

振冲砂石桩在罗家堡水库大坝基础处理中的应用

潘 红 岭

(中国水利水电第五工程局有限公司,四川 成都 610066)

摘 要:罗家堡水库工程坝址位于重庆市黔江区马喇镇肖家河,大坝基础主要由粉质黏土及碎石土组成,具有高压缩性、低强度和低承载力的特点,工程施工中采用振冲砂石桩对大坝基础进行处理取得了较好的效果。振冲砂石桩施工设备简单、工艺操作技术容易掌握,施工速度快,降低了施工成本。通过振冲桩施工机械配置、施工方法、施工质量控制及施工效果等几方面阐述了振冲法在处理软弱地基中的应用。

关键词:石渣坝;基础处理;振冲砂石桩;施工方法;罗家堡水库

中图分类号:TV7;TV52;TV51;TV553 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2020)03-0007-04

Application of Vibro-flotation Gravel Pile in Foundation Treatment at Luojiapu Reservoir Dam

PAN Hongling

(Sinohydro Bureau 5 Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610066)

Abstract: The dam site of Luojiapu Reservoir Project is located in Xiaojiahe, Mala Town, Qianjiang District, Chongqing. The dam foundation is mainly composed of silty clay and gravelly soil, which has the characteristics of high compressibility, low strength and low bearing capacity. The vibro-flotation gravel pile is used to treat the dam foundation during the construction of the project, which has achieved good results. The vibro-flotation gravel pile construction equipment is simple, the process operation technology is easy to learn, the construction speed is fast, and the construction cost is reduced. This paper expounds the application of vibro-flotation method in the treatment of soft foundation through the aspects of construction machinery configuration, construction method, construction quality control and construction effect.

Key words: stone slag dam; foundation treatment; vibro-flotation gravel pile; construction method; Luojiapu Reservoir

1 概 述

振冲法对于处理软弱地基,特别是加固覆盖层较深的软弱地基发挥了其施工设备简单、操作简便、施工速度快、安全可靠、经济合理的特点。笔者根据罗家堡水库工程振冲砂石桩的施工情况,详细介绍了振冲砂石桩在坝基处理中的应用。

振冲砂石桩施工采用振冲器冲孔并将填入的砂石料振动密实。振冲器起振后,有很大的水平向振动力及端部射水的冲击力,利用高压水以 2 m/min 的速度将振冲器挤入地基中并下沉到加固设计标高处,在软弱土层中形成孔眼,然后清孔,逐步将孔眼内的稠泥浆用高压水清洗并排出孔外,冲孔形成后向孔内添加粗砂、砾石、碎石、卵石等填料,其粒径为 5~200 mm。振冲器振动砂

石料由下至上逐段进行,当每段填料在振冲器的强大推力下达到设计要求的密实度后,振冲器即可向上提升,进行上一段填料的振动,振动密实直至设计顶高程,进而形成一根具有一定直径和一定密实度的振冲桩体,与此同时,周围土体也在一定范围内被挤密实^[1,2]。

对于黏性土地基,因为饱和软黏土的透水性较差,振动力不能使土体中的孔隙水迅速排除而减少孔隙比,此时,振动力主要是将添加的填料挤密并将其挤密到周围黏土中形成粗大密实的桩柱,使桩柱与软性黏土一起构成复合地基。复合地基承受荷载后,由于原地基和桩柱的材料变形模量不同而使土中的应力重新分布,应力会相对集中到桩柱上去,因此,在没有提高软黏土承载能力的情况下,整个地基承载力得到了提高^[3]。

收稿日期:2020-04-10

罗家堡水库坝址位于重庆市黔江区马喇镇肖家河河床上,是一座具有农业灌溉和供水等综合效益的中型水利工程。挡水建筑物为沥青混凝土心墙石渣坝,坝顶宽 7 m,坝底宽度为 125.5 m,最大坝高 30.7 m,坝顶轴线长 203.4 m。

该工程河床部位覆盖层厚达 35.1 m,待清除表面的腐植土和淤泥质粉质黏土后,主要由粉质黏土和碎石土组成。土层含水率为 33%~41%,饱和度为 100%,压缩系数为 0.51~6.2 MPa⁻¹,具有高压缩性、低强度、低承载力的特点。需对大坝软弱地基进行处理。待清除覆盖层表面的腐植土和淤泥质粉质黏土后,大坝基础置于经振冲砂石桩处理后的基础上。 $\Phi 1$ m 振冲砂石桩共计打入 119 203 m。

