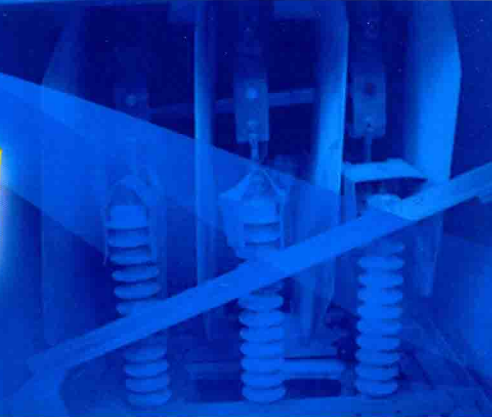


10~35kV GAOYA KAIGUANGUI
YINHUAN HE GUZHANG FENXI JI YUFANG

10~35kV 高压开关柜 隐患和故障分析及预防

艾新法 汪锋 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

10-35kV GAOYA KAIGUANGUI
YINHUAN HE GUZHANG FENXI JI YUFANG

10~35kV 高压开关柜 隐患和故障分析及预防

艾新法 汪锋 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书以图文并茂的方式,介绍了10~35kV高压开关柜的隐患及故障分析和预防措施。全书共4章,分别对开关柜内部放电隐患、发热隐患、柜内设备严重损坏故障的原因进行了分析,并给出了预防措施。本书通俗易懂、针对性强,所述内容都配有相应的现场照片,所举案例具有一定的普遍性和典型性,是一本实用的科技书。

本书可供变电运维、检修、试验人员日常学习和故障分析时使用,也可供电网企业变电工程技术人员及相关管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

10~35kV高压开关柜隐患和故障分析及预防 / 艾新法, 汪锋主编. —北京: 中国电力出版社, 2015. 5

ISBN 978-7-5123-7391-4

I. ①1… II. ①艾…②汪… III. ①高压开关柜-安全技术 IV. ①TM591

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第052269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>)

北京瑞禾彩色印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015年5月第一版 2015年5月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 8.75印张 146千字

印数0001—2000册 定价42.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
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

编写人员名单

主 编 艾新法 汪 锋

副 主 编 艾晓雨

编写人员 宁丙炎 王自力 李一宁 李 昕

张大庆 殷红德 赵元林 王振方

叶秀成 史景中 丁永强 牛宇干

王福琴 吕留义 张 卓

序

电力给国民经济和社会发展带来强大动力，同时，社会对电力系统的稳定性、安全性的要求也越来越高。电网的安全稳定，对国家建设、经济发展具有重大意义，关系到社会稳定和民生，与人民群众的幸福和安康息息相关。只有保障电网安全稳定，才能真正做好优质服务。

变电站是电网的重要组成部分，只有变电设备安全运行，电网的安全稳定才能有保障。提高变电设备的维护质量、保证电网和设备安全运行，是电网和供电企业应尽的职责，需要全体变电运维技术人员、检修试验人员和管理人员共同努力和奉献。

10~35kV 高压开关柜是电网设备中与用户联系最密切的设备，在装数量最多。高压开关柜运行中若发生故障，将直接造成对用户停电，影响经济发展和民生。因此，必须特别重视高压开关柜的安全运行，做好运行维护工作，及时发现和消除开关柜各种隐患，预防设备事故。

预防开关柜事故，必须认真分析清楚可能出现的隐患及其原因，制定和落实有效的预防措施。《10~35kV 高压开关柜隐患和故障分析及预防》（以下简称本书）以高压开关柜隐患和故障的分析、处理及预防为主线，站在提升专业技术人员和管理人员基本功的角度，内容涵盖制造厂产品设计、装配工艺、柜内布局、安装调试、质量、环境、运维检修等方面导致的隐患和故障。本书精选出具有代表性的开关柜内隐患及故障现场照片 200 余幅，真实地再现了以往发生的设备异常运行及故障现场场

