

西霞院电站厂房基础混凝土灌注桩施工

赵永涛 郭广林 孙颖章 韩 英

(水利部小浪底水利枢纽建设管理局, 河南 洛阳 471012)

摘要 西霞院电站厂房基础局部承载力不足, 设置了后压浆混凝土灌注桩加固地基。施工中遇到了塌孔、串浆、冒浆、地基抬动等难题, 采取了黏土、水泥、碎石回填、管井、减压井、挖深坑降水、变化浆液浓度和压力进行间歇灌浆、设置抬动观测点等措施, 解决了难题, 并通过高密度电法、频谱激发极化法、地震波测试、低应变、高应变和静载试验等方法, 对扰动区充填加固效果及桩基质量进行了检测。结果表明, 地层充填加固效果良好, 桩基施工质量满足设计要求。

关键词 电站厂房基础; 混凝土灌注桩; 灌注桩施工; 西霞院电站

中图分类号: TU473.1⁺4

文献标识码: B

文章编号: 1006-7647(2007)05-0053-03

Cast-in-place concrete pile construction in powerhouse foundation treatment of Xixiayuan Project//ZHAO Yong-tao, GUO Guang-lin, SUN Ying-zhang, HAN Ying(Yellow River Water and Hydropower Development Corporation, Ministry of Water Resources, Luoyang 471012, China)

Abstract : In consideration of the insufficient local bearing capacity of powerhouse foundation of Xixiayuan Project, the post-grouted concrete pile was adopted for reinforcement of the foundation. Some measures, such as backfilling with clay, cement, and crushed stones, water-level reduction by pipe wells, relief wells, and digging deep pits, intermittent grouting by change of the density and pressure of grout, and setting of the measurement points for lifting observation, were adopted to overcome the difficulties occurring in the construction period, including hole collapse, grout leakage and overflow, foundation lifting, and so on. Moreover the high-density electricity method, the frequency-spectrum excitation and polarization method, the earthquake wave test method, and the high-strain, low-strain, and static load tests were adopted for checking the grouting consolidation effect in disturbed zone and quality of pile foundation. The result shows that the stratum backfill and consolidation effect is satisfactory, and the construction quality of pile foundation meets the requirement of the design.

Key words : powerhouse foundation of power station; cast-in-place concrete pile; cast-in-place pile construction; Xixiayuan Power Station

1 工程概况

西霞院反调节水库工程是黄河小浪底水利枢纽的配套工程, 位于河南省境内的黄河干流上, 上距小浪底水利枢纽 16 km。该工程的开发目标是以反调节为主, 结合发电, 兼顾供水、灌溉等综合利用。水库库容为 1.62 亿 m³, 电站装机容量 140 MW, 为日调节水库。工程主要由土石坝、河床式电站厂房、排沙洞、泄洪闸、王庄引水闸等建筑物组成, 工程规模为大(2)型, 属 II 等工程。

电站为径流河床式电站, 安装 4 台 35 MW 轴流转桨式机组。电站坝段长 179.60 m, 宽 73.30 m, 高 51.20 m。电站厂房坝段建基面高程为 90.0 m 和 92.0 m, 处在上第三系和第四系上, 属软岩基础。

2 地质条件

电站厂房基础主要由上第三系黏土岩、中细砂层、钙质砂岩和第四系砂砾石层组成。黏土岩成岩固结较好, 一般呈塑~硬塑状。砂岩类地层岩性以中细砂层、砂岩为主, 局部为砂卵石层、砾砂层, 胶结程度和颗粒的组成、级配有关, 成岩作用各处不一。一般泥质细砂, 微胶结, 呈松散状; 中砂质纯, 基本没有胶结, 呈散状, 渗透系数为 1.5~3.0 m/d, 属中渗透性地层。在岩性转换的层面上, 由于地下水的钙质淋漓作用, 往往形成厚度小于 1 m、强度较高的钙质砂岩。受相对隔水层作用, 在基础下面存在多层地下承压水, 水位高程为 98.0~115.0 m, 由上部浅层砂卵石层孔隙潜水补给。

