

DIANZI CELIANG

YIQI SHIYONG HE WEIHU



电子测量仪器 使用和维护

路文玲 主编

严君平 梁斌 副主编

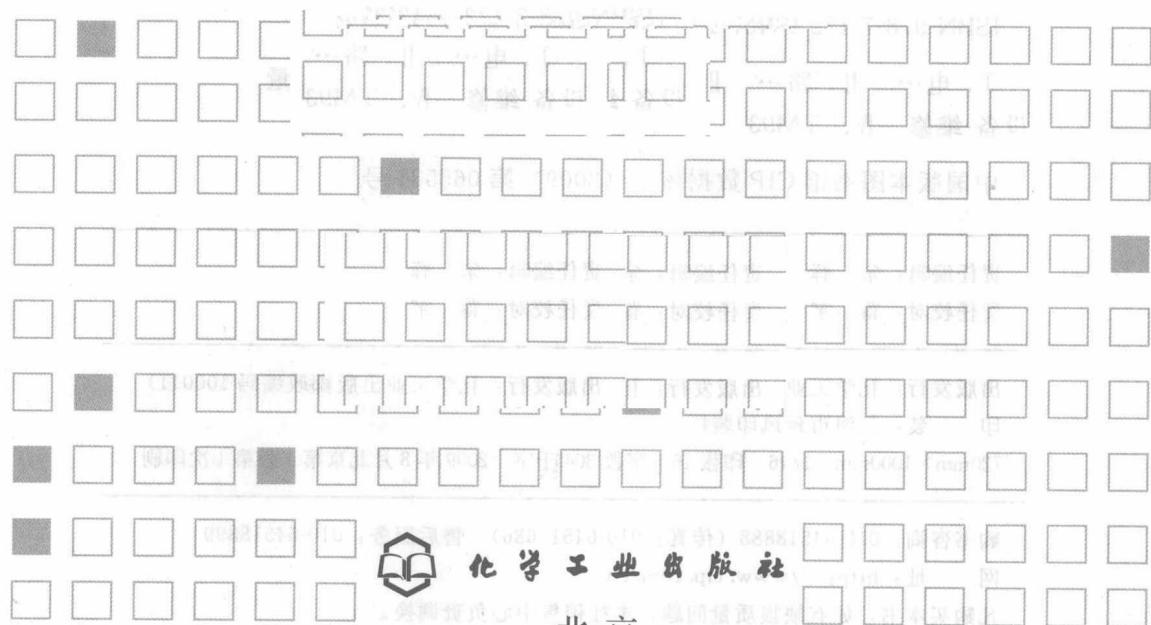


化学工业出版社

电子测量仪器 使用和维护

路文玲 主编

严卫平 梁斌 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书系统地介绍了万用表、信号发生器、示波器、毫伏表、频率计、LCR 测量仪、扫频仪、频谱分析仪、半导体管特性图示仪、逻辑分析仪、高频 Q 表、钳形电流表、兆欧表的工作原理、使用技巧和维护方法, 包含大量图例和实用案例, 内容详尽, 实用性强。

本书可作为相关专业工程技术人员和广大电子爱好者的参考用书, 也可作为高职高专院校及应用型本科院校电子信息类、电气工程及自动化类专业的教材参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电子测量仪器使用和维护/路文玲主编. —北京: 化学工业出版社, 2009. 7

ISBN 978-7-122-05437-1

I. 电… II. 路… III. ①电子测量设备-使用②电子测量设备-维修 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 065581 号

责任编辑: 宋 辉

文字编辑: 孙 科

责任校对: 蒋 宇

装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装厂

720mm×1000mm 1/16 印张 16 字数 304 千字 2009 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 36.00 元

