

# 测量系统

应用与设计

[美] E. O. 多贝林 著

孙德辉 译

刘惠彬 校

科学出版社

1991

## 内 容 简 介

本书是一部全面系统介绍各种测量仪器、装置以及用数学的方法进行非电量测量的科学著作。

全书分三部分，共十三章。第一部分讲述测量系统的功用、基本构成方式、动、静态特性。第二部分介绍各种具体测量装置的作用原理、特性、标定、试验和应用。各种常见物理量的测量方法。第三部分仅述测量数据的处理，以及使用微处理机的数据采集与处理系统。

本书对各种测量方法和仪器特性的理论分析相当完整、深入，对各种新型仪器设备的特性介绍和数据的收集十分翔实、全面。每章末还附有大量精心编排的习题和参考文献，文字叙述深入浅出，详略适度，物理概念清晰。

本书原著系一部国际上有影响的优秀著作，常被人们引用。它不仅适用于各高等院校有关专业的本科生和研究生的教材，也可供从事测量与计量技术的科技人员参考。

F O Doebelin

MEASUREMENT SYSTEMS

*Application and Design*

Third Edition

McGraw-Hill Book Company 1983

测 量 系 统

应用与设计

〔美〕E. O. 多贝林 著

孙德辉 译

刘惠彬 校

责任编辑 唐正必

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号  
邮政编码：100707

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

\*

1991年2月第一版 开本：787×1092 1/16

1991年2月第一次印刷 印张 44

印数 0001—14000 字数 1 017 000

ISBN 7-03-001909-1/TN·81

定价：37.70元

# 目 录

译者的话	
第三版前言	
第二版前言	
第一版前言	

## 第一部分 基本概念

<b>第一章 测量仪表的各种应用方式</b> .....	( 1 )
1.1 引言 .....	( 1 )
1.2 过程和运行监测 .....	( 1 )
1.3 过程和运行控制 .....	( 1 )
1.4 实验工程分析 .....	( 2 )
1.5 小结 .....	( 3 )
习题.....	( 4 )
<b>第二章 测量仪表的一般构成方式和功能描述</b> .....	( 5 )
2.1 仪表的功能元件 .....	( 5 )
2.2 有源和无源变换器 .....	( 9 )
2.3 仪表的模拟工作方式和数字工作方式 .....	( 10 )
2.4 零测法和偏差测量法 .....	( 11 )
2.5 测量仪表及仪表系统的输入-输出构成方式.....	( 12 )
干扰输入和修改输入的校正方法 (14)	
2.6 小结 .....	( 24 )
习题.....	( 24 )
<b>第三章 测量仪表的一般性能特性</b> .....	( 25 )
3.1 引言 .....	( 25 )
3.2 静特性 .....	( 25 )
静态标定的含义 (25) 精确度、精密度及准确度 (27) 仪表系统总精确度计算中元件误差的综合方法 (41) 静态灵敏度 (47) 线性度 (50) 阈值、分辨力、迟滞和死区 (51) 标尺的可读性 (52) 量程 (53) 广义静态刚度和广义输入阻抗 (53) 关于静特性的结束语 (71)	
3.3 动特性 .....	( 71 )
测量系统的广义数学模型 (72) 动态响应分析用的数字仿真法 (73) 算子形传递函数 (74) 正弦传递函数 (75) 零阶仪表 (78) 一阶仪表 (79) 一阶仪表的阶跃响应 (82) 一阶仪表的斜坡响应 (86) 一阶仪表的频率响应 (87) 一阶仪表的脉冲响应 (89) 二阶仪表 (93) 二阶仪表的阶跃响应(94) 二阶仪表的有限斜坡响应(95)	

二阶仪表的斜坡响应 (97)	二阶仪表的频率响应 (98)	二阶仪表的脉冲响应 (99)
延时元件 (100)	频响曲线的对数作图法 (101)	一般类型仪表对周期性输入的响应 (105)
一般类型仪表对暂态输入的响应 (112)	调幅信号的频谱 (118)	随机信号的特性 (127)
精确测量对仪表传递函数的要求 (138)	动态数据的数值校正方法 (142)	测量系统参数的实验确定方法 (142)
动态条件下的负载影响 (145)		
习题		(150)

