

截挡排水结合的路堑高边坡治理策略模拟对比分析研究

熊鹏飞

(广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司, 广东 广州 510000)

摘要: 采矿露天边坡的变形预测及风险控制对于施工指导有积极意义,以增天高速某采石场弃渣堆积体边坡为研究工程案例,针对路基段渗水情况,分析矿坑与地下水的水力联系,采用大型原位测试获取岩土体参数,计算分析其滑动面。提出了边坡清方减载下部边坡采用抗滑桩+锚索加固的加固方案和原状抗滑桩锚索加固方案。边坡止水采用坡面设置截水沟,路基段采用旋挖咬合工艺施工的素混凝土桩隔水墙+顶管法施工的排水隧洞,结合 PLAXIS 数值模拟评价分步施工计算两种方案对边坡体变形安全的控制效果,结合监测剖面数据对比,得出清方减载方案的安全和施工经济优越性,工程的设计研究成果取得良好效果,同时能够更精确掌握施工安全情况。

关键词: 堆积体;边坡加固;截水排水;数值模拟

中图分类号: U416.1⁴;TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)11-0027-07

Simulation, Comparative Analysis and Research on Treatment Strategy of Cutting High Slope Combined with Interception and Drainage

XIONG Pengfei

(Guangdong Communication Planning and Design Institute Group Co., Ltd., Guangzhou 510000, China)

Abstract: Deformation prediction and risk control of open-pit mining slope have the positive significance for construction guidance. Taking the slag dump slope of a quarry in Zengtian Expressway as a research project case, aiming at the water seepage of subgrade section, the hydraulic connection between mine pit and groundwater is analyzed, and the parameters of rock and soil mass are obtained by large-scale in-situ testing, and the sliding surface is calculated and analyzed. A reinforcement scheme of using anti-slide piles and anchor cables for the lower slope after earthwork clearanc and load reduction of slope, as well as an original anti-slide pile and anchor cable reinforcement scheme, are proposed. The slope waterproofing is achieved by setting up a water interception ditch on the slope surface, and a plain concrete pile waterproofing wall constructed by rotary drilling and interlocking technology and a drainage tunnel constructed by pipe jacking method are used in the subgrade section. Combined with the PLAXIS numerical simulation, the control effect of the two schemes of step-by-step construction calculation on the deformation safety of the slope body is evaluated. Combined with the comparison of monitoring profile data, the safety and construction economic superiority of the earthwork clearance and load reduction scheme are obtained. The design and research results of the project have achieved the good effects, and at the same time, the construction safety situation can be more accurately grasped.

Keywords: accumulation body; slope reinforcement; interception and drainage; numerical simulation

0 引言

随着《广东省高速公路网规划》(2020—2035年)的颁布实施,建设以“十二纵八横两环十六射”为主骨架,七十条加密线和联络线为补充的目标,形成以

珠江三角洲为核心,支撑粤港澳大湾区深度合作发展、引领东西两翼及沿海经济带发展、快捷通达周边省区的高速公路网络。到规划期末全省高速公路总里程达到约 15 000 km。随着高速公路的网的建设完善,广东地区丘陵山区地形分布广泛,施工中解决路堑高边坡的问题尤为突出复杂,临高速公路复杂边坡、矿山堆积体在解决支护稳定问题时往往兼顾解决排水截水的问题。

收稿日期: 2025-04-21

作者简介: 熊鹏飞(1989—),男,硕士,工程师,从事道路工程设计及研究工作。

广东地区路堑高边坡往往具有复杂的地质结构,导致其局部和整体蕴含多种潜在失稳的空间可能性,边坡内地下水情况复杂,并且其施工周期长,易受开工、降雨等因素的影响。当前研究路堑边坡的稳定分析、支护手段、截水排水等方面有一定的基础。韩仲^[1]等通过 Flac3D 建立路堑边坡加筋土模型,探究加筋土内的水力模型。齐永正^[2]等通过研究从土体在水中崩解性状的角度探究水位上升期边坡滑坡机理,分析地下水对边坡的崩解受力原理。孙书伟^[3]等通过融合 GNSS, InSAR, LiDAR 和裂缝计等浅表层监测,提升识别高边坡预警效率。

综上,现有对路高边坡的研究集中在单因素影响下的路堑边坡的失稳机制与稳定性评价上,考虑矿坑积水和地下水水力联系的截水挡水边坡治理机制较少。以增天高速某采石场弃渣堆积边坡为研究工程案例,在分析矿坑和地下水水力联系基础上,进行现场原位测试获取岩土体参数,计算分析滑动面,提出合理的加固方案^[1],并结合 PLAXIS 数值模拟评价桥基分步施工对加固治理的影响,从而达到有效指导施工、监控施工的目的。

