



真空电子器件测试

徐承浩 王克雄 主编
梁广祯 主审

ZHEN KONG
DIANZIQIJIAN
CESHI

电子工业出版社

73.61
519

真空电子器件测试

徐承浩 王克雄 主编

梁广祯 主审

电子工业出版社

内 容 简 介

本书介绍了各类真空电子器件测试的主要内容、基本原理、测试装置和误差分析。包括一般参数测试和特有参数测试两部分。一般参数部分包括：基本电参数、微波参数、基本光参数、可靠性试验、测试数据处理；特有参数部分包括：大功率发射管、微波电子管、电子束管、光敏管、离子管、X射线管、电光源、气体激光管、真空开关管及真空电容器等器件的特有参数。全书共十五章，每章末均有习题。

本书可供从事真空电子器件制造和使用的工程技术人员和管理人员作为工作和学习的资料，可供有关中等专业学校、技工学校和职业学校作为教学用书。本书已定为真空电子企业中级工人技术培训的必修教材之一。

DS80/14

真空电子器件测试

徐承浩、王克雄 主编

梁广祯 主审

责任编辑 姬楚

电子工业出版社出版（北京海淀区万寿路）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

妙峰山印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：13.875 字数：311千字

1986年12月第一版 1986年12月第一次印刷

印数：1—5,000册 定价：2.65元

统一书号：15290·391

出版前言

为了加速企业智力开发,提高职工素质,受电子工业部的委托,由中国电子器件工业总公司组织,编写了这套中级技术理论教材,包括:《显象管与其它光电器件》、《电光源与离子器件》、《微波管与发射管》、《电子管与电光源制造工艺》、《真空电子器件测试》、《真空电子器件新材料》、《真空技术》、《公用动力工程》、《电真空玻璃》和《现代班组管理》共十本书。这套书是电真空企业中级技术培训的必修教材,并可供有关中专学校、技工学校和职业学校作为教学用书,也可作为企业管理干部以及工程技术人员学习和工作的参考。

全套书的编审工作,由中国电子器件工业总公司教育处组织成立的“真空电子器件专业中级技术教材编委会”负责。聘请了772厂、774厂、776厂、741厂和4400厂担任主编审工作,并请773厂、777厂、4401厂、杭州电子管厂参加了部分章节的编写。从1984年10月开始,经过一年多时间的共同努力和紧张工作,完成了这套教材的编审任务。

编委会成员如下:刘大全为主任委员;赵钟祺、陈遥芻、王仁道、徐承浩、王明恕、张省德、盛定、李廷高为委员;李廷高为秘书长;侯文秀、钱云庆为常务秘书。

《真空电子器件测试》由徐承浩和王克雄主编,梁广祯主审,其中第1、2章由王克雄编写,第3、8章由徐承浩、王克雄、刘表鸿、李诀编写,第4、13章由范志峰编写,第5、

6章由刘表鸿编写,第7章由吴兆安编写,第9章由蒙义伯、周寅根、胡开萍编写,第10章由史久德编写,第11章由汪凡、严增濯、刘永桃编写,第12章由胡友成编写,第14章由钟云编写,第15章由冯辅义、刘玉兰编写。另外,张扬富同志参加了第8章的编写工作,谭大政和王仁道同志参加了审稿、梁政法同志作了大量具体工作。

