

滑坡地质灾害风险分析方法

彭满华 张海顺 唐祥达

(中国船舶工业勘察设计研究院, 上海 200063)

【摘要】 对滑坡地质灾害进行风险分析是确定减灾目标、优化防御措施、评价减灾效益、进行减灾决策的重要依据。从风险辨识、风险估算和风险评价三个方面对滑坡地质灾害进行风险分析所采用的方法作了探讨。

【关键词】 风险分析方法; 风险辨识; 风险估算; 风险评价

【中图分类号】 P694; P642.22

Preliminary Study on the Risk Analysis Methodology for Landslide

【Abstract】 It is one of the most important evidence of establishing the anti-disaster target, optimizing the countermeasures, evaluating the anti-disaster effects and making the anti-disaster decisions to analyze the risk of landslide. The risk analysis methodology for landslide from the view point of risk distinguishing, risk estimating and risk evaluation is discussed.

【Key words】 risk analysis methodology ; risk distinguishing ; risk estimating ; risk evaluation

0 引言

滑坡是自然界中一种常见的地质灾害,它的发生一方面取决于其自身的自然条件(岩土结构、临空面、软弱面、水的活动性等),另一方面也取决于自然营力或人类工程活动,它是自然变异与社会活动相互作用的产物,它所造成的直接影响包括人员伤亡、建筑物及公共设施损坏、自然及生态环境破坏等;间接影响包括打乱人们正常的生活秩序、投资重建整治工程等,它给人类带来的损失仅次于地震和洪水(晏同珍等,1992)。据统计,在我国由于滑坡地质灾害的发生而导致的生命损失(死亡)每年至少有300人(文宝萍,1996),所造成的直接经济损失在1949~1990年的42年间每年平均达1.3亿元,间接经济损失每年达7.8亿元(国家科委全国重大自然灾害研究组,1993),而且随着社会的发展和经济建设的深入,滑坡地质灾害所造成的损失还在继续上升

(见表1),今年五月一日,在重庆地区发生的武隆滑坡就造成了74人死亡。因此为了预测滑坡地质灾害和减少其所造成的损失,对滑坡地质灾害进行风险分析就显得尤为重要和迫切,笔者主要就滑坡地质灾害风险分析所采用的方法进行论述。

表1 中国20世纪重大滑坡崩塌灾害成灾频次表

年代	50	60	70	80
成灾频次	20	28	46	170

(据国家科委全国重大自然灾害研究组,1993)

1 滑坡地质灾害风险分析的内容和过程

1.1 滑坡地质灾害风险的概念

滑坡地质灾害风险从概念上讲,就是滑坡发生的概率以及滑坡产生不良后果的可能性。也就是说,滑坡地质灾害风险包括发生破坏的可能性及其所产生的后果两方面,因此它是事件发生概率和事件发生后果两个因素的函数,

作者简介:彭满华,1970年生,女,汉族,湖南涟源人,工学硕士,工程师,2000年毕业于重庆大学建筑工程学院岩土工程专业,现主要从事岩土工程应用研究。

可表示为： $R = f(p_f, c) = p_f \times c$ (1)

式中： R ——滑坡地质灾害风险；

p_f ——发生破坏的概率

c ——破坏产生的后果。

这一定义体现了滑坡地质灾害的自然性和社会性： p_f 越大表明其越危险，同时 c 越大，表明风险越大。从而可对滑坡地质灾害按轻重缓急依次处理，对风险大的要先处理。

1.2 滑坡地质灾害风险分析的内容

滑坡地质灾害的风险分析内容包括风险辨识、风险估算和风险评价。风险辨识着重于

风险的鉴别，它主要是鉴别风险的来源、范围、特性及其行为或现象相关的不确定性。在实际工作中往往要依赖于工程经验和类比，主要是岩土工程师的介入；而风险估算则是对风险的量化与度量，着眼于定量地描述处于风险中的人口分布、建筑物分布及建筑物等级，阐明事件的成因、发生的概率，相应于不同强度时的后果，并将这些强度(事件)的概率统计作为风险的定量结果；风险评价主要为决策者提出建议，据此可以权衡风险的大小。

