

农村电气设备故障排除及检修丛书

NONGCUN

DIANQISHEBEI GUZHANG PAICHI JI

JIANXIU CONGSHU



高压电器

陈家斌 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

中国电机工程学会高压电器专委会
《高压电器》编委会

主编 王增利

副主编 王增利 王成山 王成祥 王成祥

编委 (按姓氏笔画为序)

高压电器

第 33 卷 第 1 期

中国电机工程学会
中国电机工程学会高压电器专委会
中国电机工程学会高压电器专委会
中国电机工程学会高压电器专委会

农村电气设备故障排除及检修丛书

高压电器

陈家斌 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书共分七章。分别介绍了电气设备的故障分类和诊断；高压断路器、互感器、电力电容器、避雷器、高压绝缘子等的维护和故障排除实例以及电力设备在线诊断等内容。

本书全面、系统地介绍了 10 ~ 35kV 高压电器运行中出现的各种异常或事故排除过程和方法，具有较强的实用性，对提高广大电工排除设备故障的技术能力和工作效率，将是有力的助手。

图书在版编目 (CIP) 数据

高压电器/陈家斌 编著. - 北京: 中国电力出版社, 2002

(农村电气设备故障排除及检修丛书)

ISBN 7-5083-0518-3

I . 高… II . 陈… III . 高压电器 - 检修
IV . TM510.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 056452 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>)

北京通天印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2003 年 1 月第一版 2003 年 1 月北京第一次印刷
787 毫米 × 1092 毫米 32 开本 17.5 印张 386 千字
印数 0001—3000 册 定价 27.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

序 言

随着改革开放的不断深入和农村经济的蓬勃发展，以及近三年来国家投入巨额资金进行农村电网建设与改造工程，我国农村电力事业取得了令人瞩目的成就。农村用电水平大幅度提高，农村电网装备水平和健康状况明显改善，供电可靠性和供电质量显著提高，农村电力管理中长期存在的乱加价和乱收费问题，从根本上得以遏制。农电事业的长足发展，不仅有效地改善了农村生活条件，推动了农村经济振兴，而且对促进农村两个文明建设发挥了重要作用。

为了适应农村电气化事业迅猛发展的需要，如何尽快提高全国一百多万农电职工队伍的科技素质和业务水平，是摆在我们面前极为紧迫而严肃的课题。

为了满足广大农电职工学习和培训的需要，中国电力出版社组织出版了这套《农村电气设备故障排除及检修丛书》（共八分册）。这套丛书的作者都来自农电生产第一线，具有较好的理论基础和较丰富的实践经验，他们根据农村电气设备维护和检修中最常见的实际问题，编写了这套丛书。

这套丛书有如下特点：一是涵盖面较宽。全套丛书共八册，内容包括变压器、电动机、配电线路、高压电器、低压电器、电工仪表、漏电保护器、电力通信。二是内容简明扼要，通俗易懂。书中尽量避免系统的理论分析和繁琐的公式推导，深入浅出，简洁直观地阐述有关概念、原理、结构、性能。三是实用性

较强。全书本着以实际应用为出发点和归宿的原则，结合国家技术标准和电工应知应会要求，进行选材组稿，在阐述理论概念和原理性能的同时，着力介绍运行维护、检修及排除故障的知识、方法和技能，并列举有关分析、排除故障实例。

这套丛书可作为农村电工及乡镇企业电工的培训读物，也可供农电管理人员及电力企业运行维护和检修人员阅读。

为保证丛书的质量，中国电力出版社专门组织有关专家对丛书进行了审定。值此丛书即将付梓之际，谨对所有在丛书编辑出版过程中付出辛勤劳动的同志表示衷心的感谢。

我们深信，这套丛书的出版必将对广大农村电工学习、培训有所裨益。

万千云

二〇〇二年三月

前 言

随着社会的进步，农村电气化发展迅速，各种电气设备的日益增多，电力设备在运行中异常现象及事故时有发生，严重威胁电网的安全运行，为使从事农村电气设备运行与维护的电工，获得有关各种电气设备的运行维护及故障处理知识，组织一些长期工作在农电战线上，具有丰富实践经验的高级工程师编写本书，希望能对电工在现场处理异常及故障有所帮助。

由于电力设备类型繁多，结构各异，引起的故障原因也比较复杂，每一类设备的故障各不相同，因此编写中选择了具有代表性常用的电气设备故障进行分析，读者可根据工作具体需要选择参阅。对同类电气设备可参照有关部分自行分析处理。

