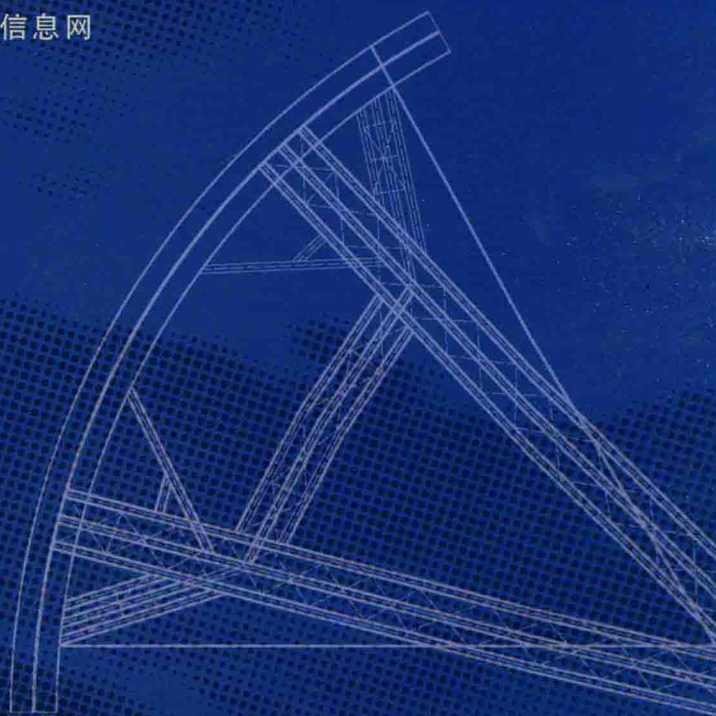


Technology for Hydraulic Machinery

水工机械技术

2012~2013 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

水工机械技术

2012~2013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（CIP）数据

水工机械技术2012~2013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, 2014. 7
ISBN 978-7-5170-2292-3

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(2014)第163191号

书 名	水工机械技术 2012~2013 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 (发行部)
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 24 印张 569 千字
版 次	2014 年 7 月第 1 版 2014 年 7 月第 1 次印刷
印 数	0001—2100 册
定 价	75.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社发行部负责调换

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	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	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
马耀芳	沈燕萍	宋媛媛	王金锋	王英人
王兆成	吴小宁	徐建军	许传桂	徐绍波
俞辉	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

应用与研究

水闸工程大型特种闸门的研究和应用	严根华 (3)
超高拱坝深孔(底孔)金属结构有关技术问题探讨	袁长生 (18)
承船厢可入水的全平衡式垂直升船机方案探讨	汪云祥 包钢鉴 (22)
新型超大型卷扬式启闭机设计技术探讨与导流封堵卷扬式启闭机特点分析	袁长生 (29)
电热缆防冰冻技术的应用研究	铁 汉 卢新杰 陈文伟 陈 思 (34)
基于特征的三维可视化设计辅助法——比照建模法	关超年 (39)
三维软件 Inventor 在金属结构设计中的运用	李自冲 杨亚彪 马仁超 余俊阳 廖照邦 (43)
溢洪道弧形工作闸门三维设计技巧和方法	胡坚柯 胡涛勇 (48)
平面闸门启闭力计算问题	铁 汉 (54)
关于水电站闸门及启闭机抗震计算的几点思考	李 胜 赵玉霞 刘顺强 (59)
液压缸可拆分装配式铰轴梁强度计算	沈燕萍 朱迪锋 岳伟强 (63)
绝对型编码器在液压启闭机中的应用及油缸行程与弧门开度的函数关系推导	张良华 周 弢 (68)
潜孔式弧形闸门持住力矩计算探讨	王海峰 孙丹霞 (71)
贯流灯泡式机组引水发电系统金属结构布置方案选择	郭子珍 袁长生 (76)
轴端挡板固定式定轮调整装置结构型式	袁长生 (80)
露顶式弧门液压启闭机行程及上支点的确定方法	李新燕 (83)
再述线接触应力与工作面硬度的关系	铁 汉 (86)
固定卷扬机机架有限元分析的研究	胡彩石 (89)
带滑轮组的顶升式液压启闭机在水利工程中的应用	陆 伟 (94)
回转式清污机过载保护装置智能化的改造	王延军 孔庆利 张少卿 (99)
一种新型的钢闸门充水阀——液控闸板阀的设计及应用	王永潭 丁向东 刘青海 王兴隆 孔繁臣 韩四保 刘忠跃 (105)

