



国家电网公司
电力科技著作出版项目

特高压大电网 系统通信工程技术

本书编委会◎编著



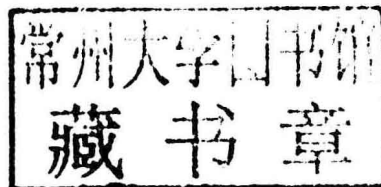
中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



国家电网公司
电力科技著作出版项目

特高压大电网 系统通信工程技术

本书编委会◎编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是我国第一本介绍特高压大电网电力通信技术的专著,本书的出版填补了专业空白,对推动我国电力行业通信专业的发展具有重要意义。全书分为上、下两篇,每篇分别由三章组成,上篇侧重于基础技术,主要描述特高压系统通信概况、核心技术及关键设施生产等内容;下篇侧重于工程应用和运行维护,主要介绍特高压系统通信工程建设、启动调试以及运行维护等关键环节的技术支撑保障手段。

本书可供从事特高压大电网系统通信工程技术研发及相关建设运维人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

特高压大电网系统通信工程技术/《特高压大电网系统通信工程技术》编委会编著. —北京:中国电力出版社, 2015.11

ISBN 978-7-5123-8422-4

I. ①特… II. ①特… III. ①超高压电网—电力通信网—通信工程 IV. ①TM727②TM73

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 242466 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>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 11 月第一版 2015 年 11 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19.25 印张 412 千字

定价 60.00 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

编 委 会

主 任 吕建平

副 主 任 俞学豪 郑福生 李国春 沈 亮 吕 强
曹汝滨

编审人员 (按姓氏笔画排序)

于 晶	马永红	王 颖	王乔木	邓 黎
刘 洋	朱新佳	李 扬	李伟华	何 昕
张素香	张朝霞	陈 芳	周鸿喜	郑蓉蓉
姜利民	贾小铁	郭维莹	高金京	高建新
唐 佳	黄俊华	戚力彦	谢书鸿	雷学义

序

人类社会迈入 21 世纪以来,在科技进步和实际需求等多重因素的驱动下,我国特高压输电领域在科研、制造、标准、建设、运营等方面取得了一系列举世瞩目的成就。特高压电网是国家电网公司构建坚强智能电网的核心,积极、稳妥、扎实、科学地推进特高压工程建设,不仅符合我国能源安全、优化资源配置、带动相关产业发展、促进清洁能源开发和生态环境保护及大气污染防治的总体战略,也为未来构建全球能源互联网的美好愿景,积累极为重要和扎实的宝贵经验和知识储备。

早在 20 世纪 70 年代末,电力京汉数字微波链路的兴建,揭开了我国通信技术体制数字化和电力通信骨干传输网规模建设的序幕。到 20 世纪 80 年代,国务院电子信息应用办公室确定的光缆通信示范工程——宝鸡《架空地线复合光缆通信》,列入“七五”国家重大技术装备科技攻关项目,建成了我国第一条全国产化的 OPGW 试点示范工程,该工程成为我国电力通信传输方式向光通信领域发展的里程碑。截至 2014 年底,国家电网公司一级骨干通信网已建成投运的光传输系统共 33 个,光通信站 714 个,光传输设备 809 套,光缆总长度 66875km。特高压大电网的建设,给国家电网公司通信骨干传输网络的发展再次带来了新的机遇。

国家电网公司信息通信分公司在组织特高压配套通信工程建设和运维过程中,会同规划设计、科研制造、安调施工等单位,努力开拓进取,在取得工程建设和系统维护优良业绩的同时,加强了前向误码纠错、拉曼放大、遥泵放大和塔内光中继等超长距光传输技术研发,采用新型高性能光纤,研究适用于特高压线路的 OPGW 制造技术。

鉴于此,在全面总结特高压配套通信工程规划设计、科技创新、工程建设、系统维护、运行管理、故障检修等工作经验的基础上,信息通信分公司牵头组织编写了这部《特高压大电网系统通信工程技术》专著。

在特高压交直流工程进入规模化建设、全球能源互联网启动构建之际出版本书,及时而意义重大。相信这本专著对已经和即将参与特高压通信工程的建设者和运维者来说是宝贵的经验传承。

期待全体电力系统通信专业的同行共创电网美好未来!

