

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

(2009年)

主 编 刘振亚



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

特高压 交流 输电技术

研究成果专辑

(2009年)

主 编 刘振亚

副主编 郑宝森 舒印彪



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是《特高压交流输电技术研究成果专辑(2009年)》，系统介绍了2009年度国家电网公司完成的32项特高压交流输电技术课题和单项专题的研究成果。

本书共分4章，第1章概述了2009年特高压交流输电技术主要研究成果，第2章为特高压交流同塔双回线路技术研究，第3章为特高压交流同塔双回路输电系统变电技术研究，第4章为特高压交流输电工程施工技术研究。

本书可供从事特高压交流输电技术规划、设计、工程建设等方面的技术人员和相关管理人员使用，也可供高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

特高压交流输电技术研究成果专辑. 2009年 / 刘振亚主编. —北京: 中国电力出版社, 2011.10

ISBN 978-7-5123-1841-0

I. ①特… II. ①刘… III. ①特高压输电: 交流输电-输电技术-研究 IV. ①TM726.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第125808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10月第一版 2011年10月北京第一次印刷

880毫米×1230毫米 16开本 19.625印张 378千字

印数 0001—2000册 定价 100.00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



STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

编写人员名单

主 编	刘振亚				
副 主 编	郑宝森	舒印彪			
编委会成员	孙 昕	陈维江	葛正翔	韩先才	田 璐
	丁 扬	郭剑波	肖世杰	于 刚	
编写组组长	孙 昕	陈维江	韩先才	田 璐	
编写组副组长	王绍武	王怡萍	袁 骏	孙 岗	毛继兵
	刘 博	杨迎建			
编写组成员	(按姓氏笔画排序)				
	万小东	万 达	万启发	万保权	干喆渊
	王力争	王小松	王承玉	王晓宁	王晓京
	王晓琪	王 艳	王 瑶	代泽兵	乔振宇
	伍志荣	刘云鹏	刘洪涛	吕 铎	安 平
	朱祝兵	朱晓彤	许 克	许 瑜	邬 雄
	吴 凯	吴 静	宋继明	张广洲	张 宁
	张甲雷	张亚鹏	张翠霞	李 正	李 伟
	李宝金	李 波	李现兵	李茂华	李勇伟
	李清华	李喜来	李 璿	杜丁香	杜继平
	杜澍春	杨国富	杨靖波	沈 军	肖洪伟

肖 峰	苏秀成	邱 宁	陆国智	陆家榆
陈 希	陈秀娟	陈国强	陈英华	陈 勇
陈海波	周泽昕	林集明	苗峰显	郑怀清
郑 彬	侯 镭	徐光亮	徐 涛	耿景都
郭 剑	宿志一	戚力彦	曹志民	黄 平
黄伟中	程涣超	董四清	蒋 俊	谢 梁
谢辉春	鲁先龙	熊织明	潘少成	

前 言

发展特高压输电技术是国家从能源和电力工业发展全局作出的重大战略决策和部署。在国家统一领导和社会各界的大力支持下，1000kV 晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程于 2009 年 1 月 6 日正式建成投运，并一直保持安全稳定运行。特高压交流试验示范工程是目前世界上运行电压最高、技术水平最先进、我国具有完全自主知识产权的交流输电工程。该工程的建成投运标志着我国在远距离、大容量、低损耗的特高压输电核心技术和设备国产化上取得重大突破，验证了发展特高压的可行性、安全性、经济性和环保性，全面促进了我国电力行业科技水平和创新发展能力的提升，全面实现了国内电工装备制造业的产业升级，对推动我国电力工业的科学发展，保障国家能源安全和电力可靠供应具有重大意义。

特高压交流试验示范工程的成功实践，全面检验了我国特高压交流输电技术的研究成果，同时深化了我们对组织重大科研项目攻关的认识，为加快推进特高压输电技术后续研究与建设工作积累了宝贵经验。2008～2009 年，针对后续特高压交流输电工程主要采用的同塔并架双回输电技术，国家电网公司充分借鉴试验示范工程建设的有益经验，依托拟规划建设 1000kV 淮南—浙北—上海特高压交流输变电工程（简称皖电东送工程），坚持“产学研用”相结合，有效集中和整合科研院所、高等院校、设计单位、设备厂家、试验单位等各方资源，组织了系统性研究攻关，取得了一大批关键技术成果。

