

振冲置换法在长江护岸地基处理中的应用

刘波,牛运华,杨波

(长江勘测规划设计研究院,湖北武汉 430010)

摘要:为解决长江高填方护岸深厚覆盖层地基的抗滑稳定问题,采用振冲置换法对地基进行加固处理。计算分析表明,振冲碎石桩处理范围、桩间距、桩长等参数应结合地形、地质条件进行设计,振冲置换法与其他地基处理方式进行有机结合能够取得更好的处理效果;护岸地基通过振冲置换处理后,抗滑稳定性能满足规范要求。采用振冲碎石桩对软弱地基进行置换形成复合地基,能够有效解决地基砂土液化问题、承载力问题及抗剪强度问题。

关键词:振冲碎石桩;振冲置换法;高填方护岸;地基处理;深厚覆盖层

中图分类号:TV861

文献标志码:A

文章编号:1006-7647(2017)02-0078-04

Application of vibro-replacement method in foundation treatment for Yangtze River revetment//LIU Bo, NIU Yunhua, YANG Bo(Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China)

Abstract: In order to solve the anti-sliding stability problem of the high-fill revetment along the Yangtze River, the vibro-replacement method was used to treat the deep overburden foundation of high-fill revetment. The results show that the design of the range of vibration stone columns, pile spacing, and pile length should be matched with the terrain and geological conditions. The vibro-substitution method combined with other foundation treatment methods can achieve better treatment effects. Through vibro-replacement, the anti-sliding stability of the revetment can meet the requirements of specifications. Using the vibration stone column to replace the soft foundation replacement to form a composite foundation, the problems of sand liquefaction, bearing capacity, and shear strength of the foundation can be solved effectively.

Key words: vibration stone column; vibro-replacement method; high-fill revetment; foundation treatment; deep overburden

振冲置换法地基处理技术可在砂土或黏性土地基中布置一群以石块、砂砾石等散粒体材料组成的桩体,这些桩体与原始地基构成复合地基,共同承载上部荷载。振冲碎石桩复合地基具有以下优点:①施工机具简单、操作方便,施工速度较快;②不需要钢材和水泥,仅利用碎石、卵石等当地硬质材料,造价较低;③以碎石或卵石等粗骨料振冲置换的天然地基,可加速地震时超孔隙水压力的消散,有利于地基抗震和防止液化;④针对不均匀的天然地基,可根据地基软硬程度对填料进行调整,使处理后的地基较为均匀;⑤振冲力对软弱土体施加的侧向挤压力较大,使得土体密实效果显著提高。振冲置换法地基处理技术在房屋建筑、水利水电工程等地基处理中得到广泛应用,并取得了显著的效果。

振冲置换法在 20 世纪 30 年代首次用于处理柏林某大楼深达 7.5 m 的松砂地基,使得地基密实度由 40% 提高到 80%,承载力提高了 1 倍。该技术在

20 世纪 80 年代引进我国后得到推广,主要用于房屋建筑、水利、交通等工程的地基加固处理^[1-8]。胡瑞生等^[9]利用振冲置换法对某住宅楼黏性土地基进行加固,通过现场随机抽样检测表明复合地基承载力能够满足设计要求;务坪水库湖积层软土地基通过振冲置换处理后,大坝基础承载力得到较大提高^[10];鲁基厂水电站坝基为粉质黏土、泥质粉细砂等土层,采用 180 kW 大功率电动振冲器加钻机引孔的施工工艺,成功解决了 33.5 m 深厚覆盖层振冲置换的施工技术难题^[11];阴坪水电站利用振冲碎石桩对地基进行大面积、大深度处理,有效解决了地基砂土液化问题、承载力问题及抗剪强度问题^[12]。

本文研究的高填方护岸位于长江岸坡地带,地质结构复杂,并且为深厚覆盖层地基。护岸不仅具有防止岸坡崩坍功能,还兼有护岸上方场平及建筑物的挡土墙作用。在覆盖层较厚、外荷载较大的条件下,高填方护岸地基振冲置换处理对设计者的要求更高。

1 工程概况

某场平护岸工程位于长江南岸,护岸工程的主要作用是保证护岸上方场平的整体稳定性,阻挡洪水对场平岸坡的侵袭,防止库岸再造,控制水土流失,改善生态环境,护岸及场平布置如图1所示。

