



国家电网
STATE GRID

宁东—山东±660kV直流输电 示范工程总结

Ningdong—Shandong ± 660kV
DC transmission demonstration project summary

刘振亚 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

宁东－山东±660kV直流输电 示范工程总结

Ningdong－Shandong ± 660kV
DC transmission demonstration project summary

ISBN 978-7-5123-1645-4



9 787512 316454 >

定价：150.00元

宁东－山东±660kV直流输电 示范工程总结

Ningdong – Shandong ± 660kV
DC transmission demonstration project summary

刘振亚 主编

内 容 提 要

本书是国家电网公司对宁东—山东±660kV 直流输电示范工程建设情况的全面回顾与总结,通过系统、翔实的记录,比较全面地反映了工程的概貌及特点。

本书所述内容通过采纳各方有益的建议和意见,精心谋划、反复论证,力求结构完整、严谨有序。希望通过本书的出版,能够为今后±660kV 直流输电工程建设提供技术指导和借鉴。

本书共分十三章,主要包括:±660kV 电压等级的论证与立项、工程概况、科技进步与技术创新、工程建设管理、直流系统成套设计、设备选型与研制、工程设计、招投标及物资供应管理、工程建设施工、生态环境保护、启动验收、调试及试运行、生产准备与运行管理,并附有大事记及附录。

本书可供我国直流输电工程相关设计制造、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

宁东—山东±660kV 直流输电示范工程总结/刘振亚主编. —北京:
中国电力出版社, 2011.5

ISBN 978-7-5123-1645-4

I. ①宁… II. ①刘… III. ①高电压—直流输电线路—电力工程—
工程管理—中国 IV. ①TM726.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 077128 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>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

2011 年 5 月第一版 2011 年 5 月北京第一次印刷
880 毫米×1230 毫米 16 开本 19.125 印张 498 千字
定价 150.00 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

《宁东—山东±660kV 直流输电示范工程总结》

编 写 委 员 会

主 任 刘振亚

副主任 郑宝森 舒印彪

成 员 喻新强 张丽英 李庆林 刘广迎 伍 莹 赵庆波
张启平 葛正翔 黄 强 李文毅 陈晓林 尹积军
张智刚 路书军 孙正运 张建坤 李同智 葛国平
吕春泉 崔吉峰 梁旭明 丁广鑫 刘建明 郭剑波
肖世杰 侯清国 王海啸 肖安全 丁永福 文卫兵

编 写 工 作 组

组 长 李文毅

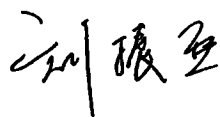
副组长 肖安全 丁永福 文卫兵 吕 健 张正陵 叶廷路
马士林 白林杰 田 璐 潘敬东 李 欣 房 喜
娄殿强 常 浩 赵宏伟 安建强 马为民 郑福生
印永华 吴维宁 李士良 宋 芃 封静福 薛更新

成 员	丁燕生	孙 涛	王祖力	刘 皓	廖 红	王 劲
	朱任翔	王 庆	但 刚	周立宪	向孟奇	张 震
	杨 宁	王雪冬	周宏宇	李鸿雁	武兰民	古天松
	陶 瑜	郑怀清	孙章岭	焦巨轩	杨占金	白永前
	闫晓丁	薛 坚	王艳军	董 罡	苏 军	张卫东
	郭大皿	张 晋	辛维聪	高志民	曾喜闻	孟海磊
	白光亚	邹君峰	吴 畏	宋 明	蒋维勇	张 涛
	陈 东	蒲 莹	杨万开	万建成	裴春明	刘昭伟
	梁 杰	谢 龙	许 斌	李 倩	朱大鹏	朱永平
	王虎长	赵雪灵	李学鹏	吕文娟	徐 亮	肖少辉
	郝俊芳	蓝元良	吴玉坤			

序

宁东—山东±660kV 直流输电示范工程是我国自主设计、研发和建设的世界首个±660kV 直流输电工程，是国家电网公司贯彻落实科学发展观，实施“一特四大”战略、服务西部大开发的重点工程。该工程于 2011 年 2 月成功实现双极投运，线路全长 1333km，输送容量达到 400 万 kW，可将宁东及西北地区电力集中输送至山东，对于构建现代能源综合运输体系，实现能源资源的大范围优化配置，促进区域经济协调发展，具有重要作用。