厂房基础地层成岩作用差、胶结弱、强度极低,

在水平和垂直方向相变大,具有土~极软岩的性质,加之坝基地层中断层构造发育,致使地层产状变化大,接触关系复杂,有多层承压水存在。基础存在渗透稳定、局部承载能力不足等问题,故采用混凝土防渗墙和局部打桩进行基础防渗和加固处理。如图1所示。

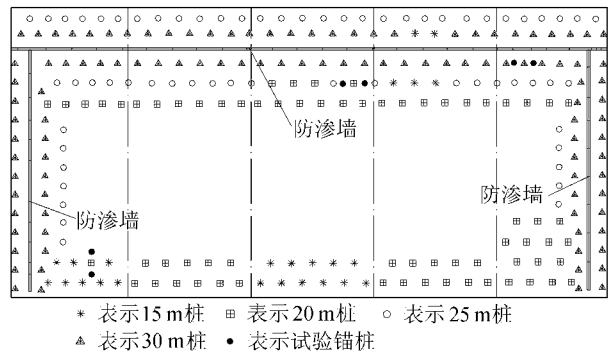


图1 西霞院电站厂房基础处理桩基布置

3 灌注桩设计

3.1 桩体设计

根据多方案比选,确定厂房基础采用后压浆混凝土灌注桩进行处理,以达到提高承载力、加固地基的目的。根据不同位置,分别设置了15 m、20 m、25 m和30 m桩,共计259根;为质量检测需要,增设6根锚桩,桩顶上部设置40 cm厚级配碎石褥垫层,目的是分散应力,避免桩基应力集中。

后压浆混凝土灌注桩桩顶设计高程为91.6 m,桩径为80 cm,桩体采用C25混凝土水下浇筑成桩,然后通过桩底部和桩体侧面设置的灌浆管进行后压浆,对桩体周围进行充填加固。

3.2 灌浆管设计

灌浆管选用直径40 mm、壁厚3 mm的无缝钢管。桩底设置2根,桩侧分别布置2根(15 m桩)、6根(20 m和25 m桩)、8根(30 m桩)灌浆管,对称布置,丝扣连接,用捆扎法固定在钢筋笼外侧(后压浆灌浆管笼结构详见文献[1])。灌浆管的排浆孔孔径为8 mm,开孔段长300~500 mm,每4 m设保护块1组,中部、底部每组3块,上部每组4块。

