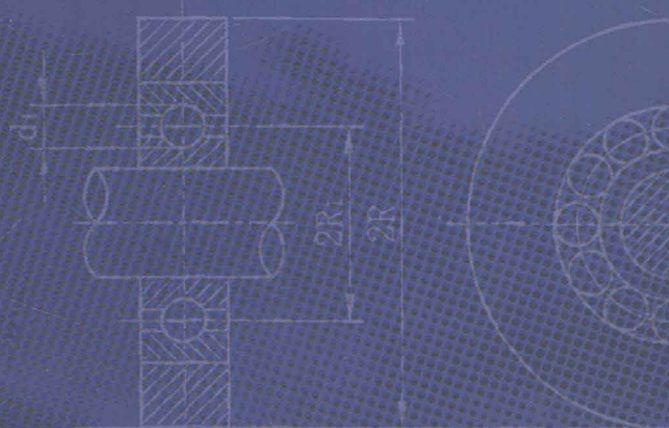


Technology for Hydraulic Machinery

水工机械技术

2009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

**Technology for
Hydraulic Machinery**

**水工机械技术
2009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2009年论文集：Technology for Hydraulic Machinery / 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，2009.12

ISBN 978-7-5084-7134-1

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(2010)第005538号

书 名	水工机械技术 2009 年论文集 Technology for Hydraulic Machinery
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	北京市地矿印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 29.25 印张 694 千字
版 次	2009 年 12 月第 1 版 2009 年 12 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	80.00 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

目 录

上篇 设计、试验与研究

景洪水电站金属结构设计	马仁超 王处军 庞北星 (3)
宝泉抽水蓄能电站金属结构设计	吕飞鸣 (10)
韩国贾洛林潮汐电站金属结构设计研究	杨 凡 (17)
光照水电站金属结构设计	杨清华 张爱萍 (24)
独流减河进洪闸金属结构布置与设计	易 伟 胡国智 (28)
黄河苏只水电站金属结构优化设计	刘少娟 朱增兵 (31)
缅甸瑞丽江一级水电站工程金属结构的设计与布置	王处军 尹显清 赵钟鸣 (35)
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 (40)
流波水电站金属结构的布置与设计	王 畅 (43)
十里河水库除险加固金属结构设计	张医娟 (47)
河北省岗南水库工程金属结构改造设计	王远旺 (50)
水电站泄水道修复工程的探索与实践	丁晓利 方 勇 郭富权 (55)
水电站引水发电系统闸门的布置和选择	刘少娟 (62)
龚嘴水电站大坝冲砂底孔事故闸门设计	任国良 (65)
白龙江宝珠寺水电站右底孔弧形工作闸门设计	徐长明 (70)
腊寨水电站泄洪冲砂底孔弧形工作门设计	陈若炜 韩云峰 (77)
定轮闸门滚动摩擦研究	崔元山 (80)
小溶江水利枢纽导流洞封堵闸门设计	刘国瑞 (93)
张峰水库溢洪道三支臂弧形钢闸门设计与研究	薛桂荣 (98)
溢洪道设计中采用自溃式闸门的最新发展及其在蒙特沙尔文斯拱坝中的应用	[瑞士] 伯纳德 科特 丹尼尔 戈利阿德等 (103)
弧形钢闸门桁架最优布置与考虑动力稳定下主框架结构优化	李火坤 徐 喆 (113)
喜河水电厂机组进水口导漂排的设计、安装及应用	刘文广 周智民 (121)
杭州印象西湖工程舞台补平机构设计	夏云秋 周以达 (126)
水工钢闸门水封装置及其应用	薛桂荣 (132)
皂市水电站进水口快速门液压启闭机设计	陈智海 (136)
小浪底水利枢纽工程启闭机械的技术特点综述	王国栋 孙鲁安 毛命令 (140)

四川大渡河泸定水电站 2 号泄洪洞 320kN 检修门机的设计	乔长龙	李孝明	(145)
双缸液压启闭机闸门纠偏控制的电气实现		秦雅岚	(151)
上犹江水电厂溢洪道工作闸门及启闭机更新改造	鄢金生	周以达	(155)
新安江水电站进水口快速闸门及液压启闭机改造设计	沈燕萍	吕飞鸣	(162)
新安江水电站坝顶门机更新设计		胡涛勇	(167)
装配式钢结构防浪墙的设计布置特点		常宗滨	(173)
橙子沟水电站清污设计研究	方 勇 罗 涛	顾 梅	(176)
回转栅式排冰清污机设计研究与应用		铁 汉	(181)
一种新的提高抽水蓄能电站拦污栅自振频率的支承方式	刘顺强 胡霜天	陈 红	(189)
大型船闸人字闸门工作模态试验分析	蒋建国	李 勤	(195)
大型平面有轨对拉式弧形闸门的流激振动特性及抗振措施研究		严根华	(203)
弧形闸门 L 型水封压缩过程非线性数值模拟	李宗利 孙丹霞	王正中	(215)
卷扬机卷筒与升降高度的计算方法分析	王振宇 邵建龙	张 红 吕英英	(221)
弧形闸门开度实时测控的方法设计		涂从刚 任传胜	(226)
偏心铰弧形闸门振动特性研究	钱声源 张燎军	邹 辉 张 义	(230)
弧形闸门参数振动的有限元分析	牛志国 李同春	赵兰浩 牛志伟	(235)
Inventor 三维参数化设计的应用	宋江毅 姜永健	邓雪松	(241)
浅谈三维设计在金属结构中的应用	姜永健 宋江毅	邓雪松	(247)
基于 Inventor 虚拟约束在装配约束的应用研究	邓雪松 姜永健	宋江毅	(254)

