

低压直流电器试验基础

薛尚礼 方士钧 编著

国防工业出版社

低压直流电器试验基础

薛尚礼 方士钧 编著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书系统地介绍了以航空电器为代表的低压直流电器试验的基本内容,包括电气性能试验、温度试验、低气压试验、三防试验、机械强度试验、特种试验等方面的试验目的、试验参数的确定、试验的程序和方法、试验设备以及试验基础理论知识,书中对近几年来国内外新出现的试验标准、试验方法、试验设备等均作了系统的介绍。

本书可供从事航空电器和其它低压直流电器生产和使用部门的工程技术人员和工人参考,对高等和中等工业院校有关专业的师生亦有裨益。

低压直流电器试验基础

薛尚礼 方士钧 编著

责任编辑 王 洪

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168¹/₃₂ 印张13³/₄ 351千字

1983年10月第一版 1983年10月第一次印刷 印数: 0,001—5,000册

统一书号: 15034·2528 定价: 1.70元

前 言

低压直流电器是机械、电器、电子、仪表工业以及航空、造船、常规武器等军工工业中广泛应用的电器元件，可用来自动或非自动地检查、控制、保护和调节电路并使之处于正常工作状态。工作的可靠性是对低压直流电器的一项重要而最基本要求。为保证电器产品的质量，在其出厂之前必须进行严格的鉴定，试验乃是鉴定电器产品质量的一个重要手段。而为了达到试验的预期目的，试验人员必须熟练地掌握各种试验技术，并且能够正确地分析试验结果。

多年来，我们在航空电器产品试验方面积累了一些资料和经验，为满足我国航空电器生产和使用部门广大技术人员和工人的需要，国防工业出版社在一九七二年出版了由薛尚礼同志编写而由方士钧、刘海忠、石玉山、唐中兴四位同志协助整理的《航空电器试验》一书。该书问世后，不少读者提出了宝贵的意见和关于修订重版的建议。航空电器是低压直流电器的一个组成部分，其基本的试验方法、试验项目、试验内容以及试验设备等，对其它各类低压直流电器产品来说大体都能适用，只是在试验规范、试验技术参数等方面有差异。航空电器试验与各类低压直流电器试验有许多共同点，通过对航空电器试验的介绍，有助于读者对其它各类低压直流电器试验的了解，收到举一反三的效果。本书以《航空电器试验》作为蓝本，对其中的绝大部分内容进行了改写，从技术内容上进行了充实，增添了近几年来国内外新出现的试验标准和试验方法，同时介绍了一些新的试验设备，特别是在书中充实了基础理论知识方面的内容。

本书全稿承廖湘恩副教授审阅并提出许多宝贵意见，在此谨

IV

致谢意。

由于我们水平所限，加之缺乏深入的调查研究，书中在内容上难免存在某些局限性和不足之处，并且可能存在一些错误，热忱希望读者批评指正。

薛尚礼 方士钧

一九八一年八月

目 录

第一章 概 论

第一节 航空电器试验的重要意义	1
第二节 航空电器试验的基本依据	2
第三节 航空电器技术条件概述	4
第四节 航空电器的试验分类和试验项目	5

第二章 电气性能试验

第一节 绝缘电阻	8
一、概述	8
二、绝缘电阻的理论分析	10
三、绝缘电阻试验参数的确定	32
四、绝缘电阻试验方法	35
五、绝缘电阻试验设备	36
六、绝缘电阻试验注意事项	55
第二节 绝缘介电强度	56
一、概述	56
二、绝缘材料的电气性能	58
三、影响固体材料绝缘介电强度的因素	64
四、绝缘介电强度试验参数的确定	70
五、绝缘介电强度试验方法	72
六、绝缘介电强度试验设备	73
七、绝缘介电强度试验注意事项	77
第三节 寿命试验	77
一、概述	77
二、电器产品绝缘部分的损坏和触头的电磨损过程	78
三、寿命试验方法	82
四、寿命试验设备	84
五、寿命试验后的产品质量检验	93

