

# 传感器 与测试技术

王 燕 蔡吉飞 | 主 编  
李晋尧 | 主 审

CHUANGANQI  
YU CESHU JISHU



文化发展出版社  
Cultural Development Press

# 传感器 与测试技术

CHUANGANQI  
YU CESHI JISHU



责任编辑：魏欣

封面设计：侯铮

建议分类：自动化技术/传感器

ISBN 978-7-5142-3550-0

TP212 定价：49.80元

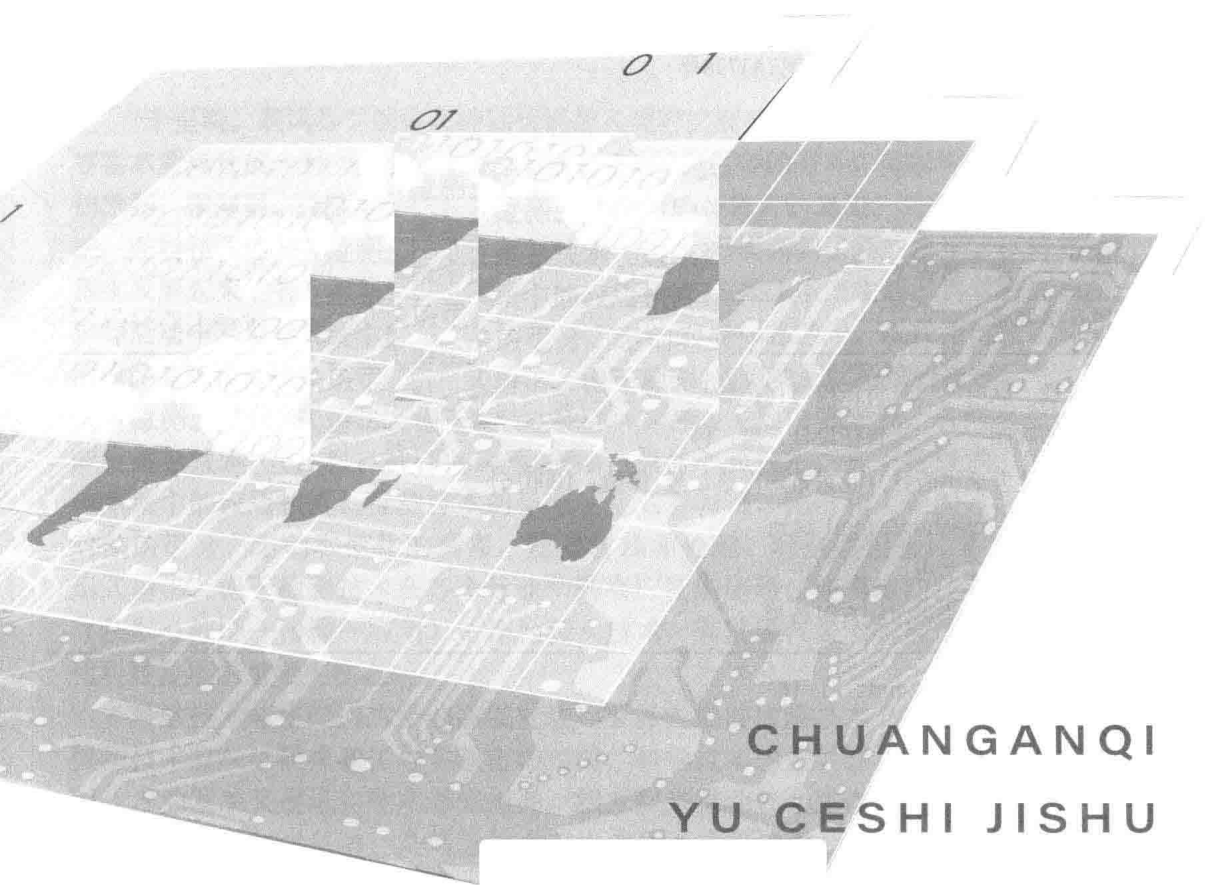
ISBN 978-7-5142-3550-0



# 传感器 与测试技术

王 燕 蔡吉飞 | 主 编

李晋尧 | 主 审



CHUANGANQI  
YU CESHU JISHU



文化发展出版社  
Cultural Development Press

此为试读, 需要完整PDF请访问: [www.ertongbook.com](http://www.ertongbook.com)

## 内容提要

本书全面介绍了传感器与测试技术的基本概念、基本原理和典型应用。按照传感器、测试技术与测试系统三大模块组织内容，分别对常规传感器、微机械传感器、测量误差分析、常见工程量的测量、信号调理、现代测试系统、测试系统设计等进行了介绍。本书系统性强，内容上注重经典与现代的结合，目标上强调工程实践应用与创新能力的培养，具有良好的教学适应性和可读性。

本书可以作为高等院校测控技术与仪器、自动化、电气工程与自动化、机械设计制造及其自动化、通信工程、计算机应用等专业的本科生教材，也可供从事传感器与测试技术相关领域应用和设计开发的研究人员、工程技术人员参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

传感器与测试技术 / 王燕, 蔡吉飞主编. —北京: 文化发展出版社, 2021.8  
ISBN 978-7-5142-3550-0

I. ①传… II. ①王… ②蔡… III. ①传感器—检测 IV. ①TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2021)第143738号

## 传感器与测试技术

主 编: 王 燕 蔡吉飞  
主 审: 李晋尧

---

责任编辑: 魏 欣            责任校对: 岳智勇  
责任印制: 邓辉明           责任设计: 侯 铮  
出版发行: 文化发展出版社 (北京市翠微路2号 邮编: 100036)  
网 址: [www.wenhuafazhan.com](http://www.wenhuafazhan.com)  
经 销: 各地新华书店  
印 刷: 北京捷迅佳彩印刷有限公司

