

普通高等教育机电类规划教材

自动显示技术及仪表

(第3版)

上海机械学院 纪树赓 主编

机械工业出版社

普通高等教育机电类规划教材

自动显示技术及仪表

(第3版)

上海机械学院 纪树赓 主编
付志中 参编



机械工业出版社

(京)新登字054号

本书是原《自动显示技术及仪表》的第3版,它是根据我国自动化仪表工业的现状和发展以及原教材的使用情况进行修订的。全书共分模拟显示技术及仪表、数字显示技术及仪表和计算机图形显示与绘图技术及设备等三篇。修订后删掉了原书中较陈旧的内容,着重补充了新内容,除了介绍常规的工业自动显示仪表的有关技术外,增添了微机化显示仪表的模块化设计方法、计算机图形显示技术及绘图技术等新内容。除了介绍必要的原理、线路和结构外,还加强了基础理论和设计方法与使用的份量。对微机化仪表、CRT图形显示和自动绘图仪而言,除了介绍硬件技术外,还适当介绍软件技术。

本书为自动检测技术和工业自动化仪表专业的教材,也可作为其它仪表类和自动化类专业的教材,并可供有关工程技术人员参考。

自动显示技术及仪表

(第8版)

上海机械学院 纪树康 主编

*
责任编辑:王小东 版式设计:胡金琰
封面设计:郭景云 责任校对:姚竹青
责任印制:卢子祥

*
机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京交通印务实业公司印刷

(原人民交通出版社印刷厂)

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*
开本 787×1092¹/₁₆·印张16³/₄·字数409千字

1981年6月重庆第1版

1987年11月北京第2版

1994年5月北京第3版·1994年5月北京第11次印刷

印数 41051—45 500·定价: 8.35元

*
ISBN 7-111-03984-X/TP·200(课)

前 言

《自动显示技术及仪表》自1987年11月修订再版到现在已经五年了。由于自动显示技术及仪表行业的不断发展，为了适应教学需要，经自动检测技术和工业自动化仪表专业指导委员会1991年在上海召开的会议决定再次修订。

本书是根据我国自动化仪表工业的现状修订的，修订后删掉了较陈旧的内容，着重补充了新内容。除了介绍常规的工业显示仪表的有关技术和仪表外，增添了微机化显示仪表的模块化设计技术、计算机图形显示技术及绘图技术等新内容。同时根据专业培养目标的要求，除了介绍必要的原理、线路和结构外，加强了基础理论和设计方法与使用的分量。对微机化仪表、CRT图形显示和自动绘图仪而言，除了介绍硬件技术外，还适当介绍软件技术。

本书为自动检测技术和工业自动化仪表专业的教材，也可作为其它仪表类和自动化类专业的教材，并可供工程技术人员自学参考。

本书由上海机械学院纪树赓教授主编，由清华大学王家桢教授审稿。本书共分七章，其中第一、二、五、六、七章由纪树赓教授编写，第三、四章由付志中讲师编写。本书的编写大纲曾广泛吸收了清华大学、天津大学、华中理工大学、山东工业大学和上海工业自动化仪表研究所等有关单位提供的宝贵意见。此外，在编写过程中参考和引用了有关书籍，上海大华仪表厂等单位的有关同志给予热情帮助和提供资料，在此一并表示谢意。

由于编者水平所限，书中缺点和错误在所难免，希望广大读者指正。

编 者

1993.7

目 录

前言

绪论 1

第一篇 模拟显示技术及仪表

第一章 模拟式指示记录仪表的基本概念 5	第一节 模拟式显示仪表的基本构成型式和指示记录机构 5	第二节 显示仪表的质量指标 11	第三节 模拟式显示仪表的静态特性 16	第四节 仪表的静态准确度分析 20	第五节 仪表的动态特性和动态准确度 25	习题 32	参考文献 33
第二章 动圈式指示仪表 34	第一节 XC系列动圈式指示仪表的原理与结构 34	第二节 动圈式仪表的灵敏度和准确度 40	第三节 动圈式仪表的串、并联电阻 44	第四节 动圈式仪表的应用 45	第五节 XF系列动圈式仪表 47	习题 49	参考文献 50
第三章 自动平衡式指示记录仪表 51	第一节 概述 51	第二节 XWC型自动平衡式指示记录仪 52	第三节 EH系列指示记录仪表 74	第四节 XJFA-02型数据记录仪表 79	习题 91	参考文献 92	

第二篇 数字显示技术及仪表

第四章 工业自动化用数字显示仪表 93	第一节 数字显示仪表的构成及主要技术指标 93	第二节 信号的采样与量化过程 97	第三节 数字显示器件 102	第四节 工业参数的线性化显示 112	第五节 XZMA-200系列数字显示仪 120	第六节 干扰及仪表的抗干扰措施 126	习题 137	参考文献 137
第五章 微机化数字显示记录仪表和模块化设计 138	第一节 RA-3800系列顺序事件记录仪的模块化组成原理与功能 138	第二节 主要功能模块原理 141	第三节 模块间的信息交换与时间同步 153	第四节 仪表可靠性与故障诊断 158	第五节 顺序事件记录仪与IBM PC联机应用 166	习题 169	参考文献 169	

第三篇 计算机图形显示与绘图技术及设备

第六章 计算机图形显示技术及设备 170	第一节 图形显示技术基础 170	第二节 光栅式CRT图形显示器原理 177	第三节 IBM PC微型计算机的图形
----------------------------	------------------------	-----------------------------	--------------------

