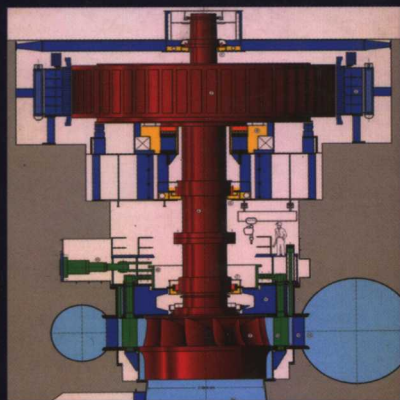


黄河小浪底水利枢纽规划设计丛书

林秀山 总主编



机电与金属结构设计

王庆明 主编

中国水利水电出版社
黄河水利出版社

内 容 提 要

本书为黄河小浪底水利枢纽规划设计丛书的机电与金属结构设计卷,由直接参加工程设计的人员编写。包括水力机械、电气一次、电气二次、金属结构、启闭机械等内容,在全面综述小浪底工程机电与金属结构设计的基础上,对设计中的一些专门技术问题作了较为详细的介绍,并对工程设计优化与创新以及设计中的经验与体会作了介绍。

本书内容丰富,实用性强,可供从事水利水电工程设计、建设管理的有关人员参考,也可作为大专院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机电与金属结构设计/王庆明主编. —郑州:黄河水利出版社,2005.10

(黄河小浪底水利枢纽规划设计丛书/林秀山总主编)

ISBN 7-80621-952-8

I. 机… II. 王… III. ①黄河-水利枢纽-机电设备②黄河-水利枢纽-金属结构-结构设计
IV. TV632.613

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 095610 号

出 版 社:中国水利水电出版社

地址:北京市西城区三里河路 6 号 邮政编码:100044

黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940 传真:0371-66022620

E-mail:yrp@public.zz.ha.cn

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:787mm×1 092mm 1/16

印张:24.75

字数:570 千字

印数:1—2 000

版次:2005 年 10 月第 1 版

印次:2005 年 10 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80621-952-8/TV·414

定价:98.00 元

总序一

黄河小浪底水利枢纽是“以防洪（包括防凌）、减淤为主，兼顾供水、灌溉、发电，蓄清排浑，除害兴利，综合利用”为开发目标的大型水利工程，是国家“八五”重点建设项目，也是当时我国利用世界银行贷款最大的工程项目。小浪底主体工程于1994年9月开工，2001年底按期完工。工程采用国际招标方式选择了世界上一流的承包商，从施工管理、工程设计、移民搬迁到环境影响评价全面和国际接轨，为我国水利水电建设积累了宝贵经验。工程建成运行5年来，在黄河下游防洪、防凌、减淤冲沙、城市供水、发电、灌溉方面发挥了不可替代的作用。截至2004年底，累计发电约150亿kW·h。在黄河连续枯水的情况下为确保黄河不断流提供了物质基础。显著的社会效益和经济效益使小浪底水利枢纽成为治黄的里程碑工程。

本着建设我国一流工程的目标，我有幸参与了小浪底工程的建设管理。一流的工程首先要以一流的设计为龙头。小浪底工程由于其独特的水文泥沙条件、复杂的工程地质条件和严格的水库运用要求，给工程设计提出了一系列挑战性的课题，被国内外专家公认为是世界上最具挑战性的工程之一。黄河勘测规划设计有限公司^①的工程技术人员，经过近30年的规划论证和10多年的方案比选，以敢于创新和科学求实的精神，在国内科研院所和高等院校的配合下，较满意地解决了一个个技术难题，诸如深式进水口防泥沙淤堵、施工导流洞改建为孔板消能泄洪洞的重复利用、排沙洞后张预应力混凝土衬砌、洞室群围岩稳定、大坝深覆盖层基础处理、进出口高边坡加固、20万移民的生产性安置等，提出了以集中布置为鲜明特点的枢纽建筑物总体布置方案，同时也创造了许多国内国际领先水平的设计。小浪底工程于1999年10月蓄水运行以来，已安全正常地运行了5年，并经历了2003年高水位的运用考验，实践证明，小浪底工程的设计是成功的。