下篇 制造、安装及运行

钢闸门制造出厂验收细则		铁 汉	(259)
深入学习“规范”探究其所以然	陈启丙	王爱国	(262)
水电站水轮机用铸造低碳马氏体不锈钢性能探讨	梅 燕	王兆成	(266)
基于以太网的水利闸门数据采集和监控系统	蒋从军	金 平	(273)
长洲水利枢纽工程超大型人字闸门制造工艺	左 琛	张建中	(282)
弧形工作门弧面加工工装与加工方法的探索		王金花	(289)
丹麦 MICON 风力发电机组塔架制作工艺探讨		杨锦辉	(292)
钟楼防洪控制工程平面弧形双开门制造工艺	王 兵 韦力生	田建京	(298)
再论埋件的防护	胡广武	张志修	(304)
广西龙滩水电站进水口事故闸门的制造		金国强	(308)
16MnR 与 WDB620 异种钢的焊接工艺		余丽梅	(312)
三峡永久船闸人字门安装及质量控制		王爱国	(316)
水工金属结构施工场地优化布置研究	汪 飞	熊高峡	(323)
莫拉萨德拉水电工程金属结构优化布置与实施		熊高峡	(330)
矽萨大坝底泄水闸门安装方案优化	曾 文	郭 峰	(335)

长洲水利枢纽船闸人字闸门安装工艺技术	张伟胜	于涛	(342)
丰顺县韩江东山水利枢纽工程船闸上、下闸首人字门的安装方案及质量控制		罗森通	(347)
弧形闸门安装中常见故障及解决方法		高恒	(353)
三峡泄洪工程坝顶门机施工技术研究与应用		汪飞	(356)
刚性支撑的门机安装方案	唐宏	姚磊	(362)
南水北调江都西闸除险加固工程水上施工平台设计及应用	王兵	徐太宏	(368)
运河系统中钢闸门制作安装的质量控制		王艳军	(371)
国产特大型自润滑关节轴承在金属结构上的应用可靠性分析		李云龙	(377)
液压启闭机专用油的推广应用		吕红星	(382)
洞中压力钢管回填混凝土脱空不用接触灌浆的界限尺寸计算		铁汉	(387)
三峡水电站右岸肘管制造安装技术总结		汪飞	(390)
贵州洪家渡水电站压力钢管制造		刘艳波	(395)
浅谈五一桥水电站大型岔管制作技术	汪观鸿	吕登凤	张志海 (402)
超大型亚刚体结构伸缩节制造技术		彭拥兵	(408)
瀑布沟水电站分瓣转轮工地组装焊接技术	罗陈	周建平	汪文元 (421)
全站仪用于钢岔管水压试验变形观测	王和平	王小平	李东明 (429)
三峡水利枢纽高程 120m 钢栈桥梁制造质量控制		张汉生	王守运 (433)
风力发电机组塔架节间连接法兰焊接变形及解决办法		张民	邹振忠 (438)
高强螺栓在风力发电机组安装中的应用		吕鹏远	邓志勇 (444)
浅谈钢构桥矫正		谢如金	郭菲 (448)
三峡工程排漂孔弧形工作门漏水原因分析及处理		赵建方	俞歌 (451)
三峡机组快速闸门动水闭门检测数据分析	席前伟	于忠敏	毛延翩 (454)

上篇

设计、试验与研究

景洪水电站金属结构设计

马仁超¹ 王处军¹ 庞北星²

(1. 中国水电顾问集团昆明勘测设计研究院 云南昆明 650051;

2. 重庆水利电力职业技术学院 重庆 402160)

摘 要: 景洪水电站位于澜沧江下游河段,是澜沧江中、下游河段规划的两库八级开发方案的第六级,上、下游分别与糯扎渡水电站和橄榄坝水电站衔接。该水电站于2008年6月投运发电。本文对景洪水电站的金属结构设计进行了系统的介绍,以供同类型电站金属结构设计借鉴。