显示器.....	195	习题.....	254
第四节 CRT图形显示的有关应用技 术.....	207	参考文献.....	254
习题.....	221	附录	255
参考文献.....	221	附录A 晶体管自动平衡式显示仪表型号 命名.....	255
第七章 计算机绘图技术及绘图仪	222	附录B 新型AL多量程混合式自动平衡 记录仪命名.....	256
第一节 计算机绘图技术概论.....	222	附录C 国内外部分图形数字化仪产品 简况.....	257
第二节 自动绘图的插补原理.....	226	附录D 国内外部分自动绘图仪产品简况...	258
第三节 DXY型和DMP型自动绘图仪.....	232		
第四节 绘图命令和绘图软件.....	243		

绪 论

一、信息显示技术的概念和发展过程

随着工业自动化技术、通信技术和计算机技术的发展，出现了一门新学科——信息科学。它研究的范畴是信息的获取、传递、处理和显示。信息显示技术是信息科学中的一个重要组成部分。信息显示的目的将工业（或其它）过程中的信息变成便于人眼观察的形态显示出来，使人们对研究的对象有所了解，因此在“人-机联系”方面起着重要的桥梁作用。

显示技术本身涉及的范围很广，它包括了许多学科的成果和工程上的新贡献，例如：物理学、数学、电工与电子学、机构学、材料学以及计算机科学等，它是一门多学科性的技术。

早期，工业自动化仪表的检测元件和显示部分一般都作成一体，仪表一般都安装在现场，称为基地式仪表。所以当时并没有显示仪表和显示系统的概念。随着工业自动化技术的发展，自动化系统中监、控的参数越来越多，为了便于集中管理和高度自动化的要求，出现了工段、车间和中央控制室，系统中的各参数用仪表屏上的显示仪表集中显示和记录，便于运行操作人员及时和全面了解工业过程的情况。特别是自从出现了单元组合仪表后，为了设备配置和使用的灵活性及制造上的标准化、系列化和通用化起见，检测部分与显示部分逐渐分开而形成了显示仪表单元的系列产品，以满足广大用户的需要。近几年来，由于显示原理和新技术的不断出现，显示技术和仪表的发展也比较迅速，不仅限于制造各种单机化的显示仪表，为了适应大型工业自动化系统的要求，还出现了与计算机连用的图形显示系统和显示站。目前正在迅速发展的微处理器也在显示技术和显示仪表中起到了极其重要的作用。

在科学技术和工业生产自动化中，为了达到显示目的，人们设计了各种显示仪表及显示系统，它们可以按不同的方法进行分类。从显示方式而言，可以分为模拟式显示、数字式显示、图形显示以及声、光报警等。

二、显示仪表和系统的种类、特点及概况

（一）模拟式显示仪表

早期的工业生产过程中几乎都是采用模拟式指示、记录仪表。被测量是以仪表指针线性位移（或角位移）的形式进行模拟指示和记录。这类仪表在结构上一般是由信号放大及变换环节、电磁偏转机构（或伺服电动机）和指示记录机构组成，因此它的测量准确度、测量速度都受到一定的限制。

对于模拟式指示仪表而言，在读数上容易造成多值性，即一个指示值由不同的人站在不同角度的位置去读数，可得不同的结果。因此，需要有经验的操作人员去读数。虽然这类仪表有上述问题，但其优点是简单可靠、价格低廉、又容易反映测量值的变化趋势，即便是在仪表屏上排列了许多只仪表，操作人员也能一目了然地了解到总体情况。

这里特别要指出的是自动记录式仪表，目前在科学研究和工业自动化生产中大多数的参数都是用记录曲线来代替直接观察。特别是在时间坐标的两个极端情况下即时间极快和持续

很久的观察，一般只有靠连续记录才能实现，因此记录仪表的使用范围已延伸到从最慢到最快过程的全部领域。记录仪表的特点是：

1)记录仪表所记录的被测值与另一参数（大多是时间）的相对关系是一种客观记录，因而排除了主观观察的误差。

2)记录曲线是一种便于保存的技术资料，随时皆可查阅。

3)通过记录能节省运行操作人员从指示仪表上不断地读数 and 抄录测量值所耗费的时间和精力。特别是当追随一个持续很久的过程时，以及测量许多相同或不同的过程时，采用记录仪表就很合理。它能代替大量的观察和抄表人员，具有一定的经济性。

4)可以记录被测值变化速度超出人类观察能力的过程。记录仪表能够记录出不能预见而突然出现的参数变化。纵然是有责任感的观察人员，有时也会由于生理上的原因而错过和遗漏了重要的参数突变过程，特别是在发生故障的时候，而记录仪却能准确如实地把状态记录下来。

5)记录仪表能记录观察人员无法接近现场或者观察人员在现场会使测量受到障碍的过程。

6)记录曲线要比一系列的打印数据更容易显示出过程参数的变化和趋势。

正由于这些原因，目前在科学研究或工业生产系统中还是大量使用模拟式指示和记录仪表。

自动平衡指示记录仪表就是在设计和制造上比较成熟的一种产品，现今各国的各大公司仍继续大量生产，并普遍地应用于工业自动化中。但现在已采用了集成电路运算放大器等新元件，有的还采用了微处理器，扩大了仪表的功能。准确度一般为 $\pm 0.5\%$ 。

(二)数字式显示仪表

在工业自动化中采用的另一类显示仪表是数字式显示仪表。数字式显示仪表是随数字技术的发展而发展起来的。在工业自动化系统中，它与各种检测仪表相连接，对各种参数进行测量，并以数字形式显示或打印输出。

