

三峡坝后电站工程 施工技术

主 编 康忠东

副主编 于永军 梁仁贵 王启茂



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

三峡坝后电站工程 施工技术

主 编 康忠东

副主编 于永军 梁仁贵 王启茂



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书以三峡坝后电站工程实际施工资料为基础,全面地总结了土建施工与机电安装的经验与教训,系统地介绍了三峡坝后电站工程的施工过程、方法与成果,详细地介绍了施工中采用的新技术、新工艺、新材料与新设备,具有很强的实用性。本书对从事水电施工与管理工作的有关人员具有参考价值,也可以作为相关领域高等院校师生的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

三峡坝后电站工程施工技术 / 康忠东主编. — 北京
中国水利水电出版社, 2012. 1
ISBN 978-7-5084-9422-7

I. ①三… II. ①康… III. ①三峡水利工程—水力发电站—工程施工 IV. ①TV752.71

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第010710号

书 名	三峡坝后电站工程施工技术
作 者	主编 康忠东 副主编 于永军 梁仁贵 王启茂
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 38.25印张 919千字 9插页
版 次	2012年1月第1版 2012年1月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	108.00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

攀登水利水电施工
技术高峰

为三峡电站厂房工程施工技术题

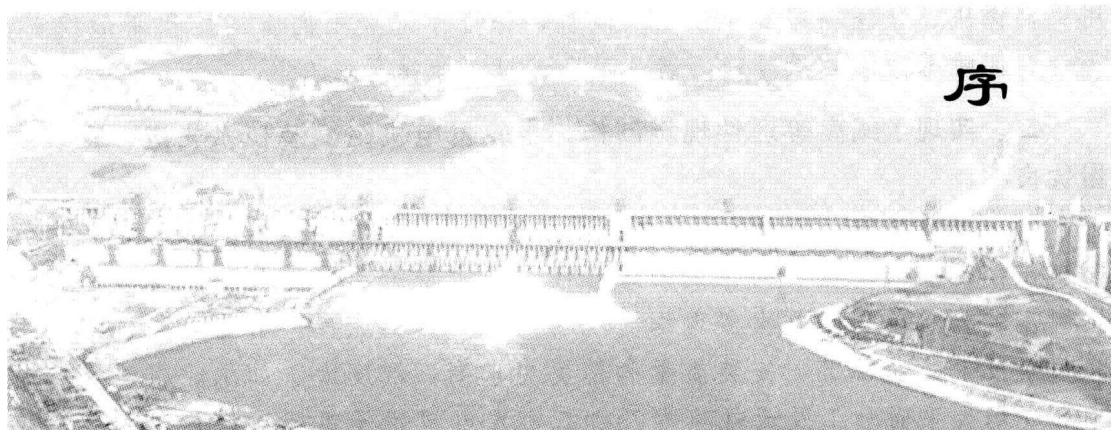
潘家铮

二〇〇五年十二月

《三峡坝后电站工程施工技术》

编辑委员会

顾 问	谭靖夷						
主 任	朱素华						
副 主 任	涂怀健	康忠东	梁仁贵	刘康文	陶思江		
委 员	曾 辉	于永军	蒋小平	杨 刚	李金宝	张爱民	
主 编	康忠东						
副 主 编	于永军	梁仁贵	王启茂				
审 稿 人	康忠东	于永军	王启茂	欧乐洲	梁仁贵	涂怀健	
	曾 辉	奚中庭					
撰 稿 人	(以姓氏笔画为序)						
	于永军	王启茂	王建国	邓常义	刘尚菊	杨 力	
	李金宝	吴菊初	邱荣金	邹朝晖	张传斌	张安生	
	张 勇	张爱民	欧乐洲	罗金望	周光荣	贺 彬	
	黄和平	曹哲云	龚建辉	康中斌	康忠东	梁仁贵	
	蒋小平						
参编人员	(以姓氏笔画为序)						
	丁一波	田启超	严秋生	杨家菊	李东峰	扶奋勇	
	何 伟	陈世安	昌清明	罗志刚	胡 萍	袁卫群	
	谈海斌	黄 涛	廖俊峰				
照片提供	文正凡	唐洪湖	康忠东	熊汉清			