通过该工程的建设，首次独立实现了新电压等级直流系统的自主设计、自主研发、自主成套、自主建设和自主调试运行。在世界上首次成功研制出单台容量最大的换流变压器（403MVA）、容量最大的单 12 脉动换流阀（200 万 kW）、耐受电压最高的单 12 脉动换流阀组（660kV），丰富和完善了我国直流输电电压等级标准序列，提高了我国电网发展自主创新能力和电工装备制造核心竞争力。为全面介绍工程建设取得的管理创新成果和技术创新成果，国家电网公司组织编写了《宁东—山东±660kV 直流输电示范工程总结》，对工程可行性研究、建设管理、科技创新、成套设计、设备研制、验收调试等工作进行了系统总结。希望此书的出版，为我国直流输电工程建设提供有益的借鉴和帮助，为加快转变电力发展方式，服务经济社会发展发挥积极的促进作用。



2011 年 5 月

前言

宁东—山东±660kV 直流输电示范工程起自宁夏银川东换流站，止于山东青岛换流站，途经宁夏、陕西、山西、河北、山东五省区，全长 1333km，额定电压±660kV，输送容量达到 400 万 kW。工程具有三个显著特点：一是示范性强，在完善跨区电网基建标准化管理体系、推进跨区电网工程标准化建设、建立跨区电网建设管控平台、提升跨区电网建设水平和科技创新能力等方面承载着重要使命；二是技术难度大，工程是世界上第一个±660kV 电压等级的直流工程，首台首套设备应用较多，系统集成要求高，研制难度大，换流变压器、换流阀、直流滤波电抗器等均为新电压等级研制的新产品；三是建设组织难度大，工程建设规模大，参建单位多，线路穿越高山大岭等地形复杂区域，施工任务艰巨，政策处理工作量大，给工程建设管理、施工组织、投资控制等带来了巨大且全新的考验。

根据工程特点，国家电网公司精心组织项目建设，坚持集团化运作，深化标准化建设，采取“总部统筹管理、组织协调、业务指导和建设公司专业化、网省公司属地化相结合”的管理模式，建立三级建设管理体系，完善建设管理制度，开展±660kV 直流输电关键技术研究，充分发挥国家电网公司直属单位专业化优势和网省公司属地化优势，创新项目部组织建设，强化安全质量管控，推行精益化管理，加强环保、水保措施落实，经过近 3 万人、192 个单位的团结协作、攻坚克难，工程于 2010 年 11 月 28 日实现单极投运，2011 年 2 月 28 日成功实现双极投运。工程从 2009 年 6 月 24 日开工至投运，仅用 20 个月就安全、优质、圆满地实现了“安全可靠、自主创新、经济合理、环境友好、国际一流”的优质精品工程目标，创造了电网建设的新纪录。

为了全面、系统、客观总结工程建设经验与成绩，充分发挥工程的示范作用，国家电网公司组织编写了《宁东—山东±660kV 直流输电示范工程总结》。总结共分十三章，分别对±660kV 电压等级的论证与立项、工程概况、科技进步与技术创新、工程建设管理等方面的工作进行了总结，比较全面地反映工程的建设全貌，是宁东—山东±660kV 直流输电示范工程全体建设者的心血和汗水的结晶。希望本书的出版，能够为后续同类工程建设提供参考和借鉴，为促进以特高压电网为骨干网架、各级电网协调发展的坚强智能电网建设发挥积极作用。

由于编写时间仓促，书中难免有疏漏之处，敬请读者批评指正。

编 者

2011 年 5 月

目 录

序 前言

第一章 土660kV电压等级的论证与立项	1
第一节 国内外高压直流输电发展概况	1
第二节 国内电网的基本情况	4
第三节 土660kV 直流输电工程可行性论证	6
第四节 前期评估及工程核准	13
第二章 工程概况	15
第一节 工程规模	15
第二节 工程特点	16
第三节 建设管理体系	17
第四节 工程意义与效益	19
第三章 科技进步与技术创新	21
第一节 直流咨询研究及成套设计	21
第二节 设备创新和国产化	26
第三节 工程设计创新	34
第四节 三维数字化设计及移交	37
第五节 工程施工创新	42
第六节 生产运行技术创新	50
第七节 系统试验能力开发及创新	58
第八节 标准规范研究	61
第四章 工程建设管理	64
第一节 建设管理模式	64
第二节 项目部建设	67
第三节 安全管理	69
第四节 质量管理	74
第五节 工程造价管控	79

