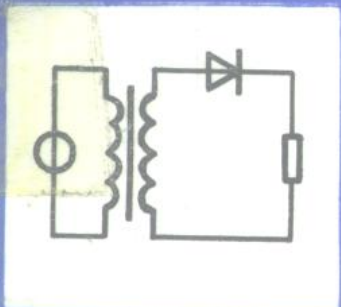
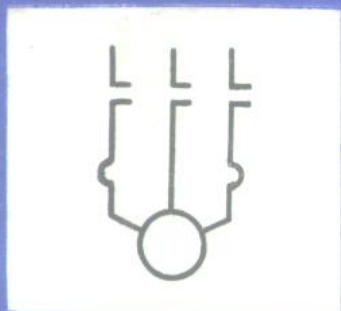
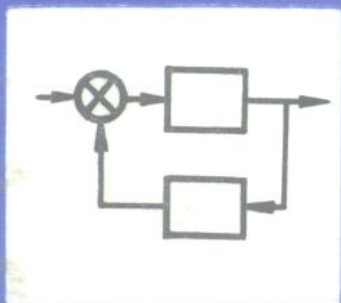
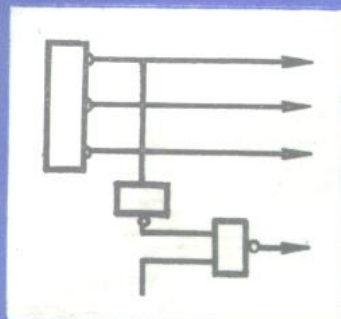


高等学校试用教材



电气实验技术与测量

(技术基础部分)

宋光汉 方之稔 编著



中国计量出版社

TM95
S82

353592

高等学校试用教材

电气实验技术与测量

(技术基础部分)

宋光汉 方之祺 编著



中国计量出版社

新登(京)字024号

内 容 提 要

本书是根据全国电气技术专业指导委员会通过的“电气技术专业(宽口)基本教学要求”编写的,旨在加强实验型教学环节。全书共12章。介绍了电气测量原理、测量方法、测量技术与测量手段,重点安排了电气工程中常用的电量、电参量以及其它一些非电物理量的测量实验,按渐进深度分为基础性实验、提高性实验、综合性实验三个层次。全书以培养学生能力为特点,贯彻循序渐进与科学作风。

本书可作为高等工业院校电气技术专业教材,也可供机电一体化各类专业的工程技术人员以及从事实验室的技术人员作参考。



高等学校通用教材
电气实验技术与测量
(技术基础部分)
宋光汉 方之稷 编著
责任编辑 倪伟清 王晓莹

中国计量出版社出版
北京和平里西街甲2号
三河县潮河印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

开本787×1092/16 印张19.25 字数464千字
1991年9月第1版 1991年9月第1次印刷

印数1—4000

ISBN 7-5026-0450-2/TM·2

定价9.80元

出版说明

电气技术专业是电工学科领域内强弱电相结合的一个学科型宽口径专业。自1979年创办以来，已在教育部、航空航天部、机械工业部、轻工业部、水利电力部、冶金工业部、地质矿产部、城乡建设环境保护部以及地方的几十所高等和中等院校相继成立了电气技术专业。1984年教育部批准将该专业由试办改为正式专业。1986年12月中国电工技术学会教育工作委员会组织同行专家评审通过全国电气技术教学研究会经调查研究而提出的《电气技术专业人才培养基本业务规格》，确定了该专业的主要课程。1987年成立全国电气技术专业教学指导委员会，挂靠在机械工业部。该委员会于1988年讨论通过了各课程研究组制定的主要课程和教学环节的基本要求，并据此组织编审有关教材，陆续出版，作为该专业的第一轮试用教材。

电气技术专业具有四个特性：其一是学科性，即它是面向整个电工学科而不是以某一特定的电气产品或工程对象来设置专业；其二是基础性，突出强调技术基础在人才培养过程中的重要性和技术基础课程自身学科体系的相对完整性；其三是综合性，强调学科相互交叉和相互渗透的重要性，因此提出四个结合，即强电弱电相结合，元件系统相结合，软硬件相结合和电与机相结合；其四是实践性，即在切实加强基础理论和基本技能的同时，特别强调培养综合运用这些基础和技能来分析和解决实际工程问题的能力，为此必须加强实践性的教学环节，并重视自学能力的培养。因此，本专业的课程设置、课程改革和教材编写都力求体现这四个特性。

