

中国直流输电发展历程

赵畹君 曾南超 编著

DEVELOPMENT HISTORY
OF HVDC IN CHINA

非
外
借



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



中国直流输电发展历程



赵晚君 曾南超 编著

DEVELOPMENT HISTORY
OF HVDC IN CHINA



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

近年来,中国在高压直流输电方面取得了举世瞩目的成绩,成为当今世界的直流输电大国,相关技术达到世界领先水平。为全面介绍中国直流输电的发展过程,在收集多年来积累的资料和经验的基础上编写了本书。

本书共分五章,包括概述、常规直流输电技术准备及工业性试验、常规直流输电工程建设、新型电压源直流输电发展、中国直流输电展望。

本书可供从事直流输电工作的技术和管理人员,以及关心直流输电技术发展的人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

中国直流输电发展历程 / 赵畹君, 曾南超编著. —北京: 中国电力出版社, 2017.7

ISBN 978-7-5198-0428-2

I. ①中… II. ①赵… ②曾… III. ①直流输电—电力工程—概况—中国 IV. ①TM721.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 033541 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 王春娟 (63412350 chunjuan-wang@sgcc.com.cn) 闫姣姣

责任校对: 闫秀英

装帧设计: 张俊霞 左 铭

责任印制: 邹树群

印 刷: 北京九天众诚印刷有限公司

版 次: 2017 年 7 月第一版

印 次: 2017 年 7 月北京第一次印刷

开 本: 880 毫米×1230 毫米 32 开本

印 张: 5.5

字 数: 86 千字 8 插页

印 数: 0001—1000 册

定 价: 59.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换



20世纪80年代初，国家派代表团去美国对直流输电进行考察，图为代表团考察太平洋联络线赛里洛换流站合影。自左向右：邹华铮（前排一），吴敬儒（前排三），单进（前排五），李毅达（后排四）。



1983年，考察加拿大和美国北部直流输电工程，图为在温哥华换流站合影。自左向右杨秋淇（左二），陈凯（左四），赵晚君（左五）。



华北电力学院直流输电硕士论文答辩会。前排：何富发、王铭诚、单进、王继樵、张金堂、赵婉君、周波。



20世纪80年代初参加舟山直流输电工业性试验工程动模试验人员。前排：张春江（左一）、何大愚（左三）、鲍敏铎（左四）；二排：赵婉君、伍绍云；三排：陈凌芳、邢俊杰、刘卓云、杜再贵、白济民、陶瑜、朱宝琴；四排：倪林林、焦保利、王明新、张雁，其余为工程现场参加人员。





参加舟山直流输电工业性试验工程工作会议部分人员。前排：赵畹君（左一）、李毅达（左三）、王继樵（左七）；后排：尚金城（左二）、郑德明（左三）、程世伦（左四）。



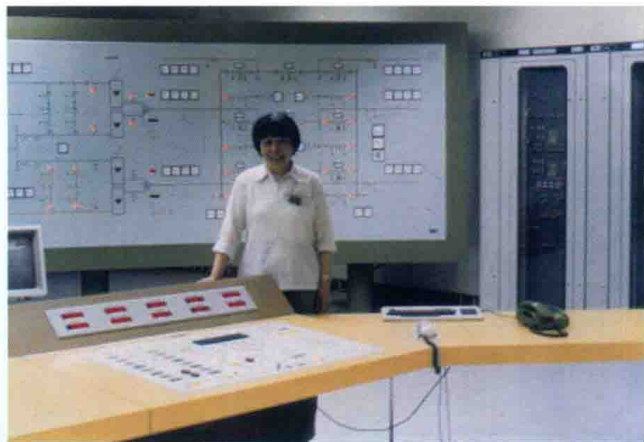
1985年，中国电力科学研究院派代表赴瑞士BBC公司参加直流输电培训。依次是：倪林林、陶瑜、曾南超、赵畹君、张春江、张冬生。



