



检 / 修 / 技 / 巧 / 丛 / 书

仪器仪表 检修技巧



陈忠 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

检修技巧丛书

仪 器 仪 表 检 修 技 巧

主 编	陈 忠				
副主编	戴 斌	张胤含			
参 编	张校珩	孔海颖	邹 全	张 杰	
	张博虎	曹振华	张海潮		
主 审	赵学敏				



机械工业出版社

仪器仪表广泛应用于工业、农业、国防、交通等各个领域,正确掌握仪器仪表的使用、维护与检修至关重要。因此,本书针对仪器仪表检测人员遇到的各种实际问题,选取具有典型性和代表性的、常用的仪器仪表为对象,对主要内容进行精心选择,深入浅出、通俗易懂地为生产一线技术人员讲述了有关仪器仪表检修的一些基础知识,以及电测量仪表、分析仪器、材料试验仪器及温度测量仪表的检修技能。尤其是在维修技术方面,本书推出了不少简便易行,灵活独特的检测、维修方法,做到理论与实践并重,是一本较好的科普读物。

本书既适合仪器仪表维修专业人员、操作者和检测人员使用,又可作为开设仪器仪表专业的技校、中等职业学校的配套教材,同时还可以作为从事计量与测量工作人员进行短期培训的教材。

图书在版编目(CIP)数据

仪器仪表检修技巧/陈忠主编. —北京:机械工业出版社, 2007. 2
(检修技巧丛书)
ISBN 978 - 7 - 111 - 20923 - 2

I. 仪… II. 陈… III. ①仪器—检修②仪表—检修 IV. TH707

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 023594 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:王振国 版式设计:霍永明 责任校对:樊钟英
封面设计:鞠 杨 责任印制:杨 曦
北京蓝海印刷有限公司印刷
2007 年 4 月第 1 版第 1 次印刷
184mm × 260mm · 11.75 印张 · 1 插页 · 292 千字
0001—4000 册
标准书号:ISBN 978 - 7 - 111 - 20923 - 2
定价:21.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294
购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643
编辑热线电话:(010) 88379077
封面无防伪标均为盗版

前 言

仪器仪表广泛应用于工业、农业、国防、交通等各个领域，随着科学技术的不断发展和提高，仪器仪表也经历了一个由简单到复杂的发展过程，即从简单的机械仪表发展到现在的自动化程度很高的检测仪器。在生产过程中，仪器仪表的精确度和灵敏度是进行安全高效生产的重要保证。因此，正确掌握仪器仪表的使用、维护与检修是非常必要的。为了培养更多更好的专业维修人员，本书编者凭借多年丰富的维修与教学经验，总结出多种仪器仪表的使用、维护、检修及测试方法，力求理论联系实际，深入浅出、通俗易懂地编写了一本深受读者喜爱的工具书，使广大读者更多地了解仪器仪表的基础知识，掌握仪器仪表检修的基本操作技能，同时也为生产操作人员和专业维修人员及一线计量检测人员提供有力的帮助。

本书由陈忠任主编，戴斌、张胤含任副主编，参加编写的还有张校珩、孔海颖、邹全、张杰、张博虎、曹振华、张海潮，由赵学敏任主审。

由于编者水平有限，错误和疏漏在所难免，殷切希望广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 仪器仪表检修基础知识 1