1.3 滑坡地质灾害风险分析的过程

滑坡地质灾害风险的确定过程见图1^[1]。

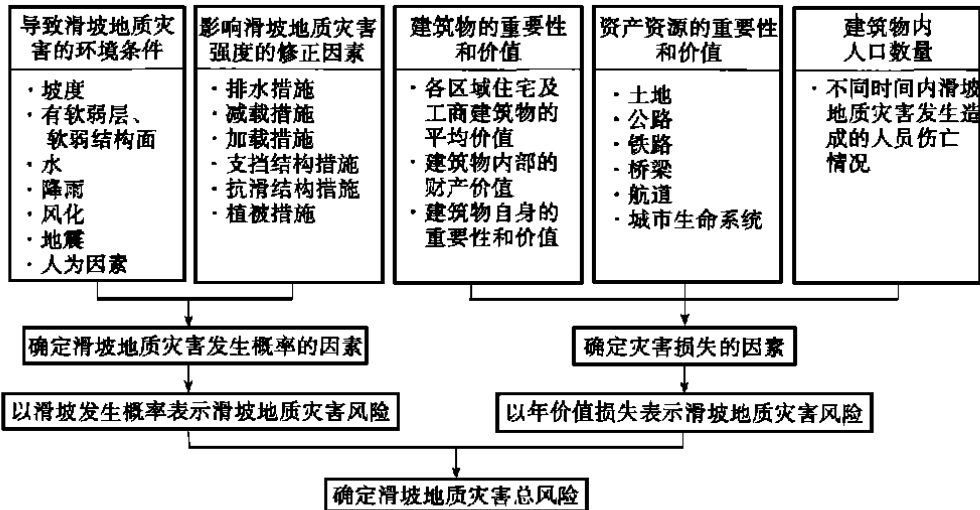


图1 确定滑坡灾害风险的过程框图

2 滑坡地质灾害风险分析的方法

2.1 滑坡地质灾害风险辨识的方法

由于滑坡地质灾害风险辨识阶段的主要任务是找出各种潜在的危 险并对其后果作出

定性的估量，不要求作定量的估计，因此可以用德尔菲(Delphi)方法对其做出定性的估计。

德尔菲方法的风险辨识可按图2^[2]程序进行：

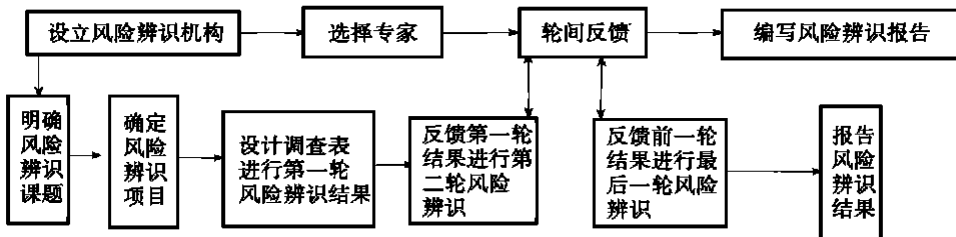


图2 德尔菲法的风险辨识程序框图

关于专家意见的统计处理可以采用模糊综合评判法。

首先追踪分析第一目标, 我们确定指标论域:

$Y = \{ \text{岩性组合 } Y_1, \text{地形坡度 } Y_2, \text{坡型 } Y_3, \text{坡高 } Y_4, \text{河流作用 } Y_5, \text{降雨量 } Y_6, \text{人类工程活动 } Y_7, \text{地震 } Y_8, \text{后果 } Y_9 \}$

把这 9 个指标作为评价的分类对象, 请一些对滑坡地质灾害风险评价具有一定研究和认识水平的专家组成专家组开展调查, 并请他们对各因素进行评价, 确定评判集 Z :

$Z = \{ \text{风险很高 } Z_1, \text{风险高 } Z_2, \text{风险中等 } Z_3, \text{风险低 } Z_4 \}$

这样就可以评判第 i 个因素对第 k 个等级的隶属度 r_{ik} , 形成该因素对各等级隶属度的行向量:

$\underline{r}_i = (r_{i1}, r_{i2}, r_{i3}, r_{i4})$, 对各因素遍求各等级隶属度行向量, 即可得模糊评判矩阵 \underline{R} :

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} \\ r_{51} & r_{52} & r_{53} & r_{54} \\ r_{61} & r_{62} & r_{63} & r_{64} \\ r_{71} & r_{72} & r_{73} & r_{74} \\ r_{81} & r_{82} & r_{83} & r_{84} \\ r_{91} & r_{92} & r_{93} & r_{94} \end{bmatrix} \quad (2)$$

对滑坡地质灾害而言, 这九个指标所起的作用是不同的, 它们的重要性也因此不同, 各因素的权重分配, 有时会因人的主观因素而有差异, 因此为了求得较为合理的权重分配, 可以采用 FD(Forced Decision Method) 法确定:

对因素集 Y 采用下列方法赋值:

Y_i 相对 Y_j 的重要性	同等	略微	比较	十分	相当	非常	极端
α_{ij}	1	2	3	4	5	6	7

当 $\alpha_{ij} = k$ 时, 则有 $\alpha_{ji} = 1/k$, 于是可以得到九阶对比矩阵: $A = (\alpha_{ij})_{9 \times 9}$, 用优势集累法求得权向量, 即:

$$W_k = \left(\sum_{j=1}^9 \alpha_{1j}, \sum_{j=1}^9 \alpha_{2j}, \sum_{j=1}^9 \alpha_{3j}, \sum_{j=1}^9 \alpha_{4j}, \sum_{j=1}^9 \alpha_{5j}, \sum_{j=1}^9 \alpha_{6j}, \sum_{j=1}^9 \alpha_{7j}, \sum_{j=1}^9 \alpha_{8j}, \sum_{j=1}^9 \alpha_{9j} \right) \quad (3)$$

进行归一化处理即: $W'_k = \frac{W_k}{\sum W_k} \quad (4)$

可得 W'_k 值, 再选用模糊算子 $\sigma(\wedge, \oplus)$, 则有对滑坡地质灾害风险辨识的综合判断:

$$\underline{P} = W\sigma R = [(1 \wedge \sum_{k=1}^9 W_k \wedge R_{k1}), (1 \wedge \sum_{k=1}^9 W_k \wedge R_{k2}), \dots, (1 \wedge \sum_{k=1}^9 W_k \wedge R_{k4})] \quad (5)$$

选取其中最大的值, 其所对应的等级即为滑坡地质灾害发生时所对应的风险等级。

计算方法)。

2.2 滑坡地质灾害风险估算的方法

2.2.1 滑坡地质灾害发生概率的估算方法

造成滑坡险情的主要因素有多种, 因此滑坡地质灾害发生的概率 p 可以是一个单因素的值, 也可以是多个因素复合的叠加值。滑坡地质灾害发生概率的估计可以按下述方法确定:

2) 对降雨等由水诱发的滑坡, 可以利用水文气象资料估计滑坡的发生概率。对由降雨等引起的滑坡, 其发生的概率可以用

$$p = 1 - (1 - p_i)(1 - p_j) \quad (6)$$

1) 基于滑坡产生的几何条件、强度参数、岩土体条件等进行概率分析(可以采用传统的

来求得³, 式中: p 为滑坡发生概率; p_i 为降雨诱发概率; p_j 为滑坡致滑概率。致滑概率可以根据可靠度理论求得; 暴雨诱发概率的确定可以根据多年的气象资料及观测暴雨期间滑坡发生次数来确定。

3) 利用已有的历史数据进行概率分析。

虽然滑坡地质灾害的发生具有随机性,但独立随机事件的发生总是符合一定的规律(如大数定理、中心极限定理等),因此其发生频率总是具有某种稳定性,故可以用其发生频率来代替概率,其发生频率可以根据历史灾害记录而得到。

4) 利用故障树法。故障树法是被工程实践反复证明,能处理复杂系统可靠性、安全性

问题的好方法^[4]。它不局限于对事件作一般的可靠性分析,而以概率统计、布尔代数、可靠性数学为基础,并与计算机技术紧密相关,有利于找出系统的薄弱环节。图3为发生滑坡的故障树。

