

浅析高水头大流量工况下一期 全年围堰主河床截流技术

王秀红 程选勤

中国水利水电第三工程局有限公司

摘要：孤山航电枢纽工程地处丹江口水库库尾，受丹江口水位雍高顶托，一期全年围堰主河床截流形成高水位大流速施工特点。截流采用料源大部分来自枢纽下游侧江心孤山岛，施工期在保证汉江江水正常下泻的条件下合理的填筑江心水上道路。道路填筑和主河床截流分别在孤山岛的左右岸，截流窗口期前左侧河床江心道路拆除间隙期短。通过本工程主河床的截流，高水头大流量一期全年围堰主河床截流积累了一定的经验。

关键词：高水头；大流量；截流技术

一、概述

孤山航电枢纽主要任务是发电、航运。水库正常蓄水位177.23m，正常蓄水位以下库容1.09亿m³，水库总库容2.12亿m³，电站装机容量为180MW（4×45MW），多年平均发电量5.90亿kW·h，规划航道等级为IV级。

根据1951~2013年系列统计，孤山坝址天然多年平均径流量为247亿m³，平均流量为783m³/s，年径流量为409mm。孤山坝址11~4月的径流量为50.2亿m³，占年水量的20.3%。考虑本流域洪水季节特点及施工组织需要，主河床截流施工期确定为11月1日~5月20日。期间孤山坝址各月不同频率的设计月平均流量成果见表1.1-1。

二、施工特点

1、工程地处丹江口水库库尾，受丹江口水位雍高顶托水库高水位运行，上、下堰仅落差10cm，一期全年围堰截流形成高水位大流速施工特点。根据水文地质资料及现场布置显示，右侧河床覆盖层较厚的特点，截流主河床平均水深为8~10m，最大水深达到12m以上。

2、本工程截流采用料源大部分来自电站下游侧江心孤山岛，孤山岛地处枢纽下游侧江心位置，在保证汉江江水正常下泻的条件下合理的填筑江心水上道路。道路填筑和主河床截流分别在孤山岛的左右岸，截流窗口期前左侧河床江心道路拆除间隙期短。截流施工难度大，安全风险高^[1]。

3、截流和围堰施工是导截流工程的关键项目，截流工程是本工程的龙头，确保这些项目的施工工期是保证本工程施工总进度的前提。截流钱堤进占方向与主流河床角度较大，综合因素分析截流时间定在11月下旬，截流时水流流速较大，龙口合龙施工中抛投强度大。

三、截流方式的选择

截流采用单钱双向立堵法截流，截流以左岸进占为主，右岸进占为辅，选择由左、右岸向中间单钱双向进占的截流方式。预进占时钱堤上、下游高程采用167.0m，合龙时流量按11月孤山坝址枯水期流量1000m³/s控制。

截流钱堤为上游围堰堰体组成部分，钱堤轴线布置在上游围堰轴线的下游侧27.2m处。截流钱堤顶长约346m，堤顶高程167.00m，钱堤顶宽设为15.00m，钱堤按梯形断面设计，迎水面坡背水面坡比均为1：1.5。截流龙口布置在右侧主河道上，经水力学计算，预留龙口宽度为80米时，流速1.08m/s，其中龙口30m~50m为龙口合龙困难区，最大流速为1.98m/s，发生在龙口顶口宽30m时。

四、截流水力学计算

（一）截流合龙水力学计算

在预进占完成以后，预留龙口宽度为80m时，为了保证水流产生壅高不大，需要校核龙口泄水能力是否满足设计泄洪要求。在截流流量Q=1000m³/s时，对应的钱堤前最高水位为165.23m，龙口底部高程156.4m等参数条件下。立堵截流预留龙口泄水能力按照龙口断面形式分为梯形或三角形断面的宽顶堰。根据公式 $Q = \sigma_s m b \sqrt{2g} H_0^{3/2}$ 计算其泄水能力，不同龙口宽度水力学参数成果见表4.1-1。

（二）龙口抛石稳定分析

根据水力学参数表分析，龙口宽度逐渐减小的过程中，龙口流速由1.08m/s逐渐增至1.98m/s，尤其是龙口在30~50m合龙过程中，龙口流速及单宽功率较大，龙口抛填最为困难^[2]。

