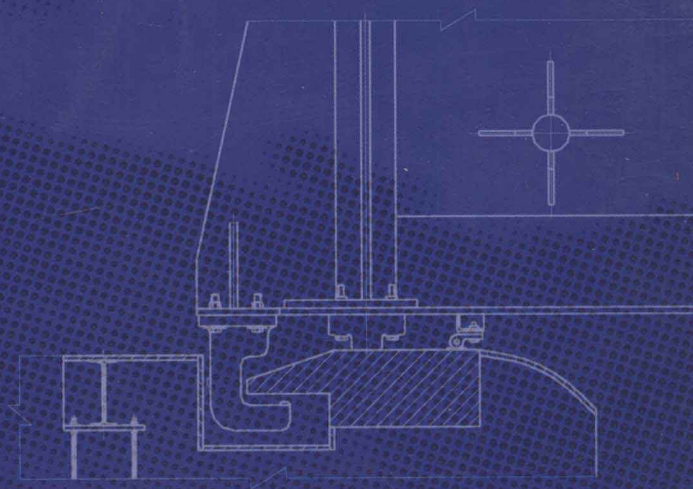


Technology for Hydraulic Machinery

水工机械技术

2010年论文集

中国水电顾问集团华东勘测设计研究院
中国水力发电工程学会金属结构专业委员会 编
全国水利水电工程金属结构专业信息网



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

责任编辑 王丽 冯红春

销售分类：水利水电工程

ISBN 978-7-5084-8397-9



9 787508 483979 >

定价：68.00 元

水工机械技术

2010年论文集

中国水电顾问集团华东勘测设计研究院
中国水力发电工程学会金属结构专业委员会 编
全国水利水电工程金属结构专业信息网



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

图书在版编目（C I P）数据

水工机械技术2010年论文集 / 中国水电顾问集团华东勘测设计研究院, 中国水力发电工程学会金属结构专业委员会, 全国水利水电工程金属结构专业信息网编. -- 北京 : 中国水利水电出版社, 2011.1
ISBN 978-7-5084-8397-9

I. ①水… II. ①中… ②中… ③全… III. ①水利工程—工程机械—文集 IV. ①TV53-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第017321号

书 名	水工机械技术 2010 年论文集
作 者	中国水电顾问集团华东勘测设计研究院 中国水力发电工程学会金属结构专业委员会 编 全国水利水电工程金属结构专业信息网
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 24.25 印张 575 千字
版 次	2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	68.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

《水工机械技术 2010 年论文集》

编委会名单

顾 问：（按姓氏拼音排序）

曹以南	金树训	李菊根	李月明	刘 平
刘志明	田泳源	铁 汉	汪云祥	魏运明
吴全本	吴义航	张春生	赵辅鑫	赵锡锦
周建平	周尚洁			

主 编：吴关叶

编 委：（按姓氏拼音排序）

陈文伟	陈 霞	程 平	刁彦斌	丁 力
范国芳	方寒梅	龚建新	关景明	关新成
胡葆文	金晓华	李云龙	林朝晖	刘旭辉
陆 伟	罗慧德	罗文强	马耀芳	王金锋
王英人	王兆成	吴小宁	徐绍波	严根华
姚昌杰	姚国华	虞喜泉	曾 文	张伟平
张 兴	赵勇平	周才全	周 健	周建方

