

抗滑桩+树根桩综合处治膨胀土地基上路堤开裂

唐咸远¹, 王诗海^{1,2}, 邹前³

(1. 广西科技大学 土木建筑工程学院, 广西 柳州 545006; 2. 广西北投交通养护科技集团有限公司; 3. 广西交通投资集团)

摘要:为处治膨胀土地基上路堤的开裂及滑动,以广西钦崇路一段路基开裂破坏处治为例,分析了路堤开裂破坏的原因,并基于 Geostudio 软件建立数值分析模型,模拟不同降水历时强降雨对膨胀土地基上路堤的稳定性影响,有针对性地提出了一种“抗滑桩+钢筋锚杆树根桩+钢锚管树根桩+路面注浆+深层排水”的组合式处治体系方案,介绍了其主要设计和施工要点。模拟及实践结果表明,在降雨历时4 d后,路堤的稳定性系数小于1.0,路堤开始出现失稳现象,其可能的滑动面距离左侧路基顶面约7 m处;采用的加固处治方案能够有效地解决路基开裂问题,增强土体的整体稳定性。

关键词:膨胀土;路基;注浆;树根桩;抗滑桩

1 前言

当高速公路穿越膨胀土地区时,经过1~2个雨季,常常会出现路堤沉降、路面开裂变形、边坡滑坍等病害,造成了严重经济损失及环境破坏,如何处理防治膨胀土稳定性问题一直是工程上的难题。对失稳膨胀土路堤的处治,研究者针对不同工程提出过不同的技术处治措施。陶连金用有限差分法分析广西某膨胀土路堤边坡失稳原因后,提出采用以抗滑桩为主的治理方法;唐咸远对隆百路、钦崇路膨胀土地基上非膨胀土填筑路堤失稳,采用微型钢管群桩+化学注浆等技术处治;田世宽从设计、施工方面对某高速公路膨胀土路基病害产生原因开展分析,提出了相应的处治措施;褚宇光对某车站一路堤段出现坍塌病害,提出优先采用微型桩方案进行处治。

该文以广西钦州至崇左高速公路K59+800~K59+930左幅路段因膨胀土软化收缩而导致的路基开裂破坏及路堤处治工程为例,通过对填方路基的开裂破坏原因进行有效分析,提出“抗滑桩+钢筋锚杆树根桩+钢锚管树根桩+路面注浆+深层排水”的组合式综合治理方案,为防止进一步的开裂失稳从而导致整个路堤破坏,并对有地下水的位置进行降水措施处理,最后对治理方案的处治效果进行评价。

2 工程地质及土性特征

2.1 地形地貌与水文地质

钦崇高速公路K59+800~K59+930左幅路段为填方段,中心填土高度为6~12 m,原地面右高左低,坡度为1°~5°。由于场地属剥蚀准平原地貌,地形起伏不大,地面高程为186.0~196.0 m,相对高差约为10 m。地表均为第四系地层覆盖,主要种植有甘蔗等农作物,未见坍塌等不良地质现象;路段右侧有一干水渠,雨季水量较大,旱季则无水。钻探资料分析表明,地下水主要为埋藏在第四系覆盖层中的孔隙潜水,水量较大,以大气降水补给为主,勘探期间测得稳定地下水位为184.15~187.37 m,水文地质条件相对简单。

2.2 地层岩性

钻探表明该路段主要为第四系残积层和第三系泥岩,典型的钻孔柱状剖面图如图1所示,相对应的地层描述如下:①第四系残积层:黏土,以棕红色、棕黄色为主,可塑,黏性较强,揭示层厚约为3.20 m,层底高程约为185.37 m;②第三系泥岩:强风化泥岩以青灰色为主,泥质结构,中厚层状构造,岩石上部已风化呈硬塑~坚硬黏土状,冲击可进尺,岩芯呈短柱状,揭示层厚为13.6~17.0 m,层底高程为165.95~171.77 m;中风化泥岩为青灰色、灰褐色,属于泥质结构,含有