第六节	进度控制	84
第七节	档案管理	87
◎ 第五章	直流系统成套设计	90
第一节	成套设计管理	90
第二节	直流系统方案	92
第三节	成套设计成果的 RTDS 验证	109
第四节	阀厅设备集成	110
◎ 第六章	设备选型与研制	117
第一节	换流变压器	117
第二节	换流阀	123
第三节	直流场设备	128
第四节	平波电抗器	134
第五节	控制保护系统	139
◎ 第七章	工程设计	142
第一节	设计管理	142
第二节	换流站设计	148
第三节	线路设计	170
◎ 第八章	招投标及物资供应管理	181
第一节	招投标管理	181
第二节	设备监造	185
第三节	物资供应管理	190
第四节	大件运输	196
◎ 第九章	工程建设施工	199
第一节	施工组织管理	199
第二节	换流站施工	202
第三节	线路施工	216
◎ 第十章	生态环境保护	225
第一节	工作目标	225
第二节	工作组织体系及管理	226
第三节	工作开展情况	230
◎ 第十一章	启动验收	239
第一节	启动验收委员会的组建与工作开展	239

第二节 验收工作的组织实施	241
⊕ 第十二章 调试及试运行	251
第一节 工程调试组织	251
第二节 系统预调试	252
第三节 分系统、站系统调试	258
第四节 系统调试	261
第五节 试运行	267
⊕ 第十三章 生产准备与运行管理	269
第一节 运行管理模式	269
第二节 生产准备	270
⊕ 大事记	278
附录 A 国家发展改革委关于宁东至山东±660kV 直流输电示范工程项目核准的批复	281
附录 B 国家电网公司关于宁东至山东±660kV 直流输电示范工程初步设计的批复	282
附录 C 国家电网公司关于成立宁东—山东±660kV 直流输电示范工程 (含配套青岛 500kV 变电站和银川东 750kV 变电站) 启动验收委员会的通知	285
附录 D 工程主要参建单位	291

±660kV 电压等级的论证与立项

根据我国国情和能源发展战略,远距离、大容量直流输电技术拥有极为广阔的应用和发展空间。随着直流输电技术的发展以及工程数量的增加,我国直流输电在输送容量和输电距离方面具有多样化的需求,迫切需要形成级差合理的电压等级序列,以获得多种输送容量的组合,进一步增强直流输电的适应性,实现设计通用化、设备标准化,形成规模效益。经过论证,认为在±500kV 和±800kV 之间引入±660kV 电压等级是必要的、可行的,也是经济合理的。

第一节 国内外高压直流输电发展概况

一、国外发展状况

从 1954 年瑞典 Gotland 直流输电工程投入工业化运行以来,全世界已投入运行的直流输电工程总数已近 100 个,总输送容量约 7000 万 kW,其中以中国、美国、巴西、加拿大、印度、日本和瑞典为主。由于水资源通常位于远离负荷中心的偏远地带,水电基地往往需要长距离电力外送,因此国际上的直流输电工程多应用于水电送出,也有部分煤电远距离输送采用直流输电方式,这与直流输电工程能够满足电力输送经济性、稳定性以及可靠性等要求,适宜大容量远距离输送电能的特性相关。

目前国外已运行的主要直流输电工程见表 1-1。

表 1-1 国外已运行的主要直流输电工程

序号	工 程 名 称	输送容量(万 kW)	电压 (kV)	距离 (km)	投运时间 (年)
1	伏尔加格勒—顿巴斯 (俄罗斯)	72	±400	470	1965
2	太平洋联络线 (美国)	144	±400	1362	1970
		200	±500	1362	1985
		310	±500	1362	1989
3	纳尔逊河 1 (加拿大)	162	±450	930	1972
		200	±500	930	1992
4	纳尔逊河 2 (加拿大)	200	±500	940	1978

续表

序号	工 程 名 称	输送容量(万 kW)	电压 (kV)	距离 (km)	投运时间 (年)
5	卡布拉—巴萨 (南非)	192	±533	1420	1979
		192	±533	1420	1997
6	英加—沙巴 (南非)	56	±500	1700	1982
7	伊泰普 (巴西)	315	±600	785	1986
		315	±600	805	1990
8	里汉德—德里 (印度)	150	±500	910	1990
9	魁北克—新英格兰 (美/加)	225	±500	1480	1990
10	纪伊工程 (日本)	140	±250	51	2000
		280	±500	51	