三峡水利枢纽工程，主要由拦河大坝、坝后电站厂房、双线五级船闸和茅坪溪防护坝等组成。其中左右岸坝后电站厂房分别装机 14 台和 12 台，单机容量 700MW，共计 18200MW（未计入电源电站装机容量 100MW），装机规模居世界首位。另有右岸地下电站装机容量 4200MW（ $6 \times 700\text{MW}$ ）正在施工中。自左岸坝后电站首批机组于 2003 年 7 月开始投入运行至 2008 年左右岸电站 26 台机组提前一年投产发电，电站全部机组都经受了 172m 水位及额定出力 700MW 的初步考验，运行安全、稳定，截至 2008 年年底已累计发电 2885 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ，效益巨大。

在三峡总公司组织领导下，承担坝后电站厂房工程的主要施工单位中国水电三七八联营总公司和左岸机组埋件制作与 6 台机组安装的中国水利水电第八工程局，全面推行项目法管理，采用新技术、新工艺，在工程安全、质量、文明施工、进度与成本控制等各方面均取得了好业绩，为三峡工程建设做出了重要贡献。

一、电站厂房工程质量总体优良

坝后电站厂房规模大，分层、分缝、分块多，机电埋件多，内在与外观质量要求高。建设者努力革新模板制作安装技术，细化混凝土浇筑工艺，采用小水胶比和较大掺量优质粉煤灰、混凝土预冷和水管内冷温控防裂等多项措施，显著地提高了混凝土强度、密实性、抗渗性与抗裂性，防止了结构性裂缝的产生。检测试验成果表明，厂房工程混凝土抗压强度保证率高于 95%，且质量均匀，抗压强度标准差平均值 2.83MPa，变异系数平均值 0.085，达到优良水平。厂房外露面平整美观，达到了免装修要求。此外，蜗壳混凝土采

用保温保压、预埋冷却水管分多层浇筑，保证了混凝土的密实性和变形稳定。下游封闭帷幕防渗效果显著，满足了设计封闭抽排要求。

二、实现了蜗壳等埋件现场制作，水轮发电机组安装技术先进，安装质量优良

三峡单机容量 700MW 水轮发电机组蜗壳等埋件尺寸庞大，如按传统在厂家制作，将带来运输上的重大困难。经过技术攻关，引进大型加工设备，严控制作工艺，在我国首次实现蜗壳现场制作，质量优良。水轮发电机组采用多项新技术与新工艺，安装质量和精度要求高，难度大。如水轮机座环、基础环现场大平面加工及大规格螺孔加工，发电机定子组装边叠片边固定定位筋工艺，发电机定子水内冷系统安装、调试等，在国内均属首次。面对新的技术难题，安装单位全力开展技术攻关，从严制定质量标准，细化安装工艺和流程，通过参建各方的共同努力，机组安装一次成功投产，运行安全稳定，安装质量和精度达到优良水平。