目 录

上篇 设计、试验与研究

龙滩水电站金属结构设计	陈辉春	(3)
乐滩水电站工程金属结构布置设计	宾仕勋	(12)
洛古水电站金属结构设计	石守津	(19)
黑麋峰抽水蓄能电站金属结构布置与设计	蒋立新	(26)
大花水水电站金属结构设计布置	谭守林 王兴恩	(31)
缅甸邦朗水电站金属结构布置及特点	崔 稚	(36)
越南昆江 2 水电站金属结构布置与设计	霍 卫	(43)
缅甸 DAPEIN (I) 水电站大坝泄水系统金属结构设计	徐礼锋 陶柏强	(49)
兴义老江底水电站工程金属结构设计	李云峰	(54)
鱼洞峡水库工程初步设计金属结构设计布置	李云峰	(58)
融江古顶水电站金属结构布置设计简介	胡 红	(63)
云南昭通柏香林水电站工程金属结构设计	韩云峰	(68)
北运河北关分洪枢纽金属结构的布置与设计	张思林 关金良 张雪明	(73)
春天湖船闸枢纽金属结构设计	薛桂荣	(77)
杭州城西水环境综合整治工程通航设施方案及金属结构设计	孙美玲	(80)
向家坝水电站地下厂房尾水系统金属结构总体布置设计 与优化	郭熙宏 袁长生 陈辉春	(83)
拉西瓦水电站高水头闸门伸缩式水封研究及运用	孙丹霞 朱增兵 方寒梅	(88)
拉西瓦水电站导流洞封堵闸门水封的研究与应用	丁晓利	(93)
滩坑水电站泄洪洞工作弧门设计	金晓华 齐尔鸣 胡坚柯	(98)
白莲河抽水蓄能工程尾水洞室金属结构设计	郭子珍	(103)
大化水电站船闸卧倒闸门设计及启闭机布置	黄曦宁	(109)
减小闸门启闭力的几项措施	陈丽艳 王青梅 吕宝顺	(114)
柘溪扩机工程进水口快速事故闸门反向滑块破坏事故分析与 处理措施	袁长生 左长新	(117)
白莲崖水库发电引水隧洞进水口事故检修门结构特点	管华明	(122)

莲麓二级水电站泄冲事故检修闸门设计	徐 汇 (126)
拦污栅设计中应重点关注的问题	罗文强 (130)
中小型平面钢闸门面板的优化设计	卓美燕 (134)
嘉陵江凤仪航电枢纽工程冲沙闸表孔工作闸门变截面主梁经济性比较	李蔷薇 (139)
吉林丰满大坝泄水系统金属结构技术改造	李跃年 李 才 (148)
曹娥江大坝挡潮泄洪闸工作闸门液压启闭机关键技术应用	黄海杨 刘旭辉 (153)
液压启闭机在水闸工程中的应用优势	刘明华 (158)
南水北调东线泗洪站船闸液压启闭机设计	杨俊敬 (162)
液压启闭机液压系统动态特性分析	陈永清 高 伟 谭宗柒 (166)
闸门双吊点液压启闭机液压同步系统分析	谭宗柒 黄星德 (171)
南水北调工程中线天津段慢速卷扬式闸门启闭机设计	梁妹颖 冯志先 (177)
浅谈 5·12 汶川特大地震对紫坪铺水利枢纽 2×3600kN 卷扬式 启闭机的破坏机理及抢修过程	唐 彦 (181)
160t 坝顶门机门架金属结构有限元计算分析	舒 斌 (186)
游船升船机设计	杨俊敬 (190)
线接触应力与工作面硬度的关系	铁 汉 (196)
基于 ADAMS 的船用起重机金属结构动力学仿真	李海方 徐长生 (202)
向家坝水电站底孔封堵门槽与工作门槽水力学 试验研究	严根华 陈发展 郭熙宏 袁长生 胡去劣 (207)
仙螭桥南枢纽东节制闸底板内力研究	乐治济 (219)
按性能等级选择的普通螺栓其静载强度计算	铁 汉 (223)
新疆头屯河水库除险加固工程人行钢桥设计	周 伟 王 春 (229)

下篇 制造、安装与运行

三峡工程金属结构安装技术的创新与实践	张为明 (235)
三峡船闸人字门局部消应对门体结构的影响	龙绍飞 (243)
巴基斯坦汗华电站泄洪控制弧门制作技术及焊接质量 控制	文正辉 李文凌 童亮瑜 (247)
水电站金属结构设备弧形闸门斜支臂结构扭角形成及制造工艺浅析	张小康 (253)
居甫渡水电站金属结构布置及安装	邓清树 孙文东 吴 刚 (259)
带舌瓣闸门的设计及制造	张雪明 (264)
弧型闸门边导板修补技术的研究	李道庆 (268)
福建水口水电站泄水底孔修复工程浮体闸门制造技术分析	朱居进 (271)
MDG60/10—36 (A5) 门式起重机主梁制作形体尺寸控制	龙绍飞 (277)
水电站大型门机回转吊结构型式比较及稳定性解决方案	郭 峰 (282)

