

云南鲁基厂水电站坝基振冲试验与施工

方成名, 李全福, 何 凤

(中国水利水电第十工程局有限公司基础工程分局, 四川 都江堰 611830)

摘要:鲁基厂水电站坝基建在覆盖层地基上, 地基为砂卵石层、块石层、泥质粉细砂等土层互层, 天然地基承载力不能满足设计要求, 采用 180 kW 大功率电动振冲器加钻机引孔的施工工艺, 解决了地层复杂、振冲加固处理深度大的施工技术难题。

关键词:大功率电动振冲器; 振冲试验; 振冲施工

中图分类号:TV541 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)04-0054-04

Vibroflotation Test and Construction of Dam Foundation of Lujichang Hydropower Station in Yunnan/FANG Cheng-ming, LI Quan-fu, HE Feng (Foundation Engineering Sub-bureau, Sinohydro Bureau 10 Co., Ltd., Dujiangyan Sichuan 611830, China)

Abstract: The dam foundation of Lujichang hydropower station was built on overburden formation with interlayer of sand gravel, block stone and shaly fine sand formation, the bearing capacity of natural foundation could not satisfy the design requirement; 180 kW high power electric vibroflotation device and drilling rig were applied to solve the construction difficulties in complex formation and deep vibroflotation consolidation.

Key words: high power electric vibroflotation device; vibroflotation test; vibroflotation construction

1 工程概况

鲁基厂水电站位于云南省禄劝县境内, 距昆明公路里程 177 km。水电站为普渡河流域梯级开发的一座中型引水式电站, 电站装机容量 102 MW。工程等别属 III 等, 工程规模为中型。电站工程区地震基本烈度为 VIII 度, 设计烈度为 VIII 度。

首部枢纽建筑物从左至右依次为: 左岸混凝土重力坝连接段、冲沙泄洪底孔、泄水闸、右岸混凝土重力坝和右岸土石坝连接段, 大坝前缘总长 235 m, 最大坝高 30 m。

首部枢纽主要建筑物(包括挡水坝、泄水闸、冲沙闸)除左岸部分砼重力坝连接段建于基岩外, 其余均建于河床砂卵石覆盖层上。因天然地基承载力不能满足设计要求, 拟采用振冲处理形成复合地基, 提高坝基河床砂卵石覆盖层的地基承载力, 以满足各主要建筑物对地基的要求。

2 工程地质条件

本工程坝址处河床覆盖层厚度呈 V 形分布, 为中间厚两边薄, 变化范围从 8.5 ~ 41.9 m。根据勘探结果, 河床覆盖层大致可分为 4 层(图 1):

第一层: 0 ~ 18 m 为含泥砂砾卵石, 以卵石为主, 次为砂、砾石及粘粉粒, 锥形贯入试验击数 6.5 ~ 33 击, 呈松散 ~ 稍密状, 天然状态承载力特征值为 200 ~ 300 kPa;

第二层: 18 ~ 25 m 为泥质粉细砂, 松散状, 成分以粉细砂为主, 次为粘粉粒, 标贯击数 4 ~ 5 击, 稍密状, 天然状态承载力特征值为 70 ~ 80 kPa;

其中左岸滩地深度 16 ~ 19.5 m、右河床深度 5.5 ~ 10.5 m 为块石夹卵石, 直径 5 ~ 30 cm;

第三层: 25 ~ 30 m 为粉质粘土, 可塑状, 标贯击数 11 ~ 12 击, 天然状态承载力特征值为 150 ~ 180 kPa;

