

临近高压电塔的滑坡综合处治方案研究

栗飞, 杨瑞, 么炜

(山西省公路局晋城分局, 山西 晋城 048000)

摘要: 滑坡防治是边坡工程设计与施工必须考虑之点, 现依据新规范条款对国道 G342 主线 K12+400 ~ K12+700 中在古滑体上发生的牵引式滑坡的防治措施作了详细介绍, 包括清方减载后滑坡在多种工况下的稳定性及抗滑桩的尺寸、配筋和布置等设计过程的计算说明和合理性验证, 并为公路在该路段后续施工与运行建立了完整的监测体系。从而证明了该套处治方案对该工程滑坡处置的合理性, 也为其他相关工程实例中的滑坡处置提供参考。

关键词: 牵引式滑坡; 古滑体; 抗滑桩; 监测

中图分类号: U418.5+5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)08-0204-05

0 引言

滑坡是指由于河流冲刷、雨水浸泡和地震等因素影响下, 斜坡的岩土体沿着剪切破坏面顺坡向下滑动的一种自然地质现象。滑坡会对附近居民住所、生产设施、基础设施等造成破坏, 严重影响周围人民的生命财产安全。因此滑坡的防治尤为关键, 对于易发生或即将发生滑坡的边坡要采取及时有效的措施来避免灾难的发生。

在实际工程中, 常常通过消除或减轻水的危害, 改变滑坡体的外形, 改善滑动带的土石性质等措施来防治滑坡。现结合具体实例, 对边坡清方减载和设置抗滑桩在实际滑坡防治工程中的应用及后续监测措施进行了详细介绍说明。

1 工程概况

1.1 地质概况

国道 G342 主线 K12+400 ~ K12+700 段穿越古滑体, 该古滑体整体南西高北东低, 顺主轴方向纵长约 430 m, 宽约 300 m, 面积约为 12.48 万 m^2 , 坡体后部为一椭圆形山丘, 后壁较陡, 未见裂隙及擦痕; 古滑面为土石分界面; 坡体上台地较发育, 多为人工平整的农田, 整体地形较缓, 总体坡角约 10° , 局部引台地发育, 坡脚可达 20° ; 坡体中部为在建 G342 国道 K12+400 ~ K12+700 路基挖方段, 现已开挖, 路堑边坡为 I 级边坡, 边坡坡率为 $1:0.75 \sim 1:1$;

0.25, 古滑体东西两侧各发育冲沟, 冲沟切割均较浅; 坡体前部平缓, 种有大片树林, 古滑体前缘局部为陡坎, 高约 5 ~ 12 m, 坎下为南山村修建的房屋, 滑坡区地貌图如图 1 所示。



图1 滑坡区地貌图

滑坡位于古滑体中部, 路堑左侧, 平面形态呈簸箕型, 后部为圈椅型。滑坡后缘未见明显的拉张裂隙, 后壁较平缓, 坡高约 5 ~ 8 m, 坡角约 15° , 无明显擦痕; 滑体上未见明显的滑坡台地, 整体地形较缓, 总体坡角约 10° ; 滑体边坡上部距路堑顶边缘 0 ~ 50 m (最远裂缝可达 80 m) 范围内出现多条横向张拉裂缝, 宽度 2 ~ 30 cm, 裂缝总体走向平行于路堑开挖坡面。路堑坡面未见明显的剪出口特征, 但路堑坡面局部已发生坍塌; 开挖坡面下部未见裂隙发育, 古滑体范围及工程滑坡位置关系如图 2 所示。滑坡主滑方向 37° , 顺主滑方向纵长约 95 m, 垂直主滑方向最大宽度 300 m, 面积约为 1.798 万 m^2 , 滑体最大厚 11 m, 体积约为 19.78 万 m^3 。

按物质组成成分及滑体体积划分, 该滑坡性质属中型中层堆积体滑坡; 按引起滑动的动力学性质划分, 属牵引式滑坡。古滑体堆积体是形成滑坡的物质基础, 采空区沉降、大气降水、人类活动是影响滑坡

