

黄荆口水库工程金属结构设备布置与设计

于娜 冯程 王世龙

(湖北省水利水电规划勘测设计院 湖北 武汉 430000)

摘要: 黄荆口水库工程金属结构按枢纽各建筑物布置分为泄洪系统闸门及启闭设备、引水系统闸门及启闭设备、输水系统压力钢管、放空系统闸门及启闭设备以及施工导流临时设施闸门及启闭设备。介绍了金属结构总体布置及主要设计参数,以供同类工程金属结构设计借鉴。

关键词: 金属结构; 闸门; 启闭机; 水库工程

1 工程概述

黄荆口水库位于咸宁市通山县境内,地处厦铺河中上游,工程以城镇供水和农业灌溉为主,兼顾防洪功能。工程总库容 4160 万 m^3 ,正常蓄水位 197m,最大坝高 79.5m,工程规模属中型,工程等别为 III 等。金属结构按枢纽各建筑物布置分为泄洪系统闸门及启闭设备、引水系统闸门及启闭设备、输水系统压力钢管、放空系统闸门及启闭设备以及施工导流临时设施闸门及启闭设备。

2 泄洪系统闸门及启闭设备

泄洪系统金属结构设置在溢洪坝段,由泄洪表孔工作闸门和检修闸门及相应的启闭设备组成。

2.1 表孔弧形工作闸门及启闭设备

表孔溢洪道工作闸门孔口尺寸 ($b \times h$) 为 $8.0\text{m} \times 11.04\text{m}$,堰顶高程 187.00m,底槛高程 186.46m,共 3 孔,设计水头 10.54m。闸门型式为露顶式弧形闸门,弧面半径为 12.0m,支铰高程 193.50m。闸门采用双主横梁斜支臂结构形式,上下主梁按等荷载布置。弧门门体、支臂主材采用 Q235B,弧门两侧边梁上设 4 组导向侧轮。支铰采用球铰结构,支铰材质采用 ZG310-570,支铰轴材质为 40Cr,球铰采用高强度铜镶嵌固体自润滑关节轴承,两端密封保护。支臂与主梁间采用螺栓连接。闸门侧止水采用 L 形止水橡皮,底止水为 I130-20 橡皮。

闸门的运行方式为动水启闭,局部开启以控制流量,但应避免在强烈振动区域极小开度下作长期泄流。选用 3 套 QHLY-2 \times 800kN-5.5m 露顶式弧门液压启闭机操作闸门,每台液压启闭机配备一套独立

的液压泵站,每套液压泵站设两台互为备用的油泵电机组,其控制方式按现地手动、现地自动和远方自动三种方式进行设计。液压泵站及控制柜均设在闸墩上的油泵机房内,液压油管沟布置在泵房的下游侧,沟槽顶部铺设盖板。

该启闭设备除设置有柴油发电机作为备用电源外,还设 1 套移动式失电应急液控启闭装置作为备用动力以保障防洪安全^[1]。

每孔闸门及启闭机设 1 套实时在线监测系统 (ROMS),用于对弧门主梁、支臂、面板等主要构件进行应力监测,对支臂振幅、频率进行监测,对液压启闭机活塞杆进行应力监测和振动监测^[2]。

2.2 表孔检修闸门及启闭设备

检修门孔数 3 孔,共用一扇检修闸门,门槽中心线定于堰顶上游 1.5m 处,底槛高程为 186.88m。孔口尺寸 $8.0\text{m} \times 10.62\text{m}$,设计水头 10.12m,闸门型式为平面滑动露顶式叠梁门,下游止水,分 3 节,每节高度 3.54m,上节和中节闸门位置可以互换,下节门叶底部与堰面曲线相切。门体主材 Q235B,主梁采用变截面型式。闸门正向支承为具有自润滑性能的弧面滑块,反向支承采用弹性反块。采用悬臂侧轮进行侧向定位和导向。面板、止水均布置于下游侧,侧止水采用 P60 止水橡皮,节间止水采用 U 形橡皮,底止水采用条形橡皮。

