

高压直流互感器 实用技术

费烨 王静静◎编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

高压直流互感器 实用技术

费烨 王静静◎编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

直流输电作为成熟、可靠的大容量、远距离输电技术,在我国跨省区联网工程中发挥了重要作用。我国电网规划在 2020 年前后建设近 40 个包含跨国、跨省区的不同电压等级直流系统,届时我国将是世界上直流输电技术应用最广泛的国家。直流互感器是直流输电系统换流站主设备中不可缺少的设备,发挥着直流系统电能计量、电量监测、电力系统控制与保护的重要作用。

本书对直流输电技术的发展进行了介绍,并针对目前换流站中使用较多的直流互感器的原理、试验、运行和维护及±1100kV 特高压直流互感器技术进行了系统的阐述。全书共分五章,包括直流输电概述、直流互感器的原理、直流互感器试验、直流互感器的运行和维护及±1100kV 特高压直流互感器。

本书可供电力系统相关从业人员以及设备制造等专业人员使用,也可供大专院校有关专业师生阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

高压直流互感器实用技术/费烨,王静静编著. —北京:中国电力出版社,2016.5

ISBN 978-7-5123-8923-6

I. ①高… II. ①费…②王… III. ①高电压互感器 IV. ①TM451

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 029739 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>)

三河市航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 5 月第一版 2016 年 5 月北京第一次印刷

