



国家电网公司
电力科技著作出版项目

高鹏 主编

中国输变电设备制造

中國重大技術裝備史話



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



国家电网公司
电力科技著作出版项目

高鹏 主编

中国输变电设备制造

國重大技術裝備史話



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书以史话的形式记述了中国输变电设备制造业从小到大,由弱到强的历史发展过程。由于高压输电分为交流和直流两种方式,且其各自对应的制造业的发展过程有着极大的差别,因此,本书分为上、下两篇,其中上篇七章,下篇十三章,分别介绍高压交流输变电设备制造和高压直流输电设备制造的发展过程。其中所讲述的变压器、开关、避雷器、套管、绝缘子、电力电容器及电容式电压互感器等设备的引进、消化、吸收,并将这些设备应用到特高压上,这在国内尚属首创,并且在国际上也是首创的。因此,本书所讲内容具有非常宝贵的参考价值。

本书可供输变电设备制造行业的科研人员、技术人员、管理人员及电力行业的相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国输变电设备制造/高鹏主编. —北京:中国电力出版社, 2015. 5

(中国重大技术装备史话)

ISBN 978-7-5123-6713-5

I. ①中… II. ①高… III. ①输电-电力工程-工程设备-机械制造-技术史-中国②变电所-电力工程-工程设备-机械制造-技术史-中国 IV. ①TM7-092

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 249850 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>

