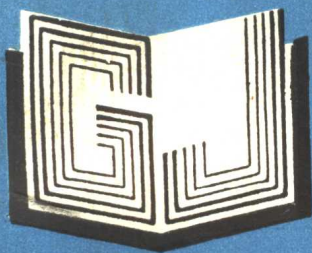


985368



高等学校教材



汽轮机试验技术

华中理工大学 吴季兰 主编



高等学校教材

汽轮机试验技术

华中理工大学 吴季兰

水利电力出版社

(京)新登字115号

1B

内 容 提 要

本书着重阐述汽轮机试验技术的基本原理和知识。其主要内容有试验技术的基本概念、测量仪表及方法、试验数据采集及处理、误差分析、汽轮机热力特性的测定、调速系统特性的测定以及振动特性的测定等。

本书为高等学校电厂热能动力专业汽轮机课程的选修教材,也可供有关专业师生和工程技术人员参考。

高等学校教材

汽轮机试验技术

华中理工大学 吴季兰 主编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京市地矿局印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 11.75印张 263千字
1994年10月第一版 1994年10月北京第一次印刷

印数 0001—1650 册

ISBN 7-120-02057-9/TK·308

定价 6.75 元

前 言

本书是根据1989年在吉林东北电力学院召开的高等学校热能动力类专业教学委员会汽轮机教学组会议讨论通过的“汽轮机试验技术”编写大纲编写的。

全书共有七章。第一、二、五、六、七章由华中理工大学吴季兰同志编写，并担任主编。第三、四章由浙江大学朱伊傑同志编写。全书由东南大学陈行庚同志主审。

在编写过程中曾得到兄弟院校、电力试验所和电厂的同仁的大力支持，对此表示衷心感谢。

限于编者水平和实践经验，书中难免有不妥和错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

1993年11月

64-25 10

符 号 说 明

A	面积、振幅、开环增益	W	线圈匝数、功率表读数
a	偏心距	X	被测量
B	磁感应强度、振幅、功率表分格常数	x	距离
C	电容	Z	阻抗、脉冲数、齿数
c	音速	α	流量系数、危险率、误差传递系数、线膨胀系数
d	距离、间隙、直径	β	水银的膨胀系数、直径比
E	热电势、激励电压	δ	宽度、误差、速度变动率
E_l	线性度	δ_i	随机误差
f	频率	ε	相对误差、轴向应变、迟缓率、流束膨胀系数、介电常数
g	重力加速度	r	半径
H	高度、磁场	r_c	管道粗糙度修正系数
h	比焓、高度、厚度	η	效率、流体动力粘度
I	电流	μ	铁芯导磁系数、导磁率、泊松系数
i	电流	μ_0	空气导磁系数
K	灵敏系数、灵敏度	λ	平均线膨胀系数
k_c	管壁绝对粗糙度	σ	均方根误差、标准误差
k_t	材料热膨胀系数	θ	角度
L	长度、电感、自感	Φ	热量、热当量
M	转矩、互感系数	ϕ	热量
m	油动机活塞行程、质量、活塞位移	τ	时间常数
n	转速、槽数、齿数	ω	角频率
P	功率	φ	纬度、相位
p	压力、离心力	G	放大器闭环增益
Q	品质因素	u_y	总不确定度
q	流量	e_y	总未定系统不确定度
R	电阻、半径	P_{el}	电功率
R_m	磁阻	P_i	汽轮机内功率
S	仪表灵敏度	η_{ax}	机械效率
T	周期、转动力矩	η_g	发电机效率
t	时间、温度、厚度	SR	汽耗率
U	电压、电势	HR	热耗率
u	电压、随机不确定度	Re	雷诺数
V	电压		
v	速度		
v_i	残余误差		

