

1000kV JIAOLIU SHUDIAN XIANLU
YUNXING WEIHU JISHU

1000kV交流输电线路

运行维护技术

河南送变电建设公司 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

1000kV JIAOLIU SHUDIAN XIANLU
YUNXING WEIHU JISHU

1000kV交流输电线路 运行维护技术

河南送变电建设公司 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书结合近两年 1000kV 特高压交流试验示范工程的运行维护工作,总结出一些线路运行维护的基本方法和经验,为维护好特高压电网提供借鉴。

本书共分八章,分别为特高压交流试验示范工程简介、1000kV 交流输电线路质量检验程序及方法、1000kV 交流输电线路巡视技术、1000kV 交流输电线路状态检测技术、1000kV 交流输电线路故障处理技术、1000kV 交流输电线路检修技术、1000kV 交流输电线路带电作业技术、1000kV 交流输电线路在线监测技术。

本书可供特高压运行人员培训使用,也可在基层运行维护技术人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

1000kV 交流输电线路运行维护技术/河南送变电建设公司组编. —北京:中国电力出版社, 2011. 11

ISBN 978 - 7 - 5123 - 2336 - 0

I. ①1… II. ①河… III. ①交流—超高压输电线路—运行
②交流—超高压输电线路—维修 IV. ①TM726.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 233080 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)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 12 月第一版 2011 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17 印张 405 千字

印数 0001—2000 册 定价 55.00 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

编 委 会

主 任 齐 涛

副主任 陈怀德 刘万东

编 委 闫保进 金红专 郭麦成 张建斌

朱广顺 王 珂 韩其三 杨作强

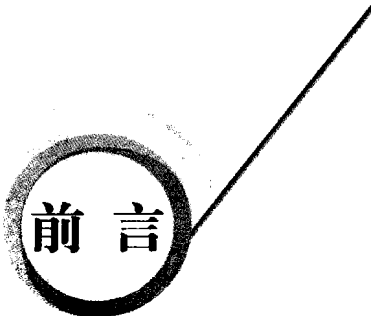
蔡 伟 马富龙

主 编 刘红伟

副主编 李俊峰

参 编 赵鹏飞 石生智 王常飞 陶留海

杨 涛 李 坤 董学灿 司圣法



前言

我们即将步入以特高压为骨干网架、各级电网协调发展的坚强国家电网时代，这一快捷、高效的电力“高速公路”将随着特高压电网的建设不断发展。建设结构合理、技术先进、资源配置能力强的现代化大电网，将极大促进大煤电基地、大水电基地、大核电和大型可再生能源基地的集约化开发，保障国家能源安全，促进能源资源在全国乃至更大范围内的合理配置以及能源可持续发展，为我国经济社会发展提供更清洁、更高效、更经济的能源支撑。

国家电网公司自2004年底提出建设以特高压电网为骨干网架、各级电网协调发展的坚强国家电网的战略目标以来，按照“科学论证、示范先行、自主创新、扎实推进”的方针，组织协调各方力量，全面开展了特高压输电前期研究和工程建设实施工作。2009年1月6日22时，我国首条特高压输电工程——1000kV晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程建成并完成系统调试、试运行考核，正式投入商业运行。特高压工程在前期论证、科研攻关、工程设计、设备研制、现场建设、调度运行等方面取得了重大突破和显著成果。

1000kV晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程连接华北和华中电网，变电容量 2×300 万kVA，线路全长645km，纵贯晋、豫、鄂三省，跨越黄河、汉江及多条高速公路、电气化铁路、超高压输电线路，途经险峻的太行山区、煤矿采空区、汉江分洪区，以及国家级猕猴自然保护区和多处文物古迹，全线铁塔1284基，总重量超过93000t，平均重量72.4t，平均高度77.2m，接近500kV铁塔的2倍。配备了长达10m的巨型复合绝缘子，高达40余m的1000kV构架，重逾400t的1000kV主变压器。线路结构复杂，周围环境多变，检修难度高，安全运行要求严格，运行任务艰巨。

由于工程连接华北、华中两大电网，电压等级高，传输容量大，一旦出现跳闸等故障，将影响系统安全，造成重大经济损失。因此，运行维护单位必须依靠技术进步和管理创新，坚持“强基固本，科技创新”的原则，高标准严要求，提高人员素质，加大装备投入，提高日常巡视维护能力、运行分析能力、应急处置能力，全力做好特高压交流试验示范工程的运行维护和检修消缺工作，确保线路安全稳定运行。

通过近两年的运行维护工作，我们摸索出一些运行维护的基本方法和经验，现将其总结出来编写成书，为特高压运行人员的培训服务，也为维护好特高压电网提供借鉴。

本书结合特高压交流试验示范工程运行经验，突出运行维护基本技术。本书在编写过程中调研了特高压运行研究、建设等资料文献和运行一线的第一手资料，总结了特高压线路运行一年多来的巡视、检修等工作经验。本书紧扣线路运行维护实践，共分八章，分别为特高压交流试验示范工程简介、1000kV 交流输电线路质量检验程序及方法、1000kV 交流输电线路巡视技术、1000kV 交流输电线路状态检测技术、1000kV 交流输电线路故障处理技术、1000kV 交流输电线路检修技术、1000kV 交流输电线路带电作业技术、1000kV 交流输电线路在线监测技术。