本书主要介绍了10~35kV电气设备的运行异常及事故的原因、处理方法，以大量具体事例介绍故障的排除过程及处理层次方法。

本书选写的内容是从实践中收集总结的，理论联系实际，实用性强，由浅入深，进行分析断判，亦可作为高压电气运行人员参考。

由于作者知识有限，书中定有不妥之处，恳请读者、专家给予指正。

编者

目 录

序言

前言

第一章 电气设备故障分类和诊断..... 1

第一节 电气设备故障分类和特点..... 1

第二节 设备故障外部诊断方法 13

第三节 设备的内部故障诊断 17

第二章 高压断路器运行、维护和故障

排除实例 23

第一节 高压断路器的结构和原理 23

第二节 高压断路器的运行维护 28

第三节 高压断路器运行中的常见
故障及处理 35

第四节 油断路器的运行维护 52

第五节 油断路器火灾事故预防 62

第六节 油断路器故障排除实例 77

第七节 SF₆ 断路器的运行维护..... 96

第八节 SF₆ 断路器故障处理 101

第九节 真空断路器的运行维护 106

第十节 真空断路器的故障排除实例 120

第十一节 操动机构的类型及运行维护 130

第十二节 操动机构的故障排除实例 140

第十三节 隔离开关的结构和运行维护 161

第十四节	隔离开关的故障排除实例	175
第十五节	高压熔断器的结构和运行维护	183
第十六节	熔断器的故障排除实例	197
第十七节	成套配电装置的运行维护	210
第十八节	高压开关柜的故障排除实例	219
第三章	互感器的运行维护和故障排除实例	237
第一节	电压互感器的运行维护	237
第二节	电压互感器的故障排除实例	260
第三节	电流互感器的结构和运行维护	282
第四节	电流互感器的故障排除实例	299
第四章	电力电容器的运行维护和故障排除实例	317
第一节	电力电容器的结构和运行维护	317
第二节	电容器的故障	327
第三节	密集型电容器的组成和运行维护	353
第四节	电容器的故障排除实例	362
第五章	避雷器的运行维护和故障排除实例	382
第一节	避雷器的结构和运行维护	382
第二节	避雷器爆炸原因及防止措施	396
第三节	避雷器故障排除实例	404
第六章	高压绝缘子的维护和故障排除实例	432
第一节	绝缘子的分类和结构	432
第二节	绝缘子的运行维护	448

第三节	绝缘子防污闪措施·····	457
第四节	绝缘子故障排除实例·····	467
第七章	电力设备在线诊断·····	487
第一节	电力设备故障和维修·····	487
第二节	电力设备绝缘在线诊断·····	494
第三节	避雷器的在线诊断·····	498
第四节	电力设备故障红外诊断的原理 和技术特点·····	505
第五节	红外诊断仪器及选配·····	510
第六节	电力设备外部故障红外诊断·····	521
第七节	电力设备内部故障红外诊断·····	528
第八节	设备在线诊断经济效益分析·····	547

第一章

电气设备故障分类 和 诊 断

第一节 电气设备故障分类和特点

电气设备发生故障的原因很多，主要有：设计上存在问题；安装技术上存在缺陷；周围环境条件不良；外界的干扰和影响；操作不妥；零部件质量不高，性能不稳；负荷发生问题；电网电源有问题；零部件使用寿命到期，元器件老化、性能不稳。综合上述故障原因，以下介绍故障的分类和故障的发生率。

一、故障的分类

(一) 以故障来源分类

1. 先天性故障

造成先天性故障的主要原因：设计不合理而诱发电气设备在运行中发生故障；在制造过程中出现差错，例如安装上不合理而产生误动作，或者产生较大的偏差；在安装过程中没将设备的连接螺丝拧紧，造成系统工作不稳定，发生无规则的间隙性故障。这些缺陷和问题，是潜在的故障因素，在运行过程中将会逐步暴露。由于这些原因而产生的故障，称为先天性故障。

2. 外来故障

是指电气设备外部原因造成的故障。例如：电网的品质因数差、容量小、电压和频率波动大，常常发生断电和瞬间停电而引起故障；由于负荷过重或者负荷短路而引起过电流，造成电气设备故障。由于周围环境条件不良或者周围环境条件发生突然变化，腐蚀性气体侵入，引起元件腐蚀生锈；因超过允许的最高温度和最大湿度，而造成电源装置工作不正常或不能工作。外来的干扰信号侵袭，使系统工作不稳定，或者损坏电气设备的零部件。