这类仪表在原理上避免了模拟式指示记录仪表所具有的机械结构，而是采用组合逻辑电路或大规模集成电路，将被测信号转换成数字量进行显示或打印。因此它的特点是测量速度快、分辨力和准确度高（分辨力可达 $1\mu\text{V}$ ，准确度可达 10^{-6} 级）、读数直观、重现性好、功能多，尤其是它能将模拟信号转换为数字量，便于和数字计算机连用，经转换也可输出模拟信号。这样在自动化系统中就可以起着模拟/数字和数字/模拟转换的桥梁作用。

数字式仪表很早就实验室中被采用了，后来在工业自动化和其它场合也得到推广应用，这是因为大规模集成电路技术和各种新型显示器件发展的结果。从数字显示器件的大小来看，大到运动场和飞机场等公共场所用的巨大数字显示广告和报表，小到计算器或某些袖珍式仪表的数字显示。又例如美国里兹(L&N)公司的测量钢水温度用消耗式热电偶测温仪表，加装了模/数转换元件后，可在测量杆的手柄上显示四位数温度值。数字显示仪表的新品种很多，功能也很丰富。近几年来由于微处理器在数字式显示仪表中的应用，使仪表的功能大大提高了。这样的仪表一般都具有人-机对话功能和自诊断功能，即具有一定的人工智能，故也称这种微机化仪表为智能仪表。它不仅使测量过程实现了自动化测量，也大大提高了仪表自身的可靠性和可维修性

在工业生产过程中应用的数字显示仪表的特点是要能满足和适应工业生产的需要和现场

环境条件，它必须考虑以下问题：

- 1)要直接以工程单位显示，所以仪表要进行相应的标度变换。
- 2)因为检测仪表输出的信号不完全是线性的，因此要求数字显示仪表要具有非线性补偿功能。因此要具有数据处理功能。
- 3)要具有多点巡回检测、选点显示、参数设定、打印输出和报警以及与上位计算机通信等功能。
- 4)具有一定的人-机对话功能，便于操作及功能选择和组态，以实现自动化测量。
- 5)具有自诊断功能，以便提高仪表自身的可靠性和可维修性。
- 6)除安装在控制室仪表屏上的仪表外，有些仪表须安装在现场，运行环境比较恶劣，仪表应能在较宽的环境温度和湿度范围内工作，并具有较好的抗振动冲击、抗电磁干扰能力等。

(三)计算机图形显示和绘图

计算机图形显示技术属计算机图形学的范畴。现代的图形显示设备是由计算机控制的。图形显示器（或显示终端）是计算机的一种重要外围设备，作为计算机的输入-输出设备它是一种比较满意的人-机联系工具。操作者可以利用输入设备（如键盘、光笔、数字化仪等）输入图形、修正设计或追加数据，即通过计算机图形系统进行实时人-机对话，实现交互式计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)以及计算机辅助分析(CAA)等。通常把“计算机-CRT显示器-输入设备-操作人员”的组合称为人-机系统。

在工业检测控制系统中，随着系统日趋大型化和现代化，监控的参数日益增多，集中显示成为一个迫切需要解决的问题。采用常规的显示仪表不仅由于仪表增多会使仪表屏越来越长，投资和占地增加，更成问题的是在这长长的仪表屏前，操作运行人员往往顾此失彼无法进行工作，而计算机图形显示系统就是在计算机技术日益发展，集中显示急待解决的形势下，被引进到工业自动化系统中来的。由于它可以形象化显示和分页画面显示，因而大大提高了显示效能。

计算机图形显示技术及系统作为信息显示设备，它的应用范围很广，它不仅限于计算机辅助设计和在工业自动化系统中作监控之用，在医疗方面的应用也很广泛，例如计算机X射线断层造影技术（简称CT），用它可以进行自动化诊断；在交通管理系统中，图形显示可用于铁路运行管理、空港飞机起落控制、宇航飞行中心控制；在军事方面，它可用作敌情监视以及军事装备模拟训练的设备；此外尚可用于气象、商业、邮电管理和其它科学研究和民用事业领域。

在计算机图形学中的另一分支是计算机绘图技术及绘图仪。它能按程序和给定的数据自动绘制各种精密复杂的图形，它是计算机辅助设计中广泛应用的另一种重要技术手段和设备。

由于CRT图形显示器和自动绘图仪都是与计算机配套而工作的，所以不仅是硬件功能，而且其软件功能都在应用上占有非常重要的地位和作用，这是在计算机界中众所周知的事实。

目前在工业生产自动化中所用的显示仪表和系统中，除了上述三种主要类型的仪表和设备外，尚有参数越限报警显示装置，这些装置大多是根据工业过程的要求，为了安全可靠地运行对某些重要参数进行监视的手段，它们的种类各异，有的被制造成独立的仪表，也有的被制成某些基型仪表的附加功能仪表。

可以预料，在科学技术迅猛发展的今天，新原理、新技术、新器件、新材料和新工艺不断出现，特别是微型计算机技术和大规模集成电路技术的迅速发展，必将有力地推动自动显示技术及仪表不断发展。而自动显示技术及仪表的发展又将促进整个科学技术和工业生产的发展，这是科学技术发展的必然规律。

本书共分三篇来介绍模拟显示技术及仪表、数字显示技术及仪表以及计算机图形显示与绘图技术及设备。

第一篇 模拟显示技术及仪表

在工业生产过程自动化中，大部分传感器的输出和大部分执行器的输入都是电子模拟信号，在这里“模拟”所包含的意思是指信号的变化是连续的并和被测物理量成正比。电子模拟信号可以定义成一种电压或电流信号，其电平或电流是连续地或以无限小的阶跃量而改变。模拟式显示仪表就是用来测量和显示这种模拟量信号的仪表。从理论上讲，模拟信号的分辨力是无限高的，但实际上，在信号中总会有干扰和噪声存在，所以模拟调幅信号所载送信息的分辨力由于噪声的影响被限制在 $1/10000$ 左右。若再考虑到示读误差，其分辨力就更差些。

