

普通高等教育机械工程及自动化专业规划教材

机械工程测试技术

陈花玲 主编

机 械 工 程 测 试 技 术
机 械 工 程 测 试 技 术
机 械 工 程 测 试 技 术
机 械 工 程 测 试 技 术

SAFETY PINION.



机械工业出版社
China Machine Press

普通高等教育机械工程及
自动化专业规划教材

机械工程测试技术

主 编 陈花玲
副主编 厉彦忠 张小栋
参 编 张周锁 马松龄 王铭华
 杨 静 吴筱敏 苗晓燕
主 审 石秀华



机 械 工 业 出 版 社

全书分为上、下篇,共十二章,上篇为测试基础,包括绪论、机械测试信号分析与处理、测量装置的基本特性、测量误差分析、信号的获取与调理、计算机测试技术;下篇为实用测试技术,包括力、压力和位移测量、温度测量、振动与噪声测量、转速与功率测量、流速与流量测量及其它测试技术。

本书可作为“机械工程”和“能源与动力工程”各专业本科生教材,亦可供相应专业工程技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程测试技术/陈花玲主编. —北京:机械工业出版社, 2002.12

普通高等教育机械工程及自动化专业规划教材

ISBN 7-111-09685-1

I. 机… II. 陈… III. 机械工程—测试技术—高等学校—教材 IV. TG8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 092669 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:王霄飞 版式设计:张世琴 责任校对:刘志文

封面设计:陈沛 责任印制:付方敏

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 2 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm × 1400mm B5·7.875 印张·304 千字

0 001—5 000 册

定价:19.00 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)68993821、68326677-2527

普通高等教育机械工程及自动化专业
规划教材编委会

主 任 于德弘
副 主 任 邢建东 迟毅林 王润孝
顾 问 钟 掘(院 士)
委 员 吉晓民 陈国定 吴序堂 赵汝嘉
殷国富 段宝岩 陈晓南 陈花玲
梅雪松 袁清珂 官德娟 孙国雄
刘全坤

(排名不分先后)

策划单位 机械工业出版社
西安交通大学

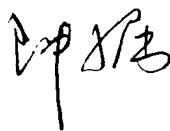
序

改革开放以来，我国高等教育的专业目录经过了3次大的调整。1987年的专业目录由原来的1400多种调整到740种，1993年又调整到504种，1998年教育部颁布的新专业目录再调整到目前的249种。专业目录的调整，改变了过去狭窄的“对口专业教育”观念，拓宽了专业知识范围，使我国高等教育在专业设置上与发达国家比较接近，也有利于培养具有较宽知识结构和扎实理论基础的复合型人才。

在这一系列的专业调整及教学改革过程中，“机械工程及自动化”大专业教学计划有了根本性的变化，不仅根据机械工程学科的发展增加了一些课程，而且对原来设置的课程也做了较大调整。显然原来使用的专业教材已不能适应现代机械工程及自动化专业的教学要求，编写一套具有较宽知识面且能较全面反映当前机械制造领域发展的新理论、新方法与新技术的教材就显得非常迫切。

正是在这一背景下，西安交通大学机械工程学院与机械工业出版社共同策划、组织了我国西部地区部分高校“机械工程及自动化”系列教材的编写工作。参加编写的学校有西安交通大学、西北工业大学、西安电子科技大学、西安建筑科技大学、西安理工大学、昆明理工大学、四川大学等。目前确定的系列教材包括《机械工程测试技术》、《先进制造技术导论》、《工程材料基础》、《机械设计基础》、《机械设计方法及工程图学》、《数控技术》、《计算机辅助设计与制造》、《先进设计方法》、《材料成形技术基础》、《机械制造技术基础》等。这些教材初步形成了机械工程及自动化专业主干课程的教材框架。其编写的定位点是适应于大机械类专业本科生学习，教材特别注重拓宽基础知识、加强工程背景和培养学生的工程实践能力。以期形成一个新的、适应于21世纪我国现代化建设和市场经济发展的大机械类专业教材体系。

系列教材的出版符合教学改革的精神，注重教材内容的创新性和系列的整体性，注重教学和人才培养的规律，同时反映了西部部分高校教学改革的成果，具有明显特色。此系列教材将为我国机械工程及自动化专业建设和高等教育的教材建设作出积极的贡献。希望这套系列教材的出版能引起各校的关注与帮助，在实际使用中不断进行修订和完善，为我国高等教育机械类人才的培养不断作出贡献。