水工钢闸门一类、二类焊缝中常见缺陷及原因分析	王天力	赵文斌	(288)
巴基斯坦汗华水电站表孔舌瓣弧形闸门安装技术	喻体军	郑学志	(291)
三峡水利工程右岸地下电站压力钢管现场焊接工艺	周复明	卫书满	(295)
压力钢管焊接变形控制	陈双发	左 琛	张建中 (301)
Excel 结合 AutoCAD 在金属结构压力钢管安装中的应用	李 军	王甲荣	(307)
计算机辅助设计在岔管制作中的应用	吴根水	魏永辉	(316)
蜗壳打压试验探讨		左路军	(323)
一道桥水电站岔支管 11.5MPa 水压试验浅析	岳廷文	米 嘉	赵小勇 (327)
浅谈 PE 管在给水管道路工程中的应用		唐玉润	(332)
浅谈光照电站筒阀液压控制系统	陶 杨	童亮瑜	(335)
思林水电站溢流坝表孔弧门和启闭机的快速安装工艺	刘志辉	曾爱国	(339)
起重量限制器的应用介绍		王益丰	(343)
CO ₂ 气体保护焊在沥青船建造中的应用		向安玉	(348)
葛洲坝水利枢纽泄洪、冲砂闸金属结构防腐技术	刘畅快	刘 诚	张壮志 (356)
入海河口水闸工程钢闸门分区腐蚀防护	李志强	杨士斌	李海民 (361)
SQC20—I 型水草垃圾打捞船		李永华	(365)
防汛抢险车		李永华	(370)
基于 CS5463 的闸门卷扬启闭机实时诊断和 保护	张志宏	邵建龙	李建兰 查六一 (373)

上篇

设计、试验与研究

龙滩水电站金属结构设计

陈辉春

(中水顾问集团中南勘测设计研究院湖南长沙 410014)

摘 要: 本文就龙滩水电站金属结构的总体布置、设计方案的比较和选择以及试验研究工作作了简单的介绍。

关键词: 龙滩水电站 金属结构 工作闸门 事故闸门 检修闸门

1 前言

龙滩水电站位于广西天峨县,距天峨县城 15km,是红水河上的龙头电站。电站近期按正常蓄水位 375.0m 建设,装机 7 台,单机额定容量 600MW,总装机容量 4200MW,年平均发电量 156.7 亿 kW·h,年利用小时数为 3740h,总库容 162.1 亿 m³。远期按正常蓄水位 400.0m 设计,装机 9 台,总装机容量 5400MW,年平均发电量 187.1 亿 kW·h,年利用小时数为 3470h,总库容 272.7 亿 m³。龙滩水电站在系统中担任调峰、调频和事故备用。龙滩电站建成后,可使下游沿江两岸和西、北江三角洲的防洪标准大大提高。此外,还可改善航运条件,使红水河成为沟通贵州省、广西壮族自治区、广东省三省区通江达海的航道。工程已于 2001 年 7 月 1 日正式开工兴建,计划 2007 年第一台机组投产发电。

由于近期正常蓄水位 375.0m 通航的必要性不显著,近期升船机还没有开工建设,目前龙滩水电站金属结构泄洪系统、引水发电系统、施工导流系统的设计基本完成,针对设计过程中设计方案的比较和选择以及试验研究工作进行总结是十分必要的。