目 录

前 言

符号说明

第一章 概论	1
第一节 试验技术在汽轮机中的地位及发展趋势	1
第二节 试验大纲的拟定	2
第三节 试验报告的编写	2
第二章 测量仪表及系统、测量方法	4
第一节 概述	4
第二节 非电量的测量与传感器	8
第三节 压力测量	21
第四节 温度测量	32
第五节 流量测量	40
第六节 功率测量	60
第七节 转速测量	63
第八节 位移、振动、应力的测量	67
第三章 试验数据的采集和处理	74
第一节 数据采集和处理系统概述	74
第二节 信号调理	77
第三节 模数和数模转换	86
第四节 数据的传输、记录和存储	92
第五节 数据采集和处理系统的噪声和干扰	99
第六节 数据采集和处理系统在火电厂的应用	102
第四章 试验数据误差分析	109
第一节 误差的基本概念	109
第二节 误差的基本性质、传递与合成	111
第三节 测量值合理性检验	118
第四节 试验数据的统计分析及其表示方法	121
第五节 动态测量的数据处理和分析简介	126
第六节 产生汽轮机试验结果误差的原因及误差计算步骤	134
第五章 汽轮机组的热力特性测定	139
第一节 汽轮机组的热力特性和经济性指标	139
第二节 汽轮机组热力特性的测定	141
第三节 试验结果的计算与分析	154
第六章 调节保安系统性能测定	161
第一节 调节系统静态特性及其测定	161

第二节 调节系统动态特性测定.....	165
第七章 汽轮发电机组的振动特性测定	169
第一节 汽轮发电机组的振动及其原因.....	169
第二节 汽轮发电机组的振动试验.....	173
第三节 汽轮发电机组的振动监测与故障诊断.....	177
参考文献	179

第一章 概 论

第一节 试验技术在汽轮机中的 地位及发展趋势

汽轮机是一种将水蒸气的热能转换成机械功的高速旋转式原动机，是现代火电厂、核电站的重要动力设备。汽轮机运行的好坏，直接关系到电站运行的经济性和安全性，而且要影响到整个电网。汽轮机是一种非常精密的设备，其结构、系统极其复杂，又经常处在变工况运行状态下。因此，要保证机组安全经济运行，就必须掌握它的特性。尤其是现代大型机组，由于容量大，参数高及中间再热等原因，其结构、系统以及机组的特性都愈来愈复杂，故研究机组的各种特性就显得格外重要。现在常用理论分析计算和试验研究两种方法。汽轮机发展的实践表明，单纯地用理论分析和计算方法来提高汽轮机组的性能是不可能的。因为汽流在汽轮机中实际的工作过程极为复杂，到目前为止，只能依靠某些简化的假设来设计，并通过模型试验择优选取，但所得结果与实际情况仍有较大的差别。因此，有必要在原型上用试验方法来获取机组的实际特性，了解真实动态过程，以校核制造厂提供的特性是否正确，机组是否正常，能否满足运行的要求，发现设备和系统的缺陷，以便分析问题，提出改进意见，指导运行。用试验方法来解决汽轮机设计、安装、运行中的一些基本问题，具有十分重要的意义。

试验是人们认识事物本质及其运动规律的一种基本方法，测试技术是其核心。随着电子计算机、数学和力学的发展，数学模拟方法得到了推广，有可能减免某些试验，但不能完全取代物理模拟方法，不能为汽轮机提供完整的使用特性。因此，模型和原型试验仍然是获取数据的基本手段。例如，汽流在级中的流动过程就很难用解析方法搞清楚。在汽轮机制造中，研究叶型的基本方法仍然是试验。用试验方法研究汽轮机通流部份的几何参数、速度分布、压力分布对能量转换和热力特性的影响，测定汽轮机在各种工况下热力特性、调节特性、振动特性等。

汽轮机的发展与其试验技术的发展密切相关。试验技术水平在一定程度上直接代表了汽轮机试验研究水平。试验技术的发展趋势表现在以下几个方面：

- 1) 采用高精度、自动化的综合测试技术。汽轮机是高效率的原动机，为鉴别其设计上的微小改善，需进行试验证实。对长期连续运行的大型机组来说，任何效率上微小改善都具有重要的经济意义。传统的一次测量方法使精度的提高受到限制，不能鉴别设计上和运行上的微小改善。而汽轮机试验中被测的量以连续方式存在和变化，长期以来都是用模拟仪表进行测量和由试验人员读数记录。这样，一个参数的测量几乎就要安排一个人，并将带来人为读数误差（如果采用记录仪代替人工记录，就可减少读数误差）。再加上试验人员对试验结果的人工整理和计算，这样一来，花费的工时多，对长期连续的试验研究是

一个沉重的负担。因此，实现试验过程的自动化已成为重要议题，它是提高科研效率的新的技术基础。要提高效率和测量精度，并使参数测量、数据处理及计算自动化，必须采用非电量电测法和以电子计算机为中心的综合试验系统。其中传感器应用技术是现代测量和控制系统的重要基础。