## 第二部分 测量装置

<b>第四章 运动量的测量</b>	(153)
4.1 引言	(153)
4.2 主要的基准量	(153)
4.3 移动相对位移和转动相对位移的测量	(156)
测量装置的标定 (157)	电阻式电位器(158) 电阻式应变片(166) 差动变压器 (174)
同步器和感应式电位器 (182)	变电感式和变磁阻式传感器 (185) 电涡流无接触式传感器 (188)
电容式传感器 (190)	压电式传感器 (196) 电气-光学式测量装置 (200)
照相、录像和全息摄影技术(209)	光弹、易碎涂层及莫尔干涉条纹应力分析技术(212)
压力式(喷嘴-挡板式)位移传感器 (213)	数字式位移传感器(移动式与转动式编码器) (217)
超声式传感器 (221)	
4.4 移动相对速度和转动相对速度的测量	(223)
测量装置的标定 (224)	通过电气微分位移电压信号来测量速度 (224) 通过所测的和 $\Delta x$ 、 $\Delta t$ 来测量平均速度 (225)
机械飞球式角速度传感器 (227)	机械式转数计数器与计时器 (228)
磁电式和光电式脉冲计数法 (228)	闪光测速法 (228) 移动速度传感器(动圈式和动铁式) (229)
转速测量用直流测速发电机 (229)	转速测量用交流测速发电机 (230)
涡流杯式转速传感器 (231)	
4.5 相对加速度测量	(232)
4.6 测震(绝对)位移传感器	(232)
4.7 测震(绝对)速度传感器	(234)
4.8 测震(绝对)加速度传感器(加速度计)	(235)
偏差式加速度计 (236)	零位平衡式(伺服式)加速度计 (241) 惯性导航用加速度计 (244)
加速度计作用在被测对象上的机械负载 (244)	
4.9 振动传感器的标定方法	(245)
4.10 加加速度传感器	(247)
4.11 摆式(重力基准式)角位移传感器	(248)
4.12 陀螺(绝对)角位移和角速度传感器	(252)
习题	(260)
<b>第五章 力、转矩和转轴功率测量</b>	(265)
5.1 基准量和标定方法	(265)
5.2 力测量的基本方法	(266)
5.3 弹性变形式力传感器的特性	(271)
粘贴应变片式力传感器(272)	差动变压器式力传感器(274) 压电式力传感器 (275) 可

变磁阻且具调频振荡器的数字式测力系统 (276) 负载影响(277)

5.4 把矢量力和力矩分解为直角坐标分量 .....	(278)
5.5 转轴转矩的测量 .....	(282)
5.6 转轴功率的测量 (功率计).....	(290)
5.7 陀螺力和陀螺力矩的测量 .....	(293)
5.8 振弦式力传感器 .....	(294)
习题.....	(296)

**第六章 压力和声测量..... (298)**

6.1 基准量和标定方法 .....	(298)
6.2 压力测量的基本方法 .....	(299)
6.3 静重式压力计和液柱式压力计 .....	(299)
液柱式压力计的动特性 (304)	
6.4 弹性变形式压力传感器 .....	(311)
6.5 力平衡式压力传感器 .....	(323)
6.6 容腔和连接管道对传感器动态性能的影响 .....	(325)
强阻尼而流动慢的液体介质系统 (325) 中等阻尼但流动快的液体介质系统 (326) 管道容积仅为压力容腔容积一小部分的气体介质系统 (330) 管道容积与压力容腔容积相近的气体介质系统 (331) 小结 (332)	
6.7 压力测量系统的动态测试 .....	(332)
6.8 高压测量 .....	(336)
6.9 低压(真空)测量.....	(338)
麦氏真空计 (338) 努氏真空计(339) 动量交换式(粘滞式)真空计(340) 热传导式真空计 (340) 电离式真空计 (342) 真空计的双台使用方法 (343)	
6.10 声测量.....	(344)
声级计 (344) 微音器 (347) 电容式微音器的声压响应特性 (350) 声发射 (359)	
6.11 压力信号的多路切换系统.....	(360)
习题.....	(362)

**第七章 流量测量..... (364)**

7.1 局部流速的大小和方向的测量 .....	(364)
流动显形法 (364) 用总压-静压管测量流速大小(365) 用偏转管、转动风标和伺服球测量流速方向 (370) 动力式风矢量指示器(372) 热线式和热膜式风速计(375) 激波管用热膜式流速传感器 (385) 激光多普勒测速仪 (386)	
7.2 总体积流量的测量 .....	(388)
标定方法和基准量 (388) 恒定截面可变压降式流量计(节流式流量计) (392) 平均总压管 (399) 恒定压降可变截面式流量计(转子式流量计) (400) 涡轮式流量计 (401) 强制排液式流量计 (404) 计量泵 (406) 电磁式流量计 (406) 阻力式流量计 (410) 超声式流量计(410) 漩涡散发式流量计 (414) 其他有关问题 (416)	
7.3 总质量流量的测量 .....	(417)
体积流量计结合流体密度测量 (417) 直接式质量流量计 (419)	
习题.....	(425)

<b>第八章 温度和热流测量</b> .....	(427)
8.1 基准量和标定方法 .....	(427)
8.2 热膨胀法测量温度 .....	(432)
双金属式温度计 (432) 玻璃管液柱式温度计 (434) 压力式温度计 (435)	
8.3 热电式温度传感器 (热电偶).....	(436)
常用热电偶 (440) 参考结点的考虑 (441) 热电偶的特殊材料, 结构形式和应用技术(443)	
8.4 电阻式温度传感器 .....	(449)
导体式温度传感器(电阻式温度计)(449) 体型半导体式温度敏感元件(热敏电阻器)(453)	
8.5 结型半导体式温度敏感元件 .....	(456)
8.6 数字式温度计 .....	(459)
8.7 辐射测温法 .....	(460)
辐射的基本原理 (460) 辐射探测器 (465) 非遮断(直流)宽频带辐射式温度计 (470)	
遮断(交流)宽频带辐射式温度计 (473) 遮断(交流)选频(光子)辐射式温度计 (475) 零	
位自动平衡的辐射式温度计 (478) 单色亮度辐射式温度计(光学高温计) (479) 双色辐	
射式温度计 (480) 红外成像测温系统 (481)	
8.8 流动流体中的温度测量问题 .....	(484)
传导误差 (484) 辐射误差 (487) 流速影响 (488)	
8.9 温度传感器的动态响应特性 .....	(491)
温度传感器的动态补偿(494)	
8.10 热流传感器.....	(495)
嵌片式热流传感器 (495) 恒稳式或渐近式热流传感器 (加顿热流计) (497) 应用考	
虑(498)	
习题.....	(499)
<b>第九章 其他量值的测量</b> .....	(500)
9.1 时间、频率和相角的测量 .....	(500)
9.2 液位测量 .....	(506)
9.3 湿度测量 .....	(509)
9.4 化学成分的测量 .....	(512)
习题.....	(513)

