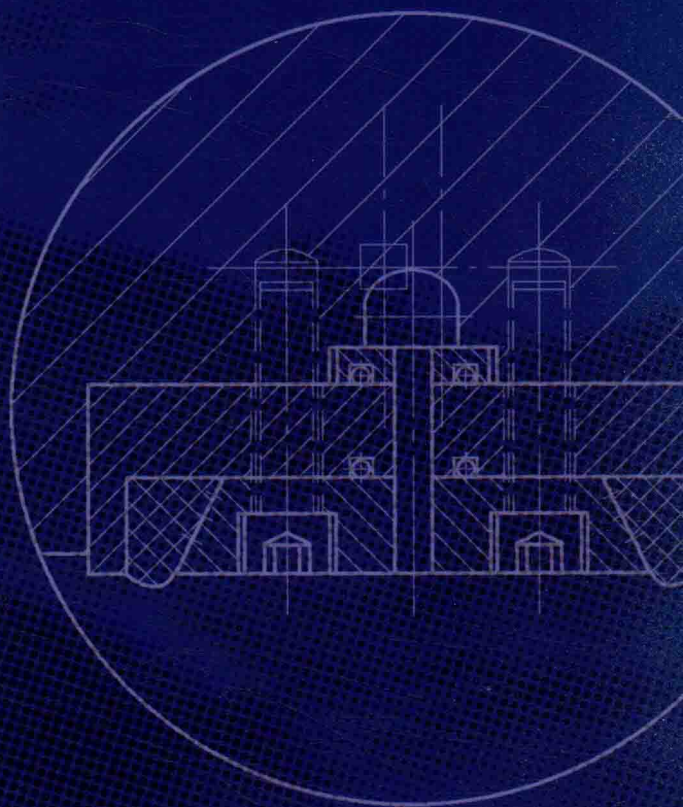


Technology for Hydraulic Machinery

水工机械技术

2014~2015年论文集

中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司
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

水工机械技术

2014~2015年论文集

中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司
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

·北京·

图书在版编目 (C I P) 数据

水工机械技术2014~2015年论文集 / 中国电建集团
华东勘测设计研究院有限公司, 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, 2016.9
ISBN 978-7-5170-4759-9

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(2016)第232044号

书 名	水工机械技术 2014~2015 年论文集 SHUIGONG JIXIE JISHU 2014~2015 NIAN LUNWENJI
作 者	中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司 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、68545874 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	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 16.5印张 391千字
版 次	2016年9月第1版 2016年9月第1次印刷
印 数	0001—2300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

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	刁彦斌	丁力	范国芳
方寒梅	龚建新	关景明	关新成	胡葆文
胡涛勇	韩一峰	金晓华	李云龙	林朝晖
刘旭辉	陆伟	罗慧德	罗文强	吕飞鸣
沈燕萍	宋媛媛	孙美玲	王金锋	王英人
王兆成	吴双	吴小宁	徐建军	徐绍波
许传桂	严根华	姚昌杰	姚国华	俞辉
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

金沙江龙开口水电站金属结构设计浅谈	卢新杰	胡葆文	(3)
中美水工钢闸门设计规范比较	金晓华	王靖坤	(12)
中美钢闸门面板有效宽度计算方法的比较	周建方	李 斌	(19)
锦屏二级水电站拦河闸弧形工作闸门液压启闭机	沈燕萍	金晓华	(25)
景洪水电站垂直升船机上闸首挡水工作闸门		吉 勇	(31)
缆索起重机在复杂运行环境中的设计制造经验	胡 卫	岳伟强	姚颖健 (38)
缅甸上邦朗水电站放空底孔金属结构设计研究	崔 稚	尹显清	王处军 (43)
糯扎渡水电站泄洪底孔工作闸门设计总结	马仁超	崔 稚	余俊阳 李 荣 (48)
潜孔泄洪闸弧形闸门防冰冻设计研究与应用		丁晓利	祁林攀 (55)
浅析向家坝水电站厂房引水压力钢管伸缩节设计与试验	王德金		吴天明 (63)
水丰水电站工程金属结构设备改造设计	陆 阳	郑衍智	王绪建 (69)
四梁双小车铸造起重机的设计方法	胡 卫	唐 近	陶清明 (74)
外水压力作用下的高水头闸门埋件结构设计条件			袁长生 (77)
望江楼水电站金属结构布置与设计	陆 阳	马会全	葛光录 (79)
仙游抽水蓄能电站金属结构设计		孙美玲	宫晓卉 (84)
向家坝水电站超大型表孔弧形工作闸门的设计研究			徐永新 (89)
云南澜沧江糯扎渡水电站溢洪道金属结构设计简介	崔 稚	马仁超	陈 琪 (93)
长甸电站改造工程金属结构设计特点		陈吉丰	程堂华 (101)
折线卷筒设计		史 兵	姚汉光 (105)
浅述水工钢闸门卷扬式启闭力动态检测	王长江	郑圣义	舒刘海 (116)
潜孔闸门门楣二期混凝土高度的抗剪强度计算			铁 汉 (120)
水电金属结构用 N800CF 高强度钢焊接性能研究	李 丽	汪晶洁	刘 双 (124)
泰国邦朗水电站扩容改造设备成套项目投标经验浅谈			刘艳红 (130)
闸门板件开孔应力计算			铁 汉 (134)
闸门门叶结构连接焊缝的强度计算			铁 汉 (138)
黄河班多水电站 40m 跨泄槽电缆廊道桥设计简述	邹振忠		王海涛 (145)
一种新型闭式多速卷扬启闭机	万名炎		余海明 (151)

