

# 锦屏一级水电站左岸导流洞出口水下混凝土围堰设计与施工技术研究

王强, 张宇

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610081)

**摘要:**为满足锦屏一级水电站左岸导流洞封堵施工要求,需对右岸导流洞单洞过流,高水深、非静水条件下左岸导流洞出口围堰大体积水下混凝土进行设计与施工。鉴于对出口围堰稳定性和防渗性要求,需对左岸导流洞出口水下混凝土围堰进行设计和施工研究,介绍了所进行的设计与采用的施工技术。

**关键词:**导流洞出口;水下混凝土围堰;高水深;设计;施工;锦屏一级水电站

**中图分类号:**TV7;TV52;TV544;TV222

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2016)06-0030-03

## 1 概述

锦屏一级水电站设置有左右岸导流洞,在大坝导流底孔完成、主体浇筑至满足过流条件后,需对导流洞进行分期封堵以进行蓄水。根据现场实际情况及左右岸导流洞地质情况,通过设计规划和专家组论证,决定先对左岸导流洞进行封堵施工,左岸导流洞临时堵头封堵完成后再进行右岸导流洞下闸封堵施工。依照该原则并经过设计复核,左岸导流洞出口水下混凝土围堰需在右岸导流洞过流量达到  $600 \text{ m}^3/\text{s}$ 、水深超  $13 \text{ m}$  情况下进行施工。由于现场场地狭窄、环境复杂、施工难度大,必须对左岸导流洞出口水下混凝土围堰进行设计和施工研究。

## 2 水下混凝土围堰的设计

根据《锦屏一级水电站导流洞下闸封堵设计报告》之《锦屏一级水电站分期洪水成果表》,混凝土围堰高度按照全年5年一遇洪水设计(流量值  $Q=6\,920 \text{ m}^3/\text{s}$ ),相应围堰堰顶高程  $1\,655 \text{ m}$ ,围堰总高度  $H=1\,655-1\,634=21(\text{m})$ 。堰底宽度  $12.4 \text{ m}$ ,堰顶宽度  $2 \text{ m}$ ,堰轴线基本与左岸导流洞出口钢栈桥轴线平行。

出口围堰水下混凝土部分按照最大设计下闸流量  $2\,170 \text{ m}^3/\text{s}$  洪水标准进行设计,根据施工期水位流量关系并考虑锦屏二级水电站蓄水影响,水下混凝土浇筑高程为  $1\,647.5 \text{ m}$  (含  $30 \text{ cm}$  安全超高),水下混凝土围堰总高度  $H=1\,647.5-1\,634=13.5(\text{m})$ 。为便于水下混凝土施工立

模等,经综合考虑,将水下混凝土堰体部分上下游面设计成垂直面。围堰高程  $1\,647.5 \text{ m}$  以上背水面上游侧预留  $4.4 \text{ m}$  宽平台作为设备安放场地,背坡坡比为  $1:0.8$ ,迎水面为垂直面,混凝土高度为  $7.5 \text{ m}$ ,围堰顶部宽度为  $2 \text{ m}$  (图1)。

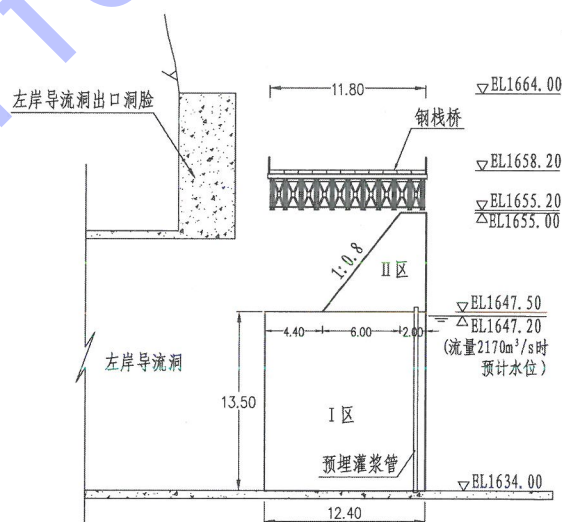


图1 出口围堰结构图

## 3 水下混凝土围堰结构验算

对左岸导流洞出口水下混凝土围堰进行了最大设计下闸流量对应洪水标准下抗倾覆稳定计算及抗滑稳定计算(验算过程文中未详述)。经验算,出口水下混凝土围堰设计参数满足稳定性要求,水下混凝土围堰参数获得各方复核通过。

## 4 水下混凝土围堰施工方案的研究

根据现场施工条件,左岸导流洞出口靠山侧为陡峭山坡,边坡  $1\,667 \text{ m}$  高程为2#公路交通洞

收稿日期:2016-10-28

出口,靠河侧为桥台和围堰道路,导流洞出口上部为钢栈桥,桥梁最大汽车通行能力为40 t(无法通行大型吊车)。在桥梁两侧采用中型吊车时,由于场地限制桥台宽度无法满足场地要求,需对所占用的部分桥面进行加固处理。鉴于上述现场条件,通过前期勘查和方案研究,拟定了以下三种方案:

