

# 库区公路岸坡稳定性风险评价基本理论体系

冯文凯<sup>1</sup>, 石豫川<sup>1</sup>, 王学武<sup>2</sup>, 柴贺军<sup>3</sup>, 唐胜传<sup>3</sup>

(1. 成都理工大学环境与土木工程学院, 四川 成都 610059; 2. 四川省交通厅公路水运质量监督站, 四川 成都 610041;  
3. 重庆交通科研设计院, 重庆 400067)

**摘 要:** 针对目前地质灾害风险分析理论存在的不足, 提出了适用于大型线性工程风险分析的线评价的概念。同时, 结合对库区公路岸坡这类大型线性工程的稳定性风险研究, 提出了库区公路岸坡稳定性风险分析的基本定义, 并建立了相应的风险评价理论体系及相关的评价指标体系, 从而也补充和完善了目前风险分析理论存在的部分缺陷。

**关键词:** 线性工程; 线评价; 公路岸坡; 风险评价; 理论体系; 指标体系

中图分类号: P642

文献标识码: A

地质灾害风险分析的基本含义是指一定区域范围内一种或多种灾害发生的概率及其对人类社会产生危害的程度、时间或性质的定量描述<sup>[1-2]</sup>。由库区公路岸坡的稳定性引起的灾害, 主要包括崩塌、滑坡、塌岸等, 它们均属地质灾害范畴。因此, 针对库区公路岸坡稳定性风险评价, 参照地质灾害风险分析的基本定义, 可将其定义为: 它是在库水位升降、波动作用下, 库区公路岸坡岩土体发生破坏并引起一系列灾害发生的概率及其对影响范围内人们生命财产和经济社会活动等方面造成损失程度的综合评价, 进而对防治必要性及防治措施提出可行性建议。其基本原理是根据公路岸坡稳定性分析的理论基础并结合风险分析理论, 首先选取对岸坡稳定性起主要影响作用的基本指标并进行量化, 然后根据风险分析理论利用已获取的指标建立起合理的指标体系, 并提出合理的评价方法, 从而达到快速、准确、合理的对公路岸坡灾害进行综合评价预测和分析。但由于公路工程属大型线性工程, 其风险评价同目前有关地质灾害风险评价的类型和要求还有很大不同<sup>[1-3]</sup>, 因此, 并不能完全按照目前有关地

质灾害风险分析体系的有关理论进行分析, 必须建立适合线性工程的风险评价理论体系。

另外, 根据国内外有关风险的研究现状可知, 地质灾害风险研究的理论还远不成熟, 也还没有建立起比较完善的评价方法体系<sup>[1-4]</sup>, 同时, 岸坡灾害作为地质灾害研究的一个重要方面, 其风险评价理论和方法体系, 尤其是针对公路岸坡这类大型的线性工程并考虑到库水升降、波动作用下的风险评价, 目前还没有见到相关文献。因此, 全面开展针对库水作用下的大型线性公路岸坡工程的灾害风险评价, 并建立相应的分析评价理论体系将极具重大意义, 这也是本文所提出的重要观点。

## 1 线评价概念的提出

众所周知, 公路岸坡与水电、矿山工程边坡有所不同, 公路岸坡为一窄长的条带, 其评价和调绘范围一般限于公路沿线与库岸距离不大于 250 m 的地段<sup>[5]</sup>, 为线性 (或带状) 工程。既具有跨区域性, 又具有评价面积小的特点。因此, 按风险评

收稿日期 (Received date): 2005- 04- 20; 改回日期 (Accepted): 2005- 08- 15。

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金 (编号 40102026) 资助。 [Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 40102026)]

作者简介 (Biography): 冯文凯 (1974- ), 男 (汉族), 河南原阳县人, 博士, 地质工程专业。E-mail: fwkhy@163.com。 [Feng Wenkai was born in 1974 and come from Yuanyang County, Henan Province. Now he is a doctor and his specialty is geotechnolgy. E-mail: fwkhy@163.com.]