景，深入剖析原因，并有针对性地提出了预防措施。

本书的出版，是一次对变电设备运行维护工作实践的有益总结，必将有助于推进专业技术人员的学习和培训工作，有助于提高运行、检修、试验和相关管理人员对变电设备异常运行、故障的分析判断能力，有助于促进变电设备状态检修的全面开展，进而有助于提高变电站运行维护水平和管理水平。

本书编写人员认真细致，一丝不苟，书稿编经过多次修改、反复推敲，几经审改才最终定稿。在本书即将正式出版之际，谨对所有参与和支持本书编辑出版的同志们表示崇高的敬意，并希望有更多的同志在工作实践中多留意、多总结、多交流，为电网的安全运行、为实现伟大的“中国梦”贡献自己的力量。

张明

2015年5月

前 言

10~35kV 高压开关柜，是变电站的重要设备，在装数量最多。与 110kV 及以上户外设备相比，高压开关柜安装在室内，有它自身的优势。在运行中，高压开关柜需要注意的问题有：

(1) 高压开关柜内有机绝缘材料多，其绝缘性能和憎水性若降低，具有不可逆转的特点；即使隐患不太严重，也必须及时消除。

(2) 与户外设备相比，多数高压开关柜内的绝缘子不具备自洁能力，应根据其特点制定运行维护策略。

(3) 高压开关柜内设备具有红外测温不方便、操作质量仅靠位置显示、柜内设备巡视不易观察等特点，需要采用先进的检测装置及时发现隐患。

(4) 高压开关柜需要认真落实防爆、防火、防潮、防小动物措施。

(5) 高压开关柜是电网设备中与用户联系最近的设备，运行中若发生故障，将直接造成对用户停电，影响经济发展和民生。

认真推进、落实变电设备的运行维护工作，对电网的安全稳定具有重大意义。及时发现并消除 10~35kV 高压开关柜的缺陷和隐患，可以预防对用户停电事故的发生。正确分析设备异常情况，准确查找故障点，有助于现场人员采取正确的处置方案，缩短事故抢修时间，制定有效的预防措施。为了进一步提高变电运行、维护人员对设备异常运行和故障的分析和处理能力，提高管理人员故障原因分析并制定对策的能力，特

编写了本书。

本书是在广泛收集 10~35kV 高压开关柜隐患和故障照片的基础上，通过精心挑选、归类整理，结合原始文字资料编写而成。目的是通过描述以往发生的变电设备异常运行和故障情况，使变电运行、维护人员和管理人员形成直观、形象地认识，从而提高对异常运行和故障的认定和分析能力。希望读者通过图片反映的现象结合现场实际，深入分析原因，提高对变电设备的运行维护和管理水平，有效地减少设备事故的发生。

本书在编写过程中得到了各级领导的大力支持，书中大量的照片凝聚了现场运行、检修技术人员和管理人员的心血。在此对各级领导、各兄弟单位和各位同仁表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2015 年 5 月

目 录

序 前 言

1 概述	1
2 高压开关柜内部放电隐患分析及预防措施	6
2.1 元器件加工、装配工艺不规范产生放电	6
2.2 柜内设备因设计、布局不当产生放电	13
2.3 柜内设备因装配、安装工艺质量问题产生放电	18
2.4 柜内设备及绝缘件因设计及质量问题产生放电	26
2.5 柜内设备因外绝缘污秽并有潮气产生放电	32
3 高压开关柜内部发热隐患分析及预防	47
3.1 柜内设备因制造厂设计、装配问题导致发热	47
3.2 柜内设备因装配、安装调试问题导致发热	51
3.3 柜内设备因运维、检修问题导致发热	57
4 高压开关柜设备严重损坏故障分析及预防	74
4.1 柜内设备因制造厂设计、制造、装配问题导致严重损坏	74
4.2 高压开关柜运维过程中严重损坏	107

概 述

10~35kV 高压开关柜安装在高压室内，一般认为其运行环境条件好于户外露天布置的设备，运行比较安全、可靠。

高压开关柜柜内设备布局紧凑。为了保证带电体相间、对地绝缘距离，柜内母线排采用热缩套包裹导体结构（绝缘护套），各部件相间有绝缘隔板，柜间连接母线排穿过穿板套管。上述绝缘部件都是有机绝缘材料，运行中，有机绝缘材料受电化腐蚀、热、潮气等因素影响，其绝缘性能会发生不可逆的变化。

