

某公路边坡工程病害处治

杜 毅, 李天斌

(成都理工大学环境与土木工程学院, 成都 610059)

摘 要: 公路边坡的防护与治理是公路工程中比较普遍的技术难题, 尤其是在山区修筑公路, 边坡的稳定性尤为重要。以一公路边坡工程的病害处治为实例, 系统的分析了边坡失稳的原因和出现病害后的整治方案及工程措施。
关键词: 公路边坡; 防护与治理; 稳定性; 病害; 整治方案; 工程措施
中图分类号: U 412; S 157 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2005) 06-0210-03

Remedy Measures for a Highway Slope

DU Yi, LI Tian-bin

(College of Environmental and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: The remedy and treatment of highway slope is a universal technical problem in roading, especially in the mountainous area, the stability of the highway slope is very important. A disaster of a highway slope is taken as a typical example, the reason of the unstable highway slope is discussed in detail, as well as the treatment measures and engineering measures after the disaster happened.
Key words: highway slope; remedy and treatment; stability; disaster; treatment measure; engineering measure

1 工程及病害概况

该工程位于阿坝州马尔康县梭磨乡鹧鸪山西侧, 国道317 线鹧鸪山隧道及其引道工程西引道D 合同段白石沟中桥3# 台马尔康端, 线路中心地面标高3 170~3 185 m, 地形左低右高, 下方侧为梭磨河, 自然坡角一般为1 1~1 2, 线路右侧为1 1.5。坡面植被茂密, 多为衫树等乔木, 坡脚为梭磨河谷地。所处范围属国家森林植被保护地区。该段长150 m, 里程为K9+ 463~K9+ 578, 右侧路堑顶外设置一道0.4 ×0.6 m 的梯形截水沟, 并采用M 7.5 浆砌片石砌筑, K9+ 477.25~K9+ 562.75 长85.5 m, 右侧为路堑桩板墙, 共15 根桩, 桩间距均为6 m; 桩长17 m~25 m, 桩截面1.25 m ×2.25 m~2 m ×3 m, 桩身采用C20 钢筋混凝土浇注。挡土板采用外挂式钢筋混凝土板, 每块挡土板的长度为5.5 m, 高度为0.5 m, 厚度有0.32 m、0.40 m 和0.44 m, 每块挡土板上设两个直径为50 mm 的泄水孔, K9+ 464~K9+ 477.25 长13.25 m、K9+ 562.75~K9+ 576 长13.25 m 两段右侧路堑设置重力式路堑挡土墙, 最大墙高8 m。挡土墙每隔2 m 上下左右交错设置泄水孔, 呈梅花型布置。桩板墙(挡土墙) 顶桩后设2 m 宽平台, 平台以上的边坡按分级刷方, 破率1 1.25, 刷方边坡中部设2 m 宽平台, 边坡面采用拱型截水骨架内液压喷播植草防护。桩板墙(挡土墙) 顶平台以及边坡平台均采用M 7.5 浆砌片石封闭。

施工图锚固桩施工于2001 年7 月~2002 年6 月完工, 挡土板施工于2002 年7 月~2003 年6 月完工。但由于2004 年6 月入夏以来, 当地连降暴雨后, 斜坡表层发生坍塌, 桩板墙背后地下水渗入, 导致桩板墙后土体产生沉陷, 使桩板墙承

受巨大压力, 致使抗滑桩向外偏移3~5 cm。到月底经观测发现桩板墙大面积倾斜, 斜坡土体开裂, 裂缝长30 余m, 宽20~40 cm, 抗滑桩倾斜最大变形量达40 cm, 桩板墙严重受剪破坏, 并有发展的趋势。2004 年7 月4 日, 由于斜坡土体继续下滑, 桩板墙受力增大, 导致5#~11# 桩位移量达到47.8~110.9 cm, 7 月5 日5#~8# 桩倒塌。7 月20 日11# 桩与12# 桩间挡土板严重分离, 9# 桩向外倾斜达400.3 cm, 10# 桩向外倾斜305.4 cm, 11# 桩向外倾斜202.5 cm, 此三根桩倾斜度达60~80°; 已严重受剪破坏, 随时有倒塌的可能。故于7 月21 日将此三根桩炸倒。截至7 月26 日, 1# 桩外倾10 cm, 2# 桩外倾15.1 cm, 3# 桩外倾15.6 cm, 4# 桩外倾19.6 cm, 12# 桩外倾57.1 cm, 13# 桩外倾57.1 cm, 14# 桩外倾56.2 cm, 15# 桩外倾36.0 cm, 根据观测记载, 上述8 根桩变形已趋于稳定, 桩的具体变形情况详见表1。

