

高压开关设备 检测和试验

张裕生 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

高压开关设备 检测和试验

张裕生 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书介绍了高压开关设备检测和试验的标准、要求和方法, 主要内容包括绪论、高压开关的机械试验、高压开关的绝缘试验、高压开关的有机绝缘件的绝缘试验、高压开关的温升试验、高压开关的短时耐受电流试验、高压断路器的开断试验、六氟化硫(SF₆)断路器的基本检测方法、GBC 自能灭弧室开断试验中的问题研究及处理、高压开关的交接试验与预防性试验等。

本书不仅适用于电力企业高压开关设备安装、调试、运行、检修等方面的技术人员, 高压开关设备制造行业的检验、试验技术人员, 广大农村、城镇和工厂从事高压开关设备安装、调试的人员使用; 亦可以作为高压开关设备检验和试验人员的教材; 同时还可供大中专院校相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

高压开关设备检测和试验/张裕生编著. —北京: 中国电力出版社, 2004

ISBN 7-5083-1868-4

I. 高… II. 张… III. 断路器-测试 IV. TM561

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 100476 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>)

三河 (航远) 印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 2 月第一版 2004 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 32 开本 5.5 印张 119 千字

印数 0001—3000 册 定价 10.00 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)

前 言

电力是国家经济建设和人民生活中不可缺少的能源，而电力工业的发展离不开用于输配电的高压开关设备。

高压开关设备在电力系统中用来实现高压线路的关合、开断、保护、调节和控制，是非常重要的设备，关系到输电、配电和用电的可靠性和安全性。因此，电力系统对高压开关设备的可靠性要求高。在高压开关设备出厂前和投入运行前都必须按照有关标准检测合格，以保证高压开关设备的性能。有的性能参数在运行中还要进行监测，确保安全运行。

为了保证高压开关设备的性能和可靠性、国家和行业有关标准要求对高压开关设备必须进行全面试验。高压开关设备的试验分为型式试验、出厂试验和电力部门的例行试验。

型式试验是在高压开关设备设计试制出样机后，按其技术条件、有关国家标准和行业标准对试品的性能进行全面考核的试验，型式试验必须在国家认可或国际上公认的检测机构进行。通过型式试验来验证产品设计是否合理以及验证产品性能、材质、工艺和加工质量是否达到设计要求。型式试验报告是产品技术鉴定的主要依据。

出厂试验是产品批量生产出厂前按其技术条件规定的出厂试验项目进行的试验，其目的是考核产品的主要性能参数是否合格，从而保证产品质量。

电力部门的例行试验是按照产品技术条件和电力行业有关标准和规程的要求，对高压开关设备进行的交接试验、预防性试验和大修后的试验，其目的也是考核产品的主要性能参数是否合格，以确保电网的安全运行。

高压开关设备的试验项目较多（见绪论），在高压开关设备的有关标准（见附表2）中对这些试验项目和试验方法作了原则上的规定。但是，对一些具体的检测和试验方法标准中不可能详细介绍，也没有在检测和试验中遇到困难和问题时的解决方法。例如电容套管的泄漏电流试验和介质损失率 $\text{tg}\delta$ 的测量，在实际测量时都会遇到不容易得到准确的测量值的问题。笔者对这两种测量方法进行了专门研究，运用数理统计方法，从几千个测量数据中寻找其规律，推导出在不同温度下测量泄漏电流的校正公式和不同相对湿度下测量介质损失率 $\text{tg}\delta$ 的校正公式（见本书第三章），解决了在不同温度和不同相对湿度下测量不准确的难题。这种公式在文献上第一次出现。因此本书主要参考文献中第3和第4两篇论文分别获得世界学术贡献奖论文金奖和世界优秀作品（论文）奖，并编入《世界学术文库》。

高压开关设备检测和试验包含的理论和知识面较广泛，本书侧重实践，对高压开关设备的机械试验、绝缘试验、温升试验、短时耐受电流试验和开断、关合试验等方法进行综述，介绍了不少实际测量和试验方法，并列举了一些实例和计算，有很多都是笔者几十年工作经验的总结（经过实践证明是可行的）。我想，把这些经验系统地总结出来，编著成这本书是具有实际意义和价值的。