责任编辑:周娟 杨淑玲 责任印制:蔺义舟 责任校对:闫秀英

北京盛通印刷股份有限公司印刷·各地新华书店经售

2015 年 5 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·36.5 印张·868 千字

定价:198.00 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

主 编 高 鹏

副主编 梁维宏 张业广

编 辑 薛 晔 马铜德 郭 瑛

编写人员名单

上篇 高压交流输变电设备制造

变压器、电抗器部分

沈阳变压器研究院

曲万里 章忠国 陈 萍 隋 新

西安西电变压器有限责任公司

汪德华 宓传龙 魏来潮 徐基泰 戴家琦 高建国 聂三元 韩晓东

吕建玉 王子春 孟丽坤 邓 颖

特变电工沈阳变压器集团有限公司

钟俊涛 安 振 阎新钰 彭 娜 薛静梅 刘世平

保定天威保变电气股份有限公司

张喜乐 赵银汉 彭广勇

开关部分

西安高压电器研究院有限责任公司

顾 问 李肇林 崔成恕

姚斯立 梁维宏

西安西电开关电气有限公司

顾 问 陈建中 于锡源

秦翠萍 谢靖琦 李 洁 孟 忠 张 慧 张希捷

新东北电气(沈阳)高压开关有限公司

孙永恒

河南平高电气股份有限公司

王 钢 林生军 吴勇峰

避雷器、套管、绝缘子部分

西安高压电器研究院有限责任公司

姚君瑞 苏 玫

西安西电避雷器有限责任公司

卞 堃 何计谋 谢清云 吕 伟 林 震

西安西电高压电瓷有限责任公司

王 婷 顾勤达 王 甜

西安西电高压套管有限公司

刘 虹 朱 斌 侯建峰

南京电气（集团）有限责任公司

沈其荣 赵新生

传奇电气（沈阳）有限公司

宋伊力

电力电容器及电容式电压互感器部分

西安高压电器研究院有限责任公司

蔺跃宏 平 怡

西安西电电力电容器有限责任公司

房金兰 刘水平 周登洪 严怀贵 董海健 饶 娣

下篇 高压直流输电设备制造

顾 问 范文荣

中国西电集团公司

张业广

西安西电电力系统有限公司

苟锐锋 李 侠 田 方 刘 宁 张万荣 李宾宾 周晓琴 焦秀英

李 璐 王蔚华

西安西电变压器有限责任公司

汪德华 宓传龙 黄建华 徐基泰 方治强 王宁之 帅远明 陈敏懋
陈 荣 王子春

特变电工沈阳变压器集团有限公司

钟俊涛 王相中 闫新钰 彭 娜 薛静梅 刘世平

保定天威保变电气股份有限公司

张喜乐 赵银汉 彭广勇

西安高压电器研究院有限责任公司

周会高 张小勇

南京南瑞继保电气有限公司

曹冬明 沈 刚 刘海彬

许继电气股份有限公司

张 望 马俊民 李 灿

西安电力电子技术研究所

薛 斌

西安西电避雷器有限责任公司

吕怀发 何计谋 张一鸣

总序

1983年，我与国务院领导一起出差，利用半天的时间，重点汇报了我国机械工业的发展情况，内容之一就是重大技术装备的研制问题。当时重点建设工程所需的成套设备大部分依靠进口，为改变这个局面，建议抓紧研制重大技术装备，并成立国务院重大技术装备领导小组。国务院领导听了以后非常高兴，当即拍板由国务院正式下文迅速办理此事。

1983年7月12日，国务院作出了《关于抓紧研制重大技术装备的决定》（以下简称《决定》）（国发〔1983〕110号文件）。《决定》指出，在20世纪内振兴我国经济，实现四个现代化的宏伟目标，必须依靠科学技术进步，发挥现代科学技术对经济建设的巨大促进作用。从现在起要采取有力措施，在依靠我们自己力量的同时，积极引进国外先进技术，合作设计、合作制造若干套重点建设项目的技术装备，力争在前十年把这些最核心的技术真正掌握在自己手里，这样才能为后十年的经济振兴打下牢固基础。《决定》是指导我国研制重大技术装备的纲领性文件，开辟了我国研制重大技术装备的新纪元。

为此，国家在长期规划中先后确定了一批重点建设工程所需要的重大技术装备，包括千万吨级露天矿成套设备、大型火电站成套设备、长江三峡枢纽工程及大型水电成套设备、大型核电站成套设备、超高压输变电成套设备、大秦线铁路重载列车及大型港口船舶工程成套设备、宝钢二期工程及大型冶金成套设备、30万t乙烯成套设备、大型化肥成套设备、大型煤化工成套设备、北京正负电子对撞机、陆海石油成套设备、空中交通管制成套设备、印刷技术装备14项重大成套设备研制项目。成立了由国务院领导担任组长，有26位部长参加的国务院重大技术装备领导小组，统一组织负责这项工作。

这些重大技术装备都是国民经济急需的，技术难度大，质量要求高，大都是要填补国家空白的，需要跨部门、跨地区、跨行业的工程成套设备，由领导小组下的各个部门共同组织完成。参加研制任务的科研院所、大专院校、生产制造单位及用户单位 300 多个，共有 7000 余名科研人员、工程技术人员、专家和领导参加，可以说是千军万马、声势浩大。其中每一台设备从设计、研制、中间试验到批量生产，从技术论证、技术鉴定到产业化都要做大量艰苦细致的工作。

中央和国务院领导对重大技术装备研制工作非常重视，先后在《重大技术装备简报》上直接批示的就有 200 多次。重大技术装备研制硕果累累，很多项目获得了国家科技进步奖。其中，北京正负电子对撞机和大型露天矿成套设备两个项目获得了 1990 年的国家科技成果特等奖。重大技术装备的研制对国家经济发展起到了重大推动作用，为我国重大建设工程提供了技术先进、使用可靠的成套设备。

如三峡工程是以防洪、发电、通航和灌溉等综合利用为总目标的、举世瞩目的伟大工程。重大技术装备要为三峡工程攻关研制提供的装备包括特大型施工机械、水轮发电机组及辅机设备、电站综合自动化系统、通航设施及特大型金属结构。

500kV 超高压输变电成套设备也是根据国内电网主网架的需要和三峡工程送出电网的要求研制的，重点研制 500kV 交、直流输变电成套设备。

大型核电站成套设备受到中央领导高度重视，在周恩来总理亲自关心下，建设秦山一期核电站，开启谱写我国核电发展的光辉史篇。经过秦山二期、广东岭澳等核电站建设，我国核电装备制造能力有了显著提升，核电装备国产化率有了很大提高。随着三代核电技术引进、消化、创新，我国必将成为核电装备制造强国。