虽然这批教材的书稿都是在具有多年教学经验，师生反映较好的讲义中，经院校推荐，专业指导委员会组织有关教师根据专业改造的基本要求重新编写并组织专家进行评审的。各有关出版社为保证教材的质量也作出了很多的努力，但是，限于水平和经验，并且这毕竟也还是初次改革的尝试，不足之处希望使用单位、广大师生提出批评和建议，为不断提高电气技术专业教材的质量而努力。

全国电气技术专业指导委员会

序

我校是一所为首都机电行业培养应用型人才的地区性高等学校。多年以来，为了主动适应国家对专业技术人才的迫切需要，把学校办出特色和水平，我系一直十分重视在总结经验、调查研究的基础上进行教学改革。我们认真学习了东南大学的办学经验，按照全国电气技术专业研究会确立的拓宽专业口径的主导思想，创办了机电结合和强弱电结合的两个学科型宽口径专业——电气技术专业和应用电子技术专业。为了把这两个专业办好，我们采取了一系列重要改革步骤，诸如：建立导师制，引导学生向正确的方向发展；突出政治思想教育；拓宽专业面；加厚基础知识；强化能力培养；更新教学内容；严格教学管理等。特别是在强化能力培养方面，我们下的决心最大，花的力气最多，变化也最为深刻。在各种培养能力的环节里，又特别注重实验课教学的根本性改造，我们把实验课作为培养学生能力的最重要手段，使实验教学与理论教学成为互相平行、互相依存、互为补充的两个独立教学系统。1982年以来，我们的做法是：（1）实验独立设课，其内容从低到高、从浅到深分为基础性实验、提高性实验和综合性实验三个层次；（2）成立实验教研室，系内所有实验课程、所有仪器设备、实验课任课教师和实验员都由实验教研室安排管理；（3）部分实验室课余向学生开放，积极开展第二课堂活动；（4）彻底改革实验课考试、考查方法，科学地评定学生实验课成绩；（5）大力提高实验人员的水平和素质，开展多种形式的进修提高和评比考核；（6）不断完善、修改教案和讲义，直至编写《电气实验技术与测量》课的正规教材和大纲。我们这些做法得到了全国电气技术专业指导委员会的有力帮助和鼓励，北京、上海、天津、山东、吉林、广东等地20多所高校的同行也不断专程前来座谈讨论、索取资料、贡献建议，1987年7月，以清华大学、北京航空航天大学为首的北京高校检测学会和以东南大学、山东工业大学为首的全国电气技术专业研讨会还先后在我系召开了实验课改革现场会。全国电气技术专业研究会还专门召集会议，审定通过了我系宋光汉等教师执笔的实验课教材编写大纲和基本要求。

宋光汉、方之镇两位副教授共同编写的这本教材，就是根据全国电气技术研究会的意见和在我校使用多轮讲义的基础上提炼修琢而成的、具有创造性的成果。

由于我校条件和水平的限制，我系的教学改革和这本教材很可能有不少片面甚至错误的地方，欢迎同行和读者多多批评指正。

借此机会，我系谨对长期关心、帮助我们的全国电气技术专业指导委员会和许多高校同行表示由衷的感谢。

北京联合大学机械工程学院

电气工程系主任 谢述灏

1988.7

编者的话

中国电工技术学会电气技术专业教育研究会在第四次年会上决定成立11个专题研讨小组，研讨并制定各门课程的基本教学要求，由各研讨小组起草并组织有关学校和任课教师讨论。经1987年和1988年两次全国年会上讨论、修改11门课程的基本教学要求，最后经电气技术专业指导委员会第二次全体会议通过，决定作为本科教学的基本文件。本书是根据1989年制定的电气技术专业基本教学要求中的实验课部分，由实验课研讨小组负责单位——北京联合大学机械工程学院电气工程系组织编写。