### 第三部分 测量数据的调理、传输和记录

<b>第十章 测量数据的调理、计算与补偿装置</b> .....	(515)
10.1 电桥线路.....	(515)
10.2 放大器.....	(519)
运算放大器 (520) 仪器放大器 (525) 噪声问题, 屏蔽和接地 (529) 斩波器, 斩波器	
稳定的放大器和载波放大器 (531) 电荷放大器及阻抗变换器 (532) 结束语(535)	
10.3 滤波器.....	(535)
低通滤波器 (536) 高通滤波器 (537) 带通滤波器 (538) 带阻滤波器 (539) 数字滤	
波器 (539) 供海洋研究传感器用的一种液压式带通滤波器 (540) 供加速度计用的机械	
式滤波器 (542) 统计平均滤波法(543)	

10.4	信号的积分和微分	(543)
	信号积分(543) 信号微分(546)	
10.5	动态补偿	(555)
10.6	仪表伺服机构	(558)
10.7	信号的相加和相减	(560)
10.8	信号的相乘和相除	(563)
10.9	函数发生和线性化	(565)
10.10	调幅及解调	(571)
10.11	电压-频率和频率-电压转换器	(571)
10.12	模-数转换器和数-模转换器; 采样-保持放大器	(573)
10.13	信号分析器和系统分析器	(580)
10.14	微处理机的应用	(583)
	习题	(586)
<b>第十一章</b>	<b>测量数据的传输</b>	(588)
11.1	模拟电压和电流信号的电缆传输	(588)
11.2	数字信号的电缆传输	(590)
11.3	光纤数据传输	(593)
11.4	调频/调频式无线电遥测	(593)
11.5	数据的气动传输方法	(595)
11.6	同步器式位置重示系统	(596)
11.7	滑环和旋转变压器	(597)
	习题	(599)
<b>第十二章</b>	<b>电压指示与电压记录装置</b>	(600)
12.1	基准器和标定方法	(600)
12.2	模拟式电压表和电位差计	(601)
12.3	数字电压表和万用表	(605)
12.4	电气机械伺服式X-T和X-Y记录器	(608)
12.5	光学检流计式示波器	(612)
12.6	光门阵列式记录器	(615)
12.7	光纤阴极射线管式记录示波器	(617)
12.8	热敏阵列式和静电阵列式记录器	(617)
12.9	阴极射线示波器和图形显示器	(618)
12.10	数字式波形记录器和数字式存储示波器	(622)
12.11	数字打印机和数字绘图仪	(624)
12.12	磁带和磁盘式记录器/复制器	(625)
12.13	语言输入-输出装置	(629)
	习题	(630)
<b>第十三章</b>	<b>商品化数据采集与处理系统</b>	(631)
13.1	一种以处理模拟信号为主的多用途组件式系统	(631)

13.2 小型数据巡检系统.....	(638)
13.3 仪器互连工作系统.....	(640)
13.4 基于使用传感器的计算机化数据采集与处理系统.....	(642)
<b>参考文献</b> .....	(652)
<b>附录 英制单位到国际单位制(SI)单位的换算简表</b> .....	(670)
<b>索引</b> .....	(671)



# 第一部分 基本概念

---

## 第一章 测量仪表的各种应用方式

### 1.1 引言

我们首先概括地讨论一下测量仪表的功用，以此作为在后面将深入研究测量仪表及其特性的准备。这里，我们拟将测量仪表的功用分成下面三类：

1. 过程和运行监测；
2. 过程和运行控制；
3. 实验工程分析。

现在，我们就来详细讲述上面的每一种功用。

### 1.2 过程和运行监测

某些测量仪表，就其使用特点而言，可看成主要具有监测功能。气象部门使用的温度计、气压计和风速计，就具有这样的功能。这些仪表仅能指示环境条件，而且它们的读数也并不起通常意义上的控制作用。同样，家用的水表、煤气表和电表则用来记录水、煤气和电的耗用量，以便于算出用户应付的费用。在放射性环境中工作的人员所佩戴的徽章形胶片式辐射剂量计，则是用来监测佩章者所受的各种辐射的累计量。