1 边坡概况

1.1 工程概况与边坡周边环境

广州增城至佛山高速公路(增城至天润段)工程是《规划》(2020—2035 年)的重要加密联络线,是广州北部连接佛山、河源等地的重要加密通道^[4]。增天高速 SGO4 段 K20+000~K20+400 段左侧自然山体为建安裕丰采石场弃渣堆积边坡,现状边坡对高速安全营运存在较大隐患,需对其进行处治。K20+000~K20+400 段左侧为裕丰采石场(以下简称采石场),距离增天高速约 250 m,开采时间约为 2006—2015 年。开采方式为露天开采,开采种为建筑用花岗岩。采用过程中部分无用渣土,弃置于下部自然坡面(即增天高速左侧自然山体)。边坡体与道路位置关系见图 1。

结合地形图、地质勘探、物探等手段综合分析,弃渣前缘位于线路位置,后缘位于矿坑位置。弃渣方量约 250 万 m^3 ,弃渣堆积边坡于采石场矿坑与增天高速之间的自然坡面,呈上宽下窄。顶宽约 500 m,底宽约 220 m,顶部高程 190 m,底部高程 90 m,高差约 100 m,最大堆载厚度约 65 m。断面布置见图 2。

1.2 工程地质条件

根据野外现场调查以及补充勘察成果,揭示该

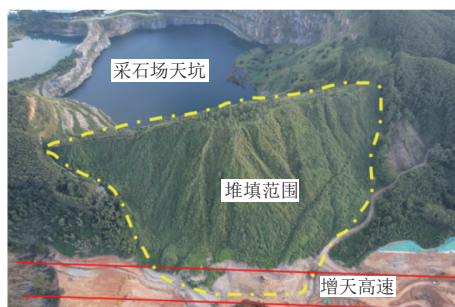


图1 边坡体与道路位置关系图

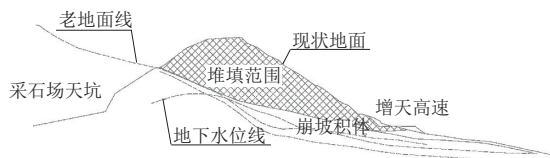


图2 堆积体典型断面图

堆积体厚度约为 25 ~ 65 m 厚;堆积体下部依次为坡积体、厚约 12 m,强风化混合花岗岩、厚约 10m,中风化混合花岗岩。

具体可将岩土体工程地质类型划分为松散土类和侵入岩类。

1.2.1 松散土类

分布于边坡场区沿线,主要为第四系人工填土层(Q_4^{ml})和第四系残坡积层($Q_{4\text{el+dl}}$)

(1)第四系人工填土层(Q_4^{ml})

杂填土:评估边坡坡体主要为采石场废渣堆填而成,堆填物主要由黄褐色黏性土,青灰、灰白色碎石、块石等,松散~稍密为主。层顶标高 91.15 ~ 188.92 m,层顶埋深 0.00 m,层厚 7.50 ~ 68.10 m,平均厚度 27.88 m。

(2)第四系残坡积层($Q_{4\text{el+dl}}$)

a. 砂质黏性土:主要分布在山坡上。黄褐色,湿~稍湿,可塑,含砂约 10% ~ 15%,浸水易软化崩解。层顶标高 92.40 ~ 124.12 m,层顶埋深 11.40~64.80 m,层厚 1.20~3.30 m,平均厚度 2.38 m。

b. 砂质黏性土:黄褐色,硬塑,主要为黏粉粒,含较多砂粒,浸水易软化崩解。层顶标高 89.10~91.46 m,层顶埋深 19.30~55.40 m,层厚 2.30~4.00 m,平均厚度 3.15 m。

1.2.2 侵入岩类

场区出露的岩石主要为晚志留世二长花岗岩。在钻孔控制深度范围内按其风化程度可划分为全风化、强风化和中风化带,其特征如下:

(1)全风化带:黄褐色,原岩结构已完全破坏,矿物成分除石英外均已风化呈次生矿物,岩性呈硬塑~坚硬砂土状,浸水易软化崩解。层顶标高 86.80 ~

102.66 m,层顶埋深 21.60 ~ 29.60 m。

(2)强风化带:黄褐色,原岩结构已基本完全破坏,矿物成分已失去原有光泽^[2],部分已风化为次生粘土矿物,岩芯呈坚硬砂土状,夹少量岩块,浸水易软化崩解。层顶标高 74.90 ~ 104.38 m,层顶埋深 7.50~68.10 m。

