

仪表、测量与反馈

〔英〕 B. E. 琼斯 著

吕海宝 刘迎春 汪锡銮 等译

吴寿先 校

中国人民解放军国防科学技术大学

1982年7月

仪 表、测 量 与 反 馈

[美] B. E. 琼 斯 著

吕海宝 刘迎春 等译

吴寿先 校

编号: 808033123 印数: 1—3800 册

出版: 国防科学技术大学 印刷: 本校印刷厂

1982 年 7 月出版 定价: 1.54 元

译 者 的 话

现代科学技术的发展与测量技术的作用是密切相关的。科学技术的各种新成就不断地渗入测量领域,使得测量技术日益丰富和完善,而先进的测量技术又反过来促进现代科学技术的迅速发展。

本书原著系英国曼彻斯特大学的一本教科书,内容新颖,选材精炼。在扼要介绍测量的基本理论、各类测量仪表以及系统的分析和测试方法的同时,特别突出了反馈在测量系统中的重要作用。反馈是现代自动测量系统的一个基本特征,许多先进的自动测量系统都是在这一基本特征的基础上发展起来的。考虑到教学的需要和目前国内有关测试技术教材方面的情况,我们翻译了本书。

本书可作为工科院校有关专业师生的教学参考书,也可供有关科研、生产单位和其它有关部门从事测试、仪表、自动化、过程控制以及系统工程等方面工作的工程技术人员参考。

本书的前言、第一、二章由吴寿先副教授翻译并对全书译稿进行了审阅和校对;第三、四、八章由刘迎春同志翻译;第五、六、九、十章及术语汇编和附录由吕海宝同志翻译并绘制了这几章的插图;第七章由汪锡銮同志翻译;第一、二、三、四、七、八等章的插图由刘地利、刘迎春二同志绘制。

由于我们水平有限,译文中缺点错误在所难免,希读者批评指正。

译 者

1981.9. 于长沙

目 录

前 言.....	1
1. 测量的一般方法, 参数和仪表	
1.1 引言	3
1.2 变量和模拟的分类	3
1.3 测量系统概述	8
1.4 仪表的特性	10
1.5 误差分析	11
1.6 单位	15
1.7 小结	16
习题.....	16
参考资料.....	18
2. 系统的分析技术	
2.1 引言	19
2.2 不同域的考虑	19
2.3 拉普拉斯变换	22
2.4 传递函数	24
2.5 极点——零点图	25
2.6 伯德图	27
2.7 极坐标图	30
2.8 反馈系统的一般特性	31
2.9 稳定性的评定	35
2.10 小结.....	40
习题.....	40
参考资料.....	42
附录 部份分式和行列式例题.....	42
3. 初始敏感元件	
3.1 引言	44
3.2 电子滤波器	45
3.3 机械弹簧	47
3.4 压力敏感元件	48
3.5 流速敏感元件	50

3.6 小结	53
习题	53
参考资料	54
4. 传感器	
4.1 引言	55
4.2 被动式传感器	55
4.3 主动式传感器	65
4.4 数字式传感器	76
4.5 小结	80
习题	81
参考资料	83
5. 信号调整和转换	
5.1 引言	85
5.2 传感器电桥	87
5.3 仪表放大器	92
5.4 模拟——数字数据和采样	98
5.5 A/D 和 D/A 转换器	100
5.6 干扰、接地、屏蔽和防护	104
5.7 小结	105
习题	105
参考资料	108
6. 数据传输和遥测	
6.1 引言	109
6.2 调制和编码的方法	109
6.3 传输方式	113
6.4 带宽和噪声抑制	114
6.5 统计测量	117
6.6 多路传输	123
6.7 小结	125
习题	125
参考资料	127
7. 信号恢复	
7.1 引言	128
7.2 信号滤波	128
7.3 信号平均	133
7.4 信号相关	135
7.5 信号编码	137
7.6 小结	139

习题.....	140
参考资料.....	141
8. 数据处理、显示和记录	
8.1 数据处理	142
8.2 数据显示	142
8.3 数据记录	145
8.4 小结	151
习题.....	151
参考资料.....	152
9. 反馈测量系统和反向传感器	
9.1 控制和测量的反馈	153
9.2 系统的种类	154
9.3 力和力矩平衡	155
9.4 电流平衡	159
9.5 热流平衡	162
9.6 电压平衡	164
9.7 温度平衡	167
9.8 反向传感器	167
9.9 小结	171
习题.....	171
参考资料.....	173
10. 系统特性的测量	
10.1 系统的输入.....	174
10.2 系统的线性和失真.....	174
10.3 付里叶分析和合成.....	176
10.4 正弦波测试.....	179
10.5 脉冲测试.....	183
10.6 随机噪声测试信号.....	188
10.7 时域和频域的分析仪器.....	191
10.8 小结.....	192
习题.....	192
参考资料.....	193
 习题解答.....	 195
术语汇编.....	213
附录.....	216