关键词: 景洪水电站 金属结构 设计

1 概述

景洪水电站位于云南省西双版纳傣族自治州首府景洪市北郊约5.0km处的澜沧江下游河段,是澜沧江中下游河段规划的两库八级开发方案的第六级,上、下游分别与糯扎渡水电站和橄榄坝水电站衔接。景洪水电站的开发以发电为主,兼有航运、防洪、旅游及库区水产养殖等综合利用效益。

景洪水电站水库正常蓄水位602.00m,死水位591.00m,校核洪水位609.40m,总库容 $11.39 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中调节库容为 $3.09 \times 10^8 \text{ m}^3$,具有周调节能力。电站总装机容量1750MW(5×350MW混流式水轮发电机组)。

景洪水电站枢纽建筑物包括拦河坝、引水发电建筑物、泄洪排沙建筑物及航运过坝建筑物等。

景洪水电站金属结构设备包括引水发电系统、泄洪冲沙系统、导流系统、城市供水系统、升船机系统(处于招标设计阶段)等设备,目前已完成金属结构总工程量约14274t。

2 引水发电系统金属结构

引水发电系统金属结构设备包括进水口拦污栅、进水口检修门、进水口快速事故闸门及液压启闭机、进水口拦污漂、尾水检修闸门、厂房防洪闸门、尾水门机等。

2.1 进水口拦污栅

电站进水口布置在坝址的左岸15~20号坝段,5台机组设有5个进水口,每个孔口拦污栅后检修门前的水工体型为连通式,进水口共设置了36孔拦污栅、38套栅叶,其中2套栅叶为检修备用栅,备用栅分节锁定在检修栅槽内。拦污栅底槛高程为562.00m,孔口尺寸为3.0m×50.0m(净宽×净高),拦污栅为直栅(与水平夹角为90°),按承受4m水头设计,栅条净距200mm。每扇拦污栅体分为17节制造,每节栅体布置3根主横梁,



纵向栅条利用横向螺杆和套筒连接成整体栅叶，采用滑块支承。

拦污栅利用坝顶门机的副小车采用提栅清污的方式清污，副小车的额定起升容量为 1000kN。38 套拦污栅共设置了两套平衡梁，坝顶门机通过平衡梁操作拦污栅。

2.2 进水口拦污漂

为有效阻拦污物进入电站进水口，在拦污栅前设置一道能随水库水位变化而垂直升降的拦污漂。拦污漂的两端设置有凹型钢结构导槽，其一端布置在大坝 14 号坝段；另一端布置在水库左岸端塔上，导槽总高度为 23m，导槽最低端高程为 589.00m，低于电站死水位 591.00m，以确保在电站运行的整个水位变动范围内能有效拦住污物，如图 1 所示。

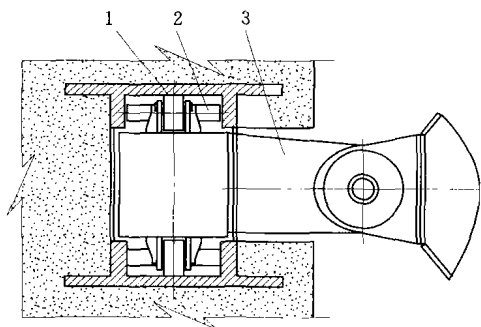


图 1 拦污漂端部结构示意图

1—纵向导轮；2—横向导轮；3—端部支架

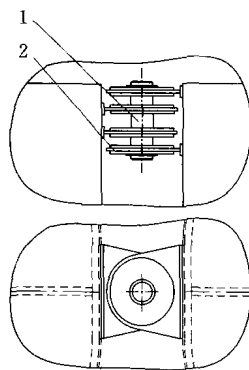


图 2 浮箱节间连接示意图

1—节间连接轴；2—节间连接吊耳板

拦污漂由 53 节钢浮箱组成，浮箱间通过铰轴连接，其中端部两节为过渡箱，是拦污漂主体和滑轮结构间的过渡装置，其一端和箱体结构连接；另一端和滑轮结构连接。拦污漂的滑轮结构由轮架结构、主轮装置、侧轮装置组成，主轮提供主支承和纵导向，侧轮提供侧导向，结构示意如图 2 所示。

拦污漂主要技术参数

两端直线距离 (m):	348.90
拦污漂矢高 (m):	5.0
水上拦污高度 (m):	0.5
水下拦污高度 (m):	1.5

2.3 进水口检修门

在拦污栅后设置有电站进水口检修闸门，门型为平面滑动钢闸门，5 台机组共用 2 扇检修闸门。检修闸门门槽底槛高程为 565.00m（相比于拦污栅底槛高 3.0m），孔口尺寸为 10.0m×16.0m（净宽×净高），设计水头为 44.4m，设计总水压力为 59226kN，采用滑块支承，闸门采用节间充水平压后静水启闭。门叶分 8 节制造，上 2 节和下 6 节现场通过铰轴和连接板分别连接成整体。该闸门由坝顶 3500kN 门机小车通过液压自动抓梁操作，平时闸门存放在储门槽内。