用故障树分析求取定量结果主要是用概率的形式表示底端事件,概率越高,说明底端事件发生的风险越大,反之则小。

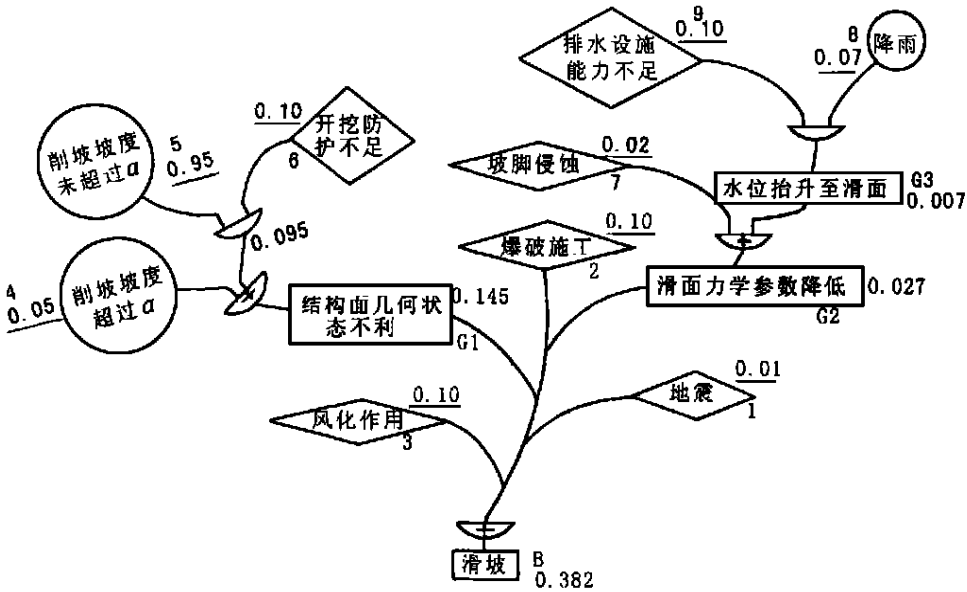


图3 滑坡风险分析的故障树法示意图

图注: 为逻辑或门,表示至少一个输入事件发生时,门的输出事件发生,即 $A = B1 \cup B2$; 为逻辑与门,表示仅当所有输入事件发生时,门的输出事件发生,即 $A = B1 \cap B2$; 最下端的“滑坡”为底端事件,记作“B”; 表示失效事件; 表示未作探讨事件; 表示基本事件,即不能再分析下去的事件。

2.2.2 滑坡地质灾害所造成的损失的估算方法

滑坡地质灾害所造成的价值损失主要可以从三个方面去考虑,一是易损率,二是损失率,三是受灾区的财产、资源的价值。人的易损率常与人的风险观念、减灾意识有关。建筑物的易损率与建筑物的性质、新旧程度有关。建筑物的损失率与损失程度呈明显的正相关关系^[5]:完好与基本完好,价值损失率为0;轻微损坏,价值损失率为0~30%,平均为15%;中等损坏,价值损失率为30~70%,

平均为50%;严重损坏,价值损失率为70~100%,平均为85%。

滑坡地质灾害所造成的损失价值是原价值与损失率之乘积,原价值的估计可通过三种途径来获取:一是通过资产评估,二是通过现场调查评估,三是根据资产实际使用年限与寿命年限的比值来大致估算其资产净值。对有重要意义的建筑物,其价值的计算除了计算其成本价值外,尚应计算其效益价值或社会价值。另外对土地资源的评价可根据各地土地估价委员会或国土局颁发的有关规定来核算,

对于其它受灾体的价值评估可参照国家标准或参考同类物体标准确定。

2.3 滑坡地质灾害风险评价的方法

滑坡地质灾害的风险评价主要是通过评价滑坡地质灾害发生的概率和滑坡地质灾害发生后所产生的后果来实现的。滑坡地质灾害发生概率的计算可以通过上述各方法求得; 滑坡地质灾害发生后所产生的后果往往以年期期望价值损失的形式来表示。要准确地对滑坡地质灾害进行风险评价, 必须依靠现代化的科技手段。事实上, 近年来随着地质资料信息化的呼声日益高涨, 很多城市和地区已经开始着手或拟进行资料的数字化, 建立区域信息系统。在此过程中, 比较有效的工具便是 3S (GIS, RS, GPS), 因此考虑如何在已建的综合地学信息系统的基础上进行滑坡地质灾害的风险评价便成为可能。

一般来说, 对滑坡地质灾害进行风险评价主要应遵循以下几个步骤, 各步骤利用地理信息系统(GIS)、遥感(RS)和全球定位系统(GPS)进行数据的采集、存储、管理、分析和建库。

1) 基础信息的采集: 在综合地学信息系统中, 采集与滑坡地质灾害有直接或间接关系的环境信息, 如地形地貌图、地质图、土地利用图、岩土工程地质图、水文地质图、降雨、地震、

人类工程活动、建筑物分布图、居民点分布图及森林、交通图等。为便于对滑坡地质灾害进行评价, 往往要对空间和属性进行查询、叠加等分析, 有时还需进行二次开发;

2) 滑坡体的识别: 利用航空遥感技术和 GPS 开展的地面调查, 进行滑坡体的识别, 范围的圈定, 形成条件、类型及活动史的分析;

3) 滑坡风险因子及发生概率的确定: 根据第 1) 和 2) 步的结果, 筛选出影响滑坡风险性最重要的参评因子(前提风险因子、强度风险因子、诱发风险因子、损失敏感因子和系统抗损因子)^[6], 并确定它们在整个风险中所占的比重。同时运用统计学或土力学的方法对滑坡发生概率作定量的计算;

4) 滑坡灾害的风险评价, 作出滑坡灾害风险图: 选择风险评价计算模型, 编制基于格栅模型的风险评估软件, 应用 GIS 的相关功能, 得出滑坡地质灾害风险分布图。再据风险分级标准, 作出滑坡地质灾害的风险等级图。

