

# 公路边坡工程地质信息系统研究及应用

邵明利, 杨扬, 胡寒飞, 康天骏, 陈杭彬

(浙江交工集团股份有限公司, 浙江 杭州 310051)

**摘要:**浙江省地形地质条件复杂,公路沿线涉及边坡较多。由于边坡存在形式多样的病害,直接威胁公路的安全运营。为有效提高边坡管养水平和应急抢险效率,该文以边坡评价分类体系为基础,基于电子地图建立了公路边坡工程地质信息系统。将该系统应用于浙江省国道边坡建档项目,统计得出了浙江省内公路边坡病害的规律,并针对性地提出不稳定边坡的防治建议。该系统可以提高公路边坡管理养护水平及应急抢险效率,同时也为公路边坡分类评价地方标准提供了充分的数据。

**关键词:**公路边坡;分类体系;养护管理

随着信息物流时代的快速发展,公路交通在国民经济中的作用越来越重要。由于公路工程是典型的线形工程,涉及的地质地形条件复杂多样。浙江省山区占比较大,区域地形地质条件较为复杂,易发生崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害。尤其是公路边坡工程存在较多安全隐患,直接影响公路的安全运营。因此,开展

公路边坡工程地质信息系统研究有利于提高边坡养护管理水平及应急抢险效率,经济效益和社会效益显著。

## 1 公路边坡工程管养现状

边坡稳定性影响因素较多且具有不确定性,一旦

大于常规的溶陷起始压力值。在真溶陷起始压力之后的各级荷载作用下,浸水饱和状态下的地基沉降量大于自然状态下的地基沉降量。岩盐夹层地基的溶陷主要发生于真溶陷起始压力之后;溶陷试验过程存在一个峰值溶陷压力和峰值溶陷量,该试验岩盐地基峰值溶陷压力为 175 kPa,峰值溶陷系数为 0.194;双线法测得的岩盐溶陷系数比单线法测得的溶陷系数要大。

(3) 根据岩盐地基现场溶陷试验结果,岩盐夹层地基溶陷量小,按照 GBT 50942—2014《盐渍土地区建筑技术规范》溶陷等级和 JTG D30—2015《公路路基设计规范》溶陷性标准,该岩盐地基满足高速公路、一级公路地基的技术要求。

### 参考文献:

[1] 白家凤,龙珍. 青藏铁路岩盐路基填筑施工技术[J]. 施工技术,2010(2).  
[2] 杨海容,蒋富强,王翔,等. 青藏铁路察尔汗盐湖盐岩和盐溶工程地质特性及路基修筑技术[J]. 铁道工程学报,2005(S1).  
[3] 耿鹤良,杨成斌. 盐渍土化学潜蚀溶陷过程阶段化模型分

析[J]. 岩土力学,2009(S2).  
[4] 张琦,顾强康,张俐. 含盐量对硫酸盐渍土溶陷性的影响研究[J]. 路基工程,2010(6).  
[5] 程东幸,刘志伟,柯学. 粗颗粒盐渍土溶陷性影响因素研究[J]. 工程地质学报,2013(1).  
[6] 雷晓峰. 察尔汗盐湖区含盐地层桥涵基础设计研究[J]. 铁道标准设计,2010(6).  
[7] 曹元平. 青藏线西格段增建二线盐湖路基设计[J]. 铁道勘察,2007(3).  
[8] 李锁平. 青藏铁路察尔汗盐湖岩盐路基的防护[C]. 全国公路工程地质科技情报网 2009 年技术交流会议论文集,2009.  
[9] GB/T 50942—2014 盐渍土地区建筑技术规范[S].  
[10] JTG D30—2015 公路路基设计规范[S].  
[11] JTG E40—2007 公路土工试验规程[S].  
[12] 金昌宁,金伟涛. 粉黏粒含量对浸水+环刀法测定干燥风积沙密度的影响[J]. 中外公路,2018(4).  
[13] 杨晓华,张志萍,张莎莎. 高速公路盐渍土地基溶陷特性离心模型试验[J]. 长安大学学报(自然科学版),2010(2).  
[14] 张志萍,杨晓华. 盐渍土溶陷特性的试验研究与分析[J]. 中国地质灾害与防治学报,2009(4).