2 总体布置简介

2.1 泄洪系统的金属结构

根据水工枢纽的布置,泄洪系统建筑物布置有 7 个溢洪道表孔和 2 个底孔。7 个溢洪道表孔设置在溢流坝段中部,2 个底孔设置在溢流坝段两侧。溢洪道表孔主要担负泄洪的任务,底孔不参与泄洪,主要担负水库放空和施工期导流等任务。泄洪系统金属结构包括溢洪道表孔工作门、溢洪道表孔检修门、底孔工作门、底孔事故门和底孔检修门及其相应的启闭机。

2.1.1 溢洪道表孔工作门

每个溢洪道表孔设置 1 扇工作门,由于弧形闸门无门槽、水流条件好,闸门局部开启时振动小等优点,因此,溢洪道工作门选用弧形闸门。闸门孔口宽度 15.0m,闸门高度



20.60m, 设计水头 20.276m, 前期正常蓄水位 375.00m, 底坎高程 354.719m, 支铰高程 366.0m, 面板曲率半径 24.0m。后期正常蓄水位 400.0m, 闸门底坎高程、支铰高程相应抬高 25.0m。闸门结构型式采用主横梁斜支臂结构, 支铰轴承采用球面滑动轴承, 闸门按动水启闭设计, 并允许部分开启调节流量。

2.1.2 溢洪道表孔工作门启闭机

每扇溢洪道表孔工作门设置 1 套启闭机, 由于液压启闭机具有结构简单、体积小、传动平稳、不需要高排架、便于远方操作和坝面布置美观的优点, 因此, 溢洪道表孔工作门启闭机选用液压启闭机。启闭机容量为 $2 \times 3200\text{kN}$, 油缸工作行程约 9.0m, 启闭机布置方式采用悬挂式, 两个油缸的上端轴承分别固定在闸门左、右闸墩的侧墙上, 下端与闸门下主梁后翼板上的闸门吊耳连接。每套液压启闭机设置 1 个泵站, 为保持坝面整齐美观, 泵站布置在闸墩内部, 不高出坝面, 泵站的地面高程在坝顶以下 3.5m。

2.1.3 表孔事故检修闸门

溢洪道表孔工作门前设置 1 扇事故检修闸门, 孔口宽度 15.0m, 门高 20.5m, 设计水头 20.0m, 闸门型式采用平面定轮闸门。动水闭门, 小开度充水提门, 顶门机通过液压自动抓梁操作机通过液压自动抓梁操作。7 孔共用 1 扇事故检修闸门, 平常存放在门库内。

2.1.4 底孔工作闸门

龙滩底孔工作闸门设置在底孔出口处, 孔口宽度 5.0m, 孔口高度 8.0m。闸门型式为弧形闸门。面板曲率半径 16.0m, 底坎高程 290.00m, 支铰高程 302.00m。闸门按动水启闭设计, 前期正常设计水位 375.00m, 闸门静水挡水水头 85.0m, 闸门动水操作水头 65.0m, 后期正常设计水位 400.00m, 闸门静水挡水水头 110.0m, 闸门动水操作水头 90.0m, 闸门孔口为窄高型, 闸门结构型式采用主纵梁、直支臂, 支铰为圆柱铰, 支铰轴承采用自润滑球面滑动轴承。

工作闸门启闭机底孔工作闸门启闭机型式为液压启闭机, 液压启闭机在局部开启情况下可抑制闸门的振动, 调节流量性能好, 同时液压启闭机可施加一定的下压力, 对减小弧门的加重量, 减小启闭机容量有益。

液压启闭机容量为 $4000\text{kN}/500\text{kN}$, 行程 12.0m, 采用摇摆式布置, 闸门的吊点布置在闸门顶部中间, 油缸支点设置在缸体的中部, 支点高程 320.00m, 启闭机泵房设置在油缸的下游, 泵房基础高程 318.00m。

2.1.5 底孔事故闸门

底孔事故闸门设置在距进口 8.0m 处, 孔口宽度 5.25m, 孔口高度 10.5m, 底坎高程 290.00m, 设计水头 110.0m。闸门型式为平面定轮闸门, 采用偏心套和调心滚子轴承, 闸门操作条件为动水闭门, 静水启门, 闸门平压方式采用旁通阀充水平压。通过拉杆连接至 378.0m 闸门操作平台, 利用溢流坝段坝顶门机通过液压自动抓梁操作。