### 1.3 过程和运行控制

在测量仪表的另一种极重要的用途中，仪表起着自动控制系统的元件的作用。说明这种系统工作原理的功能方框图示于图1.1中。显然，要用这样的“反馈”方式来控制任何变量，就必须首先测出该变量。因此，所有这样的控制系统都必须至少含有一台测量仪表。

测量仪表的这种应用方式的例子是不胜枚举的。大家所熟悉的一个例子就是使用某种恒温控制的典型住房供暖系统。用一台温度测量仪表（通常就是一个双金属感温元件）感受室温，从而为温度控制系统正常工作提供所需的信息。从飞机和导弹的控制系统中可以找出更加复杂的例子。这里，一台控制系统所需的信息可能来自多种测量仪表，如总压-静压管、攻角传感器、热电偶、加速度表、高度表和陀螺仪。不少工业机器设备的控制装置

和生产过程的控制装置也使用了具有多个传感器的测量系统。

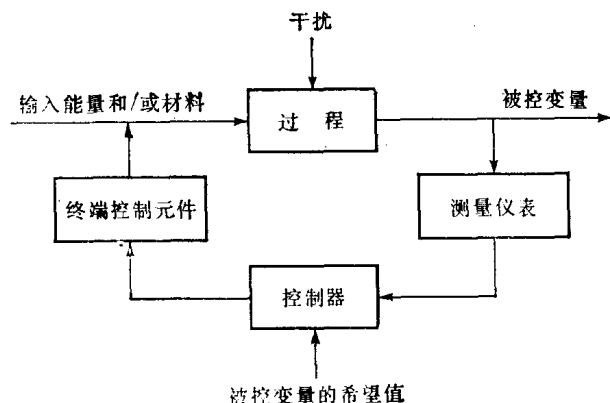


图 1.1 反馈控制系统

气象资料经相关处理和分析之后，便可构成近期或长期天气预报的基础。这里，你也可以说测量仪表给工程分析提供了资料。你一旦认识到随人们观点的不同对仪表分类的认识也就可能不同，那么前述分类的明显不严格也就不至于造成什么麻烦了。

在凭你自己的经验按 1.1 节所述的三种功用对测量仪表进行分类时，你可能会发现在一些情况下，监测、控制和分析这三种功能之间的界限并不很明确。因而你所确定的仪表类别在一定程度上将取决于你的观点。例如，气象部门所获得的资料，对一般人来说主要起监测作用。但对水果种植者来说，降温的天气预报却有着控制的意义，因为这种预报将作为一种信号告诉他们必须打开除霜烟罐或采取别的防霜措施。再有，一个大范围地区当前的

## 1.4 实验工程分析

在解决工程问题时，有两种通用方法可供使用，即理论方法和实验方法。而许多问题又同时要求应用这两种方法。每种方法所占的比重则取决于问题的性质。尖端知识领域中的问题往往需要进行大量的实验研究，因为这时尚无合适的理论可用。因而理论和实验应看成是相辅相成的。采取这种态度的工程师，一般说来较之忽视这两种方法中这种或那种方法的人，将能更有效地解决问题。

现在不妨来简短地总结一下解决工程问题的理论方法和实验方法的明显特点。此总结已列于图 1.2 和图 1.3 中。

1. 所得结果往往具有普遍的使用意义，而不是局限于某一应用场合
2. 通常总是需要采用简化的假设，因而所研究的并非实际的物质系统，而是系统的简化“数学模型”。这意味着理论上所预测出的特性总是不同于真实的特性
3. 在一些情况下，可能导致复杂的数学问题。这一点，过去曾阻碍了许多问题的理论处理。如今，采用高速计算机的可能性日益增加，这就使过去不能在理论上处理的许多问题得到了解决
4. 只需要铅笔、纸张、计算机等，并不需要大量实验设备（有些计算机虽然非常复杂和昂贵，但它们都可以用来解决各种问题。反之，大量实验设备却是专用性的，只适用于有限的几项任务）
5. 研究工作不受实验模型的建立、仪器设备的装配和校核，以及实验数据的采集方面的限制

图 1.2 理论方法的特点

在考虑如何用测量仪表来解决实验工程分析问题时，最好手边有一份关于所碰到问题类型的分类表。这种分类表可以按几种不同的考虑来编制，作者认为一种有意义的分类表列于图 1.4 中。

1. 所得结果往往只适用于所测试的具体系统,不过象量纲分析这样一些方法却可用来对实验结果进行某些概括
2. 如果测试是在实际系统上进行的,则不必作简化假设,可以揭示出系统的真实特性
3. 要得到系统的真实特性,必须进行精确的测量,这就可能需要昂贵而复杂的设备,而且还必须对所用的各测量设备和记录设备的特性进行详尽的了解
4. 需用实际系统或按一定比例制作的模型,如果使用比例模型,则模型必须保留系统的一切重要特点
5. 实验设备的设计、建造和排除故障需要相当时间

图 1.3 实验方法的特点

1. 检验基于简化假设而得出的理论预测的正确性;根据测得的特性改进理论  
举例:为求机械传动机构的谐振频率而进行的频响特性测试
2. 在无合理理论存在的地方找出具有普遍意义的经验公式  
举例:管道湍流摩擦系数的确定
3. 确定材料、元件和系统参数;确定系统的变量;和确定系统性能指标  
举例:某种合金钢屈服点的测定;电动机转速-转矩曲线的测定;蒸汽涡轮的热效率的测定
4. 企图发展某一理论而研究有关现象  
举例:金属疲劳裂纹的电子显微镜检查
5. 用类比方法求解数学方程  
举例:通过对肥皂泡的测量来解决转轴的转矩的测量问题

