

浙江高速公路运营期边坡安全风险调查研究

王华俊¹, 欧阳涛坚¹, 杨超^{2,3,4}, 蒋建良¹, 杨仙^{2,3,4}, 曹运江^{3,4,5}

(1. 浙江省水文地质工程地质大队, 浙江 宁波 315012; 2. 湖南科技大学资源环境与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201; 3. 湘潭大学岩土力学与工程安全湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411105; 4. 湖南科技大学岩土工程稳定控制与健康监测省重点实验室, 湖南 湘潭 411201; 5. 湖南科技大学煤炭资源清洁利用与矿山环境保护湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201)

摘要: 20 多年来, 浙江省高速公路边坡病害呈多发频发态势, 为此针对浙江省内多条高速公路运营期边坡安全风险调查研究。结果表明: 浙江省内高速公路边坡大部分安全性能良好, 仅需日常巡查和养护; 部分边坡需进行适当巡查与监测和及时进行防治处理; 土质边坡中 II 类边坡比例达 32%, 有必要加强对土质边坡的安全监测和巡视, 防止 II 类土质边坡转化为 III 类, 而危害高速公路的正常运营。

关键词: 高速公路; 运营期; 边坡; 安全风险; 评估指标; 浙江省

中图分类号: U418 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2016)10-0072-04

Investigation Study on Safety Risk for Slope of Highway in Zhejiang Province/WANG Hua-jun¹, OUYANG Tao-jian¹, Yang Chao^{2,3,4}, JIANG Jian-liang¹, YANG Xian^{2,3,4}, CAO Yun-jiang^{3,4,5} (1. Zhejiang Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Ningbo Zhejiang 315012, China; 2. School of Resource Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan Hunan 411201, China; 3. Hunan Key Laboratory of Geomechanics and Engineering Safety, Xiangtan University, Xiangtan Hunan 411105, China; 4. Hunan Provincial Key Laboratory of Geotechnical Engineering for Stability Control and Health Monitoring, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan Hunan 411201, China; 5. Hunan Province Key Laboratory of Coal Resources Clean-utilization and Mine Environment Protection, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan Hunan 411201, China)

Abstract: For over 20 years, highway slopes diseases frequently occurred more and more in Zhejiang. An investigation on slope safety risks of highways which are in operation in Zhejiang was therefore conducted. The results show that most of highway slopes are safe, which only need routine inspections and maintenance. Part of the slopes need appropriate checks and inspections and timely prevention treatment. The proportion of type II slope in soil slopes is 32%. This type of slope needs enhance security checks and inspections to prevent soil slopes of type II from converting into III class.

Key words: highway; operation period; slope; safety risk; evaluation Index; Zhejiang Province

截至到 2014 年浙江省已建成高速公路里程达 3884 km, 目前除了部分山区和海岛县, 浙江省已基本实现了高速公路通达每个县市, 实现了全省 4 h 高速公路圈。20 多年来, 浙江省内高速公路兴建而形成了大量的公路边坡, 不同路段各种病害时有发生, 且呈多发频发态势, 严重威胁公路的正常运营, 因此有必要对高速公路边坡进行稳定性评估。

20 世纪 80 年代, 国外已经开始了滑坡等地质灾害风险评估及管理的研究工作, 目前国外和我国香港地区已建立了滑坡灾害风险评估与管理体系, 有效地缓解了潜在的滑坡风险^[1]。而我国大陆地

区, 目前在滑坡灾害风险评估和管理方面虽取得了一些经验, 但与国际水平仍存在明显差距^[2-5]。

如何保证高速公路边坡长期稳定与安全, 对高速公路管理部门提出了新的挑战。本文借鉴国内外的相关经验, 结合浙江省高速公路大量的边坡工程实践, 摸清当前边坡安全状况, 分析病害病因, 为高速公路管理部门边坡的安全风险防控和加固处治提供技术支持。

1 高速公路运营期边坡安全风险指标

1.1 高速公路运营期边坡安全风险评价主要工作

收稿日期: 2016-07-13; 修回日期: 2016-09-01

基金项目: 岩土力学与工程安全湖南省重点实验室开放基金资助项目(编号: 16GES05); 湖南省教育厅一般资助项目(编号: 15C0530)

