

国家电网公司



STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

特高压交流输电技术

研究成果专辑

(2008年)

主 编 刘振亚



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

特高压 交流 输电技术

研究成果专辑

(2008年)

主 编 刘振亚

副主编 舒印彪



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

2008 年, 1000kV 晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程成功建成投运, 标志着我国在特高压输电核心技术和设备国产化方面取得全面突破; 同时, 也全面检验了特高压交流输电关键技术研究取得的成果。本书是继《特高压交流输电技术研究成果专辑》2005 年版、2006 年版和 2007 年版之后, 对 2008 年特高压交流输电技术研究成果的全面回顾和总结。

全书系统介绍了 2008 年度完成的 39 项特高压交流输电关键技术课题和单项专题的研究成果, 主要内容包含特高压交流试验示范工程试验技术研究、调试技术研究, 以及特高压交流同塔双回系统技术研究、线路技术研究。本书可帮助读者全面了解 2008 年度特高压交流输电技术研究成果和工程进展情况。

图书在版编目 (CIP) 数据

特高压交流输电技术研究成果专辑. 2008 年 / 刘振亚主编. —北京: 中国电力出版社, 2009

ISBN 978-7-5083-9308-7

I. 特… II. 刘… III. 高电压—交流—输电技术—研究 IV. TM726.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 142697 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 9 月第一版 2009 年 9 月北京第一次印刷

880 毫米×1230 毫米 16 开本 24.625 印张 474 千字 3 插图

印数 0001—2000 册 定价 160.00 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

前 言

特高压输电是世界电网技术的重要发展方向,具有输送容量大、送电距离长、线路损耗低、节约土地资源等突出优点。发展特高压输电,有利于充分发挥电网的电力输送和网络市场功能,满足经济社会发展对能源的需求;有利于促进大煤电、大水电、大核电及大型可再生能源基地的集约化开发,优化配置和高效利用能源资源;有利于提升我国电工装备制造业的自主创新能力,增强民族工业在国际、国内市场的核心竞争力;有利于提升我国电网的整体技术水平,保障电网的安全运行和可持续发展。发展特高压输电,符合建设资源节约型、环境友好型社会及创新型国家的要求,是国家电网公司实践落实科学发展观、保证电力可靠供应和国家能源安全的重大战略举措。

2004 年以来,国家电网公司在国家统一领导和社会各界的支持下,组织科研、设计、制造、建设和运行等单位,全力推进特高压输电技术研究和工程建设。2008 年 12 月 30 日,我国自主研发、设计和建设的 1000kV 晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程成功建成投运,这是中国乃至世界电力发展史上的重要里程碑,标志着我国在特高压输电核心技术和设备国产化方面取得全面突破;是我国能源基础研究和建设领域取得的重大创新成果,推动了电网的技术水平进步,提升了电力科技领域的自主创新能力,实现了国内电工装备制造的产业升级,验证了特高压交流输电技术可行性、设备可靠性、系统安全性、经济合理性和环境友好性。

特高压交流试验示范工程的成功投运，全面检验了特高压交流输电关键技术研究取得的成果。国家电网公司坚持科研为先导，四年来先后下达特高压交流研究课题 180 项，覆盖规划、设计、设备、试验、施工及运行等全部领域，课题的研究结论和成果均直接在工程中得到应用，确定了工程所有关键技术参数和要求，为试验示范工程建设发挥了关键支撑作用。

为进一步发挥特高压输电节省占地的优势，今后的特高压交流工程将采用同塔并架双回路方案。特高压同塔双回线路输送功率大、故障类型复杂、机械负荷大，在系统控制技术、线路防雷、杆塔结构设计等方面提出了新的要求。国家电网公司针对上述问题下达了 30 余项关键技术研究课题，2008 年已完成主要课题的研究和验收。以试验示范工程技术成果和同塔双回研究成果为依托，我国第一条特高压同塔双回工程——1000kV 淮南—上海（皖电东送）输变电工程前期工作顺利推进。截至 2008 年底，杆塔空气间隙、绝缘配合及绝缘子型式、防雷设计等同塔双回关键技术问题得到解决，工程可行性研究和线路初步设计通过评审，工程主要设计原则已经审定。皖电东送钢管塔应用工作取得阶段性成果，初步完成了标准化设计和生产企业扩能工作，为工程全线应用钢管塔奠定了基础。