小浪底工程成功的设计，为小浪底工程的建设提供了可靠的技术保障。

① 编者注：黄河勘测规划设计有限公司为原水利部黄河水利委员会勘测规划设计研究院。

黄河勘测规划设计有限公司的同志们认真总结小浪底工程的设计经验，编写出版了这套技术丛书。这套丛书的出版，无疑将丰富和促进我国水利水电建设事业的发展，也希望通过这套丛书使小浪底水利枢纽的成功经验得到更好的推广和应用。

钱 星 志

二〇〇二年三月一日

总 序 二

小浪底水利枢纽是黄河治理开发的关键工程。如今这座举世瞩目的工程已全面竣工，几代黄河人的小浪底之梦终成现实。宏伟的小浪底工程犹如一座巍峨的丰碑，记载着人民治黄的丰功伟绩，同时又是一座黄河治理开发的里程碑工程。它的建成运用，使治黄工作进入了一个能够对黄河下游水沙进行调控的新阶段。

黄河是世界上最复杂、最难治的河流。大量的泥沙淤积在下游河道内，使下游河道滩面高于大堤背河地面，成为举世闻名的地上悬河。如何把黄河的事情办好，一代又一代黄河人进行着孜孜不倦的探索和实践。

位于黄河中游最后一个峡谷出口处的小浪底，是三门峡水利枢纽以下惟一能够取得较大库容的坝址，处于承上启下控制黄河水沙的关键部位。修建小浪底水库对于黄河下游防洪、防凌、减淤等具有非常重要的作用，其战略地位是其他治黄工程无法替代的。

小浪底工程规模宏大，地质条件复杂，水沙条件特殊，运用要求严格，被公认为世界坝工史上最具挑战性的工程之一。面对这些难题，设计人员总结国内外的工程实践经验，克服重重困难，以勇于开拓创新又实事求是的科学精神，攻克了一个个技术难关，创造了多项国内外领先的设计成果。目前，工程已经开始发挥巨大的综合效益，特别是在调水调沙及塑造黄河下游协调水沙关系方面更是发挥了突出作用。

小浪底工程的勘测、规划和设计实践体现了“团结、务实、开拓、拼搏、奉献”的黄河精神，凝聚了广大治黄人员的智慧，同时也为今后的工作积累了丰富的经验。现在黄河勘测规划设计有限公司的同志总结小浪底工程的设计经验，编撰了这套规划设计丛书，非常必要、及时。丛书注重工程特点，论述设计思路和方法，突出创新成果，体现时代特征，系统全面反映了工程设计情况，对于今后的治黄工作乃至我国水利水电工程建设都将具有很好的借鉴作用。

小浪底工程建成后，黄河治理开发的任务依然非常繁重。小浪底水库本身的运用方式仍然需要深入研究，以保证其最大限度地发挥综合效益。同时，必须抓住小浪底水库投入运用的大好机会，抓紧开展黄河下游治理工作，并加快黄河干流骨干工程和南水北调西线工程建设、中游水土保持以及小北干流放淤等工作，构建完善的黄河水沙调控体系，使治黄工作朝着“维持黄河健康生命”的终极目标迈进。