为进一步全面优化工程设计，在同塔双回输电潜供电流抑

制、雷电防护、钢管塔研制试验等一批技术难题得到解决的基础上，2009年进一步加强了科研和设计的互动，根据工程建设需要，在线路、变电站设计及施工技术等方面开展了30余项专题研究，取得重要成果，为工程优化设计和建设施工提供了重要支撑。

为及时总结特高压输电技术研究取得的成果，国家电网公司组织相关科研、设计、咨询和高等院校等单位，自2005年起按年度编写出版《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》。《特高压交流输电技术研究成果专辑（2009年）》是对2009年特高压交流输电技术研究成果的全面回顾和总结，系统介绍了2009年度完成的32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同塔双回线路技术、系统和变电技术，以及特高压工程施工技术研究。

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，在此表示衷心地感谢，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

2011年7月

目 录

前言

第 1 章 概论	1
第 1 节 2009 年特高压交流输电建设工作回顾	2
第 2 节 2009 年特高压交流输电技术主要研究成果概要	5
第 2 章 特高压交流同塔双回线路技术研究	11
1 特高压交流同塔双回线路 OPGW 接地方式研究	12
2 特高压交流同塔双回输电线路电晕损失研究	19
3 超/特高压交流架空输电线路对金属管线影响及防护 研究 (1)	31
4 超/特高压交流架空输电线路对金属管线影响及防护 研究 (2)	45
5 特殊条件下特高压交流线路空气间隙放电特性研究	56
6 特高压交流同塔双回线路继电保护研究 (1)	62
7 特高压交流同塔双回线路继电保护研究 (2)	73
8 特高压交流线路金具优化研究	79
9 特高压交流输电线路钢管插入式新型基础研究	90
10 特高压钢管塔对焊法兰焊缝疲劳试验研究	101
11 特高压钢管塔真型试验研究	107
12 特高压交流线路单柱组合耐张塔的研制	116
13 特高压线路钢管塔带颈法兰设计研究	127
14 特高压交流同塔双回线路杆塔试验能力建设	133

第 3 章 特高压交流同塔双回路输电系统变电技术研究	142
1 特高压交流变压器 500kV 侧系统过电压抑制方案研究	143
2 高阻抗特高压变压器在皖电东送工程中应用问题研究	149
3 皖电东送工程特高压变电设备抗震性能研究	161
4 特高压变电站空气间隙放电特性研究	167
5 皖电东送工程沪西变电站变压器中性点直流电流抑制方案研究	176
6 钢管人字柱构架设计与真型试验研究	186
7 保护小室采用专用电磁屏蔽模块的性能试验研究	193
8 特高压交流工程 GIS 用罐式电压互感器 (CVT) 研制	200
 第 4 章 特高压交流输电工程施工技术研究	 210
1 钢管塔重型构件运输和装卸方案的研究	211
2 钢管塔重型构件河网地区运输配套机具的研究	220
3 新型环保接地施工工艺研究与应用	232
4 手持型 GPS 接收机在输电线路施工中的应用研究	239
5 具有过载保护功能的机动绞磨开发研究	248
6 不停电跨越放线施工技术研究	255
7 海拉瓦技术及数字模拟系统在特高压工程建设中的应用	264
8 内悬浮外拉线铰接组合抱杆设计与应用研究	279
9 超轻型直升机在放线施工中的应用	287
10 输电线路铁塔法兰用镀锌螺栓扭矩值研究	300

2009

特高压交流输电技术研究成果专辑



第 1 章

概 论



第1节 2009年特高压交流输电建设工作回顾

2009年,特高压交流试验示范工程正式投运,拟规划建设 1000kV 淮南—浙北—上海特高压交流输变电工程(简称皖电东送工程)等后续特高压交流工程前期工作加快推进。特高压交流输电工作重点围绕“试验示范工程国家验收、皖电东送工程建设准备、特高压交流建设经验总结、特高压交流标准体系建立、特高压重大装备研制”等方面展开,取得了显著成绩。