综合测试系统应用现代的检测技术、自动化技术和电子计算机及其外部设备，自动进行参数测量和数据处理、抑制干扰、计算试验结果和误差分析。采用巡回检测技术或实时测试能快速采样和测取参数的瞬时平均值，从而使试验数据可靠性高，并可减少人力和时间。

2) 测量仪表性能不断提高，在测量精度、范围、可靠性及使用寿命等方面都有改善。用数字式自动精密电桥测电感、电容的精度可到达万分之几。

3) 测试中应用新技术和新物理效应。如激光测距、测微粒；超声波测流量；半导体传感器测位移、压力；实时频谱分析仪和计算机对随机振动或压力脉冲信号进行频谱分析。

4) 试验方法和研究方法的改进。

第二节 试验大纲的拟定

为了使试验工作能顺利地进行并达到预期的目的，试验负责人应在接受任务后，根据任务要求，编制试验大纲。一般说来，试验大纲的内容包括以下几点：

- 1) 试验目的、任务、项目和进度。
- 2) 试验方法、负荷、运行方式及要求。
- 3) 测点布置、测量方法和所用的测试设备。
- 4) 根据试验要求，确定计算方法。
- 5) 确定试验组织机构，明确试验人员的分工、职责。
- 6) 试验期间的安全措施，有关事故处理的规定。

若是验收试验，试验双方（甲、乙方）都应就试验的具体目的和试验方法等达成明确协议。试验过程中若发生分歧，应明确处理办法。

第三节 试验报告的编写

试验结束后，要提出试验报告，以便分析问题，指导运行和对设备及系统进行改进。试验报告内容一般应包括下列几方面：

- 1) 电厂名称及试验机组编号。
- 2) 机组主要技术规范 and 保证条件。
- 3) 试验目的、项目。
- 4) 试验所采用的测点及测量仪表。
- 5) 试验方法及要求。

6) 试验结果的整理与计算, 包括测量数据汇总表、计算数据汇总表、特性曲线等。

7) 试验结果的分析。主要是与下列情况进行比较:

①与制造厂家的保证数据进行比较; ②与本机组以前的试验数据比较; ③与同类型机组试验数据的比较。根据比较结果, 分析其原因。

8) 根据试验结果的分析, 提出改进机组安全、经济运行的措施。

9) 误差分析。

第二章 测量仪表及系统、测量方法

第一节 概 述

一、测量系统的组成及其测试内容

在科学实验或生产过程中，必须对客观事物进行定性分析或定量分析，这就需要对被测对象进行测量。

所谓测量，就是把被测的物理量，用仪器及装置组成的测量系统，进行检出和变换，使之成为人们能感知的量，以便进行分析研究。

通常称被测的量为输入，称变换后的量为输出。正确地选择测量系统才能使输出正确反映输入。

为实现一定的测量目的而将测量设备(仪表或仪器、测量装置、测量元件及辅助设备)进行的组合称为测量系统。由于测量原理和对精度要求不同，测量系统的构成有较大的差别：它可能是仅有一只测量仪表的简单测量系统；也可能是一套高度自动化的复杂测量系统。但是，就其在测量过程中其部件在处理被测量时的功能看，一般测量系统可看成由传感器、变换器和显示装置三个环节组成。

(1) 传感器 传感器直接与被测对象相联系，其作用是感受被测参数的变化，拾取原始信号，按一定规律将其转换成同种或别种性质输出量的装置。

(2) 显示装置 显示装置的作用是显示或记录被测参数的测量结果。常见的显示记录部件有指针表盘、记录器、数字显示器、打印机、荧光屏图形显示器等。

(3) 变换器 连接传感器与显示装置之间的环节称为变换器，其作用是为了将传感器的输出进行远距离传送、放大、线性化或变成统一信号。将传感器发出的信号单值地变为显示装置易于接受的标准信号的中间件称为变送器；将传感器发出的信号进行放大的中间件就称为放大器。有时变换器就是传感器，例如压力测量中的位移变换器，在测量距离和位移时就是传感器。