李国英
2005年9月22日

总 前 言

小浪底水利枢纽位于黄河中游三门峡以下约 130km 黄河最后一个峡谷的出口处。从三门峡到小浪底，河床比降 0.1%，南岸是秦岭山系邙山，北岸是中条山、王屋山，河谷宽 500~1 000m，洪水水面宽 200~300m，每遇洪水，黄河波浪滔天、咆哮而下。黄河出小浪底峡谷之后，河道突然展宽，大浪没有了，小浪也到底了，进入了由黄河泥沙堆积而成的黄淮海平原。郑州花园口以下约 800km 的下游河道高悬于两岸地面，在约 1 400km 堤防的约束下流入渤海。居住在峡谷出口右岸黄河岸边一个小山村的先人们，观黄河流态的变化，以“小浪底”命名了自己的小山村。年年岁岁，世世代代，先人们并不知道今天小浪底竟成了家喻户晓的一个巨大的水利枢纽的名字。这个名字牵系着国内外许多专家、学者，牵系着曾为之奋斗的上万名中外建设者，牵系着上至中央领导、下至黎民百姓。

小浪底水利枢纽控制黄河流域面积 69.4 万 km^2 ，占黄河流域总面积（不包括内陆区）的 92.3%，控制黄河天然年径流总量的 87% 及近 100% 的黄河泥沙。小浪底工程处在承上启下控制黄河水沙的关键部位，与龙羊峡、刘家峡、大柳树、碛口、古贤、三门峡一起成为开发治理黄河的七大骨干工程，在治黄中具有十分重要的战略地位。

小浪底工程建在因含沙量高而闻名于世的黄河上。黄河不仅水少沙多，而且水沙在时间上分布不均，黄河下游为地上悬河，河道上宽下窄，比降上陡下缓，排洪能力上大下小，凌汛也威胁着黄河两岸人民的安全。我国近代治河的先驱者，总结我国的治河经验，引进西方科技，提出了“全面开发，综合利用”的水利规划思想。新中国成立以后，开始了人民治黄的历程。历经 50 多年，治黄取得了举世瞩目的成就。在黄河流域整体规划的基础上，小浪底工程的开发论证经过了近半个世纪漫长的历程。根据黄河的特点及小浪底工程在黄河流域规划中所处的位置，对小浪底工程的开发目标进行了多次分析论证，一致认为小浪底水库处在控制黄河下游水沙的关键部位，是黄河干流三门峡以下惟一能取得最大库容的重大控制工程，在治黄中具有重要的战略地位。国家计委于 1986 年 5 月明确小浪底水利枢纽的开发目标为“以防洪（包括防凌）、减淤为主，兼顾供水、灌溉和发电，蓄清排浑，除害兴利，综合利用”。要求达到的目标是：提高下游防洪标准；基本消除下游凌汛威胁，在一定时段内遏制黄河下游河床淤积的趋势；调节径流提高下游灌溉供水保证率；水电站在系统中担任调峰。

小浪底水利枢纽由于其独特的水文泥沙条件，复杂的工程地质条件，适应多目标开发的严格的运用要求，以及巨大的工程规模和治理黄河中重要的战略地位，被国内外专家公认为是世界坝工史上最具挑战性的工程之一。多年来，参与工程规划设计和研究的人员如履薄冰，认真总结借鉴前人的经验，以求实创新的精神开展工作，攻克了工程规划设计中的许多技术难关，保证了工程的规划设计达到先进水平。设计人员既尊重科学，又敢于突破常规，开拓创新，先后进行了 400 余项科学试验和专题论证分析，融汇

了国内外许多专家的心血和智慧，解决了一个又一个难题。在建造深 82m 的混凝土防渗墙、将 3 条直径 14.5m 的导流洞改建为永久的多级孔板消能泄洪洞、在地质条件极为复杂的左岸单薄山体内建造了规模宏大和数量众多的地下洞室群、在高水头大直径排沙洞设计中采用了双圈缠绕的后张无粘结预应力混凝土衬砌结构、在国内大规模采用了双层保护的预应力锚索和钢纤维喷混凝土技术等多方面取得突破，在国内外处于领先地位。如今，小浪底水利枢纽以其独具鲜明特色的总体布置和建筑物设计展现在世人面前。小浪底工程为黄河治理开创了崭新的局面。