2 坝基处理方案

为保证坝坡稳定和减少坝体沉降,同时加快施工期土层固结速度,提高复合地基承载力,确保大坝基础加固达到设计和有关规范要求,坝基采

用 $\Phi 1$ m 的振冲砂石桩进行处理,振冲砂石桩桩底至岩层顶面。振冲砂石桩的间距布置分两种情况,在坝体主要受力区桩体间距为 1.5 m $\times$ 1.5 m,其余区域为 1.8 m $\times$ 1.8 m。

该工程坝基振冲桩工程施工分为 A、B、C、D、E、F、G、H 共 8 个施工区,振冲桩各区覆盖层厚度均不相同。A、B、C、D 区位于大坝中心位置,覆盖层深度约为 20~35 m,振冲桩工程量约为 86 000 m,其中 A、B 施工区桩体间距为 1.5 m $\times$ 1.5 m,C、D 施工区桩体间距为 1.8 m $\times$ 1.8 m,桩体采用等边三角形布置;E、F 区位于大坝左岸且靠近左岸岸坡,覆盖层深度约为 10~20 m,振冲桩工程量约 20 000 m,桩体间距为 1.8 m $\times$ 1.8 m,桩体采用等边三角形布置;G、H 区位于大坝右岸且靠近右岸岸坡,部分振冲桩在肖家沟河沟内,覆盖层深度约为 6~10 m,振冲桩工程量约为 14 000 m,桩体间距为 1.8 m $\times$ 1.8 m,桩体采用等边三角形布置。振冲砂石桩布置情况见图 1。

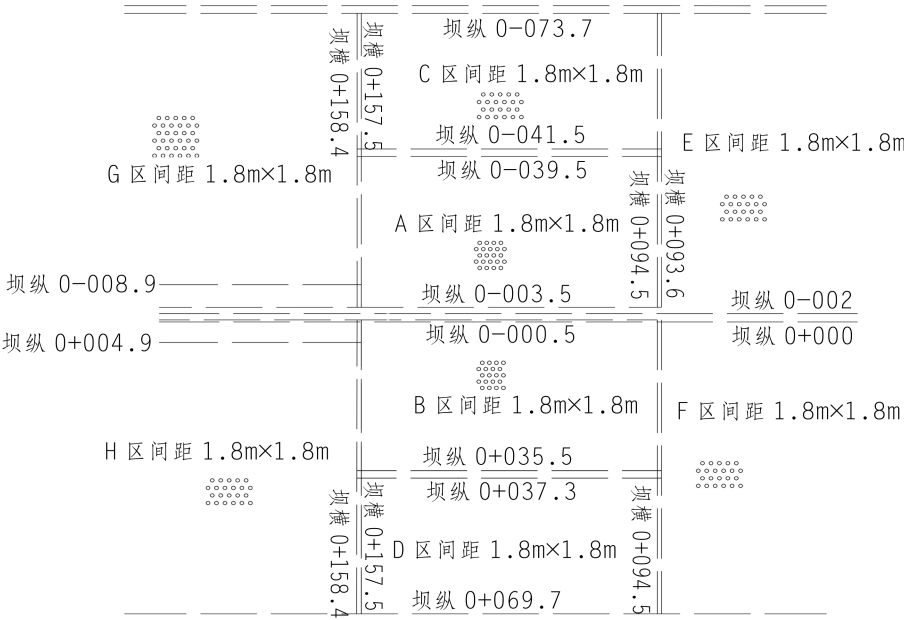


图 1 振冲砂石桩平面布置图

根据设计文件要求,在主体工程桩施工前需进行振冲砂石桩施工试验,以确定可以指导主体工程桩施工的各项施工参数。

3 生产性工艺试验

3.1 试验区设置

该工程试桩共布置了 4 个试验区,试验区共设置 50 根振冲砂石桩,桩体采用等边三角形布

置,每个试验区振冲砂石桩深度不同且桩体间距不同,具体情况见表 1。

①试验 1 区,位于坝体上游、覆盖层 10~20 m 区域,桩间排距为 1.8 m,试桩数量为 7 根。

②试验 2 区,位于坝体下游、覆盖层 20~35 m 区域,位于河床中间位置,桩间排距为 1.8 m,试桩数量为 7 根。

表 1 试验区振冲砂石桩布置情况表				
序号	试验区	覆盖层深度 /m	试桩数量 /根	桩体布置方式
1	1 区	10~20	7	1.8 m×1.8 m
2	2 区	20~35	7	1.8 m×1.8 m
3	3 区	20~35	29	1.5 m×1.5 m
4	4 区	4~10	7	1.8 m×1.8 m