一、关键技术研究、新设备研制及知识产权保护

2009年,国家电网公司根据皖电东送工程建设需要,围绕特高压交流同塔双回输电关键技术进行研究攻关,下达了 30 余项工程单项研究专题。

通过深入开展科研攻关,解决了特殊环境下线路空气间隙放电特性、双回线路继电保护等关键技术问题;完成了变电站设备抗震、空气间隙优化、地中直流抑制方案、人字柱钢管构架设计及 1:1 真型试验等研究,形成了深化应用研究结论;完成了线路钢管塔构件焊缝疲劳、带颈法兰、钢管插入式基础等专项研究,为钢管塔的设计提供了技术支持;建成特高压杆塔试验基地,完成了 8 基工程用钢管塔真型试验;完成了钢管塔标准化设计和金具优化研究,统一了技术条件,提高了加工和施工效率;形成了钢管塔运输方案、组立导则、验收规范及质量评定规程等施工规范,支撑了工程建设。

在特高压交流重大新设备研制方面,研制成功了两种特高压交流标准出线装置,完成特高压变压器套管的优化设计和试验验证,扩大了供货来源,打破了进口关键件对特高压设备供货的强约束;成功研制了电磁式、电容式两种结构的 GIS 用罐式电压互感器,并通过了绝缘裕度试验,填补了国际空白,满足了工程需要;在世界上首次研制出 63kA 断路器并成功通过关键容量试验;单柱 320、240Mvar 高压电抗器研制成功,技术、经济指标达到国际最高水平;发电厂用升压变压器、4500MVA 变压器、可控高压电抗器和串联补偿装置研制顺利推进,技术规范通过审查。

在知识产权保护方面,分三批共申报了 131 项专利,其中已受理 124 项(发明专利 45 项)。截至 2009 年底,特高压交流试验示范工程已累计受理专利 429 项(含发明专利 185 项),其中已授权 145 项(含发明专利 31 项)。

二、试验示范工程验收总结

2009 年 1 月 6 日,特高压交流试验示范工程正式投入商业运行。按照国家发展和

改革委员会关于工程验收工作的总体安排，国家电网公司全力以赴、加快推进工程验收工作。3月下旬，工程通过了国家电网公司初步验收；2月至4月中旬，先后通过了水利部、环保部、科技部、国家能源局和国家档案局组织的水保、环保、科研、设备国产化和档案专项验收；7月中旬，国家验收专家组完成了工程档案及现场验收检查，形成验收调查报告上报国家能源局。

1. 水保专项验收

2009年2月11日，水利部组织召开水土保持设施竣工验收会议，同意工程通过水保验收，并于3月2日印发了验收意见：建设单位依法编报了水土保持方案，落实了水土保持方案确定的各项防治措施，完成了水利部批复的防治任务，建成的水土保持设施质量总体合格；水土流失防治指标达到了水土保持方案确定的目标值，运行期间的管理维护责任落实，符合水土保持设施竣工验收的条件。

2. 环保专项验收

2008年12月，环保部启动工程环保验收现场调查和监测工作。2009年2~3月，再次对工程全线70多处敏感点进行了现场调查和监测，3月25日，环保部组织召开工程竣工环保验收会，同意工程通过环保验收。4月15日，环保部印发了验收意见：工程环境保护手续齐全，落实了环境影响报告书及批复文件提出的生态保护及污染防治措施，工程竣工环境保护验收合格。

3. 设备国产化专项验收

2009年3月，中国机械工业联合会组织完成了对20家主要设备供货商的实地调研和检查。3月30日，国家能源局、中国机械工业联合会组织召开设备国产化专项验收会议，对设备国产化给予了充分肯定和高度评价，并一致同意工程通过设备国产化专项验收。验收意见如下：

在国家统一组织下，通过产学研相结合，制造企业与用户相结合的方式，自主研发成功了代表世界最高水平的特高压交流成套设备，已经过严格试验验证和运行考核，性能稳定、指标优异，全面实现了国产化目标。特高压设备的成功研制，标志着我国输变电设备设计制造水平跃居国际先进行列，已全面掌握了特高压交流设备的核心技术，并具有自主知识产权；工艺装备和综合试验能力达到国际先进水平，已形成特高压交流设备批量生产能力，为我国输变电技术发展奠定了良好基础，使我国电网建设获得更坚实的设备保障。

4. 档案专项验收

2009年4月上旬，国家档案局组织对工程进行档案验收，同意工程通过档案验收。4月13日，国家档案局印发了验收意见：1000kV晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程档案收集齐全、分类合理、整理规范，达到完整、准确、系统的要求，



竣工图图面整洁、字迹清晰,签署完备,能够反映项目建设的全过程,满足项目建设和生产运营管理的需求,符合国家重大建设项目档案管理的要求,对今后特高压工程档案具有示范作用。验收组一致同意 1000kV 晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程档案通过验收。

