

# 西南山区某高速公路岩质高边坡加固防治方案

王震宇<sup>1</sup>, 朱鲜花<sup>2</sup>, 楼雄标<sup>3</sup>

(1 四川交通职业技术学院, 四川 温江 611130; 2 四川省地质矿产勘查开发局四〇四地质队, 四川 西昌 615000;

3 浙江青田县地质环境监测站, 浙江 青田 323900)

**摘 要:** 以西南山区某高速公路路段 13 处岩质高边坡为例进行分析研究, 根据边坡变形破坏特点将边坡破坏形式分为三类, 结合稳定性计算, 对每一类边坡分别提出了几种相应的加固防治方案, 从安全、经济、施工等方面分析比较, 优选出最合适的方案。经工程竣工后检验, 三类边坡采用的推荐加固防治方案是安全有效的。这些加固处治方案对西南山区其他在建和拟建高速公路岩质高边坡处治有借鉴性意义。

**关键词:** 岩质高边坡; 破坏形式; 稳定性计算; 加固防治方案比选

中图分类号: U418.52

文献标识码: A

文章编号: 1006-7973 (2009) 010-0236-02

## 一、引言

西南山区某高速公路路段, 在短短的二十余公里内, 就有岩质高边坡十三段之多, 边坡最高达 60 米, 如何对这些高边坡进行防护和加固, 成为该路修筑的一大技术难题。高边坡表现出来的主要问题有: 边坡岩体碎落、边坡坍塌、滑动以及由此而诱发的中、小型滑坡。据调查, 我国目前已完工或正在修建的山区高等级公路中, 高边坡坍塌、滑动屡见不鲜, 几乎无路不坍无路不滑, 致使工程建设费用和使用费用大大增加, 也危及人民的生命安全。

对西南山区某高速公路路段岩质高边坡加固防治的目的就是为了解决山区高速公路岩质高边坡碎落、坍塌、滑动等问题, 提出经济合理、安全性高且技术可行的加固防治的方案。进而对西南山区其它在建或拟建高速公路岩质高边坡的加固防治产生借鉴意义。

## 二、边坡破坏形式分析

根据该路段各边坡的地质条件, 归纳出边坡最有可能的破坏形式分为三类, 每一类破坏形式、主要特征、代表性坡体及各种破坏的形象示意图见表 1:

表 1 边坡破坏形式及主要特征

边坡破坏形式	主要特征	代表性坡体	破坏形式图
弧形破坏	边坡岩体主要为强风化泥岩和泥质砂岩。边坡岩体结构十分破碎、松散, 接近碎石土。	1 <sup>#</sup> 、4 <sup>#</sup> 、5 <sup>#</sup>	见图 1
多级非圆弧形滑面岩块式倾倒破坏	边坡岩体主要为强风化砂质泥岩和泥质砂岩互层。边坡岩体节理裂隙比较发育, 坡体破碎呈块状。	2 <sup>#</sup> 、3 <sup>#</sup> 、6 <sup>#</sup> 、13 <sup>#</sup>	见图 2
非圆弧形滑面岩块式倾倒破坏	边坡岩体主要为中风化砂岩夹强风化泥岩, 局部为灰岩。边坡岩体节理裂隙比较发育, 坡体破碎呈块状。	边 7 <sup>#</sup> 、8 <sup>#</sup> 、9 <sup>#</sup> 、10 <sup>#</sup> 、11 <sup>#</sup> 、12 <sup>#</sup>	见图 3

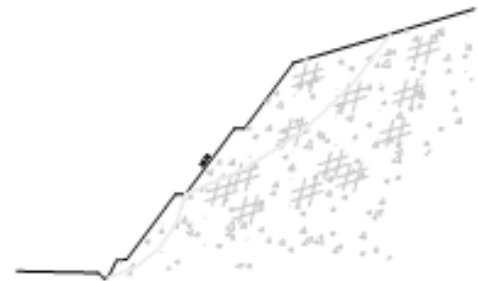


图 1

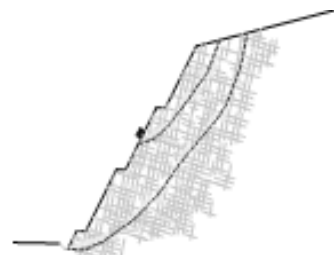


图 2



图 3

## 三、边坡稳定性计算

根据该路段边坡破坏的三种类型, 选取合适的计算参数, 应用成都理工大学 SlopeCAD2.0 版程序中简化毕肖普法和萨尔玛法<sup>[1]</sup>, 对该路段 13 处岩质高边坡进行稳定性计算, 计算参数根据现场和室内试验综合选取, 结果见下表 2。