地铁防淹密闭隔断门操控系统中的一种闭锁装置简介 …	李 强	陈 思	陈 卫	(158)
一种升船机承船厢对接密封装置 ……………	马仁超	李自冲	余俊阳	(162)

下篇 制造、安装与运行

大跨度门式启闭机“一刚一柔”门架选型分析与制造工艺 ……………	吴天明	罗荣海	王德金	杜 清	(167)
超大型表孔弧门门叶制造的质量控制 ……………	张开强	张水利	张海涛		(172)
国内外水电站表孔弧形闸门制造对比 ……………	曾玉华	马世昶			(177)
弧形闸门厂内试总装过程中支臂前后端板后加工工艺的可行性分析 ……………	张水利	张海涛	张开强		(181)
弧形闸门制造过程中几个需要注意的问题 ……………	张海涛	张水利	张开强		(184)
几种常用焊接方法的初探 ……………	张海涛	张水利	张开强		(187)
直流电动激振器振动消应在深孔弧门上的应用 ……………	张水利	刘德鸿	张开强	张海涛	(190)
三峡船闸人字门液压启闭机安装技术 ……………				童光辉	(195)
三峡工程坝顶门式启闭机安装技术 ……………				童光辉	(202)
三峡升船机平衡链导向装置安装技术研究 ……………	白长林			童光辉	(210)
升船机齿条的无损检测 ……………	林庆煌			赵建方	(214)
蜀河水电站超大型弧形闸门水上安装 ……………	邹振忠			张 民	(222)
向家坝中孔检修闸门底坎混凝土裂缝处理与宽底坎埋件安装方法的选择 …				袁长生	(230)
蜀河水电站泄洪闸三主横梁斜支臂弧门支铰轴止轴板螺栓剪断的情况分析 ……………	张开强	罗业成	张水利		(233)
800MPa 级 B780CF 钢岔管组合焊缝超声波探伤 ……………				殷学成	(236)
超声相控阵检测技术在水电工程中的对比应用 ……………				蔡正洪	(240)
超大型弧形钢闸门制作焊接变形控制技术 ……………	陈双发	郭明星	张建中		(245)

上篇

设计、试验与研究

金沙江龙开口水电站金属结构设计浅谈

卢新杰 胡葆文

(中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司 浙江杭州 311122)

摘 要: 本文介绍了龙开口水电站金属结构总体布置、现场出现及反馈的问题、设计新技术的应用等。

关键词: 龙开口水电站 闸门 启闭机 旋切阀 门机

1 概述

龙开口水电站为坝后式电站,大坝从左到右分别设有左泄洪中孔、溢流表孔、右泄洪中孔、引水发电系统、冲沙底孔等水工建筑物,并在左右岸各设有一条灌溉取水管,左岸挡水坝段设有两条导流底孔,上述各水工建筑物中均设有相应的金属结构设备。在右坝段前的库区设有拦污漂设备。

泄洪中孔设有事故闸门及工作闸门,事故闸门采用坝顶门机操作,坝顶门机及轨道布置在坝段间,工作闸门采用液压启闭机操作。溢流表孔设有检修闸门及工作闸门,检修闸门采用坝顶门机操作,工作闸门采用液压启闭机操作。引水发电系统设有进水口拦污栅、进水口检修闸门、进水口快速闸门及尾水检修闸门;进水口拦污栅前的污物利用门机加清污爬斗进行清污,进水口拦污栅、进水口检修闸门均采用坝顶门机操作,进水口快速闸门采用液压启闭机操作,尾水检修闸门采用尾水门机操作。冲沙底孔设有事故闸门、工作闸门,事故闸门采用坝顶门机操作,工作闸门采用液压启闭机操作。灌溉取水管设有拦污栅、检修闸门、工作闸门,拦污栅及检修闸门采用临时启闭设备操作,工作闸门采用机电一体式液压启闭机操作。导流底孔设有临时封堵闸门,临时封堵闸门采用固定卷扬式启闭机操作。