收稿日期: 2022-10-19

作者简介: 栗飞(1981—), 男, 工学学士, 工程师, 从事道路工程管理工作。



图 2 古滑体范围及工程滑坡位置关系图

稳定性的主要因素。

1.2 原设计情况

国道 G342 晋城市过境段改线工程 K12+400 ~ K12+700 段位于山西省晋城市巴公镇南山村西侧约 200 m 处。该路段工程类型为挖方路堑,左侧边坡最大高度 9.8 m,原设计边坡坡率为 1:0.75 ~ 1:0.25。K12+400~K12+490 左侧挖方边坡采用护面墙防护;K12+490~K12+600 左侧设置浆砌片石路堑墙支挡,墙面坡率 1:0.25;K12+600~K12+700 左侧挖方边坡采用护脚墙防护。

1.3 变更原因

受 7~8 月份晋城市境内连续降雨和强降雨影响,部分大气降水形成地表面径流,自高处向低处排泄;部分雨水渗入土层,使得土体含水量增加,导致土体重量增加,由于下伏泥岩渗透性较低,为有效的隔水层,致使地下水难以以岩基岩裂隙排出,导致土体长期遇水,进而软化,使其抗剪强度下降,为滑坡形成提供了内在基础与滑动条件。2019 年 8 月 28 日,在 K12+500~K12+580 段设计路堑顶外山体出现裂缝。2019 年 9 月 6 日,堑顶外裂缝宽度加大,并向大里程侧延伸,K12+400~K12+700 段左侧挖方坡顶外坡体出现多道裂缝并快速扩展,最外侧裂缝已经扩展至高压塔(距路线中心 K12+650 约 100 m)北 20 m,如图 3 所示。



图 3 开挖坡面上部拉张裂缝之实景

在以上因素的共同作用下,路堑边坡最终产生滑移、张拉变形,形成滑坡。根据裂缝的发展趋势和

边坡失稳情况判断,该滑坡的运动形式以牵引式为主。古滑体坡积体是形成滑坡的物质基础,采空区沉降、大气降水、人类活动是影响滑坡稳定性的主要因素。

2 反演预测方法及模型建立

2.1 滑坡处治原则与控制标准

K12+400~K12+700 段滑坡为古滑坡体上一处牵引式滑坡。处治设计方案除考虑牵引式滑坡的稳定外,还必须兼顾对古滑坡体的影响,采用清方减载、抗滑支挡等相结合的综合处治措施。

选取古滑体 1-1'、2-2'、3-3' 三条主剖面(如图 4 所示)计算清方减载后沿土石界面上覆坡积体的稳定性。

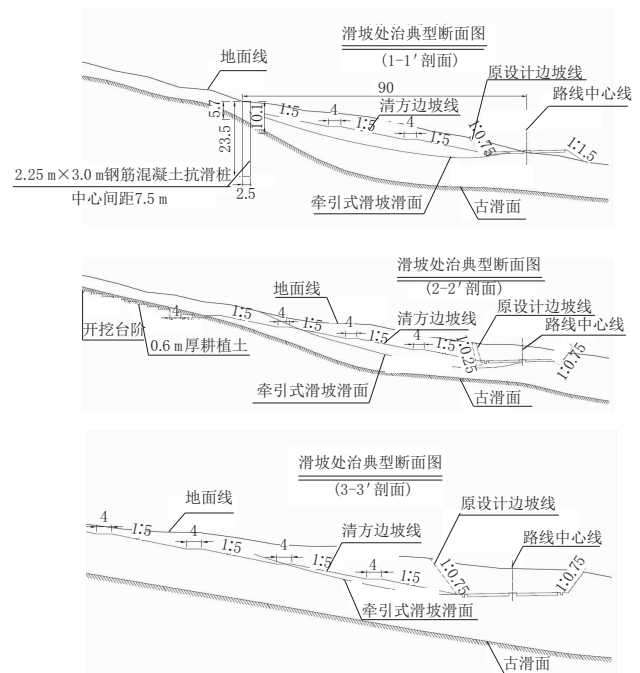


图 4 滑坡处治典型断面图

2.2 清方边坡稳定性计算

该滑坡滑动面整体呈圆弧形,现采用简化 Bishop 法计算该滑坡稳定系数,计算公式如下:

$$F_s = \frac{\sum K_i}{\sum (W_i + Q_i) \sin a_i}$$

式中: W_i 为第 i 土条重力; a_i 为第 i 土条底滑面的倾角; Q_i 为第 i 土条垂直方向外力; K_i 为系数,由下式计算:

$$K_i = \frac{c_{di} b_i + W_{di} \tan \varphi_{di} + U(W_{ti} + Q_i) \tan \varphi_{di}}{m_{di}}$$