作者简介: 王华俊, 男, 汉族, 1979 年生, 高级工程师, 注册岩土工程师, 从事岩土工程、地质工程等领域的科研工作, 浙江省宁波市, 89733609

@qq.com。

基于浙江省高速公路边坡所处地质环境和交通运营要求,通过边坡的安全检查,结合高速公路运营信息对边坡安全进行评分,从而确定安全风险等级,为安全防控方案和治理方案的制定提供依据。高速公路运营期边坡安全风险评估主要工作如下:

- (1) 调查高速公路边坡基本信息;
- (2) 调查边坡防护加固工程措施及地质条件;
- (3) 调查边坡防护加固体系的破损状态和边坡病害的发育状况;
- (4) 调查、分析诱发边坡灾害的主要影响因素;
- (5) 高速公路边坡安全风险评估。

1.2 主要影响因子

风险因子是可能引发风险事故的潜在因素,是风险事故发生的源头。为有效的防范风险事故的发生,准确识别风险因子至关重要。抓住问题的主要矛盾,识别主要风险因子,是安全风险评估的关键。风险因子的识别,有助于量化边坡安全风险程度。

对于浙江省高速公路运营期边坡,主要风险因子包含工程地质条件、边坡形态、地表水及地下水状况、边坡及加固体破损情况等 4 个方面。

1.3 风险评估指标

边坡风险评估通过专家调查或工程经验建立层次结构模型;同时,基于边坡动态信息,分层次评估坡体及加固体系病害特征,评价边坡安全风险^[6-12]。

综合考虑边坡稳定的各种影响因素,并通过专家调查或工程经验根据各风险因子在整个项目风险的贡献程度赋予一定的权重,将边坡风险进行量化评分。各风险指标具体分类级赋值标准如表 1。

1.4 风险评估模型

本次高速公路边坡风险评估采用专家评估法,同时考虑了滑坡后果和边坡归一化等,其安全风险评估模型可表示为:

$$R_s = I_s C_s N \quad (1)$$

式中: R_s ——高速公路边坡安全风险值; I_s ——边坡稳定性值; C_s ——滑坡后果值(表 2); N ——边坡归一化因子(表 3)。

1.5 安全风险分级

基于蒙特卡洛随机抽样技巧法,通过计算机抽样程序多次重复分析近似安全系数的概率分布,并结合工程实践确定安全风险等级划分标准。边坡安全风险等级具体划分如表 4。

表 1 边坡工程风险评估指标体系

评估指标	分 类	分值	
地层岩性	残积土及所有运积土	40	
	全风化土	30	
	极软岩、强风化岩等	20	
	软质岩(泥岩、页岩等)	10	
	中、硬质岩(白云岩、灰岩、石英岩、花岗岩等)	0	
工程地质条件	断裂带	存在断裂破碎带 20 无断裂破碎带 0	
	岩体结构	散体结构	30
		碎裂结构	20
地质构造	完整结构	10	
结构面	与坡向相同或相近(顺向坡)	50	
	与坡向相反(逆向坡、横向坡)	15	
不良地质条件	存在不良地质(滑坡、泥石流、崩塌、岩堆、危岩等)	15	
	无不良地质	0	
坡高	岩质边坡 $h > 80$ m 或土质边坡 $h > 50$ m	60	
	岩质边坡 $80 \geq h > 60$ m 或土质边坡 $50 \text{ m} \geq h > 40$ m	50	
	岩质边坡 $60 \geq h > 40$ m 或土质边坡 $40 \text{ m} \geq h > 30$ m	40	
	岩质边坡 $40 \geq h > 20$ m 或土质边坡 $30 \text{ m} \geq h > 15$ m	25	
	岩质边坡 $h \geq 20$ m 或土质边坡 $h \geq 15$ m	10	
边坡形态	岩质边坡 $\theta > 80^\circ$	40	
	岩质边坡 $80^\circ \geq \theta > 70^\circ$ 或土质边坡 $\theta > 60^\circ$	35	
	岩质边坡 $70^\circ \geq \theta > 60^\circ$ 或土质边坡 $60^\circ \geq \theta > 45^\circ$	25	
坡角	岩质边坡 $60^\circ \geq \theta > 45^\circ$ 或土质边坡 $45^\circ \geq \theta > 30^\circ$	10	
	岩质边坡 $\theta \leq 45^\circ$ 或土质边坡 $\theta \leq 30^\circ$	5	
	无排水系统,且坡顶有水汇集	15	
地表水排水	有排水系统,但坡面有径流或有水汇集	10	
	有排水系统,但坡面有部分水汇集	5	
	有排水系统,坡面无径流或无水汇集	0	
	坡体 $H/2$ 位置及以上部位有严重渗流(流量 $> 1 \text{ m}^3/\text{d}$)	15	
地表水及地下水状况	坡体 $H/2$ 位置及以上部位有轻微—	10	
	中等渗流(流量 $< 1 \text{ m}^3/\text{d}$)或坡体 $H/2$ 位置以下严重渗流(流量 $> 1 \text{ m}^3/\text{d}$)	5	
	坡体 $H/2$ 位置以下部位有轻微—中等渗流(流量 $< 1 \text{ m}^3/\text{d}$)	0	
地下水排水	坡体无渗流	0	
	坡顶出现张拉裂缝,边坡防护体系和排水系统发生严重变形或破损	40	
	护面开裂、排水沟等发生中等程度破损	20	
边坡及加固体破损情况	轻微破损	0	