价范围划分来说<sup>[1-3]</sup>, 它兼具点评价、面评价和区域评价之特征。另外, 对于公路工程这类大型的线性工程, 由于其具有跨越地区广、地层岩性及地质构造等自然地质条件复杂多变的特点, 加之在公路勘测设计过程中不可能对每一个边坡工点的地质条件和岩土体力学特征做过多的勘测, 也不会对每一个边坡工点作大量室内试验以获取某些物理力学参数, 更不会对每一个边坡工点布设大量的耗时耗费的监测系统来预测预报岸坡变形 (尤其是公路等级较低的情况下)。显然, 仅根据评价范围也很难对岸坡稳定性风险评价精度进行界定, 必须提出一种新的适合线性工程风险分析评价的理论体系。为此, 根据公路工程之特点, 并结合其岸坡稳定性评价之类型特征 (兼具点评价、面评价及区域评价特征), 可将这类跨区域的大型线性工程的风险分析归类为线评价。其基本涵义为:

1. 对具有跨区域的大型线性工程, 如公路工程、铁路工程、内陆水运航道工程、长大输油输气

管线工程、输电线路布设工程、江河渠沿线工程、沿海海岸线工程, 甚至航空业航线工程等, 其沿线灾害风险评价, 按照不同部门规范要求, 往往是沿线两侧一定范围内 (如公路工程地质勘察规范 JTJ 064-98 中对水库塌岸区规定调绘范围一般限于公路线与库岸之间的距离不大于 250 m 的地段; 而公路勘察一般为公路两侧各 150~200 m 宽度范围<sup>[5]</sup>), 总体上呈线状或条带状;

2. 由于其跨越不同的岩性、构造及地貌单元, 其灾害类型一般较多;

3. 其评价方法根据线性工程之特点往往是以全面调查统计为主, 局部特殊段附以专门调查和必要的观测、试验;

4. 其评价精度根据勘察阶段不同有很大差异。

据此, 以公路岸坡工程为例, 可根据不同勘察阶段的目的、要求、任务和采用的勘察方法不同 (表 1), 总结归纳线评价 (或带状评价) 在不同勘察阶段之对应特征 (表 2)。

表 1 公路工程地质勘察不同阶段的要求与方法<sup>[5]</sup>

Table 1 The requirement and method in different stage of highway engineering geological reconnaissance

勘察阶段	可研勘察	初步勘察	详细勘察
勘察目的	主要是研究各工程方案场地内的区域性工程地质条件, 尤其是不良地质、特殊岩土、重点工程地段, 并提出工程方案必须的地质依据	主要是依据工程的可行性研究, 对建筑场地进一步做好工程地质比选工作, 为初步选定工程场地、设计方案和编制初步设计文件提供必需的工程地质依据	主要是根据初步设计文件, 有针对性地进行工程地质勘察工作, 为确定路线、工程构造物的位置和编制施工图设计文件, 提供准确、完整的工程地质资料
勘察要求	对所收集的地质资料和有关路线控制点、走向和大型结构物进行初步研究, 并现场核实验证, 适当地利用简易勘探方法和物探, 必要时可布置钻孔, 以了解岩性地质概况, 为优选路线方案提供地质依据	为路线、工程构造物的设计及其比较方案的制定提供工程地质资料, 以供技术经济的论证, 以满足方案的优选和初步设计的需要。对不良地质和特殊岩土路段, 应作出初步评价, 并提出处理办法, 为满足编制初步设计文件, 提供必需的工程地质资料	依据批准的初步设计方案进行详细的工程地质勘察, 以保证施工图设计的需要。对不良地质和特殊性岩土地段, 应作出详细分析、评价和具体的处理方案, 为满足编制施工图设计提供完整的地质资料
勘察任务	收集现有工程地质资料, 重点研究特殊性岩土、不良地质条件及重点工程处的地质环境; 了解线路工程地质特征、各工程方案的一般地质条件与控制工程方案的主要地质问题, 为拟定路线及构造物方案的比选及编制可行性研究报告等提供地质资料; 概略了解拟建公路沿线建筑材料分布状况与采运条件等对工程的影响程度; 进行沿线工程地质分区	查明工程建筑场地的区域、水文及工程地质条件, 并作出评价; 进行综合地质勘察, 初步查明不良地质条件、特殊性岩土的类别、范围、性质, 评价对工程的危害程度, 提供绕避或治理对策的地质依据; 初步查明场地地基的地质条件, 为选择构造物结构和基础类型提供必要的地质资料; 查明公路工程建筑场地的地震基本烈度及影响; 提供编制初步设计文件所需的地质资料	在初勘的基础上, 根据设计需要进一步查明建筑场地的工程地质条件, 最终确定公路路线和构造物的布置位置; 查明构造物地基的地质结构、工程及水文地质条件, 准确提供工程和基础设计、施工必需达到的地质资料和地质参数
勘察方法	收集和熟悉有关工程地质勘察资料、航拍或卫星照片, 并现场核对。适当利用简易勘探方法和物探, 并在必要时布置钻探	工程地质调查与测绘及综合勘探。一般情况下, 采用物探、钻探、原位测试与室内试验等	钻探、原位测试和室内试验为主, 必要时进行物探和工程地质测绘工作, 以详细查明工程地质条件