2 工点工程及水文地质状况

2.1 地质构造

本段位于新生沟倒转向斜东翼, 岩层倒转, 挤压揉皱较强烈。岩层中结构面发育, 但主要以层面为主, 岩体破碎。主要裂隙有2~3 组, 其产状分别为①N10~23 W/SW 57~62°, ④N38~45 E/NW 75~85°, ④N10~20 E/NW 65~75°。本地区地震基本烈度为Ⅱ度。

2.2 地层岩性

上覆角砾土、碎石、角砾土夹块石、粉土透镜体, 层厚8~28 m。角砾土、碎石、角砾土夹块石, 中密—密实, 稍湿。角砾土夹粉土, 中密、潮湿, 粉土硬塑至软塑状, 该层分布于标高3

* 收稿日期: 2005-01-06
作者简介: 杜毅(1980-), 男, 四川广安人, 成都理工大学地质工程硕士研究生。

190 m 以下,粉土层厚0~4 m,呈透镜状。下伏基岩为变质细砂岩、板岩、炭质千枚岩。层理产状走向NW,倾向SW,倾角40~50°;倾向山内,岩体及堆积体稳定。

表1 K9+ 464~576 段桩板墙部分日期位移观测表

桩号	6月27日	7月4日	7月6日	7月14日	7月20日	7月23日	7月26日
1 [#]	3.4	5.2	6.0	7.6	9.1	9.8	10.0
2 [#]	4.5	9.0	11.2	12.9	14.3	14.9	15.1
3 [#]	5.9	8.9	10.0	12.5	14.3	15.1	15.6
4 [#]	7.5	17.0	15.4	17.3	18.2	18.9	19.6
5 [#]	10.5	47.8	倒塌				
6 [#]	29.0	96.8	倒塌				
7 [#]	38.2	103.6	倒塌				
8 [#]	42.5	110.9	倒塌				
9 [#]	42.7	105.6	370.3	387.2	400.3	已倒塌	
10 [#]	40.5	95.4	194.6	210.5	305.4	已倒塌	
11 [#]	31.4	74.3	141.0	158.4	202.5	已倒塌	
12 [#]	21.4	45.2	48.2	50.3	54.9	56.6	57.1
13 [#]	16.7	35.3	37.8	40.80	41.7	42.8	44.1
14 [#]	26.6	45.7	53.8	54.8	55.2	55.4	56.2
15 [#]	14.0	30.9	31.5	32.5	34.1	35.1	36.0

(1) 第四系崩坡积(Q_{4+e}) 碎石土。灰至灰褐色,松散,碎石含量约占50%~60%,块石含量约占5%~10%,角砾含量约占10%~20%,其余为砂、黏粘土,石质成份多为板岩、千枚岩。分布于斜坡坡脚至坡顶地带,属Ⅱ级普通土。斜坡下部及坡脚地带较厚,为1~5 m;半坡至坡顶较薄,为0~1 m(附图1)。

(2) 三叠系上统侏倭组(T_{3zh}) 板岩、千枚岩及炭质千枚岩。灰色、深灰色及灰黑色,表面风化后呈黄褐色。板岩为中薄层状,岩质较坚硬,属Ⅲ级次坚石。千枚岩由泥岩、页岩变质形成,薄层状,片状构造,岩质较软,属Ⅳ级软石,易风化剥落,坡面常因千枚岩差异风化形成锯齿状。

2.3 气象与水文

该段地下水类型主要为崩坡积层空隙潜水,由于坡顶为高山高原草地、澡泽地,坡面植被茂密,地下水补给源主要为大气降水,雨季比较丰富,旱季较少。水位埋深一般3~5 m,地下水沿崩坡积层中,碎石、角砾土与粉土层间流出。