2015 年 10 月

2004 年底,国家电网公司根据我国经济社会发展对电力需求不断增长以及能源资源与消费逆向分布的基本国情,研究提出了发展特高压输电战略。经过 10 年的攻坚克难,国家电网公司建成了世界上电压等级最高、技术水平最先进、具有自主知识产权的“三交四直”特高压工程,全面掌握了特高压交直流输电核心技术,实现了“中国创造”和“中国引领”。发展特高压输电技术已经纳入《国民经济和社会发展的第十二个五年规划纲要》《大气污染防治行动计划》《能源发展战略行动计划(2014—2020)》等一系列国家重大战略,特高压交直流工程进入了规模化建设新阶段。发展特高压对于保障国家能源安全和电力可靠供应、推动能源电力发展方式转变和节能环保、提升电力电工行业技术水平和核心竞争力、促进社会科学发展、助推国家“一带一路”战略实施和促进全球能源互联网发展具有重大的现实意义。

由于特高压电网具有电压等级高、输送容量大、变电/换流容量大、输送距离远、跨大区联网等诸多特点,其安全、稳定、可靠、经济运行极为重要。因此,随特高压工程建设的通信系统作为特高压大电网的控制、保护、安全稳定信号及系统自动化信息的载体,必然承担着保障和支撑特高压大电网安全运行的重要使命。

毋庸置疑,随特高压工程同步建设的通信系统作为特高压电网的神经,是特高压建设中不可缺少的重要组成部分。本书根据特高压大电网通信业务的特殊性,着重介绍了以特高压大电网为主要应用场景的系统通信关键技术及其应用发展。

本书分为上、下两篇,每篇分别由三章组成,上篇侧重于基础技术,主要描述特高压系统通信概况、核心技术及关键设施生产等内容;下篇侧重于工程应用和运行维护,主要介绍特高压系统通信工程建设、启动调试以及运行维护等关键环节的技术支撑保障手段。

本书第一章在介绍特高压电网发展概况和电力系统通信网的基础上,阐述了特高压大电网对系统通信的要求,进而在论述应对特高压大电网的通信策略及思考中,引导读者了解本书的主要核心内容。

第二章从特高压工程应用需求出发,扼要地分析了超长站距光传输子系统的物理受限因素,对拉曼放大、遥泵放大、前向纠错、特殊性能光纤等关键技术原理做了详细的论述,介绍了超长站距光传输系统的若干典型应用案例,并对该领域的新技术做了展望。

第三章阐述了特高压 OPGW 的线路设计和产品设计概要,在介绍 OPGW 生产方法和制造工序工艺的基础上,强调了特高压 OPGW 生产质量管控要求,阐述了 OPGW 试

验技术并分析了特高压 OPGW 雷击性能研究,推荐了特高压 OPGW 的典型设计结构,介绍了特高压运行环境下 OPGW 配套金具及附件的特性和要求,并对 OPGW 使用寿命加以分析,进而就 OPGW 新技术做了发展前景展望。

第四章着重介绍了特高压配套通信工程建设过程中技术管理的特点和难点,包括工程规划设计、设备系统安装调试、OPGW 光缆架设接续、检验测试和验收技术要求等,提出了相应的技术解决措施和工艺要求,可为后续工程建设提供宝贵经验。

第五章详细介绍了视频会议系统在特高压工程开工建设、启动调试、竣工仪式等不同阶段的应用场景及对基础环境的要求,特高压工程视频会议指挥系统的关键技术应用,视频会议指挥系统保障方式和工作组织方式等,展现了现代通信视频会议技术在特高压电网中的应用。

第六章从特高压大电网安全生产的角度,阐述了通信系统维护和运行检修的技术特点,主要包括系统运行维护的总体要求、业务安排及通道组织、通信系统风险评估和应急预案体系、智能化运维技术应用等,详细地总结了特高压电网通信系统维护及运行检修的技术管理经验。

全书由贾小铁主编。第一章由姜利民、雷学义编写,第二章由马永红、雷学义编写,第三章由威力彦、黄俊华、谢书鸿、于晶编写,第四章由李伟华、何昕、雷学义、邓黎、高建新编写,第五章由王乔木、高金京、郑蓉蓉编写,第六章由周鸿喜、王颖、李扬、陈芳、唐佳编写;朱新佳、郭维莹、张素香、刘洋、张朝霞参与了本书的统稿。本书在编写过程中,得到了韩先才、高理迎和辛耀中的悉心指导,我们对此表示衷心的感谢!借此向为本书编辑出版给予支持帮助以及所有参加特高压通信工程建设和运行的单位与个人致谢!