小浪底工程的规划设计、研究和论证，以及工程建设一直得到中央领导、水利部和国家有关部委的关注，并得到国内外许多专家的支持和帮助，融汇了他们的心血和智慧。

小浪底工程的成功设计，为小浪底工程的建设做出了巨大的贡献。为总结小浪底工程规划设计方面的经验和教训，我们组织了直接参与小浪底工程规划设计的人员从工程规划、设计的各个方面，认真总结小浪底工程的设计经验，并出版黄河小浪底水利枢纽规划设计丛书，以期和同行进行技术交流，丰富和促进我国水利水电建设事业，使小浪底工程的成功经验得到更好的推广和应用。黄河勘测规划设计有限公司对丛书的出版给予了大力支持，国务院南水北调建设委员会办公室主任张基尧和水利部黄河水利委员会主任李国英亲自为丛书作序，在此表示衷心的感谢。

由于水平所限，谬误之处在所难免，敬请指正。

黄河小浪底水利枢纽设计总工程师

林秀山
2005年9月

黄河小浪底水利枢纽规划设计丛书

编辑委员会

主 任：李文学

副主任：林秀山 许 人 宗志坚 景来红

委 员：（按姓氏笔画排列）

王庆明 刘继祥 刘豪杰 张汉青

张会言 李惠安 罗义生 杨法玉

高广淳 路新景 潘家铨

总主编：林秀山

序

黄河小浪底水利枢纽工程于 1999 年 10 月 25 日下闸蓄水,2000 年 1 月 9 日第一台水轮发电机组并网发电。到现在已经运行了 5 年,经过了 5 个汛期,水电站经受了水头从 68m 到 130m 各种不同工况的运行考验。水利枢纽已发挥了防洪(包括防凌)、减淤、供水、灌溉、发电等巨大的综合效益。2003 年华西秋雨期间,由于小浪底水库的调蓄,将 $5\,000 \sim 6\,000\text{m}^3/\text{s}$ 的洪水控制到花园口最大流量 $2\,500 \sim 2\,700\text{m}^3/\text{s}$,减少洪灾损失达 110 亿元。2004 年 1、2 月份,小浪底水利枢纽持续下泄大流量,使黄河下游在凌汛期间没有出现封河现象,大大缓解了下游的防凌压力。小浪底水库建成后,已参加了 3 次黄河调水调沙试验。据报道,2004 年第三次调水调沙试验中,小浪底水库下泄水量达 42 亿 m^3 ,建筑物过流 1 223.53h,闸门操作 333 次,成功率为 100%,使调水调沙试验获得圆满成功。小浪底水库蓄水后已 3 次向天津紧急供水,解除了天津缺水之危。水轮发电机组经历了长时间大负荷的运行。据报道,截至 2004 年 6 月 30 日,小浪底水电站已连续安全稳定运行 1 100 天。水电站设计年发电量为 51 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,而 2004 年上半年就已发电 33.69 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。5 年多来,小浪底水利枢纽已逐步发挥出巨大的社会效益和经济效益,为国家作出了重大贡献。

小浪底水利枢纽的安全稳定运行与设计工作者的辛勤努力是分不开的。黄河是著名的多泥沙河流,小浪底水利枢纽控制着黄河近 100% 的泥沙,其机电设计也就不得不面对着比任何大型水电工程都更严重的泥沙问题的挑战。除此之外,小浪底水电站的水头范围为 68 ~ 141m,其变幅之大超过三峡工程。泥沙的淤积、对过流部件的严重磨损以及巨大的水头变化给水轮发电机组及金属结构的安全稳定运行造成极大的威胁。为了拿出一个适应这一恶劣条件的良好的机电设计方案,黄河勘测规划设计有限公司进行了大量的调查研究和试验工作,认真吸取了黄河上三门峡、刘家峡、天桥等水电站以及水头变幅大的水电站的运行经验和教训,在设计中提出了一系列的新措施。水利枢纽投入运行后,事实证明,这些措施是成功的。5 年多来,水轮发电机组在很大的出力范围内运行稳定;水轮机过流部件磨损很小,碳化钨抗磨涂层有良好的防护效果,碳化钨抗磨防护措施已取得初步成功;金属结构设计满足了在高水头、高含沙高速水流条件下泄洪、排沙、频繁开启、调节下泄流量等复杂运行工况的需要。在小浪底工程机电设计方面取得的众多成就,将为多泥沙河流上的水利水电建设提供宝贵经验。

