

“十二五”国家重点图书出版规划项目



国家电网
STATE GRID

青藏电力联网工程

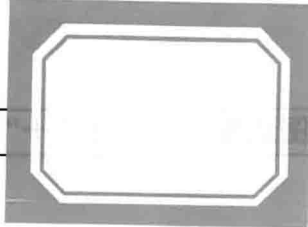


柴达木—拉萨±400kV直流输电工程调试与试运行

国家电网公司◎组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



书出版规划项目

青藏电力联网工程

专业卷

柴达木—拉萨±400kV直流输电工程调试与试运行

国家电网公司◎组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

《青藏电力联网工程》共有 2 卷 12 册,其中:综合卷 3 册,分别为《柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程》、《西宁—柴达木 750kV 输变电工程》、《西藏中部 220kV 电网工程》;专业卷 9 册,分别为《柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程前期论证与工程设计》、《柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程建设》、《柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程科技攻关》、《柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程调试与试运行》、《柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程环境保护·医疗保障·物资供应》、《柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程风采纪实》、《西宁—柴达木 750kV 输变电工程设计》、《西宁—柴达木 750kV 输变电工程建设》、《西藏中部 220kV 电网工程建设》。本书是国家电网公司对青藏电力联网工程建设情况的全面回顾与总结,规模超过 400 万字,通过系统、翔实的记录,全面反映了工程建设全过程及其建设特点。

本册为《柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程调试与试运行》,共 16 章,具体内容包:工程调试概况、工程调试组织体系的建立和实施、联调试验、设备调试、分系统调试、站系统调试、系统调试、技术成果与创新、工程概况及生产运维特点、生产运行准备、生产运行验收、试运行运维管理、调度运行管理、生产运维医疗保障建设、新技术应用、生产试运行成果与成效。

本书可供我国输变电工程相关科研设计单位、大专院校、咨询单位和设备制造厂家的工程技术人员及管理人员使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

青藏电力联网工程. 专业卷. 柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程调试与试运行/国家电网公司组编. —北京:中国电力出版社, 2012. 6

ISBN 978 - 7 - 5123 - 3197 - 6

I. ①青… II. ①国… III. ①直流—输电线路—调试方法—青海省②直流—输电线路—调试方法—西藏③直流—输电线路—电力系统运行—青海省④直流—输电线路—电力系统运行—西藏 IV. ①TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 132186 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 8 月第一版 2012 年 8 月北京第一次印刷

710 毫米 $\times$ 980 毫米 16 开本 32.75 印张 504 千字

定价 100.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

《青藏电力联网工程》

一、编写委员会

主任委员 刘振亚

副主任委员 郑宝森 陈月明 杨 庆 舒印彪 曹志安

栾 军 李汝革 潘晓军 王 敏 帅军庆

编 委 张丽英 孙佩京 张文亮 杜至刚 孙 昕

陈 峰 王中兴 王风华 喻新强 张启平

韩 君 费圣英 吴玉生 李庆林 王颖杰

许世辉 王相勤 李文毅 孙金平 任 寰

余卫国 伍 莹 赵庆波 李荣华 尹昌新

邓永辉 苏胜新 孙吉昌 王益民 丁广鑫

刘泽洪 李向荣 陈晓林 张春城 李 凯

辛绪武 邓建利 刘广迎 杜宝增 贾福清

陈栋才 刘 光 殷 琼 胡贵福 张智刚

崔吉峰 张 晶 丁永福 丁 扬 王宏志

刘克俭 蓝 海 高理迎 刘建明 郭剑波

刘开俊 石玉东 梁旭明 王海啸

二、编写工作组

组	长	喻新强				
副	组	长	刘泽洪	丁广鑫	王宏志	刘克俭
			刘开俊	丁永福		丁 扬
成	员	蓝 海	叶廷路	马士林	文卫兵	全生明
		张 韧	赵宏伟	张金德	郑福生	李士良
		王 成	丁燕生	薛更新	王 强	宋 芑