以宝钢二期工程设备为代表，走出了一条依托国家重点工程建设，采取“技贸结合，转让技术，联合设计，合作生产”，有选择地引进单项技术与装备，逐步实现重大技术装备国产化的成功之路。

大秦线铁路重载列车及大型港口工程成套设备包括装煤、万吨列车运煤、秦皇岛码头及大型肥大船、自卸船送煤等系统工程用设备，大大提升了我国铁路及港口运输的技术水平。

30 万 t 乙烯成套设备重点研制了大型乙烯裂解炉，聚丙烯、丙烯腈、重质原料催化热裂解等成套技术装备，促进了我国乙烯工业的迅速发展，目前我国乙烯产量居世界第二。

大型化肥成套设备重点研制年产 30 万 t 合成氨、年产 52 万 t 尿素以及复合肥料成套装备，攻克了合成氨压缩机、二氧化碳压缩机等机组的技术难关，使大型化肥技术装备能立足国内。

大型煤化工成套设备重点是通过哈尔滨、兰州城市煤气成套设备的国产化，推动全国城市煤气的现代化。

北京正负电子对撞机项目是邓小平同志亲自参加奠基仪式的一个高科技工程，它的成功研制充分显示了我国的科研技术水平已经达到当代国际水平。

为研制这些重大成套设备，国务院在 20 世纪 80 年代初就确定进口设备的同时引进先进技术，并与国外技术先进的著名大公司合作设计、合作制造。

这些成套设备和装置通过四个“五年”计划攻关研制，关键技术取得长足进步，通过技术改造，生产能力大大提高。

重大技术装备的研制之所以成功，主要是始终坚持了以下“三个结合”：

一是重大技术装备研制必须与重点建设工程项目或者重点技改项目相结合，制造部门要与使用部门相结合。

二是坚持自力更生、博采众长、自主创新与引进技术的消化吸收相结合。

三是坚持设备制造部门、企业承制与使用部门和业主相结合，“大力协同，团结造机”。

实践证明，三个结合抓得好的，国产化成绩就突出，水平就高，效益就好。实践也充分证明，只有成立国务院领导小组直接组织协调各部门、各地区的力量，及时解决各方面的矛盾，才能抓好这项工作。1988 年，国务院领导找我谈话，要我担任航天航空部部长，明确提出要像抓重大技术装备那样去抓

好航天航空工作，充分说明国务院领导对重大技术装备研制的工作方式和成绩是充分肯定的。

重大技术装备的制造能力与水平是衡量一个国家工业现代化的重要标志，现在我国已经能制造 300t 的电动轮自卸车，75m³ 的电铲，800MW 的水电站、超超临界参数百万千瓦火电站、第三代核电站、特高压交直流输变电成套设备。“十二五”规划中，又将“高端装备制造”加入了新兴战略发展产业，要将重大技术装备研制工作继续持久发展下去。

编写《中国重大技术装备史话》，不仅仅是对几项重大技术装备的简单历史回顾，更重要的是对我国不同时期大型装备国产化历史的系统总结，通过以点带面，由个体表现全局而展现一个国家、一个民族独立自主、自力更生、团结协作、艰苦奋斗的民族精神，为后人留下更多的精神财富。目前，我国已初步具备了由世界装备制造大国向装备制造强国冲刺的基础和条件，更需要独立自主、自力更生、团结协作、艰苦奋斗的民族精神与气节，只有这样，我们才能真正立于强国之列。古人云“艰难困苦，玉汝于成”，这套史话为我们提供了较好的参照蓝本，它是我国重大装备制造逐步国产化的一个缩影，展现了我国装备制造业由大到强的过程。