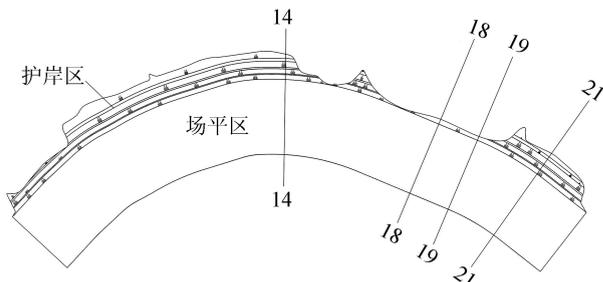


图1 护岸及场平布置示意图

护岸场区西、北、东三面环水,呈弧形凸出于长江南岸,以河谷阶地地貌为主。I级阶地阶面高程160.0~170.0 m,宽10.0~135.0 m,阶面坡度5°左右,阶面以下至河床岸坡坡度一般26°~30°或呈3~12 m高基岩陡坎、陡崖。II级阶地阶面高程185~200 m,宽度达200~300 m,为基座阶地,与I级阶地呈27°~35°坡度相接,部分地段呈陡坎相接。岸坡冲沟发育,地形破碎,沿岸坡向下游共发育有7条较大冲沟,冲沟均发源于剥蚀残丘地貌和II级阶地接触部位,切割较深。

护岸区域地层由侏罗系上统遂宁组(J_{3s})紫红色泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、灰紫色~灰色粉砂岩、灰色长石石英砂岩和第四系(Q)松散堆积物组成。泥岩多呈薄~中厚层状,失水易裂,浸水软化崩解,厚度5~30 m不等,以夹层形式分布;砂岩多呈中厚层状,厚度2.0~9.0 m,层理发育。

第四系松散堆积物主要由砾卵石、含砾卵石粉质黏土、粉质黏土、粉土、粉砂以及淤泥质土等组成。粉质黏土呈硬塑~可塑状态,粉粒含量高,厚度0.5~18.0 m;粉土呈中密~密实状态,干强度低,韧性低,黏粒含量较高,厚度2.0~14.0 m;粉砂多呈稍密状态,黏粒含量较高,厚度1.4~6.0 m;淤泥质土呈流塑~软塑状态,黏滞、滑腻,厚度1.5~5.0 m。

护岸结构如图2所示,采用顶部直立挡墙与堤式断面结合的混合式断面。堤身采用碾压堆石体填筑,堤顶高程177.3 m,顶宽8.0 m,临水侧边坡与背水侧边坡均为1:1.6。在临水侧边坡高程157.3 m以下为抛石棱体,内侧边坡为1:1.6,外侧边坡为1:2。分别在高程167.3 m、157.3 m和147.3 m处设平台,平台宽分别为3.0 m、5.0 m和10.0 m。背水侧边坡与回填料间设过渡反滤层,厚2.0 m。

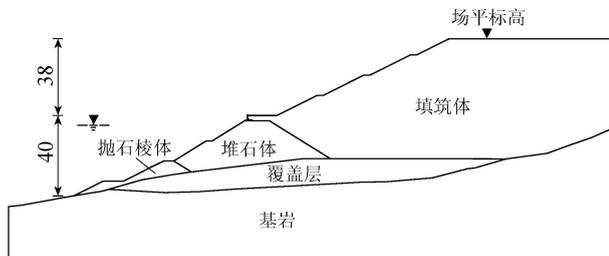


图2 护岸典型断面(单位:m)

护岸为高填方区,填方高度25~40 m,冲沟处可达40~65 m,主要由碾压堆石体和抛石棱体构成,护岸上方为土石填筑体,高度达38 m,护岸与其上方场平填筑体构成的边坡高度达78 m。护岸地基为粉质黏土、粉土、粉砂、含砾卵石粉质黏土等深厚覆盖层,最深达30 m。

2 振冲碎石桩设计

护岸地基采用振冲置换法进行处理,根据DL/T 5214—2005《水电水利工程振冲法地基处理技术规范》布桩设计。根据类似工程经验,振冲碎石桩桩径1.2 m,桩间距2.0 m,正三角形布置,在堆石堤脚外缘扩大5排桩。必要时,对个别部位的桩间距调整为1.8 m。桩体材料采用人工级配碎石料,最大粒径控制在6 cm以内,含泥量不大于5%。振冲器功率宜根据振冲碎石桩的设计深度和土体特性选用55 kW、75 kW或150 kW。