高等工业学校教育研究协作组就专业设置、调整、人才规格等讨论时提出过：“……人才培养的要求应该是：一、理论基础厚；二、知识覆盖宽；三、实践能力强。即‘厚、宽、强’三点兼备的人才，才具有较好的适应性……”，“……考虑到适应我国的国情，要培养‘创新型’、‘开发型’人才。因此，大学工科专业的学生培养方向应该是：打好基础，厚而有劲，扩宽知识，举一反三；适应能力，随而不滞……”，对此各院校深有同感，并相继引发教学的改革。北京联合大学机械工程学院电气工程系自1982年起开始对实验教学进行了全面改革，在培养应用型人才方面，办特色、上水平。在本系各专业开设了自创的一门新课《电气测量理论及实验技术》，将教学计划中的全部技术基础课和专业课的实验学时抽出来，独立设课、自成体系，形成了以技术基础课实验和专业课实验8字形的两大循环系统。学生自第三学期起一直到第七学期止共五个学期中，均匀地安排每周三学时以上学习该课程。教学方式除讲授相应的测量理论外，有占学时比例近2/3的大量的实验、课程设计、实验专用周等多种环节。其中的实验环节按循序渐进，由浅入深的原则分为基础性实验、提高性实验与综合性实验三个层次。期末采取实验考试与理论笔试，列为考试课程。多年的实践深受学生的欢迎，也受到各兄弟院校的高度重视。

1985年由宋光汉等老师在该课程技术基础部分自编讲义的基础上，结合实际开设该课程中的经验，拟订了正式教材的编写大纲，并起名为《电气实验技术与测量》。这部分教材在内容上覆盖了电类专业的技术基础课程电路、电子、电测和电机拖动等有关实验教学的部分，而在结构上以测量理论引导到具体实践，以能力培养与实验技能训练为目标，讲授上可自成体系，不受理论课程牵制。专业实验课程部分的内容，覆盖了微机、自控原理、自控系统、电力电子、电器电机等专业课程中有关实验教学的部分，后一部分的教材将在本书出版之后稍晚些时间内出版。

本书的编写贯穿能力的培养，前9章为测量理论部分，后3章为实验部分。理论部分着重测量技术，是实验部分的先导，一般可在学完相应的理论部分之后即可完成对应的实验。其中个别章节内容是考虑到各课程部分内容的交叉重叠，为避免重复且保证深度，因此整理集中在本课程中详细讲述。例如：模-数之间的转换，在电路理论、电子技术、微机原理、检测技

术等课程中均有讲授，但广度与深度不够，学生学习效果不好，因此集中在本课程第五章电子测量中讲授。实验部分中的三个不同层次均分别提出实验要求，每个实验项目只提出实验方案与思路，而对实验设备、实验步骤不作详细介绍。实验项目保留了一部分验证性实验，适合于不同类别学校各取所需。按三个层次的不同实验要求，由浅入深、由引导到放手，在实验任务与方法上也是由详细叙述到简要提示，最后上升到由学生自行设计并逐渐向工程试验过渡的综合性实验。

本书可适用于各种类型的学校作为测量学科或实验教学的教材。全书采用积木式结构，理论部分与实验部分可衔接、前后呼应，也可独立成章。学时安排应根据先修课程情况决定，建议第一、二、三章为36—50学时，第四、六章为36学时，第五章为24—30学时，第七、八章为26—30学时，第九章为30学时，实验项目应根据不同学期讲授不同的理论内容之后选择，一般每项实验在3学时左右，综合性实验每项学时较长，可安排几次来完成。

本书的第一、二、三、四、六章约请北京工业大学方之稹编著；第五、七、八、九章由宋光汉编著；第十、十一、十二章方之稹、宋光汉合作完成；其中数字电路与滤波器等九项实验由李春芳完成；梁爱琴、刘津瑜协助绘制了部分图表。

