

G214 线囊谦至多普玛段滑坡治理措施研究^{*}

高文军, 屈耀辉, 杨存进, 吴红刚

(中铁西北科学研究院有限公司, 甘肃 兰州 730000)

摘要: G214 线囊谦至多普玛段受地理环境等因素影响, 滑坡时有发生。文中使用抗滑桩治理该路段滑坡, 建立有限元模型分析湿化作用对抗滑桩受力和变形的影响, 使用邓肯模型分析抗滑桩加固后边坡土体的侧移和沉降。结果表明, 抗滑桩能约束边坡变形, 桩距为 4.5 m 时能获得良好的水平位移与弯矩效果; 湿化作用能增加抗滑桩的大小主应力, 有利于边坡的稳定, 还可增强抗滑桩的沉降与水平位移, 增强边坡的稳定性。

关键词: 公路; 滑坡; 抗滑桩; 治理措施

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2021)04-0079-04

囊谦至多普玛段是 G214 线的重要组成部分, 其中特殊困难路段约 6.5 m, 路面宽度为 7.5 m。该路段位于青海东部偏南地区玉树藏族自治州囊谦县境内, 该地区自从新生代(K_z)以来地壳新构造运动频繁发生, 地质构造及地形地貌复杂多变, 地层岩性较差, 断裂破碎带与褶皱不断增长, 受人为因素及降雨等的影响, 经常出现滑坡、路基下陷及边坡塌滑情况。常见滑坡治理方式包括坡面防滑与排水等。坡面防护是向坡面上喷射砼, 从根本上防止滑坡的发生, 但其成本较高, 只适合小面积滑坡, 不适用于滑坡多发的大面积区域; 通过排水解决滑坡, 需大面积布置排水孔和砼片石, 工序过于麻烦。使用抗滑桩加固滑坡岩土, 将抗滑桩插入滑动面下的稳定层中, 利用稳定地层岩土锚固作用抵抗滑坡推力, 从而稳定坡体结构。该文研究抗滑桩治理囊谦至多普玛段公路滑坡的情况, 并研究湿化作用对抗滑桩的影响。

1 抗滑桩治理滑坡分析

1.1 结构有限元分析

该路段滑坡抗滑桩横截面见图 1。

使用有限元法计算抗滑桩, 能考虑影响桩基工作性能的所有因素, 包括动力效应、固结效应及非线性性质等, 能充分考虑三维效应计算桩周及桩中的变形和应力。数值模拟抗滑桩时会遇到很多影响因素, 包括抗滑桩和土体之间的相互作用、砼中钢筋用量、土体物理力学指标和变形指标。模拟抗滑桩和周围土体相互作用时使用非线性弹性单元。为加强

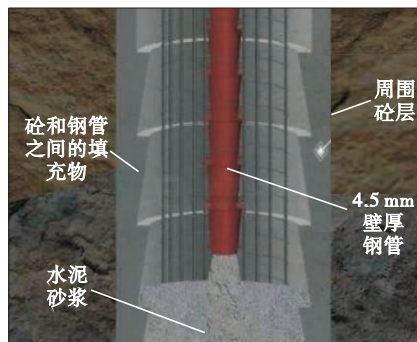


图 1 抗滑桩横截面

有限元模型的非线性求解收敛性, 采取如下措施:

1) 使用增量求解技术, 结合线性搜索技术, 实现变形历程跟踪。2) 合理划分荷载子步数, 降低非线性程度。

计算非线性时最常用的收敛方式为力收敛准则和位移收敛准则。采用位移收敛准则时总位移精确值 ${}^{t+\Delta t}\mathbf{w}^T$ 与第 i 次迭代生成的位移增量 $\Delta\mathbf{w}(i)$ 的比值需保持在一定精度内, 公式如下:

$$\frac{\|{}^{t+\Delta t}\mathbf{w}^{(i+1)} - {}^{t+\Delta t}\mathbf{w}^{(i)}\|_2}{\|{}^{t+\Delta t}\mathbf{w}^T\|_2} = \frac{\|\Delta\mathbf{w}^{(i)}\|_2}{\|{}^{t+\Delta t}\mathbf{w}^T\|_2} \leq l_w \quad (1)$$