本书在编写过程中得到了河南省电力公司生产技术部、河南送变电建设公司、河南超高压输变电运检公司的支持和指导，同时，由于时间仓促，编写组成员水平有限，不当之处在所难免，请阅读此书的公司系统专家及同仁及时指正，在此一并表示感谢。

编 者

2011 年 11 月

目录

前言

第一章 特高压交流试验示范工程简介	1
第一节 特高压交流试验示范工程概况.....	1
第二节 特高压交流试验示范工程线路设备结构特点.....	4
第二章 1000kV 交流输电线路质量检验程序及方法	17
第一节 质量检验及验收程序	17
第二节 中间转序验收及方法	23
第三节 竣工验收及方法	30
第四节 竣工资料验收	36
第三章 1000kV 交流输电线路巡视技术	39
第一节 巡视及缺陷管理	39
第二节 通道巡视及线路保护	45
第三节 直升机巡航作业方法	50
第四节 智能巡检系统	57
第五节 巡视装备	62
第六节 巡检技术发展前景	63
第七节 巡视检测安全	68
第四章 1000kV 交流输电线路状态检测技术	71
第一节 基础检测	71
第二节 接地装置的检测	73
第三节 铁塔倾斜测量	77
第四节 导地线、光缆测量	78
第五节 绝缘子检测	83
第六节 红外测温及紫外检测技术	90
第七节 检测设备及仪器仪表	96

第五章 1000kV 交流输电线路故障处理技术	100
第一节 概述	100
第二节 雷害故障	102
第三节 冰害故障	106
第四节 外力破坏故障	110
第五节 风偏故障	113
第六节 污闪故障	115
第七节 线路应急抢修	117
第八节 线路故障处理的安全事项	122
第六章 1000kV 交流输电线路检修技术	124
第一节 检修管理	124
第二节 检修技术	136
第三节 检修专用工器具	152
第四节 检修安全技术	170
第七章 1000kV 交流输电线路带电作业技术	181
第一节 带电作业技术发展状况	181
第二节 带电作业理论研究	185
第三节 带电作业技术要求	195
第四节 特高压带电作业工器具	199
第五节 带电作业展望	203
第八章 1000kV 交流输电线路在线监测技术	205
第一节 在线监测系统原理及构造	205
第二节 特高压线路在线监测系统种类	221
第三节 在线监测系统运行分析	224
 附录 A 1000kV 交流输电线路的巡视项目、检查项目及处理标准	255
附录 B 检修作业过程中的危险源辨识、分析、消除或控制统计表	259
 参考文献	262

第一章

特高压交流试验示范工程简介

1000kV 交流输电具有远距离、大容量、低损耗、节约土地资源等特点,对于全面落实科学发展观,实现国民经济健康、快速发展具有重要意义。研究表明,1000kV 交流输电线路自然输送功率约为 500kV 交流输电线路的 5 倍。同等条件下,特高压线路的电阻损耗仅为 500kV 线路的 1/4,单位输送容量走廊宽度仅为 500kV 线路的 1/3,单位输送容量综合造价不足 500kV 输电方案的 3/4。

2004 年底,国家电网公司提出了建设以特高压电网为骨干网架、各级电网协调发展的坚强国家电网的战略目标。4 年来,在中央政府各部委的关心指导下,按照“科学论证、示范先行、自主创新、扎实推进”的方针,国家电网公司组织协调各方力量,全面开展了特高压输电前期研究和工程建设实施工作。1000kV 晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程(以下简称特高压交流试验示范工程)是目前世界上运行电压最高、技术最先进且我国具有完全自主知识产权的交流输变电工程。2006 年 8 月 9 日,工程经国家发展和改革委员会核准,同年底开工建设,2008 年 12 月全面竣工,12 月 30 日完成系统调试投入试运行,2009 年 1 月 6 日 22 时完成 168h 试运行并转入商业运行。工程的建成投运和稳定运行,标志着我国在远距离、大容量、低损耗的特高压核心输电技术和设备国产化上取得了重大突破,对转变电网发展方式,促进我国水电、火电、核电、可再生能源基地的大规模集约化开发和更大范围的能源资源优化配置,保障国家能源安全和电力可靠供应具有重要意义。

特高压交流试验示范工程起于山西 1000kV 特高压长治站,由北向南经河南 1000kV 特高压南阳站,止于湖北 1000kV 特高压荆门站,先后跨越黄河和汉江,线路全长 639.387km、铁塔 1284 基,系统额定电压 1000kV、最高运行电压 1100kV。工程连接华北、华中两大区域电网,特高压交流同步电网总装机规模达到 3 亿 kW。

第一节 特高压交流试验示范工程概况

一、变电部分

1000kV 特高压长治站位于山西省长治市长子县石哲镇,距长治市 22km,围墙内占地面积 7.78hm²。装设 1 组 3×1000MVA 主变压器、1 组 3×320Mvar 高压电抗器;1000kV

