

土石坝快速施工综合技术在竹银水库中的应用

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:竹银水库地处珠江三角洲,针对工程施工中深淤泥基坑开挖及支护、深基坑防渗处理、长雨季条件下施工、上坝土料含水率调整、质量检测等方面存在的技术难点,分别采取了薄层置换开挖、块石挤淤加固边坡、坝面帷幕灌浆基础处理、长雨季条件下土坝快速填筑、压实质量快速检测等技术应对措施,实现了工程连续快速施工,12个月内完成坝体填筑,施工质量优良。

关键词:土石坝;帷幕灌浆;淤泥开挖;基础处理;快速施工;竹银水库

中图分类号:TV52

文献标志码:B

文章编号:1006-7647(2013)02-0068-05

Application of comprehensive technology of rapid construction of earth-rockfill dams in Zhuyin Reservoir//ZENG Fandu (Sinohydro Bureau 8 Co., Ltd., Changsha 410007, China)

Abstract: The Zhuyin Reservoir is located in the Pearl River Delta. With regard to the technical difficulties in excavation and support of the foundation pit with deep and thick mud, anti-seepage treatment of a deep foundation pit, construction long rainy season, adjustment of water content of dam materials, as well as quality testing and control during its construction, some countermeasures such as excavation by replacing the thin unqualified layer with backfilling materials, stabilization of the slope by squeezing silt with riprap, foundation treatment at the dam site, rapid filling of an earth dam over the long rainy season, and quick quality tests have been adopted. The project achieves continuous and quick construction, and the filling work for the dam was completed within 12 months. The construction quality is satisfactory.

Key words: earth-rockfill dam; curtain grouting; silt excavation; foundation treatment; rapid construction; Zhuyin Reservoir

土石坝具有筑坝材料可就地取材、适应地基变形能力较强、对地基要求低、施工工序少且施工技术相对简单、便于组织机械化快速施工等优点,但同时也存在着坝体断面及填筑工程量巨大且施工受雨季影响大的不足。在我国南方长雨季条件下采用土石坝坝型时,解决深基坑开挖及支护、安全度汛、基础防渗、高强度填筑施工、快速质量检测等方面的技术难题成为保障工程快速施工的关键。在珠海竹银水库的施工中,采取了一整套针对南方长雨季条件下土石坝施工的技术措施,实现了工程全年连续快速施工,工程质量优良。

1 工程概况

竹银水源工程位于珠海市斗门区白蕉镇仔湾村,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,另要扩建月坑水库。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556.5 m,最大坝高66 m;1号副坝长435 m,最大坝高56 m;2号副坝长210 m,最大坝高48 m。3座坝之间为山体相隔,坝顶高程均为51.6 m。坝顶设有防浪墙,墙顶高程52.8 m,3座坝均为土石分区坝,工程等级为Ⅱ级。大坝上游坝坡分4级,自上而下坡比为1:2.75~1:3.25,采用16 cm厚现浇混凝土护坡;下游坝坡为1:2.5~1:2.75,护坡采用草皮护坡;坝体内设上昂式排水道,下游设堆石排水棱体。

大坝基坑开挖170万 m^3 ,其中主坝基坑淤泥开挖120万 m^3 ;坝体总填筑量为760万 m^3 ,根据原施工进度计划安排,基坑开挖于2008年12月25日开始,2009年2月中旬完成;坝体防渗土料及非防渗土料填筑从2009年2月13日开始(预留分区进行基础防渗施工),2010年9月底坝体填筑施工全部完成。

由于前期移民征地等原因,工程整体工期滞后约1 a,实际开工时间为2009年10月中旬,总工期维持为22个月不变。

2 库区水文、气象与地质条件

2.1 水文条件

竹银水库位于丘陵地带,库区三面环山,东侧、南侧山脊较高,西侧山脊较低。库区山体较为雄厚,植被良好,覆盖率达到95%左右。水库积水区域无大的河流,坝址洪水来源于库区洪水,洪水呈现山区洪水特点,暴涨暴落。坝址径流由库区降雨形成,其时空分布特点与降雨一致,冬春少,夏秋多,汛期较为集中,水库多年平均来水量为432.30万m³。