2 引水发电系统金属结构设计

引水发电系统采用一管一机布置,5台机组共设有5条引水钢管,根据设计规范的规定,进水口应设置快速闸门和检修闸门。每条引水钢管进水口顺水流方向依次布置有进水口拦污栅、进水口检修闸门、进水口快速闸门及相应的启闭设备,每台机尾水管出口布置有尾水检修闸门及相应的启闭设备。

2.1 进水口拦污栅及启闭设备设计布置

每条引水钢管进水口前沿由混凝土隔墩分成5孔,为提高水能利用率,进水口拦污栅采用通舱式布置,当部分拦污栅的栅叶被污物堵塞时仍能保证各机组有足够的引水量,可



避免或减少因部分拦污栅堵塞而停机的机会。每孔拦污栅设工作栅槽和备用栅槽各一道,前一道为工作栅槽,后一道为备用栅槽,共设置 25 孔工作拦污栅槽,25 孔备用拦污栅槽,27 扇拦污栅,其中 2 扇为备用栅。

拦污栅为焊接式平面结构,定轮支承;拦污栅孔口尺寸为 $4.8\text{m} \times 31\text{m}$ (宽 \times 高),拦污栅结构强度按 5m 水位差设计;拦污栅每扇栅叶由 10 节组成,每节高度约 3.1m。拦污栅的操作由布置在进水口平台的坝顶门机 $2 \times 400\text{kN}$ 副钩通过专用吊具及拉杆进行,动水启闭,拦污栅采用整扇启吊,分节拆运的方式吊出孔口。

拦污栅的清污采用清污耙斗方式,利用坝顶门机 $2 \times 400\text{kN}$ 副钩进行操作。在拦污栅的前后设置有水位计,用以监测拦污栅前后的水位差。当拦污栅前后的水位差超过设定值时,应及时进行清污。

拦污栅在坝顶 1303.00m 高程进行检修。备用栅平时放在冲沙坝段的贮栅槽内,当工作栅需检修时,可由门机先将备用栅放入需工作的备用栅槽中,然后才能将工作栅提出。

坝顶门机 $2 \times 400\text{kN}$ 副钩的坝上扬程为 14.0m,额定扬程为 58m;副钩在上下游允许运行位置为坝上 8.8m 至坝上 5.0m。坝顶门机轨距 12.0m,门机轨道长度 369.7m。

2.2 进水口检修闸门及启闭设备设计布置

5 条引水钢管进水口共设 1 套检修闸门,用于快速闸门及引水钢管检修时挡水。检修闸门孔口尺寸为 $8.8\text{m} \times 11.31\text{m}$ (宽 \times 高),底槛高程为 1262.6m,按正常蓄水位 1298.0m 设计,设计水头为 36m。闸门采用平面滑动式钢闸门,下游止水, I 型门槽;水封设置在下游侧。闸门的操作方式为静水启闭操作,门顶设置充水阀,闸门提门时前后水位差不得超过 3m。在检修闸门的前后设置水位计,用以监控检修闸门充水平压时前后的水位差。

闸门平时存放在 20 号坝段的进水口检修门储门槽内,闸门的检修和维护均在坝顶进行。闸门由坝顶门机主钩 $2 \times 1600\text{kN}$ 配自动抓梁操作。

2.3 进水口快速闸门及启闭设备设计布置

在每道检修闸门下游,设有一道快速闸门,5 条引水钢管共设有 5 套快速闸门,作为机组防飞逸的备用保护设施,可快速关闭以截断水流,防止事故扩大。该闸门满足现地/远方控制的要求,通过现地控制柜可实现“现地/远方”“自动/分步”控制闸门的升、降、停操作。每扇门各设置 1 套控制设备,控制操作电源采用直流 220V。快速闸门孔口尺寸为 $8.8\text{m} \times 10.64\text{m}$ (宽 \times 高),底槛高程为 1262.13m,按设计洪水位 1298.0m 设计,设计水头为 37m。闸门采用平面定轮钢闸门,下游止水, I 型门槽。闸门的操作方式为动水关闭,静水开启,由设在闸门上的充水阀充水平压,在快速闸门的前后设置水位计,用以监控快速闸门充水平压时前后的水位差。闸门平时由液压启闭机持住停放在孔口上方约 1m 处,闸门及启闭机的检修维护在 1303.00m 高程的坝顶上进行。