出线 1 回、双断路器接线,采用 GIS 设备;500kV 出线 5 回、6 个不完整串 3/2 断路器接线,采用 HGIS 设备;装设 2 组 240Mvar 低压电抗器、4 组 210Mvar 低压电容器。主变压器、高压电抗器各设置备用相 1 台。

1000kV 特高压荆门站位于湖北省荆门市沙洋县沈集镇,距荆门市 25km,围墙内占地面积 11.45hm²;装设 1 组 3×1000MVA 主变压器、1 组 3×200Mvar 高压电抗器;1000kV 出线 1 回、双断路器接线,采用 HGIS 设备;500kV 出线 3 回、4 个不完整串、3/2 断路器接线,采用 HGIS 设备;装设 2 组 240Mvar 低压电抗器、4 组 210Mvar 低压电容器。主变压器、高压电抗器各设置备用相 1 台。

1000kV 特高压南阳站 I 期建设为开关站,位于河南省南阳市方城县赵河镇,距南阳市 30km,围墙内占地面积 8.15hm²;一期不装设主变压器;装设 2 组 3×240Mvar 高压电抗器;1000kV 出线 2 回双断路器接线,采用 HGIS 设备;一期 500kV 无出线;一期不装设 110kV 设备。高压电抗器设置备用相 1 台。2011 年南阳开关站扩建为变电站,本期扩建 1000kV 主变压器 2 组,单组容量 3×1000MVA,1000kV HGIS 1 个整串、1 个不完整串,共安装 5 组断路器(开关),500kV HGIS 1 个整串、4 个不完整串,共安装 11 组断路器(开关),新增 500kV 出线 4 回。分别在晋东南侧加装 20%串补、荆门侧加装 40%串补。

二、线路部分

特高压交流试验示范工程线路起自山西 1000kV 特高压长治站,经河南 1000kV 特高压南阳站,终于湖北 1000kV 特高压荆门站。线路路径整体为北南走向,途经山西省长治市、晋城市,河南省的焦作、郑州、洛阳、平顶山、南阳市以及湖北省襄樊市和荆门市。线路全长 639.387km(包括跨越黄河一次、跨越汉江一次);其中一般线路总长 632.78km,黄河大跨越长 3.651km,汉江大跨越长 2.956km。

线路在河南省孟州市跨越黄河,采用耐一直一直一直一耐方式,主跨越档 1.22km、耐张段长 3.651km;在湖北省钟祥市跨越汉江,采用耐一直一直一直一耐方式,主跨越档 1.65km、耐张段长 2.956km。

1000kV 长南 I 线(长治—南阳段)358.17km,1000kV 南荆 I 线(南阳—荆门段)281.217km。其中,山西境内 116.376km,河南境内 342.811km,湖北境内 180.2km。

1. 地形

线路穿越太行山、伏牛山、桐柏山、大洪山的余脉,地形地貌主要有中低山、低山、丘陵、山前平原、山间凹地、丘陵、垅岗、河流漫滩等,形态复杂,多崩塌、滑坡等不良地质现象。沿线海拔高度为 40~1380m;平地占 33.43%,泥沼占 7.81%,丘陵占 25.81%,一般山地占 19.13%,高山大岭占 13.83%。

2. 地质

线路路径沿线出露的地层岩性种类繁多,十分复杂。山区的基岩主要为石英砂岩、灰岩、白云质灰岩、安山岩、玄武岩、花岗岩、片麻岩、大理岩、砂岩、砂砾岩、泥灰岩、泥岩、页岩、黏土岩。

平丘地区的地层岩性主要为黄土状粉土、黄土状粉质黏土、粉土、粉质黏土、新近沉积土、粉土、粉细砂、卵石。

3. 作物

农作物主要有小麦、水稻、玉米、高粱、红薯、谷子等,经济作物主要有花生、棉花、

油菜、大豆、芝麻、烟叶、红黄麻、怀药等；荆门是全国重要的商品粮、棉、优质油生产基地和国家生态示范区试点市。

4. 树种

沿线树种主要有松树、杉树、杨树、桐树、柳树、山槐、椿树、樟树、核桃树、果树、杂树和灌木丛等，并穿过太行山猕猴国家级自然保护区，黄河湿地国家级保护区。

5. 河流

跨越的河流主要有沁河、黄河、伊洛河、汝河、沙河、汉水等，其中跨越处黄河主河道宽约 2.5km，其余河流主河道宽为 140~550m；沁河滩地内种植大量的农作物和树木，伊洛河滩地种植高秆庄稼。

