

“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直流输电工程前期论证与工程设计

国家电网公司◎组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

“十二五”国家重点图书出版规划项目

青藏电力联网工程

专业卷

柴达木—拉萨±400kV直流输电工程前期论证与工程设计

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 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程前期论证与工程设计》,共15章,具体内容包括:研究过程与决策、联网工程建设的必要性、输电规模与联网方式、换流站接入电网方案、系统二次方案、系统专题研究与技术创新、环境影响评价与水土保持方案、设计管理模式及分工、设计方案及设计难点、直流系统成套设计、换流站工程设计、直流线路工程设计、接地极及接地极线路设计、通信工程设计、工程设计成果及创新。

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 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程前期论证与工程设计/国家电网公司组编. —北京:中国电力出版社,2012.6

ISBN 978-7-5123-3187-7

I. ①青… II. ①国… III. ①直流—输电线路—电力工程—建设—青海省②直流—输电线路—电力工程—建设—西藏 IV. ①TM7

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第136599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 25.75印张 393千字 1插页

定价 80.00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	吴安平	孟 轩
		严福章	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	刘 涛
		郑 荡	王海林	穆华宁	张小力	胡 晓
		薛永兴	葛秦岭	王红宣	孙菊海	王 勇

张道维 张 飞 李龙才 胡志义 佟宇梁
白文峰 董晓红

五、本册责任编辑

罗翠兰 易 攀

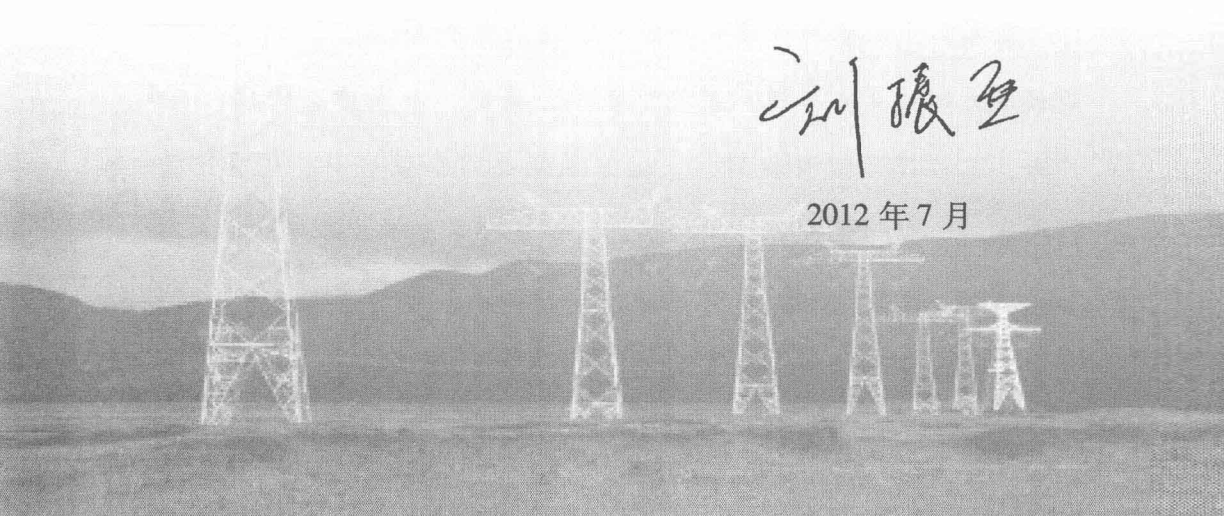
序

“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是加快青海、西藏两省区经济社会发展的迫切需要。随着青藏两省区社会经济的快速、持续增长，充足、可靠的电力供应变得越来越必不可少。在青藏交直流联网工程投运前，由于特殊的地理特点，长期孤网运行的西藏电网一直难以达到令人满意的运行状态：以水电为主的西藏电网存在丰水期水电出力大而用电负荷小、枯水期水电出力小但用电负荷大的季节性缺电矛盾；单个电站装机容量占电网负荷比重过大的问题长期存在；电网结构薄弱，供电可靠性低等。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，提高了西藏电网的可靠性，从根本上破解了西藏缺电的“瓶颈”，助推了青藏两省区经济社会的可持续发展。

柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电线路自北向南蜿蜒 1038km，纵贯青藏高原。工程设计必须解决“大直流、小系统、弱受端”的问题，必须攻克海拔高、紫外线强、昼夜温差大、冻土分布广泛、地质条件复杂、生态环境脆弱、沙尘天气频发、地基承载力差等与环境因素密切相关的关键课题。通过研究，柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程在国内首次采用单极 2 个 12 脉动阀组并联的接线方案，兼顾了西藏电网负荷小的现状和未来负荷增加的动态需求。设计人员结合科学试验和工程专题研究，确定了换流变电站设备和输电线路的绝缘水平，解决了世界上最高海拔交直流输电工

程的绝缘设计难题。2008 年，数百名设计人员在没有“生命医疗保障体系”的情况下，依靠简单的户外装备、临时的救护措施，勇闯生命禁区，与高寒缺氧和高原疾病斗争。经过两个多月的艰苦工作，完成了直流线路地质勘察、冻土取样和线路定位工作，为冻土科研和工程设计奠定了坚实基础。穿越 550km 多年冻土区的直流线路杆塔基础设计是工程设计的关键，冻土运动产生的冻胀、融沉、流变移位和差异性变形是威胁杆塔基础安全的主要问题。与青藏铁路工程在空间上呈现“连续条状”分布、冻土主要承担下压荷载、施工形式主要是回填与堆积、允许基础渐进变形的特点不同，柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程直流输电线路在空间上呈现“串联点状”分布、冻土主要承担上拔荷载、线路只能开挖施工、基础只允许同塔位整体变形。较之于青藏铁路工程，柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程对冻土的处理方式既有相通之处，也有特殊之处。设计人员勘察并掌握了直流线路沿线冻土的分布规律，研究了冻土的塔基力学特性指标，设计了锥柱基础、灌注桩基础、预制装配式基础、掏挖式基础等适应不同地质条件的不同类型的冻土基础。并遵循“主动降温”的设计原则，减少传入地基土的热量，保证了多年冻土的热稳定性。青藏高原生态环境非常脆弱，环境恢复异常困难。柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程首次开展了环保施工图设计，满足了精细化设计的要求。环保施工图的全面实施，最大程度地保护了雪域高原的脆弱环境。换流站设计中还充分体现了节能降耗、环境和谐和人文关怀理念，经济效益和社会效益显著。

设计是工程建设的龙头和灵魂，科学、优秀的设计是建设优质工程的基本保证。一系列先进的技术手段已成功应用于工程设计，如采用海拉瓦

技术进行线路选线、采用空间超静定有限元软件设计线路杆塔、通过大比例冻融循环试验判定多年冻土特性、通过真型试验验证设计的正确性、应用三维数字化技术设计换流变电站、利用专业噪声软件评估换流站的声环境、在电网工程中首次采用振冲碎石桩进行沙地上的地基处理等。新技术、新手段的成功应用，提高了设计效率和精度，保障了设计质量。

《柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程前期论证与工程设计》由青藏交直流联网工程建设总指挥部、国家电网公司直流建设部牵头于 2012 年 1 月正式启动编写。它包含前期论证、工程设计两部分内容。前期论证部分由西南电力设计院牵头，西北电力设计院、中国电力科学研究院、北京网联直流工程技术有限公司等协助共同编写完成；工程设计部分由中国电力工程顾问集团公司牵头，西北电力设计院、西南电力设计院、北京网联直流工程技术有限公司、中南电力设计院、青海省电力设计院、陕西省电力设计院等协助共同编写完成。

《柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程前期论证与工程设计》是对青藏交直流联网工程系统研究与工程设计的技术总结，它记录了青藏交直流联网工程系统研究和工程设计各阶段的主要技术成果，是设计及相关科研人员心血和智慧的结晶，是编者与读者之间的交流之窗，也期冀其能够为后续电网工程设计工作提供有益的借鉴和帮助。

由于编写时间仓促，作者水平有限，书中疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者
2012 年 7 月