黄河勘测规划设计有限公司组织了小浪底水利枢纽机电设计的两代参加者编写了《机电与金属结构设计》这本内容丰富的著作。我有幸参加了小浪底水利枢纽从立项和申请国外贷款到正常运行的建设全过程,因此怀着激动的心情读了本书的大样。我认为这本书全面、翔实地反映了小浪底工程机电设计的丰硕成果,总结了解决泥沙问题和大水头变幅问题的可贵经验,是一本很有价值的书。本书论述的不少问题是目前水利水电机电方面大家关心的热门话题,如采用合理低参数的必要性以及它在水轮机稳定性和耐磨性

能的影响;如何从结构上采取措施减少过流部件的磨损;采用什么样的抗磨涂层;大直径转轮在现场组焊的合理性及可行性;如何在高水头、高含沙高速水流条件下保证闸门的安全可靠运行等。这些问题,本书都作出了详尽的论述并给出了结论。我相信,水利水电建设者将能在本书中吸取有价值的东西,本书的出版必将对我国正以前所未有的速度发展的水利水电建设作出贡献。

杨定原

2004年8月28日

前 言

小浪底水利枢纽是以防洪(包括防凌)、减淤为主,兼顾供水、灌溉、发电等综合利用为开发目标的枢纽工程。小浪底水电站是枢纽的重要组成部分,总装机容量 $6 \times 300\text{MW}$ 。从开发目标看,发电处于从属地位,但其规模是迄今河南省境内最大的水电站,在以火电为主的河南电网中发挥着重要作用,电站多年平均年发电量为 51 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,其发电效益也是显著的。

小浪底水利枢纽机电和金属结构设计的任务是:完成大坝、泄洪排沙建筑物、电站等部位的水力机械、电气、金属结构工程设计,将枢纽众多机电、金属结构设备集成起来,实现枢纽自动化管理,确保运行安全可靠,最大限度地发挥枢纽综合利用效益。具体设计内容有:水轮发电机组、水力机械辅助设备、电站厂房布置、电站与电力系统连接及电气主接线、厂房和坝区用电、主要电气设备选择、防雷与接地、计算机监控、闸门控制、工程安全监测数据自动采集、机组及辅助设备控制、继电保护、视频监控、通风、消防、闸门及启闭机型式与布置、闸门及启闭机设计等。机电和金属结构设计必须保证枢纽开发目标的完成。

黄河以多沙著称于世,小浪底水利枢纽控制黄河近 100% 的泥沙,工程泥沙问题十分突出,而解决泥沙问题是保证电站汛期发电、安全运行的关键。设计中借鉴了黄河上已建电站的运行经验,本着从严从难考虑、留有必要余地的原则,在大量科学试验的基础上,采取了综合防沙、抗磨蚀措施,以改善小浪底水电站的运行条件。从电站运行 4 年多的实际情况看,取得了满意的效果。

小浪底水电站水轮机从参数选择、水力设计、结构设计、加工工艺、材料选择、防护涂层的运用等方面采取了有针对性的综合治理措施,对机组的安全运行,特别是汛期正常发电发挥了积极的作用。目前,小浪底水电站水轮机已经过 130m 水头的实际运行考验,工况良好。

在电气设计方面,综合考虑了枢纽开发目标、地下厂房、电站在电力系统中承担的任务等因素,在电气主接线、设备布置、计算机监控系统设计中,根据工程特点采取了具体措施,提高了设备运行的安全可靠性和为枢纽的自动化管理和实现“无人值班、少人值守”创造了条件。