鹧鸪山隧道区属北温带、川西北高原气候区,历年平均气温3.3~ - 3.8℃,最高气温28.2℃,最低气温- 2.0~ - 3.1℃,历年极端最低气温- 30~31.1℃,历年平均降水量910~938 mm,5~10月为主要降水期,占全年降水量的70%~80%。历年平均绝对湿度4.8~4.9 g/m³,最大绝对湿度13.9 g/m³,历年平均相对湿度70%,历年平均蒸发量565~587 mm,冻结最大深度1.01 m,最大积雪深度47~100 cm。历年最多风向SSW~SW、SE~SSE,历年平均风速1.7 m/s,历年最大风速24 m/s。

3 坍滑体主要特征

3.1 坍滑体规模及形态

整个坍滑体长25 m,宽47 m,后缘高程3 195 m,前缘高程3 178 m,高差17 m,桩前弃土约3 200 m³,坍滑体堆积约9 000 m³,桩后坍滑堆积体约5 800 m³,现存约4 000 m³,病害发生后已推为平台,平台宽约8~10 m,桩背宽约3~5 m,高出路基面约8~10 m,除坍滑体后缘地下水流出处继续有坍滑外,坍滑体后缘以上边坡目前未见开裂和下滑现象。

坍滑体位于扁状崩坡积层上部,属于碎石土浅层工程滑

坡。滑坡周界明显,滑坡体形态呈半月形。后缘山坡坡度约40°,植被茂密,为松树林,未受前缘滑坡影响,斜坡相对稳定。坍滑体前缘为弃渣与崩坡积平台,平台宽18~22 m,坡角为梭磨河谷地,堆积体稳定。坍滑体剪出口位于路基平台上2 m左右。滑坡体对路基体稳定性尚无影响。

3.2 坍滑体变形形态特征

坍滑体由表层坍滑体与地下水软化后的土体组成,坍滑体后缘大多位于地下水出露的上方,地下水出露后沿坡面渗入土体,形成软弱面,土体下滑形成滑坡。

滑动面为角砾土、粉土夹层,被地下水软化后形成潜在的软弱面,当坍滑体与地下水软化后的土体产生的下滑力大于桩板墙的承受能力时,土体沿潜在的软弱面产生滑动,导致桩板墙倒塌,是一次滑坡地质灾害。滑坡形成过程由蠕动到突变时间约20 d,形成较为缓慢。

滑床为角砾土、粉土夹层,为相对的隔水层,经钻揭示该层以下地下水不发育,说明滑坡的触发因素主要是斜坡出露的地下水与地表水渗入至潜在的软弱面后,产生滑动。

经钻钻揭示滑床及滑床以下土体地下水不发育,土体主要为碎石土、碎石角砾土夹块石,中密~密实,稍湿。滑坡体前缘有宽阔的平台,土体稳定,滑坡体对路基本体基础无影响。

4 边坡病害成因分析

该工点地质结构为松散碎石土堆积层,2004年6月下旬~7月上旬连降暴雨,而且雨量与连续降雨时间为近年之最,坡体软化,边坡土体松动,加之未及时施作堑顶外及边坡截排水工程、边坡刷方减载等工程措施,由于排水不畅,地表水大量下渗,板后的土体严重饱水,下部土体被逐渐软化,形成软弱层,加大了土的容重,产生静水压力,从而增大了对桩板墙的推力,在雨季时,土体经水的浸泡而蠕动变形产生更多裂缝,裂缝群构成潜在滑动面,后面土体相应向前推移,不段发展,在大暴雨时,增加了静水压力,桩板不堪重荷而弯曲倒塌,从而演化成滑坡。

5 边坡设计参数选取

5.1 岩土物理力学指标

(1) 碎石角砾土:中密—密实、稍湿,碎石约占50%~60%,角砾约占30%,其余为粉土,属普通土Ⅱ级,层厚8~28 m。基本承载力 $\delta=300$ kPa,基底摩擦系数 $f=0.4$,边坡率1

