



普通高等教育“十五”国家级规划教材

热能与动力工程 测试技术

第2版

严兆大 主编



 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十五”国家级规划教材

热能与动力工程测试技术

第2版

主 编 严兆大
参 编 俞小莉 吴 锋
主 审 高宗英



机械工业出版社

本书阐述了热能和动力工程领域中主要参数的测量方法、测试系统和测量仪器的工作原理、测量误差分析和数据处理等内容。全书共分十三章，前四章主要介绍测量仪器的基础知识、误差分析及处理和传感器原理等；从第五章开始，分别叙述热能与动力工程领域的主要参数，如温度、压力、转速和功率、流速和流量、液位、气体组分分析、振动和噪声等的测量方法、测试系统、所用仪表原理及测试结果分析，其中还介绍了一些现代测试技术和相应的测试系统。

本书为热能与动力工程类专业本科生教材和研究生参考书，也可供该领域从事试验研究、设计、制造、使用等的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

热能与动力工程测试技术/严兆大主编. —2版. 北京: 机械工业出版社, 2005.10

普通高等教育“十五”国家级规划教材

ISBN 7-111-07236-7

I. 热... II. 严... III. ①热能-测试技术-高等学校-教材②动力工程-测试技术-高等学校-教材 IV. TK

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 117285 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 邓海平 责任编辑: 蔡开颖 版式设计: 冉晓华

责任校对: 李秋荣 封面设计: 姚毅 责任印制: 杨曦

北京机工印刷厂印刷

2006 年 5 月第 2 版第 1 次印刷

787mm × 1092mm^{1/16} · 17 印张 · 417 千字

定价: 28.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

第2版前言

本书第1版于1999年出版，至今已第6次印刷。根据教高司[2002]114号关于“十五”国家级规划教材出版任务的通知，《热能与动力机械测试技术》，列入“十五”国家级规划教材（修订）计划，并改名为《热能与动力工程测试技术》，仍由机械工业出版社出版。

该教材自1999年出版以来经十余所院校教学使用，为了修订好教材，广泛征求了各院校的意见。在修订中仍保留十三章，但内容均有增减。主要增加了该领域中现代测试技术新的进展，同时内容有所拓宽，每章还增加了思考题与习题，更适合热能与动力工程大专业的教学，书中有*号的章节为自学内容。

本教材由严兆大教授主编，其中第一、二、三、十二章由严兆大编写，第四、五、六、十章由吴锋编写，第七、八、九、十一、十三章由俞小莉编写。全书由江苏大学高宗英教授主审。

修订过程中参考了近年来兄弟院校出版的资料，同时大连理工大学、山东大学、合肥工业大学等院校任课教师也对本书的修订提出了许多宝贵意见，特此一并致谢。

由于编者学识有限，书中的缺点和错误难免，恳请读者指正。

编者



第1版前言

根据1996年11月第二届全国高等学校动力工程专业教学指导委员会第一次会议纪要，希望加快教改步伐、加强基础、淡化专业、拓宽学生的知识面，尽快过渡到口径更宽的“热能工程与动力机械”专业。会议确定《热能与动力机械测试技术》由浙江大学内燃机研究所编写，并作为普通高等学校机电类专业“九五”规划教材出版。此后，在1997年4月第二次教学指导委员会会议上，详尽审阅了该教材的编写大纲，会后作了修改，同时又书面征求了各委员的意见，在此基础上开始编写。本书于1998年8月完成初稿和主审，并提交第三次教学指导委员会审定。作者详细听取了委员的意见，并进行了修改和补充。

本书内容涉及动力机械、热能及制冷工程中主要参数的测量原理和技术、测试系统以及测量误差分析和数据处理，既包括基础知识，又力求反映该领域中测试技术的新进展。

本书由严兆大教授主编，其中第一、二、三、十二章由严兆大编写，第四、五、六、十章由王振子编写，第七、八、九、十一、十三章由俞小莉编写。全书由江苏理工大学高宗英教授主审。