3. 人为故障

人为性故障是由于违反了操作规程、维护规程和安全规程，或者违反电气设备的使用条件，人为地造成故障。这种故障是非常规性的，是完全可以避免的。例如：粗劣野蛮的操作，不按操作步骤和操作方法去工作，造成元器件的损伤和损坏，引起电气设备的故障；在电气设备正常运行的过程中，进行非法作业，引起短路，损坏元器件。长期不进行维护和检修，或者维护工作马虎，发现事故隐患不及时消除，而后酿成事故。

4. 电器故障

发生这一类故障的几率比前3种故障任何一种都高。

(二) 以故障部位分类

电气设备的故障可以有多种多样，但是，从这些故障的部位来讲，主要可以分为外部故障和内部故障两大类。

1. 电气设备的外部故障

主要是从设备外界可以直接观测到设备发生故障的部位。其中又可分为两类：

(1) 长期暴露在大气中的各种裸露电气接头，因接触不

良等原因引起的过热故障；或是由于表面污秽或机械力作用引起绝缘性能降低造成的过热故障，如绝缘子劣化、严重污秽，引起泄漏电流增大而发热。由于电气设备外部故障部位裸露在外界环境中，直观且易于检测和诊断。

上述两类外部故障，以导体连接（或接触）不良性故障尤其普遍。

电力系统投入运行后，载流导体也会因为电流热效应产生电阻损耗，如果在理想情况下，输电回路中的各种连接件或触头接触电阻低于相连接导体的电阻，则连接部位的损耗发热不会高于相邻载流导体的发热，然而，一旦某些连接件、接头或触头因连接不良，造成接触电阻增大，该连接件或接头部位，与周围导体相比，会因电阻损耗大而温升更高，从而造成局部过热。

(2) 运行实践表明，引起不良连接的主要原因有以下几种。

1) 设备设计不合理。

2) 安装施工不严格，不符合工艺要求。如连接件的接触表面未除净氧化层及其他污垢；焊接工艺差；或紧固螺母未拧紧；或未加弹簧垫圈；或是由于连接件内导体不等径等。

3) 导线在风力舞动下或外界引起的振动等机械力作用下，以及线路周期性过负荷及环境温度的周期性变化，会使部件周期冷缩热胀，引起连接松弛。

4) 长期裸露在大气环境中工作，因受雨、雪、雾、有害气体及酸、碱、盐等腐蚀性尘埃的污染和侵蚀，造成接头表面材料氧化等。

5) 长期运行引起弹簧老化等。

2. 电气设备的内部故障

主要是封闭在固体绝缘、油绝缘以及设备壳体内部的气体回路故障和绝缘介质劣化引起的各种故障。由于这类故障出现在电气设备的内部，所以一般无法像外部故障那样能从设备的外部直接检测。但是，根据各种电气设备的内部结构和运行状态，依据传热学理论，分析传导、对流和辐射三种热传递形式，沿不同传热路径传递（多数情况下只考虑由于金属导电回路、绝缘油和气体等引起的传导与对流），结合模拟试验与大量现场检测实例的统计分析和解体验证，从电气设备外部显现的温度分布热像图，分析判断与其相关的内部故障。

因为各种高压电气设备的内部结构和运行状态不同，所以，内部故障的发热机制和表现形式也不一样。一般可概括为以下几种类型。

(1) 内部电气连接不良或触头接触不良故障。如封闭在绝缘盒内的、各种高压电气设备内部导电体连接不良、断路器触头接触不良、高压电力电缆出线鼻端连接不良等。此类故障的发热机制与外部故障相同。

(2) 介质损耗增大故障。各种以油作绝缘介质的高压电气设备，一旦出现绝缘介质劣化或进水受潮，都会因介质损耗增加而发热。其发热机制属于电压效应发热，发热功率可用 $P = U^2 \omega C \tan \delta$ 表示。

(3) 绝缘老化、开裂或脱落故障。许多高压电气设备中的导电体绝缘材料，因材质不佳或运行中老化，引起局部放电而发热；或者因老化、开裂或脱落，引起绝缘性能劣化或进水受潮。

(4) 电压分布不均匀或泄漏电流过大性故障。如阀型避

雷器内并联电阻老化或断裂，引起分布电压 U_d 和泄漏电流 I_g 发生变化。此种发热属于电压效应所致，但其发热功率 $P = U_d I_g$ 。

(5) 涡流损耗（铁损）增大造成的故障。对于由绕组和磁路组成的高压电气设备，由于设计不合理、运行不佳和磁回路不正常引起的磁滞、磁饱和与漏磁；或者由于铁芯片间绝缘破损，造成短路，均可引起局部发热或铁制箱体发热。