1.5,桩周极限摩擦阻力 $f_{c}=120$ kPa,综合内摩擦角 $\varphi=35^\circ$,属Ⅱ级普通土。

(2) 角砾土、粉土夹碎、块石:中密—密实、稍湿,角砾约占50%~60%,碎、块石约占15%,其余为粉土,属普通土Ⅱ级,层厚8~28 m,与碎石土互层。基本承载力 $\delta=200$ kPa,基底摩擦系数 $f=0.35$,边坡率1 1.5,桩周极限摩擦阻力 $f_{c}=90$ kPa,综合内摩擦角 $\varphi=30^\circ$ 。

(3) 变质细砂岩、板岩及千枚岩:弱风化带基本承载力, $\delta=450$ kPa、 $\varphi=40^\circ$;饱和极限抗压强度10 mPa;强风化带基本承载力, $\delta=350$ kPa、 $\varphi=35^\circ$ 。

5.2 设计分析

由于受水害的影响,该段路堑边坡已经产生大量裂缝,土体已经不同程度变形、滑动。经现场观察分析,将该病害定为浅层土体工程滑坡,因此计算是采用滑坡推力方法计算其稳定性。

(1) 加强引排斜坡内及流出的地下水,防止对边坡的破

坏, 加强排水, 是对该段路基病害处治的关键。

(2) 根据现场调查了解到的桩的倒塌情况、变形情况和坡面的裂缝分布情况等推测已产生滑动面和可能出现滑动面的位置, 在实测横断面现场填绘地质图上分别按库伦主动土压力公式及滑坡推力计算桩后土压力, 取大者滑坡推力 $980\text{ kN/m} \sim 1\,130\text{ kN/m}$ 为桩的推力。

(3) 桩顶以上的越顶验算, 分别采用圆弧法和复式滑面法进行验算, 均有越顶的可能, 但考虑工程措施的经济性与实用性, 取复式滑面法计算的越顶下滑力进行边坡加固, 最大推力为 255.8 kN/m 。