2.1.6 底孔检修闸门

底孔事故门槽万一发生破坏, 将严重威胁到建筑物的安全, 因此, 在底孔进口处设置一道检修闸门, 为避免出现门槽水力学问题, 检修闸门型式采用反钩叠梁闸门, 两孔共用 1 扇闸门, 孔口宽度 8.34m, 孔口高度 16.67m, 底坎高程 290.00m, 设计水头 110.0m。闸门操作条件为静水启闭, 闸门支承为钢滑块, 闸门平压方式采用旁通阀充水平压。闸门



平常存放在左侧底孔进口附近底孔检修闸门门库内,利用溢流坝段坝顶门机通过液压自动抓梁操作。

2.1.7 溢流坝段坝顶门机

溢流坝段坝顶设有1台双向门机,用于启吊表孔事故检修闸门、底孔事故闸门和底孔检修闸门以及表孔弧形工作门的安装和检修。

双向门机的主钩容量为 $2 \times 2000\text{kN}$,门机轨距27.5m,轨上扬程25.0m,总扬程52.0m。副钩容量为1000kN,轨上扬程21.0m,总扬程134.0m。门机供电方式采用滑线供电。

2.2 引水发电系统的金属结构

引水发电系统金属结构包括进水口拦污栅、进水口检修门、进水口事故门、尾水管检修门、尾水洞出口检修门及其启闭机。

2.2.1 进水口拦污栅

每台机组进水口的喇叭段宽度由8.0m扩大至25.0m,中间加5个拦污栅隔墩,每台机组6孔拦污栅,9台机组共54孔拦污栅。拦污栅孔口宽度3.05m,孔口高度30.0m,全部垂直布置。①~⑦号水轮机组进水口拦污栅底坎高程303.00m,⑧号、⑨号水轮机组进水口拦污栅底坎高程313.00m。所有拦污栅按4.0m水头差设计,拦污栅支承及反向导向采用MBJ滑块,拉杆连接至坝顶锁定。拦污栅删槽前设有清污导槽,拦污栅的清污利用布置在坝顶的进水口清污门机操作液压清污抓斗进行清污。拦污栅需检修时,利用进水口清污门机将其吊至坝面。

2.2.2 进水口事故闸门

每台机组引水钢管进口处,设有事故闸门,闸门孔口宽度8.0m,孔口高度12.0m。闸门型式为平面滑动闸门,液压启闭机操作。闸门支承滑道采用钢基铜塑复合材料,门槽主轨为不锈钢。①~⑦号水轮机组进水口事故闸门底坎高程305.0m,⑧号、⑨号水轮机组进水口事故闸门底坎高程315.00m,设计水头95.0m。闸门操作条件为动水关闭,静水开启。闸门平压方式采用设置在门顶的充水阀充水平压。

2.2.3 进水口事故闸门启闭机

进水口事故闸门启闭机采用液压启闭机,单吊点。下门时持住力10000kN,启门时启门力为4500kN,启闭机行程13.5m。油缸安装在门槽顶部坝面以下5.5m的启闭机室内,在油缸下端处有两个平台。第一个平台高程360.50m,其用途是更换油缸密封圈以及闸门的检修锁定。第二个平台高程345.00m,其用途是检修闸门和下闸蓄水期临时锁定闸门拉杆。启闭机泵房设置在启闭机室的侧面,泵房基础高程在坝顶以下3.50m,每套泵站设两个泵组互为备用,启闭机的控制方式采用现地与远控相结合的方式。