注: 可研勘察即可行性研究勘察的简称。

表 2 不同勘察阶段之线 (或带状) 评价特征

Table 2 The characteristics of line (or band) assessment in different reconnaissance stage

勘察阶段	可研勘察	初步勘察	详细勘察
评价对象	路线灾害总体灾情与风险	路线灾害综合灾情与风险	路线灾害体或灾害群灾情与风险
评价长度	一般几十到几百公里	(同可研勘察)	(同可研勘察)
评价范围	沿路线通过区域, 主要为路线两侧各宽 150~ 200 m, 可适当加大	沿路线两侧各宽 150~ 200 m, 局部特殊路段可适当加宽	(同初步勘察)
评价意义	为宏观减灾决策和选线提供依据	为布置防治工程和确定路线规划提供依据	为抗灾、救灾和实施防治工程提供依据
评价手段	以全面调查统计为主	以专门调查统计为主	专门调查统计和必要的观测、试验
评价精度	相对量化	以绝对量化为主	绝对量化

注: 评价范围应根据公路级别及现场实际情况具体界定。

## 2 岸坡稳定性风险评价基本理论体系

由线评价的定义及特征可见, 事实上, 它在不同勘察阶段的评价要求和程度基本上与点评价、面评价和区域评价相对应<sup>[1-3]</sup>, 因此, 其风险分析体系也仍然分为危险性评价和易损性评价两个方面。对于由库水位作用引起的岸坡灾害问题, 其危险性分析主要是在对其基本变形破坏方式研究、库水位变化对岸坡稳定性影响机理研究、基本形成条件和潜在危险性指标提取的基础上, 首先选择提取

对岸坡稳定性有重要影响的指标或因素, 分析评价各指标或影响因素的影响程度, 并对其危险性给出定性和定量评价; 而对于易损性评价, 受灾体重点考虑公路, 考虑对公路可能的损毁情况及其给社会带来的经济损失等方面进行综合评价。当然, 对其它受灾体如人口、房屋、工厂、耕地等, 也不能忽视。据此, 根据库水作用下岸坡稳定性风险分析的特点, 以及其所涉及的重点内容及主要指标, 并参考地质灾害风险分析的基本模式, 可初步建立其相应的风险评价理论体系 (图 1)。