6. 气候

线路经过的山西省境内属暖温带季风气候，四季分明，雨热同季；年平均降水量一般为 620~680mm，年平均气温 7.9~11.7℃。

河南省境内属暖温带大陆性季风气候，四季分明，夏热多雨，冬寒少雪；常年平均气温在 14.1~15.7℃之间，降水量 600~1000mm。

湖北省境内属北亚热带季风气候，平均气温一般均在 15~17℃之间，降水量 820~1100mm。

7. 设计气象条件

根据对各气象站气象记录资料的统计分析，特高压交流试验示范工程线路按平丘地区、山区两种情况，分别采用两种气象区设计，各气象区的设计气象条件见表 1-1。

表 1-1 设计气象条件

气象名称	气 象 条 件					
	Ⅰ 气象区			Ⅱ 气象区		
	气温 (℃)	风速 (m/s)	覆冰 (mm)	气温 (℃)	风速 (m/s)	覆冰 (mm)
最低气温	—30 (—20)	0	0	—20	0	0
年平均气温	10 (15)	0	0	15	0	0
最大风速	—5	30	0	—5	27	0
覆冰情况	—5	10	10	—5	10	10
最高气温	40	0	0	40	0	0
安装情况	—15	10	0	—10	10	0
大气过电压	15	10	0	15	10	0
操作过电压	10	15	0	10	14	0
雷暴日数	40			40		
冰的比重 (g/cm ³)	0.9					

8. 矿产

线路经过的山西省和河南省境内矿产比较丰富，山西省境内大部分地段主要矿种为煤。河南省偃师市南部孙坡、刘庄一带为镁和铝土矿；登封西部与汝州交界地段为铝土矿，汝州

陵头一庙下、蟒川一带为煤；宝丰西部观音堂一带为煤；鲁山董村、熊背一带为铁矿；南召东北四十里铺一带为铁矿、萤石、铅锌矿；方城县西北山区为铅锌矿，柳河一带为金红石（钛）。

9. 跨越

特高压交流试验示范工程在河南省境内跨越河流 9 次，铁路 7 次，500kV 电力线路 9 次，220kV 电力线路 31 次，110kV 及以下电力线路及通信线路 657 次，高速公路 7 次。

第二节 特高压交流试验示范工程线路设备结构特点

特高压交流试验示范工程是我国发展特高压输电技术的起步工程，是转变电网发展方式的标志性工程，是世界高压输电技术创新的领跑工程。作为全新的电压等级，1000kV 特高压电网设计在国内没有先例可循，国际上也没有直接的经验可供借鉴。本章就特高压线路设备结构进行全面阐述。

一、基础

在基础设计进行型式选择时，遵循下面的原则：

- (1) 结合本工程地形、地质特点及运输条件，综合分析比较，选择适宜的基础型式。
- (2) 在安全、可靠的前提下，尽量做到经济、环保，减少施工对环境的破坏。
- (3) 充分发挥每种基础型式的特点，针对不同的地形、地质，选择不同的基础型式。
- (4) 对不良地基，提出特殊的基础型式和处理措施。

特高压交流试验示范工程线路基础主要采用柔性基础（分直柱式、斜柱式）、直柱刚性基础、全掏挖式基础、岩石嵌固式基础、钻孔灌注桩基础、大板基础、岩石锚杆式基础 8 种型式。不同基础型式适用范围：位于山区岩石地基的基础采用岩石掏挖和岩石嵌固基础；平丘地区采用直柱柔性基础和主柱配筋刚性台阶基础；跨河处采用群桩灌注桩基础；软弱地质和地下水埋深较浅处采用柔性大板基础；在煤矿采空区采用复合防护大板基础，以加长地脚螺栓和浇注整体大板，来调整基础不均匀沉降和滑移后复位。特高压交流试验示范工程采用的基础型式如图 1-1 所示。

特高压交流试验示范工程线路基础主要特点：基础根开大（13.5~23.43m），单腿基础尺寸较大（6×6m，高 5m）、混凝土量较大（40m³ 以上），地脚螺栓规格（直径 60mm 以上）和数量较大，在山区和丘陵地区使用的铁塔采用全方位长短腿。使用全方位长短腿配置时，基础使用加高立柱，以达到少降基面、减少开方、避免由于大量开方造成的环境破坏。在山区，当地质为强风化岩时，为防止降基后基面岩石继续风化，在设计基面表层做素混凝土护面。

二、铁塔

铁塔采用酒杯型、猫头型、干字型、换位塔、分体塔和门型 6 类 51 种型式。全线共有铁塔 1284 基，其中一般线路 1275 基，黄河大跨越 5 基，汉江大跨越 4 基。

全线铁塔平均高 76.7m，平均重 70.5t。直线铁塔全高在 44.7~112.7m 之间（不含限高区黄河大跨越），根开为 13.5~23.43m，曲臂的高度为 21~25m，横担宽度为 28~57m（黄河大跨越横担宽度 71m），呼称高 36~90m（不含限高区黄河大跨越），平地以 50~80m