国家电网公司注重科研成果的总结和完善，组织相关科研、设计、咨询和高等院校等单位，按年度编写出版《特高压交流输电技术研究成果专辑》和《特高压直流输电技术研究成果专辑》。本书是继《特高压交流输电技术研究成果专辑》2005 年版、2006 年版和 2007 年版之后，对 2008 年特高压交流输电技术研究成果的全面回顾和总结，是全体参与特高压输电技术研究和工程建设人员智慧和心血的结晶。本书系统介绍了 2008 年度完成的 39 项特高压交流输电关键技术课题和单项专题的研究成果，主要内容包含特高压交流试验示范工程试验技术研究、调试技术研究，以及特高压交流同塔双回系统技术研究、线路技术研究。本书可帮助读者全面了解 2008 年度特高压交流输电技术研究取得的成果和工程进展情况。

一年来，特高压输电技术研究的参与者付出了辛勤劳动，换来了累累硕果，承担研究任务的单位全力以赴，克服重重困难，圆满完成了既定的研究任务，在此表示衷心感谢，并藉此向为本书编辑出版提供支持和帮助的单位和个人致谢！

国家电网公司

2009 年 9 月

目 录

前言

第 1 章 概论..... 1

第 1 节 2008 年特高压交流输电建设工作回顾..... 2

第 2 节 2008 年特高压交流输电技术主要研究成果概要..... 6

第 2 章 特高压交流试验示范工程试验技术..... 11

1 特高压交流变压器传递过电压试验研究..... 12

2 特高压交流变压器及套管特殊试验措施研究..... 24

3 特高压交流变压器交接试验技术..... 37

4 特高压电抗器及其他设备交接试验技术..... 45

5 特高压交流开关交接试验技术..... 62

6 特高压交流试验示范工程线路参数测试..... 70

7 特高压交流支柱绝缘子机械性能真型试验研究..... 77

8 特高压交流设备抗震性能计算研究..... 81

9 特高压交流保护与控制设备动模试验研究..... 91

第 3 章 特高压交流试验示范工程调试技术..... 104

1 特高压交流试验示范工程运行控制特性研究..... 105

2 特高压交流试验示范工程稳态过电压控制措施研究..... 112

3 特高压交流试验示范工程调度自动化监视系统方案
研究与建设..... 120

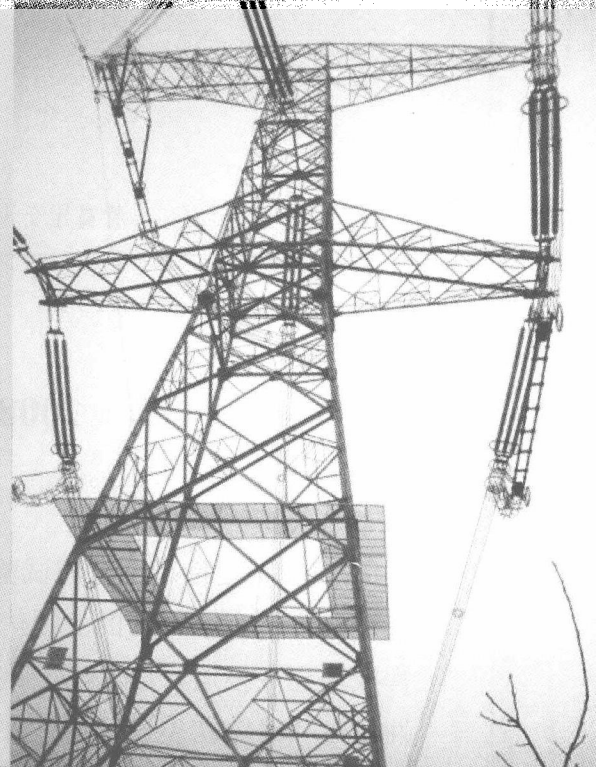
4 特高压交流试验示范工程过电压实测..... 126

5 特高压交流试验示范工程变电站电磁环境实测研究..... 138

6	特高压交流试验示范工程线路电磁环境实测研究 1	144
7	特高压交流试验示范工程线路电磁环境实测研究 2	150
第 4 章 特高压交流同塔双回路系统研究		158
1	特高压交流同塔双回线路系统过电压与绝缘配合研究 1	159
2	特高压交流同塔双回线路系统过电压与绝缘配合研究 2	173
3	特高压交流同塔双回输电系统无功补偿研究	187