本书由电气技术专业指导委员会组织审稿。经许莘、王宝龄、雷渊超、段永福、吴铁坚五位专家教授详细审阅，认真地对书名、章节名称、前后连贯性、教材内容等多方面提出宝贵的意见。中国计量出版社倪伟清副总编辑始终参加审稿会议，提出建设性意见并对本书的出版给予了大力支持。对在本书编写中各实验室的工程技术实验人员提供多年丰富的经验与帮助以及所引参考书目的作者在此一并致谢。

书中若有不妥，欢迎读者指正。

编 著 者

1990年7月

目 录

第一章 传统仪表和仪器	(1)
第一节 概述.....	(1)
第二节 指示仪表的分类和标志符号.....	(1)
第三节 指示仪表的技术要求.....	(4)
第四节 仪表误差及准确度.....	(6)
第五节 指示仪表的静态特性.....	(7)
第六节 指示仪表的动态特性.....	(8)
第七节 指示仪表的一般结构和工作原理.....	(11)
第八节 磁电系仪表.....	(13)
第九节 电磁系仪表.....	(17)
第十节 电动系仪表.....	(19)
第十一节 静电系仪表.....	(21)
第十二节 感应系仪表.....	(22)
第十三节 带变换器的磁电系仪表(整流系仪表).....	(26)
第十四节 万用表.....	(27)
第十五节 兆欧表.....	(28)
第十六节 指零仪表.....	(30)
第十七节 直流电桥.....	(33)
第十八节 交流经典电桥.....	(34)
第十九节 电位差计.....	(35)
第二十节 标准元件简介.....	(37)
第二章 近代仪表和仪器	(43)
第一节 概述.....	(43)
第二节 运放式仪表.....	(43)
第三节 感应耦合臂电桥.....	(46)
第四节 有源电桥.....	(49)
第五节 数字仪表.....	(51)
第六节 几种特殊变换功能的仪表.....	(58)
第七节 智能化仪器.....	(62)
第三章 测量方法和测量误差	(64)
第一节 概述.....	(64)

第二节	测量误差	(64)
第三节	间接测量时系统误差的估算	(68)
第四节	测量方法	(72)
第四章	电测量	(78)
第一节	概述	(78)
第二节	电流和电压的测量	(78)
第三节	功率、能量和功率因数的测量	(97)
第四节	频率的测量	(97)
第五节	电路参数的测量	(99)
第五章	电子测量技术	(109)
第一节	概述	(109)
第二节	电子测量的基本要求	(111)
第三节	示波器测量技术	(112)
第四节	取样技术	(118)
第五节	模拟与数字量之间的转换技术	(125)
第六节	电子测量中的变换技术	(144)
第六章	磁测量	(149)
第一节	概述	(149)
第二节	磁性测量的基本原理	(151)
第三节	磁性测量的方法和仪器设备	(154)
第七章	其它常用物理量测量	(167)
第一节	概述	(167)
第二节	绝缘特性的测量	(169)
第三节	温升的测量	(171)
第四节	机械性能测试(超速试验)	(175)
第五节	转速、转矩测定	(176)
第六节	负载试验	(181)
第七节	变压器线圈联结组别的测定	(185)
第八节	低压电器试验	(187)
第八章	抗干扰技术	(193)
第一节	概述	(193)
第二节	干扰的来源	(193)
第三节	形成干扰的三要素	(194)
第四节	串模干扰与共模干扰	(199)
第五节	抗干扰措施	(201)
第九章	实验技术	(213)
第一节	概述	(213)
第二节	实验数据处理	(213)
第三节	实验报告与论文书写	(220)