闸门面板设于上游侧,顶水封和侧水封设于下游侧,底水封设于中部靠上游侧,部分利用水柱闭门。定轮材料为 ZG35CrMo,定轮轴承采用自润滑球面轴承。门槽型式为 I 型门槽,门槽主轨轨道材料为 ZG35CrMo,闸门侧、顶止水采用常规 P 形水封,底止水采用刀形水封。闸门为单吊点。门顶设置充水阀,闸门提门时前后水位差不得超过 3m。



闸门平时停放在孔口上方,快速闸门的启闭设备选用液压启闭机,启闭容量为4000/2400kN(持住力/启门力),工作行程11.85m,启闭机可现地手动/自动,远方交流/直流控制。启闭机的维修可用坝顶门机进行启吊操作。

2.4 机组尾水检修闸门及启闭机设计布置

尾水检修闸门设置在每台机尾水管的出口处,每条尾水管出口由混凝土隔墩分成3孔,5台机组设置2套共6扇检修闸门。考虑电站发电初期的挡水需要,另配置9扇临时封堵闸门。闸门孔口尺寸7.25m×7.97m(宽×高),底槛高程1189.52m,按下游设计洪水位($P=1\%$)1240.78m设计,设计水头为52.0m,闸门型式采用平面滑动钢闸门,考虑尾水出口可能由于回水引起闸门前的淤积,因此闸门的面板布置在下游侧,以减少泥沙在门叶上淤积。闸门止水布置在上游侧。选用I型门槽。闸门的操作方式为静水启闭,由设在闸门上的充水阀充水平压,在检修闸门的前后设置有水位计,用以监测检修闸门充水平压时前后的水位差。

闸门面板设于下游侧,顶水封和侧水封设于上游侧,底水封设于靠上游侧。门槽型式为I型门槽。闸门为双吊点,门顶设置充水阀,闸门操作方式为静水启闭,提门时前后水位差不超过1m,由设在闸门上的充水阀充水平压。

闸门平时由锁定梁锁定停放在孔口上方1240.60m高程的门槽内,闸门的检修和维护均在1243.60m尾水平台进行。闸门由2×500kN尾水门机配自动抓梁操作,门机轨上扬程10.5m,额定扬程60.0m,主钩上设有高度、荷重指示装置和极限位置控制装置。

2.5 厂区进水口拦污漂

拦污漂布置方案由2段拦污漂、3个固定点、清污码头及联接公路组成。

下游端固定端设置在右泄洪中孔坝段的坝端上,河中固定端采用混凝土塔式结构,其固定点在坝上0+420.00、坝右0+240.00处,上游端固定端采用混凝土挡墙结构,固定点在坝上0+485.92、坝右0+484.66处。

下游段拦污漂长487m,与坝轴线的夹角为 57.4° ,上游段拦污漂长249m,与坝轴线的夹角为 10° 。拦污漂结构采用单节尺寸为6m×2.0m×1.0m(长×宽×高)的钢结构趸船,其干舷高度约0.5m,拦污深度(趸船吃水深度+挂栅深度)约1.8m。拦污漂端部设有导轮结构,拦污漂允许的运行水位为防洪限制水位1289.0m至校核洪水位1301.3m。

在上游端固定端上、下游分别布置有清污码头和连接公路。清污码头采用斜坡码头型式,可满足各运行水位的清污要求。连接公路将清污码头与右坝头上坝公路相连。

拦污漂趸船节间采用销轴连接,趸船下部挂栅尺寸为6.4m×1.3m(长×深),趸船上部设有栏杆。

3 泄洪、冲沙系统金属结构设计

泄洪冲沙系统设有4孔泄洪中孔、5孔溢洪道表孔、1孔冲沙底孔,泄洪中孔和冲砂孔分别设有事故闸门和工作闸门及其启闭设备,溢洪道表孔设有检修闸门和工作闸门及其启闭设备。



3.1 溢洪道表孔检修闸门及启闭设备设计布置

溢洪道表孔每孔设有一道检修闸门门槽, 5 孔共用 1 扇检修闸门, 用于其下游弧形工作闸门检修时挡水。检修闸门孔口宽 13.0m, 底槛高程 1278.00m, 按水库正常蓄水位 1298.00m 设计, 闸门高 20.4m, 设计水头 20m。闸门选用平面滑动钢闸门, 下游止水, II 型门槽。操作方式为静水启闭, 上节闸门动水小开度提门节间充水平压。为降低启闭机高度, 闸门采用分 3 节的结构, 上部 2 节结构相同, 高度均为 5.9m, 下节高度为 8.6m。闸门面板设于下游侧, 闸门为双吊点。闸门整节启吊, 分节拆运。