注 纪伊工程 (日本) 为架空线路与电缆混合架设的线路, 总长 102km, 其中架空线路和电缆各 51km。

目前国际上还没有建立完整的直流输电标准体系, 各设备制造厂遵循的企业标准各不相同, 导致直流输电的设备应用未形成标准化、规范化管理。虽然国际电工委员会 (International Electrical Commission, IEC) 和美国电气及电子工程师学会 (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) 等国际组织在个别工作组建立了部分与直流输电相关的标准, 但数量较少且没有考虑具体工程需求, 尚不能满足直流工程的需要。

同样, 国际上也尚未形成有关直流电压等级标准序列, 一般多针对每一个直流工程的具体情况 (特别是输送容量和输电距离) 选择额定电压。未形成直流电压等级序列的原因与各国能源资源和负荷分布状况以及电力发展高峰期的输电技术发展水平有着密切的关系。以美国为代表的大多数国家, 一次能源与电力消费分布相对趋同, 有利于电能的就地平衡, 对大容量远距离输电需求较低, 导致对直流输电电压等级序列的研究需求不大。而加拿大、巴西等资源负荷逆向分布、对远距离输电需求较大的国家, 在电力发展高峰期直流输电技术发展水平不足, 直流输电工程的额定电压受到汞弧阀电压的限制未能得以大规模发展, 且直流工程有架空线路、电缆线路和背靠背工程等多种类型, 形成了目前直流输电工程额定电压繁多的状况。

二、国内发展状况

我国高压直流输电工程起步较晚, 但发展迅速。20 世纪 80 年代我国开始建设直流输电工程, 到 2009 年底, 我国建成和正在建设的直流输电工程已达 10 余项, 累计输送容量及输电线路长度均已超过美国, 列世界第一位。

(一) 高压直流输电工程的建设

舟山直流工程是我国建设的第一项直流工程, 具有向自主建设大型直流输电工程过渡的工业性试验性质。该工程线路全长 54km (12km 海缆, 42km 架空线), 一期工程单极额定直流电压 100kV, 额定输送容量 5 万 kW, 填补了我国直流输电工程的空白, 为后续直流输电工程的发展和建设提供了宝贵的建设和运行经验。

嵊泗直流输电工程是我国自主设计和建造的首个双极长距离海缆商业化输电工程。该工程线路长度 66.2km (59.7km 海缆, 6.5km 架空线), 额定直流电压 ±50kV, 额定输送容量双极 6 万 kW, 额定电流 600A。

（二）±500kV 及背靠背直流工程发展历程

1. ±500kV 电压等级的选择

我国第一、二条直流输电工程电压都比较低。随着我国经济的发展，对直流输送容量的需求不断增大，低电压等级的直流输电已不能满足长期发展需要，对高压直流输电的需求更加迫切。我国直流建设初期，大型直流输电工程的换流设备尚不能自主制造，同时缺乏工程设计经验，因此主要从其他国家引入直流输电设备。当时国际直流输电工程电压等级以±500kV 为主，与低电压等级相比具有输送容量大、输送距离远、输电损耗小等优势。该电压等级的直流输电设备制造技术相对成熟，基本能够满足我国直流输电发展初期需求，具有一定的合理性与可行性。同时，5 英寸晶闸管技术成熟，电流限制能满足±500kV 直流输电的容量需求，并具有较大安全稳定裕度。由此我国确立了±500kV 的直流输电电压等级。

2. ±500kV 直流输电工程的发展

葛洲坝—南桥±500kV 直流输电工程是我国的第一个跨区、超高压远距离直流输电工程，工程设计、设备制造均由原瑞士 BBC 公司和德国 SIEMENS 公司联合提供。该工程于 1989 年单极投运、1990 年双极投运，线路长度 1045km，途经湖北、安徽、浙江至上海，额定电压为±500kV，输送容量为 120 万 kW。它的建成为我国的直流输电工程建设积累了宝贵的经验，为直流输电的后续发展奠定了坚实的基础。

进入 21 世纪，我国的高压直流输电发展迅速，相继建成投产了三峡—常州±500kV 直流输电工程等多项高压直流输电工程。截至 2010 年底我国已运行的±500kV 及背靠背直流工程见表 1-2。

