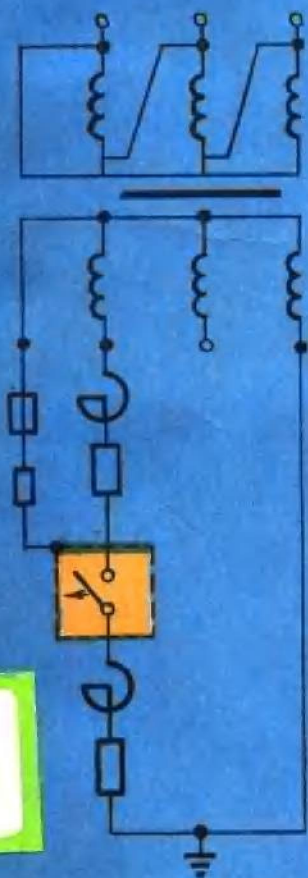


低压电器试验基础

陈璧光



水利电力出版社

内 容 提 要

本书对低压电器基础试验方面的知识作了较为全面的介绍,在内容上力求做到理论与实践相结合。书中除介绍实际操作步骤和方法外,还注重基本原理的阐述。本书把电器基础试验内容分为十个项目,各列一章。对每一试验项目又根据要求的不同分试验设备、试验电路、试验方法、测试技术、试验结果的分析和判定、试品不合格原因的分析和影响因素的列举等方面来分别介绍。书中对比较复杂的试验项目还提供必要的计算公式,以便在试验前通过计算来预知各种试验电路的参数,使试验可在预先调节和安排好的情况下进行,避免和减少试验的盲目性和不必要的失误或事故。书中所述的试验电路、试验方法和计算公式等都是经过实践考验的,也是很实用的。

本书内容广泛,条理清楚。除可供从事开关电器试验的技术人员和技术工人使用外,也可供从事低压电器的设计、运行、维修和检验工作的技术人员和技术工人参考。

低压电器试验基础

陈 璧 光

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 14.75印张 322千字

1988年10月第一版 1988年10月北京第一次印刷

印数0001—7500册 定价3.45元

ISBN 7-120-00367-4/TM·85

前 言

低压电器在我国是在50年代初才开始有专业厂家生产的，到50年代中期，各种类型的低压电器都已能批量生产。相应于低压电器的发展，在我国各个地区相继成立了电器的各种研究机构，在一些大专院校也设立了电器专业，与此同时，低压电器的试验基地也逐渐建立和发展起来。在50年代中期为了满足低压电器生产的需要，在低压电器生产较集中的一些城市首先建立了初具规模的试验基地，到50年代末60年代初，一些设备齐全、规模较大的试验基地已基本建成并投入使用，目前全国各主要生产低压电器的省、市、自治区都已建立了自成体系的低压电器试验研究基地，为低压电器新品种的研制、为高质量低压电器的生产和运行作出了一定贡献。

低压电器在新产品研制阶段、在批量生产阶段以及进至现场调试运行阶段，进行各项试验是必不可少的。为了搞好试验工作，应该尽力提高试验质量、提高测试技术、提高试验人员的素质，本书就是本着这个宗旨来编写的。

本书内容力求做到理论与实践相结合，书中除介绍实际的操作步骤和方法外，还注重基本原理的阐述，使读者不仅能掌握实际操作技术，而且还能理解其中的道理。本书把试验内容分为十个项目，各列一章。对每一试验项目又根据要求的不同分试验设备、试验电路、试验方法、测试技术、试验结果的分析和判定、试品不合格原因的分析和影响因素的列举等方面来分别介绍。书中对比较复杂的试验项目还提供

必要的计算公式，以便在试验前通过计算来预知各种试验电路的参数，使试验可在预先调节和安排好的情况下进行，避免和减少试验的盲目性和不必要的失误或事故。书中所述的试验电路、试验方法和计算公式等都是经过实际试验考验的，也是很实用的。

由于低压电器种类繁多，使用各异，因此对试验的要求也各不相同，本书主要介绍各种电器基础试验方面的知识，书中对有些试验列出了多种试验电路和试验方法，这些试验电路和试验方法仅供读者参考，至于实际试验应如何选择可根据所试产品的产品标准的规定来确定。