收稿日期: 2009-09-28

作者简介: 王震宇 (1976-), 女, 四川交通职业技术学院道桥系 工程师, 主要从事地质灾害评价的科研及教学工作。

表 2 西南山区高速公路某路段边坡稳定性计算结果

边坡 编号	安全系数		破坏 类型	边坡 编号	安全系数		破坏 类型
	天然	天然+暴雨			天然	天然+暴雨	
1 <sup>#</sup>	0.876	0.721	—	8 <sup>#</sup>	1.321	1.163	三
2 <sup>#</sup>	1.096	0.905	二	9 <sup>#</sup>	1.278	1.104	三
3 <sup>#</sup>	1.104	0.951	二	10 <sup>#</sup>	1.252	1.095	三
4 <sup>#</sup>	1.055	0.878	—	11 <sup>#</sup>	1.397	1.101	三
5 <sup>#</sup>	0.970	0.801	—	12 <sup>#</sup>	1.212	1.081	三
6 <sup>#</sup>	1.113	0.891	二	13 <sup>#</sup>	1.085	0.902	二
7 <sup>#</sup>	1.441	1.102	三				

从计算结果可以看出：该路段边坡的稳定性与边坡的 3 种破坏类型密切相关。第一种破坏类型的 1<sup>#</sup>、4<sup>#</sup>、5<sup>#</sup>边坡的稳定性系数 K 基本小于 1.0，稳定性不好；第二种破坏类型的 2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>、6<sup>#</sup>、13<sup>#</sup>边坡的稳定性系数基本上为  $1.0 < K < 1.1$ ，稳定性一般；第三种破坏类型的 7<sup>#</sup>、8<sup>#</sup>、9<sup>#</sup>、10<sup>#</sup>、11<sup>#</sup>、12<sup>#</sup>边坡的稳定性系数约为  $1.1 < K < 1.3$ ，稳定性可以，但是有局部岩体崩塌现象存在，某些边坡局部稳定性小于整体稳定性。在暴雨情况下，边坡的稳定性系数都有所降低，使得很多边坡在暴雨下不稳定，因此采取适当的截排水及加固措施是必然的。

#### 四、边坡加固防治方案比选

高边坡加固方法很多，但总的来说可分为三类主要方法：

① 直接加固法：包括挡墙及护坡、抗滑桩<sup>[2]</sup>、滑动面混凝土栓塞、锚杆及钢丝绳锚索<sup>[3]</sup>；② 间接加固法：包括边坡中用巷道及钻孔疏干、地面截水排水防水、削坡减载卸荷；③ 特殊加固法：包括麻面爆破、压力灌浆<sup>[4]</sup>。目前对边坡的加固一般不采用单一的方法，而是根据边坡工程的具体情况，采用多种方法相配合的综合方法，以便取得更好的技术经济效益。

该段高速公路的各边坡，虽然各自的地质条件和工程情况都有所不同，但正如前述的分析，可将它们归为三类，虽然同类边坡具体的加固处治方法有所差异，但在总体方案上应该是相近的。下面结合各类边坡的基本情况拟定加固方案，并进行分析，进而优选出各段边坡加固处治方案。

#### 1. 第一类边坡加固处治方案

本类边坡岩体非常破碎接近于碎石土，其加固处治方案比选见表 3

表 3 第一类边坡加固处治方案比选表

加固处治 方案	加固方法	安全性	经济	施工技术
一、抗滑桩	以 1 <sup>#</sup> 坡段为例，初步计算如采用抗滑桩，须布置两排；第一排桩设置于距坡脚 20~30m 处，其桩径为 2.5m 左右，桩距为 4m 左右，桩长为 25m 左右；第二排桩设置于坡脚，其桩径为 2.0m 左右，桩距为 4m 左右，桩长为 10m 左右。	安全	估算工程直接费用 270 万元	施工方便、作业安全、设备简单，但速度慢
二、抗滑桩与锚索相结合	以 1 <sup>#</sup> 坡段为例，在距坡脚 20~30m 处设置抗滑桩一排，其桩径为 2.5m 左右，桩距为 4m 左右，桩长为 25m 左右；在坡脚至抗滑桩之间设置框架式预应力锚索 <sup>[5]</sup> ，其锚索间距 4~6m，锚索长度 8~20m。	安全	估算工程直接费用 240 万元	施工方便、作业安全，设备较复杂
三、锚索与压力灌浆相结合	以 1 <sup>#</sup> 坡段为例，经初步的估算，在距坡脚 0~20m 以内，采用框架式预应力锚索加固，间距 4~6m，长度 8~20m，在距坡脚 20m 以外则采用灌浆加固，深度 8~10m。	安全	估算工程直接费用 160 万元	施工方便、作业安全，设备较复杂