本篇共分模拟式指示记录仪表的基本概念、动圈式指示记录仪表（开环式仪表）、自动平衡式指示记录仪表（闭环式仪表）等三章。首先将一些基本概念作一概括介绍，再重点讲清工业生产过程中两种最常用的仪表。

第一章 模拟式指示记录仪表的基本概念

第一节 模拟式显示仪表的基本构成型式和指示记录机构

一、模拟式显示仪表的基本构成型式

显示仪表可以看成是一个将输入信号转换为另一物理量（输出信号）以便操作人员读数或能进行数据处理的信号变换装置。通过图1-1可以看到模拟式显示仪表的信号及内、外部参数的关系。这里除了输入和输出信号 x 和 y 以外，仪表的内部参数用 q_1, q_2, \dots, q_n 表示，外部参数用 z_1, z_2, \dots, z_n 表示。属内部参数的有仪表零件的几何尺寸、摩擦力及不平衡电动势等。属外部参数的有环境及运行条件，如大气压力、空气温度、供电电源、外部电磁和重力场以及设备运动的加速度等。

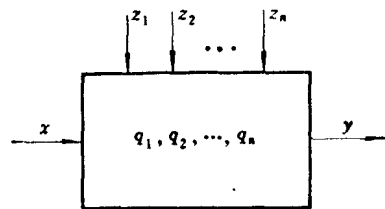


图1-1 显示仪表的信号及内、外部参数关系

一般，显示仪表对信号的变换是多级的，被测量 x 在转换为输出信号 y （指针和记录笔的位移）之前要经过一系列的中间变换，其信号变换的框图如图1-2所示。仪表的基本构成型式可概括分为开环和闭环两种。图a为由各环节串联所构成的仪表；图b为并联环节组成的仪表。它们皆属于开环式仪表。闭环式仪表是指具有反馈回路的仪表，如图c所示。仪表中大多采用负反馈，反馈回路的引入是为了改善仪表的静态和动态特性。假若图c中环节1的灵

敏度等于无穷大，此时环节1的输入信号 x_1 等于零，即 $x = -x_2$ ，则称此仪表为补偿式仪表。补偿式仪表的特点在于被测量 x 稳定的情况下，输入量 x 完全被反馈环节的输量 x_2 所平衡。在实际的反馈式仪表中，主回路和反馈回路经常包含着多个环节。

二、模拟式显示仪表的指示、记录机构

模拟式显示仪表从特征上分为指示式和记录式两大类。

(一)模拟式显示仪表指示机构的主要类型

模拟式显示仪表的指示机构有图1-3所示的几种主要类型。其特点是仪表指针的位移或转角读数与被测量的变化成模拟关系，因此便于判断被测量的变化趋势，其缺点是读数的非单值性。示读误差主要来源于两个方面：一方面是操作者读数时视线不与刻度标尺垂直，尤其在采用圆弧形刻度标尺时，造成的视差就更大。消除办法是采用反光镜式刻度标尺。另一方面是刻度标尺的分度值和刻度数字对于读数的准确和方便也很有影响。分度值就是刻度标尺上每一最小分格所代表的被测量的数值。要注意的是：并不是刻度标尺的分格数越多，测量的准确度就越高，而是刻度标尺的分格数要合理地选取。即应以分度值不小于仪表允许的基本误差为好。例如，2.5级的仪表允许的基本误差为仪表测量范围的2.5%，因而这种仪表的标尺分格数取100格显然就没有必要，因为这样的分度值就小于仪表的允许误差，因而没有意义。对这样的仪表还是把刻度分成40格就够了。经验证明：分度值取1、2、5的倍数最容