2.4 进水口快速事故门及启闭机

每台机组进水口布置 1 扇快速事故闸门, 孔口尺寸为 $9.00\text{m} \times 12.40\text{m}$ (宽 $\times$ 高), 封水尺寸为 $9.12\text{m} \times 12.46\text{m}$ (宽 $\times$ 高), 底槛高程 565.00m , 设计水头 37.0m , 总水压力为 34966kN , 采用滚轮支承。门体的梁系为实腹式同层布置, 门叶面板布置在上游, 水柱压力作用在闸门顶主梁上, 利用水柱压力全水头快速关闭孔口。门叶分为 4 节制造, 现场通过节间连接螺栓连接成整体。闸门为动水关闭静水开启, 门叶上设置充水阀实现开启时的平压。

正常运行时, 闸门悬吊于孔口门楣上方 1.1m 处于待命状态, 当机组发生事故时闸门能在 3.0min 内快速关闭孔口, 以保护机组安全。该闸门由单缸双作用式液压启闭机进行操作, 主要技术参数: 持住力 5500kN , 启门力 3000kN , 工作行程 13.50m , 油缸内径 $\phi 710\text{mm}$, 油缸外径 $\phi 810\text{mm}$, 活塞杆直径 $\phi 320\text{mm}$, 有杆腔持住计算压力 17.5MPa , 有杆腔启门计算压力 9.6MPa 。

进水口快速闸门液压启闭机电气控制系统由 1 套泵站动力柜、集中控制柜和 5 套现地控制柜组成, 布置在进水口闸门控制室内, 以实现对进水口 5 扇快速闸门的监控。快速闸门及液压启闭机的工作状态可在电站集中控制中心显示, 当机组发生事故时, 液压启闭机接收由控制中心发来的信号后快速 ($\leq 3.0\text{min}$) 关闭闸门。

2.5 尾水检修闸门

可行性研究阶段考虑 2 台机组检修, 厂房尾水管出口共设置了 15 个孔口, 配置 6 扇检修门, 机组安装期间尾水管通过堵头挡水。招标和施工设计阶段为方便施工, 在机组安装期间修改为直接利用检修闸门挡水, 尾水闸门数量由 6 扇调整为 15 扇。闸门孔口尺寸为 $7.22\text{m} \times 9.68\text{m}$ (宽 $\times$ 高), 封水尺寸为 $7.34\text{m} \times 9.74\text{m}$ (宽 $\times$ 高), 底槛高程 508.23m , 设计水头为 65.77m , 总水压力 43541kN , 采用尼龙滑道支承。检修闸门门叶的梁系为实腹式同层布置, 面板布置在上游。每套门叶分 3 节制造, 工地安装时通过铰轴连接成一体。闸门为静水启闭, 通过水机专业埋设的充水管实现充水平压。

尾水检修闸门在电站正常运行时, 锁定在尾水平台上, 机组检修时使用尾水平台门机通过液压自动抓梁静水启闭闸门。

2.6 厂房防洪闸门

厂房入口通道 549.00m 平台处设置 1 孔 1 扇防洪闸门, 在电站下游水位高于 549.00m 时用于厂房的防洪挡水。闸门孔口尺寸为 $10.00\text{m} \times 7.50\text{m}$ (宽 $\times$ 高), 封水尺寸为 $10.12\text{m} \times 7.56\text{m}$ (宽 $\times$ 高), 底槛高程 549.00m , 设计水头为 25.0m , 总水压力 16235kN , 采用尼龙滑道支承。门叶的梁系为实腹式同层布置, 面板布置在上游。每扇门叶分 3 节制造, 工地安装时通过接螺栓连接成一体。闸门为无水启闭, 在电站下游水位低于闸门底槛时启闭闸门。

闸门平时存放于储门槽内, 当预测到下游水位将超过 549.00m 时使用尾水平台门机通过液压自动抓梁使闸门处于挡水状态, 下游水位消退后再将闸门存放于储门槽内。

2.7 尾水门机

尾水门机布置在电站尾水平台上, 主要用于启闭尾水检修闸门和厂房防洪闸门。门机



容量为 $2 \times 800 \text{ kN}$ ，门机轨距为 6.50 m 、轮距为 9.60 m ，启升高度 70 m ，门机自带两根液压抓梁，分别用于检修闸门和厂房防洪闸门的启闭。

