

“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

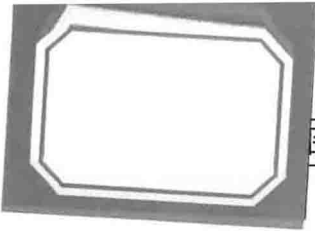


柴达木—拉萨±400kV直流输电工程

国家电网公司◎组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



图书出版规划项目

青藏电力联网工程

综合卷

柴达木—拉萨±400kV直流输电工程

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》, 共 13 章, 具体内容包括: 综述、前期论证与决策、工程设计、工程管理、工程施工、科技攻关、环境保护、医疗卫生保障、投资控制、物资供应、调试与试验、生产试运行和精神文明建设。

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. 综合卷. 柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程/国家电网公司组编. —北京: 中国电力出版社, 2012. 6
ISBN 978 - 7 - 5123 - 3198 - 3

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 132216 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>)

北京盛通印刷股份有限公司印刷

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 38.125 印张 589 千字 1 插页

定价 220.00 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 萱 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	严福章	李振凯
		易建山	杨 果	王 劲	黄 杰	朱 泽
		陈立斌	王文学	范克强	张志良	郭 军
		朱岸明	吕洪林	李 鹏	朱任翔	杨志栋
		王树潭	于明国	杨志伟	李 桅	王绍炜
		许德操	祁正吉	刘 刚	高学彬	吴安平

孟 轩	郎鹏越	杨万开	赵录兴	张振欣
戴雪峰	张 昉	张修阳	刘 涛	郑 荡
王海林	李宝金	穆华宁	张小力	胡 晓
周 刚	薛永兴	刘宝宏	张 飞	丁晓飞
胡志义	郑树海	谭启斌	李 昱	阮 峰
陆泓昶	李伟华	李志坚	杨明彬	李晓明
黄 霞	张作峰	白文峰	董晓红	黄宗君

五、本册责任编辑

丁 雁 张 亮 王春娟 薛 红 闫姣姣

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是落实中央第五次西藏工作座谈会精神，实施西部大开发战略的 23 项重点工程之一，是国家电网公司“十二五”规划的重点项目，也是国家电网公司全面贯彻落实科学发展观的标志性工程。这条迄今为止世界海拔最高、高寒地区建设规模最大、穿越多年冻土最长、施工难题最多的输变电工程，受到了中央等各级领导的高度关注。中共中央政治局常委、国务院副总理李克强指示，要“确保把这项民心工程建设好、管理好，早日发挥效益”；国家电网公司总经理、党组书记刘振亚也对工程提出“只许成功、务期必成”的要求。

2006 年，青藏交直流联网工程开始可行性研究；2008 年 4 月，国家发展和改革委员会批准开展前期工作；2010 年 6 月，国家发展和改革委员会正式核准；2010 年 7 月，由国务院批准开工建设。工程主要包括西宁—柴达木 750kV 输变电工程、柴达木^①—拉萨 ± 400 kV 直流输电工程和西藏中部 220kV 电网工程 3 部分。工程总投资 162.86 亿元。2010 年 7 月 29 日，工程在青海格尔木、西藏拉萨正式开工建设；2011 年 12 月 9 日，投入试运行，提前一年完成了工程建设任务，为青海、西藏两省区社会经济发展提供可靠的电力保证。

① 工程前期、设计、施工阶段，青藏直流工程起始点称为格尔木换流站，与柴达木 750kV 变电站合建。后在调试、试运行阶段，统一改称为柴达木换流变电站。为读者阅读方便，本书中统一称为柴达木换流变电站。

青藏交直流联网工程，实现了除台湾以外的全国联网，彻底结束了西藏电网长期孤网运行的历史，消除了影响人民生活 and 制约西藏跨越式发展的缺电瓶颈，同时对青海柴达木循环经济试验区的发展和 国家新能源基地建设起到积极的推动作用。工程在“十二五”开局之年建成，对中国社会经济发展、人民生活水平提高、边疆地区繁荣稳定和实现“十二五”电力发展规划，具有重要的现实意义和深远的战略意义，标志着中国电力工业在电网规划、科研设计、设备制造、施工管理、生产运行和生态保护等方面达到了世界领先水平，是国家电网公司建设世界一流电网、国际一流企业战略的成功实践。