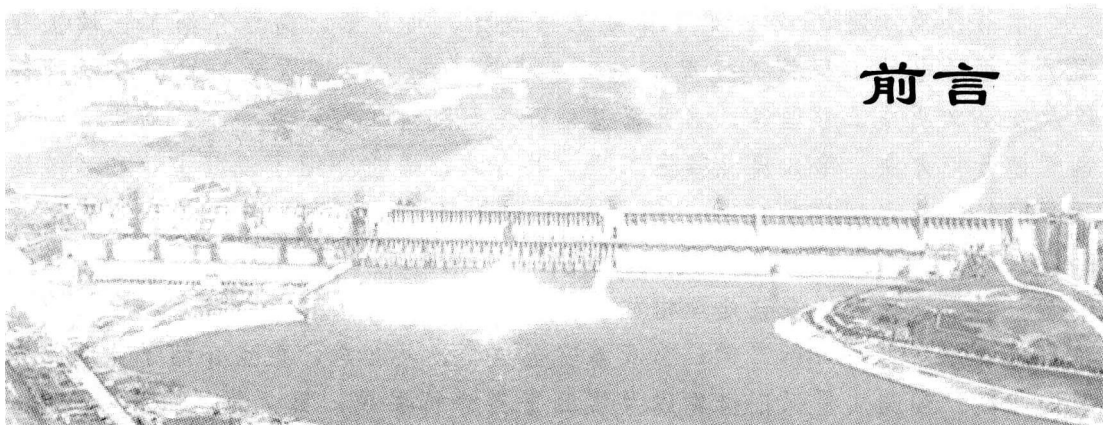
三、实行精细化科学管理和文明施工

从严制定高质量标准，不断完善与深化质量保证体系，实行全面、全员、全过程精细化管理，以“质量零缺陷、安全零事故”的双零作为管理目标，并坚持文明施工。在土建与机电安装工程多工种、多工序、多工作面立体交叉施工的条件下，电站工程安全、质量始终处于有效控制之中，为工程安全、优质、高效打下坚实的基础。

值三峡工程电站提前全部投产发电之际，中国水电三七八联营总公司与中国水利水电第八工程局组织编写了《三峡坝后电站工程施工技术》。我有幸见证了三峡枢纽工程建设的全过程，认为该书比较全面客观地记录了三峡坝后电站工程土建和机电设备安装的施工实践，也认真总结了电站工程建设成功经验与不足。这些成果来之不易，值得珍惜并可供借鉴。但应该指出，三峡工程坝后电站仍处于初期运行阶段，尚有待长期运行考验，而作为清洁能源的我国水电正在大规模开发，任重道远。科学技术发展无止境，工程安全质量无顶点，愿与水电界诸君和读者共勉。

中国工程院院士 谭靖夷

2011 年 10 月于长沙



三峡水利枢纽工程主要由拦河大坝、电站厂房、双线五级船闸、垂直升船机和茅坪溪防护坝等组成。其中左右岸坝后电站分别装机 14 台和 12 台，右岸地下电站装机 6 台，单机容量 700MW，共计 22400MW（未计入电源电站 100MW）。

三峡工程建设规模巨大，施工质量要求高，几乎云集了全国所有的水电施工队伍。由中国水利水电第三、第七、第八工程局按照公司法组建而成的中国水电三七八联营总公司（中国水利水电第八工程局为责任方）在三峡工程建设中主要承担了左右岸坝后电站厂房工程、五级船闸工程的建设以及下岸溪砂石生产系统的建设与运行；中国水利水电第八工程局承担了左右岸坝后电站水轮机埋件工地制作、左岸坝后电站 6 台 VGS（1~3 号，7~9 号）水轮发电机组安装和右岸坝后电站公用系统安装。

左岸坝后电站工程于 1994 年 4 月 18 日开始基础开挖，1997 年 12 月 26 日开始浇筑混凝土，2003 年 7 月首台（2 号）机组投产发电，2005 年 9 月 11 日最后一台（9 号）机组投产发电。右岸坝后电站工程于 2001 年 7 月 7 日开始基础开挖，2002 年 12 月 24 日开始浇筑混凝土，2008 年全部机组投产发电。

三峡工程的施工水平代表了当时国内的最高水平，为了认真总结三峡坝后电站工程土建施工和机电设备安装的经验与教训，中国水电三七八联营总公司组织编写了《三峡坝后电站工程施工技术》，于 2005 年底完成初稿。之后进行了大量修改，调整、合并了部分章节，减少了篇幅，并尽可能多地增加右岸坝后电站工程的施工经验，特别是三期工程施工管理经验，但由于编写人员调动频繁、工作繁忙，所以直到 2009 年底才完成第二稿，并交付出版社安排出版。