本书承陆绍康、黄继清、黄涌德、沈能士和尹端士等诸位同志审阅并提出许多宝贵意见，特此致谢。

由于笔者水平有限，书中难免有不足之处，恳请读者批评指正。

作 者

一九八七年六月

目 录

前 言

第一章 低压电器试验概述	1
第一节 低压电器试验的意义、目的和类别	1
第二节 产品标准	3
第三节 产品质量和试验质量	8
第二章 温升试验	10
第一节 温升试验的目的和温升标准	10
第二节 温升试验方法	16
一、概述	16
二、恒电流温升试验的试验电路和试验设备	24
三、恒电压温升试验的试验电路和试验设备	32
四、恒功率温升试验的试验电路和试验设备	36
第三节 温度和温升的测量方法	37
一、玻璃温度计法, 简称温度计法	38
二、热电偶法	40
三、电阻法	50
四、半导体点温计法	55
五、变色漆法	57
六、易熔物法	57
七、周围空气温度的测量	58
第四节 合格的判定	59
第三章 接触电阻和接触电压降的测量	63
第一节 概述	63
第二节 电接触原理和接触电阻的计算	63

一、接触电阻和接触电压降	63
二、收缩电阻和表面膜电阻的计算公式	65
第三节 开关电器的触头接触电阻与工作状态的 关系	72
一、冷态和热态接触电阻	73
二、长期热态接触电阻	73
三、触头分断电流后的接触电阻	76
第四节 接触电阻和接触电压降的测量方法	77
一、概述	77
二、直流电流表-毫伏表法	78
三、双直流电流表法	80
四、交流电流表-毫伏表法	81
五、数字式微欧计法	83
第四章 绝缘电阻测量	84
第一节 概述	84
第二节 绝缘电阻的测量	85
一、测量绝缘电阻的仪表的结构原理	85
二、电器绝缘电阻在正常环境条件和冷态下的测量	90
三、电器绝缘电阻在正常环境条件和热态下（温升试验 结束时）的测量	91
四、通断能力试验后或电寿命试验后的绝缘电阻的测量	92
第三节 湿热试验	92
一、恒定湿热试验	93
二、交变湿热试验	93
第四节 绝缘电阻合格标准和试品不合格的原因	96
一、绝缘电阻合格标准	96
二、绝缘电阻不合格的原因	98
第五节 绝缘电阻的性质和影响绝缘电阻的一些 因素	99

一、绝缘电阻的性质	99
二、影响绝缘电阻的一些因素	102
第五章 耐压试验	108
第一节 耐压试验的目的和性质	108
第二节 工频耐压试验的设备和试验方法	108
一、工频耐压试验设备	108
二、耐压试验变压器的容量	111
三、试验方法	113
第三节 工频耐压试验的影响因素	116
一、环境方面的影响因素	116
二、试验设备的影响因素	118
第六章 动作特性试验	124
第一节 概述	124
第二节 直流电压线圈的动作试验	125
一、直流吸合电压试验及其试验电路	126
二、直流释放电压试验及其试验电路	136
三、直流吸合电压试验和直流释放电压试验的影响因素	139
四、动作特性的合格标准	144
第三节 直流电流线圈的动作试验	147
一、吸合和释放电流试验的试验电路	147
二、影响因素	151
三、试验程序	152
四、过电流电磁脱扣器的直流脱扣试验	153
第四节 交流电压线圈的动作试验	154
一、交流吸合电压试验和试验电路	155
二、交流释放电压试验和试验电路	159
三、影响因素	160
第五节 交流电流线圈的动作试验	166
一、交流过电流继电器吸合、释放电流试验和试验电路	166