③试验 3 区,位于坝体下游、覆盖层 20~35 m 区域,位于河床中间位置,桩间排距为 1.5 m,试桩数量为 29 根。1.5 m×1.5 m 的振冲砂石桩位于大坝基础主要受力区,需增加试桩数量。

④试验 4 区,位于坝体下游左岸侧、覆盖层 4~10 m 区域,桩间排距为 1.8 m,试桩数量为 7 根。

表 2 振冲砂石桩各试桩区设备配置表						
序号	试桩区	振冲器	起吊设备	填料设备	清水泵	泥浆泵
1	1 区	ZCQ130	25 t 汽车吊	LW321F 装载机	75 t SWA 离心泵	2PN
2	2 区	ZCQ150	QUY-50 履带吊	LW321F 装载机	75 t SWA 离心泵	2PN
3	3 区	ZCQ150	QUY-50 履带吊	LW321F 装载机	75 t SWA 离心泵	2PN
4	4 区	ZCQ130	25 t 汽车吊	LW321F 装载机	75 t SWA 离心泵	2PN

表 3 振冲器主要规格和技术参数表				
类型		规格型号		
		ZCQ150	ZCQ130	ZCQ75
振冲电机	额定功率 /kW	150	130	75
	转速 /转·min ⁻¹	1 450	1 450	1 450
	额定电流 /A	290	250	150
	振动频率 /Hz	48	24	24
	动力矩 /N·m	138	88	69
	激振力 /kN	276	200	160
	空振振幅 /m	18.9	9.0	9.5
	空振电流 /A	90	70	50
	长度 /m	3 023	2 860	2 600
	振动体直径 /mm	426	426	426
总重量 /kg		2 516	2 200	1 800

表 4 振冲桩拟定施工参数表							
设备型号	造孔电流 /A	造孔水压 /MPa	加密电流 /A	加密水压 /MPa	留振时间 /s	加密段长度 /m	填料量 /m ³ ·m ⁻¹
150 kW 振冲器	124	0.3~0.8	180	0.5	15~18	0.5~0.6	1~1.1
130 kW 振冲器	115	0.3~0.8	135	0.5	10~13	0.5~0.6	1~1.1

4 振冲砂石桩的施工方法

4.1 施工工艺

拟定施工设备及施工参数后,进行试桩施工并检测其施工质量是否满足设计要求。在满足设计要求的情况下,利用确定的施工参数进行工程桩施工。

4.2 施工准备

3.2 试桩机械的配置

振冲砂石桩的施工机械主要为振冲器及吊装设备。由于不同功率的振冲器贯入深度不同,且大坝基础中存在粗大木材、施工过程中容易发生抱卡导杆的情况而影响施工功效及质量,试桩施工时采用了不同的设备型号及配套设备。振冲器选用 150 kW、130 kW 振冲器,起吊设备采用汽车吊及履带吊。试桩区的机械配置情况见表 2,不同型号振冲器的主要规格和技术参数见表 3。

3.3 施工参数的选取

根据不同试桩设备且依据工程设计要求及试验结果确定的试桩参数见表 4。

振冲桩施工前,先进行三通一平,施工定位测量放线、定轴线,用木桩将轴线定位在不易被破坏的基坑侧面,将轴线用全站仪引入基坑内并用竹签标示桩位,以免漏孔、漏振,搭建好临时操控平台,设置排水沟、集水坑及沉淀池等。