前言

现代工业依赖于准确的测量，很多工业部门的发展又取决于富有生命力和创造力的仪器仪表工业。这一工业，为教育、管理和工业机构各方面的研究和测试生产科学实验仪器和装置。简单的检验测试和标准实验室的高精度测试中的问题是不相同的，后者需要复杂而用途广泛的测量装置。仪器和仪表工业也生产工业控制仪表和对自动化很有价值的成套测量系统。仪表仪器工业是一个变化很快的行业，在此行业中仪表的市场寿命只有几年，而且今天是实验室的仪表，明天就成为过程控制仪表。

仪器仪表工业是经济部门发展的一个关键，而且对在这方面有良好训练的新手有个可靠的发展前途。这项工作是有兴趣的，同时也是非常需要的。它用于科学、工程、医学以及几乎人类活动的各个方面。的确，工业的测量技术需要彻底改进。遗憾的是，过去在联合王国(UK)各类测量技术教育的实践和基本理论方面都被忽视了。有些高等学校的教学计划至今还没有开设测量课程，他们认为这门课程的内容可放在其它课程中去研究，因而在已排满的课表上，不可能有足够的时间来进行统一的训练。

计算机、电子设备和控制特别要求通俗化这是事实。同样这也是事实，把测量只看成是应用抛光标准、电桥和电位计，这不仅是在今天的技术和设备应用中限制太严，而且对学生也太呆板了。测量(分别指计量和仪表)的科学与工艺基本是互相渗透的，而测量与控制是互相依靠的。理工科学生对测量和反馈的基本原理，应有一完整的知识。本课题一般来说应看成“核心”课题来讲授⁽¹⁾。

计量工作者认为，为了达到大学计量教育的要求，最少应有30学时讲课，讨论测量部件的基本原理和系统的选定^(2,3)。

本书在曼彻斯特大学的电子与电工工程高级班使用多年。整个测量与反馈课程，包括一般的测量、现代电子测量设备和反馈技术，它们之间是协调的；同时给所有学生提供一整套理论和实践的基本知识，以便他们以后专门研究这方面的问题。本书作为课程的一部分，是以二年级程度的学生所学过的一系列教材为基础的。

在广泛介绍了通用仪表之后，给出了拉普拉斯变换在系统分析技术中的应用。推导了一般的一阶和二阶系统的运动方程，讨论了极点——零点图和时间响应间的关系；研究了频率图、反馈特性和稳定性的评定。仪表元件的工作原理是在它的功能标题下讨论的，这样就避免了在分别讨论各种参量的测量时的重复。因此，有几章是关于初始敏感元件、传感器(模拟和数字式传感器)、信号调整和转换设备的。关于遥测和信号恢复两章，介绍了噪声、统计测量和改进信噪比的方法。还讨论了数据处理、显示和记录。另有两章专门讨论由反馈电路中的反向传感器组成的仪表，以及系统性能的测量。本书是通过很多插图、典型的技术指标和工作实例来说明的。每章末尾的参考资料是为进一步

阅读和解题用的。本书的末尾还附有各章的习题解答和专用术语汇编。附录提供了SI标准单位的细目和转换系数，在常用书目中列出了本书范围所用书刊的综合目录（译书略去此综合目录——译者）。本书全部采用SI单位。

本书对测量和控制专业的大学毕业生或大学肄业生是有用的，并且适合大学最后二年程度和HNC（国家高级合格证书）训练班使用，特别适用于电子、电气、机械以及与工程有关方面的课程。本书为工程测量导论⁽⁴⁾课的一个恰好的继承，而且适合作为控制工程、计量学、仪表和模拟计算专业最后一年课程的基础。本书希望使学生能根据给定的条件设想出最好的测量方法、技术和设备，并且鼓励教师更认真地选用测量和仪表。

本书汇集的材料，许多是来自目前单独训练使用的材料，这就造成了对这些材料的了解及在深度和广度上正确选择的困难。某些内容的删减是很明显的，特别是数字逻辑、数字/模拟处理、气/液测量系统、高频和光学仪表以及化学参量的测量关系。我引出了包括其它教材和工厂文献的很多资料性教材，并将它们放在各章的参考资料中。那些极好的材料，包括第二阶段开放大学的测量教材，对我有特别的影响，而且在常用书目中，我推荐了这套书。我非常感谢曼彻斯特大学允许我使用该校的考题。我感谢曼彻斯特大学电子工程系的学生和同事们（无论是过去的和现在的），在我编写本书时对我的宽容和帮助，我特别感谢 Sir Frederick Williams 教授对我工作的支持，还要感谢 R.Cooper 教授提供的第九章中的一些资料。原稿是由我妻子 Julie 尽了最大的努力打印出来的，我感谢她的耐心和对我的谅解。

B.E. 琼斯

1. Jones, B.E.: 'Feedback measuring Systems', I.E.E. Electronics and Power, 1974, 20, 566.
2. I.E.E. Conference Publication Number 56, Measurement Education, July 1969.
3. Rawcliffe, J., Bibby, G.L., and Clifford, P.M.: 'Measurement Matters', I.E.E. Electronics and Power, 1969, 15, 354.
4. Bass, H.G.: Introduction to engineering measurements, McGraw-Hill, New York, 1971.

