



富春江船闸扩建改造工程围堰施工技术*

唐蔚东, 杨明波, 涂伟成

(中交二航局第一工程有限公司, 湖北 武汉 430012)

摘要: 在大坝泄洪区建设船闸围堰, 面临着泄洪水流大、水位落差大的难题, 这对围堰的防冲刷稳定、防渗等技术性能要求很高。因此必须把握住围堰的设计和施工要点。介绍富春江船闸扩建改造工程围堰设计和施工的成功经验。

关键词: 泄洪区; 围堰; 防冲刷; 防渗; 设计; 施工

中图分类号: U 641

文献标志码: B

文章编号: 1002-4972(2015)08-0066-05

Construction technology of cofferdam for Fuchunjiang river lock expansion project

TANG Wei-dong, YANG Ming-bo, TU Wei-cheng

(The First Construction Company of CCCC Second Harbor Engineering Co., Ltd., Wuhan 430012, China)

Abstract: In the dam flood discharge area, the lock cofferdam construction faces problems of large flood discharge flow and large height of water, which demands high technical performances, such as anti-scouring stability, anti-leakage of cofferdam, etc. Therefore, it is necessary to grasp the key points of design and construction of the cofferdam. This paper focuses on the successful experience of the design and construction of the cofferdam of Fuchun river lock expansion project.

Keywords: flood discharge area; cofferdam; anti-scouring; anti-leakage; design; construction

1 工程概况

富春江船闸建于20世纪60年代,是富春江水电枢纽的组成部分,是浙中西地区通往长三角沿海地区的唯一水上通道,年通过能力不足100万t。随着区域经济的快速发展,钱塘江上游的矿建材料、水泥、煤炭等大宗散货的运输需求迅速增长,船闸对钱塘江航运的“瓶颈”制约日益显现,扩建改造势在必行。据统计,目前全国有1300多座类似的碍航船闸。

施工围堰布置在原大坝右岸老船闸下游侧,是富春江船闸改造工程安全施工的保障性建筑物,起点从老船闸的闸室左边墙开始,至下游江心洲

河滩止,平行于扩建船闸的左边墙轴线布置,围堰总长达1613m。

2 工程特点

1) 富春江水电站为日调节河床式水电站,当大坝上游来水达3000m³/s以上时,水库需要泄洪。大坝共有17个泄洪孔,每孔设计泄洪流量1100m³/s。据1969—2008年统计资料,枯水年泄洪天数为4d,平水年为14d,丰水年为17d,年平均泄洪2.6次,泄洪期水位落差达16m。数学模型模拟结果显示:最大流速达12m/s,流态复杂,具有很强的冲刷效应,泄洪期主要在4—7月。

收稿日期: 2015-05-20

*基金项目: 交通运输部企业技术创新项目(201431542A060)

作者简介: 唐蔚东(1964—),男,高级工程师,从事港航工程施工技术工作。

除泄洪期外, 电站每日开机发电, 发电流量 400 ~ 3 000 m³/s, 坝下尾水位的变幅达 6 m。

2) 全国首座在已有运行枢纽工况条件下的扩建改造船闸, 其围堰布置在大坝泄洪区, 距大坝仅约 35 m, 围堰的抗冲稳定性能否满足要求, 是整个项目顺利实施的成败关键。