2.2 气象条件

工程所在地区降雨充沛,海洋对本地气候的调节作用十分明显,平均年降雨日达130~150天。4—9月为雨季,前期(4—6月)盛吹西南季风,水汽充沛,与南下冷空气相遇,常出现强降雨过程;后期(7—9月)东南季风占优势,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。10月至次年3月盛行北风,为旱季。多年平均风速3.1m/s,多年平均最大风速14.8m/s。工程所在地区降雨年内分配不均,冬春少,夏秋多,汛期降雨量集中,4—9月降雨量占年总降雨量的83%~87%,尤以5—6月降雨量最大,约占年总降雨量的30%以上。多年平均降雨量为2332mm,实测最大24h暴雨为246.6mm;降雨年际变化较大,实测年降雨量极值倍比为2.58。

2.3 地质条件

竹银水库1号、2号副坝坝基最大开挖深度为5m,以挖除表层淤泥或淤泥质土及局部粉细砂层为主,坝体利用全风化层或残坡积层作持力层,可满足土坝坝基要求。主坝坝址两侧为丘陵山地,左侧山顶高程89.3m,右侧山顶高程153.0m,大坝位于河谷部位,谷底地面平坦。坝址区具体地层情况可参见文献[1]。

主坝坝址区主要工程地质问题是坝基存在厚4.25~14.30m的软土层,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^[1]。因此主坝坝基开挖及边坡支护、基础处理为保证本工程总工期和安全度汛的关键。

3 高含水量深淤泥基坑快速开挖施工

主坝基坑开挖面积约18万m²,开挖深度为4.25~15.70m,基坑开挖总量为120万m³,其中软弱淤泥开挖近100万m³。根据调整后的施工总进度计划安排,主坝基坑开挖工期为90d。淤泥层为深厚软弱淤泥,平均含水量为62.38%,最高达92.80%,呈软塑至流塑状,开挖施工时极易液化,开挖成本高,严重制约工程施工工期,是本工程的第一大难点。

3.1 高含水量深淤泥基坑开挖的难点

- a. 淤泥层开挖最大深度近16m,以黏粒为主,局部含贝壳粉细砂层。由于淤泥层含水量极高,开挖时一经扰动即液化,开挖面以外的淤泥受扰动后往开挖面蠕动,施工安全隐患极大^[2]。
- b. 基坑河谷成“U”形,开挖出渣工作面布置困难,同时有几个工作出渣,出渣道路车流量非常大。
- c. 河床基坑淤泥层深槽沿上、下游走向,基坑开挖后的上下游最大边坡高达16m,保证基坑上下游边坡安全稳定是基坑开挖施工的关键。
- d. 施工强度高,计划月平均强度在40万m³以上,施工设备配置多,施工难度极大。
- e. 施工工期紧张,因主坝基坑开挖是关键线路工期,制约后续基础处理及坝体填筑施工,是工程进度控制中最难控制的一道工序。

3.2 高含水量深淤泥基坑开挖的措施

- a. 由于淤泥覆盖层渗透系数小,导致淤泥含水量极高,因此开挖前在基坑设置纵横向开挖先锋槽,集中降排水,以降低基坑地下水位。先锋槽降水在本层开挖施工前完成。
- b. 采取分层开挖下降施工,按-2.5m、-6.0m、-9.5m高程控制开挖层高,确保在开挖下一层之前,该层以上的淤泥已开挖完成,控制开挖层高在3.0m左右,排除淤泥瞬间液化导致设备及施工人员被淹的隐患。
- c. 下基坑道路及分层开挖工作面道路均采用石渣置换并固结路基,为施工创造良好的工作平台,临时出渣道路宽9m,保证开挖运输出渣效率。淤泥开挖施工示意图见图1。

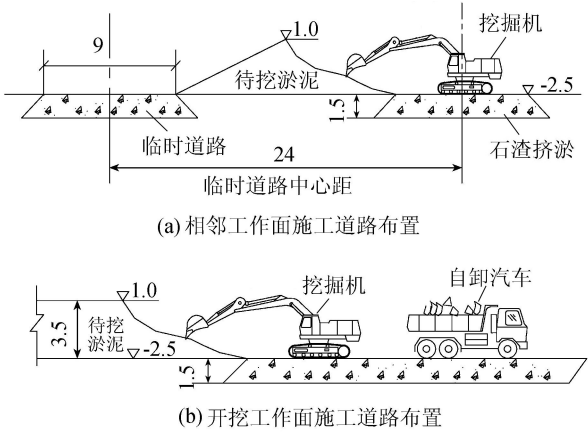


图1 淤泥开挖施工示意图(单位:m)

