



国家电网
STATE GRID

中国三峡输变电工程

直流工程与设备国产化卷

国家电网公司 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

中国三峡输变电工程

直流工程与设备国产化卷

国家电网公司 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本卷隶属于《中国三峡输变电工程》丛书体系,整个丛书共有八卷,包括《综合卷》、《系统规划与工程设计卷》、《工程建设与环境保护卷》、《科技创新卷》、《交流工程与设备国产化卷》、《直流工程与设备国产化卷》、《工程调试卷》、《调度通信自动化与生产运行卷》,规模超过400万字,在资源配置、能源消费、建设管理、电力市场、产业升级和科技创新等各个方面全面反映了三峡输变电工程顺利建设运行的重大意义。

本卷介绍了三峡—常州 $\pm 500\text{kV}$ 直流输电工程、三峡—广东 $\pm 500\text{kV}$ 直流输电工程、三峡—上海 $\pm 500\text{kV}$ 直流输电工程、西北—华中联网灵宝直流背靠背工程等四个直流工程项目,总结了直流工程在工程设计、工程建设管理方面取得的成就,再现了技术引进及国产化进程,展示了参与各方团结协作、艰苦努力、求真务实、开拓创新的大无畏精神。

图书在版编目(CIP)数据

中国三峡输变电工程. 直流工程与设备国产化卷/国家电网公司编著. —北京:中国电力出版社,2008

ISBN 978-7-5083-8079-7

I. 中… II. 国… III. ①输电—电力工程—直流系统—三峡②输电—电力工程—直流—电气设备—三峡③变电所—电力工程—直流系统—三峡④变电所—电力工程—直流—电气设备—三峡 IV. TM7 TM63

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第170460号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京盛通印刷股份有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2008年12月第一版 2008年12月北京第一次印刷

710毫米 $\times$ 980毫米 16开本 37印张 506千字

印数0001—2500册 定价115.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
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

《中国三峡输变电工程》丛书

一、编写委员会

主任委员 刘振亚

副主任委员 祝新民 陈进行 郑宝森 陈月明 舒印彪

曹志安 栾 军 李汝革 汪建平

委 员 马治中 刘肇绍 王 敏 卢 健 于 刚

张丽英 杜至刚 欧阳圣英 吴玉生 李庆林

崔继纯 王风华 赵庆波 李荣华 余卫国

王益民 王相勤 曹永新 郭剑波 李一凡

喻新强 孙 昕 李向荣 张启平 许以作

邓建利 林 野 许世辉 冯雪原 杜宝增

王颖杰 刘广迎 胡贵福 张智刚 吕建平

陈玉芬 梁旭明 王剑波 汤文全 崔吉峰

李文毅 路书军 张建坤 孙竹森 殷 琼

刘建明 张文亮 卜凡强 张运洲 葛正翔

王海啸 宗 健

二、顾问专家组

组 长 陆延昌 周小谦

成 员 刘本粹 赵遵廉 许可达 霍继安 孙家骏

周仲仁 魏恭华 孙竹森 印永华 丁功扬

尤传永 向 力 郑怀清 牛 山 余 乐

陶 瑜	邬 雄	李 正	谢国恩	宋璇坤
李宝金	曾南超	胡惠然	付锡年	黄晓莉
杨崇儒	方 静			

三、本卷编写工作组

组	长	喻新强					
副	组	长	梁旭明	李文毅	孙竹森	肖安全	赵宏伟
			袁清云	梁政平			
成	员	丁燕生	王祖力	牛 山	余 乐	种芝艺	
		朱艳君	鲍 瑞	陶 瑜	郑志斌	张素萍	
		盛 勤	黄 杰	曹代富	孙 涛	白光亚	
		康 健	杨万开	谢永祥	唐 宁	龙爱平	
		彭剑辉	王光平	李勇伟	李宝金	李喜来	
		俞敦耀	薛 勤	陈 光	李 谦	俞 正	
		廖宗高	薛春林	王小凤	王宝清	钱广忠	
		梁言桥	王 钢	汪 雄	谢 龙	孟 轩	
		张芳杰	王 劲	傅春衡	江云平		

四、本卷责任编辑

丁 雁 谭学奇 吴 冰 刘 薇 丁 钊

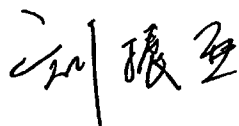
长江三峡水利工程（以下简称三峡工程）是国家重点工程，也是目前世界上最大的水利枢纽工程。工程由枢纽工程、输变电工程和移民工程三部分组成，在防洪、发电、航运等各方面具有巨大的社会效益和经济效益，对我国的经济建设、社会发展具有重大战略意义。