式中: l_w 、 $\|\cdot\|_2$ 分别为给定的位移精度与矢量的二范数。

一般情况下按下式判断:

$$\frac{\|\Delta\mathbf{w}^{(i)}\|_2}{\|{}^{t+\Delta t}\mathbf{w}^T\|_2} \leq l_w \quad (2)$$

与位移收敛准则相对的力收敛准则为:

^{*} 基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2018YFC1504901); 青海省交通建设科研项目(2010-03)

$$\frac{\|t+\Delta t e^{(i+1)} - t+\Delta t e^{(i)}\|_2}{\|t+\Delta t e^{(i)}\|_2} \leq l_w \quad (3)$$

式中: e 为力的增量。

抗滑桩结构计算时,力收敛准则精度控制在2%~5%,位移收敛初始容差低于1%。为实现收敛,降低收敛容差,反复计算后,获得逐渐平稳的相邻误差求解结果,使用二范数收敛准则调整收敛精度。解决非线性求解收敛性问题后,构建抗滑桩有限元模型。

1.2 湿化有限元分析

(1) 划分网格与模型计算。边坡发生干湿循环,导致滑坡。该项目所在地区年降水量较高,降水时间较长,需进行湿化有限元分析。边坡计算网格见图2,抗滑桩长度与桩径分别为10、1 m。抗滑桩有限元计算分为两级,一级是在岩层和土层中的原始应力状态;另一级是由于降雨导致的入渗湿化。该项目因降雨入渗导致土体膨胀,水分不能正常向下入渗,通常情况下入渗深度为2~4 m,数值模拟时设定湿化深度为3 m。采用等应力法分析湿化作用对抗滑桩受力和变形特性、边坡安全的影响。

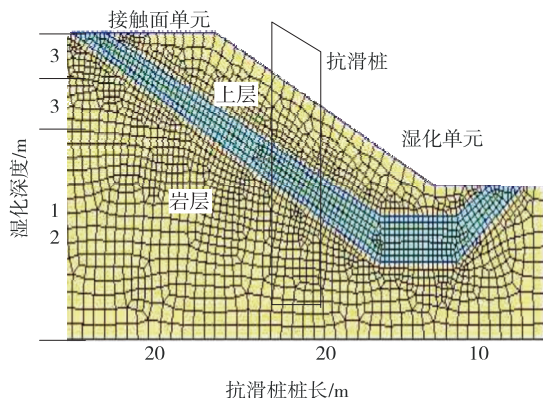


图2 边坡湿化模型

(2) 本构模型与计算参数。土体变形受到加荷应力路径与荷载大小的影响,应力应变关系呈现非线性。土体的变形性状采用邓肯非线性弹性模型模拟,采用邓肯 $E-v$ 模型:

$$F_t = \left[1 - \frac{Q_f(1 - \sin \varphi)(\epsilon_1 - \epsilon_3)}{2c \cos \varphi + \epsilon_3 \sin \varphi} \right] L P_a \left(\frac{\epsilon_3}{P_a} \right)^n \quad (4)$$

$$u_t = \frac{S - H \lg(\epsilon_3 / P_a)}{(1 - X)^2} \quad (5)$$

式中: ϵ_1 与 ϵ_3 分别为大小主应力; L 、 P_a 分别为模量数、大气压力; S 为初始泊松比; H 为泊松比随 $\lg(\epsilon_3 / P_a)$ 变化的斜率; $Q_f = (\epsilon_1 - \epsilon_3)_f / (\epsilon_1 - \epsilon_3)_u$ 为

$$\text{破坏比}; X = \frac{(\epsilon_1 - \epsilon_3)B}{P_a \left(\frac{\epsilon_3}{P_a} \right)^n \left[1 - \frac{Q_f(1 - \sin \varphi)(\epsilon_1 - \epsilon_3)}{2c \cos \varphi + 2\epsilon_3 \sin \varphi} \right]}$$