编写过程中参考了许多兄弟院校的资料，得到全国高等学校动力工程专业教学指导委员会和许多同行的关心和支持，特此一并致以深切的谢意。

由于本书内容涉及面广，而编者水平有限，故缺点和错误在所难免，恳请读者批评指正。

编者

目 录

第2版前言	
第1版前言	
第一章 概述	1
第一节 热能与动力工程测试技术发展概况	1
第二节 测量的基本概念	1
第三节 测量仪器的组成与分类	3
第四节 测量仪器的主要性能指标	5
第五节 现代计算机测试技术与系统简述	6
思考题与习题	10
第二章 测量系统的动态特性	11
第一节 测量系统在瞬变参数测量中的动态特性	11
第二节 测量系统的动态响应	16
第三节 测量系统的动态标定	22
思考题与习题	24
第三章 测量误差分析及处理	25
第一节 误差的来源与分类	25
第二节 系统误差	26
第三节 随机误差	29
第四节 可疑测量数据的剔除	35
第五节 随机误差的计算	41
第六节 传递误差	48
第七节 有效数字与计算方法	51
第八节 试验数据的图示法	53
第九节 回归分析与经验公式	55
思考题与习题	61
第四章 传感器的基本类型及其工作原理	63
第一节 概述	63
第二节 电阻式传感器	63
第三节 电感式传感器	70
第四节 电容式传感器	72
第五节 压电式传感器	75
第六节 磁电式传感器	78
第七节 热电式传感器	79
第八节 光电式传感器	84
第九节 霍尔传感器	90
第十节 数字式传感器	93
第十一节 传感器信号处理电路	95
思考题与习题	98
第五章 温度测量	100
第一节 概述	100
第二节 接触式温度计	102
第三节 非接触式温度计	110
第四节 气体温度计	115
第五节 红外技术在温度测量中的应用	118
思考题与习题	120
第六章 压力测量	121
第一节 概述	121
第二节 常规测压仪表和传感器	121
第三节 气流压力测量	128
第四节 测压仪表的标定	133
第五节 压力测量系统的动态特性	135
第六节 内燃机气缸动态压力测量	137
思考题与习题	142
第七章 流速测量	143
第一节 皮托管测速技术	143
第二节 热线(热膜)测速技术	148
第三节 激光多普勒测速技术	150
第四节 粒子图像测速技术	157
思考题与习题	160
第八章 流量测量	161
第一节 概述	161

第二节	节流式流量计	163	第六节	烟度测量	219
第三节	涡轮流量计	169	思考题与习题		221
第四节	光纤流量计	172	第十二章 振动测量		222
第五节	超声波流量计	174	第一节	概述	222
第六节	质量流量计	176	第二节	振动测量的基本原理	222
思考题与习题		178	第三节	测振系统及其分类	224
第九章 液位测量		180	第四节	典型测振仪与激振器简介	224
第一节	差压式液位计	180	第五节	振动测量的实施	230
第二节	电容式液位计	184	第六节	内燃机振动测量	232
第三节	电阻式液位计	186	第七节	叶片、叶轮振动的测量	235
第四节	光纤液位计	188	第八节	测振系统的校验	241
思考题与习题		190	第九节	振动分析和数据处理简述	243
第十章 转速、转矩和功率测量		191	思考题与习题		244
第一节	转速测量	191	第十三章 噪声测量		245
第二节	转矩测量	193	第一节	噪声测量中的基本声学概念	245
第三节	功率测量	199	第二节	噪声测量中的声级计算	249
思考题与习题		209	第三节	噪声评定值	251
第十一章 气体组分测量与分析		210	第四节	声压和声强测量的基本原理	252
第一节	概述	210	第五节	噪声源的声功率测量	255
第二节	色谱分析仪	210	第六节	噪声测量仪器	258
第三节	红外气体分析仪	213	思考题与习题		262
第四节	氧含量测量	214	参考文献		263
第五节	氮氧化物含量测量	217			

第一章 概 述

第一节 热能与动力工程测试技术发展概况

测试技术对自然科学、工程技术发展的重要性,越来越为人们所认识和重视,它已成为科学研究不可缺少的重要手段。与其他学科一样,在热能与动力工程领域中,测试技术的发展也经历了一个漫长的历程。20世纪50年代以前,参数测量的感受元件较多采用机械式传感器,如弹簧压力表、膨胀式温度计等。进入60年代后,开始应用非电量电测技术和相应的二次仪表,使测试技术上上了一个新的台阶。随着计算机与电子技术的发展,测试技术进入了一个新的发展阶段。80年代开始应用计算机和智能化仪表,以实现动态参数的实时检测和实时处理;随后,即从20世纪80年代至今,许多新型传感技术的相继出现,诸如激光全息摄影技术、光纤传感技术、红外CT技术、超声波测试技术、虚拟及网络化测量等高新技术,均已逐步深入到热能与动力工程研究的各个领域,用于对燃烧过程、流动过程、燃烧产物的浓度和粒度场、传热传质过程等的高速瞬变动态参数的测量,从而使对热能与动力工程的研究,从宏观稳态过程的研究深入到微观、瞬变过程的研究。许多研究成果表明,这些高科技的传感技术,加上智能化的二次仪表和计算机的应用,起到了极其重要的作用。由于对热能与动力工程中各种过程内在规律的深入研究,在许多方面已对过去的传统观念做出了新的解释,并有新的发现,从而大大促进了学科的发展。

随着科学技术的进步,测试技术不仅已逐步形成一门完整、独立的学科,同时它又发展成为与传感技术、电子及计算机技术、应用数学及控制理论等相互交叉的学科。这一学科的发展,无疑将会大大促进热能与动力工程领域科学研究和应用技术的进一步发展。