4 灌注桩施工

4.1 工艺流程

后压浆混凝土灌注桩施工主要包括桩体定位、埋设护筒、钻孔、清孔换浆、下压浆管笼、下导管、填入级配碎石、混凝土浇筑、后压浆等工序^[2-3]。工艺流程如图2所示。

4.2 钻孔施工

钻孔采用GPS-12型回转钻机,采用正反循环钻

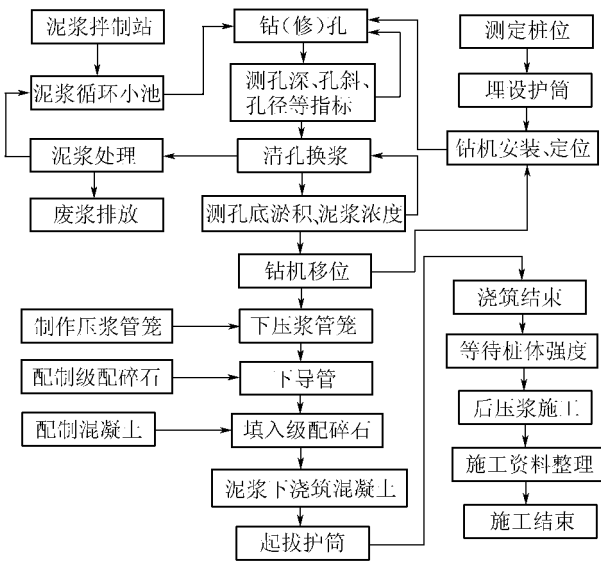


图2 后压浆混凝土灌注桩施工工艺流程

进钻孔工艺,利用三翼或滚刀钻头钻进成孔。对于弱风化砂岩、钙化砂砾石层或砂砾石层,回转钻机无法钻进,采用小型冲击钻机穿透硬岩后再换回转钻机施工。

开钻时以低档慢速正循环减压钻进,保证重锤的导向作用和桩孔的垂直度。在黏土岩孔段,钻压控制在10~20 kN,钻速为20~42 r/min,泵浆量为108 m³/h,钻进时效为0.5~1.5 m。在基岩孔段钻进,以大钻压、低钻速和大泵浆量为原则。钻孔施工时,应使钻进、排渣、清渣保持同步,泥浆循环系统保持平衡,以便及时排出钻渣,防止重复破岩影响工效。

4.3 混凝土浇筑

采用 $\varnothing 250$ mm螺纹连接导管进行水下混凝土浇筑,导管底口距孔底的高度控制在200~400 mm。混凝土灌注前,先检查孔内泥浆性能指标和孔底沉淀物厚度,当清孔换浆指标达不到要求时,利用导管按反循环法进行二次清孔。符合要求后,填入级配碎石,完全埋住底部灌浆管出浆孔段,确保混凝土浇筑不堵塞出浆孔,然后进行混凝土浇筑。下料前,准备足够的混凝土储备量,保证下料后导管的埋置深度大于1.0 m。

当混凝土浇筑面在灌浆管笼底部以下约1 m时,放慢浇筑速度,减小混凝土的冲击力,防止钢筋笼上浮,当混凝土上升到钢筋笼底部以上4 m左右时,提升导管,使其底口高于钢筋笼底部2 m以上,恢复正常浇筑速度。混凝土浇筑连续进行,保证桩的连续性和完整性。

4.4 后压浆施工

因防渗墙和灌注桩施工对地层产生了较大扰动,故采用后压浆对桩体周围的扰动区地层进行充填加固,以提高桩体与周围地层的结合力。为保证

灌浆管通畅,桩体施工结束24h后用清水通管,然后用临时堵头封住,防止管道阻塞。

混凝土浇筑7d后,确保桩体有足够强度时方可开始压浆。先进行侧压浆,再进行底部压浆,由上至下逐层进行,每层间隔2~3d。每对灌浆管要轮流灌注,不允许联灌。当一根灌注时,必须封堵另一根管口,以防浆液流入出浆孔而堵管。灌浆终孔后采用浓浆封孔,并用堵头封堵管口,等浆液终凝后再拆除堵头。

4.5 灌浆方法和停灌标准

在后压浆施工时,部分区域出现了冒浆、串浆现象,为了尽可能多灌浆,使地层中空隙和扰动区完全被充填加固,同时避免地层被抬动破坏,经过多次试验,确定了在不同地层中的灌浆方法和停灌标准:

a. 在砂砾石地层,第1层采用浓浆灌注,浆液水灰比采用0.5~0.6:1;起始灌浆压力控制在0.2MPa,随着浆液注入量加大逐渐提高灌浆压力,使压力控制在0.8~1.5MPa。当注入浆液耗灰量大于或等于2t、压力小于0.8MPa时,或耗灰量小于2t、压力大于或等于0.8MPa时,停灌终孔。

b. 在非砂砾石地层,第1层灌注时浆液水灰比采用1:1,0.8:1,0.5~0.6:1,先稀后浓,起始压力控制在0.2MPa,随着浆液注入量加大逐渐提高灌浆压力。如果注入率较大,则根据情况提高浆液浓度,并尽量采用低压灌注,直至达到停灌标准。当灌注浆液耗灰量大于或等于2t、压力超过0.6MPa时,或耗灰量小于2t、压力升至1.5MPa时,停灌终孔。

c. 第1层以下侧面各层灌注时,压力控制在0.8~1.5MPa,浆液水灰比采用1:1,0.8:1,0.5~0.6:1,先稀后浓,如果注入率较大,则根据情况调整浆液浓度,在低压灌注进浆率大时尽量采用低压灌注;起始灌浆压力控制在0.2MPa,并根据浆液注入量逐渐加大灌浆压力,当注入浆液耗灰量大于或等于2t、压力大于或等于0.8MPa,或耗灰量小于2t、压力达到1.5MPa时,停灌终孔。