1986年，参加引进直流输电物理模拟装置开展直流输电工程建设相关人员。前排：陶瑜、曾南超、赵晓君、张冬生；后排：邢俊杰、倪林林、焦保利、王明新、王燕秋、陈凌芳。



1989年6月，赵晓君在葛洲坝换流站参加工程现场调试。

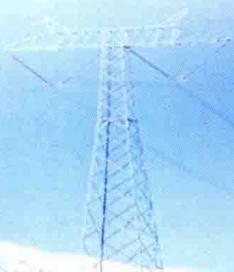




天生桥—广州直流输电工程设备国际招标开标仪式。出席人员：代保明（左二），李立涇（左三），赵晚君（左四），林永生（左五），陶瑜（左六），王乃庆（左七）。



20世纪初数模混合仿真控制中心扩建。图为实验室的部分人员。前排：王明新、曾南超、Rene、Jean Lemay、蒋卫平；后排：胡涛、孙栩、张欣、李新年、王华伟、杨万开、吕虎、谢国平、刘翀、朱艺颖、刘云。



中国电力科学研究院参加三峡-上海直流输电工程华新换流站现场调试。参加人员前排：吕虎、吕鹏飞、高飞、朱艺颖、沈海斌、李新年、王晶芳、李莹；后排：王明新、梁旭明、张文亮、栾军、孙竹森、印永华、杨文强、刘壮志、蒋卫平。



$\pm 800\text{kV}/4750\text{A}$
换流阀样机在试验大厅准备进行试验。参加试验人员：查鲲鹏、杨一鸣、丁一工、马为民、邱宇峰、刘泽洪、高理迎、余军、汤广福。





电压源直流输电关键技术研究示范工程研发团队主要人员。
前排：杨岳峰、杨杰、贺之渊、易荣、赵岩；
后排：林畅、陈鹏、孔明、李强、杨卫刚、苑春明、李泓志、马巍巍。



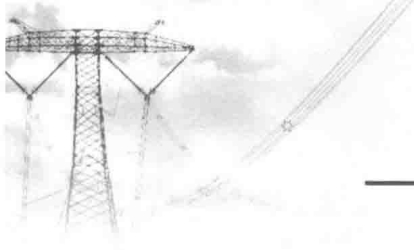
2011年7月25日，上海南汇电压源直流输电示范工程投运仪式举行。

部分参加人员：李强、吕铮、王初秋、贺之渊、冯静波、苑春明、赵岩。



2013年12月18日，李立涅院士在南澳多端电压源直流输电控制室指导工作。自左向右：许爱东、黎小林、李立涅、李岩、许树楷。





序

近年来高压直流输电在中国迅速发展,从 1987 年建成第一项舟山直流输电工业性试验工程,到 2014 年底中国已建成各种类型的直流输电工程 29 项,其中在世界上首先建成 $\pm 800\text{kV}$ 特高压远距离大容量直流输电工程 6 项、 $\pm 400\sim\pm 660\text{kV}$ 超高压大容量直流输电工程 13 项、背靠背联网工程 5 项、采用绝缘栅双极晶体管(IGBT)换流的新型电压源直流输电工程 3 项。

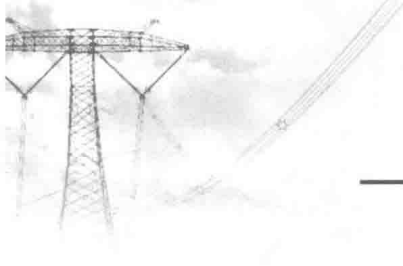
早在 20 世纪 60 年代,中国已开始进行直流输电的研究工作,在电力行业各级领导的支持下,技术人员克服了各种困难,取得了一定的成绩。80 年代以后,随着中国改革开放和国民经济的快速发展,电力系统不断发展壮大。为了满足大容量远距离输电、大电网互联、新能源电力入网的迫切需求,国家和电网企业、装备制造业加大投入,在直流输电领域的系统研究、新技术开发、装备研制、工程建设等方面,通过科研技术人员及工程建设人员的艰苦努力,取得了举世瞩目的成绩,从而使

中国成为当今世界的直流输电大国，相关技术也达到世界领先水平。

本书作者从 20 世纪 60 年代开始，数年从事直流输电科研及工程建设工作，为我国直流输电工程的发展壮大做出了重要贡献。他们熟悉直流输电在中国的发展历程，特别是早期鲜为人知的一些史实。书中记载了在直流输电发展过程中所进行的重要工作以及参加的主要人员。在工程建设时期还分类对每个工程都有简短的介绍，其中特别对 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电工程及新型电压源直流输电工程的技术攻关做了较详细的介绍。作者在附录中还收集了几乎全部直流输电工程主要设备的技术参数，以便于读者查找和使用。期望本书能够帮助从事直流输电工作及关心直流输电事业发展的人员，对直流输电在中国的发展有更加全面深入的了解。