在为期一年半的工程建设中，200 多家参建单位和 3 万多名建设者以强烈的责任感、火热的激情和无私的奉献，凝聚成“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”的青藏联网精神。这种精神是一笔宝贵的财富，丰富了国家电网公司“努力超越，追求卓越”的精神内涵，成为激励电网人勇攀高峰的精神文化。

工程建设攻克了“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，创造了高原高海拔地区电网建设前所未有的工程奇迹。国家电网公司在工程前期论证和决策阶段，对工程输电方式、电压等级、换流站规模和线路路径等进行了多方案比选，确定了安全、经济、可靠并重的建设方案。从 2007 年 5 月起，组织科研设计单位进行实地考察和踏勘，开展调研、试验和科学论证，建立健全整个工程重大科研框架体系，依托工程开展的交直流系统特征、高海拔绝缘修正、冻土基础和生命保障等 15 项关键技术研究，取得了重大科技创新成

果，填补了世界高海拔地区输变电工程建设的空白，为工程建设攻克“三大世界难题”奠定了坚实的科技、理论基础。

青藏交直流联网工程建设得到了青海省委、省政府和西藏自治区党委、自治区政府的大力支持，两省区政府分别与国家电网公司联合成立了工程建设领导小组，建立了高效解决施工建设重大问题的有效机制，为工程建设创造了良好的外部环境。国家电网公司党组充分考虑到工程建设的特殊性、艰巨性和复杂性，设立青藏交直流联网工程建设总指挥部，按照“目标一致、关口前移、扁平管理、高效精干”的原则，统筹协调、靠前指挥，充分发挥集团化运作的优势，成为行之有效、坚强有力的工程建设管控平台。以建设世界最高海拔输变电精品工程为目标，以施工组织、工程技术、物资供应、安全质量、信息通信、新闻宣传、医疗后勤、环保水保、维护稳定九大保障体系为抓手，积极履行建设管理主体责任，强化建设策划和过程管控，加强现场管理协调，促进了建设资源的科学合理配置，实现了工程建设全过程的精益化管理。

按照国家电网公司建设“安全可靠、优质高效、自主创新、绿色环保、拼搏奉献、平安和谐”具有世界领先水平的高原输变电精品工程的战略部署，青藏交直流联网工程建设总指挥部在工程建设之初，坚持高起点、高标准和高质量的建设原则，提出建设世界高原输变电精品工程的宏伟目标，争创“国家优质工程金奖”、“中华环境奖”和“国家水土保持生态文明工程”、“中国电力优质工程”、“鲁班奖”、“国家科学技术进步一等奖”，取得了显著的建设成果。

柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流输电工程，穿越了海拔 4800m 的昆仑山、

可可西里和海拔 5300m 的唐古拉山，线路全长 1038km，是世界海拔最高的直流输电线路，也是整个工程的建设重点。青藏交直流联网工程建设总指挥部精心组织了线路基础和换流站基础出零米的土建攻坚战、线路组塔架线和换流站土建交付安装、线路竣工验收和换流站设备安装调试“三大战役”。特别是在西藏安多县的唐古拉山口第七标段 37 基冻土基础施工，是最大的考验和挑战。建设者们克服了严寒缺氧和人工机械严重降效等困难，克服“生命禁区”对建设者生命健康和生命的严峻挑战，夺取了基础施工的全面胜利，为工期提前奠定了基础。以科技创新、技术创新为先导，提出高原冻土基础不需要经历一个冻融周期循环，经过一个冻结期即可组塔架线，为第二阶段战役争取了宝贵的建设时间。随着第三阶段战役的全面告捷及建设工期的五次优化，实现了工程提前一年建成的目标。这些成绩的取得，是工程建设者不畏艰难险阻、克服极端恶劣条件，挑战生命生理极限，顽强拼搏、无私奉献的结果。

青藏交直流联网工程加强全过程安全质量管理，全面策划，细化管理，坚持“样板引路、示范先行”，先后组织基础、组塔、架线、设备安装施工工程的示范工程，大力推行标准化作业，在施工工艺、安装流程、安全管理、质量控制等方面进行标准化管理。针对高原、高寒地区工程建设的特点，制订并落实现场人身安全、设备安全、机具安全和组塔架线、交叉跨越施工的安全措施，全面提高工程质量、安全及工艺水平。