设计与分析

- 金沙江向家坝水电站固定卷扬式启闭机卷扬机构设计特点 乔长龙 沈 庚 (113)
- 金沙江向家坝 $2 \times 1600\text{kN}$ 台车式启闭机的机械设计与分析
..... 王 娟 张庆军 董俊威 (117)
- 云南小湾水电站 6600kN 双向门机直斜拉试验装置的研究
..... 杨丽娟 赵中营 朱君学 (124)
- 吉林丰满大坝 $2 \times 800\text{kN}$ 门机的技术设计
..... 王永潭 孔繁臣 王兴隆 韩四保 刘忠跃 邢春雨 (128)
- 广西岩滩水电站扩建工程水电站进水口双向门式启闭机设计 乔长龙 沈 庚 (134)
- 重庆马岩洞水电站 $2 \times 200\text{kN}$ 双向清污门机研究
..... 赵中营 陈丽晔 朱君学 杨丽娟 (144)
- 新疆斯木塔斯水电站 $1600/1000\text{kN}$ 液压启闭机设计简介
..... 张庆军 董俊威 王 娟 (148)
- 金沙江向家坝水电站垂直升船机闸首工作闸门设计 郭子珍 黄文利 陈辉春 (156)
- 金沙江向家坝水电站左岸冲砂孔检修门设计总结 薛 峰 蔡星煜 (170)
- 金沙江向家坝泄洪表孔事故检修闸门设计中的几个问题 关超年 (173)
- 云南小湾水电站 6600kN 双向门机拉杆穿脱轴系统的研究
..... 杨丽娟 陈 霞 周 伟 (179)
- 吉林丰满大坝泄洪洞事故闸门的改造设计
..... 孔繁臣 王兴隆 冯庆志 魏 刚 刘忠跃 邢春雨 (183)
- 广西郁江老口航运枢纽工程泄水闸坝弧形工作闸门设计介绍 张 明 梁 献 (189)
- 江西峡江水利枢纽工程金属结构设计与数值分析及模型试验简介
..... 饶英定 徐 强 杨贵海 (194)
- 云南马堵山水电站金属结构设备的设计、布置、选型及优化 陆 伟 (206)
- 湖南桃源水电站金属结构布置与设计 郭子珍 虞喜泉 郭熙宏 (214)
- 白俄罗斯维捷布斯克水电站金属结构设备的布置与设计 张 丽 胡霜天 (224)
- 江苏溧阳抽水蓄能电站金属结构设计 蔡星煜 薛 峰 (230)
- 新沭河治理工程大浦第二抽水站工程金属结构设计 舒刘海 王长江 胡 嵩 (235)
- 安徽省中安联合煤业化工有限公司煤制 170 万 t 年甲醇及转化烯烃项目取水工程
输水管道设计 舒刘海 王长江 胡 嵩 (241)
- 东海大桥海上风电场钢结构防腐设计 邵春芬 (248)
- 辽宁大伙房水库液压启闭机电气控制系统方案 张良华 周 弢 (253)
- 贵州白市水电站 50t 级升船机的电气控制系统 辜建儒 (257)

制 造 与 安 装

平面钢闸门基于UG软件系统的模拟制造	张 明	王 兵	(267)
水电站压力钢管锥形岔管放样参数化研究	高顺阶	张建中	刘桂芳 (272)
起重力矩限制器在门座起重机中的应用	邹国涛	戚剑禹	包鸿霞 (282)
浅述平面弧形双开钢闸门的制 作 流 程	颜 斌	房 谷	李学荣 王 兵 (289)
超大型拦污栅标准化制造技术	宋慧涛	侯 明	孙 文 (294)
厚板组合焊缝的焊接工艺分析	张建中	高顺阶	李丽丽 (303)
金沙江向家坝右岸水电站超厚基础环法兰焊接技术		宋慧涛	(308)
金沙江向家坝水电站冲砂孔复合钢衬焊接工艺总结		郭 涛	(313)
浙江珊溪水力发电厂进水口闸门运行控制改造	刘仙玉	胡涛勇	(317)
湖北保康寺坪水电站表孔弧门安装优化		李志刚	(323)
贵州构皮滩水电站放空底孔挡水门安装难点分析		蔡 扬	(326)
四川泸定水电站启闭机安装		李文涛	(330)
四川泸定水电站闸门安装		李文涛	(335)
江苏张家港复线船闸弧形三角门制作与安装控制要点	王 兵	徐太宏	(340)