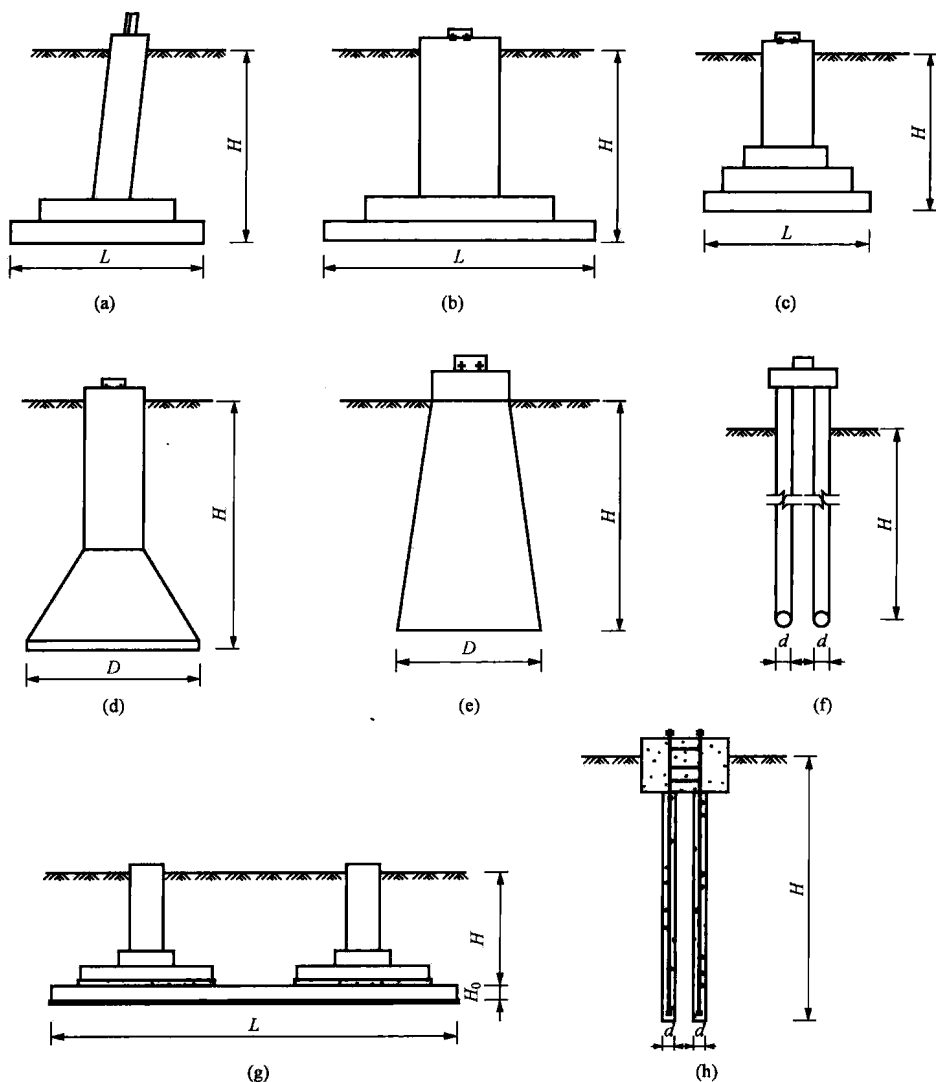


图 1-1 主要基础型式

- (a) 斜柱式柔性基础；(b) 直柱式柔性基础；(c) 直柱刚性基础；(d) 全掏挖式基础；
(e) 岩石嵌固式基础；(f) 灌注桩基础；(g) 大板基础；(h) 岩石锚杆式基础

呼称高铁塔较多，耐张塔呼称高 34~60m。经统计，全线全高 70~90m 的铁塔占 60% 以上，90~100m 的铁塔占 14%，100m 以上约占 5%。

黄河大跨越共有铁塔 5 基，N2~N4 为直线跨越塔，N1、N5 为锚塔；直线跨越塔为酒杯型单回路钢管结构塔，呼称高 112m，全高 122.8m，单基重量 460.3t；锚塔为螺栓连接组合角钢结构干字型塔，呼称高 38m，全高为 68m，单基重量 265.6t。特高压黄河大跨越段线路如图 1-2 所示。

汉江大跨越共有铁塔 4 基，N1、N4 为 JK-40m 型角钢耐张塔，呼称高 40m，全高 72m，单基重量约 245t；N2、N3 为 ZBK-168m 型钢管直线跨越塔，呼称高 168m，全高 181.8m，单基重量 989.5t。

特高压交流试验示范工程线路铁塔大量采用 Q420 高强度钢，主材规格自 L 100×8 规格以上均采用了 Q420 高强度钢，同时配套使用了 8.8 级高强度螺栓，简化了结构型式，减少了设计、运输、安装的工作量，有效地节省了工程投资，取得了较好的经济效益。

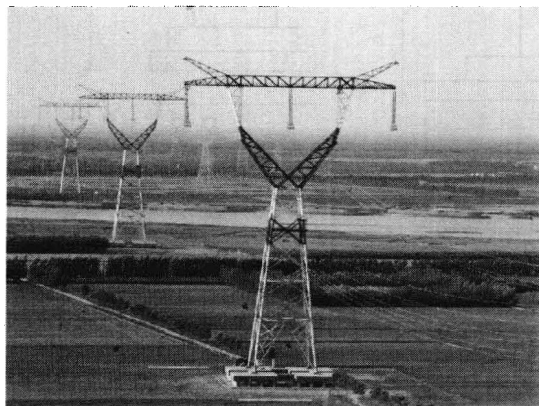


图 1-2 特高压黄河大跨越段线路

1. 直线型铁塔

对于单回路直线型自立塔来说，国内外输电线路工程广泛使用的塔型有酒杯塔和猫头塔两种（见图 1-3 和图 1-4），其他型式的塔基本上是在其基础上演变而来的。酒杯塔和猫头塔各有优缺点，酒杯塔的横担长度比猫头塔要长，因而线路所占的走廊要宽，但酒杯塔三相导线高度一样高，而猫头塔有一相导线要抬高近 20m，导致铁塔的负荷增加，塔材指标比水平排列要高些，地形地貌的不同，防雷击方式有所不同。平原、丘陵地带雷电直击导线现象较多，山地则多为绕