周孝信

2016 年 8 月 30 日



前 言

自 20 世纪 50 年代在电力系统中采用直流输电技术以来，直流输电技术发展经历了汞弧阀换流、晶闸管阀换流和采用可关断器件绝缘栅双极晶体管（IGBT）阀换流几个阶段。目前在远距离大容量输电、地下和海底电缆输电以及电力系统联网工程中直流输电得到广泛应用。中国采用直流输电技术起步较晚，初期发展较慢。20 世纪 60 年代初，中国开始对直流输电技术进行研究。80 年代以后，由于国民经济快速发展，急需解决电力不足的问题，需要建设大型水电站、火电站，而水电和煤炭资源大部分都远离负荷中心，从而使远距离、大容量输电问题提到日程上来，同时电力系统联网也势在必行，客观上有建设直流输电工程的需求；另外，在国外由于采用了晶闸管换流和微机控制等新技术，直流输电技术更加成熟和完善，而中国在引进和利用国外的先进技术的基础上，不断创新攻关，使中国直流输电的发展进入快速发展的轨道。截至 2014 年底，中国已建成各

种类型的直流输电工程 29 项，其中采用晶闸管换流的工程 26 项（包括 1 项工业性试验工程），采用绝缘栅双极晶体管（IGBT）换流的新型电压源直流输电工程 3 项，在晶闸管换流的工程中，还有在世界上首先建成的 6 项 $\pm 800\text{kV}$ 特高压、远距离、大功率直流输电工程，从而使中国成为世界上直流输电的大国。

中国直流输电的发展，从技术准备、工业性试验、技术引进、设备国产化、独立自主工程建设到走出国门在国外建设直流输电工程，走出了一条具有中国特色的发展道路，使中国在直流输电技术方面，从一无所有到具有世界领先水平。

为了全面介绍中国直流输电的发展过程，作者根据亲身经历，收集多年来积累的资料，编写成本书。本书共五章，第一章为概述，主要介绍直流输电发展概况及中国建设直流输电工程的成效。第二章为常规直流输电技术准备及工业性试验，主要介绍 20 世纪 60 年代到 80 年代中国直流输电初期发展情况，其中详细介绍了西安建设直流输电背靠背试验站、上海建设小型直流输电工业性试验工程，以及舟山建设直流输电工业性试验工程的情况。第三章为常规直流输电工程建设，主要介绍 20

世纪 80 年代以后，中国直流输电快速发展的情况。在此期间，通过技术引进、设备国产化、自主设计、自主建设直流输电工程，到 2014 年底中国已建成各种类型的常规直流输电工程 25 项，其中有自行建设的小型直流输电工程 1 项，超高压直流输电工程 13 项，背靠背直流输电工程 5 项，特高压直流输电工程 6 项。书中对上述工程的性质、特点、用途以及主要设备的技术参数等进行了介绍。第四章为电压源直流输电发展，主要介绍从基础理论研究、设备研发和试制到独立自主建设电压源直流输电工程，中国完全独立自主、自力更生发展的情况。第五章为中国直流输电展望，主要介绍后续直流输电工程建设情况及直流输电技术的发展方向。为方便读者查阅不同时期常规直流输电工程主要设备的技术参数，在附录中给出中国已建的常规直流输电工程主要设备技术参数表。

本书可供从事直流输电工作的技术和管理人员，以及关心直流输电技术在中国发展情况的人员使用。在本书的编写过程中，国网智能电网研究院中电普瑞电力工程公司的贺之渊、马巍巍、刘杰，中国南方电网公司李立涅、许爱东，中国电力科学研究院王明新、王华伟、

谢国平、唐先珊，国网直流建设分公司李凤祁，南瑞继保公司李海英，许继集团有限公司曹森，为本书提供了许多宝贵的资料，特在此深表感谢。由于我们经历的局限性以及水平有限，本书只代表中国直流输电发展的部分情况，书中难免有缺点或错误，望读者批评指正。

作者 赵畹君 曾南超

2017年5月