运行方式为顶节闸门小开度动水启门,平压后其余各节门叶静水启闭,选用 $2 \times 160\text{kN}$ 单向门机配合液压自动抓梁操作,门机吊点距为 5.07m,轨距为 3.0m,轨上扬程 5.0m,总扬程 20m。单节闸门平时用锁定梁锁定存放在 3 孔门槽上方。

具体金属结构布置见图 1。

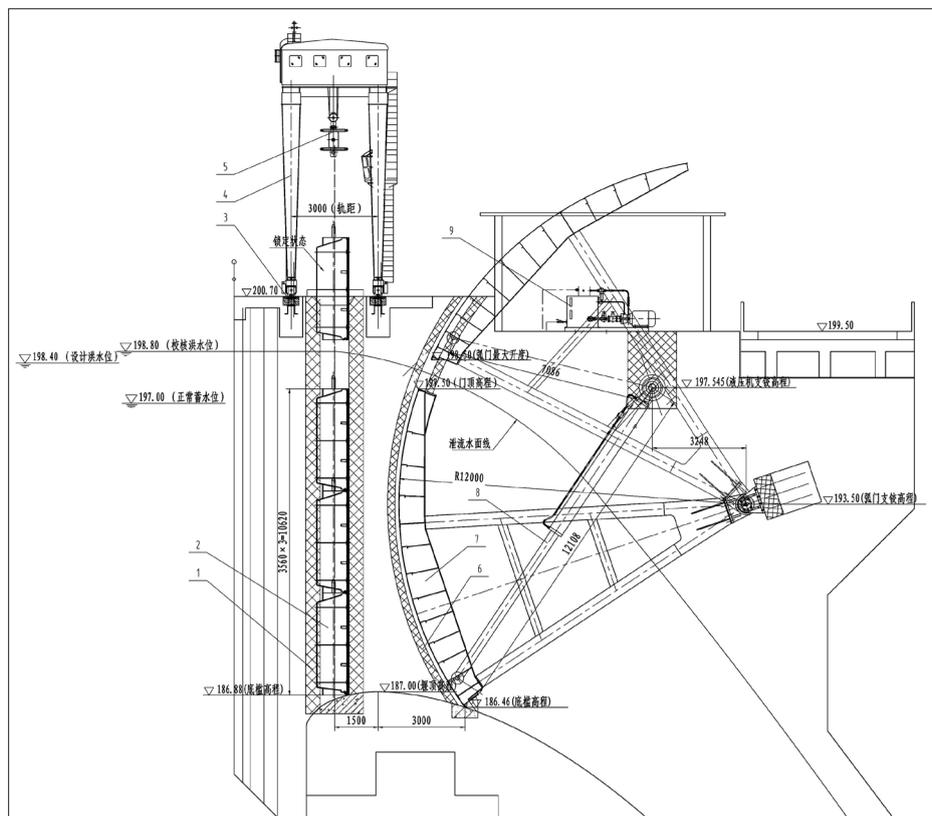


图1 溢洪道金属结构布置图

3 引水系统取水口闸门及启闭设备

引水系统布置在左岸5#坝段，引水洞由深式进水口、压力钢管等建筑物组成，出坝后由DN2000mm 闸阀控制流量，其后分为水厂供水和灌溉供水两根输水钢管。为了满足供水和灌溉用水的质量要求，于不同高程上、中、下分列布置三层取水口，每层取水口均设置一道事故闸门，根据水库水位的变化及取水深度的要求，开启或关闭相应高程闸门，达到取得表层水体的目的^[3]。金结设备由上、中、下三层进水口拦污栅和事故闸门及相应的启闭设备组成。

3.1 取水口拦污栅及启闭设备

在各层取水口进口处各设置1套拦污栅，上、中、下三层分层取水口进口共设置三套拦污栅。每套拦污栅的孔口尺寸均为3.0m×3.0m（宽×高）。上层拦污栅的底槛高程为180.00m，中层拦污栅的底槛高程为166.00m，下层拦污栅的底槛高程为152.00m，拦污栅的设计水头均为3.0m。三套拦污栅的检修平台都设置在坝顶高程上。