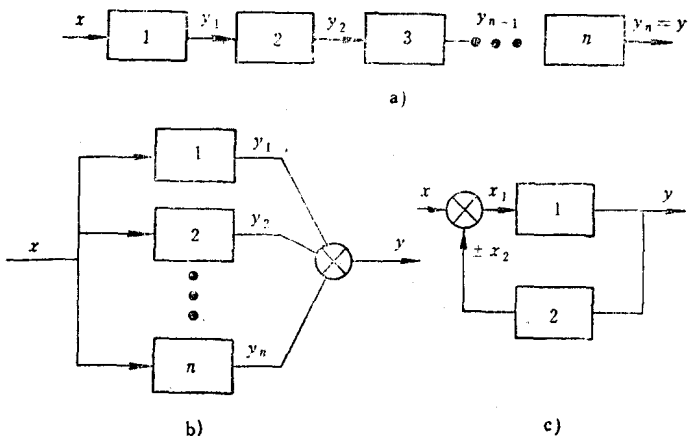


图1-2 显示仪表基本构成型式
a) 串联式开环仪表 b) 并联式开环仪表 c) 闭环仪表

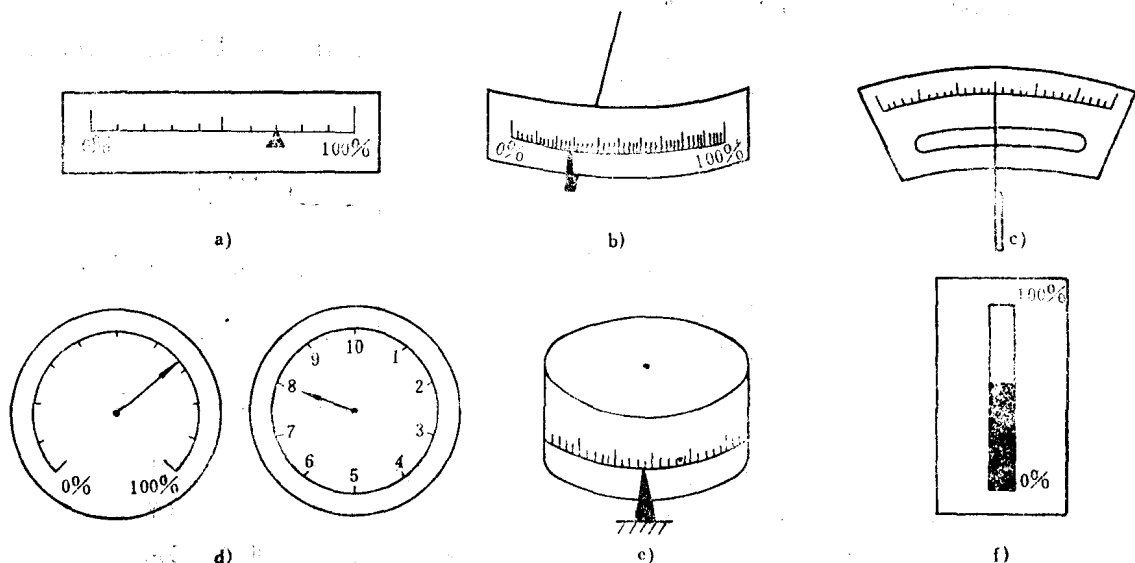


图1-3 模拟式显示仪表指示机构类型
a) 条形指示机构 b) 圆弧形刻度指示机构 c) 反光镜式刻度指示机构 d) 圆形指示机构 e) 转鼓式指示机构 f) 色带式指示机构

易读数，如果是3或其它数的倍数，读数就很不方便。另外，指针的形状与宽度对示读误差也很有影响。实践证明：指针的宽度应等于刻度线的宽度，而且其末端不要覆盖刻度线的全部，最好只覆盖最短刻度线长的 $1/4 \sim 1/3$ 。

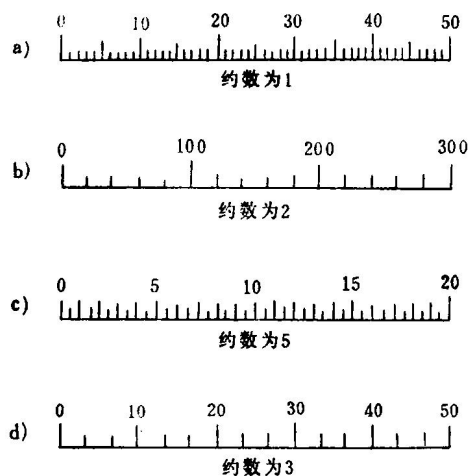


图1-4 各种分度值的刻度标尺

度标记，叫做“**无零标尺**”。标尺的始点和终点分度标记所对应的被测值，叫着“**标尺始点值**”和“**标尺终点值**”，由这两个值所限定的被测值范围，叫做“**标尺刻度范围**”，它表示仪表的“**量程**”。

(二) 模拟式仪表的记录方法

一般可分为连续记录和断续记录两种记录方法。

1. 连续记录

(1) 用墨水和笔记录 这种记录方法在工业自动化仪表中最为多见，记录曲线描绘在长图或圆图记录纸上。长图记录纸一般卷成筒状或为折叠状，宽度为250mm和120mm，其横坐标代表被测量，纵坐标代表时间，记录纸的走纸速度一般为 $30 \sim 12000 \text{ mm/h}$ ，纸带两边有孔，由销钉辊筒进行定位和传动，由于纸带宽度和传动速度的变化而引起的记录误差可达1%。圆图记录纸采用极坐标形式，径向代表被测量，转角代表时间。但它和普通极坐标稍有区别，因为圆图记录仪表的记录笔常被设计成摆动方式，笔尖运动的轨迹呈圆弧形，所以记录纸上的径向坐标并不是直线而是呈弧形，如图1-5所示。其走纸速度为每24小时转一周，

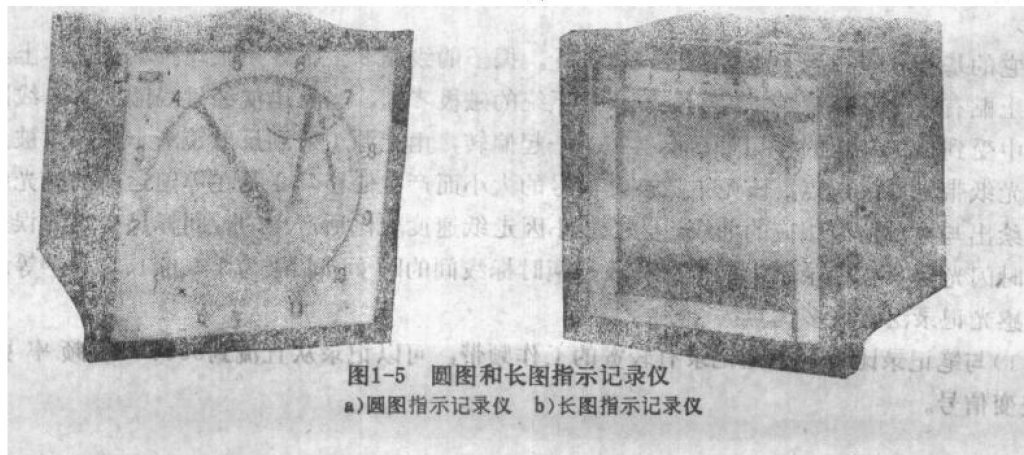


图1-5 圆图和长图指示记录仪
a) 圆图指示记录仪 b) 长图指示记录仪

为了提高仪表示值的准确度，在仪表的一定外形尺寸下，往往要求尽量增长刻度标尺的长度，因而出现了圆形刻度标尺和指示机构。大多数仪表的标尺是固定的，由指针的位移或转角来指示读数，但也有指针不动而标尺旋转的仪表，如转鼓式刻度指示机构。