第四节	实验步骤与故障排除	(222)
第五节	实验设计的基本方法	(224)
第六节	电子电路读图法	(225)
第七节	焊接、安装与调试	(228)
第八节	安全技术	(231)
第十章	基础性实验	(235)
第一节	概述	(235)
第二节	基础性实验阶段的要求	(235)
第三节	实验项目与内容	(236)
实验1	电路的电位分析	(236)
实验2	电路基本定理	(238)
实验3	线性电路的过渡过程	(239)
实验4	正弦交流电路参数的测定和电路性能的调整	(241)
实验5	三相电路功率的测量	(242)
实验6	互感电路的测量和分析	(243)
实验7	运算放大器电路的性能及其应用	(244)
实验8	串联谐振电路的分析	(245)
实验9	示波器测量技术(一)——RLC元件模型	(246)
实验10	示波器测量技术(二)——阻抗角及阻抗模	(247)
实验11	示波器测量技术(三)——非正弦电路	(248)
实验12	示波器测量技术(四)——一阶与二阶电路性能	(249)
实验13	磁性材料的动态特性	(250)
实验14	仪表性能测试	(251)
实验15	测量方法的比较与分析	(252)
实验16	放大电路(一)——交流放大器	(252)
实验17	放大电路(二)——直流放大器	(253)
实验18	反馈电路	(254)
实验19	触发电路	(255)
实验20	计数电路	(257)
实验21	寄存器	(258)
实验22	译码和数字显示	(260)
第十一章	提高性实验	(262)
第一节	概述	(262)
第二节	提高性实验阶段的要求	(262)
第三节	实验项目与内容	(262)
实验1	无源双口网络性能	(262)
实验2	几种典型波形的波形因数的测量和确定	(263)
实验3	非线性电路的研究	(264)
实验4	等效电源和等效阻抗的研究	(264)

实验 5	三相Y形接线中性点位移的研究	(265)
实验 6	三相系统的谐波分析	(266)
实验 7	无源滤波器的设计与调试	(266)
实验 8	有源滤波器的分析与调试	(268)
实验 9	选频电路的设计与调试	(269)
实验 10	裂相电路的设计与调试	(270)
实验 11	简单稳压电源的设计、组装和调试	(272)
实验 12	逻辑组合电子电路	(273)
实验 13	单相变压器的空载和短路试验	(274)
实验 14	三相变压器的联结组别	(276)
实验 15	三相异步电动机的起动和制动	(277)
实验 16	三相异步电动机运行的控制和保护	(278)
实验 17	三相异步电动机的运行特性	(278)
实验 18	三相异步电动机的空载和短路	(279)
实验 19	直流发电机的特性测定	(280)
实验 20	直流并激电动机的特性测定	(281)
第十二章	综合性实验	(283)
第一节	概述	(283)
第二节	综合性实验阶段的要求	(283)
第三节	实验项目与内容	(283)
实验 1	RC移相电路的设计与调试	(283)
实验 2	万用电表设计、装配与调试	(285)
实验 3	负载的最大功率和系统的效率	(289)
实验 4	用补偿法测量电压、电流以及测量机构和测量变换器的保护研究	(290)
实验 5	标尺展开式仪表的研究	(291)
实验 6	霍尔变换器的应用研究	(291)
实验 7	新型相位测量电路的研究	(292)
实验 8	数字钟、频率表、周期计	(294)
实验 9	变压器的出厂试验	(296)
实验 10	电动机的出厂试验	(297)
	参 考 文 献	(297)

第一章 传统仪表和仪器

第一节 概 述

电工仪表和仪器可以分为两大部分：(1) 常用传统仪表和传统较量仪器；(2) 近代仪表和近代较量仪器。

电工测量仪表和仪器按测量方式可分为直读式仪表和比较式仪器两类。前者测量结果可以直接由仪表显示和读出，而后者需要将测量与标准量进行比较并通过调节达到平衡后得到结果。

直读式仪表按显示方式又可分为模拟量指示仪表和数字量显示仪表。前者主要是电气机械式仪表，采用指针、光点或计数机构在仪表标尺或表盘上读出，简称指示仪表；后者是用数字显示测量结果。

比较测量仪器一般是由调节盘上的挡位数字读出，也有用数字量直接显示出结果。

本章主要介绍常用的传统仪表和较量仪器。所谓常用传统是指过去几十年来常见的指示仪表（电压表、电流表、欧姆表等等）和一般较量仪器（电桥、电位差计等）。本章将叙述仪表误差和准确度的概念；介绍指示仪表标尺的读数方法，仪表的基本结构、工作原理和技术特性；介绍较量仪器的结构、工作原理和技术特性以及标准元件等。