击。因此具体选哪一种塔优，要结合线路所处的位置来确定。总的趋势是在线路走廊要求严、拆迁量大的地方，多用猫头塔；在一些线路走廊要求不严，拆迁量不大的地方，为了降低工程造价，宜使用酒杯塔。特高压交流试验示范工程在平地、丘陵段使用猫头直线塔且防雷保护角呈正角度，防止雷电直击导线；山区段使用酒杯直线塔防雷保护角呈负角度，防止雷电绕击导线造成跳闸事故。

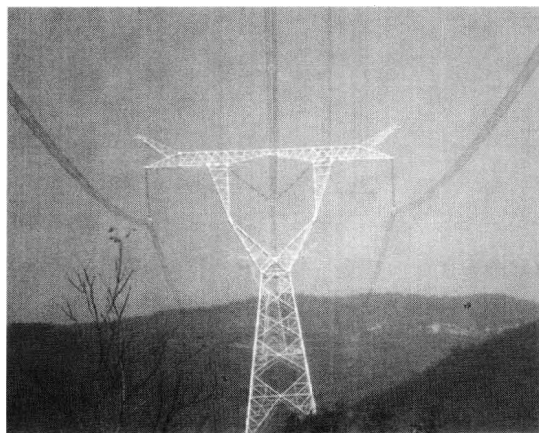


图 1-3 酒杯型直线塔

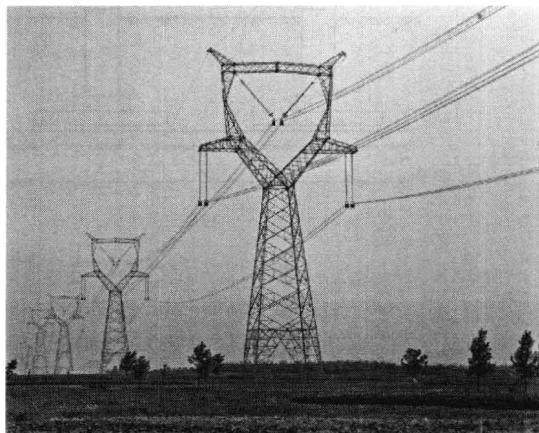


图 1-4 猫头型直线塔

2. 耐张转角塔

特高压交流试验示范工程线路耐张转角塔采用干字型塔（见图 1-5），该塔型结构简单，受力清楚，占用线路走廊窄，而且施工安装和检修较方便，在国内外都有大量使用，而且积累了丰富的运行经验。

3. 换位塔

特高压交流试验示范工程线路导线进行两次全循环换位，换位采用耐张塔双辅助塔换位

和单辅助塔换位（见图 1-6）。

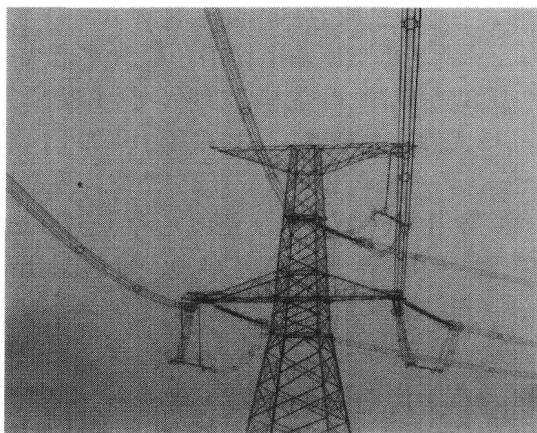


图 1-5 十字型耐张塔

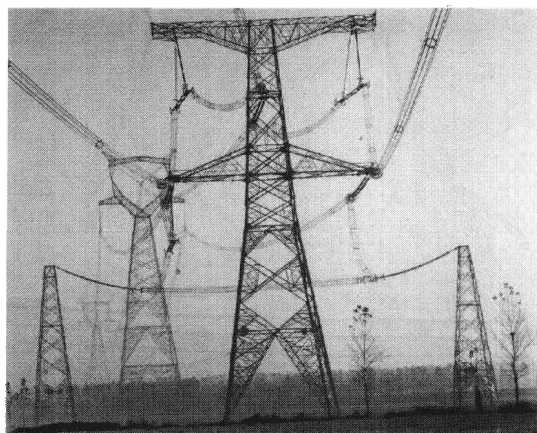


图 1-6 换位塔

4. 限高区门型塔

特高压交流试验示范工程从 1000kV 长南 I 线 308~329 为塔高限制区，线路全长 5.26km，该区段内的铁塔导线需要水平排列。经对导地线选型、导线布置方式、导地线间距、电磁环境指标等进行分析计算，直线型塔和耐张型塔均采用门型架构塔型（见图 1-7）。该区段有 ZMX1、JTX1 和 JTX2 三种塔型，ZMX1 直线塔呼称高 38.5m，铁塔全高为 42.5m，地线挂点在门型架构两侧。JTX1、JTX2 耐张塔呼称高 34m，三相导线采用水平布置，地线采用两根地线方案，铁塔全高为 42.5m。