管 理 与 运 行

大型门座机检查维护及关键部件故障解决措施	张 峰	(349)
金沙江溪洛渡金属结构设备供应与管理	姚汉光	程 惠 (353)
金沙江向家坝右岸电站金属结构制造安装焊接质量控制	孙 文	(359)
吉林丰满大坝溢流闸门液压启闭机的同步控制	孔繁臣 王兴隆 韩四保 邢春雨 王盛民	刘忠跃 (366)
四川宝兴水电站引水隧洞压力钢管安装主要作业安全隐患分析与防范措施	孙 文	(371)

《应用与研究》编辑部

编辑部

《应用与研究》编辑部

编辑部

《应用与研究》编辑部

应用与研究

水闸工程大型特种闸门的研究和应用

严根华

(1. 水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院 江苏

南京 210029;

2. 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室 江苏南京 210029)

摘要: 随着中国水利水电工程建设的快速发展和水利科技水平的日益提高, 水利工程建设逐步朝着功能化、景观化和生态化方向发展。大型特种闸门在城市水环境整治中起到越来越大的作用。近年来大跨度护镜式闸门、平面有轨对拉式弧形闸门、底轴旋转式卧倒门、气动卧倒式闸门、平面桁架式闸门、大宽高比弧形闸门、悬挂上翻式闸门等新型门型不断涌现, 但也暴露了许多不同门型结构的流激振动安全问题。本文在介绍各种新型门型的工作特点、应用范围及其优缺点的基础上, 给出了针对各种特型闸门进行的水弹性振动模型试验成果, 揭示了诱发闸门强烈振动的原因和各种存在问题, 提出了抗振优化方案, 确保了工程安全, 大大推动了我国特型闸门的安全应用和水利科学技术的发展。本文内容可供未来类似水闸工程的设计和建设参考。

关键词: 水闸工程 大型特种闸门 流激振动 动力特性 抗振优化

1 引言

以荷兰、英国等为代表的欧洲国家在特型闸门的研制和开发方面发展较早, 我国在大跨度特型闸门的研发方面相对较晚, 但其发展速度异常迅速, 工程规模也日益加大, 技术难度和功能也有进一步增强和扩充, 形成了具有中国特色的大型特型闸门的建设和创新思路。其中大跨度上翻式护镜门、平面有轨对拉式弧形闸门、底轴旋转式卧倒门、气动卧倒式闸门、平面桁架式闸门、大宽高比弧形闸门、立轴旋转式闸门、上卧式闸门、悬挂上翻式闸门等新型门型不断涌现, 具有中国特色。闸门跨度越来越大, 技术要求也日益提高, 运行工况和功能也更加宽广。城市水景观、水生态建设和功能协调更趋于多样性和全面性, 需要考虑的因素包括通航、城市水景观、水生态、排污、防洪和挡潮等, 这与国际上一般水闸设计的单一功能(如挡潮等)要求赋予了更多内涵, 在技术上难度也就更大。许多工程的结构设计需要满足双向挡水和泄水要求, 这样水闸建设既需要满足双向消能防冲等水力设计, 还要满足闸门结构的流激振动安全要求。因此我国大跨度特型闸门的建设和科学研究在应用中不断开发提高, 并在闸门结构的水力和结构问题的研究中不断创新和发展, 取得良好成果。

2 大跨度特型闸门门型及其存在问题

大跨度特型闸门主要指有别于常规直升式平面闸门和普通弧形闸门的门型结构。其特



点是跨度大（一般在 30m 以上），满足双向挡水（挡潮、蓄水）和防洪、泄水及引水要求，有的还需要满足通航要求等。各种特型闸门根据其要求具有相应的适应性和功能，同时存在各自不同的存在问题和需要解决的技术难点。在技术上不仅需要解决好低水头、低付氏数的消能防冲问题，更需要解决好闸门结构的动力稳定和流激振动问题。处理不好，有可能引发闸门结构的强烈振动而破坏。