三峡输变电工程是三峡工程的重要组成部分，承担着三峡水电送出的重要任务。工程于1997年开工建设，2007年竣工投产。工程总投资394.5亿元，建成直流输电工程4项、交流输变电工程88项，新增变电容量2275万kVA、输电线路6519km。工程以三峡电站为中心，向华东、华中、南方电网送电，供电范围包括九省两市，共182万km²，惠及人口超过6.7亿。

三峡输变电工程的建成投产，对于促进全国电网互联，优化国家能源布局，推动西部水电大开发；对于促进资源优化配置，减轻煤炭供应和运输压力，缓解华中、华东、广东等地区能源紧张局面；对于减少二氧化硫和碳排放，促进国家节能减排目标实现，推动经济社会与生态环境协调发展；对于强化自

主创新，推动我国输变电技术和设备国产化水平迈上新台阶，为加快建设以特高压为骨干网架，各级电网协调发展的坚强国家电网，构建科学合理的能源综合运输体系，都具有非常重要的作用。

为了系统地总结三峡输变电工程在决策、管理、建设、科研设计以及设备制造等各方面的经验与成绩，为今后的大型工程项目实施提供有益参考，国家电网公司组织上百名三峡输变电工程的决策者、管理者、建设者以及广大科研设计、设备制造人员，编纂完成了《中国三峡输变电工程》丛书。丛书共八卷，400余万字，包括《综合卷》、《系统规划与工程设计卷》、《工程建设与环境保护卷》、《科技创新卷》、《交流工程与设备国产化卷》、《直流工程与设备国产化卷》、《工程调试卷》和《调度通信自动化与生产运行卷》。丛书全面、客观地记载了三峡输变电工程实施历程和主要成果，希望能在今后我国电网发展和重大工程建设过程中发挥积极的作用。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '刘张' (Liu Zhang), with a vertical line separating the characters.

二〇〇八年十二月

中国三峡输变电工程是举世瞩目的三峡工程的重要组成部分，是三峡枢纽电站电力送出及其效益实现的根本保证。2007年12月20日，国家发展和改革委员会主持的国务院长江三峡三期输变电工程国家验收顺利通过，标志着三峡输变电主体工程较原计划提前一年全面建成，三峡输变电工程建设华美落幕，她所创造的价值远远超出了三峡电力外送配套工程的本意，她的顺利投运使我国电网的运行水平正在朝着前所未有的高度提升。国家电网公司总经理刘振亚曾经这样评价三峡输变电工程：“三峡输变电工程建设不仅确保了三峡电力‘送得出、落得下、用得上’，而且通过三峡电网建设，促进了以三峡电网为中心的全国电网互联格局的形成，对加速实现西电东送通道建设目标、对全面提高我国输变电工程建设水平都起到重要作用。”

三峡输变电工程是一项跨世纪的庞大系统工程，为了更加全面、系统地对三峡输变电工程进行总结，2005年伊始，国家电网公司倾全系统的力量，组织编写《中国三峡输变电工程》丛书，力图从不同侧面、不同角度，从综合到具体，全面、系统地总结和反映三峡输变电工程决策者、管理者、建设者以及科研设计工作人员的智慧，并为今后的大型工程项目实施提供参考和借鉴。

丛书体系共计八卷，包括《综合卷》、《系统规划与工程设计卷》、《工程建设与环境保护卷》、《科技创新卷》、《交流工程与设

备国产化卷》、《直流工程与设备国产化卷》、《工程调试卷》、《调度通信自动化与生产运行卷》，共计超过 400 万字。丛书全面反映了三峡输变电工程顺利建设运行的重大意义，通过三峡输变电这个平台建立了更优化的资源配置手段、形成了更安全的能源消费局面、开创了更高效的建设管理体制、促进了更开放的电力市场体系、打造了更自主的国内产业实力、推动了更先进的科技创新进程。

《直流工程与设备国产化卷》总结了三峡—常州 $\pm 500\text{kV}$ 直流输电工程、三峡—广东 $\pm 500\text{kV}$ 直流输电工程、三峡—上海 $\pm 500\text{kV}$ 直流输电工程、西北—华中联网灵宝直流背靠背工程等四个直流工程项目，分别反映了不同时期三峡输变电工程建设的特点和取得的成绩。