二、交流过电流电磁脱扣器的脱扣试验和试验电路	176
第七章 保护特性试验和动作时间测量	175
第一节 概述	175
第二节 电器动作时间的测量	179
一、固有动作时间的测量	179
二、定延时时间的测量	196
三、可返回试验和可返回时间的测量	198
第三节 热继电器和热脱扣器的安秒特性试验	201
第八章 交流通断能力试验	205
第一节 概述	205
第二节 试验设备	206
一、电源	206
二、冲击变压器	210
三、保护开关和合闸开关	211
四、控制设备和测量设备	214
五、负载阻抗	215
第三节 试验电路的主电路	218
一、配电电器的交流试验电路	219
二、控制电器的交流试验电路	222
三、用于控制电路中的开关电器的交流试验电路	225
四、飞弧试验电路	225
第四节 测量电路	229
一、电压测量电路和测量方法	229
二、电流测量电路和测量方法	233
第五节 电流波形的记录	242
一、电流波形的记录	242
二、示波图分析	248
第六节 功率因数的测量	254
一、试验电路阻抗计算	254

二、试验电路功率因数的测量	259
第七节 f 和 γ 的测量	268
一、瞬态恢复电压	268
二、半波电流法测量 f 和 γ	270
三、交流控制电器通断能力试验电路 f 和 γ 的测量	271
四、 C_p 和 R_p 对 f 和 γ 的影响的计算	275
五、测量试验电路全电路的 f 和 γ	278
第八节 试验结果的判定和不合格情况的分析	279
一、试验结果的判定	279
二、不合格情况的分析	281
第九节 影响试验的因素	285
一、空载电压的影响	285
二、工频恢复电压的影响	286
第九章 直流通断能力试验	299
第一节 概述	299
第二节 试验设备	300
一、直流电源设备	300
二、保护开关和合闸开关	303
三、负载电阻和电感设备	305
四、控制、测量和保护设备	313
第三节 直流试验电路的主电路	318
一、配电电器的直流试验电路	318
二、控制电器的直流试验电路	320
三、用于控制电路中的开关电器的直流试验电路	321
第四节 程序控制电路	323
第五节 测量电路和测量方法	327
一、示波器的测量电路	327
二、试验电流的测量和试验电路时间常数的测量	329
三、电压的测量	339

四、通断能力试验负载电阻和电感值的计算	341
五、飞弧测量电路和飞弧测量	343
六、“CO”、“O”和“C”试验的示波图分析	346
第六节 试验结果的判定和试品不合格原因的	
分析	350
一、判定的准则和步骤	350
二、试品不合格原因的分析	351
第十章 电动稳定性试验和热稳定性试验	356
第一节 概述	356
第二节 电动稳定性试验	358
一、试验设备	358
二、试验要求	358
三、试验方法	360
四、电动力分析	383
五、试品合格的判定和不合格原因的分析	395
第三节 热稳定性试验	397
一、试验设备	397
二、试验要求	397
三、试验方法	399
第十一章 寿命试验	408
第一节 概述	408
第二节 电寿命试验	409
一、电寿命试验的目的和类别	409
二、配电电器的电寿命试验	410
三、控制电器电寿命试验	417
四、辅助触头和用于控制电路的电器的电寿命试验	431
五、合格的判定	439
第三节 机械寿命试验	440
一、机械寿命试验的试验电路	440

二、试验设备	441
三、合格的判定	447
附 录	449
附录A 温升标准	449
附录B 温升试验时连接导线标准	452
附录C IEC工频耐压试验标准	455

第一章 低压电器试验概述

第一节 低压电器试验的意义、目的和类别

低压电器从开始研制新产品到投入现场运行为止，一般要经过下述的几个典型阶段：

- (1) 新产品选型阶段。
- (2) 模型试制阶段。
- (3) 样品试制定型阶段。
- (4) 试运行阶段。
- (5) 批量投产和出厂阶段。
- (6) 现场安装、调试、运行和维修阶段。

低压电器在上述各个阶段中的试验，尤其在新产品的设计过程，即包括在新产品的选型和模型试制两个阶段中的试验是必不可少的。实践证明，只有通过大量的试验才能保证设计出性能优越、质量稳定和运行可靠的电器。