版权所有 违者必究





目录

第一章 绪论	1	第一节 绪论	1	第二节 绪论	1	第三节 绪论	1	第四节 绪论	1	第五节 绪论	1	第六节 绪论	1	第七节 绪论	1	第八节 绪论	1	第九节 绪论	1	第十节 绪论	1
第二章 绪论	2	第一节 绪论	2	第二节 绪论	2	第三节 绪论	2	第四节 绪论	2	第五节 绪论	2	第六节 绪论	2	第七节 绪论	2	第八节 绪论	2	第九节 绪论	2	第十节 绪论	2
第三章 绪论	3	第一节 绪论	3	第二节 绪论	3	第三节 绪论	3	第四节 绪论	3	第五节 绪论	3	第六节 绪论	3	第七节 绪论	3	第八节 绪论	3	第九节 绪论	3	第十节 绪论	3
第四章 绪论	4	第一节 绪论	4	第二节 绪论	4	第三节 绪论	4	第四节 绪论	4	第五节 绪论	4	第六节 绪论	4	第七节 绪论	4	第八节 绪论	4	第九节 绪论	4	第十节 绪论	4
第五章 绪论	5	第一节 绪论	5	第二节 绪论	5	第三节 绪论	5	第四节 绪论	5	第五节 绪论	5	第六节 绪论	5	第七节 绪论	5	第八节 绪论	5	第九节 绪论	5	第十节 绪论	5
第六章 绪论	6	第一节 绪论	6	第二节 绪论	6	第三节 绪论	6	第四节 绪论	6	第五节 绪论	6	第六节 绪论	6	第七节 绪论	6	第八节 绪论	6	第九节 绪论	6	第十节 绪论	6
第七章 绪论	7	第一节 绪论	7	第二节 绪论	7	第三节 绪论	7	第四节 绪论	7	第五节 绪论	7	第六节 绪论	7	第七节 绪论	7	第八节 绪论	7	第九节 绪论	7	第十节 绪论	7
第八章 绪论	8	第一节 绪论	8	第二节 绪论	8	第三节 绪论	8	第四节 绪论	8	第五节 绪论	8	第六节 绪论	8	第七节 绪论	8	第八节 绪论	8	第九节 绪论	8	第十节 绪论	8
第九章 绪论	9	第一节 绪论	9	第二节 绪论	9	第三节 绪论	9	第四节 绪论	9	第五节 绪论	9	第六节 绪论	9	第七节 绪论	9	第八节 绪论	9	第九节 绪论	9	第十节 绪论	9
第十章 绪论	10	第一节 绪论	10	第二节 绪论	10	第三节 绪论	10	第四节 绪论	10	第五节 绪论	10	第六节 绪论	10	第七节 绪论	10	第八节 绪论	10	第九节 绪论	10	第十节 绪论	10

1.7 万用表的维护	42
第2章 信号发生器	44
2.1 概述	44
2.1.1 信号发生器的分类	44
2.1.2 信号发生器的基本组成	46
2.1.3 信号发生器主要技术指标	47
2.2 低频信号发生器	51
2.2.1 低频信号发生器组成原理	51
2.2.2 低频信号发生器主要技术指标	53
2.2.3 低频信号发生器使用方法	54
2.3 高频信号发生器	55
2.3.1 高频信号发生器的组成原理	55
2.3.2 高频信号发生器的主要性能指标	56
2.3.3 高频信号发生器的使用方法	56
2.4 函数信号发生器	59
2.4.1 函数信号发生器的组成原理	59
2.4.2 函数信号发生器主要技术指标	62
2.4.3 函数信号发生器的使用方法	63
2.4.4 SU3150 DDS 函数信号发生器	63
2.4.5 CA1640-02 函数信号发生器	73
2.5 合成信号发生器	77
2.5.1 频率合成技术	77
2.5.2 直接合成法	78
2.5.3 间接合成法	79
2.6 信号发生器的维护	83
第3章 示波器	84
3.1 概述	84
3.2 示波器的种类及组成原理	84
3.2.1 示波器的种类	84
3.2.2 通用示波器的组成原理	85
3.2.3 数字存储示波器的组成原理	96
3.3 示波器在信号测量中的基本应用	97
3.3.1 电压的测量	97
3.3.2 时间、周期和频率的测量	99