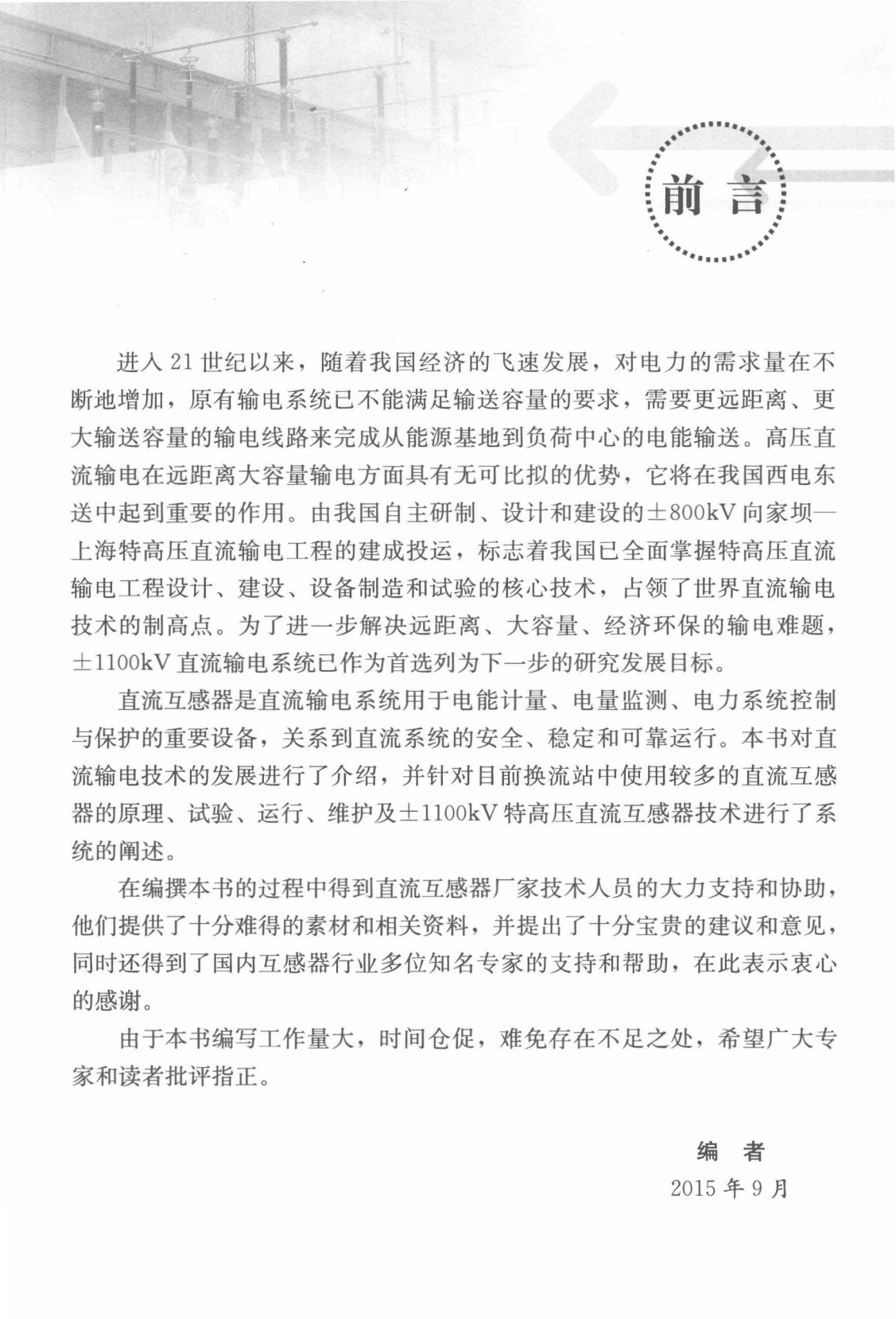
710 毫米×980 毫米 16 开本 8.25 印张 126 千字

印数 0001—1000 册 定价 40.00 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



前言

进入 21 世纪以来,随着我国经济的飞速发展,对电力的需求量在不断地增加,原有输电系统已不能满足输送容量的要求,需要更远距离、更大输送容量的输电线路来完成从能源基地到负荷中心的电能输送。高压直流输电在远距离大容量输电方面具有无可比拟的优势,它将在我国西电东送中起到重要的作用。由我国自主研发、设计和建设的 $\pm 800\text{kV}$ 向家坝—上海特高压直流输电工程的建成投运,标志着我国已全面掌握特高压直流输电工程设计、建设、设备制造和试验的核心技术,占领了世界直流输电技术的制高点。为了进一步解决远距离、大容量、经济环保的输电难题, $\pm 1100\text{kV}$ 直流输电系统已作为首选列为下一步的研究发展目标。

直流互感器是直流输电系统用于电能计量、电量监测、电力系统控制与保护的重要设备,关系到直流系统的安全、稳定和可靠运行。本书对直流输电技术的发展进行了介绍,并针对目前换流站中使用较多的直流互感器的原理、试验、运行、维护及 $\pm 1100\text{kV}$ 特高压直流互感器技术进行了系统的阐述。

在编撰本书的过程中得到直流互感器厂家技术人员的大力支持和协助,他们提供了十分难得的素材和相关资料,并提出了十分宝贵的建议和意见,同时还得到了国内互感器行业多位知名专家的支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于本书编写工作量大,时间仓促,难免存在不足之处,希望广大专家和读者批评指正。

编 者

2015 年 9 月

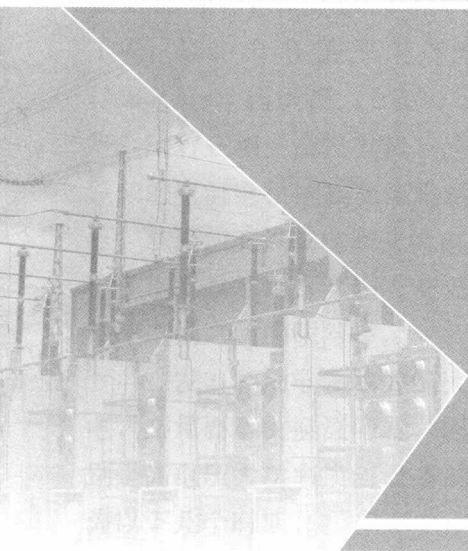
目录

前言

第一章 直流输电概述	1
第一节 直流输电工程的发展	3
第二节 直流输电工程的特点	13
第三节 直流输电工程系统	17
第四节 直流输电工程的应用	26
第五节 直流输电工程的类型	31
第二章 直流互感器的原理	35
第一节 直流大电流的测量方法	37
第二节 直流高电压的测量方法	47
第三节 工程中直流电流互感器的原理	54
第四节 工程中直流电压互感器的原理	66
第三章 直流互感器试验	69
第一节 光电型直流电流互感器试验	71
第二节 零磁通型直流电流互感器试验	78
第三节 直流电压互感器试验	88
第四章 直流互感器的运行和维护	99
第一节 直流互感器的运行	101
第二节 直流互感器的维护	108
第五章 $\pm 1100\text{kV}$ 特高压直流互感器	111
第一节 $\pm 1100\text{kV}$ 特高压直流电流互感器	113
第二节 $\pm 1100\text{kV}$ 特高压直流电压互感器	124
参考文献	126

