

DOI: 10.7672/sgjs2021190088

锚杆与钢管桩联合支挡结构在路基高填方 加固工程中的应用研究*

张思峰¹, 夏冲¹, 秦海潮², 王同福³, 柴庆刚³(1. 山东建筑大学交通工程学院, 山东 济南 250101; 2. 山东省路桥集团有限公司, 山东 济南 250014;
3. 山东高速集团有限公司, 山东 济南 250098)

[摘要] 受各种因素影响,高填方路基侧滑失稳是公路建设中及运营后常见的工程病害。结合山东境内某高速公路高填方路基侧滑工程实际,在分析其侧滑失稳原因的基础上,介绍了抗滑钢管桩+锚杆+钻孔注浆的联合加固技术在该工程中的应用,施工过程中同时在现场埋设了4种应力及位移监测元件以评价其加固效果。监测结果表明,该联合加固技术承载力高,控制填土路基侧滑效果显著。

[关键词] 路基;高填方;钢管桩;锚杆;加固;监测

[中图分类号] TU43

[文献标识码] A

[文章编号] 1002-8498(2021)19-0088-04

Study on the Application of the Combined Retaining Structure of Anchor and Steel Pipe Pile in Reinforcement of High Fill Subgrade

ZHANG Sifeng¹, XIA Chong¹, QIN Haichao², WANG Tongfu³, CHAI Qinggang³(1. School of Transportation Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan, Shandong 250101, China;
2. Shandong Luqiao Group Co., Ltd., Jinan, Shandong 250014, China;
3. Shandong Hi-speed Group Co., Ltd., Jinan, Shandong 250098, China)

Abstract: Sideslip of high fill subgrade, affected by various factors, is a common engineering problem after highway construction and operation. Based on the engineering practice of a sideslip of a high fill subgrade expressway in Shandong province, this paper introduces an integrated reinforcement technology of anti-sliding steel pipe pile + anchor + drilling grouting in the application of the project on the basis of analyzing the reason for slide instability. During the construction process, four stress and displacement monitoring devices were buried at the site to evaluate their reinforcement effect. Monitoring results show that the bearing capacity of this reinforcement technology is high and its effect on the control of sideslip of fill subgrade is evident.

Keywords: roadbed; high fill; steel pipe pile; anchor; reinforcement; monitoring

0 引言

随着我国交通基础设施建设的快速发展和路网建设布局的需要,山区高速公路建设规模日益增大,工程建设中常常遇到大量地形复杂的高陡填方路基工程^[1-2]。相对一般路基而言,高填方路基具

有填筑高度大、路基累积变形大等特点,这也往往由于设计、施工及地质水文条件的影响成为后期路基侧滑的隐患点^[3-4]。而路基侧滑后支护方式选择不合理可能会造成路基垮塌,继而造成巨大的经济损失或人员伤亡。如何考虑工程特点从而选择经济、合理的高填方路基侧滑失稳加固技术是一项事关公路安全运营的重大课题^[5]。

虽然我国已有70余年滑坡治理的实践经验,但对于高填方路基的滑坡处治主要是随着高速公路尤其是山区高速公路建设的发展而产生的^[6-7]。当

* 泉城产业领军人才支持计划项目;山东省交通科技计划项目(2017B59)

[作者简介] 张思峰,教授,博士,硕士生导师,E-mail: sddxzs@163.com

[收稿日期] 2021-04-15

削坡、减载、排水、挡土墙等工程措施不足以解决问题时,采用锚杆(索)+抗滑桩或抗滑钢管桩等类似结构的加固措施,可迅速解决边坡加固工程问题,但目前关于其设计及应用研究的成果尚少^[8]。本文依托某高填方路基滑坡处治工程实际,在介绍处治方案及施工技术的基础上,采用现场监测的方式对其加固效果进行评价,研究成果可为类似工程的设计及施工提供借鉴。

1 工程背景及病害原因

1.1 工程概况

受2019年夏季连续长时间降雨的影响,董家口至梁山(鲁豫界)公路新泰至宁阳段K14+596—K14+640路基在填筑至上路床时,右侧路幅出现纵向及横向裂缝,横向裂缝宽0.5~1.0cm。