第二节 测量的基本概念

测量是人类对自然界中客观事物取得数量概念的一种认识过程。它是用特定的工具和方法,通过试验手段将被测物理量与另一同名的作为单位的物理量的比较,以确定两者之间的比值。因此,测量过程实际上是确定一个数值未知物理量的过程。

在热能与动力工程中,被测的基础物理量有:温度、压力、流量、功率、转速等。由于这些物理量的性质及其测量的目的和要求不同,所采用的测量方法和仪器也各异。

一、测量方法

按照得到最后结果的过程不同,测量方法可分为下述三类。

1. 直接测量

凡被测量的数值可以直接从测量仪器上读得的测量,称为直接测量,如用压力计测量压力、用温度计测量温度等。直接测量是测量的基础。对于稳态物理量,直接测量常用的方法有如下几种:

(1) 直读法 用度量标准直接比较,或从仪表上直接读出被测量的绝对值,如用刻度尺

测量长度，用弹簧秤测定质量等。

(2) 差值法 从仪表上直接读出两量之差值作为所求之量，如用 U 形液柱式差压计测量介质的压差等。

(3) 替代法 用已知量替代被测量，即调整已知量，使两者对仪表的影响相等，此时被测量即等于已知量，如用光学高温计测量温度等。

(4) 零值法 使被测量对仪表的影响被同类的已知量的影响相抵消，则被测量便等于已知量，如用天平秤测定物质的质量、用电位计测量热电动势等。

测量方法的选择应取决于测试工作的具体条件和要求。在满足测量精度的前提下，应力求简便、迅速，不苛求使用高精度的仪表。

2. 间接测量

被测量的数值不能直接从测量仪器上读得，而需要通过直接测得与被测量有一定函数关系的量，然后经过运算得到被测量的数值。凡属此类测量，均称为间接测量。如内燃机功率 (kW)，可借助下述函数关系求得

$$P = \frac{Tn}{9549}$$

式中， T 为内燃机曲轴转矩 (N·m)； n 为转速 (r/min)。

为此， T 及 n 需分别采用转矩仪和转速仪直接测量，然后用上述函数关系计算相应的功率 P 。

3. 组合测量

测量中使各个未知量以不同组合形式出现 (或改变测量条件以获得不同的组合)，根据直接测量或间接测量所得数据，通过求解联立方程组求得未知量的数值。凡属此类测量，均称为组合测量。在组合测量中，未知量与被测量之间存在一定的关系。例如，用铂电阻温度计测量介质温度时，电阻与温度的关系为

$$R_t = R_0 (1 + at + bt^2)$$

式中， R_t 为 t (°C) 时的铂电阻值 (Ω)； R_0 为 0°C 时的铂电阻值 (Ω)； a 、 b 为铂电阻的温度系数 (Ω/°C)。

为确定铂电阻的温度系数，首先需测得在不同温度下的电阻值，然后再经组合解联立方程组，以获得 a 、 b 的数值。

组合测量在动力机械中较为常用，如汽轮机空载下由功率损失与转速关系建立经验公式，以确定转速系数与指数等。

二、非稳态和瞬变参数的测量

随时间不断改变数值的被测量，称为非稳态和瞬变参数 (或称动态参数)，如非稳定工况或过渡工况时内燃机的转速、功率；在制冷过程中冷库的温度等。这些参数随时间变化的函数可以是周期函数、随机函数等。

此类参数需要用显示式记录方式观察和记录被测量的变化过程和大小。对缓慢变化现象的参数，可以用慢扫描示波器、X-Y 函数记录仪或其他机械式记录仪来测量变化图形。对一些快速瞬变参数，则需采用灵敏度更高的记录或显示仪器，如用电测、光测的方法记录和显示。

三、模拟测量与数字测量系统

有时被测参数的量或它的变化,不表现为“可数”的形式,而是在测量过程中首先将被测物理量转换成模拟信号,并最终在仪表指针的位置或记录仪描绘的图形显示测量的结果。凡属此类测量,均称为模拟测量,其相应的测量系统称为模拟测量系统。该测量系统的主要优点是直观性强、灵活、简便、价格低;主要缺点是测量精度低,指示器读数误差难以达到小于 $\pm 0.5\%$ 的要求。

随着计算机和电子技术的发展,数字测量系统在热能与动力工程测试技术中的应用日趋广泛。这类测量可直接用数字形式表示。由于模/数(A/D)转换技术已能足够精确地将模拟信号转换成数字信号,所以模拟与数字测量两者间的转换已不存在技术上的困难,且数字测量系统的主要优点是能排除人为的读数误差,它可直接由数字记录或打印机记录数据,或与计算机相连实现数据自动处理。但由模拟信号表示的模拟量和由数字信号表示的数字量仍有本质上的区别。模拟信号含有“仿真”的意思,如模拟电压和电流信号的电平可以连续的或以无限小的阶跃量仿照被测量的变化而改变,理论上模拟信号的分辨能力是无限的。而在数字信号中,电压或电流的电平不再代表信号幅值的大小。这里只有两种电平,即“通”(或逻辑“1”)和“断”(或逻辑“0”),信号的幅度是用几个“通”或“断”电平的组合表示。所以,数字信号只能取有限个数值,按照断续阶跃量的形式来表达连续的时变信号,它的分辨能力决定于所取增量的大小。因此,模拟测量系统的测量过程是连续的,它能给出被测变量的瞬时值。数字测量系统的测量过程则是断续的,它给出的数值是被测量在一段时间内的平均值。

