

±800kV ZHILIU HUANLIUZHAN
YUNXING JISHU

±800kV直流换流站 运行技术(下册)

中国南方电网公司超高压输电公司 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

±800kV ZHILIU HUANLIUZHAN
YUNXING JISHU

±800kV直流换流站 运行技术(下册)

中国南方电网公司超高压输电公司 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 摘 要

为了满足中国南方电网公司特高压直流电网规划和中国南方电网超高压输电公司特高压直流输电工程基建及运行维护的需要,特编制了本书。本书以 $\pm 800\text{kV}$ 云广直流输电系统穗东换流站工程为依托,在编写的过程中,充分吸取和借鉴了穗东换流站生产准备人员验收、调试、试运行和日常维护工作的宝贵经验。书中介绍了特高压直流换流站典型设备维护要点及方法,对特高压换流站内薄弱环节及可能存在的风险进行了研究,并提出了相关风险控制措施和事故处理预案。

本书分为上下两册。其中,上册主要介绍 $\pm 800\text{kV}$ 直流换流站典型设备关键技术、 $\pm 800\text{kV}$ 直流换流站运行方式及转换操作;下册主要介绍 $\pm 800\text{kV}$ 直流换流站设备巡视方法和 $\pm 800\text{kV}$ 直流换流站运行风险及预控措施,并在附录中给出了直流测量系统的输入信号及输入回路分析。

本书紧密结合工程建设、运行维护的现场实际编写,对特高压直流换流站的生产筹备和日常运行维护均有较强的指导性和可借鉴性,可供从事相关工作的人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

$\pm 800\text{kV}$ 直流换流站运行技术:全2册/中国南方电网公司
超高压输电公司组编. —北京:中国电力出版社,2011.12
ISBN 978-7-5123-1852-6

I. ①8… II. ①中… III. ①直流换流站—输电线路—
电力系统运行 IV. ①TM63

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第126139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12月第一版 2011年12月北京第一次印刷
787毫米 $\times$ 1092毫米 16开本 28.25印张 611千字
印数0001—3000册 定价68.00元(上、下册)

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 审 委 员 会

主 任 张 鹏

副 主 任 邓庆健 陈乃添 罗玉兴 王远游 向 奕

审 核 刘 森 袁 鹏 汲 广 曹小拐 张培东

左千清 江 一 雷 兵 何 平 何 方

施鹏程 刘 祥

主 编 汪 洋

编写人员 周翔胜 宋述波 王 超 黄俊波 余荣兴

张志朝 张怀晟 邓光武 张 文 李 扬

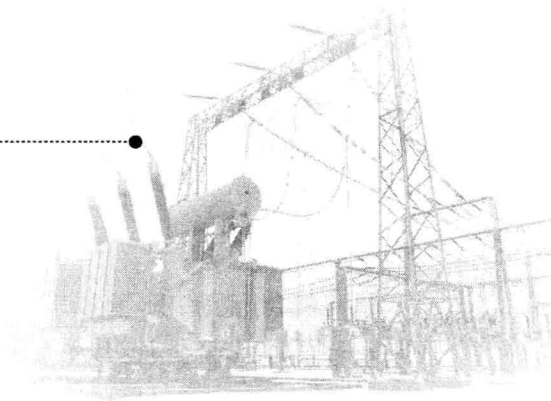
刘茂涛 徐攀腾 严进军 张 锐 林庆标

王同森 蒋峰伟 李金安 莫文斌 何润华

罗 炜 何园峰 陈灿旭 李书勇 周登波

姚自林 熊双成 石 健 李双杰 牛 阳

序



±800kV 云广特高压直流工程输电系统的投运是世界电力工业发展史上的里程碑事件。5000MW 输送功率，对于改善西电东送输电能力、缓解用电紧张局面以及在促进东西部地区经济社会发展中已经显现出其重要作用。同时，大量新工艺、新技术首次在特高压直流输电系统中应用，给设备的运行维护工作带来诸多新的考验。众所周知，云广特高压输电系统一旦发生强迫停运，无论电源或负荷侧电网的可靠运行将面临很大风险。作为百年大计的特高压输电系统，安全可靠运行的重要性丝毫不亚于其建成投产的意义。