| 地层代号 | 层底深度/m | 分层厚度/m | 层底标高/m | 柱状剖面 | 地层描述 |
|----------------|--------|--------|--------|------|---|
| Q ^d | 3.20 | 3.20 | 185.37 | | 以棕红色、棕黄色为主,可塑,黏性较强,干强度及韧性高 |
| E | 16.80 | 13.60 | 171.77 | | 强风化泥岩以青灰色为主,泥质结构,中厚层状构造,岩石上部已风化呈硬塑~坚硬黏土状;中风化泥岩为青灰色、灰褐色,属于泥质结构,含有粉砂质,中厚层状构造,岩石质软,岩芯多呈长、短柱状 |
| | 22.50 | 5.70 | 166.07 | | |

图 1 钻孔柱状剖面图

表 1 土的物理性质指标

| 土样编号 | 试样深度/m | 含水率/% | 密度/(g·cm ⁻³) | 孔隙比 | 饱和度/% | 相对密度 | 液限/% | 塑限/% | 塑性指数 | 自由膨胀率/% | 土样名称 |
|------|-----------|-------|--------------------------|-------|-------|------|------|------|------|---------|--------|
| 1 | 4.30~4.50 | 20.5 | 1.93 | 0.717 | 79 | 2.75 | 41.9 | 18.7 | 23.2 | 57 | 黏土(泥岩) |
| 2 | 3.10~3.30 | 24.6 | 1.94 | 0.753 | 89 | 2.73 | 40.7 | 22.3 | 18.4 | 68 | 黏土(泥岩) |

3 开裂原因分析

3.1 开裂情况

钦州—崇左高速公路 K59+800~K59+930 段左幅填方路基开裂平面图如图 2 所示。

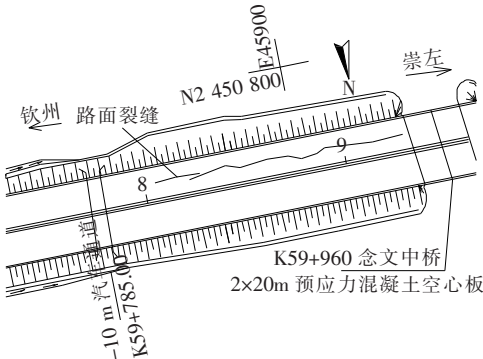


图 2 路基初始开裂平面图

从图 2 可以看出:裂缝弯折,并分段呈直线,初始开裂时裂缝长而细。随着时间推移,裂缝快速发展,造成左幅出现不均匀沉降并出现沉陷,靠近 K59+960 念文中桥钦州侧桥台出现滑移,路堤变形相当严重,裂缝宽 0.5~7 cm,整体最大下沉量约为 1.5 m。

查施工记录可知,该段路堤填筑时,底层膨胀土换填 0.5 m 后回填良性土,路基施工完成后 1 年,在次年 7 月份台风带来的超强降雨后,在已经施工完成水泥稳定碎石基层的表面发现裂缝,由于连续降雨无法及时处理,后裂缝进一步发展,雨水进入路基导致沉陷滑移。

3.2 开裂原因分析

因钦崇高速公路地处亚热带季风气候区,降雨量

粉砂质,中厚层状构造,岩石质软,岩芯多呈长、短柱状,最大揭示厚度约为 9.80 m。通过岩石样的天然单轴抗压试验可知,该泥岩属于极软岩。

2.3 土的基本性质

钻探选取相应代表部位的天然状态土样进行土的物理性质指标测定,试验按照 JTG E40—2007《公路土工试验规程》的要求进行,试验结果如表 1 所示。结合表 1 结果,根据 JTG D30—2015《公路路基设计规范》对膨胀土的等级判定可知,土样为中等膨胀土。

较大,干湿季分布明显且常受到台风侵袭;同时,此地地基膨胀土为残积型,其密度低、含水率高以及收缩性显著等不良工程特性明显。膨胀土在干湿循环交替作用下,其地基土体自身的裂隙发育,使得土体强度和黏聚力不断降低,在强降雨后导致局部膨胀土地基上路堤发生开裂破坏。