第三节 测量仪器的组成与分类

一、测量仪器的组成

用图 1-1 所示的热电偶测定温度的简图来说明模拟测量系统的组成。由工作原理可知,热电偶用热电动势的形式来感知温度,构成测量仪器的感受件,通常称为传感器。

热电动势用补偿导线来完成传递信号的作用,构成测量仪器中的中间件或传递件。如果信号过弱,有时需放大。

热电动势由电压计指针的偏转位置或数字给出指示,构成测量仪器的指示和记录件,称为效用件。

因此,按工作原理,任何测量仪器都包括感受件、中间件和效用件三个部分,下面分别作简要介绍。

1. 感受件或传感器

它直接与被测对象发生联系(但不一定直接接触),感知被测参数的变化,同时对外界发出相应的信号。

作为仪器的感受件应当满足下述三个条件:

1) 它必须随被测参数的变化而发生相应的内部变化(这个内部变化就是传感器的输出信号)。如热电偶的一端受热后,因金属的热电效应而产生热电动势。

2) 它只能随被测参数的变化而发出信号,不受其他任何参数的影响。如热电偶产生热电动势的大小只随温度而变化,其他如压力等参数的变化则不引起热电动势的改变。

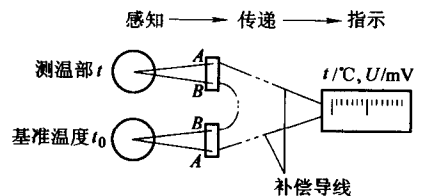


图 1-1 测量仪器组成示意图

3) 感受件发出的信号与被测参数之间必须是单值的函数关系, 即一个确定的信号只能与参数的一个值相对应。

实际上, 这三个条件是难以完全得到满足的, 特别是其中第 2) 项条件。因此, 任何传感器都不可能是十全十美的, 都受到使用条件的限制。如在使用上不加以注意, 就会得出错误的测量结果。

2. 中间件或传递件

最简单的中间件是单纯起“传递”作用的元件, 它将传感器的输出信号原封不动地传给效用件。这种单纯的传递件一般只有当传感器输出的信号较强, 感受件与效用件之间的距离不大或效用件的灵敏度很高(或消耗的能量很小)时才有可能采用。常采用的中间件有导线、导管、光导纤维、无线电通信等。

在近代的热能与动力工程测试工作中, 都要求实现数据集中观测、遥测和自动记录。所以, 大多数测量仪器的中间件还必须完成“放大”、“变换”和“运算”任务, 使感受件输出的信号经上述处理, 转换成显示部分易于接收的信号。

仪器的放大件有两类: 一类是感受件发出的信号较强, 放大时不需外加能量, 它只利用机械构件扩大指针和标尺之间的相对位移, 使之易于观测; 另一类是需要外加能量, 这在电测仪器中用得很多。例如, 用电子电位计测量热电动势时, 就要将电动势放大 10 万倍才足以驱动伺服电动机带动指针作出指示。这类放大在电测仪器中是利用电子器件来完成的。

有时, 为了信号放大或改变传感器输出信号性质的需要, 在电测仪器的测量电路中设有信号“变换器”和“运算器”。如感受件输出的一般为模拟信号, 可以直接送到显示部分, 也可以通过 A/D 转换成数字量传输到计算机进行信息处理。

3. 效用件或显示元件

显示元件的功能是把被测量信号显示出来, 按显示原理与方法的不同, 又可分模拟显示和数字显示两种。模拟显示器一般是指针式仪表、示波器等, 如通过标尺和指针(或液面、光线等)的相对位置来反映被测参数的瞬时值。其中又把能将被测参数变化历程记录下来的仪器称为记录式仪器, 如笔式记录仪、磁带记录仪等。数字显示器常用的是数字电压表, 数字频率计等。而微机的显示屏 CRT 能显示模拟信号(如波形、图形等), 也能显示数字信号。对于高速瞬变过程则可采用记忆示波器、瞬态记录仪、高速数据采集仪等。

记录式仪器所能反映的是被测参数在各个瞬时的变化情况, 但有时需要知道被测参数对时间的积分。例如, 在测定流量时, 不仅要知道流量的瞬时值, 而且还要知道在某个时间间隔内流过的总流量, 如以 q_v 表示瞬时体积流量 (m^3/s), 则 $\int_{t_1}^{t_2} q_v dt$ 就是从时间 t_1 到 t_2 间隔内流过的总体积流量 (m^3)。若这一积分过程由测量仪器本身完成, 则这样的测量仪器称为积分式仪器或累计仪器, 如流量计、电度表等。