《±800kV 直流换流站运行关键技术研究》作为科技项目，起名“运行关键技术研究”，有两层含义：一是掌握这些技术是保障云广特高压输电系统安全可靠运行的关键；二是国内外尚没有运行经验可以借鉴。

运行维护好云广特高压输电系统，保证其安全可靠运行，既是职责要求，也是历史赋予的使命。超高压公司广州局参与云广特高压输电系统设计审查、设备招标、安装、调试、验收、试运行全过程的 20 多名技术人员，经过近 3 年努力，无数不眠之夜，数不清的反复，凝聚着他们智慧和辛勤劳动的《±800kV 直流换流站运行关键技术研究》成果最终顺利通过验收，并得到专家组高度评价。今天，沿课题研究脉络汇编成的《±800kV 直流换流站运行技术》一书，呈现在读者面前。

本书共分为 5 章，重点为第 2~5 章。第 2 章以典型设备结构、参数特性入手，将设备按专业管理和功能划分为 11 个模块。之后，第 3~5 章在对各典型设备分析综合的基础上，提出了转换操作、设备巡视以及风险预控等三大策略，并分别作了详尽阐述。全书编排结构合理，逻辑清晰。该书对从事特高压直流输电工作的运行、检修人员能够提供指导和参考，也能给着力于研究直流输电应用技术的科研人员提供有益借鉴。

望着案头上的成果，作为局长，我为广州局拥有这样一支员工队伍而庆幸。更令我

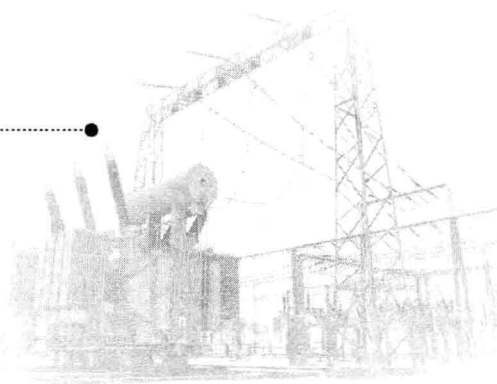
欣慰的是，这份沉甸甸的成果与其说是用笔写出来的，不如说是靠双手和智慧干出来的！云广特高压直流输电系统 2010 年 6 月投运至今，保持安全可靠运行，为研究成果提供了最有力的支撑。

借此机会，我谨向一直以来为广州局生产安全做出努力和默默付出的广大一线员工、各级管理者真诚地致以敬意和由衷地表达感谢！

Handwritten signature in black ink, consisting of the characters '张' (Zhang) and '明' (Ming) in a stylized cursive script.

2011 年 10 月

前言



±800kV 云南—广东特高压直流工程（简称云广特高压直流工程）新增输电容量 500 万 kW，输送距离 1370 多 km，横跨云南、广西、广东三省，开启了更远距离、更大容量、更高效率的西电东送新篇章，有力地缓解了广东电网用电紧张的局面。云广特高压直流工程作为世界上第一个特高压直流系统，无论是一次设备，还是控制保护系统，都开创了直流输电从未涉及的领域，全新的控制逻辑和多样的运行方式在世界范围内尚无运行经验可以借鉴，给生产运行带来了前所未有的挑战。

本书涵盖了云广特高压直流工程建设期间的设备安装、验收、调试、试运行等各环节的关键技术，凝聚了广大生产技术人员宝贵的运行维护经验，可以对特高压关键设备的巡视、操作、事故处理等进行有效的指导，可以为后续和类似工程的运行维护工作提供经验借鉴和参考。