B 为轴向应变 ω_a 接近值的倒数; c 与 φ 分别为材料的黏聚力、内摩擦角。

假设土体为一种均质各向同性材料,通过湿化变形试验获取计算参数,表1为邓肯 $E-v$ 模型的计算参数,表2为抗滑桩—接触面耦合弹簧的计算参数。

表1 邓肯 $E-v$ 模型的计算参数

土体	弹性模量/MPa	泊松比	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)	重度/(kN·m ⁻³)
边坡	29	0.34	24	24	18
表层软弱层	4	0.39	9	9	17
抗滑桩	249	0.29	249	23	23
下卧刚硬层	299	0.24	199	49	21

表2 抗滑桩—接触面耦合弹簧的计算参数

耦合弹簧类型	内聚力/kPa	刚度/(MPa·m ⁻¹)	摩擦角/(°)
法向耦合弹簧	0.9×10^3	1.2×10^5	17
切向耦合弹簧	0.9×10^6	1.2×10^5	14

模型左右两侧施加 X 向约束,前后两侧及底侧分别施加 Y 、 Z 向约束,模拟路堤荷载作用下边坡软弱地基面的沉降。获取天然地基初始单元,不考虑抗滑桩和路堤单元,对路堤的水平分层分布进行模拟,得到整个土体的侧移与沉降。

2 模拟结果与分析

使用 Surfer 软件绘制土工离心模型与 FLAC^{3D} 模型,针对使用抗滑桩和未使用抗滑桩2种工况进行分析,得到边坡软弱地基区域在路堤荷载作用下位移等值线图(见图3)。从图3可看出:未使用抗滑桩时边坡坡脚出现较明显的地层隆起,而使用抗滑桩后未出现明显隆起,抗滑桩对地基的水平位移发挥了限制作用,说明抗滑桩能有效治理囊谦至多普玛段公路滑坡。

设置2.5、4.5、6.5、8.5 m 4种抗滑桩桩距,其他参数不变,分析抗滑桩桩距敏感性。4种工况下沿抗滑桩深度方向(X 方向)的水平位移与弯矩分布见图4。从图4可看出:桩距越大,抗滑桩承受的水平位移与弯矩越大,总体增长趋势较缓和,表明边坡内的侧向荷载向抗滑桩转移,需提高抗滑桩的刚度才能有效治理滑坡灾害。综合考虑成本和可行性,确定抗滑桩桩距为4.5 m。

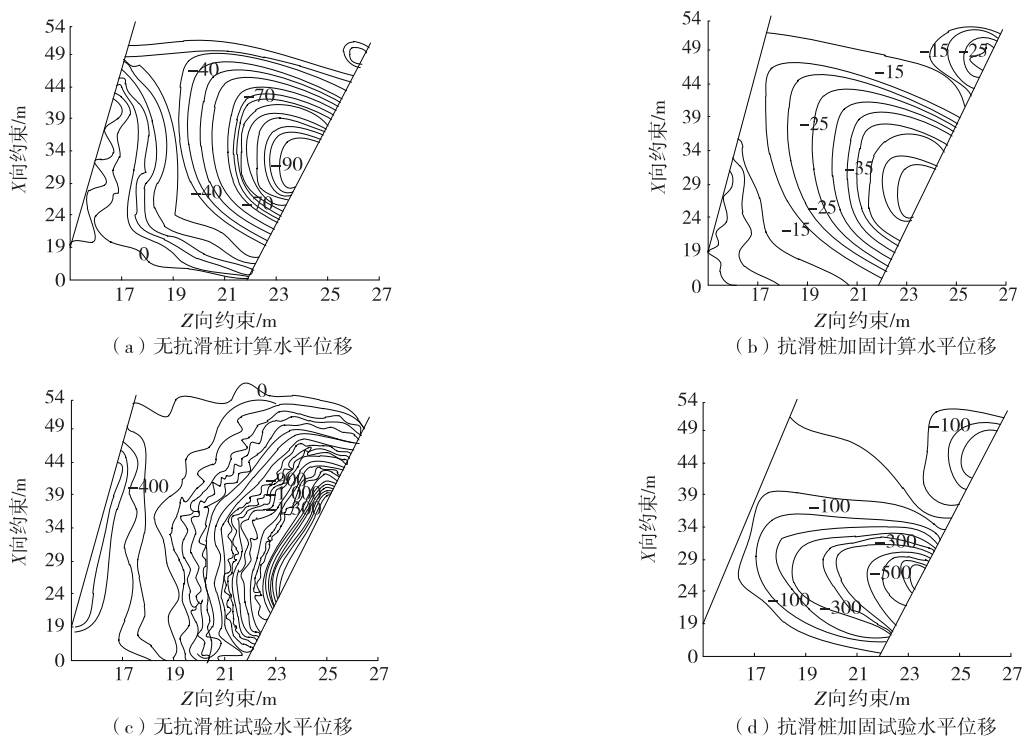


图3 位移等值线图(单位:mm)