二、测量仪器的分类

测量仪器按其用途可分为范型仪器和实用仪器两类。

范型仪器是准备用以复制和保持测量单位, 或是用来对其他测量仪器进行标定和刻度工作的仪器。这类仪器的精确度很高, 对它的保存和使用有较高的要求。

实用仪器是供实际测量使用的仪器, 它又可分为试验室用仪器和工程用仪器。前者必须要提供关于它们读数的标定曲线或数值表, 使用时应考虑周围环境对显示值的影响(如温

度、压力、磁场、振动等), 其测量结果具有较高的精确度; 后者并不需要标定资料, 它们的精确度是预先根据其结构、制造和运用条件定出的。对它的要求是动作迅速, 使用方便、可靠, 其测量结果只要在工程测量误差所允许的范围内即可。

第四节 测量仪器的主要性能指标

测量仪器的性能指标决定了所得测量结果的可靠程度, 其中主要有: 精确度、恒定度、灵敏度、灵敏度阻滞、指示滞后时间等。

1. 精确度

精确度表示测量结果与真值一致的程度, 它是系统误差与随机误差的综合反映。测量仪器的精确度通常用精度来表示。测量仪器精度可定义为仪器满量程时所允许的最大相对误差的百分数, 即

$$\delta_y = \pm \frac{\Delta_j}{A_a - A_b} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中, δ_y 为仪器的精度或允许误差; Δ_j 为允许的最大绝对误差; A_a 、 A_b 分别为仪器刻度的上限和下限值。

例如, 有一温度计的刻度是从 $-30 \sim 120^\circ\text{C}$, 而允许的最大绝对误差为 $\pm 2^\circ\text{C}$, 则其允许误差为

$$\delta_y = \pm \frac{2}{120 - (-30)} \times 100\% = \pm 1.3\%$$

测量仪器通常采用这一百分比来表示仪器精度的级别, 例如 δ_y 为 $\pm 1.5\%$ 的仪器称为“1.5级”。通常工程用仪器为 0.5~4 级, 试验室用仪器为 0.2~0.5 级, 范型仪器在 0.2 级以上。仪器的精度级别一般都标志在仪器明显的位置上, 同时在仪器相应的使用说明书中列出。

因此, 在选用仪器时, 应在满足被测量要求的条件下, 尽量选择量程较小的仪器, 一般应使测量值在满刻度的 $2/3$ 以上为宜 (见第三章第五节间接测量的误差算例 3-7), 并根据对被测量绝对误差的要求选择测量仪器的精度等级。

2. 恒定度

仪器多次重复测量时, 其指示值的稳定程度, 称为恒定度。通常以读数的变差来表示。当外部条件不变时, 用同一仪器对某一物理量的同一参数值重复进行测量或是相隔一段时间再测量时, 指示值之间的最大差数与仪器量程之比的百分数为读数的变差。此变差稳定表示仪器的恒定度好。读数的变差的另一种特例是当仪器指针上升 (正行程) 与下降 (反行程) 时, 对同一被测量所得读数之差 (由于仪器内部有阻尼, 传动系统中有摩擦和间隙, 这种变差是存在的), 并称为迟滞误差。显然, 仪器读数的迟滞误差不应超过仪器的允许误差。

3. 灵敏度

它以仪器指针的线位移或角位移与引起这些位移的被测量的变化值之间的比例 S 来表示

$$S = \frac{\Delta\alpha}{\Delta A} \quad (1-2)$$

式中, $\Delta\alpha$ 为指针的线位移或角位移; ΔA 为被测量的变化值。

测量系统的静态灵敏度可以通过静态校准求得。理想测量系统的静态灵敏度为常量。由于灵敏度对测量品质影响很大, 所以一般测量系统或仪表均给出这一参数。

4. 灵敏度阻滞

灵敏度阻滞又称为感量, 此量是足以引起仪器指针从静止到作极微小移动的被测量的变化值。这一特性参数对于用在零值法中的指零仪器有着重要的意义。一般仪器的灵敏度阻滞应不大于仪器允许误差的一半。在数字测量系统中常用分辨率表示。

5. 指示滞后时间

从被测参数发生变化到仪器指示出该变化值所需的时间, 称为指示滞后时间, 或称时滞。时滞主要由仪器的惯性引起。因仪器中总是存在引起惯性的因素, 如机械仪器中运动件的质量、电测仪器中的电感或电容、传热式仪器中的热容量等, 故时滞是无法避免的。

此外, 还有一些用来评定仪器质量或特性的参数将在有关章节中加以说明。

应当指出, 仪器的上述指标在仪器的使用和保管过程中并非固定不变, 而且往往是逐渐变坏, 因此, 必须及时地加以检验和校正。如果仪器检定的结果表明, 其误差超出允许范围而又无法校正时, 即应报废。

