

云阳县滨江大道路基挡土墙变形分析与加固

王洪庆, 严泽强, 马 健

(长江岩土工程总公司〈武汉〉, 湖北 武汉 430010)

摘 要: 云阳县滨江大道路基挡土墙在运营工况下, 由于路基运营环境的变化导致了填土的物理力学性质的改变, 挡土墙发生了位移和变形。在分析了变形原因的基础上, 提出了抗滑桩预应力锚索联合加固方案, 并取得了良好的治理效果。介绍了该工程加固方案设计抗滑桩预应力锚索施工工艺。

关键词: 路基; 挡土墙; 变形; 抗滑桩; 预应力锚索

中图分类号: U417.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2012)02-0070-04

Analysis on Retaining Wall Deformation in Binjiang Road of Yunyang County and Reinforcement/WANG Hong-qing, YAN yi-qiang, MA Jan (Changjiang Geotechnical Engineering Company 〈Wu han〉, Wuhan Hubei 430010, China)

Abstract: Due to the changes of subgrade in the operating environment, the changes of physical and mechanical properties of the fill were caused, displacement and deformation happened in the retaining wall. On the basis of analysis on deformation, joint reinforcement of pre-stressed anchor cable and anti-sliding pile was proposed with good effect. The paper introduced the design of reinforcement scheme and the construction technology of pre-stressed anchor cable for anti-sliding pile.

Key words: subgrade; retaining wall; deformation; anti-sliding pile; pre-stressed anchor

1 工程概况

云阳县位于三峡工程库区腹地, 属三峡库区全迁县城之一。新址地处铁峰山脉东延部分南麓, 为构造侵蚀-剥蚀斜坡、残丘地貌。主要规划区为以磨盘寨为中心的长江北岸与小江南岸带状地带, 在新县城建设过程中, 因工程需要, 建设了很多挡土建筑物。

云阳县滨江大道为新县城的交通主干路, 南临长江, 东起 G25 号路, 途径塘坊路、五同路、云阳长江大桥、关萍路、青龙路、云阳客运码头, 西经双江大桥与 S103 公路相连。路线全长 6.4 km, 设计行车速度 50 km/h, 路基宽 26 m, 双向 4 车道; 道路多处为高边坡护坡路基。该道路竣工通车后, 经观测 K0+384.5~615.5 高挡土墙段侧向变形严重, 行车道路路面间出现宽度为 3~12 mm 的裂缝, 已严重影响道路安全, 且有继续发展的趋势。

砂岩, 混凝土基础, 墙高为 15~26 m, 墙顶高程 201.50 m; 公路内侧为人工切坡, 上部为第四系覆盖层, 下覆基岩为粘土岩和长石砂岩, 其中粘土岩风化剥蚀严重, 表面冲沟发育, 坡脚有坡积物堆积。路基填土为碎石土, 其主要成分为长石砂岩和粉砂岩。典型断面结构见图 1。

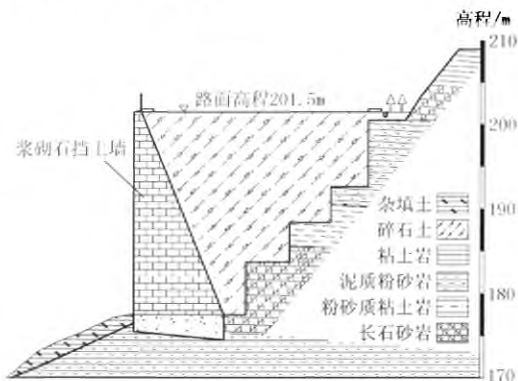


图1 路基典型横断面结构图

2 变形段路基地质条件及挡土墙结构

K0+384.5~615.5 段原为自然冲沟, 建设滨江大道时采取的是高挡土墙填方路基。路基基底为中风化基岩, 从上至下依次为厚层泥质粉砂岩、粉砂质粘土岩和长石砂岩, 岩体较完整, 强度较高; 公路外侧为浆砌条石重力式挡土墙, 地基为中风化泥质粉

