

文章编号: 1674—8247(2021)03—0097—04
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2021.03.017

大田一号隧道洞门仰坡蠕滑体整治方案

向俐蓉 刘 刚 黄 棋

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘 要:贵广高速铁路大田一号隧道施工过程中,隧道进口仰坡山体发生了蠕动滑移,形成蠕滑体。在仰坡前缘继续临空及雨季地表水下渗进一步软化土体的情况下,该蠕滑体极有可能形成较大范围的工程滑坡,对工程带来较大的安全隐患。依据仰坡蠕滑体的工程地质条件、形成原因及稳定性评价,本文针对该蠕滑体采用多种措施相结合的综合整治方案进行治理:在垂直于蠕滑体主滑面的滑动方向上设置两排抗滑桩(共设置 14 根),确保蠕滑体整体稳定性满足要求;在坡面设置锚杆框架梁护坡,确保蠕滑体局部稳定性满足要求;采用粘土夯填裂缝,在蠕滑体四周设置环形天沟,降低水对蠕滑体的不利影响。整治方案效果良好,可为类似隧道仰坡不良地质的加固处理提供借鉴。

关键词:洞门仰坡;蠕滑体;抗滑桩;锚杆框架梁;整治方案

中图分类号:P642.22 **文献标志码:**A

On Treatment for Creep Mass on the Upward Slope at the Portal of Datian No. 1 Tunnel

XIANG Lirong LIU Gang HUANG Qi

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: During the construction of Datian No. 1 Tunnel on Guiyang-Guangzhou High-speed Railway, the massif on the upward slope at the portal of the tunnel crept, and creep mass has been formed. Under the condition that the front edge of the upward slope continues to be exposed to the air and the infiltration of surface water in the rainy season further softens the soil, it is very likely that the creep mass will form a large-scale landslide caused by construction activities, which will bring great potential safety hazards to the project. According to the geological conditions, formation reasons, and stability evaluation of the creep mass on the upward slope, this paper adopts a comprehensive treatment scheme combining various measures to treat the creep mass: two rows of anti-slide piles (14 in total) are set in the sliding direction perpendicular to the main sliding surface of the creep mass to ensure that the overall stability of the creep mass meets the requirements; slope protection with anchor frame beam is set up on the slope to ensure that the local stability of creep mass meets the requirements; clay tamping is used to fill cracks, and annular gutter is set around the creep mass to reduce the adverse effects of water on the creep mass. The treatment scheme is proved a good effect, which provides a reference for the reinforcement of similar tunnel slopes with unfavorable geological conditions.

Key words: upward slope at portal; creep mass; anti-slide pile; anchor frame beam; treatment scheme

贵广高速铁路大田一号隧道为双线隧道。在施工过程中,该隧道进口洞门仰坡山体发生了蠕动滑移。

收稿日期:2020-12-03

作者简介:向俐蓉(1973-),女,高级工程师。

引文格式:向俐蓉,刘刚,黄棋. 大田一号隧道洞门仰坡蠕滑体整治方案[J]. 高速铁路技术,2021,12(3): 97-100.

XIANG Lirong, LIU Gang, HUANG Qi. On Treatment for Creep Mass on the Upward Slope at the Portal of Datian No. 1 Tunnel[J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(3): 97-100.

现场踏勘初步分析判定,该斜坡目前处于蠕滑变形阶段,存在较大的安全隐患,若不及时治理,在前缘继续临空及雨季地表水下渗进一步软化岩土体的情况下,极可能形成较大范围的工程滑坡,其治理难度及费用将大大增加。因此,必须对该仰坡蠕滑体的稳定性作出明确判断,并采用经济合理的技术方案进行加固整治。

1 工程概况

1.1 工程地质

大田一号隧道进口段为剥蚀丘陵地貌区,绝对高程160~300 m,自然坡度 30° ~ 50° ,坡度较陡。地表上覆0~2 m厚坡残积的粉质黏土,植被发育,局部见基岩出露,下伏基岩为寒武系清溪组中段砂岩夹页岩。砂岩为灰绿色、青灰色,砂状结构或泥质粉砂质结构,薄-中厚层状构造,含砾石,节理发育,岩质坚硬。页岩夹层为薄层状,岩质软,易风化。