本书分为8篇35章。第1篇施工总概况，共5章，简要介绍了三峡工程概况、坝后电站工程施工概况、施工总进度控制、工程质量与竣工资料管理以及安全文明施工管理等；第2篇基础开挖与处理工程，共2章，着重介绍了钢管槽开挖方法；第3篇混凝土工程，共8章，着重介绍了混凝土拌和系统运行管理经验、大型模板使用、清水混凝土施工、保温保压浇筑蜗壳二期混凝土以及混凝土质量控制等；第4篇灌浆工程，共4章，着重介绍了无盖重灌浆工艺与涌水情况下的灌浆处理措施；第5篇建筑工程，共3章，主要介绍了当时装修新材料与新工艺；第6篇安全监测，共3章，重点介绍了监测仪器埋设情况、观测质量保证措施以及观测资料分析成果；第7篇机电设备工程，共5章，详细介绍了大型水轮机埋件工地制作与安装工艺、VGS水轮发电机组与大型桥机安装工艺；第8篇金属结构制作与安装，共5章，详细介绍了金属结构与设备安装工艺，并提供了机电安装工程部分案例。

本书编写分工如下：第1、2、13章由康忠东执笔，第3章由罗金望执笔，第4章由邹朝晖、邱荣金执笔，第5章由于永军执笔，第6、7章由蒋小平、王建国执笔，第8章由吴菊初、康中斌执笔，第9章由于永军、康忠东执笔，第10章由李金宝执笔，第11章由于永军、张爱民、康中斌执笔，第12章由于永军、欧乐洲、张勇执笔，第14章由张传斌执笔，第15章由龚建辉、刘尚菊执笔，第16、17章由曹哲云执笔，第18、19章由张安生执笔，第20~22章由杨力执笔，第23~25章由黄和平执笔，第26章由贺彬执笔，第27章由欧乐洲执笔，第28章由周光荣执笔，第29、30章由王启茂、邓常义执笔，第31~35章由欧乐洲、梁仁贵执笔。全书由康忠东、于永军、欧乐洲统稿。李东峰、罗志刚参与了第2、9、11章的编写，田启超、袁卫群参与了第6、7章的编写，昌清明、谈海斌参与了第11、12章的编写，陈世安参与了第23~25章的编写，何伟、杨家菊参与了第28~30章的编写，黄涛、廖俊峰、扶奋勇、严秋生、丁一波参与了第27、31~35章的编写。张爱民负责全书插图的编辑。

本书的出版得到了中国水电三七八联营总公司和中国水利水电第八工程局的资助。在编写过程中得到了中国长江三峡开发总公司、长江水利委员会规划勘测设计研究院和西北勘测设计研究院三峡工程监理中心等单位及有关专家、同行的大力支持和帮助，他们还提供了相关资料，在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中难免存在错误，敬请各位专家与读者给予批评指正。

作者

2011年10月于成都

目 录

序 前言

第 1 篇 施 工 总 概 况

第 1 章 工程概况	3
1.1 三峡枢纽工程概况	3
1.2 电站工程概况	5
第 2 章 电站工程施工概况	7
2.1 工程特点与施工难点	7
2.2 施工总布置	8
2.2.1 对外交通	8
2.2.2 场内交通	9
2.2.3 施工供水、供电	9
2.2.4 砂石系统	10
2.2.5 混凝土生产系统	10
2.2.6 金属结构、机电埋件制作厂	10
2.2.7 其他主要附属企业	10
2.3 主要施工方法	15
2.3.1 基础开挖与处理	15
2.3.2 混凝土工程	15
2.3.3 防渗帷幕灌浆	16
2.3.4 固结灌浆、回填灌浆与接触灌浆	16
2.3.5 大型水轮机埋件及压力钢管、排沙管制作	17
2.3.6 机组埋件安装	18
2.3.7 压力钢管、排沙钢管安装	18
2.3.8 桥式起重机安装	19
2.3.9 VGS 机组安装与调试	19
2.4 工程施工管理	20
第 3 章 电站工程施工总进度	23
3.1 施工总进度实施概况	23

