

坝面帷幕灌浆技术在竹银水库主坝坝基处理中的应用

曾凡杜

(中国水利水电第八工程局有限公司, 湖南 长沙 410007)

摘要 :针对竹银水库主坝坝基地质条件及工期紧张、基坑面临被暴雨淹没的实际情况,对河床坝基采取先进行坝体填筑、后在坝面进行帷幕灌浆基础处理的施工方法,并针对已填筑坝体、坝体与坝基接触段、基岩采取不同的技术措施,确保帷幕灌浆幕体与填筑坝体结合良好,形成完整的垂直防渗体系。该施工方法既解决了坝体填筑与基础处理的矛盾,又使工程得以安全度汛,使总体工期得到了保证,可供类似工程参考。

关键词 :帷幕灌浆;防渗;坝基处理;施工方案;竹银水库

中图分类号 :TV543+.5 **文献标识码** :B **文章编号** :1006-7647(2011)06-0055-04

Application of dam surface curtain grouting technology in foundation treatment in main dam of Zhuyin Reservoir//ZENG Fan-du(*Sinohydro Bureau 8 Co., Ltd., Changsha 410007, China*)

Abstract : According to the geological conditions of the main dam of Zhuyin Reservoir during construction as well as the actual situation of urgent construction time and submergence of deep excavation by rainstorm, a new construction method for the foundation treatment was employed, that is, first rockfilling in the dam and then curtain grouting in the dam surface. Different technical measures were taken for the existing filled dam, contact section between dam and foundation and bedrock so as to ensure satisfactory connection between the curtain grouting body and the filled dam and to form an integrated vertical anti-seepage system. A conclusion is drawn that the proposed construction method solves the contradiction between dam filling and foundation treatment and achieves safe flood passing, and the total construction time is satisfied.

Key words : curtain grouting; anti-seepage; foundation treatment; construction scheme; Zhuyin Reservoir

我国现行坝基灌浆处理规范^[1-2]主要是针对混凝土坝、浆砌石坝及土坝坝体填筑前的基础处理,大量的施工实践证明:参照现行规范实施的基础灌浆处理是可行的、有效的。在土石坝施工中先行填筑坝体、后在填筑坝面上进行基础处理的事例鲜有报道,类似的施工工艺仅见于文献^[3-4]。而在南方进行土石坝施工时,通常面对基坑基础处理、坝体填筑、安全度汛三者相互制约的难题,于是出现了基坑开挖完成后先将坝体填筑(或防渗体填筑)到度汛高程再在填筑坝面上进行基础处理的施工工艺。笔者针对南方多雨地区土坝的施工特点,提出了在已填筑坝面采用‘埋设孔口管(穿越已填土层)、土岩接触段先行单独处理、孔口封闭法孔内循环灌浆’的一整套施工方法,既解决了坝体填筑与基础处理的矛盾,又使工程得以安全度汛,工期得到了保证,可供类似工程参考。

1 工程概况

竹银水源工程位于珠海市斗门区白蕉镇湾村,主要建筑物包括新建竹银水库、2条输水隧洞、1个提水泵站及管线,以及扩建月坑水库。竹银水库由1座主坝、2座副坝、溢洪道及坝下涵管等组成。主坝长556.5m,最大坝高为66m;1号副坝长435m,最大坝高约56m;2号副坝长210m,最大坝高为48m。3座坝之间山体相隔,坝顶高程均为51.6m。坝顶设有防浪墙,防浪墙顶高程为52.8m。3座坝均为土石分区坝,工程等级为Ⅱ级。竹银水库主坝标准剖面见图1。

竹银水源工程的主要任务是解决澳门和珠海东区(主城区)在枯水期珠江咸潮上溯期的应急供水问题。工程建成后通过泵站抽水,竹银水库汛期抽取淡水存蓄,与珠海现有的供水系统相结合向澳门、珠海东区(主城区)和珠海西区水厂供水。