青藏交直流联网工程面临着“大直流、小系统、弱受端”的技术难题，工程建设极具挑战性和创新性。直流工程系统启动产生的功率突

变，将对西藏中部电网产生冲击，直接影响系统的安全稳定运行。通过对工程交直流系统特征的深化研究，对西藏中部电网的受电规模、直流系统安全稳定及控制问题、换流站内滤波器投切及无功控制、系统电压无功控制、小干扰稳定、直流启停、电磁环网等诸多方面进行详细的分析计算和试验研究，设计加装了系统保护，制订了完整可靠的系统运行方案。研究成果为工程设计、建设和运行提供了技术参数和方案，为科学决策提供了依据，工程试运行以来，系统运行平稳，经济技术指标达到设计要求，充分证明工程设计、施工建设和运行维护达到了国内领先水平。

青藏交直流联网工程的海拔高度均在 3000m 以上，已有的放电曲线数据和海拔修正方法已经不能满足工程建设的需要。工程开展的高海拔地区过电压与绝缘配合的科研攻关，在特高压直流试验基地、西藏高海拔试验基地（海拔 4300m）、唐古拉山（海拔 5000m）进行了空气间隙放电特性试验。通过对青藏直流线路、换流站和 750、220kV 交流线路外绝缘特性的深入研究，取得了外绝缘高海拔修正方法和修正系数；通过绝缘配合试验确定了换流站设备和输电线路导线的绝缘配置参数；通过科研攻关全面掌握了高海拔地区过电压与绝缘配合的关键技术，填补了世界高海拔地区工程技术多项空白。

青藏交直流联网工程穿越多年冻土 550km，其热稳定性和力学性质具有敏感、复杂和多变的特点。通过深入研究和科学论证，设计了装配式、锥柱式、掏挖式等 7 种冻土基础形式，确定了科学合理的塔基埋深值，创新冻土基础“快速开挖、快速浇注、快速回填”三快施工方法，采取地基

处理、热棒等措施，强化冻土基础的安全稳定性，千方百计地减少对冻土及环境的影响。冻土基础施工挑战了沿线海拔最高、施工冻土区最长的两个“世界之最”。

青藏交直流联网工程经过了高寒荒漠、高原草甸、湿地沼泽、戈壁灌丛等不同的生态系统，沿线分布有可可西里、三江源、黑颈鹤、色林错、热振国家森林公园 5 个自然保护区。生态环境极其原始、脆弱、敏感，扰动破坏后极难恢复，生态保护责任重大。如何保护好生态环境，建设“绿色工程”，是工程建设面临的重大课题，世界瞩目。工程投入 3.4 亿元环保专项资金，占到工程总投资的 5.6%，大量资金的投入，突显对青藏高原生态环境保护的重视，首创环境保护与水土保持施工图设计，细化明确了每个塔位、施工便道、牵张场等应采取的环境保护与水土保持措施。在施工中采取了铺设“帘子路”，“进出工地只走一条路”，建设防风固沙网格，种草恢复植被，购买专用垃圾车，实行垃圾密闭存放、统一回收、集中处理等专项保护措施，真正做到了江河水源不被污染、野生动物繁衍生息不受影响，高原生态环境得到有效保护，实现了“绿色工程”的建设目标。

青藏高原被称为“生命禁区”，肺水肿、脑水肿和高原鼠疫时刻威胁着建设者的生命健康。国家电网公司承诺保护每一位建设者，投入 2 亿多元，构建统一的三级医疗保障体系。世界高原电网工程建有生命保障体系，是工程建设的又一首创。以人为本，尊重、关心建设者，以人文关怀理念凝人心、聚合力是工程管理的大手笔。工程建设中贯彻“以防为主、防治结合”的方针，严格执行医疗习服“三全”、“三不”，即全

员、全过程、全覆盖，不体检不上线、不习服不上线、不培训不上线。制定了完善的生活保障制度，为建设者提供周到的健康服务。为关键作业提供特殊保障，在基坑和组塔施工时，创新供氧方法，通过深坑供氧、高空供氧，保障建设者生命健康。实现了建设者“上得去、站得稳、干得好”，实现了“零高原死亡、零高原伤残、零高原后遗症、零鼠疫传播”的建设目标。