闸门平时存放在 8 号坝段的溢洪道检修门储门槽内, 闸门的检修和维护均在 1303.00m 坝顶进行。闸门由坝顶门机主钩 $2 \times 1600\text{kN}$ 配自动抓梁操作, 主钩坝上扬程 14m, 额定扬程 70.0m, 主钩上设有高度、荷重指示装置和极限位置控制装置。

3.2 溢洪道弧形工作闸门及启闭设备设计布置

溢流表孔每孔各设 1 扇工作闸门, 5 孔共设 5 扇工作闸门。工作闸门孔口宽 13.0m, 底槛高程 1277.176m, 按水库正常蓄水位 1298.00m 设计, 闸门高 21.3m, 设计水头 21.3m。考虑弧形闸门无凹形门槽, 水流流态较好, 启闭力小, 工作闸门选用弧形闸门, 闸门采用斜支臂弧形闸门, 弧形闸门弧面半径取 23.0m, 支铰安装高程 1287.00m, 支铰轴承采用自润滑球面轴承。闸门为双吊点。闸门动水启闭, 可局部开启。

弧形工作闸门选用后拉式液压启闭机操作, 一门一机配置。启闭机容量 $2 \times 2800\text{kN}$, 工作行程 8.94m。启闭机支铰高程 1295.85m。启闭机可现地和远方控制。通过现地控制柜可对闸门进行的升、降、停等操作。闸门开度、启、闭状态, 启闭机油压和油位异常、滤油器堵塞、控制设备故障等信号除现地显示外, 还传送到电站计算机监控系统。闸门的检修和维护在孔口内进行。

3.3 泄洪中孔事故闸门及启闭设备设计布置

在 4 孔泄洪中孔进口分别设有一道事故闸门门槽, 4 孔泄洪中孔共用一扇事故闸门, 用于其下游的工作闸门发生事故或检修时挡水。事故闸门孔口尺寸 $5.0\text{m} \times 9.6\text{m}$ (宽 \times 高), 底槛高程 1238.00m, 按水库正常蓄水位 1298.00m 设计, 设计水头 60.0m。闸门采用定轮支承结构, 考虑流速较大, 采用 II 型门槽。闸门的操作方式为动水关门, 静水提门, 由设在闸门上的充水阀充水平压。

闸门平时存放在 8 号坝段的泄洪中孔事故门储门槽内, 闸门的检修和维护均在 1303.00m 坝顶进行。闸门由坝顶门机主钩 $2 \times 1600\text{kN}$ 配自动抓梁操作。

3.4 泄洪中孔弧形工作闸门及启闭设备设计布置

4 孔泄洪中孔设 4 扇工作闸门, 用于水库泄洪。工作闸门孔口尺寸 $5.0\text{m} \times 8.0\text{m}$ (宽 \times 高), 底槛高程 1238.00m, 按水库正常蓄水位 1298.00m 设计, 设计水头 60.0m。闸门采用直支臂圆柱铰弧形钢闸门, 弧门半径 16.0m, 支铰安装高程 1250.00m, 支铰轴承采用自润滑球面轴承, 闸门为单吊点。闸门动水启闭, 可局部开启。闸门的检修和维护在孔口内进行。

弧形工作闸门选用液压启闭机操作, 一门一机。启闭机容量 $2000/500\text{kN}$, 工作行程 11.71m。启闭机机架高程 1265.7m。



3.5 冲沙底孔事故闸门及启闭设备设计布置

在大坝的冲沙底孔坝段设有一孔冲沙底孔, 冲沙底孔进口设有一扇事故闸门, 用于平时挡水及布置在其下游的工作闸门发生事故或检修时挡水。事故闸门孔口尺寸 $3.0\text{m} \times 5.0\text{m}$ (宽 \times 高), 底槛高程 1225.60m , 按水库正常蓄水位 1298.00m 设计, 设计水头 74.0m 。闸门采用上游止水, 定轮支承结构。考虑流速较大, 采用 II 型门槽。闸门的操作方式为动水闭门, 静水启门, 由设在闸门上的充水阀充水平压。闸门面板设于上游侧, 顶水封、底水封及侧水封设于上游侧。闸门为单吊点, 门叶内配钢砂混凝土 50.2t , 门顶配铸铁块 7.8t ; 门顶设置闸阀式充水阀平压, 闸门操作方式为动水闭门, 静水启门, 提门时前后水位差不得超过 3m 。

闸门平时处在挡水状态, 闸门的检修和维护均在 1303.00m 坝顶进行。闸门由坝顶门机主钩 $2 \times 1600\text{ kN}$ 配专用吊具操作, 主钩坝上扬程 14m , 额定扬程 70.0m 。