经现场查勘,中央分隔带右侧路幅纵向裂缝呈圆弧形,弧顶位于右侧路基内侧行车道内,裂缝两端延伸至路肩边缘,即横向裂缝贯穿整个路基。地形上,道路左侧地面高程明显高于右侧,从左至右大致呈坡度10%左右的坡面状,右侧坡体底部有汇水迹象(后期通过在路肩边缘埋设的深层测斜管也证实原地形线附近有积水),由于路基侧滑尚处于孕育期,右侧路堤坡体未见明显膨胀,坡脚处未见明显隆起。路基侧滑段典型横断面如图1所示。

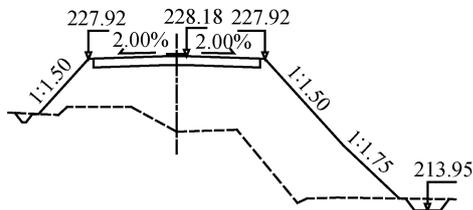


图1 路基侧滑段典型横断面

1.2 工程地质条件

根据路基填筑后的工程地质钻孔资料揭示,场区在勘探深度范围内自上而下分为4层,岩土特性如下。

1)素填土层 主要填土成分为片麻岩碎屑及碎块,取芯呈砂砾及碎块状,局部见短柱状,钻探过程中进尺较均匀,层厚9~10m。

2)粉质黏土 黄褐色,切面较粗糙,中等韧性,土质不均,局部含少量砂粒,层厚0.5~1.0m。

3)全风化片麻岩 浅灰色,原岩风化程度极强烈,矿物成分已发生蚀变,取芯呈砂土状,风化不均,局部见少量强风化碎块,层厚1.0~2.0m。

4)强风化片麻岩 灰黄色,原岩风化程度强烈,片麻状构造,节理裂隙很发育,取芯呈砂砾状及碎块状,一般块径2~6cm,取芯率70%,层顶深度一

般在11.0m以下。

1.3 路基病害原因

据现场调查及勘察情况推断,该高填土路基侧滑原因主要为该路段地面线陡直多变,为高填路堤局部形成高应力区及局部应力集中提供了条件。此外,施工期间连续长时间降雨,路堤填筑材料为透水性较强的砂砾、碎石土层,连续降雨入渗导致土体含水量增加,路堤土的流变性加大且强度降低,致使路基部分往外侧蠕变滑动,产生纵向裂缝。另外后期监测还发现,坡体底部有积水现象,这也是导致坡体滑动的重要原因。

为避免该高填方路基边坡侧滑加剧,保证后续施工及公路运营后的安全,对该段路基进行加固治理已异常紧迫。

2 路基加固设计

选择的加固治理措施要在确保道路安全的前提下节省工程投资,同时要保护周边生态环境、缩短工期^[9]。由于路堤填土下方存在相对稳定的风化片麻岩地基,故考虑采用抗滑钢管桩的加固治理方案。

在进行边坡未加固前的安全系数计算中,考虑到与路线走向垂直方向、原地形线位置存在自南至北方向的客水流动,故在坡体稳定性验算中考虑原地形线上下各0.5m范围内土体抗剪强度降低,根据条分法计算得到未加固前的典型横断面安全系数为0.98,坡体为不稳定状态。根据JTG D30—2015《公路路基设计规范》规定,按照边坡安全系数1.3计算得到边坡剩余下滑力,该下滑力由钢管桩及其顶部设置的锚杆共同承担。根据计算得到的路肩处的剩余下滑力,并依据GB50936—2014《钢管混凝土结构技术规范》进行了钢管桩抗弯及抗剪强度的验算,共设计钢管桩2排,排距1.5m,桩间距1.0m。具体设计方案阐述如下。

2.1 钻孔注浆

灌浆法是将拌制好的浆液在一定的压力下利用注浆管注入土层中,使得浆液渗透、挤密和填充土体颗粒间的孔隙,待浆液凝固后与土体形成新的固结体,以提高地基承载力并改善其变形性能^[10]。本项目设计钻孔孔径75~90mm,均为垂直孔,设计钻孔深度至基岩面,钻孔间距3m,排距3m,矩形布置,注浆压力0.3~0.6MPa。