1. 测量的一般方法、参数和仪表

1.1 引言

人类的知识大部分是依靠测量得来的，仪表则是测量的手段，它不仅用于科学方面还用于工程、医学以及几乎人类活动的各个方面。测量仪表可用来监控某一生产过程或某一操作。例如热工仪表、气压表和气流计用来指示环境情况。同样，水表、瓦斯表和电表用来记录水、气、电的消耗量。医院中用了特殊病人的监视设备，那末几乎所有的运动车辆都有很多指示器就是很自然的了。测试仪表的另一极为重要的应用方式是把仪表作为自动控制系统中的一个部件。事实上，为了控制某一参数就必须测量这个参数。加热中心系统取决于测温仪表，工业生产过程控制需要很多温度、压力、流量、液面等等的测量，而控制飞机和导弹就需要应用加速度计、高度表和陀螺等仪表。还有更多的仪表用于实验科学和工程工作。

无论什么样的应用，测量设备的灵巧选择和使用，需要广泛的知识，这些知识就是用什么样的设备和用何种性能的设备才能完成测量任务。有些基本测试技术和设备已被证明是有用的并仍将继续广泛使用，但是也需要不断地改进和发展新设备来解决测试中的问题。本书不仅为仪表使用者服务，同时也为仪表和测试系统的设计者服务。强调这一点是应该的，因为仪表设计只考虑信息的采集和处理，而与考虑功率和效率为主的机械设计是大不相同的，而且很多实验测试设备是自制的。

在实验工作中，仔细的设计和操作及事先对实验有一估计是很重要的，以便避免差错，在每章之末有很多这方面的资料，以供参考。选择一种使误差为最小的测试方法是很重要的，而测试的基本原则是要使被测量不受测量动作的影响，这一无干扰原则决不能违背。通常零位测量法（与偏差法相反）和仪表中采用反馈可使准确测量的干扰最小。为此，在本书中强调反馈的特性和应用。

1.2 变量和模拟的分类

考虑到大量常用的被测量及测试装置和仪表的广泛应用，需要一个有效的基本分类法。不管什么样的分类法，其最重要特点在于避免重复。首先，在处理各种课题时，处理和分析中存在着相似性，这些相似性是通过模拟的方法来表示。其次，研究传感器时，一种传感器可用来测量几种参量，似乎不必要在几个不同标题下研究这一问题，因为就时间和篇幅来说都是不合适的。

确定动态系统能量流的物理变量，可分为全变量 (Pervariable) 和跨变量

(Transvariable)。全变量可在空间的某一点来描述和测定,比如力、动量、电源、电荷等;与此相反,描述和测量一个跨变量必须包括空间的两个点(通常以一点作为参考点),这方面的例子如位移、速度、温度及电压等。时间是一个与空间无关的变量。因此,示于表 1.1 中的基本物理变量的分类是方便并有指导意义的。此表可扩展到热动力学和场变量、能量辐射等等方面(可能还有其它的模拟,但应优先采用这种模拟,因为这种模拟有相互模拟的跨变量和相互模拟的全变量。)

动态系统的所有对象,包含一个被测量或跨变量与全变量之间的确定关系。例如,电容器是根据跨变量的电压和全变量的电荷之间的关系来定义的。所谓“状态”是指对象的物理条件的测量,而“速率”是指对象的“状态”对时间的变化率。绝大多数的物理系统有两类存贮作用的元件,通常称为全存贮元件和跨存贮元件,例如电系统中的电容器和电感器。在热工系统中只有一种能量存贮型式。表征物质和能量的存贮、转换及分布情况的参量,通常称为系统的参数,一般有三类参数,即线性参数、集总参数和两端组成分析参数;两类存贮元件(在表 1.1 中的 C 型和 L 型)和一个损耗器(G 型)。系统分析是建立在总能量转换概念的基础上的,而且净系统功率为零。

基本物理变量的分类

表 1.1

变 量 系 统	全 变 量		跨 变 量	
	状 态	速 率	速 率	状 态
一般的(基本关系)	y	$\dot{y} = \frac{dy}{dt}$	$\dot{x} = \frac{dx}{dt}$	x
机 械 平 移	动 量	力	速 度	位 移
机 械 转 动	角 动 量	力 矩	角 速 度	位 移
电 学 的	电 荷	电 流	电 压	磁 链
流 体 流 量	体 积	流 速	压 力	—
热 量	热	热 流 速	温 度	—
推导关系 $\dot{x}\dot{y} \Rightarrow$ 功率 $\int \dot{y} dx \Rightarrow$ 跨贮能 $xy \Rightarrow$ 作用 $\int \dot{x}\dot{y} dt \Rightarrow$ 能量 $\int \dot{x} dy \Rightarrow$ 全贮能				
参 数		函数关系		
C 型		$C \frac{dx}{dt} = \dot{y}$		
L 型		$L \frac{d\dot{y}}{dt} = \dot{x}$		
G 型		$G\dot{x} = \dot{y}$		