- d. 在下层开挖中,开挖上层出渣道路路基的石渣装在出渣车后部,使车厢形成密闭体,然后堆装覆盖层淤泥。采取了该措施后,避免了淤泥液化后流洒运输道路、降低运输工效的问题。
- e. 在自上而下开挖形成-2.5m、-6.0m、-9.5m

高程基面过程中,利用块石的可透水性,采用挤淤法进行上下游面边坡固坡开挖,挤压厚度按1~2 m考虑,块石(风化石)采用装载机、挖掘机堆放至开挖坡面上,首先采用挖掘机斗初步挤压,尽量减小对未触动淤泥面的扰动;初步挤压形成设计坡度后,18~20 t碾压机静碾挤压,最终形成上下游-9.5 m高程以上挤压边坡。

f. 由于基坑-9.5~-15 m高程为淤泥深槽,为避免深槽内淤泥开挖后导致上下游开挖面淤泥往基坑内滑动,提出了在基坑上下游-9.5 m高程坡脚各设置1道拦淤戗堤的施工措施。开挖至-9.5 m高程后,先从左右岸抛填粒径大于0.5 m的块石于上下游坡脚处,铺填厚度根据实际情况在1~2 m范围,铺填宽度按10 m考虑,垂直下挤,采用振动碾碾压,当碾压层面沉降稳定后,从抛石边缘开挖淤泥,深度控制在2.0 m,再抛填块石(抛填宽度为10 m)并采用振动碾碾压至沉降稳定后,开挖至基底,尽快填块石至-9.5 m高程,形成宽30 m以上的抛石戗堤支护。上游面戗堤抛填2次以上,下游面戗堤抛填3次以上。

g. 当戗堤坡脚处开挖清基宽度大于20 m时,立即按设计要求采用风化石填筑加宽(抛填宽度为15 m)、加高,分层铺填厚度0.4 m,20 t振动碾碾压6遍以上。形成上下游戗堤后,才开始进行基坑内-9.5~-15 m高程淤泥分层开挖。抛石挤淤戗堤施工工序见图2。

3.3 基坑快速开挖施工的效果

主坝基坑淤泥开挖于2010年1月初开始,3月10日基本完成,月施工强度达60万m³,比原计划工

期提前了20 d。施工期间受寒潮影响,降雨天数较多,汽车出渣更难。由于充分认识到高含水量坝基淤泥开挖施工的难度并进行了相应的研究,采用了抽槽降水、抛石挤淤固坡、戗堤固坡脚等开挖新工艺,解决了施工中出现的各种难题,为下一步坝基处理、坝体填筑赢得了时间,使工程安全度汛有了保证。

4 坝面帷幕灌浆基础处理技术

4.1 原设计方案

根据主坝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,使坝基坐落在全风化层上;其次考虑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 $q \leq 3$ Lu下2~3 m作为下限,灌浆深度9.5~45.1 m,灌浆帷幕平均深约30 m。沿坝基帷幕灌浆轴线开挖灌浆齿槽,齿槽底宽6 m,开挖坡比1:1,以全风化层下限作为开挖灌浆齿槽开挖底线。

4.2 实际施工进展情况

由于前期移民征地等原因延误工期,直至2010年3月初,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,需要直线工期50 d以上才能开始基坑填筑施工,此时距汛期仅剩余不到40 d,按正常施工程序施工主坝填筑将无法达到度汛目标高程,基坑将被暴雨淹没,工期会推后1 a以上。