2001年10月26日

前 言

“机械工程测试技术”课程是面向“机械工程及自动化”大专业，即涵盖现有的“机械工程”和“能源与动力工程”各专业本科生的一门工程技术课。它涉及机械工程领域中的非电量电测技术和其它测试技术等知识，是工业生产与科学研究必不可少的重要技术手段。

随着中国高等教育与世界接轨的发展趋势，原有的机械类和能动类两大专业势必会进一步合并，显然现有的机类教材是无法满足这个宽口径“机械工程及自动化”大专业的教学内容要求。与此同时，测试技术作为一种应用十分广泛的实用技术，一方面必须强调理论与实践相结合，即测试基础理论知识与实用测试技术相结合，只有这样，才能有助于测试技术知识的深入学习，才能有助于测试技术的快速发展；另一方面，随着相关学科技术的飞速发展，测试技术也在突飞猛进的发展，以计算机技术、光电技术等为基础的现代测试技术在整个测试技术领域知识中越来越占有重要的地位。为此，有必要在现有相关教材的基础上，取长补短，求同存异，增新弃旧，优化组合，编写一本适应于大机类专业的“测试技术”主干课程教材。

本教材定名为《机械工程测试技术》，它具有以下特点：

1. 既重视了测试技术基础知识的讲解，又注重实用测试技术的介绍。全书分上下两篇，其中上篇为测试基础篇，它借助了原机械类教材的优势，着重讲解信号分析、测量装置基本特性、测量误差分析与处理、信号的获取与调理以及计算机测试技术等；下篇为实用测试技术篇，它综合了原能动类教材的长处，重在介绍力、压力和位移、温度、振动和噪声、转速与功率、流量与流速等常见机械工程参数的实用测量技术。

2. 本教材不是原有两类教材的简单合并，而是力求创新、优化重组教材的教学内容和体系。其一将以往机械类教材的“传感器”和“信号调理”两部分章节重组为“信号获取与调理”一章，并放在了基础篇，以突出该两部分内容的关联性；其二是在基础篇增添了“计算机测试技术”一章，试图反映测试技术向自动化和智能化发展的新趋势以及计算机在测试技术中的应用与发展，并帮助学生或工程技术人员学会运用所学测试技术知识设计或构成现代的测试系统。

3. 机械工程中广泛应用的非电量电测技术为三干讲解内容，同时又根据机械工程及自动化一级学科相应专业的实际需要，兼顾了其它方法的测量技术，如流量与流速测量技术等；同时又在本教材的尾部增加了“其它测试技术”一章，重在介绍一些先进的测试技术或特种的测试技术，诸如激光、CCD、光纤等典型的光测技

术和红外、超声等无损检测技术, 试图与前述的常规测量方法相得益彰。

4. 注重了“测试技术”课程与其相关工程技术课程及专业选修课程的相互位置和关系, 试图达到既保证本门课程具有体系完整性, 又能尽量避免与其它相关主干课程(譬如“控制工程基础”、“数控技术”、“互换性与测量技术”等)发生冲突, 同时又能更好地为后续专业选修课程(譬如“自动化元件”、“现代信号分析方法”、“机械故障诊断”、“振动与噪声控制技术”、“微机自动检测与控制”、“机械电子工程设计”等)的学习打下良好基础。

本教材建议的教学学时数为40~60学时。测试基础篇为本科生教学必讲内容, 实用测试技术篇为选讲内容, 教师可根据课程的学时数或其它的具体情况选取其中的一部分章节内容讲授, 并应辅助以相应的实验实践环节。

全书共分十二章, 其中, 第一、九章由西安交通大学陈花玲教授编写, 第二、三章由西安交通大学张周锁讲师编写, 第四章由西安建筑科技大学马松龄副教授、西安交通大学王铭华讲师共同编写, 第五章由西安理工大学杨静讲师编写, 第六章由西安交通大学张小栋副教授、西安建筑科技大学马松龄副教授共同编写, 第七章由西安交通大学张小栋副教授、吴筱敏副教授编写, 第八章由西安交通大学厉彦忠教授编写, 第十章由西安交通大学吴筱敏副教授编写, 第十一章由西安交通大学王铭华讲师编写, 第十二章由西安交通大学张小栋副教授编写, 此外, 西安交通大学苗晓燕讲师也参加了部分章节的初稿编写。全书由陈花玲教授担任主编, 厉彦忠教授和张小栋副教授2人担任副主编, 并共同负责全书统稿及修改工作。