三峡—常州 $\pm 500\text{kV}$ 直流输电工程（简称三常工程），1995 年国务院三峡工程建设委员会正式批复立项，2003 年 6 月 24 日移交生产，2003 年 7 月 12 日通过国务院长江三峡二期工程输变电工程验收组的最终验收，工程历时 8 年，投资近 75 亿元。工程途经湖北、安徽、江苏三省，输电距离 860km，直流输电容量 3000MW，作为三峡首批机组发电外送华东的第一通道，具有重要的政治、经济和社会意义，且工程的技术含量又称当今直流输电之最。

参与三常工程设计咨询、设计、管理、施工、调试、运行，以及业主单位等共计上百个。三常工程建设正处于国内电力体制改革之际，从 1995 年刚组建的国家电网公司到中国电网建设有限公司，直至以后的国家电力公司、国家电网公司，体制的变化并未影响工程的进展，工程按计划如期建成。更值得自豪的是三常工程是当今世界上唯一一个准点准时按里程碑进度投产的直流输电工程。

三峡—广东 $\pm 500\text{kV}$ 直流输电工程（简称三广工程）是继三常工程后三峡建设的第二个 3000MW 的大型直流输电工程，是国务院决定解决广东严重缺电，在“十五”期间向广东新增 1000 万 kW 电力输送的重要组成部分，它实现了华中电网与南方电网的互联，有力地保证了三峡电力安全可靠送出，对于实现更大资源优化配置具有重要政治意义和经济效益。三广工程的提前建成投产，不仅及时缓解了广东严重缺电的紧张局面，而且使高压直流输电技术引进取得了重大进展，直流设备国产化程度大大提高。

三广工程在充分借鉴三常工程建设与运行经验的基础上，以“精心设计、精心施工、精心监理、强化管理”为基本建设原则，以创建优质工程为目标，以打造精品工程为己任，实现了工程安全“零事故”，质量单位工程优良率 100%，分项工程合格率 100%。实现了直流工程技术国产化率达到约 50%；世界同类工程建设工期最短；国内首次自主编制直流输电工程功能规范书；换流站安装工程首次采用 A、B 包共同承包模式；以设计优化促工程质量和投资控制；战“非典”、保工程措施有力、成效显著等创新亮点。

三峡—上海 $\pm 500\text{kV}$ 直流输电工程（简称三沪工程）承担着三峡向上海输送 3000MW 电能的重要任务，是三峡右岸电厂电力外送的主要通道之一；同时实现了华中和华东两大电网的互联；也是国家电网公司推进电网骨干网络建设，提高国家能源的优化配置，实现直流输电工程自主化建设的重要工程。它的建成具有重大的社会意义和经济效益。

国家电网公司树立和落实科学发展观，贯彻党中央、国务院建设资源节约型和环境友好型社会的号召，在充分借鉴三常工程、三广工程等已有直流工程建设与运行经验的基础上，以“优化设计、

强化管理、从严控制、同比先进”为基本建设原则，科学规划、注重环保、精心管理、自主创新，确保了三沪工程顺利建成提前投产。广大建设者发扬顽强拼搏精神，攻坚克难，精益求精，以“一流的设计、一流的管理、一流的施工、一流的质量，”创下了大容量、远距离直流输电工程建设工期短、安全零事故、质量高水平，技术先进、国产化率高、环境友好的直流输电工程建设新纪录。

三峡直流工程的技术引进和国产化进程中，三个直流工程统筹考虑，贯彻了逐步深化和完善、一步一个脚印稳步实施的方针，既确保了工程建设工期和质量的要求，又圆满完成了国产化的要求。

通过三常工程、三广工程，我国对世界两大直流输电工程承包商，即 ABB 公司和 SIEMENS 公司的直流输电工程技术进行了全面引进。技术引进分为系统设计和设备制造两个部分，第一部分直流系统设计的引进以电力部门为主，主要包括直流系统研究和换流站成套设计技术；第二部分直流设备制造的技术引进以制造部门为主，主要包括换流变压器、平波电抗器、换流阀、晶闸管、直流控制保护系统等设备的设计、制造和工艺、试验，以及质保体系。

三沪工程是我国实现直流输电自主创新的关键性工程，经过三沪工程的实践，我国掌握了超高压直流输电工程成套设计和关键设备制造技术，具备了超高压直流输电工程自主咨询研究、自主成套、自主设计、自主制造、自主施工、自主调试的整体建设能力，开启了我国超高压直流输电工程的崭新一页。