人们发现,含有各种物理介质的运动方程和系统的特性是相似的,利用这些相似可由对某种介质系统的深入了解转到对另一介质系统特性的了解。当然,这对研究新的测量技术肯定是有帮助的。把有用的电模拟用于机械、热力和流体系统是可能的。事实上,电模拟计算机在各种动态系统的综合中有着普遍的重要作用。虽然在分析物理系统时,不能排斥对模拟技术的信赖,但也必须谨慎。当模拟技术妨碍了我们对新的物理现象的思考或使我们得出一不适合的分析模型时,模拟技术就成为有害的。

看一下含有各种物理介质的线性一阶、二阶系统的运动方程是有启发的,因为绝大多数测量装置是这种型式,于是我们就能了解此模拟关系。现在我们只考虑当信号幅值变化时常数保持不变的线性系统,而系统的线性和失真将在10.2节中进一步讨论。一阶系统只含一种能量,而二阶系统的根本特征是两种能量间的交换。

1.2.1 线性一阶系统

若把石英晶体切成具有平行面并在其间加以压力,则在此平行面上出现极性相反的电荷,从而产生一输出电压(此压电效应将在4.3.4节中详细讨论)。压电式传感器,就其本质来说是一个力传感器,并能用电容 C 与一负载电阻 R 串联的电路来表示(图1.1(a))。此传感器的等效电路,就所论及的端点电流和电压来说,基本上与实际的传感器一样。若起始时无外力作用于传感器,则输出电压 $v=0$ 。若现在加一力的阶跃输入,就产生一电荷 q ,这时 $v=q/C$,且电路电流为 $q/(CR)$ 。当力保持恒定,就不再产生电荷。电容 C 放电,所以输出电压 v 就减小。但是,当电压降落时,电流就降落,当电流降落时,电压就以较慢速度降落。事实上, dv/dt 在整个时间内与 v 成正比,且定义这种情况为指数函数。在 $t=0$ 后的任意时间

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{dv}{dt} \quad \text{及} \quad v = iR = CR \frac{dv}{dt};$$

这是一个一阶微分方程,式中 CR 是电时间常数 τ_e 。这样我们可写成

$$v = \tau_e \frac{dv}{dt} \quad (1.1)$$

当初始温度为环境温度的热电偶接点突然浸入温度为 T_w 的热水中(图1.1(b))时,可得到类似于热状态的形成。热电偶在4.3.2节中讨论。在随后的任一瞬间进入热电偶的热流与接点和水的温差成正比。当接点的热量上升时,热流就减小,并且在每一瞬间接点的温度以与温差成比例的变化率趋向水的温度。事实上, $dT/dt = K(T_w - T)$,其中 T 是接点的温度,且 $1/K$ 为热时间常数 τ_t 。这样我们可写成

$$T_w - T = \tau_t \frac{dT}{dt} \quad (1.2)$$

显然,方程(1.1)和(1.2)间可看成是相似的。当电压输出按指数规律下降时,实际上接点温度按指数规律上升,而提供一个单一的时间常数的电路是很简单的,在此电路对于阶跃输入的电压,其输出是按指数规律上升的。在这两种系统中,只有电能量或热能量的全贮能量,而损耗器是电阻或热阻。电流和热流速率是相似变量,如电压和温度也是相似变量一样。