(3)中风化带:青灰色,岩质坚硬,裂隙发育,岩体完整性好,岩芯以柱状为主局部为破碎状,RQD-40 ~ 60%。层顶标高 76.76 ~ 99.58 m,层顶埋深 30.00 ~ 76.40 m。

开展大型原位剪切试验及路堤孔补勘。开展了原位岩土剪切试验及路堤补勘工作^[3],以取得合理化设计参数以及抗滑桩、止水帷幕等方案提供设计依据^[5]。试验基本情况原位剪切试验共计 2 组(每组 3 个试件)共 7 个试样(据现场实际实施情况,补充 1 个试样),其中 1 组为自然状态原位剪切试验,另外 1 组为浸水状态原位剪切试验。试验结果根据原位剪切试验、颗粒分析试验、含水率测试结果见表 1。

表 1 岩土参数测试表

点位	含水率	砂土分类	黏聚力 c/kPa	摩擦角 $\varphi/(\text{°})$
ZJ-1	13.30%	良好级配砂	38.3	11.5
ZJ-2	15.79%	良好级配砾	—	—
ZJ-3	16.78%	良好级配砾	30.5	12.8
ZJ-4	14.10%	良好级配砂	32	15.8
ZJ-5	13.01%	良好级配砂	39.9	21.5
ZJ-6	14.83%	良好级配砂	30.8	13.2
ZJ-7	16.57%	良好级配砂	32.8	13.7

根据地下水的埋藏和赋存形式,并结合工程地质岩组,区内地下水类型可划分为松散岩类孔隙水和块状岩类裂隙水两类。堆积体范围区域地势起伏较大,大气降雨丰富,地表水系不发育,大气降水是主要的地下水的补给源。附近无较大地表水体,仅南侧存在废弃采石场遗留矿坑,后方矿坑积水面积约 0.2 km²。

2 边坡天然稳定分析

2.1 矿坑积水与地表渗漏联系分析

2024 年 4 月底至 5 月中旬,出现持续强降雨天气,在日常巡查过程中于 K20+200~K20+297 高填土路堤现出水点,高程 82.6 m。水流量随降雨量增大而增加,雨停后一段时间内仍会有水流出,晴天天气时此处未见出水。

为调查堆积体地下水赋存状态,在路基出水口前后 50 m 增设地下水位监控点 2 处,并开展对了天

池水位及各台阶高程进行了测量、补充钻孔勘察^[4],具体地下水情况如下:

(1)根据水位监测及钻探成果,天池基底揭露地层主要为中~微风化基岩,呈块状短柱状、完整性较好,钻探期间初见孔内水位高程 114.3 m,天池常水位高程为 65.5 m。

由于天池基底岩体完整、且天池常水位低于孔内水位高程约 49 m、低于路基现状出水点高程约 18 m,初步排除天池内常水位水头对路基渗水影响。

(2)通过对 2 处地下水位监控点观测,地下水常水位在出水点以下约 6~8 m 处,随降雨地下水位存在 1~2 m 的波动,初步排除天坑内积水的常水位水头对 K20+206.7 出水的直接影响。边坡水力联系示意图 3。

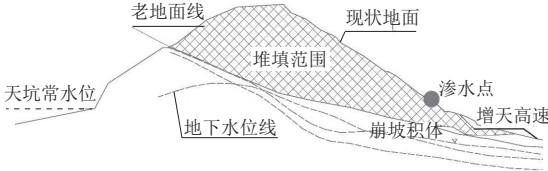


图 3 边坡水力联系示意图

综合以上成果分析,判断渗水原因为堆积体内表层雨水下渗,透过路基土石混填层流出。

2.2 滑动面稳定分析

结合新老地形图、补勘、物探、现场踏勘等基础资料分析,原地形相对平缓,选取最高最陡断面 K20+240 作为典型断面进行下滑力分析计算。结合现状地形,两侧局部地形较原设计地形存在一定超控,选取 K20+160、选取 K20+180 为辅助断面,对局部浅层滑动面潜在越顶可能性进行分析计算。