二、测量方法

测量方法就是如何实现被测量与测量单位比较的方法。测量的具体方法是由被测量的种类、数值的大小、所需的测量精度、测量速度等因素决定的。

(一) 直接测量法和间接测量法

根据测量手段或按测量结果产生的方式，分为：

1. 直接测量法

用预先已标定好的测量仪表对某个未知量直接进行测量，从而得到未知量的值，这种测量方法称为直接测量法。

2. 间接测量法

通过直接测量与被测量有某种确定函数关系的各个变量，然后将所测得的数值代入函数关系式进行计算，从而求出被测量数值的方法，称为间接测量法。

(二) 接触测量法和非接触测量方法

根据测量时传感器是否与被测对象接触，分为：

1. 接触测量方法

传感器直接与被测对象接触，并承受对象的参数的作用，才能给出结果的测量方法，称为接触测量法。

2. 非接触测量方法

传感器不直接与被测对象接触而给出测量结果的测量方法，称为非接触测量方法。例如用电涡流传感器测位移、振幅等。

(三) 偏位式测量法、零位式测量法及微差测量法

根据测量方式，分为：

1. 偏位式测量法

以指针的偏移表示被测量值的测量方法，称为偏位式测量法。例如弹簧管压力表、电流表等。

2. 零位式测量法

测量系统是否已达到平衡状态以指零仪表指示。当测量系统平衡时，用已知基准量的值决定被测量的值，这种测量方式称为零位式测量，又称补偿测量法或平衡测量法。如天平称重、电位差计及平衡电桥测毫伏信号及电阻值。

3. 微差测量法

将被测量与同它的量值只有微小差别的已知标准量相比较，并测出这两个量值间的差值以确定被测量的测量方法，称为微差测量法。例如用X射线测厚仪测板料厚度。

(四) 静态测量和动态测量

根据被测量是否随时间变化可分为静态测量和动态测量。一般来说，机组运行过程中，被测参数随时都在变化，故使得过程检测原则上都是动态测量，即要想重复取得同一数据是不可能的。但是在运行过程中尽量稳定参数，当参数变化缓慢，测量进行得相对很快时，即认为测量过程中量值稳定不变，这就是所谓的静态测量。

除上述分类外，还可根据显示装置的显示方式不同，分为模拟式和数字式测量；按不同的测量条件，可分为等精度测量和非等精度测量；按测量时被采集的信息来源多少，分为多点测量和单点测量；为监视机组运行状态的计算机在线监测称为在线测量，反之称为离线测量。

三、测量仪表或系统的基本特性

测量仪表的基本特性是指仪表的输出对输入的响应质量，它包括静态特性和动态特性两大类。当被测量是恒定量或缓慢变化量时，可通过一些静态指标衡量；当被测量变化较快时，由于测量仪表具有一定的惯性，使得仪表的输出量不能够正确地反映同一时刻输入量的真实情况，此时必须通过测量仪表的动态性能指标衡量。

(一) 静态特性

当输入为不随时间变化的信号时, 测量仪表输出与输入之间的函数关系, 称为测量仪表的静态特性。

一个测量系统 (没有滞后和蠕变效应的情况), 其输入量 x 与输出量 y 之间的关系可用下述代数方程来描述:

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \cdots + a_n x^n$$

方程中诸系数 $a_0, a_1, \cdots, a_n$ 决定着静态特性曲线的形状和位置。

仪表的基本性能可通过如下性能指标表示。

1. 精度

仪表的精度是指仪表的指示值与被测量 (约定) 真值的一致程度, 是测量结果的精密与准确程度的综合反映。精度高, 表示系统误差与随机误差都小。

仪表按精度高低来划分的等级, 简称精度等级, 由国家统一规定, 工业仪表常见的精度等级有 0.1, 0.2, 0.35, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 4.0 等。仪表的精度等级加上百分号就是仪表的允许误差 (相对值)。

2. 量程

测量仪表所能测量的最大输入量与最小输入量之间的范围称为仪表的量程或称为测量范围。

选用仪表时, 其测量范围应根据被测量的大小来选择, 其上限值应当高于被测量的最大可能值。为保证测量精度, 被测量一般以不低于仪表全量程的 $1/3$ 为宜。

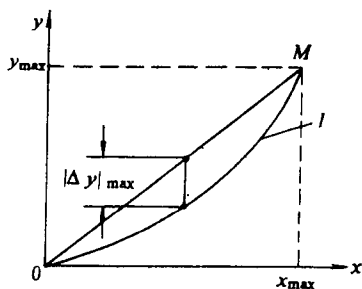
3. 线性度

理想情况下仪表的静态特性是线性的, 但是实际上仪表的静态特性往往是非线性的, 用线性度来衡量。

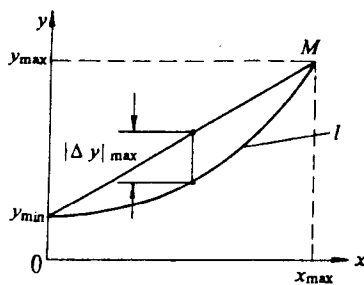
在采用直线拟合线性化时, 输出输入的校准曲线与理论直线的接近程度 (即误差) 称为线性度 (非线性误差)。