3.3.3	相位的测量	101
3.3.4	调幅系数的测量	103
3.3.5	脉冲的测量	104
3.3.6	频率响应的测量	105
3.3.7	数字存储示波器的应用	106
3.4	典型示波器的介绍	107
3.4.1	GOS-620 双轨迹示波器	107
3.4.2	ADS7062 数字存储示波器	112
3.5	示波器的常见故障排查	117
3.5.1	模拟示波器的常见故障排查	117
3.5.2	数字示波器的常见故障排查	118
3.5.3	示波器的日常保养	119
3.6	示波器的维护	119
第4章	毫伏表	121
4.1	概述	121
4.2	毫伏表的组成原理	121
4.2.1	低频毫伏表组成原理	121
4.2.2	高频毫伏表组成原理	122
4.3	交流电压的基本参数	123
4.3.1	峰值	123
4.3.2	平均值	123
4.3.3	有效值	124
4.3.4	波形因数和波峰因数	124
4.4	CA2172 型指针式毫伏表	124
4.4.1	主要技术指标	124
4.4.2	工作原理	124
4.4.3	使用方法	125
4.5	WY2282 超高频数显毫伏表	126
4.5.1	主要技术指标	126
4.5.2	工作原理	127
4.5.3	使用方法	127
4.6	YB2174 型超高频毫伏表	129
4.6.1	技术指标	129
4.6.2	工作原理	130
4.6.3	使用方法	130

4.7 毫伏表的维护	130
第5章 频率计	132
5.1 概述	132
5.2 频率计的组成原理	132
5.3 频率计的使用	133
5.3.1 累加计数和计时	133
5.3.2 频率的测量	134
5.3.3 周期的测量	134
5.3.4 频率比测量	135
5.3.5 时间间隔测量	135
5.3.6 自校	135
5.4 频率计的测量误差	136
5.4.1 误差的来源	136
5.4.2 频率测量误差分析	137
5.4.3 周期测量误差分析	138
5.5 多功能等精度频率计简介	139
5.5.1 F2700-C 多功能等精度频率计	139
5.5.2 主要技术指标	141
5.5.3 使用方法及使用前的准备工作	141
5.6 频率计的维护	142
第6章 LCR 测量仪	144
6.1 概述	144
6.2 LCR 测量仪组成原理	144
6.2.1 LCR 测量仪组成原理	144
6.2.2 测试线的连接方式	145
6.3 LCR 测量仪的性能、特点及技术指标	146
6.3.1 ZM2354-LCR 测试仪	146
6.3.2 主要技术指标	147
6.3.3 测试夹具及引线	148
6.4 基本测量方法	149
6.5 LCR 电桥的维护	155
第7章 扫频仪	156
7.1 概述	156

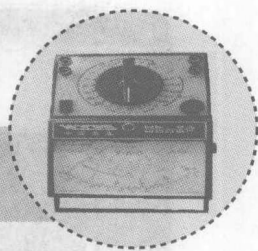
7.2	频率特性测量原理	156
7.3	扫频仪的组成原理	157
7.3.1	扫频信号发生器	158
7.3.2	频标电路	159
7.4	NW1253 型扫频仪	160
7.4.1	主要技术指标	161
7.4.2	工作原理	161
7.4.3	使用方法	162
7.5	扫频仪的应用	164
7.5.1	无源滤波器的测试	164
7.5.2	有源网络的测试	165
7.5.3	谐振回路的测量	165
7.5.4	天线的测试	165
7.6	扫频仪的维护	166
第 8 章	频谱分析仪	167
8.1	概述	167
8.2	频谱分析仪的组成原理	167
8.2.1	顺序滤波式频谱分析仪	167
8.2.2	扫频外差式频谱分析仪	168
8.3	频谱分析仪的技术指标	169
8.4	频谱分析仪的使用	170
8.4.1	AT5011 频谱分析仪	170
8.4.2	技术指标	173
8.4.3	使用注意事项	174
8.5	基本测量方法	176
8.6	频谱分析仪的维护	178
第 9 章	半导体管特性图示仪	180
9.1	概述	180
9.2	半导体管特性图示仪的组成原理	180
9.2.1	半导体管特性图示仪的组成	180
9.2.2	半导体管特性图示仪的测量原理	182
9.3	半导体管特性图示仪的使用方法	183
9.3.1	CA4810A 晶体管特性图示仪	183
9.3.2	主要技术指标	186