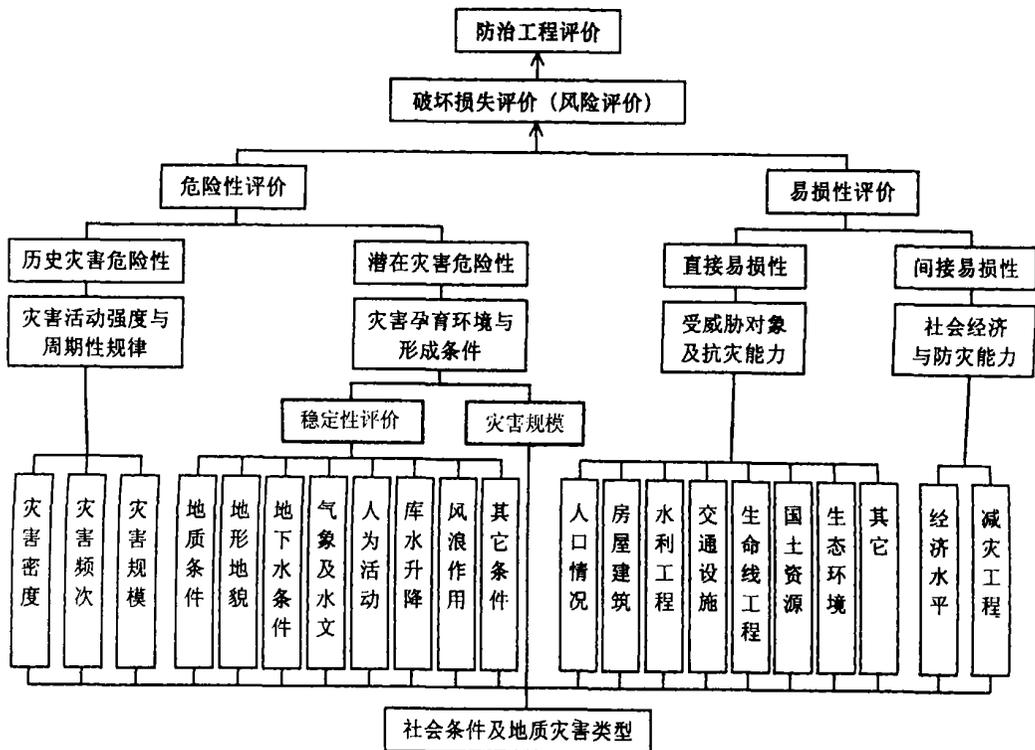


图 1 岸坡灾害风险评价内容及其体系结构示意图

Fig. 1 The sketch map of assessment contents and system frames about the risk analysis of bank slope hazard

### 3 岸坡稳定性风险评价指标体系

岸坡稳定性风险评价指标体系, 实际上主要由危险性评价指标体系和易损性评价指标体系共同构成<sup>[1-3]</sup>, 下面分别对其进行介绍。

#### 3.1 库区公路岸坡危险性评价指标

库区公路岸坡的危险性评价实际上包括稳定性评价和破坏规模评价两部分, 因此, 对其评价也应从这两个方面来着手进行。

##### 1. 稳定性评价指标

库区公路岸坡稳定性问题产生的灾害主要为崩塌、滑坡及塌岸, 针对岩质岸坡来说三者的评价指标总体上基本相同。而对于塌岸问题, 一般仅考虑软岩、极软岩以及堆积层的塌岸情况, 加之其主要与岸坡岩土体的稳定休止角及水位有关, 评价指标相对单一, 一般可通过简单计算、类比或作图给出