3) 施工期间, 电站每日开机发电, 坝下尾水位的变幅达 6 m, 且土石围堰为砂卵石回填料, 厚度较大, 给混凝土防渗墙成槽及防护施工造成极大的困难。

4) 顶冲段河床基岩起伏较大, 给防冲结构施工造成较大的困难。

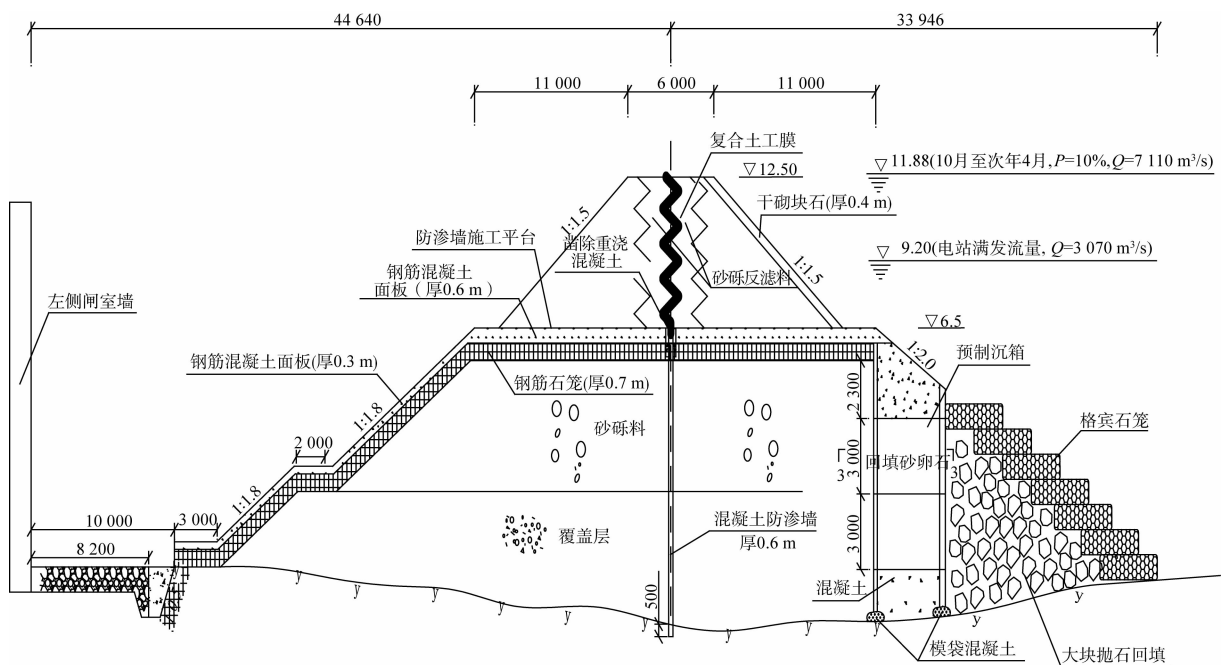
3 围堰设计优化

3.1 围堰设计^[1]

根据工程特点, 围堰设计分上、下两层, 在施工期间, 围堰挡水标准采用非汛期 (10 月至次年 4 月) 10 a 一遇洪水标准, 流量为 7 110 m³/s; 下层主体围堰为过流围堰, 设计过水标准为全年 10 a 一遇洪水标准, 流量为 15 300 m³/s。

下层主体围堰即为混合结构的过水围堰。对于坝下至 0 + 185 桩号处于枢纽泄洪消能区段, 在 10 a 一遇洪水以下, 泄洪消能水垫不足, 其纵向围堰过流保护结构顶高程及防渗墙顶高程设置在 6.5 m, 并对与老船闸相衔接 130 m 范围迎水面采用相互连接的钢筋混凝土预制沉箱加抛石防护的加强结构作为防冲结构物; 对于 0 + 197 ~ 0 + 788 段, 按照电站满发流量 $Q = 3\,070\text{ m}^3/\text{s}$, 相应水位为 9.2 m, 确定堰体防渗墙施工平台高程为 9.5 m。防渗墙施工完成以后, 堰面 5.0 m 高程以下采用模袋混凝土 + 格宾石笼防护, 5.0 m 以上高程采用钢筋石笼 + 混凝土面板防护, 背水面的护面结构采用钢筋石笼 + 混凝土面板防护一直延伸至船闸外侧灌砌石防冲护坦的齿墙。