发生破坏,社会影响较大。目前,公路沿线边坡仍然存在各种各样的安全隐患,防护治理工作比较滞后。公路管养主体责任单位专业技术人员配置比较欠缺,边坡病害的调查分析及发展预测经验不足。边坡管养工作基本处于边坡安全事故发生后应急抢险的被动管理状态,主动管控边坡隐患、预防性养护管理意识不强,边坡安全隐患如何有效管控成为养护工作的重难点。

## 2 公路边坡工程地质信息系统

公路边坡工程地质信息系统包括边坡工程地质信息收集、边坡风险评价分类、病害机理分析及防治建议、构建电子信息数据库 4 个部分。边坡工程地质信息系统结构见图 1。

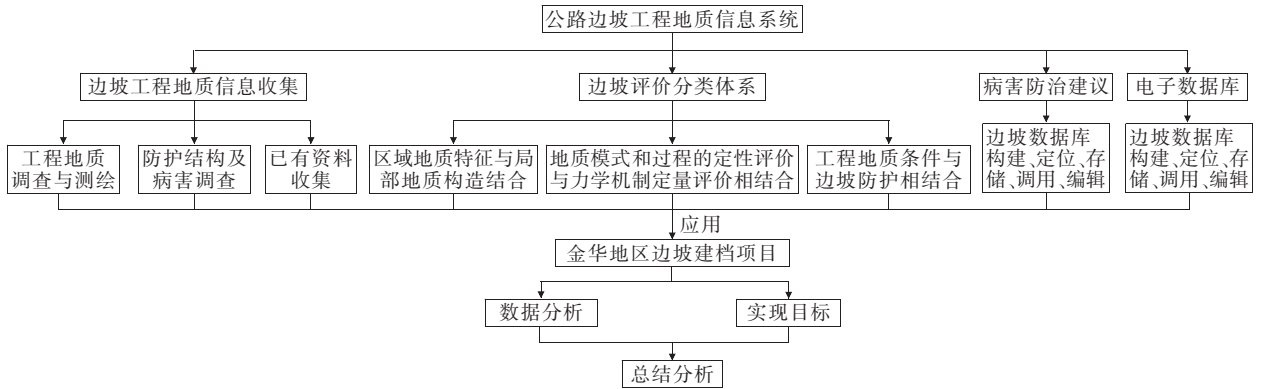


图 1 边坡工程地质信息系统结构

### 2.1 边坡工程地质信息收集

现场信息收集主要从边坡地质条件、防护结构及病害现状、勘察设计施工情况、变形监测等多方面采集边坡工程地质信息,通过地质和岩土专业相结合的方式,克服专业技术人员的专业局限性,为公路养护管理单位提供全面详尽的基础资料。具体收集的相关信息包括以下内容:

(1) 工程地质调查与测绘:主要调查边坡所处区域的地形地貌、地质构造、工程地质及水文地质条件、不良地质现象等。

(2) 防护结构及病害调查:主要包括截水沟、碎落台、坡道等有无出现缺口、冲沟、沉陷、塌落和排水是否通畅,浆砌挡墙、护面墙或喷浆护面是否松动、脱落、开裂,坡面有无变形、碎落等现象。

(3) 已有资料调查:包括边坡的勘察、设计、施工、防护加固、变形监测等相关的文件及影像资料。

### 2.2 边坡风险评价分类

根据边坡的现状情况采用多因素结合的方式进行综合评定,具体包括:区域地质特征与局部地质构造相结合;地质模式和过程的定性评价与力学机制定量评价相结合;工程地质条件与边坡防护相结合;边坡短期和长期的稳定性分析相结合;评价结果的合理性与可操作性相结合。

边坡评价分类按两阶段进行:初评阶段采用工程

地质类比法等定性分析为主,赤平投影分析等半定量评价为辅的方法进行,初步评价出边坡的 4 个等级;详评阶段以稳定性计算及数值模拟分析等量化计算分析为主,辅以专家论证,核实确定安全风险较大的三、四类边坡。

根据现行边坡类的勘察、设计规范和岩体分级标准,借鉴《浙江省交通投资集团有限公司高速公路高边坡安全风险检查评价指引》,结合浙江山区公路边坡设计经验以及相关工程实例,从边坡整体稳定性、结构部件的完好情况、防护工程的适应性、病害发育情况及危害程度,将公路边坡稳定评价等级分为 4 类,分类评价体系见表 1。