方案一:分块独立拼接组合模板+吊车+导管法。

将上游、下游模板分别作为两个独立的分块,各模板结构采用主骨架为工字钢、次骨架为矩形钢焊接而成的桁架结构,在桁架的迎水面焊接组合钢模板作为面板,桁架底部设置防倾覆的侧向三角架支撑。加工完成并由两台吊车抬吊放入预定位置后,由吊车将预制混凝土压重块放入水中的三角架位置,桁架顶部与边墙的插筋连接。模板主要依靠自重在水流和浇筑过程中保证稳定和抵抗混凝土侧压力。

方案二:“沉箱”模板+吊车+导管法。

通过对混凝土浇筑部位的体型进行测量后,在金属加工厂加工并现场焊接安装大型钢结构沉箱模板,沉箱模板采用型钢骨架,钢板覆盖其表面。在现场制作完成后,由吊车吊运放入水中的预定位置,沉箱两侧与导流洞导墙混凝土贴合,最后利用导管进行水下混凝土浇筑。吊车施工前,需对吊车支撑占用桥面的位置进行加固。

方案三:整体模板+吊车、卷扬机+导管法。

上、下游模板沿横向分块在加工厂加工完成后,首先将上、下游底部分块吊装并利用钢栈桥悬置于桥梁两侧,由吊车将上、下游模板上部分块逐次吊装与下部结构焊接在一起,并利用型钢和钢管将上、下游模板连接为整体(图2)。完成全部拼装任务后,由卷扬机将其下放至水下预定位置,最后利用导管进行水下混凝土浇筑。

通过对三种水下混凝土施工方案进行对比得知:

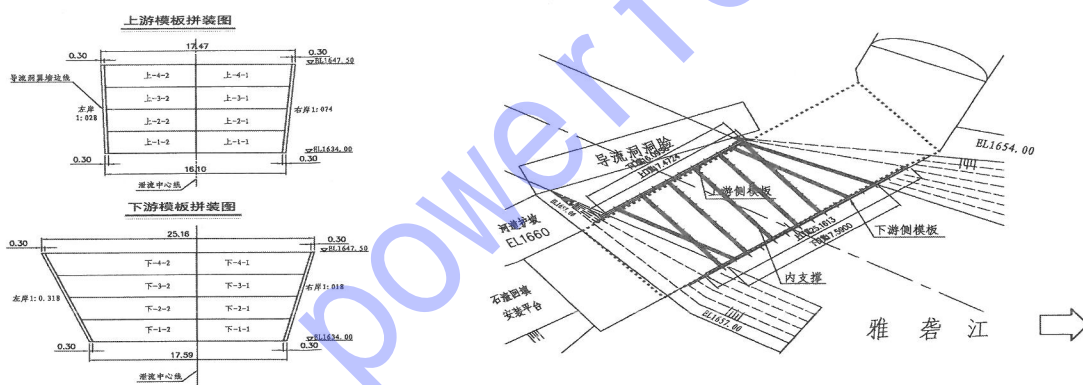


图2 整体模板+吊车、卷扬机+导管法施工方法图

方案一的缺点为水下拼接控制难度太大;方案二中,沉箱与原出口边墙难以完全贴合,且桥台加固方案不经济;方案三避免了采用大型起吊设备,采用小型卷扬机吊装即可,经济性好,模板安装固定时间短,充分利用了钢栈桥桥面及桥下的立体空间,模板整体稳定性和抗倾覆能力较强,在加强施工现场管理组织和拼装焊接质量的前提下,能够保证水下混凝土模板的稳定性和密闭性。最终,经专家组会议论证,决定采用方案三。

## 5 出口围堰水下混凝土施工

### 5.1 水下混凝土施工模板结构设计

水下混凝土围堰上、下游模板设计综合考虑

了钢栈桥与左岸导流洞出口翼墙之间的尺寸、吊车吊装能力、安装方便、模板稳定性及可靠度等因素。上、下游模板为满足加工和运输、现场安装等要求,各分为8个分块进行加工。模板横向按照3 m一层分为4层,单层按照靠近中轴线位置分为2块,上、下游共16块,采用I25a工字钢、[18槽钢及12 mm厚钢板制作。模板边缘侧安装的橡胶皮带U型槽及橡胶皮带裙边与导流洞边墙紧密贴合,模板加固采用在模板竖向骨架和横向骨架的I25a工字钢交叉点上设置对拉 $\phi 159 \times 9$  mm钢管连接。