鉴于本教材的上述特点, 由机械工业出版社教材编辑室与西安交通大学机械工程学院共同策划与组织的“西部地区部分高校机械类主干课系列教材”编审委员会对本教材审定后, 同意将本教材纳入该系列教材之中, 并计划首批出版。在此, 编者对机械工业出版社及该编审委员会的大力支持表示衷心的感谢。

中国高校机械工程测试技术研究会自动检测分会(即原西北分会)理事长、西北工业大学石秀华教授为本教材主审, 从教材的编写提纲到最后的定稿过程中无不浸含着她的心血和汗水; 分会秘书长、西安建筑科技大学谷立臣教授也一直关心本教材的编写工作, 曾为教材的撰写成稿提出许多宝贵的改进意见。此外, 清华大学严普强教授仔细阅读了本教材的编写大纲, 并提出一些宝贵的编写意见和建议。在此一并表示衷心的感谢。

本书编者衷心地期望使用本教材的教师、工程技术人员及学生在阅读本教材之后, 能提出宝贵的反馈意见, 共同为提高该教材的质量而努力。为此, 我们将不胜感谢。

编 者

2001年8月

目 录

序 前 言

上篇 测试基础

1 绪论	1	3.3.2 理想测量装置的特性	36
1.1 本课程的意义	1	3.3.3 一阶测量装置的特性	37
1.2 测试方法的分类及测试系统的组成	2	3.3.4 二阶测量装置的特性	40
1.2.1 测试方法的分类	2	3.4 测量装置的选用原则	44
1.2.2 测试系统的组成	3	思考题与习题	45
1.3 测试技术的发展	5	4 测量误差分析	46
1.3.1 传感器技术的发展	5	4.1 测量误差	46
1.3.2 计算机测试技术的发展	6	4.1.1 真值与测量误差	46
1.4 本课程的研究内容	8	4.1.2 测量误差分类	47
思考题与习题	9	4.2 系统误差的消除	47
2 机械测试信号分析与处理	10	4.2.1 恒定系统误差的消除	48
2.1 信号的分类	10	4.2.2 可变系统误差的消除	48
2.2 信号的描述与分析	12	4.3 随机误差分析	49
2.3 信号的频谱分析	14	4.3.1 正态分布	50
2.3.1 周期信号的频谱分析	15	4.3.2 t 分布	51
2.3.2 非周期信号的频谱分析	18	4.3.3 均匀分布	52
2.3.3 随机信号的频谱分析	22	4.4 测量结果误差的估计	52
2.4 数字信号处理	24	4.4.1 表征测量结果质量的指标	53
2.4.1 模拟信号的离散化	24	4.4.2 不确定度的评定	53
2.4.2 离散傅立叶变换(DFT)	27	4.4.3 直接测量结果的误差估计	55
思考题与习题	28	4.4.4 间接测量结果的误差估计	55
3 测量装置的基本特性	30	4.4.5 误差分配与测量方案的选择	56
3.1 线性定常系统及其性质	30	4.5 粗大误差的判定与剔除	57
3.2 测量装置的静态特性	31	思考题与习题	59
3.3 测量装置的动态特性	34		
3.3.1 频率响应函数	35		