当水轮发电机组正常运转时,进水口事故闸门一直停留在孔口以上约1.0m处。当水轮发电机组出现飞逸事故时,液压启闭机可以快速将闸门关闭,以保护机组。

2.2.4 进水口检修闸门

在进水口事故闸门前,设有进水口检修闸门,闸门孔口宽度8.0m,孔口高度12.0m。闸门型式为平面滑动闸门,进水口坝段坝顶门机操作。闸门支承滑道采用铜塑滑块,门槽主轨为不锈钢。①~⑦号进水口检修闸门底坎高程305.00m,⑧号、⑨号进水口检修闸



门底坎高程 315.00m。设计水头 95.0m。闸门操作条件为静水启闭。闸门平压方式采用设置在门顶的充水阀充水平压。

2.2.5 进水口坝段坝顶门机

进水口坝段设有 1 台坝顶双向门机。门机上游轨道桩号为 0+5.900m, 下游轨道桩号为 0+24.900m, 轨距 19.0m。门机主钩最大启吊容量为 3000kN, 轨上扬程 19.0m, 总扬程 107.0m。用于起吊进水口检修闸门、进水口事故闸门及其液压启闭机的检修。门机供电方式采用滑线供电。

2.2.6 进水口清污门机

进水口坝段设有 2 台清污门机, 轨距 10.50m。门机启吊容量为 500kN, 轨上扬程 9.0m, 总扬程 110.0m。用于操作液压清污抓斗进行清污以及拦污栅的起吊。门机供电方式采用滑线供电。

2.2.7 尾水管检修闸门

尾水调压井尾水管出口处设有检修闸门, 孔口高度 18.0m, 孔口宽度 12.0m, 底坎高程 190.00m。闸门型式为平面闸门, 分为 6 节, 各节结构相同, 节间采用铰轴连接, 在门槽内将闸门连接成整体。由于空间有限, 每孔设置 1 扇门叶, 平时门叶锁定在孔口上方。前期尾水设计洪水位 255.37m, 后期尾水设计洪水位 255.60m, 调压井最高涌浪水位 260.75m, 因出现最高涌浪水位 260.75m 的几率很小, 闸门按后期尾水设计洪水位 255.60m 设计, 设计水头 65.6m。闸门支承滑道采用钢基铜塑复合材料, 门槽主轨为不锈钢方钢。闸门操作条件为静水启闭, 采用尾水调压井廊道内的台车式启闭机操作。闸门平压方式采用节间提门充水平压。

2.2.8 尾水管检修闸门启闭机

在尾水调压井的廊道内设 3 台单向台车式启闭机, 启吊容量 5000kN, 台车轨距 8.6m, 总扬程 55.0m。台车的供电方式采用滑线供电。

2.2.9 尾水洞出口检修闸门

三条尾水洞在每条洞出口处, 并排设两个尾水闸门孔口, 孔口宽度 14.0m, 孔口高度 21.0m, 底坎高程 199.0m。闸门型式为平板叠梁门, 考虑施工期临时挡水的要求, 每个孔口设置 1 扇, 共 6 扇, 每扇闸门分为 4 节, 前期尾水设计洪水位 255.37m, 后期尾水设计洪水位 255.60m, 闸门按后期尾水设计洪水位 255.60m 设计, 设计水头 56.6m。闸门支承滑道采用钢基铜塑复合材料, 门槽主轨为不锈钢方钢。闸门操作条件为静水启闭, 节间平压。节间充水平压水位 229.77m, 采用尾水平台上的尾水双向门机操作, 闸门平常存放在孔口上游侧的门库内。

2.2.10 尾水门机

在尾水洞出口处高程 260.00m 尾水平台上布置 1 台 2×800 kN 双向门机, 门机轨距 10.0m, 轨上扬程 10.0m, 总扬程 65.0m, 通过液压自动抓梁分节吊运闸门, 门机供电方式采用电缆卷筒供电。