上层设置子围堰, 顶宽 6 m, 顶高程为 12.5 m, 两侧坡比为 1:1.5, 采用土工膜心墙防渗, 堰体采用河滩砂砾料填筑, 迎水面设 60 cm 厚砌块石护面, 在汛期大洪水时临时拆除过水。图 1 为围堰断面结构。



a) 0-060 ~ 0+185段

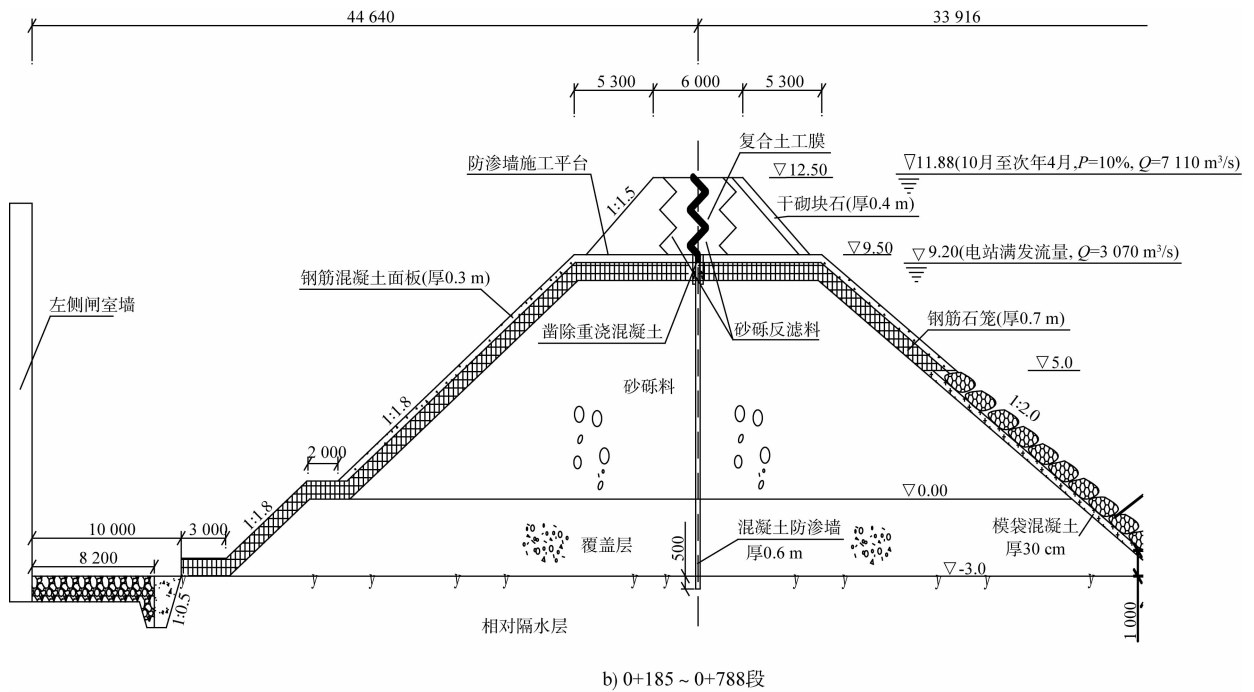


图1 段围堰断面 (高程: m, 尺寸: mm。下同)

3.2 防护结构优化

围堰桩号 0-070 ~ 0 + 185 顶冲段, 原设计钢筋混凝土护面板顶高程为 6.5 m, 电厂每日开机发电, 外侧水位大部分时段高于 6.5 m, 致使护面板有效施工时段短, 因此调整顶冲段防护结构高程至 9.0 m, 护面板厚度由原来的 0.6 m 加厚至 0.8 m, 并与沉箱有效连接, 确保抗冲稳定。

