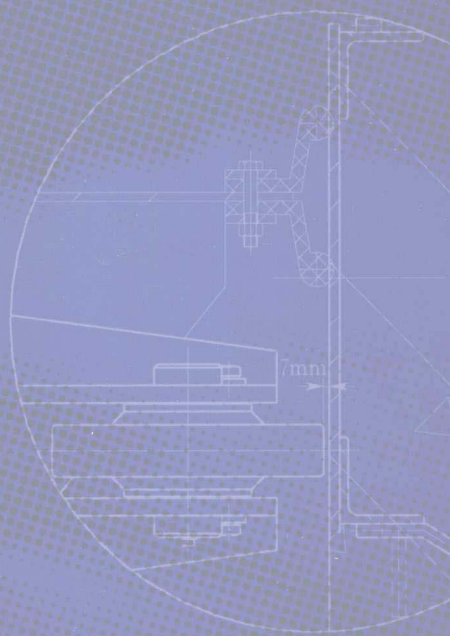


Technology for
Hydraulic Machinery

水工机械技术

2008年论文集

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
中国水电顾问集团华东勘测设计研究院



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

Technology for Hydraulic Machinery

水工机械技术 2008年论文集

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
中国水电顾问集团华东勘测设计研究院



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 2008 年论文集/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, 中国水电顾问集团华东勘测设计研究院编. —北
京: 中国水利水电出版社, 2008

ISBN 978 - 7 - 5084 - 5916 - 5

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 146807 号

书 名	水工机械技术 2008 年论文集
作 者	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 中国水电顾问集团华东勘测设计研究院
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub. com. cn
经 售	电话: (010) 63202266 (总机)、68367658 (营销中心) 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 32 印张 765 千字 4 插页
版 次	2008 年 11 月第 1 版 2008 年 11 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

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	赵辅鑫	赵锡锦	周建平
周尚洁				

主 编：张春生

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	周 健	周建方	赵勇平	

《水工机械技术》是中国水力发电工程学会金属结构专业委员会和全国水利水电工程金属结构信息网合办的期刊，它的前身《金属结构》、《水工机械》创刊于 20 世纪 80 年代，至今已出版 125 期。一个内部刊物，坚持了 20 多年是十分难能可贵的，我相信《水工机械技术》一定能继往开来、开拓创新，也希望从事金属结构专业的同仁们能一如既往地给予关爱和支持。

闸门和启闭机等金属结构和机械是水利水电枢纽的重要组成部分。与大坝、厂房、船闸等建筑物相比，它们似乎是次要的结构，但对工程的安全有效运行却至关重要。这次汶川大地震中，许多水利水电工程出现险情，多数是闸门、启闭机操作困难，无法控制库水位及下泄流量，甚至溢顶，就是明证。

近年来随着二滩、小浪底、龙滩、小湾、三峡、溪洛渡、向家坝等大型水利水电工程的建设，金属结构专业得到全面的发展，个别项目有突破性的进展。这不仅体现在金属结构设备的表征量级上，例如小湾工程的底孔弧门孔口尺寸 $5\text{m} \times 7\text{m}$ ，设计水头 160.3m ，溪洛渡工程固定卷扬式启闭机容量达 $2 \times 8000\text{kN}$ ；同时也反映在技术水平上达到甚至超过国际水平，例如三峡工程的五级船闸，最大水级 113m ，多年来的运行情况表明设备确保了长江的航运畅通无阻，该项目荣获全国优秀工程金质奖。水口工程 $2 \times 500\text{t}$ 全平衡钢丝绳式垂直升船机不仅填补了该种类型升船机在国内的空白，而且在某些项目及表征量级上领先国际水平，该项目荣获国家科技进步二等奖。