目 录

序 前 言

第一章 研究过程与决策 / 1

- 第一节 研究思路 / 3
- 第二节 研究过程及成果 / 4
- 第三节 工程项目决策 / 8

第二章 联网工程建设的必要性 / 11

- 第一节 藏中电网概况及存在的问题 / 13
- 第二节 西北电网概况及外送优势 / 16
- 第三节 联网工程的意义和作用 / 19

第三章 输电规模与联网方式 / 23

- 第一节 输电规模研究 / 25
- 第二节 联网方式及联网电压 / 27
- 第三节 导线截面选择 / 30

第四章 换流站接入电网方案 / 33

- 第一节 送端换流站接入电网方案 / 35

第二节 受端换流站接入电网方案 / 37

第五章 系统二次方案 / 41

第一节 安全自动装置方案 / 43

第二节 光纤通信方案 / 48

第三节 换流站系统二次方案 / 52

第六章 系统专题研究与技术创新 / 55

第一节 安全稳定研究 / 57

第二节 无功补偿研究 / 64

第三节 系统技术升级和创新成果 / 67

第七章 环境影响评价与水土保持方案 / 71

第一节 保护措施制订 / 73

第二节 环境影响评价 / 75

第三节 水土保持方案评价 / 76

第八章 设计管理模式及分工 / 77

第一节 指导思想 / 79

第二节 组织管理 / 79

第三节 过程管理 / 81

第四节 质量管理 / 85

第九章 设计方案及设计难点 / 89

第一节 设计方案 / 91

第二节 设计难点 / 97

第十章 直流系统成套设计 / 103

第一节 直流场并联接线方案 / 105

第二节 主回路参数 / 105

第三节 过电压与绝缘配合 / 113

第四节 污秽及外绝缘 / 119

第五节 无功补偿和控制 / 123

第六节 滤波器设计 / 127

第七节 控制保护 / 130

第八节 直流主设备 / 134

第九节 直流系统可靠性 / 140

第十一章 换流站工程设计 / 141

第一节 站址概况及条件 / 143

第二节 电气主接线 / 147

第三节 电气设备选型 / 152

第四节 导体与金具选择 / 168

第五节 配电装置与平面布置 / 171

第六节 阀厅设计 / 182

第七节 防雷与接地 / 201

第八节 站用电 / 203

第九节 二次系统 / 205

第十节 水工与消防 / 221

第十一节 空调与通风 / 224

第十二节 土建设计 / 228

第十三节 电磁环境与噪声控制 / 243

第十四节 大件设备运输 / 248

第十二章 直流线路工程设计 / 253

第一节 线路路径 / 255

第二节 气象条件 / 259

第三节 导线与地线 / 265

第四节 绝缘配合 / 270

第五节 防雷与接地 / 283

第六节 绝缘子串与金具 / 286

第七节 导线对地和交叉跨越距离 / 292

第八节 杆塔与基础 / 296

第九节 对电信设施和油气管线的影响及防护 / 319

第十三章 接地极及接地极线路设计 / 321

第一节 柴达木换流变电站接地极 / 323

第二节 柴达木换流变电站接地极线路设计 / 327

第三节 拉萨换流站接地极 / 331

第四节 拉萨换流站接地极线路设计 / 335

第十四章 通信工程设计 / 339

第一节 光纤通信工程概况及作用 / 341

第二节 光纤通信设计 / 342

第十五章 工程设计成果及创新 / 355

第一节 工程设计成果 / 357

第二节 工程设计创新 / 357

大事记 / 379

附录 重要文件 / 387

参考文献 / 389

CONTENTS

Preface

Foreword

Chapter 1 Research process and decision-making / 1

Section 1 Train of thought in research / 3

Section 2 Research process and achievement / 4

Section 3 Decision-making in project / 8

Chapter 2 Necessity of interconnection project construction / 11

Section 1 Overview and inherent problems of the Middle-Tibet power grid / 13

Section 2 Overview and delivery advantage of North-West power grid / 16

Section 3 Meaning and role of interconnection project / 19

Chapter 3 Transmission scale and interconnection pattern / 23

Section 1 Research on transmission scale / 25

Section 2 Interconnection pattern and its voltage / 27

Section 3 Choice of conductor section area / 30