



特高压直流工程建设管理实践与创新

TEGAOYA ZHILIU GONGCHENG JIANSHE GUANLI SHIJIAN YU CHUANGXIN

设备监造 典型案例

国家电网公司直流建设分公司 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

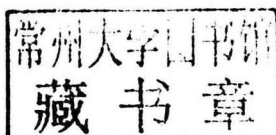


特高压直流工程建设管理实践与创新

TEGAOYA ZHILIU GONGCHENG JIANSHE GUANLI SHIJIAN YU CHUANGXIN

设备监造 典型案例

国家电网公司直流建设分公司 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为全面总结十年来特高压直流输电工程建设管理的实践经验,国家电网公司直流建设分公司编纂完成《特高压直流工程建设管理实践与创新》丛书。本丛书分标准化管理、标准化作业指导书、典型经验和典型案例四个系列,共12个分册。

本书将过往设备监造和换流变压器就地运输过程中遇到的典型问题进行了统计整理分类,共收集设备案例411例,大件运输案例6例。并对每一起案例发生的经过进行了较为详细的阐述,同时分析了造成这些问题的原因,并介绍了具体处理措施和结果。造成设备问题的原因涉及诸多方面,有的是设计方面的问题,有的是原材料组部件方面的问题、有的是设备制造方面的问题、有的是试验方面的问题,还有的是包装运输及工装设施方面的问题;大件运输问题则主要是天气气候、车路状况、集中到货等方面因素造成的。

本书可供从事特高压直流工程建设、设计、施工、调试、运行、维护和检修,直流输电设备制造的专业技术人员和管理人员使用。

本丛书可用于指导后续特高压直流工程建设管理,并为其他等级直流工程建设管理提供经验借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

特高压直流工程建设管理实践与创新. 设备监造典型案例/国家电网公司直流建设分公司编. —北京:中国电力出版社,2017.12

ISBN 978-7-5198-1592-9

I. ①特… II. ①国… III. ①特高压输电—直流输电—电气设备—制造—案例 IV. ①TM726.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第316831号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:袁 娟(010-63412561)

责任校对:闫秀英

装帧设计:张俊霞 左 铭

责任印制:邹树群

印 刷:北京大学印刷厂

版 次:2017年12月第一版

印 次:2017年12月北京第一次印刷

开 本:787毫米×1092毫米 16开本

印 张:12.25

字 数:276千字

印 数:0001—2000册

定 价:110.00元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

《特高压直流工程建设管理实践与创新》丛书

编委会

主 任 丁永福

副 主 任 成 卫 赵宏伟 袁清云 高 毅 张金德

刘 皓 陈 力 程更生 杨春茂

成 员 鲍 瑞 余 乐 刘良军 谭启斌 朱志平

刘志明 白光亚 郑 劲 寻 凯 段蜀冰

刘宝宏 邹军峰 王新元

本书专家组

石 岩 程 林 李 明 曹燕明 程焕超 杨 勇 陈红日

张振乾 梁 杰 杨精刚

本书编写组

组 长 袁清云

副 组 长 郑 劲 孙中明

成 员 (排名不分先后)

王 岳 尤少华 张 宇 张卫东 李志强

梁红胜 冯怡雪



特高压直流工程建设管理实践与创新

——设备监造典型案例

序 言

建设以特高压电网为骨干网架的坚强智能电网，是深入贯彻“五位一体”总体布局、全面落实“四个全面”战略布局、实现中华民族伟大复兴的具体实践。国家电网公司特高压直流输电的快速发展以向家坝—上海±800kV特高压直流输电示范工程为起点，其成功建成、安全稳定运行标志着我国特高压直流输电技术进入全面自主研发创新和工程建设快速发展新阶段。