3 变形原因分析

根据该变形段路堤的勘察资料并结合施工现场记录分析, 该段公路通车后, 填土中的含水量和粘粒含量逐渐增大, 使土体的物理力学性质发生了改变(见表1)。

收稿日期: 2011-08-16

作者简介: 王洪庆(1974-), 男(汉族), 山东冠县人, 长江岩土工程总公司(武汉)工程师、一级建造师, 岩土工程专业, 从事岩土工程、道路桥梁工程、水利水电施工和地质灾害治理工程施工管理工作, 湖北省武汉市解放大道 2805 号(美联小区)9-2-501(430011), zousanxia@163.com。

表 1 路基填土物理力学指标统计表

工况类别	填土容重 γ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	含水量 $w/\%$	填土内摩擦 角 $\varphi/(^\circ)$	填土与墙背的 摩擦角 $\alpha/(^\circ)$
原设计	18.20	9.2	42.0	21.0
运营后	19.80	13.1	36.0	18.0

根据《公路路基设计规范》(JTGD 30 - 2004),作用在挡土墙墙背上的主动土压力可按库仑理论计算,车辆荷载作用在挡土墙墙背填土上所引起的附加土体侧压力可换算成等效均布土层^[1]。

库仑主动土压力计算公式如下:

$$E_{ak} = \gamma H^2 K_a / 2$$
$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \sin(\alpha + \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\alpha + \delta) \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2}$$

式中: E_{ak} ——主动土压力合力标准值; K_a ——库伦主动土压力系数; φ ——填土的内摩擦角; γ ——土体重度; H ——挡土墙高度; β ——墙背填土倾角; δ ——墙背摩擦角; α ——填土与墙背的摩擦角。

根据莫尔库仑强度理论,影响填土上的抗剪强度的因素有土体的密度、粒径级配、颗粒形状和矿物成分^[2]。墙后填土含水量和粘粒含量增加,粘粒逐步充填填土的孔隙并起到润滑和保水作用,使填土的重度增大、内摩擦角和粘聚力减小。由库仑土压力计算公式可知,土体的内摩擦角降低,主动土压力系数增大,作用在挡土墙背上的主动土压力增大;土体重度增大,主动土压力也随之增大。逐渐增大的主动土压力使挡土墙产生了变形和位移,路面产生裂缝。

经仔细分析,造成路基填土含水量和粘粒含量增加的原因主要有:(1)路基填筑材料为碎石,其主要成分为长石砂岩和粉砂岩,并夹有部分的泥质粉砂岩和粘土岩,其中泥质粉砂岩和粘土岩有遇水软化和在空气中崩解的特性,二者崩解软化后造成填筑料中粘粒含量的增加,使路基填筑料保水性增强、排水性能降低;(2)公路内侧止水设施不足,内侧人工切坡的排水有进入路基的途径,特别是雨季,切坡排水中含有大量的粘粒,进入路基后逐步重填填土中的空隙,使路基填土的含水量和粘粒含量进一步增加;(3)挡土墙设置的排水孔深度不够,路基内的渗水不能顺畅排除;(4)施工期间,路基填筑过程中分层压实时部分结合面上的积水处理不够理想,填土的含水量超过最优含水量,压实度和密实度不能满足要求,填土孔隙比增大。

4 加固方案的选取

本次加固治理的目的是防止变形进一步发展,在分析变形发生发展的基础上,采取的主要治理措施是:(1)在挡土墙外侧施加有效的应力,增强挡土墙的抗变形能力;(2)减少路基渗水的途径,加强路基的排水能力,防止主动土压力继续增大和出现静水压力。