面对这些成就，我不禁回想起往事。早在 20 世纪 70 年代，我有幸参加我国第一部《钢闸门设计规范》（初稿）的讨论，当时的水平和今天比真有云泥之隔啊。30 多年后的今天，我欣喜地看到《钢闸门设计规范》、《启闭机设计规范》、《闸门制造安装验收规范》、《启闭机制造安装验收规范》已配套地编制、修订和颁布，反映了 30 年来的巨大进步，使金属结构专业在设计、制造、安装、运行各方面都有章可循，为保证金属结构的质量和技术水平的不断提高打下了坚实的基础。

当然，我们对规范需有个辩证的看法。一方面，规范是以往经验的总结，

必须尊重；另一方面，规范又必须与时俱进，及时更新修订。我们在工作中既要遵守规范，又要为规范的更新创造条件。尤其 21 世纪是知识经济时代，知识创新是我国建设事业发展的关键性环节，而技术传播、学术交流又是知识创新的重要途径。我希望《水工机械技术》能够充分体现技术传播和学术交流的主渠道作用，为从事金属结构专业的同仁们提供这样一个平台。

最后，我作为在水利水电建设队伍中的一个老兵，衷心祝贺《水工机械技术》正式出版，祝愿从事金属结构专业的同仁们在工作中取得更大的成绩。

潘家铮

2008 年 8 月于北京



2007 年 5 月中国水力发电工程学会水工金属结构专业委员会在大连换届成立第五届专委会, 2007 年 9 月下旬全国水利水电金属结构专业信息网大会在杭州隆重召开, 并进行了新老网长单位的换届。华东勘测设计研究院和浙江省水利水电勘测设计院成为新一届正、副网长单位。通过网长单位的努力, 新的论文集《水工机械技术》继续作为推动专业理论研究、开展学术交流、及时总结经验的平台也与读者见面了。在这里让我们回顾一下水工金属结构专业发展的历史, 希望广大金属结构专业人员继续为专业的发展尽力。也作为对《水工机械技术》出版的祝贺!

我国在 1949 年前基本上没有什么水利工程, 所建的几个工程, 大多是外国人设计, 例如武汉近郊的金口闸就是外国人设计的, 而且几平方米的钢闸门还远从奥地利运来。新中国成立初期平原建闸提高江河的防洪能力, 闸门的设计都是在摸索中进行, 闸门也是铆接而成。启闭机则是人力推磨式的绞罐。

20 世纪 50 年代中期在水电工程设计与科研机构中开始设置水工金属结构专业, 迄今已有近 60 年的历史。50 多年来随着我国水利水电事业的发展, 水工金属结构专业也不断发展, 20 世纪 80 年代初期中国水力发电学会决定金属结构专业与水轮机专业分开成立了单独的水工金属结构专业委员会, 为本专业提供了技术交流的平台, 为专业的发展起到了促进作用。各有关部门和单位也根据水电建设的需求不断壮大水工金属结构专业队伍。50 多年来从水工闸门和启闭机起步, 到通航船闸、升船机设备以及压力钢管、输电钢塔以及水封、支承等部件的专业化, 逐步发展成为门类齐全、朝气蓬勃、锐意进取的设计、科研、制造、安装、运行专业队伍, 以及专业的监理队伍。并通过大量不断地实践逐步走向成熟。

目前总院各直属设计院、各流域机构设计院、省属设计院的水工金属结构专业设计包括: 泄水建筑物的各类闸门、启闭机及控制设备; 水电站的拦污设备、清污机、各类闸门、引水压力钢管、各类启闭机及控制设备; 通航建筑物的升船机和船闸的各类闸门、阀门、各类启闭机及控制设备和其他机

械设备；各类闸、阀门的支撑材料及部件，各类闸、阀门的水封材料及部件；金属结构的各类防腐技术等。在科研机构中也有一批相当高水平的闸门、阀门水力学、钢结构、升船机、船闸以及材料、工艺等试验研究队伍。金属结构设备的制造、安装在国内也有一批相当规模的专业制造厂和专业安装队伍。