式中: W_{di} 为第 i 土条地基部分的重力; W_{ti} 为第 i 土条路堤部分的重力; B_i 为第 i 土条宽度; U 为地基平均固结度; c_{di} 、 φ_{di} 为第 i 土条地基部分的凝聚力、内摩

擦角; m_{di} 为系数,由下式计算:

$$m_{di} = \cos \alpha_i + \frac{\sin \alpha_i \tan \varphi_i}{F_s}$$

式中: φ_i 为第*i*土条滑弧所在土层的内摩擦角。

现求得 1-1',2-2',3-3' 三个典型断面的稳定安全系数,如表 1 所列。

表 1 典型断面稳定安全系数表

工况	计算得稳定安全系数	规范要求稳定安全系数
1-1' 正常工况	1.25	1.2
1-1' 暴雨工况	1.22	1.1
1-1' 地震工况	1.13	1.1
2-2' 正常工况	1.26	1.2
2-2' 暴雨工况	1.23	1.1
2-2' 地震工况	1.15	1.1
3-3' 正常工况	1.24	1.2
3-3' 暴雨工况	1.16	1.1
3-3' 地震工况	1.12	1.1

经验算证明,清方后的各断面滑坡稳定性均满足要求。

2.3 抗滑桩设计与计算

抗滑桩后滑坡体剩余下滑力计算时采用的稳定安全系数,根据桩后滑体上构造物重要程度确定。K12+630~K12+680 段滑坡体上有高压塔,正常工况下稳定安全系数取 $K_s=1.25$,暴雨工况下稳定安全系数 $K_s=1.15$,地震工况下稳定安全系数 $K_s=1.15$;其他路段正常工况下的稳定安全系数取 $K_s=1.2$,暴雨工况下的稳定安全系数 $K_s=1.1$,地震工况下的稳定安全系数 $K_s=1.1$ 。

抗滑桩桩顶位移如表 2、表 3 所列,均小于 100 mm,满足规范要求。

表 2 E1-E4 抗滑桩桩顶位移一览表

滑坡推力、 库伦土压力 安全系数	桩顶位移 /mm		
	滑坡推力 作用情况	库伦土压力 (一般情况)	库伦土压力 (地震情况)
1.35	0	22	22
1.8	0	29	29

抗滑桩设计的具体要点如下:

(1)抗滑桩均采用矩形截面。其中:E1~E4 号桩尺寸为 2 m×2.5 m,桩中心间距 10 m,桩长 15 m;N1~N5 号桩尺寸为 2.25 m×3.0 m,桩中心间距 7.5 m,桩长 23.5 m。抗滑桩具体设置位置、中心坐标等见图 5、图 6 所示。

(2)抗滑桩桩间土体采用 M10 水泥砂浆砌 MU40

表 3 N1-N5 抗滑桩桩顶位移一览表

滑坡推力、 库伦土压力 安全系数	桩顶位移 /mm		
	滑坡推力 作用情况	库伦土压力 (一般情况)	库伦土压力 (地震情况)
1	26	30	30
1.35	35	41	41
1.62(暴雨)	40	49	49
1.62(地震)	37	49	49
1.62(暴雨+地震)	36	49	49
1.62(自然)	42	49	49
1.8	47	55	55