国家电网公司信息通信分公司

2015 年 10 月

目 录

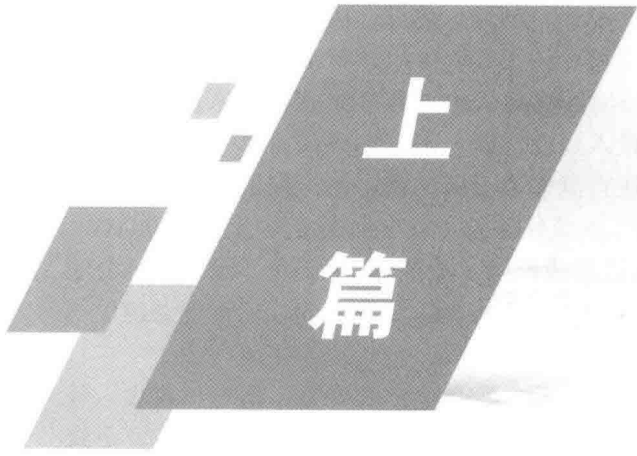
序
前言

上 篇

第一章 概述	2
第一节 特高压输电系统	2
第二节 电力系统通信网概况	5
第三节 特高压大电网对系统通信的要求	8
第四节 应对特高压大电网的通信策略及思考	13
第二章 超长站距光传输子系统及关键技术	16
第一节 超长站距光传输子系统概述	16
第二节 遥泵放大技术	29
第三节 拉曼放大技术	36
第四节 前向纠错技术	44
第五节 高性能光纤技术	52
第六节 光传输典型案例	58
第七节 新技术展望	69
第三章 适用于特高压线路的 OPGW 光缆	88
第一节 特高压 OPGW 线路设计	88
第二节 OPGW 产品设计	95
第三节 OPGW 制造技术	112
第四节 特高压 OPGW 试验技术及雷击性能研究	126
第五节 特高压 OPGW 典型结构设计推荐	139
第六节 OPGW 配套金具及附件	148
第七节 OPGW 使用寿命分析	163
第八节 OPGW 相关新技术发展展望	174

下 篇

第四章 特高压配套通信工程建设	184
第一节 规划设计	184
第二节 设备安装调试施工	194
第三节 光缆线路施工	207
第四节 调试验收	224
第五章 适用于特高压工程的视频会议指挥系统	245
第一节 视频会议指挥系统在特高压工程中的应用场景	245
第二节 特高压视频会议指挥系统的关键技术	247
第三节 视频会议指挥系统保障方式和工作组织方式	250
第四节 视频会议指挥系统对会议室基础环境的要求	253
第六章 特高压通信系统运行维护	260
第一节 运行维护总体要求	260
第二节 特高压通信系统业务安排及通道组织	263
第三节 特高压通信系统风险评估	269
第四节 特高压通信系统应急预案体系	277
第五节 智能化运维技术应用	282
缩略语汇总	292
参考文献	296

Abstract geometric shapes in shades of gray, including a large parallelogram and several smaller rectangles and squares, some of which are tilted.

上 篇



第一章

概 述

特高压输电是指电压等级在 1000kV 及以上的交流输电和 $\pm 800\text{kV}$ 及以上的直流输电,它具有输电容量大、距离远、损耗低、占地省等固有优势,是世界上最高电压等级的输电技术,是国际高压输电技术的制高点。特高压输电线路也将肩负起全球能源互联网骨干网架的作用。

2009 年 1 月,我国首个特高压工程——1000kV 晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程建成投运,它是我国自主研发、设计、制造、建设、运营的拥有完全自主知识产权的具有世界领先水平的交流输变电工程。该工程起于山西长治变电站,经河南南阳开关站,止于湖北荆门变电站,线路全长约 640km,2006 年 8 月获得国家核准,2008 年 12 月全面竣工,2009 年 1 月 6 日正式投入商业运营。国家电网公司第一个特高压直流输电工程是向家坝—上海 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电示范工程。该工程送端为四川省宜宾市复龙换流站,受端为上海市奉贤换流站,直流线路长 1907km,输送容量为 6400MW,2007 年 4 月获得国家核准,2010 年 7 月 8 日建成投运。截至 2014 年底,国家电网公司已经先后建成“三交四直”特高压工程,“三交一直”特高压工程在建,还将规划建设一批后续工程,特高压输电技术已经进入规模化应用新阶段。