1.1 概述 1

1.1.1 仪器仪表的作用 1

1.1.2 仪器仪表的组成 1

1.1.3 仪器仪表的分类 2

1.1.4 仪器仪表检修的重要性 2

1.2 模拟显示仪表 2

1.2.1 指针式表头 3

1.2.2 测量电路 5

1.2.3 故障检修 6

1.3 数字电路基础知识 8

1.3.1 门电路 8

1.3.2 触发电路 10

1.3.3 计数器 13

1.3.4 数码显示器与电平显示器 14

1.4 基本集成电路 16

1.4.1 集成运算放大器 16

1.4.2 A/D 转换电路 24

1.5 电子元器件检测方法 26

第2章 电测量仪表的检修 39

2.1 电流表 39

2.1.1 电流表的分类 39

2.1.2 电流表的使用 40

2.1.3 故障检修 40

2.2 电压表 41

2.2.1 电压表的分类 41

2.2.2 电压表的使用 42

2.2.3 故障检修 42

2.3 万用表 42

2.3.1 模拟万用表 42

2.3.2 数字万用表 56

2.4 功率表 58

2.4.1 工作原理 58

2.4.2 接线方法 59

2.4.3 故障检修 61

2.5 绝缘电阻表 62

2.5.1 使用说明 62

2.5.2 工作原理 63

2.5.3 故障检修 64

2.6 接地电阻测量仪 64

2.6.1 使用方法 65

2.6.2 工作原理 66

2.6.3 故障检修 66

2.7 安全耐压测试仪 67

2.7.1 工作原理 68

2.7.2 使用方法 68

2.7.3 故障检修 70

2.8 耐压绝缘电阻自动测试仪 71

2.8.1 工作原理 74

2.8.2 仪器校准 81

2.8.3 故障检修 84

2.9 电容分选仪 86

2.9.1 使用方法 86

2.9.2 工作原理 93

2.9.3 性能检查 95

2.9.4 故障检修 96

第3章 分析仪器的检修 98

3.1 分光光度计 98

3.1.1 721 型分光光度计 98

3.1.2 723 型紫外分光光度计 103

3.1.3 UG751GD 型紫外分光光度计 105

3.2 电导率仪 116

3.2.1 工作原理 117

3.2.2 使用方法 118

3.2.3 注意事项 120



3.2.4 故障检修	120	4.4.3 故障检修	147
3.3 酸度计	121	4.4.4 维护保养	149
3.3.1 工作原理	121	4.5 数字万能材料试验机	151
3.3.2 基本结构	122	4.5.1 工作原理	151
3.3.3 故障检修	128	4.5.2 使用方法	152
第4章 材料试验仪器的检修	130	4.5.3 故障检修	153
4.1 硬度计	130	4.6 扭转试验机	154
4.1.1 布氏硬度计	130	4.6.1 工作原理	154
4.1.2 洛氏硬度计	131	4.6.2 使用方法	155
4.1.3 维氏硬度计	132	4.6.3 故障检修	156
4.1.4 故障检修	132	第5章 温度测量仪表的检修	157
4.2 电动抗折试验机	134	5.1 动圈式温度仪表	157
4.2.1 概述	134	5.1.1 工作原理	157
4.2.2 使用方法	135	5.1.2 故障检修	160
4.2.3 故障检修	136	5.2 数字温度显示仪表	162
4.3 弹簧拉力试验机	137	5.2.1 工作原理	162
4.3.1 概述	137	5.2.2 故障检修	176
4.3.2 使用方法	139	5.3 电子电位差计	179
4.3.3 故障检修	141	5.3.1 工作原理	179
4.4 万能材料试验机	142	5.3.2 故障检修	180
4.4.1 工作原理	142	参考文献	182
4.4.2 使用方法	146		

第1章 仪器仪表检修基础知识

1.1 概述

所谓仪器,就是指在科学技术上用于实验、计量、观测、检验、绘图等比较精密的器具或装置。而仪表则是用于测定温度、压力、电量、距离等物理量的,且具有一定的读数范围。在日常生产与应用中,我们把凡是用来计量物理量的工具统称为仪器仪表。本书所介绍的仪器仪表主要是用于工业生产及普通测试用的仪器仪表,除简单介绍各种仪器仪表的构成、原理及使用外,主要讲述有关保养与检修等方面的知识。

在工业、农业生产、国防建设、科学研究以及人民日常生活各个领域,只要有物理量需要进行计量时,就必须要用仪器仪表来实现。因此,仪器仪表在各个领域都起着十分重要的作用。同时,随着科学技术的不断发展,生产技术要求的不不断提高,对仪器仪表的准确性也提出了更高的要求。

20世纪50年代末,我国自行设计了指示型和指示调节型仪表,填补了我国生产和研究仪器仪表行业的一项空白。从此以后,我国开始有能力生产和研发自己品牌的仪器仪表。进而,我国的仪器仪表行业也得到迅猛的发展。

仪器仪表的发展过程是:早期是以动圈仪表为主,随着科学技术的发展和传感器的完善而出现了数字显示仪表,数字显示仪表是一种具有模/数转换器并以十进制数码形式显示被测量的仪器仪表,仪器仪表内部再配置某种调节电路或控制机构就成为数字显示调节仪表。人们习惯上将各种不同功能的数字显示仪表和数字显示调节仪表统称为数显仪表。

数显仪表的发展已有数十年的历史了。自从英特尔公司率先推出单片集成电路3位半的模/数转换器以来,仪表的机构和性能有了新的突破:即线路得以简化、精度显著提高、可靠性大幅提高。伴随微电子技术的迅速发展和新型半导体器件的不断出现,仪器仪表的功能会越来越完善。

1.1.1 仪器仪表的作用

仪器仪表的主要作用是:用于测量物质的某些特性,并通过这些特性间的内在规律特征进行计量和控制的一种技术过程。简单地讲,就是将实际生活中的物理量经过仪器仪表的测量转换成一定比例的量值,再通过量值的比例性调节来达到仪器仪表对实际生活中的物理量进行控制的目的。

正确合理地使用仪器仪表是保证生产正常进行,减少事故发生、节约能源、防止污染、按时保质保量完成各项任务的主要保障。因此,学习和掌握一般仪器仪表的使用及维修技术,是每一个仪器仪表维修人员必备的基本知识与基本技能。

1.1.2 仪器仪表的组成

一般地,仪器仪表主要由传感器部分、测量部分及输出部分组成。



(1) 传感器部分 其作用是将某些物理量,通过传感器转换成相应的电信号,并送入测量电路中。例如:测温仪表的传感器部分是利用传感元件(热电偶、热敏电阻等)将热量值转换成具有一定比例的电压值(或电阻值),送入测量部分进行测量的。

(2) 测量部分 主要由信号放大电路、线性整形电路及具有一定比例的比较电路构成。其作用是将微弱的电信号进行功率(电压或电流)放大、比较并产生实际物理量的数据输出。某些专用仪表还利用传感器产生的信号与标准信号进行比较,产生相应的误差信号,再经放大电路放大而产生足够的电流(电压)信号送到输出部分。

(3) 输出部分 主要是将测量部分产生的电信号转换成相应的数值。根据显示方式的不同,有机械表头刻度指示和数字显示,即利用数码管或LED显示屏直接显示出相应的数字,供人们读取数值;以及产生相应的控制输出信号,对相应的设备进行控制。