表 1-2 我国已运行的±500kV 及背靠背直流工程

序号	工 程 名 称	输送容量（万 kW）	距离（km）	投运时间（年）
1	葛洲坝—南桥±500kV 直流输电工程	120	1045	1989
2	天生桥—广州±500kV 直流输电工程	180	960	2000
3	三峡—常州（三常）±500kV 直流输电工程	300	860	2002
4	三峡—广东（三广）±500kV 直流输电工程	300	940	2004
5	贵州—广东（贵广）±500kV 直流输电工程（I 回）	300	880	2004
6	西北—华中联网灵宝背靠背工程	36	—	2005
	西北—华中联网灵宝背靠背扩建工程	75	—	2009
7	三峡—上海（三沪）±500kV 直流输电工程	300	1050	2006
8	贵州—广东±500kV 直流输电工程（II 回）	300	1255	2007
9	东北—华北联网高岭背靠背工程	150	—	2008
10	宝鸡—德阳±500kV 直流输电工程	300	550	2009
11	呼伦贝尔—辽宁±500kV 直流输电工程	300	908	2010

通过对国外先进技术的引进、吸收，结合多年的工程建设经验，我国直流输电设备的国产化率从三常直流输电工程的 30%、三广直流输电工程的 50%，提高到三沪直流输电工程的 70%。2005 年我国第一个背靠背直流工程——灵宝背靠背工程正式投产，国产化率达到 100%。至此，我国大型直流联网工程第一次实现了“全国产化”，灵宝背靠背工程是直流输电设备全面国产化的里程碑。

（三）特高压直流输电

特高压直流输电技术起源于 20 世纪 60 年代。从 1966 年开始，瑞典 Chalmers 大学开始进行±750kV

的工程研究,之后苏联、巴西等国家都先后开展了特高压直流输电的研究工作。20 世纪 80 年代,曾一度形成了特高压输电技术的研究热潮。研究结果表明,从经济和环境等角度考虑,特高压直流是远距离、大容量输电的优选输电方式。

金沙江一期溪洛渡、向家坝梯级水电站总装机容量 2026 万 kW,输送容量大、输电距离远,其电能的合理消纳及输电系统的形成,将对我国能源优化配置、大容量远距离输电技术发展和全国联网格局产生重大而深远的影响。国家电网公司组织有关科研设计单位,针对国内外超高压直流输电技术的进步、设备制造能力及国产化水平的提高,研究了采用±800kV 电压直流输电的方案。研究表明,对于在金沙江一期工程采用±800kV 电压直流输电,不存在技术上难以解决的问题,满足工程送出要求,并可以加快推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,并为我国后续西电东送项目奠定坚实的基础。

2005 年初,国家电网公司启动了特高压输电工程关键技术研究 and 可行性研究,组织国内科研实力雄厚的科研单位、大专院校、设计院、咨询单位和设备制造厂家,进行工程关键技术研究。2005 年 3 月,在国家电网公司领导下成立了由 ABB 公司、德国 SIEMENS 公司、北京网联直流工程技术有限公司和西安高压电器研究所电器制造有限公司组成的特高压直流工作组,其主要任务是研究并确定特高压直流输电系统研究和设计的技术标准。该工作组曾多次组织国内外研究机构和有实力的特高压设备制造厂进行技术交流和研讨,基本掌握了特高压直流输电技术的特点,对特高压直流过电压水平和绝缘配合、主接线、关键元件参数、电磁环境限值、环境影响及工程设计建设标准等关键问题进行了深入的研究。2007 年 5 月,特高压直流试验基地户外试验场成功带电,6 月全面带电投运,8 月将试验线段成功升压至±1100kV,表明特高压直流试验基地有能力进行±1000kV 及更高电压等级的试验研究,为新电压等级的工程设计提供了宝贵的试验参数和技术支持。

2010 年 7 月,向家坝—上海±800kV 特高压直流输电示范工程建成投运,线路全长 1907km,额定电压±800kV,额定输送容量 640 万 kW,工程设备国产化率达到 67%。2008 年 11 月,锦屏—苏南±800kV 特高压直流输电工程获得核准,线路全长 2083km,输送容量 720 万 kW,工程建设进展顺利。