高压开关柜发生绝缘损坏故障，引起绝缘材料烧损，产生有毒烟气，危及工作人员的人身安全，导致发生接地和相间短路故障且可能引起火灾。为了防止发生火灾，高压开关柜内的绝缘件（如绝缘子、套管、隔板和触头罩等）应采用阻燃绝缘材料。为防止高压开关柜火灾蔓延，在开关柜的柜间、母线室之间及与本柜其他功能隔室之间，应采取有效的封堵隔离措施。

与户外设备相比，多数开关柜内的绝缘子不具备自洁能力，应根据其特点制定运行维护策略。

高压开关柜内设备具有进行红外测温不方便、手车式开关柜操作质量仅靠位置显示、柜内设备巡视不易观察等特点，需要采用先进的检测装置及时发现隐患。

高压开关柜内设备发生故障，产生的烟雾会进入相邻的母线室、二次设备室、相邻开关柜内，影响其设备的绝缘性能。同时，产生烟气和高温，柜内压力增大，烟雾遇到明火（电弧）可能发生爆炸。因此，安装施工时，应检查开关柜泄压通道或压力释放装置，确保与设计图纸保持一致。检查处理开关柜内设备故障时，应考虑故障对相邻的母线室、二次设备室、相邻开关柜有无影响。

运行中，高压开关柜出现的隐患和故障，主要分为放电、主导流部位发热、绝缘隐患和故障。上述隐患可能恶化，导致对地、相间绝缘破坏，发生接地、短路故障，甚至烧毁开关柜。高压开关柜烧损严重，将危及相邻开关柜的

安全。

1. 高压开关柜内部放电隐患

高压开关柜运行中出现放电，主要原因如下：

- (1) 元器件的加工工艺不规范。
- (2) 元器件的装配工艺不规范。
- (3) 现场安装工艺、质量问题。
- (4) 设备及绝缘件设计不合理。
- (5) 运行中，设备外绝缘污秽并有潮气。
- (6) 运行年久，绝缘老化。

高压开关柜内元器件的加工工艺不规范、装配工艺不规范以及现场安装工艺、质量问题，均会使带电运行中形成不均匀电场，产生悬浮电位而发生放电。运行中，设备外绝缘污秽并有潮气，是发生放电的主要因素，由运行维护方面原因所致。

高压开关柜内发生放电现象，柜内的有机绝缘材料受损且不可恢复。不严重的放电的累积效应，逐步使绝缘损坏，最终导致发生接地、短路故障。

每年迎峰度夏（冬）前应开展超声波局部放电检测、暂态地电压检测，及早发现开关柜内绝缘缺陷，防止由开关柜内部局部放电演变成短路故障。

高压开关柜运行中，必须防止进入灰尘和潮气，结合检修试验工作，定期检查和清扫。应在高压室配置通风、除湿防潮设备，防止凝露导致绝缘事故。开关柜中所有绝缘件装配前均应进行局部放电检测，单个绝缘件局部放电量不大于 3pC 。

2. 高压开关柜内部发热隐患

高压开关柜主导流部位发热，主要原因如下：

- (1) 制造厂产品设计问题。
- (2) 制造厂装配工艺不规范。
- (3) 部件原材料选用问题。
- (4) 现场安装工艺、质量问题。
- (5) 检修质量问题。
- (6) 负荷电流过大。
- (7) 运行年久，设备老化。

开关柜内电气连接点发热，突出表现在电源主进柜和母线分段柜等大电流开关柜上。由于负荷电流大，在主导流接触部位产生热量，使接触部位接触电

阻增大，发热量随之增大，形成恶性循环，造成绝缘损坏，最后形成放电，短路烧毁开关柜，造成母线短路故障。

固定式开关柜中的隔离开关，要保证其接触良好，关键在于保证接触面积和接触压力足够。往往由于隔离开关本身质量、柜体装配精度存在问题和安装调试问题，不能有效保证接触良好。固定式开关柜内设备机械加工精度低，隔离开关动、静触头有一定的偏位，合闸时造成单面接触导致发热。因为运行中隔离开关接触部位单面接触，造成两刀片之间的小连杆通过电流，进一步使接触面压力变小，发热加剧，最终使连杆烧断，触头放电拉弧，形成相间短路。