3.1.1	左岸电站工程施工总进度概述	23
3.1.2	右岸电站施工总进度概述	24
3.2	施工进度控制技术	28
3.2.1	事前进度控制	28
3.2.2	事中进度控制	29
3.3	进度控制成果	29
3.3.1	第一阶段：开挖岸边机组段基础	29
3.3.2	第二阶段：混凝土浇筑与机组埋件安装	29
3.3.3	第三阶段：机电安装	29
3.4	典型工期分析	30
3.4.1	主厂房进度分析	30
3.4.2	上游副厂房进度分析	30
第4章	工程质量与竣工资料管理	31
4.1	质量管理体系	31
4.1.1	质量管理模式	31
4.1.2	质量管理组织机构	31
4.1.3	质量管理规章制度的制定与完善	31
4.2	质量控制技术	34
4.2.1	培训	34
4.2.2	模板施工	34
4.2.3	钢筋网下混凝土浇筑	34
4.2.4	样板仓工程	35
4.2.5	开展技术攻关活动	35
4.2.6	开展“消灭顽症、誓创一流”劳动竞赛	35
4.2.7	标准化施工工艺的编制与培训	36
4.2.8	抓安全文明施工促质量	36
4.2.9	金结机电安装质量管理	36
4.3	竣工资料整编	36
4.3.1	竣工资料的分类	36
4.3.2	工程竣工资料编制要求	40
4.3.3	经验与教训	44
第5章	安全文明施工	46
5.1	安全管理目标	46
5.2	安全生产管理模式	46
5.3	安全生产管理组织机构和管理职责	46
5.3.1	安全生产管理组织机构	46
5.3.2	安全生产管理职责	46
5.4	安全生产制度和施工安全措施	48

5.5	工伤事故的处理	49
5.6	文明施工管理措施	50

第2篇 基础开挖与处理工程

第6章	基础开挖工程	53
6.1	施工项目概况	53
6.1.1	工程地质概况	53
6.1.2	工程施工概况	53
6.2	开挖施工特点	53
6.3	开挖质量要求	55
6.3.1	爆破参数要求	55
6.3.2	爆破振动要求	55
6.4	施工程序	56
6.4.1	土石方开挖工程施工程序	56
6.4.2	左岸一期开挖施工程序	56
6.4.3	左岸二期开挖施工程序	56
6.4.4	右岸三期开挖施工程序	57
6.5	施工方法	57
6.6	主要开挖技术	58
6.6.1	深孔台阶爆破技术	58
6.6.2	排间微差爆破技术	59
6.6.3	孔间微差爆破技术	59
6.6.4	预裂爆破和光面爆破技术	59
6.6.5	建基面保护层开挖爆破技术	62
6.6.6	钢管槽开挖爆破技术	66
6.6.7	安Ⅲ段深井泵坑开挖技术	67
6.6.8	坝基排水洞开挖爆破技术	67
6.6.9	电缆廊道开挖	68
6.6.10	门机轨道混凝土拆除爆破	70
6.7	施工效果与评价	70
6.7.1	开挖质量评价	70
6.7.2	开挖进度评价	71
6.8	经验与教训	72
第7章	基础处理	73
7.1	锚固支护	73
7.1.1	锚固支护的作用	73
7.1.2	锚杆施工	73
7.1.3	锚桩施工	74