第一章

直流输电概述



第一节 直流输电工程的发展

一、国外直流输电工程的发展

电力技术的发展是从直流输电开始的，早期的直流输电是不需要经过换流的，直接从直流电源送往直流负荷，即发电、输电和用电均为直流电，如 1882 年在德国建成的 2kV、1.5kW、57km 向慕尼黑国际展览会的送电工程；1889 年在法国用直流发电机串联而得到高电压，从毛梯埃斯 (Moutiers) 到里昂 (Lyon) 的 125kV、20MW、230km 的直流输电工程等。随着三相交流发电机、感应电动机和变压器的迅速发展，发电和用电领域的直流电很快被交流电所取代。同时，变压器又可方便地改变交流电压，从而使交流输电和交流电网得到迅速的发展，并很快占据了统治地位。但在输电领域，直流还有交流所不能取代之处，如远距离电缆送电、不同频率电网之间的联网等。

在发电和用电领域的绝大部分均为交流电的情况下，如要采用直流输电，必须要解决换流问题。因此，直流输电的发展与换流技术的发展（特别是高电压大功率换流设备的发展）有密切的关系。直流输电的发展可分为以下几个时期。

（一）汞弧阀换流时期

1901 年发明的汞弧整流管只能用于整流，而不能进行逆变。1928 年具有栅极控制能力的汞弧阀研制成功，它不但可用于整流，同时也解决了逆变问题。因此，大功率汞弧阀的问世使直流输电成为现实。从 1954 年世界上第一个工业性直流输电工程（果特兰岛直流工程）在瑞典投入运行，到 1977 年最后一个采用汞弧阀换流的直流输电工程（加拿大纳尔逊河工期工程）建成，世界上共有 12 项采用汞弧阀换流的直流输电工程投入运行。其中，输送容量最大和输送距离最长的为美国太平洋联络线（1440MW、1362km），输电电压最高的为加拿大纳尔逊河工期工程（ $\pm 450\text{kV}$ ）。这一时期可称为汞弧阀换流时期，容量最大的汞弧阀为用于太平洋联络线的多阳极汞弧阀（133kV、1800A）以及用于苏联伏尔加格勒—顿巴斯直流工程的单

阳极汞弧阀（130kV、900A）。由于汞弧阀制造技术复杂、价格昂贵、逆弧故障率高、可靠性较低和运行维护不便等，使直流输电的发展受到限制。

（二）晶闸管换流时期

20 世纪 70 年代以后，随着电力电子技术和微电子技术的迅速发展，高压大功率晶闸管的问世，晶闸管换流阀和微机控制技术在直流输电工程中的应用有效改善了直流输电的运行性能和可靠性，促进了直流输电技术的发展。晶闸管换流阀不存在逆弧问题，而且制造、试验、运行维护和检修都比汞弧阀简单、方便。1970 年，瑞典首先在果特兰岛直流工程上扩建了直流电压为 50kV，功率为 10MW，采用晶闸管换流阀的试验工程。1972 年，世界上第一个采用晶闸管换流的伊尔河背靠背直流输电工程在加拿大投入运行。由于晶闸管换流阀与汞弧阀相比有明显的优势，从此以后新建的直流输电工程均采用晶闸管换流阀。与此同时，原来采用汞弧阀的直流输电工程也逐步被晶闸管阀所替代。20 世纪 70 年代以后汞弧阀被淘汰，开始了晶闸管换流时期。在此期间，微机控制和保护、光电传输技术、水冷技术和氧化锌避雷器等新技术在直流输电工程中也得到了广泛的应用，促使直流输电技术进一步的发展。