第四层: 30 ~ 35 m 为泥质砂砾卵石, 中密 ~ 密实状, 以卵石为主, 次为砂砾石及粘粉粒, 天然状态承载力特征值为 350 ~ 400 kPa。

3 现场振冲试验

3.1 试验目的

(1) 确定合理的振冲桩布桩间距、填料级配及数量等参数, 以及振冲桩终孔条件。

(2) 选定施工机械(主要是振冲器型号)、施工

收稿日期: 2009-12-10; 修回日期: 2010-01-27

作者简介:方成名(1966-), 男(汉族), 重庆云阳人, 中国水利水电第十工程局有限公司基础工程分局党委书记兼副局长、高级工程师, 建筑工程管理专业, 从事各类基础工程的施工、管理工作, 四川省都江堰市蒲阳路 164 号; 李全福(1965-), 男(汉族), 山东阳谷人, 中国水利水电第十工程局有限公司基础工程分局副局长、高级工程师, 水工建筑专业, 从事各类基础工程的施工、管理工作; 何凤(1983-), 男(汉族), 四川仁寿人, 中国水利水电第十工程局有限公司基础工程分局助理工程师, 勘察工程专业, 从事地基与基础工程的施工技术管理工作。

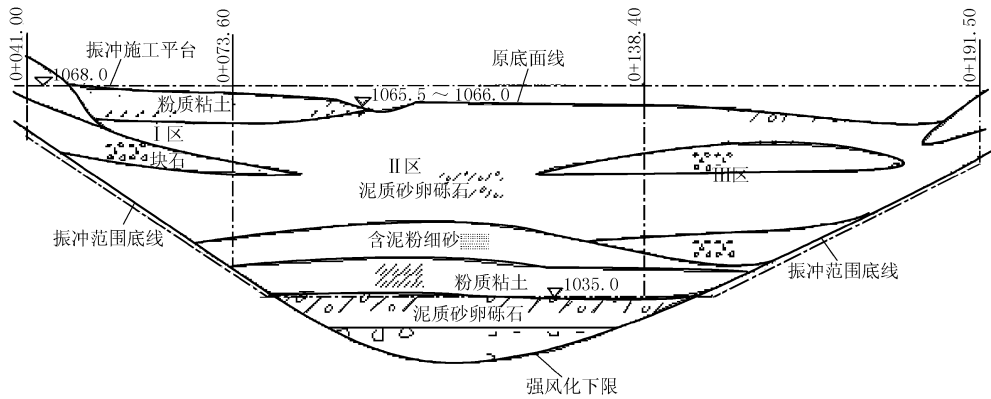


图1 鲁基厂水电站大坝坝基地质剖面图

工艺,确定施工技术参数(每米进尺填量、加密电流、留振时间、造孔水压,加密水压,加密段长度等),为大面积振冲施工优选合理的参数。

(3)通过试验,为坝基振冲加固施工确定现场质量检测的方法和参数。

3.2 振冲试验要求达到的设计参数

经过振冲处理后 A 区坝基复合地基承载力特征值 ≥ 690 kPa,B 区坝基复合地基承载力特征值 ≥ 500 kPa,振冲后砂卵石基础相对密度 ≥ 0.8 ,提出相应的压缩系数、压缩模量。

3.3 试验分区及桩位布置

3.3.1 试验区位置的确定

根据地质资料揭示的地层情况,以及设计所需的地基承载力要求,在坝址振冲区内选择具有代表性的区域分别进行振冲试验,参见图2。

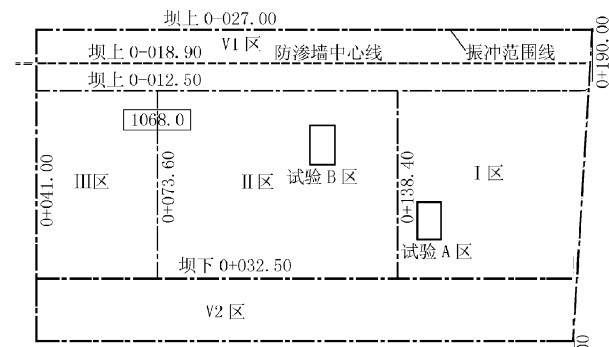


图2 坝基振冲试验区布置

3.3.2 桩位布置及试验设备

A、B 区选用 180 kW 振冲设备进行施工,等边三角形布桩,初步拟定桩间距 2.0 m,实际桩间距可通过现场试验情况由设计进行调整。

3.3.3 桩径及振冲深度

振冲砾石桩径暂按 1000 ~ 1200 mm 考虑,最终通过现场试验确定。

振冲试验平台高程为 1065.5 ~ 1066.0 m,根据地质钻探资料初步确定试验区的振冲深度为 23 ~ 29 m,各试验区的振冲深度需结合试验区原土(砂)地基重(II)动力触探结果以及施工过程中振冲器造孔电流的大小最终确定。