4	特高压交流同塔双回输电系统安全稳定性研究	200
5	特高压交流同塔双回输电线路潜供电弧及其控制研究	202
6	特高压交流同塔双回路系统断路器瞬态特性研究 1	211
7	特高压交流同塔双回路系统断路器瞬态特性研究 2	222
第 5 章 特高压交流同塔双回路线路技术研究		237
1	特高压交流同塔双回输电线路导线排列方式优化研究 1	238
2	特高压交流同塔双回输电线路导线排列方式优化研究 2	245
3	特高压交流同塔双回输电线路雷电性能计算研究 1	252
4	特高压交流同塔双回输电线路雷电性能计算研究 2	268
5	特高压交流同塔双回输电线路真型塔外绝缘特性试验研究	280
6	特高压交流同塔双回输电线路带电作业技术研究	291
7	特高压交流同塔双回输电线路对无线电台站影响及防护研究	302
8	特高压交流同塔双回输电线路导线脱冰跳跃研究	309
9	特高压交流同塔双回输电线路杆塔研究	322
10	特高压交流同塔双回输电线路杆塔风振及控制研究	328
11	特高压交流同塔双回钢管塔结构试验研究	340
12	特高压交流同塔双回钢管塔标准化设计研究	352
13	特高压交流同塔双回扩径导线及跳线研究	359
14	特高压交流同塔双回输电线路配套金具研究	365
15	特高压交流同塔双回钢管塔加工技术研究	372
16	特高压交流同塔双回钢管塔组立施工技术研究	380

2008

特高压交流输电技术研究成果专辑



第 1 章

概 论



第 1 节 2008 年特高压交流输电建设工作回顾

2008 年是特高压交流试验示范工程取得决定性成果的一年，又是承上启下、攻坚克难建设特高压电网的关键一年。1000kV 晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程成功建成投运，1000kV 淮南—上海（皖电东送）输变电工程（简称皖电东送）可行性研究和线路初步设计通过评审。

一年来，各参建单位在国家电网公司党组的正确领导下，牢记使命光荣、任务艰巨、责任重大，始终坚持“科研为先导、设计为龙头、设备为关键、建设为基础”的方针，科学策划、精心组织、全力以赴、勇于创新，抓好特高压工程科研、设计、设备、运输、建设、调试等全过程，取得了全面突破和重大成果，胜利建成具有完全自主知识产权的特高压交流试验示范工程，2008 年 12 月 30 日完成系统调试开始试运行，2009 年 1 月 6 日投入商业运行。皖电东送工程关键技术问题实现重大突破，前期工作和建设准备工作加快推进，取得重要阶段性成果。

一、关键技术研究 and 知识产权保护

2008 年，根据特高压工程建设需要，国家电网公司下达了 50 项工程单项研究专题，将技术创新贯穿于工程建设的全过程。四年来，针对特高压交流试验示范工程建设，国家电网公司下达关键技术课题、工程单项专题共 180 项，所有课题的研究结论和成果都在工程中得到应用，为试验示范工程建设的顺利推进发挥了重要支撑作用。