三、顾问专家组

组	长	周小谦	刘本粹			
成	员	曾南超	宿志一	郑怀清	李宝金	陆家榆
		吴巾克	李勇伟	王国尚	弋长青	冯玉昌
		宋玉东	黄显昌	陈慧芳		

四、本册编写工作组

组	长	喻新强				
副	组	长	丁永福	全生明	张 韧	文卫兵
成	员	赵临云	齐立忠	张新盟	杜彦明	严福章
		杨万开	杨明彬	朱 泽	王文学	范克强
		陈立斌	朱岸明	李 鹏	杨志伟	郭 军
		于明国	朱任翔	王绍炜	许德操	祁正吉
		李晓明	黄 霞	张作峰	白文峰	董晓红
		李 青				

五、本册责任编辑

王 晶 岳 璐

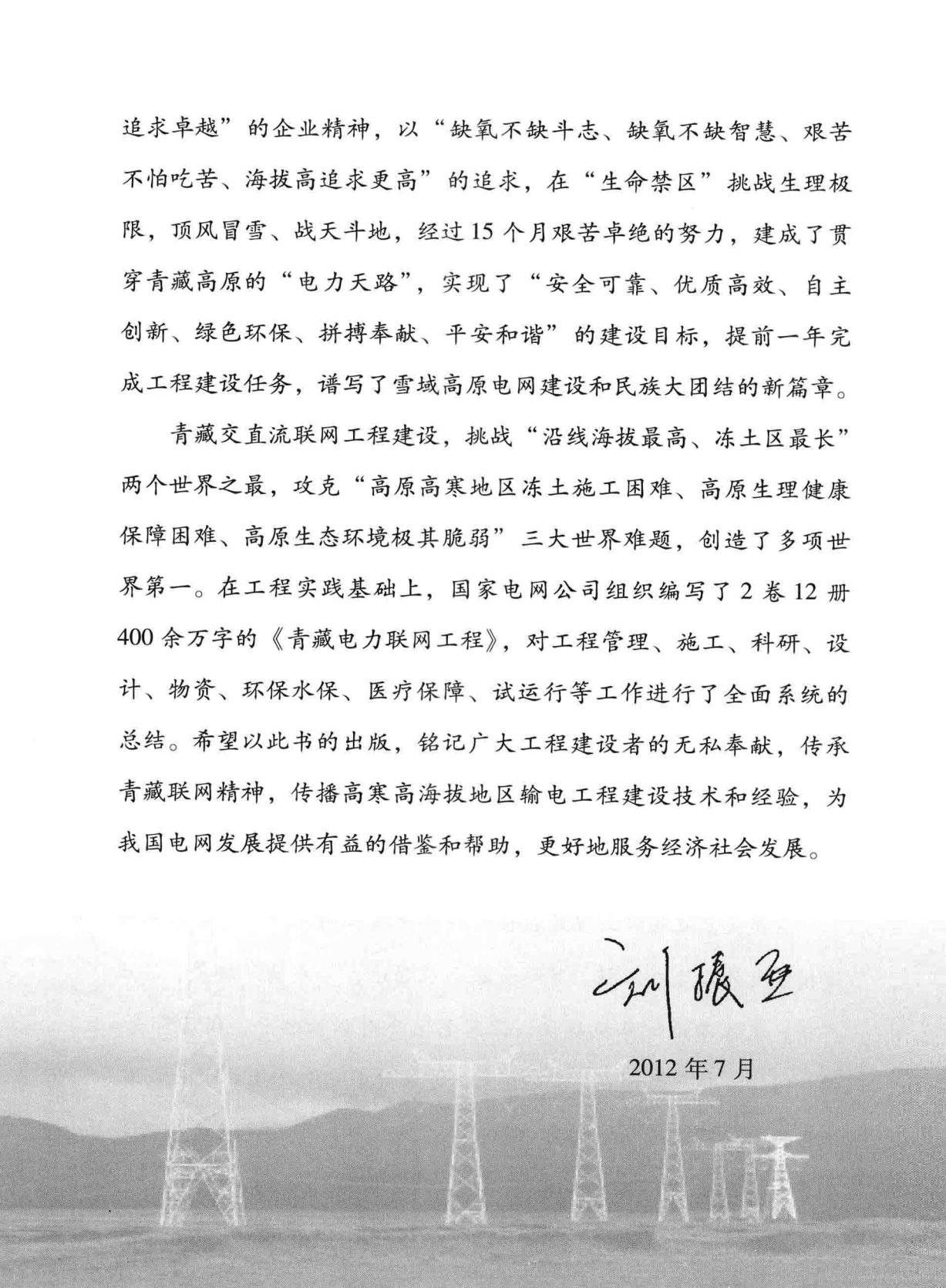
序

“电力天路”——青藏交直流联网工程是国家电网公司贯彻科学发展观，落实中央第五次西藏工作座谈会精神，促进西部大开发，造福青藏各族人民的民生工程、惠民工程和光明工程。党中央、国务院高度重视，温家宝、贾庆林、李克强等中央领导同志多次作出重要批示，提出明确要求，充分肯定成绩。该工程由西宁—柴达木750kV输变电工程、柴达木—拉萨 ± 400 kV直流输电工程和西藏中部220kV电网工程组成，全长2530km，总投资162.86亿元。工程的建成投运，彻底改变了西藏电网长期孤网运行的历史，根本解决了制约西藏社会经济发展的缺电问题，实现了除台湾外全国电网互联，对于西藏电网建设和青藏经济社会发展、对于全国联网格局形成都具有重要的里程碑意义。

青藏交直流联网工程是在世界最高海拔和高寒地区建设的迄今规模最大的输变电工程，穿越青藏高原腹地，沿线高寒缺氧、冻土广布，工程建设极具挑战性。国家电网公司加强领导、周密部署、精心组织，联合各方力量攻坚克难，建立健全安全质量、环保水保、工程技术、医疗后勤等九大保障体系。3万多名工程建设者怀着对青藏人民群众的深厚感情和高度的政治责任感，发扬“努力超越，