十年来，国家电网公司特高压直流输电技术和建设管理在工程建设实践中不断发展创新，历经±800kV向上、锦苏、哈郑、溪浙、灵绍、酒湖、晋南到锡泰、上山、扎青等工程实践，输送容量从640万kW提升至1000万kW，每千千米损耗率降低到1.6%，单位走廊输送功率提升1倍，特高压工程建设已经进入“创新引领”新阶段。在建的±1100kV吉泉特高压直流输电工程，输送容量1200万kW、输送距离3319km，将再次实现直流电压、输送容量、送电距离的“三提升”。向上、锦苏、哈郑等特高压工程荣获国家优质工程金奖，向上特高压工程获得全国质量奖卓越项目奖，溪浙特高压双龙换流站荣获2016年度中国建设工程鲁班奖等，充分展示了特高压直流工程建设本质安全和优良质量。

在特高压直流输电工程建设实践十年之际，国网直流公司全面落实专业化建设管理责任，认真贯彻落实国家电网公司党组决策部署，客观分析特高压直流输电工程发展新形势、新任务、新要求，主动作为开展特高压直流工程建设管理实践与创新的总结研究，编纂完成《特高压直流工程建设管理实践与创新》丛书。

丛书主要从总结十年来特高压直流工程建设管理实践经验与创新管理角度出发，本着提升特高压直流工程建设安全、优质、效益、效率、创新、生态文明等管理能力，提炼形成了特高压直流工程建设管理标准化、现场标准化作业指导书等规范要求，总结了特高压直流工程建设管理典型经验和案例。丛书既有成功经验总结，也有典型案例汇编，既有管

理创新的智慧结晶，也有规范管理标准要求，是对以往特高压输电工程难得的、较为系统的总结，对后续特高压直流工程和其他输变电工程建设管理具有很好的指导、借鉴和启迪作用，必将进一步提升特高压直流工程建设管理水平。丛书分标准化管理、标准化作业指导书、典型经验和典型案例四个系列，共 12 个分册 300 余万字。希望丛书在今后的特高压建设管理实践中不断丰富和完善，更好地发挥示范引领作用。

特此为贺特高压直流发展十周年，并献礼党的十九大胜利召开。

Handwritten signature in black ink, reading "刘平" (Liu Ping).

2017 年 10 月 16 日



特高压直流工程建设管理实践与创新

——设备监造典型案例

前言

自2007年中国第一条特高压直流工程——向家坝-上海±800kV特高压直流输电示范工程开工建设伊始，国家电网公司就建立了权责明确的新型工程建设管理体制。国家电网公司是特高压直流工程项目法人；国网直流公司负责工程建设与管理；国网信通公司承担系统通信工程建设管理任务。中国电力科学研究院、国网北京经济技术研究院、国网物资有限公司分别发挥在科研攻关、设备监理、工程设计、物资供应等方面的业务支撑和技术服务的作用。

2012年特高压直流工程进入全面提速、大规模建设的新阶段。面对特高压电网建设迅猛发展和全球能源互联网构建新形势，国家电网公司对特高压工程建设提出“总部统筹协调、省公司属地建设管理、专业公司技术支撑”的总体要求。国网直流公司开展“团队支撑、两级管控”的建设管理和技术支撑模式，在工程建设中实施“送端带受端、统筹全线、同步推进”机制。在该机制下，哈密南-郑州、溪洛渡-浙江、宁东-浙江、酒泉-湘潭、晋北-南京、锡盟-泰州等特高压直流工程成功建设并顺利投运。工程沿线属地省公司通过参与工程建设，积累了特高压直流线路工程建设管理经验，国网浙江、湖南、江苏电力顺利建成金华换流站、绍兴换流站、湘潭换流站、南京换流站以及泰州换流站等工程。

十年来，特高压直流工程经受住了各种运行方式的考验，安全、环境、经济等各项指标达到和超过了设计的标准和要求。向家坝-上海、锦屏-苏州南、哈密南-郑州特高压直流输电工程荣获“国家优质工程金奖”，溪洛渡-浙江双龙±800kV换流站获得“2016~2017年度中国建筑工程鲁班奖”等。

《设备监造典型案例》共分两部分，第一部分为设备质量问题，内容包括换流变压器、换流阀、平波电抗器、控制保护、组合电器、交流断路器、调相机以及其他直流工程常用

设备研制过程发生的问题案例，共计 411 例；第二部分为大件运输，内容包括复龙、锦屏、哈密、郑州、灵州、湘潭换流站发生的 6 例由天气气候、车路状况、集中到货等方面因素造成的大件运输难题，针对具体问题介绍处理措施。