定量评价, 务须对塌岸建立评价指标体系。因此, 对岸坡稳定性引起的灾害危险性评价指标的选取主要从岩组类型, 即岩质岸坡和土质岸坡来考虑 (见图 2、图 3)。

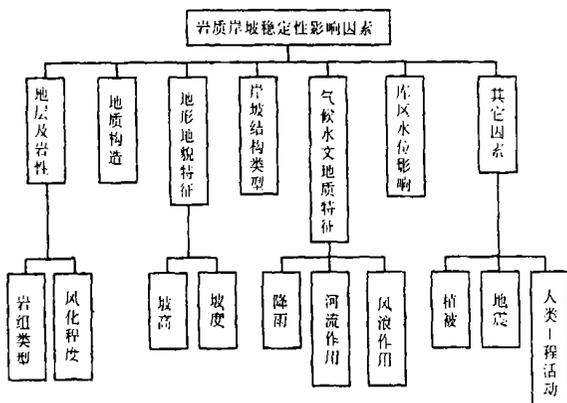


图 2 影响岩质岸坡稳定性的主要因素

Fig. 3 The main influencing factors of rock bank slope stability

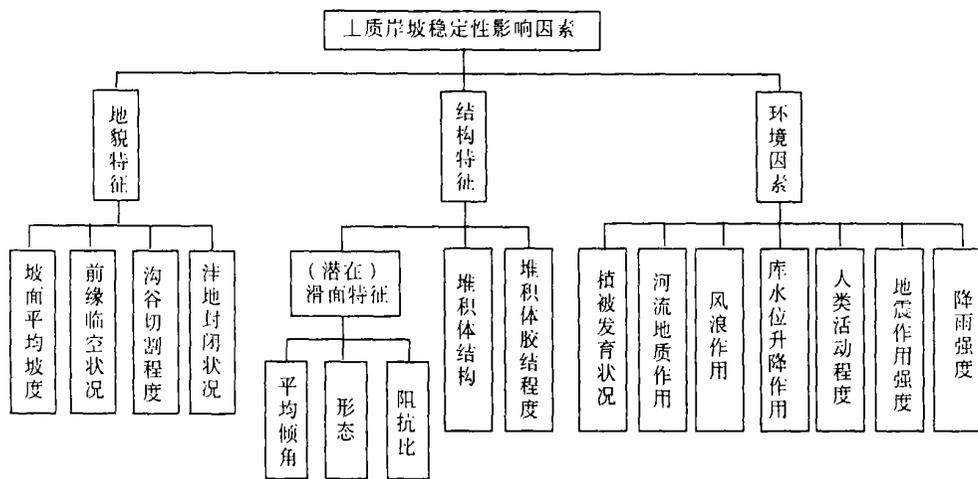


图 3 影响土质岸坡稳定性的主要因素

Fig. 3 The main influencing factors of soil bank slope stability

由此可见, 影响岸坡稳定性的因素多而复杂, 但往往有起控制性作用的因素, 如何从众多的影响因素中提取起控制性作用的因素成为指标选择的重点和难点。岸坡稳定性的量化评价结论的可靠性与对岸坡的认识水平密切相关, 因此加强对地质原型的理论分析, 有利于提高量化评价的可靠性。岸坡稳定性的量化评价指标筛选应从研究其变形破坏规律入手, 在避免指标间因素相互重合的前提下, 综合考虑岸坡的地质条件, 选取对岸坡变形破坏影响较大的因素作为评价指标, 构建岸坡稳定性评价指

标体系<sup>[6]</sup>。由图 2、3 可知, 影响岸坡稳定的因素多为定性因素, 定性指标的选择可以采用主因子分析法<sup>[7]</sup>进行指标筛选。但主因子分析法存在指标多重相关性的危害, 扭曲客观结论, 并且其对定性指标的筛选在很大程度上依赖于专家打分, 增加了主观因素的作用。因此, 在具体应用时, 为准确地选取岸坡稳定性的影响因素, 可利用定性分析和因素敏感性分析相结合来综合确定和筛选。

##### 2. 破坏规模评价指标体系研究

对于破坏规模评价, 可分为历史灾害规模和潜

在灾害规模评价两个方面。前者可通过野外调查,通过对不同灾害类型的线变形破坏密度或线变形破坏模数研究来衡量其规模发育及影响程度,对线性工程来说采用线变形破坏密度较为适宜;另外,也可通过实际体积测量来衡量,但这种方法在初勘阶段往往是难以实现的,即便是在详勘阶段,也有一定困难。对于后者,不同潜在灾害类型的发生规模,对塌岸及崩塌灾害的预测相对较为简单,可通过野外相关参数调查分析及适当的计算、作图等达