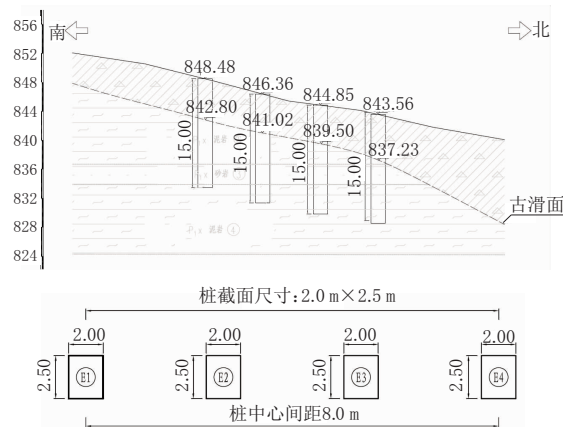


图 5 E1~E4 抗滑桩布置图

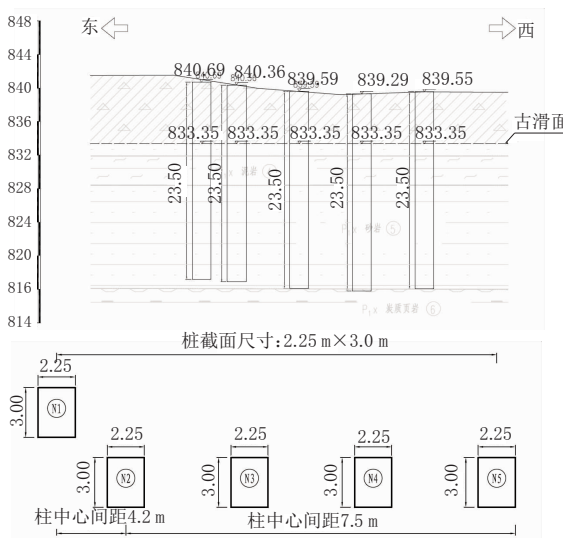


图 6 N1~N5 抗滑桩布置图

片石护面墙防护,桩间护面墙墙面坡率 1:1.0。护面墙及其泄水孔、耳墙等按照原施工图设计说明及《路基支挡、防护工程设计图》尺寸及相关要求施工。

(3)桩身采用 C35 钢筋混凝土现场浇筑。纵向受力主筋采用 HRB400 级,其他钢筋采用 HRB335 级。。

(4)桩纵向受力钢筋的混凝土净保护层厚度不得小于 7 cm,箍筋的混凝土净保护层不得小于 3 cm,侵蚀条件下尚应满足耐久性设计方面的相关规定。

(5) 桩孔开挖设置 C25 钢筋混凝土锁口, 桩井设置护壁。

(6) 桩身四角各布置一根 $\phi 57$ mm (内径 $\phi 50$ mm) 的金属声测管, 以便进行桩身混凝土无损检测, 检测完成后管内灌注与桩身相同标号细石混凝土。

2.4 古滑坡稳定性计算

根据“地勘报告”判断, 古滑坡处于稳定状态。因对古滑坡范围进行了路基开挖、边坡清方减载、抗滑桩支挡, 需对古滑坡稳定性重新进行计算。古滑坡稳定性按照《公路路基设计规范》(JTG D30—2015) 相关规定, 采用传递系数法计算滑坡剩余下滑力:

$$T_i = F_s W_i \sin \alpha_i + \psi_i T_{i-1} - W_i \sin \alpha_i \tan \varphi_i - c_i L_i$$

$$\psi_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \tan \varphi_i$$

式中: T_i 、 T_{i-1} 为第 i 和第 $i-1$ 滑块剩余下滑力; F_s 为稳定安全系数; W_i 为第 i 滑块的自重力; α_i 、 α_{i-1} 为第 i 和第 $i-1$ 滑块对应滑面的倾角; ψ_i 为传递系数; c_i 为第 i 滑块滑面岩土粘聚力; φ_i 为第 i 滑块滑面的内摩擦角; L_i 为第 i 滑块滑面长度。

取滑坡最下缘滑块剩余下滑力等于 0 时的安全系数为滑坡的稳定安全系数。古滑坡稳定性计算时, 考虑路基开挖、边坡清方减载及抗滑桩的作用。

经验算, 古滑坡稳定性满足规范要求。

2.5 总体方案

采用清方减载 + 高压塔处抗滑支挡的方案对 K12+400 ~ K12+700 段滑坡进行处治。高压塔北侧垂直主滑方向、东侧平行于主滑方向分别设置一排 C35 钢筋混凝土抗滑桩支挡。滑坡垂直主滑于方向分层、分部开挖反压土外侧坡积体及反压土。抗滑桩施工及清方减载开挖施工顺序见图 7 所示。最终清方边坡坡率采用 1 : 5, 边坡每 4 m 高分一级, 分级处设 4 m 宽平台。清方边坡以设计坡率开挖至古滑面以后, 将古滑面以上全部堆积体清除。在揭露出的古滑面上开挖宽度不小于 4 m 平台, 平台做成向内倾斜 4% 斜坡, 然后回填厚度不小于 0.6 m 耕植土。工点两端纵向与非滑坡路段边坡渐变相接。