2.2.1 滑动面力学参数确定

增天高速位于弃渣前缘,而考虑到现状堆积坡体处于稳定状态,由于坡脚边坡开挖,造成坡体整体抗滑不足,故边坡支挡工程的力度只要能确保工程向线路内侧开挖后造成的坡体稳定性损失能够了等效补偿就可以了,即开挖后边坡的采用圆弧搜索所得到的下滑力应与挖掉的坡体抗力相同将坡脚位置作为剪出口,上部坡面为滑面入口,采用圆弧滑动进行自动搜索,搜索分析可得,最危险典型滑面位置分别距离开挖边坡高度 5H、10H(H 为开挖边坡的高度)附近范围进行分析计算。根据试验试验岩土参数^[5],分别采用各组参数对现状边坡稳定性进行计算,根据试验参数验算结果,安全稳定系数基本小于 1.0,与现状边坡稳定状态不吻合,不能直接利用。

考虑堆积体主要为采石场土夹石弃方自然堆积

而成,滑面强度参数不能按岩土体强度进行取值。从堆积体的地形地貌看,弃渣边坡的坡率约 31° ,且弃渣时间约为10 a(采石场开采时间为2006~2015年),这说明弃渣体的综合内摩擦角,即休止角约为 31° 。

依据工程地质类似法,松散弃渣的综合内摩擦角可取 31° ;由于综合内摩擦角对应为天然状态下的岩土体参数,取重度 $Y=19.5\text{ kN/m}^3$ 计算现状边坡稳定系数。

经过反复调整,反算得 $C=25\text{ kPa}$ 、 $\varphi=26^{\circ}$ 时与综合 φ 法所计算情况相近,且稳定系数与现状边坡实际安全稳定状态较为吻合。综合考虑,滑面参数确定为:

天然工况: $Y=19.5\text{ kN/m}^3$ 、 $C=25\text{ kPa}$ 、 $\varphi=26^{\circ}$;
暴雨工况: $Y=20\text{ kN/m}^3$ 、 $C=24\text{ kPa}$ 、 $\varphi=25^{\circ}$ 。(天然

工况基础结合工程经验适当折减),计算结果见表2。

表 2 岩土参数验证计算					
计算断面	自动搜索范围 (至坡口线距离)	容重 γ / ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	黏聚力 c / kPa	摩擦角 φ / ($^{\circ}$)	现状边坡安全系数 K
K20+240	8~10H(滑面2)	19.5	0	31	1.154
			25	26	1.148

2.2.2 下滑力计算

(1)潜在浅层滑面验算,对K20+240主断面开挖前后进行分析计算,并计算相应剩余下滑力,见图4和表3。

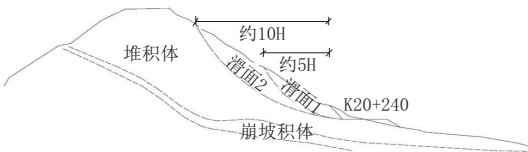


图 4 潜在浅层滑动面验算

表 3 岩土参数验证计算						
计算断面	工况	自动搜索范围 (至坡口线距离)	路槽开挖前安全系数	路槽开挖后安全系数	开挖后 $K=1.20$ 时剩余下滑力 / ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$)	开挖后 $K=1.25$ 时剩余下滑力 / ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$)
K20+240	天然工况	3~5H(滑面1)	1.372	1.321	552.68	782.88
		8~10H(滑面2)	1.146	1.112	1 490.31	2 198.29
K20+240	暴雨工况	3~5H(滑面1)	1.318	1.216	566.86	802.9
		8~10H(滑面2)	1.092	1.054	1 528.51	2 313.98

(2)潜在深层滑面验算,为确保边坡稳定,同时对潜在深层滑面(老地面线,即填土界面)安全系数进行验算,见图5和表4。

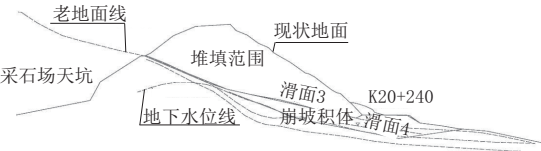


图 5 潜在深层滑动面验算

表 4 潜在深层滑面验算					
计算断面	工况	潜在滑面	开挖后 $K=1.20$ 时 剩余下滑力 / ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$)	开挖后 $K=1.25$ 时 剩余下滑力 / ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$)	备注
K20+240	天然工况	滑面3-堆填交界面	-1 144.01	-1 144.01	无法滑出
	暴雨工况	滑面3-堆填交界面	-1 131.53	-1 131.53	无法滑出
K20+240	天然工况	滑面4-风化界面	-7 654.48	-7 654.48	无法滑出
	暴雨工况	滑面4-风化界面	-7 540.45	-7 540.45	无法滑出