三层拦污栅均为潜孔平面直立活动式，静水启闭，

栅体及埋件主材为Q235B。栅体单节制作，高度为3.5m，主梁及边柱采用型钢制造，正向支承采用油尼龙滑块，反向采用钢滑块，上游设侧向挡块导向定位。

清污方式为提栅清污，三层拦污栅均通过启闭机连接拉杆启闭，选用80kN移动式电动葫芦启闭，并利用启闭设备转运拉杆。

3.2 取水口事故闸门及启闭设备

为满足取生态表层温水要求，在三层拦污栅后分别设置三扇事故闸门，当库水位在184.00~198.80m时开启上层事故闸门，水位在170.00~184.00m时开启中层事故闸门，水位在156.00~170.00m时开启下层事故闸门。当坝后工作闸阀事故时，闸门动水关闭，提供事故保护及工作闸阀正常检修条件，各闸门关闭时的相应水位同上。

每层闸门孔口尺寸均为2.0m×2.5m（宽×高），均为平面定轮钢闸门。门体主材Q235B，采用平面框架结构，筒支定轮支承，轮轴材质为40Cr，主轮轴采取偏心式，轴套采用铜基镶嵌自润滑复合材料。反向支承采用钢滑块支承，侧向采用筒支式侧轮定位。闸门采用后止水，面板布置于迎水面，顶、侧止水橡皮为P45，底止水采用刀型橡皮，止水材料均为防100#天然橡胶。运行方式均为动水闭门，小开度开启充水平压后静水启门。

上层事故闸门底槛高程180.00m，强度设计水头18.8m，启闭设计水头18.8m，选用QPG-400kN-25m启闭机操作，利用自重加水柱闭门。中层事故闸门底槛高程166.00m，强度设计水头32.8m，启闭设计水头18.0m，选用QPG-400kN-38m启闭机操作，利用自重加水柱闭门。下层事故闸门底槛高程152.00m，设计水头46.8m，启闭设计水头18.0m，选用QPG-400kN-50m启闭机操作，利用自重加水柱闭门。

三扇事故闸门的二期门槽后设置通气孔，检修平台都设置在坝顶高程上，启闭机房顶部设置有U形吊钩，用于启闭机的日常检修吊装用。

4 输水系统压力钢管

根据工程布置,输水洞上、中、下层输水洞分别在坝体内埋设 DN2000mm 压力钢管,上、中层输水洞钢管由平管、斜管和弯管组成,通过岔管与下层钢管相连,衔接后共用后段输水钢管压力引至输水总管阀室,坝内钢管总长约 120m。而后经坝下沿总长为 190m 的压力钢管引至供水、灌溉综合阀室,其后分成两条钢筋混凝土岔管,分别引至供水水厂和灌溉渠道。

坝下钢管分为明管段和埋管段两部分,明管段钢管在转弯处设镇墩,其间设置支墩支承,支墩间距为 12m,钢管采用滚动支座支承,两镇墩之间管段中部设置一个波纹管伸缩节以适应温度产生的轴向变位。钢管内径 $\phi 2000\text{mm}$,总长共约 310m,钢管中心线进口高程为 181.00m,出口高程为 141.00m,最大设计水头 57.8m,考虑水击升高值或水锤压力,内水压力取 0.9MPa。主管材质为 Q355C,管壁厚 14mm,钢管外设置加劲环抵抗外压,通过法兰盘与阀件连接。

考虑坝址下游生态用水(满足死水位下泄流量 $0.55\text{m}^3/\text{s}$),闸墩侧边埋设一根 DN500mm 钢管,总长共约 50m,钢管进口高程 148m,出口高程 140m,最大设计水头 58.8m,考虑水击升高值或水锤压力,内水压力取 0.9MPa。主管材质为 Q355C,管壁厚 10mm,钢管外设置加劲环抵抗外压,通过法兰盘与阀件连接。

5 放空系统闸门及启闭设备

放空底孔金属结构由进口事故闸门与工作闸门及相应的启闭设备组成。

5.1 进口事故闸门及启闭设备

根据水工结构,闸门布置于放空底孔进水塔。当放空底孔发生事故时动水关闭放空底孔事故闸门,并提供工作闸门及埋件正常检修条件。

孔口尺寸为 $2.0\text{m} \times 2.5\text{m}$,单孔,底槛高程 146.00m,设计水头 52.80m,门体主材 Q235B,采用平面框架结构,正向支采用承筒支式滚动轴承定轮支承,主轮轴采取偏心式,轮轴材质为 40Cr,轴套采用铜基镶嵌自润滑复合材料。反向支承采用钢滑块支承,侧向采用筒支式侧轮定位。闸门采用单向止水,后止水,面板布置于迎水面,顶、