凡刻度标尺具有相等的分格间距或分度值相等者称为“**线性刻度标尺**”，否则称为“**非线性刻度标尺**”。标尺上标志着“0”数字的分度标记，叫做“**零分度标记**”。这个零分度标记处于刻度标尺始点或终点的标尺，叫做“**单向标尺**”；若处在标尺其间某一位置，叫做“**双向标尺**”；如在整个标尺上根本没有零分

每一昼夜更换一次记录纸。

记录笔尖是采用不受墨水腐蚀的材料制成,如不锈钢或塑料等。根据使用要求不同,有各种结构类型。图1-6所示为上海大华仪表厂生产的自动平衡式指示记录仪表中的记录笔结构。整个记录笔架被仪表的平衡机构所带动,可沿导轨自由移动。记录笔头采用聚丙烯塑料加工而成,笔盒内装有特种配方的记录墨水,墨水用完后应换用新笔。塑料记录笔具有不漏水、不阻塞、不用疏通、不用添加墨水、装卸维修方便等优点。性能试验已证明它是一种比较理想的记录笔。

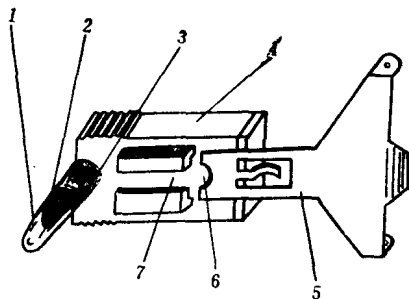


图1-6 自动平衡指示记录仪的记录笔结构
1—笔套 2—笔尖 3—圆柱 4—记录笔盒 5—笔杆
6—圆弧 7—插口槽

(2)感光记录 光线示波器又称为振子示波器,它由振子、磁系统、光学系统、感光记录纸(或胶卷)、传动机构及时标装置等部分组成,如图1-7所示。

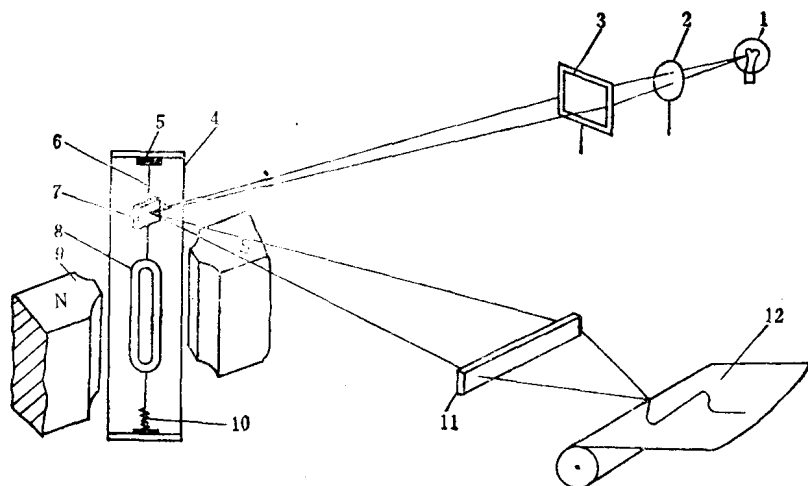


图1-7 光线示波器的感光记录法
1—光源 2—圆柱透镜 3—光栅 4—振子壳体 5—支承 6—张丝 7—反射镜 8—线圈 9—磁极 10—弹簧
11—透镜 12—感光记录纸带(或胶卷)

它的基本原理相当于一个磁电式检流计。振子的线圈8上下各用张丝拉紧在壳体上。在张丝上贴有一个反射镜7,振子被置于磁系统的磁极之间,当有电流经过线圈8时,线圈在磁场中受到电磁转矩的作用带动反射镜7一起偏转,由光源1射到反射镜7上的光束被反射到感光纸带上形成光点,该光点随被测信号的大小而产生偏移,于是在等速运动的感光纸带上描绘出与电流信号相应的曲线。为了减小因走纸速度变化所产生的时间标尺变化的误差,用定时闪光装置在记录纸上描出时标线,两时标线间的时间间隔为1、0.1、0.01s等。

感光记录法有许多优点:

1)与笔记录比较,感光记录有较宽的工作频带,可以记录从直流到5000Hz或频率更高的交变信号。

2) 由于采用光学放大原理, 因此有较高的灵敏度。

3) 如用紫外线感光, 可以立即得到记录曲线, 图形清晰, 便于保存。

(3) 电记录 在无线电气象图传真技术中用一种浸炭导电的黑色纸作为垫料, 上面敷以感电灵敏的白色表层, 底面镀以薄金属层。电流从贴在纸面上的金属记录笔尖流向金属底层, 在有电流经过的地方纸就变黑, 变黑的原因是纸面的白色表层是由一种电敏或热敏化学物质构成, 在电能作用下会改变颜色。