追求卓越”的企业精神，以“缺氧不缺斗志、缺氧不缺智慧、艰苦不怕吃苦、海拔高追求更高”的追求，在“生命禁区”挑战生理极限，顶风冒雪、战天斗地，经过15个月艰苦卓绝的努力，建成了贯穿青藏高原的“电力天路”，实现了“安全可靠、优质高效、自主创新、绿色环保、拼搏奉献、平安和谐”的建设目标，提前一年完成工程建设任务，谱写了雪域高原电网建设和民族大团结的新篇章。

青藏交直流联网工程建设，挑战“沿线海拔最高、冻土区最长”两个世界之最，攻克“高原高寒地区冻土施工困难、高原生理健康保障困难、高原生态环境极其脆弱”三大世界难题，创造了多项世界第一。在工程实践基础上，国家电网公司组织编写了2卷12册400余万字的《青藏电力联网工程》，对工程管理、施工、科研、设计、物资、环保水保、医疗保障、试运行等工作进行了全面系统的总结。希望以此书的出版，铭记广大工程建设者的无私奉献，传承青藏联网精神，传播高寒高海拔地区输电工程建设技术和经验，为我国电网发展提供有益的借鉴和帮助，更好地服务经济社会发展。



刘振亚

2012年7月

前言

青藏交直流联网工程的建设，结束了西藏电网孤网运行的历史，从根本上解决了西藏缺电问题，进一步优化了青海能源资源配置，对支撑青海柴达木循环经济试验区快速发展，提升西部地区能源优化配置水平，促进青海、西藏经济社会和谐发展具有重要的现实意义和深远的战略意义。

柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程起于青海柴达木换流变电站，落于西藏拉萨换流站，输电距离 1038km ，工程本期双极输送容量为 600MW ，终期双极输送容量 1200MW ，调试阶段最大输送功率 300MW 。工程竣工后，全体参建者认真细致、一丝不苟地完成了全部试验、调试工作，全系统一次带电全部正常，成功投入试运行。