5 信号的获取与调理	61	5.5.1 信号的放大与转换	86
5.1 传感器	61	5.5.2 滤波	88
5.1.1 基本概念	61	5.6 智能传感器	89
5.1.2 传感器的基本组成	61	思考题与习题	90
5.1.3 传感器的基本特性与 标定	61	6 计算机测试技术	91
5.1.4 传感器的分类	62	6.1 概述	91
5.2 参数式传感器的信号 获取与调理	62	6.2 计算机测试系统的 组成技术	92
5.2.1 电阻式传感器及调理 电路	62	6.2.1 数据的采集与保持	92
5.2.2 电容式和电感式传感器 及调理电路	66	6.2.2 数模及模数转换技术	95
5.2.3 信号的调制与解调	71	6.2.3 A/D通道方案的确定	97
5.3 发电式传感器的信号获取 与调理	74	6.3 智能仪表	100
5.3.1 压电式传感器及调理 电路	74	6.3.1 智能仪表概述	100
5.3.2 磁电式传感器及调理 电路	77	6.3.2 智能仪表的基本组成	102
5.3.3 光电式传感器	79	6.3.3 智能仪表的功能模块	105
5.3.4 霍尔传感器	80	6.4 虚拟仪器	107
5.3.5 热电式传感器	81	6.4.1 概述	107
5.4 其它典型的光学传感器	82	6.4.2 LabVIEW 虚拟仪器 开发系统	110
5.4.1 光纤式传感器	82	6.4.3 虚拟仪器设计举例	112
5.4.2 电荷耦合器件	84	6.5 测试系统设计	114
5.5 放大与滤波	86	6.5.1 测试系统设计的 一般步骤	114
		6.5.2 测试系统抗干扰设计	114
		6.5.3 计算机测试系统 设计实例	116
		思考题与习题	120

下篇 实用测试技术

7 力、压力和位移测量	121	测量技术	123
7.1 力传感器及其测量技术	121	7.2.3 压力传感器的标定	124
7.1.1 柱式及筒式测力传感器	121	7.3 位移传感器及其测量 技术	126
7.1.2 剪切梁式测力传感器	122	7.3.1 电感式位移测量技术	126
7.2 压力传感器及其测量 技术	122	7.3.2 涡流式位移测量技术	132
7.2.1 U形管压力计测量技术	122	7.3.3 电容式位移测量技术	136
7.2.2 压电式压力传感器及其		思考题与习题	137

8 温度测量	138	激励	168
8.1 温度测量基础	138	9.4 噪声测量基础	170
8.1.1 温度概念	138	9.4.1 噪声测量的主要物理	
8.1.2 温度测量基本原理	138	参数	170
8.1.3 常用温度计及其		9.4.2 噪声级的合成	171
使用范围	139	9.4.3 背景噪声的扣除	172
8.2 热电偶测温技术	140	9.4.4 噪声的频谱测量	172
8.2.1 热电偶测温基本定律	140	9.4.5 噪声的主观评价	173
8.2.2 热电偶参比端温度补偿	141	9.5 噪声测量仪器	175
8.2.3 热电偶的分类	143	9.5.1 传声器	175
8.2.4 热电势的测量	146	9.5.2 声级计	176
8.2.5 热电偶测温误差分析	148	9.6 声功率与声强测量技术	177
8.3 电阻法测温技术	149	9.6.1 声功率测量技术	177
8.3.1 电阻法测温原理	149	9.6.2 声强测量技术	178
8.3.2 热电阻材料选择	150	思考题与习题	179
8.3.3 热电阻种类	151	10 转速与功率测量	181
8.3.4 热电阻阻值的测量	154	10.1 转速测量	181
8.3.5 电阻温度计测温		10.1.1 磁电式、光电式和霍	
误差分析	157	尔式传感器测量转速	181
8.4 温度仪表的标定	157	10.1.2 数字式频率计	183
8.4.1 温度计标定的意义	157	10.1.3 闪光测速仪	185
8.4.2 温度计标定的基本方法	158	10.1.4 机械式转速表	186
思考题与习题	159	10.1.5 发电式转速表	187
9 振动与噪声测量	161	10.2 功率测量	187
9.1 振动测量传感器	161	10.2.1 一般功率测量方法	187
9.1.1 振动位移传感器结构	161	10.2.2 扭矩测量	188
9.1.2 振动速度传感器结构	162	10.3 测功器在发电机功率	
9.1.3 振动加速度传感器		测量中的应用	192
结构	163	10.3.1 水力测功器	192
9.1.4 振动传感器的校准	164	10.3.2 电力测功器	194
9.2 常用振动测量仪器	165	10.3.3 电涡流测功器	196
9.2.1 测振仪	165	思考题与习题	200
9.2.2 前置放大器	166	11 流速与流量测量	202
9.2.3 频谱分析仪	166	11.1 流速测量方法	202
9.3 动态特性测量系统	167	11.1.1 测压管测速	202
9.3.1 脉冲激励	168	11.1.2 热线风速仪	206
9.3.2 稳态正弦激励与随机		11.2 流量测量方法	209