5. 科研专项验收

2009 年 2 月 23~24 日,受国家科技部委托,国家电网公司组织了“十一五”国家科技支撑计划“特高压输变电系统开发与示范”项目交流课题验收会,形成如下评价意见:

“十一五”国家科技支撑计划“特高压输变电系统开发与示范”项目的 16 项特高压交流研究课题已全面完成,使我国全面掌握了 1000kV 特高压交流输变电工程关键技术和设备制造核心技术,为我国自主研发、设计和建设的 1000kV 特高压交流试验示范工程顺利投运提供了全面的技术支撑,实现了我国在远距离、大容量、低损耗的特高压输变电核心技术和设备国产化上的重大技术突破,全面提升我国输变电工程科研、设计和设备制造水平,项目研究成果整体处于国际领先水平。

在全力推动工程验收的同时,为全面总结试验示范工程的成果和经验,指导后续工程建设和运行,2009 年 8 月底全面启动了工程建设经验总结工作,组织了大批专家和技术人员,历时 4 个多月时间,编写完成了 8 个分册约 120 万字的总结丛书。此外,积极开展工程达标投产和评优报奖工作,工程先后被评为“达标投产输变电工程”、“国家电网公司优质工程”、“国家电网公司科学技术进步奖特等奖”、“新中国成立 60 周年百项经典暨精品工程”。

三、特高压交流输电标准体系建设

自 2007 年启动标准化工作以来,通过深入研讨和工作实践,于 2009 年 6 月确定了特高压交流标准框架体系为七大类、77 项标准,全面涵盖系统集成、工程设计、设备制造、施工安装、调试试验和运行维护等各方面内容。2009 年 8 月 7 日,特高压交流标委会和国家电网公司联合发布了特高压交流标准体系框架,在世界上率先建立了特高压交流标准体系。

截至 2009 年 5 月,国家电网公司累计形成了 73 项特高压交流企业标准。在此基础上,特高压交流标委会积极推动企业标准向国家标准和行业标准的转化。2009 年 11 月 30 日,国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会批准《1000kV 交流系统电压和无功电力技术导则》等 15 项国家标准,成为国际上首批特高压技术标准,标志着特高压交流输电技术标准化工作取得了实质性突破进展。与此同时,特高压交流标委会组织完成了《1000kV 交流系统电力设备现场试验实施导则》、《1000kV 互感器

现场校验规范》、《1000kV 变电站运行规程》、《1000kV 交流架空输电线路运行规程》、《1000kV 油浸式变压器、并联电抗器检修导则》、《1000kV 电容式电压互感器设备检修导则》、《1100kV GIS/HGIS 设备检修导则》7 项行业标准的报批材料，并提交国家能源局。

鉴于特高压交流标准化工作的突出成绩，2009 年 12 月 1 日，国家标准化管理委员会将特高压交流试验示范工程列为我国首个“国家重大工程标准化示范”，示范期三年，并于 12 月 16 日会同中国电力企业联合会等单位召开了国家重大工程标准化示范暨特高压交流输电标准化新闻发布会，充分肯定了特高压交流标准化工作。

第2节 2009 年特高压交流输电 技术主要研究成果概要

我国后续特高压交流工程主要采用同塔双回并架技术。2009 年，国家电网公司根据工程设计优化和建设需要，在特高压同塔双回输电技术方面继续开展了一批针对性课题研究，主要包括特高压交流同塔双回线路技术、系统和变电技术以及工程施工技术。研究成果为拟规划建设的皖电东送工程的全面设计优化和建设实施奠定了坚实基础。

一、特高压交流同塔双回线路技术研究

特高压交流同塔双回线路技术研究包括 OPGW 接地方式、电晕损失、外绝缘、继电保护、金具优化、杆塔结构与基础的优化设计等方面内容。其中“超/特高压交流架空输电线路对金属管线影响及防护研究”、“特高压交流同塔双回线路继电保护研究”等课题由中国电力科学研究院、国网电力科学研究院平行开展研究。

1. 特高压交流同塔双回线路 OPGW 接地方式研究

建立 OPGW 接地方式测试模拟试验环境，深入研究了 OPGW 接地方式对线路损耗及其电气性能（耐雷击、短路电流性能）的影响，并针对 OPGW 与普通地线进行了不同接地方式下的雷击概率试验与短路电流分流试验。经研究推荐 OPGW 宜采用分段绝缘、一点接地的方式。