振冲置换率 m 计算公式为

$$m = D^2 / D_e^2 \quad (1)$$

式中: D 为桩身直径; D_e 为桩的等效影响圆直径, $D_e = 1.05d$,其中 d 为桩间距。经计算, $d = 2.0$ m时, $m = 0.3$; $d = 1.8$ m时, $m = 0.4$ 。

原始地基抗剪强度指标为 c_s 、 φ_s ,桩体的抗剪强度指标为 c_p 、 φ_p 。复合地基的抗剪强度指标 c_{sp} 、 φ_{sp} 的计算公式为

$$c_{sp} = (1 - \omega)c_s \quad (2)$$

$$\tan \varphi_{sp} = \omega \tan \varphi_p + (1 - \omega) \tan \varphi_s \quad (3)$$

式中 ω 为参数,取0.5。

无黏性土的 c_s 、 φ_s 取天然快剪强度值,黏性土取固结不排水剪强度值。各层土体经振冲置换后的复合地基抗剪强度指标见表1,砂性土体在稳定计算时不考虑 c_{sp} 值。

3 护岸抗滑稳定分析

护岸主要采用碾压堆石体结构,由于位于三峡水库水位变幅区,稳定分析按SL274—2001《碾压式土石坝设计规范》规定采用简化毕肖普法计算,最小安全系数正常工况为1.5,非常工况为1.3。

表1 复合地基抗剪指标

地层名称	c_s/kPa	$\varphi_s/(\circ)$	c_{sp}/kPa		$\varphi_{sp}/(\circ)$	
			$L=2.0m$	$L=1.8m$	$L=2.0m$	$L=1.8m$
			粉土	14.2	16.9	7.1
粉砂	8.0	23.0	4.0	31.1	2.6	33.6
Q_{4-1}^{al} 粉质黏土	16.5	16.4	8.3	28.3		
含砾卵石粉质黏土	13.0	17.0	6.5	28.5		
粉砂	11.0	19.0	5.5	29.4		
Q_{4-2}^{al} 粉质黏土	10.0	10.0	5.0	25.6		
粉土	8.0	10.0	4.0	25.6		
Q_3^{al} 含砾卵石粉质黏土	15.0	22.0	7.5	30.7		

表2 计算工况设计

工况编号	工况性质	工况描述
1	正常运用	正常蓄水位下稳定渗流期临水侧堤坡
2		设计洪水水位与枯水位之间各种水位下稳定渗流期临水侧堤坡
3		三峡坝前水位从175 m降至145 m期间的临水侧堤坡(非汛期)
4	非正常运用	三峡坝前水位从175 m降至145 m期间的临水侧堤坡(汛期)
5		三峡坝前水位从166.7 m降至145 m期间的临水侧堤坡(汛期)
6		三峡坝前水位从157.5 m降至145 m期间的临水侧堤坡(汛期)
7		正常蓄水位下稳定渗流期遇地震的临水侧堤坡
8		设计洪水水位与枯水位之间各种水位下稳定渗流期遇地震的临水侧堤坡

3.1 计算工况

分正常运用与非正常运用两种情况,设计8个计算工况如表2所示。

3.2 计算剖面

根据断面形式、高度以及地质情况,选取14—14、18—18、19—19、21—21共4个具有代表性的断面(图1)进行振冲碎石桩处理后护岸抗滑稳定分析。各计算断面振冲碎石桩处理范围如图3阴影区域所示。

3.3 计算结果及分析

各计算剖面经不同的振冲置换方案处理后,抗滑稳定系数结果见表3。

从表3可知:①14—14剖面护岸高度较高,覆盖层较厚,并与基岩的交界面为顺向坡,在孔隙水压力和上方回填区的共同作用下,直接在原地基上进行振冲置换处理,不能满足各工况下护岸的抗滑稳定要求;挖出部分覆盖层后再进行振冲碎石桩处