工程调试是柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程建设阶段的最后环节，关系到工程能否顺利安全投入试运行和长周期安全稳定运行，以早日将电力输送到西藏地区，解决制约西藏经济发展和人民生活改善的缺电问题。在工程调试期间，面对青藏高原恶劣的调试环境，国家电网公司领导亲临现场指导调试工作，调试工作人员抗缺氧、战严寒、攻难关，昼夜奋战，保证了工程如期保质保量投入试运行。参加调试的建设者以实际行动诠释了“缺氧不缺斗志、缺氧不缺智慧、艰苦不怕吃苦、海拔高追求更高”的青藏交直流联网工程精神。

柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程采用先进的国产化控制保护系

统，工程调试是对国产设备及其系统集成性能的全面考核和检验。按照国家电网公司统一部署，在青藏交直流联网工程建设总指挥部具体组织协调下，针对藏中电网“大直流、小系统、弱受端”特点，通过分析研究，提出了工程调试期间的系统安全稳定措施，优化藏中 220kV 电网和直流系统运行方式。西北电力调控分中心、青海、西藏两省区电力公司落实各项安全保障措施，提出了调试期间的应急预案，确保调试期间的系统安全稳定。通过中国电力科学研究院等各参试单位的团结协作和共同努力，顺利完成了青藏直流联网工程调试。

柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程调试创造了国内直流工程系统调试的多个首次：首次在最高海拔现场进行变压器局部放电试验，首次依靠国内技术力量完成最高海拔直流工程调试，首次在最高海拔的高原开展直流线路参数测试，并提出了藏中电网稳定控制策略，解决了大型直流弱受端系统电压稳定问题等。通过柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程调试的组织管理，技术准备，工程系统计算分析，调试方案编制，现场工程调试，工程调试总结，编写调试技术报告等，总结出了一整套在高海拔地区进行直流工程调试的宝贵经验，并培养出一支德才兼备、不怕吃苦、能够在高原地区连续作战的调试队伍。

2011 年 12 月 9 日，经过全体工程建设、调试及生产运维人员的共同努力，柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程一次带电成功，并顺利进入试运行。这是我国输电工程建设的一个重要里程碑，标志着我国大容量直流输电工程在工程调试方面的自主创新取得了重大成功。对于今后在高原地区独立自主开展大型直流输电工程的系统调试工作，具有典型示范作用。

柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程是世界上海拔最高的直流输电工程。高海拔地区直流输变电运行技术在国内没有先例可循，国际上也没有直接的经验可供借鉴。工程地处青藏高原，输变电设备运行环境恶劣、生产运行难度大、高海拔直流输电运维经验匮乏、联网系统稳定控制要求高，极具创新性和挑战性。

为了确保柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程试运行安全稳定，国家电网公司按照集团化运作的总体工作要求，结合工程实际情况，统筹公司内外资源，从生产准备工作启动到验收保障体系建立，从运维人员培训措施落实到高海拔直流输变电运行技术研究，从规程制度体系完善到运维管理模式研究建立，从备品备件、应急物质储备到应急管控程序演练细化等方面开展了一系列行之有效的生产准备、生产运行验收、试运行管理工作，形成生产试运行全过程、全方位的管理体系。

在国家电网公司的领导下，青海、西藏两省区电力公司结合实际，充分借鉴国网系统内直流运维经验，细化工作要求，构建了完善的工程生产试运行的运维工作机制。工程建设中，就选派运维人员参与施工安装，尽早了解设备性能，还通过外出调研、理论培训、跟班实习等方式开展运维人员技能培训，落实线路“逐基登塔、逐档走线”，换流站“逐个元件检查、逐条回路检查、逐个逻辑验证”验收措施，建立“五位一体”验收体系，积极开展新技术研究，为高质量、高水平、高效益地完成柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程生产试运行打下了良好基础。

在做精做细试运行期间的生产管理、准备、调度、验收等常态化工作基础上，国家电网公司还为克服青藏高原恶劣气候环境和自然疫源性疾

对人体的危害，建立生产运维医疗卫生保障体系，为运维人员创造了适宜的工作和生活环境，使生产运维人员的身体健康和生命安全得到充分保障，保证了工程试运行维护工作的顺利开展。