小浪底水利枢纽金属结构集中布置在进水塔群、孔板洞中闸室、排沙洞出口闸室、溢洪道、地下厂房尾水闸室和电站尾水出口等部位,有各种闸门 62 扇、卷扬启闭机 20 台、油压启闭机 36 台、拦污栅 26 扇、清污机 4 台、门机 2 台、台车式启闭机 1 台,总重 32 000t。设计中有很多技术创新和技术突破,国内运用水头最高的偏心铰弧门,首例长期局部开启运用的偏心铰弧门,国内总水压力最大的泄洪弧门,首次突破 4 000kN 轮压的定轮闸门,多泥沙河流闸门埋件的抗磨蚀技术,闸门防淤冲沙技术,5 000kN 固定卷扬启闭机的卷筒容绳量、卷筒直径、启闭力等指标均属国内首创。这些技术均在工程中发挥了不可替代的作

用,取得了明显的综合效益。

小浪底水利枢纽机电和金属结构工程设计历时 20 年,凝结了两代人的心血和汗水,是集体智慧的结晶。李金铎、刘继澄、龙国瑞、刘善美、赵晓飞、杨昌谦、李希露、田秋芳、李国范、孙翠云、陈宜安、金树训、行少阜、熊民伟、庄寿安、鲍成松、孙汝勋、蔡永久、张雅琴、张明琴等曾经为小浪底工程辛勤工作的老同志,为小浪底水利枢纽机电、金属结构工程前期和施工设计研究奉献了毕生的精力,他们的工作成果为工程设计奠定了基础,在此向他们表示崇高的敬意。

在本书编撰过程中,有关领导和专家给予了热忱指导和大力支持。小浪底工程建设技术委员会副主任、国务院三建委三峡枢纽工程质量检查专家组成员杨定原亲自为本书作序。参加编写的同志在完成本职工作的同时,抽出相当多的时间精心工作,为我们留下了宝贵的财富,对他们的辛勤劳动表示衷心感谢。

对书中可能存在的错误,敬请读者批评指正。

王庆明

2004 年 9 月 8 日

《机电与金属结构设计》编写人员名单

主 编 王庆明

章 名	编写人员
第一章 概述	王庆明 朱兴旺 郭 志 李纪新 孙鲁安
第二章 水轮机及其附属设备	朱兴旺 李光勉
第三章 水力机械辅助设备	朱兴旺
第四章 主厂房布置	朱兴旺 郭 志
第五章 接入系统设计	郭 志
第六章 厂用电	郭 志
第七章 坝用电	郭 志
第八章 主要设备选择	郭 志
第九章 过电压保护与接地	郭 志
第十章 计算机监控系统	王庆明
第十一章 水库闸门控制系统	王庆明
第十二章 工程安全监测数据采集系统	王庆明
第十三章 继电保护	王为福
第十四章 枢纽视频监视系统	王庆明
第十五章 枢纽消防	王庆明
第十六章 通风	朱兴旺
第十七章 金属结构总体布置	乔为民 李纪新
第十八章 金属结构特殊问题处理措施	李纪新 孙鲁安
第十九章 闸门及拦污栅设计	乔为民
第二十章 启闭机械	孙鲁安

目 录

总序一	张基尧
总序二	李国英
总前言	林秀山
序	杨定原
前言	王庆明
第一章 概述	(1)
第一节 水力机械设计特点	(1)
第二节 电气设计特点	(5)
第三节 金属结构设计特点	(8)
第四节 启闭机械设计特点	(10)
第二章 水轮机及其附属设备	(14)
第一节 水轮机参数及技术性能研究	(14)
第二节 水轮机设计技术特点	(46)
第三节 过流部件的抗磨蚀防护	(52)
第四节 水轮机转轮的现场组装	(55)
第五节 水轮机主要技术参数	(59)
第六节 调速系统	(60)
第七节 筒形阀	(62)
第三章 水力机械辅助设备	(65)
第一节 厂房桥式起重机	(65)
第二节 技术供水系统	(66)
第三节 机组检修排水系统	(76)
第四节 厂房渗漏排水系统	(80)
第五节 油系统	(82)
第六节 压缩空气系统	(85)
第七节 水力量测系统	(87)
第八节 机修设备	(93)
第四章 主厂房布置	(97)
第一节 影响厂房布置的主要因素	(97)
第二节 厂房主要尺寸的确定	(97)
第三节 厂房及主要机电设备布置	(98)
第五章 接入系统设计	(101)
第一节 电站与电力系统连接	(101)
第二节 电气主接线	(106)