北京显象管厂、上海电子管二厂、新安江电子管厂为最后的审定工作给予了支持,齐燕、孙瑞英、赵世昌等同志在审定会上提出了宝贵意见,在此一并感谢。

为了能及时提供企业开展中级技术培训工作,整个编审过程比较仓促,加之水平有限,错漏之处在所难免,请读者给予批评指正。

真空电子器件专业中级技术教材编委会

目 录

第一章 结论	(1)
§ 1.1 测试与真空电子器件的质量	(1)
§ 1.2 真空电子器件测试的基本内容	(3)
第二章 基本电参数测试	(7)
§ 2.1 真空电子器件的基本电参数	(7)
§ 2.2 工作状态参数的测试	(8)
§ 2.3 灯丝特性和阴极发射能力的测试	(11)
§ 2.4 示波器时域测量和频谱分析仪频域测量	(13)
第三章 微波参数测试	(22)
§ 3.1 概述	(22)
§ 3.2 微波场强、功率、频率的测量	(30)
§ 3.3 微波阻抗(导纳)的测量	(50)
§ 3.4 微波管谐振系统品质因数的测量	(63)
第四章 基本光参数测试	(90)
§ 4.1 光计量基础	(90)
§ 4.2 光强和照度的测量	(91)
§ 4.3 光通量的测量	(96)
§ 4.4 亮度的测量	(101)
§ 4.5 脉冲光源光参数的测量	(102)
§ 4.6 光谱能量分布的测量	(107)
§ 4.7 颜色的测量	(111)
第五章 可靠性试验	(115)
§ 5.1 可靠性的基本概念	(115)
§ 5.2 计数抽样的一般原理	(132)

§ 5.3	周期试验的主要项目和试验程序	(139)
§ 5.4	几个环境参数的测量方法	(154)
§ 5.5	寿命试验	(157)
§ 5.6	电子束管的防爆试验和压力试验	(164)
第六章	测试数据处理	(167)
§ 6.1	概述	(167)
§ 6.2	误差与有效数字	(170)
§ 6.3	测试数据的处理方法	(182)
第七章	大功率发射管测试	(186)
§ 7.1	主要参量和测试特点	(186)
§ 7.2	静态特性曲线的测量	(189)
§ 7.3	跨导、放大系数和内阻	(194)
§ 7.4	输出功率的测量	(197)
第八章	微波电子管测试	(200)
§ 8.1	微波三、四极管的测试	(200)
§ 8.2	速调管的测试	(207)
§ 8.3	磁控管和正交场放大管的测试	(217)
§ 8.4	行波管和返波管的测试	(228)
§ 8.5	气体放电天线开关管的测试	(248)
第九章	电子束管测试	(270)
§ 9.1	概述	(270)
§ 9.2	显示用电子束管主要参数的测试	(275)
§ 9.3	直观式储存管的测试	(286)
§ 9.4	摄象管的测试	(292)
§ 9.5	彩色显象管的测试	(302)
第十章	光敏管测试	(316)
§ 10.1	概述	(316)
§ 10.2	光电管参数和特性的测试	(316)
§ 10.3	光电倍增管参数和特性的测试	(322)

§ 10.4	象管参数的测试	(334)
第十一章	离子管测试	(340)
§ 11.1	氢闸流管的测试	(340)
§ 11.2	计数管的测试	(348)
§ 11.3	电晕放电稳压管的测试	(353)
第十二章	X射线管测试	(360)
§ 12.1	X射线管主要参数	(360)
§ 12.2	X射线管测试用的主要设备	(362)
§ 12.3	X射线管的测试	(364)
第十三章	电光源测试	(370)
§ 13.1	白炽灯光电参数的测试	(370)
§ 13.2	荧光灯光电参数的测试	(376)
§ 13.3	高压汞灯的测试	(382)
§ 13.4	高压钠灯的测试	(388)
第十四章	气体激光器测试	(391)
§ 14.1	气体激光器参数及常用测试仪器	(392)
§ 14.2	激光参数的测试	(398)
第十五章	真空开关管及真空电容器测试	(406)
§ 15.1	真空开关管的测试	(406)
§ 15.2	真空电容器的测试	(425)

第一章 绪 论

§1.1 测试与真空电子器件的质量

1.1.1 测试在真空电子器件制造中的重要意义

测试是真空电子器件制造中不可缺少的工序，是真空电子器件质量不可缺少的保证。作为产品的加工制造工序，测试是真空电子器件零部件和整件的加工调整手段；作为生产厂家提交用户之前和用户使用产品之前的检验，测试是判断产品合格与否的手段。