在水利枢纽工程及水力发电行业中，水工金属结构与其他水工类相比虽是一个小专业，在工程投资中所占的比例也相对较小，但水工金属结构确是水利水电枢纽水库调节、电站运行、通航、供水以及其他控制功能的关键设施，其设计、制造与安装质量以及使用寿命，不仅关系到枢纽工程的正常运行和经济效益的发挥，而且影响到工程安全。在水利水电工程建设中，金属结构和机械设备的設計、科研、制造、安装、调试以及監理涉及部門多，專業性強，技術複雜，是水利水电建設工作中的重要環節之一。

近年來我國相繼興建了三峽等一大批大型骨干水利樞紐和一批中小型水電站，不僅控制了洪澇災害，還初步緩解了能源緊張的矛盾，同時給水工金屬結構帶來發展機遇，使金屬結構專業技術水平上了一個大台階。如：水口 $2 \times 500\text{t}$ 升船機建成，成為目前國內最大的升船機； 300t 級景洪升船機首次採用了水力驅動升船機，已開始興建；三峽 3000t 級垂直升船機，水級達到 113m ，採用齒輪齒軌爬升和長螺母短螺桿安全裝置，其規模和難度都是世界上最大的，目前已投入興建；五強溪水利樞紐表空弧形閘門孔口尺寸達到 $19\text{m} \times 23\text{m}$ ；小灣水利樞紐底孔弧形閘門孔口尺寸 $5\text{m} \times 7\text{m}$ ，水頭達到了 160.3m ；溪洛渡水利樞紐導流隧洞封堵閘門孔口尺寸達 $18\text{m} \times 20\text{m}$ ，總水壓力達 100000kN ；固定啟閉機容量達到 $2 \times 8000\text{ kN}$ ；快速閘門液壓啟閉機容量達到 $4500\text{ kN}/12000\text{ kN}$ 等。此外，三峽連續五級船閘的最大水級 113m ，第一級船閘人字門單扇尺寸 $20\text{m} \times 38\text{m}$ ，重達 800t ，其運行的淹沒水深超過 35m ，輸水閘門工作水頭超過 45m ，其閘門、閘門、啟閉機等這些實例有不少技術、規模達到或超過了世界水平。

以規模宏大的三峽工程為例，從 20 世紀 60 年代開始進行可行性研究和試驗，泄洪、發電、航運等三大建築物的金屬結構和機械設備不僅種類和數量繁多，而且設計製造技術複雜，缺乏可資借鑒的成熟經驗。三峽工程水工金屬結構的關鍵技術問題有：大淹沒水深的船閘人字門啟閉技術；超大型人字門的結構以及頂、底樞等關鍵部件設計选型；梯級船閘輸水廊道反向弧形工作閘門的水力學問題與結構設計；升船機綜合技術以及安全保障技術；泄洪深孔弧形工作閘門非突扩止水形式；電站進水口低底坎、大孔口快速事故閘門結構及支承形式；大型壓力鋼管的材料、焊接技術、伸縮節技術等，這些都是國際水平的技術問題。20 世紀 80 年代開始國家有關部門將上述三峽工程

重大技术装备问题列入国家重点科技攻关项目“三峡升船机及超大型金属结构”，组织设计部门和全国一流的科研部门、高等院校及大型企业的专家和科技人员共同攻关进行试验研究，历经“七五”“八五”“九五”阶段的不懈努力，提出了大量具有先进水平的、可供工程应用的研究成果，为三峡工程的金属结构设备设计制造提供了坚实的技术基础。目前除升船机外，三峡工程泄水闸、左岸电站、梯级船闸都已建成投入运行，金属结构的设计、制造水平有些已达到或超过世界水平，使我国水工金属结构水平上了一个新台阶。

水工金属结构专业委员会和专业信息网主办的内部交流刊物《水工机械》，已出版了125集，为促进专业水平的提高作出了很大贡献。《水工机械技术》的正式出版又给我们提供了一个很好地展示专业技术水平的平台。