图 1.4 实验工程分析问题的类型

## 1.5 小 结

不管使用仪器的实质是什么,测量仪器的合理选用将取决于使用者对现有仪器的广泛了解,也取决于如何根据所要完成的任务来最恰当地提出仪器设备应具有的性能.新设备正在不断地研制出来,但某些基本设备却已证明它们在广泛的使用范围内仍然是有用的,而且,无疑地还将继续使用许多年.本书将讨论这样一些测量设备的具有代表性的典型例子.这些设备本身就很有意义,而且还可以作为一种工具,帮助提出并发展解决测量仪器难题所需的通用技术和一般原理.此外,在处理将来可能研制的任何仪器设备时,这样一些技术和原理也是很有用的.

本书内容的论述力求使其既适合于使用者,也适合于测量仪器设备的设计者.强调这一点有两个主要理由.首先,许多实验设备(包括测量仪表)往往都是自制的,特别是在一些小型工厂和公司中,专用设备的高昂价格总是认为不可取的.其次,仪表工业是一个规模大且发展迅速的工业,它聘用了许多设计工程师.虽然用于各型机器的机械和电气设计的一般方法也适用于仪表,但在许多情况下,在仪表设计中却必须采用颇为不同的观点.部分原因是由于机器设计的主要考虑在于功率和效率,仪表设计则几乎全然不顾这两个方面而致力于信息的采集与处理.由于有相当大一批工程专业的毕业生将在仪表工业系统工作,他们所受的教育就应当包括仪表领域中的最重要的问题.

前面所列的仪表的第三种用途,即实验工程分析,它不仅要求使用者熟悉测量系统,而且要求使用者掌握一些实验规则、实验操作和实验结果评定方面的知识.虽然实验研究的这些问题可以写一本单独的教科书或开一门单独的课来处理.不过,作者还是倾向于把

重点放在讲清测量系统本身的问题上，而建议读者从下面所列的参考文献<sup>1)</sup>中去寻找有关实验设计方面的资料。

### 习 题

1.1 查阅图书馆里的各种技术期刊，找出有关工程师和科学家进行实验研究的报道。找出这样的三篇文章，全文阅读，简要说明该项研究所完成的内容，并按图1.4所列的一种或多种类别对所论述的研究进行分类。

1.2 试在下列每一领域中给出测量仪表应用的三个具体例子：(a)过程和运行监测，(b)过程和运行控制，(c)实验工程分析。

1.3 试比较和对比用于解决下面问题的实验方法和理论方法：

(a) 宇航员在运载飞行器上能安全承受的允许振动量级是多少？

(b) 试求图P1.1所示的简单制动装置中作用力 $F$ 和所产生的摩擦转矩 $T_f$ 之间的关系。

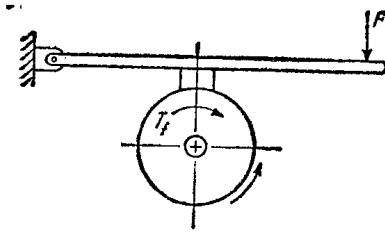


图 P1.1

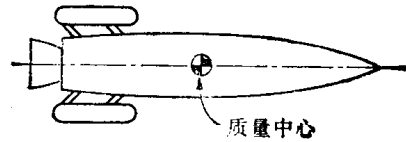


图 P1.2

(c) 图P1.2所示火箭，若已知其各组成部件的形状、尺寸和材料，试求其质量中心的位置。

1) Hilbert Schenck, Jr., "Theories of Engineering Experimentation", 3d ed., McGraw-Hill, New York, 1979; C. Lipson and J. Sheth, "Statistical Design and Analysis of Engineering Experiments", McGraw-Hill, New York, 1973; F.B. Wilson, Jr., "An Introduction to Scientific Research", McGraw-Hill, New York, 1952.

## 第二章 测量仪表的一般构成方式和功能描述

### 2.1 仪表的功能元件

不必借助具体硬件而能概括地叙述测量仪表及其有关设备的工作原理和性能（即其特性接近理想要求的程度），这不但是可能的，也是所希望的。仪表的工作原理可以通过组成该仪表系统的各功能元件来描述，而其性能则可通过其静态和动态工作特性来确定。本节将阐述仪表或仪表系统各种功能元件的基本概念。

如果我们想对各种实际仪表进行概括，则很快就会发现仪表的各元件中存在一种反复出现的功能相似的规律性。这就导致我们产生这种想法，就是根据元件所完成的一般功能把仪表分成几种有限类型的元件。可以采用多种方法来进行这种分解，不过迄今还没有一种标准的、能为人们所普遍接受的方法。这里提出一种方法，它有助于了解我们可能接触到的任何新型仪表的工作原理，也有助于我们规划新型仪表的设计工作。