第二节 指示仪表的分类和标志符号

电工测量指示仪表的种类很多，分类方法也很多，常用的分类方法有：

(1) 根据指示仪表测量机构的结构和作用原理，分为磁电系、电磁系、电动系、静电系、感应系等。

(2) 根据被测对象的名称，分为电流表（安培表、毫安表、微安表等）、电压表（伏特表、毫伏表等）、功率表（瓦特表）、电能表（电度表、千瓦时表）、相位表（功率因数表）、欧姆表、高阻表（兆欧表）以及各种多用途仪表，如万用表、伏安两用表等。

(3) 根据仪表所测的电流种类，有直流仪表、交流仪表、交直流两用仪表。

此外尚可按准确度等级，对电场或磁场防御能力和使用条件等分类。

指示仪表的表盘上常可以看到一些标志符号，其中有表示电流种类、仪表准确度、仪表结构和作用原理的系别、仪表放置方式、防御外电场或磁场级别、使用环境条件以及绝缘水平等。对于被测对象，通常在面板标尺正中下方用尺寸较大的外文字母标出，一目了然。

指示仪表表盘上的标志符号如表1—1所示。

关于仪表防御能力和使用环境的级别见表1—2和表1—3所示。

指示仪表面板符号及其含义，在使用时应经常注意，熟悉后将对使用者带来不少方便。

表 1—1 指示仪表表盘上的标志符号


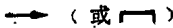






















标志符号	型号	仪表系列	应用范围及仪表用途
	C	磁电系	直流电表，流比表等。A, W, Ω, MΩ, 检流计等
	T	电磁系	一般交(直)流实验室用表，盘式表等。A, V, Hz, cosφ等
	D	电动系	一般工频交流(直流)实验室用表。A, V, W, Hz, cosφ, 同步表
	Q	静电系	高电压测量用表(交直流电压), V, 象限表等
	G	感应系	工频交流电能计量, 交流电能表
	L	带变换器的磁电系 整流式	万用电表。A, V, Ω, cosφ, Hz和万用表
	E	带变换器的磁电系 热电式	高频电路用表。A, V, W等
	Z	带变换器的磁电系 电子式	弱电线路用表, V, 阻抗测量等

标志符号	所代表的意义
1	直流仪表
2	交流仪表(一般指正弦交流)
21	交流直流两用仪表

按仪表的结构和工作原理的标志符号

按仪表的使用条件和保护性能的标志符号

续表

标志符号	所代表的意义
	对称三相制和非对称三相制
 (或 )	仪表水平放置
 (或 )	仪表垂直放置
 或 	表盘或仪表本身与水平成30°或60°放置
0.5; 1.5或  : 	仪表准确度级为0.5级; 1.5级(即0.5%; 1.5%)
 或 	按仪表标尺长度百分数表示准确度为1.5%或2.5%
 或  ,  , 	分别表示仪表绝缘经2kV耐压试验; 500V耐压; 不经耐压试验
45—1000—1500	仪表能保持准确度级的额定频率范围及扩大频率值
   和   	仪表防外磁场级别和防外电场级别
  	仪表容许的工作环境级别

按仪表的使用条件和防护性能的标志符号

表 1—2 仪表防御能力

防外磁场等级*	仪表读数容许变化 (满刻度的百分数)%
I	±0.5
II	±1.0
III	±2.5
IV	±5.0

*在外磁场为400A/m条件下测试。

表 1—3 仪表的工作环境级别

级 别	A	B	C
温度(°C)	0~+40	-20~+50	-40~+60
相对湿度(%)	80以下	85以下	98以下

第三节 指示仪表的技术要求

对于使用者来说，希望指示仪表测量准确、操作简单、显示清晰、易读、自身功耗少、过载时不易损坏以及对环境要求较低等。因此通常对指示仪表的主要技术要求除包括准确度、灵敏度、标尺特性、仪表功耗、过载能力等外，还要求频率范围、波形条件及其它环境使用条件等。