本书在编写过程中，得到工程各参建单位的大力支持，在此表示衷心感谢！书中恐有疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2017 年 9 月



特高压直流工程建设管理实践与创新

——设备监造典型案例

目 录

序言
前言

第一部分 设备质量问题 1

第一章 质量问题概述 3

第二章 换流变压器 4

 第一节 产品设计问题 4

 第二节 原材料/组部件问题 16

 第三节 制造工艺问题 37

 第四节 试验问题 71

 第五节 其他问题 85

第三章 换流阀 88

 第一节 产品设计问题 88

 第二节 原材料、组部件问题 90

 第三节 试验及运输问题 96

 第四节 运行阶段问题 100

第四章 平波电抗器 102

 第一节 原材料、组部件问题 102

 第二节 制造工艺问题 105

 第三节 其他问题 108

第五章 控制保护 110

 第一节 调试试验问题 110

第六章 GIS、交流断路器 138

 第一节 原材料、组部件问题 138

 第二节 制造工艺问题 141

 第三节 试验问题 144

第七章 调相机 147

 第一节 原材料问题 147

 第二节 制造工艺问题 148

 第三节 试验问题 148

第八章 其他设备 150

 第一节 设计问题 150

 第二节 原材料、组部件问题 151

 第三节 制造工艺问题 155

 第四节 试验问题 156

第二部分 大件运输 159

第九章 复龙换流站 161

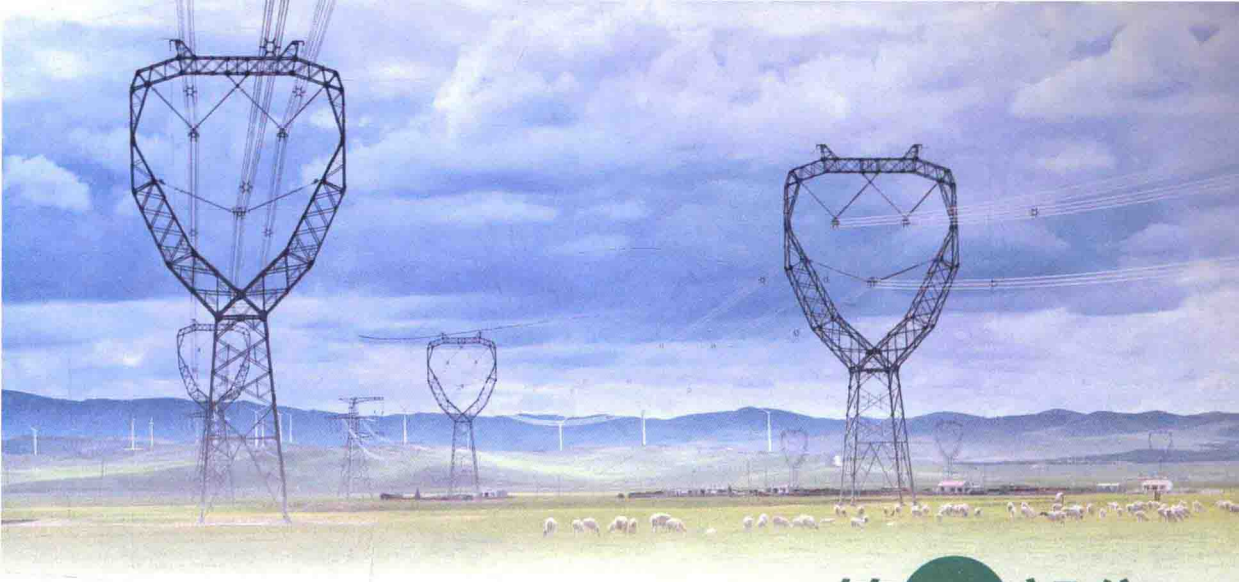
第十章 锦屏换流站 164

第十一章 哈密换流站 168

第十二章 郑州换流站 173

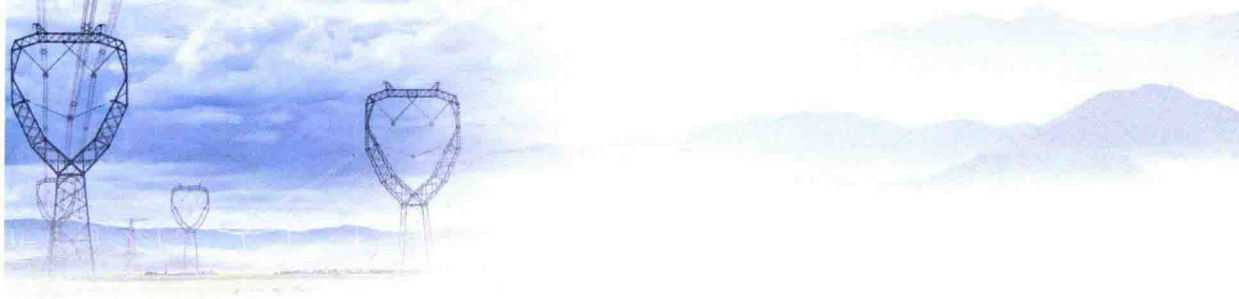
第十三章 灵州换流站 179

第十四章 湘潭换流站 183



第一部分

设备质量问题



第一章 质量问题概述

特高压直流工程建设如火如荼，自向上工程始，已成功建设投运 7 项特高压直流工程。为进一步总结工程设备研制经验，加强设备质量风险预控，减少“常见病、顽固病、多发病”的发生，为后续工程提供指导，本书统计了向上、锦苏、哈郑、溪浙、灵绍、酒湖、晋南 7 个特高压直流工程设备制造过程中发现的质量问题，并进行总结梳理，提出了后续工程质量管控重点和风险预防措施。