地下水以基岩裂隙水为主,分布于风化裂隙和构造裂隙中,接受大气降水的入渗补给,沿地形自然斜坡向低处渗流,以小泉和分散渗流于坡脚排泄于溪沟中。

1.2 蠕滑体现状及成因

现场踏勘发现仰坡上方自然边坡发育5条大致相互平行并沿坡面呈弧形状的裂缝,裂缝在地表呈时断时续的弧形状延伸,最长裂缝连续达20 m。裂缝呈“V”字型,上宽下窄,缝宽5~50 cm,深度30~100 cm,局部地段见小的错台现象。在新刷方的仰坡坡面右侧18~35 m范围内发育2条呈弧形的裂缝。裂缝长约15~20 m,缝宽5~30 cm,深度30~60 cm。

根据滑体范围内两个试坑的开挖情况及洞门附近蠕滑体挤出点的情况分析,滑体厚2~6 m,滑面为砂岩夹页岩的强风化层与上覆土层分界面。蠕滑体上覆土层成分为全风化的砂岩夹页岩及坡残积粘性土,夹10%~30%的砂页岩质碎石、角砾,直径2~40 mm。

施工揭示的地质情况与原勘察地质资料基本吻合,分析该自然边坡产生蠕滑的原因如下:

(1)施工开挖后未能及时完成边仰坡防护工程,施工即开挖进洞,隧道进洞较晚,仰坡既高又陡,未加固的仰坡土体前缘出现临空面。

(2)施工期间暴雨强度大,持续时间较长,大量降雨补给土体内地下水,增加了土体重量,降低了抗剪强度。

(3)前缘土体局部失稳后,仅清除坍塌体,未对仰坡及时加固,致仰坡临空面进一步加大。

以上原因导致仰坡变形进一步加剧,诱发仰坡土体大范围蠕动滑移。

1.3 稳定性评价

综合地表裂缝情况分析,隧道仰坡后山体已发生了蠕动滑移。该蠕滑体周界清楚,平面地貌整体呈撮箕形,且蠕滑过程分多次发展形成。首先是洞门处仰坡开挖导致土体临空失稳,清除坍塌体后继续施工,导致其后的土体继续临空蠕动滑移,地表产生裂缝,降雨减少后,蠕滑体暂时处于极限平衡状态。但若不及时治理,在前缘继续临空及雨季地表水下渗进一步软化土体的情况下,极可能在强风化层与弱风化层分界面形成贯通性滑动面,从而导致较大范围的工程滑坡体产生。

2 方案选定

我国在滑坡治理方面积累了大量的工程经验。归纳起来措施大致分为三类^[1-3]。

(1) 消除或减轻水的危害

这是整治滑坡不可或缺的辅助措施,也是首先采取的长期运用的措施。其目的是拦截、引排地表水和地下水,防止水进入滑坡体内,增加滑坡土体重量,降低滑面强度参数。

(2) 改变滑坡体外形,设置抗滑结构物

这是近年来采用最多的治理方式。改变滑坡体外形的措施包括削坡减重、堆载反压和清除滑坡体;设置的抗滑结构物包括抗滑挡墙、抗滑桩以及锚杆(索)等。

(3) 改善滑动带土石性质

一般采用焙烧法、爆破灌浆法、复合群桩法等物理(或化学)方法对滑坡潜在滑动面进行整治,改变滑面力学性质。

大田一号隧道洞门仰坡坡度较陡(自然坡度 30° ~ 50°),且处于蠕滑极限平衡状态,采用改善滑动带土石性质的方法,施工机具难以架设,且施工对蠕滑体形成加载,措施发挥作用前对滑面存在不利影响,同时该工点也不具备堆载反压和削坡减重的条件。因此,该工点宜采用减轻水的危害与设置抗滑结构物相结合的工程措施进行整治。

仰坡的蠕滑过程分多次发展形成,其上方自然边坡发育5条大致相互平行并沿坡面呈弧形状的裂缝,说明该工点存在多个潜在滑动面。为确保蠕滑体的整体稳定性和局部稳定性都满足设计要求,抗滑结构物需采取多种措施相结合的综合治理手段:垂直于主滑