参考《公路路基设计规范》(JTGD 30 - 2004),对高填方路基常用的几种加固方法,如锚杆、抗滑桩、土钉和预应力锚索进行了比较。土钉适用于自稳性较好的路基边坡,不适合本工程;锚杆可适用于墙体较高大的岩基路堑路段,锚杆加载的预应力和长度有限制,本段路基挡土墙已发生较大变形,需要加载一定的预应力,锚固体需穿越路基进入基岩内,整体长度大,锚杆连接段数多,容易造成应力损失;本段挡墙最大高度为 26 m,单独使用抗滑桩截面的应力过大,需要很大的断面尺寸和很大的人土深度,对挡土墙基础有破坏作用,可能会降低挡土墙的抗滑稳定性,存在不安全因素,并且费用较高,经济上不尽合理;单独采用锚索,造成锚固部位的应力集中,挡土墙为砌体结构,易产生压屈变形和破坏,失去锚固效果。

最终确定采用安全系数相对较高的预应力锚索和抗滑桩联合加固的方案。锚索提供较大的预应力,抗滑桩之间设联系梁和混凝土面板,使应力得到有效扩散,减小墙体的压屈变形。

在公路内侧边缘设置防渗设施,阻止地表水进入路基内部。在外侧挡土墙上适当布置排水孔,加强路基的排水能力。

5 预应力锚索和抗滑桩联合加固路基挡土墙

5.1 技术方案设计

设计方案对 K0 + 384.5 ~ 615.5 全段挡土墙采用抗滑桩框架梁和预应力锚索进行加固,在挡土墙外侧设置抗滑桩,抗滑桩中心间距 4 m,基础深入下部中风化基岩 2 m,断面尺寸为 0.8 m × 1.0 m,上部每 4 m 设一道联系梁,联系梁间为混凝土面板,混凝土强度为 C25。预应力锚索置于抗滑桩和联系梁的交汇处,设计预应力为 1000 kN,锚固段位于中风化基岩内。根据《建筑抗震设计规范》(GB 50011 - 2010),云阳县 50 年超越概率 10% 的地震动峰值加速度为 0.05g,反应谱特征周期为 0.35 s,相应地震烈度为 6 度^[3]。依据《公路工程抗震设计规范》(JTJ 004 - 89),基本烈度为 6 度地区的公路工程,

除国家特别规定外,可采用简易设防^[4]。按《公路路基设计规范》(JTGD 30-2004)锚索体截面积计算公式为:

$$A_s \geq kP_d/P_{ptk}$$

K取2.1, P_{ptk} 取1470 MPa。

计算得 $A_s = 1337.58 \text{ mm}^2$ 。

钢绞线根数 $n = 1337.58/140 = 9.55$, 取 $n = 11$ 根。

锚固长度 L 按下式计算确定:

(1)按锚索注浆体与地层之间的粘结长度确定:

$$L \geq kP_d/(\zeta_1 \pi D f_{tb})$$

ζ_1 取1.00, D 为150 mm, f_{tb} 取290 kPa。

计算得锚索注浆体与地层之间的最小粘结长度

$L = 15.37 \text{ m}$ 。

(2)按锚索注浆体与锚索体之间的粘结长度确定:

$$L \geq kP_d/(\zeta_2 n \pi d_s f_{bs})$$

ζ_2 取0.6, d_s 为15.2 mm, f_{bs} 取2950 kPa。

计算得锚索注浆体与锚索体之间的最小粘结长度 $L = 2.3 \text{ m}$ 。

锚固段最小长度取以上两种结果的大者即 $L = 15.37 \text{ m}$, 结合锚固段岩土体的性质, 为防止锚固段软质岩石受水软化以及局部由节理切割的岩体承受拉力后松动^[5], 锚固段实际长度为18.0 m。

在公路内侧混凝土渗水沟下部设止水墙, 墙体深入基岩0.5~0.8 m, 墙顶与渗水沟相接, 截断地表水渗入途径。在挡土墙外侧的混凝土面板的中央增设排水孔, 排水孔深入路基内部, 向上倾角为8°~10°, 孔内设排水管, 排水管上部和侧面钻透水孔, 增加排水的路径。

挡土墙变形加固结构见图2、3。

5.2 加固方案的稳定性分析

预应力锚索加固后, 考虑汽车载重荷载和人力荷载, 不考虑地震作用时作用于挡土墙上的力系如图4, 不同工况下的安全稳定性系数计算结果见表2。

表2 典型断面挡土墙稳定性计算表(每延米)