表2 滑坡后果分值系数

滑坡后果类型	分值
隧道口滑坡	1.40
可能造成10人及以上伤亡	1.25
可能严重影响交通或造成严重拥堵	1.25
可能发生大面积滑坡(土方量 > 500 m ³)	1.25
其他情况	1.00

表3 归一化因子

边坡类型	岩质边坡	土质边坡
归一化因子	0.21	0.20

表4 安全风险等级

等级	安全风险值	边坡状态描述	防护对策
I	≤45	边坡稳定性良好	日常巡查与养护
II - A	45 ~ 60	整体边坡稳定	加强日常养护及必要的监控措施
II - B	45 ~ 60	整体状况良好,存在局部失稳危险	加强监控措施并及时处治
III	>60	边坡稳定性差	进行必要的稳定性研究,并采取加固措施

2 浙江高速公路边坡安全风险分析

2.1 基本信息

浙江省内高速公路已运行多年,在复杂的环境下,边坡岩土性能发生弱化,防护加固体系部分功能发生破损或衰退等现象,边坡病害时有发生,雨季尤其频发,严重威胁高速公路的安全运营。边坡病害具有较强的隐蔽性,尤其是突发性地质灾害,其危害程度更为严重。

为及时掌握浙江省省内高速公路边坡运营情况和病害发展情况,本次针对杭徽高速、杭甬高速、上三高速、甬台温高速台州段、甬台温高速宁波段、台金高速等多条高速公路边坡进行安全风险评估,边坡共计533处,其中岩质边坡443处,土质边坡87处,挡土墙3处。

2.2 浙江省高速公路边坡主要病害

通过对浙江省内多条高速公路533处边坡现场踏勘发现,沿线大部分路堑边坡整体稳定性状况较好,未发现较大的变形破坏现象,但局部坡体或防护体系仍存在病害,病害表现在以下几个方面:

(1) SNS 防护结构受损:挂网锈蚀。

(2) 截、排水系统受损:截水沟破损、淤堵;排水沟破损、淤堵;急流槽内有杂草和碎石土等。

(3) 沿口、坡面、平台上浮石较多,局部有滑坡、

坍塌现象。

(4) 局部坡面冲刷破坏。

(5) 局部坡面渗水部位较多,水流量大。

2.3 安全风险评估结果分析

通过对浙江省内多条高速公路533处边坡现场踏勘,仔细核查评估项目,根据专家对现场相关信息的评分,实现对浙江省高速公路运营期边坡安全风险评价,为高速公路管理部门边坡的安全风险防控和加固处治提供技术支持。

对浙江省内多条高速公路边坡安全风险评价结果如图1: I类边坡共451处,占83%; II类边坡共54处,占12%; III类边坡28处,占5%。评估结果表明,省内高速公路边坡大部分安全性能良好,仅需日常巡查和养护;12%的边坡(II类边坡)需进行适当巡查和监测;需及时进行防治处理的边坡(III类边坡)有28处。