2.2 全长粘结锚杆

为减小钢管桩的内力,在钢管桩的顶部设计1排锚杆,锚杆外端头设置在钢管桩顶部的联系梁中,锚杆沿杆身每隔1.5m设置对中定位支架,钢管

桩、锚杆外端头与联系梁混凝土浇筑在一起,锚杆采用全长粘结锚杆。

2.3 抗滑钢管桩

对于不稳定的岩土体,抗滑桩类结构是路基加固较为有效的措施。本工程中共设计直径 237mm、壁厚 8mm 钢管桩 2 排,分别位于路肩边缘及路肩内,平面呈梅花形布置,底部入岩深度不少于 5m。钢管内灌注 C30 混凝土,外部泵送 M30 水泥砂浆。

2.4 混凝土联系梁

为保证钢管桩能够整体受力,每排钢管桩顶部均设置 40cm×40cm 联系梁 1 道,从而使得锚杆+抗滑钢管桩+桩间岩土体形成空间钢架体系结构,增大了其承受剪力和弯矩的能力。

3 施工顺序

由于原坡体已有滑动迹象,选择合理的施工顺序是保证加固工程顺利实施的关键。本加固工程的施工流程为:钢管桩施工→路基钻孔注浆→锚杆施工→联系梁施工。

3.1 钢管桩施工

1) 钻孔 根据现场桩位控制点采用经纬仪按照设计列间距 1.0m、排间距 1.5m 确定桩位,孔位偏差 $<10\text{mm}$,并确定孔口标高,做好标高测量记录,以控制孔深,钻孔直径为 350mm。

2) 钢管桩制作及安装 钢管桩严格按照设计图纸进行加工,桩与桩连接处预先加工坡口并采用坡口焊接,焊口外侧采用比设计钢管外径略大的多片钢管沿圆周均匀加固。在埋设好的钢管内注入 C30 混凝土,外部采用泵送 M30 水泥砂浆,水泥为 32.5R 普通硅酸盐水泥,注浆压力为 0.6MPa,施工完成后的钢管桩如图 2 所示(反开挖桩头后)。



图 2 反开挖桩头后的钢管桩

3.2 路基钻孔注浆

1) 钻孔 首先依据现场控制点准确放置施工轴线和钻孔孔位,钻孔孔径 75~90mm,均采用垂直孔,钻孔采用干成孔法,如出现塌陷、遇到块石等情况改用硬质合金钻头,泥浆循环护壁钻进,钻孔位置与设计位置的偏差不得大于 5cm。

2) 浆液制备 注浆采用水泥粉煤灰浆液,浆液配合比为:水泥:粉煤灰=4:1,水灰比为 0.5~0.55,水泥为 R32.5 复合硅酸盐水泥。

3) 注浆 注浆前先在地面埋设变形观测点,防止在注浆过程中地面产生过量变形而破坏已填筑路基。钻孔封口深度 $\geq 1.5\text{m}$,注浆压力 0.3~0.6MPa。施工过程中严格监控地面高程及水平位移变化,避免路基发生侧移。为防止浆液沿原有裂缝冒出,注浆前首先将现有裂缝用浆液充填密实,当达到设计灌浆压力并稳定 15min 后,即可终止注浆。

3.3 锚杆施工

1) 锚杆定位及钻孔 依据现场标高控制点用水准仪按照设计间距 1.2m 确定锚杆位置,孔位偏差 $\leq 100\text{mm}$ 。锚杆与水平夹角 40°,锚杆必须保证入岩 5m,成孔直径 $\geq 100\text{mm}$ 。

2) 锚杆制作与安装 锚杆采用 $\phi 32$ 的 II 级螺纹钢,沿杆身每隔 1.5m 设置对中定位支架,以保证钢筋有足够的混凝土保护层厚度。清孔完毕后,将制作好的锚杆放入孔中,并检查锚杆外露长度及位置,确保锚杆外端头能与钢管桩及后期施工的联系梁焊接。