特高压输电系统电压等级高、输送容量大、输电距离远,其安全、稳定、可靠、经济运行非常重要。电力通信系统作为特高压大电网的控制、保护、安全稳定信号及系统自动化信息的载体,是保障电网安全运行的主要支撑系统之一,通信系统已成为现代电力系统不可或缺的重要组成部分。

第一节 特高压输电系统

一、特高压输电系统的现状

(一) 国家电网公司已建特高压工程

截至 2014 年底,国家电网公司已建成的特高压交流输电系统有 1000kV 晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程,皖电东送淮南—上海特高压交流输电示范工程,浙北—福州特高压交流输变电工程;已建成的特高压直流系统有向家坝—上海 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电示范工程,锦屏—苏南 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电工程,溪洛渡—浙西 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电工程及哈密—郑州 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电工程。“三交四直”已建特高压工程如图 1-1 所示。

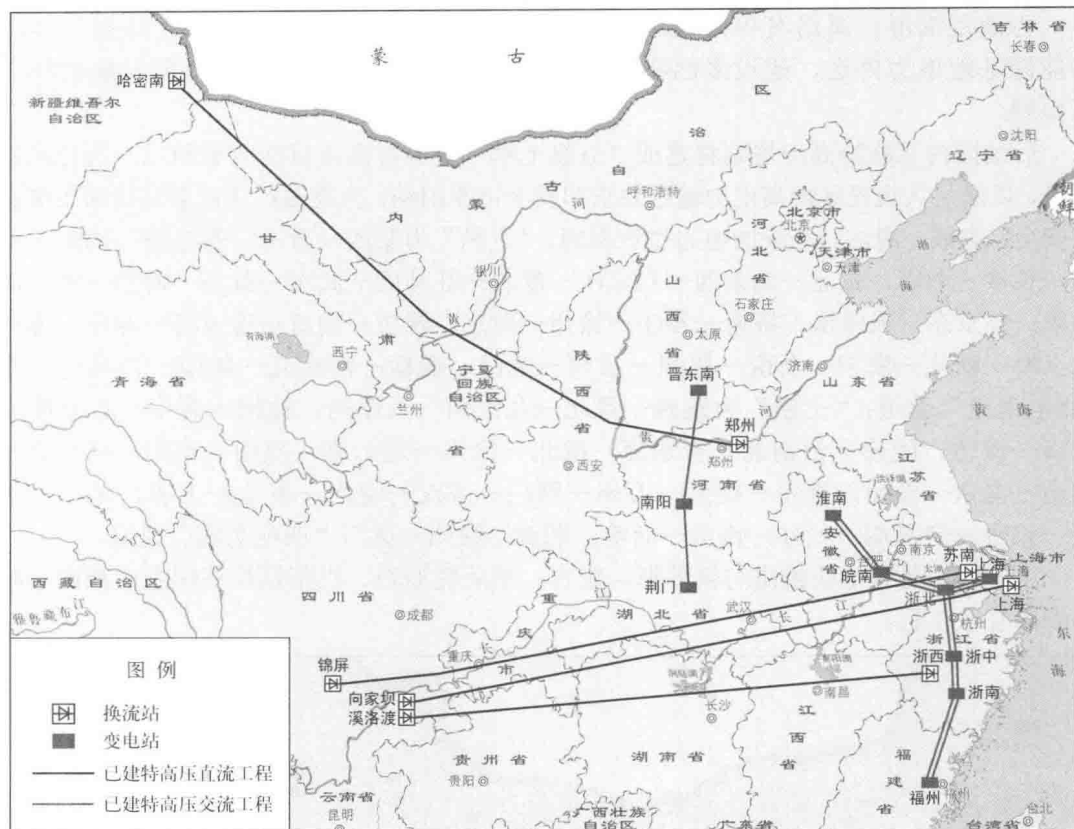


图 1-1 国家电网公司已建特高压工程

(二) 国家电网公司在建特高压工程

2015 年国家电网公司在建特高压工程有 2014 年 4 月核准的淮南—南京—上海 1000kV 特高压交流输变电工程, 2014 年 7 月核准的锡盟—山东 1000kV 特高压交流输变电工程, 2014 年 8 月核准的灵州—绍兴±800kV 特高压直流输电工程, 