经过梳理，7 个特高压直流工程换流变压器在制造过程中共计发现质量问题 409 例，其中换流变压器 206 例，换流阀 49 例，平波电抗器 24 例，控制保护 81 例，气体绝缘全封闭组合电器（gas isolated switchgear, GIS）、断路器 27 例，调相机 6 例，其他设备 16 例。各设备具体问题分类统计如表 1-1 所示。

表 1-1 设备质量问题分类统计表

设备类别	设计问题	原材料、组部件问题	工艺问题	调试试验问题	其他问题	合计
换流变压器	26	60	111	8	1	206
换流阀	6	30	9	4	0	49
平波电抗器	/	11	11	/	1	23
控制保护	/	/	/	81	/	81
GIS、断路器	/	11	12	4	/	27
调相机	/	3	2	1	/	6
其他设备	3	3	5	5	/	16

第二章 换流变压器

第一节 产品设计问题

1. 阀出线装置绝缘裕度不足

问题描述：××工程国外某台高端换流变压器直流外施耐压试验放电。同年 11 月，国内制造某台高端换流变压器出厂试验，进行包括局部放电测量的外施直流电压耐受试验，要求试验电压 1246kV，试验时间 120min，当试验进行到 36~41min 期间出现大于 5000pC 的放电脉冲个数 2 个（13 979pC）；在试验时间进行到 75min 时，换流变压器油箱外部下端接地部位发生放电，有清脆的响声和火花现象，试验停止。检查发现换流变压器油箱下部运输用的底架吊拌处有明显放电的痕迹，放电的位置在阀 b 的升高座内部位置，均压环沿纸筒内壁对升高座内中间金属支架环放电。具体见图 2-1~图 2-4。

原因分析：直流阀侧出线绝缘装置绝缘结构件的电场设计绝缘裕度不够大，处于耐压的临界值，不足以覆盖绝缘处理的分散性，如油的清洁度（油中颗粒度含量）、绝缘干燥、热油循环、脱气、真空注油以及可能的绝缘件质量瑕疵等不同带来的影响。

处理措施：阀侧升高座出线绝缘装置固定板加包绝缘；在阀侧升高座出线装置内加装一个角环（距原角环往上 150mm）；更换阀侧 b 端出线均压球，更换阀侧 a、b 端升高座内出线绝缘纸筒；均压环外绝缘筒壁增加圆形角环、均压环电极涂白色特殊绝缘漆取代原来的黄色半导体漆以及将出线装置在法兰处的固定螺栓埋入金属环等措施。