在这里值得一提的是: 由于将滑坡危险性评价结果与潜在损失结果相结合进行的滑坡风险性评价是一个比较复杂的难题, 故在这方面所做的研究有限, 所得出的评价标准不一, 在此收集了根据年期期望损失和单位风险值的不同而得出的风险评价表(见表 2)。

表 2 风险评价表^{[5][7]}

风险等级		很高	高	中	低
年期期望损失	年均死亡人数	> 10	< 10, > 1	0	0
	直接经济损失 (万元/年)	> 100	< 100, > 10	< 10, > 1	< 1
单位风险		≥ 0.1	< 0.1, ≥ 0.05	< 0.05, ≥ 0.02	< 0.02

3 结 语

对滑坡地质灾害进行风险分析可为工程经济风险分析、生命风险分析和工程经济风险决策等提供分析的基础信息资料, 是确定减灾目标、优化防御措施、评价减灾效益、进行减灾决策的重要依据, 笔者对滑坡地质灾害的风险

分析方法作了初步探讨。由于滑坡地质灾害的风险分析研究在我国还尚未成熟, 因此如何结合防灾减灾的实际需要, 采取更为切实可行的分析方法, 是一个值得岩土工程师们和政府部门关注的问题。

参 考 文 献

- 1 彭满华. 重庆城市地质灾害的风险性评价与控制对策研究:[学位论文]. 重庆:重庆大学,2000
- 2 蔡美德等. 预测与决策. 北京:科学出版社,1992
- 3 金晓媚,刘金韬. 重庆市醴糟坪滑坡群危险性评价. 岩石力学与工程学报,2000(1)
- 4 蒋维,金磊. 中国城市综合减灾对策. 北京:中国建筑工业出版社,1992
- 5 张梁,张业成,罗元华. 地质灾害灾情评估理论与实践. 北京:地质出版社,1998
- 6 向喜琼,黄润秋. 地质灾害风险评价与风险管理. 地质灾害与环境保护,2000(1)
- 7 罗文强,龚珏. 滑坡灾害的风险性评价. 湖北工程地质环境地质五十年. 武汉:中国地质大学出版社,1999
- 8 方鸿琪,杨闰中. 城市工程地质环境分析原理. 北京:中国建筑工业出版社,1999.

收稿日期:2001-06-05

作者来函照登

《岩土工程技术》编辑部:

您好!首先,请允许我们没有恪守“专投《岩土工程技术》”的承诺表示诚挚的歉意。我们的拙作“堆载预压法在某工程中的应用及效果评价”给贵刊造成的损害,我等深感不安。我们将如数贵刊的损失。由于我们对“专投”的重视不足,才造成二次刊登的结果。我们以后一定恪守承诺,不再犯同样的错误。在此也恳请贵刊原谅!谢谢!

谢晓华 苏贵臣 刘吉福
二〇〇一年六月廿五日

* * * * *

《岩土工程技术》征稿简则“3 双方约定(1)作者和编者共同遵守《科技期刊道德公约》(见本刊封2)……。(2)审稿前提:①来稿必须专投本刊,即在审稿时间内稿件未在他处享有版权,或授权他处出版。②来稿应获所有作者允许。③文责由第一作者自负。”

谢晓华、苏贵臣、刘吉福先生的“堆载预压法在某工程中的应用及效果评价”收稿日期为2000-12-07,原稿有“专投《岩土工程技术》”承诺。2000-12-11本刊给谢晓华先生寄去专家评审意见(一审意见)和本刊的修改意见,2000-12-18收到作者的修改稿。2001-02-08该文通过2审、3审,2001-02-09本刊给作者发出“录用通知书”。在本刊2审、3审期间,该文已於2001-01-15先在它刊正式发表。这显然违背了本刊征稿简则中“双方约定”的要约:“即在审稿时间内稿件未在他处享有版权,或授权他处出版”,造成‘一稿多投’的事实。作者致本刊编辑部的来函中对“一稿多投”的错误表示了歉意和不安,并补尝了本刊因此造成的经济损失。作者从中记取了教训,保证“以后一定恪守承诺,不再犯同样的错误”。谢晓华先生2001-07-10给本刊的电话中要求撤稿“粉喷桩在高速公路地基处理中的应用”(该文2001-07-15在它刊正式发表)。作者这种知错就改的精神是值得鼓励的。希望广大作者和我们引以为戒,共同遵守《科技期刊道德公约》及本刊征稿简则中“双方约定”的要约,为加强科技界文明建设,保障我国科技事业的健康发展而贡献自己一份力量。谢谢各位作者的支持合作。

《岩土工程技术》编辑部
2001-08-18