2.1 大跨度上翻式护镜门

该型闸门采用大跨度拱形闸门体为主体挡水结构，支铰布置在闸墩两侧，启闭机布置在闸门两边的近岸侧。典型闸门结构布置见图 1~图 6。该型闸门的优点是闸门正向承压效果好，不占用两岸门库，门型形状优雅、美观，可用于城市水景观建设。已建闸门的跨度一般为 30~40m，闸门高度约在 6~7m 之间。其运行方式有以下几个情况：①闸门上

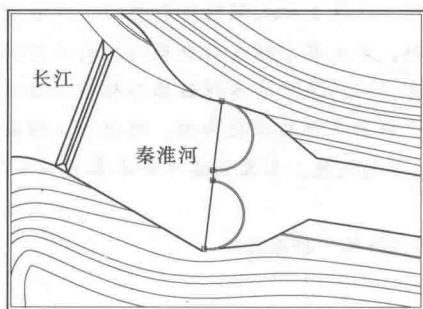


图 1 水闸枢纽布置图

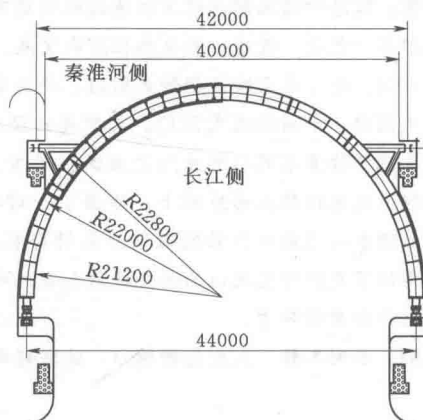


图 2 闸门平面布置图（单位：mm）

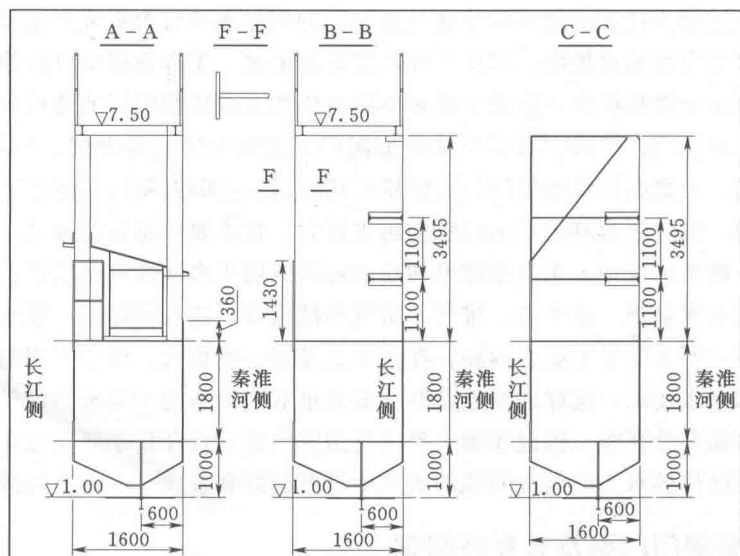


图 3 闸门断面布置图（高程单位：m；尺寸单位：mm）



图4 南京三汊河口闸挡水



图5 南京三汊河口闸夜景



图6 花地河北闸挡水

翻全开泄洪；②大门局部开启冲淤排污；③闸门全关门顶溢流；④若大门设置小门，则可通过小门开度调节控制上游景观水位。但该型闸门的存在问题是结构跨度大、门体轻，体型布置不当容易诱发闸门结构的强烈振动，应用时需要认真解决闸门结构的流激振动问题。