工况类别	有效墙高 H_0/m	填土容重 γ $/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	填土内摩擦 角 $\varphi/(\text{°})$	填土与墙背的 摩擦角 $\alpha/(\text{°})$	主动土压力 系数 K_a	主动土压力合 力 E_a/kN	挡土墙自 重 G/kN	基底摩擦 系数 μ	稳定性系数	
									K_e	K_0
原设计	24.71	18.20	42.0	21.0	0.386	2146.45	3318.00	0.45	1.98	1.54
运营后	36.00	19.80	36.0	18.0	0.445	2675.96	3318.00	0.45	1.50	1.27
加固后	36.00	19.80	36.0	18.0	0.440	2675.96	3318.00	1.50	1.57	2.12

抗滑动稳定性系数 K_e 计算公式:

$$K_e = \frac{N + [(E_x - E_p') \tan \lambda] \mu + E_p'}{E_x - N \tan \lambda}$$

绕墙趾抗倾覆稳定性系数 K_0 计算公式:

$$K_0 = (GZ_g + E_y Z_x)/(E_x Z_y)$$

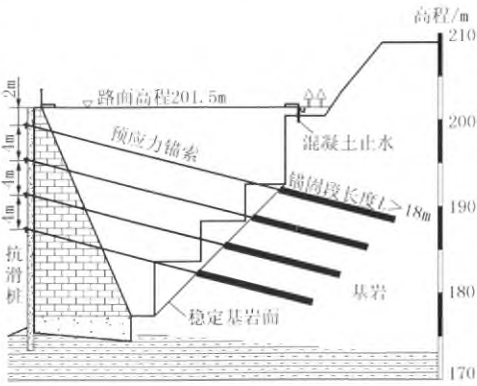


图2 预应力加固结构断面图

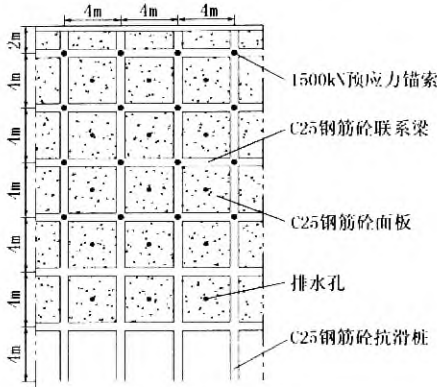


图3 预应力加固结构立面图

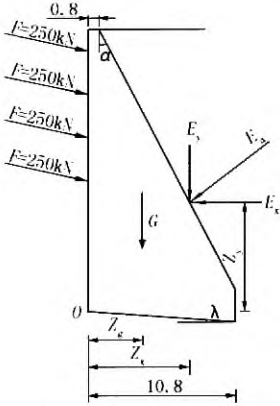


图4 作用于挡土墙的力系图(每延米)

式中: E_p' ——墙前被动土压力水平分力, $E_p' = 0$; λ ——挡土墙基础倾角; Z_g ——墙体自重对墙趾的力臂; Z_x ——主动土压力竖向分力 E_y 对墙趾的力臂; Z_y ——主动土压力水平分力 E_x 对墙趾的力臂; N ——作用于基础上合力的竖向分力。

由稳定系数计算结果可知,该段挡土墙在公路通车运营后,两种稳定性系数较在设计状况时均发生了较大幅度的降低,特别是抗倾覆稳定性系数已小于规范规定的要求,也是挡土墙产生变形的主要原因。采取预应力锚索加固后,抗倾覆稳定性系数得到了很大的提高,达到了相关规范的要求,可以遏制墙体的进一步变形,表明加固方案是切实可行的。

