

混凝土防渗墙在深层粉细砂层中成槽施工技术研究

蔡海燕

(中国水利水电第七工程局成都水电建设工程有限公司,四川成都 611130)

摘要:针对福堂水电站坝基混凝土防渗墙成槽施工遭遇深厚砂层强度较低及施工过程中基坑难以成形等难题,依据地基处理理论及技术方法,结合坝基砂土的实际情况,分析得出了砂土地基内摩擦角应达 22° 以上、压缩模量须大于22 MPa等强度指标,据此提出了深厚砂层地基振冲灌浆处理技术方案,确定了振冲碎石桩梅花形布置且间排距为1.5~2 m(平均间排距1.7 m)、振冲深度为3~15 m以及每 m^2 填料为 $0.9 m^3$ 等参数。地基处理后的监测结果表明:测得的相对密度由53%提高到80%以上,为原始密度的150.9%,砂层平均标贯数由12.5击提高到37.8击,为原来击数的302.4%,地基承载力特征值达到230 kPa,变形模量为25 MPa,文克尔系数为 $0.019 N/mm^3$,深厚砂土的各项力学指标及地基承载力得到了显著提高,完全可以满足工程实际需要。

关键词:防渗墙;粉细砂层;成槽;福堂水电站

中图分类号:TV7

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2013)06-0005-03

1 概述

对于在砂土、特别是厚层砂土地基中修建结构物大都困难重重,经常会导致基础不能成形或即使成形也不稳定,容易出现垮塌事故。福堂水电站位于长江一级支流岷江干流中上游的四川省阿坝藏族羌族自治州汶川县境内,设计装机容量360 MW。坝址距汶川县城15 km,最大坝高31 m,坝长187 m,坝基防渗采用混凝土防渗墙,墙轴线长195.81 m,墙深18~45 m,直线工期120 d。依据坝址地质条件和坝体形状与尺寸、坝体土体自重及其承受的附加应力,综合正常设计及施工技术,在浇筑防渗墙时必须采取开挖置换的方法进行处理。但是,如果在揭露深厚砂层过程中,当开挖至厚砂层地下水位以下时再采取置换处理已不现实,一是不能确保工期,二是成本太高,三是坝体安全与稳定得不到保证。

福堂水电站坝基防渗墙轴线0+090~0+110段出现面积为 $500 m^2$,厚3~15 m、宽约20 m的深厚砂层且大部分砂层处于地下水位以下,河床地层结构见图1。

由图1可知,地层由填土层、粉质黏土层和松散砂卵石层共三层组成,具体如下:

(1) 填土层:灰色、褐色,松散至稍密,主要由山坡土组成,含有碎石和大量黏土,层厚1~3 m。

(2) 粉质黏土层:黄褐色,砂及粉质土层,系



图1 福堂水电站坝基深厚砂层结构分布图
堰塞湖相沉积物,一般厚3~15 m,透水性微弱。

(3) 松散砂卵石层:卵石含量约占5%~8%,其余大部分为灰褐色的砂粒,砂粒径为0.2~3 mm,承载力较低,遇水易液化,厚度为10~20 m。

从施工实践看,在上述厚砂层特别是在地下水面以下开挖并浇筑防渗墙时,砂层都会出现流态且基坑垮塌严重,基坑成形困难,严重影响大坝稳定和工程建设安全、质量与工期。因此,必须研究出更为合理及可行的坝基防渗处理方法和技术,才能确保混凝土防渗墙成槽施工顺利、安全,使之完全达到坝基承载力要求。

2 加固处理方案分析

依据地基处理理论要求,结合厚层砂开挖难

收稿日期:2013-10-25

以成形的实际情况,选择振冲碎石桩作为散体材料桩,利用碎石置换砂土并通过挤密土体而形成较高强度的桩柱体来提高承载力并减小沉降,从而加固砂土,使得基坑能够成形且稳定。为此,必须对处理后的砂土强度进行分析,据此确定加固处理工艺及其参数。