面滑动方向设置一排或多排抗滑桩,确保蠕滑体的整体稳定性满足要求;坡面设置锚杆框架梁护坡工程,确保蠕滑体局部稳定性满足要求。

3 方案设计

3.1 计算参数

滑坡分析需对计算参数进行合理的选择和确定,目前通常采用原位试验法与估算法相结合的计算方法来确定计算参数^[4-5]。这主要是因为原位试验法获取的参数不确定一定反映了滑面的最不利工作状态,例如原位试验时的滑面土体未处于饱水状态,而未来滑面有可能处于饱水状态。因此,应先依据原位试验的获取参数计算滑坡稳定性,再判定计算所得稳定系数与滑坡的实际稳定状态是否相符,若两者不相符,则需采用估算指标对原位试验参数进行修正。

综合原位试验法及估算法,本工点蠕滑体及滑面计算参数的为:天然容重 $r=20\text{ kN/m}^3$,饱和容重 $r_d=21\text{ kN/m}^3$, $C=15\text{ kPa}$, $\phi=25^\circ$ 。岩层地基系数 $K=200\ 000\text{ kN/m}^3$,横向容许承载力 $[\sigma]=1\ 400\text{ kPa}$ 。沿

土石分界面的整体稳定性及推力计算均按传递系数法考虑^[6]。

采用以上参数对各主轴断面进行计算,各主轴断面的稳定安全系数如表1所示。从表1可以看出,计算结果与目前仰坡的稳定状态(极限平衡状态)相符,说明计算参数取值合理。

表1 各断面整体稳定系数表

断面名称	断面1	断面2	断面3	断面4	断面5	断面6
位置	左7.4 m	左5 m	中线	右5 m	右7.6 m	右11.6 m
安全系数	1.03	0.96	1.00	0.94	1.03	1.10

3.2 抗滑桩设计

抗滑桩是确保本蠕滑体整体稳定性的重要结构物,其推力可根据蠕滑体稳定安全系数、滑动面、边界条件及滑动面强度指标计算确定。根据TB 10025-2019《铁路路基挡结构设计规范》,滑坡整治后的稳定安全系数一般为1.1~1.25,对重要工程、危害大的滑坡宜取大值。因此本工点设计稳定安全系数取为1.25。采用瑞典条分法计算蠕滑体的剩余下滑力,如表2所示。

表2 蠕滑体剩余下滑力、桩推力及桩设计要素表

断面	断面1	断面2	断面3	断面4	断面5	断面6
剩余下滑力/(kN/m)	529	1 197	910	1 248	834	603
第1排桩推力/(kN/m)	200	614	362	553	231	293
第1排桩截面/(m×m)	2.5×1.5	2.75×1.75	2.75×1.75	2.5×1.5	2.25×1.5	2×1.5
第1排桩桩长/m	17	21	21	15.5	14	13
第2排桩推力/(kN/m)	329	583	548	695	603	310
第2排桩截面/(m×m)	2×3	2×3	2×3	2×3	2×3	2×3
第2排桩桩长/m	20	25	25	26.5	21	21

注:断面3位于线路中线,其第2排桩与隧道结构冲突,采用隧道接长明洞来抵抗蠕滑体推力

从表2可以看出,蠕滑体最大剩余下滑力为1 248 kN/m。考虑到该工点滑坡推力较大,且蠕变体为浅层滑体,存在滑体从中间剪出的可能性,故设置两排抗滑桩进行整治。第1排抗滑桩位于蠕滑体中部,第2排抗滑桩位于主滑面剪出口。

根据抗滑桩设置位置,采用瑞典条分法计算确定抗滑桩所承担的推力^[7-8],第1排抗滑桩推力取其所支挡上部蠕滑体的剩余下滑力,第2排抗滑桩推力取断面剩余下滑力减去第1排抗滑桩推力后的剩余力。根据推力设计抗滑桩截面、桩长等设计要素(结果如表2所示)。

3.3 护坡及防排水设计

本工点护坡采用锚杆框架梁防护,目的是确保蠕滑体的局部稳定性满足要求。锚杆框架梁按构造要求进行设计。对蠕滑体剩余下滑力较大的坡面(主要位

于蠕滑体的中部区域),框架梁框架间距采用3.0 m,锚杆采用大锚杆。对蠕滑体剩余下滑力较小的坡面(主要位于蠕滑体的四周区域),框架梁框架间距采用4.0 m,锚杆采用大锚杆。

防排水是滑坡治理过程中必不可少的措施,采用构造设计。本工点采用的防排水措施如下:对蠕滑体开裂的裂缝采用粘土夯填密封,避免雨水下渗;蠕滑体四周设置环形天沟,避免雨水汇入蠕滑体区域;开挖边坡平台设置截水沟,将蠕滑体范围内的降水快速排出。