9.3.3	工作原理	187
9.3.4	测试时的注意事项	188
9.3.5	测试前的准备步骤	188
9.3.6	常用半导体元件的测试	188
9.4	半导体管特性图示仪的维护	193
第 10 章	逻辑分析仪	195
10.1	概述	195
10.2	逻辑分析仪的组成原理	196
10.2.1	逻辑分析仪的基本组成	196
10.2.2	逻辑分析仪的工作原理	196
10.2.3	逻辑分析仪的主要技术指标	201
10.3	逻辑分析仪使用方法	202
10.3.1	显示数据流	202
10.3.2	“起始显示”和“起始延迟”的使用	202
10.3.3	数字集成电路的测试	203
10.3.4	寻找毛刺脉冲产生的原因	204
10.3.5	利用分析仪取出微处理器中的任何程序	204
10.3.6	微处理器系统的运行情况检测	204
10.4	TLA5000 系列逻辑分析仪简介	206
10.4.1	TLA5000 逻辑分析仪特点	206
10.4.2	TLA5000 逻辑分析仪使用方法	206
10.5	逻辑分析仪的维护	208
第 11 章	高频 Q 表	209
11.1	概述	209
11.2	QBG-3 型高频 Q 表的工作原理	209
11.3	使用方法	211
11.3.1	使用准备	211
11.3.2	测试时的注意事项	212
11.4	基本测量法	212
11.4.1	高频线圈的 Q 值测量	212
11.4.2	高频线圈电感值的测量	213
11.4.3	高频线圈分布电容量 C_0 的测量	214
11.4.4	大电阻的测量	215
11.4.5	低阻抗的测量	216

11.4.6 绝缘材料介质损耗的测量	217
11.5 技术指标	217
11.6 QBG-3D型高频Q表的组成及工作原理	218
11.6.1 QBG-3D型高频Q表的组成	218
11.6.2 QBG-3D型高频Q表的结构和设计特点	219
11.6.3 QBG-3D型高频Q表的测量原理	221
11.6.4 基本测量方法	222
11.6.5 常用测量方法	225
11.7 QBG-3E型高频Q表	225
11.8 高频Q表的维护	226
第12章 钳形表	227
12.1 概述	227
12.2 钳形表的结构及工作原理	227
12.2.1 电流互感器结构及工作原理	227
12.2.2 钳形表结构及工作原理	228
12.3 钳形表的使用方法	229
12.3.1 单一功能的钳形表	229
12.3.2 多功能的钳形表	230
12.3.3 3216型数字钳形万用表	230
12.3.4 DM6056C系列数字钳形电表	232
12.4 钳形表的维护	234
第13章 兆欧表	235
13.1 概述	235
13.2 兆欧表的组成及工作原理	235
13.2.1 磁电系指针式兆欧表的结构	236
13.2.2 磁电系指针式兆欧表的工作原理	237
13.2.3 数字式兆欧表的结构及工作原理	238
13.3 兆欧表的使用	239
13.3.1 指针式兆欧表的使用方法	239
13.3.2 数字式兆欧表使用方法	242
13.4 兆欧表的维护	244
参考文献	245

第1章

万用表



1.1 概述

在从事电子技术工作和电气设备维修过程中,经常需要测量电路中电压、电流的数据及电阻、电容、晶体管等器件的参数,这就需要有一种使用方便、用途多样、量程范围广的测量仪器。本章介绍的万用表就是能够满足上述要求的一种常用的测量仪表,深受广大专业技术人员和无线电爱好者的欢迎。

万用表又称多用表,是用测量机构配合测量电路来实现对各种电量的测量的仪表。目前一般的万用表都可以用来测量直流电流、直流电压、交流电压、音频电平、电阻及晶体管的放大倍数等电量。有的万用表还可以用来测量电容量和电感量等。