1954~2000 年，世界上已投入运行的直流输电工程有 63 项，其中，架空线路 17 项，电缆线路 8 项，架空线和电缆混合线路 12 项，背靠背直流输电工程 26 项。在已运行的直流输电工程中，架空线路电压最高（ $\pm 600\text{kV}$ ）和输送容量最大（6300MW）的是巴西伊泰普直流输电工程，输送距离最长（1700km）的是南非英加—沙巴直流输电工程；电缆线路输送容量最大（2000MW）的是英法海峡直流输电工程，电压最高（450kV）和距离最长（250km）的是瑞典—德国的波罗底海直流输电工程；背靠背换流站容量最大（1065MW）的是俄罗斯—芬兰之间的维堡直流输电工程。在此时期，直流输电在远距离大容量输电、电网互联和电缆输电（特别是海底电缆）等方面均发挥了重大的作用。直流输电工程输送容量的年平均增长率，在 1960~1975 年为 460MW/a，1976~1980 年为 1500MW/a，1981~1998 年为 2096MW/a。

（三）新型半导体换流设备的应用

20 世纪 90 年代以后，新型氧化物半导体器件——绝缘栅双极晶体管

(IGBT), 首先在工业驱动装置上得到了广泛的应用。1997 年 3 月世界上第一个采用 IGBT 组成电压源换流器的直流电工业性试验工程在瑞典中部投入运行, 其输送功率和电压分别为 3MW、10kV, 输送距离为 10km, 这种被称为轻型直流输电的工程在小型输电工程中具有较好的竞争力。到 2004 年, 在瑞典、澳大利亚、爱沙尼亚、芬兰、美国、挪威等国已有 8 项轻型直流输电工程投入运行。由于 IGBT 单个元件的功率小、损耗大, 不利于大型直流输电工程采用。近期研制成功的集成门极换相晶闸管 (IGCT) 和大功率碳化硅元件, 在直流输电工程中有很好的应用前景。这类元件的电压高、通流能力大、损耗低、体积小、可靠性高, 并且它还具有自关断能力。因此, 这些新型的半导体换流器件将会取代普通晶闸管, 并将有力地推动直流输电技术的发展。

二、中国直流输电工程的发展

(一) 试验装置建设及换流设备的研制

中国的直流输电是在 1958 年考虑长江三峡水利资源的开发以及三峡电站的电力外送问题时提出的。1963 年, 在中国电力科学研究院建成 1000V、5A 的直流输电物理模拟装置。该套装置主要包括 2 组由闸流管组成的 6 脉动换流器、换流变压器模型、平波电抗器模型、输电线路模型以及电磁型和电子型的控制保护装置等, 利用该套装置开始了对直流输电换流技术及控制保护系统的研究。20 世纪 70 年代以后, 对该套装置进行了技术更新和改造, 用晶闸管替换了原来的闸流管并采用了数字式的控制保护系统。20 世纪 80 年代, 随着葛洲坝—南桥大型直流输电工程的技术引进, 从瑞士 BBC 公司引进了一套先进的大型直流输电模拟装置, 它主要包括 8 组由晶闸管组成的 12 脉动换流器及其配套的 8 组换流变压器、交流滤波器、直流滤波器及平波电抗器模型, 60 组可以模拟 3000km 直流 (或交流) 线路的线路模型, 5 组数字式发电机模型, 2 组交流电源模型, 1 组静止无功补偿模型以及相应的交、直流断路器模型及避雷器模型等。控制保护采用与葛洲坝—南桥直流输电工程相同的由可编程高速处理器 (PHSC) 组成的微机控制系统。每组 12 脉动换流器的额定参数是 200V、250mA、50W。该套模拟装置在葛洲坝—南桥直流输电工程的系统研究、调试和运行的研究工作

中起了重要的作用，同时还在天生桥—广州直流输电工程、三峡向华东及广东送电、西北向华北送电等直流输电工程的研究工作中起了一定的作用。20 世纪 90 年代，在该套装置上又增加了全数字化的直流输电仿真系统（RTDS），并且与暂态网络分析装置（TNA）相连，从而具备了进行更大规模试验研究工作的能力。在此基础上，在中国电力科学研究院成立了电力系统仿真中心。与此同时，在浙江大学、华北电力大学以及西安高压电器研究所也先后建立了不同类型的直流输电模拟装置并进行了各项研究工作。为了开展对直流高电压技术的研究，在中国电力科学研究院和西安高压电器研究所还建立了能够满足 $\pm 500\text{kV}$ 直流输电工程的研究工作所需要的直流高压发生器，并开展了直流高电压技术的研究。为了满足建设 $\pm 800\text{kV}$ 以上的特高压直流输电工程的需要，2008 年在中国电力科学研究院建成特高压直流试验基地，并开展了大量的研究工作。