我衷心希望各位从事金属结构专业的同仁积极支持信息网的各项活动，使金属结构专业得到更大的发展。

让我们共同为水工金属结构专业不断发展而努力。

田 沛 源

2008年8月30日



2007 年 9 月中国水力发电工程学会水工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在杭州召开了全国水利水电金属结构专业信息网大会。会议就水工金属结构的发展方向,理论、方法、新材料和新技术进行了广泛的交流,并应网员单位、广大技术人员和读者的需要,决定改版《水工机械》内部交流网刊为正式出版的论文集,文集名称为《水工机械技术》。

经过半年多的组稿、审稿和编辑工作,《水工机械技术》终于和大家见面了,本册文集共汇编论文 88 篇,涉及本专业设计、研究、制造、安装、运行各个领域,是广大技术人员研究、实践的成果。

我国的水电工程建设成就举世瞩目,随着大批的骨干工程的兴建,水电建设技术正以史无前例的速度迅猛发展。坝高、库容、地下厂房、单机容量等世界级技术难题不断得以突破。与时俱进,水工金属结构也向着高水头、大孔口方向发展,启闭机容量越来越大,扬程(行程)越来越高(长),可以说水工金属结构专业在各个领域都取得了长足的进步和发展,希望文集能成为广大技术工作者研讨、总结、交流、提高的平台,为推动专业发展作出贡献。

本次文集的出版得到了各网员单位的积极支持和通力合作,出版过程中,得到了中国水力发电工程学会金属结构专业委员会、上一届网长单位成都勘测设计研究院和相关审稿专家的指导和帮助,在此,我们谨向为《水工机械技术》提供过指导、支持和帮助的单位 and 专家以及各位作者表示深深的谢意。

由于编写时间仓促,水平和经验有限,错误和不当之处,敬请各位读者批评指正!

编者

2008 年 8 月

目 录

序一

序二

前言

上篇 设计、试验与研究

水口水电站 2×500t 级垂直升船机总体设计	汪云祥	扈晓雯(3)
向家坝水电站一级垂直升船机设计	黄文利	(15)
思林水电站 500t 级垂直升船机设计布置	谭守林	(24)
隔河岩升船机船厢对接锁锭装置设计研究	于庆奎	方晓敏(30)
隔河岩升船机船厢结构与机械设备设计	于庆奎	(35)
巴江口船闸金属结构设计	孙美玲	(40)
龙滩水电站金属结构设计优化与回顾	袁长生	(45)
向家坝水电站导流底孔金属结构和设备布置研究	郭熙宏	(51)
双拱管桁式大跨度平面钢闸门的设计和研究	刘旭辉 罗尧治 严根华等	(57)
关于闸门设计中的几个问题	铁 汉	(65)
喜河水电站表孔三支臂弧形闸门设计	沈 健	(68)
锦屏一级水电站导流洞封堵闸门的设计	蒋德成 崔家仲 贾 刚	(75)
喜河水电站泄洪排沙中孔工作闸门及门槽设计	胡霜天 吴全本 沈 健	(81)
大跨度水闸金属结构的设计与研究	吕飞鸣	(87)
龙滩水电站泄洪底孔弧形工作闸门的设计	蒋立新	(96)
苏南防洪超大型平面弧形双开闸门设计	胡友安 常语峰 顾晓峰	(101)
严寒地区水工钢结构设计	铁 汉 王和平 邓雪松	(105)
西霞院反调节水库金属结构设计特点	姚宏超 姚林婷 唐松智	(112)
官蟹航运枢纽舌瓣闸门设计	胡国智 王防修	(119)
引水隧洞施工支洞进人封堵门的结构型式	何建平	(124)
江苏熔盛重工船坞坞门设计	杨俊敬 王 煦	(129)
广济桥启闭式浮桥方案设计	陈 霞 唐松智	(135)
印象西湖工程升降雨淋系统设计	胡葆文	(141)
城市生态水系工程中大孔口闸门的设计	姚宏超 陈丽晔 王国栋	(149)