11.2.1	流量测量概述	210	技术	230	
11.2.2	容积式流量测量方法	210	12.3.1	固态图像传感器	230
11.2.3	速度式流量测量方法	212	12.3.2	固态图像传感器的 工程应用	230
11.2.4	质量流量计	216	12.4	红外线检测技术	231
11.2.5	节流式流量计	217	12.4.1	红外辐射	231
11.3	测量装置的标定	219	12.4.2	红外探测器	232
11.3.1	测压管的标定	219	12.4.3	红外测温仪	234
11.3.2	热线风速仪的标定	221	12.4.4	红外热像仪	235
11.3.3	流量计的标定	221	12.5	超声波检测技术	236
	思考题与习题	223	12.5.1	无损检测	236
12	其它测试技术	225	12.5.2	超声探伤的工作 原理	236
12.1	激光测量技术	225	12.5.3	超声探伤系统的 基本组成	237
12.1.1	激光测长仪	225	12.5.4	超声检测技术的 发展	238
12.1.2	激光干涉测振仪	226		思考题与习题	238
12.1.3	激光测速仪	226		参考文献	239
12.2	光纤式传感器测量 技术	228			
12.3	固态图像传感器测量				

上篇 测试基础

1 绪 论

1.1 本课程的意义

人类所从事的社会生产和科学研究活动，几乎都与测试技术息息相关。

测试是人类认识客观世界的手段之一，是科学研究的基本方法。科学探索需要测试技术，用定量关系和数学语言来表达科学规律和理论需要测试技术，验证科学理论和规律的正确性同样也需要测试技术。因为科学研究离不开实验研究，实验研究历来是科学研究的重要手段之一，也是一种最基本的研究手段，即使是在计算机仿真计算盛行的今天仍不失其重要性，而实验研究必然离不开对被研究对象特性参数的测量。事实上，在科学技术领域内，许多新的发现与发明往往是以测量技术的发展为基础的。因而可以认为，精确的测试是科学研究的根基。

测试是工程技术领域中一个重要的技术，工程研究、产品开发、生产监督、质量控制和性能试验等，都离不开测试技术。在生产活动中，新的工艺与设备的产生也依赖于测量技术的发展水平，而且可靠的测量技术对于生产过程自动化、设备的安全与经济运行都是不可缺少的先决条件。在广泛应用的自动控制技术中，测试装置已成为控制系统的重要组成部分，因而有人认为测试技术是信息技术三大支柱(测试控制技术、计算机技术和通信技术)之一。此外，日常生活用具，如汽车、家用电器等方面也离不开测试技术。

在各种现代装备系统的制造与实际运行工作中，测量工作内容已占首位，测量系统的成本已达到装备系统总成本的 50% ~ 70%，它是保证现代工程装备系统实际性能指标和正常工作的重要手段，是其先进性能及实用水平的重要标志。以电厂为例，为了实现安全高效供电，电厂除了实时监测电网电压、电流、功率因数进而检测频率、谐波分量等电气量外，还要实时监测发电机组各部位的振动(幅值、速度、加速度)以及压力、温度、流量、液位等多种非电量，并实时分析处理、判断决策、调节控制，以使系统处于最佳工作状态。如果测量系统不够完备，主汽温度测量值有 +1% 的偏差，则汽机高压缸效率减少 3.7%；若主汽流量测量值有 -1% 的测量偏差，则电站燃烧成本增加 1%。又如：为了对工件进行精密机械加工，需要在加工过程中对各种参数，如位移量、角度、圆度、孔径

等直接相关量以及振动、温度、刀具磨损等间接相关参量进行实时监测，实时由计算机进行分析处理，然后由计算机实时地对执行机构给出进刀量、进刀速度等控制调节指令，才能保证预期高质量要求，否则得到的将是次品或废品。据有关资料统计：大型发电机组需要 3000 只传感器及其配套监测仪表；大型石油化工厂需要 6000 只传感器及其配套监测仪表；一个钢铁厂需要 20000 只传感器及其配套监测仪器；一个电站需要 5000 只传感器及其配套监测仪器；一架飞机需要 3600 只传感器及其配套监测仪器；一辆汽车需要 30~100 只传感器及其配套监测仪器，等等。由此可见，测试技术在工程技术领域中占有非常重要的地位。随着机械设备向大容量、多参数方向的日益发展，以及其自动化水平的日益提高，机械工程中各重要参量的测点数量会越来越多，且测量准确性、可靠性的要求也越来越高。