对于试验室用仪器, 为求得更为可靠的测量结果, 应进行校正, 即将被校仪器与精确度更高的标准仪器的读数加以比较, 将标尺上各点实际误差测出并作校正曲线或数值表, 如图 1-2 所示。使用时对该仪器的读数引入一个校正数, 如仪器标尺上某一点的读数校正数为

$$\text{校正数} = \text{标准值} - \text{读数}$$

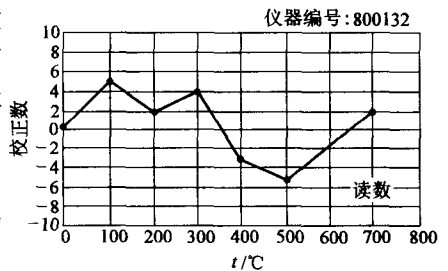


图 1-2 仪器读数的校正曲线

第五节 现代计算机测试技术与系统简述

计算机、微电子等技术迅速发展, 推动了测试技术的进步, 相继出现了智能测试仪、总线仪器、PC 仪器、虚拟仪器、网络化仪器等微机化仪器及自动化测试系统。测试技术与计算机相结合已成为当前测试技术的主流, 并在各个学科领域中得到广泛的应用, 以下仅作简要介绍。

一、计算机测控系统的基本组成及功能

典型的计算机测试系统如图 1-3 所示。它主要由传感器、信号调理器、多路模拟开关、模/数 (A/D) 和数/模 (D/A) 转换及微机组成。这一以微机为核心的测控系统, 可利用计算机系统丰富的软、硬件资源达到测试、控制自动化和智能化的目的。计算机测控系统各部分的功能为:

(1) 信号调理器 完成由传感器输出信号的放大、整形、滤波等, 以保证传感器输出信号成为 A/D 转换器能接受的电信号。它的核心部分为放大器, 主要有测量放大器和隔离放大器等。

(2) 多路转换开关 实现多路信号测量, 并由它完成轮流切换被测量与模/数转换器的连接。多路开关切换信号由 CPU 发出。

(3) 采样保持器 它保证采样信号在 A/D 转换过程中不发生变化以提高测量精度。

(4) A/D 转换器 它是将输入的模拟信号换成计算机能接受的数字信号；与之相对应的 D/A 转换器是将输入的数字信号换成模拟信号。

上述硬件实际上组成了微机测控系统中的数据采样模块，目前已有高速、高性能、多功能数据采样模块，如 PLC—818HD 等数据采集板，其采样速率可达 100kHz。目前已采用数据直接存取法（DMA 技术），它可以直接将数据由 RAM 中取出和存入，不通过 CPU，大大提高了数据采集速率。属于这类 DMA 控制器的有 Zilog 公司的 Z80DMA，Intel 公司的 8257DMA 等芯片。

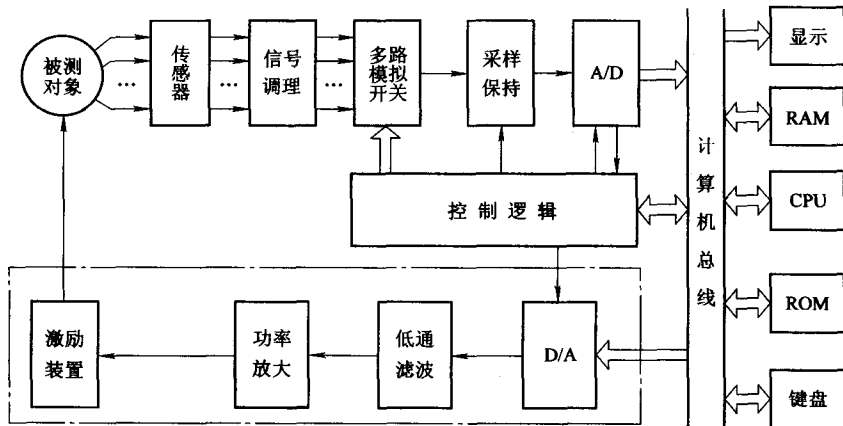


图 1-3 计算机测试系统

在图 1-3 所示的测试系统中除应用传统的传感器外，还可采用智能型传感器。这类智能型传感器本身带有微处理器，兼有检测和信号处理的功能。它是建立在大规模集成电路的基础上，具有一定的数据处理的能力并可修正非线性等系统误差和实现随机误差的补偿、自检以及自校等功能，从而使智能型传感器具有精度高、可靠性好等优点，它已在热能与动力工程领域中的流量、压力、温度等参数的测量和控制中得到应用。