1.1.3 仪器仪表的分类

根据仪器仪表的指示方式不同,可分为模拟指示仪器仪表、数字显示仪器仪表、微电脑指示仪器仪表。

根据仪器仪表的用途不同,可分为电气测量仪器仪表、化学分析仪器仪表、材料试验仪器仪表、温度测量仪器仪表等。

1.1.4 仪器仪表检修的重要性

“工欲善其事,必先利其器”,这句话说明要使生产设备正常工作,必须对其进行正确的调试和维修。而调试和维修设备需要专用的计量仪器仪表,计量仪器仪表的精确度又直接关系到设备的精确度。若仪器仪表使用不当(由于物理、化学、环境因素导致仪表短路)或操作不当,均会造成仪表内部电路发生损坏等,因降低仪器仪表的灵敏度而导致不能正常使用,也可能使相应的生产设备不能正常运转,进而会造成更大的经济损失。为此,必须对仪器仪表进行正确的检查保养与维修。

正确检修仪表的步骤是:

1) 首先要熟悉仪表的结构,熟悉机械部分、电路部分中各元件的作用和具体位置,做到心中有数,避免造成人为故障。

2) 认真分析产生故障的原因,根据故障现象,分析故障属于哪一类或存在的大概部位,然后再去检查相关机械部件或电路元器件。

3) 找到故障元器件,应及时予以更换。当发现故障部位后,要对相关电路元器件认真检查,找到损坏的元器件后,用合格元器件替换。再经认真校准后,才能投入使用。

4) 仪表维修检修结束后,必须进行必要的绝缘处理,以防造成新的故障或产生新的经济损失。

1.2 模拟显示仪表

模拟显示仪表是利用传感器输出相应的模拟信号,经比较和放大后,输出相应的模拟电压信号,再通过动圈仪表的表头显示出相应示值。

数字显示仪表是利用传感器输出相应的模拟信号,经比较和放大后,输出相应的模拟电



压信号，再经过 A/D 转换电路进行分析，并通过数字电路指示出相应的示值。

模拟显示仪表一般由指针式表头和相应的测量电路两部分组成。

1.2.1 指针式表头

1. 指针式表头的作用

它的作用是把测量电路中输出的电量（电流或电压量）转换成相应的指针偏转角，并保持一定的比例关系，从而能够在刻度盘上直接读出相对应的量值。

2. 指针式表头的组成

指针式表头由可动部分、固定部分、磁系统、指示装置 4 部分组成，如图 1-1 所示。

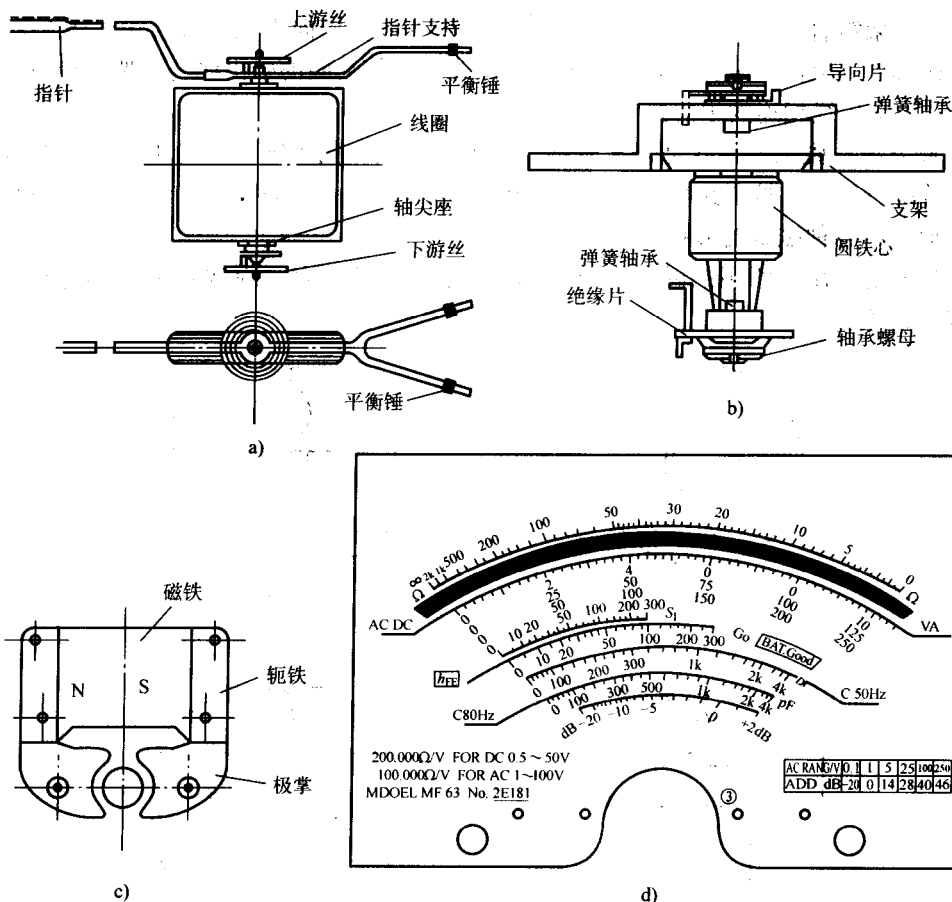


图 1-1 指针式表头的结构

a) 可动部分 b) 固定部分 c) 磁系统 d) 读数装置

(1) 可动部分 可动部分有两种支撑方式：轴尖轴承式和张丝弹片式。轴尖轴承式由动圈、轴尖座、指针支持、游丝等组成。张丝弹片式由动圈、张丝座、弹片、指针支持、张丝等组成。动圈是用高强度漆包铜线绕制成矩形（线径一般为 $0.02 \sim 0.05\text{mm}$ ），用以通过一定的电流。指针支持用来连接指针和纠正重力矩。指针支持上的小焊片用作动圈引线连接