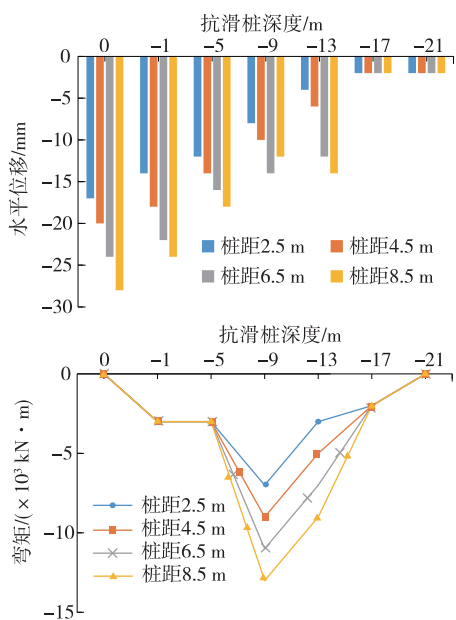


图4 桩距对抗滑桩水平位移与弯矩的影响

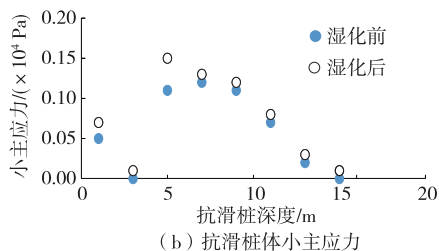
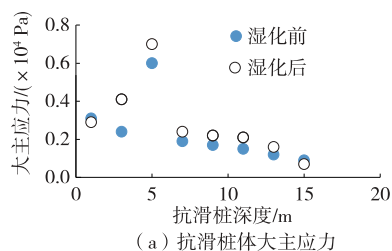


图5 湿化作用对抗滑桩应力的影响

湿化作用会对抗滑桩造成影响,图5、图6为湿化前后抗滑桩受力和变形的变化情况。从图5、图6可以看出:受湿化作用影响,抗滑桩的大主应力在抗滑桩深度为5 m时出现较大增幅,主要是由于边坡和抗滑桩之间协调变形,上部土体产生的下滑力由抗滑桩承担,阻止土体下滑,有效治理滑坡灾害;抗滑桩深度对小主应力的影响较小,且出现反复变化;随着抗滑桩深度的增加,湿化作用对抗滑桩位移的影响越来越小,主要原因是湿化只在土体表层发生,抗滑桩埋放较深时,土体湿化不会对抗滑桩产生影响;湿化作用对抗滑桩沉降的影响较小,在5 mm内,但沉降增幅约80%,湿化作用对抗滑桩沉降的影响较大。

3 结论

采用抗滑桩治理G214线囊谦至多普玛段公路

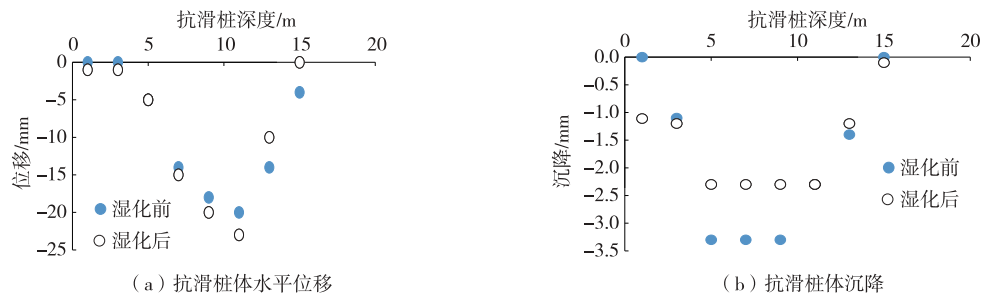


图6 湿化作用对抗滑桩位移沉降的影响

滑坡,解决非线性求解收敛性问题后,构建有限元模型对抗滑桩加固进行计算,模拟路堤的水平分层分布,获取整个土体的侧移与沉降。结果显示:桩距会对抗滑桩治理滑坡造成影响,桩距越大,抗滑桩承受的水平位移与弯矩越大;岩土湿化作用也会对抗滑桩治理滑坡造成影响,湿化会提升抗滑桩的大小主应力,增加边坡稳定性。