3.4 主要工程措施

大田一号隧道进口洞门蠕滑体整治方案平面布置如图1所示,代表性主轴断面如图2、图3所示。

(1)抗滑桩

在大田一号隧道进口洞门蠕滑体的中部,垂直于线路设置第1排抗滑桩,共7根,桩截面为1.5 m×

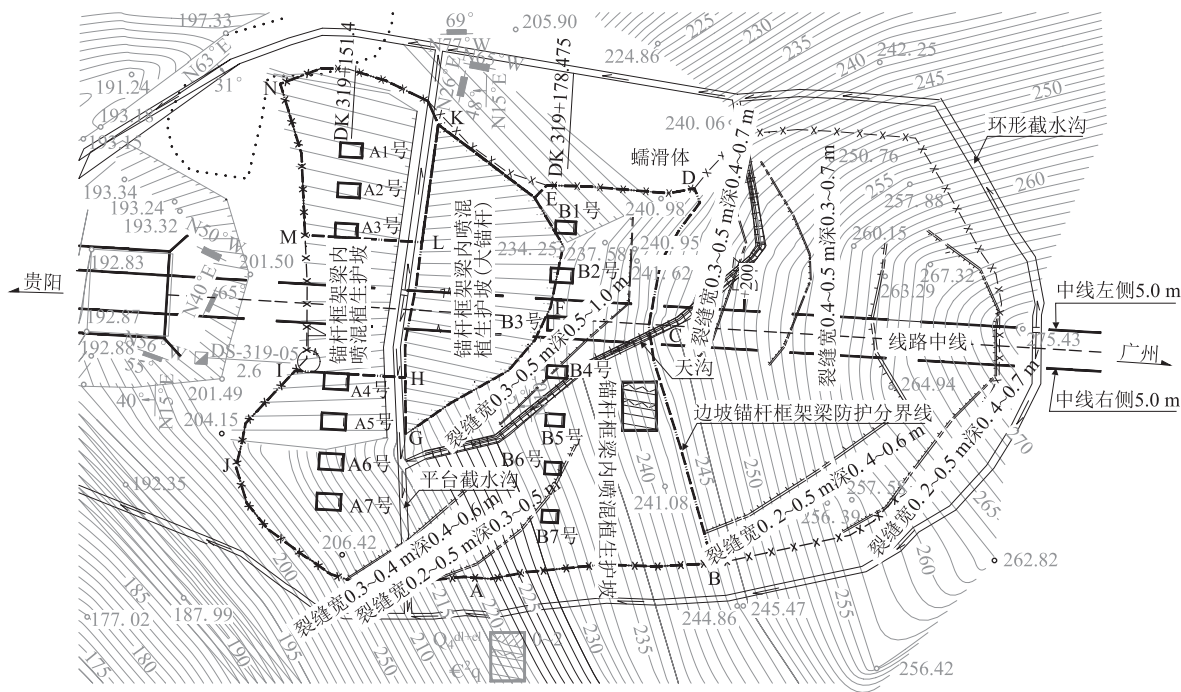


图 1 大田一号隧道进口仰坡蠕滑体整治方案平面图

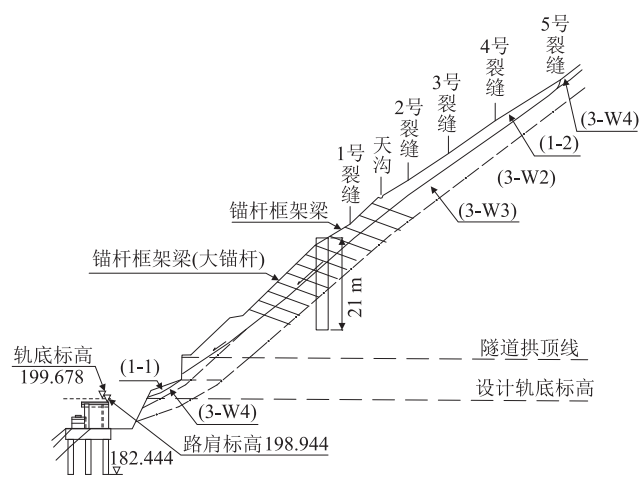


图 2 蠕滑体主轴断面 3 整治方案图

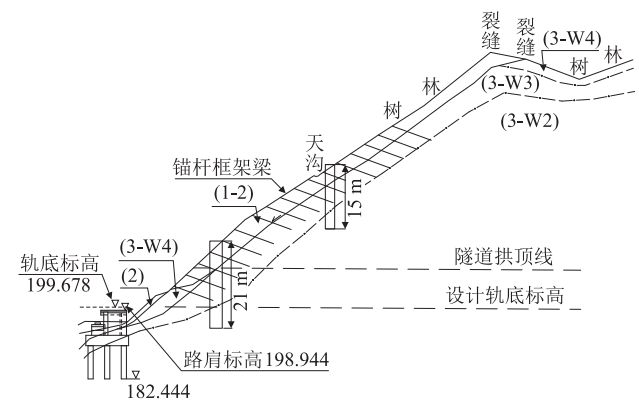


图 3 蠕滑体主轴断面 6 整治方案图

2 m ~ 1.75 m × 2.75 m, 桩间距为 6 m, 桩长 13.0 ~

21 m。

在大田一号隧道进口洞门蠕滑体主滑面剪出口处,垂直于线路设置第 2 排抗滑桩,共 7 根,桩截面为 2.0 m × 3.0 m,桩间为 5 m,桩长 21.0 ~ 26.5 m。

(2) 锚杆框架梁

隧道仰坡开挖边坡台阶以上部分,即图 1 中 E-F-G-H-L-K-E 区域,设置锚杆框架梁内喷混植生护坡,框架梁框架间距采用 3.0 m,矩形布置,锚杆框架梁施工时避开第二排抗滑桩桩位位置。框架梁采用 C35 混凝土浇注,每孔锚杆长 10 m,锚杆采用 3 根 $\phi 32$ HRB400 钢筋焊接在一起形成大锚杆。

隧道仰坡开挖边坡台阶以上其余部分,即图 1 中 A-B-C-D-E-F-G-H-I-J-A 及 K-L-M-N-K 区域,设置锚杆框架梁内喷混植生护坡,框架梁框架间距采用 4.0 m,矩形布置,锚杆框架梁施工时,避开第二排抗滑桩桩位位置,严禁锚杆施工破坏桩体,框架梁采用 C35 混凝土浇注,每孔锚杆长 10 m,锚杆采用 $\phi 32$ HRB400 钢筋。

(3) 截排水工程

采用人工夯填粘土的方法对滑坡体上裂缝进行逐处夯实。在蠕滑体周界外设置环形截水沟,环形截水沟在线路小里程端引入桥下自然冲沟内;隧道进口开挖边坡外侧设置天沟,天沟出水口顺接入环形截水沟,天沟排水纵坡不得小于 2‰;隧道进口开挖边坡台阶处设置平台截水沟,平台截水沟出水口顺接入环形截水沟。