2007 年 2 月特高压交流试验基地带电投运后，2008 年相继建成特高压交流电晕笼、车载式移动电磁兼容现场测试系统、7500kV 户外冲击试验场等，并投入使用，为特高压交流试验示范工程现场测试和后续特高压工程关键技术研究创造了更加有利的条件。

国家电网公司注重科研成果总结和知识产权保护。2008 年 9 月正式出版了《特高压交流输电技术研究成果专辑（2006 年）》，包含 30 项研究成果。12 月正式出版《特高压交流输电技术研究成果专辑（2007 年）》，包含 58 项研究成果。特高压交流输电标准化工作成效显著，至 2008 年底发布了特高压交流企业标准 33 项，组织编写了 47 项国家标准（送审稿），已初步形成了特高压交流输电技术标准和规范体系，为特高压输电的规模应用创造了条件，提高了我国在国际高压标准制定领域的话语权，我国确定的特高压标准电压已成为国际标准电压。同时，通过科研和工程实践，产生了一大批技术专利，已申报特高压交流相关专利 200 余项，其中发明专利 100

余项。

二、工程设计

充分考虑特高压技术复杂、难度大的特点，重点依托工程可研、前期科研与专题研究成果，全面推进设计专题研究和工程科研，深化、固化科研成果在工程中的应用，大力开展设计优化和设计创新，确定了一系列重要设计原则和工程实施方案。

结合 2008 年电网冰灾情况，组织设计单位对试验示范工程进行了全面的设计校核，4 月 25 日委托顾问集团公司进行了补充评审。校核表明，线路及变电站按原冰区条件设计是合适的，符合现场实际情况并留有一定裕度。为进一步强化安全防范措施，在部分重要地段安装在线监测装置加强预警。同时，采用自查互查、严格会审交底等多种措施强化过程控制，确保了施工图设计有序向前推进。2008 年 6 月施工图全部交付现场，工程设计顺利完成。

三、特高压设备研制和交付

始终坚持安全可靠第一的基本原则和从设计源头抓质量的工作思路，充分利用一切可以利用的资源和技术，打破常规，全力推动设备研制全过程，设备研制取得了全面突破。所有特高压设备均研制成功并通过了型式试验，所有运行相设备均通过了出厂试验并成功运至现场。

1. 专家设计校核

针对设备研制过程中出现的问题深入开展了设计校核。3~4 月，组织国内资深专家和俄罗斯 VEI、乌克兰 VIT、瑞士魏德曼、日本东芝对特变沈变和天威保变首台特高压变压器试验故障进行了深入分析，先后召开 80 多次工作例会、15 次中外技术研讨会和 2 次国家电网公司级专家论证会，彻底查清了原因，制定了整改措施。

2. 全过程监造

强化人员培训，1 月开始陆续举办多期监造培训班，提高了一线监造人员的技术水平。完善国内监造与国外监造相结合、驻厂监造与专家检查相结合、全程监造与关键点监督见证相结合的“三结合”机制，全面加强驻厂监造，延伸监造至电磁线、套管等关键原材料和配套件厂商。

3. 关键环节管控

加大套管、绝缘成型件、电磁线等关键部件和材料供货的协调力度，统筹安排落实设备型式试验，解决了影响工期的主要困难。2 月开始多次邀请 ABB、阿海珐、魏德曼公司来华召开工作会议，协调落实关键部件供货工期。

4. 带电考核

2007 年 12 月 20 日，工程用避雷器、CVT、支柱绝缘子和特殊金具等相继在特高压交流试验基地进行全电压下长时间带电考核，2008 年 5 月 21 日通过专家审查，9



月带电考核工作顺利结束。

5. 设备型式试验

特高压避雷器、电压互感器、支柱绝缘子、接地开关等设备于2008年初先后通过型式试验,研制成功。特高压主设备完成型式试验时间如下。

(1) 2月13日,南阳站240Mvar高压电抗器一次通过型式试验,首台特高压主设备研制成功。3月9日,晋东南站320Mvar高压电抗器研制成功,创造了世界纪录。5月18日荆门站200Mvar高压电抗器研制成功。