第三章 温 度 试 验

第一节 高温试验	95
----------------	----

一、概述	95
二、高温对电器产品的影响	96
三、高温试验参数的确定	97
四、高温试验方法	101
五、高温试验设备	126
六、高温试验注意事项	130
第二节 低温试验	131
一、概述	131
二、低温对电器产品的影响	132
三、低温试验参数的确定	132
四、低温试验方法	133
五、低温试验设备	137
六、低温试验注意事项	157
第三节 温度冲击试验	158
一、概述	158
二、温度冲击对电器产品的影响	158
三、温度冲击试验参数的确定	159
四、温度冲击试验方法	161
五、温度冲击试验设备	169
第四节 温度试验后产品的质量检验	179

第四章 低气压试验

一、概述	181
二、低气压对电器产品的影响	181
三、温度-低气压试验参数的确定	183
四、低气压试验方法	187
五、低气压试验设备	192
六、低气压试验注意事项	202
七、低气压试验后产品的质量检验	202

第五章 三防试验

第一节 湿热试验	204
一、概述	204
二、湿热对电器产品的影响	205
三、空气湿度的测量	221
四、湿热试验方法的选择	224
五、湿热试验参数的确定	231
六、湿热试验方法	236
七、湿热试验设备	244
八、湿热试验注意事项	247

九、湿热试验后产品的质量检验	248
第二节 霉菌试验	249
一、概述	249
二、霉菌对电器产品的影响及防霉方法	251
三、霉菌试验参数的确定	254
四、霉菌试验时对被试产品种类(整机或零、部件)的选择	257
五、霉菌试验方法	258
六、霉菌试验设备	269
七、霉菌试验注意事项	270
八、霉菌试验后产品的质量检验	271
第三节 盐雾试验	271
一、概述	271
二、盐雾对电器产品的影响及其防腐方法	274
三、盐雾试验参数的确定	282
四、盐雾试验方法	287
五、盐雾试验设备	295
六、盐雾试验注意事项	303
七、盐雾试验后产品的质量检验	303
第六章 机械强度试验	
第一节 概述	304
第二节 振动试验	305
一、飞机产生振动的原因	305
二、振动的基本形式	306
三、振动对电器产品的影响	310
四、振动试验方法的发展	311
五、振动试验的基本理论和分类	313
六、振动试验参数的确定	337
七、振动试验方法	348
八、振动试验设备	369
九、振动试验注意事项	381
第三节 着陆冲击试验	382
一、概述	382
二、着陆冲击试验公式的推导	382
三、着陆冲击试验参数的确定	386
四、着陆冲击试验方法	388
五、着陆冲击试验设备	391
六、着陆冲击试验注意事项	394
第四节 离心加速度试验	395

VIII

一、概述	395
二、离心加速度试验公式的推导	396
三、离心加速度试验参数的确定	399
四、离心加速度试验方法	400
五、离心加速度试验设备	405
六、离心加速度试验注意事项	407
第五节 机械强度试验后产品的质量检验	407
一、外观检查	407
二、性能检查	407
 第七章 特种试验	
第一节 砂尘试验	408
一、概述	408
二、砂尘对电器产品的影响	409
三、砂尘试验参数的确定	410
四、砂尘试验方法	412
五、砂尘试验设备	419
六、砂尘试验注意事项	420
七、砂尘试验后产品的质量检验	420
第二节 淋雨试验	421
一、概述	421
二、淋雨对电器产品的影响	422
三、淋雨试验参数的确定	422
四、淋雨试验方法	425
五、淋雨试验设备	427
六、淋雨试验注意事项	428
七、淋雨试验后产品的质量检验	428
第三节 炮振试验	429
一、概述	429
二、炮振对电器产品的影响	429
三、炮振试验参数的确定	430
四、炮振试验方法	431
五、炮振试验设备	432
六、炮振试验后产品的质量检验	432
主要参考书目	432

第一章 概 论

第一节 航空电器试验的重要意义

航空电器广泛应用于飞机和发动机的操纵、液压、电气、燃油、起动以及状态操纵等各个系统,是飞机的重要组成部分之一。

随着现代军用和民用飞机的迅速发展,不仅采用电器产品的种类愈来愈多,而且技术要求也愈来愈高,并逐步向电子化、小型化、高精度、高可靠性的方向发展。要求电器产品在所属系统的电路中能准确可靠地工作,以确保飞机在各种复杂环境条件下安全飞行,并完成战斗和运输任务。不难想像,倘使某一个电器产品发生故障,将会对飞机的飞行造成极大影响,严重时甚至导致机毁人亡。因此,确保航空电器产品的使用可靠性具有特殊重要的意义。