3 泄洪冲沙系统金属结构

景洪水电站泄洪建筑物由 7 个溢流道和 2 个冲沙底孔组成，其中溢流表孔设 2 扇平面检修闸门和 7 扇弧形工作闸门，左、右冲沙底孔各设置 1 扇事故闸门和 1 扇弧形工作闸门。

3.1 溢流表孔工作闸门及液压启闭机

溢流表孔布置在大坝的右边，1 号表孔布置在 5~6 号坝段分缝处，2~7 号表孔布置在 7~13 号坝段分缝处。溢流表孔承担了电站的主要泄洪任务，闸门孔口宽度为 15.0 m ，底槛高程 580.262 m ，设计水头为 21.7 m ，面板曲率半径为 25.0 m ，闸门总水压力为 38216 kN 。闸门采用二箱型主横梁、斜支臂结构，活动支铰采用焊接结构。底水封采用条形止水橡皮，侧止水为外 L 型橡胶水封，厚度 20 mm 。闸墩顶部设有闸门锁定装置，供闸门门叶检修和长期全开时使用。门叶在工厂分为 8 节制造，现场焊接成整体。支铰轴承采用高强度钢背聚甲醛复合自润滑轴套，型号 FZ-8 $\phi 730/650-547 \text{ mm}$ ，每套闸门使用 4 套， $730 \text{ mm} \times 650 \text{ mm} \times 547 \text{ mm}$ （外径 $\times$ 内径 $\times$ 宽），单个轴套的最大承载能力为 $2.5 \times 10^7 \text{ N}$ 。支铰轴材料采用 40Cr，支铰材料采用 ZG35CrMo。

弧形闸门采用双缸液压启闭机操作，启门力 $2 \times 4000 \text{ kN}$ ，工作行程 10.0 m ，活塞运行速度约 0.8 m/min 。油缸外径 730 mm ，油缸内径 620 mm ，活塞杆直径 320 mm ，工作压力 17.3 MPa ，每套液压启闭机配置有 1 套独立泵站操作。油缸的上端与预埋在闸墙上的油缸支铰连接，油缸活塞杆的下端与闸门下主梁两端后翼缘板上的吊耳连接。溢流表孔工作闸门液压启闭机现地控制系统共 7 套，每套由 1 个动力柜和 1 个控制柜组成，布置在相应的启闭机室内，完成对各溢流表孔工作闸门的监控。闸门及液压启闭机的工作状态可在电站集中控制中心显示。

3.2 溢流表孔检修闸门

在溢流表孔工作闸门前设置 7 孔检修闸门槽，配置 2 扇溢流表孔检修闸门，孔口宽度为 15.0 m ，底槛高程 580.95 m ，设计水头 21.05 m 。采用平面叠梁型式，每套门叶分为 7 节制造，现场通过铰轴吊耳板分别将上面 4 节和下面 3 节将闸门连接为 2 节叠梁。表孔检修闸门由坝顶门机通过液压自动抓梁操作，上节门叶动水提门后使下节门叶充水平压静水开启。当工作闸门需要检修时，上、下节门叶依次静水关闭下闸挡水，平时表孔检修闸门存放在储门槽内。

3.3 左冲沙底孔工作闸门及液压启闭机

左冲沙底孔布置在电站进水口的左侧 20 号坝段，孔口尺寸为 $3.00 \text{ m} \times 5.00 \text{ m}$ （宽 $\times$ 高），闸门封水尺寸为 $3.00 \text{ m} \times 5.40 \text{ m}$ （宽 $\times$ 高），底槛高程 539.00 m ，设计水头为 70.4 m ，闸门按门前淤积 3 m 高度的泥沙条件计算机械零件和结构的强度，分别计算闸门总水压力和泥沙压力，并在门叶结构强度、启门力计算时考虑了泥沙淤积的作用，总水压力和泥沙压力共为 14726 kN 。闸门采用二箱型主横梁、直支臂结构，支铰采用铸造铰。



底水封采用条形止水橡皮,侧止水为外P型橡塑水封。支铰轴承采用铜合金镶嵌自润滑轴套,型号FZ-5 $\phi 400/350-460\text{mm}$,每套闸门使用2套, $400\text{mm} \times 350\text{mm} \times 460\text{mm}$ (外径 $\times$ 内径 $\times$ 宽),单个轴套的最大承载能力为 $9.8 \times 10^6\text{N}$ 。支铰轴材料采用40Cr,支铰材料采用ZG50Mn2。

弧形闸门采用单缸双作用固定式液压启闭机操作,启/闭门力 $1600\text{kN}/800\text{kN}$,工作行程 7.436m ,活塞运行速度约 $0.8\text{m}/\text{min}$ 。油缸外径 500mm ,油缸内径 400mm ,活塞杆直径 220mm ,工作压力 18.3MPa 。油缸的中部固定在机架上,活塞杆沿预埋在混凝土内的导槽上下运行,并通过一连杆与闸门连接,实现闸门的启闭。左冲沙底孔工作闸门液压启闭机现地控制系统由1个动力柜和1个控制柜组成,布置在启闭机室内,完成对左冲沙底孔工作闸门的监控。闸门及液压启闭机的工作状态可在电站集中控制中心显示。