7.1.4 预应力锚索施工	74
7.1.5 排水孔施工	77
7.1.6 混凝土喷射施工	78
7.2 地质缺陷处理	79

第3篇 混凝土工程

第8章 混凝土拌和系统设计与运行管理	83
8.1 左岸高程 82.00m 混凝土拌和系统	83
8.2 右岸高程 84.00m 混凝土拌和系统	85
8.2.1 搅拌楼	86
8.2.2 骨料筛分储运子系统	86
8.2.3 胶凝材料储运子系统	88
8.2.4 制冷子系统	88
8.2.5 供气子系统	88
8.2.6 配电子系统	88
8.2.7 控制子系统	88
8.2.8 外加剂车间	89
8.2.9 其他辅助设施	89
8.3 混凝土拌和系统运行管理	89
8.3.1 生产调度控制系统简介	89
8.3.2 运行管理经验与不足	91
8.3.3 管理成果	92
第9章 模板工程	94
9.1 概述	94
9.1.1 模板布置原则	94
9.1.2 模板布置规划	94
9.2 平面模板	94
9.2.1 现立模板	94
9.2.2 全悬臂钢模板	96
9.2.3 钢框胶合板模板	97
9.3 曲面定型模板	98
9.4 孔洞模板	98
9.4.1 竖井模板	99
9.4.2 廊道模板	99
9.5 牛腿模板	100
9.6 尾水门槽二期混凝土滑动模板	100
9.6.1 滑模结构形式选择	100
9.6.2 滑模系统设计	101

9.6.3	滑模制作及安装	102
9.7	尾水边坡混凝土模板	103
9.8	楼面模板	104
9.9	左岸电站厂房尾水肘管模板	106
9.9.1	工程简述	106
9.9.2	模板设计	107
9.9.3	排架制作	108
9.9.4	模板拼装	109
9.9.5	模板安装	110
9.9.6	施工实况	110
9.9.7	经验教训	111
第 10 章	钢筋与止水工程	112
10.1	钢筋工程	112
10.1.1	原材料供货与检验	112
10.1.2	钢筋加工	112
10.1.3	钢筋连接	112
10.1.4	钢筋安装	114
10.2	止水工程	114
10.2.1	止水片进货与检验	115
10.2.2	止水片加工	115
10.2.3	铜止水片安装	116
10.2.4	聚氯乙烯 (PVC) 和橡胶止水 (浆) 片安装	117
10.2.5	止水部位模板安装	118
10.2.6	止水 (浆) 片周围混凝土浇筑	120
10.2.7	止水结构效果检查	120
10.2.8	止水保护与缺陷处理	121
第 11 章	混凝土施工	123
11.1	厂房结构与分层分块	123
11.1.1	厂房结构简述	123
11.1.2	混凝土分层分块	126
11.2	施工机械与道路布置	126
11.2.1	施工机械布置	126
11.2.2	施工道路布置	131
11.3	混凝土施工工艺	131
11.4	大体积结构混凝土施工	132
11.4.1	尾水管混凝土施工	132
11.4.2	封闭块混凝土施工	134
11.4.3	风罩混凝土施工	134
11.5	主厂房墙体清水混凝土施工	134

11.5.1	模板规划	135
11.5.2	施工缝印迹线控制	136
11.5.3	混凝土浇筑工艺	137
11.5.4	经验与教训	137
11.6	尾水门槽二期混凝土施工	138
11.6.1	工程简述	138
11.6.2	混凝土入仓方式研究	138
11.6.3	滑模施工情况	138
11.6.4	经验与教训	140
11.7	上下游副厂房混凝土施工	141
11.8	护坦与边坡混凝土施工	141
11.9	右岸电站厂房大二期坑混凝土施工	142
11.9.1	工程简况	142
11.9.2	施工特点和难点	142
11.9.3	施工进度分析与安排	143
11.9.4	混凝土施工分层分块调整	143
11.9.5	肘管里衬安装	143
11.9.6	二期混凝土施工	143
11.9.7	钢里衬回填灌浆	146
11.10	三期坑混凝土施工	147
11.10.1	工程简述	147
11.10.2	施工工艺流程与浇筑分层	148
11.10.3	施工准备工作	148
11.10.4	混凝土	149
11.11	大型施工机械的应用	149
11.11.1	电站厂房工程特性与施工特点	149
11.11.2	施工设备选型与配置	149
11.11.3	主要施工设备性能	150
第 12 章	蜗壳二期混凝土施工	152
12.1	概述	152
12.1.1	工程概况	152
12.1.2	蜗壳安装	152
12.1.3	弹性垫层施工	153
12.1.4	施工特点和重点	154
12.2	施工方案研究和施工计划制定	154
12.2.1	施工总体布置优化	155
12.2.2	混凝土浇筑过程分析	155
12.2.3	可能出现的问题及对策	156
12.3	混凝土施工	157