目前国外尚无特高压直流成套设备商业化供货的能力。向家坝—上海±800kV 特高压直流输电示范工程所用的设备均代表了国际同类设备的最高水平,刷新了多项世界纪录,指标优异、性能稳定、一次投运成功、运行安全可靠。依托工程实践,国内电工装备制造企业的自主创新能力大幅提升,试验研究能力世界领先,装备水平超过国际电工制造业巨头,产品研发能力和设备质量水平显著提高,我国的高压输变电设备制造在总体上已达到国际先进水平。特高压直流输电项目成功后,国内相关企业挑战更高技术极限,特高压串补、升压变压器、开断电流 63kA 的特高压开关设备和额定电流 5000A 的特高压换流阀等一批高难度的、国外尚未涉足的特高压新设备相继研制成功,实现了重大技术突破,填补了国际空白。国家电网公司将通过科研引导、工程推动等措施,加快推进直流穿墙套管、换流变压器套管、有载调压开关等组部件的研制工作,稳步推进特高压直流设备的全面国产化。

第二节 国内电网的基本情况

一、目前国内电网的基本情况

目前我国电网规模已经超过美国,跃居世界第一位,发电装机容量列世界第二位。

2010 年底,我国发电装机容量达到 9.62 亿 kW,“十一五”期间年均增长 13.2%;全社会用电

量 4.19 万亿 kWh,“十一五”期间年均增长 11.1%;全国 220kV 及以上线路长度达到 44.3 万 km、变电容量 19.7 亿 kVA,“十一五”期间年均增长分别为 11.8%和 18.5%。

“十一五”期间,我国电网发展取得了巨大成绩,电网技术取得重大突破,特高压交直流工程建成投运,750kV 成为西北电网主网架,500kV 成为各省(区、市)电网主网架,电网发展基本满足了电源大规模集中投产和经济社会快速发展的需要。

截至 2010 年底,我国电网形成华北—华中、华东、东北、西北、南方五个主要同步电网,全国联网格局基本实现。华北—华中通过 1000kV 交流联网;东北与华北、西北与华中分别通过高岭、灵宝背靠背工程实现异步联网;华中与华东通过葛洲坝—上海(南桥)、三峡(龙泉)—江苏(政平)、三峡(宜都)—上海(华新)±500kV 直流输电工程以及金沙江(向家坝)—上海±800kV 特高压直流输电示范工程实现异步联网;华中与南方通过三峡—广东±500kV 直流输电工程实现异步联网。新疆与西北通过 750kV 实现交流联网,结束了新疆长期孤网运行的历史。青海—西藏±400kV 直流输电工程获得国家核准并开工建设,将实现西藏电网与西北主网异步联网。

二、电网发展面临的挑战

(一) 全面建设小康社会要求电网必须加快发展

“十二五”是我国全面建设小康社会的关键时期,工业化进程不断加快,电力工业与国民经济同步增长,未来电力需求空间依然很大。大力转变电力发展方式,以电网的创新发展促进电力工业的科学发展,满足国民经济和社会发展的电力供应,是“十二五”期间电网发展的首要任务。一方面,未来我国清洁能源比重不断加大,且清洁能源主要转化为电力;另一方面,电动汽车、电气化交通运输、以电代油将得到快速发展,电能占终端能源消费比重呈上升趋势,因此,未来我国电力需求增长将快于能源需求。2020 年全国电力需求将达到 7.84 万亿 kWh,电能占终端比重大致上升到 26%左右。

(二) 转变电力发展方式要求电网必须创新发展

我国能源配置过度依赖输煤,“三西”地区输煤输电比例为 20:1,输电仅占 5%,煤电运紧张的局面反复出现。转变电力发展方式,优化电源结构和布局,是实现电力工业可持续发展的必然选择。随着我国能源梯次开发,向西部和北部的转移速度加快,能源产地和能源消费地之间的输送距离越来越远、能源输送的规模越来越大,500kV 电压等级已经无法满足电网发展的需要。必须加快电网科技创新和技术进步,加快推进特高压电网建设,实施“一特四大”战略,促进大煤电、大水电、大核电、大可再生能源基地的集约化开发,实现全国范围的资源优化配置,保证能源的长期稳定供应。