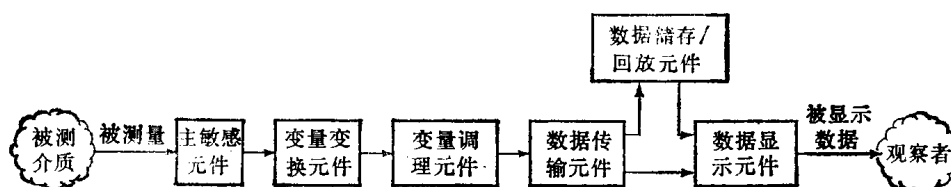


图 2.1 仪表或测量系统的功能元件

参见图 2.1，图中示出了一台仪表各功能元件的一种可能的配置方式，该图还包含了描述任何仪表都认为必需的各种基本功能。主敏感元件（primary sensing element）首先从被测介质接受能量，并以某种方式响应被测量而产生输出。值得注意的是，仪表总要从被测介质获取一定能量，因而被测量总是受到测量作用的干扰，这就使理想的测量在理论上说来是不可能的。人们设计出优良的仪表以便尽可能地减小这种影响，但这种影响在一定程度上却总是存在的。

主敏感元件的输出信号是某种物理变量，例如位移或电压。为了使仪表能完成所要求的功能，就可能需要把这种物理变量变换成另一种更合适的变量，而同时又保留原有信号的信息含量。完成这种功能的元件称为变量-变换元件（variable-conversion element），应当注意的是，并非每台仪表都只包括一个变量-变换元件，有的则要求好几个。此外，这里所说的“元件”是指功能元件，并非实际元件。这就是说，图 2.1 所示的仪表被整整齐齐地划分成几个方框，这就可能使我们将一台实际的仪表也看成可以精确地划分成能完成图示具体功能的一些小组件。一般说来，实际情况并非如此。例如，一个具体的硬件便可以完成几种基本功能。

在完成预定任务的过程中，仪表可能要求对由某一物理量所代表的信号进行某种调理

(manipulation).所谓调理,这里是指按某种确定的规律来改变信号的数值,但却保留变量的物理本质.因此,一台电子放大器接受一个小的电压信号作为输入量,它所产生的输出信号将仍然是电压,只不过变为输入电压的某一个恒定倍数而已.完成这种功能的元件称为变量-调理元件(variable-manipulation element).同样,我们也不应误解图2.1.变量-调理元件并不一定要在变量-变换元件之后,可以在它之前,也可以在测量链的其它地方,也可以根本没有.

如果一台仪表的各功能元件在实际结构上是分离的,这就必需把数据从一个元件传输到另一个元件.完成这种功能的元件称为数据-传输元件(data-transmission element).它可以像转轴和轴承组件一样简单,也可以像通过无线电把信号从卫星传到地面设备的遥测系统一样复杂.

如果被测量的信息要传输给操作人员来进行监测、控制和分析,该信息就必须转变成人的五官之一所能辨认的形式.完成这种“翻译”功能的元件称为数据-显示元件(data-presentation element).这种功能包括指针在刻度盘上的简单的指示和记录笔在图纸上的记录.指示和记录还可以用不连续的增量形式(而不是连续的平滑形式)来完成.例如,根据光干涉原理测量表面平面度的光学平板,以及用来记录数字信息的电动打字机,这两个例子便能说明这一点.虽然大多数仪表都是通过人的视觉与人取得联系,使用别的感官,如听觉和触觉来联系,肯定也是意料中之事.

虽然常常采用笔录方式来贮存数据,但某些使用场合却要求一种截然不同的数据贮存和回放(data storage/playback)功能,它能按指令顺利地重新建立所贮存的数据.这里,磁带记录器和回放器就是传统的例子.然而,许多新近研制的仪表却将电信号数字化,然后将其贮存在像计算机一样的数字存储器中.

在接着讲述一些例子之前,让我们再次强调,图2.1只打算作为一种表示功能元件概念的工具,而不能作为一般仪表的实际结构简图.一台给定的仪表可以包括任意数量和组合方式的基本功能,它们并不一定按图2.1所示的顺序出现.而一个给定的实际元件却可以起着几种基本功能的作用.

作为上述概念的一个例子,让我们来考虑图2.2所示的一台简单压力计,对该压力计的一种可能的有根据的解释如下:主敏感元件为活塞,也兼起变量-变换元件的作用,因为它把流体压力(单位面积上所受的力)转换成活塞工作面上所受到的集中力.该力由活塞杆传至弹簧,弹簧再把它变换成与其成比例的位移.活塞杆的位移由传动机构放大(或调理),以使指针得到一个较大的位移.指针和标尺指示压力,从而起着数据-显示元件的作用.如果需要把压力计放到距压力源一定距离的地方,可用一根小导管作为数据传输元件.

图2.3示出了一台压力式温度计.这里,充液球兼起主敏感元件和变量-变换元件的作用.因为充液的热膨胀是受约束的,温度变化就造成球内压力的变化,该压力则通过导管传给一包端管式压力计,它再把压力转换成位移,此位移则由连杆和齿轮机构加以调理,以使指针得到较大的转角.标尺和指针则用于数据显示.