本书共分为 5 章：第 1 章概述；第 2 章±800kV 直流换流站典型设备关键技术，介绍了特高压换流变压器、有载分接开关、特高压交流和直流保护系统、共用接地极等关键设备的技术特点，方便读者较为深入地了解特高压关键设备的功能、结构等关键技术；第 3 章±800kV 直流换流站运行方式及转换操作，汇总了云广特高压直流系统的运行方式，总结了直流场、阀厅等隔离开关、接地开关、断路器的联锁逻辑并进行释义，分析了阀组旁路断路器以及旁路隔离开关配合逻辑，梳理了由于阀组旁路区域原因导致顺控操作无法继续的各种情况，以及导致直流场和阀组各种状态“不定义”的因素，总结了站间通信正常与异常情况下阀组状态转换过程的异同，还总结了站控级和系统级下阀组状态转换过程的异同等，以帮助读者更深入地了解 and 掌握云广特高压直流系统丰富的运行方式；第 4 章±800kV 特高压直流系统设备巡视方法，介绍了典型设备的参数及正常运行状态，结合安装调试及验收过程中掌握的设备特性及设备异常现象，并借鉴其他超高压直流系统已有的运行维护经验，提出了云广特高压直流系统典型设备的巡视方法及巡视

内容；第 5 章 $\pm 800\text{kV}$ 直流换流站运行风险及预控措施，针对云广特高压特有的新设备、新技术，分析了其可能存在的危险点，针对这些危险点提出预控措施，提出了当这些问题发生时的处理方法，以期在将来发生类似的故障时，可以采用适当的措施进行控制和处理，将危害控制在最小的范围之内。

在本书编写过程中，南网科研院、西门子公司、许继集团以及相关设备设计和制造厂家给予了许多的技术支持和帮助，在此表示感谢！限于编者水平，加之时间仓促，书中难免存在不足之处，敬请读者指正。

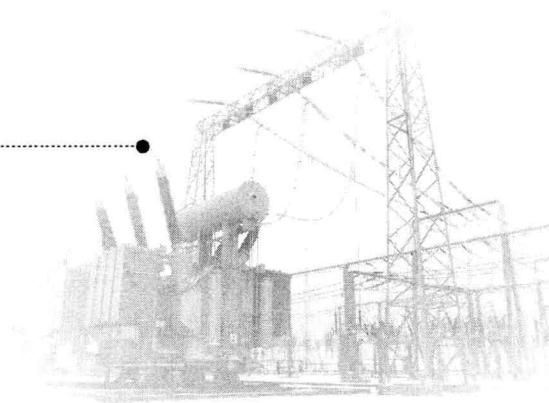
编 者

2011 年 10 月

专有名词、英文缩写词汇表

UHV	特高压	BPS	旁路断路器
BP (Bipolar)	双极方式	BPD	阀组旁路隔离开关
GR	大地回线方式	MRTB	金属回线转换开关
MR	金属回线方式	MRS	金属回线开关
P1 (Pole 1)	极 1	I_{acY}	Yy 接线换流变压器二次侧交流电流
P2 (Pole 2)	极 2	I_{acD}	Yd 接线换流变压器二次侧交流电流
OLT	空载加压实验	I_{ac}	Yy 接线换流变压器二次侧交流电流与 Yd 接线换流变压器二次侧交流电流较大者
P1G1	极 1 高端阀组	I_{dCH}	换流器高压侧电流
P1G2	极 1 低端阀组	I_{dCH_oP}	另一极换流器高压侧电流
P2G1	极 2 高端阀组	I_{dCN}	换流器低压侧电流
P2G2	极 2 低端阀组	I_{dCN_oP}	另一极换流器低压侧电流
Deblocked	解锁	I_{dLH}	直流线路电流
Blocked	闭锁	I_{dLH_oP}	另一极直流线路电流
Standby	备用	I_{dLH_oS}	对站直流线路电流
Stopped	停运	I_{dLN}	中性母线电流
Earth	接地	I_{dLN_oP}	另一极中性母线电流
Group 1	高端阀组	I_{dLN_oS}	对站中性母线电流
Group 2	低端阀组	I_{dBPS}	旁路断路器电流
CONNECT	极接入状态	I_{dEE1}	接地极线路电流 1
ISOLATE	极隔离状态	I_{dEE2}	接地极线路电流 2
EARTH	极接地状态	I_{dMRTB}	金属回线转换开关电流
I_{ref}	电流参考值	I_{dSG}	接地开关电流
I_{ramp}	电流变化率	I_{FHS}	直流滤波器高压侧合流
P_{ref}	功率参考值	I_{FL}	直流滤波器低压侧电流
P_{ramp}	功率变化率	U_{ac}	换流变压器网侧交流电压
ESOF	紧急停运	U_{dH}	换流器高压侧电压
6MD(6MD66)	间隔控制单元	U_{dM}	换流器中压侧电压
TDC RACK	西门子公司 TDC 层架	U_{dN}	换流器低压侧电压
SU200	西门子测控装置	Rectifier	整流站
DFU400	许继公司测控装置	Inverter	逆变站
OLM	现场总线光连接模块	I_{dNY}	Yy 接线换流变压器中性线电流
HSNBS	中性线直流断路器	I_{dND}	Yd 接线换流变压器中性线电流
HSGS	高速接地开关		