万用表的种类很多,分类形式也很多。按其读数形式可分为机械式(模拟量)万用表和数字式(数字量)万用表两类。机械式万用表是通过指针摆动的大小来指示被测量的值,因此也被称为指针式万用表。数字式万用表是采用集成模/数转换技术和液晶显示技术,将被测量的值直接以数字的形式反映出来的一种电子测量仪表。数字万用表具有灵敏度和准确度高、显示清晰直观、输入阻抗高,功能齐全、性能稳定等特点,大有逐步取代指针式万用表的趋势。但有时出现错误不易察觉,且使用维护要求较高。它的成本和价格相对来说是比较高的。

指针式万用表可靠耐用,观察动态过程直观(如电容器的充放电过程),但读数精度和分辨力较低。它的成本和价格比较低。适用于精确度要求一般的电量测量。指针表和数字表二者配合使用,可以取长补短,相得益彰。可根据实际需要,选择不同形式的万用表。

1.2 指针式万用表的组成原理

1.2.1 指针式万用表的组成

实物如图 1-1、图 1-2 所示。



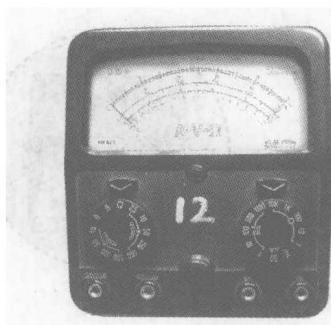


图 1-1 MF62 型万用表



图 1-2 MF47 型万用表

万用表主要由测量机构（习惯上称为表头）、测量线路、转换开关和刻度盘四部分构成。万用表的面板上有带有多条标度尺的刻度盘、转换开关旋钮、调零旋钮和接线插孔等。各种类型的万用表外形布局不完全相同。MF368 形万用表外形如图 1-3 所示。