3.4 振冲试验实施

3.4.1 试验主要施工设备

工程试验实际选用振冲设备为:180 kW 电动振冲器;32 t 汽车吊一台、50 t 履带吊车一台等主要施工设备。

3.4.2 试验区施工前地质补勘

A 试验区 6 个重型圆锥动力触探孔的检测结果:0 ~ 5.0 m 粉质粘土为松散;5.0 ~ 6.5 m 含泥砂砾卵石层为稍密;6.0 ~ 7.6 m 含泥砂砾卵石层或块石为中密;7.0 ~ 11.5 m 含泥砂砾卵石层为松散;11.0 ~ 13.0 m 含泥砂砾卵石层为中密或块石;12.5 ~ 15.0 m 含泥砂砾卵石层为松散 ~ 稍密;14.0 ~ 18.0 m 为基岩。

振冲桩 B 试验区 17 个重型圆锥动力触探孔的检测结果:0 ~ 14 m 含泥砂砾卵石层为松散 ~ 稍密,2 ~ 3 m 为块石层,块石直径 30 ~ 80 cm,并含有孤石;11 ~ 18 m 为块石层,块石粒径约 30 ~ 70 cm;18 ~ 33 m 含泥粉细砂和粉质粘土为松散 ~ 稍密。

3.4.3 A 试验区施工

振冲碎石桩现场试验采用 180 kW 电动振冲密实法施工工艺,“直接振冲”施工方案。

施工参数控制:ZCQ-180 型电动振冲器造孔电流最大值 260 A,加密电流 190 ~ 210 A;加密留振时间 10 ~ 15 s;提升段长控制在 50 cm 以内;填料量大于 1.12 m³/m(桩径大于 1 m);桩长达到设计要求深度;造孔水压 0.8 ~ 1.3 MPa;密实水压 0.6 ~ 0.8 MPa;孔间距 2 m × 2 m。

振冲试验 A 区成桩 24 根, 共计 340.5 m, 填料 600.1 m³, 平均孔深 14.2 m, 平均桩径 1.25 m, 工作面高程 1069.5 m。振冲施工过程中遇较大块石时, 造孔速度慢、电流值高、振冲器上下跳动。按照设计要求终孔。

振冲变频器在本工程为首次使用, 其功能为对于不同密实度的地层, 采用不同的振动频率以提高其振冲器的穿透能力。A 区振冲试验桩, 全部采用变频技术穿透密实或块石地层, 效果非常显著。

3.4.3 B 试验区施工

(1) B 试验区现场试验仍采用 180 kW 电动振冲器密实法施工工艺, “直接振冲” 施工方案。用以验证 180 kW 电动振冲器是否能够穿透表层及 11 ~ 18 m 块石层。振冲施工控制参数与 A 试验区相同。

在实际振冲造孔过程中多次遇到强透水层, 孔口不返水现象。Sb-4-1 孔遇块石长时间没有进尺且孔口不返水, 孔口、孔壁坍塌将振冲器“抱死”, 孔深 16.0 m。后来又施工的 3 孔均未穿透 11 ~ 18 m 块石层。

(2) 鉴于 180 kW 电动振冲器无法直接穿透 11 ~ 18 m 块石层, 经四方商讨, 拟定振冲试验 B 区采用冲击钻机引孔穿透块石层后再振冲的方案。

采用冲击钻机引孔穿透块石层后, 再用振冲器造孔至设计深度, 然后进行清孔并按技术要求填料振密成桩。振冲造孔至设计深度时, 如果振冲器下沉速度仍较快, 应继续造孔至地层较密实为止。本试验区最大振冲深度达 33.50 m。