低压电器在上述各个阶段中所必须进行的试验，其性质、意义和目的一般并不完全相同：第一阶段即选型阶段所进行的试验主要是研究性质的试验，包括对同类型先进产品进行主要性能方面的探索试验和一些必要的研究试验，例如触头材料耐磨损和抗熔焊等研究试验。进行这些试验的目的仅是为了取得必要的数据，以便选型设计的顺利进行。第二阶段即模型试制阶段的试验主要是在已初步制成的模型产品上进行既有研究性质的试验，也有考核项目的试验，例如各种主要性能项目的试验和裕度试验等。其目的是验证前一

阶段设计的正确性和合理性，以便进一步改进和提高。第三阶段即样品试制定型阶段的试验主要集中在考核性的试验上，要严格地按产品标准所规定的全部项目进行全面地试验，称为新产品型式试验，简称型式试验或定型试验。型式试验的目的是验证产品的性能和质量是否完全符合产品标准，以便确定是否可投入批量生产。在此阶段的试验中如果发现产品某些性能未能达到规定的标准，可以在改进后再进行试验直至达到规定为止。因此，这一阶段的试验可能是反复进行的，也是各阶段试验中最为重要和最为繁复的试验。第四阶段即试运行阶段的试验称为试运行试验，这种试验属于运行性质的试验，对比较重要的新产品在投产前先在有代表性的使用单位中进行一定时间的现场试运行，以补充型式试验所固有的在真实性方面的局限性。即希望在试运行中发现在型式试验中可能难于暴露的质量问题，以进一步保证产品的质量和运行的可靠性。在试运行试验期间必须定期地对产品的运行情况进行监督和测量，并记录一些必要的性能参数以供分析。第五阶段即产品批量投产和出厂阶段的试验，包括产品出厂试验和定期型式试验。出厂试验是对批量生产的产品在出厂前进行的一种考核性试验，一般是对出厂的每批产品中的每一台产品(或按标准规定抽取一定百分比的产品)按规定的项目内容进行检查和试验。出厂试验中进行的试验项目只是型式试验项目中的一部分，目的是考核每台正式出厂的产品的性能的可靠性。即检查每台出厂产品在材料上和制造上可能存在的缺陷，以保证产品质量。每台产品通过出厂试验规定的所有检查和试验项目后才允许出厂，如有不合格的可以返修后再试，直至合格为止。如果无法返修，应予报废，并要查清原因。定期型式试验是对已投产的产品每隔一

定年限要重复进行的一种考核性质的试验。定期型式试验的试验项目也是按产品标准所规定的全部试验项目全面地进行试验，但因试品是从批量生产中随机抽取的数量不多的典型产品，故与出厂试验有所不同。定期型式试验的目的是考核和保证产品在批量生产中质量上的长期稳定性。第六阶段即电器投入现场运行前的交接试验和电器在检修后进行的检修试验。交接试验和检修试验的项目与出厂试验的项目类似，但要求可稍低一些。由于电器在出厂试验后要经历储存、运输和安装等过程，而这些过程又都可能使电器出现问题。因此，交接试验的目的是在电器正式投入运行前再一次证实一下其质量，以保证运行安全。检修试验是电器在检修中和检修后进行的试验，其目的是保证检修的质量和保证电器在再投入运行时能安全可靠。

第二节 产 品 标 准

低压电器的国家标准和企业标准（或称产品技术条件）统称为产品标准。产品标准是制造厂家据以进行新产品设计、试验、定型投产制造和允许出厂的基础标准，也是保证低压电器在实际运行中能够质量稳定、性能可靠的主要依据。因此，它对制造厂和使用单位来说都是十分重要的。上一节所述的产品型式试验、定期型式试验和出厂试验等考核性一类的试验都是严格按照产品标准的规定进行的。

产品标准的内容主要包括下述几个方面：

（一）正常工作条件

规定正常工作条件的目的一方面是限定制造厂所生产的电器产品必须能适用于规定的环境条件下；另一方面也限定

用户在使用时必须考虑用于规定的环境条件下。正常的工作条件也就是允许使用的环境条件，包括有：①周围空气温度的规定，有最高气温、最低气温和24h平均最高气温等；②海拔高度的规定；③空气湿度的规定；④空气污染程度的规定等。