换流设备是实现直流输电的关键设备。中国直流输电的发展起步较晚，跨越了汞弧阀换流时期，在 20 世纪 70 年代直接从晶闸管换流阀开始，并同时直流输电的其他设备也进行了试制。在西安和上海先后建立了相应的试验装置和试验工程。

1974 年，在西安高压电器研究所建成 8.5kV 、 200A ，容量为 1.7MW 的背靠背换流试验站。整流侧和逆变侧各采用 1 组 6 脉动换流器，共有 12 个晶闸管换流阀，其中 10 个换流阀由 16 个 2000V 、 200A 的晶闸管串联组成；2 个换流阀由 48 个 $200\sim 1000\text{V}$ 、 200A 的晶闸管组成。在此之前曾对由 52 个晶闸管串联的换流阀样机进行了大量的试验研究。换流阀为空气绝缘、风冷却、户内式结构，触发方式为电磁型，控制系统采用模拟式按相控制。利用该试验站除对全部一次设备和二次设备进行大量的考核试验外，还对直流输电的控制保护特性以及各种故障类型进行了试验研究。以上工作作为舟山直流输电工程的设备制造打下了良好的基础。

1977 年，上海利用杨树浦发电厂到九龙变电站之间的 23kV 交流报废电缆线路，建成了 31kV 、 150A 、 4.65MW 的直流输电试验工程，全长 8.6km 。整流站和逆变站各采用 1 个 6 脉动换流器。换流阀由 64 个 2000V 、 150A 的晶闸管串联组成，采用空气绝缘、通油冷却、户内式结构，触发方式为电磁型，控制装置采用数字式等距脉冲触发系统。两端换流站交流侧

装有 5 次、7 次和高通滤波器，直流侧装有 1H 的平波电抗器。工程建成后对全部设备进行了各种现场试验和考核，并对换流站产生的谐波和无线电干扰进行了实测和分析。以上工作为舟山直流输电工程的设计、调试和运行积累了经验，进行了技术准备。

（二）典型直流输电工程

20 世纪 80 年代，中国开始建设直流输电工程，到 2002 年已有 5 项直流输电工程投入运行，2010 年向家坝—上海特高压直流输电工程投产运行，上海庙—山东临沂特高压直流输电工程于 2015 年 12 月得到核准。

1. 舟山直流输电工程

舟山直流输电工程是 1980 年我国自主建设的第一项直流输电工程，它既解决了浙江向舟山本岛的输电问题，又具有向建设大型直流输电工程过渡的工业性试验性质。该工程第一期于 1984 年开始施工，1989 年正式投入商业运行，工程规模为双极 $\pm 100\text{kV}$ ，额定电流为 500A，额定容量为 100MW，采用单极金属回线方式，线路全长 54km，全段为架空线和海底电缆交替分段混合型分布。该工程从科研设计、设备制造到调试运行，全部依靠国内的技术力量，为直流输电在中国的发展起到了重要作用。

2. 葛洲坝—南桥直流输电工程

葛洲坝—南桥直流输电工程主要解决葛洲坝电站向华东上海地区的输电问题，工程规模为双极 $\pm 500\text{kV}$ ，额定电流为 1200A，额定容量为 1200MW，线路全长 1045km。该工程于 1985 年 10 月开工建设，1989 年 9 月单极投入运行，1990 年 8 月工程全部建成并投入运行。由于当时我国缺乏相关经验，工程设计和设备制造均由国外承包商承担。