2.2 大跨度平面对拉式弧形闸门

该型闸门适合于在河道开阔、需要满足通航要求，且两岸具备较大门库空间的条件下应用。典型闸门结构及枢纽布置见图7、图8。国内已建或在建水闸工程的闸门跨度范围在60~90m，外壁圆弧半径为45~60m，门高约为7.5~8.9m。该型闸门平时位于门库，河道通透，通航时无障碍物，不需要另设船闸，通航极为便利。挡洪时关闭闸门保护下游地区的人民生命财产和工农业生产基地的安全。但该型闸门缺点是属于大跨度结构，闸门运行过程为中间缺口泄流，在开启关闭过程中容易产生闸门强烈扭转振动和不稳定振荡现象，处理不好，极易造成振动破坏。

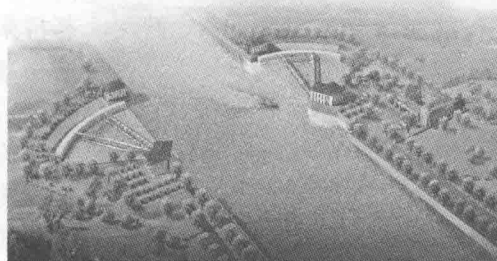


图7 水闸总体布置

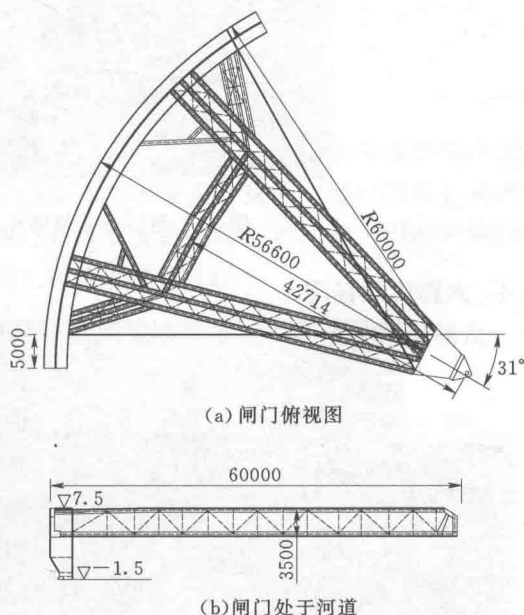


图8 闸门结构布置图(单边)(单位: mm)



2.3 大跨度底轴旋转式翻板门

大跨度底轴旋转式卧倒门是一种新型门型,其最大特点是:全关蓄水或挡潮时,水闸建筑简洁、亮丽;闸门全开时门体卧倒于闸室底板,河道通透,无通航障碍物。单孔跨度40m的底轴旋转式卧倒门典型工程布置见图9~图11。国内已建或在建水闸工程的闸门跨度在20~100m范围变化,门高约为5.5~8.8m。该型闸门由于长期在水下运行,检修条件较差,闸下淤积问题较难处理,因此在多泥沙河道和沿海挡潮闸方面慎用。此外,闸门开启过程中由于处于门顶溢流状态,水舌下方空腔通气不畅容易出现负压空腔振荡,引发闸门的强烈振动。



图9 水闸全貌



图10 闸门全关位照片



图11 闸门全开卧倒位

2.4 大跨度悬挂门

大跨度悬挂门是一种兼顾闸下通航,又能确保上部公路交通的闸桥结合式水闸桥梁结构(工程布置见图12、图13)。利用上部桥梁的箱型梁作为闸门的支承大梁,通过铰结构悬挂在大梁上。闸门平时上挂平卧在桥面下方,挡水时通过卷扬机或液压启闭机将闸门放下关闭。操作轻便,充分利用空间。悬挂式平面闸门是一种介于平面直升式闸门和弧形闸门之间的新门型。该闸门优点是支铰高程高,结构简单,适合于水位变幅大,具有通航要求的河道

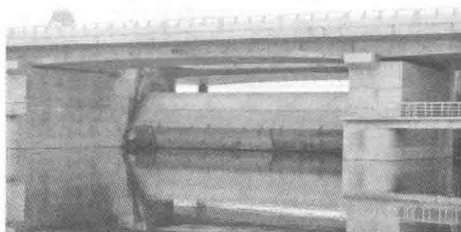


图12 大跨度悬挂门上游实景

水流控制，但这种新型闸门的技术关键问题也很突出，需要通过系统研究进行处理解决。其中，闸门在小开度时，液压启闭机活塞杆和闸门支铰对门叶形成约束，而且处于流动的水流中，门叶的整体刚度较弱，水流条件及流态比较复杂，闸门振动问题较为突出。此外，若启闭方式采用常规卷扬机布置，则使用灵活性较差，且仅能单向挡水。若采用液压启闭，则液压启闭杆的动力稳定需要引起高度重视，处理不当会引起动力失稳。