根据上述分析，本着安全可靠、适用简单、施工方便、经济合理的原则，推荐采用第三种加固方案即：框架式预应力锚索与压力灌浆相结合的方案。但由于各段的情况有所差异，具体的方案略有差异。

#### 2. 第二类边坡加固处治方案

本类边坡的地质条件比第一类好，边坡岩体呈破碎的块体状。其加固处治方案比选见表 4：

表 4 第二类边坡加固处治方案比选表

加固处治方案	加固方法	安全性	经济	施工技术
一、框架式预应力锚索	在整个坡面按 4~6m 的间距布设锚索，锚索长度 6~16m，坡面采用喷浆防护	安全	工程造价高	施工难度大
二、锚杆、锚索相结合	在可能滑裂面的出口端附近，布设框架式预应力锚索，其余部分设置普通锚杆 <sup>[6]</sup> ，坡面采用挂网喷浆防护	安全	比方案一造价稍低	施工难度大
三、锚杆、锚索与压力灌浆相结合	在可能滑裂面的出口端附近，布设框架式预应力锚索，在可能滑裂面的上部端附近，布设普通锚杆（按土层锚杆设计），边坡中部的破碎岩体采用压力灌浆使之粘结在一起，坡面采用预制空心混凝土砖，砖块中种草进行防护	安全	比前两个方案低	上部锚杆施工较困难，中部灌浆施工相对容易
四、框架式预应力锚索与压力灌浆相结合	在可能滑裂面的出口端附近，布设框架式预应力锚索，边坡的其它部位采用压力灌浆，坡顶第四系覆盖层进行适当的削坡减载	安全	和方案三相当	施工相对容易

综上所述，对第二类边坡视具体情况，推荐方案三、四。根据工程情况，对该类边坡各段的具体方案略有不同。

#### 3. 第三类边坡加固处治方案

本类边坡的地质条件略比第二类好，边坡岩体呈破碎的块体状，其加固处治方案比选见表 5：

表 5 第三类边坡加固处治方案比选表

加固处治方案	加固方法	安全性	经济	施工技术
一、框架式锚索	在整个坡面按 4~6m 的间距布设锚索，锚索长度 6~16m，坡面采用喷浆防护	安全	工程造价高	施工难度大
二、锚杆、锚索相结合	在可能滑裂面的上部端附近，布设框架式预应力锚索，其余部分设置普通锚杆，坡面采用挂网喷浆防护	安全	比方案一略低	施工难度大
三、锚杆、锚索与压力灌浆相结合	在可能滑裂面的上部端附近，布设框架式预应力锚索，在可能滑裂面的下部端附近，布设普通锚杆（按土层锚杆设计），边坡中部的破碎岩体采用压力灌浆使之粘结在一起，坡面采用预制空心混凝土砖，砖块中种草进行防护	安全	比前两个方案低	上部锚杆施工较困难，中部灌浆施工相对容易
四、锚索与护坡相结合	边坡的上部设置框架式预应力锚索，边坡下部采用坡面预制空心混凝土砖，砖块中种草进行防护，坡面附近的岩体进行局部灌浆处理	安全	比前三个方案低	施工相对容易

锚索与护坡相结合的方案，无论是施工难度还是工程造价均比前三个方案优越，故该类边坡的加固处治推荐方案四。

#### 五、结语

本文通过对西南山区某高速公路路段 13 处岩质高边坡的变形破坏方式、稳定性计算的分析，把 13 处岩质边坡变形破坏分为 3 种类型，稳定性计算结果也大致分 3 类，且和变形破坏类型一致，针对不同的变形破坏类型提出了三类边坡的加固防治方案，通过各种组合加固方案的对比，最后提出了各类边坡加固防治的最优方案。（下转 240 页）

远离张拉端的各点偏差比张拉端附近各测点偏差要小, 4、6 号测点实测值明显比理论值较小的原因可能是由于钢护筒直接受压引起的。

表 2 80%张拉力作用下各测点应变的实测和理论值比较

测点编号	实测值	理论值	误差/%
1 (横向)	-186.07	-183.23	1.53%
2 (竖向)	54.03	57.17	-5.81%
3 (纵向)	21.36	23.18	-8.52%
4 (纵向)	20.3	25.62	-26.21%
5 (纵向)	31.28	25.67	17.93%
6 (横向)	26.97	33.06	-22.57%
7 (纵向)	-67.40	-57.34	14.92%
8 (纵向)	-66.98	-59.92	10.54%
9 (纵向)	-68.90	-58.77	14.70%
10 (横向)	30.60	29.11	4.89%
11 (纵向)	-68.79	-63.50	7.69%
12 (纵向)	-59.86	-65.30	-9.07%
13 (纵向)	-61.90	-64.90	-4.84%
14 (横向)	24.54	21.83	11.02%
15 (纵向)	-52.83	-52.60	0.43%