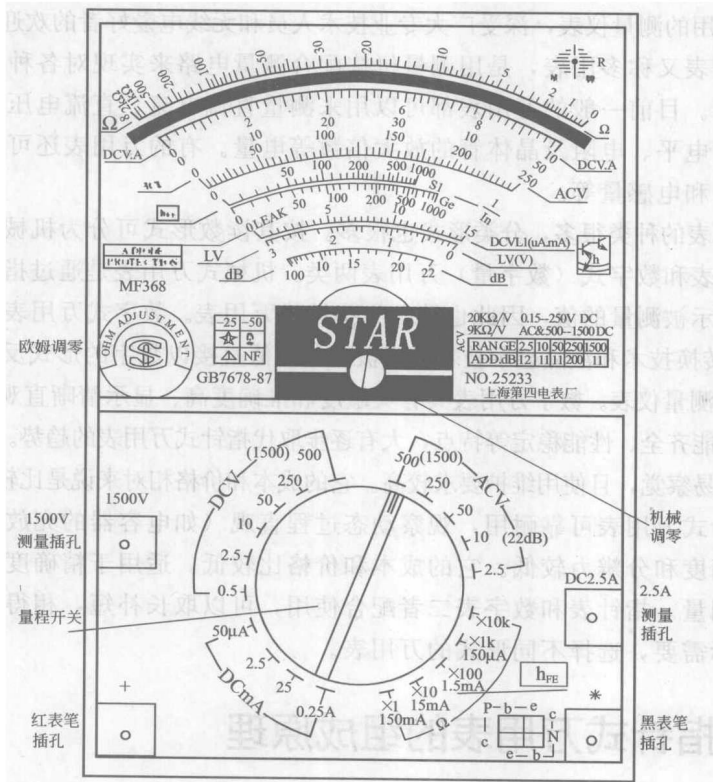


图 1-3 MF368 型万用表外形

(1) 表头

万用表的表头通常是采用灵敏度高、准确度好的磁电系测量机构。它是



万用表的核心部件，其作用是指示被测电量的数值。万用表性能的好坏，很大程度上取决于表头的性能。表头的灵敏度和内阻是表头的两项重要技术指标。表头的灵敏度是指指针达到满刻度时，流过表头的直流电流的大小，简称为满度电流。满度电流越小灵敏度就越高。一般情况下，万用表头满度电流只有几微安到几百微安。表头的内阻是指磁电系测量机构中线圈的直流电阻，在相同满度电流时，这个值越小，测量电流时表头上的电压降越小，万用表性能越好。多数万用表表头内阻在几百欧到几千欧之间。MF368 型万用表满度电流为 $40.4\mu\text{A}$ ，测量 250V 以下直流电压时，灵敏度为 $20000\Omega/\text{V}$ ；测量 $500\sim 1500\text{V}$ 直流电压和测量交流电压时，其灵敏度为 $9000\Omega/\text{V}$ 。

(2) 测量线路

测量线路是万用表的中心环节。它实际上包括了多量程电流表、多量程电压表和多量程欧姆表等几种测量线路。正因为有了测量线路，万用表才能满足实际测量中对各种不同电量和不同量程的需要。

万用表测量线路主要由电阻、电容、转换开关和表头等部件构成。在测量交流电量的线路中，还使用了整流元件，将交流电变换成为脉动直流电，实现对交流量的测量。图 1-4 所示为 MF368 型万用表电路原理图。

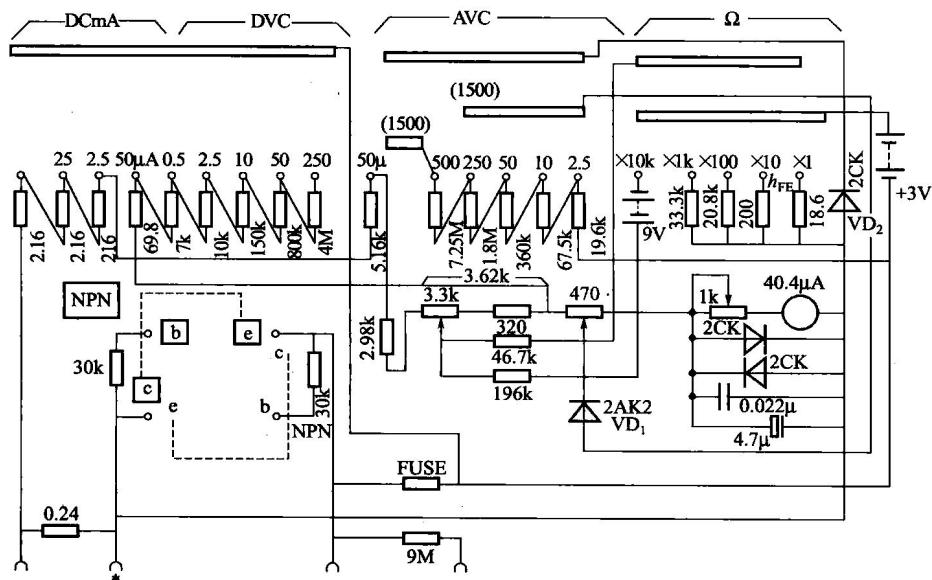


图 1-4 MF368 型万用表电路原理图

(3) 转换开关

转换开关用来选择不同的量程和被测量的电量。它由固定触点和活动触点两大部分构成。通常人们习惯把活动的触点称为“刀”，固定的触头称为“掷”。万用表所用的转换开关有多个固定触点和活动触点，因此转换开关是

多刀多掷的，且各刀之间是联动的。转换开关的具体结构因万用表的不同而有所差异。图 1-5 所示为 MF368 型万用表的转换开关。MF368 型万用表采用单层三刀二十掷的转换开关，它的二十个固定触点按圆周均匀分布，对应于二十个挡位。在圆周内还有两层共六个固定触点，分别为 A、B、C、D、E、F，其结构如图 1-5(a) 所示。三个滑动触点 a、b、c 是连在一起的，如图 1-5(b) 所示。当转动旋钮时，最外层触点相连的线路与内层固定触点相连的电路被接通，构成了所需要的测量线路。图 1-5(c) 所示为 MF368 型万用表转换开关的平面展开图。