和游丝或张丝焊接；指针支持常见的有“+”字形和“Y”字形两种；还有一种“*”字形结构，但国内并不多见，一般出现在国外的万用表中。轴尖座或张丝座均用不易氧化的逆磁性材料制成。游丝通常用磷青铜和铂镍合金等材料制成。张丝通常用锡锌青铜、铍青铜、铍钴铜和铂镍合金等材料制成。张丝和游丝不仅用以产生反作用力矩和自动返零，还作为动圈与外接导线的通路。

(2) 固定部分 轴尖轴承式的固定部分由支架、弹簧宝石轴承螺钉、导向片、绝缘片等组成。弹簧宝石轴承装在支架的上下中心位置，作为活动线圈的支撑。张丝弹片式的固定部分与轴尖轴承式固定部分的不同之处是：弹片和张丝一起支撑仪表的可动部分。张丝的工作弹力靠弹片来维持；弹片还对张丝起减振作用。弹片的形状有S形、弧形、平面形等几种。弹片一般由磷青铜、锡锌青铜、铍青铜等材料制成。支架用铝合金或塑料浇制而成；圆柱形铁心与支架组合，常采用压接和螺钉固定两种方法。导向件用作焊接上、下游丝外端头，通过接线引入电流，又作为机械调零用。绝缘片用作动圈的引出线与支架的绝缘，以免“+”、“-”引出线相连发生短路。

(3) 磁系统 磁系统也就是表头磁钢，由永久磁铁和低碳钢（或粉末合金）制成的轭铁、极掌等部分组成。按磁路构成有内磁式和外磁式两种。磁钢的形状有马蹄形、方形、矩形、圆柱形等，各种磁钢的形状如图1-2所示。

不同型号的万用表所用的磁性材料有相同的，也有不同的，常见的有：铝镍铁、铝镍钴、铝镍钴钛等。

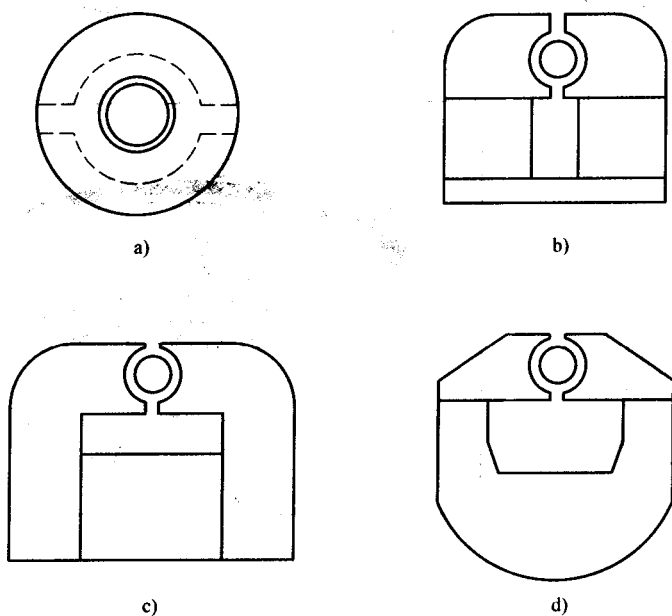


图1-2 各种磁钢的形状

a) 圆柱形 b) 矩形 c) 方形 d) 马蹄形

(4) 读数装置 在测量电路中，根据测量值的大小而形成大小不同的电流，在流经动圈时产生大小不同的磁通，与磁系统作用后形成大小不同的偏转角，为了能使指针偏转角能



够直接反映所测量数值的大小,把偏转角的大小刻印在一个标度盘上,连接各点组成一条刻度线,我们将该刻度线称之为标度尺。标度尺有两种特性:均匀标度尺和不均匀标度尺。为扩大测量种类,通常在一块标度盘上印上多条刻度线,这就是万用表的读数装置“标度盘”,俗称刻度盘。通过刻度盘上的刻度值再结合量程转换开关的倍率,即可读出所测量的数值大小。

3. 指针式表头的工作原理

当测量电路中输出的电流(电压)量进入表头的可动(固定)部分时,使两部分相互作用并产生使可动部分旋转的力矩 M ,于是可动部分发生偏转。由于当电流(电压)量经过可动(固定)线圈时,两部分在产生旋转力矩的同时也产生了相互之间的作用力和反作用力,当两作用力相等时,不形成偏转,我们称这种状态为“电气零位”;当两作用力不相等时,就会形成偏转,此时偏转角的大小取决于输入表头的电流(电压)量的大小,并且必须成一定比例关系,这种关系也就决定了表头的重要性以及整个仪表的准确度。

1.2.2 测量电路

测量电路主要由电源电路和测量放大电路两部分组成。

1. 电源电路

通常情况下,仪表都需要由直流电源供电,除便携式仪表是由电池提供直流电源以外,大多是由交流电通过变压器和整流滤波而取得的。

电源电路的主要作用是:为测量电路提供稳定的基础电压、比较电压以及控制电压。

电源电路的结构类型很多,按元件分,有分立件和集成稳压两大类;按整流方式分,有半波整流和全波整流;按电源数量分,有单一电源和多种电源。而且,随着科学技术的不断发展,电源的结构类型会越来越多。