图2.4示出了一种远读式轴转数计数器(转数计).图中带微动开关的敏感臂和转轴上的凸轮似的凸块同时起着主敏感元件和变量-变换元件的作用(因为旋转位移被转换成了线位移).微动开关的触点也起着变量-变换元件的作用,它把机械摆动变成了电振荡(一系列的电压脉冲).这些电压脉冲可通过导线传输一段较长的距离而到达一螺管线圈,螺管线圈

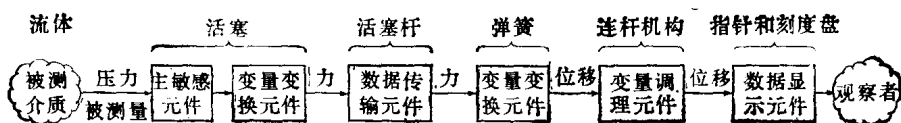
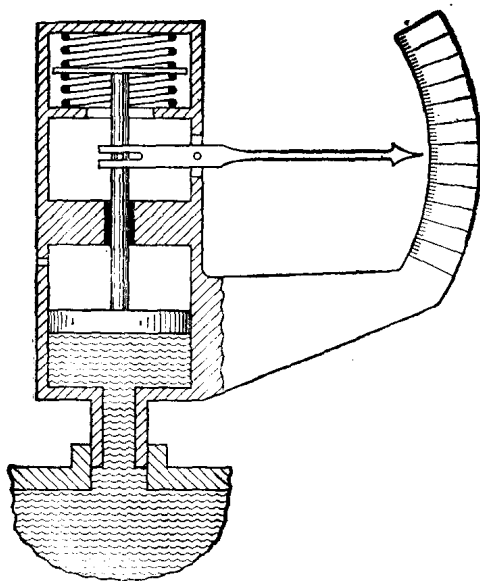


图 2.2 一种压力计

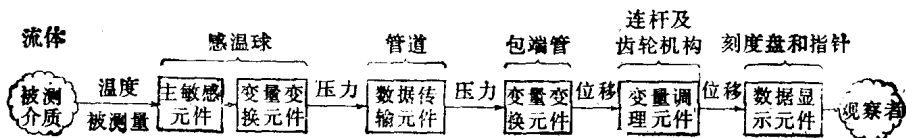
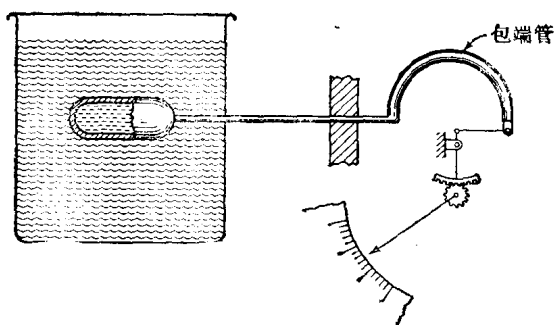


图 2.3 压力式温度计

再将电压脉冲变成螺管线圈中可动铁芯的机械往复运动，此往复运动则可作为一机械式计数器的输入信号。计数器本身包括了变量变换（往复运动变成转动）、变量调理（一般旋转运动变成十进制化的旋转运动）和数据显示的功能。

最后一个例子，我们来研究图2.5.此例以简图形式示出了一台用于示波器中的达松伐

尔检流计 (D Arsonval galvanometer).一个需要记录的随时间变化的电压被加在两根导线的两端，这两根导线将电压传输到一线圈，而该线圈则由绕在一刚性骨架上的许多线匝所构成.此线圈悬挂在一永久磁铁的磁场中，线圈电阻将所加的电压变换成与其成比例的电流 (在理想情况下).电流和磁场之间的相互作用产生一个作用在线圈上的转矩，由此造成变量的又一次变换.此转矩通过两根扭簧被变换成偏转角.固连在线圈骨架上的一