2015 年 1 月核准的蒙西—天津 1000kV 特高压交流输变电工程, 2015 年 5 月核准的榆横—潍坊 1000kV 特高压交流输变电工程、酒泉—湖南±800kV 特高压直流输电工程, 2015 年 6 月核准的晋北—江苏±800kV 特高压直流输电工程。国家电网公司在建特高压工程如图 1-2 所示。

二、特高压电网规划

“十三五”国家电网公司特高压电网的构建, 是以大煤电、大水电、大核电、大可再生能源基地的集约化开发外送为主导, 为适应电网发展、保障电力供应安全, 需要将西部不同资源类型的电网互联, 构建西部电网, 将东部主要受电地区电网互联, 构建东部电网, 形成送、受端结构清晰, 交、直流协调发展的两个同步电网; 在此基础上, 建设东部、西部电网同步联网工程, 国家电网形成一个同步电网。

为满足锦屏、溪洛渡等西南水电外送和锡盟、蒙西、陕北、哈密、呼盟、宝清等能源基地电力外送，建设多回特高压直流输电工程，构建交直流协调发展的特高压电网。

后续国内互联特高压规划将建成“五纵七横”交流特高压目标网架和 27 回直流特高压，以满足大规模远距离电力输送要求和安全可靠消纳，为我国经济社会可持续发展提供安全、高效、清洁、经济的电力供应保障。“五纵”为蒙西—晋中—晋东南—南阳—荆门—长沙—湘南，张北—北京西—石家庄—豫北—驻马店—武汉—黄石—南昌—赣州，锡盟—北京东—天津南—济南—枣庄—徐州—南京，潍坊—临沂—连云港—泰州—苏州—上海—浙北—浙中—浙南—福州—泉州—厦门，榆横—渭南北—陕南—万州—长寿“北电南送”通道；“七横”为蒙西—晋北—北京西—天津南，榆横—晋中—石家庄—济南—潍坊，陇彬—渭南北—晋东南—豫北—徐州—连云港，陕南—南阳—驻马店—淮南—南京—泰州，雅安—绵阳—万州—荆门—武汉—皖南—浙北—上海，乐山—重庆—长寿—宜昌南—长沙—南昌—浙南，湘南—赣州—厦门“西电东送”通道。