总之，测试技术已广泛地应用于工农业生产、科学研究、国内外贸易、国防建设、交通运输、医疗卫生、环境保护和人民生活的各个方面，并在其中发挥着越来越重要的作用，成为国民经济发展和社会进步的一项必不可少的重要基础技术，使用先进的测试技术已经成为经济高度发展和科技现代化的重要标志之一。根据被测对象、测试方法和测试参数的不同，测试的种类是很多的。因此，各行各业都有自己的测试任务与测试技术问题，机械工程测量只是其中的一种。

机械工业担负着装备国民经济各个部门的任务。在改革开放的过程中，机械工业面临着更新产品、革新生产技术、改善经营管理、提高产品质量、提高经济效益和参与国际市场竞争的挑战。机械工程测试技术将是机械工业对付上述挑战的基础技术之一。

1.2 测试方法的分类及测试系统的组成

1.2.1 测试方法的分类

测试方法是指在实施测量中所涉及的理论运算方法和实际操作方法。测试方法可按多种原则分类。

1. 按是否直接测定被测量的原则分类

按照获得测量参数结果的方法不同，通常可把测量方法分为直接测量法和间接测量法。

直接测量法是指被测量直接与测量单位进行比较，或者用预先标定好的测量仪器或测试设备进行测量，而不需要对所获取数值进行运算的测量方法。比如：用直尺测量长度，用水银温度计测温，用万用表测量电压、电流、电阻值等。

间接测量法是指被测量的数值不能直接由测试设备上获得，而是通过所测量到的数值同被测量间的某种函数关系经运算而获得的被测值的测量方法。例如：对一台汽车发动机的输出功率进行测量时，总是先测出发动机转速 n 及输出扭

矩 M ，再由关系式 $P = M \cdot n$ 计算出其功率值来。

2. 按传感器是否与被测物接触分类

按照传感器是否与被测物体有机械接触的原则可以将测量方法分为接触测量法与非接触测量法。接触测量法往往比较简单，比如测量振动时常用带磁铁座的加速度计直接放在所测位置进行测量；而非接触测量法可以避免传感器对被测对象的机械作用及对其特性的影响，也可避免传感器受到磨损，例如同样是测量振动，可采用非接触式的电涡流传感器测量振动位移，由于没有接触，传感器对试件的特性不产生影响。

3. 按被测量是否随时间变化分类

在讨论测量问题时，有时会遇到“静态测量”和“动态测量”两个术语。其中“静态”和“动态”是指被测量值是否随时间而变化，而不是指被测物体是否处于机械静止或运动中。当被测量值可以认为是恒定的，这种测量被称之为静态测量；而当被测量值是随时间变化的，这种测量被认为是动态测量。在进行静态测量和动态测量时，两者对测量装置特性的要求和测得数据的处理是有着很大差别的，工作中必须密切注意。

1.2.2 测试系统的组成

机械工程测量系统的基本任务是从测量对象中获取反映其变化规律的动态信息。因而在下列实际问题中得到广泛应用：

- 1) 生产过程或设备运行状态的监测；
- 2) 生产过程或设备运行状态的自动控制；
- 3) 工程实验分析。

在机械工程实际中，有两类测试系统，即状态检测问题中的测试系统以及自动控制问题中的测试系统。

状态检测问题中的测试系统将测量结果以人体感官可以感知的形式，如指针的偏转、数码管的显示等输出。操作者根据输出量的变化作出判断，或者停机检修、或者对生产过程或设备运行情况进行调整，使其运行处于预期的状态。

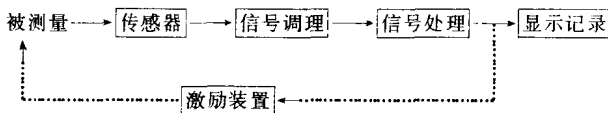


图 1-1 测试系统框图

状态检测问题中的测试系统的基本组成可用图 1-1 表示。一般来说，测试系统包括信号的检测和转换、信号的调理、分析与处理、显示与记录。有时候测试工作所希望获取的信息并没有直接载于可检测的信号中，这时测试系统就需要选用合适的方式激励被测对象，使其产生既能充分表征其有关信息又便于检测的信息。