(6) 缺油故障。油浸高压电气设备由于漏油而造成油位低下，严重者可引起油面放电，并导致表面温度分布异常。这种热特征，除放电时引起发热外，主要是由于设备内部油面上下介质的热物性不同所致。

除上述故障外，还有由于特殊运行方式。过负荷或电压变化过大、单相运行等引起的故障，或者冷却系统设计不合理与堵塞、散热条件差等引起的故障。

上述内部故障中，除导电回路性故障外，凡涉及绝缘介质的故障，往往都与介质损耗有关。

二、设备故障发生率

所有设备在其全部服役期限内，故障发生的次数和使用时间之间是有着宏观规律的，虽然对每一台设备来说，出现故障的次数和使用寿命各不相同，但其发展规律都是一致的。图 1-1 为设备故障率和使用寿命的关系曲线，其形状两边高，中间低凹平坦，形似一个浴盆，故称设备故障发生的“浴盆”曲线。

从故障率的“浴盆”曲线中，可以看出，在整个服役期内，设备故障率通常可分为三个阶段：

(1) 初期故障率。设备刚投入运行时，初期故障率较

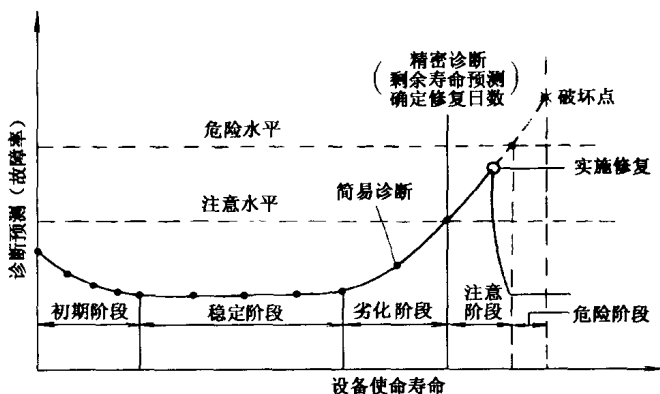


图 1-1 设备故障率与使用时间的关系

高，原因是设备刚投入运行，必然会暴露一些制造、安装、调试中遗留的问题，而且操作和维护都要有一个适应过程。随着对设备性能的逐步熟悉和暴露的问题的解决，故障率逐渐降低。

(2) 稳定期的故障率。设备在进入稳定期后，故障率较低，而且很稳定，这段时间设备运行比较正常，一般只有个别突发性的故障出现。

(3) 劣化期的故障率。随着服役时间的推移，设备逐步进入劣化期，劣化现象逐渐显著。以电机为例，在服役 15~20 年之后，绝缘老化象征明显，如泄漏电流增加、绝缘电阻下降、局部放电增加等等。在这一时期，由于劣化趋势发展，设备故障率又逐步升高，终于进入到危险水平，如在此时不采取措施进行维修，则设备最终将因故障而导致破坏和失效。

在掌握设备运行的宏观规律后，如果应用设备诊断技

术，对设备采取状态维修，根据不同服役阶段采取不同的措施，及时进行检查与维修，就可以延长设备的服役寿命。具体办法如下：

(1) 初期阶段。在设备试运行阶段应严格验收和认真调整，以减少设备隐患和故障率。同时在初期阶段，设备检修周期要短一些，以及时发现故障，排除故障。

(2) 稳定期阶段。必须维持正常的检修和操作管理，但检修的周期可适当长一些。

(3) 劣化期阶段。设备进入劣化期后，故障会逐渐增加。这时必须适当地增加检修次数。当简易诊断发现故障征兆和状态参数已经达到应引起注意的水平时，就应该立即采用精密诊断，对故障部位和程度进行准确判定，作出相应的维修方案和措施。通过维修，排除故障和隐患，使设备恢复原有性能，设备重新进入低故障的稳定期，这样就延长了设备的使用寿命。

三、电气故障的特点

电气故障与其他设备故障（如机械故障）相比，具有许多不同的特点。

(一) 电的不可见性

一个物体是否带电，虽然可以从电转换成声、光、机械运行等宏观现象看到，但在许多情况下，物体是否带电，是分辨不清的。电气装置出了故障，其故障具有很大的隐蔽性，这也为查找故障带来了很大的困难。

(二) 电的传播速度极快

电流或电信号在导线中的传播速度接近光速，即 300000km/s 。因此，电气故障发生后，电能释放极快。大多数电气故障往往在瞬间发生、发展，酿成灾祸。这种突然性