(2) 7月16日和7月19日,荆门站和晋东南站特高压变压器分别研制成功。单柱电压1000kV,单相容量1000MVA,创造了世界纪录。

(3) 4月和6月,南阳站HGIS和晋东南站GIS分别通过全部型式试验。8月30日,荆门站HGIS通过全部型式试验,标志着特高压设备全部研制成功。

6. 大件运输和设备交付

2月26日,国家电网公司成立了特高压交流大型设备运输协调工作组,审查大件运输方案,协调交通主管部门办理通行手续,沿线开展道路勘测,全面加强变压器和高抗运输的监督、协调工作。7月18日,特高压交流设备工作会议召开,对设备研制取得全面突破后的交付运输进行了安排部署。晋东南站4台主变压器和4台高压电抗器11月全部运抵站内,9月开关全部运抵现场;南阳站开关和高压电抗器于9月初全部运抵站内;荆门站运行相3台主变压器、4台高压电抗器和开关11月初全部运抵站内。

四、工程建设

紧密围绕工程里程碑计划,试验示范工程建设按期完成。

1. 变电站设备安装和试验

晋东南、南阳、荆门三站4月开始电气设备安装。南阳站9月完成全部安装及试验工作。晋东南站和荆门站11月完成全部运行相设备安装,12月初完成全部运行相设备交接试验。

2. 线路工程建设

5月线路组塔完成,9月初线路工程全线架通。9月16~18日,线路参数测试完成。

3. 单项工程竣工验收

11月6日、7日和10日,山西省、河南省、湖北省境内线路工程竣工验收分别完成。11月18日、26日和28日,南阳站、晋东南站、荆门站变电工程竣工验收分别完成。

4. 配套工程和系统通信工程

晋东南站、荆门站500kV配套工程8月全部完成,系统通信工程9月20日业务

开通，10 月 12 日完成竣工验收。

五、系统调试

1. 系统调试准备

2008 年 5 月，成立了特高压交流试验示范工程启委会，5 月、7 月、10 月先后召开三次工作会议，研究部署了工程启动验收的重大问题，审定了系统调试方案。11 月 13 日，试验示范工程启动及竣工验收规程审议通过。

2. 500kV 系统启动调试

10 月 20 日，荆门站 500kV 设备一次送电成功，25 日完成试运行。10 月 23 日和 11 月 11 日，晋东南站 500kV 接入工程分两个阶段完成启动调试。

3. 1000kV 系统启动调试

12 月 3 日，启委会竣工验收组工作会议召开，工程竣工验收完成。12 月 5 日，召开启委会第四次会议，部署启动调试工作。12 月 8 日开始 1000kV 系统调试，12 月 30 日完成了系统调试，投入试运行。

六、皖电东送工程建设准备工作

1. 关键技术研究和技术交流

2 月，完成第二阶段对日交流，在特高压同塔双回谐振过电压、潜供电弧、高速接地开关等方面与日方进行了深入交流。8 月，完成同塔双回系统关键技术、过电压和绝缘配合技术、雷电性能等主要课题的研究与验收，并对 23 项线路设计专题进行了评审。杆塔空气间隙、绝缘配合及绝缘子型式、防雷设计等特高压交流同塔双回关键技术问题得到解决。

2. 设计工作

5 月 12 日召开工程设计工作启动会，启动皖电东送工程初步设计工作。6 月，编制印发初步设计工作大纲。7 月 15 日，线路大跨越工程初步设计通过评审。8 月 6 日，线路初步设计路径通过评审。9 月 11~12 日，进行初步设计评审，线路工程主要设计原则审定。