3.6 冲沙底孔工作闸门及启闭设备设计布置

冲沙底孔设 1 扇工作闸门, 用于排沙和泄洪。工作闸门孔口尺寸 $3.2\text{m} \times 4.2\text{m}$ (宽 \times 高), 底槛高程 1225.60m , 按水库正常蓄水位 1298.00m 设计, 设计水头 74.0m 。采用闸阀式平面闸门, 门槽为小门槽结构, 避免两侧门槽处可能产生的空蚀。启闭机采用液压启闭机, 启闭机底部机架做成密闭式, 下游止水, 其操作方式为动水操作, 全开全闭, 不允许局部开启。闸门面板设于下游侧, 顶水封、底水封及侧水封设于下游侧。闸门为单吊点, 门叶内配混凝土配重 12.8t 。

闸门平时由启闭机持住停放在孔口以上 1m 处, 工作闸门的启闭设备选用液压启闭机, 启闭容量为 $4000/1600\text{kN}$ (持住力/启门力), 工作行程 5.2m , 启闭机可现地手动/自动和远方控制。

4 灌溉取水及导流系统金属结构设计

为满足左右两岸下游农田灌溉的需要, 在大坝左右两侧分别设有灌溉取水管; 在取水管进口均设有拦污栅、检修门和工作门及相应的启闭设备。

4.1 灌溉取水管拦污栅及启闭设备设计布置

在左右岸灌溉取水口进口处均布置 1 道拦污栅, 拦污栅孔口尺寸为 $4.0\text{m} \times 4.0\text{m}$ (宽 \times 高), 底槛高程为 1287.5m , 按 4m 水位差设计, 静水启闭。拦污栅为焊接式平面结构, 滑动支承, 拦污栅结构强度按 3m 水位差设计, 栅条净距 200mm ; 栅叶主材为 Q235A, 栅槽主材为 Q235A; 由 160kN 临时启闭设备 (汽车吊等) 通过拉杆进行操作, 拦污栅采用整扇启吊。拦污栅采取提栅清污方式。拦污栅在坝顶 1303.00m 高程进行检修。拦污栅平时处在工作状态。

4.2 灌溉取水管检修闸门及启闭设备设计布置

为满足灌溉取水管工作闸门的检修要求, 在取水管进口设一检修闸门, 检修闸门门槽与拦污栅共槽, 检修闸门孔口尺寸为 $4.0\text{m} \times 4.0\text{m}$ (宽 \times 高), 底槛高程为 1287.5m , 按设计洪水位 1298.0m (正常蓄水位) 设计, 设计水头为 10.5m 。检修闸门为平面滑动钢闸门, 采用 I 型门槽。闸门的操作方式为静水启闭, 采用充水阀充水平压。闸门提门时前后



水位差不得超过 2m。

检修闸门的启闭设备采用临时启闭设备（汽车吊等），检修闸门平时放在储门槽内，当进水口工作闸门需检修时，用临时设备加拉杆将检修闸门吊至该孔下门挡水。操作检修门需要的启闭力为 160kN。检修闸门的检修维护在高程 1303.0m 的平台上进行。

4.3 灌溉取水管工作闸门及启闭设备设计布置

在灌溉取水管进口设一道工作闸门，作为灌溉取水的操作闸门，由于左右岸灌溉用水量不同，故左岸取水管工作闸门孔口尺寸为 2.0m×2.5m（宽×高），右岸取水管工作闸门孔口尺寸为 1.5m×2.0m（宽×高），底槛高程为 1287.5m，按设计洪水位 1298.0m 设计，设计水头为 10.5m。左右岸的工作闸门均为平面滑动铸铁闸门。闸门的操作方式为动水启闭。

工作闸门的启闭设备采用集成式启闭机，闸门与启闭机间通过拉杆连接。工作闸门与启闭机的检修借助临时设备在 1303.0m 高程的平台上进行。左岸取水管工作闸门启闭机容量为 250kN，启闭机行程 2.6m；右岸取水管工作闸门启闭机容量为 150kN，启闭机行程 2.1m。启闭机按现地控制设计。

4.4 导流底孔封堵闸门及启闭设备设计布置

为满足施工导流需要，在 6 号、7 号坝段设置 2 孔导流底孔，导流底孔进口设有临时封堵闸门及相应的启闭设备。

左岸挡水坝段设有 2 孔导流底孔，孔口尺寸为 10m×14m，底槛高程为 1214.50m，设置 2 扇封堵闸门，采用滑动支承，闸门挡水水头 84m，其中 6 号坝段导流底孔封堵闸门的动水下闸水头为 15m，7 号坝段导流底孔封堵闸门的初次动水下闸水头为 19.5m，为满足环保要求，在下闸时河流不断流，7 号坝段导流底孔封堵闸门需在第一次下闸时下到底槛约 3m 的高度上由启闭机持住，等水位升至小于 1240.50m 再进行二次下闸关闭闸门。