处理结果：重新试验通过。



图 2-1 放电位置 1



图 2-2 放电位置 2

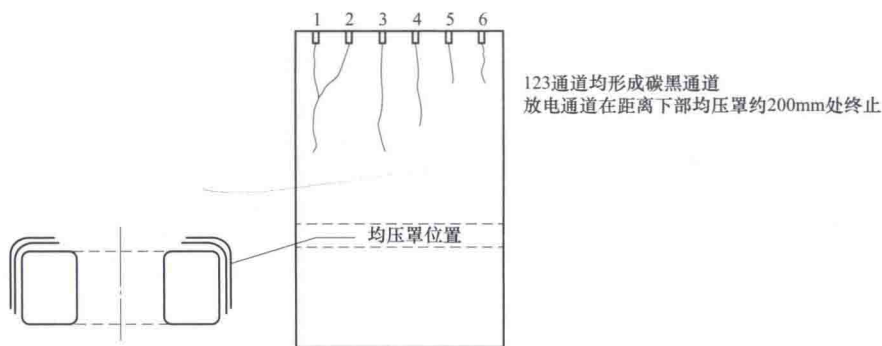


图 2-3 阀侧套管下半部结构尺寸及故障部位示意图

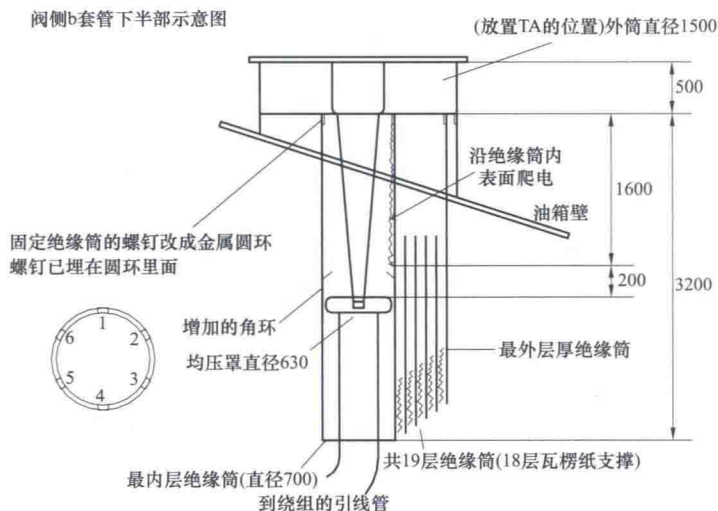


图 2-4 故障位置及闪络通道示意图

2. 网侧高压套管升高座屏蔽环固定处绝缘裕度偏小

问题描述: ××工程某台低端换流变压器短时感应耐压试验进行到 680kV 第 25s, 外部闪络放电, 试验不合格。结合油样色谱分析结果, 确定为换流变压器内部存在放电, 换流变压器在吊出网侧高压套管升高座下部连接管后, 在下部屏蔽管及均压环位置发现明显放电痕迹。具体见图 2-5~图 2-6。



图 2-5 下部屏蔽管位置的放电痕迹



图 2-6 均压环位置的放电痕迹



原因分析：升高座屏蔽环固定处场强裕度偏小。

处理措施：套管升高座内紧固屏蔽环用的突出部件加大倒角，由 R2 增大到 R4；并增加一个厚约 0.8mm、长约 80mm 的环状覆盖角环；固定屏蔽环的螺栓由金属件改为绝缘件，尺寸由 M8 增大到 M10；在屏蔽环的固定位置处增加绝缘绕包纸厚度，并在屏蔽环和升高座的连接线上加包皱纹绝缘纸。