希望每一项重大技术装备研制项目，有条件的话都能认真总结回顾一下，写成本史话或发展简史，既总结过去，又激励后人，为我国重大技术装备研制工作作出更大贡献，这是很有意义的一件好事。

人类进入 21 世纪已经十年有余，放眼全球，国与国之间的竞争不是减弱了，而是增强了；技术发展、产品更新的速度不是变慢了，而是加快了。在这样一个竞争日益激烈的环境中，不仅需要很多大型国企，更需要大量的民企共同参与，不断发扬自力更生、团结协作、追求卓越的精神，百尺竿头，更进一步，为实现我国由装备制造大国向装备制造强国的转变做出更大贡献。

原国务院重大技术装备领导小组办公室主任

林宗棠

序言

《中国重大技术装备史话 中国输变电设备制造》一书即将出版发行了。我相信，广大读者将会从本书中看到几十年来，尤其是改革开放以后的三十几年来，中国输变电设备制造业从小到大，由弱到强的历史发展过程；看到参与中国输变电设备制造业建设的数代干部、科技人员、广大职工是如何迎难而上，顽强拼搏，通过一项又一项里程碑式的工程建设，将我国输变电设备的制造水平提高到世界先进水平的光辉历史过程。

我国输变电设备制造业在建国初期基础是非常薄弱的。在“一五”计划期间，随着苏联援建的“156项工程”的陆续开工建成，使我国输变电设备的制造能力初具规模，满足了当时国民经济发展的需要。但在此后的20年里，由于众所周知的原因，与世界先进水平之间已经缩小的差距又再次被拉大了。改革开放前，我国虽然自主开发制造了330kV和500kV交流成套输变电设备，但鉴于当时技术水平、试验研究能力和整体工业发展水平的限制，产品技术水平和经济技术指标都与当时国际水平有很大差距。

1978年12月，党的十一届三中全会召开。这次会议确定了解放思想、开动脑筋、实事求是、团结一致向前看的指导方针，做出了把党和国家的工作中心转移到经济建设上来、实行改革开放的历史性决策。输变电设备制造业迎来了发展的大好机遇。

在国家政策的支持下，输变电设备制造的骨干企业通过引进技术或合作生产，相继引进了国际上先进的交流输变电设备和直流输电设备制造技术及装备，实现了跨越式发展，完成了三峡工程所需输变电设备的国产化制造，彻底结束了重大输变电设备依赖进口的历史。

进入 21 世纪后，为满足国民经济高速发展的需要，特高压输电工程建设问题提上了议事日程。2005 年，鉴于当时对于我国发展特高压输电技术分歧很大，我与当时国家电网公司特高压输电顾问小组的 5 名成员一起，联名写出报告“尽早明确特高压工程建设工作的建议”给国务院副总理曾培炎，以尽快落实百万伏级交流输电工程示范项目，并提出了交流特高压输电示范工程的选择原则，即自主创新、标准统一、规模适中和安全可靠的原则。在国家发改委、能源局、国家电网公司等单位的领导和推动下，特高压输电成为新中国最伟大的工程成就之一，是一座工程科技创新的丰碑。

回顾输变电设备制造业的发展历史，会使我们深切怀念那些参与其中的老领导、老专家和广大工程技术人员，他们有的已经永远离开了我们，有的已离休、退休。新中国的输变电设备制造业正是依靠他们的不懈奋斗，才迎来今天的光辉成就，让我们对他们所做出的伟大贡献表示崇高的敬意。

回顾这段历史，绝非为了怀旧，而是要以史为鉴，更好地总结发展过程中的经验教训，以利在承继历史的基础上，实现新的发展，开创更加辉煌的未来。中国输变电设备制造业目前已经站在了世界的前列，未来将会有更加广阔的发展空间。衷心祝愿新一代输变电设备制造者们继续发扬顽强拼搏、努力奋斗的精神，为实现我国成为世界输变电设备制造强国的目标做出更大的贡献！