为了模拟强降雨对膨胀土地基上路堤开裂的影响,以中间 K59+850 处断面为原型,采用 Geostudio 软件建立数值分析模型,模拟强降雨不同降水历时对路堤的稳定性影响。计算表明:在降雨历时 4 d 后,膨胀土地基上路堤的稳定性系数小于 1.0,路基出现失稳,路基可能的滑动面距离左侧路基顶面约 7 m 处,与图 2 的初始开裂断面相吻合(图 3)。

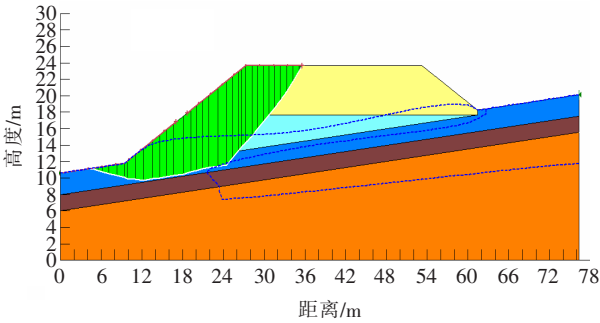


图 3 失稳时的可能滑动面

4 处治方案设计与施工

为减缓路面裂缝扩展并防止路堤失稳滑移破坏,对该路段左幅填方开裂路基进行加固处理,考虑到路

堤填土较高及充分利用原路堤,经过方案比选后,决定采用“抗滑桩+钢筋锚杆树根桩+钢锚管树根桩+路面注浆+深层排水”的组合式综合处治方案。

为防止路堤整体滑动,坡脚处设置钢筋混凝土抗滑桩;为保证路堤边坡稳定,防止边坡从桩顶面滑出,在坡面设置锚杆树根桩和钢锚管树根桩;为防止路面裂缝扩张及修复开裂土体,采取注浆封闭处理;同时,防止因地下水的侵入破坏路基的稳定而采用了软式弹簧透水管对地下水位进行下降处理。左幅填方路基开裂处理立面图及横断面设计图分别如图4、5所示。

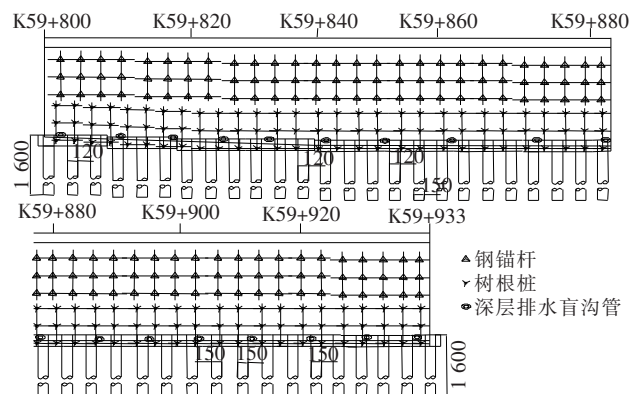


图4 开裂处理立面图(除里程单位为m外,其余:cm)

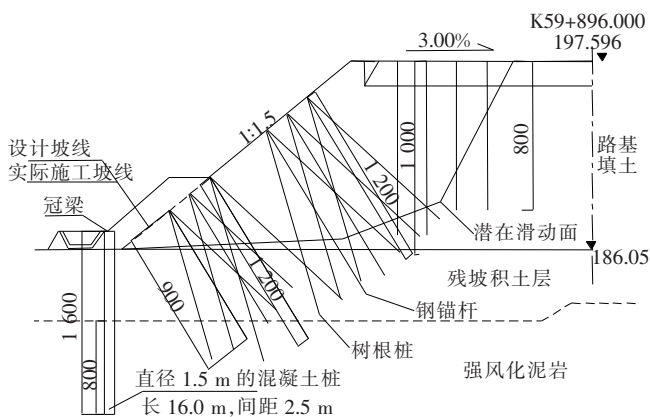


图5 横断面设计图(除标高、里程单位为m外,其余:cm)