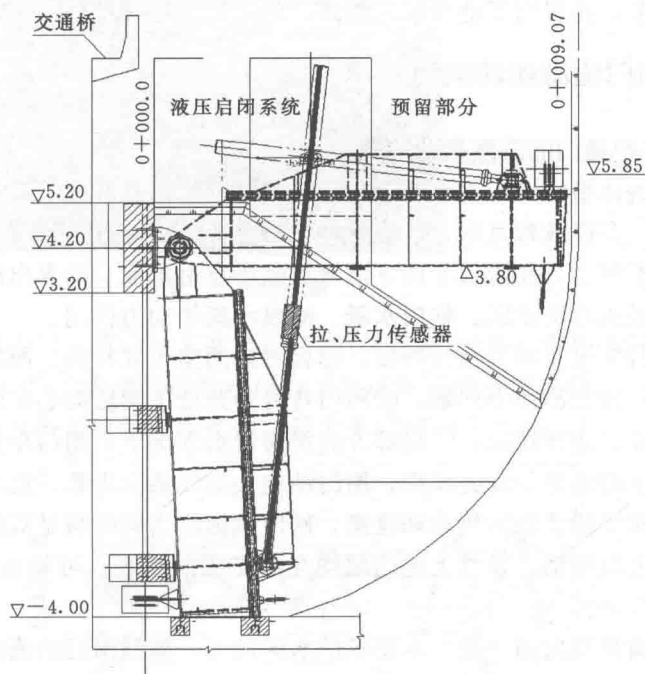


图 13 闸门运行轨迹图 (单位: m)

2.5 大跨度拱形桁架平面闸门

该型闸门的总体布局属于平面闸门范畴，但在结构布置上不同于常规的面板加实腹式梁系，而是采用拱形桁架结构，可同时适应双向挡潮和挡水要求。这种门型具有良好的挡特大涌潮功能，且较好解决了闸门正向泄洪时闸门底缘引发的流激振动问题，但这种闸门的抗涌潮作用需要解决拱脚应力集中问题。典型工程范例见图 14。

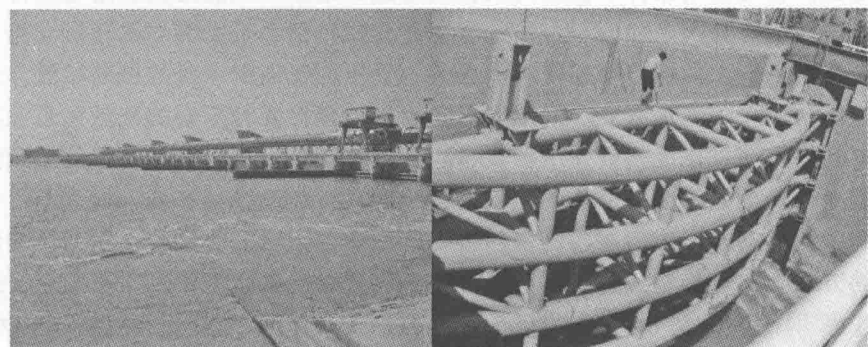


图 14 拱形桁架平面闸门



上述工程水闸的门型布置形式均有各自的功能要求和特点,且其综合功能和作用在国际水利水电工程中也有创新特点,但也存在各种相应的问题包括闸下消能与闸门流激振动安全问题。因此,通过系列科学研究,对各型闸门的水力学、水动力荷载作用特征、结构动力特性、流激振动特性等规律性、共性与“个性”问题开展深入细致的研究,在此基础上,进行针对性的闸门抗振优化和下游消能防冲措施研究,提出抗振优化方案,通过试验研究分析和现场试验,并提出了适合本工程闸门的运行操作规程。

3 大跨度特型闸门流激振动问题

3.1 大跨度上翻式护镜门的流激振动问题

根据该型闸门的体型特点,该水闸运行工况和闸下流态具有如下显著特点:闸门需作局部开启运行,闸下开度成弯月形,过流特性十分复杂,而且上下游水位组合多影响大;闸门后流态成向心汇流型,并随着不同下泄流量经历自由出流、临界出流、淹没出流等工况,以及闸门结构经历自由水跃、临门水跃、淹没水跃等动力作用。