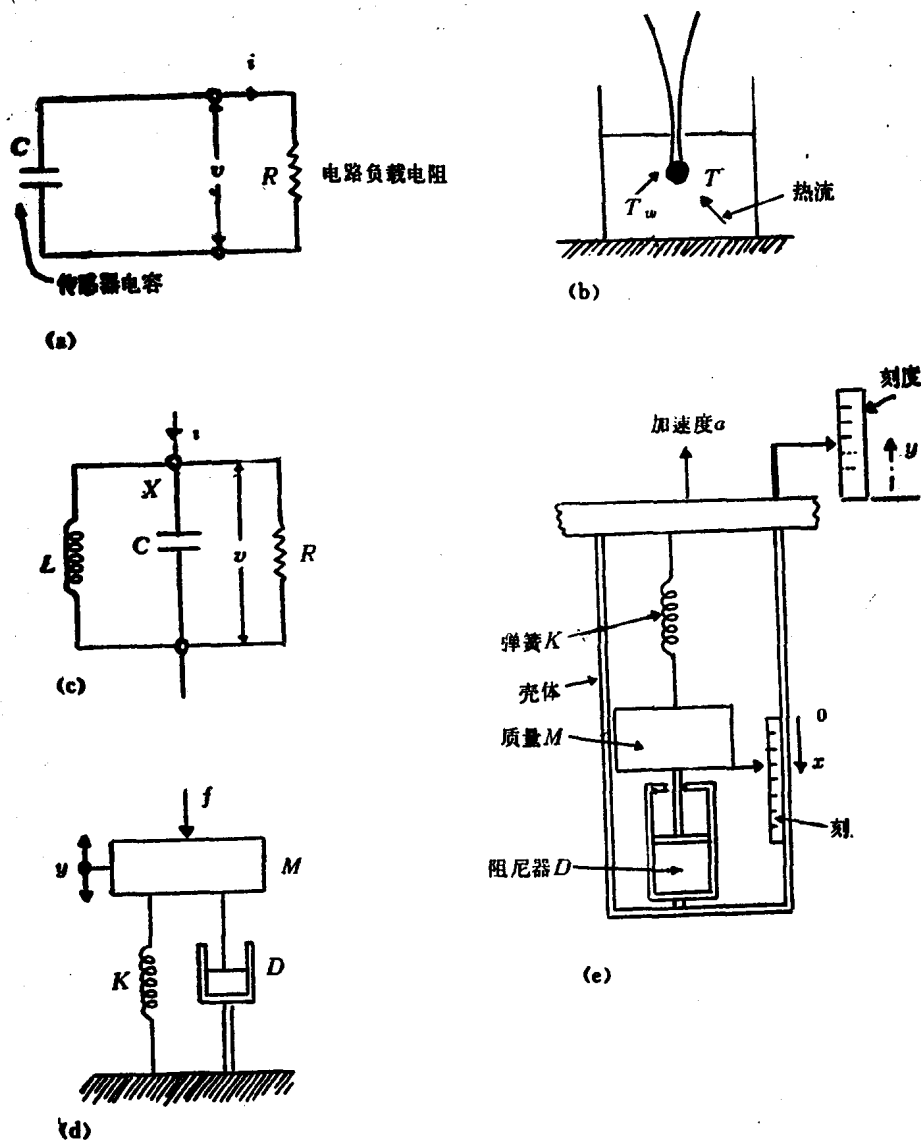


图 1.1 线性一阶和二阶系统
 (a)压电式传感器的简单等效电路；(b)热电偶受热；(c)并联调谐电路；
 (d)阻尼质量弹簧系统；(e)单轴地震式阻尼加速度计。

1.2.2. 线性二阶系统*

图 1.1(a) 所示简单 $C-R$ 电路，只含有一种型的能量存储——静电能量。若在电路中引入一电感，那么也可以存储电磁能量，同时电路能量可在两种型式间振荡，并由电路中的电阻消耗。图 1.1(c) 所示为并联调谐电路。假定开始 C 放电，且在电路中没有电流。现在，若电流 i 出现变化（在 $t=0$ 时），那么在 X 点的电流和为

$$\text{外加电流} = \text{电容器电流} + \text{电阻器电流} + \text{电感器电流}$$

我们得到表示式

* 在本节所用符号 $y, \dot{y}, x, \dot{x}$ 与表 1.1 中的符号无关。

$$i = C \frac{dv}{dt} + \frac{v}{R} + \frac{1}{L} \int_0^t v dt \quad (1.3)$$

这是一个二阶微分方程。

为了比较，在图1.1(d)中示出了一简单的质量—弹簧的机械装置。质量 M 在作用力方向上垂直运动，弹簧力为 K 与弹簧位移 y 的乘积，而粘性阻尼力是 D 乘以速度 $\dot{y}$ *。假定质量是在静止情况下受力 f 作用($t=0$)，且作用力通过质量的质心，因此
外加力 = 加速度力 + 阻尼力 + 弹簧力

我们得到表示式

$$f = M \frac{d\ddot{y}}{dt} + D \dot{y} + K \int_0^t \dot{y} dt \quad (1.4)$$

这是一阶微分方程。显然，方程(1.3)和(1.4)间是直接相似的。在这样两种系统中，有两种形式的能量存贮：电容器和质量为全存贮能量，电感器和弹簧（或阻抵）为跨存贮能量。质量中的能量通常称动能，而弹簧中的能量称势能。电阻和粘性阻尼叫耗能器。速度和电压是相似的变量，同样电流和力也是相似的变量。

具有粘性阻尼的地震式加速度计，是一个二阶机械平移的好例子，现在进行讨论。这一系统的基本简图是一已知的所谓地震质量，被测的加速度就传给该质量。质量的加速度由作用在质量上的力决定。质量与某种型式的弹簧相连接，而且产生加速度的力使质量相对于弹簧运动，直到弹簧力与加速度力平衡。用质量的位移来求所测量的加速度，而用某种型式的传感器来测量位移。如图1.1(e)所示为单轴地震式加速度计。加速度计的外壳与被测加速度的物体相连接，而弹簧的一端与外壳相连接，另一端与质量相连接。粘性阻尼器也连于外壳与质量之间。当外壳受加速度($\ddot{y}$)**而运动时（位移为 y ），质量 M 停留在一个与加速度有关的距离(x)上。弹簧产生一力为 K 乘以弹簧被拉伸或压缩量(x)，而阻尼也产生一力为 D 乘以它所经历的速度($\dot{x}$)。