在施工试验期间, 因河水水位太高, 冲击钻钻孔时反复塌孔, 且工作面窄小, 钻机之间相互干扰, 造孔进度缓慢。鉴于此情况, 引进旋挖钻机开孔并埋设护壁桶, 再引孔至块石层后采用冲击钻机造孔到 20 ~ 24 m 位置, 最后用 180 kW 振冲器成孔成桩。

在投入旋挖钻机施工后, 工效明显的提高, 旋挖钻机造孔到 11 ~ 17 m 耗时约 2.5 ~ 4 h, 冲击钻造孔至 20 ~ 24 m 平均耗时 20 h, 振冲成孔、成桩 2 h。旋挖钻机造孔孔壁成型好, 工效快等特点解决了冲击钻机造孔反复塌孔和工效较低的问题。

B 试验区工作面高程 1068.8 m, 成桩 17 根, 共计 553.8 m, 最大孔深 33.50 m, 平均孔深 32.58 m, 填料 726.1 m³, 平均桩径 1.12 m。

3.5 振冲试验成果

A 区试验成果: 面积置换率 $m = 0.39$; 复合地基承载力特征值 $f_{spk} = 354.3$ kPa, 复合地基变形模量 $E_{op} = 38.8$ MPa。重型触探检测成果: 振冲桩体

密实均匀, 振冲后桩间土上部 2 ~ 4 m 为松散、稍密, 说明加密效果不明显。

B 区试验成果: 面积置换率 $m = 0.28$; 复合地基承载力特征值 $f_{spk} = 497.92$ kPa, 复合地基变形模量 $E_{op} = 41.1$ MPa。检测点平台高程 1067.00 m。高程 1062.50 m 基础面的复合地基修正承载力特征值 $f_a = f_{spk} + \eta d \gamma m (d - 0.5) = 569.92$ kPa。重型触探检测成果: 振冲桩体密实均匀, 振冲后桩间土加密效果显著。

B 试验区复合地基承载力特征值达到了设计要求, A 试验区复合地基承载力特征值没有达到设计要求。分析 B 区与 A 区复合地基承载力特征值差距如此之大的原因是: (1) A 区表层是粉质粘土, 可加密性差, 振冲后的桩间土承载力特征值 $f_{spk} = 185$ kPa; B 区表层为砂砾卵石, 可加密性强, 振冲后的桩间土承载力特征值 f_{spk} 可达 350 ~ 400 kPa; (2) A 试验区采用振冲器直接振冲成桩工艺, 试验区地层底部均存在滚石、块石现象, 多数试验孔未达到设计振冲深度(A 区设计深度均为到达基岩面), 所以 A 试验区桩体的承载力特征值(620 kPa)也偏低。

3.6 振冲试验结论及建议

(1) 电站坝基振冲加固范围内地层中均分布有较多块石层, 振冲器不能直接成孔到设计深度。

(2) 采用“旋挖钻机 + 冲击钻机 + 振冲器”振冲施工工艺可以满足设计及施工要求。

(3) 经处理后 B 区桩间土承载力有显著的提高; A 区桩间土承载力提高不显著。

(4) B 区处理后的复合地基承载力满足设计要求 (≥ 500 kPa), 并达到了设计要求处理的深度。说明 180 kW 电动振冲器及试验施工参数选择正确, 均满足设计要求。

(5) A 区处理后的复合地基承载力不满足设计要求 (≥ 690 kPa)。建议一是加密振冲孔间距, 二是采用“引孔 + 振冲器”振冲施工工艺, 使振冲孔达到设计深度(基岩面), 三是适当降低设计复合地基承载力指标。