2. 特高压交流同塔双回输电线路电晕损失研究

研制了光供电光纤传输方式的输电线路电晕损失测量系统和 GPS 宽频带无线电晕损失测量系统。开展了单根导线电晕损失测量和等效性分析研究，在特高压交流试验基地对电晕笼分裂导线和同塔双回试验线段电晕损失进行了测量分析，在以上研究基础上对特高压交流同塔双回输电线路电晕损失进行了评估。



3. 超/特高压交流架空输电线路对金属管线影响及防护研究(1)

分析了交流输电线路对输油输气管道电磁影响的机理及限值,研究了交流线路处于正常运行、单相接地故障、遭受雷击状态下对邻近输油输气管道的电磁影响,通过现场实测得到目前我国部分交流输电线路对邻近油气管道的电磁影响程度,提出了适用于设计人员使用的计算公式、评估方法和工程防护措施。

4. 超/特高压交流架空输电线路对金属管线影响及防护研究(2)

调研分析确定了交流输电线路对埋地金属油气管道的影响限值,提出了电磁耦合干扰的简化计算模型,计算了特高压输电线路正常运行、单相接地短路故障、雷击故障对埋地金属油气管道的影响因素及程度,通过管道现场试验验证了计算模型的可靠性,并提出了相应的防护措施和对策建议。

5. 特殊条件下特高压交流线路空气间隙放电特性研究

开展了特高压交流线路工频间隙在大风、降雨等条件综合作用下的放电试验研究,以及淋雨条件下绝缘子上预加工频电压后的雷电冲击放电试验研究。获得的放电特性曲线为工程设计提供了依据。

6. 特高压交流同塔双回线路继电保护研究(1)

分析了特高压交流同塔双回系统特性和保护对故障电气特征的解决方案,开展了特高压交流同塔双回线路自适应重合闸研究,提出了自适应重合闸方案,并对准三相运行策略进行了探讨。

7. 特高压交流同塔双回线路继电保护研究(2)

分析、评估了纵联距离保护、光纤电流差动保护及后备保护对特高压同塔双回线路的适应性,重点研究了双回线路保护的选相问题、零序互感对保护的影响及重合闸方式选择等问题,提出了适用于特高压同塔双回线路的继电保护及重合闸配置方案。

8. 特高压交流线路金具优化研究

在总结特高压线路金具研制经验的基础上,针对特高压双回线路串型、串内金具进行了优化,开展电场计算,合理配置均压屏蔽环,有效改善了绝缘子串电压分布,降低了均压屏蔽环及金具表面的电场强度,并通过电晕试验验证,形成了金具标准化设计的指导文件。

9. 特高压交流输电线路钢管插入式新型基础研究

提出了特高压输电线路钢管塔可采用钢管插入式新型基础型式,确定了其锚固承载性能的影响因素,通过试验得到了各因素对钢管插入式基础上拔屈服荷载和极限承载能力的影响规律,推荐了钢管插入式基础柱体部分和底板部分的锚固设计方法。

10. 特高压钢管塔对焊法兰焊缝疲劳试验研究

对特高压交流同塔双回线路钢管塔用高颈对焊法兰开展了疲劳试验研究,检验了

法兰节点及对接焊缝的疲劳性能，并在疲劳试验后进行了静载试验，得到了疲劳荷载对高颈对焊法兰承载性能的影响。在此基础上提出了设计建议。

11. 特高压钢管塔真型试验研究

阐述了我国第一基特高压交流同塔双回线路真型试验塔 SZT2 钢管塔的试验过程，结合真型试验结果和有限元分析结果，探讨了 SZT2 塔次应力的分布规律及影响范围，对 SZT2 塔试验中出现的节点局部屈服现象进行了分析，提出了钢管塔采用插板连接时防屈曲节点的设计建议。

12. 特高压交流线路单柱组合耐张塔的研制

系统分析了两回线路分塔挂线的特高压交流单柱组合耐张塔导线布置、电磁环境、防雷性能、跳线设计等关键技术问题，设计了真型试验塔，经试验验证，各项电气性能指标满足特高压工程需要。