根据在质量中心处的力相等，得到地震式加速度计的运动微分方程，通常

$$\text{外加力} = \text{弹簧力} + \text{阻尼力},$$

忽略掉导轨的摩擦力。质量的净位移为 $y - x$ ，净加速度为 $\ddot{y} - \ddot{x}$ ，因此描述系统的运动方程就变成

$$M(\ddot{y} - \ddot{x}) = Kx + D\dot{x}$$

若加速度是在高度为 a 的阶跃函数形式 $t=0$ 时加上去的，我们就得到 $t>0$ 时的表示式

$$\ddot{x} + \frac{D}{M}\dot{x} + \frac{K}{M}x = 0 \quad (1.5)$$

解此方程，即可求得 x 的变量及由此而产生的加速度计输出。若阻尼为零，即 $D=0$ 则

$$\ddot{x} + \frac{K}{M}x = a.$$

此方程的解为 $x = a(1 - \cos\omega_0 t)$ 。因而在此情况下，就出现振幅为 a （平均值约为 a ）的

* 上标·对时间的一阶导数 d/dt 。

** 上标··对时间的二阶导数 d^2/dt^2 。

正弦振盪，为了获得一稳定值， D 是有限的，方程(1.5)可写成如下形式：

$$\ddot{x} + 2\xi\omega_0\dot{x} + \omega_0^2x = a$$

式中， $\xi = D/[2\sqrt{MK}]$ 是加速度计的阻尼因子或阻尼比。输出量 x 最后稳定到平衡状态 x_a (当 $\ddot{x} = \dot{x} = 0$ 时， $x_a = Ma/K = a/\omega_0^2$)，这就是加速度计的稳态响应，而瞬态响应就消失了。显然，在取得读数之前，若瞬态响应的衰减允许有足够的时间，精度仅在某一范围内，则加速度计的阶跃响应就等于 x_a 。衰减时间的长短，取决于加速度计的 ω_0 和 ξ 。应当指出，在实际应用中，阻尼力并非与速度 $\dot{x}$ 成精确的比例，在弹簧中的线性特性也只在限定的位移范围。在复合的双向和三向加速度计中，质量上的分力是沿三个相互垂直方向中的两个方向来衡量的。

因机械的质量、惯性矩、弹簧刚度和电容及电感是常用的，所以二阶系统是很普遍的。在 2.4 节中将讨论用拉普拉斯变换解线性微分方程的方法，并用二阶系统作为例子。8.3.1 节中讨论了将机械转动系统用于检流计式记录器时的运动方程。

1.3 测量系统概述

1.3.1 仪表功能的说明

对仪表有一系统的了解和分析是有益的。仪表可定义为一台机器或一个系统，它被设计来保持物理变量的规定特性并必须具备同观察人员传递信息的功能。虽然仪表的特性是根据静态和动态特性来确定的，而功能关系的保持，主要与静态校准的恒定性有关。测量系统的运行，是根据系统的功能元件来说明的。人们可以把测量系统概括为如图 1.2 所示的功能元件和系统的例子。每一仪表的测量系统由一个或更多这样的功能元件组成。

