因素的不确定性, 选择模糊数学方法进行评价。

3.1 模糊综合评判模型选择

库区地质灾害危险性模糊综合评判所选用多因素综合评判是通过层次分析法进行的, 其概念模型最终是反映次级因素对地质灾害危险性的控制程度。因而, 权重矩阵为 1×16 , 模糊综合评判计算所用模糊矩阵直接由 16 个次一级因素的 3 个地质灾害危险性等级次隶属度值按行排列, 形成一个 16×3 阶矩阵。

表 1 主要模糊综合评判模型比较

模型	表达式	类型	评判结果
$M(\wedge, \vee)$	$b_j = \bigvee_{i=1}^m (a_i \wedge r_{ij})$	主因素 决定型	综合评判的结果 b_j 的值仅由 a_i 与 r_{ij} 某一个确定, 出发点只考虑主要因素, 其评判结果只取决于在总评价中起主要作用的那个因素, 其余因素均不影响结果。此模型适用于单项评判最优, 影响因素较多时, 较小权重 a 因素通过取大运算而“淹没”, 因而常常使这一模型得不出有意义的结果
$M(\cdot, \vee)$	$b_j = \bigvee_{i=1}^m a_i r_{ij}$	主因素 突出型	此模型的运算已经比 $M(\wedge, \vee)$ 模型的运算精细, 用 $a_i r_{ij}$ 代替了 $M(\wedge, \vee)$ 中的 $a_i \wedge r_{ij}$, 且对 r_{ij} 乘以小于 1 的权重 a_i , 表明 a_i 在考虑多种因素时 r_{ij} 的修正值, 不仅突出了主要因素, 也兼顾了其它因素, 其评判结果比模型 $M(\wedge, \vee)$ 要“细腻”。但 a_i 也是在考虑多种因素时 r_{ij} 的修正系数, 它虽与因素 u_{ij} 的重要性程度有关, 但也没有权系数的意义, 各个 a_i 的和也不一定等于 1
$M(\cdot, +)$	$b_j = \sum_{i=1}^m a_i r_{ij}$	加权 平均型	此模型对所有因素依权重大小均衡兼顾, 适用于多个因素起作用的情况。

3.2 模糊综合评判模型构建

(1) 建立评价集。为反映评价分区地质灾害危险性指标, 确定评价指标集合, 按照建设用地地质灾害危险性评估技术要求, 将地质灾害危险性分为三级, 即评价指标集为 $V = \{V_1, V_2, V_3\}$, 其中 V_1 ——危险性小, V_2 ——危险性中, V_3 ——危险性大。

(2) 确定参评要素集。 $U = \{U_1, U_2, U_3\}$, 其中 U_1 ——历史灾害危险性, U_2 ——地质环境条件, U_3 ——承灾体易损性。

(3) 选择参评要素的评价因子集。 $C(u_1) = \{C_1, C_2, C_3\}$; $C(u_2) = \{C_4, C_5, C_6, C_7, C_8, C_9, C_{10}, C_{11}, C_{12}\}$; $C(u_3) = \{C_{13}, C_{14}, C_{15}, C_{16}\}$, 式中: C_1 ——地质灾害点密度; C_2 ——地质灾害规模; C_3 ——地质灾害频度; C_4 ——地震烈度; C_5 ——断裂分布密度; C_6 ——岩土体结构类型; C_7 ——地形相对高差; C_8 ——沟谷切割密度; C_9 ——多年降雨量; C_{10} ——降雨量变异系数; C_{11} ——森林覆盖率; C_{12} ——人为活动; C_{13} ——人口密度; C_{14} ——经济类型; C_{15} ——土地利用类型; C_{16} ——交通干线。

(4) 确定隶属函数。数学模型是建立隶属函数的基础, 反映各单要素隶属地质灾害危险性等级的关键。选取的指标中有量化的指标和非量化的指标, 量化的指标通过考查因子和评价集, 能量化的指标直接通过建立隶属函数确定; 不能直接量化的指标可通过将专家评价统计值用评估标准隶属度集来量化。能量化的指标各因子基准界线值可统一表示为 $\langle a_1, a_1 \sim a_2, > a_2 \rangle$ 。各因子的隶属函数, 可采用以下统一的形式:

$$u_1(x) = \begin{cases} 1 & x \leq a_1 \\ \frac{(a_1 + a_2) - 2x}{a_2 - a_1} & a_1 < x < \frac{a_1 + a_2}{2} \\ 0 & x \geq \frac{a_1 + a_2}{2} \end{cases}$$

$$u_2(x) = \begin{cases} \frac{2x - 2a_1}{a_2 - a_1} & a_1 < x < \frac{a_1 + a_2}{2} \\ 1 & x = \frac{a_1 + a_2}{2} \\ \frac{2a_2 - 2x}{a_2 - a_1} & \frac{a_1 + a_2}{2} < x < a_2 \end{cases}$$

$$u_3(x) = \begin{cases} 0 & x \leq \frac{a_1 + a_2}{2} \\ \frac{2x - (a_1 + a_2)}{a_2 - a_1} & \frac{a_1 + a_2}{2} < x < a_2 \\ 1 & x \geq a_2 \end{cases}$$