(3)局部浅层越顶潜在滑面验算,由于两侧局部地形较原设计地形存在一定超控,导致现状地形局部陡峭。结合现状地形,选取K20+160、选取K20+180为辅助断面,对局部潜在越顶可能性进行分析计

算,见图6和表5。

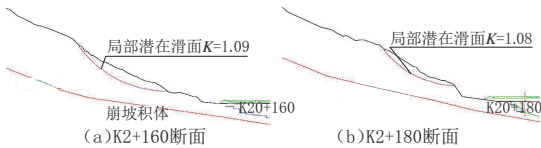


图 6 局部越顶潜在滑面验算

表 5 局部越顶潜在滑面验算			
计算断面	工况	安全系数 K	备注
K20+160	天然工况	1.14	存在越顶风险
	暴雨工况	1.09	
K20+180	天然工况	1.12	存在越顶风险
	暴雨工况	1.08	

根据滑动面验算分析,在天然和暴雨工况下,边坡堆积体的潜在深层滑面,即老地面线填土界面无法滑出为安全稳定状态。而对局部浅层越顶潜在滑面进行计算分析,结果发现K20+160、K20+180不利断面的局部浅层滑动面在天然和暴雨工况下存在潜在越顶风险,说明亟需对高边坡体进行治理。

3 边坡加固方案比选及排水治理方案

本次治理根据上节滑动面分析情况及计算分析结果,局部浅层滑动面在天然和暴雨工况下存在潜

在越顶风险。结合卸载、支挡工程、排水工程等措施,以彻底根治病害,对高边坡体进行处理,不留后患。

取正常工况安全稳定系数不小于 1.25、暴雨工况安全稳定系数不小于 1.20,取其中最大剩余下滑力进行加固防护设计。由于该堆积体位于增天项目红线外,处治补征地较为困难。设计拟结合局部存在越顶滑动风险设置反压施工平台,并预留路堤排水处置需要距离、在红线范围内设置抗滑桩进行加固,桩长结合地层情况及上部越顶滑动风险确定^[6],按最大下滑力 $F=2\ 198.29\text{ kN/m}$,进行设计。

3.1 堆积体加固方案比选

3.1.1 原状加固方案

结合线外坡体现状情况,对线外部分危岩体进行清除:于桩顶每往上 25 m 修筑平台设置被动防护网(130、155 m 高程):平台宽 3 m、坡率 1:1.25,被动防护网高 5 m。

K20+150~K20+375 段落,通长于坡脚线外 12 m 处设置圆形抗滑桩,间距 5 m,直径 3m,桩顶设置冠梁、拦渣墙:冠梁设置 4 根锚索(6 束直径 15.2 mm),锚索平均长 50 m,锚固段长 10 m。抗滑桩施工前,设置反压施工平台;抗滑桩施工完成后,于桩顶按 1:1.00 坡率进行开挖至坡脚,坡面采用人字形骨架植草防护。反压平台顶部均采用 10 cm 厚 C20 混凝土硬化封闭。

3.1.2 清方减重方案

从现状钻孔便道处,进行卸载:具体为:从高程约 140(比线路约高 50 m)位置向里推 35 m 宽平台,平台以上设 5 级坡,分级坡高 10 m,坡率 1:1.50,平台宽 3 m。

K20+150~K20+375 段落,通长于坡脚线外 12 m 处设置圆形抗滑桩,间距 5 m,直径 2 m,桩顶设置冠梁、拦渣墙:冠梁设置 2 根锚索(6 束直径 15.2 mm),锚索平均长 50 m,锚固段长 10 m。上部开挖卸载坡面,采用喷播植草复绿;抗滑桩施工前,设置反压施工平台:抗滑桩施工完成后,于桩顶按 1:1.00 坡率进行开挖至坡脚,坡面采用人字形骨架植草防护。沿坡面设置截水沟,反压平台顶部均采用 10 cm 厚 C20 混凝土硬化封闭。并在平台下边坡前缘布设监测断面。平面见图 7,典型治理剖面见图 8。