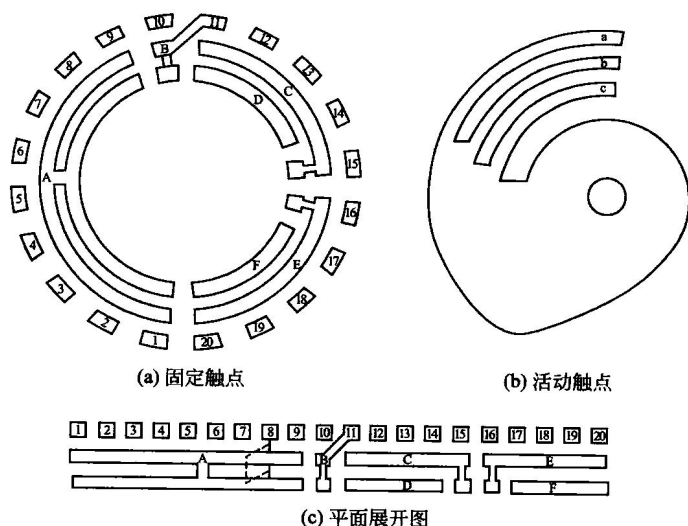


图 1-5 MF368 型万用表转换开关

MF368 型万用表共有二十个挡位。包括交流电压挡（2.5V、10V、50V、250V、500V）、欧姆挡（ $\times 10k$ 、 $\times 1k$ 、 $\times 100$ 、 $\times 10$ 、 $\times 1$ ）、直流电流挡（0.25A、25mA、2.5mA、 $50\mu A$ ）和直流电压挡（0.5V、2.5V、10V、50V、250V、500V）四大部分。

（4）表盘

如前所述，万用表是多电量、多量程的测量仪表。在测量不同电量时，为了便于读数，万用表表盘上都印有多条刻度线，并附有各种符号加以说明。因此正确理解表盘上各符号、字母的意义及每条刻度线的读法，是使用好万用表的前提。

万用表表盘上刻度和符号：

① 刻度线分为均匀和非均匀两种。其中电流和电压的刻度线为均匀刻度线，欧姆刻度线为非均匀刻度线；

② 不同电量用符号和文字加以区别。其中直流量用“—”或“DC”



来表示。交流量用“~”或“AC”来表示。欧姆刻度线用“ Ω ”来表示；

③ 为了便于读数，部分刻度线上有多组数字；

④ 多数刻度线没有单位，以便在选择不同量程时使用。

图 1-6 所示为 MF368 型万用表表盘。该表盘有八条刻度线，分别用来读取电阻阻值、直流电压和电流值、交流电压值、硅材料晶体管的 β 值、锗材料晶体管的 β 值、负载电流值、负载电压值和音频电平的值。