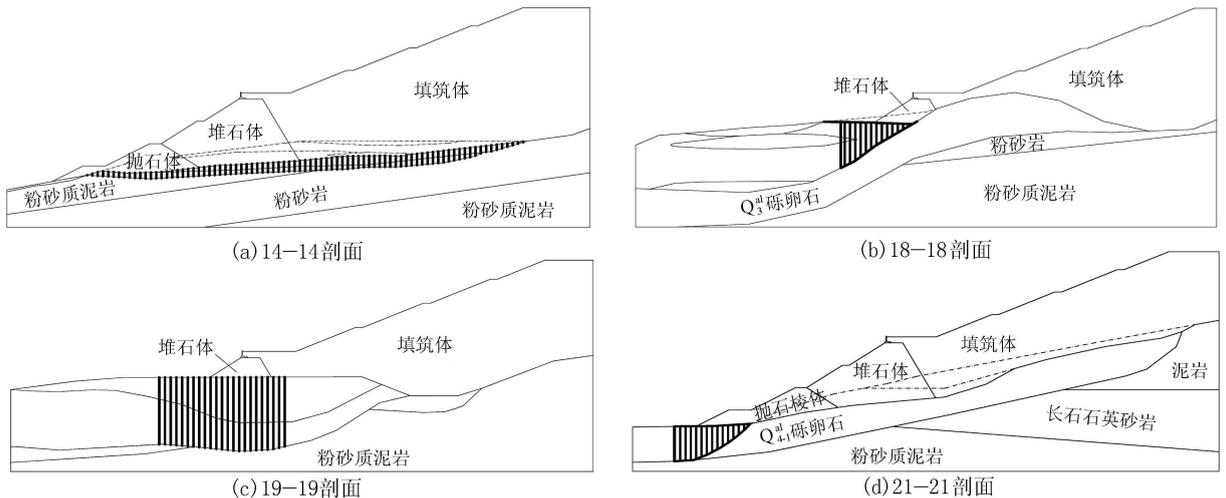


图3 振冲碎石桩处理范围

表3 抗滑稳定系数计算结果

计算剖面	处理方案	各工况的抗滑稳定系数							
		工况1	工况2	工况3	工况4	工况5	工况6	工况7	工况8
14—14	全碎石桩	1.63	1.38	1.40	1.40	1.48	1.66		
	部分挖除+碎石桩	1.81	1.58	1.60	1.61	1.77	1.88	1.61	1.47
	天然地基	1.35	1.15	1.23	1.20	1.56	1.56		
18—18	复合地基($D=2.0m$)	1.61	1.46	1.56	1.51	1.91	1.91		
	复合地基($D=1.8m$)	1.67	1.52	1.61	1.56	1.95	1.96	1.52	1.40
	天然地基			1.15	1.07				
19—19	复合地基($L=20m$)			1.34	1.32				
	复合地基($L=30m$)	1.58	1.95	1.57	1.41	1.94	1.95	1.47	1.84
	天然地基								
21—21	复合地基	1.58	1.31	1.37	1.35	1.41	1.50		1.58
	部分挖除+碎石桩	1.74	1.56	1.56	1.57	1.60	1.57	1.45	1.42

理,一方面可以降低地基内的空隙水压力,另一方面减缓了地基持力层的顺向坡度,最终护岸的抗滑稳定满足要求。②18—18 剖面护岸坡脚处的覆盖层较厚,为抗滑稳定的薄弱环节,因此在坡脚进行振冲碎石桩处理。当桩间距为 2.0 m 时,抗滑稳定不能满足要求;当桩间距调整为 1.8 m 后,适当加密碎石桩可以满足护岸抗滑稳定要求。③19—19 剖面原始地基覆盖层厚度达 30 m,滑弧深度大于 20 m,在振冲置换深度为 20 m 的情况下,抗滑稳定系数不能满足要求,加深振冲置换深度,当桩长为 30 m 时,桩底至基岩处抗滑稳定可以满足要求。④21—21 剖面覆盖层厚度不大,但与基岩的交界面坡度较陡,直接对原始地基进行振冲置换处理不能满足要求,为此采用清挖方式处理,但坡脚处长期位于江水水位以下,水下开挖困难,采用振冲置换处理具备干地施工条件,施工相对方便,可操作性较强,最终护岸抗滑稳定可以满足要求。

4 结 论

a. 经振冲置换后的复合地基与原始地基相比,能有效控制护岸及其上方回填区的滑移变形。

b. 采用振冲置换技术进行松软地基处理时,应该结合地形、地质条件以及滑裂面的位置,对振冲置换的范围、桩间距、桩长进行合理的设计和优化,必要时可采用挖除等其他地基处理方式与振冲置换法进行组合,可以达到更好的地基处理效果。

c. 复合地基设计参数须在施工时予以保证,施工前有必要进行生产性试验对设计参数进行复核,对施工完成的振冲碎石桩及时进行抽样检测,使得施工质量有所保证。

参考文献:

[1] 何广讷. 振冲碎石桩复合地基[M]. 2 版. 北京:人民交通出版社,2012.