航空电器制造工厂为确保产品的质量要求,对原材料、外购成件、零部件制造工艺、产品总装试验、封存包装以及计量基准的传递等每一个环节都将设置各种组织机构,制订各种规章制度,进行严格的科学管理。同时配备一定比例的质量监控人员,对生产的全过程进行全面质量管理工作,把质量隐患消灭在生产过程中。对电器产品进行试验是控制产品质量的一个重要手段,它是对产品在各种环境条件下是否符合总的技术要求并能稳定、可靠地进行工作的综合性考核。因此,航空电器产品在制造过程中和出厂时都必须进行严格的、全面的试验鉴定,只有在完全满足技术条件要求的情况下,才允许出厂装机使用。对于参加试验鉴定工作的人员来说,必须认真负责、一丝不苟地把好质量关。对于不负责任、玩忽职守的人员,应该进行批评教育,直至采取必要的手段进行制裁。

第二节 航空电器试验的基本依据

航空电器试验是根据电器产品在飞机上的不同安装部位和不同环境条件,通过模拟性试验来考核其技术性能是否符合产品总的技术要求。有时同一个产品在同一时间内既有机械力作用和电作用参数的变化,又有温度、湿度、盐雾、气压等环境条件的变化。而这些环境变化因素对产品的影响,有的在短小时内就能显现出来,而有的则作用十分缓慢。要在一个与飞机飞行完全一样的环境条件下对航空电器产品进行试验是不可能的。那么,电器产品的试验环境条件应如何确定呢?只要我们对飞机所处环境条件进行仔细分析,不难看出,飞机飞行的总的环境条件是由各种单一的环境条件组成的。其中有的单一环境条件对电器产品的影响既各不相同,而其相互间的影响又不是很大。例如,机械力作用和气候环境条件(温度、湿度等)对产品造成的主要影响不完全相同,其相互间的影响也不是很大。但有些环境条件相互影响较大,而且对产品造成的影响也与单一的环境条件不同。例如,温度环境条件(高温、低温)与湿度环境条件以及温度环境条件与低气压环境条件等。因此,在确定电器产品试验环境条件时,必须考虑以下两个原则。

a. 确定试验环境条件应在设备条件的许可下最大限度地模拟飞机实际所处的环境条件,特别是相互间影响较大的环境条件,应尽可能组合在一起而成为一个简单组合的环境条件。

b. 确定的环境条件对电器产品的影响,应达到短时试验作用的效果近似于实际环境条件对电器产品长期作用的效果。

按照上述原则确定的试验环境条件,其效果与飞机飞行的实际环境条件比较接近。这就是目前国内外普遍采用的试验室人工模拟试验方法。

自然界的环境是多变的,而电器产品的模拟试验环境不可能按多变的条件来确定,也不可能把产品分别在多种环境中做试验。

为了统一试验标准, 简化试验程序, 必须制订一套统一的标准环境条件, 使电器产品处在标准环境条件中进行试验考核。目前, 在我国航空工业部门的统一组织下, 根据各种航空电器的技术要求和环境条件, 并参考国外的试验标准, 已制订出五种标准试验条件 (见表 1-1), 现分述如下。

表1-1 标准环境条件

序号	标准条件	温度 (℃)	相对湿度 (%)	气压 (毫米汞柱)	时 间
1	标准基准条件	20	—	760	按产品技术条件规定 按产品技术条件规定
2	标准试验条件	15~35	45~75	630~800	
3	标准验证条件	20 ± 1	63~67	630~800	
4	标准恢复条件	15~35	45~75	630~800	
5	标准干燥条件	55 ± 5	≥20	630~800	

1. 标准基准条件

航空电器产品的技术指标, 当未注明大气条件时, 就是指标准基准条件下规定的指标。标准基准条件也是比较条件, 当两个产品进行性能比较时应在同一条件下进行。如果条件不同, 则应将产品在其它条件下测得的值换算到标准基准条件下的数值。