一般采用图 2-1(a) 所示的定义。标定的实际特性曲线 I 与理论曲线 OM 之间的最大偏差 $\Delta y_{\max}$ 与满量程输出值 $y_{\max}$ 之比的百分数作为线性度的指标, 即

$$E_l = \frac{|\Delta y|_{\max}}{y_{\max}} \times 100\% \quad (2-1)$$



(a)



(b)

图 2-1 线性度的定义

对于图2-1(b)所示, 当 $x = 0$ 时, $y = y_{\min}$, 则线性度以下式表示:

$$E_l = \frac{|\Delta y|_{\max}}{y_{\max} - y_{\min}} \times 100\% \quad (2-2)$$

4. 灵敏度与分辨率

灵敏度是表征测量仪表对被测参数变化的灵敏程度, 其值为仪表的输出增量与输入增量之比, 即

$$S = \Delta y / \Delta x \quad (2-3)$$

对线性系统, 灵敏度就是特性曲线的斜率, S 为一常数; 对于非线性系统, 灵敏度为特性曲线某点处切线的斜率, 它随输入量的变化而变化。

分辨率表征的是测量仪表可能检测出被测量的最小变化能力, 又称分辨能力。分辨力不足将引起分辨误差, 这个误差也常称为不灵敏区(或死区)。分辨率可以用绝对值表示, 也可用满刻度的百分比表示。

5. 迟滞误差

仪表的输入量由小变大的测试过程称为正行程, 再从大变小的测试过程称为反行程。由于弹性敏感元件等有迟滞作用, 正反行程中, 对于同一输入值会出现不同的输出值, 其差值便是迟滞差值 ΔH 。如图2-2所示。在全量程中最大的迟滞差值与满量程输出值之比作为迟滞误差的指标, 即

$$H_y = \frac{\Delta H_{\max}}{Y_{\max}} \times 100\% \quad (2-4)$$

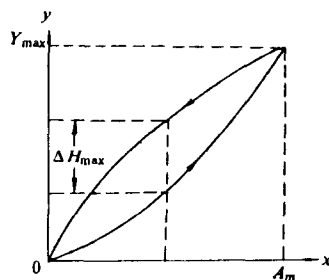


图 2-2 迟滞误差

6. 漂移

测量仪表输入-输出特性随时间的慢变化现象称为漂移。

零位漂移(零漂)是指输入量为零时, 输出量的变化值与满量程比值。

满量程漂移是指输入量为最大值时输出量的变化值与满量程输出之比值。

(二) 动态特性

动态特性是指测量仪表或系统对于随时间变化的输入信号的响应特性。

当仪表或系统输入随时间变化的信号 x 时, 相应输出为随时间变化的信号 y , 一般来说, x 和 y 是不一致的, 这是由于测量元件或系统中各种运动惯性及能量传递需要时间所造成的, 我们把两者之间的差异称为动态误差。我们研究测量仪表动态特性的目的, 就是研究动态输出同输入之间的差异及决定这些差异的因素, 以便减小这些差异。

由于实际输入随时间变化的形式是各种各样的, 为了便于比较, 在研究动态特性时通常输入标准信号——阶跃信号或正弦信号来考虑仪表或系统的动态特性。当输入为阶跃信号, 其对应的输出称为阶跃响应; 当输入为一系列不同频率正弦信号时, 输出随频率的变化称为频率响应。通常用仪表或系统的阶跃响应和频率响应, 来表示测量仪表的动态特性。