3. 天生桥—广州直流输电工程

天生桥—广州直流输电工程建设的目的是解决天生桥水电站以及云南、贵州的多余电力向广州负荷中心的送电问题。工程规模为双极 $\pm 500\text{kV}$ ，额定电流为 1800A，额定容量为 1800MW，工程于 2000 年 12 月单极投入运行，2001 年工程全部建成。该工程的主要特点是远距离大容量的交、直流并联输电，可以利用直流输电的快速控制来提高交流的输电容量和系统的运行稳定性。与葛洲坝—南桥直流工程相比，该工程装设了直流有源滤波器，换流变压器套管使用新型复合绝缘套管，采用了光电型直流电流互

感器。

4. 嵊泗直流输电工程

嵊泗直流输电工程是我国自行设计和建造的双极海底电缆直流输电工程，主要解决从上海向嵊泗岛及宝钢马迹岛码头的送电问题，同时也考虑到当嵊泗岛上的风力发电发展到一定规模时，也具有向上海反送的功能。工程规模为双极 $\pm 50\text{kV}$ ，额定电流为 600A ，额定容量为 60MW ，线路全长 66.2km ，其中 59.7km 为海底电缆， 6.5km 为架空线路，工程于2002年全部建成。

5. 三峡—常州直流输电工程

三峡—常州直流输电工程主要解决三峡水电站向华东电网的输电问题。工程规模为双极 $\pm 500\text{kV}$ ，额定电流为 3000A ，额定容量为 3000MW ，直流线路东起龙泉换流站，西至政平换流站，线路全长 860km ，采用 $\text{ACSR}-4\times 720\text{mm}^2$ 导线。工程于2002年12月单极投入运行，2003年5月全部建成。该工程的建成对满足华东地区电力需求，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。

6. 三峡—广东直流输电工程

三峡—广东 $\pm 500\text{kV}$ 直流输电工程是继三峡—常州直流输电工程之后，世界上输送容量达到 3000MW 的直流输电工程之一。工程规模为双极 $\pm 500\text{kV}$ ，额定电流为 3000A ，额定容量为 3000MW ，工程起于湖北省荆州换流站，止于广东省惠州换流站，线路全长 940km ，于2002年开工建设，2004年4月实现双极投运，总投资 63.5 亿元。该工程投入运行是三峡输变电工程和西电东送建设的又一重大成果，对缓解华东等地区的电力紧张状况发挥了重要作用。三峡—广东直流输电工程具备向广东输电 3GW 的能力，对于缓解当前煤电油运供求紧张，促进经济平稳发展，具有重要意义。

7. 向家坝—上海特高压直流输电工程

向家坝—上海 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电工程是我国自主研发、自主设计和自主建设的，承担着金沙江下游大型水电基地的送出任务，起于四川宜宾复龙换流站，止于上海奉贤换流站，途经四川、重庆、湖北、湖南、安徽、浙江、江苏、上海8个省市，4次跨越长江，线路全长 1907km 。工

程额定电压为 $\pm 800\text{kV}$ ，额定电流为 4000A ，额定输送功率为 6400MW ，最大连续输送功率为 7200MW 。工程于2007年4月核准，2010年7月投入运行。该工程在 $\pm 500\text{kV}$ 超高压直流输电工程的基础上，在世界范围内率先实现了直流输电电压和电流的双提升，输电容量和送电距离的双突破。工程投入运行后，每年可向上海输送320亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 的清洁电能，最大输送功率约占上海高峰负荷的 $1/3$ ，可节省原煤1500万t，减排二氧化碳超过3000万t。工程的成功建设系统验证了特高压直流输电工程的技术可行性、设备可靠性、系统安全性和环境友好性。

8. 宁东—山东 $\pm 660\text{kV}$ 直流输电示范工程

宁东—山东 $\pm 660\text{kV}$ 直流输电示范工程于2008年12月获得中华人民共和国发展和改革委员会（简称国家发改委）核准并于同年开工建设，是世界上首个 $\pm 660\text{kV}$ 电压等级的直流输电工程，是建设 $\pm 660\text{kV}$ 电压等级序列的标志性工程，全线将首次采用 $4\times 1000\text{mm}^2$ 大截面导线，将在直流阀厅建设规模、单12脉动阀组的容量、单阀晶闸管数量以及单台换流变容量等方面创造直流输电工程领域新的世界纪录。该工程是国家实施西电东送的重要输电通道项目，将把黄河上游水电和宁东火电打捆直送山东，对于促进西部地区经济社会发展、满足山东省用电需求有重要作用。工程的投产有利于优化配置能源资源、使水、火电互补运行，可取得显著的输电效益。