在国务院三峡工程建设委员会和国家电网公司的正确领导和大力扶持下，增建了西北—华中联网灵宝直流背靠背工程（简称灵宝背靠背工程），工程作为国产化试点工程，工程建设 100% 由国内自主完成。通过灵宝背靠背工程国产化政策的实施，巩固和发展了技

术转让消化吸收成果，并形成了部分具有自主知识产权的技术。

通过三峡直流工程的建设，我国已具备了完全不依赖外国、独立自主建设 $\pm 500\text{kV}$ 及以下直流工程的能力。

三峡直流输电工程的建设，是我国直流输电技术实现国产化的重大里程碑，为我国电网建设的发展做出了重大贡献。

希望通过本卷的出版发行能够让电力工作者更加系统地了解三峡输变电工程，让普通读者更加清楚地认识三峡输变电工程，让那些三峡输变电工程的参与者们能以此为骄傲和自豪。虽然在历时 3 年的编写过程中，我们力求让整个编写工作遵循完整、精确、系统和规范的原则，但是要在不算充裕的时光中做到如今全面、清晰地反映三峡输变电工程全貌，书中的疏忽和遗漏在所难免，幸好在任重道远的 3 年征程中，我们一直且行且珍惜。

《中国三峡输变电工程·直流工程与设备国产化卷》

编写工作组

二〇〇八年十二月

序

前言

第一章 三峡—常州 $\pm 500\text{kV}$ 直流输电工程 1

第一节 工程概况

 1

第二节 工程设计

 6

第三节 工程建设管理

 85

第二章 三峡—广东 $\pm 500\text{kV}$ 直流输电工程 105

第一节 工程概况

 105

第二节 工程设计

 106

第三节 工程建设管理

 177

第三章 三峡—上海 $\pm 500\text{kV}$ 直流输电工程 213

第一节 工程概况

 213

第二节 工程设计

 214

第三节 工程建设管理

 290

第四章 西北—华中联网灵宝直流背靠背工程 328

第一节 工程概况

 328

第二节 工程设计

 342

第三节	工程建设管理	380
第五章	技术引进及国产化	402
第一节	技术引进	405
第二节	三峡直流工程系统研究及换流站成套设计国产化	437
第三节	直流设备国产化	477
第四节	灵宝背靠背工程的国产化	521
第五节	我国自主建设直流输电工程的能力和议	548
附录一	三峡输变电工程直流项目一览表	554
附录二	三峡输变电工程直流项目主要物资供应单位一览表	555
附录三	三峡输变电工程直流换流站项目及主要参建单位一览表	578
附录四	三峡输变电工程直流线路项目及主要参建单位一览表	579

三峡—常州 $\pm 500\text{kV}$ 直流输电工程

第一节 工 程 概 况

三峡输变电工程是三峡工程的三大组成部分之一，是获得三峡工程投资效益，实现长江中上游水能资源滚动开发的重要渠道。三峡—常州 $\pm 500\text{kV}$ 直流输电工程（以下简称三常工程）是三峡电力送出的标志性工程，是三峡送电华东的主干通道，是保证三峡首批机组发电送得出、落得下、用得上的关键性工程。

三常工程对实现西电东送的伟大战略，提高华中—华东联网输电能力发挥重要作用。该工程的建成，对满足华东地区电力需求，加强华东与华中电网的连接，优化华中与华东地区的能源结构，促进两大地区的水火电优势互补，提高电网运行质量和经济效益具有十分重要的意义和作用。

三常工程直流输送功率单极额定输送功率为 1500MW ，双极额定输送功率 3000MW ；额定直流电压 $\pm 500\text{kV}$ ，额定直流电流 3000A ，交流母线电压额定电压 500kV ，主要包括：龙泉换流站、政平换流站、接地极及其引线工程、 860km 长的 $\pm 500\text{kV}$ 直流输电线路。全线共 2007 基铁塔。一般线路导线形式为 $4 \times \text{ACSR}-720/50$ 大截面钢芯铝绞线，地线分别为 GJ—80 钢绞线和 OPGW—80 复合光缆；汉江大跨越中，导线 $4 \times \text{JLB3}-510$ ，地线一根 JLB1A—180，一根 OPGW—211 复合光缆；长江大跨越中，导线 $4 \times \text{AACSR}-450$ 钢芯铝合金绞线，地线一根 JLB1A—245 铝包钢线，一根 OPGW—273 复合光缆。送电能力 300 万 kW。

龙泉换流站双极每极 12 脉动换流器一套，换流变压器（单相双绕组）4 台（其中 2 台备用），每台容量 297.5MVA ； 500kV 交流滤波器共 8 小组，