3 边坡监测

该区域滑坡体关系到国道 G342 一级公路的施工及运行, 必须建立完善的监测及预警机制, 以保证施工期施工人员及设备安全, 运行期运行安全。

滑坡防治监测包括施工安全监测、防治效果监测和运营期长期监测, 以防治效果监测和运营期长期监测为主, 所布网点可供长期监测利用。施工安全

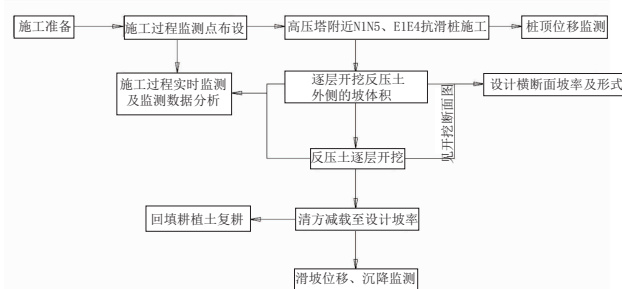


图 7 施工工序流程图

监测结果是判断滑坡范围、滑动面位置及稳定状态, 指导施工和优化调整设计的重要依据。防治效果监测要结合施工安全监测进行, 监测结论用于检验滑坡防治工程效果, 评判防治工程实施后滑坡体稳定状态和工程安全性。

建立地表与深部相结合的综合立体监测网, 并与长期监测相结合; 滑坡监测方法的确定、仪器的选择, 既要考虑到能反映滑坡体的变形动态, 又要考虑到仪器维护方便和节省投资。滑坡监测系统包括仪器安装, 数据采集、传输和存储, 数据处理, 预测预报等。所采用的监测仪器必须具有仪器生产准许证, 产品质量合格。使用前, 须经过国家有关计量部门标定, 并具有相应的质检报告。

地表变形监测是滑坡监测中常用的方法, 来掌握滑坡体地表水平位移及位移方向、垂直位移及位移变化速率。在该路段共布置 22 个监测点, 其中有 9 个监测基点与 13 个观测点。采用大地测量法、GPS 法等, 使用仪器宜选用全站仪、GPS 接收机、水准仪等。点位误差的观测精度满足最弱相邻边长相对中误差 1/100 000, 高程误差的观测精度控制在 ± 2 mm 以内, 监测结果如表 4 所列。

4 结 语

本文结合实际工程对滑坡处治及后续监测设计进行了详细说明。

(1) 介绍了在国道 G342 主线 K12+400 ~ K12+700 段使用清方减载来进行滑坡防治后的边坡在正常、暴雨、地震三种工况下的抗滑稳定性的监测;

(2) 研究了使用抗滑桩对有裂缝扩展的高压电塔附近进行边坡加固的方式, 同时对抗滑桩的配筋设计及抗滑桩稳定性测量验算;

(3) 用以上两种处治方式对下部古滑体的稳定性做出了验证;

(4) 同时建议了一套完整的边坡监测体系, 满足了该路段未来施工期施工人员与设备安全, 以及运

表4 K12+400-K12+700段山体位移监测统计表(RTK测量)