6 预应力锚索施工工艺

6.1 钻孔放样

对预应力锚索位置进行编号,采用测量仪器进行钻孔放样,控制孔位偏差 ≥ 3 cm。

6.2 钻进成孔

开孔后在挡土墙墙身部位采取回转钻进的方式成孔,进入路基填土后采用套管护壁法冲击钻进的工艺成孔,以利用套管对钻孔方向进行导向,防止填土层掉块和塌孔,提高钻进效率^[6],套管至进入基岩 0.5 m;进入基岩后再改为回转钻,提取岩心进行描述,以保证锚固段位于中风化基岩的有效长度;成孔过程中及时测量孔深和孔斜,出现异常偏差时需进行纠偏纠斜。可采取多个作业面同时施工的工艺以提高效率。

6.3 锚索制作安装

锚索采用 11 ϕ 15.2 mm 高强度、低松弛预应力钢绞线编制而成,锚固段锚索面除油除锈,自由段做防锈蚀处理,锚索前端设导向帽,中间每 2 m 设置一道隔离架,灌浆管前端距导向帽 0.5 m;钻孔完成后进行清孔,验收后进行锚索安装,采取均匀慢速的方式逐渐放置至孔底,孔口外应预留足够的张拉长度。

6.4 注浆

浆液为 425 号普通硅酸盐水泥和细沙配置的 M30 砂浆,浆液水灰比 0.45;注浆前使浆液充分搅拌均匀,现搅现用,注浆压力 ≤ 0.3 MPa;当孔内浆液初凝后及时进行二次注浆,保证孔内注浆饱满。

7 抗滑桩、联系梁和面板施工工艺

7.1 抗滑桩施工

7.1.1 挖孔

墙前填土厚度较小,采用人工挖孔隔桩施工的工艺,首先清除表面填土至基岩面,岩性为泥质粉砂岩,属软质岩石,使用轻型凿岩机冲击破碎,桩孔上部设 0.8 m 护栏,挖孔过程中及时核对孔内的地质情况,出现异常时及时通知设计单位进行调整。

7.1.2 护壁

挖孔每节深度为 1.0 m,岩层破碎时可适当减小,护壁前检查桩孔的结构尺寸和偏心情况,符合设计要求后安装护壁钢筋、模板和浇筑混凝土,达到一定强度后拆模进行下一节的施工。

7.1.3 桩身钢筋制安和混凝土浇筑

当桩孔进入中风化基岩的深度达到设计深度后,再次校正桩孔的结构尺寸和中心偏差;由于施工场地的限制和桩孔深度较浅,桩身钢筋笼采取孔内制作安装,检查验收后进行桩身混凝土浇筑,采用插入式振捣器振实,混凝土浇筑必须一次性完成并及时进行养护;地面以上部分桩身混凝土施工时尽量少设置施工缝,桩身接头时需进行凿毛和清洗接触面,桩间接头交错布置,禁止相邻桩间的接头在同一水平面上。

7.2 联系梁和面板

桩身到达最下方的联系梁时进行联系梁和面板的钢筋制安和模板架立,钢筋和模板验收后和桩身混凝土同时浇筑,在混凝土达到一定强度后进行下一阶段的面板和联系梁的施工依次至挡土墙面,始终保持面板和桩、联系梁的整体性施工(见图 5)。



图 5 建设中的滨江大道挡土墙锚固工程

8 预应力锚索的张拉与锁定

8.1 张拉

张拉前对张拉设备进行标定,确定其精度符合相关标准;当锚索注浆、抗滑桩和联系梁混凝土均达到设计强度后,进行锚索的张拉;张拉分 6 级二次进行,即按照设计应力 1000 kN 的 20%、40%、60%、80%、100%、110% 进行逐级张拉,第一次为前 3 级应力,第一次完成 5 天后进行第二次张拉,张拉至最后一级并持荷一段时间后进行锁定。

8.2 应力补偿措施

在部分初期应力损失完成后,选择适宜的时间对锚索张拉并进行补偿张拉,一般在初次张拉锁定

(下转第 84 页)

和监督:

(1)每次爆破所需火工品采用武装押运至工地现场;

(2)工地内部不设临时药库,当次火工品当次使用,做到准确无误;

(3)火工品进入施工现场后,工地内部非爆破人员全部撤离;

(4)施工期间工地外围派10余名保安全程进行巡逻警戒;