定轮和轨道接触应力分析·····	沈得胜	(155)
思林水电站溢流表孔检修闸门槽新型设计·····	张 兴	李超洋(163)
柘溪扩机工程拦污栅及其清污设计·····	左长新	(167)
石泉水电站扩机工程机组进水口污物清理措施·····	周智民	(172)
水电站排漂问题探讨·····	阙剑生	(177)
喜河水电站金属结构设计·····	沈 健 范国芳	吴全本(187)
大西沟水库金属结构的布置与设计·····	邹 锋	(192)
炳灵水电站泄洪表孔平面工作闸门、启闭机设计简述 ·····	朱增兵	李 锋(197)
廖坊水利枢纽工程金属结构设计·····	饶英定	(200)
乌沙河闸金属结构布置与设计·····	饶英定	勒兆岚(207)
波波娜水电站金属结构的布置与设计·····	张广川	邹 锋(213)
云南楚雄九龙甸水库工程金属结构改造设计·····	韩云峰	(219)
三峡工程液压启闭机的可靠性设计·····	熊绍钧	(222)
大跨度双缸液压启闭机同步控制研究·····	卞 建 余建华	陈 思(228)
水布垭水电站启闭机的设计·····	周 鹏	李季川(232)
液压启闭机在船闸人字闸门上的应用·····	卞 建 姚国华	朱迎春(236)
液压缸端盖的连接设计·····	沈燕萍	(240)
微脉冲位移传感器在弧门液压启闭机行程测量中的应用 ·····	王小荣 曹国锋	朱青兰(247)
云南省昆明市松华坝水库溢洪道液压启闭机更新设计简介·····	张 建	韩云峰(251)
龙滩水电站尾水管闸门及启闭机的布置与设计·····	陈辉春	(253)
75t 龙门吊门架的改造设计 ·····	沈 赓	(257)
双锁芯挤挂式机械抓梁的设计·····	孙鲁安 耿鹏举	杜伟峰(262)
卷扬式启闭机中几种常见的起升高度限位装置·····	陈冠雄	(266)
水电站门机电气控制新技术介绍·····	葛霄果	陈书铭(269)
基于 Inventor 的水工钢闸门与启闭机的三维深化设计简介 ·····	何玉新	李敬泽(273)
基于 CATIA 软件的水工钢闸门三维设计 ·····	余迎宾 陈相楠	贾 刚(278)
工艺辅助设计软件(CAPP)的开发和应用 ·····	张裕文 赵 明	刘建川(287)
云南澜沧江景洪电站导流底孔试槽装置有限元分析·····	梅 骏	(294)
云南威远江泄洪洞工作弧门铰座有限元分析·····	梅 骏	(300)
大型泄洪冲沙闸弧形工作闸门流激振动试验研究·····	严根华 赵建平	刘永胜等(304)
龙滩水电站泄洪底孔弧形闸门静动力模型实验研究·····	宋一乐 蒋寅军	何文娟等(317)
广西桥巩水电站泄水闸工作闸门流激振动模型试验研究 ·····	吴杰芳 张林让	招 斌等(324)

下篇 制 造 与 安 装

我国水电施工焊接技术现状与展望·····	漆卫国	(331)
依靠专业标准提高钢闸门制造及安装质量·····	王守运 黄祖述	梅 骏(337)