目 录



序

前言

专有名词、英文缩写词汇表

上 册

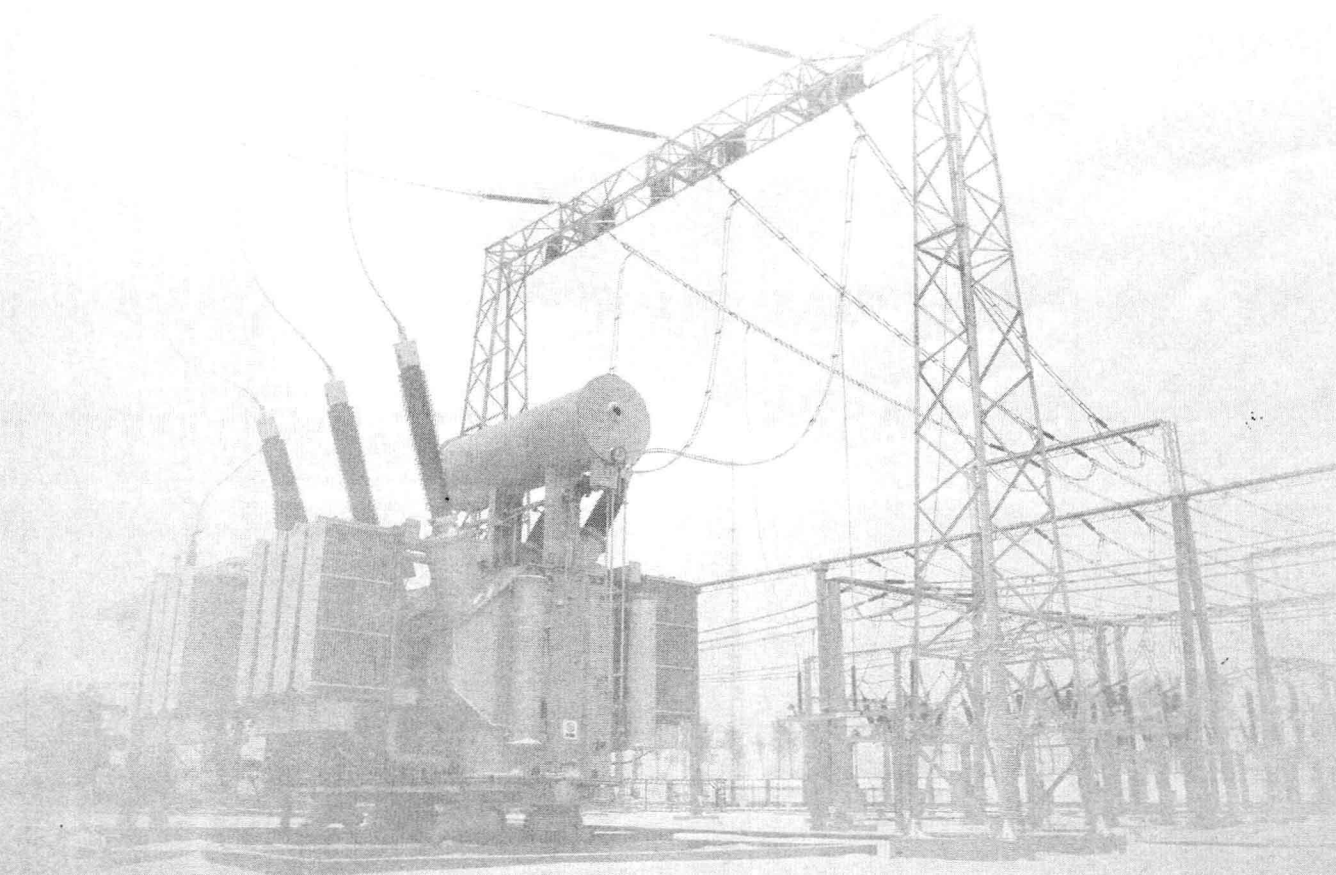
1 概述	3
2 ±800kV 直流换流站典型设备关键技术	5
2.1 云广特高压换流变压器	5
2.2 云广特高压换流变压器分接头切换控制	33
2.3 云广特高压中性母线断路器谐振回路	37
2.4 云广特高压保护系统	40
2.5 云广特高压直流测量系统	84
2.6 云广特高压总线系统	100
2.7 云广特高压 SIMATIC TDC	132
2.8 云广特高压系统过负荷限制功能研究	143
2.9 云广特高压阀组解闭锁过程与直流旁路断路器配合	162
2.10 云广特高压阀冷却系统控制逻辑研究	169
2.11 云广直流与兴安直流共用接地极极址侧隔离开关运行分析	185
3 ±800kV 直流换流站运行方式及转换操作	189
3.1 概述	189
3.2 特高压直流运行方式	189
3.3 云广直流系统直流场联锁逻辑及重点部分释义	227
3.4 阀组状态转换过程中旁路断路器与旁路隔离开关配合	251
3.5 通信异常情况下阀组解、闭锁顺序	259