除了智能型传感器外，目前已开发更为完善的智能化仪器，它同样具有对采集信号的计算和处理的功能，一般可分专用型和通用型两种，例如发动机燃烧分析仪是一种专用的发动机测试仪器，而数字式记忆示波器是一种通用测试设备。智能型传感器和智能化仪器在 CAT（计算机辅助试验）中的应用，使得计算机测控系统的功能大大扩展。图 1-4 为最简单的智能化仪器框图。

二、总线技术的应用

总线实际上是连接功能部件或系统的一组公用信号线，它具有很强的兼容性和扩展能力，便于灵活组建测控系统。目前常用总线按不同层次兼容，有信号级兼容、命令级兼容等，以应答方式实现可靠的数据传递和系统间的协调工作，并以并行总线快速实现计算机与测试仪器内部通信，如 SDT、ISA（Industrial Standard Architecture）、CompacPCI（Peripheral Component Interconnect）、VXI（Vmebus Extension for Instrumentation）总线等。以串行总线实现远距通信与系统通信或网络通信，如 RS-232C、RS422/485、GPIB（General Purpose Interface Bus）及现场通信等。总线技术在大型测试现场或系统中的应用，大大提高了测试效率和精度。如内燃机多台架试验中已采用总线技术实现测试自动化和数据处理、存档等工作。

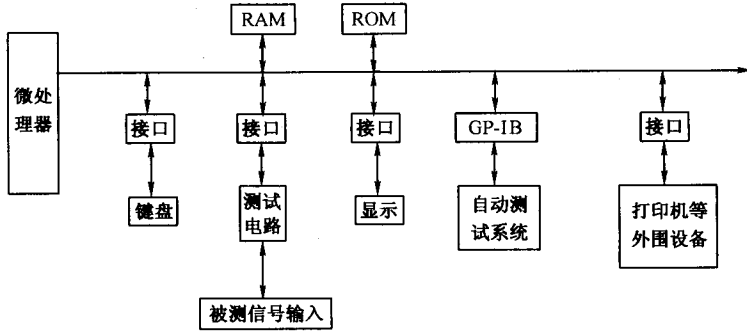


图 1-4 智能化仪器框图

三、虚拟仪器 VI (Virtual Instruments)

虚拟仪器是继模拟仪器、数字化仪器、智能仪器以后并在前者发展基础上形成的一种崭新的测试仪器，这是一种基于计算机的自动化测试仪器系统的概念性仪器，也是当前计算机辅助试验 (CAT) 领域中现代计算机技术和仪器技术完美结合的产物。它利用计算机中的一组软件与仪器模块相连接，以软件的强大数据处理功能和图形界面，提供对测量数据的分析和显示。利用虚拟仪器可以方便地组建自己理想的自动化测试系统。因而虚拟仪器技术最核心的思想就是利用计算机的软/硬件资源，使本来需要硬件实现的技术软件化或虚拟化，并提出“软件即仪器”的设想。

虚拟仪器和传统的由计算机组成的测试系统一样，由数据采集与控制、数据分析与处理、结果表达与输出三大功能模块组成，其系统框图如图 1-5 所示。它具有融合强大的计算机硬件资源和丰富的软件资源，实现仪器硬件的软件化，应用总线技术实现模块化、系列化、网络化，同时还具有开放式的标准体系，便于用户灵活组建各类测试系统等优点。

虚拟仪器的硬件由计算机平台（包括普通台式、便携式计算机、工作站和嵌入式计算机等）和测控功能硬件组成。目前许多仪器厂家还生产一种 DAQ (Data Acquisition 数据采集卡) 供计算机平台使用，配合后可以完成示波器、数字万用表、数据分析仪、任意波形发生器等功能。这样，计算机就成了多功能测控分析的仪器，可以满足多种测量的要求，成为一台 PC 仪器（个人仪器）。

虚拟仪器的软件由 VISA 库（函数库及相关规范）、仪器驱动程序、应用软件组成。这就强化了虚拟仪器分析与处理功能。虚拟仪器在动力工程领域中的温度控制系统和测功系统中

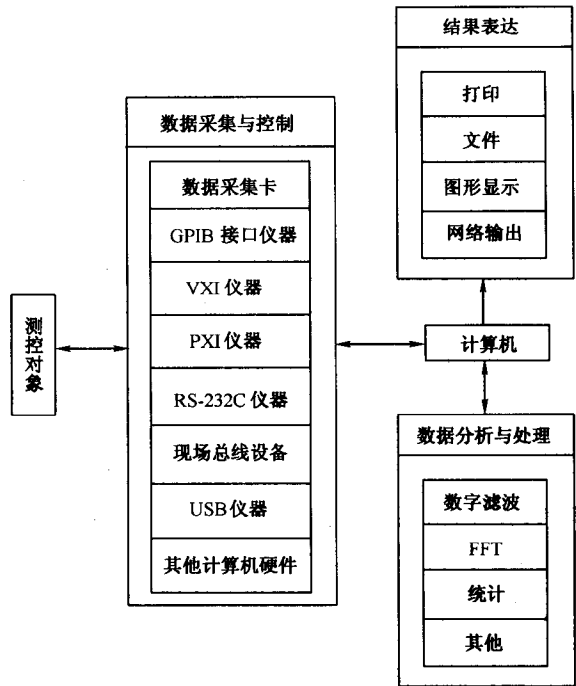


图 1-5 虚拟仪器系统框图

已得到应用，图 1-6 所示为汽车发动机试检测系统应用示例。

由此可见，可以虚拟仪器具有标准化、开放性的技术特点，随着计算机网络技术、多媒体技术、分布式技术等的迅速发展，虚拟技术内容将会更加丰富，实现软件仪器时代已为时不远了。