4.3 调整方案

为确保工程度汛安全,建设各方经充分讨论并召开专题会研究,提出了取消坝基部位灌浆齿槽开

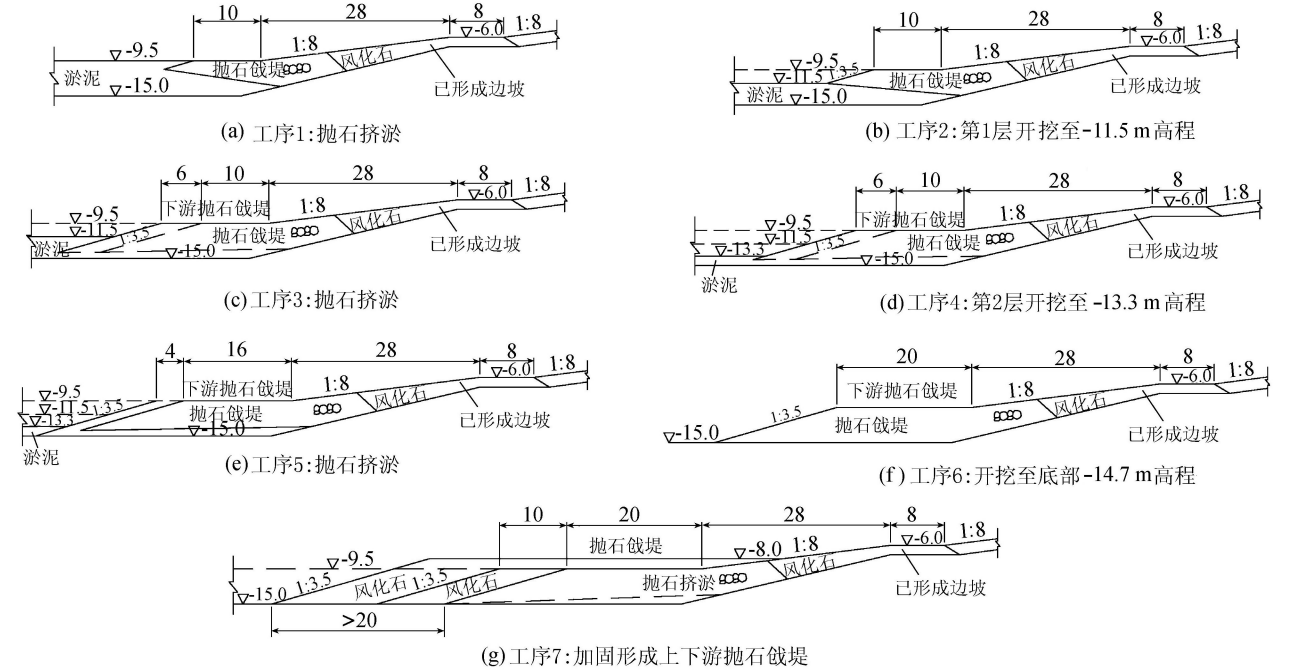


图2 基坑上下游抛石挤淤戗堤施工工序(单位:m)

挖及齿槽开挖后的混凝土压浆板、固结灌浆施工;清基达到设计要求后即开始进行防渗体填筑,力争在主汛前防渗体填筑至地面以上高程,避免基坑被洪水淹没。坝基帷幕灌浆在防渗体地面以上坝面上进行,灌浆期间两侧坝体填筑同时进行^[1]。

4.4 调整方案的效果

通过对坝基帷幕灌浆处理方案进行调整和优化,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 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,质量满足规范要求^[3,4],实现了“坝体填筑进入枯水期全断面施工”的阶段性目标,为竹银水库主坝在 2011 年 4 月初填筑完成的总体目标打下了坚实基础。

5 长雨季条件下的坝体快速填筑施工技术措施

根据调整后的总工期安排,2010 年 3 月 15 日开始坝体填筑,5 月底坝体达到度汛高程,7 月初坝面达到 3 m 高程后,进行河床部分基础处理施工,两侧坝体继续填筑上升;10 月 15 日后,坝体填筑至 12 m 高程以后全断面填筑施工,汛期总填筑量 115 万 m³。因此 2010 年雨季必须进行坝体的连续填筑施工,才能满足大坝 2011 年 4 月初填筑完成的工程总体目标。

西太平洋形成的台风经常在工程所在地区登陆,台风带来的降雨量非常丰富,长雨季条件下对土坝施工影响非常大,在土料场规划、土料运输、填筑施工工作面等方面采取了积极应对雨季的施工措施,确保了坝体快速填筑施工。

5.1 料场规划措施

做好土料场规划是应对长雨季填筑施工的关键,具体措施包括:

- a. 清表。为避免料场植被根系水对土料含水率的影响,料场清表工作需尽早开展,包含清理植被及根系、杂草、孤石等。清表结束后,快速形成完整土料场排水系统,确保短时降雨对土料含水率无明显影响。
- b. 料场复查。主要包括:①料源的分布、开采及运输条件;②覆盖层厚度、料层的地质变化及夹层分布情况;③料场的水文地质条件与汛期水位的关系;④料源的开采范围、占地面积、弃料数量以及可用料层厚度和有效储量;⑤土料物理力学性质。通过对几个方面的复查,确定了汛期以非防渗土料填筑为主、晴好天气抢填防渗土料的施工规划。
- c. 料场开采规划。通过料场复查工作,基本搞

清土料的空间分布情况和含水率变化趋势,确定了不同部位土料分别采用不同的开采方法。

5.2 土料运输措施

运输道路为土坝雨季施工的关键制约因素之一。施工中安排专人专用设备进行道路养护,对施工区内 14 条主要临时施工道路采取了 50 cm 石渣硬化路面,路宽按双车道 9 m 以上考虑,200 m 左右再设置一错车道,长下坡及转弯部位设置交通警示牌。安排 2 辆 ZL50 装载机专门进行道路养护工作。

根据填筑施工强度及施工区内施工道路承载能力,要求运输设备主要为 15~18 t 自卸汽车(吨位过小则车辆数量过多影响道路交通,吨位过大则对坝面形成过碾)。

5.3 坝面填筑措施

在竹银水库坝面填筑施工过程中,从填筑部位、坝面路口、坝面作业、施工时段等方面统筹考虑,实现了坝面填筑长雨季条件下连续高强度施工。

- a. 填筑部位规划。为了增加雨季坝体填筑工程量,坝面填筑部位规划为施工的关键因素之一。竹银水库坝体为土石分区坝,防渗区填筑料为全风化土料,非防渗区可用土料及石渣料。因此,结合天气特点,雨季坝体填筑施工时,在防渗区与非防渗区全断面齐平施工的大前提下,晴天尽量安排防渗区施工,阵雨天及短时小雨天安排非防渗区施工。
- b. 坝面路口规划。由于工程土料场均在库内及坝体下游面,两岸为陡峭山坡,无法布置非防渗区填筑施工道路,非防渗区填筑道路须经过防渗区。为实现雨天高强度填筑,结合现场地形,左右岸均布置了跨坝面防渗区道路,道路尽量远离坝体与山体结合处,路面临时铺设石渣,随填筑高程变化,雨后对道路石渣集中部位清除,确保防渗区填筑质量。
- c. 坝面作业规划。根据工程坝底宽度普遍较宽、坝轴线较长的特点,在坝基部位主要采用垂直坝轴线流水工作段布置,坝中上部按平行坝轴线流水作业段考虑。根据工程坝体为均质土坝的特点,按“龟背形”进行坝面填筑,以利雨水快速排泄及避免积水,倾斜坡度按 2% 左右考虑。
- d. 施工时段规划。珠海地区雨季夜间空气湿度非常大,连续降雨后空气湿度最高达 90% 以上,经现场试验,夜间所填土料因水汽凝结可使表层土料含水率提高 3%~5%,对土料碾压非常不利,容易出现表层弹簧土及振动碾表面附结土等现象。经不断试验总结,采取夜间凌晨 2 时之前铺土,凌晨 2—6 时推土机平土,暂不安排碾压作业,上午 9 时后安排碾压作业施工,最大程度保证了坝面平整及碾压质量。
- e. 雨季坝面作业。竹银水库工地靠近海边,小区域气象比较明显,因此在施工过程中加强气象预

报工作,提前做好防雨准备,正确掌握雨前停工时机。①根据雨季天气易突变的特点,考虑合理的推、挖、装、碾压设备搭配,雨前对已平整但尚未碾压的松土层,用平碾快速碾压形成光面,防止雨水渗透;②防渗体填筑面上的施工机械设备,雨前必须撤离填筑面,停放于非防渗区或坝外;③雨后按紧排水慢复工的原则施工,一次降雨过后特别是阵雨过后,根据天气预报,及时组织人员对防渗区坝面积水进行人工排除,避免雨水全部渗入已压实土体中。对已压实的土体,及时对表层含水率超高的土体采用推土机刮除表层3~5 cm,再用酒精燃烧法快速检测土料含水率,以不超过最优含水率+3%为宜。对未压实的土体,因土料含水率偏高,需根据天气情况,及时进行含水率测定以便下一步工作。