图1-3所示电路的上半部分是一种简单的单一正整流稳压电路,从变压器输出的交流电

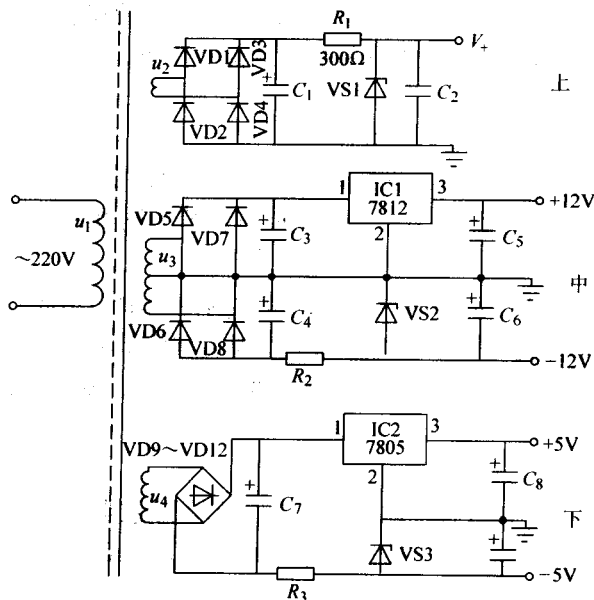


图1-3 电源结构示例



压经4个二极管整流后输出直流脉冲电压,经过电阻和电容滤波后形成直流电压,再经过稳压二极管的稳压,得到直流稳压电源。中间部分是一种带中心抽头的变压器电路,其中心抽头作为电源的中性点,相当于两个半波整流电路,其缺点是电源消耗比全波整流电路大,而且受电源的影响比较明显。下半部分也是一种目前常用的整流稳压电路,从变压器输出的交流电压经4个二极管整流后输出直流脉冲电压,利用三端稳压集成电路及5V稳压二极管,给后面的电路提供了一个相对稳定的电源。

2. 测量放大电路

测量放大电路的主要作用是:利用传感器能够将实际生活中的物理量转换成具有一定比例关系的电量,再将该电量经过放大处理及线性校正后,使其能够稳定、准确地驱动表头,使表头指针能够按一定的比例进行偏转,从而达到物理量值再现的目的。

放大电路一般分为分立件和集成放大电路两大类。

分立件电路的工作原理是:一般是利用电阻的分压或分流特性、电容的滤波或充放电及隔直通交的特性、晶体管的放大及开关特性和二极管的整流与检波特性。现在分立件电路已经逐渐被集成放大电路所取代。

集成电路是在20世纪60年代发展起来的。它广泛应用半导体制造工艺,将晶体管、二极管、电阻等元器件以及连接导线都集中制造在一块半导体基片上,所以称之为集成电路。按其功能可分为模拟集成电路和数字集成电路两大类。作为测量电路用的集成电路一般都是模拟集成电路(包括集成运算放大器)。由于集成电路通用比较性强,目前已广泛应用于控制、检测、仪表和通信等技术领域中,并且已逐渐取代了晶体管。

由于集成运算放大器是一种高电压增益、高输入电阻、低输出电阻的多级直接耦合放大电路,且体积小、噪声低。因而集成电路放大器在很多方面都展示了它强大的优势。

1.2.3 故障检修

对于模拟显示仪表,由于长时间使用或使用不当,均会使仪表的电气及机械部分出现故障,下面简单介绍一下模拟显示仪表的常见故障及检修技巧。

1. 指针不回零指示值变差大

产生的主要原因为机械零件故障,有:

(1) 轴尖 生锈、氧化或其他杂物粘附着在表面;磨损变钝;轴尖在轴尖座中松动。

(2) 轴承 锥孔磨损,表面粗糙;工作表面有伤痕;圆锥孔内太脏;轴承或轴承螺钉松动。

(3) 游丝 游丝内焊片与轴承螺钉摩擦;游丝内圈和轴心不同心;游丝和轴承螺钉及周围零件摩擦;游丝平面翘起与平衡锤摩擦;游丝太脏,有粘圈现象;过载受热产生弹性疲劳。

这种故障的处理方法是:仔细检查与认真清洗太脏部分,调整好摩擦部位,并及时更换无法调试好的配件。

2. 游丝性能不良

由于仪表经常工作于存在有害气体的场合中,游丝易受到腐蚀,表面会发生氧化;或因受到较大振动而导致游线跳框,进而造成反作用力矩增加;或因过载使游丝局部退火;或焊接时经受高温,导致游丝失效等。

检查方法:在未打开仪表前,用螺钉旋具调整表头机械调零器,观察在旋转一周时,指



针是否在零位刻度线左右均匀移动。若指针摆动迟缓,则说明灵敏度下降,这可能是游丝存在问题,这时可将表盖打开,仔细检查游丝有无异常痕迹;若发现有异物,则应仔细将异物去掉;若是粘连某些物质,则必须将表头解体,焊下游丝,放在无水酒精中浸泡,并清理干净,凉风吹干后再焊接上使用;若游丝跳框,则先将游丝焊下来,在垂直和 45° 方向观察游丝的变形点,然后放在一块自备的玻璃板上,下衬白纸,由内向外依次调整。由于游丝变形各异,应根据具体情况进行调整,若变形严重、弹性疲劳、烧伤或发生腐蚀,则应予以更换。对于新更换的游丝其参数应与原游丝保持一致,否则会影响仪表的准确度。换过游丝后,应通以额定电流检查表头的灵敏度,若指示为正误差,则可将游丝剪去一部分,但至少应保留五圈左右。新换游丝的开头应是平整、圆滑的螺旋体,各圈之间的距离也应相等。