本书适用于电力部门高压开关设备安装、调试、运行、检修、测试和技术人员；适用于高压开关设备制造行业的检

验、试验和技术人员；适用于广大农村、城镇和工厂从事高压开关设备安装，调试的技术人员。亦可作为高压开关设备检验和试验人员的教材。

经验是宝贵的，也是有价值的，应该一代一代传下去。但是经验也需要批判地继承，在继承中加以发展。由于笔者的能力有限，错误和不当之处在所难免，诚挚地希望读者指正。

最后感谢我的夫人许家群，她默默地陪伴我日夜辛苦耕耘，如果说我有一点成绩的话，“军功章里有她的一半”！

编者

2003 年 11 月

目 录

前言

0 绪论	1
0.1 高压开关设备	1
0.2 高压开关设备的功能	1
0.3 高压开关设备的试验	3
1 高压开关的机械试验	15
1.1 高压开关机械试验	15
1.2 高压开关的机械特性参数测量	17
1.3 高压开关的机械操作试验	19
1.4 高压开关的速度测量	21
2 高压开关的绝缘试验	29
2.1 概述	29
2.2 高压开关绝缘配合的基本知识	29
2.3 高压开关的交流耐压试验方法	32
2.4 操动机构线圈的匝间绝缘试验	38
2.5 绝缘电阻测量	38
3 高压开关有机绝缘件的绝缘试验	40
3.1 介质损失率 $\tan\delta$ 的测量	40

3.2	介质的泄漏电流试验	47
3.3	局部放电测量	54
4	高压开关的温升试验	66
4.1	高压开关的回路电阻	66
4.2	高压开关长期发热的温升试验	71
4.3	热电偶法测温及精度保证	74
4.4	电阻法测量线圈温升	79
4.5	高压开关运行中的温升监测	81
5	短时耐受电流和峰值耐受电流试验 ...	83
5.1	概述	83
5.2	对试品的要求	83
5.3	试验方法	84
5.4	试验判据	86
5.5	试验实例	86
6	高压断路器的开断试验	91
6.1	概述	91
6.2	出线端短路开断与关合试验	94
6.3	近区故障开断试验 (SLF)	96
6.4	失步开断、关合能力试验	96
6.5	线路充电电流开断、关合能力试验	97
6.6	累计额定开断电流开断试验 (电寿命试验)	98
6.7	252kV SF ₆ 断路器 (单相) 开断试验 方案 (实例)	98
6.8	其他开断试验项目	100

7 六氟化硫(SF₆)断路器的基本检测

方法 101

- 7.1 SF₆ 气体的基本知识 101
- 7.2 SF₆ 断路器通用的检测方法 102
- 7.3 SF₆ 断路器特有的检测方法 102
- 7.4 SF₆ 密度控制器及其使用 108
- 7.5 SF₆ 断路器出厂试验、投运前的交接试验
与大修后的试验项目 111

8 GCB 自能式灭弧室开断试验中的问题

研究及处理 112

- 8.1 自能式灭弧室开断试验中容易出现的问题 112
- 8.2 热膨胀压力对开断试验的影响 114
- 8.3 自能式 SF₆ 断路器分闸速度、分闸特性及缓冲
特性对开断试验的影响 116
- 8.4 喷口下游区三个参数对开断试验的影响 119
- 8.5 静触头的屏蔽电场对开断试验的影响 120
- 8.6 结束语 121

9 高压开关设备的交接试验与预防性

试验 122

- 9.1 断路器的投运 138
- 9.2 断路器正常运行的巡视检查 138
- 9.3 断路器的特殊巡视 140
- 9.4 断路器的正常维护 140
- 9.5 断路器的操作 141

附录 1	SF ₆ 断路器及其发展	143
附录 2	高压开关设备及试验方法标准目录	158
附录 3	高压开关设备的额定绝缘水平	161
附录 4	高压开关设备各部位温度和温升极限	163
参考文献		166

0 绪 论



0.1 高压开关设备

高压开关设备属高压电器类。高压电器是电力系统中广泛使用的设备，国际上公认使用交流电压 1kV 以上的电器为高压电器。高压电器是在高压线路中用来实现关合、开断、保护、控制、调节和测量的设备。高压电器包括高压开关电器、高压测量电器和高压限流、限压电器，其中高压开关电器包括高压隔离开关、高压接地开关、高压负荷开关、高压断路器、高压熔断器、高压接触器、高压重合器和高压分断器，高压开关电器可以统称为高压开关。

高压开关设备则是高压开关（元件）和高压开关成套装置的统称。高压开关元件就是指上述开关电器，而高压开关成套装置则分为以下几类

- (1) 交流金属封闭开关设备（开关柜）。
- (2) 气体绝缘金属封闭开关设备（封闭式组合电器，如 GIS 等）。
- (3) 复合式组合电器。
- (4) 敞开式组合电器。