2.3 施工导流系统金属结构

2.3.1 导流洞封堵闸门

龙滩水电站左右两岸各布置一条导流洞, 每条导流洞入口并排设置两孔导流封堵闸



门。孔口宽度 8.5m, 孔口高度 21.504m, 左、右岸导流封堵闸门底坎高程均为 215.00m, 导流洞下闸动水水头 17.0m, 最高挡水水头 105.0m。闸门型式采用平板滑动闸门, 闸门分为 7 节, 节间采用连接板连接。闸门支承滑道采用压合胶木滑动, 门槽主轨为不锈钢。为使门槽处的水流平顺, 在门槽处设有门塞, 由固定卷扬式启闭机操作。

2.3.2 导流洞封堵闸门启闭机

导流洞封堵闸门启闭机采用固定卷扬式启闭机, 布置在闸门孔口上部启闭机排架上, 启闭机排架顶高程为 271.33m, 启闭机容量 $2 \times 4000\text{kN}$, 扬程 29.0m。

3 设计方案的选择和比较

3.1 表孔事故检修闸门的设置

根据规范要求, 溢洪道弧形工作门前宜设置检修闸门, 对于重要工程, 必要时也可设置事故闸门, 龙滩工程本身是一个大型工程, 另外, 龙滩溢洪道是大坝唯一的泄洪建筑物, 为能及时处理泄洪过程可能出现的事故, 最终考虑设置事故检修闸门。

3.2 表孔事故检修闸门门型的选择

表孔事故检修闸门, 孔口宽度 15.0m, 门高 20.5m, 设计水头 20.0m, 总水压力 30372kN。对于此参数的事故检修闸门, 通常采用平面定轮闸门或平面滑动闸门, 如采用定轮, 综合摩擦系数 0.05, 最大定轮轮压 2000kN, 提门充水平压时的最大起门力 4000kN。如采用滑道, 就目前各种复合材料的摩擦系数均接近 0.1, 闸门需加重 150t, 提门充水平压时的最大起门力 7000kN。结合底孔事故闸门持住力约 4000kN 综合考虑, 表孔事故检修闸门最终采用平面定轮闸门。

但表孔事故检修闸门高度达到 20.5m, 如此高的闸门必须采用多主轮布置, 由于制造和安装等诸多原因, 闸门单侧多主轮与埋件轨道不可能完全接触, 由于闸门边柱基本为双腹板结构, 边柱的刚度较大, 受水压后闸门边柱的变形相当小, 因此, 多主轮的受力均匀问题以及受力不明确是多主轮布置的平面闸门一个突出的问题, 龙滩表孔事故检修闸门的设计中, 门叶分为 6 节, 节间采用螺栓连接, 下 4 节每节布置 4 个主轮, 上 2 节每节布置 2 个主轮, 下 4 节闸门的连接只连接中间纵向隔板, 边柱不连接, 上 2 节闸门连成整体, 以保证闸门的每个受力单元只有 4 个主轮, 主轮的受力比较明确, 以承受最大荷载的主轮荷载作为主轮的设计荷载, 基本做到主轮受力明确和主轮荷载的相对均匀。

3.3 尾水管检修闸门门型和启闭机型式的比较和选择

尾水管检修闸门设置在尾水调压井廊道上游侧, 孔口高度 18.0m, 孔口宽度 12.0m, 底坎高程 190.00m。前期尾水设计洪水位 255.37m, 后期尾水设计洪水位 255.60m, 调压井最高涌浪水位 260.75m, 因出现最高涌浪水位 260.75m 的几率很小, 闸门按后期尾水设计洪水位 255.60m 设计, 设计水头 65.6m。尾水平台高程 251.00m。尾水台车轨道高程 263.50m。尾水管闸门的检修和操作均在调压井廊道内进行, 由于尾水平台高程较低, 在尾水位较高和机组甩负荷时对于检修和操作人员安全构成威胁, 在汛期时调压井涌浪水位将对门叶产生一定影响, 因此, 门叶锁定措施必须安全可靠, 否则产生的后果是灾难性的。为此针对尾水管检修闸门的门型和启闭机布置进行了多种方案的比较。