1. 准确度

所谓仪表准确度，通常就是指仪表的准确度级别，如1.0级，2.5级等。准确度级别表示仪表在正确和正常使用条件下所能达到的最小相对误差，由相对额定误差来决定，可参阅本章第四节。选用仪表的准确度要与测量所要求的准确度相适应，即根据实际需要和具体条件许可因地制宜。根据国家标准将指示仪表分为0.1，0.2，0.5，1.0，1.5，2.5，5.0七级。当然，随着科技发展，这些分级标准还可能有所扩展或变化。通常0.1级和0.2级仪表多用作标准仪表以校准其它工作仪表或仪器；0.5级~1.5级可作为一般实验室用表；配电盘式仪表等级可能要求更低些。

2. 灵敏度

仪表指针或光点偏转角的变化量与被测量的变化量之比称为仪表的灵敏度，其表达式为

$$S = \frac{d\alpha}{dx} \quad (1-1)$$

式中 S——仪表灵敏度；

α ——偏转角；

x——被测量。

由此可见，灵敏度取决于仪表的偏转性能，并与被测量性质有关，它是单位被测量的偏转角。例如将1 μ A的电流通入微安表，若该表偏转10格，则其灵敏度S为10格/ μ A。仪表的偏转角一般为90°~110°，某些广角仪表可达270°左右。在有限的偏转范围内，灵敏度越高就意味着量限越小。不同类型仪表其灵敏度有时相差很大。仪表灵敏度反映了仪表所能测量的最小被测量。对于测同一被测量(如测电压)的不同型式仪表，其结构不同，即使有相同的电压灵敏度而可能有不同的电流灵敏度，反之亦然。因此选用仪表时不要顾此失彼，应综合考虑，相互兼顾。

3. 仪表的功耗

当仪表接入被测电路时，其自身将消耗一些功率，这称为仪表的功耗。功耗大小取决于仪表的内阻抗数值。为了尽可能减少功耗，对于电压表应有尽可能大的内阻抗；对于电流表

应有尽可能小的内阻抗；而功率表应具有以上两者的有利因素，才能使功耗尽可能小。关于仪表功耗的考虑也要视实际被测电路而定，有时可以不予考虑，而有时必须考虑。例如用电压表测稳压电源或大容量电源电压时，无论电压表的内阻抗值多少（或功耗多少），该电源的电压不会因仪表功耗大小而有所改变；相反，若被测电路本身是高内阻抗小容量的，即使仪表功耗不太大，也会导致被测电路工作状态的变化，从而引起测量方法误差。当然，小容量的被测电路和大功耗的仪表将会引起更大的误差。

4. 仪表的标尺特性

由于各种系列的仪表结构和工作原理不同，指示仪表的标尺刻度特性也不相同。标尺刻度有线性（或非线性）（或均匀和不均匀）两大类。非线性标尺刻度尚有正向和反向刻度之分，其不均匀性有按平方律的，也有按双曲线函数规律的。标尺刻度的不均匀性，使得某些仪表刻度的起始部分无法准确读数，这些部分往往成了无效区，有些仪表标尺在有效区与无效区的分界处分格线上方打一个小圆点以示分界。图1—1所示为几种指示仪表的标尺特性。