西宁—柴达木 750kV 输变电工程，包括西宁、日月山、海西、柴达木 4 座 750kV 变电站（开关站）和 1492km 输电线路。工程建设以科技创新为主导，以管理创新为支撑，攻克了高海拔地区 750kV 电力工程建设的一系列难题，经过一年半的艰苦努力，建成相同电压等级中海拔最高、规模最大的精品工程。工程强化了青海 750kV 骨干网架结构，提升了青海能源优化配置水平；保障了青藏直流工程的综合供电能力和可靠性，提高了安全稳定运行水平；750kV 电网进入柴达木循环经济试验区，保障了能源电力供应，为其跨越式发展奠定了坚实基础；显著提升了西部电网在国家能源综合运输体系中的作用，更好地满足了西部地区大型能源基地建设和大量清洁能源外送消纳的要求。

西藏中部 220kV 电网工程由夺底、乃琼、曲哥、多林 4 座 220kV 变电站和 558km 输电线路组成，是青藏交直流联网工程的配套落地工程，是世界海拔最高的 220kV 电网。工程的建成实现了西藏电网电压等级的升级，实现了西藏电网发展方式的转变，强化了西藏电网的供电能力和安全稳定运行，有效缓解了西藏缺电问题。在夏季丰水期通过青藏交直流联网工程，还可以向青海电网送电，使西藏电网富余的电力电量得到有效利用。

西藏的水资源、太阳能资源、风能资源和地热资源丰富，居全国之首，西藏中部电网将产生能源集聚效应，加快清洁能源开发与利用，充分发挥西藏的资源优势。西藏中部电网将加快西藏经济发展方式的转变，为西藏的经济腾飞、社会进步提供坚强的电力支撑。

在青藏交直流联网工程试运行阶段，深化工程安全稳定特性研究，建立安全稳定运行管控工作机制，完善由生产运维、应急抢修、技术监督、技术支持和设备厂家组成的“五位一体”应急保障体系，实现了由基建到生产的无缝衔接。经过试运行，实现了“零缺陷”移交，为工程长期安全稳定运行提供了保障。工程各项运行技术指标良好，冻土基础整体保持稳定，设备整体运行平稳。青藏交直流联网工程正式投入商业化运营是国家电网公司落实科学发展观、践行服务宗旨和实现跨越式发展的重大成果，是中国电网建设史上新的里程碑，被誉为“民心工程”、“光明工程”、“电力天路”和“雪域丰碑”。

这项宏大工程的建成，是国家意志和民族精神的体现；是国家电网公司智慧的凝聚，是国家电网公司履行政治、社会、经济责任的行动；是电网规划、科研、工程设计、设备制造、施工安装和系统调试等多方人员攻坚克难、努力创新的成果，需要从多方面、多角度、实事求是加以认真总结和提升。《青藏电力联网工程》全面展示了3万多名工程建设者忠诚祖国、热爱人民的深厚感情和高度的政治责任感，充分再现了他们奋战在“生命禁区”，挑战生命极限和施工极限，创造出世界高海拔地区电网工程建设的伟大奇迹。

《青藏电力联网工程》于2011年11月28日正式启动编写工作，成立

了编写组织机构，明确了工作思路和时间进度安排，详细制定了编写大纲，提出了质量要求，落实了工作责任。先后有 100 多名青藏交直流联网工程建设者及相关人员参加编写工作，经过 5 个多月的艰辛努力，于 2012 年 4 月 30 日完成编写任务。2012 年 5 月 9 日，来自电力行业的资深专家对《青藏电力联网工程》进行了预审，2012 年 5 月 23 日、6 月 20 日，国家电网公司总部组织两次审查会，提出了修改意见和建议，对提升《青藏电力联网工程》编写质量具有重要的指导意义。

《青藏电力联网工程》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，国网北京经济技术研究院、青海省电力公司、西藏电力有限公司、国家电网公司直流建设分公司、国网物资有限公司、国网信息通信有限公司、中国电力科学研究院、中国电力工程顾问集团公司、西北电力设计院、西南电力设计院、中国安能建设总公司等单位共同编写完成。共分 12 册，400 余万字。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，对工程建设全过程进行全面总结；专业卷 9 册，重点对柴达木—拉萨 $\pm 400\text{kV}$ 直流工程的前期论证与工程设计、工程建设、科技攻关、医疗保障、环境保护、物资供应等，以及西宁—柴达木 750kV 输变电工程、西藏中部 220kV 电网工程的工程设计、工程建设进行深度总结。

《青藏电力联网工程》是对青藏交直流联网工程建设的全面总结，囊括了工程建设的各个领域，比较全面地反映了工程建设概貌和建设者的精神风范。在资料收集和组织编写过程中，为工程作出巨大贡献的各