超大型充压式止水深孔弧形闸门制造技术·····	谢友根	楼高峰(343)
超大型弧形闸门支臂制作技术·····	左 琛	郭忠武(348)
高水头平面定轮闸门制造浅述·····	邱凌霄 闫玉梅	廖绪锋(352)
三峡水利枢纽工程右岸电站排沙孔工作阀门及门槽制作技术·····	张美姣	邓大宏(357)
纳吉滩水电站弧形闸门制造工艺浅析·····		胡尚军(363)
反钩叠梁闸门制造技术·····	张想珍	邓大宏(370)
大型高精度复合钢板椭圆护角冷加工技术研究·····	梅 骏	王守运(375)
黄河康扬水电工程弧形闸门焊接工艺浅析·····	张建中 方子帆	李丽丽(380)
CO ₂ 气体保护焊在水工金属结构制造中的推广应用 ·····		吴 辉(386)
人字门修复焊接变形控制·····	边俊军 方子帆	黄天慧(391)
QD20/5t 桥式起重机主梁拱度工艺控制 ·····	王 兵 田建京	(395)
水工金属结构防腐·····	李锦云 张怀新	周文涛(401)
关于涂层厚度检测方法 & 判断准则的思考·····	张志修 谭 莹	邓玉海(404)
高水头超大型偏心铰工作弧门制造技术·····	刘灿学 邓大宏 梅 骏等	(408)
水布垭放空洞超大型弧门及启闭机的安装·····		曹 毅(414)
永久船闸人字闸门安装的焊接变形控制·····		陈明华(422)
公路架桥机快速安装超大型弧门的研究·····		刘建权(426)
九曲河枢纽工程船闸球节点弧形三角门安装工艺·····	王 兵	钟卫华(432)
弧形闸门水上安装施工方案简述·····	边俊军	黄长平(436)
廖坊大型弧形闸门安装质量控制·····		栾怀东(440)
长江三峡右岸电站尾水门机安装技术浅谈·····	何映宏	王 剑(445)
液压启闭机安装工艺流程及质量控制方法·····		陈明华(455)
爆炸法消除焊接应力在压力钢管中的应用·····	王鹏飞 杨天清	陈美娟(458)
高强钢压力钢管取消焊后消应原因分析·····		万天明(466)
水电站引水压力钢管空间平面弯管计算·····		万天明(471)
输水明管支承轮基础埋件安装新工艺多功能定位仪的应用 ·····	铁 汉 王 兵	王志刚(476)
贵州洪家渡水电站压力钢管制造·····		刘艳波(480)
弧形闸门支铰双金属自润滑关节轴承的特性分析·····	李云龙 郑东旭	刘长波(487)
寺坪电站压力钢管安装·····		李志刚(492)
保康寺坪电站导流洞封堵门安装·····		李志刚(495)

上篇

设计、试验与研究

水口水电站 2×500t 级垂直升船机总体设计

汪云祥 扈晓雯

(中国水电顾问集团华东勘测设计研究院 浙江杭州 310014)

摘 要: 水口水电站 2×500t 级垂直升船机总体设计内容包括设计原则, 土建工程、金属结构及机械设备的的设计, 升船机供配电系统、主拖动系统、检测系统、计算机监控系统、工业电视监视系统、交通信号及通信系统、消防系统的设计和配置, 以及升船机的原型观测设计等。

关键词: 水口水电站 垂直升船机 总体设计 土建工程

1 设计概述

1987 年 3 月确定将水口工程初步设计选定的航运过坝设施方案中的过木机方案改为 2×500t 级垂直升船机方案后, 水口水电站航运过坝设施的最终方案变为一线三级船闸和一线垂直升船机, 布置在枢纽的右岸。其中, 垂直升船机位于三级船闸的右侧。

华东勘测设计研究院于 1987 年 8 月完成了升船机机型选择报告, 并呈报水电规划设计总院(以下简称水规总院)。1989 年底完成了初步设计报告, 1991 年 10 月水规总院会同福建省建委审查并批准了初步设计报告。1994 年 6 月和 10 月相继完成土建施工和金属结构及机电设备制造招标设计。1994 年 8 月, 根据模型试验中间成果和国内外专家咨询意见编制的《升船机总体设计及主体设备设计完善化报告》经水规总院组织专家审查批准。1995 年 7 月完成关键设备国际招标设计。1995 年 8 月完成金属结构及机电设备安装招标设计。