根据闸门的运行工况及水力结构特征,综合考虑闸室布置特殊、闸门孔口尺寸大、水流条件复杂等因素,需关注如下问题:①闸门弯月形开度下闸后向心汇流的流速场、压力场分布,闸后的消能、防冲情况;②局部开启排涝泄洪工况下,闸门小开度时由于出闸水流的不稳定性及对下游底缘的动力作用,闸门结构会出现共振现象,这对闸门结构的安全产生严重威胁;③对于需要双向挡水和泄流,闸门底缘应当同时满足双向运行要求,处理不当会造成闸门的强烈振动。显然上述问题均会给工程的安全、可靠运行带来严重威胁,必须进行深入地研究分析。

对于同时需要满足双向挡(泄)水要求的水闸而言,该型闸门的流激振动问题较常规闸门更加复杂和严重,着重表现在正向挡水和泄流,以及反向挡潮和引水两种工况操作时均需满足平稳运行的要求。这种双向运行对闸门的体型设计至关重要,处理不当就会诱发闸门结构的强烈振动现象,严重时甚至导致结构共振而损毁。造成强烈振动的原因涉及水力和结构的多个方面,并涉及水动力学、结构动力学及其流体结构二者之间的相互耦合作用。大量的工程实践证明:闸门结构在水动力荷载作用下产生强烈振动的根本原因在于水动力荷载与闸门结构动力特性二者的不同组合作用。控制闸门的有害振动应从改善外部水动力作用条件以控制振源,同时通过优化结构的动力特性,使结构的振动特性远离水动力荷载的高能区。在可能的条件下使闸门的振动量达到最小,以满足工程安全运行要求。对上翻式拱形钢闸门而言,采用两端铰接的轻型翻转式门型,且需要局部开启操作,闸下出流形成月牙形流态,正向泄水时闸下出流为向心集中,反向引水时的横向扩散,水流动水压力对闸门结构的作用特性有着不同的特点,妥善处理好两种不同的流动关系及其对闸门结构的不利动力作用,是能否确保结构安全运行的关键性问题,显然闸门的流激振动问题是影响工程运行安全的控制条件。

鉴于问题的复杂性,该型闸门的强烈振动问题研究主要通过水弹性振动试验和理论分析相结合的方法解决。典型工程模型试验见图 15、图 16。该水闸孔口采用开敞式,闸门为上翻式拱形钢闸门。泄水孔采用双孔,单孔净宽 34m,闸室长度 25.0m;水闸总长 128m,包括闸室段长 25m、外江防冲槽长 8m、海漫长 22m、铺盖长 20m、内河道铺盖长

20m、海漫长 15m、防冲槽长 8m。



图 15 典型工程模型试验

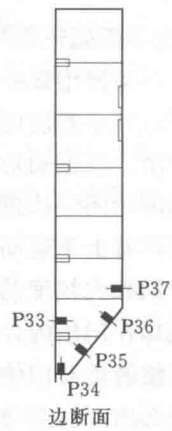


图 16 闸门底缘示意图

模型试验结果指出，原设计方案闸门结构在正向泄洪和反向引水时均发生强烈共振现象（见图 17），闸门强烈振动时的动水压力也出现相应的谐波曲线，说明闸门的强烈共振是由共振动水压力及相互反馈作用产生。最大振幅高达 100mm 以上，结构破坏的几率显