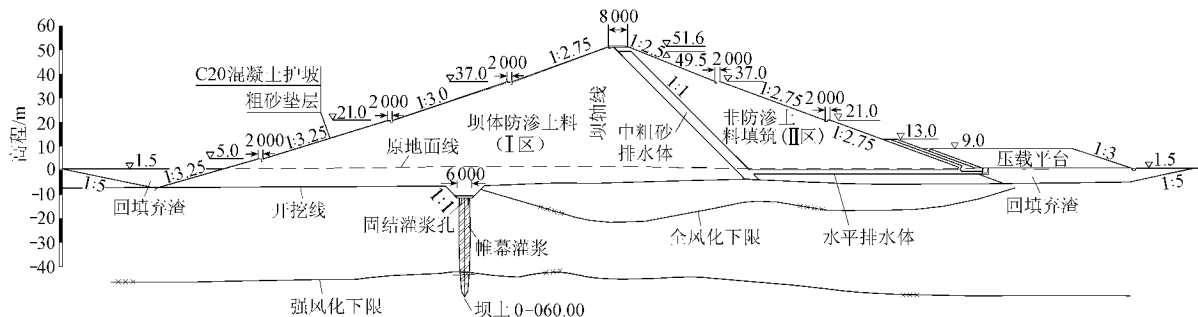


图1 竹银水库主坝标准剖面(高程单位:m,尺寸单位:mm)

2 主坝坝址区工程地质条件及主要地质问题

坝址两侧为丘陵山地,左侧山顶高程为89.3m,右侧山顶高程为153.0m,大坝位于河谷部位,谷底地面平坦。根据地表观察及钻孔揭露,坝址区出露的地层主要有寒武系八群组,侏罗系中上统百足山群下亚群和第四系松散堆积层,以砂岩及含砾石砂岩为主,断层很少,仅在左坝肩下游侧有一小型构造,属压扭型断层,走向约北东30°,倾向东南,倾角较陡,约75°。坝址区分布的主要岩类为第四系松散岩类和侏罗系碎屑岩类,由于两岩类地下水储存条件不同,形成第四系孔隙含水层和基岩裂隙含水层。坝基覆盖层为第四系孔隙含水层,地表上部粉质黏土、淤泥质土渗透系数一般均小于 $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$,属弱、微透水层,砂土层为强~中透水层,局部形成承压水。基岩裂隙含水层分布于第四系覆盖层之下,侏罗系中上统百足山群下亚群的碎屑岩体裂隙及断裂带透水性主要取决于裂隙、断裂发育程度及其相互连通情况。

坝址区主要工程地质问题是坝基存在厚度为4.25~14.3m的软土层,其含水量高、压缩性大、抗剪强度低、承载力低,存在压缩变形、抗滑稳定及地震沉陷等问题,其下的淤泥质粉细砂层亦存在震动液化问题。坝基的基岩风化层渗透性多为中透水,存在渗透稳定问题。在长期有压渗流的作用下,有可能导致坝基集中渗漏加大,产生渗透破坏,危及坝体安全^[5-8]。

3 坝基处理方案

3.1 设计处理方案

根据坝基存在的主要工程地质问题,首先考虑将淤泥质土及含泥中细砂层全部挖除,其次对全风化层以下中透水层进行帷幕灌浆处理,以基岩透水率 $q \leq 3 \text{Lu}$ 下2~3m作为下限,灌浆深度9.5~45.10m,灌浆帷幕平均深约30m。沿坝基帷幕灌浆轴线开挖灌浆齿槽,齿槽底宽6.0m,开挖坡比1:1,

以全风化下限作为开挖灌浆齿槽底线。

3.2 工期安排

珠海地区每年4月下旬至9月底为雨季,雨季中太平洋及南海生成的热带气旋带来大量水汽,形成强风暴雨,5—6月雨量较大,占全年总雨量的30%以上,对土坝施工非常不利,特别是主坝基坑最大开挖深度达-14.5m,需要在主汛来临之前将坝体(防渗区)填出水面,防止基坑被暴雨淹没。

主坝基坑计划于2008年12月25日开始开挖,第2年2月12日开挖完成,基坑开挖完成后进行压浆板混凝土浇筑(上下游坝体开始填筑施工),安排固结灌浆、帷幕灌浆施工,基坑部位帷幕灌浆基础处理于第2年5月13日完成,第2年5月底,坝体全断面填筑至5.0m高程。