下一步，还将加快推进与俄罗斯、蒙古、哈萨克斯坦、巴基斯坦等国家的洲内互联和洲际互联工程。

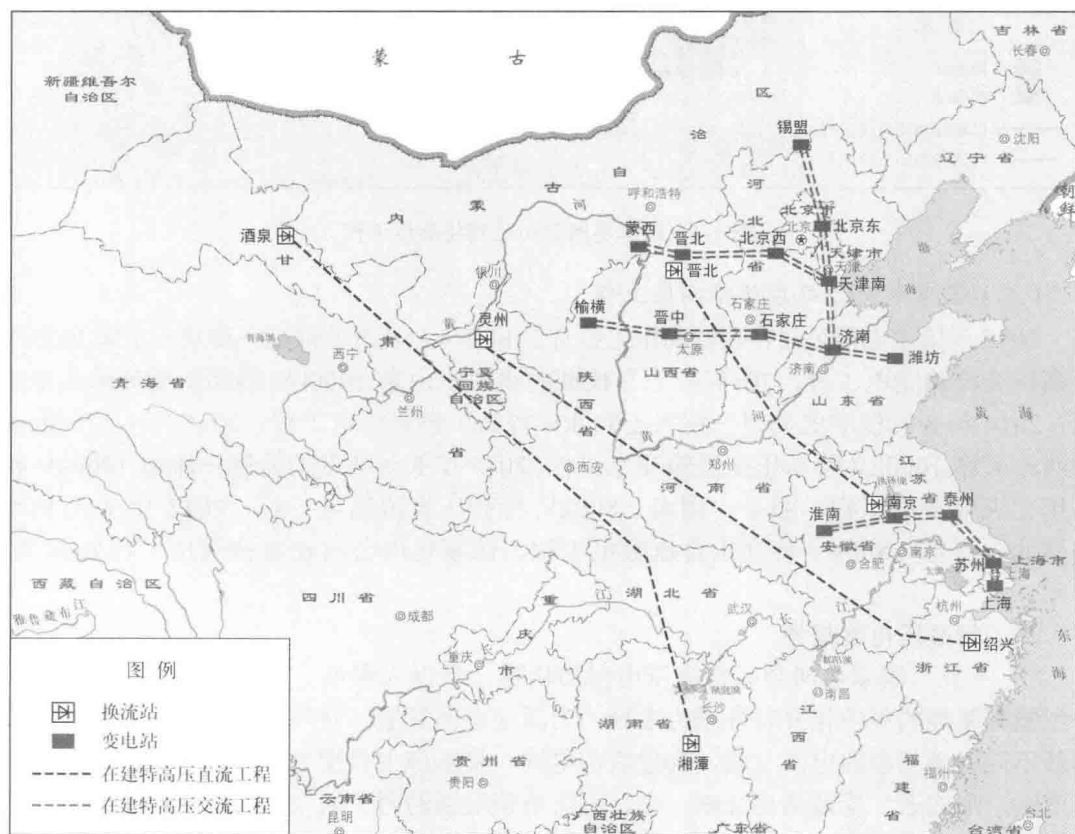


图 1-2 国家电网公司在建特高压工程

第二节 电力系统通信网概况

我国的电力通信起步较早, 20 世纪 70 年代即开始重视并有规模地建设电力系统通信专用网。经过几十年的努力, 我国电力通信事业从无到有、从小到大, 从通信电缆、电力线载波等较为单一的通信方式, 发展到微波、卫星、光纤等多种手段并存, 从局部点线通信方式到建成全国电力通信干线网, 形成了以北京为中心、覆盖全国大部分省市的大规模立体电力系统通信网。

一、电力系统通信网的分级

电力系统通信网(简称电力通信网)是为电力系统提供生产、控制和管理等通信业务的专用通信网。

电力通信网的主要特点有: ①电力通信承载电力系统实时控制业务, 如继电保护信号、安全自动装置信号、远动信号等, 实时性和可靠性要求很高; ②电力通信站点的设置密度大, 但总体通信容量和业务颗粒相对较小; ③电力通信路由走向主要沿发电厂和变电站等电力设施, 一般偏离大城市。

以国家电网公司通信网为例, 通信网由三级组成: 国家电网公司至各区域分部和直调发电厂、变电站以及各区域分部之间的通信电路组成一级通信网; 区域分部至所辖省电力公司和直调发电厂、变电站以及各省公司之间的通信电路组成二级通信网; 省电力公司至所辖地(市)电力公司和直调发电厂、变电站以及各地(市)电力公司之间的通信电路组成三级通信网。国家电网公司骨干通信网由一、二级通信网构成(不包括二级通信网中区域分部至所辖直调发电厂、变电站通信电路)。

特高压大电网中的 1000kV 特高压变电站(开关站)、±800kV 换流站等都属国调中心直接调度, 其所在的通信电路属于国家电网公司骨干通信网。

电力通信网的发展促进了电网控制自动化水平和管理水平的不断提升, 为电网的安全稳定运行提供了有力保障, 为电力系统信息化发展铺平了道路。

二、电力通信骨干网

国网省际骨干 SDH 光传输网覆盖了除新疆、江西以外的国网系统所有省、自治区和直辖市, 传输速率以 2.5Gbit/s 为主, 部分系统为 10Gbit/s, 大容量骨干光传输网已建成并投运。截至 2014 年底, 国家电网公司一级骨干通信网已建成投运的光传输系统共 33 个, 光通信站 714 个, 光传输设备 809 套, 光缆总长度 66874.78km。各光传输系统站点和设备配置情况见表 1-1。