(三) 应对气候变化和能源变革要求建设坚强智能电网

中共中央提出“争取到 2020 年我国非化石能源占一次能源消费比重达到 15%左右,单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 40%~45%”的目标,对电力工业发展提出了更高要求。为实现上述目标,必须加快水电、核电、风电、太阳能等清洁能源发展。清洁能源的大规模开发利用、电动汽车和分布式电源的发展,要求加快建设安全、高效的坚强智能电网,大力提高电网输电能力、友好接入能力和安全稳定水平。

(四) 打造服务民生的电网平台要求加强配电网建设

我国人均用电量水平仍然较低。2009 年我国人均用电量 2741kWh,不到 OECD 成员国家 1990 年平均水平的 1/2,预计 2020 年达到 5441kWh,仅是 OECD 成员国家 2006 年平均水平的 64%。我国人均生活用电量水平与发达国家相比差距更大,2007 年为 273kWh,仅为美国、加拿大的 6%,

日本、法国的 10%，韩国、德国、俄罗斯、意大利的 30%。

电网发展关系国计民生。随着国家推进新农村建设，城市化步伐加快，电气化水平不断提高，需要以改善民生为重点，加大配电网投入，加快配电网建设，打造以服务民生为目标的电网平台，提高电力供应保障能力，提高电网供电质量，提高电网供电可靠性。

第三节 ±660kV 直流输电工程可行性论证

一、论证过程和主要结论

（一）引入±660kV 电压等级的必要性和可行性

1. 引入±660kV 电压等级的必要性

为满足我国经济快速发展对电力的需求，规划到 2020 年建设一批直流输电工程，将我国西部和北部水、火电以及蒙古、俄罗斯等电力送往我国东部负荷中心，输送容量 2 亿 kW。由于电源基地规模、输电距离以及受端能够消纳的电量各不相同，使得未来我国直流输电在输送容量和输电距离方面存在多样化的需求。直流输电工程的通用化设计和设备的标准化制造，有助于形成集约效应和规模效益。目前国际上采用的根据具体输电工程确定直流输电电压等级的做法有其合理性，但对于我国所面临的大规模直流输电规划，如按照每个工程单独论证输电方案，可能造成输电电压等级、输送容量偏多，不利于输电设备的标准化设计和生产，无法实现设备制造的规模效益。

通过现有的±500kV 和±800kV 两个电压等级进行组合匹配获得的直流输送容量方案有限。建立直流电压等级序列，形成级差合理的多个电压等级，可以获得多种不同的输送容量组合，可涵盖输送容量范围为 300 万~1000 万 kW。针对不同的直流输电工程可以得到更加准确、合理的容量匹配结果，使得工程在电压等级选取时能够具有更强的适应性。同时通过直流电压等级序列的建立，实现工程标准化和系列化的有机结合，避免直流输电电压等级和设备型式过多导致的重复研究，降低研发费用；通过直流工程的通用设计和设备的标准化制造，有助于实现设备标准品备件管理，有利于直流工程的运行维护，提高直流运行可靠性，降低运行费用，形成规模效益。

2. 引入±660kV 电压等级的可行性

在我国规划的直流输电工程中，有多个工程的输电距离为 1000~1500km。当采用±500kV 进行直流输电时，输电距离较远，损耗相对较大，经济性偏差。当采用±800kV 进行直流输电时，工程单位造价相对较高。在±500kV 和±800kV 之间引入±660kV 电压等级，可以获得较好的适应性。从技术上看，±600kV 输电技术在国际上早已应用，系统设计和关键技术相对成熟；从电压来看，±660kV 处于±500kV 和±800kV 的中间点附近，与交流电压序列的确定基本一致，符合直流电压序列合理电压级差的要求；从电流来看，考虑选择 5 英寸晶闸管、额定电流 3000A 时，可以直接采用±500kV 的成熟设计，技术上不存在很大困难，有利于推动我国直流输电的国产化进程；从输送容量来看，±660kV 输送容量约 400 万 kW，输送容量比±500kV 提高了 31%左右，可较好地与交流电网衔接，且直流电压的提高有助于降低输电损耗、延长经济输电距离、工程经济性较好，是较为合理的技术升级方案。综合来看，引入±660kV 电压等级作为我国直流电压序列的补充较为合适，技术上是可行的。

（二）输送容量选择

决定直流输送容量的因素是额定电流与额定电压，额定电流主要受晶闸管制造水平限制。国内的三峡—常州±500kV 直流输电工程等大多数直流输电工程采用 5 英寸晶闸管，额定电流 3000A；