6 土方压实质量快速检测方法

竹银水库工程坝体土方填筑压实质量采用压实度进行控制,即用土体压实后测得的干密度与同一土料由标准击实试验测得的最大干密度的比值来反映压实的效果,由于料场土料的不均匀性,不同部位的最大干密度相差较大。现场采用核子密度仪几分钟就可得到现场干密度,但一个标准击实试验测得土料最大干密度需2~3 d,没有最大干密度值无法很快给出质评结果,影响继续施工;因此需要一种适合土料性质多变的压实质量快速检测方法,关键是快速确定现场土料相对应的最大干密度指标。施工现场主要采用了以下几种快速测定最大干密度的方法:

a. Hilf 三点快速击实法。Hilf 三点快速击实法为规范^[5]推荐的首选,用此法进行现场检验时,不需要测定含水率,仅在测定密度后,用测密度试验的土样作3种含水率的击实试验,测定3个击实湿密度,就可以确定填土的压实度、最优含水率与填土含水率的差值。此法的优点是能较好地考虑土料压实性的变化。在坝体填筑过程中,对于压实性变化较大的黏性土采用此法控制压实度。

b. 相关资料统计法。不均匀土料的性质不同,体现在最大干密度、最优含水率均不相同,其他物理指标也有差异。根据此原理,依据土料场复查试验资料,提前统计形成液限含水率或塑限含水率与标准击实试验获得的最大干密度、最优含水率相关关系图或关系式,供现场质评采用。当现场测得压实后土体的干密度时,同时也测得液限含水率,根据该液限含水率,通过已有的相关关系图或关系式获得该土料的最大干密度、最优含水率,与现场测得的干密度和含水率相比较,即可得到质评结果^[6]。

c. 多点移动平均值法。在料场复查及填筑施工过程中,对即将开采上坝填筑的土料分别取一定

组数的土样,进行标准击实试验,测得土料的最优含水率、最大干密度,按土样测试日期和部位记入表格并取平均值,作为测得现场干密度同样土料的最大干密度指标,现场干密度与最大干密度之比大于或等于压实度,则合格。依此类推,施工过程中连续从料场取样进行标准击实试验,将结果按顺序列在表格中,删除先前最早的数据,补充新测的最大干密度,以同样的组数移动平均,得到一个不断随土料变化而变化的最大干密度,并以日常工作面的土样标准击实试验对最大干密度进行实时修正调整。这样,只要测得现场干密度即可作出质评结果,此方法在土料性质不均匀但相对稳定时采用。

竹银水库坝体填筑过程中,在严格执行设计要求及规范的前提下,在土料压实质量检测环节中做了大量的工作,采取了以上3种操作性强且简便的快速检测方法,使得工作段压实质量检测工序时间控制在1 h之内,从而缩短了土方填筑的循环作业时间,实现填筑快速施工。

7 结 语

通过采取基坑开挖、基础处理、雨季快速填筑施工、压实质量快速检测等一系列的综合施工技术措施,珠海竹银水库在12个月内完成了760万m³的坝体填筑施工,工程于2011年4月全部完工并提前参与了珠海供水系统的调咸蓄淡任务,结束了珠澳两地冬季咸潮期喝咸水的历史,对保障澳门、珠海供水安全等发挥了重要作用。

工程运行1 a多时间以来,从目前掌握的观测数据看,坝体仍处于沉降发展过程中;水库的渗漏水量及沉降值均远小于设计及规范要求,工程质量良好。

参考文献:

[1] 曾凡杜. 坝面帷幕灌浆技术在竹银水库主坝坝基处理中的应用[J]. 水利水电科技进展, 2011, 31(6): 55-58. (ZENG Fandu. Application of dam surface curtain grouting technology in foundation treatment in main dam of Zhuyin Reservoir[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2011, 31(6): 55-58. (in Chinese))

[2] 黄献新. 滩坑水电站面板堆石坝坝坝新工艺[M]//土石坝技术2007年论文集. 北京: 中国电力出版社, 2007: 148-155.

[3] SL62—1994 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范[S].

[4] DL/T5148—2001 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范[S].

[5] DL/T5129—2001 碾压式土石坝施工规范[S].

[6] 郭庆国, 蔡长治. 土石坝建设实用技术研究及应用[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2004.

(收稿日期: 2012-05-18 编辑: 熊水斌)