4 施工要点

4.1 围堰填筑

围堰填筑前, 须先对河床围堰防渗墙轴线 3 m 范围内大于 20 cm 以上的大块石进行清理, 采用长臂挖机在堤端部清理。

纵向围堰以陆上推进回填方式施工为主, 水上方驳回填为辅。自卸汽车从切滩疏浚开采区装运填料到围堰填筑区, 沿着测量放出的围堰轴线、边坡线, 采用端进法从陆上推进回填, 每隔 200 m 设置汇车平台, 以利施工车辆运行, 堰体断面边填筑边用挖掘机整修边坡。

为减小混凝土防渗墙、高喷防渗墙的施工难

度, 增强施工效果, 围堰填筑时, 粒径较大的骨料沿两边线填筑, 防渗墙轴线区域尽量选用级配较好的细骨料或者黏土含量较多的细料, 并控制回填料宽度不小于 3 m。

纵向围堰与横向围堰同时施工, 优先完成横向围堰填筑, 通过横向围堰断流减少江水对土石方的冲刷, 同时在纵向围堰顶冲段即将合拢时选择低流速时间段迅速合拢施工。

4.2 沉箱施工

围堰在 0 - 070 ~ 0 + 060 顶冲段迎水面布置 30 个沉箱, 沉箱平面尺寸 5.0 m × 5.0 m。根据抗冲稳定性、河道通航条件、设备资源、进度、经济性等各方面综合分析, 制定了整个下放钢套箱现浇沉箱方案。施工要点如下:

1) 施工前, 通过扫海测量及潜水员下水触摸, 确定沉箱基床岩面高程及起伏情况。

2) 根据实测岩面高程确定整平后的高程, 通过抛放袋装混凝土将沉箱四周基床整平至安放标准, 然后安放混凝土垫块及整平导轨检验。沉箱基床整平如图 2 所示。

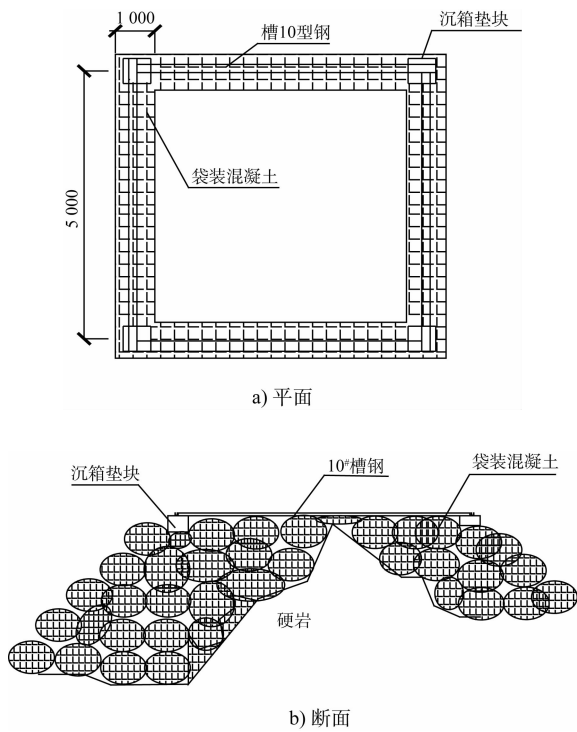


图 2 沉箱基床整平

3) 钢套箱模板加工制作, 汽车运至现场拼装。模板采用 5 mm 厚钢板, $\angle 50 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ 角钢作次肋, 间距 450 mm; 主肋由 2 根槽 10 cm 双拼。模板分 2 次拼装, 后场分节拼装, 拼装高度 2~3 m; 前场整体拼装, 将分节拼装好的钢套箱模板安装成一个整体。模板吊装前在其外边距模板 50 cm 处设置 DN150 \times 3 mm 钢管, 通过角钢与钢套箱模板焊接固定, 钢管两端用胶布封堵, 便于锚杆施工。