(5)施工现场安装多个摄像头,闭路电视专人监控,并拷贝留底。

5 爆破效果和体会

5.1 爆破效果

本工程共爆破16次,爆破网路安全可靠均一次爆破成功,没有发生中断现象;爆破参数选用合理,支撑爆破效果较好,混凝土与钢筋完全脱离,块度均匀,围檩靠近连续墙位置有部分混凝土尚未完全脱离但已经松散,爆后采用小型机械一天清凿完毕;防护措施安全有效,爆后申康宾馆和宋氏别墅等建筑安全稳定,已经开裂位置没有加剧;爆破飞石全部控制在基坑以内;爆破后约1 min扬尘从防护棚中慢慢升起,施工人员立即采用水枪进行喷淋,爆破扬尘得到一定控制。整个工程通过精心设计、精心施工,

爆破完全达到预期目的,为业主节省了大量时间,得到周边单位的高度赞扬。

5.2 施工体会

(1)大型基坑内支撑爆破项目中,施工组织管理相当重要,尤其是与土建方的协调和配合、合理选择爆破分区,更有利于整个工程的顺利进展。

(2)支撑与围檩交界位置在支撑爆破前,采用人工方法切断,对控制爆破振动有很好的效果。

(3)支撑拆除爆破单次爆破总药量较大、分段较多,采用孔内孔外同时延期技术可以有效控制单段起爆药量,从而控制爆破振动,减少爆破飞石。

(4)支撑爆破拆除,通过在防护棚上铺设油布等材料,一方面可以有效控制飞石,另一方面还可以减少爆破扬尘。

参考文献:

- [1] 刘殿中. 工程爆破实用手册(第2版)[M]. 北京:冶金工业出版社,2003.
- [2] 冯叔瑜,吕毅,杨杰昌,等. 城市控制爆破(第二版)[M]. 北京:中国铁道出版社,2000.
- [3] GB 6722-2003, 爆破安全规程[S].
- [4] 徐建军,赵全顺. 定向爆破拆除框架厂房[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(11):78-80.
- [5] 陈作彬. 岩土爆破工程危险源辨识、风险评价和控制[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(3):78-81.

(上接第73页)

后10~15天进行补偿张拉以减少应力损失^[7]。

8.3 锚头的封闭与保护

补偿张拉完成后,锚具外留存300 mm的钢绞线,多余部分采用机械切割截除,采用C25混凝土及时封闭锚头以保护其正常工作。

9 治理效果

该段挡土墙变形加固工程于2006年12月20完工移交,至2009年6月20日对其变形进行持续监测,累计变形量最大值为1.2 mm,已无继续发展的趋势,表明挡土墙已处于稳定状态,治理措施达到了预期目的;该处挡土墙外侧土地又得到有效利用,至2010年已建成某公司18层办公楼一栋,当地建设管理部门对该段挡土墙的变形治理效果十分满意。

10 结语

该段路基挡土墙在运营状况下由于墙背后填土

的物理力学性质发生了变化,导致墙体变形,通过分析和采取有效的加固方案,使其变形得到了根本性治理。表明维护填土路基在设计工况下运行的重要性,一旦运营环境发生了不利变化,会对挡土建筑物造成严重的危害,同时表明了抗滑桩预应力锚索联合加固措施具有安全系数大、成本低、施工效率高等优点,可以在类似工程中得到更广泛的应用。

参考文献:

- [1] JTGD 30-2004, 公路路基设计规范[S].
- [2] 钱德玲. 土力学[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [3] GB 50011-2010, 建筑抗震设计规范[S].
- [4] JTJ 004-89, 公路工程技术规范[S].
- [5] 谭彬建,俞敏,息颀,等. 桂柳高速公路边坡预应力锚索加固方案设计[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(5):73-77.
- [6] 黄辉,牟文俊,陶林. 浅折大吨位、超长孔深锚索钻孔斜控制[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(6):71-74.
- [7] 刘玉元,高杰. 锚索预应力降低的影响因素探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(1):27-28.