表 1-1

一级骨干光传输系统站点和设备配置情况

序号	光传输系统名称	简称	站点数(个)	设备数(套)
1	北京光环网传输系统	北京/光/环网	24	32
2	北京—三峡光传输系统	京峡/光	17	17

续表

序号	光传输系统名称	简称	站点数(个)	设备数(套)
3	三峡光环网传输系统	三峡/光/环网	18	36
4	三峡—重庆光传输系统	三渝/光	6	6
5	北京—沈阳光传输系统	京沈/光	14	16
6	沈阳—长春—哈尔滨光传输系统	沈长哈/光	10	10
7	西安—郑州光传输系统	西郑/光	10	14
8	阳城送出光传输系统	阳城送出/光	7	12
9	北京—上海光传输系统	京沪/光	37	42
10	龙泉—政平光传输系统	龙政/光	11	12
11	三峡—上海光传输系统	三沪/光	14	15
12	江陵—鹤城光传输系统	江城/光	8	8
13	凤凰山—曲江光传输系统	南延/光	10	10
14	岗市—益阳—长沙光传输系统	岗益长/光	6	6
15	兰州—银川—呼和浩特—北京光传输系统	兰银呼京/光	22	22
16	天水—成都—重庆光传输系统	天成重/光	14	14
17	北京—武汉光传输系统	京汉/光	28	29
18	锦界—府谷光传输系统	锦界府谷/光	6	14
19	长治—荆门光传输系统	长治荆门/光	7	10
20	德阳—宝鸡光传输系统	德宝/光	5	5
21	复龙—奉贤光传输系统	复奉/光	22	22
22	复龙—斗笠光传输系统	复斗/光	18	18
23	北京—呼伦贝尔光传输系统	京辽呼/光	24	24
24	银川东—胶东光传输系统	银东/光	8	8
25	北京 PTN 光环网传输系统	北京/PTN/光/环网	5	5
26	青海—西藏华为光传输系统	青藏/华为光	15	15
27	青海—西藏诺西光传输系统	青藏/诺西光	9	9
28	容灾光环网传输系统	容灾/光/环网	3	6
29	淮南—练塘光传输系统	淮沪/光	12	17
30	天山—中州光传输系统	天中/光	31	33
31	宜宾—金华光传输系统	宾金/光	14	15
32	安吉—榕城光传输系统	浙福/光	9	18
33	大容量骨干光传输网	大容量/光	270	289

三、国网特高压传输网现状

(一) 长治—荆门光传输系统

长治—荆门光传输系统随晋东南—南阳—荆门特高压工程建设,于2008年10月建成投运,途经山西、河南、湖北三省,设7个光通信站,2.5Gbit/s SDH光传输设备共计10套。主干线路全长694km。

(二) 淮南—练塘光传输系统

淮南—练塘光传输系统随皖电东送淮南至上海特高压交流输电示范工程建设,系统于2013年10月投运,途经安徽、江苏、浙江、上海三省一市,一通道系统全长815km,二通道系统全长1101km,设光通信站17个。

(三) 安吉—榕城光传输系统

安吉—榕城光传输系统随浙北—福州特高压交流输电工程建设,系统于2014年11月投运,途经浙江、福建两省,一通道系统全长646km,二通道系统全长876km,设光通信站9个。

(四) 复龙—奉贤光传输系统

复龙—奉贤光传输系统随向家坝—上海特高压工程建设,于2010年1月建成投运复龙至奉贤段(原复奉光传输系统),2012年4月随锦苏直流工程,在锦屏东(西)水电站、官地水电站、锦屏换流站、月城变电站、沐溪站各增加一台2.5Gbit/s SDH光传输设备。作为锦苏、复奉直流保护业务的第一通道。途经四川、重庆、湖南、湖北、安徽、浙江、江苏、上海六省两市,全长3775.5km。

(五) 复龙—斗笠光传输系统

复龙—斗笠光传输系统随向家坝—上海特高压工程建设,于2010年1月建成投运,2012年4月随锦苏工程增加东坡、南天、菩提、锦屏换流站、锦屏东(西)水电站等通信站。作为锦苏、复奉特高压直流保护业务第二通道的一部分。途经四川、重庆、湖北两省一市,干线速率2.5Gbit/s,全长2029km。

(六) 天山—中州光传输系统

天山—中州光传输系统随哈密—郑州特高压工程建设,于2013年10月建成投运。途经新疆、甘肃、青海、宁夏、陕西、山西、河南七省(自治区),干线速率2.5Gbit/s,全长3192km。

(七) 宜宾—金华光传输系统

宜宾—金华光传输系统随溪洛渡—浙西特高压工程建设,于2014年3月建成投运。途经四川、重庆、湖北、安徽、浙江四省一市,干线速率2.5Gbit/s,全长2762km。