1. 阶跃响应

阶跃响应是指仪表在输入阶跃信号($t = 0$ 时, $x(t) = 0$; $t > 0$ 时, $x(t) = A$)时, 其输出

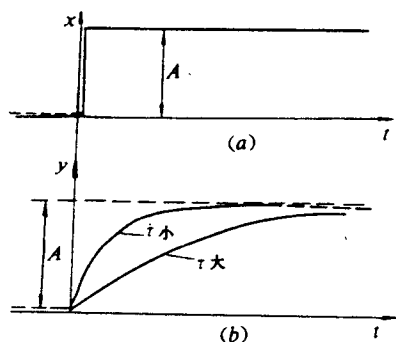


图 2-3 一阶仪表的阶跃响应

信号 $y(t)$ 能否立即跟随输入信号变化的能力。对于一阶仪表，其阶跃响应如图 2-3 所示。输入是一阶跃曲线，而输出则是指数曲线，其方程为

$$y = A \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (2-5)$$

可见，输出不能马上达到输入值，而是需要经过一段时间才能达到输入值。这种差异造成了动态误差。式中 τ 为时间常数，在时间 $t = \tau$ 时， $y = 0.63A$ ，即 τ 时刻后，输出仅达到输入的 63%；当 4τ 后，才能达到 98%。常常采用 4τ 时间，来表示响应的快慢。 τ 值

越小，响应越快，动态误差存在的时间短、数值小； τ 值越大，响应越慢，动态误差存在的时间长、数值大。

2. 频率响应

频率响应是在稳态阶段研究输出、输入间的关系。当输入信号为正弦波 $x = A \sin \omega t$ 时，则输出为 $y = B \sin(\omega t + \varphi)$ ；当输入信号振幅 A 一定时，输出信号振幅 B 和相位 φ 都随频率 ω 而变化。我们把振幅比 B/A 和相位 φ 随频率 ω 的变化规律称为频率响应。如果 $A/B \approx 1$ ， $\varphi \approx 0$ ，则仪表的频率响应就好，否则仪表频率响应就差。仪表的频率响应主要由仪表的固有频率 ω_0 决定，一般 ω_0 高，仪表的频率响应就好，反之就差。

四、保证精确测量的要求

要保证精确测量，必须做到以下几点：

- 1) 被测参数应稳定。
- 2) 测点位置和布置应符合要求，以使获得的测量值较真实地反映被测介质的实际状态。
- 3) 传感器能正确地反映某一时刻被测量的变化。
- 4) 变换器应迅速而准确地将传感器所收到的脉冲量传送到显示装置。
- 5) 测量仪表或系统具有良好的静态和动态特性。

第二节 非电量的测量与传感器

一、非电量参数电测法

在汽轮机运行与试验中，需要测量的量绝大多数是非电量，例如：压力、温度、流量、转速、力矩、应力、位移、振动等。这些信号即使能够被检测出来，也难于放大、处理和传输。但若将其转换为电信号后，这一切就变得容易得多。

由于电信号易于放大、反馈、滤波、微分、存储和远距离传输，加上当代的电子计算机只能处理电信号，所以，目前大都是将被测的物理量通过各种相应的传感器变换成电量或电参量（如电流、电压、电阻、电感、电容、频率、阻抗等），有时还需对变换后的电参量进行电量到电量的转换或放大，最后送入显示或记录仪表或计算机，进行数据的显示、

记录和处理,即采用非电量电测法进行测量。典型的测量方法可按图2-4所示的途径进行。

二、传感器

在电测非电参量中,传感器是指能感受被测物理量,并按照一定规律转换为可用电信号的装置。传感器往往由敏感元件与其他辅助件组成。例如,电阻应变式传感器中,

电阻丝是敏感元件,基底、引线等则为辅助件。敏感元件是传感器的核心,它是直接感受被测量并变换信号形式的元件。

传感器之所以能把各种非电量转换为电量,是因为它利用了物理现象中非电量向电量的转变以及非电量对电量的影响作用。

具体说来,有如图2-5所示两种变换情况:

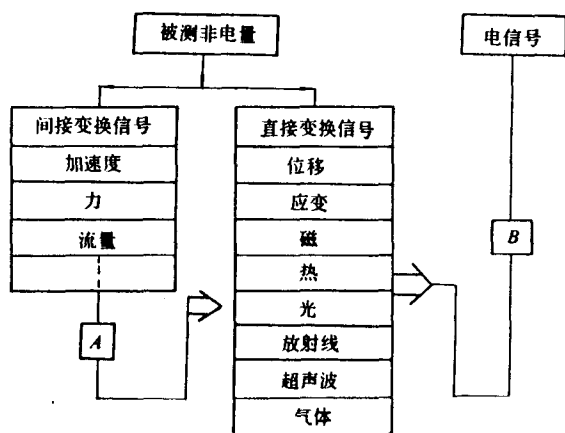


图 2-5 直接变换信号与间接变换信号

经两次变换才能转换为电信号的被测非电量称为间接变换信号。

同一个被测物理量由于变换的具体手段不同,有时可视为直接变换信号,某种情况下也可看作间接变换信号。

传感器种类繁多,往往一种测量可应用多种不同类型的传感器来检测,而同一种传感器往往也可以测量多种物理量。

传感器作为检测器是影响测量精度最关键的元件,在选用传感器时,应注意以下几个问题:

- 1) 传感器的输出电量 y 应是输入非电量 x 的线性函数,即 $y = Ax$ (A 是常数)。
- 2) 被测量的幅值和频率的允许工作范围。
- 3) 复现性要好,有互换性;抗腐蚀性好,能长期使用。
- 4) 动态特性良好,功耗要小。
- 5) 与放大器、记录仪接配的可能性。
- 6) 装在被测体上后,是否会影响其工作状况。
- 7) 内部发生的噪声小,不从外部引进噪声。
- 8) 对外界条件(如温度、湿度、气压、振动、磁场等)的敏感性要小;容易维修和

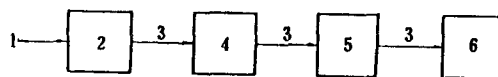


图 2-4 非电量电测法方框图

1—非电量; 2—传感器; 3—电量; 4—放大器;

5—记录仪; 6—数据处理机

校准。

下面介绍按工作原理分类的几种传感器。

(一) 电阻式传感器

电阻式传感器是利用电阻元件把被测物理量的变化(如位移、温度、力和加速度等)变换成电阻值的变化,从而通过对电阻值的测量,达到测量该物理量的目的。

众所周知,导体的电阻 R 和导体的长度 L 成正比,和导体的横截面积 A 成反比,比例常数 ρ 为电阻率,其数学表达式为

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2-6)$$

由上式可知,改变其中任意参数都可使电阻值发生变化,利用这个原理进行信号变换,由此,电阻式传感器的型式有三种:①改变导体的长度——变阻器式传感器,如电位器;②改变导体内部接触电阻——压阻式传感器;③改变导体或半导体内部应力——电阻应变式传感器。这些传感器可用于测量位移、转角、力、应力、压力、温度等物理量。

1. 变阻器式传感器

由式(2-6)可知,当导体的面积与材质一定时,则电阻随导线长度而变化。变阻器式传感器(也称滑线电阻式传感器),就是利用这原理制成的。其滑动触头在被测机械量的作用下移动,由此引起传感器的电阻变化,从而使流过测量器(电流表或振子)的电流发生变动。变阻器式传感器根据所接电路不同形式,可分为电位器式和电桥式两种,其工作原理如图2-6所示。

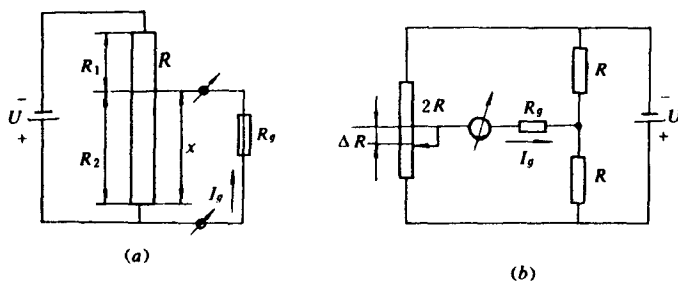


图 2-6 变阻器式传感器工作原理图

(a) 电位器式; (b) 电桥式

常用变阻器式传感器有直线位移型、角位移型和非线性型等,见图2-7。

这种传感器的优点是结构简单,使用方便,稳定性和线性好,输出端可得到较大的功率,不需放大,可直接用电表或振子加以记录。缺点是分辨率低,存在阶梯误差,耐磨性差,寿命较短。因此,只能适用于较大位移量的测量。

2. 电阻应变式传感器

电阻应变式传感器是一种能够将试件上应变的变化转换为电阻变化的传感器。这种传感器可分为张丝式和应变片式。本节主要介绍用电阻应变片(简称电阻片)作为电阻转换元件的传感器。

应变片一般由基片、敏感栅、覆盖层和引线等组成。其结构如图2-8所示。敏感栅是