4) 钢套箱模板采用 80 t 起重船水上吊装, 前场拼装平台搭设在已填完成的围堰上, 方便起重船吊装。2 根 7.5 m 长的槽 25 型钢作为钢套箱模板吊架, 在顶节钢套箱模板 4 个加强角处穿入 8 个 M20 精扎螺纹钢, 螺纹钢底部用螺帽固定, 上部与吊架连接; 钢套箱模板沉放过程中, 在沉箱 2 个对角绑定 2 个 GPS 以定位沉箱角点坐标确定沉箱位置, 确保钢套箱模板安放在袋装混凝土上, 并调整钢套箱垂直度。

5) 混凝土浇筑时采用双导管水下浇筑混凝土, 导管底口距沉箱底部 30 cm。

6) 相邻沉箱混凝土浇筑后, 根据空隙实际宽

度插入组合模板作为水下混凝土模板, 组合模板与钢套箱模板焊接固定, 采用导管法浇筑水下混凝土, 使沉箱之间连成整体。

7) 待相邻沉箱混凝土浇筑完成约 5 个之后, 开始沉箱后方回填, 并保持与沉箱一定步距, 防止回填料进占沉箱基床而影响沉箱安放。

8) 沉箱锚杆钻孔采用地质钻机钻孔, 主要钻进预埋管内混凝土及 3.5 m 厚岩层, 每个沉箱钻孔完成后立即将锚杆植入孔内, 采用灌浆机由底往上灌浆, 直至孔顶返回浓浆为止。

9) 沉箱顶层混凝土浇筑时, 在混凝土初凝前梅花形式植入钢筋 $\phi 20 @ 500$, 待护面混凝土施工时, 预留钢筋与护面混凝土钢筋焊接成一个整体, 保证沉箱与护面混凝土连成一个整体, 共同抵抗泄洪冲刷力。

4.3 防渗墙施工^[2]

围堰做好防渗处理、形成干地施工是工程能否顺利实施的关键。围堰 0+070~0+543 区段采用 60 cm 厚混凝土防渗墙, 轴线 0+543 以下部分采用高喷防渗墙。混凝土防渗墙施工区段主要是新填筑的砂砾料, 厚度较大, 且水下回填部分无法分层碾压, 给防渗墙施工带来很大的难度, 易产生孔斜、塌孔等问题; 且电站每日开机发电, 坝下尾水位的变幅达 6 m, 围堰填筑后, 过水断面减小, 造成一定的水位雍高, 白天正常发电水位达 9.5 m 左右, 与围堰填筑顶高程相当, 造成混凝土防渗墙成槽施工难度较大。

针对以上施工难点, 主要采取以下措施:

1) 导向槽施工。基地整平后以防渗薄墙轴线为中线进行开挖, 用钢筋混凝土浇筑一个宽 60 cm、高 100 cm 的导向槽。导墙顶面高程设置为 10.0 m, 内侧间距 70 cm, 保证槽内泥浆液面高出外侧水位。

2) 泥浆的制备。根据本工程外侧水位频繁涨落特点, 采用三级膨润土制浆, 浆液性能应满足规范要求。

3) 成槽施工。

①钻抓法: 采用“三钻两抓法”工艺进行施工, 冲击钻机钻取主孔, 抓斗机高效抓取副孔。

此方法主要针对条件是：临时围堰填筑料为砂卵石料、相对原始地层比较松散、在防渗墙施工中容易漏浆及大面积坍塌、难已成槽，冲击钻机钻主孔时多加黏土，起到对松散地层的挤密作用，达到堵漏效果，为抓斗顺利抓取副孔创造条件。若抓斗施工时发生严重漏浆现象，则应立即回填黏土和砂子堵漏，反复抓填，直到浆液面不下降为止，确保成槽质量。在入岩后，采用钻凿法施工以确保入岩深度不小于 50 cm。