(下转第 110 页)

参考文献:

[1] 廖岳泰. 运营公路隧道衬砌病害整治轻轨套衬与挂网喷砼技术研究[J]. 中国建材科技, 2020, 29(5): 106-108.
LIAO Yuetai. Research on Technology of Light Steel Track Arch Surround and Hang Net Shotcrete for Repairing Lining Diseases of Highway Tunnel [J]. China Building Materials Science & Technology, 2020, 29(5): 106-108.

[2] 王蓉蓉, 渐明柱, 宋超业. 大连华昌变电站电缆隧道的套衬加固设计与施工[J]. 隧道建设, 2016, 36(4): 474-478.
WANG Rongrong, JIAN Mingzhu, SONG Chaoye. Design and Construction of Lining Reinforcement of a Cable Tunnel of Huachang Substation in Dalian[J]. Tunnel Construction, 2016, 36(4): 474-478.

[3] 赵学军. 钢拱架套衬补强技术在兰海高速新七道梁隧道衬砌加固中的应用研究[J]. 甘肃科技纵横, 2020, 49(1): 52-54.
ZHAO Xuejun. Study on the Application of Steel Arch Lining Reinforcement Technology in the Lining Reinforcement of Xinqidaoliang Tunnel of Lanzhou-Haikou Expressway[J]. Scientific & Technical Information of Gansu, 2020, 49(1): 52-54.