3. 动圈内部局部短路

若被检查的仪表为无框架动圈结构,且在表头“+”、“-”引线开路的情况下,指针摆动不灵活,则说明内部有短路现象。若被检查的仪表是有框架动圈结构,则可通以额定电流,让表头带电工作几分钟,在此期间,通过将标准表与被检查表示值进行比较,观察被检查表的变化情况;若被检查表的示值有下降的现象出现,则说明动圈局部短路,应予以更换或重新绕制;若确认表头灵敏度下降是由动圈内部局部短路所致时,则应更换动圈(新换动圈应与原动圈参数一致或相近),若选用比原动圈内阻小一些的动圈进行替换时,则在电路中将不足原动圈阻值的差值用一锰铜电阻串入表头支路中。

4. 表头的磁性发生衰减

一般在使用过程中,不慎使仪表接近过强的磁场,而且时间较长;由于仪表受到机械冲击,原结构遭到破坏;在修理过程中,拆卸可动装置时不慎将磁路开路等,它们都会使表头的灵敏度发生变化。解决磁性衰减的方法是用充磁器对表头磁系统进行充磁。

给磁性材料(以下简称磁件)充磁要用到充磁器,充磁电路如图1-4所示。图中SB是一只带同步常开/常闭的控制按钮,B为充磁线圈。充磁时,将磁件放在充磁线圈铁心上,然后按下按钮SB,此时SB的上触头(常开)闭合,而下触头(常闭)断开,交流220V电源经二极管VD1整流后给电解电容器C充电,充电回路电流通过VD3、VD4和充磁线圈B,在铁心上瞬间产生磁场,对磁件进行一次充磁。之后,放开SB后,SB各触头复位,此时C上的电压经SB下触头(常闭)和VD2、VD5校正电压极性后,进行放电体对充磁线圈完成二次充磁强化。这里需要说明的是:图中的电容器C是高压电容器,可采用多个高压电容器并联以达到图中标注的电容量值。实际使用时,C值无过多限制,电容器的电容量越大,充磁效果越好。

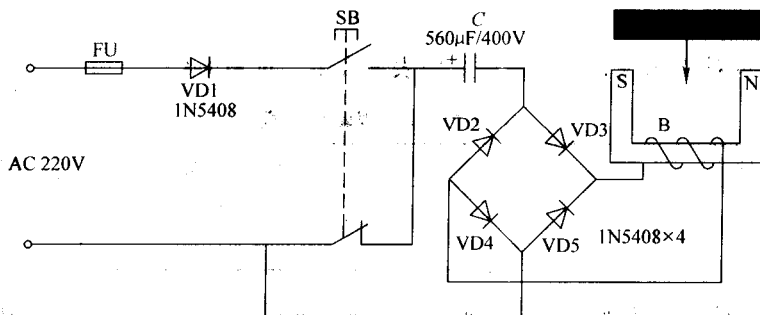


图1-4 充磁电路原理图



若自己制作充磁器时，熔管可选用彩色电视机用的延时熔断管。为使充磁器经久耐用，按钮 SB 最好选取用工业控制用（带常开/常闭触头联动）按钮，触头面积大一些较好，这样可减小充磁时因电容 C 充、放电电流对触头的烧蚀，从而保证整机经久耐用。

1.3 数字电路基础知识

集成电路可以分为线性集成电路和数字集成电路两种。线性集成电路如集成运算放大器，数字集成电路如门电路、触发器、计数器、译码器等。A/D 转换器则是一种既包含线性电路又包含数字电路的混合型集成电路。而数字集成电路由于制造工艺不同，又有 DTL（二极管-晶体管逻辑电路）、TTL（晶体管-晶体管逻辑电路）、HTL（高阈值逻辑电路）、ECL（发射极耦合逻辑电路）、CMOS（互补型 MOS 电路）等。

1.3.1 门电路

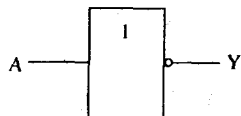
在任何一个数字电路中，都需要反复完成对逻辑变量的各种逻辑运算，这种逻辑变量同数学中的变量取值范围不同，它只取 1 或 0 两个值，这就是二进制。所谓二进制也就是每当本位是 1，再加 1 时，本位变为 0，同时向高位进 1，使高位加 1。

原先创立二进制时就是让它代表两个符号或两个逻辑状态的，如代表电平的高、低；晶体管的导通和截止；脉冲的有、无；事物的真、假等等。

我们把以“1”代表高电平，“0”代表低电平叫做正逻辑；反之，以“0”代表高电平，“1”代表低电平叫做负逻辑。逻辑运算的工具在电路中是借助于逻辑电路来实现的，而逻辑电路中最重要就是逻辑门电路，它是一切数字电路的基础，任何数字电路都可以由门电路经过逻辑组合来实现。门电路不仅可以实现二进制数字逻辑功能，还可以用它们实现某些模拟电路的功能。