单位:mm

序号	编号	日期															
		9/20	9/24	10/1	10/8	10/15	10/22	10/29	11/5	11/12	11/19	11/26	12/3	12/10	12/17	12/21	12/31
1	1# 基点	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	2# 基点	0.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
3	3# 基点	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	4# 基点	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5	5# 基点	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	6# 基点	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
7	7# 基点	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
8	8# 基点	0.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
9	9# 基点	0.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
10	1# 观测点	0.00	9.80	15.00	14.80	12.10	12.10	14.20	14.10	12.10	21.00	19.70	11.90	19.20	18.10	20.20	22.10
11	2# 观测点	0.00	23.80	30.60	18.80	23.00	23.00	27.20	29.20	28.30	17.80	39.10	31.10	17.50	36.90	35.60	43.90
12	3# 观测点	0.00	10.80	11.40	12.30	12.00	12.00	14.40	13.60	12.50	19.10	19.10	17.70	20.50	19.10	19.80	21.90
13	4# 观测点	0.00	12.70	24.80	24.80	21.80	24.00	24.80	26.20	21.90	29.00	28.30	26.40	27.80	27.80	27.20	30.20
14	5# 观测点	0.00	9.80	7.30	18.90	14.30	14.30	3.20	3.60	2.20	7.80	9.20	2.20	28.30	41.10	41.80	43.10
15	6# 观测点	0.00	8.80	6.30	7.80	9.20	9.20	10.60	11.40	8.10	15.80	11.40	14.30	13.40	14.30	14.30	17.50
16	7# 观测点	0.00	7.20	7.80	12.70	11.40	11.40	15.80	15.70	16.20	19.70	18.80	19.70	21.90	21.90	21.00	24.20
17	8# 观测点	0.00	9.80	8.10	7.20	11.40	11.40	14.20	16.40	17.20	22.00	20.50	20.00	21.40	20.80	20.80	23.30
18	9# 观测点	0.00	10.60	10.60	14.20	15.80	15.80	16.60	14.40	12.20	19.70	20.60	14.90	19.40	17.80	19.80	21.90
19	10# 观测点	0.00	9.40	6.30	9.80	15.60	15.60	7.10	10.30	14.20	22.00	17.20	24.20	50.90	53.80	53.80	33.60
20	11# 观测点	0.00	13.00	10.60	13.50	17.50	15.10	15.10	17.70	14.30	21.60	22.70	17.80	21.40	20.60	19.80	25.60
21	12# 观测点	0.00	9.50	7.60	6.30	11.20	11.20	12.20	18.20	37.80	42.20	44.20	42.20	13.20	41.90	41.90	43.60
22	13# 观测点	0.00	4.50	5.80	5.40	10.30	10.30	2.20	1.40	1.00	6.70	7.10	1.40	14.20	0.00	37.20	46.10

行阶段的运行安全。

参考文献:

[1] 黄润秋.20 世纪以来中国的大型滑坡及其发生机制[J].岩石力学与工程学报,2007(3):433-454.
[2] JTG/T D65—2015,公路钢管混凝土拱桥设计规范[S].
[3] 孙永明,荣学亮,何晓东.混凝土连续梁桥悬浇施工控制方法研究.
[4] 杨家岭,朱维申,罗晓东,等.藕塘古滑体在三峡水库形成后的稳定性分析[J].岩土力学,1998(2):1-7.

[5] 戴自航.抗滑桩滑坡推力和桩前滑体抗力分布规律的研究[J].岩石力学与工程学报,2002(4):517-521.
[6] 周德培,肖世国,夏雄.边坡工程中抗滑桩合理桩间距的探讨[J].岩土工程学报,2004(1):132-135.
[7] 董文文,朱鸿鹄,孙义杰,等.边坡变形监测技术现状及新进展[J].工程地质学报,2016,24(6):1088-1095.
[8] 李天斌.岩质工程高边坡稳定性及其控制的系统研究[D].成都理工大学,2002.

(上接第 203 页)



图3 排桩挡墙建成效果

防护中排桩挡墙的应用。笔者希望这些工程设计中的典型工程实例能对道路工程师带来一些启发和思考,在市政道路设计过程中能够紧密结合工程实际边界条件,提出多种方案进行详尽充分的比选,综合分析各方案的优缺点,最终选用切实可行的工程方案。合格的道路工程师应该具备选择最优方案的能力,确保工程安全、适用、经济。

参考文献:

[1] CECS 197:2006,孔内深层强夯法技术规程[S].
[2] JGJ 167—2009,湿陷性黄土地区建筑基坑工程安全技术规程[S].
[3] CJJ/T 260—2016,道路深层病害非开挖处治技术规程[S].
[4] CJJ/T 177—2012,气泡混合轻质土填筑工程技术规程[S].