式中: $u_i(x)$ ——各评价因子的隶属函数; x ——评价因子的实际值。 a_1, a_2 ——评价因子对评价级别的基准界限值, 数值大小根据有关规范、标准, 结合实际情况给出。对于分类指标越大越好的定量指标采用升半梯形分布隶属函数曲线确定其隶属度; 对于定量指标越小越好的定量指标, 采用降半梯形分布隶属函数曲线确定其隶属度, 如森林覆盖率; 对于定性指标的按照其隶属关系直接赋值 1 或 0。

(5) 层次分析法确定权重。本次利用层次分析法确定评估因子的权值, 把各因子按相互之间的内在支配关系, 建立层次结构模型, 采用 1~ 9 标度法, 通过两两比较, 构造判断矩阵, 进行层次单排序和层次总排序, 确定各因子的相对重要性。

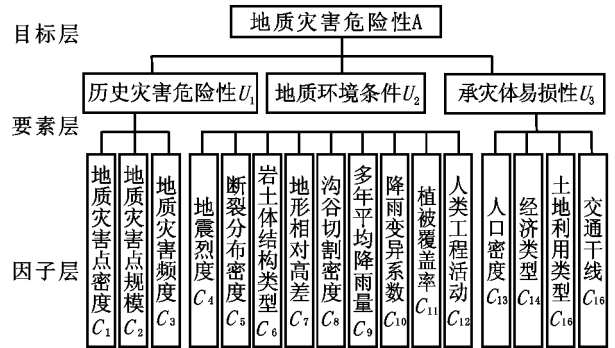


图 1 层次结构模型图

(6) 构造模糊矩阵。利用隶属函数求评价因子对地质灾害危险性级别的隶属度, 构成模糊关系矩阵。模糊关系矩阵为:

$$R(U) = (r_{uj})_{16 \times 3}$$

式中: r_{uj} —— U 要素 i 因子对于评价等级 j 的隶属度; n —— U 要素参评因子个数。

3.3 模糊综合评判计算

为了让各因子对地质灾害危险性控制程度均反映出来, 本次评判计算采用普通矩阵乘法。即采用模糊变换算子进行模糊变换。综合评判, 根据最大隶属度原则, 评判计算单元所属危险性级别。

例如 11 号评判单元的模糊综合评判计算:

$$B = W \times R = [0.091, 0.398, 0.051, 0.016, 0.075, 0.048, 0.027, 0.025, 0.026, 0.026, 0.026, 0.032, 0.093, 0.038, 0.011, 0.039] \times$$

$$\begin{bmatrix} 0.08 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0.67 & 0.67 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0.92 & 0 & 0 & 0 & 0.19 & 0 & 0 & 0 & 0.33 & 0.33 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0.81 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$
$$= [0.257 \ 0.124 \ 0.6413]$$