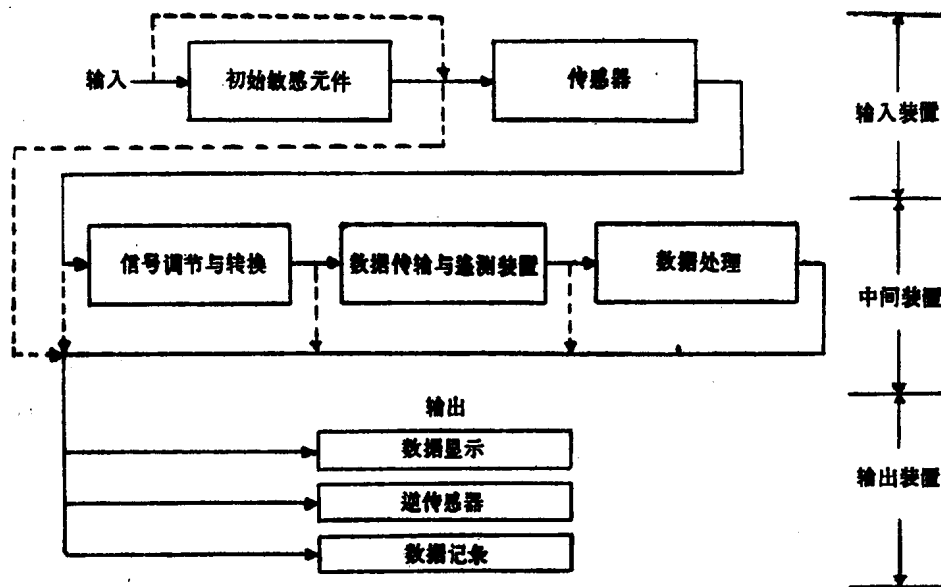


图 1.2 测量系统的一般功能图

一个物理变量，可以通过它的一个或更多特性的变化来传输信息，例如振幅、相位、频率、脉冲宽度、滞后或状态。若测量的物理量或特殊性质是测量系统的输入，则称为被测量。初始元件或元件组，它们首先从被测量的介质接受能量，借助于某种测量方法而产生输出。被测量常常受到测量动作的干扰，但是一个好的仪表设计，应把这一影响减到最小。初始敏感元件可能有一非电量的输入和输出，例如弹簧、压力计、布尔登管、孔板及膜片，或者初始敏感元件可能有一电量的输入和输出，例如滤波器和整流器就是这样的元件。常常要借助于传感器将非电量信号转换成电信号，比如应变计、温度计或热电偶，而且传感器可与诸如电桥、放大器以及模—数转换器之类的信号调整和转换设备相连。当功能元件不可能相连时，就需要采用遥测系统，将数据从这一组功能元件传输到另一组功能元件。数据在以某种型式的显示传到观察人员之前，可能要经过处理、记录并与输入信号进行比较（通过反向传感器）。

通过对这些功能元件和用来完成上述任务的各种物理装置的集中研究，人们就能提高分析仪表的技能，并明白对仪表的特殊要求的理由，同时也提高了导致新的和有用仪表组合的综合技能。在3~9章中将广泛地研究图1.2所示的各种功能元件。

1.3.2 输入——输出的关系

图1.3示出了所有测量装置中输入——输出的一般关系。输入量分为三类，即希望输入、干扰输入及修正输入。希望输入所表示的量，是仪表明确要测量的。干扰输入表示仪表的无意敏感量。一个希望输入 i_D 产生一输出分量，根据输入——输出关系用

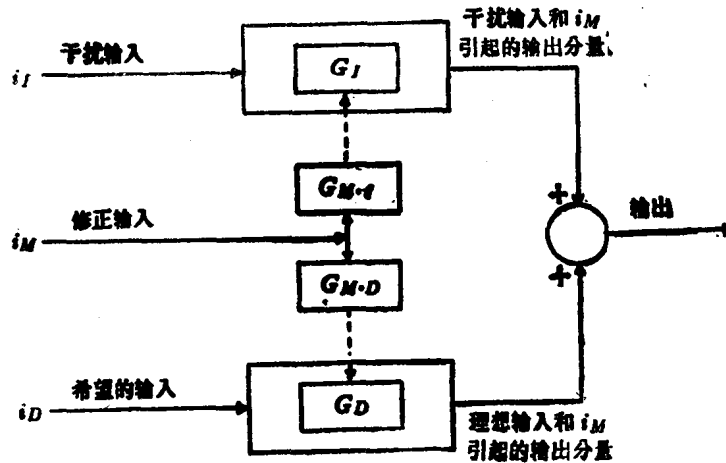


图 1.3 一般化的输入—输出外形图

符号 G_D 表示； G_D 表示从输入量中，经过必要的数学运算，得到的输出量。同理， G_I 是由于干扰输入 i_I 而来的。修正输入 i_M 是引起 G_D 和(或) G_I 变化的输入量。符号 $G_{M,D}$ 和 $G_{M,I}$ 专门表示 i_M 分别对 G_D 和 G_I 的作用。测量装置的输出，是由于希望、干扰和修正输入而产生的各个输出分量的瞬时代数和。一个测量系统，可能有几种输入而且也可能有几种输出。

典型的干扰输入，是静电和电磁的干扰，而温度效应产生漂移，这样仪表对无用的输入也产生一个输出。典型的修正输入是温度和电池电压，例如惠斯登电桥中的应变计

就是这样的。电桥的输出与应变系数（它对温度敏感）及输出桥压成比例。在此情况下，温度也是干扰输入，因为即使应变为零时，它也使应变计的电阻值和电桥电压发生变化。

在实际工作中，要尽可能使干扰无效或者假输入的影响减小。为此，可采用各式各样的方法。很清楚，希望使 G_I 和（或） $G_{M,D}$ 尽可能接近于零；因此，虽然 i_I 和（或） i_M 可以存在，但它们不能影响输出，反馈就可用来减小 i_I 和 i_M 的影响，在 2.8 节中将讨论此问题。对于假输入的影响，可以采用信号恢复技术（特别是信号滤波）来降低，在第 7 章中将讨论此问题；正确接地、屏蔽和防护对降低影响也有帮助，此问题将在 5.6 节中讨论。如果干扰和（或）修正输入及其对输出影响的大小是已知的，那么就可以计算其校正值，从输出指示值中加上或减去此值，这样剩下的（理想的）就是与希望输入量有关的分量。减小不可避免的假输入的不良影响的另一种方法是，有意地把抵消这些不良影响的干扰及（或）修正输入引入仪表。