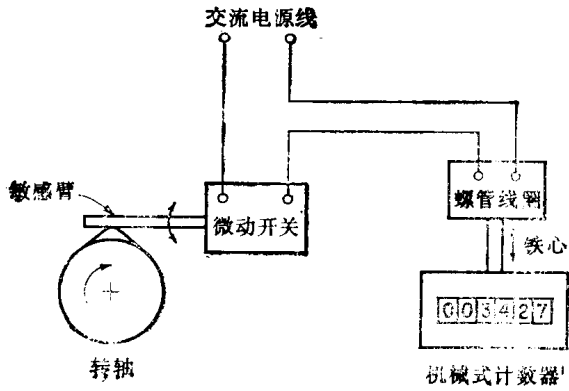


图 2.4 数字式转数计

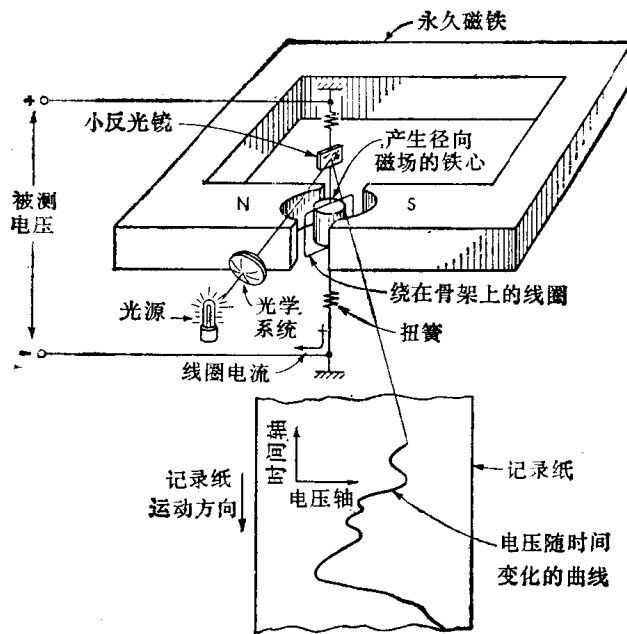


图 2.5 达松伐尔检流计

面小镜子将骨架的转角变换成被小镜所反射的光束的转角，光束的转角是小镜转角的两倍，这就使转角得到了放大。被反射的光束照在由感光材料制成的记录纸上，而记录纸则以一已知的恒定速度运动，以给出时基。光点的水平运动和记录纸的垂直运动的合成运动将产生一电压随时间变化的图线。“光杠杆臂”（即小镜到记录纸的距离）具有运动放大的作用，因为小镜每单位转角所对应的光点位移是和该臂长成正比的。

在这台仪表中，线圈和磁铁组件或许可看成主敏感元件，因为引出导线（起传输作用）并非真是仪表的一部分，而线圈电阻（起变量变换作用）则是线圈所固有的组成部



分。总之，给一个具体的元件规定一个确切的名称，远不如了解仪表正常工作所需的那些基本功能重要。把注意力集中在这些功能和可用于完成这些功能的各种实际元件上，能培养我们的综合能力，以设计出能导致出现有用的新型仪表的各种元件的新的组合方式。这种能力对各种仪表的设计工作都是很重要的。

## 2.2 有源和无源变换器

一经分清了各种仪表所共有的一些基本功能，我们再来看看是否有可能对完成这些功能的方式进行一些概括。一种概括方法是从能量方面来考虑的。在完成图 2.1 中所示的任何一个一般功能时，实际元件可起有源变换器的作用，或者起无源变换器的作用。

变换元件的输出能量完全由或几乎完全由输入信号提供的，这种变换元件通常称为无源变换器。无源变换器的输出信号和输入信号可以具有相同的能量形式（例如，都是机械能），也可以具有从一种能量形式变到另一种能量形式的能量转换（例如，由机械能变成电能）。（在许多科技文献中，“transducer”这一术语仅限用于涉及能量转换的装置。但根据该术语在辞典中的定义，我们将不作上述限制。）\*

但是，有源变换器（active transducer）具有一辅助能源，这个辅助能源提供变换器输出能量的大部分，而输入信号只提供很小一部分。同样，这里可能有也可能没有从一种能量形式变到另一能量形式的转换。

在 2.1 节的所有例子中，只有一个有源变换器，即图 2.4 中的微动开关，其他元件都是无源变换器。驱动螺管线圈电磁铁的能量不是来自转动轴，而是来自作为辅助能源的交流供电线路。再举一些有源变换器的例子也是不难的。图 2.6 所示的电子放大器就是一个很好的例子。在该例中，提供输入信号电压  $e_i$  的元件只需输出极小的能量，这是因为栅极电流极小和电阻  $R_g$  很大，电路几乎不取用电流的缘故。但是，输出元件（即负载电阻  $R_L$ ）却能得到很大的电流和电压，因而也就是很大的功率。这一功率必须由电池  $E_{bb}$ ，即辅助能源来提供。因此，输入信号只控制输出信号，并不实际提供输出功率。

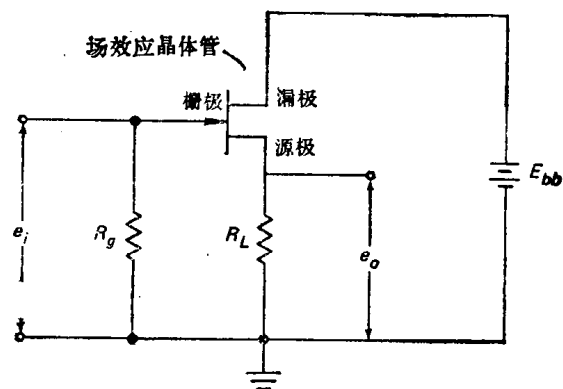


图 2.6 电子放大器

\* 我国科技界对“transducer”一词的翻译比较混乱，不过现在已逐渐趋于统一。在能量转换技术中，通常将其译作“换能器”。在测量技术中，则根据具体情况，有的译成“变换器”，有的译成“传感器”。当“transducer”表示主敏感元件时，则将其译作“一次变换器”；当所表示的为变量-变换元件或变量-调理元件时，一般笼统地译作“变换器”，也有人将其译作“二次变换器”。只有当它表示一完整的电测装置时，才译作“传感器”。但是，近年来由于传感器技术的发展，出现了“化学传感器”和“生物传感器”等，所以“transducer”一词又有了新的含意。——译者注