到对其破坏体积及危害范围的相对量化或绝对量化,而对岩质滑坡的规模评价则相对较难,关键在于分析确定其软弱滑面位置及延伸情况、坡面潜在滑面出露点的判断(主要是确定其潜在后缘是否会对公路造成威胁)。这类判断一要有一定的野外经验,二是要有大量的实例研究作为支撑。据此,结合实际经验和专家咨询,提出了关于不同灾害类型的破坏规模评价参数指标选取(图4)。

### 3.2 岸坡灾害易损性评价指标体系

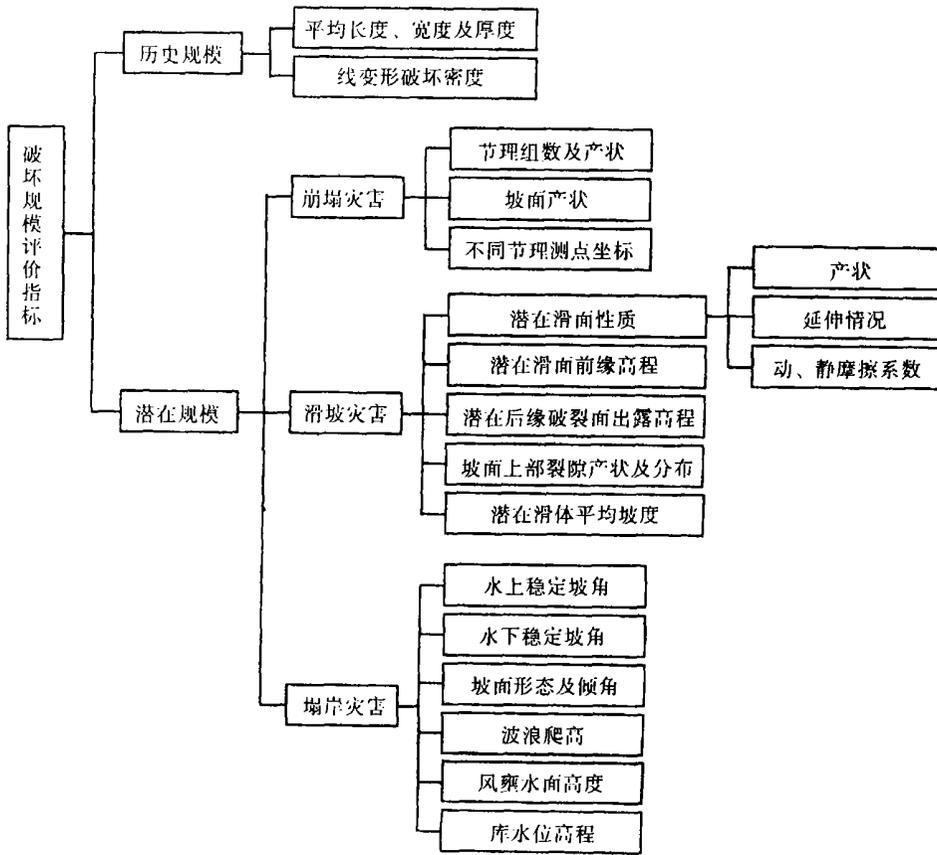


图4 岸坡灾害破坏规模评价指标体系

Fig 4 The evaluating index system of damage scale about bank slope hazard

风险载体(承灾体)的易损性可归结为:它是承灾体与灾害之间相互作用水平的度量,是承灾体受灾害破坏的可能性和对这种灾害破坏或损毁的敏感性,是承灾体一旦遭受灾害打击时所表现出来的一种动力学属性。同时,它也是人类社会间接防灾措施及其防灾有效度的衡量,是承灾体主动地应对灾害的能动性、作用和水平的综合体现<sup>[8-10]</sup>。由此可见,承灾体的易损性高低,与影响它的致灾体(风险源)、承灾体(风险载体)本身及该两者之间