实测结果与理论分析之间的误差可能主要来源于以下几个方面:

(1) 计算时材料性质取用为按规范规定的混凝土 28d 标准材料特性, 而测试时混凝土龄期为 5d。

(2) 理论分析的建模误差, 理论计算是混凝土假设为匀质弹性材料, 而实际混凝土为由砂、石、水泥等组成的非匀质多相混合材料, 另外, 理论计算中也未考虑梁体上各种施工荷载所带来的影响。

(3) 现场测试时仪器以及温度变化的影响等<sup>[1, 5]</sup>。

#### 五、结论与建议

通过对东江南特大桥箱梁纵向锚固区附近的混凝土应变测试与理论分析, 可以得出以下结论:

(1) 在纵向顶板预应力钢束张拉过程中, 箱梁锚固区始终是处于弹性工作状态, 锚垫板下附近的混凝土受力是安全的。

(2) 箱梁顶板混凝土纵向受压, 横向受拉, 与理论计算结果得出规律是一致的。

(3) 除了千斤顶附件的几个测点外, 测试应变与理论计算值吻合较好。

(4) 测试得出的最大纵向压应变为  $-68.90 \mu\epsilon$ , 锚垫板侧的最大横向压应变为  $-186.07 \mu\epsilon$ , 相应的应力分别为 2.52MPa 和 6.79MPa, 远小于混凝土抗压设计强度。

(5) 测试得出箱梁横向最大拉应变为  $26.97 \mu\epsilon$ , 比理论计算值稍小; 纵向最大拉应变为  $31.28 \mu\epsilon$ , 比理论计算值大, 锚垫板附件竖向最大拉应变为  $54.03 \mu\epsilon$ , 而且从测试结果可知距锚垫板 52cm 的范围内, 混凝土纵横向均受拉, 此处受力最不利。

建议在施工中严格控制该区域混凝土制作质量, 注意受力钢筋和锚固区分布钢筋位置和数量, 加强锚固区混凝土振捣和养护, 以免张拉纵向预应力束时箱梁混凝土出现裂缝, 确保结构安全。

#### 参考文献

- [1] 韩大建, 梁立农, 徐郁峰等. 珠江大桥有限元仿真分析[J]. 桥梁建设, 2004, 03.
- [2] 向木生, 田晓彬, 徐华等. 预应力混凝土梁桥应力测试技术[J]. 武汉理工大学学报[J]. 2001, 03.
- [3] 余利华, 张开银, 田晓彬等. 大跨度 PC 梁桥应力测试的若干问题[J]. 三峡大学学报 (自然科学版), 2002.
- [4] 殷鹏雷, 蒲黔辉. 预应力混凝土锚下应力分析[J]. 四川建筑, 2005.
- [5] 徐建国, 陈淮, 王博. 连续箱梁桥力学性能分析[J]. 郑州大学学报 (工版), 2004.

(上接 237 页)

现在该路边坡已经按建议的加固方案处治完成, 公路已经投入使用, 而且在这几年中, 13 处边坡均未发生失稳事故, 充分证明了加固处治方案的正确性和有效性。因此, 本文提出的岩质高边坡加固防治方案, 对在西南山区在建和拟建的其他高速公路岩质高边坡加固处治有借鉴性意义。

#### 参考文献

- [1] 钱家欢, 殷宗泽. 土工原理与计算. 北京: 中国水利水电出版社, 1996. 5, 308-312, 324-326.

- [2] 俱磊等. 滑坡治理中的抗滑桩设计. 吉林大学学报, 2002. 4.
- [3] (英) T. H. 汉纳著, 胡定等译. 锚固技术在岩土工程中的应用. 北京: 中国建筑工业出版社, 1987.
- [4] 熊厚金主编. 国际岩土锚固与灌浆新进展. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996. 5.
- [5] 程良奎, 范景伦, 韩军, 许建平著. 岩土锚固. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003. 1, 1-10.
- [6] 洪春梅, 刘建达, 黄伟生等. 边坡岩体锚固性能研究与展望[J]. 灾害学, 2008, 23 (3): 102-108.