（二）产品结构和性能指标，或统称技术指标、技术要求

这一规定是要求制造厂设计和制造的电器产品必须保证能达到的最低技术要求或基本技术水平，也是产品设计、制造以及进行考核以验证产品是否合格的主要依据和产品允许出厂并在使用单位可靠运行的最基本保证。因此，它是产品标准中最重要的内容之一。

产品结构指标是对低压电器在机械结构方面提出的基本要求，主要有：①对电器接线端子的结构要求；②对电器操作机构的结构要求；③对电器的电气间隙和漏电距离的要求；④对电器触头压力和开距的要求；⑤对电器外壳结构的要求等。

产品性能指标是指为满足用户的最低使用要求对低压电器在电气性能方面提出的一些基本要求，这些指标主要有：①对电器极限温升的要求；②对绝缘性能的要求；③对动作性能的要求；④对保护特性的要求；⑤对通断故障电路的能力的要求；⑥对耐受短路电流能力的要求；⑦寿命方面的要求等。

（三）试验类别和试验项目

产品标准中规定的试验类别主要有：型式试验、定期型式试验和出厂试验三种。这三种试验都是属于考核性质的试验。其中型式试验是新产品研制工作已进行到准备定型投产

的阶段而必须进行的全面考核试验，目的是验证新产品设计的合理性和投产的可能性。定期型式试验是指已投产后的产品应每隔一定年限重复进行的，试验项目较全面的一种考核性试验，目的是验证已批量生产的电器在质量上是否稳定。出厂试验是每台产品在出厂前应进行的一种检查性质的考核试验。这三种试验在性质上虽有不同，但在保证产品的质量上却是相辅相成缺一不可的。

产品标准中规定的各试验项目是对应于产品各个技术指标的规定而提出的，即对规定的每一技术指标必须相对应地规定考核的试验项目。例如对任何电器都规定有极限温升的指标，因此相对应地必须规定温升试验的项目，即通过此试验项目来验证电器是否达到规定的指标或是否合格。表 1-1 列出低压电器产品的一些基本的也是最主要的试验项目名称，以供参考。显然，不同用途的电器，技术指标也必然有所不同，因此，试验项目相应地也有所不同。

表 1-1 低压电器一些基本试验项目名称

序 号	试 验 项 目 名 称
1	温升试验
2	接触电阻和接触电压降测量
3	绝缘电阻测量
4	工频耐压试验
5	动作特性试验
6	保护特性试验
7	接通和分断能力试验
8	动热稳定性试验
9	寿命试验

(四) 试验方法

在产品标准中每一试验项目都相应规定了试验方法。因为即使是同一试验项目，例如温升试验，如果允许采用两种以上不同的试验方法，则试验的结果就有可能由于方法的不同而不同。显然，这对考核性试验来说是不恰当的，会引起争执或难于下定论。因此，为了标准化，在产品标准中对每一试验项目都必须规定试验方法。如果允许采用几种试验方法，标准中也要具体指明。

试验方法的内容主要包括：

1. 规定试验设备在质量上的一些要求 例如对试验用的交流电源设备规定其波形必须是正弦波；电压和频率的变动必须在规定的误差范围以内，容量必须足够大等。其他如负载设备、测量设备等相应于各个试验项目也都规定有不同的要求。这些规定的目的是要消除因试验设备质量的不同而产生的对试验结果的影响。因为，对同一试品如果所用的试验设备不同，试验的结果可能不同。

2. 规定试验电路或接线方式 进行电器产品电性能试验时必然要涉及试验电路。试验电路一般可分为主电路、控制电路和测量电路等。不同的试验项目，试验电路一般也不同。相同试验项目一般也可能会有多种试验电路，这时就必须明确规定所采用的电路。因对同一试品如果试验电路不同，试验结果也会不同。例如三相开关的通断试验电路，其主电路的接地方式不同，试验结果就可能不同。对考核性试验来说，试验电路的标准化显然也是必要的，即在产品标准中必须加以规定的。

3. 试验程序的规定 试验程序包括二个内容：一是在同一试品上进行多项目试验时，对各个试验项目的试验次序的