原机械工业部副部长

陆燕荪

前言

本书叙述的是中国输变电设备制造的主要发展过程。由于高压输电分为交流和直流两种方式，且其各自对应的制造业的发展过程有着极大的差别，因此，本书分为上、下两篇，分别介绍高压交流输变电设备制造和高压直流输电设备制造的发展过程。

本书上篇（高压交流输变电设备制造）共分为7章。从20世纪60年代末我国自主开发龙羊峡—天水—关中330kV超高压工程项目成套输变电设备的研发、制造写起，以一系列里程碑式的工程项目的设备制造过程为主线，反映出历经艰难的500kV锦—辽试验线段工程和平顶山—武汉工程、80年代的合作生产、引进技术阶段，直至通过三峡工程引进技术产生一个发展的飞跃，并以此为基础通过750kV示范工程的锤炼，自主开发出交流超高压（750kV）和特高压（1000kV）工程所需设备的发展历程。其间每一个里程碑式的工程项目的设备制造过程，按不同的设备分类，分别从背景及依托工程，决策过程，技术方案的选择过程，实施过程中解决的关键问题，开发出的主要产品的技术指标、特点和达到的水平，设计水平、加工制造能力和管理水平的改善、提高，设备的工程使用情况，经验与教训等方面加以介绍。

本书下篇（高压直流输电设备制造）的介绍分为两部分进行。第一部分共6章，着重介绍了我国直流输电各里程碑式的工程项目的背景、决策过程、技术方案的确定过程、工程建设及设备使用情况。第二部分共7章，按照直流输电工程设备制造的主要环节和主要设备分类，详细介绍了各主要环节及主要设备的发展过程。

本书力求史实真实、准确，尊重历史原貌。本书的很多编写者和组织者都是相关事件的亲历者或当事人，本书在编写过程中，召开了（或走访）有关

领导和专家参加的座谈会，参考了有关文献和相关单位的档案材料，对不能确定（或无法核实）之事，宁可舍去不写。

本书的编写由原机械工业部主抓重大装备研制的陆燕荪副部长积极倡导，他对本书的编写过程给予了极大的关注。本书的编写工作由中国电器工业协会负责组织和协调，通过他们的辛勤工作，使相关行业的骨干企业积极地参与到本书的编写工作中来。本书的具体编写工作由中国西电集团公司负责组织实施，张雅林总经理、陈元魁书记高度重视，组织公司相关单位积极参与编写工作，并就编写过程中人、财、物等方面碰到的问题做出了妥善安排，保证了编写工作的顺利进行。本书的编写工作也得到曾经参与重大输变电工程项目设备制造的老领导、老专家及广大工程技术人员的大力支持。李毅达、吴铁铮、尚金城、秦文钝、郑军、王彤等同志为直流输电设备制造部分的编写工作提供了许多重要的历史素材，并为本书的成功撰写提供了宝贵支持，在此，一并深表衷心感谢。

由于本书涉及的专业技术知识广泛，时间跨度长，编写难度比较大，加之可能由于编写者对史料的了解和所掌握的专业知识有限，难免会有遗漏和不妥之处，恳请广大读者予以批评指正。

编 者

目录

总序	
序言	
前言	

上篇 高压交流输变电设备制造

绪论	3
第一章 知难而上 开启自主开发超高压成套输变电设备的 新篇章——330kV 输变电设备制造	12
第一节 变压器、电抗器设备的制造	13
第二节 开关设备制造	18
第三节 避雷器、套管、绝缘子的制造	33
第四节 电容式电压互感器及串联电容器的制造	48
第五节 经验与教训	53
第二章 几度探索 历尽艰辛 打下输变电设备制造业腾飞的 基础——500kV 锦—辽试验线段工程设备制造	55
第一节 变压器、电抗器设备的制造	57
第二节 开关设备制造	68
第三节 避雷器、套管、绝缘子的制造	75
第四节 电容式电压互感器及并联电容器装置的制造	85
第五节 经验与教训	92
第三章 乘改革开放之风 启引进技术之先河——平—武 线 500kV 输变电设备制造技术的引进与消化	93
第一节 变压器、电抗器制造技术的引进与消化	94
第二节 开关设备制造技术的引进与消化	99
第三节 碳化硅磁吹式避雷器技术的引进及其国产化	104
第四节 套管制造技术的引进及其国产化	105
第五节 经验与教训	107
第四章 合作生产 带进技术 实现输变电设备 制造业整体实力的跨越式发展	108
第一节 变压器设备制造	108