3. 阀侧线圈屏蔽线连接错误

问题描述：××工程某台高端换流变压器进行雷电冲击试验（全波），80%和 100%的电流示伤波形发生明显变化，具体见图 2-7～图 2-8。

原因分析：经过检查发现阀侧线圈放电；检查设计文件发现，在生产图纸上的一个阀侧线圈的屏蔽线连接错误。

处理措施：修改设计图纸，改正错误接线。

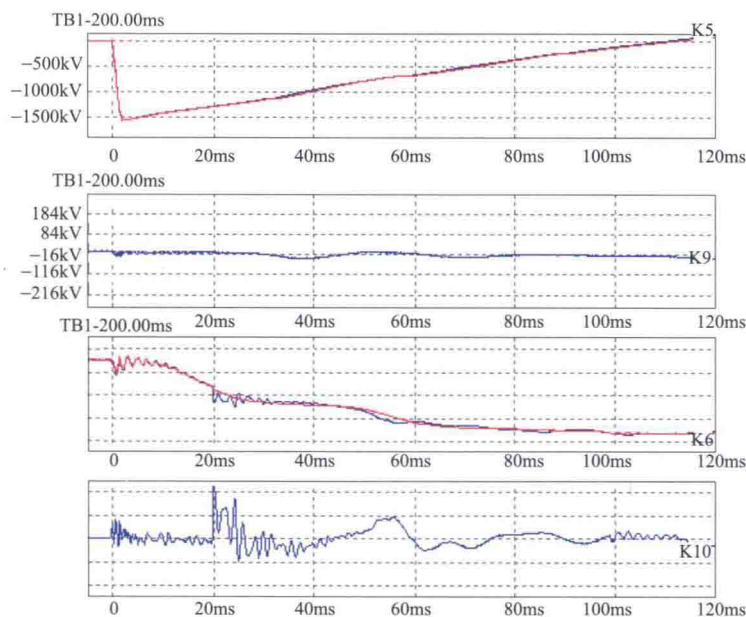


图 2-7 示伤波形发生变化



图 2-8 阀侧线圈放电位置



4. 升高座内部的固体绝缘裕度不足

问题描述：××工程某台高端换流变压器进行雷电冲击试验，电压加到 100%电压、1550kV 时，网侧套管升高座内部出现闪络，具体见图 2-9。

原因分析：进行交流耐压试验时，超声波检测到放电位置发生在交流套管升高座内部。解体升高座后发现在升高座底部交流引出线均压环对油箱盖处有放电痕迹。

处理措施：对升高座内部的固体绝缘增加 20%（即缠厚了 20%的绝缘纸，如图 2-10 所示），更换交流套管升高座。更换升高座后，重新进行雷电冲击试验及剩余试验项目。试验顺利结束，试验结果满足合同要求。



图 2-9 升高座底部交流引出线均压环对油箱盖处放电痕迹

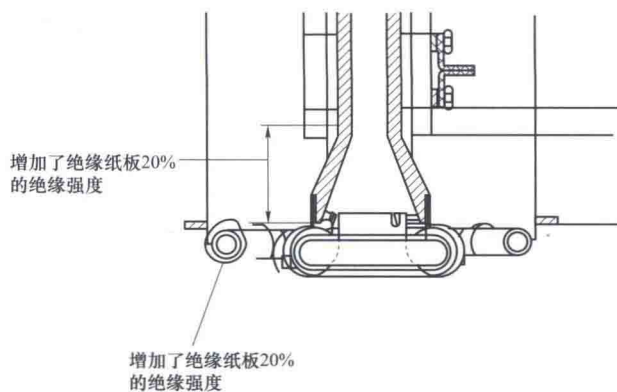


图 2-10 固体绝缘增加 20%示意图

5. 升高座连接螺栓断裂

问题描述：××工程某台低端换流变压器在抽真空中，当真空度至 200Pa 以下时，由于箱盖变形、网侧套管倾斜，网侧升高座外侧与油箱盖联接的螺栓（4 只）断裂，具体见图 2-11～图 2-12。

原因分析：该处连接强度设计不足。

处理措施：① 增加箱盖法兰与升高座之间连接螺栓数量；② 螺栓由 M12 改为 M16；③ 螺栓强度采用 12.9 级（原螺栓强度为 8.8 级）；④ 油箱内部器身上增加垫块，放置在器身与箱盖之间，以减小箱盖弹性变形时的位移量。