3) 锚孔注浆 锚孔注浆采用泵送 M30 水泥浆,水灰比 0.4:1,水泥为 32.5R 的普通硅酸盐水泥,注浆压力 0.5~1.0MPa。

3.4 联系梁施工

在钢管桩和锚杆施工完毕后进行联系梁施工。首先在钢管桩的施工轴线上开挖一断面尺寸 $\geq 40\text{cm}\times 40\text{cm}$ 的槽,清理浮土后按照设计要求配置双层钢筋,每层 5 根 $\phi 20$ 钢筋,箍筋为 $\phi 6\text{mm}\@ 25\text{cm}$,钢筋与钢管焊接在一起,然后利用自然土体作为模板直接浇筑 C30 混凝土。每 20m 设 1 道伸缩缝,缝宽 2cm,缝内填塞沥青麻筋。

4 现场应力及位移监测

4.1 监测元件布置及埋设

监测设计本着关键部位优先、兼顾全面的原则,将监测仪器重点埋设在主滑动区位置。在监测仪器选择上,以确保对联合加固结构的关键部位及应力、位移等参数进行全面监测为目的,最终实现对加固效果的科学评价。

监测内容如下:①桩前土压力监测 开展支护结构土压力监测,对于确保路基运营安全十分重要,为监测施工过程中及工后钢管桩所受主动土压力的变化,本监测中共埋设 4 支振弦式土压力计,均位于钢管桩顶部以下 1.0m 处,距路面顶部 1.6m。

②坡体深层位移监测 采用测斜仪并通过 2 个深层测斜孔监测坡体内部变形规律,测斜管埋设过程中应确保其中一对导槽与坡体位移方向一致。③锚杆轴力监测 为监测锚杆轴力变化,避免由于锚杆轴力过大引起局部支护结构失稳,在距离锚杆外端头 1.5m 处将锚杆截断,采用直螺纹套筒方式轴向连接振弦式轴力计,共布置 3 处。④联系梁应变监测 在内侧联系梁受压面中间位置的主筋上绑扎振弦式应变计,用于监测联系梁内混凝土应变变化规律,应变监测共布置 3 个断面。所有监测仪器的平面布置如图 3 所示。

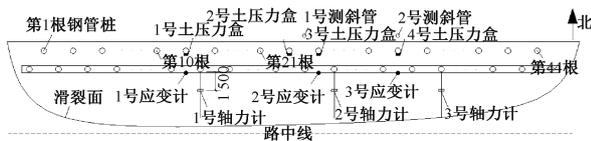


图 3 监测仪器布置平面

4.2 监测结果分析

1) 桩侧土压力监测结果分析

4 支土压力计在施工期间所受压力的变化曲线如图 4 所示。由图可以看出,除 3 号土压力计外,其余土压力计变化曲线基本重合,主要反映了土压力计埋设后随基层、面层施工而产生的侧向土压力变化。6 月 16 日土压力增长较多,主要是因为下面层刚铺筑完成,且 6 月中旬连续多日降雨,钢管桩所受土压力有所增长,而后逐渐趋于平稳。3 号土压力计虽在埋设后有少许增长,但土压力变化幅度不超过 0.1 MPa,且逐渐恢复正常值,说明坡体在钢管桩的支挡作用下逐渐达到一应力平衡状态,也说明了钢管桩的支挡效果明显。

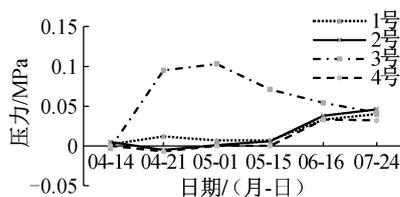


图 4 土压力变化曲线

2) 坡体深层位移变化分析

深层测斜仪是通过预先埋设在坡体内的具有一定柔性的测斜管与路基同步倾斜产生的倾角来监测坡体侧向变形的高精度仪器,精度可达 0.1 mm。

位于坡体主滑动区的 2 号测斜管随深度和时间的变化曲线如图 5 所示。由于埋设测斜管时,基层及面层尚未施工,为保证路面铺筑完成后能够正常测试,4 月 21 日埋设的 2 根测斜管上部 1.0m 均为