的相互作用方式、人类现状防灾工程的有效度和潜在防灾能力都有关系。据此可提出易损性的基本评价指标体系(图5)。

## 4 岸坡灾害风险防治研究

对于岸坡灾害,根据风险评价结果,必须提出治理必要性及措施和效益评价,经研究认为其应当与工程不同的研究阶段相适应,不同研究阶段,其

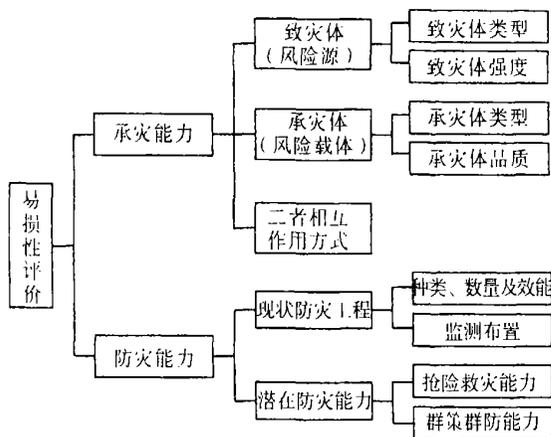


图 5 岸坡灾害易损性评价指标体系

Fig. 5 The evaluating index system of vulnerability about bank slope hazard

治理的必要程度和措施不同 (图 6)。

图 6 说明, 在工程的可研选线阶段, 结合岸坡稳定性风险评价结果和工程的可接受风险水平, 如果风险评估结果超过可研阶段所能接受的风险水平, 那么对其防治最有效措施就是采取避让; 在工程的初勘、详勘阶段如果风险评估结果超过其相应的可接受风险水平, 那么就应当采取防治措施。灾害的风险防治评价, 主要包括对治理措施的技术评价和对治理措施的经济效益评价。另外, 从图 6 可看出, 对于治理必要性的研究, 重点应在风险防治评价过程中, 即对治理措施的技术评价和经济效益评价的研究。

### 5 结论

根据以上分析, 主要可得如下几点认识:

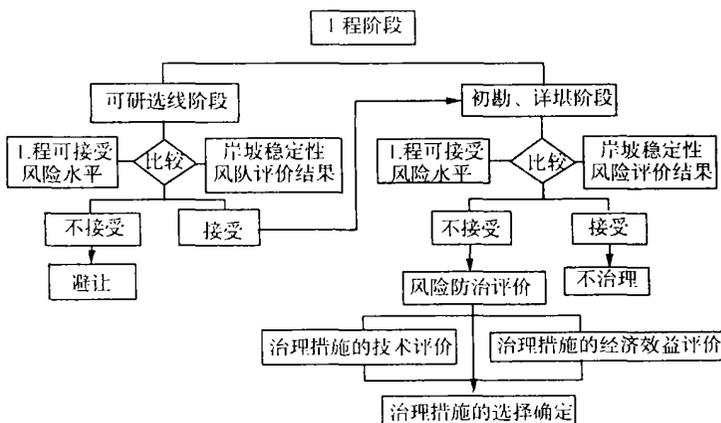


图 6 岸坡灾害风险防治体系研究框图

Fig. 6 The block diagram of risk control system research about bank slope hazard

1. 目前对地质灾害风险方面的研究虽然已有了很大进展, 并相应地建立了一些有关体系, 但这些风险研究均是建立在空间面域上的理论分析, 应用到线性工程风险评价还存在较大不足。
2. 根据目前地质灾害风险研究方面存在的不足, 提出了针对大型线性工程, 如公路、铁路、航运、大型输油管线工程等的线评价的概念, 并对其涵义进行了较为透彻的分析。
3. 根据线评价的定义, 并结合公路岸坡自身特点, 初步建立了库区公路岸坡稳定性风险评价的基本理论体系, 并在此基础上, 提出了相关的基本评价指标。

### 参考文献

[ 1 ] Zhang Liang, Zhang Yecheng, Luo Yuanhua, et al. The evaluating theory and experience of the situation of geologic hazard [M]. Beijing: The Geological Publishing House, 1998. [ 张梁, 张业成, 罗元华, 等. 地质灾害灾情评估理论与实践 [M]. 北京: 地质出版社, 1998. ]