9. 锦屏—苏南 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电工程

锦屏—苏南 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电工程于2008年11月获得国家发改委核准，2009年正式开工建设，2012年双极建成投入运行。工程承担着雅砻江下游锦屏一、二级和官地水电站的西电东送任务，工程起点为四川西昌市裕隆换流站，落点为江苏省苏州市同里换流站。新建 $\pm 800\text{kV}$ 换流站两座，额定输送容量为 7200MW ，最大连续输送容量为 7600MW ；新建 $\pm 800\text{kV}$ 直流输电线路一回，途经四川、云南、重庆、湖南、湖北、安徽、浙江、江苏8个省市，全长约2100km。该工程建成后可以实现电力资源在全国范围内的优化配置，满足华东地区日益增长的用电需求，并为后续的西部电力送出工程奠定技术基础；同时可提升我国输变电制造业自主创新能力，促进我国电网技术升级，提高远距离大容量输电效率和经济性，节

约输电走廊资源，实现电力工业的可持续发展，具有良好的经济和社会效益。

10. 哈密南—郑州±800kV 特高压直流输电工程

哈密南—郑州±800kV 特高压直流输电工程是国家实施“疆电外送”的首个特高压输电项目，是世界上首个±800kV/8000MW 的直流输电工程，也是大型火电、风电基地电力打捆送出的首个特高压工程。工程于2012年5月获得国家发改委核准并于同年开工建设，完全由我国自主设计、制造和建设，工程首次采用 $6 \times 1000\text{mm}^2$ 超大截面导线，首次研究应用耐磨金具、Y形绝缘子串、裹体桩基础等新技术、新工艺，自主研制并成功应用了额定电流5000A的特高压大容量直流设备，设备国产化率达到80%以上，进一步促进了我国电网技术升级及装备制造业跨越式发展。该工程投入运行后，每年可向华中地区输送电量500亿kW·h，相当于运输煤炭2300万t，可减少排放二氧化碳4000万t、二氧化硫33万t，直接拉动新疆投资1000亿元，拉动河南GDP增长2500亿元，经济和社会效益十分显著，是连接西部边疆与中原地区的“电力丝绸之路”。该工程打通了清洁能源大通道，为实现西北风电与光伏发电的大规模开发、打捆外送和大范围优化配置，促进全国电力市场建设，有效解决雾霾问题创造了条件。工程带动了直流输电技术的发展，使特高压直流输电技术不断进步、日趋成熟，进一步巩固、扩大了我国在特高压直流输电技术开发、装备制造和工程应用领域的国际领先优势。

11. 溪洛渡左岸—浙江金华±800kV 特高压直流输电工程

溪洛渡左岸—浙江金华±800kV 特高压直流输电工程是金沙江下游水电开发的配套外送工程，是连接我国西南水电基地和东部负荷中心的能源大通道。工程起于四川溪洛渡双龙换流站，止于浙江金华换流站，途经四川、贵州、江西、湖南、浙江5省，线路全长约1680km，工程总投资为238.55亿元，额定输送功率为8000MW。该工程投入运行后，每年节省标准煤1228万t，减排二氧化碳超过3400万t，每年可将西南地区约400亿kW·h清洁电能输送至浙江，可有效缓解浙江电力供应紧张状况和环保压力。

12. 宁东—浙江±800kV 特高压直流输电工程

宁东—浙江±800kV 特高压直流输电工程途经宁夏、陕西、山西、河南、安徽、浙江6省（区），线路全长1720公里，工程总投资237亿元。工程建成后，新增年外送电能力800万kW，每年外送电可达500亿kW·h，实现2300万t煤炭资源就地转化，推动风电、光伏发电发展，促进结构调整和产业升级。工程将宁东煤炭资源转化成清洁电力输往华东地区，对缓解东部地区能源供应紧张局面，提升宁夏“西电东送”火电基地地位，推动宁夏资源优势向经济优势转化具有重要意义。