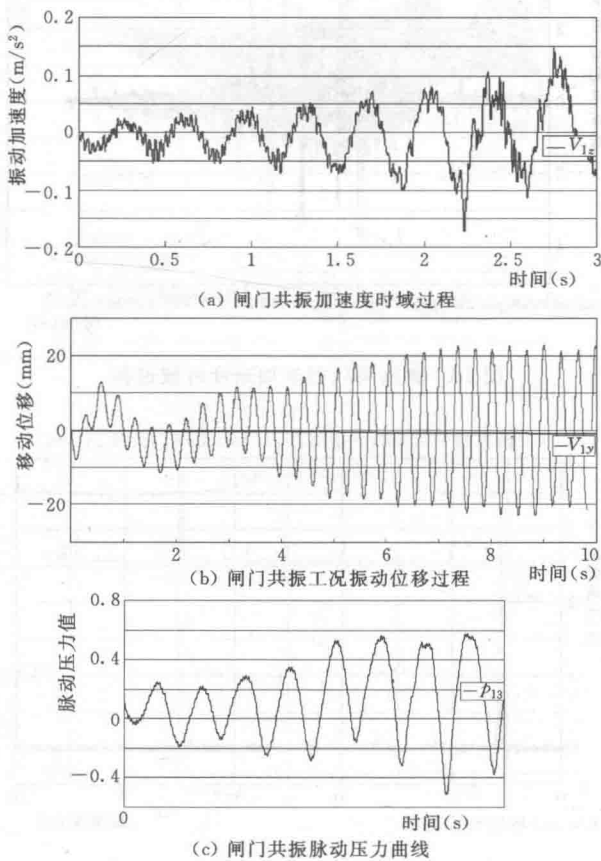


图 17 闸门排水强烈振动时域过程与脉动压力时域过程



著上升。这种强振现象在工程设计时必须予以避免。

3.2 大跨度平面弧形对拉门的流激振动问题

由流激振动模型试验可见,随着闸门轨道处的垂直向下压力下降到某一临界值时,闸门首先出现低频小幅度的上下方向的振动,当门内水体进一步略微减小时,闸门出现低频大幅度的振动,其振动形态并不是完全悬浮在水里面振动,而是出现上下剧烈振动,浮起后又下压到河床固定轨道上,此时的闸门类似一把巨型锤子,重重地冲击在河床轨道上后又弹起,循环着上下运动,模型导轨处底板被振坏。对闸门模型停止进一步抽水,可见闸门仍然保持低频大幅度的振动,发生强烈振动时的振动加速度最大量级达到 $3\sim 4\text{m/s}^2$ 。由于门体尾部在门槽内,且起到一定锁定作用的钢丝绳尾部也在相近位置,因此闸门振动时门槽及钢丝绳组对门体有一定约束作用,门体端部(河道侧)与尾部(门库侧)振动不在一个水平面内,左右方向上也有所不同,形成闸门端部(河道侧)上翘或下跌状扭转振动。

典型工况下的振动加速度时域过程、功率谱密度绘于图 18、图 19。由图可见,闸门

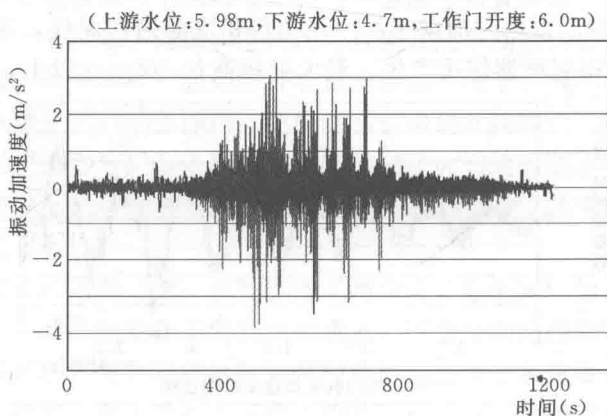


图 18 典型闸门振动加速度时域过程

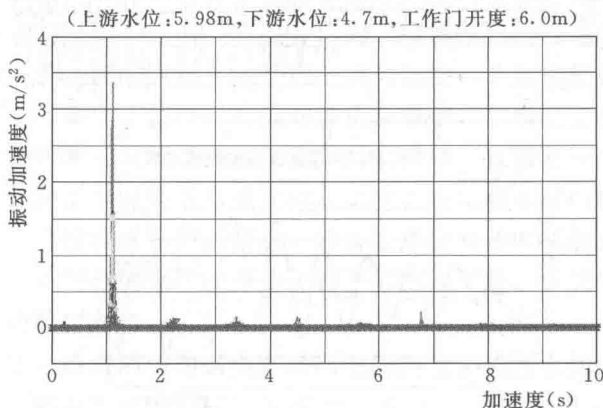


图 19 闸门强烈振动加速度功率谱密度