3.4 左冲沙底孔事故闸门

在左冲沙底孔工作闸门的前面布置了1孔事故闸门槽,配置有1扇事故闸门,孔口尺寸为 $5.00\text{m} \times 6.50\text{m}$ (宽 $\times$ 高),封水尺寸为 $5.12\text{m} \times 6.56\text{m}$ (宽 $\times$ 高),底槛高程 539.00m ,设计水头为 70.4m ,闸门按门前淤积 3m 高度的泥沙条件计算机械零件和结构的强度,分别计算闸门总水压力和泥沙压力,并在门叶结构强度、启门力计算时考虑了泥沙淤积的作用,闸门总水压力和泥沙压力共为 23826kN 。该闸门门叶的梁系为实腹式同层布置,面板及止水布置在上游,利用加重动水闭门。每扇事故闸门门叶分2节制造,工地安装时通过节间螺栓连接成一体。事故闸门采用宽深比为1.56的Ⅱ门槽。

该闸门采坝顶门机操作,动水关闭、静水开启。平时锁定在门槽顶部,当工作闸门发生事故或需要检修时,动水关闭闸门挡水。

3.5 右冲沙底孔工作闸门及液压启闭机

右冲沙底孔布置在电站进水口的左侧13号坝段,闸门孔口尺寸为 $5.00\text{m} \times 8.00\text{m}$ (宽 $\times$ 高),封水尺寸为 $5.00\text{m} \times 8.33\text{m}$ (宽 $\times$ 高),底槛高程 540.00m ,设计水头为 69.4m ,闸门按门前淤积 5m 高度的泥沙条件计算机械零件和结构的强度,分别计算闸门总水压力和泥沙压力,并在门叶结构强度、启门力计算时考虑了泥沙淤积的作用,闸门总水压力和泥沙压力共为 32108kN 。闸门采用二箱型主横梁、直支臂结构,支铰采用铸造铰。底水封采用条形止水橡皮,侧止水为外P型橡塑水封。支铰轴承采用铜合金镶嵌自润滑轴套,型号FZ-8 $\phi 680/600-800\text{mm}$,每套闸门使用4套, $680\text{mm} \times 600\text{mm} \times 800\text{mm}$ (外径 $\times$ 内径 $\times$ 宽),单个轴套的最大承载能力为 $3.36 \times 10^7\text{N}$ 。

弧形闸门采用单缸双作用摇摆式液压启闭机操作,启/闭门力为 $2800\text{kN}/500\text{kN}$,工作行程 11.40m ,活塞运行速度约 $0.8\text{m}/\text{min}$ 。油缸外径 630mm ,油缸内径 540mm ,活塞杆直径 320mm ,工作压力 18.86MPa 。右冲沙底孔工作闸门液压启闭机现地控制系统由1个动力柜和1个控制柜组成,布置在启闭机室内,完成对左冲沙底孔工作闸门的监控。闸门及液压启闭机的工作状态可在电站集中控制中心显示。

3.6 右冲沙底孔事故闸门

在右冲沙底孔工作闸门的前面布置了1孔事故闸门槽,配置有1扇事故闸门,孔口尺寸为 $5.00\text{m} \times 9.50\text{m}$ (宽 $\times$ 高),封水尺寸为 $5.12\text{m} \times 9.65\text{m}$ (宽 $\times$ 高),底槛高程



540.00m, 设计水头为 69.4m, 闸门按门前淤积 5m 高度的泥沙条件计算机械零件和结构的强度, 分别计算闸门总水压力和泥沙压力, 并在门叶结构强度、启门力计算时考虑了泥沙淤积的作用, 闸门总水压力和泥沙压力共为 33932kN。该闸门门叶的梁系为实腹式同层布置, 面板及止水布置在上游, 利用加重动水闭门。每套门叶分 3 节制造, 工地安装时通过节间螺栓连接成一体。事故闸门采用宽深比为 1.88 的 II 门槽。

该闸门利用坝顶门机操作, 动水关闭、静水开启。闸门平时锁定在门槽顶部, 当工作闸门发生事故或需要检修时, 动水关闭闸门挡水。

4 坝顶门机

坝顶门机布置在坝顶 612.00m 高程, 主要用于进水口拦污栅的提栅清污和进水口检修闸门、左冲事故闸门、右冲事故闸门、溢流表孔检修闸门、升船机上闸首检修闸门的启闭, 以及导流底孔封堵闸门的下闸操作。门机为双向双小车型式, 主小车容量为 3500kN, 副小车容量为 1000kN, 门机轨距为 14.00m、轮距为 11.00m, 主钩启升高度 85m, 副钩启升高度 20m。门机为各闸门的启闭分别配有相应的液压抓梁。