4.1 钢筋混凝土抗滑桩

由于计算的推力较大,结合该工程实际情况,为保证路堤坡脚的稳定,采用钢筋混凝土桩加固坡脚,并在桩顶设置钢筋混凝土冠梁。要求抗滑桩进入泥岩的长度不得小于8.0 m,其中K59+800~K59+850段采用A型抗滑桩,桩径1.2 m,桩长16 m,冠梁高1.0 m,宽1.2 m;K59+850~K59+930段采用C型抗滑桩,桩径1.5 m,桩长16 m,冠梁高1.2 m,宽1.5 m。混凝土桩和桩顶冠梁均配置HRB335钢筋,采用C25混凝土进行浇筑,桩身浇筑时要保证其连续和完整性。

4.2 坡面钢锚杆树根桩

设置3排树根桩,以保证下部坡面的稳定。树根桩设置如图5所示,第1、2排的树根桩长为9 m,第3排树根桩长为12 m(从下向上数),锚杆直径为28 mm,采用HRB335钢筋制作;钻孔孔径不小于90 mm,注浆压力为2 MPa,采用M30水泥浆。树根桩与坡面方向的关系示意如图6所示;坡脚和坡腰树根桩竖肋间距分别为2.7、3.0 m,间距可适当调整;桩距离土路肩边缘高差不小于2.0 m,距离坡脚高差不大于0.8 m,具体位置可做适当调整;每根树根桩之间用锚杆格梁联结,格梁配置HPB235和HRB335钢筋,采用C25混凝土浇筑,并要求设置伸缩缝,其纵横梁断面为0.4 m×0.3 m。当树根桩、钻孔桩与构造物位置有冲突时,可另外适当调整。

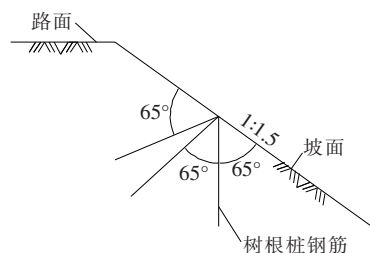


图6 树根桩与坡面方向的关系

4.3 坡腰钢锚管树根桩

坡腰钢锚管树根桩也设置3排,每根长12 m;路基边坡钢锚管钻孔直径不小于130 mm,钢管采用Q235钢制作,直径为108 mm,管厚6 mm,并在管身每隔30 cm增设直径为15 mm的注浆孔,采用M30水泥浆注浆,要求坡腰钢锚管树根桩的设计抗拔力不小于50 kN。钢锚管钻孔建议采用地质钻机干钻成孔,注浆从管内向外进行压力注浆。

4.4 路面注浆

由于路面沉陷及破裂较严重,路面处理时,先将已经破坏的路面结构挖除。后对该段左幅填方路基裂缝进行压力注浆封闭处理,注浆孔径为6 cm,纵横向间距为2.5 m,并错开布置,注浆压力为2 MPa,浆液采用M30水泥浆或水泥砂浆。路面注浆平面图如图7所示,靠近路中线处注浆深度为8 m,靠近边坡侧采用10 m的注浆深度。通过压力注浆以加强裂缝两侧土体自身的强度并充填裂缝,从而提高路基整体稳定性。在注浆过程中若出现串浆现象,应及时对串浆孔进行堵塞,并对串浆孔用高压水清理干净重新注浆。

4.5 深层排水

土中含水率的多少对膨胀土自身强度特性的影响

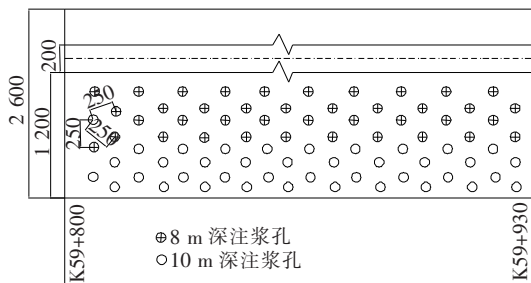


图 7 路面注浆平面图(除里程单位为 m 外,其余:cm)

至关重要。根据勘探资料显示,该路段存在地下水水量较大。为减少地下水对路基土的侵蚀软化破坏,采用了软式弹簧透水管进行深层排水设计,深层排水盲沟管的布置如图 4 所示,管中排出的水要引流到排水沟中,同时对地表径流的水也要引入排水沟,尽量减少地表径流水对坡体的冲刷破坏。