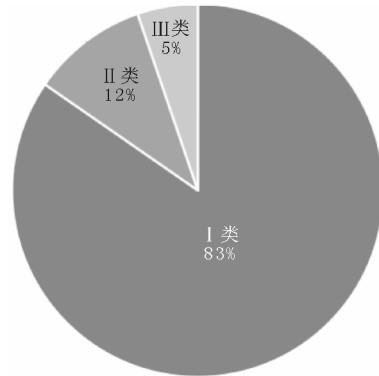


图1 浙江省内高速公路边坡工程风险统计结果

2.4 岩(土)质边坡安全风险评估结果对比

在对浙江省高速公路边坡安全风险评估中,岩质边坡安全风险评估结果为I类边坡共394处,II类边坡共27处,III类边坡26处;土质边坡安全风险评估结果为I类边坡共57处,II类边坡共27处,III类边坡2处。评估结果(图2、3)表明,岩质边坡的安全风险总体情况较土质边坡好,绝大部分边坡安全性能良好,I类边坡比例高达88%,土质边坡中I类边坡比例为66%;而土质边坡中需要监测和巡查的II类边坡所占比例明显较岩质边坡高得多(岩质边坡为6%,土质边坡为32%);但III类边坡中,岩质边坡所占比例较土质边坡稍高。因此,有必要加强对土质的安全监测和巡视,防止II类土质边坡转化为III类。

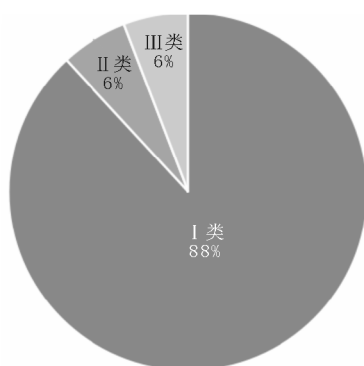


图2 岩质边坡工程风险统计结果

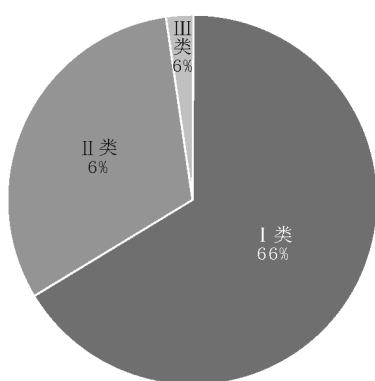


图3 土质边坡工程风险统计结果

3 结语

通过专家调查或工程经验建立层次结构模型,并基于边坡动态信息,分层次评估坡体及加固体系病害特征,将边坡风险进行量化评分来评价边坡安全风险较以单纯通过计算边坡安全系数方式判断边坡安全风险更为合理。

浙江省内高速公路边坡大部分安全性能良好,仅需日常巡查和养护;部分边坡需进行适当巡查与

监测和及时进行防治处理。为浙江省高速公路管理部门摸清当前高速公路边坡安全状况,边坡安全风险防控和加固处治提供技术支持。

建议在结合数值计算结果和大量现场监测数据的基础上进一步修正风险因子和风险因子分值,并不断完善边坡风险评估模型。

参考文献:

- [1] A. W. Malone, 黄润秋. 香港的边坡安全管理与滑坡风险防范[J]. 山地学报, 2000, 18, (2): 187 - 192.
- [2] 黄祥谈. 高速公路高边坡安全检查与地质灾害风险评估[J]. 公路交通技术, 2012, (2): 8 - 11.
- [3] 张雷, 张振. 边坡工程建设安全评估方法研究[J]. 地下空间与工程学报, 2006, 2(1): 56 - 59.
- [4] 陈伟珂, 黄艳敏. 工程风险与工程保险[M]. 天津: 天津大学出版社, 2005.
- [5] 王涛, 吴树仁, 石菊松. 国际滑坡风险评估与管理指南研究综述[J]. 地质通报, 2009, 29(8): 1006 - 1019.
- [6] 王禹. 基于模糊理论的边坡失稳风险评估研究[J]. 铁路标准设计, 2011, (8): 39 - 42.
- [7] 张永兴, 陈云, 文海家, 等. 边坡灾害风险评估系统研究及应用[J]. 重庆建筑大学学报, 2008, 30(1): 30 - 33.
- [8] 张雷, 顾文红, 王晓雪, 等. 高等级公路边坡工程风险因子识别及评估[J]. 地下空间与工程学报, 2007, 3(7): 1265 - 1268.
- [9] Whitman, R. V. Evaluating Calculated Risk in Geotechnical Engineering[J]. Journal of Geotechnical Engineering ASCE, 1984, 110(2): 145 - 148.
- [10] Duncan, J. M. State of the art: limit equilibrium and finite element analysis of slopes[J]. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 1996, 122(7): 577 - 596.
- [11] David P. Pavement Preventive Maintenance Program Guidelines[M]. Ohio: The office of Pavement Engineer, Ohio De-Partment of Trans Portation, 2001.
- [12] Martin van Staeren. International State of the Art Report on Integrating Geotechnical Risk Management in Project Risk Management[R]. Netherlands: Breda, 2012.