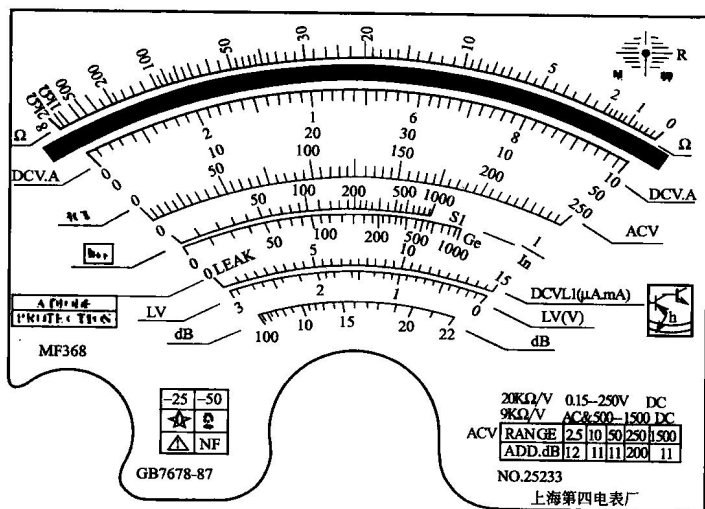


图 1-6 MF368 型万用表表盘

1.2.2 指针式万用表工作原理及技术指标

(1) 万用表工作原理

指针式万用表是把被测量电量转换为指针的偏转角，并使二者之间保持一定的比例关系。偏转角的大小就反应了被测电量的数值。而表头就是用来实现这一转换的核心部件。

表头由固定部分和活动部分两部分组成。固定部分主要用来产生一个均匀的辐射状的磁场。而活动部分则在外部电量产生的电流的作用下产生转动转矩。固定部分和活动部分共同配合，就可以带动指针产生角度的偏移，从而指示出被测电量的大小。表头通电后产生转动转矩的原理如图 1-7 所示。

当线圈流过电流时，固定部分的磁

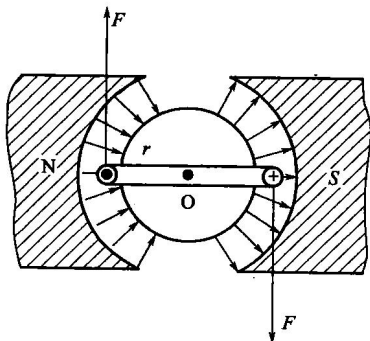


图 1-7 产生转动转矩的原理

场会对通电线圈产生电磁力，从而形成转动力矩，使指针发生偏转。根据左手定则，可以判断出电磁力的方向。根据安培力定律，还能确定电磁力的大小。线圈转动时，会引起游丝的形变，产生反抗力矩。反抗力矩的大小与偏转角的大小成正比。当反抗力矩与转动力矩相等时，活动部分停止转动。指针稳定在某一个偏转角上，从而起到指示作用。当线圈电流断开时，游丝使线圈返回平衡位置。

(2) 表头的技术指标

① 灵敏度 表头固定部分采用了永久磁铁。极掌间有圆柱形铁芯，工作缝隙很小。因此缝隙间的磁感应强度 B 较强，而表头的灵敏度 C 与 B 成正比。

② 功率消耗 由于表头灵敏度较高，当线圈通过很小的电流时，指针就发生很明显的偏转。电流量限最小可达 $1\mu\text{A}$ 。由于表头流过的电流很小，所以表头的消耗功率很小。

③ 准确度 由于表头固定部分产生的 B 很强，在很小的电流通过时，就会产生较大的转矩。因此可以削弱摩擦、温度变化及外界磁场等因素造成的误差。一般表头的准确度可以达到 0.5 级到 1 级。

④ 负载能力 表头的负载能力很小。因为被测电流要通过游丝，而且线圈的导线又很细，所以当被测电流过大时，极易引起游丝的弹性发生变化和线圈过热烧毁等现象。

(3) 万用表的技术指标

为了能够使测量结果准确、可靠，对万用表的性能提出了一系列技术要求，即万用表的技术指标。其内容主要有以下几个方面。

① 准确度 万用表的准确度通常称为精度。它反映了万用表在测量中基本误差的大小。基本误差是指万用表在规定的正常温度和放置方式，不存在外界电场或磁场的影响情况下，由于活动部分的摩擦，标尺刻度不准确，结构工艺不完善等原因造成的误差，它是仪表所固有的一种误差。基本误差越小仪表的准确度越高。根据国家标准仪表的规定，准确度可分为七个等级。即 0.1 级、0.2 级、0.5 级、1.0 级、1.5 级、2.5 级和 5.0 级。万用表的等级一般在 1.0~5.0 级之间。MF368 型万用表直流电压挡、直流电流挡和电阻挡的准确度为 2.5 级。交流电压挡的准确度为 5.0 级。

② 电压灵敏度 电压灵敏度为电压挡内阻与该挡量程电压的比值，如式(1-1)所示。其单位为 Ω/V 。

$$\text{电压灵敏度} = \frac{\text{电压表内阻}}{\text{电压挡量程}} \quad (1-1)$$

电压灵敏度主要取决于表头的满度电流 I_g 的大小。 I_g 愈小，灵敏度愈高。例如某万用表表头满度电流为 $50\mu\text{A}$ ，则电压灵敏度为