参考文献:

- [1] 杨维东.页岩边坡滑移机理分析及治理措施研究[J].铁道建筑技术,2019(增刊1):211-214.
- [2] 张琦,张少杰.那拉提空中草原景区公路滑坡下推力计算与防治措施[J].公路交通科技(应用技术版),2018(5):129-130+135.
- [3] 徐淑亮.高速公路复杂地质环境古滑坡破坏机理及防治对策研究[J].铁道建筑技术,2018(增刊2):27-31.
- [4] 张红日,王桂尧,兰素恋,等.某岩溶区公路岩土滑坡形成机理与治理[J].煤田地质与勘探,2017,45(1):105-109+113.
- [5] 陈达章,袁坤,万军利.乐广高速公路K80滑坡分析与治理[J].铁道建筑,2017,57(9):124-127.
- [6] 周思峰,徐宜慧,项建光,等.复杂地质构造下大范围深

层多滑带巨型滑移体综合治理技术[J].施工技术,2019,48(5):94-100.

- [7] 文海家,张岩岩,付红梅,等.降雨型滑坡失稳机理及稳定性评价方法研究进展[J].中国公路学报,2018,31(2):15-29+96.
- [8] 罗菲,任光明,李惠民,等.四川省道S216沿线滑坡、崩塌发育规律[J].长江科学院院报,2019,36(6):37-41.
- [9] 黄贻,王锐,赵宇,等.隐伏断层地震诱发滑坡易发性评价[J].浙江大学学报(工学版),2017,51(11):2136-2143.
- [10] 李庶林,赵睿鸣,彭府华,等.基于强度折减法的高陡边坡滑坡治理稳定性分析[J].建筑科学与工程学报,2020,37(1):120-126.
- [11] 张永红,蔡强强.宣曲高速ZK170+150~+220左侧边坡滑坡治理方案设计[J].公路交通科技(应用技术版),2018(2):151-153.
- [12] 李云杰,汤明高,屈飞行,等.考虑活动性状态的大型滑坡危险性评价[J].长江科学院院报,2018,35(11):76-81+90.
- [13] 方鹏飞,朱益军,朱向荣.杭金衢高速公路K103滑坡治理[J].工程勘察,2009,37(1):31-35.

收稿日期:2020-11-19

(上接第71页)

层,与SBS改性沥青、70#基质沥青相比具有更优异的耐疲劳、抗裂、抗水损害性能;M型橡塑改性沥青适用于中面层,与SBS改性沥青、橡塑沥青相比具有更高的高温稳定性;G型橡塑改性沥青适用于下面层,与SBS改性沥青、70#基质沥青相比具有更强的抗反射裂缝能力。

(2)从表观上看,采用橡塑改性沥青混合料铺筑的路面比同时期铺筑的SBS改性沥青路面更黑,构造深度更大;从跟踪检测结果来看,建成1年后,橡塑沥青混合料路面的构造深度、渗水系数满足验收要求,且摩擦系数在70以上,抗滑性能较好。

参考文献:

- [1] 任瑞波,耿立涛,徐强,等.稳定型橡塑改性沥青混合料的路用性能研究[J].公路,2015(7):11-15.
- [2] 杨正军.橡塑合金改性沥青混合料路用性能应用研究[J].公路与汽运,2016(1):108-111.
- [3] 张涛,贾春燕.不同复配方案橡胶粉与塑料颗粒复合改性沥青及其混合料耐久性试验[J].公路工程,2017,36(3):309-313.
- [4] 黄刚,李妍,汪涛.一种橡塑高黏沥青的研发[J].中外公路,2018,38(1):234-239.

收稿日期:2020-09-02