四、网络化测试仪器

总线式仪器、虚拟仪器等技术使得组建集中式、分布式测试系统变得更为容易，但对远程和复杂测控系统还显得不足。

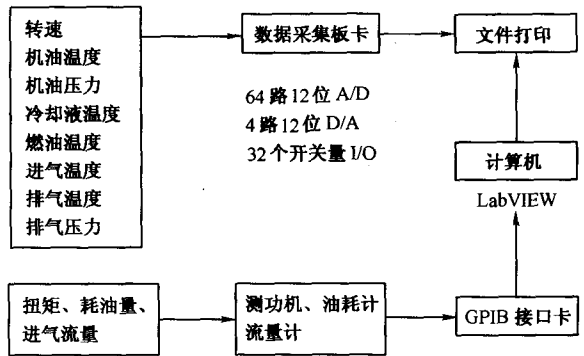


图 1-6 汽车发动机试检测系统

随着以 Internet 为代表的网络技术的出现和发展，使得网络化测量技术与具有

网络功能的新型仪器的出现提供了有力的支持，在网络化环境的条件下，可以将数据通过网络传输给异地的精密测量仪器或高档次微机化仪器分析处理，实现资源和信息共享，也可实现远程控制测试现场以达到预定的测试目的。这种网络测控系统突破了传统的通信方式、时空限制和地域障碍，使得更大范围的通信变得十分容易，图 1-7 所示为面向 Internet 的测控系统的结构框图。

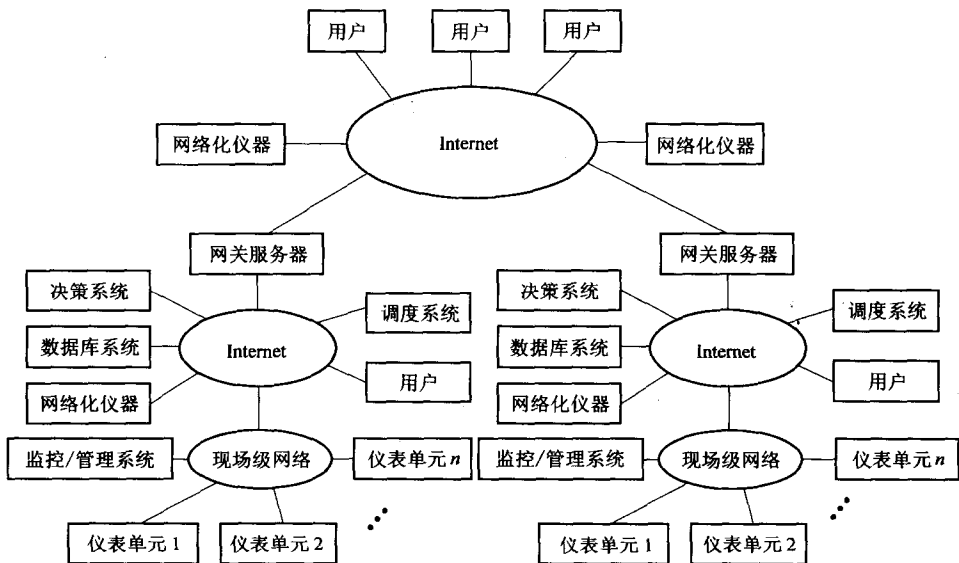


图 1-7 面向 Internet 的测控系统结构框图

网络化测试仪器已在网络化流量计、网络化传感器、网络化示波器、网络化逻辑分析仪等方面得到应用。可以预见网络化测控技术在将来的测试、生产、管理和维护等方面会得到越来越多的应用。

鉴于计算机和电子技术的迅速发展，测试技术也将日益更新，可以预见随着时间的推移，更为先进、精度更高的测试仪器和相应的软件会不断涌现出来，将为今后科学研究工作提供更为可靠有效的科学手段。

思考题与习题

- 1-1 测量方法有几类，直接测量与间接测量的主要区别是什么？
- 1-2 简述测量仪器的组成与各组成部分的作用。
- 1-3 测量仪器的主要性能指标及各项指标的含意是什么？
- 1-4 说明计算机测控系统基本组成部分及其功能。
- 1-5 试述现代测试技术及仪器的发展方向。