[4] 李俊儒, 王李斌, 王雪来, 等. 季冻区既有隧道保温钢波纹板套衬保温效果分析[J]. 高速铁路技术, 2019, 10(6): 45-48.
LI Junru, WANG Libin, WANG Xuelai, et al. Analysis of Thermal Insulation Effect of Corrugated Steel Plate Liner in Existing Tunnels in Seasonal Frozen Area[J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(6): 45-48.

[5] 张麒龙. 引大入秦工程盘道岭隧洞钢筋混凝土二次套衬引排水的应用[J]. 农业科技与信息, 2019(21): 99-101.
ZHANG Qilong. Application of Reinforced Concrete Secondary Lining Drainage in Pandaoling Tunnel of Water Diversion Project from Datong River to Qinwangchuan [J]. Agricultural Science-Technology and Information, 2019(21): 99-101.

[6] 陈望祺, 刘保东, 刘瑞, 等. 波纹钢板套衬解决隧道衬砌掉落病害的效果分析[J]. 隧道建设(中英文), 2018, 38(S2): 384-388.
CHEN Wangqi, LIU Baodong, LIU Rui, et al. Analysis of Working Effect of Corrugated Steel Lining on Tunnel Lining Fall[J]. Tunnel Construction, 2018, 38(S2): 384-388.

[7] TB 10621-2014 高速铁路设计规范[S].
TB 10621-2014 Code for Design of High Speed Railway[S].

(上接第100页)

(4)隧道进口接长明洞,进洞30 m拱部设 $\phi 108$ 大管棚注浆加固,大管棚环向间距0.4 m。

4 结束语

贵广高速铁路大田一号隧道进口仰坡蠕滑体采用截排水、抗滑结构等多种措施相结合的综合治理方案整治后,效果良好。贵广高速铁路于2014年12月通车,运营至今,该蠕滑体未再出现蠕滑现象,仰坡稳定,说明该综合整治方案措施合理,安全有效。

参考文献:

[1] 魏永幸, 李天斌. 浅析巨型滑坡防治技术体系框架[J]. 高速铁路技术, 2019, 10(2): 1-5.
WEI Yongxing, LI Tianbin. Analysis of Prevention and Control Technology System for Giant Landslide [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(2): 1-5.

[2] 刘自强, 马洪生, 杜毅, 等. 综合勘察方法在米亚罗3号隧道出口滑坡中的应用及治理措施研究[J]. 路基工程, 2020(5): 143-147.
LIU Ziqiang, MA Hongsheng, DU Yi, et al. Application of Integrated Survey Method in Landslide at the Exit of Miyalu Tunnel 3 and the Control Measures[J]. Subgrade Engineering, 2020(5): 143-147.

[3] 吴睿. 黔张常铁路某山体滑坡原因分析及治理[D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2018.
WU Rui. Analysis and Treatment of Qian-Zhang-Chang Railway

Section Landslide [D]. Shijiazhuang: Shijiazhuang Tiedao University, 2018.

[4] 马金莲, 朱彦鹏, 杨晓宇, 等. 兰永一级公路顺层滑坡抗剪强度参数确定及应用[J]. 岩土工程学报, 2018, 40(S1): 118-123.
MA Jinlian, ZHU Yanpeng, YANG Xiaoyu, et al. Determination and Application of Shear Strength Parameters of Bedding Landslide of Lanzou-Yongjing Highway [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2018, 40(S1): 118-123.

[5] 周孝鑫. 某临近既有铁路软土路基滑坡原因分析及滑带力学参数确定[J]. 工程建设与设计, 2019(23): 72-74.
ZHOU Xiaoxin. Cause Analysis of Landslide in Soft Soil Subgrade of a near Existing Railway and Determination of Mechanical Parameters of Sliding Zone[J]. Construction & Design for Engineering, 2019(23): 72-74.

[6] TB 10025-2019 铁路路基支挡结构设计规范[S].
TB 10025-2019 Code for Design on Retaining Structures of Railway Subgrade [S].

[7] 李会章. 多排抗滑桩的推力分配和计算方法研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2014.
LI Huizhang. Research of the Thrust-Sharing and Calculation Method in Multi-row Anti-slide Pile [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2014.

[8] 申永江, 孙红月, 尚岳全, 等. 滑坡推力在悬臂式双排抗滑桩上的分配[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(S1): 2668-2673.
SHEN Yongjiang, SUN Hongyue, SHANG Yuequan, et al. Distribution of Landslide Thrust on Cantilever Double-row Anti-sliding Piles [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, 31(S1): 2668-2673.