3. 钢管塔应用工作

皖电东送工程全线采用钢管塔，2008 年初启动皖电东送钢管塔应用工作，组织开展了产能和原材料调研，确立了提高钢管塔产能和加工质量的工作思路。6 月，皖电东送工程钢管塔应用工作会议召开。截至 2008 年底，已完成钢管塔塔型和钢管规格的标准化设计，统一了结构设计原则；推进了技术培训工作，已完成第一阶段骨干焊工培训；扩能工作取得阶段性进展，由年初 16 万 t 的年产能提高至 28 万 t，预计 2009 年上半年可达 40 万 t；施工技术研究全面开展，钢管塔组塔工艺、验评规程、山区运输方案已形成初稿。



第2节 2008年特高压交流输电 技术主要研究成果概要

特高压交流试验示范工程是全面创新的开拓工程,代表了国际高压输电的最高水平,在各方面均没有可直接应用的成熟经验和标准。国家电网公司始终坚持科研为先导,在前期论证、系统研究、设计技术研究、设备研制、施工和运行维护技术研究等方面已取得重大突破的基础上,2008年根据试验示范工程建设需要,继续深入开展交接试验、系统调试、工程参数测试等关键技术研究,取得了重要成果。以关键技术成果为支撑,试验示范工程于2008年12月30日顺利完成系统调试进入试运行。

1000kV 淮南—上海(皖电东送)输变电工程是我国第一个同塔双回路特高压交流工程,也是我国后续特高压交流的示范工程,建好皖电东送工程,意义重大,示范效果更加显著。针对系统控制、潜供电流控制、绝缘配合、导线排列、线路防雷、钢管塔应用等特高压同塔双回关键技术,国家电网公司开展了全面攻关,掌握了核心技术,科研成果为皖电东送工程初步设计工作的顺利开展奠定了坚实基础。

一、特高压交流试验示范工程试验技术

1. 关键设备试验及特殊措施研究

开展特高压交流变压器传递过电压研究,计算变压器各线端允许传递比,对单相特高压变压器进行了低电压传递过电压特性试验研究,给出了各线端的传递特性,为特高压交流变压器试验及运行提供依据。开展特高压交流变压器及套管特殊试验措施研究,提出了局部放电试验的试验特殊措施,包括试验方案要求、测量设备要求、抗干扰要求,解决了特高压交流变压器及套管试验中存在的环境要求高、局部放电识别及干扰排除难度大等问题。研制了目前世界最高电压的 SF₆ 气体绝缘标准电容器,具备特高压套管 1100kV 电压下的电容、介质损耗等关键试验能力。

2. 设备现场交接试验技术研究

开展特高压设备交接试验技术研究,制定了特高压电气设备现场交接试验标准,研制了中频发电机组、串联谐振装置、补偿电抗器、大型均压环等专用试验设备,掌握了采用单边加压方式对变压器进行现场感应电压(ACLD)连同局部放电测量技术,以及开关设备现场耐压试验技术。通过有效的抗干扰、均压措施,采用超声局部放电测试定位系统和紫外成像仪检测等手段,解决了现场环境复杂,试验设备电压高、容量大、试验回路及设备尺寸大、本体局部放电水平要求低等难题,保障了特高压交流试验示范工程电气设备现场交接试验的成功实施。

3. 线路参数测试技术研究

对特高压线路参数模型进行分析计算,研发了特高压线路参数测量试验装置,采用工频变相量法和异频法对特高压交流试验示范工程线路工频参数进行了实测。研究了并联补偿加压技术,提出了一种综合抗干扰电压的线路参数测试新方法,并成功应用于实际测量。

4. 设备机械性能研究

开展特高压交流设备抗震性能研究,通过精确的有限元仿真建模对特高压变压器、GIS 开关进行抗震分析与校核,提出特高压设备设计改进建议,提高了设备抗震能力和安全裕度。同时开展了特高压交流支柱绝缘子机械性能真型试验研究,成功完成了工程用 1100kV/16kN 支柱瓷绝缘子弯曲破坏试验,验证了产品机械性能。