4.6 效果分析

该路段处采用“抗滑桩+钢筋锚杆树根桩+钢锚管树根桩+路面注浆+深层排水”的组合式加固处理措施后,通过施工后期的各项监测数据进行对比分析,发现路堤的水平 and 竖向位移均在要求的控制范围内,路面没有出现新的裂缝以及沉降,表明此次的加固效果显著,方案设计合理,处治取得了较好的经济和社会效益。

5 结论

通过对广西钦州—崇左高速公路 K59+800~K59+930 段左幅填土路基开裂破坏原因进行深入分析,并基于 Geostudio 软件模拟了强降雨对膨胀土地基上路堤开裂的影响及处治方案实施效果的前后对比,得出以下结论:

(1) 对于修建在膨胀土地区的路基工程,应提前对当地的地质、水文以及气候等情况进行详细的勘察,全面了解膨胀土地基因降雨造成强度降低及其上路堤的破坏机理,并确定具有针对性的施工处理方法,避免出现开裂等工程病害造成返工。

(2) 对于因膨胀土地基性能衰变引起的路堤边坡滑移、路基开裂沉降等工程病害,处治必须及时,尽量

早发现、早治理,避免出现路基整体滑动失稳破坏,最大限度地减少经济损失及节约工期。

(3) 通过数值模拟分析表明,在强降雨历时 4 d 后,膨胀土地基上路堤的稳定性系数小于 1.0,路基开始出现失稳现象,路基可能的滑动面距离左侧路基顶面约 7 m 处,与左幅路段初始开裂断面相吻合。

(4) 采用了“抗滑桩+钢筋锚杆树根桩+钢锚管树根桩+路面注浆+深层排水”的组合式处治加固技术措施,抗滑桩采用旋挖桩机进行施工,快捷高效,加固效果显著,处治方法的社会和经济效益显著,为局部类似膨胀土地区的路基处治研究提供了经验。

参考文献:

- [1] 郑健龙. 公路膨胀土工程理论与技术[M]. 北京:人民交通出版社,2013.
- [2] 周健,徐洪钟,尤波. 膨胀土边坡模型的含水量与变形特征[J]. 南京工业大学学报(自然科学版),2013(4).
- [3] 童超,杨和平, Pedarlal Aravind, 等. 由膨胀土内比表面及孔径分布来评价其膨胀行为[J]. 中外公路,2017(1).
- [4] 李建宇,耿文林,潘家奇,等. 路堑高边坡稳定性分析与支护参数优化设计研究[J]. 中外公路,2018(5).
- [5] 肖杰,杨和平,李晗峰,等. 膨胀土边坡浅层破坏稳定性分析[J]. 交通运输工程学报,2014(2).
- [6] 陶连金,沈小辉,夏进平,等. 典型膨胀土路堤边坡失稳机理及控制方法研究[J]. 铁道建筑,2012(8).
- [7] 唐咸远,李用鹏. 膨胀土地基失稳引起路堤滑坡的综合处治技术[J]. 公路,2011(12).
- [8] 唐咸远,高向东. 膨胀土地区路堤开裂原因分析及处治技术研究[J]. 公路工程,2014(5).
- [9] 田世宽,张海波. 某高速公路膨胀土路基病害分析及处治措施[J]. 施工技术,2014(17).
- [10] 褚宇光,王海波,徐继明. 某车站膨胀土路堤坍塌原因分析及整治[J]. 铁道工程学报,2016(12).
- [11] JTG E40—2007 公路土工试验规程[S].
- [12] JTG D30—2015 公路路基设计规范[S].
- [13] 肖杰,杨和平,李晗峰,等. 低应力条件下不同密度的南宁膨胀土抗剪强度试验[J]. 中国公路学报,2013(6).
- [14] 杨和平,唐咸远,王兴正,等. 有荷干湿循环条件下不同膨胀土抗剪强度基本特性[J]. 岩土力学,2018(7).