在许多器件生产厂家，生产车间在装配成品之前要对关键零部件进行测量，并对其电参数进行调整，不少器件的整件也要根据电参数的测量结果进行必要的调整，以便保证成品具有用户要求的性能。为了保证产品的质量，生产车间制成的器件在提交用户前必须由工厂的专业检验部门进行一套检验性测试。

在真空电子器件制造厂家，由熟练掌握测试技术的人员准确测量和调整，是获得高质量产品所必要的，是保证厂家声誉所不可缺少的。

1.1.2 测试与真空电子器件用户

根据产品说明书和产品标准，用户就能够充分了解产品的电参数和使用性能，从而进行选择。不同厂家产品质量不同，同一厂家的不同批次产品的质量有区别，同一批产品的性能也不可能完全一样。根据产品标准，用户使用，不一

定都能得到预期的效益。为此，用户就必须检测，判断它是不是符合产品标准。

用户要检验真空电子器件就必须掌握正确的测试方法，懂得测试原理。这是用户获得预期使用效益所不可缺少的条件。

1.1.3 技术标准

判断真空电子器件质量好坏的尺度是其技术标准。

《中华人民共和国标准化管理条例》规定，技术标准是从事生产建设工作以及商品流通的一种共同技术依据。凡是正式生产的工业产品、重要农产品、各类工程建设、环境保护、安全和卫生条件，以及其他应当统一的技术要求，都必须制订标准，并贯彻执行。还规定，技术标准每隔三至五年复审一次，分别予以确认、修订或废止。

真空电子器件在生产制造及商品交货时的测试都应当依照相应技术标准进行。按产品的种类和型号划分，真空电子器件的技术标准有总标准和产品标准两种。总标准规定了一类真空电子器件的共同要求，例如《脉冲磁控管总标准》统括了脉冲磁控管测试的共同要求。产品标准规定一种具体型号产品的技术要求，例如《KF-115型连续波功率放大速调管》是功率放大速调管总标准的具体说明和补充。总标准又称为总规范或总技术条件，产品标准又称为活页规范（详细规范）或分技术条件。对于每一类产品，通常都制定有测试方法标准。

按照技术标准的制订级别，我国技术标准分为国家标准、部标准（专业标准）、企业标准三级。国家标准由国务院有关主管部门拟定，由国家标准总局、国务院有关部、委

或由国务院直接审批。国家标准是我国最高技术标准，部标准、企业标准不能与之抵触。部标准是全国性各专业范围内的统一标准，由主管部门制订和审批。企业标准不得与部标准相抵触。部标准应当逐步向专业标准过渡。没有制订国家标准、部标准的产品都要制订企业标准。为了不断提高产品质量，企业标准的技术指标可以比国家标准、部标准先进。为了促进我国科技进步，为了提高我国产品在国际上的竞争能力，要积极采用国际标准（包括国际标准化组织ISO 和国际电工委员会IEC所制订的标准）和国外的先进企业标准、公司标准。

§1.2 真空电子器件测试的基本内容

1.2.1 测量与计量

测量是人类对自然界的一种认识手段，是要对客观事物取得数量观念的认识。测量就是用专门的设备和仪器，用一定的方法，求出以所采用的测量单位表示的未知量的数值大小。

计量与测量密切相关，在测试工作中经常要遇到计量。计量也是一种测量。对一个未知量进行计量就是通过未知量与经过精确确定、并且被国家计量部门认可作为计量标准的单位之间的比较，来测定未知量。在一般的测量中，用以比较的单位就不一定经过精确确定，也不须要国家计量部门认可作为计量标准。