13. 特高压线路钢管塔带颈法兰设计研究

基于柔性法兰设计思路和有限元分析结果，提出了输电线路钢管塔柔性带颈锻造法兰型式及设计方法，经节点试验及真型塔试验验证了计算方法的可行性及安全性。

14. 特高压交流同塔双回线路杆塔试验能力建设

分析特高压交流同塔双回线路杆塔真型强度试验要求，提出了杆塔试验系统单腿上拔力、加荷塔高度、加载点数等试验能力参数，建立了由承力系统、液压加荷系统、测控系统和部件试验室四大部分组成的大型杆塔结构试验系统。建成的杆塔试验系统性能指标国际领先，并完成多项特高压杆塔试验。

二、特高压交流同塔双回输电系统及变电技术研究

1. 特高压交流变压器 500kV 侧系统过电压抑制方案研究

在分析降低特高压变压器 500kV 侧绝缘水平的优越性和预期值的基础上，研究了选择高性能的避雷器降低特高压变压器 500kV 侧绝缘水平的实施方案。并针对 500kV 高性能避雷器的单次最大能量耐受能力及对特高压变压器雷电传递过电压的限制效果进行了计算研究，提出了采用高性能避雷器后变压器 500kV 侧的绝缘水平。

2. 高阻抗特高压变压器在皖电东送工程中应用问题研究

依托特高压交流同塔双回输电工程，对特高压变压器高一中短路阻抗由原设计的 18% 提高到 30% 的系统问题和电磁暂态问题进行了研究，并对特高压高阻抗变压器可能的制造方案和其中的难点进行了调研和分析，为特高压变压器阻抗选择提供技术依据。

3. 皖电东送工程特高压变电设备抗震性能研究

通过分析研究特高压电气设备的结构、材料特点，根据各类设备的质量分布、刚



度分布特征,建立了各类设备的数值模型,得到设备结构的动力参数。在此基础上对单体设备和回路系统进行大风、地震等工况下的力学性能分析,为回路系统的抗震性能优化提出了指导性建议。

4. 特高压变电站空气间隙放电特性研究

开展了特高压变电站典型电极相对地和相间空气间隙在雷电冲击电压和操作冲击电压下的放电试验,重点研究了长波头操作冲击电压下的变电站空气间隙放电特性。通过试验研究获得了特高压交流变电站典型分裂导线、管型母线和屏蔽环、均压环相对地雷电冲击、操作冲击和相间操作冲击放电特性曲线。

5. 皖电东送工程沪西变电站变压器中性点直流电流抑制方案研究

分析了直流电流偏磁对特高压输变电工程的影响和危害,针对反向注入法、电容隔直法、电阻抑制直流法三种解决方案进行了分析比较,并针对皖电东送工程的具体情况,推荐了采用中性点串联电阻型直流抑制装置的方案。

6. 钢管人字柱构架设计与真型试验研究

结合特高压变电站场地条件,提出了钢管人字柱构架的结构体系,对构架的设计原则、节点构造方案等进行了深入研究。并开展了侧向支撑柱及人字柱、出线梁的真型强度试验,验证了计算理论及节点构造的安全性,提出了在实际工程中采用钢管人字柱构架的建议。

7. 保护小室采用专用电磁屏蔽模块的性能试验研究

分析了防水防腐电磁屏蔽模块的屏蔽效能和接地在保护小室中的作用,开展了电磁屏蔽模块对电缆的屏蔽效能试验,研究了有无电磁屏蔽模块情况下电缆外皮骚扰电流引起的脉冲磁场对二次设备的影响,对比传统工艺,提出了该技术在特高压变电站中的使用建议。

8. 特高压交流工程 GIS 用罐式电压互感器(CVT)研制

分析了 1000kV 罐式电容式电压互感器设计思路和主要结构,开展了主要技术参数选择,研究了 VFTO 对电磁单元和二次系统危害的防止措施,比较了罐式 CVT 与传统罐式电磁式电压互感器(罐式 TV)的技术经济性,试制了世界首台罐式 CVT,并通过型式试验,性能指标良好。

三、特高压工程施工技术研究

1. 钢管塔重型构件运输和装卸方案的研究

针对特高压同塔双回路钢管塔重型构件长、重、直径大和圆形断面难以固定等特点以及野外施工交通不便等因素,研究了河网、水田、沼泽、平地、丘陵和山区等各种地形条件下以及跨越沟渠、河流等多种运输工况下的运输方式,提出了快捷、经济、实用的运输方案及组合方案,解决了钢管塔重型构件运输和装卸难题。