为破解工程生产试运行期间面临的地区高寒缺氧，风沙大，紫外线照射强烈，冻土地质复杂，设备运行环境极其恶劣的运维难题。国家电网公司开展了工程运行控制技术联合仿真、多年冻土基础稳定性监测预警等一系列运维技术研究，并且采取了一系列运维管理措施有力地保障了工程顺利投运和安全稳定运行。

在全体参建者的共同努力下，工程试运行期间未发生因为设备故障、电压稳定影响系统正常运行的问题，设备运行情况稳定，未发生一般及以上人员、设备、电网事故。

2011年11月28日，青藏交直流联网工程建设总指挥部在北京组织召开联网工程建设后续工作协调会，正式启动了《青藏电力联网工程》编写工作。其中，《柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程调试与试运行》的编写由国家电网公司生产技术部、中国电力科学技术研究院牵头组织，并分别承担了生产试运行部分、实验调试部分的编写任务。

同年12月，国家电网公司生产技术部、中国电力科学技术研究院分别组建了编写班子，依据编写大纲及职责分工启动了编写工作。特别是在青藏交直流联网工程建设总指挥部于2012年2月底在北京组织丛书集中编写后，在确保质量的前提下，加快了成书进度。

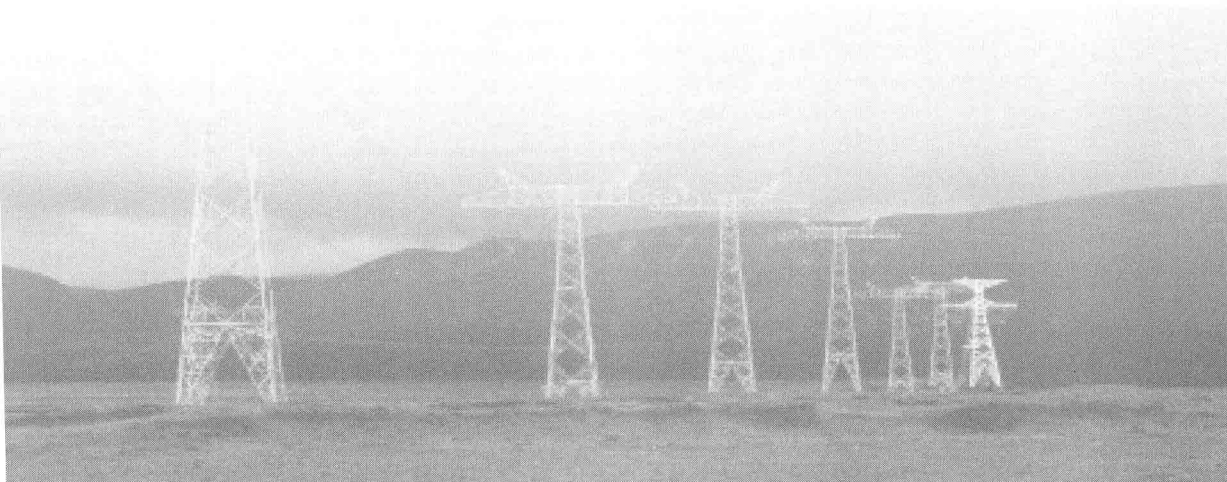
生产试运行部分，由青海省电力公司、西藏电力有限公司、国家电网西北电力调控分中心协助编写；实验调试部分，由北京网联直流工程技

术有限公司、四川电力科学研究院、陕西电力科学研究院、青海电力科学研究院、湖北送变电工程公司、黑龙江送变电工程公司等协助编写。

《柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程调试与试运行》是对直流工程试验、调试与试运行工作的专题总结，结合工程特点，有针对性地阐述了柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程试验阶段、调试阶段与试运行阶段的各项主要工作。在《柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程调试与试运行》分册的资料收集和组织编写过程中，为工程做出巨大贡献的各方面领导和有关人员满怀激情地投入本书的编写，是全体建设者心血和智慧的结晶。通过全面认真总结青藏直流工程试验调试及生产试运行工作，可以让关心和支持本工程建设的人们更加全面地了解青藏直流工程，同时，希望能为后续电网工程试验调试及生产运行工作提供有益的经验。由于编写时间仓促，作者水平有限，疏漏和错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2012 年 7 月