悬空状态,其在基层及面层铺筑过程中施工机械的影响下,侧向位移变化较大,但并不反映坡体实际水平位移量。自 4 月 21 日埋设测斜管到 7 月 24 日,除表层 1.5m 范围外,最大位移发生在距孔口 15.0m 位置处(即原地形线附近),最大位移量 3.25mm,主要发生于 5 月 15 日以后,此后位移量未再继续增加,这与土压力计反映的规律基本一致。另外此处变形较大还由于在此位置存在坡体积水现象,测斜仪滑到此位置时有明显的遇水声音。鉴于此,建议施工单位在路线南侧坡脚处增设截排水设施,防止客水经原地形坡面流经路基底部。

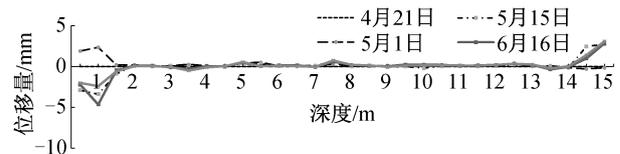


图 5 2 号测斜孔位移-深度变化曲线

3) 锚杆轴力变化分析

针对锚杆轴力的监测点共布置 3 个,其中 1 号测点由于后期施工被破坏。2 号及 3 号轴力计随时间变化曲线如图 6 所示。由图 6 可以看出,锚杆轴力的增长主要发生于 5 月 15 日前,但 5 月 1 日前锚杆外端头并未与钢管桩连接,为全长注浆以后的自由状态,其张拉力增长主要与杆体注浆、沿斜向钻孔的重力分力等因素有关。5 月 1 日—5 月 15 日,受水稳层施工等因素影响,张拉力有所增长,但后期随着支护结构的完工,张拉力趋于平稳且有所下降。

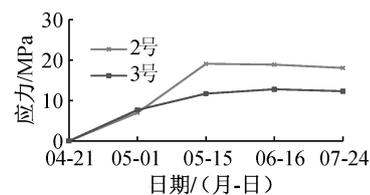


图 6 锚杆轴力-时间曲线

4) 联系梁混凝土应变数据分析

本监测系统中共布置位于联系梁受压面上的应变计 3 支,1~3 号应变计随时间的变化曲线如图 7 所示。由图 7 可以看出,随着时间的推移,应变计所记录的联系梁内混凝土的应变逐渐减小并趋于平稳,这是由于联系梁为一被动受力结构,其应变的增大与钢管桩的变形密切相关,从上述监测数据分析可以看出,由于钢管桩+锚杆的联合支挡结构已完全控制住了坡体的继续滑移,因此联系梁内混凝土的应变也逐渐趋于稳定。

(下转第 96 页)

统的围堰外侧抛石防护,水下模袋混凝土结构具有整体性好、施工便捷、抗冲刷能力强等优点。结合工程特点,为兼顾筑岛围堰冲刷防护和回填土体造成软土挤淤的影响,在围堰外侧设置水下模袋砂和模袋混凝土冲刷防护结构。

为保证围堰结构长期渡台稳定,设置水下模袋混凝土厚 60cm,宽 39.15m,模袋砂设在模袋混凝土下部。为减少回填土对围堰结构的不利影响,改善结构受力,设两级斜坡、两级反压护道。上层反压护道顶标高+2.000m,宽 6.0m,上层斜坡坡度 1:2,宽 6.0m;下层反压护道顶标高-1.000m,宽 15.0m,下层斜坡坡度 1:3,宽 12.15m。

4 结语

伶仃洋大桥东锚碇基础处于离岸海洋环境,采用水中“∞”字形地下连续墙作为锚碇基础施工支护结构。综合考虑地下连续墙施工工期、建造成本、工程质量、施工安全等因素,提出锁扣钢管桩/工字形板桩组合圆形围堰筑岛方案,将水上施工环境转为陆上施工环境。针对离岸、深厚淤泥软弱土层,采用水下开挖清淤+塑料排水板+砂石垫层排水固结软基处理方案,借助围堰筑岛回填土体,加快软基承载力增长,缩短固结等待时间。借鉴“环箍效应”,提出一种适应组合圆形筑岛围堰变位的平