12.3.1	钢筋施工	157
12.3.2	模板施工	157
12.3.3	清基与排水	157
12.3.4	混凝土入仓与浇筑	158
12.3.5	回填灌浆	160
12.3.6	混凝土温度控制	162
12.3.7	施工进度控制	165
12.4	蜗壳保温保压系统施工	165
12.4.1	工程简述	165
12.4.2	闷头的安装	166
12.4.3	试压环安装	167
12.4.4	保温设备安装	167
12.4.5	保压设备安装	169
12.4.6	供电设备布置	170
12.4.7	监测装置安装	171
12.4.8	保温保压控制	172
12.4.9	蜗壳排水卸压及设备拆除	175
12.4.10	系统运行效果分析	175
第 13 章	混凝土温控与防裂	178
13.1	基础资料	178
13.1.1	气温、水温与地温	178
13.1.2	混凝土配合比、性能及水化热	179
13.2	温控标准与设计要求	181
13.2.1	分缝、分块、分层	181
13.2.2	设计允许最高温度	181
13.2.3	上下层温差标准	182
13.2.4	封闭块混凝土温控标准	182
13.2.5	冬季表面保温	183
13.2.6	混凝土养护	183
13.3	温控与防裂措施	183
13.3.1	混凝土出机的温度控制	183
13.3.2	降低混凝土入仓温度和浇筑温度	183
13.3.3	优化配合比,降低水化热温升和混凝土最高温度	184
13.3.4	通水冷却	184
13.3.5	综合管理措施	185
13.3.6	混凝土表面保温	186
13.4	温控效果统计分析	187
13.4.1	混凝土出机口温度	187
13.4.2	混凝土入仓温度及浇筑温度	189
13.4.3	混凝土最高温度监测与分析	191

13.4.4	通水冷却效果分析	195
13.4.5	保温效果检测分析	199
13.4.6	间歇期控制	200
13.5	混凝土防裂效果	200
13.5.1	裂缝分类标准	200
13.5.2	裂缝统计分析	200
13.5.3	1999 年大规模仓面裂缝成因分析	200
第 14 章	工程质量检查处理	209
14.1	质量检查	209
14.1.1	日常检查	209
14.1.2	阶段性集中检查	209
14.1.3	疑似问题快速检查	209
14.2	质量问题与处理	210
14.2.1	质量问题分类	210
14.2.2	表面质量问题成因分析及处理	210
14.2.3	裂缝处理	214
14.2.4	钢衬脱空处理	216
14.2.5	结构缝渗漏处理	217
14.2.6	左厂高程 24.00m 廊道渗水处理	218
第 15 章	混凝土试验与质量控制	220
15.1	概述	220
15.2	水泥	221
15.2.1	主要水泥供应厂家	221
15.2.2	水泥特性	222
15.2.3	水泥熟料化学成分及矿物组成	223
15.2.4	水泥取样与品质检验	223
15.3	粉煤灰	225
15.3.1	主要粉煤灰供应厂家	225
15.3.2	粉煤灰的品质指标	225
15.3.3	粉煤灰取样与品质检验	226
15.3.4	I 级粉煤灰对混凝土性能及水泥水化热的影响	228
15.4	砂石骨料	229
15.4.1	概况	229
15.4.2	质量要求	230
15.4.3	花岗岩人工骨料特点	231
15.4.4	骨料品质检验	231
15.5	混凝土外加剂	233
15.5.1	技术要求	233
15.5.2	外加剂的选择	234