4 坝基振冲加固施工

4.1 坝基振冲设计范围及设计要求

坝基振冲设计范围见图 2。设计工程量约 70000 m。

设计要求: 复合地基承载力特征值 ≥ 500 kPa。

I 区(A 试验区) 部分区域(左岸重力坝段) 振冲孔距为 1.5 m, 其它坝段振冲孔距为 2.0 m, 上

游防渗墙区域与下游消力池及防冲墙部位振冲孔孔距为2.5 m。

4.2 坝基振冲施工工艺

根据设计要求、地质报告、振冲试验施工情况和施工工期要求,在施工中采取了2种振冲施工工艺。

4.2.1 电动振冲器直接振冲施工工艺

直接采用ZCQ-180型振冲器直接造孔后填料振冲加密成桩。适合在工程地质条件较好的部位实施。

4.2.2 旋挖钻机+冲击钻机+电动振冲器施工工艺

第一:旋挖钻机挖孔3.0 m,埋设 $\varnothing 1000$ mm的护壁钢筒并引孔至块石层;

第二:冲击钻机钻孔穿透块石层(一般钻孔至20~24 m);

第三:电动振冲器造孔至设计深度并密实成桩。

4.3 坝基振冲施工参数

引孔振冲施工碎石桩的控制参数:旋挖钻机、冲击钻机引孔直径为800 mm;振冲造孔电流最大值260 A;加密电流190~210 A;加密留振时间15 s;造孔水压0.8~1.3 MPa;密实水压0.6~0.8 MPa;提升段长控制在50 cm以内;填料量大于 $1.12 \text{ m}^3/\text{m}$ (桩径大于1 m);桩长达到设计要求深度。

施工平台高程要求高于河床水位至少1.5 m。

4.4 振冲施工

工程振冲加固施工分2期进行,自2007年11月至2009年4月全部完成,历时5个月,共完成振冲工程量65000 m。

在振冲正式施工前,业主考虑到工期紧迫性要求我们引进液压振冲器进行施工。液压振冲器(225 kW)在工程不太重要的部位直接振冲(不引孔)。

在一期振冲施工中,对I、II区地层上部存在粉质粘土的区域(振后)及时进行了检测,发现复合地基承载力偏低(342~458 kPa和478~647 kPa),经设计、业主协商采用液压振冲器进行直接加密施工,经振冲加密后第三方检测复合地基承载力达到578~670 kPa,解决了部分区域加固效果不好、复合地基承载力偏低的问题。

4.5 坝基振冲施工质量检测结果

工程振冲加固后经第三方检测,各项指标均达到或超过设计要求。证明振冲加固方案正确、效果显著。

5 结语

(1)本工程地质条件较复杂,振冲加固处理深度大(最大深度33.5 m),180 kW电动振冲器不能穿透块石地层。采用钻机引孔加振冲器振冲的施工工艺,解决了地质条件复杂、振冲处理深度大的难题。

(2)180 kW电动振冲器是我国目前生产的最大功率的电动振冲器,本工程是第一次大规模使用。180 kW电动振冲器配备变频器共同使用,较大地提高了振冲器穿透较密实地层的能力;同时振冲器在造孔和密实过程中通过对振冲电流的实时监控,在振冲电流突变时及时调整供电频率,解决了振冲器突然跳闸的概率;即使跳闸,通过变频器重新启动振冲器也变得较容易。

(3)180 kW电动振冲器由于激振力比较大,其减震构件和联结螺栓经常出现损坏和松脱现象,振冲器的电机也较易烧毁。有待于振冲器生产厂家进一步完善。

(4)本工程在河床砂卵石层引进旋挖钻机进行钻孔施工,其施工工效远高于冲击钻机钻孔工效,较大程度地解决了本工程工程量大、工期紧的问题。同时也为旋挖钻机在砂卵石地层钻孔技术积累了经验。

参考文献:

- [1] 侯丽和,田艳龙,刘群才.振冲加固在黄壁庄水库坝体处理中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(2):27-28.
- [2] 夏柏如,邓定海.振冲法加固地下古河道软弱层的实践[J].探矿工程,1997,(1).
- [3] 周健,贾敏才,池永.无填料振冲法加固粉细砂地基试验研究及应用[J].岩石力学与工程学报,2003,22(8).
- [4] 王明学.振冲法加固地基应用浅析[J].四川建筑科学研究,1994,(2).
- [5] 叶观宝,高彦斌.振冲法和砂石桩法加固地基(建筑地基处理技术丛书)[M].北京:机械工业出版社,2004.