d. 底层灌浆压力控制在1.5~2.5MPa,浆液水灰比采用1:1,0.8:1,0.5~0.6:1,先稀后浓,起始灌浆压力控制在0.2MPa,并根据浆液注入量逐渐加大灌浆压力,当注入浆液耗灰量大于或等于2t、压力小于1.5MPa时,或耗灰量小于2t、压力达到2.5MPa时,停灌终孔。

e. 灌浆过程中如出现冒浆、漏浆时,采用间歇灌浆方式,同时采用浓浆灌注,间歇时间根据冒浆、漏浆情况控制在40~60min,经过2~3次间歇灌浆后,仍有冒浆、漏浆则做好记录,作终孔处理。

f. 施工过程中,对一些地质结构较为复杂的桩

体进行灌注时要对周边基础加强观测,一旦出现抬动现象则立即停灌。

5 特殊情况处理

5.1 塌孔处理

当孔口坍塌不严重时,在塌孔处周围布置1排钢管,外侧用黏土袋封堵,然后用掺水泥黏土进行回填,待达到一定强度后方可钻孔。当塌孔较严重时则采用黏土、水泥、碎石将孔全部填满、压实,24h后重新开孔。

5.2 特殊地层钻孔纠偏

由于电站基础地质条件复杂,在防渗墙施工时塌槽塌孔严重,防渗墙超浇混凝土量大,造成半边为混凝土半边为砂层的桩孔,极易出现孔斜。此类孔的纠偏方法是向孔内回填砂卵石,之后继续钻进成孔。

5.3 埋钻头处理

对于埋入孔内的钻头,在采用各种措施后仍无法取出钻头时,则在原桩附近进行补桩,并对原桩孔进行回填、灌浆补强处理。

5.4 承压水处理

厂房基础地下水位高,承压水头大,局部达20.17m,对成孔极为不利。对此主要采取了管井、减压井、挖深坑降水等措施,有的则把桩位处用砂砾料回填抬高,然后再进行钻孔施工。

5.5 堵管处理

在每一灌注层压浆时,若有1根出现堵管,灌注浆液耗灰量按单根管2t控制。如果同一灌浆层的2根管均被堵时,下一层灌注则按4t以上的耗灰量进行控制。

6 质量检测

6.1 桩完整性、承载力检测

根据规范要求,对259根桩全部进行低应变完整性检测,其中Ⅰ类桩251根,Ⅱ类桩8根,分别占总桩数的96.91%和3.09%,桩完整性满足规范要求,均为合格桩。通过对3根桩(20m桩2根,30m桩1根)的静载试验和10根桩(15m桩2根,20m桩1根,30m桩7根)的高应变检测,静载单桩竖向极限承载力均超过5500kN,高应变单桩竖向极限承载力在5160~6530kN之间,均满足5000kN的设计要求^[4]。

6.2 扰动区充填效果检测

通过高密度电法、频谱激发极化法、地震波测试等3种地球物理方法,对防渗墙施工对地层的扰动情况和压浆后扰动区的充填加固情况进行检测,结果表明,压浆后地基岩性电阻率(下转第74页)

表5 间歇灌与连续灌参数比较

灌水方式	测点数/ 个	平均灌水量/ mm	标准差	均匀度/ %
间歇灌	11	119.5	7.16	86
连续灌	6	125.4	14.40	71

4 结 论

- a. 在我国干旱缺水地区,推广间歇灌水技术是节约灌溉用水、提高灌溉水利用效率的有效途径。
- b. 间歇灌与连续灌相比,具有省水、节能、灌水均匀、效率高等优点,可节水 15% 以上,提高灌溉效率 15% ~ 24% 均匀度可达 86%。
- c. 影响间歇灌灌水质量的主要技术要素有畦坡、单宽流量、循环比和循环次数。单宽流量增大能

(上接第 55 页)