手车式、中置式开关柜，可能出现发热隐患的部位，主要是手车动、静触头之间的接触部位、手车静触头座与母线排之间的接触部位。手车的动、静触头，一般采用弹簧压紧的线接触方式，因手车动、静触头接触行程（插入深度）不足，使触头接触面积和接触压力不足而发热；手车动触头弹簧质量差或退火，会使接触电阻增大而严重发热；若压紧弹簧退火烧断，会造成触头放电拉弧，形成相间短路。有些型号的开关柜手车动触头臂过长，操作时振动和撞击会使触头偏离正常位置。手车的前后轮距小，推入时遇到阻力，造成手车上部后仰，当手车下部已经到位并锁定时，上部动、静触头插入不足或动、静触头不在同一水平面，接触电阻大导致严重发热。因此，安装调试和检修后，必须测量接触电阻符合规定，保障运行中接触良好。

开关柜制造厂出厂试验时，一般只做手车、断路器本体的回路电阻检测，不做开关柜其他部位的接触电阻检测；厂家也没有做手车触头接触行程的测量。建议在交接试验中，增加测量开关柜接触电阻和检查手车动、静触头接触行程。

开关柜内若有过热故障，可能使有机绝缘材料严重烧损，从而导致对地、相间产生电弧放电。倒闸操作时，手车开关每次推入柜内运行位置，应保证手车合闸到位，动、静触头接触良好。开关柜内设备检修试验时，必须保证主导流接触部位接触良好。

高压电力电缆分相穿过开关柜底部铁板、穿板套管穿过开关柜之间的铁板时，若铁板形成闭合磁路，设备通过大电流时，因漏磁产生涡流发热，使电力电缆、穿板套管受热损坏。因此，电力电缆穿过的开关柜底板、穿板套管的固定板应使用非导磁材料（如不锈钢材料）；若使用铁板，必须使其不能形成闭合磁路。

加强开展开关柜温度检测，对温度异常的开关柜强化监测、分析和处理，防止导电回路过热引发的柜内短路故障。高压开关柜运行中，使用红外热成像



仪测温，只能对柜体外部检测，很难直接发现发热点，需要进行对比分析。对开关柜各部位检测后，再与环境温度对比，高出环境温度较多，证明柜内有发热点。相同环境温度下，负荷电流相差不大的各开关柜表面温度，若相差较多，则温度高的开关柜内部有发热点。对于有发热现象的开关柜，可以在加强安全监护的情况下，打开柜门进行测温，检查具体的发热点。设备停电操作后，立即测量各部位的余温，也是检查具体发热点的方法。

对于大电流开关柜，制造厂应做温升试验，必须满足产品设计要求。运行单位应完善运行规程，按制造厂规定使用冷却和散热设施。

3. 高压开关柜绝缘损坏故障

高压开关柜发生绝缘损坏故障，主要原因如下：

- (1) 制造厂产品设计问题。
- (2) 柜内有过热故障。
- (3) 柜内设备绝缘有缺陷。
- (4) 现场安装工艺、质量问题。
- (5) 系统有过电压（雷击及内部过电压）产生。
- (6) 进入小动物或其他外部因素。
- (7) 柜内二次接线问题。
- (8) 开关柜“五防”功能不健全。
- (9) 运维管理不严，不能及时发现并消除隐患。

变电站初步设计阶段，设备选型时，应明确选用符合《国家电网公司十八项电网重大反事故措施》要求的开关柜。设备招投标技术文件、与制造厂签订的设备技术协议、设计图纸等，均应标明选用符合规定的柜内设备和部件。