13. 晋北—江苏±800kV 特高压直流输电工程

晋北—江苏±800kV 特高压直流输电工程是纳入国家大气污染防治行动计划的重点工程，途经山西、河北、河南、山东、安徽、江苏6省，换流容量1600万kW，线路全长1119km，工程投资162亿元，计划于2017年建成投运。据估算，工程建成后，每年可向华东送电约450亿kW·h，与2014年南京市的全社会用电量相当。工程输电能力为800万kW，相当于在江苏当地少建设8座百万kW级火电厂，能够减少燃煤运输2016万t，减排烟尘1.6万t、二氧化硫9.9万t、氮氧化物10.5万t、二氧化碳3960万t，可有效促进大气污染防治。

14. 锡盟—泰州±800kV 特高压直流输电工程

锡盟—泰州±800kV 特高压直流工程途经内蒙古、河北、天津、山东、江苏5省（市、区），新建锡盟、泰州2座±800kV换流站，新增换流容量2000万kW·A；新建锡盟—泰州±800kV直流线路1620km，工程动态投资254亿元。该工程首次将±800kV直流输电容量由800万kW提升到1000万kW，将进一步提高特高压直流输电效率，节约宝贵的土地和走廊资源，提升经济和社会效益。同时受端换流站采用分层接入500/1000kV交流电网，依托特高压交流电网网架，保障电网安全稳定运行。该工程建设对于促进内蒙古锡盟能源基地开发，扩大新能源消纳范围，加快资源优势向经济优势转化；满足江苏地区用电需求，提高电网接纳清洁能源能力，改善大气环境质量；拉动内需和稳定经济增长，带动电工装备制造业转型升级，均具有十分重要的意义。工程投运后，每年可向江苏地区输送电量550亿kW·h，相当于运输煤炭2520万t，可减少排放二氧化碳4950万t、

二氧化硫 12.4 万 t、氮氧化物 13.1 万 t，有力促进长三角区域大气污染防治目标的实现。

15. 上海庙—山东临沂±800kV 特高压直流输电工程

上海庙—山东临沂±800kV 特高压直流输电工程途经内蒙古、陕西、山西、河北、河南、山东 6 省（区），新建上海庙、临沂 2 座换流站，新增换流容量 2000 万 kW，新建直流线路 1238km，工程动态投资 221 亿元。该工程是山东省首个特高压直流工程，也是国内第二条±800kV，世界上第二个±800kV、输送容量 1000 万 kW、受端分层接入 500/1000kV 交流电网的特高压直流工程。上海庙—山东临沂±800kV 特高压直流输电工程于 2015 年 12 月核准，向山东送电能力达到 400 万 kW。

16. 厦门±300kV 柔性直流输电示范工程

厦门±320kV 柔性直流输电工程是世界上第一个采用双极接线、电压和容量双双达到国际之最佳的柔性直流输电工程，工程额定电压±320kV，额定容量 100 万 kW。该工程新建换流站两座，分别是位于厦门市翔安南部地区的彭厝换流站和位于厦门岛内湖里区的湖边换流站；线路路径总长 10.7km，全部为陆缆。厦门±300kV 柔性直流输电示范工程的建成，将有效消除厦门岛作为无源电网的劣势，不仅可以补充厦门岛内电力缺额，还具备动态无功补偿功能，能快速调节岛内电网的无功功率，稳定电网电压，相当于建设一座装机容量 100 万 kW 的无烟、无污染电厂。该工程不仅将满足厦门岛内负荷增长需求，提高供电可靠性、输电能力和稳定运行水平，还将彰显高压大容量柔性直流输电示范工程效应，对推动大容量柔性直流输电先进技术在世界的示范应用有着重要意义。

17. 雅中—江西±800kV 特高压直流输电工程

雅中—江西±800kV 特高压直流输电工程是我国西南水电外送的第四条特高压直流工程，工程起于四川省盐源县，途经四川、云南、贵州、湖南和江西 5 省，止于江西省南昌市，线路全长约 1682km，输送容量 1000 万 kW，可以将雅砻江中游等大型水电电力大规模输送到中东部地区，对加大四川富余水电外送力度、推动水电和新能源开发和消费、落实国家能源战略、促进地方经济健康持续发展等方面具有十分重要的意义。