目 录

序
前言

第一章 工程调试概况 / 1

- 第一节 工程调试的作用 / 3
- 第二节 直流工程调试内容 / 6

第二章 工程调试组织体系的建立和实施 / 9

- 第一节 组织机构 / 11
- 第二节 组织管理的实施 / 14

第三章 联调试验 / 17

- 第一节 联调试验简述 / 19
- 第二节 组织管理 / 21
- 第三节 方案编制与审查 / 22
- 第四节 试验项目 / 23
- 第五节 主要技术问题分析 / 28
- 第六节 联调试验成果 / 33

第四章 设备调试 / 39

- 第一节 设备调试项目 / 41
- 第二节 设备调试特殊试验分析 / 49

第五章 分系统调试 / 85

- 第一节 分系统调试项目和目的 / 87
- 第二节 主要分系统试验分析 / 92
- 第三节 分系统调试结果 / 101

第六章 站系统调试 / 103

- 第一节 柴达木换流变电站站系统调试计算分析 / 105
- 第二节 拉萨换流站站系统调试计算分析 / 113
- 第三节 柴达木换流变电站站系统调试 / 126
- 第四节 拉萨换流站站系统调试 / 140
- 第五节 拉萨换流站电压无功特性及 SVC 控制策略检查测试 / 166
- 第六节 站系统调试结果 / 169

第七章 系统调试 / 171

- 第一节 系统调试应具备的条件和准备工作 / 173
- 第二节 系统调试计算分析 / 175
- 第三节 端对端系统调试 / 203
- 第四节 极 I 系统调试 / 208
- 第五节 极 II 系统调试 / 215
- 第六节 双极系统调试 / 220
- 第七节 系统调试重要试验 / 225

第八节 系统调试单项测试 / 233

第九节 主要技术问题分析 / 257

第十节 系统调试结果 / 279

第八章 技术成果与创新 / 283

第一节 技术成果 / 285

第二节 技术创新 / 294

第九章 工程概况及生产运维特点 / 297

第一节 工程概况 / 299

第二节 生产运行特点 / 311

第十章 生产运行准备 / 317

第一节 生产准备组织管理 / 319

第二节 管理制度及技术标准建设 / 323

第三节 生产人员培训 / 325

第四节 生产技术支持 / 330

第五节 运维单位全方位介入工程 / 333

第十一章 生产运行验收 / 339

第一节 验收组织机构 / 341

第二节 工程验收 / 343

第十二章 试运行运维管理 / 349

第一节 试运行运维管理模式 / 351

- 第二节 安全管理 / 356
- 第三节 运维管理 / 358
- 第四节 设备管理台账 / 371
- 第五节 检修管理 / 374
- 第六节 冻土监测管理 / 377
- 第七节 应急管理 / 381
- 第八节 备品备件管理 / 386

第十三章 调度运行管理 / 391

- 第一节 调度管理模式 / 393
- 第二节 调度安全内控机制 / 394
- 第三节 调度系统专业管理 / 396

第十四章 生产运维医疗保障建设 / 405

- 第一节 保障体系建设原则 / 407
- 第二节 保障体系建设 / 408
- 第三节 高原疾病防治及健康保护 / 412
- 第四节 医疗保障措施 / 416

第十五章 新技术应用 / 421

- 第一节 运维管理新技术应用 / 423
- 第二节 运行维护新工艺运用 / 425

第十六章 生产试运行成果与成效 / 431

- 第一节 生产试运行成果 / 433
- 第二节 生产试运行成效 / 435

附录 A 重要文件 / 444

附录 B 附图 / 459

参考文献 / 500