5. 保护与控制设备动模试验研究

开展保护与控制设备动模试验研究,建立了特高压交流动态模拟系统,对试验方案和检测方法进行了研究,完成了特高压交流试验示范工程继电保护装置和控制设备的动模试验验证。

二、特高压交流试验示范工程调试技术

1. 调试技术研究

开展特高压交流试验示范工程运行控制特性研究,掌握了电压无功控制、运行方式安排、安全控制策略、联络线功率波动分析与控制等试验示范工程运行控制策略。针对试验示范工程的稳态过电压问题,开展了稳态过电压控制措施研究,分析提出了抑制稳态电压升高的措施和策略,并成功应用于工程实践。根据试验示范工程启动调试以及调度运行的特点,开展启动调试自动化监视系统方案研究与建设,研发的特高压调度自动化监视系统集成能量管理、广域相量测量、跨区电网动态稳定监测与预警等系统功能,实现信息集中展示和综合应用,在试验示范工程的调试试验和调度运行中发挥了重要作用。

经过详细论证和精心组织,特高压交流试验示范工程系统调试工作顺利完成,共完成了零起升压、投切特高压变压器和空载线路以及低压无功补偿设备、联网运行等三大类十五个试验项目,在世界上首次实现总容量超过 3 亿 kW 两大同步电网通过特高压线路的互联。

2. 过电压及电磁环境实测研究

在试验示范工程系统调试过程中开展过电压实测研究,得到了工程在各种操作或故障下的暂态电压或暂态电流的波形和幅值。测试结果表明,三个变电站(开关站)暂态过电压、暂态电流最大值均未超过设计和规程允许值。

在试验示范工程系统调试和运行期间开展了电磁环境实测研究。对变电站(开关



站）围墙内外，对线路邻近民房区域、猕猴保护区、跨越公路处以及转角塔附近等环境敏感点，进行了电磁环境测量（其中线路电磁环境测量由中国电科院、国网电科院两家单位分别独立开展）。测试结果表明，特高压交流试验示范工程变电站及线路的工频电场、工频磁场、可听噪声和无线电干扰水平与我国 500kV 交流输电工程相当，各项指标满足有关标准、设计要求和国家环保部门批复要求。

三、特高压交流同塔双回路系统研究

根据 1000kV 淮南—上海（皖电东送）输变电工程线路长度、系统接入方式、变电站布置方式等情况，对特高压同塔双回路过电压和绝缘配合、无功配置、安全稳定性、潜供电弧和断路器瞬态特性等课题进行了深入计算研究。其中“特高压交流同塔双回线路过电压和绝缘配合技术研究”、“特高压交流同塔双回路系统断路器瞬态特性研究”等关键研究课题由中国电科院、国网电科院平行开展研究。

1. 过电压和绝缘配合研究

通过过电压和绝缘配合研究，对皖电东送工程的工频过电压、操作过电压和变电站雷电过电压进行了分析，校核了限制过电压的措施和过电压水平，提出了限制潜供电流和恢复电压的措施，优化了变电站避雷器布置方案，确定了变电站和输电线路的绝缘水平。

2. 无功补偿和系统稳定控制研究

通过无功补偿和电压控制研究，确定了皖电东送工程低压侧无功补偿设备配置方案。对系统安全性进行了校核计算，研究了系统承受严重故障的能力，提出了需要采取的控制措施。

3. 潜供电弧及断路器瞬态特性研究

根据特高压同塔双回输电线路的参数和预期补偿方案，通过大量的模拟试验，对线路在无补偿、正常补偿和过补偿状态下潜供电弧特性进行了研究，确定了不同恢复电压和潜供电弧条件下的自灭特性及补偿措施。结合皖电东送工程及我国特高压电网结构，研究了特高压交流同塔双回线路断路器瞬态问题中的短路电流直流分量衰减的时间常数及交流电流过零点的漂移现象，在此基础上对我国特高压交流同塔双回线路断路器的工作条件提出了建议。