3.3 实际施工进度情况

由于前期移民征地等原因,主坝于2009年10月15日才开始开挖施工,期间因基坑淤泥深厚开挖困难,导致开挖方案屡次调整,直至2010年3月13日主坝基坑淤泥及中细砂层才基本开挖完成。还需要完成基坑灌浆齿槽开挖、混凝土压浆板、固结灌浆、帷幕灌浆等工作,至少需要50d以上才能开始基坑填筑施工,此时距汛期仅剩余不到40d,按正常程序填筑施工主坝将无法达到度汛目标高程,基坑面临被暴雨淹没的危险。

3.4 坝基处理调整方案

为确保工程度汛安全,参建各方经充分讨论,提出如下方案:取消坝基部位灌浆齿槽开挖、混凝土压浆板及固结灌浆,基坑清基达到设计要求后即进行防渗体填筑,力争在主汛前防渗体填出地面高程,以免被洪水淹没。坝基帷幕灌浆在防渗体地面以上的坝面上进行,灌浆期间同时进行两侧坝体填筑。调整后的坝基处理断面见图2。

4 坝基帷幕灌浆施工

根据土坝坝基基础处理“上截下排”的原则,为确保大坝安全和水库正常运行,对坝基透水地层进行全面帷幕灌浆防渗处理,从坝体至接触面、基础形

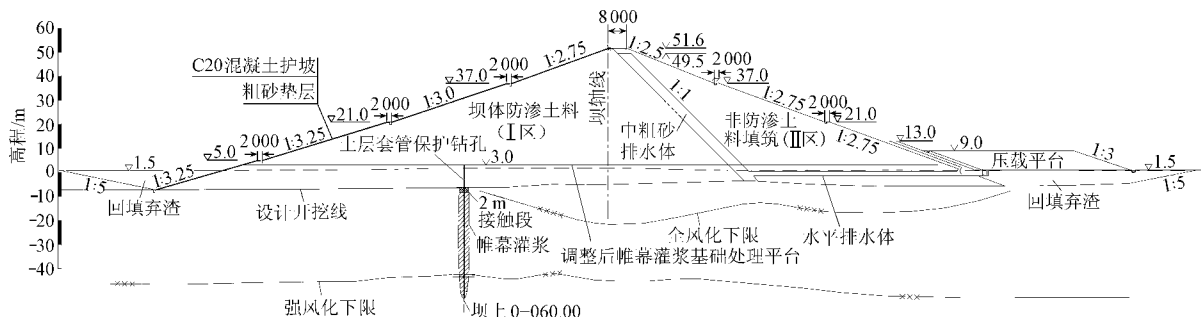


图2 调整后的竹银水库主坝坝基处理断面(高程单位:m,尺寸单位:mm)

成完整的立体防渗体系,坝体与坝基接触面灌浆施工效果是防渗体系成败的关键^[9]。

4.1 幕体布置

防渗灌浆布置的原则为:通过帷幕灌浆使土坝防渗体与基础连接成整体,并与两岸有压浆板及固结灌浆的岸坡帷幕灌浆形成坝基统一防渗轴线。相应的坝基防渗轴线长度为319.5 m,防渗面积为13682.33 m²,防渗灌浆钻孔总进尺为8563.52 m,基岩灌浆进尺为6850 m。

4.2 施工工艺及主要技术参数

为达到设计的幕体防渗效果,灌浆钻孔必须穿越最大深度达18 m的已填防渗坝体及坝下的强风化土层,帷幕灌浆大部分处于强风化层,穿越坝体钻孔、灌浆对施工工艺要求非常高,如施工工艺不当则不仅影响灌浆质量,且影响坝体质量。灌浆土层钻孔易塌孔,如何使接触段灌浆达到预期防渗幕体完整结合的效果及确定合理的施工参数是施工前必须解决的3个难题。通过施工前进行专项论证及现场工艺性试验确定主要施工工艺及技术参数。