1. 非门电路

(1) 非门逻辑符号 非门逻辑符号如图 1-5 所示。



(2) 非门逻辑功能 它的逻辑功能是输出与输入反相，逻辑关系是输入 A 为高电平（以二进制“1”表示）时，输出 Y 为低电平（以二进制“0”表示）；输入 A 为低电平（以二进制“0”表示）时，输出 Y 为高电平（以二进制“1”表示）。因此，非门电路也叫做反相器或倒相器，其逻辑关系可以用逻辑表达式表示为

$$Y = \overline{A} \quad (1-1)$$

式中 $\overline{A}$ ——表示对 A 求反，也可以用真值表来表示，见表 1-1。

表 1-1 非门逻辑真值表

输入逻辑变量	输出逻辑变量	输入逻辑变量	输出逻辑变量
A	Y	0	1
1	0		

(3) 非门集成电路举例 图 1-6 所示为一典型非门集成电路，其主要用于门控制电路和加法计算电路。



2. 与门及与非门电路

(1) 与门逻辑符号 与门的逻辑功能是当所有的输入端为高电平“1”时，输出端才为高电平；只要有一端为低电平“0”，那么输出端必为低电平，其逻辑符号如图 1-7a 所示。其逻辑表达式为

$$Y = A \cdot B \quad (1-2)$$

这里的“ $\cdot$ ”表示逻辑与运算。

(2) 与非门逻辑符号 与非门逻辑符号如图 1-7b 所示。

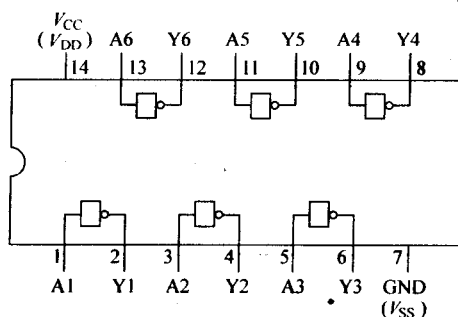


图 1-6 典型非门集成电路

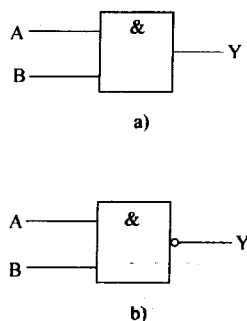


图 1-7 与门及与非门电路

a) 与门电路及逻辑符号 b) 与非门逻辑符号

(3) 与非门逻辑功能、逻辑表达式及真值表 与非门可以看作是与门和非门的逻辑组合，所以它既能完成与的功能又能完成非门的作用。其逻辑功能是：当全部输入端为 1 时，输出为 0；只要有一个输入端为 0，则输出端为 1。其逻辑表达式为