### 2.3 病害机理分析及防治建议

前期工程地质信息收集及室内评价分类工作完成后,进一步针对安全风险较大的三、四类边坡进行病害机理分析。以边坡的工程地质条件为基础,从边坡的几何设计、防护、排水设计的合理性查找病因。针对边坡的病害机理,预测病害的发展趋势,并针对性地提出合理的防护建议,以供边坡养护管理单位参考。对于评价等级为四类的边坡,应告知管理单位及时采取防护加固或自动化监测等措施,防止安全风险事故的发生;对于评价等级为三类的边坡,可根据管养单位的需求,协助其列入年度养护计划,分批次进行预防性加固养护。

表1 边坡分类体系

评定等级	总体评定	工程地质状况	防护工程适应性	危害程度	具体状况
一类(稳定)	整体稳定性完好、良好;部件功能及结构保持完好,不影响公路安全运营	很好	适应性强	无或轻微	① 部件功能及结构基本保持完好;② 边坡出现少量杂草、杂物等;③ 勾缝脱落;④ 局部存在冲刷现象
二类(基本稳定)	整体稳定性较好;部件功能及结构保持良好或无功能性病害,不影响公路安全运营	好	基本适应	不严重	① 边坡排水系统不完善或局部损坏,局部排水不畅或积水;② 坡面夹石、孤石松动,坡顶及坡面的植被有损,坡面冲刷严重;③ 支挡工程出现轻微病害;④ 其他轻微病害
三类(局部欠稳定)	整体稳定性一般,局部稳定性较差,部件出现轻度功能性病害,公路运营存在潜在的风险	一般	局部适应	严重	① 边坡出现轻度裂痕,局部渗水较多;② 坡面出现轻度变形、倾斜,局部滑移、掉块及小规模塌方等病害;③ 支挡工程出现严重开裂、鼓肚;④ 其他较严重的病害
四类(不稳定)	整体稳定性较差或已经破坏,部件出现严重功能性病害,严重影响公路安全运营	很差	不能适应	很严重	① 边坡渗水严重;② 坡面出现严重变形、倾斜、滑移、崩塌等现象;③ 支挡工程出现严重破坏或者变形,不能起到防护作用;④ 其他严重影响边坡稳定性的病害

## 2.4 构建电子信息数据库

基于电子地图建立的边坡信息化数据库,可真正实现电子化、集约化的数据管理。在信息采集、评价分类、机理分析及防护建议等工作完成后,需要进行边坡电子信息档案数据库的构建工作。将边坡的电子数据库根据其地理位置信息导入电子地图软件,利用绿、蓝、黄、红4种颜色对应4种安全等级,对所有边坡进行定位、标识。所有建档的边坡,都可以通过其标识进入该边坡的后台电子信息数据库,查看该边坡的相关信息和影像资料,极大地方便了公路边坡的养护管理工作。

## 3 边坡工程地质信息系统的应用

截至2020年底,共完成了涉及湖州、金华、义乌、绍兴、台州、温州、衢州、丽水共8个地市39个县区的国省道公路边坡建档工作,涵盖公路里程1 939.2 km,建档边坡5 571个。在边坡建档的同时对公路沿线所有边坡进行了评价分类,为相关管理单位明确了风险管控的重点,提高了公路边坡的养护管理水平。边坡工程地质信息系统成功应用于浙江省内公路边坡的养护管理工作,取得了以下一些成果。

### 3.1 查明了公路边坡现状

#### (1) 边坡潜在安全风险较多

根据浙江省域内国省道边坡分类评价统计得出:一类边坡占比27%,二类边坡占比64%,三类边坡占比9%,四类边坡占比不到1%。通过边坡建档与分类工作可知:在役边坡安全风险较多,存在较大安全风险的三、四类边坡占比已经超过9%,接近边坡总量的10%。

#### (2) 高边坡安全风险较大

高边坡是指土质20 m、岩质30 m以上的边坡,总数量330个,占比6.0%。边坡高度与不稳定(三、四类)边坡占比呈正相关,边坡高度越大,不稳定边坡比例越高。高边坡的受力情况更加复杂,揭露地层范围更大,边坡的稳定性往往相比一般边坡较差。

#### (3) 低等级公路边坡安全风险更多

据已有数据统计分析,一级公路不稳定三四类边坡占比7.7%,二级公路不稳定边坡占比15.27%,三级公路不稳定边坡占比28.49%。公路等级与不稳定三、四类边坡占比呈负相关,公路等级越低,不稳定边坡占比越高。公路等级较低,在设计、施工及养护管理等方面存在不足,运营期间管养的资金投入相对较少,边坡安全程度相对较低,存在的病害相对较多。

#### (4) 运营时间较久的边坡稳定性较差

根据统计数据分析,不稳定的三四类边坡中1980—1999年建成的占50%,2000—2009年建成的占18.12%,2010—2019年建成的占2.82%,通车时