针对已填防渗体土层钻孔易塌孔的问题,考虑了埋设孔口管、加PVC保护管、土层钻孔水泥浆护壁等施工方法,通过方案比较并结合类似地层施工经验发现,埋设孔口管可以最大程度地减少灌浆对坝体的扰动、确保钻孔精度及提高灌浆效率。最后采用 $\varnothing 120$ mm埋设孔口管穿越已填土层,深入基岩2 m(接触段)解决了土层钻孔易塌孔的难题。这2 m接触段是坝基立体防渗体系的纽带,按分序加密的原则对接触段重点灌浆,以每孔有效的浆液扩散范围做到孔孔相连,水平方向接触段通过浆液扩散也达到了基面的整体性,接触段灌浆对以下各段灌浆形成了一个压重,压重可提高以下各段的灌浆压力并避免浆液劈裂已填土体。接触段Ⅲ序全部施工完成后,采用孔口封闭法分序对接触段以下各段自上而下分段灌浆,上段灌浆结束后不待凝立即进行下段钻灌,反复灌注,使各灌浆段形成密实防渗幕体^[10-11]。

通过现场工艺性试验,确定主要施工参数如下:

- ①灌浆孔排距:根据工程地质条件,考虑布置单排孔,孔距2.0 m。
- ②灌浆深度:根据基岩的透水性、库水位及基岩风化破碎程度,灌浆深度为深入相对不透水层顶板线以下3~5 m。
- ③灌浆压力:以灌浆压力不小于1.5倍水头为原则。为确保已填土体质量及灌浆效果,第1段(2 m接触段)第Ⅰ序、第Ⅱ序灌浆压力为0.2~0.25 MPa,第Ⅲ序为0.3 MPa;第2段(3 m)及以下各段每增加1 m孔深,灌浆压力增加0.02 MPa。

4.3 施工程序

先对接触段分序灌浆、镶铸孔口管,形成接触段压重,再按孔口封闭法对接触段以下各段自上而下分段灌浆,分序加密。每单元至少1个第Ⅰ序孔作为先导孔^[8],取芯描述并复核地下水位及地层岩性。

4.4 重要工序施工要点

a. 灌浆材料选用:坝基主要灌浆地层以中透水地层为主,根据前期地质勘探地层渗透系数,选用425号普通硅酸盐水泥。

b. 钻孔:由于帷幕轴线布置在防渗体内,因此土层及2 m接触段钻孔采用干钻,钻 $\varnothing 120$ mm孔,下放 $\varnothing 110$ mm套管护壁,钻接触段以下地层时按一般要求进行施工,钻 $\varnothing 76$ mm孔。

c. 镶铸孔口管:2 m接触段冲洗及压水试验后,下灌浆塞卡在土体与基岩接触面50 cm处,灌浆时采用循环式栓塞,射浆尾管距孔底不大于0.5 m,进行孔内循环式灌浆,直至达到结束标准。第1段灌浆接触后,取出孔内灌浆塞,通过钻杆向孔内注入0.5:1(质量比)的浓浆置换孔内稀浆,然后放入上端带有连接丝、管径为110 mm的已预加工的无缝钢管,孔口管根据现场情况和埋入深度分节制作,在孔口用对接接头连接,直至下入孔底,导正孔口管。孔口管上端高出地面0.1 m。孔口管下入、固定后不得碰撞,待凝72 h以上可进行扫孔,扫孔结束后检查孔口管合格后进行第2段钻灌。

d. 灌浆:为加快施工进度,在孔口管段分序灌

浆的同时镶铸孔口管。采用自上而下分段灌浆,第1段(接触段)长2 m,第2段长3 m,第3段以下按5 m考虑,最长不得超过8 m。

e. 浆液配比变换:灌浆浆液由稀到浓逐级变换,当灌浆压力保持不变而注入率逐渐减少时,或注入率保持不变而灌浆压力持续升高时不得改变水灰比。当某一级水灰比浆液注入量已达300 L以上或持续灌注时间已达30 min,而灌浆压力或注入率均无明显改变时,变浓一级水灰比。当注入率大于30 L/min时根据具体情况采用越级变浓。

f. 灌浆结束标准:灌浆段在最大设计压力下注入率不大于0.4 L/min后,继续灌注60 min结束灌浆,或注入率不大于1 L/min后继续灌注90 min结束灌浆。

g. 封孔:帷幕孔全孔灌浆结束并经监理工程师单孔验收合格之后按“置换和压力灌浆封孔法”完成岩层封孔,再分层边拔出土层套管边向孔内填入由黏土料做成的黏土球,黏土球直径2~3 cm,呈可塑状,用钻杆反复捣实直至填满整个土层钻孔,最后用泥浆封堵孔口并夯实。

h. 质量检查:帷幕灌浆质量检查孔的数量为灌浆孔数的10%。孔压水检查的合格标准为透水率小于或等于5 Lu。基岩接触段及第2段合格率应为100%,以下各段的合格率不小于90%。不合格试段的透水率不超过设计规定的150%,且不集中,灌浆质量可认为合格。