根据最大隶属度原则, 该单元属于 3, 即高度危险性。

表 2 地质灾害危险性评估分类标准

危险性等级 评估因子	危险性小 V_1	危险性中 V_2	危险性大 V_3
地质灾害点密度/km	≤ 0.9	2.1 左右	≥ 3
地质灾害规模	崩塌 $< 50\text{ m}^3$; 滑坡 $< 0.1\times 10^4\text{ m}^3$; 泥石流堆积 $< 20\times 10^4\text{ m}^3$	崩塌 $> 1\,000\sim 50\text{ m}^3$; 滑坡 $> 0.1\sim 1\times 10^4\text{ m}^3$; 泥石流堆积 $20\sim 50\times 10^4\text{ m}^3$	崩塌 $> 1\,000\text{ m}^3$; 滑坡 $> 10^4\text{ m}^3$; 泥石流堆积 $> 50\times 10^4\text{ m}^3$
地质灾害频度/(次 \cdot 年 $^{-1}$)	崩塌 < 0.1 次/年; 滑坡 < 0.1 次/年; 泥石流衰退期 < 0.6	崩塌 $0.1\sim 1$ 次/年; 滑坡 $0.1\sim 1$ 次/年; 泥石流衰退期 $0.6\sim 0.8$	崩塌 > 1 次/年; 滑坡 > 1 次/年; 泥石流旺盛期 > 0.8
地震烈度/ $^{\circ}$	≤ 6	7 左右	≥ 8
断裂分布密度/km	≤ 0.3	1.01 左右	≥ 2
岩土体结构类型	岩石坚硬结构完整 0.3	岩石较坚硬, 结构较完整 0.5	岩石不坚硬, 结构不完整 0.7
地形相对高差/m	≤ 150	350 左右	≥ 500
沟谷切割密度	≤ 0.9	3 左右	≥ 5
多年降雨量/mm	≤ 650	730 左右	≥ 800
降雨量变异系数	≤ 0.12	$0.12\sim 0.21$	≥ 0.21
森林覆盖率/%	≥ 60	45 左右	≤ 30
人为活动	微弱 ≤ 0.3	中等 $0.3\sim 0.7$	强烈 ≥ 0.7
人口密度/(人 \cdot km $^{-2}$)	≤ 10	35 左右	≥ 50
经济类型	经济作物 ≤ 0.3	农作物(耕地) $0.3\sim 0.7$	矿业、冶炼等 ≥ 0.7
土地利用类型	陡坡耕地、荒地 ≤ 0.3	耕地 $0.3\sim 0.7$	居民区 ≥ 0.7
交通干线	乡村道路 ≤ 0.3	县级道路 $0.3\sim 0.7$	省道、国道 ≥ 0.7

表 3 库区评估因子层次总排序

层次 U	U_1	U_2	U_3	层次 C 总排序权重
	0.539	0.297	0.163	
C_1	0.168	0	0	0.091
C_2	0.738	0	0	0.398
C_3	0.094	0	0	0.051
C_4	0	0.054	0	0.016
C_5	0	0.251	0	0.075
C_6	0	0.161	0	0.048
C_7	0	0.092	0	0.027
C_8	0	0.084	0	0.025
C_9	0	0.089	0	0.026
C_{10}	0	0.073	0	0.026
C_{11}	0	0.087	0	0.026
C_{12}	0	0.109	0	0.032
C_{13}	0	0	0.570	0.093
C_{14}	0	0	0.128	0.038
C_{15}	0	0	0.065	0.011
C_{16}	0	0	0.237	0.039

4 模糊综合评判结果分析

采用 16 个指标对库区建设用地地质灾害危险性进行综合评估, 评估结果为库区轻度危险单元为 84 km², 占评估区参考文献:

[1] 宗辉. 地质灾害危险性评估的半定量评价方法[J]. 地质灾害与环境保护, 2003, 14(2): 51– 53.
[2] 张倬元, 王士天, 王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
[3] 姚春梅, 刘洪亮. 模糊数学综合评判法在矿山地质灾害危害程度评价中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1998, 9 (3): 48– 53.
[4] 崔树军. 我国西部开发中地质灾害评价的探讨[J]. 西部探矿工程, 2000, 65: 117– 118.
[5] 赵海卿, 李广杰, 张哲寰. 吉林省东部山区地质灾害危害性评价[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2004, 34(1): 119– 124.

面积的 80.8%; 中度危险单元 16 km², 占评估区面积的 15.4%; 高度危险单元 4 km², 占评估区面积的 3.8%。

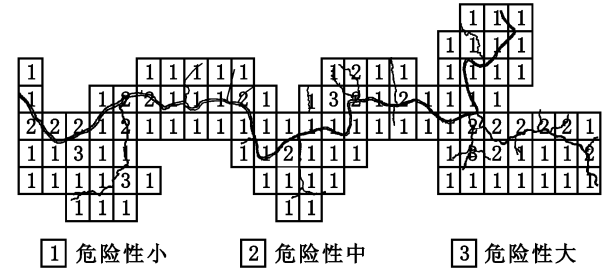


图 2 库区地质灾害危险性模糊综合评判分区

从评估结果的归类分析, 模糊综合评判定量计算结果与定性分区基本吻合, 库区的地质灾害危险程度较小, 地质灾害点状分布; 从评估结果的数值分析, 模糊综合评判方法能反映西南山区水电站地质灾害危险程度, 所选取的评估指标体系及其取值依据是有效和可靠的; 从评估指标体系指标权重分析, 评估结果与权重关系密切, 库区地质灾害发育现状对评估结果影响较大, 符合地质灾害发育延续规律; 利用模糊数学方法评估地质灾害危险性是可行的, 即能够充分利用地质灾害中所存在的模糊性特点, 又能充分考虑评估因素指标值、评估因素权重和评估因素间交互作用对地质灾害危险性的共同影响, 同时模糊数学综合评估能兼容定量因素和定性因素。