②单段槽孔尺寸划分：槽孔成孔分段进行，单段槽孔长 6.4 m，共分为 5 个孔，其中 3 个主孔单个宽度为 0.6 m，2 个副孔单个宽度为 2.3 m，如图 3 所示。单段槽孔成孔完成后，在槽孔的两端各竖直下放一根钢管，钢管做为接头管，在单段槽孔浇筑混凝土时相当于侧模，使混凝土端部形成半圆形的表面；单段槽孔混凝土浇筑成型后，拆除接头管，即可进行临近段的槽孔成孔施工；钢管式接头管的设置确保了两段槽孔内的混凝土紧密接触，可有效防止接缝处漏水。

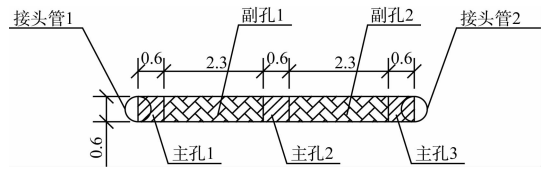


图 3 单段槽孔尺寸划分 (单位: m)

5 结语

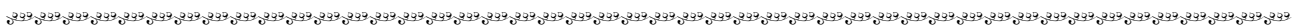
1) 经过 2013—2015 年近 3 年的大坝排流、泄洪考验，富春江船闸扩建改造工程围堰未发生任何质量安全事故，证明围堰设计和施工满足要求。

2) 通过采取水下整平、下放钢套箱、设置抗浮锚杆等措施，高效地完成了沉箱现浇施工，大大提高了围堰的抗冲刷稳定性。

3) 采用“三钻两抓法”工艺进行防渗墙成槽施工，有效地防止了成槽塌孔。

参考文献：

[1] SL 645—2013 水利水电工程围堰设计规范[S].
 [2] DLT 5199—2004 水电水利工程混凝土防渗墙施工技术规范[S]. (本文编辑 郭雪珍)



(上接第 42 页)

普通混凝土，其 7 d 强度随着 SS 掺量的增大而提高；28 d 强度在 SS 掺量为 20 L/m³ 时最大，掺量增加为 30 L/m³ 时，其抗压强度无明显变化。海工混凝土，其 7 d 强度随 SS 掺量的增大而降低；28 d 强度在 SS 掺量为 20 L/m³ 时基本不受影响，掺量进一步增加到 30 L/m³ 时，其抗压强度反而降低。

SS 能够增强混凝土抗氯离子渗透性，混凝土抗氯离子渗透性随疏水化合物掺量的增大而增强。

SS 能够减小混凝土的吸水率，掺量越大，吸水率越小。SS 对普通混凝土吸水率的影响大于海工混凝土；对于普通混凝土，龄期越长，混凝土吸水率减小越明显。

3) 在对混凝土抗压强度的增益上，SS 强于 H。

在实际工程应用中，达到相同的抗氯离子渗透性能，使用 SS 所需投入的成本要低于 H。随着时间的推移，SS 在混凝土内部充分反应，可以达到和 H 相近的吸水率降低效果。

参考文献：

[1] 张苑竹, 金伟良. 基于可靠度的混凝土梁耐久性优化设计[J]. 浙江大学学报, 2003, 37(3): 325-330.
 [2] Nzeribe M I, Brian B H, Carolyn M H. Structural shaped effect on rehabilitation of vertical concrete structures by ECE technique[J]. Cement and Concrete Research, 1996, 26(1): 165.
 [3] 金伟良. 混凝土结构耐久性设计方法与寿命预测研究进展[J]. 建筑结构学报, 2007, 28(1): 7-13.
 [4] Aldred L. 关于建立长期有效的桥梁混凝土耐久性安全体系[C]// 中国公路学会, 广西公路学会. 2007 年全国桥梁安全技术论坛暨中美日桥梁安全论坛论文汇编. 桂林: 广西公路学会, 2007.
 [5] 赵维蓉. 表面活性剂化学[M]. 合肥: 安徽大学出版社, 1996.
 [6] 冯金之. YE 系列防水剂性能及防水机理探讨[J]. 混凝土与水泥制品, 1994(2): 15-17.

(本文编辑 郭雪珍)