2.1 处理后坝体强度要求分析

因砂土的粘聚力基本为零,其内摩擦角等力学参数和强度指标均较差,故要增大砂土地基的强度并适当降低其可压缩性。通过对电站大坝设计规模及成坝后的蓄水高度进行分析得知,充分结合河床基础承载要求与沉降允许范围,经振冲加密处理后的复合地基压缩模量和抗剪强度等指标应比原土层有较程度的提高。振冲前,经施工单位初步分析,复合地基承载力为 30 ~ 80 kPa,不具备抗液化能力;经研究及比较分析,在振冲后,内摩擦角提高到 23° 以上,压缩模量应大于 23 MPa,复合地基承载力须大于 200 kPa 并具有抗液化能力,才能满足坝体承载力要求。

2.2 处理方案分析

振冲设备选择适合深层砂粒地层振冲处理的 100 kW 振冲器,其具有穿透力强、造孔速度快、“抱孔”现象少且成桩深度大等优势。按地基加固技术,比选出具体的设计方案及其参数如下:

- (1) 振冲碎石桩的间排距为 1.5 ~ 2 m, 平均间排距为 1.7 m, 按梅花形布置;
- (2) 振冲深度以穿过深厚的砂层为原则(3 ~ 15 m), 个别孔深达 20 m;
- (3) 孔位误差不大于 10 cm, 密实电流为 80 ~ 130 A, 留振时间为 10 ~ 15 s, 加密段长 0.5 m, 填料粒径为 20 ~ 40 mm;
- (4) 振冲加固后地表 1 m 左右范围内由于上部压力小, 密实度不易保证, 故作挖除处理。

3 加固处理施工及其效果分析

振冲加固地层的顺序视土质和现场条件确定,一般可由里向外施工或由一边向另一边顺次进行施工。由于福堂水电站地层条件较差,并且在振冲加固范围附近有易受振冲影响的坡体,因而采用邻近坡体的一边开始施工,逐步向远坡体方向推移。在福堂水电站砂层处理施工中,制作碎石桩 441 根,平均桩长 13.5 m,总进尺 5 953.5 m,每 m 平均填料 0.9 m³,共回填碎石

5 400 m³, 获得了较好的效果。

3.1 施工工艺及流程

施工工艺及流程为:确定孔位→吊车和振冲器就位→启动振冲器→振冲器冲贯入地层直达设计深度→下入填充料(二级配碎石)并自上而下分段振冲密实→全孔加固结束形成桩后→固结灌浆→孔位转移,具体情况见图 2。



图 2 施工工艺流程图

3.2 振冲施工

(1) 造孔。

振冲器贯入地层造孔时,振冲时的水压大小主要取决于地层情况,一般保持在 0.03 ~ 0.08 MPa,贯入速度一般在 1 ~ 2 m/min 内,振冲造孔施工情况见图 3。



图 3 振冲造孔施工图

(2) 填料。

采用自下而上边振动边填料的方法,从孔口四周均匀下料,填料时保持小水量供给,使填料处于饱和状态。当填料粒径较大时,将振冲器提出孔口再加填料,每次加料数量不超过成桩的 0.5 m,填料后保证振冲器能贯入到原提起前深度,以

防发生漏振。

(3) 振 密。

振冲桩的密实程度以振冲器电机工作时显示的电流为控制标准。在福堂水电站砂层中使用100 kW 振冲器施工,当电流值达到80~130 A时为振冲密实。

(4) 灌 浆。

振冲完毕,采用0.5:1的纯水泥浆进行充填式灌浆处理。因振冲时填入了级配料,在灌浆时能顺利灌入水泥浆液,整个砂及级配料形成了一个二级配混凝土实体,能达到混凝土防渗墙成槽及坝基承载力要求。

(5) 施工质量控制。

影响振冲施工质量的主要因素包括制桩电流、加密段长度、留振时间、填料量等。由于工程设计要求比较高,施工难度大,故针对在该地层中的粉土桩体不易密实的问题,采取了适当提高制桩电流、延长留振时间、减小加密段长度、孔位的偏差控制等相应措施,用以保证该土层部位桩体的密实度,从而确保振冲施工质量。