电记录的另一种原理是: 记录笔尖不贴在纸面上, 笔尖产生的电火花将纸表面的白色层击穿, 这种方法既适用于直流电, 也适用于交流电, 特别适用于高频电流。近年来, 适用于各种记录用的金属纸已被广泛应用, 所施加的直流电压也只有 $18\sim 24\text{V}$ 。耗用电流与记录速度无关。例如, 当记录纸的传动速度为 20mm/h 时约为 $2\mu\text{A}$, 耗电极微。金属记录纸既适于低速, 也适于高速, 在特殊情况下甚至可达 50m/s 的记录速度。

(4) 磁带记录 近年来, 在仪器仪表中已将磁带用于记录, 就像在磁带上录制和重放音乐一样。磁带是由一条细塑料薄带制成, 表面涂有一种磁性涂料。仪表的记录头是一个小电磁铁, 将要记录的电振荡信号转换成相应的电磁场, 磁带运动穿过磁场, 磁性材料的磁粒被磁化而将信号记录于磁带上。重放时使磁带在放送头下通过, 放送头将磁带上记录的磁信号再转换成电信号, 即是被记录信号的再现。显而易见, 磁带记录尤其适用于记录动态信号(交变电流、脉冲、振动信号等)。

2. 断续记录 在坐标纸上用图解法表示一个函数时, 通常是用许多点来描述, 如果这些点足够密集, 就能得出曲线的形状, 断续记录就是采用这种打点记录方法。如果被测参数是脉冲, 并且恰好处在相邻两点之间, 就有可能被遗漏, 因此, 断续记录法主要应用在信号变化较慢的系统中。

(1) 色带和落弓记录 对检流计式记录仪而言, 用记录笔记录时必须使用较有力的测量机构, 以便使由记录笔在记录纸上摩擦引起的记录误差保持在允许的范围内, 因此这种测量机构的灵敏度就不会太高。为了能够采用灵敏的测量机构, 必须使测量机构的偏转不受记录笔摩擦的影响。出于这一考虑, 产生了落弓式记录。在落弓式记录仪中测量转矩在数值上不大于指示式仪表的测量转矩。从图1-8中可见, 记录纸在记录处跨过一根细轴, 紧靠在记录纸上面绷着一条色带, 前端呈刀口形的指针悬在色带之上, 并与色带有一定的间隙, 在指针的上方有一落弓, 它由驱动装置周期地释放而落在指针上, 因而指针就在它所处的位置上使色带与记录纸互相接触, 在记录纸上产生一个色点, 落弓随即升起, 指针重新能自由活动, 指示出新的测量值。打点周期和走纸速度必须按照被测量的变化速度来选择, 一般打点周期为 $5、10、20、30$ 或 60s , 走纸速度在 $20\sim 60\text{mm/h}$ 之间。

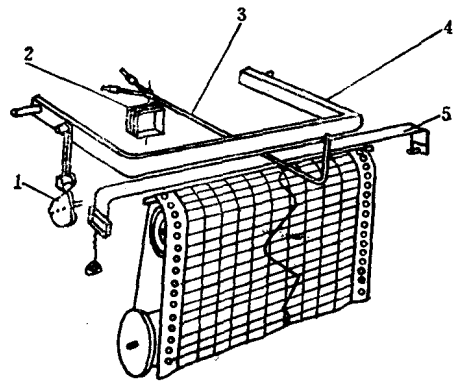


图1-8 落弓式记录法

1—凸轮 2—动圈 3—指针 4—落弓 5—色带

在这种记录方法中, 指针是沿弧形刻度标尺运动, 打印点就绘制在这个弧的弦上, 由指针转角转换成直线位移的比例尺畸变必须在印制记录纸的网格时予以考虑; 或者采用直线位移

机构，以便使这个畸变得校正。在多参数记录仪上，多种颜色的色带由一驱动机构周期地依次送到指针下面，以保证各条记录曲线呈不同颜色。这种方法一般最多可记录六种颜色。

(2) 多点打印记录 多点打印记录在工业自动化仪表中最为典型的是自动平衡式多点记录仪。它由打印机构、信号切换开关和间歇机构等部分组成。可用圆点“·”和“×”标志符号，并用不同颜色加以区分，最多可记录12条曲线，其原理如图1-10a所示。

(三) 自动平衡式记录仪记录机构的结构特征

对仪表设计制造者而言，不仅要研究记录的方法（原理），还要研究记录机构的结构特征，因为它对仪表的制造和性能都起着重要的作用。记录机构的结构特征包括：记录纸的形式、记录机构的自由度、连续记录或断续记录、记录要素（被测量和时间等）的坐标关系等。下面以自动平衡式记录仪为例来说明记录机构的原理和结构特征。

1. 单点记录机构 是记录机构中最普通的型式，一般用于记录被测参数和时间的函数关系 $x = f(t)$ ，但有时也用于记录两个变量间的函数关系 $x_2 = f(x_1)$ 。图1-9所示为这种记录机构的原理和结构特征。三种情况皆为连续记录，记录机构和走纸机构的自由度如图所示。