1.4 仪 表 的 特 性

仪表的特性可分为静态特性和动态特性。当测量所涉及的是快速变化量时，仪表的输入与输出间的动态关系通常用微分方程来描述。测量系统的动态特性在第 10 章中要讨论。然而在某些应用中，被测量是恒定的或变化极慢的量，这就无需考虑描述它的动态特性。这样，重复性、漂移、误差、准确度、分辨力、灵敏度、线性和非线性（如死区、间隙、滞后等）就看成是静态特性。应当注意，一台仪器的全部性能是由它的静态特性和动态特性所决定的。当然，尽管精度是非常重要的，但重复性几乎是任何仪表最重要的静态特性指标。现在来讨论若干静态特性，这有助于了解仪表（或传感器等）的特殊性能。英国标准可提供一详细的用于计量学方面的术语汇编目录（BS5233, 1975），同时计量学还给有关测量知识下了定义。

重复性 由同一观察人员，使用相同的条件、方法及仪器来测量同一被测量，所得的一组数据的接近程度。这受到仪器内部噪声和漂移的影响。例如，一位移传感器重复对已知准确位移进行测量，若它的重复性是 $\pm 1\%$ ，那末全部测量读数都在这些限定范围内。

漂移 这是仪表输出的变化，它不是因输入的任何变化而产生，而可能是因内部温度变化及不稳定分量所产生。

误差 这是被测量的测量结果与真值间的代数差。它可用特殊的测量单位（绝对误差）来表示，如被测量的百分数（相对误差），或者是某一特殊值（通常是满刻度指示）的百分数。通常“真值”可用“传统真值”来代替，例如若最大允许误差为 $\pm 2\%$ 的电表，用指示误差在相同范围内不超过 $\pm 0.2\%$ 的标准电表来检验，此标准电表就指示出检验电能的传统真值，校正值必须与测量所得的指示值进行代数相加；理论误差和与它有关的校正值，数值相等而符号相反。

不精确性 真值或传统真值（假定合理的话）估计都在表示测量结果的变化值范围内。此范围常用对称形式的 $\pm x$ 来表示，其中误差限 x 与规定的概率有关。在另外一些

情况下,与估计值有关的可信度是给定的。混淆是可能发生的,因为有时“误差”一词常用来描述不精确性,所以每当使用“误差”一词时,对其含意加以说明是很重要的。

准确度 这是一个定性术语,表示仪表输出与(被测量的)真值的可能极限关系。事实上,准确度可规定为不准确度(不精确性)而且是许多不精确性因素(如非线性、滞后、振动与漂移)所造成的。

识别力(或分辨力) 这是用仪表能够检测出的(被测量的)最小增量。例如,若一数字仪表的最大读数为999,它的分辨力为1或999分之1。仪表的临界值是识别力的一个特殊情况,而且是输出为零产生一可检测的变化时所需的最小输入;此变化是由间隙或内部噪声引起的。

灵敏度 这是仪表输出量的变化与对应的被测量大小变化之比,有的叫(增量)增益或比例因子。灵敏度的倒数称为偏转因素或反相灵敏度。

线性 大多数仪表需要一个线性刻度(即在被测量的全部数值其灵敏度保持恒定),而且线性的最大偏移常用满刻度的百分数来表示。

死区 这是仪表无响应的被测量的最大变化;这是由仪表中的摩擦、间隙及滞后所产生的。

摩擦 静态阻力(或静摩擦力)是一种使物体从静止开始运动所需的力或力矩。库伦摩擦(或动摩擦)是摩擦力或力矩,它反抗输出运动;它与速度无关,通常比相应的静态阻力小。粘性摩擦的变化与机构的速度成函数关系;由于摩擦使运动滞后,它就产生阻尼并对输出响应有影响。

间隙 机械系统的任一部分,对某一机械顺序的邻近部分不施加外力或运动时,在某一方向移动的最大距离或角度。

滞后 当从相反方向来研究(即误差的增大与输入值的减小相反)时,滞后是相应测量点间平均误差的代数差。它是由间隙、摩擦或磁性材料的特性所引起的。

零位稳定 在被测量已回到零,而且其它的变量(温度、压力、湿度及振动等)均已消除后,仪表恢复到零读数的测量能力。

1.5 误差分析

知道所测得数据的准确度是重要的。每一次测量都包含有误差(除开那些不用任何误差就能完成的计数),而且为了合理地估计测量中的不精确性,知道误差的形式是重要的。通常,一个误差有两个组成分量:系统分量(可计算的或固有的)和随机分量(不可计算的或偶然的)。这是假定避免了故障误差和重大过失误差,例如仪表与测量点连接正常并且是接通的。系统误差和随机误差,可分别称为系统不确定量和随机不确定量,而且分开引用这些分量为好。

系统误差可能是由于采用不适当的测量方法而产生的,如对试验数据的不合理推论,可能是采用了有静态或动态误差的仪表,也许由不合适的环境条件所造成或由原来的校正误差造成。产生系统误差的另一些原因,是人的误差,如固僻的读数错误及计算中四舍五入的错误。这些误差,在它们可测定的范围内,通常可以避免并可预先估计