3.3 加固效果检测与分析

处理后,测得其相对密度由53%提高到80%以上,为原始密度的150.9%。另外,依据检测技术,采用标准贯入试验、静力承载力试验以及局部开挖检查等方法在施工7 d后对福堂水电站砂层处理效果进行了检测。

(1) 标准贯入检验。

振冲施工完毕,对部分振冲桩进行了标准贯入检验,在此仅列出5-4#检查孔标准贯入检验结果(表2)。

表2 5-4#检查孔标准贯入检验成果统计表

孔深 /m	设计标贯 击数 /次	实际标贯 击数 /次	标贯击数是否满足 地基承载力要求
1~2	18	40	满足
2~3	22	60	满足
3~4	26	80	满足
4~5	28	86	满足
5~6	30	90	满足
6~7	32	96	满足
7~8	36	102	满足
8~9	37	110	满足
9~10	38	108	满足
10~11	39	112	满足
11~12	40	160	满足
12~13	42	158	满足

注:5-4#检查孔采用圆锥形动力触探(重型)方法进行检查,锤重63.5 kg,落距76 cm。

由表2可知,经振冲后,坝基砂层平均标贯数由12.5击提高到37.8击,为原来击数的302.4%,大大增强了地基承载力。

(2) 复合地基承载力试验。

振冲施工完毕,对3根桩进行了加固后的复合地基承载力试验,其试验结果见表3。

表3 加固后地基承载力试验结果表

项 目	桩 号			
	11-5	11-6	10-5	10-6
桩长 /m	15.5	15.5	15.5	15.5
最终加载量 /kN	1 400	1 400	1 400	1 400
最大沉降 /mm	52.13	50.25	47.15	51.23
单桩复合地基承载力 特征值 /kPa	$S/d=0.01$			
	平均值			
	推荐值			
	233.2	232.6	228.6	235.6
	231.5			
	230			

由表3可知,加固处理后,地基承载力平均达到231.5 kPa,最大沉降为52.13 mm,符合实际要求。

4 复合地基变形模量及文克尔系数分析

依据《岩土工程勘察规范》,对加固后的地基变形模量进行了分析,结果见表4。

表4 计算分析结果表

项 目	桩 号			
	11-5	11-6	10-5	10-6
复合地基变形模量 /MPa	18.28	35.12	23.52	28.21
复合地基变形模量推荐值 /MPa	25			
文克尔系数(即基床系数) /N·mm ⁻³	0.014	0.024	0.016	0.021
文克尔系数推荐值 /N·mm ⁻³	0.019			

由表4可知,在相同参数条件下,因散粒体构成碎石桩使其密实度受到较大影响,试验得出的变形模量差异较大,符合实际情况。

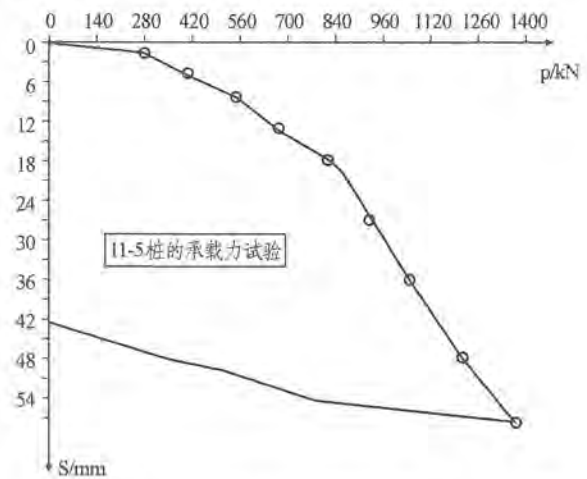


图4 11-5#桩的复合地基荷载试验P-S曲线图

(下转第13页)

(2) 优化爆破设计,减小爆破震动对围岩的损坏。开挖爆破前进行爆破试验,确定基本的爆破参数;开挖过程中,根据不同的围岩情况动态优化调整爆破参数。猴子岩水电站厂房顶拱周边孔光面爆破参数为:孔径 42 mm,孔距 40 cm,线装药密度 80 g/m。

(3) 针对地应力高,岩爆现象突出的问题,本工程主要采取了以下措施:

① 采取“短进尺、弱爆破”,以减小爆破对围岩的扰动。

② 掌子面施工超前应力释放孔,在隧道工作面附近喷水,用以改善围岩应力状态,减缓岩爆程度;

③ 掌握岩爆发生的规律,避开岩爆高发期施工,以减小岩爆的危害;

④ 对开挖面及掌子面采用喷混凝土进行封闭,优先施工 $\varphi 25, L=4.5$ m 的随机锚杆;

⑤ 紧跟施工设计的系统锚杆、挂网及喷混凝土施工;

(4) 加强施工期临时监测和永久监测,建立预警机制。当监测数据出现异常时,立即停止开挖爆破作业,对变形较大的部位进行加强支护,确保安全。

(5) 针对 IV 类围岩及软弱破碎带,严格贯彻“短开挖、强支护、快封闭、勤量测”的原则。在开挖前采用超前固结灌浆和超前锚杆进行超前锚固,开挖揭露后及时施工系统支护及加强支护,保

(上接第7页)

5 复合地基承载力分析结果

由图 4 可知,11-5#桩的复合地基载荷试验 $P-S$ 曲线没有明显拐点,与复合地基的工程特性相符合。

依据载荷试验结果,综合其他检测方法得出的试验数据,分析出复合地基承载力特征值为 230 kPa,复合地基变形模量为 25 MPa,文克尔系数为 0.019 N/mm³。说明采用振冲灌浆加固后,砂土的各项力学指标得到了较好的改善,桩体密实度良好,地基承载力得到了较大的提高,完全可以满足工程实际需要。

6 结语

(1) 福堂水电站坝基砂层抗震加固工程效果表明,采用对砂土特别是厚砂层进行振冲灌浆加固处理方案是可以实现的,施工中采用的碎石桩

证“一炮一支护”。

6 结语

猴子岩水电站厂房顶拱层于 2011 年 11 月 1 日正式开始开挖,2012 年 5 月 31 日开挖完成,2012 年 6 月 15 日支护完成,共计用时 7.5 月,创造了国内同规模地下厂房顶拱开挖工期最短的最好成绩。笔者就猴子岩水电站厂房顶拱层开挖施工中存在的问题有以下几点体会。

(1) 施工中加强现场的组织是关键。洞室的开挖、支护施工工序较多,施工现场必须进行科学组织,才能保证施工进度、洞室稳定及施工安全。

(2) 针对高地应力导致的岩爆现象,采用“快速锚固,及时封闭”是行之有效的措施。

(3) 洞室开挖施工监测至关重要。一方面需要超前或及时埋设监测仪器;另一方面,监测数据必须及时反馈给施工单位,以指导施工;第三,必须建立监测预警机制,出现异常,立即采取措施进行处理。

(4) 业主、监理、设计及施工单位必须建立应急处理机构,及时解决施工现场出现的问题,对工程施工进度特别有利。

作者简介:

田 君(1968-),男,湖北蕲春人,高级工程师,从事水电工程设计及监理工作;

袁平顺(1969-),男,重庆忠县人,高级工程师,从事水电、高铁工程施工技术及管理工作;

张 鹏(1986-),男,陕西洛南人,助理工程师,从事水电及高铁工程施工技术工作。 (责任编辑:李燕辉)

及其布置参数以及每 0.5 m³/m² 填碎石可使砂土的各项力学指标得到较好的改善且桩体密实度良好,地基承载力得到了显著提高,可确保电站坝基混凝土防渗墙成槽施工,完全能够满足工程实际需要;

(2) 应用 100 kW 振冲器在振冲施工中具有较大的优越性,施工效率大幅度提高,对碎石桩及桩间土加密效果显著增强,并能解决部分土层中因含大块石而无法成孔的问题;

(3) 因砂土地基本身及施工条件的复杂性,采用振冲灌浆方法对其进行加固处理,还须对碎石桩规格、桩位参数、填料量及其对砂土地基强度的影响做进一步研究。

作者简介:

蔡海燕(1977-),男,四川巴中人,高级工程师,从事水电工程施工技术与管理工作。 (责任编辑:李燕辉)