4.3 定位与造孔

振冲器起吊设备(汽车吊或履带吊)就位后应

平整稳固,确保在施工中不发生倾斜、位移,然后起吊振冲器对准桩位,开启供水泵。待振冲器下端射口水口出水的水压(0.3~0.8 MPa)、水量达到工艺要求时,启动振冲器,拉紧防扭绳索,待振冲器内的偏心块达到额定转速时,下放振冲器使其贯入地基中进行造孔。造孔过程中,振冲器应始终保持悬垂状态以保证垂直成孔,造孔过程中,记录造孔时的水压、电流值、造孔速度及返水情况。根据施工参数,该工程造孔水压采用 0.3~0.8 MPa;振冲器贯入速率不超过 2 m/min;振冲器下沉过程中的电流值不超过电机的额定值,造孔过程中将随时清理孔口泥渣,振冲器每贯入土中 1~2 m 孔段记录一次造孔电流、水压和时间,直至贯入到施工图规定的完孔深度。当造孔完毕,将振冲器上下反复提拔 2~3 次,以保证造孔的孔径。振冲砂石桩定位及造孔情况见图 2。



图2 振冲砂石桩的定位造孔

4.4 填料与制桩

成孔后即可进行填料及制桩工序。制桩时将水压控制在 0.1~0.5 MPa。填料方式主要有连续填料、间断填料、强迫填料三种方法。连续填料法优先于后两种方法,尤其适合深度较大的振冲砂石桩。孔壁较稳定且孔深小于 6 m 的振冲砂石桩适用于间断填料法。强迫填料适用于大功率振冲器。该工程大坝基槽软弱,振冲器提出孔口后孔壁容易塌落,加入回填料时,容易导致桩体沉降。

振冲砂石桩桩体回填料采用粗砂+碎石,最大粒径为 20 cm,禁止采用单级配石料,砂石料应采用砂石、卵石、角砾、粗(中)砂等性能稳定的硬

质材料,含泥量不大于 5%。回填料由装载机连续加料,加料不能过猛^[4]。

桩体质量采用加密电流、留振时间、加密段长度作为控制标准。加密自孔底开始,逐段向上。振冲器每次上提 50~60 cm,逐段做好振密搭接,以防漏振。加密时按试验确定的加密电流 135 A (180 A)控制,每段留振时间为 10~13 s(15~18 s)。制桩振密加固至孔口设计标高时,先停止振冲器运转,再停止供水泵。振冲桩填料、制桩情况见图 3。



图3 振冲砂石桩填料与振密

4.5 振冲质量控制

振冲砂石桩质量控制的关键主要是加密电流的大小、留振时间的设定及留振长度的控制。

加密电流控制系统与振冲器配套的自动控制系统为振冲器的一整套设备,因此,控制系统的设置是施工的关键,亦将减少人为操作引起的质量问题。

留振时间是根据施工参数进行人工控制,留振时间要控制在 10~12 s。留振长度根据振冲器导杆上焊刻的标尺进行控制,须将其控制在 0.5~0.6 m。制桩完成后,保证桩体平均桩径不小于设计桩径 1 m。

5 施工质量的检测、检验方法

振冲砂石桩施工结束后,待复合地基应力释放后方能进行质量检测,黏土地基间隔时间为 3~4 周,粉土地基为 2~3 周。

振冲桩施工质量的检验主要采用复合地基承载力试验。复合地基承载力试验采用静载试验,承载力试验所用的承压板为正方形。承压板的中心应与桩的中心保持一致^[5]。该工程试验桩经检测得知:复合地基承载力达到 220 kPa,桩体干密度及密实度均满足设计要求,所选用的参数合理,满足施工需要。

(下转第 74 页)

该组合钢混工字钢梁采用专用架桥机进行施工,属施工技术创新,解决了目前常规施工技术存在较大风险、施工周期长、施工成本太高而无法满足要求等问题。该专用架桥机取得的有益效果是:该设备施工工效高、结构合理、制造工艺通用、安全可靠、移动灵活、安拆方便,满足施工要求。该组合工字梁架设施工工艺与现行施工技术相比,可以减少汽车吊安装施工平台修筑、横向顶推安装搭设临时支架工程量、减少焊接高空作业等,为类似工程的安装施工提供了一种思路,值得借鉴。

参考文献:

(上接第6页)

参考文献:

[1] 胡安静,虞舜,刘启.甲岩水电站混凝土面板堆石坝坝料利用概述[J].云南水力发电,2017,18(增2):110—114+130.

[2] 丁晓唐,覃牧,崔恩豪.白鹤滩水电站料场补充开采规划优选设计[J].中国水利科技进展,2018,38(5):43—47.

[3] 李明.小中甸水利枢纽砂石料场开采加工和施工优化方案[J].中国水利,2018,41(16):25—26.