2. 标准试验条件

- a. 当产品技术条件未规定大气条件时。
- b. 对大气条件没有特殊要求时。
- c. 无法确认大气条件对试验结论的影响程度时。

只要符合上述三条中任何一条, 那么被试产品的试验和测量就可在标准试验条件下进行。

当确认大气条件对该项试验的结论没有决定性影响时, 允许试验和测量时的大气条件超出标准试验条件所规定的范围, 也即允许试验和测量在当时当地的大气条件下进行。

3. 标准验证条件

当产品在标准试验条件下进行试验, 但对试验结论因大气条

件而产生疑问时，那么产品应在标准验证条件下进行该项试验的验证，并以验证结论为准。

4. 标准恢复条件

为了得到正确的试验结论，产品技术条件中规定在试验前和（或）试验后需进行恢复处理：

a. 试验前恢复处理的目的是，主要是消除或部分消除产品过去受到环境温度的影响；

b. 试验后恢复处理的目的是，主要是消除试验对产品造成的应力影响，使产品的特性在测量前得到稳定。

当产品技术条件要求在试验前和（或）试验后对产品进行恢复处理时，则应在标准恢复条件下进行。标准恢复条件同标准试验条件。恢复时间按产品技术条件的规定。

5. 标准干燥条件

干燥处理的目的是，主要是消除由于环境的影响而使产品内部产生的潮汽或水分。当产品技术条件规定在试验前和（或）试验后对产品进行干燥处理时，则应在标准干燥条件下进行。

第三节 航空电器技术条件概述

航空电器技术条件包括安装、性能、强度、寿命等一系列的技术要求，是根据对飞机的总的性能要求提出来的，它是检查和验收电器产品的依据，因而也是飞机总体技术条件的一个组成部分。

电器产品在飞机上的工作条件是随机种以及在机上的安装部位而决定的。它与地面使用的电器产品的工作条件不同，其主要差别有下列三个方面：

a. 耐振动和耐冲击条件；

b. 耐温度条件；

c. 耐低气压条件。

由于这些条件的不同，对航空电器产品提出了以下一些特殊要求。

1. 耐振动和耐冲击条件

随着现代航空技术的发展，特别是飞行速度的加大，安装在飞机上的电器产品所受的机械力也相应增大，并经常处于振动、冲击、加速度等机械力的强烈作用下，要求电器产品在这些机械力的最大作用下仍能正常可靠地工作，并具有足够的强度和寿命。

2. 耐温度条件

飞机在冬天或夏天，不论是在地面停机或处于飞行状态下，都会遇到高温和低温的环境，有时在短时间内还有可能会遇到温度突变的环境。这种温度的突变，会对安装在飞机内、外的电器产品的工作特性产生一定的影响，因而要求电器产品在这种情况下仍能正常可靠地工作。

3. 耐低气压条件

随着飞机飞行高度的增大，周围大气的压力、温度、密度等物理参数均会发生变化，一般是高度增大则大气压力减小，而同时温度降低。在这种低气压条件下，一般说来对电器产品的工作是不利的。但要求电器产品在这种低气压条件下仍能正常可靠地工作。

4. 其它要求

包括绝缘电阻的大小、绝缘介电强度、防腐蚀、防潮湿、防砂尘以及防霉菌，等等。

第四节 航空电器的试验分类和试验项目

一、样品试验

对于自行设计的产品，为了考验设计资料是否正确，可按照初步设计资料先造出样品，并按照技术条件对样品进行试验考核，这种试验称为样品试验。经样品试验如果合格，则可将初步设计资料整理成为正式设计资料，从而进行设计定型，并转入新品试

生产阶段。

二、定型试验

对自行设计的产品，当完成设计定型后转入新品试生产阶段或对仿制产品处于仿制试生产阶段时，为考核该项产品的工艺资料、冷热加工工艺、工艺装备以及非标准试验设备等条件是否能满足产品的技术要求，是否合理，需按产品技术条件要求进行全部规定项目的试验，这种试验称为新品定型试验。经定型试验合格的产品，才能鉴定定型转入成批生产。