3.2 路基截挡排水治理方案

3.2.1 治理思路分析

经堆积体边坡治理方案处置后,可认为堆积体边坡处于稳定状态,故堆积体下部的陡坡路堤主要

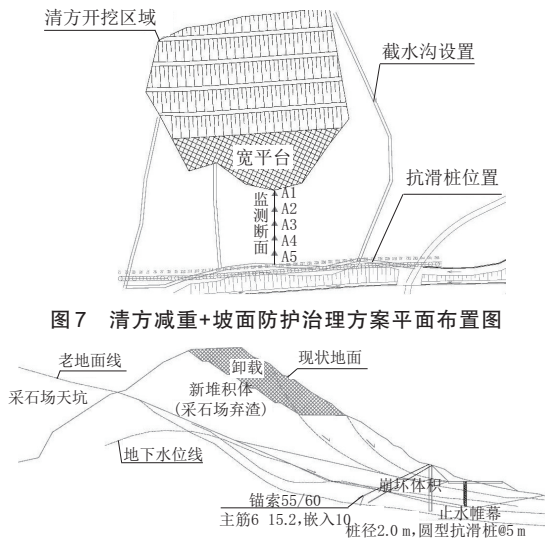


图7 清方减重+坡面防护治理方案平面布置图

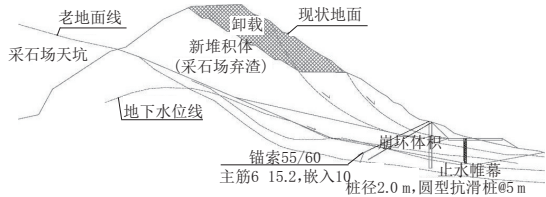


图8 清方减重+坡面防护治理方案剖面图

解决堆积体上层潜水渗入路基造成的水损害。

为隔绝堆积体地表水下渗产生的潜水向路基的渗流路径,控制潜水水位,避免潜水及其毛细水对路基的浸润作用,避免陡坡路基因水泡作用所造成的整体稳定性降低。

根据地下水类型、含水层埋藏深度、地层的渗透性等条件,评估堆积体潜水对路堤的不利影响,综合堆积体地下水拦截方案及引排方案。

3.2.2 治理方案确定

现状堆积体主要为块石与黏土的混合而成,结合第 2 节地表水、地下水与路基渗漏的水力联系分析,渗水原因为堆积体内表层雨水下渗,透过路基土石混填层出流。结合考虑所采取措施的地层适应性,堆积体路基稳定综合治理方案,宜选用旋挖咬合工艺施工的素混凝土桩隔水墙+顶管法施工的排水隧洞来进行排水。

隔水墙采用旋挖咬合工艺施工,咬合桩采用素混凝土桩^[7],规格选用 $\phi 1.0\text{ m}@0.8\text{ m}$ 。埋置深度宜穿堆积体底面,进入下部风化岩层 0.5~1.0 m,排水隧洞的直径主要受限于施工作业空间,考虑排水隧洞需要存在洞内作业,施工垂直渗管,因此洞内径应满足人员作业需求,洞式渗沟选用 $\phi 1.6\text{ m}$,埋置深度为堆积体主滑动面(线)以下 0.5 m。

清方卸载的坡面两侧设置截水沟,布设地下水引排区段包含全部陡坡路堤区段,能够阻断 K20+000~K20+100 区段,陡坡路堤近山体侧的素填土层地下水渗入高路堤,杜绝上边坡雨水下渗形成潜水进入路堤引发的地质灾害。

4 堆积边坡数值模拟

在边坡安全监测成果分析的基础上,现采用 PLAXIS 数值模拟加固后边坡的影响。

4.1 数值模型建立

其中考虑模型边界效应,计算模型尺寸计为 $250\text{ m}\times 150\text{ m}$,岩土层物理力学性质参数均采用勘察实测指标,土层本构应用 Mohr-Coulomb 破坏准则。其中钻孔灌注桩采用板单元模拟、素混凝土混凝土实体来模拟止水帷幕锚杆自由端由锚杆模拟、锚固端用锚索单元模拟,板单元与周边土层、潜在滑动面的接触应用接触面(Goodman 单元)来模拟^[8]。

施工道路及周边建筑先期荷载按照 20 kN/m 的线荷载计算,考虑堆积体内补水来源以雨水下渗,潜水向坡体侧径流,透过路基土石混填层出流。将止水帷幕界面单元设置为不透水材料,模拟止水效果。水位一为天然地下水位,水位二为设置排水隧洞排水,结合止水帷幕将水位降至帷幕底后的设计水位。

图 9 和图 10 为堆积体及路基加固整治的数值计算模型图和网格单元划分图。

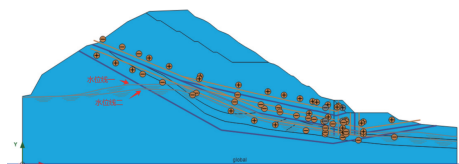


图 9 加固整治的数值计算模型图

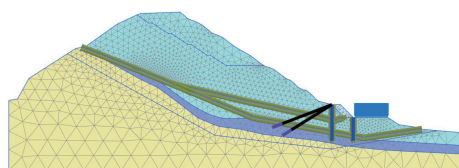


图 10 加固整治的数值计算模型网格划分图

模型共采用 5 个施工步骤模拟桥基分步施工对盾构隧道影响的全过程,分别为 step1:添加初始应力场;step2:施工抗滑桩锚索;step3:施工止水帷幕,降低潜水位;step4:放坡开挖;step5:施工公路;step6:道路运行施加荷载。