侧止水橡皮为 P45 橡皮止水,底止水采用刀型橡皮。

校核水位下的水流空化数为 2.66,门槽采用 I 型,主轨材质 ZG310-570,止水座板材质为 12Cr18Ni9 不锈钢板,其余材料采用 Q235B。

运行方式:动水闭门,小开度开启充水平压后静水启门。启闭水头 41m,选用 1 台 QPG-800kN-60m 固定卷扬式启闭机。启闭机安装高程 206.00m,在 199.50m 高程设有检修平台。平时事故门关闭,放空时将闸门提至孔口以上 500mm 处,在闸门下游孔口顶部设置通气孔,面积为 0.4m^2 。

5.2 出口工作闸门及启闭设备

放空底孔出口设置一道潜孔式工作弧门,孔口尺寸 $2.0\text{m} \times 2.0\text{m}$,底槛高程 146.00m,设计水头 52.80m,运行方式为动水启闭。闸门面板外缘曲率半径 $R=5.0\text{m}$,支铰高程布置在 149.50m 高程,位于泄流水面线以上。

闸门采用双主横梁、直支臂球形铰结构形式,上下主梁按等荷载布置。弧门门体、支臂主材采用 Q355C,弧门两侧边梁上设导向侧轮。支铰采用球铰结构,支铰材质采用 ZG310-570,支铰轴材质为 40Cr,球铰采用高强度铜镶嵌固体自润滑关节轴承。支臂与主梁间采用螺栓连接。闸门门顶采用二道止水,一道顶止水布置在门叶顶部,采用 P60 型止水橡皮,另一道为自充水保压式 Ω 形止水,布置在胸墙埋件上,侧止水采用方 P60 型止水橡皮,底止水为 I120-20 橡皮。

门槽埋件主材采用 Q235B,顶止水、侧止水接触面贴焊 12Cr18Ni9 不锈钢板止水座板。闸门埋件的二期混凝土采用 C30 高标号混凝土及耐磨、耐冲刷材料。在门楣上方 150.00m 高程处,设有检修鼻坎,在此处以上闸门脱离埋件约束,可以进行止水橡皮更换等日常维护与检修。

闸门运行条件为动水启闭,启闭水头为 41m,选用 1 台 QHQY-630/250kN-4.2m 摇摆式液压启闭机。启闭机油缸通过支铰固定在液压启闭机机架上,启闭机机架安装高程 154.00m。液压启闭机的设计采用“一机一泵”的控制方式,一台液压启闭机配备一套独立的液压泵站。液压泵站设两台互为备用的油泵电机组,液压泵站及控制柜均设在油泵机房内。液压启闭机操作方式为现地控制和远程控制,启闭机预留远程控制接口。

闸门及启闭机设1套在线监测设备,用于对工作弧门主梁、支臂、面板等主要构件进行应力监测,对支臂振幅、频率进行监测,对液压启闭机活塞杆进行应力监测和振动监测等。

具体金属结构布置见图2。

6 施工导流临时设施闸门及启闭设备

本工程在枢纽右岸设置1条导流隧洞,在进水口设置一道平面封堵闸门,孔口尺寸:6.0m×7.0m,孔数:1孔,底槛高程142.0m,下闸水位142.7m,最大挡水水头30.81m。闸门分为2个制造、运输单元,运至现场后通过节间连接为整扇,一次下闸封堵。门体主材Q235B,采用平面框架结构,正向支承为高强度钢基自润滑滑道,反向支承采用钢滑块。侧向采用筒支式侧轮定位。面板、止水均布置于下游侧,顶、侧止水采用P60止水橡皮,节间止水及底止水采用条形橡皮。