(4) 本工点抗滑桩为悬臂桩, 按悬臂段高 10 m , 锚固点为路面下 2.0 m , 锚固点以上桩前无土体进行设计(详见图1)。

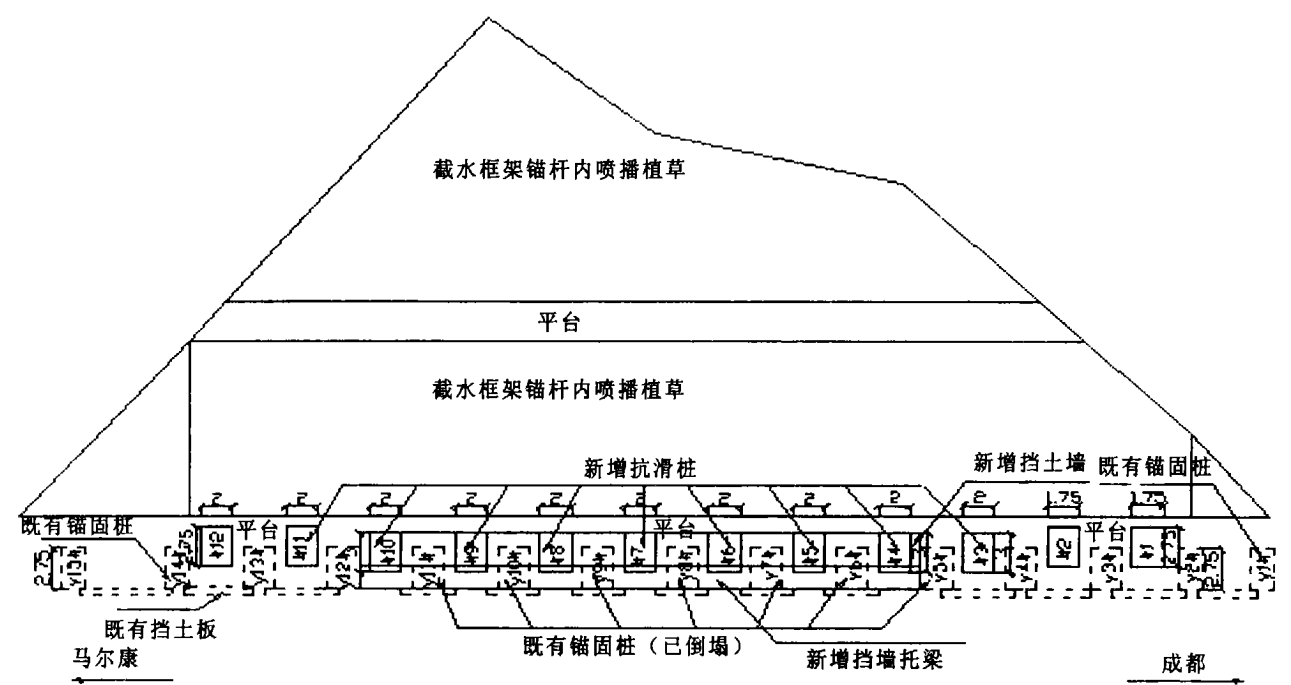


图1 新增抗滑桩平面布置图

6 病害工点整治方案

6.1 现场会审方案

经现场查看, 分析病害产生的原因及反复研究决定作出如下现场会审方案:

- (1) 加强截排地表水、地下水, 恢复设置堑顶外截水沟, 完善并贯通截排水设施, 设置仰斜排水孔引排地下水。
- (2) 与刷方减载措施相结合, 平整坡面, 夯填裂缝, 尽量防止地表水下渗。
- (3) K9+ 477.25 ~ K9+ 562.75 长 85.5 m, 右侧路堑土体特别松散, 并且推力仍然很大, 主体支挡工程仍应采用桩结构为柱进行支挡加固。

- (4) 桩顶以上路堑边坡在可能的情况下采用刷方减载措施, 并设多级平台, 刷方后的边坡必须设置加固防护工程。
- (5) 桩间挡土墙顶外及边坡平台处设截水沟, 坡面仍设置截排水工程。

6.2 支挡加固方案

在原设计的桩板墙后的2# ~ 14# 桩的桩与桩间加桩, 桩设在原来的两桩之间或靠后, 桩截面为 $1.75 \times 2.75\text{ m} \sim 2 \times 3\text{ m}$, 桩长 $26 \sim 27\text{ m}$, 已倒塌桩处新设桩的桩中心距路线中心距离为 7.5 m , 未倒塌桩之间的新设桩中心距路线中心距离为约 8.15 m , 桩间设置重力式路堑挡土墙, 挡土墙基础采用单桩托梁方案。桩的平面布置图见图1。因边坡有越顶的可能, 采用锚杆截水框架梁加固, 截水框架内液压喷播植草。其受力方式为: 桩与锚杆共同承担滑坡推力。

7 变更设计主要工程措施

鉴于病害的原因分析及整治方案和变更设计的顺利实施, 防止病害的继续发生, 应采取如下工程措施:

- (1) 加强截排地表地下水, 在 K9+ 443 ~ K9+ 628 右侧堑顶外 $2 \sim 5\text{ m}$ 处设置截水沟, 长 221 m , 沟型为梯形, 底宽 0.4 m , 高 0.6 m 。靠河侧沟壁厚 0.3 m , 高 0.6 m , 坡率 $1:1$; 靠山侧沟壁厚 0.5 m , 高 1.2 m , 坡率 $1:0.5$, 沟底沟 0.3 m , 采用 M7.5 浆砌片石砌筑(详见图2)。完善截排水设施, 将坡面水引入涵洞或路堑以外。

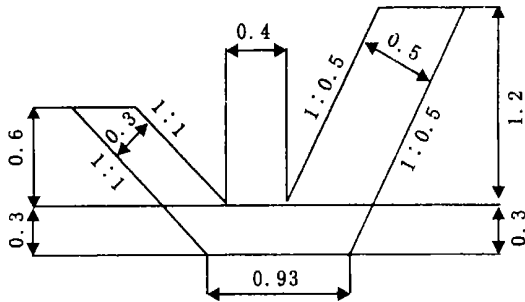


图2 堑顶截水沟详图

- (2) 平整坡面, 夯填裂缝, 防止地表水下渗, 同时在桩前采用砂袋或回填土反压, 反压高度不小于 5 m 。
 - (3) 上部边坡采用分级清方减载, 清方坡率为 $1:1.25$,
- (下转第261 页)

[17] 苏建平, 康博文. 我国树木蒸腾耗水研究进展[J] . 水土保持研究, 2004, 11(2) : 177- 179.