导流底孔的门槽结构为常规结构，由于 7 号坝段导流底孔封堵闸门需分两次下闸，为防止闸门在两次下闸间隙时门顶过水，优化水流形态，7 号坝段导流底孔封堵闸门门槽顶楣埋件做了 4.0m 的高度，以保证闸门在第一次下闸后，顶水封进入门楣段进行封水。另外为防止底槛被冲刷破坏，在底槛上下游各设约 1m 的一期埋板，但在施工过程中，由于焊接工艺等原因，在安装焊接一期埋板和底槛埋件的连接板时，一期埋板被焊缝拉坏，最后是拆除一期埋板，并用环氧砂浆做磨平处理。在门槽里设有填埋框结构作为门槽的保护，在门槽顶部 1235.0m 处设有钢盖板封闭。

6 号坝段导流底孔封堵闸门启闭设备按 15m 水头下能动水提门设计，采用 2×5000kN 固定卷扬式启闭机；7 号坝段导流底孔封堵闸门启闭设备按 25.5m 水头下能动水提门设计，采用 2×6300kN 固定卷扬式启闭机。

5 现场反馈的问题

2013 年 10 月对龙开口工程现场做了设计回访，对金属结构专业反映了以下问题。

5.1 进水口拦污栅

门槽安装插筋设计直径为 16mm，安装单位感觉偏小。建议对后续大型项目加大到



20mm 以上为宜。

5.2 进水口快速闸门

门楣二期混凝土与一期混凝土的高差设计为 100mm, 一期混凝土浇筑实际偏差超过了 100mm, 后通过凿除处理满足闸门运行要求。建议在水工图中加注此处浇注混凝土精度要求或在说明增加精度要求的条款来避免。

5.3 拦污栅、闸门门槽

现场反映拦污栅、闸门门槽二期混凝土尺寸偏小, 门槽安装不够方便。建议在土建允许的情况下可适当加大。本拦污栅门槽二期混凝土尺寸为 450mm×500mm, 进水口检修闸门门槽二期混凝土尺寸为 700mm×500mm, 可以满足安装要求, 适当加些也是可以的。

5.4 进水口清污

进水口清污由坝顶门机上游侧副小车操作清污抓斗进行, 备用拦污栅上面的盖板应按通车设计以直接运输污物。目前该盖板为栅格盖板未考虑通车设计, 按 300kg/m² 均布荷载设计。对其他类似工程, 按通车设计比较方便。

5.5 尾水检修闸门门机

设计容量为 2×500kN, 业主认为偏小, 后设计通过在闸门上设置泡沫的方式产生约 20t 的浮力以减少启门力, 闸门施工期挡水后操作时的实际最大启门力为 2×350kN。如按原设计运行操作, 启闭力约为 2×450kN, 门机设计容量满足要求, 但宽裕量偏小。建议对于有施工期挡水要求的闸门, 要考虑泥沙影响, 启闭机容量的宽裕量适当加大。

5.6 坝顶门机

坝顶门机设计为 1 台, 操作的闸门类别及数量很多, 门机运行距离太长, 操作效率低。尤其是汛期, 门机的主要工作基本用于清污, 其他闸门的操作较为不便。业主建议设计配置 2 台, 可提高操作效率及可靠性。根据龙开口工程特点, 其库区距上游金安桥电站为 41kN, 库区人员活动较少, 从这几年汛期看, 漂浮物不多, 加上现在拦污漂运行后, 大部分漂浮物可在溢洪道泄洪时从溢洪道带走, 因此门机清污工作强度较低, 而中孔事故门, 冲沙孔事故门, 溢洪道检修门及进水口检修门的年运行次数非常少, 而拦污栅的检修更是几年才会安排 1 次, 因此设 1 台门机完全能满足工程运行要求。

5.7 泄洪闸门

(1) 弧门支臂单侧设有栏杆, 另一侧临空。建议双侧均装设栏杆。

(2) 建议研究水封喷淋设施标准化设计。后续工程水封喷淋设施作为表孔工作弧门的标准配置。目前已在龙开口现场出通知增加了水封喷淋系统, 由于运行时间不长, 因此龙开口效果如何还不知, 可以继续研究, 做标准化配置。

5.8 泄洪闸门门槽

二期混凝土尺寸偏小, 门槽安装不够方便。安装单位建议在土建允许的情况下可适当加大。我个人认为: 龙开口二期混凝土尺寸为 850mm×600mm, 已完全满足安装要求, 再加大二期混凝土尺寸影响固定埋件轨道的刚度, 易引起浇注二期混凝土时埋件的变位, 所以不建议加大二期混凝土尺寸。