高压开关柜运行于中性点不直接接地系统。中性点不直接接地系统发生单相接地故障比较频繁，可能产生间歇电弧过电压、谐振过电压。受过电压等因素的影响，出现故障概率较大的是电压互感器（TV）柜。为了减少 TV 烧损故障，应选用伏安特性好的、全绝缘型 TV，不能使用半绝缘型 TV。

为防止产生间歇电弧过电压、谐振过电压，可以采用 4 只 TV 组成防谐振接线方式，即三相 TV 一次中性点再接 1 只 TV（零序 TV）。也可以采用在三相 TV 一次中性点接消谐器的方式，防止出现谐振高电压。

随着城市配电网逐步扩大，系统电容电流越来越大，消弧线圈的作用也越来越重要。建议在每一段 10kV 母线上都安装自动跟踪补偿式消弧线圈。定期测量系统的电容电流，保证消弧线圈容量足够，保证可靠熄灭单相接地故障点的

电弧，防止系统产生间歇电弧过电压和谐振过电压。

为防止小动物进入，高压室电缆沟入口应采取有效封堵措施，开关柜一、二次电缆进线处必须严密封堵。各开关柜柜门应严密关闭，柜底孔洞应用防火材料封严。高压室门上应安装防鼠挡板，并在合适地点放灭鼠药物（器具）。高压室、电缆夹层的门窗应保持严密，使用金属纱窗；通风机、通风口、出水孔与固定式百叶窗内侧应加装金属网。

设备停电检修，对断路器操动机构进行检查，做断路器真空度和机械特性试验，防止机械卡滞，保证动作可靠。

按规定认真进行设备评价，掌握设备的状态，按状态评价制定检修试验策略，实施状态检修，及时消除隐患，防止发生设备事故。



2

高压开关柜内部放电隐患分析及预防措施

2.1 元器件加工、装配工艺不规范产生放电

2.1.1 触头盒内部铜母线排倒角不规范引起尖端放电

案例 1

某变电站 35kV 某出线开关柜运行中有放电声音。检查各开关柜无进入潮气现象，排除了污秽和柜内潮湿因素。对该出线开关柜停电检查，手车拉出后，现场夜间观察开关柜内一相上触头盒内有放电火花。母线停电后检查，发现 A 相触头盒内铜母线排对触头盒内壁有放电痕迹（见图 2-1）。

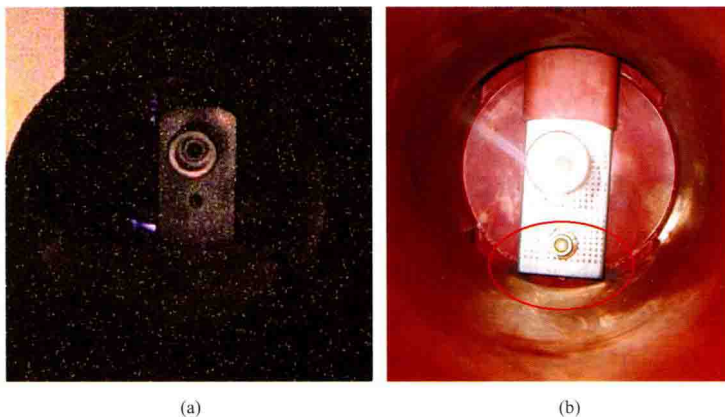


图 2-1 铜母线排对触头盒内壁有放电痕迹

(a) 铜母线排运行中对触头盒内壁放电情况；(b) 放电痕迹

案例 2

某变电站某 35kV 出线开关柜发生内部故障，造成越级跳闸。故障设备停电检查，A 相上触头盒内铜母线排端部烧损缺角，触头盒底部烧穿（见图 2-2）。开关柜 B 相上触头盒内，有明显的铜母线排端部对触头盒底部放电痕迹

(见图 2-3)。



图 2-2 A 相上触头盒内
铜母线排端部烧损缺角



图 2-3 B 相上触头盒内铜母线排端部
对触头盒底部放电

• 故障分析

以上两个案例表明：触头盒内铜母线排端部都没有倒角，导体的锐角使电场强度不均匀，运行中会发生放电现象。长时间运行中的放电隐患，使触头盒绝缘性能逐步恶化，最终导致事故发生。母线排尖端没经过处理或处理不规范，是引起尖端放电的关键因素，再加上触头盒也存在毛刺，长期运行后绝缘材料的电老化更加明显，也是制造厂可能忽视的部位。