1.2.2 参数的测量与调整

参数的测量是真空电子器件测试的重要内容，但不是测试的全部内容。在生产车间的测试工作中，参数测量只是一

个组成部分。有不少种类的真空电子器件，在测试工作中，更大量的工作是根据参数的测量结果对产品进行调整，使参数达到规定的范围。

1.2.3 真空电子器件参数在检测中的基本分类

在真空电子器件的检测中有两类检测项目，每个项目要测量一些参数：

1.全数检验项目 (JQ)：交验的每个器件都需要检测的项目。

2.抽样检验项目 (JC)：只对以规定的方法从成品中随机抽取的样品进行检测的项目。

真空电子器件常常在下面四种情况下进行参数检测：

1.成品检验 (CP)：包括JQ和JC类项目的参数。

2.交收检验 (JS)：是应用户要求检验一些参数，可以是JQ和JC项目参数的一部分或全部。

3.例行试验 (LX)：是根据产品标准规定的周期按规定的抽样方法抽取样品，在各种模拟环境下进行检测。

4.寿命试验 (SM)：按规定周期抽取样品，使样品处于工作条件下，在规定时间检测产品参数。这是判断产品寿命长短的参考依据。

各型真空电子器件成品需要检测的项目和检测的方法在产品标准中规定。

1.2.4 测试条件

真空电子器件参数测试应当在规定的条件下进行。一方

面，测试条件直接关系到测试结果的准确程度和精密程度。例如，使用500V的1级电压表测量阳极电压，得到的阳极电压数据就只能保证 $\pm 5\text{ V}$ 的测试误差。另一方面，在许多真空电子器件的测试中，需要采取防护措施，否则就会伤害操作人员。例如，测试电源的高电压及高电压下产生的X射线辐射、一些微波管测试中出现的微波辐射，都需要采取措施予以防护。因此，真空电子器件的测试文件都对测试条件作了明确的规定。

不同管种、不同管型对测试条件提出的具体要求不同，通常有以下几方面：

1.对测试装置的要求

(1)电气测试用的各种设备应符合电气设备的现行规程和标准。同时，应符合安全技术要求。

(2)每台设备应具备 a、电原理图；b、使用说明书；c、必备的附件；d、合格证；e、仪表校验卡(在允许使用期内)。

(3)使用有管座的设备，管座插孔间绝缘电阻应不小于产品标准允许的下限。

2.对测试仪表的要求

(1)精度不低于产品标准的要求。例如，在1至1.5级。

(2)量程大小适当。测试时，读数在量程的三分之一到满度值之间。

(3)有过载保护。

3.对各极电源的要求

(1)稳定度足够高。通常是要求供电电网电压变化 $\pm 1\%$ 时的电源输出电压的变化量。

(2)纹波含量(波纹系数或波纹电压)足够低。对直流电源，有此要求。

(3)容量高或内阻低。电源容量不足，测试中输出电压会不稳定。

(4)漂移小。在一项参数的测试过程中，电源输出电压（或电流）的漂移不能超过规定。

(5)输出脉冲波形符合规定。脉冲工作的产品有此要求。

4.对环境参数的要求

温度、湿度、气压、光照、辐射、磁场（包括地磁场）分别会影响一些真空电子器件的测试，其值应予控制。

各种类、各型号的产品对测试条件的要求在产品标准中都有具体规定。产品标准对测试条件的要求经常是引用该产品所属器件种类的总的测试条件标准，再根据具体产品的要求作必要的补充。

* * * * *

由于真空电子器件专业的生产厂家在生产真空电子器件的同时也生产电光源、真空开关管等器件，本教材既讲真空电子器件的测试也讲电光源、真空开关管等器件的测试。

习 题

- 1.真空电子器件测试对制造厂、对用户有什么重要意义？
- 2.技术标准有哪一种？相互关系如何？
- 3.什标是测量？计量和测量有什么不同？
- 4.真空电子器件有哪两类检测项目？它们分别在哪四种情况下检测？
- 5.真空电子器件测试通常要求哪此方面的条件？

第二章 基本电参数测试

§2.1 真空电子器件的基本电参数

在真空电子器件专业中级理论教材全套书中，讲述器件的三个分册讲过许多真空电子器件。不同类型的真空电子器件的参数种类差别较大，但也有一些共同的基本参数。

真空电子器件参数的测量离不开电子测量。和其他电子测量一样，真空电子器件电参数测量总是以三种基本电参数的测量为基础。也就是以电能的测量、电信号特性的测量和电路结构参数的测量为基础。真空电子器件的其他电参数都可以从这三种基本电参数推导出来。即：