[2] 康虎,张国飞. 振冲碎石桩复合地基在火力发电厂中的应用[J]. 电力勘测设计,2014(2):11-14. (KANG Hu,ZHANG Guofei. Application of vibro-replacement stone column composite foundation to thermal power plant [J]. Electric Power Survey & Design,2014 (2): 11-14. (in Chinese))

[3] 陈祖煜,周晓光,陈立宏,等. 务坪水库软基筑坝基础处理技术[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2004,2(3):167-171. (CHEN Zuyu,ZHOU Xiaoguang,CHEN Lihong,et al. Foundation improvement techniques applied on a soft clay foundation of Wuping Dam [J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research,2004,2(3): 167-171. (in Chinese))

[4] 刘勇刚,严兵,袁凯. 苏丹上阿特巴拉水利枢纽软弱基础快速振冲处理[J]. 水电与新能源,2014(10):11-13.

(LIU Yonggang, YAN Bing, YUAN Kai. Rapid vibroflotation for soft foundation of dam complex of Upper Atbara Project in Sudan [J]. Hydropower and New Energy,2014(10):11-13. (in Chinese))

[5] 张辉杰,胡先举,李学海,等. 三峡二期围堰风化砂砾振冲加固检测成果分析[J]. 长江科学院院报,2002,19(4):30-32. (ZHANG Huijie, HU Xianju, LI Xuehai, et al. Analysis on vibrocompaction effects on weathered rock soil in second stage cofferdam of TGP [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute,2002,19(4): 30-32. (in Chinese))

[6] 何开胜,过兴发. 吹填粉细砂的无填料振冲密实试验与工程应用[J]. 岩土力学,2012,33(4):1129-1133. (HE Kaishen, GUO Xingfa. Test and application of vibro-compaction of dredging silty fine sands without additional backfill materials [J]. Rock and Soil Mechanics,2012,33(4):1129-1133. (in Chinese))

[7] 周健,胡寅,林晓斌,等. 粉细砂的室内无填料振冲试验研究[J]. 岩土力学,2003,24(5):790-794. (ZHOU Jian, HU Yin, LIN Xiaobin, et al. Laboratory test of vibroflotation on hydraulic backfilled silty and fine sand without backfill [J]. Rock and Soil Mechanics,2003,24(5):790-794. (in Chinese))

[8] 何林,张邦全. 田湾河流域仁宗海水库电站坝基振冲加固处理施工技术[J]. 四川水力发电,2006,25(4):78-81. (HE Lin,ZHANG Bangquan. Construction technology for vibrating consolidation at dam foundation of Renzonghai Reservoir in Tianwanhe River Basin [J]. Sichuan Water Power,2006,25(4):78-81. (in Chinese))

[9] 胡瑞生,钟华. 振冲置换法在黏性土地基加固中的应用[J]. 岩石力学与工程学报,2002,21(9):1425-1426. (HU Ruisheng,ZHONG Hua. Application of vibration and substitution method in reinforcement of cohesive soil foundation [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2002,21(9): 1425-1426. (in Chinese))

[10] 王克. 务坪水库基础处理振冲碎石桩的设计与施工[J]. 人民长江,2005,36(9):30-33. (WANG Ke. Design and construction of crushed-stone piles using vibrating and impacting driver for Wuping Reservoir [J]. Yangtze River,2005,36(9): 30-33. (in Chinese))

[11] 李全福. 大功率振冲器在水电站坝基深厚覆盖层中的振冲试验与施工[J]. 四川水力发电,2010,29(3):106-108. (LI Quanfu. Vibration and percussion test and construction in deep overburden by using powerful percussion vibrator in dam foundation of hydropower station [J]. Sichuan Water Power,2010,29(3): 106-108. (in Chinese))

[12] 李进元. 振冲碎石桩法地基处理在阴坪水电站中的应用[J]. 岩石力学与工程学报,2013,32(增刊1):2968-2976. (LI Jinyuan. Application of foundation treatment with vibro-replacement stone piles to Yinping Hydropower Station [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2013,32(Sup1): 2968-2976. (in Chinese))

(收稿日期:2015-11-29 编辑:郑孝宇)