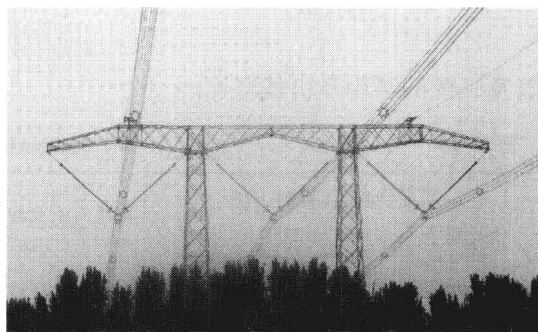


图 1-7 限高区门型塔

塔高限制区导地线水平偏移 1m，保护角 $<5^{\circ}$ 。经中国电力科学研究院和国网武汉高压研究院计算研究，限制区段设计方案满足特高压耐雷水平要求。根据门型塔承受纵向荷载能力较差、易产生较大位移的特点，设计中着重加强了结构刚度，以控制铁塔的变形。

5. 采空区耐张转角塔

由于受线路路径限制及要求，特高压交流试验示范工程线路必须通过采空区，由于地下采煤导致地基变形，会对铁塔产生垂直沉降和水平位移的影响，从而产生使铁塔倾斜的危险。1000kV 特高压交流输电线路耐张转角塔的负荷非常大，为了分开受力，位于采空区内的耐张转角塔采用分体塔来设计（见图 1-8），这样可以解决铁塔的根开较大、单基铁塔受力过大的问题，同时对相邻直线塔的电气间隙有一定的好处。

三、导地线及光缆

1000kV 特高压交流输电线路一般线路导线为 LGJ-500/35 型钢芯铝绞线，每相八分裂，呈正八边形排列，分裂间距为 400mm。黄河大跨越段采用 AACSR/EST-500/230 特高强钢芯铝合金绞线，呈正六边形排列，分裂间距 550mm。太行山猕猴自然保护区导线采用 $8 \times$

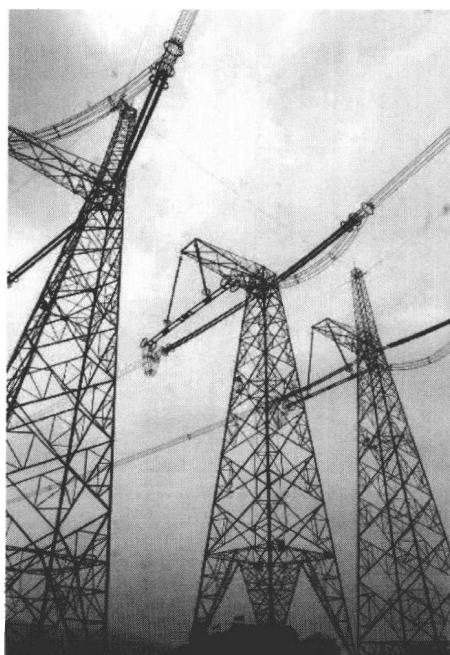


图 1-8 采空区耐张转角分体塔

LGJ-630/45 钢芯铝绞线。三相导线为三角排列和水平排列。导地线全线 2500m 定长供货。

1000kV 特高压交流输电线路一般线路地线一根采用 JLB20A-170 铝包钢绞线，另一根采用 OPGW-175 光缆。大跨越：一根采用 JLB20-240 铝包钢绞线，另一根采用 OPGW-256 光缆。限高区 308~329 采用 OPGW-400（光缆）和 JLB30-400 铝包钢绞线。OPGW 光缆逐基接地，地线采用分段绝缘、一点接地的悬挂方式。

在变电站进线段采用并架设 3 根地线，进线档安装 4 根地线。比如：自南阳开关站构架~001 号塔架设 4 根地线，中间 2 根为 JLB20A-170 铝包钢，两侧为 OPGW-175 光缆；001~006 号塔采用 3 根地线，中间一根型号为 JLB20A-170，两侧为 OPGW-175；006~032 号塔采用 2 根 OPGW-175，其中 23 号光缆与 500kV 白香线光缆衔接，032~209 号塔左侧采用 OPGW-175，右侧采用 JLB20A-170。表 1-2 和表 1-3 分别列出了所采用的导、地线以及光缆的结构及机械特性。