2 总体设计原则

2.1 机型选择

1987 年 8 月完成的机型选择报告, 主要对德国吕内堡升船机和比利时斯特勒比·蒂厄升船机两种具有代表性的机型, 即设大螺杆保安机构、齿轮齿条爬升式机型和钢丝绳卷扬提升式机型, 从技术、安全、设备制造及土建施工难度等方面进行了较全面的分析比较。其中, 关于升船机运行的安全性问题一直为人们所关注, 而船厢漏水事故的设防措施成为升船机设计方案是否安全可靠的重要衡量标准, 但由于升船机尚无设计规范, 衡量标准的依据往往引用吕内堡升船机对事故情况的假定。华东勘测设计研究院在机型比选时, 重点对升船机运行的事故假定条件, 按两种机型具体情况的差异, 逐条进行了分析, 提出了一些可减少船厢漏水的技术措施和钢丝绳卷扬提升式机型设置差速事故锁锭装置的方案, 并根据国情和造价估算, 得出最终的比选结论为: 水口升船机以选用钢丝绳卷扬机作



为船厢升降机构的全平衡式湿运垂直升船机为宜。

2.2 建筑物

升船机位于三级船闸右侧, 不包括引航道全线总长 287.0m, 主要建筑物有: 上、下导航墙, 上、下闸首及启闭机房, 承重塔楼, 交通塔楼, 主机房。

2.3 承船厢

2.3.1 主尺度及挠度

根据水口升船机过坝运量的要求, 承船厢的长度按船队过坝确定, 有效长度 114.0m, 全长 123.0m, 并按Ⅳ级航道标准确定承船厢的有效宽度和额定水深分别为 12.0m 和 2.5m, 考虑到承船厢悬挂系统的布置, 船厢结构采用主纵梁作为主要受力构件的板梁组合结构, 主纵梁的挠度不大于 $L/2000$ 。

2.3.2 允许误载水深

为了减少驱动功率, 充分利用全平衡的条件, 根据水口水电站的上、下游水位特性, 将承船厢升降运行工况和承船厢与闸首对接工况时的允许水深偏差分别取为 (2.5 ± 0.1) m 和 (2.5 ± 0.4) m。

2.3.3 水平度偏差

为确保安全运行, 承船厢的水平度允许偏差为全长 123.0m, 两端高差不大于 10cm。

2.4 主提升系统

主提升系统采用直流电动机驱动, 晶闸管整流装置供电, 调速比 20; 卷扬提升机采用 4 吊点多钢丝绳提升方案, 在卷筒上设置液控盘式制动器作为安全制动器, 传动系统为全闭式硬齿面减速器。纵向吊点距 75.0m, 横向吊点距 18.2m, 额定提升速度 0.2m/s。

2.5 平衡系统

平衡系统设有包括为确保承船厢稳定运行的转矩平衡重和可控平衡重, 以及重力平衡重, 三种平衡重的总重量等于承船厢及其设备自重、额定水深时的水体重量之和。其中, 转矩平衡重和可控平衡重的重量为 1.7 倍船厢内 0.4m 水深的水体重量。平衡系统的布置充分利用了承船厢的长度, 采用了尽量增加悬挂钢丝绳的数量的方法, 达到减少钢丝绳和滑轮的直径, 改善承船厢和建筑物受力条件的目的。

2.6 闸首设备

上、下闸首根据通航水位变幅设置下沉式挡水闸门, 设有双缸液压启闭机操作, 同步偏差不大于 10mm; 上、下闸首由检修闸门防洪挡水, 挡水标准分别为: 上游 $P=0.01\%$ 、下游 $P=1\%$ 。

3 土建工程

3.1 主体建筑物布置

水口升船机主体建筑物由上游导航段, 上闸首段, 上工作门段, 塔楼上、下提升段, 塔楼上、下平衡段, 塔楼交通楼梯段, 下闸首段和下游导航段组成。