5 其他系统金属结构

除引水发电系统、尾水系统和泄洪冲沙系统金属结构外, 景洪水电站还包括导流系统金属结构、城市供水系统金属结构和升船机系统金属结构, 其中升船机系统金属结构根据工程进度需要, 目前已完成了上闸首事故闸门、引水拦污栅和引水道进口快速事故门的设计制造。

5.1 导流系统金属结构

景洪水电站大坝右岸 3~7 号溢流表孔的下方共设有 5 孔导流底孔, 配置有 5 扇导流底孔封堵闸门, 利用 2 台坝顶门机通过液压抓梁完成 5 扇导流底孔封堵闸门的下闸操作。

闸门孔口尺寸为 8.0m×14.0m (净宽×净高), 挡水尺寸为 8.4m×14.6m (净宽×净高), 闸门底槛高程为 534.00m, 设计挡水水头为 62.0m, 总水压力为 64922kN, 动水关闭的最大设计操作水头为 22.0m。闸门为平面焊接钢结构型式, 采用定轮支承、下游止水。

根据闸门尺寸及运输要求, 每套门叶共分为 5 节制造, 现场安装时通过门叶节间连接轴连接成整体。闸门门叶的梁系为实腹式同层布置, 面板布置在下游侧。考虑到导流底孔封堵闸门的使用工况, 节间在闸门组装后采用封板焊接封水。导流底孔闸门槽需经过 3 个汛期的过流考验, 过流期间水流情况复杂, 流速高、泥沙含量大, 因此, 根据规范要求闸门采用 II 门槽, 宽深比为 1.56。闸门底槛及门槽侧壁从 534.00~555.00m 为全钢衬。

5.2 城市供水系统金属结构

城市供水系统布置在大坝的右侧, 主要为景洪市提供生活用水和饮用水, 城市供水系统金属结构包括 2 孔 2 扇进水口拦污栅和 2 孔 2 扇进水口检修门, 拦污栅和检修门的底槛高程为 588.00m。拦污栅和检修门均采用临时启闭设备操作。

在城市供水系统进水口拦污栅孔口尺寸为 1.4m×12.00m (宽×高), 栅槽底槛高程



588.00m, 拦污栅为垂直、平面、活动式, 按承受 3m 水头差设计, 栅条净距 50mm。每扇拦污栅栅叶分 4 节制造, 每节栅叶布置 3 根主横梁, 栅片焊接固定在主横梁上。栅叶采用钢板作为主支承和反向支承, 侧向为角钢限位。3 节栅叶通过边柱的销轴铰接成一体, 安装时逐节下放至栅槽中。拦污栅的吊耳与起吊钢丝绳连接, 钢丝绳另一端固定在栅槽顶部。拦污栅用临时起吊设备在拦污栅前后水头差不大于 3m 的情况启闭和清污。

检修闸门孔口尺寸为 $1.4\text{m} \times 1.4\text{m}$ (净宽 $\times$ 净高), 封水尺寸为 $1.48\text{m} \times 1.45\text{m}$ (净宽 $\times$ 净高), 底槛高程 588.00m, 设计挡水水头为 21.4m, 总水压力为 443.7kN。检修闸门平时锁定在门槽顶部, 当需要检修后面的阀门时闭门挡水。检修门由临时起吊设备通过拉杆操作, 静水关闭, 动水开启。检修门门叶的梁系为实腹式同层布置, 面板布置在下游侧。

5.3 升船机系统金属结构

升船机上闸首布置在大坝右侧的通航坝段, 根据工程进度目前完成设计制造的项目有上闸首事故闸门、引水管道进口拦污栅、引水管道进口快速事故闸门。

上闸首在升船机引水管道前端设置了 1 道拦污栅, 孔口尺寸为 $5.0\text{m} \times 7.0\text{m}$ (宽 $\times$ 高), 底槛高程 579.25m, 为增大过流面积, 拦污栅成半圆形, 按承受 4m 水头差设计, 栅条净距 100mm。拦污栅栅叶分 2 节制造, 每节栅叶布置 4 根主横梁, 纵向栅条利用横向螺杆和隔套连接成栅叶, 栅片通过 U 型螺栓固定在主横梁上。栅叶采用 MGA-2 工程塑料合金作为主支承, 通过钢板和导槽作为侧导向和前后导向。在栅槽的底部设置了安装拦污栅的平台, 过水时通过工字型端面作为主支承。拦污栅用临时起吊设备在拦污栅前后水位差不大于 3m 的情况启闭和清污。