行钢丝绳柔性“自平衡”约束装置,实现钢管桩与平行钢丝绳围箍的协调变形。围堰外侧冲刷防护采用水下模袋砂/模袋混凝土组合防护结构,设两级斜坡、两级反压护道,兼顾筑岛围堰冲刷防护和回填土体造成软土挤淤的影响。相比常规围堰筑岛方法,伶仃洋大桥东锚碇围堰筑岛工艺可缩短工期、降低工程成本,可为后续类似工程的设计施工提供参考。

参考文献:

- [1] 杨兆仁.海域人工岛超深地下连续墙施工技术研究[J].建筑机械,2019(7):58-61.
- [2] 谢江松,王政平,湛杰.某跨海大桥锚碇地下连续墙施工方案探讨[J].水利规划与设计,2019(3):95-100.
- [3] 林鸣,林巍,王汝凯,等.人工岛快速成岛技术——深插大直径钢管筒与副格[J].水道港口,2018,39(S2):32-42.
- [4] 曹俊伟.沿海大厚度淤泥地基上模袋砂围堰设计与施工[J].中国水运(下半月),2013,13(2):273-274.
- [5] 董雷.塑料排水板堆载预压法在港口工程软基处理中的应用[D].大连:大连理工大学,2016.
- [6] 夏国光,尤乐.水下现浇模袋混凝土施工质量控制[J].水运工程,2011(3):173-176.
- [7] 宋健,胡风明,李鸿盛,等.三峡库区危岩带下悬索桥锚碇基坑施工技术及其监测[J].施工技术,2020,49(19):47-52.
- [8] 宋健,李鸿盛,胡风明,等.砂泥岩互层区超深锚碇基坑施工技术与变形监测[J].施工技术,2021,50(7):26-30.

(上接第 91 页)

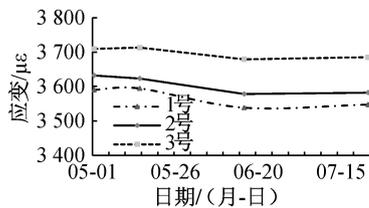


图 7 联系梁混凝土应变-时间曲线

5 结语

1) 实践表明,采用抗滑钢管桩+锚杆+钻孔注浆的联合加固技术对高填方路基进行加固,可有效提高路基抗侧滑能力。

2) 路基加固施工过程中建立动态监测系统,通过对桩前土压力、锚杆轴力、坡体深层位移等指标的现场监测,可为施工开展提供及时的反馈信息,对于验证原设计方案的科学性及其后期高填方路基的安全运营都有着极其重要的作用。

3) 本文的路基加固设计方案、施工步骤及动态监测方案可为类似工程的设计、施工及运营管理提供借鉴。

参考文献:

- [1] 刘远程,刘涛,杨杰.深厚软土地区高填方路基边坡稳定分析[J].公路,2019,64(1):73-78.
- [2] 崔昌洪,刘武松,田世宽.某高填方路基加宽施工技术[J].施工技术,2013,42(23):49-52.
- [3] 张思峰,宋修广,李艳梅,等.边坡预应力单锚索耐久性分析及其失效特性研究[J].公路交通科技,2011,28(9):22-29.
- [4] 李丰,杨清华,万亩,等.高边坡滑移的分析与处治[J].施工技术,2018,47(S4):869-871.
- [5] 孙建岭,武占东,杨晓春.边坡加固技术的优化[J].煤炭技术,2015,34(11):225-227.
- [6] 靳静,梁小勇,杨广庆.岩质边坡滑移治理的现场监测分析[J].公路,2019,64(3):16-21.
- [7] 肖枫.抗滑桩优化设计在滑坡治理中的应用[D].西安:长安大学,2018.
- [8] 孙书伟,朱本珍,冯孟乾.微型抗滑桩加固边坡极抗力研究[J].铁道工程学报,2017,34(7):36-41.
- [9] 王学坤,胡帮海.边坡参数取值研究以及加固措施分析[J].公路工程,2014,39(3):192-195.
- [10] 刘金波,赵岚涛,郭金雪,等.灌注桩后注浆优点及质量问题预防[J].施工技术,2017,46(8):140-144.