在截流过程中，不同的龙口宽度有对应的龙口流量和对应的

表1.1-1 孤山施工期各月平均流量设计成果（单位：m³/s）

| 分月 | 瞬时最大流量 | | | | 月平均流量 | | | |
|-----------|--------|------|------|------|-------|-----|-----|-----|
| | 5% | 10% | 20% | 50% | 10% | 20% | 80% | 85% |
| 11 | | 4610 | 1830 | | 895 | 733 | 316 | 286 |
| 12 | | | | | 417 | 365 | 267 | 257 |
| 11.1-5.20 | 8220 | 6640 | 5020 | 2790 | | | | |

表4.1-1 钱堤填筑水力学参数（Q=1000m³/s）

| 龙口宽度 (m) | 特征水位 | | 分流量 | | 龙口水力要素 | | | | |
|-------------|---------------|---------------|-----------------------------|---------------------------|--------------|-------------|-----------|-------------------|---------------|
| | 龙口上游水位 (m) | 龙口下游水位 (m) | 束窄河道 (m ³ /s) | 龙口 (m ³ /s) | 平均龙口宽 (m) | 龙口水深 (m) | 落差 (m) | 单宽能量 (t.m/s.m) | 平均流速 (m/s) |
| 80 | 165.23 | 165.23 | 319.23 | 608.77 | 63.9 | 8.83 | 0 | 1.90 | 1.08 |
| 50 | 165.23 | 165.23 | 594.6 | 405.4 | 33.9 | 8.83 | 0 | 2.39 | 1.48 |
| 20 | 165.43 | 165.23 | 980.36 | 19.64 | 10.0 | 3.83 | 0.2 | 0.39 | 0.82 |

表4.2-1 截流过程中龙口抛投石料最小粒径指标表(计算成果)

| 龙口宽度B (m) | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 龙口流速v (m/s) | 1.08 | 1.28 | 1.35 | 1.48 | 1.55 | 1.98 | 0.82 |
| 抛石计算粒径 (cm) | 5 | 7 | 7 | 8 | 10 | 12 | 4 |
| 抛投体重量 (t) | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |

表 4.3-1 截流过程中龙口抛石冲距指标表(计算成果)

| 龙口宽度B (m) | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 |
|-------------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|
| 龙口流速v (m/s) | 1.08 | 1.28 | 1.35 | 1.45 | 1.55 | 1.98 | 0.82 |
| 水深H (m) | 8.83 | 8.83 | 8.83 | 8.83 | 8.83 | 8.83 | 3.83 |
| 抛投体重量W (t) | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 抛石冲距L (m) | 7.83 | 10.21 | 9.85 | 11.04 | 12.23 | 12.59 | 3.61 |

流速,截流时抛投不同粒径的块石有不同的稳定流速,根据龙口流速,计算在该流速下块石能够稳定的当量粒径。块石的稳定采用伊兹巴什公式 $D = (r \times v^2) / (2g \times (rs-r) \times K^2)$

计算,考虑到孤山截流戗堤处河床底部存在砂砾石覆盖层,

故K值可取1.2进行计算。抛投体重量按照公式 $W = \frac{\pi}{6} d^3 r_s$ 计算。经计算不同龙口宽度截流过程中龙口抛投石料最小粒径指标见表4.2-1。

(三) 抛石冲距计算

截流戗堤抛填施工时,抛填料属于动水抛填,石块在河底的稳定点和入水点不在同一位置,在抛填施工中块石在河底稳定后距离抛投点的距离与水流参数和河床粗糙度有关,由于因素复杂,河床表面地形千差万别,按下列经验公式 $L = 0.92 \frac{vH}{G^{1/2}}$ 计算,

经计算不同龙口宽度抛投石料抛石冲距见表4.3-1。

五、龙口分区及材料用量

根据截流时流速的变化对抛填料粒径大小的要求将龙口分为三个区进行抛填施工:

I区:龙口80m缩减至50m范围为I区,抛填料粒径为60cm以下混合料,并抛投少量块石,备料考虑30%的流失量。

II区:龙口由50m缩减至20m范围为II区,随着不断向龙口进占,龙口流速由1.08m/s增大至截流最大流速1.98m/s。此阶段为截流最困难时段,抛投料流失较为严重,除了抛投20cm~40cm的石渣外,还需抛投粒径40cm~60cm的块石及部分块石钢筋笼。备料考虑35%的流失量。

III区:从龙口宽度20m进占至合拢,进占长度20m,龙口流速由0.82m/s逐渐减小至0.00m/s,龙口形状为三角形,此时龙口流量已经很小,截流进入最后合拢阶段,抛投粒径为20cm~40cm石渣及少量块石,并将戗堤顶高程填筑到167m高程。备料考虑30%的流失量。

六、截流施工

(一) 截流程序

本工程截流程序主要为:左右岸施工道路及江心道路填筑→上游围堰预进占→左右岸戗堤同时预进占至龙口部位→裹头防护→在平台上堆放块石、钢筋笼等特殊抛填料→临时备料场备料→左侧河道疏浚及江心道路挖除→龙口I区、II区、III区抛填施工→截流龙口合拢→下游围堰截流。

(二) 截流戗堤施工

戗堤填筑施工分三个阶段进行。第一阶段为纵向临时围堰的填筑及左侧河道疏浚分流;第二阶段为上游围堰左、右岸戗堤

段预进占,即在正常截流标准下,戗堤同时从左右岸方向沿截流戗堤中心线预进占,直至设计龙口位置处,之后对其裹头进行防护;第三阶段为龙口合龙区施工阶段。

(1) 截流料源条件:为保证龙口合龙施工中特种料的抛填强度,截流石渣料、块石料等截流材料主要备料临时堆放在围堰附近空地,钢筋笼等特殊料制作加工完成后全部运输至上游围堰堆料平台上。

(2) 左右岸非龙口段戗堤施工:左岸向右岸进占龙口位置端头形成堆料平台,并在左岸戗堤进占至龙口部位时采用钢筋笼对龙口裹头进行防护,同时右岸进行右岸戗堤进占,同样端头形成堆料平台,并在龙口部位对龙口裹头利用钢筋笼防护,保证预进占堤头填料的稳定,避免在合龙施工时因裹头坍塌造成人员设备的损伤。

(3) 龙口段截流施工:截流戗堤龙口段采用全断面推进的方法进行施工。①采用大石料、钢筋石笼等抛在堤头上游角迎水侧抗冲稳角,石渣料、中大石料、特大石料和钢筋石笼齐头并进,全断面进占。②进占方式为满足抛投强度,视堤头的稳定情况,尽量采用自卸汽车直接抛填,酌情采用堤头集料、推土机赶料的方式抛投。在容易坍塌的抛填区段采用堤头赶料的方式抛投,自卸汽车在堤头卸料,堤头储备一定数量集料量由推土机配合赶料抛填。③辅助措施:当戗堤龙口合龙,流速过大导致合龙进展缓慢时,将戗堤堆料平台上的大块石,用自卸车抛投至龙口,加强龙口稳定,改善龙口水力条件,促进戗堤顺利合龙。

七、结语

通过科学、合理编制截流专项方案和施工资源的配置。充分利用江心岛地势及岛上先期纵向围堰施工弃渣料作为主河床交流的主要来源。时间上、空间上合理规划,充分利用截流前的空窗期,在右岸主河床过流的情况下,截断左岸河床,实现预进占及截流料储备。截流时集中精力进行江心道路拆除创造分流条件,实现高水位大流量工况下主河床截流成功^[3]。孤山航电枢纽一期全年围堰顺利填筑,为高水头大流量一期全年围堰主河床截流积累了一定的经验。

参考文献

- [1] 韩飞. 长江中游周天河段近期河床演变及碍航特性[J]. 水运工程, 2017(03):100-105.
- [2] 霍震玮. 浅谈河床演变规律及河道整治方案[J]. 科技经济导刊, 2017(24):63.
- [3] 张永飞, 周玉, 刘得心, 吴珂. 三峡水库蓄水后周天河段河床演变分析与趋势预测[J]. 中国水运. 航道科技, 2017(01):1-8.