第二节	开关设备制造	111
第三节	避雷器制造技术引进	125
第四节	绝缘子制造工艺及装备的引进	130
第五节	经验与教训	134
第五章	依托三峡工程 走引进—消化吸收—再创新之路	
	实现输变电设备制造业质的飞跃	136
第一节	依托三峡工程 引进先进技术	137
第二节	引进技术的消化、吸收	146
第三节	在引进技术基础上的再创新	150
第四节	高精度大容量电容式电压互感器及 高压全膜电容器制造	170
第五节	经验与教训	179
第六章	树雄心 立壮志 勇攀高峰——750kV 超高压输变电 设备制造	180
第一节	变压器、电抗器设备的制造	182
第二节	开关设备制造	191
第三节	避雷器、套管、绝缘子的制造	218
第四节	互感器设备制造	227
第五节	经验与教训	231
第七章	舍我其谁 喜摘世界输变电设备制造业皇冠上的明珠—— 1000kV 特高压输变电设备制造	232
第一节	变压器、电抗器设备的制造	233
第二节	开关设备制造	252
第三节	避雷器、套管、绝缘子的制造	278
第四节	互感器设备制造	298
第五节	经验与教训	300
	未来展望	303

下篇 高压直流输电设备制造

第一部分	三十余年的辉煌历程	319
第一章	成功的起步——舟山直流输电工业性试验工程	322
第一节	应运而生——海岛用电的迫切需求和我国直流输电技术 发展的需要	325
第二节	坚持自主设计和研制	326
第三节	排除万难上直流——西电集团扛鼎我国直流 输电的决心	327

第二章 艰难的过渡——葛上、天广和嵊泗直流输电工程	330
第一节 葛上直流输电工程的技术引进	331
第二节 $\pm 500\text{kV}$ 直流输电工程国内设备制造的起步—— 天广直流输电工程	331
第三节 上海芦潮港至嵊泗直流输电工程——又一个全国产化的 直流输电工程	333
第三章 机遇与转折——三峡 $\pm 500\text{kV}$ 系列超高压直流 输电工程	342
第一节 主设备技术引进重在参与——三常直流输电工程	342
第二节 联合设计 独立制造 技术提升——三峡至广东 $\pm 500\text{kV}$ 高压直流输电工程	346
第三节 联合设计 联合投标 独立制造——三沪直流输电 工程	350
第四节 引进技术的国产化验证——西北华中联网背靠背 工程	353
第五节 工程项目、技术引进、技术攻关、技术改造“四位一体” 全面推动	355
第四章 发展与提高——贵广二回、宝德和呼辽直流 输电工程	363
第一节 以我为主 联合设计 自主生产——贵广二回直流 输电工程	364
第二节 换流站设备的完善补齐 直流场设备的攻关	366
第三节 独立投标 独立成套 独立设计——宝德直流输电工程 和呼辽直流输电工程	368
第五章 创新的丰碑—— $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电工程	370
第一节 世界首个 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电工程 树起我国电网 建设史上新的里程碑——云广特高压直流输电工程	371
第二节 向家坝——上海 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电示范工程	373
第三节 破瓶颈 国内首支 $\pm 800\text{kV}$ 特高压干式直流套管研制 成功	375
第六章 科学的探索—— $\pm 1100\text{kV}$ 特高压直流输电工程换流站主要 设备创新研制	377
第二部分 三十余年卓有成效的奋斗	380
第一章 换流变压器与平波电抗器	381
第一节 舟山直流输电工业化试验工程换流变压器和平波 电抗器的自主研制	381