0.2 高压开关设备的功能

0.2.1 高压开关的功能

高压开关是主要用来关合和开断正常电路和故障电路，

或用来隔离电源、实现安全接地的高压电器设备。

(1) 高压隔离开关。用来隔离电路或电源，在闭合位置时能承受额定电流及规定的短路电流，必要时可以开断很小的电容电流和容量不大的变压器的空载电流，也可以用来开合母线转换电流。

(2) 高压接地开关。用来对设备或被检修的线路实现保护接地。

(3) 高压负荷开关。能开合额定的负荷电流（含容性、感性负载电流），也可以关合一定的短路电流，但不能开断短路电流。

(4) 高压断路器。不仅能关合、开断额定的负荷电流（包括空载变压器、空载线路和空载电缆等），也能开合故障电流，当发生短路故障（或其他异常运行状态如欠压、过流等）时能自动分闸和自动重合闸，是一种多功能的自动开关。

(5) 高压熔断器。当负荷电流过载到一定值，或出现故障电流时能自动熔断而开断电路。分为限流熔断器和喷射式熔断器。

(6) 高压接触器。只有一个休止位置，非手动操作就能关合、开断及承载额定电流和规定的过载电流的开断、关合装置。一般用来频繁控制大型用电设备（如大型电动机等）。

(7) 高压重合器。能够按照预定的程序在导电回路中进行开断和重合操作，并在其后自动复位、分闸闭锁或合闸闭锁的自具控制保护功能的开关设备（不需外加电源）。

(8) 高压分断器。一种能自动判断线路故障和记忆线路故障电流开断的次数，并在达到整定的次数后在无电压或无电流下自动分闸的开关设备。某些分断器可具有关合短路电

流（自动重合闸功能）及开断、关合负荷电流的能力，但是不具备开断短路电流的能力。

0.2.2 高压开关成套装置的功能

(1) 交流金属封闭开关设备（开关柜）。将高压开关与控制、测量、保护、调节装置以及辅件、外壳和支持件等部件及其电气和机械的连接按配电功能的需要组装起来，除进出线外，其余完全被金属外壳封闭的开关设备。其功能是用于线路末端配电及控制、测量、保护、调节线路末端的用电设备。

(2) 气体绝缘金属封闭开关设备（封闭式组合电器，如GIS等）。将高压隔离开关、高压断路器、互感器和母线等全部封闭在金属外壳内并充以高于大气压的气体（如 SF_6 ）作为绝缘介质的封闭式组合电器（如GIS）。起着控制、保护和测量输电线路和设备的功能。

(3) 复合式组合电器。在一台设备上组合两种及以上的开关电器，如隔离开关和柱上断路器组合、负荷开关和熔断器组合等。它们可以同时完成所组合的开关电器的功能。

(4) 敞开式组合电器。将各自独立的高压开关元件、测量电器和辅件组合在一起（可以共用一个底架），由空气相互绝缘。它们可以完成所组合的元件的功能。

0.3 高压开关设备的试验

高压开关设备是电力系统重要的控制和保护设备，对电力系统安全、可靠地运行起着举足轻重的作用。因此电力系统对高压开关可靠性要求高，质量控制严格。每一种高压开关设计、研制出样机后都必须按照国家 and 行业有关标准进行严格的型式试验的考核和验证，达到设计和标准的要求，并



通过技术鉴定（大型产品还要进行试运行）后才能投入生产，提供电力部门使用。高压开关的试验分为型式试验和出厂试验，以及用户进行的交接试验和预防性试验。

0.3.1 高压开关设备的型式试验

型式试验是指全面验证高压开关设备及其操动机构和辅助设备是否符合国家标准和产品技术标准（条件）规定，能否鉴定和定型生产的试验。

型式试验通常是在新产品开发、转厂试制、产品生产多年（如8~10年）后抽检，以及材料和工艺更改（仅相应项目）而进行的试验。除首创新产品开发需要进行全面型式试验外，转厂试制产品等型式试验，按照行业规定可以减少一些不必要的重复试验项目。所有型式试验应在新的、清洁的试品上进行，且可以在不同时间和地点分别试验各种项目。提供试品的数量除真空断路器有规定外一般不作限制，但是提供多个试品时应有同一性，而且都必须符合产品技术条件及产品图样的规定和要求。