三、检查试验

检查试验是电器产品总装完工后的一道检查工序。当每批投入生产的产品总装完工后，必须按产品技术条件规定的要求，对每台产品进行检查试验，试验符合要求后，再提交用户作验收试验，经验收试验合格后，方可出厂。

四、验收试验

验收试验是用户按产品技术条件或技术协议要求，为验收厂方提供的产品时所进行的试验。在一般情况下，经厂方试验合格的产品，用户有权进行抽查验收。

五、型式试验

对于成批生产的产品，每隔一定时间为考核产品在成批生产中的质量稳定情况，或当产品在结构、制造工艺以及所用材料等经过更改，为考核产品能否满足技术条件的要求，需要进行全部规定项目的试验，这种试验称为型式试验。型式试验的间隔时间由产品技术条件确定，例如每隔三个月，半年或一年进行一次。

六、研究性试验

研究性试验主要包括工艺性试验和设计结构更改试验两个方面，研究性试验的目的和任务为：

- a. 对成批生产的产品所发生的质量问题进行分析研究；
- b. 拟定新的产品设计结构或改进产品现有的设计结构；
- c. 确定某种代用材料或采用某种新工艺、新技术的可能性；
- d. 考核产品能否满足技术条件以外的特殊要求。

对于上述六种试验项目，由于航空电器产品种类繁多，技术要求也有差异，因而不可能作统一规定，一般除研究性试验按需要规定其试验项目外，样品试验、定型试验、检查试验、验收试验以及型式试验均按产品技术条件规定的项目进行，归纳起来有下列共同性的试验项目：

- | | |
|----------------------|------------|
| ① 外观检查（包括安装尺寸、外廓尺寸）； | ⑨ 常温低气压试验； |
| ② 绝缘电阻测量； | ⑩ 湿热试验； |
| ③ 绝缘介电强度试验； | ⑪ 霉菌试验； |
| ④ 低温试验； | ⑫ 盐雾试验； |
| ⑤ 高温试验； | ⑬ 振动稳定性试验； |
| ⑥ 温度冲击试验； | ⑭ 振动强度试验； |
| ⑦ 低温低气压试验； | ⑮ 着陆冲击试验； |
| ⑧ 高温低气压试验； | ⑯ 离心加速度试验； |
| | ⑰ 寿命试验。 |

目前，国内航空电器环境试验项目与美、英、日等国的试验标准基本相近。近几年来，这些国家已逐步制造多种环境条件组合的环境试验设备，如程序控制的温度振动联合环境试验设备等。

第二章 电气性能试验

第一节 绝缘电阻

一、概 述

根据物质的电特性可将它们分为三类。电流能够自由通过的物质称为导体，它的电阻系数一般在 $10^{-8} \sim 10^{-3}$ 欧·厘米范围内。电流不能自由通过的物质称为绝缘体，它的电阻系数一般在 $10^8 \sim 10^{20}$ 欧·厘米范围内。再有一种物质是介于导体和绝缘体之间的半导体，它的电阻系数在 $10^{-3} \sim 10^8$ 欧·厘米范围内。

绝缘的含义就是不导电，不导电的材料就称为绝缘材料。理想的绝缘材料应该是一点电流也通不过去。实际上，存在于宇宙间的所有物质，不论其具有什么样的结构及处于何种状态（气态、液态和固态），都不同程度地具有传导电流的能力，理想的绝缘体是不存在的。

任何物质皆由分子组成，分子由原子组成，而原子又由荷电质点（电子和离子）所构成。不同的物质具有不同的分子和原子结构。对导体而言，其原子外层的电子和原子核结合较为松弛，原子核对电子的吸引力就较小，所以电子很容易从原子中逸出，这种较容易逸出的电子就称为自由电子（自由电荷）。自由电子越多，导体的导电性能就越好。对绝缘体来说，它们都是由共价键和离子键所组成，由于这些键的结合力很强，荷电质点被束缚，很少有自由电荷存在。但是由于绝缘体本身以及外来杂质的影响下，使得绝缘体中间或多或少地总是存在着一些自由电荷，它们在电场作用下，自由电荷（离子性）朝某一方向移动而形成电流。自由电荷越多，所产生的电流就越大。而这种自由电荷的多