6 现场安装中出现的问题

6.1 冲沙底孔工作闸门

通气管设计有波纹管,现场运行时的震动较大。龙开口现场已修改取消波纹管,建议后续工程进行优化,取消波纹管,增加法兰连接。

6.2 泄洪中孔液压启闭机一期埋板尺寸及拔出问题

龙开口中孔液压启闭机机架一期埋件尺寸偏小,从现场看,机架一期埋件比安装过渡板长宽方向均仅大 2cm 左右(单边也就 1cm),由于一期埋件埋设精度普遍不高,因此必须要有一定的余度,个人建议长宽方向均应大于 10cm 为宜。

另外对需承受拉力的一期埋件,需增加锚杆与埋板间的焊接要求。3 号启闭机机架埋板被拉出。根据安装单位说明,埋板是在闸门全关情况下,油缸上腔压强到达 3MPa 左右出现埋板拉出现象,1 号、2 号、4 号油缸上腔压强均做过 4MPa 试验(设计工况),埋板未出现问题。

6.3 泄洪中孔液压启闭机预留行程

龙开口 3 号泄洪中孔弧形闸门支铰安装高程比设计值高了 65mm,桩号比设计值往上游偏移 40mm,液压启闭机机架安装高程比设计值偏高了 38mm,导致液压缸与闸门无法穿轴连接,相差 20mm。液压缸富裕行程共 140mm,无杆腔富裕行程 84mm,有杆腔富裕行程 56mm。由于目前安装单位人员素质普遍较差,安装经常出现一些意外情况,因此适当增加启闭机富裕行程还是必要的。个人认为可把液压缸富裕行程增加到 200~300mm。

6.4 门槽埋埋框及门槽二期混凝土冲刷问题

受施工工期的限制,埋埋框未按设计要求的长度进行制作安装,实际安装高度约为设计高度的 2/3 左右。第一个汛期后检查发现,门槽顶部盖板及门槽埋埋框均被冲走,门槽主轨顶部下游侧二期混凝土被冲刷进深约 20cm、长度为 4~5m 的冲槽。第一个汛期过后,对破坏的门槽进行修补,门槽顶部的盖板及埋埋框均未再重新设置,只是在每个汛期后对破坏的二期混凝土进行修复处理。

按照计划,2012 年 11 月中旬导流底孔封堵闸门需下闸蓄水,为保证下闸顺利,2012 年 5 月参建各方利用试槽门框对导流底孔门槽进行模拟下门试验,实验过程顺利,后又安排潜水员利用自制的潜水保护框对门槽进行探摸检查,检查情况未发现门槽有破坏情况。

2012 年 10 月,导流底孔合计经过 4 个汛期,在导流底孔上部门槽露出检查时,门槽主轨顶部下游侧二期混凝土破坏最严重的被冲刷进深约 35cm、长度为 5~6m 的冲槽;后在下闸前对损坏的二期混凝土进行修复处理。

针对以上问题,个人认为门槽埋埋框可以不设,对需过流多个汛期的导流闸门门槽下游侧建议做钢板护衬处理,以保护门槽下游侧混凝土不被冲坏。

6.5 门槽底槛过渡板与一期埋板的焊缝问题

龙开口工程底槛前后均采用钢衬过渡结构,为满足底槛安装要求,在底槛的上、下游侧均设有 30mm 厚的过渡板,等浇注二期混凝土后,需用过渡板将底槛与一期埋板进行



焊接连接过渡。在现场安装过程中,发现焊接时把一期埋板拉出现象,最后被迫取消过渡板,用浇注高强混凝土的方式取代。

事后分析,一是一期埋板插筋太少,每间隔 50cm 布置 1 根;二是焊缝坡口尺寸太大,使焊接热影响应力过大,加上焊接工艺等多种因素,才发生了以上现象。为避免今后类似情况发生,可采用以结构代替一期埋板,以增加一期埋件的刚度及与混凝土的结合度,将连接焊缝改为 8mm 的小坡口封闭焊缝,以减少焊接热影响应力。

7 设计新技术应用

根据以往工程实例,快速闸门在关门过程中发现有最后的冲水阀关不到位的现象,针对此问题,龙开口快速闸门液压启闭机系统中的差动回路进行了改进,将钢泵阀组(差动回路系统)从泵站移到油缸旁,这样大大减少了回油管路的长度,另外把钢泵阀组(差动回路系统)中的差装阀由竖装改为平装,以减少差装阀的回油阻力。经以上改动,龙开口快速门全部 5 孔已在现场做了快速闭门试验,闸门下门时间及冲水阀关闭到位情况均比较理想。