[18] 程根伟, 余新晓, 赵玉涛, 等. 贡嘎山亚高山森林带蒸散特征模拟研究[J] . 北京林业大学学报, 2003, 25(1) : 24- 27.

[19] 刘晓英, 林而达, 刘培军. Priestley- Taylor 与 Penman 法计算参照作物腾发量的结果比较[J] . 农业工程学报, 2003, 19(1) : 32- 36.

[20] 闫俊华, 周国逸, 陈忠毅. 鼎湖山人工松林生态系统蒸散力及计算方法的比较[J] . 生态学杂志, 2001, 20(1) : 5- 8.

[21] 周杨明, 程根伟, 杨清伟. 贡嘎山东坡亚高山森林区蒸散力的估算[J] . 山地学报, 2002, 20(2) : 135- 140.

[22] 刘绍民, 刘志辉, 傅玮东. 作物农田蒸散计算模型的研究[J] . 生态学杂志, 1998, 17(4) : 66- 69.

[23] 储长树, 卢显富, 青吉铭. Penman- Monteith 公式中冠层阻抗的合成方法[J] . 南京气象学院学报, 1995, 18(4) : 494- 499.

[24] 王书功, 康尔泗, 金博文, 等. 黑河山区草地蒸散发量估算方法研究[J] . 冰川冻土, 2003, 25(5) : 558- 565.

[25] Jarvis P G, James G B, Landsberg J J. Coniferous forest. In vegetation and the atmosphere[M] . In: Monteith, J L ed. London: Academic Press, 1976. 171- 240.

[26] 罗毅, 雷志栋, 杨诗秀, 等. 非水分胁迫条件下作物腾发的模拟研究[J] . 农业工程学报, 1998, 14(2) : 154- 159.

[27] 姚德良, 谢正桐, 李家春. 禹城地区陆气相互作用耦合模式和观测研究[J] . 生态学报, 2000, 20(6) : 1076- 1082.

[28] 莫兴国, 林忠辉, 刘苏峡. 基于 Penman- Monteith 公式的双源模型的改进[J] . 水利学报, 2000, (5) : 6- 11.

[29] 周英, 中双和, 张红卫. 大气稳定度对农田蒸散计算准确性的影响[J] . 南京气象学院学报, 1994, 17(1) : 93- 96.

[30] Thom A S, Oliver H R. On Penman's equation for estimating regional evaporation[J] . Q. J. Roy. Meteorol. Soc. , 1977, 103: 345- 357.

[31] 丛振涛, 雷志栋, 杨诗秀. 基于 SPAC 理论的田间腾发量计算模式[J] . 农业工程学报, 2004, 20(2) : 6- 9.

[32] 莫兴国. 冠层表面阻力与环境因子关系模型及其在蒸散估算中的应用[J] . 地理研究, 1997, 16(2) : 81- 88.

(上接第212 页)

在桩(墙)顶后及半坡分别设1.46 m 和2 m 宽平台, 平台上设0.4 m × 0.4 m 矩形截水沟, 采用M 7.5 浆砌片石封闭, 平台及截水沟浆砌厚度0.3 m, 将边坡水排至路堑以外。

(4) 桩顶以上刷方边坡根据安全系数 $K = 1.3$ 计算推力设锚杆钢筋混凝土截水框架梁护坡, 在截水框架节点处设置锚杆。锚杆钻孔直径为 $\varnothing 10$ mm, 采用跟管钻进, 每根锚杆必须保证锚固段长度5.5 m, 锚杆采用 $\varnothing 6$ mm 钢筋, 孔内灌注M35 水泥砂浆, 注浆压力0.2 ~ 0.4 MPa, 孔口设止浆塞。锚杆纵、横向间距4.0 m。自桩顶平台坡脚至堑顶: 最下部两排锚杆长12 m, 第三、四排锚杆长14 m, 第五排锚杆长12 m, 第六、七排锚杆长10 m, 第七排以上锚杆长8 m。截水框架梁内采用液压喷播植草防护, 截水框架梁锚杆区边缘采用M 7.5 浆砌片石镶边。