在测试系统中，传感器的作用是：当传感器受被测量的直接作用后，能按一定规律将被测量转换成同种或别种量值输出，其输出通常是电信号。例如金属电阻应变片是将机械应变值的变化转换成电阻值的变化，电容式传感器测量位移时是将位移量的变化转换成电容量的变化等等。

传感器输出的电信号种类很多，输出功率又太小。一般不能将这种电信号直接输入到后续的信号处理电路或输出元件中去。信号调理环节的主要作用就是对信号进行转换和放大，即把来自传感器的信号转换成更适合于进一步传输和处理的信号。这时的信号转换，在多数情况下是电信号之间的转换。从种类来看，将各种电信号转换为电压、电流、频率等少数几种便于测量的电信号，输出功率至少达到 mW 级。例如，将幅值放大，将阻抗的变化转换成电压的变化等等。

信号处理环节接受来自信号调理环节的信号，并进行各种运算、滤波、分析，将结果输出至显示、记录或控制系统。例如，扭矩传感器可以测出转轴的转速 n 和它的扭矩 M ，信号处理环节对 M 和 n 进行乘法运算可以得到此转轴传输的功率 $P = M \cdot n$ ，然后将其输出到显示与记录设备上。

信号显示记录环节以观察者易于识别的形式来显示测量的结果，或者将测量结果存储，供必要时使用。

图 1-1 中虚线环节是在系统的特性参数难于检测出来时，人为地对系统增加的激励环节，并非所有的测试系统均有。

图 1-1 是一个完整的工程测试系统，但在某些情况下，信号调理和信号处理电路可能简化，在测量系统构成自动控制系统的一个组成单元时有可能显示、记录设备也被简化，只有传感器是必不可少的。

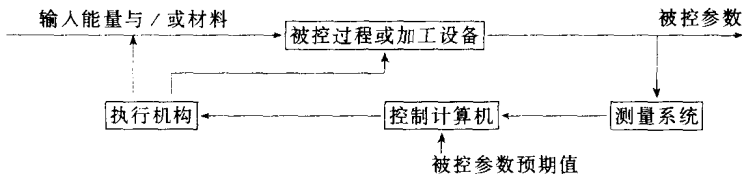


图 1-2 测量系统在自动控制系统结构图中的位置

在上述所有这些环节中，为了保证测量结果的准确性，必须遵循的基本原则是各环节的输出量与输入量之间应保持一一对应和尽量不失真的关系，这种关系通常是线性关系，并且必须尽可能地减小或消除各种干扰。

自动控制问题中的测量系统是将其测量结果转化为控制计算机可以接收的信号，即模拟的或数字的电信号，输入控制计算机，由控制计算机作出判断，并通过执行机构，通常是伺服电力拖动系统，对生产过程或设备运行状态进行调节，使其运行于预期的状态。所以“状态检测”系统可以是开环的，而“自动控制”系统必然是闭环的，而且测量系统必然是此闭环系统的必要组成环节，如图 1-2

所示。

1.3 测试技术的发展

测试技术与科学研究、工程实践密切相关。测试技术的发展可促进科学技术的提高，科学技术的提高反过来又促进测试技术的发展，两者相辅相成推动社会生产力不断前进。近年来随着科学技术的飞速发展，促使测试技术的发展也非常迅速，其发展主要表现在两个方面：一是传感器技术自身的发展，二是计算机测试技术的发展。

1.3.1 传感器技术的发展

如前所述，传感器是测试系统中必不可少的一个重要环节，因而可认为它是生产自动化、科学测试、计量核算、监测诊断等系统中的一个基础环节。由于它的重要性，20世纪80年代以来国际上出现了“传感器热”。例如：日本把传感器技术列为20世纪80年代十大技术之首，美国把传感器技术列为20世纪90年代22项关键技术之一等等。当今传感器开发中，以下三方面的发展最引人注目：