静触头的毛刺、尖端、锐角等放电，使绝缘材料的电老化速度加快，运行中存在很大的绝缘故障隐患。除此之外，开关柜内所有金属尖端，包括母线排、接地开关、金属固定件等，也可能产生尖端放电（见图 2-4）。

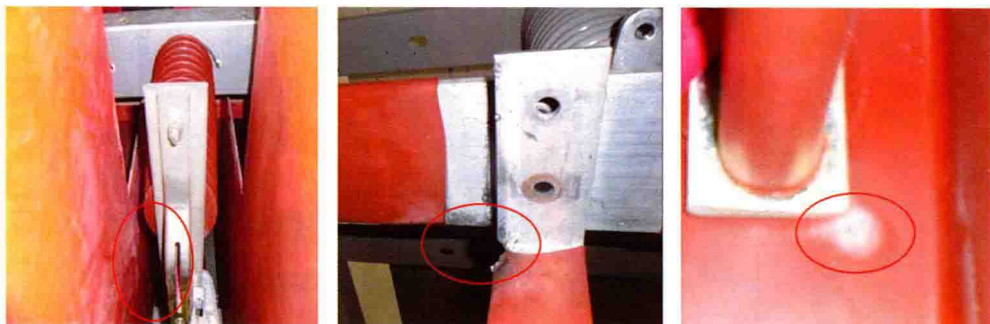


图 2-4 母线排、接地开关、金属固定件尖端引起放电

• 预防措施

触头盒内的母线排端部，应消除其尖角、毛刺，正确的母线排倒角如图 2-5 所示。开关柜其他部位的母线排端部及带电体也要有倒角，使电场强度分布均匀，消除放电隐患。

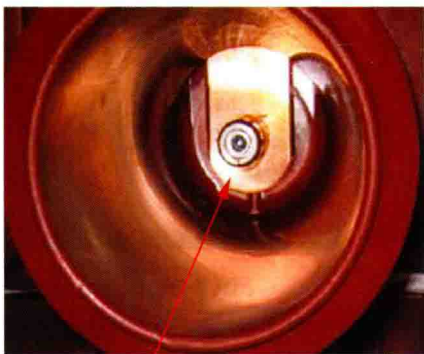


图 2-5 正确的母线排倒角

2.1.2 热缩套管不正确使用引起放电

案例

某变电站 35kV 某出线开关柜运行中有放电声音。排除污秽和柜内潮湿因素之后，对该出线开关柜停电检查，手车拉出后，发现 A 相手车静触头盒内有放电痕迹。经母线停电检查，发现静触头盒底部有很明显的放电痕迹（见图 2-6），盒内母线排护套过长，与静触头座太近，使带电部位与绝缘体之间的空气间隙过小。

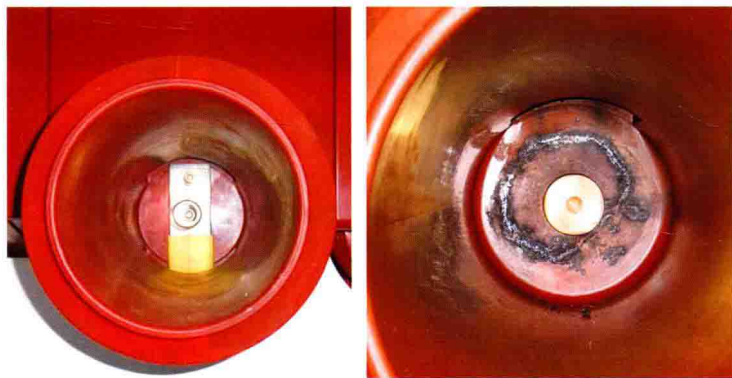


图 2-6 触头盒内部热缩管太长引起放电前后对比图