(5) K9+ 487~K9+ 553 长66 m, 右侧路堑设桩间挡土墙进行支挡加固。根据安全系数 $K = 1.15$ 计算整个滑坡推力值为980 kN/m ~ 1 130 kN/m, 因考虑锚杆承受110 kN/m ~ 256 kN/m, 桩承受720 kN/m ~ 970 kN/m 推力。其中桩工12根, 桩间距(中-中)6 m, 桩长26 ~ 27 m, 截面尺寸均为1.75 × 2.75 ~ 2 × 3 m, 3[#] ~ 10[#] 桩的桩中心距路线中心距离为7.5 m, 1[#]、2[#]、11[#]、12[#] 桩的桩中心距路线中心距离为约8.15 m, 桩身采用C30 混凝土灌注。具体桩位、截面尺寸及平面布置详见图1。每根锚固桩桩顶均设一节加强型锁口, 高2 m, 位于土层及岩层的严重风化带中的桩身均设置护壁, 在滑动面附近及松散或有地下水出露段的土体内采用加强型护壁。

(6) K9+ 488~K9+ 552 长64 m, 右侧设重力式路堑挡土墙, 为个别设计。原4[#] 桩与新设3[#] 桩及新设10[#] 与原12[#] 桩之间及桩前墙高均为10 m, 埋深为自路肩下2 m。新设3[#] 桩至新设10[#] 桩之间墙高8 m, 基础为托梁, 挡土墙胸坡和背坡均为1 : 1.5。挡土墙墙身采用C15 片石混凝土浇注。桩间挡

参考文献:

[1] 张倬元, 王士天, 王兰生. 工程地质分析原理[M] . 北京: 地质出版社, 1997.

[2] 杨航宇, 颜志平, 朱赞凌. 公路边坡防护与治理[M] . 北京: 人民交通出版社, 2002.

土墙墙背设0.5 m 厚砂夹卵石反滤层, 反滤层上下部隔水层分别采用M 7.5 浆砌片石和C15 片石混凝土制作。上部厚0.5 m, 高0.5 m; 下部厚0.5 m, 高0.3 m。挡土墙每隔2 m 上下、左右交错设置泄水孔, 泄水孔的尺寸为0.1 m × 0.1 m, 呈梅花型布置。

(7) 新设3[#] 桩至新设10[#] 桩之间的挡土墙采用单桩托梁基础。托梁宽3.0 m, 厚1.5 m, 长4.0 m。托梁中心与挡土墙重心保持在同一垂线上, 托梁与边沟之间的缺口处采用M 7.5 浆砌片石回填。

(8) 在桩间挡土墙的最下面三排泄水处设三排仰斜排水孔, 每级边坡平台靠山侧约1 m 与3 m 高处各设一排仰斜排水孔, 间距2 m, 其深度至挡土墙后或坡面内10 ~ 14 m, 仰角均为10°。采用 $\varnothing 100$ mm 钻孔, 孔内设 $\varnothing 80$ mm 带孔PVC 管, 并用带膜透水土工包裹, 引排地下水。

(9) 凿除或拆除已损坏但未倒塌的挡土板, 根据现场情况重新挂板, 锯掉高出墙顶以上的桩, 凿除或拆除外露的锁口护壁, 采用C15 混凝土对外露的桩桩身进行抹面。

8 结 语

众所周知, 水对边坡稳定性有显著影响。它的影响是多方面的, 包括软化作用、冲刷作用、静水压力和动水压力作用及浮托力作用等。本边坡病害工程就是由于水的作用带来的病害的典型实例, 其主要原因是, 由于排水不畅, 地表水大量下渗, 板后的土体严重饱水, 下部土体被逐渐软化, 形成软弱层, 加大了土的容重并产生静水压力而造成。因而在以后的边坡设计及整治过程中都要充分考虑到水的作用, 作到及时引水、截水、排水, 使边坡免受损害, 从而尽可能高的提高工程质量。