为满足特高压大电网信息传输的需要,在特高压电网建设时同步建设配套的光纤通信电路,并接入国网现有通信主干网。光通信电路一般由特高压变电站/换流站间随特高压线路新建的OPGW光缆组成直达第一通道,大部分利用已有的通信OPGW光缆及通信站组织独立的第二通道电路,另外,利用省公司电路沟通连接成特高压站间的应急抢修第三通道。这样基本确保了保护控制信号传输的高可靠安全性。

特高压变电站/换流站间的光通信电路建设如图 1-3 所示。

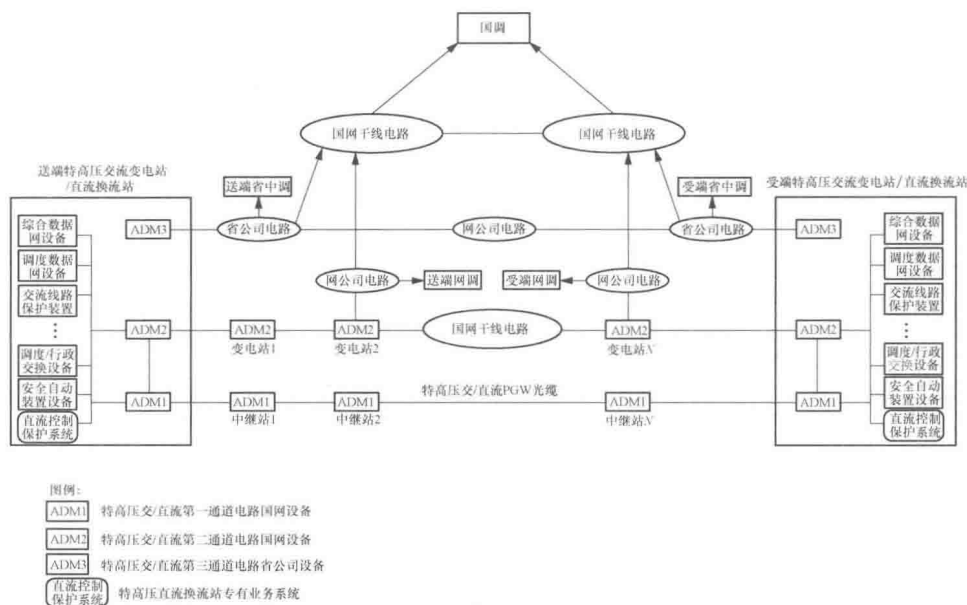


图 1-3 特高压变电站/换流站间的光通信电路建设

第三节 特高压大电网对系统通信的要求

特高压交流电网突出的优势是可实现大容量、远距离输电。1 回 1000kV 输电线路的输送能力可达到同等导线截面的 500kV 输电线路的 4 倍以上，可大量节省线路走廊和变电站占地面积，显著降低输电线路的功率损耗，通过特高压交流输电线实现电网互联，可以简化电网结构，提高电力系统运行的安全稳定水平。

特高压直流输电具有超远距离、超大容量、低损耗、节约输电走廊和调节性能灵活快捷等特点，可用于电力系统非同步联网。由于不存在交流输电的系统稳定问题，可以按照送、受两端运行方式变化而改变潮流，所以更适合于大型水电、火电基地向远方负荷中心送电。在输送容量上， $\pm 800\text{kV}$ 、 $\pm 1100\text{kV}$ 特高压直流输送能力分别是 $\pm 500\text{kV}$ 超高压直流的 2.5 倍和 3.5 倍，能够充分发挥规模输电优势，大幅提高效率。 $\pm 800\text{kV}$ 经济输电距离为 1350~2350km， $\pm 1100\text{kV}$ 经济输电距离为 2350km 以上。在导线总截面、输送容量均相同的情况下， $\pm 800\text{kV}$ 直流线路的电阻损耗是 $\pm 500\text{kV}$ 直流线路的 39%，因此可提高输电效率，降低输电损耗。 $\pm 800\text{kV}$ 直流输电单位走廊宽度输送容量是 $\pm 500\text{kV}$ 的 1.3 倍，可提高输电走廊利用效率，节约宝贵的土地资源。