高压开关设备的型式试验可以分为如下几个大类，其每一类试验的考核目的不同。

（1）绝缘试验——考核试品的绝缘强度和绝缘介质的绝缘性能。

（2）机械试验——考核试品的机械强度和动作可靠性。

（3）短时耐受电流和峰值耐受电流试验——考核试品的热容量和在电动力作用下的机械强度。

（4）短路开断及关合能力试验——考核试品在短路条件下的开断及关合能力。

（5）主回路电阻测量和温升试验——考核试品的长期载流能力。



(6) 辅助回路和辅助开关的试验——考核试品二次回路的可靠性。

(7) 密封试验、外壳防护等级和内部电弧试验——考核试品的密封性能和防护能力。

(8) 无线电干扰试验 (126kV 及以上产品) ——考核试品对周围无线电信号干扰水平。

(9) 环境试验——考核试品在各种环境下的性能。

在国家标准中规定了各类高压开关设备的型式试验项目 (包括必试项目和协商进行的项目)。而在产品的技术条件中, 根据国家标准的规定又明确了具体的试验项目和要求。因此, 每个产品进行型式试验时都必须符合其技术条件的要求。

高压开关设备的型式试验应在国家认可的试验室 (站) 或国际上公认的检验机构进行, 并出具有效的试验报告。

0.3.2 高压开关设备的出厂试验

出厂试验是高压开关制造厂按照产品技术条件的要求, 对批量生产的产品在出厂前进行的试验。出厂试验的目的是为了确保产品质量。同时, 在出厂试验过程中能够揭示出厂前产品在材料、结构制造与装配等方面可能存在的差错和缺陷, 以便及时修正, 而这种试验不会损伤产品性能和可靠性 (非破坏性试验)。出厂试验主要包括以下项目:

(1) 主回路绝缘试验 (一般为干燥状态下的工频耐压试验)。

(2) 辅助和控制回路的绝缘试验。

(3) 主回路电阻测量。

(4) 密封试验。

(5) 结构和外观检查。



(6) 机械操作和机械特性试验。

(7) 订货规格检查和包装质量检查。

其余出厂试验项目按产品技术条件规定。

高压开关设备的出厂试验由企业法人授权的企业质检部门进行，并出具产品检验合格证书，产品才能出厂。

0.3.3 高压开关设备的交接试验和预防性试验

电力部门对新安装的高压开关设备投运前要进行交接试验，对大修、小修和维护后的高压开关设备要进行预防性试验，这些试验按照电力行业标准—电力设备预防性试验规程和产品技术条件（标准）进行。

本书主要对高压开关设备检测和试验方法结合有关标准和实践进行综述。

高压开关设备和试验方法依据的标准见附录Ⅱ。

0.3.4 高压开关设备试验项目一览表

高压开关设备检测和试验项目较多，如表 0-1 ~ 表 0-8 所示。这些表中“类别”一栏中的 A 为必试项目；B 为满足一定条件才进行的项目；C 为应客户要求协商进行的项目。表中“试验适用范围”栏中的 X 表示型式试验；G 表示出厂试验。

表 0-1 机械试验项目

序号	项目名称	试验目的	试验适用范围	类别	试验方法 (标准)	备注
1	机械操作试验	机械磨合操作、检查装配质量	所有装配机构的高压开关设备的 X 和 G	A	参见本书第一章 GB/T 3309 和产品技术条件	
2	机械特性试验	验证与开断、关合能力有关的特性		A		

续表

序号	项目名称	试验目的	试验适用范围	类别	试验方法 (标准)	备注
3	机械寿命试验	验证产品及零部件的机械强度和疲劳强度	所有配装机构的高压开关设备的 X	A	参见本书第 1 章、GB/T 3309 和产品技术条件	
4	高低温机械试验			C		见“环境试验”部分相关内容

表 0-2

绝缘试验项目

序号	项目名称	试验目的	试验适用范围	类别	试验方法 (标准)	备注
1	雷电冲击耐压试验	验证耐受雷电过电压的能力	与架空线直接连接的设备 的 X	A	参见本书第 2 章、GB/T16927—1997《高电压试验技术》和产品技术条件	可能为破坏性试验
2	陡波前的耐压试验	验证 GIS 隔离开关切空母线引起的过电压能力	与 GIS 连接的相关设备绕组性绝缘	B		
3	工频耐压试验	验证耐受工频过电压等内过电压能力	< 363kV 干：户内外设备 湿：户外设备的 X 和 G	A		
4	操作冲击耐压试验	验证耐受操作过电压等内过电压能力	≥ 363kV 干：户内外设备 湿：户外设备的 X	A		