尾水管检修门门型为叠梁门, 利用台车通过液压自动抓梁操作, 3 个调压井共用一台台车, 台车容量 1250kN, 台车轨道梁顶部高程 263.50m。门叶平时存放在专门的门库内, 不受调压井涌浪水位的影响, 安全可靠, 其主要缺点是闸门分节过多, 要求液压自动抓梁的可靠性高, 操作复杂, 闸门漏水量可能较大。

尾水管采用整体闸门。闸门分为 6 节, 节间采用螺栓或铰轴连接, 在门槽内将闸门连接成整体。由于空间有限, 每孔设置 1 扇门叶, 平时门叶锁定在孔口上方, 启闭机布置方式有以下 4 种比较方案。

(1) 采用固定卷扬式启闭机操作闸门, 启闭机容量 5000kN, 启闭机动滑轮组与闸门直接连接, 不需要脱挂钩装置, 避免采用自动抓梁, 操作简便可靠, 可以进行远程控制, 操作人员不需要到现场, 闸门的锁定装置设置在 262.50m 平台上, 闸门同时与启闭机始终相连, 门叶锁定措施安全可靠。其主要缺点是闸门和启闭机的运输、安装非常困难, 闸门、启闭机的安装与土建相矛盾, 安装工期难以保证。同时闸门及启闭机维护困难, 工程量较大, 投资多。

(2) 采用台车操作闸门, 台车容量 5000kN, 台车动滑轮组与闸门直接相连, 避免采用自动抓梁。考虑施工期两台机组同时安装时封闭尾水管出口, 一台机组需要检修和正常运行时台车的灵活性, 需要布置 3 台台车。对于闸门运输安装问题, 可以先安装台车, 利用安装好的台车作为闸门运输安装的启吊设备, 安装工期可以保证。在非泄洪工况下所有机组发电时, 机组甩负荷时涌浪水位均不超过 240.00m, 而台车吊耳与闸门的连接以及闸门的锁定在 251.00m 平台操作, 检修人员的安全可以保证。为了提高门叶锁定的安全性, 每孔闸门左右两侧各设置两套由液压油缸操作的翻板锁定装置, 下层两套为工作锁定, 上层两套为安全锁定。正常情况下由下层工作锁定装置支承闸门。安全锁定装置支承面与闸门之间预留 20mm 间隙。液压翻板锁定应有锁定状态和非锁定状态的信号装置、传感器、锁定状态信号引入台车控制台。当闸门落在上层安全锁定装置时应发出报警信号。该方案闸门操作可靠, 运输安装有手段, 安装工期有保证, 闸门及启闭机维护方便。但该方案不能实现远程控制, 需要操作人员到现场, 台车吊耳与闸门采用常规型式需要人工进行, 可以采用类似液压自动抓梁的机构自动穿轴。

(3) 采用台车配合液压自动抓梁操作闸门, 台车容量 5000kN, 台车数量为 1 台, 首先安装好台车, 利用台车运输和安装闸门, 安装工期可以保证。闸门锁定在 251.00m 平台上, 在非泄洪工况下检修时, 检修人员的安全可以保证。为了提高门叶锁定的安全性, 锁定方式采用第二种方案的型式。该方案的主要缺点是液压自动抓梁操作闸门的可靠性应进一步提高, 不能实现远程控制, 需要操作人员到现场, 但闸门与自动抓梁脱挂钩自动进行, 闸门及启闭机维护方便, 工程量小, 投资最省。

(4) 1 台台车和 8 台固定式启闭机, 容量均为 5000kN, 首先利用台车运输和安装闸门, 再利用台车运输启闭机, 逐孔安装所有闸门及固定卷扬式启闭机后, 台车固定在第 1 孔检修门位置。该方案具有第一种方案所有的优点, 并解决了闸门、启闭机运输安装困难的问题, 但缺点同样存在, 工程量最大, 投资最多。

综合比较上述 4 个方案的优缺点, 第三种方案台车动滑轮组直接与闸门相连, 避免采用自动抓梁, 闸门操作可靠, 安装工期有保证, 闸门启闭机维护方便, 工程量及投资增加