四、特高压交流同塔双回路线路技术研究

根据皖电东送工程线路设计与建设的需要，对特高压同塔双回路导线排列、雷电性能、外绝缘特性、钢管塔应用等课题进行了深入研究。其中“特高压交流同塔双回输电线路导线排列方式优化研究”、“特高压交流同塔双回输电线路雷电性能计算研究”等关键研究课题由中国电科院、国网电科院平行开展研究。

1. 导线排列方式研究

开展特高压交流同塔双回输电线路导线排列方式优化研究,提出了皖电东送工程输电线路导线型号和分裂形式、导线布置形式,掌握了电磁环境指标随导线布置方式变化的规律,确定了塔型和导线相间距离、对地距离。

2. 雷电性能研究

通过特高压交流同塔双回输电线路雷电性能的研究,计算了线路的绕击屏蔽性能和反击耐雷水平,分析了特高压交流同塔双回线路的预期雷击跳闸率,考虑地形因素得到了皖电东送工程全线加权平均雷击跳闸率,提出了一般线路和大跨越工程防雷保护方案。

3. 外绝缘特性研究

开展特高压交流同塔双回输电线路真型塔外绝缘特性试验研究,获得了杆塔放电特性曲线及长串绝缘子污耐压曲线,提出了特高压同塔双回线路杆塔空气间隙建议值,推荐了线路绝缘子配置方案。

4. 带电作业研究

通过对皖电东送工程输电线路带电作业的计算及试验研究,得出了典型直线塔带电作业最小安全距离和最小组合间隙,提出了带电作业时的防护措施和双回线路一回带电一回停电时的检修方式,编制了带电作业技术导则和作业指导书。

5. 线路与无线电台间防护距离研究

通过特高压交流同塔双回线路与无线电台间防护距离的研究,建立了无源干扰三维仿真模型,在仿真分析和试验的基础上提出了防护距离的建议值。

6. 导线脱冰跳跃研究

开展特高压交流同塔双回输电线路导线脱冰跳跃研究,通过模拟试验和仿真计算研究各种不同工况下导线脱冰跳跃水平,提出了特高压交流同塔双回线路相间导线水平偏移距离。

7. 杆塔方案与钢管塔设计研究

开展特高压交流同塔双回输电线路杆塔研究,提出了杆塔结构目标可靠度指标及荷载设计标准,推荐了合理的塔型结构和构件材质。开展杆塔风振及控制研究,提出了整塔和局部杆件的风振特性及振动抑制措施,推荐了微风振动起振临界风速的合理计算方法。开展钢管塔结构试验研究,推荐了皖电东送工程法兰及插板连接型式,明确了设计计算方法及构造措施,为钢管塔结构设计提供了依据。通过钢管塔标准化设计研究,形成了标准化钢管系列规格表、标准化节点插板图库和锻造法兰配置表,实现了钢管塔设计标准化,为钢管塔加工效率提高创造了重要的条件。

8. 扩径导线及线路金具研究

开展特高压交流同塔双回扩径导线及跳线研究,完成了特高压线路扩径导线研制



及其相应金具、机具、施工技术的开发,编制了相关技术标准,为后续特高压工程导线方案选择及应用提供了技术支撑。开展同塔双回线路配套金具研究,完成了八分裂阻尼间隔棒、均压环、屏蔽环、跳线和防振锤的研制,完成了绝缘子串型设计及串内金具的研制。

9. 钢管塔加工及施工技术研究

开展钢管塔加工技术研究,编制了带颈法兰、直缝焊管及配套 8.8 级高强螺栓的加工、采购、验收技术条件,编制了钢管塔加工技术规范和有关检验标准。开展钢管塔组立施工技术研究,落实了钢管塔组立、运输具体方案,完成炮车运输、索道运输机具的研制,编制了组塔施工导则、施工及验收规范、质量检验与评定规程等标准。