[4] 刘经彪.双江口300 m级别砾石土心墙堆石坝实施阶段填筑道路规划[A].四川省水力发电工程学会2018年学术交流会议暨“川云桂湘粤青”六省(区)施工技术交流会[C].四川

(上接第10页)

6 结 语

振冲法加固地基应用广泛,对处理堆石坝基础具有以下优点:

(1)施工机具简单、施工工艺容易操作,施工速度快,质量容易控制,地基加固效果好。

(2)与传统开挖换填工艺相比,避免了出现深基坑、大开挖等施工情况,降低了安全风险,节约了投资。

参考文献:

[1] 中国建筑工程总公司.地基与基础工程施工工艺标准[M].

世界第一井——赞比亚下凯富峡调压井衬砌施工全部完成

5月29日,经过636个日日夜夜的艰苦奋斗,赞比亚下凯富峡调压井顶部牛腿混凝土浇筑完成,标志着由中国水电五局承建的世界最大的调压井——下凯富峡超大型异形调压井衬砌施工全部完成。调压井混凝土衬砌总体分为四个阶段:一是阻抗板下部定型模板和组合模板的混凝土浇筑;二是阻抗板上部滑模作为内模和组合模板共同完成闸室段浇筑;三是闸室穹顶以上井筒滑模衬砌;四是调压井顶部牛腿组合模板浇筑。赞比亚下凯富峡电站调压井具有独特的设计体型,具有“开挖直径大、断面不规则、混凝土结构体型复杂、井口平台面积小”等特点,享有“世界第一井”的特殊身份。该调压井底部设置5个过流道连接5条发电洞;闸室设计为暗埋式倒悬穹顶结构,在开挖阶段和井筒一并开挖完成,在混凝土衬砌阶段通过带防渗钢板的混凝土墙壁将井筒和闸室分割独立。井筒内设置5个闸门槽,在衬砌时由异形滑模体一并衬砌完成。顶部设置牛腿体型,为保障牛腿体型结构连续,在5个闸门槽顶部设计悬空梁。总体上,混凝土结构设计新颖,体型复杂,其结构设计技术难度处于世界前列,对施工技术提出了严峻的挑战。该调压井开挖井深133.2 m,最大开挖直径50.8 m,最大开挖跨度62.42 m,衬砌后最大衬砌跨度为35.75 m,衬砌最大壁厚为10.9 m,设计混凝土8.5万m³,钢筋6382 t。

(中国水电五局 供稿)

[1] 石传金.工字钢钢混叠合梁的施工控制要点[J].山西建筑,2010,36(18):308—309.

[2] 刘小军,严力江.用工字钢梁架设公路跨线桥的施工[J].西部探矿工程,2004,16(6):142—143.

[3] 王志杰.液压顶推系统在钢梁安装中的应用[J].工程建设与设计,2016,64(5):117—119.

[4] 王树栋.钢梁与钢筋混凝土板结合梁安装技术[J].石家庄铁道学院学报,1997,10(1):69—72.

[5] 李铁成,周耀坤.焊接工字钢梁剪切屈后效应的研究[J].北方交通大学学报,1987,13(4):39—47.

作者简介:

钟长海(1983-),男,四川中江人,高级工程师,从事高速公路施工技术与管理工

作。 (责任编辑:李燕辉)

省水力发电工程学会,2018.

[5] 冯鹏程,冉念.古瓦水电站混凝土面板堆石坝填筑施工的质量控制[J].四川水力发电,2019,17(2):48—50,53+140.

作者简介:

李振谦(1987-),男,甘肃庆阳人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工

作。 李乾刚(1988-),男,河南商丘人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工

作。 曹巧玲(1986-),女,甘肃定西人,工程师,从事水利水电工程营

作。 (责任编辑:李燕辉)

北京:中国建筑工业出版社,2003.

[2] 龚晓南.地基处理手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2000.

[3] 徐至钧.建筑地基处理工程手册[M].北京:中国建材工业出版社,2005.

[4] 建筑地基处理技术规范,JGJ79—2012[S].

[5] 水电水利工程振冲法地基处理技术规范,DL/T 5214—2016[S].

作者简介:

潘红岭(1986-),男,河南濮阳人,项目总工程师,工程师,学士,从事水电工程施工技术与管理工

作。 (责任编辑:李燕辉)