下 册

4	$\pm 800\text{kV}$ 特高压直流系统设备巡视方法	265
4.1	研究背景及意义	265
4.2	一次设备巡视方法	265
4.3	二次设备巡视方法	271
4.4	设备巡视重点部位图文标注	280
5	$\pm 800\text{kV}$ 直流换流站运行风险及预控措施	286
5.1	概述	286
5.2	$\pm 800\text{kV}$ 直流换流站关键设备预案汇编	286
	附录 A 直流测量系统输入信号及输入回路分析	375
	参考文献	428

± 800kV 直流换流站运行技术

下 册



4.1 研究背景及意义

云广特高压直流工程作为极具开创性的世界级工程，突破了诸多技术难题，有很多属于目前世界上最前沿的技术。云广特高压直流工程的建成投产标志着我国占领了世界直流输电领域的一个制高点，电压等级、电力技术、装备制造均上了新水平、新台阶，进入世界领先行列。同时，大量新技术的应用给设备运行维护工作带来了严峻的挑战，人员技术水平与电网设备快速发展矛盾日益突出。本章主要是通过对特高压直流系统关键设备巡视方法进行研究，以提高设备巡视的水平，做好运行维护工作。

4.2 一次设备巡视方法

云广特高压直流工程主要一次设备包括 800kV 高端换流变压器、800kV 直流旁路断路器、800kV 直流穿墙套管、800kV 直流隔离开关、800kV 直流滤波器、800kV 平波电抗器、800kV 充气式支柱绝缘子、800kV 直流分压器、800kV 直流分流器、换流阀及避雷器等。

4.2.1 800kV 高端换流变压器巡视方法

800kV 高端换流变压器巡视方法见表 4-1，此外还应注意：

表 4-1 800kV 高端换流变压器巡视方法

序号	项 目		方 法	标 准
1	声音		在换流变压器四周、油泵区域、阀侧套管下方、呼吸器各部位听	无异常声音，各台换流变压器声音基本一致
2	气味		在四周闻	无异味
3	温度	表计	观看表计外观	表计完好
		油温	在油温温度计正前方读数	LD、LY 换流变压器：75℃报警，85℃跳闸； HD、HY 换流变压器：70℃报警，80℃跳闸； 同型三相温度基本一致
		线温	在线温温度计正前方读数	LD、LY 换流变压器：110℃报警，90℃跳闸； HD、HY 换流变压器：70℃报警，100℃跳闸； 同型三相温度基本一致