在升船机引水系统拦污栅后布置了 1 孔事故闸门槽, 配置有 1 扇快速事故检修闸门, 孔口尺寸为 $3.0\text{m} \times 4.5\text{m}$ (净宽 $\times$ 净高), 挡封水尺寸为 $3.10\text{m} \times 4.55\text{m}$ (宽 $\times$ 高), 底槛高程 579.25m, 设计水头为 30.15m, 总水压力为 4061.7kN。该闸门采用液压启闭机操作, QPKY630kN 液压启闭机动水关闭、静水开启, 小开度提门 ($\leq 5\text{cm}$) 充水平压。平时闸门悬在孔口门楣上方 0.5m 处。当升船机引水系统充水阀门发生事故时, 能在 1.0min 内动水快速关闭孔口, 以保护升船机安全。

事故闸门设置于上游引航道前段, 坝顶门机轨道范围之内, 主要功能是当上闸首工作闸门出现事故时可动水关闭航道孔口, 或当水库水位超过升船机上游最高通航水位时关闭航道孔口, 保证升船机及相关建筑物的安全。事故闸门孔口尺寸为 $12\text{m} \times 20.9\text{m}$ (净宽 $\times$ 净高), 封水尺寸为 $12.12\text{m} \times 21.10\text{m}$ (宽 $\times$ 高), 底槛高程 579.25m, 设计水头为 20.9m, 总水压力为 26471kN。闸门采用叠梁型式, 门叶共分 5 节, 下段 4 节的单节高度 3.6m, 按静水启闭设计, 上段 1 节的高度 6.7m 按动水关闭静水开启设计。当升船机发生事故需要封闭孔口时, 上节闸门可以在动水情况下将孔口关闭。在升船机正常工作状态下, 当水库水位发生变化时, 用坝顶门机和自动抓梁进行启闭调节, 使叠梁门顶始终保持有 3.6~6.5m 的水深。升船机自动控制系统中设有上闸首事故门的门顶水深报警功能, 提醒升船机运行人员调整门槽中的闸门数量, 使门顶水深不会超出 3.6~6.5m 的范围。闸门平时存放在储门槽中, 该闸门由坝顶门机操作。

宝泉抽水蓄能电站金属结构设计

吕飞鸣

(中水顾问集团华东勘测设计研究院 浙江杭州 310014)

摘 要: 本文介绍宝泉抽水蓄能电站金属结构的总体布置设计以及闸门(拦污栅)和启闭设备在各系统中的功能; 阐述本电站金属结构设备的设计原则及主要设计参数、结构型式及主要部件的材料选用等。

关键词: 布置 拦污栅 闸门 启闭机

1 工程及布置概况

宝泉抽水蓄能电站位于河南省辉县市薄壁镇, 距大王庙 2.4km 的峪河上, 距新乡市 45km, 距焦作市约 30km, 与郑州市直线距离约 80km。该电站是一座日调节纯抽水蓄能电站, 共装设 4 台单机容量 300MW 的立轴单级混流可逆式水泵水轮机组。

本电站采用地下厂房中部开发方案, 引水系统为一洞两机, 每两台机组的尾水管合并进入一条尾水隧洞。每条引水洞首部布置一道拦污栅和一道事故闸门, 每台机组尾水管距机组约 95m 处布置有一道尾水事故闸门, 每条尾水隧洞出口处布置有一道检修闸门和一道拦污栅。

2 金属结构设备及布置

宝泉抽水蓄能电站的金属结构设备包括: 上水库每条引水洞进/出水口各布置有 4 孔潜孔式垂直拦污栅, 共配置 8 套栅槽和栅叶; 上水库每条引水洞进/出水口各布置有 1 孔事故闸门, 共配置 2 套门槽和门叶; 上水库进/出水口事故闸门共配置 2 台固定卷扬式启闭机操作, 每台启闭机配置 1 套检修设备; 每台机组的尾水布置有 1 孔事故闸门, 共配置 4 套门槽和门叶; 尾水事故闸门采用液压启闭机操作, 共配置 4 套启闭设备, 启闭机室配置了 1 台检修桥机; 下水库每条尾水隧洞进/出水口各布置有 1 套检修闸门, 该检修闸门采用固定卷扬式启闭机操作, 每台启闭机配置 1 套检修设备; 下水库 2 条尾水隧洞进/出水口共布置有 6 孔拦污栅, 共配置 6 套栅槽和栅叶。各闸门、拦污栅及启闭设备的技术参数详见表 1。

3 电站闸门及启闭设备设计

3.1 设计荷载

本工程各检修闸门按设计水头作用下的静水压力进行结构和零部件设计, 并按 3m 水位差计算启门力; 对于需要动水操作的工作闸门和事故闸门, 结构和零部件设计荷载按设

表 1 闸门、拦污栅及其启闭设备技术参数