第三节 短路电流计算	(111)
第六章 厂用电	(113)
第一节 厂用电源数量及引接方式	(113)
第二节 厂用接线	(116)
第三节 厂用变压器容量选择	(119)
第七章 坝用电	(123)
第一节 坝用电电源设置原则	(123)
第二节 负荷分析与统计	(124)
第三节 坝用电接线	(126)
第八章 主要设备选择	(129)
第一节 水轮发电机	(129)
第二节 主变压器	(138)
第三节 发电机电压设备	(143)
第四节 200kV 配电装置	(148)
第五节 厂坝用电设备	(151)
第六节 电力电缆	(154)
第九章 过电压保护与接地	(156)
第一节 过电压保护	(156)
第二节 接地系统	(157)
第三节 电气设备布置	(162)
第十章 计算机监控系统	(166)
第一节 系统结构及配置	(166)
第二节 系统功能	(167)
第三节 系统操作	(174)
第四节 系统性能	(176)
第五节 系统硬件	(179)
第六节 系统软件	(185)
第七节 经验教训	(187)
第十一章 水库闸门控制系统	(190)
第十二章 工程安全监测数据采集系统	(199)
第十三章 继电保护	(203)
第一节 概述	(203)
第二节 系统继电保护	(203)
第三节 发电机变压器组继电保护	(206)
第十四章 枢纽视频监视系统	(211)
第一节 设计问题和解决方案	(211)
第二节 视频监视系统设计	(213)
第十五章 枢纽消防	(218)
第一节 消防设计的原则	(218)

第二节	泄水建筑物消防·····	(218)
第三节	电站消防·····	(220)
第四节	机电设备消防·····	(226)
第五节	消防供排水及气体灭火·····	(229)
第六节	电站厂房事故排烟·····	(233)
第七节	消防电源及疏散标志·····	(235)
第八节	火灾自动报警及消防联动控制·····	(236)
第九节	系统验收·····	(238)
第十六章	通风·····	(239)
第一节	设计基本资料·····	(239)
第二节	通风系统设计·····	(241)
第三节	事故排烟设计·····	(245)
第四节	采暖设计·····	(246)
第五节	通风系统控制·····	(246)
第十七章	金属结构总体布置·····	(248)
第一节	概述·····	(248)
第二节	导流系统·····	(249)
第三节	泄洪排沙系统·····	(250)
第四节	引水发电系统·····	(257)
第五节	充水平压及高压水冲淤系统·····	(260)
第十八章	金属结构特殊问题处理措施·····	(263)
第一节	防淤措施·····	(263)
第二节	抗磨措施·····	(265)
第三节	清污措施·····	(269)
第四节	检修措施·····	(270)
第十九章	闸门及拦污栅设计·····	(276)
第一节	弧形工作闸门·····	(276)
第二节	平面定轮事故闸门·····	(286)
第三节	平面滑动闸门·····	(290)
第四节	浮箱式叠梁闸门·····	(293)
第五节	拦污栅·····	(296)
第二十章	启闭机械·····	(299)
第一节	概述·····	(299)
第二节	固定卷扬启闭机·····	(300)
第三节	门式启闭机·····	(311)
第四节	台车式启闭机·····	(328)
第五节	液压启闭机·····	(335)
第六节	清污机·····	(360)
第七节	自动抓梁·····	(365)