续表

序号	项 目		方 法	标 准
4	油位	表计	观看表计外观	表计完好
		本体	在油位计正前方读数	指示在现场表计刻度范围内
		有载调压开关	在油位计正前方读数	指示在现场表计刻度范围内
5	套管	交流侧	在换流变压器区域观察套管表面	外部无破损、裂纹、放电痕迹，无严重油污
		阀侧 Y	在 SF ₆ 压力表计正前方读数，在套管附近认真观察	(1) SF ₆ 气体压力值应在 0.32MPa 左右； (2) 外部无破损、裂纹、放电痕迹，无渗漏油
		阀侧 Δ	在套管附近认真观察	外部无破损、裂纹、放电痕迹，无渗漏油
6	冷却系统	油泵	在油泵附近检查	运转正常，无渗漏油，无异常声音，无剧烈振动
		风扇	在风扇前方检查	运转正常，无异常声音，无剧烈振动，无异物附着
		散热器	在散热器两侧观察	清洁无异物，无堵塞
7	有载调压开关	挡位	在有载调压开关挡位指示处读取	每极 6 台保持一致
		滤油机	观察其外观及压力表计	运行平稳，无异常声音，无渗漏油，压力表计指示不超过 0.35MPa
		电源	在有载调压开关操作箱处观察	告警红灯熄灭，电源工作正常
8	呼吸器		观察其外观和干燥剂	无渗漏油，油杯油位正常；干燥剂颜色正常，变色部分不超过 2/3
9	引线接头、母线		定期用红外热成像仪测温	一般载流部分不超过 115℃，螺栓紧固连接部分不超过 80℃
10	控制箱		打开箱门检查	箱内无异味、设备外观无异常，电源开关投入正常，无过热痕迹；加热器投入正常，无受潮现象，箱门关闭紧密
11	油管道、取气管道、阀门		观察管道、阀门及地面有无油滴	无渗漏油
12	接地系统		观察接地线状况	接地线良好，无断裂和锈蚀情况
13	标识牌		观察标识牌	标识牌无损坏、褪色、脱落现象
14	消防设施		观察管道及感温探头	管道无脱落，感温探头无红灯亮
15	SIMATIC		检查触控屏	各界面正常，无异常信号

(1) 大风天检查换流变压器顶部、本体有无挂落物。

(2) 雨、雾天检查各处有无放电声，电晕现象是否严重，接头有无热气流。

(3) 站用电受到短时干扰或是站用电倒负荷后，应迅速到现场检查换流变压器冷却器是否运行正常。

(4) 当直流满负荷、过负荷或负荷有明显增加时，应对换流变压器套管接头及对就地控制柜的温度进行监测。

(5) 事故跳闸后应立即检查相应设备状况, 重点检查与保护、信号相关的一次和二次设备状态等。

(6) 设备异常运行或运行中曾出现可疑现象时, 应对其进行重点监视。

4.2.2 800kV 直流断路器巡视方法

800kV 直流断路器巡视方法见表 4-2, 此外还应注意:

表 4-2 800kV 直流断路器巡视方法

序号	项 目		方 法	标 准
1	分、合位置指示		在断路器位置指示窗附近观察	指示正确, 与实际运行位置一致
2	SF ₆ 气体压力		目光平视 SF ₆ 压力表读取表计数据并与正常值比较	压力在正常范围内
3	液压机构	压力表计	目光平视液压机构压力表读取表计数据并与正常值比较	压力在正常范围内
		接头、活塞杆	在开关下方观察	各高低压接头、活塞杆密封良好, 无渗漏油现象
4	弹簧机构	弹簧、储能电机等	开关柜后门查看弹簧储能指示, 打开开关柜前门看电机及其电源开关, 打开后门观察弹簧机构	打开开关柜后门查看弹簧储能指示正常范围, 打开开关柜前门看电机有无焦糊、变形、电缆脱落等, 两台电机电源开关均在合位, 打开后门观察弹簧机构底部有无杂物, 上下部固定弹簧部分是否牢固等
5	声音		在断路器附近听	无异常声响(包括漏气声、振动声、放电声和电晕)
6	支持绝缘瓷套、断口均压电容器瓷套		在断路器附近观察	无破损、裂纹、放电痕迹
7	导线及引线接头		定期用红外热成像仪测温并进行观察	无过热、引线弧垂适中
8	机构箱		打开箱门检查	箱内无异味, 设备外观无异常, 电源开关投入正常, 无过热痕迹; 加热器投入正常, 无受潮现象, 箱门关闭紧密
9	接地系统		观察接地线状况	连接良好, 接地线完好、无断裂和锈蚀现象
10	环境条件		在断路器附近观察	附近无杂物

(1) 检修后或新投运的断路器应加强外观检查, 弹簧储能指示位置、油位正常, 放油阀应旋紧, 无渗油现象, 弹簧储能机构外观无异常。

(2) 阴雨天气、温度低时, 检查机构箱门应关严, 加热器投入。

4.2.3 800kV 直流穿墙套管巡视方法(见表 4-3)

表 4-3 800kV 直流穿墙套管巡视方法

序号	项 目	方 法	标 准
1	声音	在穿墙套管附近听	无放电声音
2	温度	用红外热成像仪测温	无过热现象, 接头无过热, 用螺栓紧固连接部分 $\leq 80^{\circ}\text{C}$

续表

序号	项 目	方 法	标 准
3	外观	用望远镜观察	接头连接牢固, 螺栓无脱落, 金具无断裂、无损坏
4	绝缘子	用望远镜观察	瓷套绝缘子清洁, 无破损、放电痕迹, 无异物悬挂
5	SF ₆ 压力	目光平视 SF ₆ 压力表读取表计数据	压力在正常范围内

4.2.4 800kV 直流隔离开关巡视方法 (见表 4-4)

表 4-4 800kV 直流隔离开关巡视方法

序号	项 目	方 法	标 准
1	分合位置指示	在隔离开关/接地开关附近观察	分合位置指示正确、到位
2	操作传动杆	在隔离开关/接地开关附近观察	传动轴及轴承、接头无破损, 无悬挂杂物
3	支柱绝缘子	在隔离开关/接地开关附近观察	无破损、裂纹、放电痕迹
4	引线、刀口导电接触部分	在隔离开关/接地开关附近观察并定期用红外热成像仪测温	引线无松动、严重摆动或烧伤断股等现象, 均压环牢固平整。刀口无烧红、放电, 定期红外测温无过热现象, 一般载流部分 $\leq 115^{\circ}\text{C}$ 、用螺栓紧固连接部分 $\leq 80^{\circ}\text{C}$
5	机构箱	打开机构箱观察	箱门平整、外观良好
6	隔离开关/接地开关汇控柜	打开隔离开关/接地开关汇控柜观察	密封良好, 二次连线端子无松动, 内部应保持干燥、清洁, 加热器正常工作
7	接地系统	观察接地线	连接良好, 接地线完好, 无断裂和锈蚀现象

4.2.5 800kV 直流滤波器巡视方法

800kV 直流滤波器巡视方法见表 4-5, 此外还应注意:

(1) 对支柱绝缘子电容器在阴雨、大雾天气检查有无放电闪络现象; 低负荷时检查设备发热是否均匀。

(2) 对滤波器电容器重点检查有无渗漏油现象。

(3) 新投运或大修后一周内、气温突变时加强对设备的监视。

表 4-5 800kV 直流滤波器巡视方法

序号	项 目		方 法	标 准
1	电容器本体	外观	安全距离足够的前提下, 在离电容器最近的位置直接观察	无漏油、生锈、变形
		瓷套	安全距离足够的前提下, 在离电容器最近的位置直接观察	无裂纹和损坏
		引线和接头及本体	安全距离足够的前提下, 在离电容器最近的位置定期用红外热成像仪测温	连接牢固, 红外测温无过热现象