$$Y = \overline{A \cdot B} \quad (1-3)$$

与非门逻辑真值表见表 1-2。

表 1-2 与非门逻辑真值表

输入逻辑变量		输出逻辑变量	输入逻辑变量		输出逻辑变量
A	B	Y	1	0	1
0	0	1	1	1	0
0	1	1			

(4) 与非门集成电路举例 图 1-8 所示一典型与非门集成电路。其主要用于比较、选择

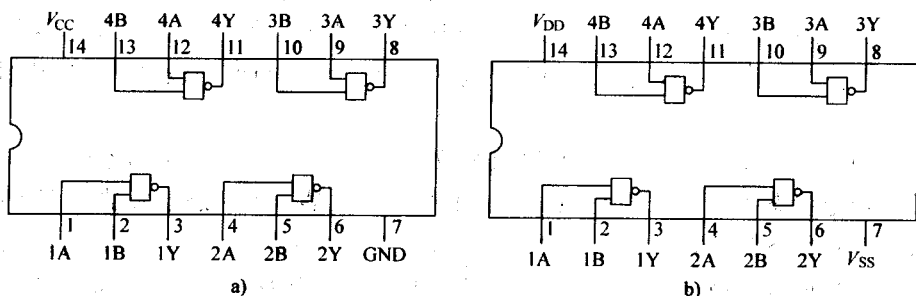


图 1-8 典型与非门集成电路

a) T4000 管脚排列 b) CC4011 管脚排列



与计算电路。

3. 或门电路

(1) 或门逻辑符号 或门逻辑符号如图 1-9 所示。

(2) 或门逻辑功能、逻辑表达式 或门的逻辑功能是只要有一个输入端为 1，输出端必定为 1；只有全部输入端为 0，输出端才为 0，其逻辑函数表达式为

$$Y = A + B \quad (1-4)$$

式中 + —— 逻辑或运算，或门逻辑真值表见表 1-3。

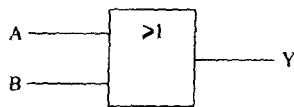


图 1-9 或门逻辑符号

表 1-3 或门逻辑真值表

输入逻辑变量		输出逻辑变量	输入逻辑变量		输出逻辑变量
A	B	Y	1	0	1
0	0	0	1	1	1
0	1	1			

(3) 或门集成电路举例 图 1-10 所示一典型或门集成电路。其主要用于比较、选择与计算电路。

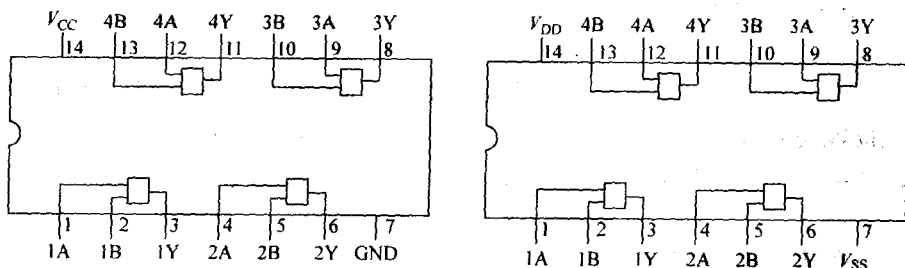


图 1-10 典型或门集成电路

1.3.2 触发电路

数字逻辑系统中的基本逻辑部件可分为组合逻辑电路和时序逻辑电路。

组合逻辑电路是由基本的非门和与非门经过逻辑组合而成的，如：与门、或门以及同或门、异或门、全加器、译码器、编码器等，其特点是输出只取决于现在时刻的输入。

时序逻辑电路是由存储单元（触发器）和门电路组成，如触发器、寄存器、锁存器、计数器等。其特点是输出不仅与现在时刻的输入有关，而且与前一段时刻线路内部状态有关。

触发器的应用非常广泛，在电子计算机和数字电路中，它是最基本的逻辑单元。对于触发器，按其稳定状态可分为双稳态触发器、单稳态触发器、无稳态触发器（多谐振荡器）以及射极耦合双稳态触发器（施密特触发器）等；按其结构可分为分立元件触发器和集成电路触发器，集成电路触发器又可分为集成“与非”门触发器和集成触发器两种。

1. 基本双稳态 RS 触发器

(1) 工作原理 基本双稳态触发器可以由两个“与非”门交叉连接而成，如图 1-11 所

示。其中 Q 和 $\bar{Q}$ 是两个输出端， $\bar{R}_D$ 和 $\bar{S}_D$ 是两个输入端，分别称为直接复位端（或称为置“0”端）和直接置位端（或满称为置“1”端）。由逻辑图或真值表可以看出，这种触发器在正常条件下，有两个稳定状态，一个是 $Q=1$ ， $\bar{Q}=0$ 的置位状态（或称为置“1”态）另一个是 $Q=0$ ， $\bar{Q}=1$ 的复位状态（或称为置“0”态）。在置位端加负脉冲（ $\bar{S}_D=0$ ）即可复位，在复位端施加一个负脉冲（ $\bar{R}_D=0$ ）即可复位。负脉冲过去后，触发器能保持原先的状态不变，从而实现了存储或记忆功能，但是，负脉冲不可同时加在置位端和复位端。逻辑图和逻辑符号图如图 1-11 所示，真值表见表 1-4。

(2) 集成三态 RS 触发器 集成三态 RS 触发器如图 1-12 所示，真值表见表 1-5。

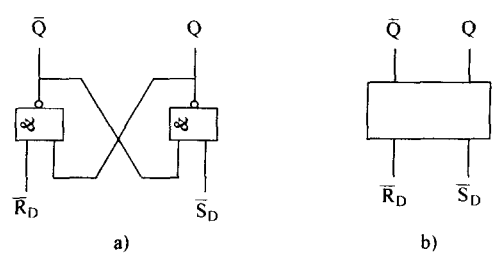


图 1-11 双稳态触发器的逻辑图和逻辑符号
a) 逻辑图 b) 逻辑符号

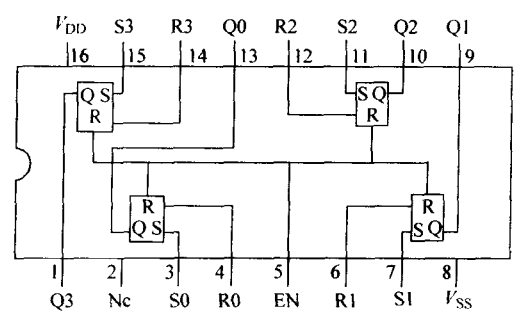


图 1-12 集成触发器

表 1-4 基本双稳态触发器逻辑真值表

复位端	置位端	输 出
$\bar{R}_D$	$\bar{S}_D$	Q
0	0	不定
0	1	0
1	0	1
1	1	不变

表 1-5 集成三态 RS 触发器真值表

输 入			输 出
S	R	EN	Q
任意	任意	0	高阻态
0	0	1	不变
1	0	1	1
0	1	1	0
1	1	1	1

2. D 触发器

(1) 工作原理 D 触发器输出状态的改变依赖于时钟脉冲的触发作用。在时钟脉冲的触发下，输入数据由输入端 D 传输到输出端 Q，即输出端状态比输入端状态变化晚一步，因此，也称 D 触发器为延迟触发器。

D 触发器又可以分为主-从 D 触发器和锁存 D 触发器两种类型。主-从 D 触发器可用于数据锁存及控制电路，也是组成移位和记数、分频电路的基本逻辑单元；而锁存 D 触发器只能用于数据锁存。从主-从 D 触发器工作原理图可知：开关 S_1 、 S_4 同步动作， S_2 、 S_3 同步动作。设时钟脉冲控制信号为“0”时， S_1 、 S_4 接通；时钟脉冲控制信号为“1”时， S_2 、 S_3 接通。于是，D 端数据在

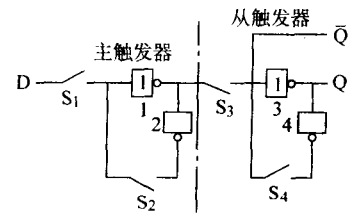


图 1-13 主-从 D 触发器工作原理