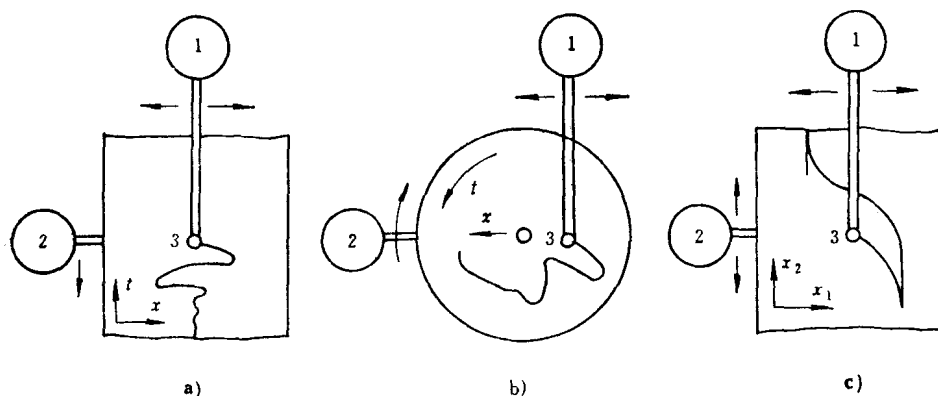


图1-9 单点记录机构原理和结构特征

a) $x = f(t)$ b) $x = f(t)$ c) $x_2 = f(x_1)$

1—测量机构 2—走纸机构 3—记录机构

2. 多点记录机构 可同时记录几个被测量相对于时间的函数关系。有两种典型的记录机构最为常见，如果各被测量的量程相近，则记录仪中可用同一测量机构并附加输入信号切换开关即可，如图1-10a所示，图中 n 为输入信号数， t 为时间坐标， x 为被测量坐标。如果各量程相差很远，就需要采用几个相应的测量机构，如图1-10b所示。

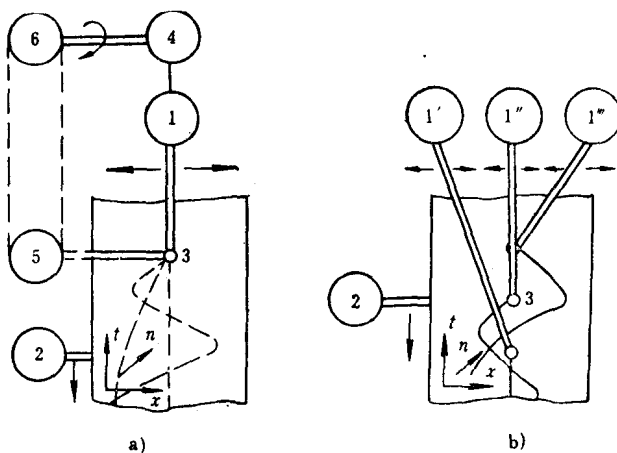


图1-10 多点记录机构原理和结构特征

1—测量机构 2—走纸机构 3—记录和打印机构 4—信号切换开关 5—换点驱动 6—切换驱动

——：机械传动结构 ——：电传输通道

总之，记录机构的不同特点都是根据显示仪表的要求而设计的，一个理想的记录机构不但要能准确、清晰地记录被测量，并且要结构简单，可

靠，便于制造和维修。

第二节 显示仪表的质量指标

凡是从使用目的对仪器仪表所提出的各项要求都是衡量仪表质量的依据，而仪表的质量指标则是仪表质量的定量表现。仪器仪表的质量指标包括：基本性能、运行性能、功能与参数、人-机关系、经济性和可靠性等六个方面。

一、基本性能指标

仪表的基本性能指标一般包括：误差、准确度等级、灵敏度、死区、滞环和回差、重复性和再现性、分辨能力等静态性能指标以及时间常数和时滞等动态性能指标。

(一) 误差

仪表由指示记录机构所显示的被测值称为“示值”。它不一定正确地反映被测量的“真值”，而可能存在误差。严格地说，真值是一个理论值，是用任何仪表也无法测出的，因为任何仪表都可能存在误差。所以实际讨论误差时都用“约定真值”或用一系列测量结果的算术平均值来代替“真值”。某个量的约定真值是用适当准确度等级的仪表测出或用特定的方法确定的。例如用经过国家标准计量局所标定过的标准仪表校验普通工业仪表时，标准仪表的测量结果就做为约定真值，工业仪表的示值与之不符，就认为是后者有误差。

绝对误差：示值与约定真值之间的代数差称为“绝对误差”。即

$$\text{绝对误差} = \text{示值} - \text{约定真值} \quad (1-1)$$

绝对误差通常简称为“误差”。正误差表明仪表的示值偏大，负误差则表明示值偏小。

相对误差：绝对误差与约定真值之比称为“相对误差”。用相对误差来衡量测量的准确度比较合理。因为它表示了误差占被测值的百分比。

但是对于仪表的质量评价，用相对误差衡量就不很方便，因为在仪表的不同刻度处相对误差是不同的，而选用仪表时多用于测量接近仪表上限的量，所以多用“引用误差”（或称诱导相对误差）来衡量仪表的准确度。

$$\text{引用误差} = \frac{\text{仪表量程范围内指示值的绝对误差}}{\text{标尺上限值} - \text{标尺下限值}} \quad (1-2)$$

基本误差与附加误差：必须注意，即使用同一仪表，测量同一数值时，引用误差的大小与使用仪表的具体条件有很大关系。使用时如果严格按照此种仪表所规定的环境条件（包括环境温度、相对湿度、电源电压、安装姿势等），误差可能不大，而在其它条件下使用就可能有较大的误差。所以评论仪表的质量时应强调按照规定的参比工作条件下的误差进行比较，这种条件下的误差叫做“基本误差”。与此相应，在不符合正常工作条件下所出现的误差，其中除了基本误差之外还包含有“附加误差”。产生基本误差的原因是由于仪表的原理、设计制造、元件和材料的性能不完善和缺陷等造成的。

(二) 准确度与准确度等级

准确度也称精确度，是表征仪表指示值接近被测真值或公认的约定值程度的质量指标。在规定的条件下按规定的程序对仪表进行检定时，会观察到仪表实际的特性曲线与理想的特性曲线的最大正偏差和最大负偏差，这些偏差可以表征仪表的测量准确程度，即测量的准确度（或精确度）。如图1-11所示，直线OA为理想的输入输出特性曲线，在仪表检定或校验的