5 灌浆效果

竹银水库坝基河床部分长319.5 m,共布置了162个灌浆孔(包括与岸坡搭接段各加密1个Ⅲ序孔)。通过对灌浆数据统计分析发现,灌前各段简易压水试验得出透水率在2~14 Lu之间,其中接触段透水率普遍在8~12 Lu之间,个别孔最大达14 Lu,估计因为基坑局部中细砂层未清理干净。

灌后压水检查发现,各段透水率大部分在3 Lu以下,少数在3~5 Lu之间。此外,建设单位独立委托第三方对坝基部位帷幕灌浆进行了3个检查孔压水试验,各段透水率均小于3 Lu,说明灌浆取得了成功。

6 结 语

竹银水库主坝工程通过将坝基处理调整至填筑坝面,获得了主汛前坝体填筑的黄金时间(45 d),完成了坝体填筑(主要为防渗体填筑)47万m³,坝体于2010年5月20日填筑至1.0 m度汛高程,避免了暴雨淹没基坑的风险。坝基帷幕灌浆施工于2010年

7月26日在3.5 m高程坝面开始,9月30日灌浆质量检查完成,实现了坝体填筑进入枯水期全断面施工的阶段目标,为竹银水库主坝在2011年4月初填筑完成并初期蓄水打下了坚实基础。这表明在坝面进行坝基帷幕灌浆处理在技术上是可行的,在最大坝体填筑高度达18 m的条件下,钻孔灌浆采取的埋设孔口管穿越土层、先对接触段分序灌浆形成压重、再按孔口封闭法灌浆的施工工艺是合适的,不会对已填筑坝体产生有害影响。

在竹银水库主坝的施工过程中,也出现了灌前压水试验局部段次透水率突变的情况,经现场查勘及比对地质资料确定为坝基存在局部隔层风化现象导致,灌浆过程中采用浓浆、速凝水泥浆对此进行了特殊处理。

参考文献:

[1] SL62—1994 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范[S].
[2] DL/T5148—2001 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范[S].
[3] 罗长军.帷幕灌浆技术在既有土坝可溶岩坝基中的应用[J].岩土力学与工程学报,2004,23(22):3910-3916.
[4] 叶锋,阮雪茵,柯红革.大坝基础灌浆在台州市水库除险加固工程中的应用[J].浙江水利水电专科学校学报,2009,21(2):81-84.
[5] SL274—2001 碾压式土石坝设计规范[S].
[6] DL/T5129—2001 碾压式土石坝施工规范[S].
[7] 林昭.碾压式土石坝设计[M].郑州:黄河水利出版社,2003.
[8] 付元初.地基与基础工程[M].北京:中国电力出版社,2004.
[9] 刘瑞懿,涂健.土坝坝基渗漏基础处理实例[C]//土石坝技术2007年论文集.北京:中国电力出版社,2007:264-268.
[10] 张景秀.坝基防渗与灌浆技术[M].2版.北京:中国水利水电出版社,2002.
[11] 郭斯良.浅谈除险加固工程土坝坝基帷幕灌浆的特点[J].广东水利水电,2002(5):46-47.

(收稿日期:2011-04-13 编辑:骆超)

河海大学王超教授当选中国工程院院士

中国工程院12月8日正式公布2011年院士增选名单,河海大学环境学院院长王超教授当选中国工程院院士。王超教授长期从事水资源保护与水质改善这一与国计民生密切相关领域的教学与科研工作,率领团队致力于理论研究、技术研发和工程实践,攻克了一系列关键科技难题,作出了创造性的成就和重大贡献。(本刊编辑部供稿)