1076Mvar。500kV/220kV 降压变压器为：本期 750MVA，1 组，远期 2 组；交流 500kV 电压等级接线采用 3/2 接线，500kV 交流出线为三峡 3 回，荆门 2 回，备用 3 回，共 8 回，组成 7 个完整串和一个不完整串，本期为 5 个完整串和一个不完整串；220kV 采用双母线带旁路母线接线，交流出线 9 回，本期 5 回，白家冲 2 回，獠亭 1 回，晓溪塔 1 回，阳 1 回，备用 4 回。本期设母联及专用旁路断路器，35kV 无功补偿为：容性 $4 \times 50\text{Mvar}$ ，感性 $3 \times 60\text{Mvar}$ 。

政平换流站双极每极 12 脉动换流器一套，换流变压器（单相双绕组）14 台，其中两台备用，每台容量 283.7MVA；500kV 交流出线 4 回，并预留扩建的可能，本期 2 回至 500kV 武南变电站；500kV 交流滤波器共 1100Mvar，5 小组 HP12/24 滤波器；500kV 并联电容器 4 组，共 760Mvar。

龙泉换流站青台接地极线路 1 回，全长 42.261km，为浅埋单圆环形，馈电棒总长为 $\phi 65$ 、2455m， $\phi 50$ 、80m。

政平换流站迈步接地极线路 1 回，全长 33.15km，为浅埋双卡圆环，总长为 $\phi 70$ 、3956.2m。

直流输电线路导线为 $4 \times \text{ACSR—720/50}$ 钢芯铝绞线，路径起于湖北省宜昌市的龙泉镇，止于江苏省常州市的政平镇，经过湖北省、安徽省和江苏省。湖北省境内有：宜昌、当阳、荆门、沙洋、沙洋农场、钟祥、京山、五三农场、天门、汉川、应城、云梦、孝感、黄陂、红安、麻城等 16 个县、市、农场，止于鄂徽交界点，线路长 398.469km。安徽境内有：金寨县、霍山县、六安市、舒城县、庐江县、巢湖市、无为县、含山县、和县、芜湖市、当涂县，共 11 个县市，线路长度 343.329km。经江苏省境内有：溧水市、溧阳市、宜兴市、武进市 4 个县市，线路长度 118.375km。线路总长 860.173km，总体呈东西走向。

龙泉换流站是三常工程的重要组成部分，是三峡左岸电站首批机组发电电力外送的起点，是三峡左岸电站并入华中电网的第一落点，承担着三峡左岸电站电力外送华东、沟通华中的重要任务，并将部分三峡电力供给宜昌地区。其在电力系统中的地位极其显要，在世界上是屈指可数的大型

交、直流变电站。

与龙泉换流站相应，政平换流站是三峡左岸电站首批机组发电电力外送华东的第一落点，承担着消纳三峡电力、满足华东地区电力需求的重要功能。

纵观历史，三峡工程的实施过程就是直流输电自主创新稳步推进的过程。随着三峡直流工程直流输电关键技术的引进，设备国产化比例和制造水平、工程建设水平不断提高。

一、直流工程系统研究及换流站成套设计

在建设第一个三峡直流输电工程，即三常工程时，对前期咨询研究工作非常重视，主要是咨询研究、规范书编制和系统研究、成套设计两个阶段始终贯彻充分引进、吸收、消化技术，组织系统设计、建设、运行等各方面的技术人员和专家，进行自主、广泛、深入的工程咨询研究，并在此基础上以我为主编制了技术功能规范书。咨询研究取得的大量成果也为进一步实施直流系统研究和换流站成套设计打下了坚实的基础。

直流系统研究和换流站成套设计是直流工程设计、设备采购招标和制造的基础，是必不可少的重要阶段，也是国内独立自主承担直流工程整体建设能力的重要标志。三常工程的换流站成套设计是由外方公司总承包，中方尚处于吸收、消化阶段，不能自主独立完成。

二、技术引进及国产化

根据国家技贸结合，要利用本工程吸收引进一些直流输电工程关键技术和合作生产直流关键设备的政策。一般来说，换流变压器、晶闸管换流阀以及控制和保护等视为直流的关键设备，这些设备的价格决定了直流工程的选价。三常工程对晶闸管、换流阀、换流变压器、平波电抗器、系统设计和控制保护进行了技术转让，并对前四项采取了合作生产的形式。合作生产的设备有 72 只晶闸管元件、两个四重阀组件（龙泉站一个，政平