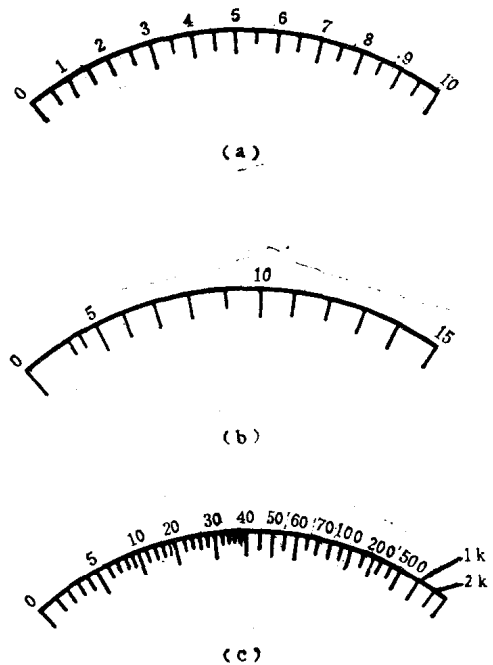


图 1—1 几种指示仪表的标尺特性
(a)均匀刻度标尺 (b)不均匀刻度标尺
(c)不均匀刻度标尺

指示仪表的标尺读数精度（即能够读得的有效数位数）是有规律的，以图1—2均匀标尺为例，从起始线到第二条线以内（不包括第二条线），可以读得一位有效数；从第二条线到第十分格以内可读得二位有效数；从第十一条线到第一百分格以内可得三位有效数；从第一百零一条线到第一千分格以内可得四位有效数。依次类推可得规律，每增加至十倍分格数的范围内，将使读数精度增加一位，即“增十倍加一位”。这一规律仅与标尺分格疏密程度有关，而与仪表指示所代表的量值和测量单位无关。一般来说，指示仪表准确度越高就要求标尺读数精度也越高，即应与之相适应。

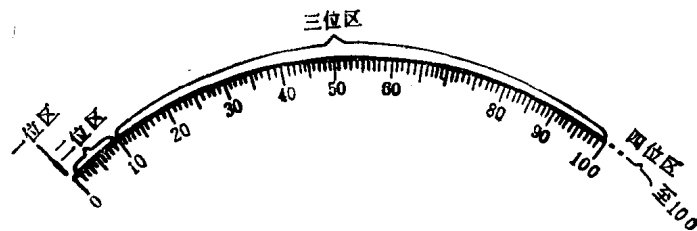


图 1—2 均匀标尺基本读数精度区示意

5. 仪表的阻尼时间

阻尼时间是指仪表的指针或光点从被测量加入或去掉时的初始位置到最终距离稳定位置小于标尺全长 1% 时所需的时间。一般仪表为了读数迅速，其阻尼时间越短越好，通常规定不超过 4s，较好的仪表约为 1.5s 左右。

总之，指示仪表的技术要求，归结起来应具有：足够的准确度；适当的灵敏度；良好的标尺特性；较小的阻尼时间；较小的功耗。除此以外，对于交流仪表还应具有较宽的频率范围。对于各种指示仪表都应具有抗外界环境干扰因素能力强，并有较强的过载能力和足够的绝缘耐压能力以保证人身和仪表本身的安全。

第四节 仪表误差及准确度

(一) 仪表误差的分类

根据误差产生的原因，仪表误差可分为两类：

1. 基本误差

仪表在正常条件（规定温度、压力、放置方式等）下使用，由于结构和工艺等原因而产生的误差称为基本误差。基本误差是仪表本身固有的。

2. 附加误差

仪表偏离正常使用条件，如温度、湿度、波形、频率、放置方式以及周围杂散电磁场等超出仪表允许的范围，这些均属于外界因素的影响，使仪表产生附加误差。

(二) 误差的表达方式

1. 绝对误差

测量值（仪表的指示值，有时简称读数）与被测量的真值（有时也用实际值这一名称）之间的差值称为仪表的绝对误差。若用 α_x 表示测量值，用 α_0 表示实际值，则绝对误差可定义为

$$\delta = \alpha_x - \alpha_0 \quad (1-2)$$

绝对误差有正负之分，正值表示测量值大于实际值，负值则相反。在指示仪表的标尺刻度分度线各处的绝对误差不一定相同，在全标尺某一分度线上可能出现最大绝对误差 δ_m ，通常用来决定仪表的准确度级别。在正常使用条件下，仪表标尺各点的绝对误差不会超过这个 δ_m 值，即

$$|\delta| = |\alpha_x - \alpha_0| \leq \delta_m \quad (1-3)$$

2. 相对误差

相对误差是绝对误差 δ 与被测量的真值（实际值） α_0 之比，通常用百分数 β 来表示，即

$$\beta = \frac{\delta}{\alpha_0} 100\% = \frac{\alpha_x - \alpha_0}{\alpha_0} 100\% \quad (1-4)$$

当 δ 已知时，很容易求得 β 值，由于 α_0 较难测得，有时可用 α_x 代替 α_0 ，则相对误差可近似写为

$$\beta = \frac{\delta}{\alpha_x} 100\% \quad (1-5)$$

由此可见，仪表指示值越大，其测量准确度越高。

3. 引用误差