[ 2 ] Liao Xingfa. The application manual of geologic reconnaissance technology and the monitoring and evaluating and control technology of geologic hazard [M]. Beijing: WPC Audio-Video & Electronics Publishing House, 2002. [ 廖兴发. 地质勘察与地质灾害监测评估防治技术实用手册 [M]. 北京: 世图音像电子出版社, 2002. ]

[ 3 ] Hu Ruilin, Wang Sijing, Lee C F, et al. Regional risk assessment on kast collapse in Tangshan city, China [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2001, 20 (2): 180-189. [ 胡瑞林, 王思敬, 李焯芬, 等. 唐山市岩溶塌陷区域风

- 险评价 [J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20 (2): 180~189.]
- [ 4 ] Lee C. F., Yuan Yong, Yuan M. K. Clement. The priority method applied to hazard assessment of rock cut-slope in Hong Kong [J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 1997, 16 (3): 201~ 209. [李焯芬, 袁勇, 袁铭佳. 香港岩质人工斜坡评级分类方法分析 [J]. 岩石力学与工程学报, 1997, 16 (3): 201~ 209.]
- [ 5 ] China communications first highway design and research institute. The reconnaissance criterion of highway engineering Geology (JTJ 064- 98) [S]. Beijing: The Publishing House of People' s Transportation, 1999. 6~ 8. [交通部第一公路勘察设计院. 公路工程地质勘察规范 (JTJ 064- 98) [S]. 北京: 人民交通出版社, 1999. 6~ 8.]
- [ 6 ] Chapman, C. B.. A risk engineering approach to project risk management [J]. *Project Management*, 1990, 18 (1):
- [ 7 ] Lacasse, S.. Reliability and Probabilistic Methods. Proceedings of the XIII International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering [A]. New Delhi, India, 1994. 225~ 227
- [ 8 ] Zhao Axing, Ma Zongjin. Appraising study for the loss evaluation system of natural disasters [J]. *Journal of natural disasters*, 1993, 2 (3): 1~ 7. [赵阿兴, 马宗晋. 自然灾害损失评估指标体系的研究 [J]. 自然灾害学报, 1993, 2 (3): 1~ 7.]
- [ 9 ] Liu Xilin. Approaches to risk assessment of debris flow [J]. *Journal of Mountain Science*, 2000, 18 (4): 341~ 345. [刘希林. 泥石流风险评价中若干问题的探讨 [J]. 山地学报, 2000, 18 (4): 341~ 345.]
- [ 10 ] Liu Li, Dai Xiongxia. The comprehensive assessment and regionalization of natural disaster insurance risk in China [J]. *Journal of Mountain Science*, 2004, 22 (4): 477~ 482. [刘丽, 代宏霞. 中国自然灾害保险风险度综合评判与区划 [J]. 山地学报, 2004, 22 (4): 477~ 482.]

## Study on the Basic Theory System about the Risk Assessment of Highway Bank Slope Stability in Reservoir Area

FENG Wenkai<sup>1</sup>, SHI Yuchuan<sup>1</sup>, WANG Xuewu<sup>2</sup>, CHAI Hejun<sup>3</sup>, TANG Shengchuan<sup>3</sup>

(1. College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;  
2. The Highway & Water Carriage Quality Monitoring Station of Sichuan Provincial Communications Department, Chengdu 610041, China; 3. Chongqing Communications Research & Design Institute, Chongqing 400067, China)

**Abstract:** Aimed at the deficiency of the geological hazard risk analysis theory at present, this paper brings forward the conception of line assessment applicable for the risk analysis of large-scale linear engineering. At the same time, combined with the stability risk research of this type engineering, such as the highway bank slope in reservoir area, this paper still puts forward the basic definition of the risk analysis of highway bank slope stability, and creates the corresponding theory system and correlated evaluating index system of risk assessment. Thereby this is the important reinforcement to the deficiency of risk analysis system for the moment.

**Key words:** linear engineering; line assessment; highway bank slope; risk assessment; theory system; index system