如图 11、图 12 所示,为堆积边坡的原状加固方案总位移图位移云图和清方减重方案加固总位移图的位移云图,图 12 中 A1~A5 点为上节所述监测布置点,安装位移传感器,监测点其中 A5 为最大位移点,从模拟可以看出,边坡滑动面基本分为两级,与第二节滑动面计算分析中的浅层滑面 2 和深层滑面 3 基本吻合,模型建立基本吻合实际工程情况。

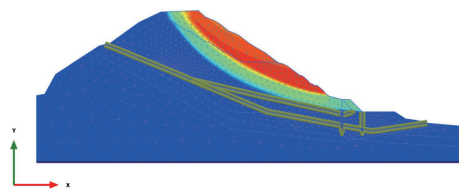


图 11 原状加固方案总位移图

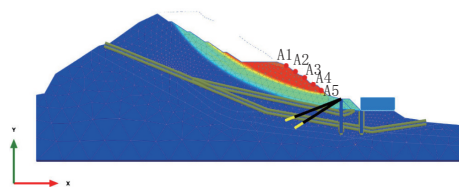
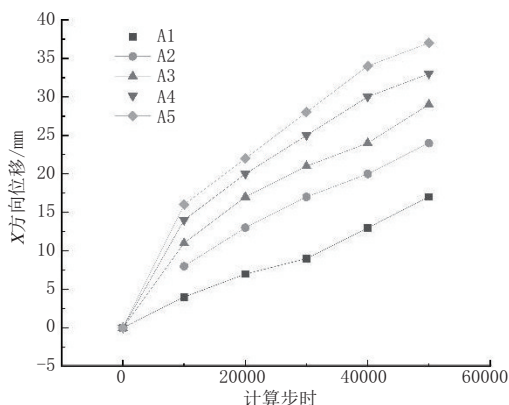


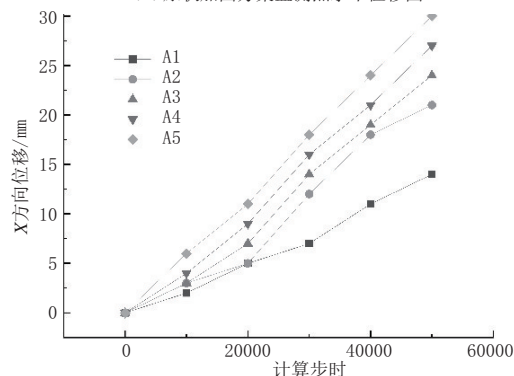
图 12 清方减重方案加固总位移图

4.2 数值模拟结果对比分析

图 13 为两种加固方案下的监测剖面点的位移历时变化曲线。从图 13 可分析出来,随着时间推移,监测剖面上各点的位移逐渐增大,整体从坡面 A1 至坡底 A5 监测点位移变化逐渐增大。清方减重方案较原状加固方案对监测剖面的变形控制更好。



(a) 原状加固方案监测点水平位移图



(b) 清方减重方案监测点水平位移图

图 13 两种加固方案各监测点计算位移历史曲线

图 14 为水位线一和水位线二工况下两种加固方案下的监测剖面点的最大位移变化曲线。从坡面 A1 至坡底 A5 监测点位移变化逐渐增大,但在止水帷幕和截水沟控制下,水位线二较水位线一工况下相比,但两种方案监测剖面上各点的位移均有所减小。说明在截挡水方案对路基上边坡稳定起到很好控制