1. 物性型传感器大量涌现

物性型传感器是依靠敏感材料本身的物性随被测量的变化来实现信号的变换的。因此这类传感器的开发实质上是新材料的开发。目前发展最迅速的新材料是半导体、陶瓷、光导纤维、磁性材料，以及所谓的“智能材料”，如形状记忆合金、具有自增殖功能的生物体材料等。这些材料的开发，不仅使可测量的量增多，使力、热、光、磁、湿度、气体、离子等方面的一些参量的测量成为现实，也使集成化、小型化和高性能传感器的出现成为可能。此外，当前控制材料性能的技术已取得长足的进步，这种技术一旦实现，将会完全改变原有敏感元件设计的概念：从根据材料特性来设计敏感元件，转变成按照传感要求来合成所需的材料。

总之，传感器正经历着从以机构型为主转向以物性型为主的过程。

2. 集成、智能化传感器的开发

随着微电子学、微细加工技术和集成化工艺等方面的发展，出现了多种集成化传感器。这类传感器，或是同一功能的多个敏感元件排列成线型、面型的阵列型传感器；或是多种不同功能的敏感元件集成一体，成为可同时进行多种参量测量的传感器；或是传感器与放大、运算、温度补偿等电路集成一体，使传感器具有部分智能，成为智能化传感器。

3. 化学传感器的开发

近几十年来，工农业生产、环境监测、医疗卫生和日常生活等领域，广泛应用化学传感器。化学传感器把化学量转换成电量。大部分化学传感器是在被测气体或溶液分子与敏感元件接触或被其吸附之后才开始感知的，而后产生相应的电

流和电位。目前市场上供应的化学传感器以气体传感器、湿度传感器、离子传感器和生物化学传感器为主。预计在未来一段时间内，化学传感器将会蓬勃发展，并将出现一些智能化学传感器。

1.3.2 计算机测试技术的发展

传统的测试系统是由传感器或某些仪表获得信号，再由专门的测试仪器对信号进行分析处理而获得有用和有限的信息。随着计算机技术的发展，测试系统中亦越来越多地融入了计算机技术。出现了以计算机为中心的自动测试系统。这种系统既能实现对信号的检测，又能对所获得信号进行分析处理以求得有用信息，因而称其为计算机测试技术。

计算机测试技术的发展主要体现在测试系统硬件的发展以及专门用于开发实验仪器系统或所谓“虚拟仪器”的软件环境的发展。

1. 计算机测试系统硬件的发展

计算机测试系统硬件经历了基本型、闭环控制型与标准接口型三个发展阶段。

(1) 基本型 图 1-3 是计算机测试系统的基本形式。它能完成对多点、多种随时间变化参量的快速、实时测量，并能排除噪声干扰，进行数据处理、信号分析，由测得的信号求出与研究对象有关的信息或给出其状态的判别。它与图 1-1 所示的测试系统的最大区别是将图 1-1 中的信号处理部分用图 1-3 中的计算机和数据采集卡两部分来完成。计算机是整个测试系统的神经中枢，它使整个测量系统成为一个智能化的有机整体，在软件引导下按预定的程序自动进行信号的采集与储存，自动进行数据的运算分析与处理，指令其以适当形式输出、显示或记录测量结果。为了实现计算机测量，数据采集卡是必需的环节，它用来将信号的模拟量由 A/D 转换器转换为幅值离散化的数字量以适应计算机工作；另一方面，它可由衰减器和增益可控放大器进行量程自动切换，而且，可由多路切换开关完成对多点多通道信号的分时采样，时间连续信号经过采样后变为离散的时间序列。

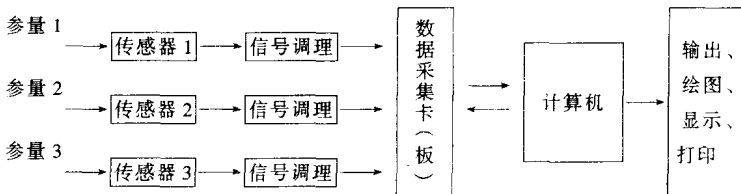


图 1-3 计算机测试系统的基本形式

(2) 闭环控制型 闭环控制型是指应用于闭环控制系统中的测试系统。生产工艺过程的自动控制是人们长期探索的生产方式，但是，只有在计算机技术及现代测试技术突飞猛进的今天，才能达到高度的控制水平。通过对关键参数实时在