操作条件:动水1.0m水头动水下闸,考虑封堵门槽异物等不可预见因素影响,闸门设计2.0m水头动水提升,清除异物后,进行再次封堵。

依据此封堵条件,启闭设备容量2×400kN,吊距4.0m,闸门运至拼装平台,用门字形临时钢排架垂直下放闸门至拼装平台,将闸门锁定。封堵则利用门字形钢排架悬挂临时启闭设备完成^[4]。

7 结语

黄荆口水库工程金属结构设备的总体布置和选型充分考虑了工程本身的特点,其布置方案、选材、设备选型和设计原则等均符合现行规范要求,并考虑了设备投入运行后的维护和检修条件,设计方案合理可行。初步设计已于2023年3月获得了批复,即将进入招标及施工图设计阶段。

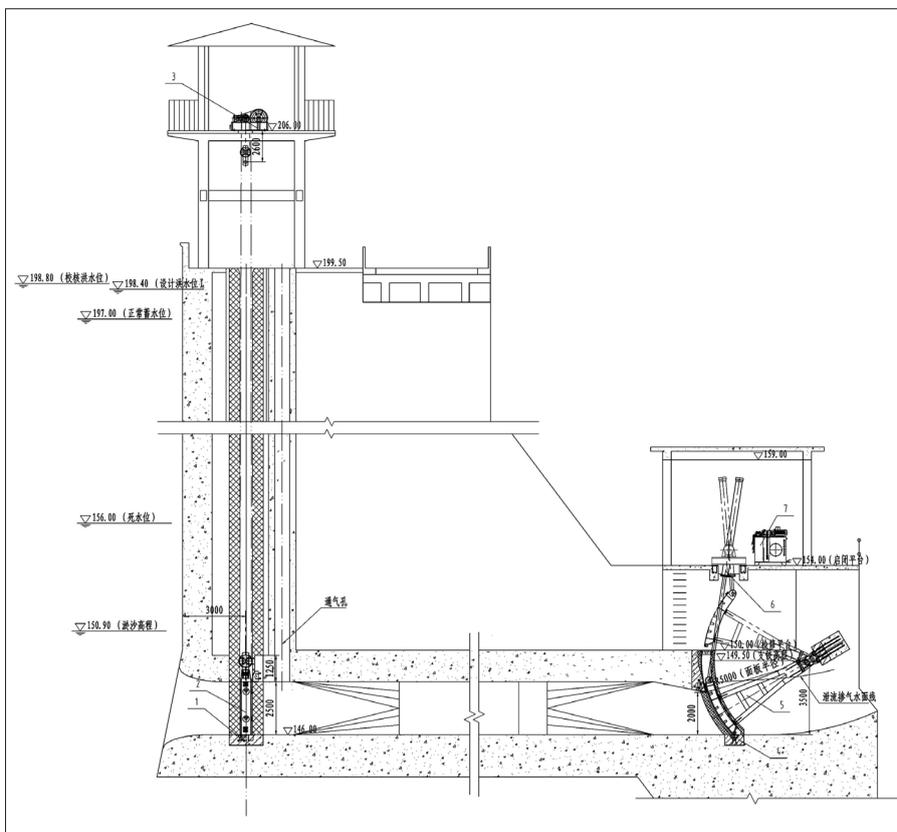


图2 放空底孔金属结构布置图

参考文献:

- [1] 中华人民共和国水利部. 水利水电工程钢闸门设计规范:SL 74-2019[S]. 北京:中国水利水电出版社,2020.
- [2] 李林. 水工金属结构设备实时在线监测系统运用及智能管控研究[J]. 水力发电,2019,45(03):95-99.
- [3] 谢涛,覃志强,谢晨希. 贵州省从江县宰章水库并联式分层取水金属结构布置与设计[J]. 陕西水利,2020(09):222-223+225.
- [4] 韩俊,劳海军. 石阡县木瓜溪水库金属结构设计布置简介[J]. 小水电,2021(03):49-51+54.

作者简介:于娜(1990.04-),女,汉族,山东福山人,硕士研究生,工程师,研究方向:水利水电工程金属结构设计;冯程(1985.08-),男,汉族,湖北赤壁人,本科,高级工程师,研究方向:水利水电工程金属结构设计;王世龙(1994.04-),男,汉族,湖北十堰人,硕士研究生,助理工程师,研究方向:水利水电工程金属结构设计。