变形效果。

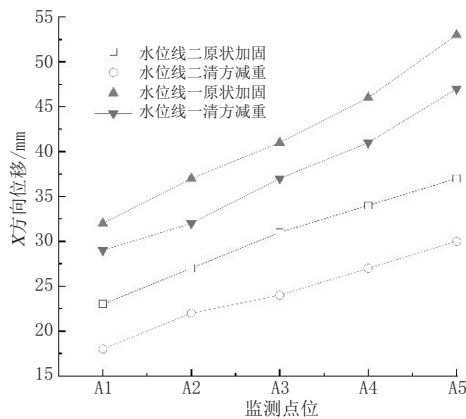


图 14 考虑截排水条件的两种加固方案监测对比图

综合分析 plaxis 模拟计算两种方案的结果见图 15 和表 6,原状加固方案下整体水平位移最大变形为 28 mm、最大垂直位移 16 mm,最大总位移 37 mm,清方减重方案最大水平位移 26 mm,垂直位移 19 mm,最大总位移为 30 mm,最大变形点为监测剖面的 A5 点,均在安全要求内。意味着施工岩土体卸荷导致表层堆积体顺滑动面 2 前移,产生应力集中于路堑支护段。整体变化趋势符合安全监测规律,边坡安全可控,说明治理效果良好。

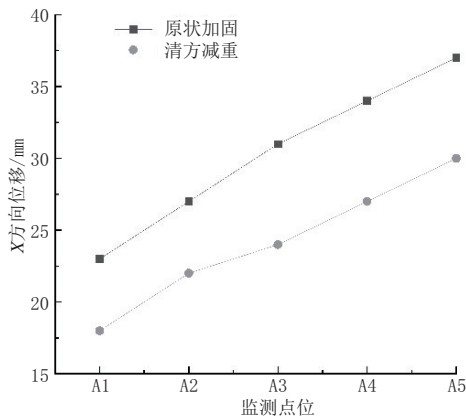


图 15 两种加固方案监测点最大位移对比图

表 6 模拟工况位移最大值

工况/位移	水平位移 Ux/mm	垂直位移 Uy/mm	最大位移 U/mm
原状加固方案	28	16	37
清方减重方案	26	19	30

4.3 方案安全经济分析

结合模拟监测点的变形分析,方案二清方减重较方案一原状加固对边坡监测剖面的变形起到更好的安全控制作用,另施工、经济安全的角度进行对比分析两种治理方案。

方案一:原状加固+3 m 圆形抗滑桩+4 根锚索。3.0 m 大直径圆桩成孔机械,市面机械不常用;考虑

到本工点地层特点,直径越大,成孔难度越大,存在塌孔等不利风险。圆桩受力可靠性劣于方桩;线外危岩体清除,须与地方协调用地。

方案二:清方减重+2 m 圆形抗滑桩+2 根锚索。清方减载,对边坡开挖控制要求较低;下部边坡采用抗滑桩+锚索加固,确保长期营运安全;抗滑桩采用旋挖成孔,工艺成熟,安全可靠。

清方减载,对边坡开挖控制要求较低;下部边坡采用抗滑桩+锚索加固,确保长期营运安全;抗滑桩采用旋挖成孔,工艺成熟,安全可靠。

综合对比在松散堆积地层施工锚索、抗滑桩成孔困难及安全风险的问题,考虑到本工点地层特点,直径越大,成孔难度越大,存在塌孔等不利风险。并综合考虑到高速公路长期运营的安全因素,选用方案二:清方减重+2 m 圆形抗滑桩+2 根锚索。

5 结 语

针对增天高速某采石场弃渣堆积山坡,为了保障施工安全性,对边坡安全监测点,并辅助数值模拟的方法系统解决边坡施工与道路施工干扰,得到主要结论为:

(1)针对路基处渗水,钻探期间初见孔内水位高程 114.3 m,天池常水位高程为 65.5 m。低于路基现状出水点高程约 18 m,排除天池内常水位水头对路基渗水影响。天然状态下,在天然和暴雨工况下,边坡堆积体的潜在深层滑面,即老地面线填土界面无法滑出为安全稳定状态。而对局部浅层越顶潜在滑面存在潜在越顶风险,存在高边坡危岩体。

(2)基于边坡路基分步施工完成数值计算结果,模拟产生的两级滑动面与计算分析接近,与监测变化规律一致,模型与实际工况验证效果较为吻合。通过模拟对比监测布置剖面,发现方案二清方减重方案比方案一原装加固对边坡控制变形较好,且方案二施工便捷和经济持久较方案一更有优势。

(3)边坡清方减载,下部边坡采用抗滑桩+锚索加固的加固方案,路基段采用旋挖咬合工艺施工的素混凝土桩隔水墙+顶管法施工的排水隧洞,清方减重方案最大水平位移 26 mm,垂直位移 19 mm,最大总位移为 30 mm,与安全监测规律一致,起到了控制路堑边坡安全和路基段渗流的效果。

通过本研究,针对岭南地区背水高路堑边坡治理,首先排路基段有无渗水情况,通过分析背水面水体、地下水和地表水间的水力联系,综合分析渗水的

(下转第 70 页)