间与三、四类边坡占比呈正相关,建成时间越早,不稳定边坡占比越高。由于受限于早期建设过程中当时的资金、认识和技术局限性,选取的防护、排水工程适用性存在不足;公路运营后随着时间的推移,边坡岩体逐年经受风化作用,防护结构局部或整体出现老化破损,导致边坡病害不断发展。

### 3.2 初步实现了既定目标

#### (1) 理清边坡稳定性状况

对于已经运营的公路来讲,边坡潜在的安全风险较多,管养部门的压力较大且专业人员不足,往往不能理清公路边坡的安全现状。通过使用公路边坡工程地质信息系统,基本理清了公路边坡的稳定性状况,为后期安全风险管控目标的明确提供了有力支撑。

#### (2) 主动管控风险性边坡

公路边坡工程地质信息系统完成后,可针对具有安全风险的边坡进行主动管控。如浙江省永康市于2017年开始合理规划安全风险边坡的整治工作,历经3年的病害处治工作,永康市存在安全风险的边坡数量逐步减少,大大提高了公路的安全运营水平。公路边坡工程地质信息系统把以往对边坡的被动加固管理逐渐转变为主动预防管控,进一步强化了边坡的“预防性养护”理念,可以全面掌控边坡病害的安全风险。

#### (3) 提高应急抢险的效率

2016年11月,永康市荆州至历山公路前仓镇段发生较大规模的山体滑塌后,通过建成的公路边坡工程地质信息系统和山体滑塌的现场照片,为前方提供远程诊断,为抢险提供技术支持;技术人员迅速赶赴现场2 d就确定了处治设计方案;7 d内完成修复施工图,1个月完成修复工作。基于前期的公路边坡工程地质信息系统的工作成果,可以快速地提交现场应急方案及后续设计方案,大大提升了应急抢险的工作效率。在应急抢险中验证了快速设计的可行性,工作方法可行,效率提升显著,得到了社会各界的广泛认可。

#### (4) 提升边坡管理的水平

通过建立公路边坡工程地质信息系统,浙江省金华市6县市全部具备了公路边坡电子化管理的能力。通过电子档案数据库,管养技术人员可以查看边坡的相关信息和影像资料。另外,边坡的电子档案可以随时进行更新,充分实现了边坡的全寿命过程管理。

## 4 结论与建议

将公路边坡工程地质信息系统成功应用于浙江省内国省道路边坡管理工作,取得了阶段性的成果。2018年11月,浙江交工集团股份有限公司作为主编单位立项申请的中国岩石力学与工程学会团体标准《公路边坡工程地质信息管理技术规范》正式获批。2019年1月,《公路边坡工程地质信息管理技术规范》团体标准大纲评审通过,目前已成功构建浙江省公路边坡大数据平台。

针对以上工作成果,提出以下建议:

(1) 根据前期调查及分析结果,建议采取主动预防性措施,对存在安全风险的三、四类边坡进行合理规划和专项资金安排。

(2) 建议将边坡工程地质信息采集工作贯穿于公路边坡勘察、设计、施工、管养全过程,特别在公路建设期应做好档案建设,实现边坡的全寿命周期管理。

(3) 进一步推动建立浙江省公路边坡分类评价地方标准,引领公路行业边坡养护管理工作的发展。

### 参考文献:

- [1] 陈亮,鲁泽康,李巧茹.高速公路养护需求分析方法研究[J].中外公路,2018(6).
- [2] 韩叙领.平岭大型滑坡稳定性分析及治理方案研究[J].中外公路,2016(5).
- [3] 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(1).
- [4] 冯晓,秦浪朝,王熙博.山区高速公路边坡植被系统稳定性评价[J].中外公路,2016(3).
- [5] 刘新喜,侯勇,戴毅,等.软弱夹层岩质边坡长期稳定性研究[J].中外公路,2017(4).
- [6] 黄祥谈.高速公路高边坡安全检查与地质灾害风险评价[J].公路交通技术,2012(2).
- [7] 徐兴华.公路边坡信息综合管理与安全评判决策[D].浙江大学博士学位论文,2011.
- [8] 黄晓燕.公路工程防灾减灾网格技术研究[D].长沙理工大学硕士学位论文,2007.
- [9] 工程地质手册编委会.工程地质手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2018.
- [10] 潘懋,李铁锋.灾害地质学[M].北京:北京大学出版社,2002.