表 1-2

导、地线结构及机械特性

导、地线型号	结构：根数/直径 (mm)		计算截面积 (mm ²)			外径 (mm)	计算 拉断力 (kN)	计算 重量 (kg/km)	弹性 模量 (N/mm ² ×10 ³)	线膨胀 系数 (1/℃ × 10 ⁻⁶)	20℃ 直 流电阻 (Ω/km)
	铝 股	钢 芯	铝	钢	合 计						
LGJ-500/35	45×3.75	7×2.50	497.01	34.36	531.37	30.0	119.5	1642	63.0	20.9	0.05812
LGJ-630/45	45/4.2	7/2.8	623.45	43.1	666.55	33.6	148.7	2060	63	20.9	0.0463
AACSR/EST- 500/230	42×3.9	37×2.8	501.73	227.83	729.56	35.2	511.2	3188.3	97.185	15.98	0.0673
JLB20A-170	—	19×3.40	43.12	129.38	172.50	17.0	203.38	1152	147.2	13	0.4980
JLB20-240	—	37×2.87			239.36	20.09	315.00	1599.5	147.2	13	0.3601
JLB30-400	—	37×3.70	226.76	171.07	397.83	25.9	315.08	2276.5	126	13.8	0.1445

表 1-3

光缆结构及机械特性

缆型	芯数	缆径 (mm)	最小弯 曲半径 (m)	铝合金导 线截面积 (mm ²)	铝包钢线 截面积 (mm ²)	铝管截 面积 (mm ²)	单位 重量 (kg/km)	平均运 行张力 (kN)	20℃ 时 直流电阻 (Ω/km)	弹性模量 (N/mm ² ×10 ³)	线膨胀 系数 (10 ⁻⁶ /K)	短路电流 容量(12t) (kA ² S)
OPGW-175	24	17.5	262	44.12	132.35	176.5	1183	38.64	0.489	162	13.0	156.0
OPGW-256	24	21.1	316			255.7	1796	53.56	0.384	165.1	12.6	273.3

续表

缆型	芯数	缆径 (mm)	最小弯 曲半径 (m)	铝合金导 线截面积 (mm ²)	铝包钢线 截面积 (mm ²)	铝管截 面积 (mm ²)	单位 重量 (kg/km)	平均运 行张力 (kN)	20℃时 直流电阻 (Ω/km)	弹性模量 (N/mm ² ×10 ³)	线膨胀 系数 (10 ⁻⁶ /K)	短路电流 容量(12t) (kA ² S)
OPGW-400	24	26.0	390	2.14	387.7	389.84	2244	16%~ 25% RTS	0.150	135.5	14.0	156.0

交流输电线路的电流、电压在正常运行情况下由于三相导线处于不同的空间位置，其间又存在感应耦合，若三相导线不进行换位将会出现很大的不对称，其不对称分量将对系统其他设备的正常运行产生不良的影响，甚至影响到系统的正常安全运行。为降低电力系统的不对称度，1000kV 长南 I 线和 1000kV 南荆 I 线各进行一次全换位，具体如图 1-9 所示。

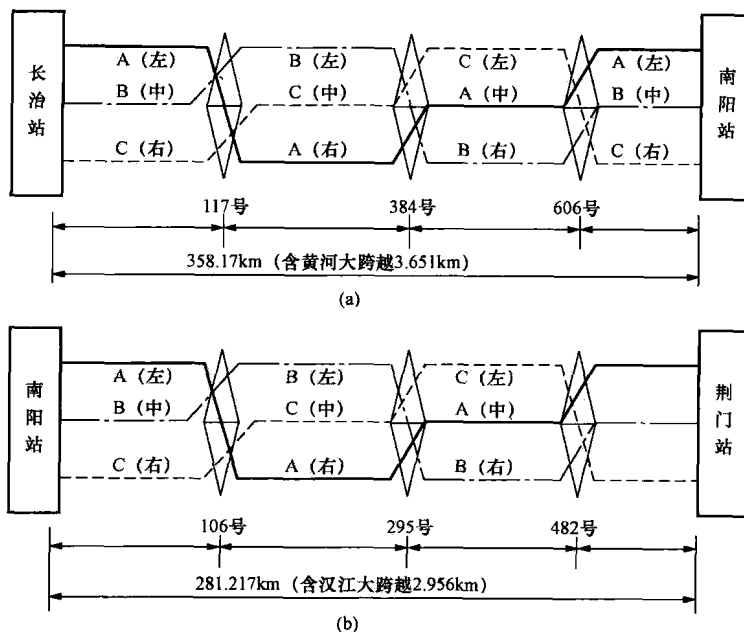


图 1-9 导线换位相序变化图
(a) 1000kV 长南 I 线；(b) 1000kV 南荆 I 线

四、绝缘子

在 0、I 级污秽区按 II 级污秽设计，悬垂绝缘子使用单联、双联 300、420kN 的瓷质绝缘子，中相采用 V 型单联和双联 300、420kN 绝缘子串，绝缘子片数 52~54 片，单串长度约 10m。

III、IV 级污秽区的直线塔和耐张塔跳线串使用合成绝缘子。边相悬垂串采用单联和双联 210、300、420kN 合成绝缘子串，中相 V 型串每支采用双联 210、300、420kN 合成绝缘子串，单串长度 9.75m。

耐张串使用双联、四联 300、420、550kN 瓷质绝缘子，片数为 44~74 片，单串长度约 13m。