### 5.2 水下混凝土施工通道设计

为满足上、下游各分块模板在水上拼装、连接件焊接施工、材料运输、人员通行等施工需要,在模板安装前,需在钢栈桥下部设置施工平台、人员施工通道及材料与运输通道。在上、下游模板内侧焊一个钢平台,钢平台宽度为1.2 m,采用角钢焊接支撑,上铺木板。人员运输通道采用 $\angle 50\text{ mm} \times 3\text{ mm}$ 焊接形成宽度为50 cm的梯步。

### 5.3 水下混凝土模板安装基础的调查及清理

水下混凝土模板安装前,需要对模板安装部位的左岸导流洞底板基础情况进行前期调查。调查主要采用下闸后由潜水员下潜至水下对基础部位进行探摸的方式,需对水下基础部位的淤泥层厚度、有无大块石等情况做好记录和统计。对于水下淤泥层,采用高压风或高压水搅动配合污水潜水泵抽出的方式进行清淤;有大块石时,将根据块石情况制定专项方案采用水下爆破或其他方式进行清理。经调查得知:模板放置部位主要为淤泥层、无大块石,遂决定采用高压水进行清淤。

### 5.4 水下混凝土模板的安装

上、下游模板分块加工完成后,首先将上、下游底部分块同时吊装并利用所设置的钢栈桥上的卷扬机和葫芦悬置于桥梁两侧,由吊车将上、下游模板上部分块逐次吊装与下部结构焊接在一起。为满足桥下的安装空间和作业人员的安全,采用边拼装、边下放的方式。上、下游模板全部安装完成后,利用型钢和钢管将上、下游模板连接为整体。

### 5.5 施工平台的安装

为满足浇筑施工时导管提升、施工人员通行、浇筑施工材料堆放等要求,需在模板安装完成后在水面以上搭设施工平台,施工平台充分利用模板顶层的支撑连接钢管以及竖向立杆,在其上部增焊 $\phi 32$ 螺纹钢至形成 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的网格,在网格上铺装双层马道板以形成作业平台。

### 5.6 水下混凝土浇筑

水下混凝土浇筑程序为:导管下放到底、固定→安放导管塞→水泥砂浆润管、闭气→满管下料→割除导管塞固定绳→开浇→提升导管,循环浇筑。

水下混凝土采用升管法浇筑。水下混凝土浇筑高度为13.5 m,一次浇筑完成。采用 $\phi 219\text{ mm}$ 钢管作导管,混凝土为一级配、高塌落度、自密实C25混凝土。首批混凝土单管浇筑量为 $3.5\text{ m}^3$ ,确保导管埋入混凝土范围内0.8 m。

经试验确定,左岸导流洞出口围堰水下C25混凝土参考配合比为:水:水泥:粉煤灰:砂:小石:中石=175 kg:333 kg:83 kg:815 kg:598 kg:399 kg,外掺江苏博特JM-PCA减水剂2.496 kg,混凝土扩展度为 $550\text{ mm} \pm 50\text{ mm}$ 。

### 5.7 等强和防渗处理

水下混凝土浇筑出水面后,排除仓内余水,浇筑至模板外侧水面以上30 cm。对水下混凝土进行等强后,利用水下混凝土靠迎水面侧模板面埋置的两排间距1 m布置的DN80钢管灌浆,灌浆采用的配合比为0.5:1、0.8:1,分两序注浆,灌浆压力为0.35~0.5 MPa,以保证围堰的防渗性能。

## 6 结 语

通过对锦屏一级水电站左岸导流洞水下混凝土围堰的设计和施工技术研究,在高水深、场地狭窄受限的条件下快速完成施工。通过对左岸导流洞抽排水后进行检查得知:围堰防渗性能良好,保证了左岸导流洞封堵的施工安全并满足施工进度要求。

### 参考文献:

- [1] DL/T 5309-2013, 水电水利工程水下混凝土施工规范[S].

### 作者简介:

王 强(1976-),男,黑龙江齐齐哈尔人,分局长助理,高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工;

张 宇(1985-),男,四川广安人,项目副总工程师,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工。

(责任编辑:李燕辉)

## 向家坝水电站2016年发电量突破300亿千瓦时

截至11月15日9时25分,长江电力向家坝水电站今年累计发电量已突破300亿千瓦时,比去年同期增发电量约18亿千瓦时,为国家节能减排、环境保护作出了积极贡献。今年汛期,向家坝电站8台巨型机组满负荷运行时间长达2117小时,与去年相比同比增加了53.1%,满负荷运行累计发电量约127亿千瓦时,切实把握了汛期发电的黄金期。目前,向家坝电站2016—2017年度岁修工作已启动,向家坝电厂将继续以安全发电为首要目标,合理安排机组检修,继续深化措施提质增效,把握时机多发电量,为社会源源不断奉献清洁能源。