(1) 电能量参数 这是表征电能量的一系列参数。例如，电流、电压、电功率、噪声、场强等。

(2) 电信号特性参数 这是表征电信号特性的各类参数，例如，频率、相位、脉冲波形、调制度、失真度、频谱。

(3) 电路结构参数 各种真空电子器件总是要接到一个电路中使用。作为电路的一部分，真空电子器件有它的电路参数，即电阻、电感、电容、复数阻抗、品质因数、衰减、相移等等。

除开收信放大管、大功率发射管、微波电子管、电子束管等真空电子器件之外，真空电子器件专业工厂还生产光敏管、X光管、电光源、真空开关管、真空电容器等器件。一些器件所具有的另一类基本参数——光学参数，将在第四章

讲述。信号的频率升高到微波范围时，电参数的测量会出现许多新的特点。微波参数的测试将在第三章中讲述。

大多数真空电子器件共有的基本电参数测试包括：工作状态参数测试、阴极发射能力测试和示波器时域测试、频谱分析仪频域测试。

§2.2 工作状态参数的测试

各种真空电子器件都应当提供使用性能。例如，电光源供给光照；大部分微波管产生或放大微波信号；电子束管实现电信号和光信号的转换等等。真空电子器件总要在一定的工作状态下才能提供所需要的使用性能。真空电子器件的工作状态主要由它们的各电极电压、电流来表征。例如，白炽灯的工作电压、工作电流；磁控管的腔体电压和阴极电流、灯丝电压和灯丝电流；彩色显象管的调制极电压、聚焦极电压、阳极电流等等。电压和电流的基本测量方法在《电工》教材中已经讲过，这里仅对这两种测量的误差进行分析。

测量方法不当会使电压、电流的测量准确度、精确度达不到产品标准的要求。使电压、电流测量误差加大的主要原因是测量仪表精度不足和内阻大小不当。

一、电极电压的测量误差

1. 电压测量仪表的精度

电压、电流测量仪表属于电子测量仪表。电子测量仪表分为模拟式仪表和数字式仪表两大类。模拟式仪表又称电测量指示仪表，它们都有一个标度尺和一个可移动的指针或可移动的光点。模拟式仪表的特点是把被测量的参数（例如电

压、电流)转换为指针或光点的几何位移,再由指针或光点在标度尺上指示出被测参数的数值。数字式仪表没有标度尺也没有用来指示数值的指针或光点,而以数字形式直接显示出被测参数的值。常用的数字式仪表有数字式电压表、数字式电流表、数字式多用表、数字式频率计等等。和模拟式仪表相比,数字式仪表精度高误差小,读数清晰、时间响应快。有的数字式仪表还能自动变换量程,能输出必要的信号来实现自动化控制。

模拟式电子测量仪表的精度(准确度)分为七个等级:0.1级、0.2级、0.5级、1.0级、1.5级、2.5级、5.0级。仪表的测量误差等于该仪表的满度值的百分之一乘以该仪表的精度等级数值。例如,满量程500V的0.5级电压表的最大误差是 $(500V + 100) \times 0.5 = 2.5V$ 。七种精度等级仪表的基本误差(即允许误差)在满刻度中占的百分比见表2-1。精度等级数字越小,仪表误差越小。

表 2-1 模拟式电子仪表的基本误差

精度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差 (%)	± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 2.5	± 5.0

数字式电压表的误差包括两部分,通常表示为:

$$\pm a\% \times \text{测量值} \pm n \text{字}$$

这里,“a%”是指示值的相对误差,“±n字”表示指示值的末位数有±n个字的误差。“±n字”表示的误差与被测量的大小无关,是一个和满度值成比例的系统误差。用数字电压表测量电压的误差等于指示值乘上数字电压表的相对误差