自上而下均匀性较好,电阻率均在 10 Ω·m 以上,10 Ω·m 以下低电阻率异常区明显消失,说明扰动区已被充填,灌浆效果较好^[5]。

另外,从清理建基面的开挖断面看,断层、裂隙、扰动区等空隙处均被水泥充填,与周围地层结合紧密,地层加固效果良好。

6.3 地层抬动观测

在压浆过程中,为了避免地基被抬动破坏,设置了检测点,制定了抬动控制标准,对压浆前、压浆中和压浆后地层的抬动情况进行观测。经检测地层最大抬动为 4 mm,在控制标准之内,满足设计要求。

7 经验总结

因厂房基础地质条件极其复杂,工期紧,任务重,塌孔十分严重,致使桩基施工难度很大。要保证在复杂地质和高承压水条件下桩基正常施工,需做好以下 3 个方面的工作。

- a. 有效降低地下水水位。厂房基础紧临黄河,桩基施工平台在河水位以下 27.5 m,软基存在相对隔水层,形成地下承压水,最大水头达 20.17 m。高承压水涌入桩孔是造成塌孔的主要因素。因此,设计合理的管井、减压井、降压坑、井点等降水设施,形成科学的排水网络,有效降低地下水位,防止地下水进入桩孔,是减少塌孔、保证桩基正常施工的关键。
- b. 合理安排工序。因地层中断层多,小构造发育,地下水位高,承压水水头大,极易塌孔,所以尽量缩短各工序之间的时间。
- c. 增大泥浆浓度。对泥浆采取添加加重剂、增黏剂、分散剂等措施,对减少塌孔十分有效。
- d. 制定灌浆标准和方法。砂卵石、中细砂层、

提高灌水效率和节约水量。

参考文献:

[1] 樊志升,胡毓骥,周子奎.间歇灌灌水技术及其节水机理的试验研究[J].灌溉排水,1997(4):37-41.

[2] 王云涛,施丽贞.间歇灌灌水技术及其节水机理的试验研究[J].节水灌溉,1998(1):12-15.

[3] 刘群昌,许迪,谢崇宝,等.波涌灌溉技术田间适应性分析[J].农业工程学报,2002(1):35-40.

[4] HUMPHERYS A S. Surge irrigation :2 Management[J]. ICID Bulletin,1989(2):56-61.

[5] 费良军.波涌畦灌技术要素设计方法研究[J].西安理工大学学报,1996(3):257-262.

(收稿日期 2007-03-29 编辑 高建群)

黏土岩、粉砂岩等地层可灌性相差较大,灌浆量和灌浆压力差别很大,有时还会出现串浆、冒浆等现象。因此,根据不同地层和实际灌浆情况及时制定灌浆质量控制标准,采用适宜的灌浆方法,对质量控制、加快施工进度、保证工期有着十分重要的作用。

8 结 语

西霞院电站厂房基础属软基,地质条件极其复杂,国内罕见。在此基础上大规模采用后压浆混凝土灌注桩加固地基,提高局部承载力,减少不均匀沉降,在国内水利工程中不多见,没有经验可参考借鉴。本项施工对地基的加固效果如何,有待今后对观测资料整理分析并进行评价和判断。通过对 2005 年 3 月到 2006 年 5 月观测资料的初步分析,结果表明电站基础沉降变形在设计允许范围之内,没有发现异常情况。

参考文献:

[1] 杨杰,黄静源.黄河西霞院水电站厂房灌注桩施工及质量控制[J].云南水力发电,2006,22(4):60-64.

[2] 范叶义.钻孔灌注桩施工技术的探索[J].水利经济,2005,23(5):60-61.

[3] 朱正其.钻孔灌注桩-压密注浆在基坑支护帷幕中的应用[J].水利水电科技进展,1999,19(增刊):32-33.

[4] 李万海.西霞院反调节水库发电厂厂房桩基检测报告(黄物探质(桩)字第 CZ04112 号)[R].郑州:黄河水利委员会勘测规划设计研究院物探总队,2005.

[5] 何效周,薛云峰,范秦军.西霞院反调节水库厂房基础防渗墙振动区及桩基压浆效果探测成果报告[R].郑州:黄河勘测规划设计有限公司工程物探研究院,2005.

(收稿日期 2006-06-30 编辑 高建群)