---

开 本: 787mm × 1092mm 1/16  
字 数: 380千字  
印 张: 17.25  
版 次: 2021年8月第1版  
印 次: 2021年8月第1次印刷  
定 价: 49.80元  
I S B N : 978-7-5142-3550-0

---

◆ 如发现任何质量问题请与我社发行部联系。发行部电话: 010-88275710

# 前言

## PREFACE

先进的信息技术和自动化系统已成为引领和衡量各个国家迈向高度现代化的支撑性技术之一。目前，世界上许多国家，特别是西方发达国家，已将目光转向信息技术的前端——信息获取与处理的研究和发展上，提出下一代互联网和智能环境的建设，以强化信息获取和智能信息处理，建立人与物理环境更紧密的信息联系。我国政府也高度重视仪器仪表产业的发展，当前，我国仪器科学技术的研究与产业都取得了重大进展，在仪器仪表产品的微型化、集成化、智能化、总线化等方向上紧跟国际发展步伐。

“千里眼，顺风耳”的古代神话传说是人类对扩展感觉器官的能力、更好地了解客观事物本质属性的一种美好憧憬，为此人们经历了千百年的奋斗，陆续发明了各种各样的传感器、探测器、检测装置或系统，一步步地实现着古人的愿望。尤其是进入 21 世纪以来，在科技飞速发展的推动下，人们获取信息的能力提高到了新的水平。以检测技术为基础发展起来的各种测量方法和测量装置已经成为人类在生产生活、科学研究和防灾保护等活动中获取信息的重要工具，是现代文明的重要标志之一。现代检测技术和现代化的检测系统设计技术也必将成为 21 世纪教学和科研的重要基础和核心技术。

检测技术应用的领域十分广泛，就这一学科的主要内容来说，有信号获取技术，即传感器技术、误差理论、测试计量技术、信号处理技术、抗干扰技术，以及在自动化系统中的应用技术。检测技术的基础就是利用物理、化学和生物的方法来获取被测对象的组分、运动和变化的信息，通过转换和处理，将这些信息以易于人们观察的形式输出。由于检测技术在各个行业中均有广泛的应用，使得这门技术在现代信息链（获取→处理→传输→应用）中作为源头技术，其发展代表着科技进步的前沿，是现代科技发展的重要支柱之一。

科学技术与生产力水平的高度发达，要以先进的检测技术与测量仪器作为基础。检测技术与科学研究和工程实践密切相关，科学技术的发展促进检测技术的进步，检测技术的发展又促进科学水平的提高，相互促进推动社会生产力不断前进。由于检测技术属于信息科学范畴，是信息技术三大支柱（检测技术、计算机技术、通信技术）之一。因此，在当今信息社会，现代化的检测技术在很大程度上决定了生产力和科学技术的发展水平，而科学技术的进步又不断为现代检测技术提供了新的理论基础和新的工艺。

本书是按照课程教学学时为 48 ~ 64 学时编写的，全书共分为 7 章。第 1 章为绪

论,第2章为常规传感器,第3章为微机械传感器,第4章为测量误差分析,第5章为常见工程量的测量,第6章为信号调理,第7章为现代测试系统。

本书覆盖了“传感器原理与应用”“检测与转换”“电子测量技术”等课程或教材的核心内容,通过精选和整合,加上编者多年从事该领域科研和教学的经验总结编写而成。本书内容涉及检测基本方法及误差处理的基本概念、传感器的选型与使用,并以传感器、信号调理电路及计算机为核心构成的信息处理系统,以软件作为信号处理的主体,进而学习并掌握检测系统的设计方法,最后介绍了目前该领域的最新发展和先进技术。全书突出理论联系实际,在清楚讲解重点难点的基础上,通过实例加深理解,从而形成全书的主线。书中内容既具有广泛的基础性,又具有先进性,不仅可以学习到目前各个领域和部门进行科学实验与工程应用所需要的检测技术的基础知识,还可以了解新一代先进检测系统和测试仪器方面的内容,为进行检测技术应用和系统的设计打下良好的基础。

本书可作为高等院校测控技术与仪器、自动化、电气工程与自动化、机械设计制造及其自动化、通信工程、计算机应用等专业的本科生教材,也可供从事传感器与检测技术相关领域应用和设计开发的研究人员、工程技术人员参考。

本书由北京印刷学院王燕副教授、蔡吉飞教授共同担任主编,北京印刷学院李晋尧教授担任主审。编写分工如下:王燕编写第1~4章,蔡吉飞编写第5~7章,全书由王燕副教授完成统稿。北京印刷学院研究生谢文杰同学也参与了本书的编写工作,感谢以上老师和同学的辛勤劳动。

鉴于传感器与检测技术的快速发展和广泛应用,限于编者的水平,本书一定存在疏漏和不足之处,欢迎广大读者提出宝贵意见并批评指正。

编者

2021年5月

# 目录

## CONTENTS

第 1 章 绪论 .....	001
1.1 测试技术的地位和作用 .....	001
1.1.1 测试技术的地位 .....	001
1.1.2 测试技术的作用 .....	005
1.2 现代测试技术的基本内容和任务 .....	007
1.2.1 现代测试技术的内容 .....	007
1.2.2 现代测试技术的任务 .....	008
1.3 测试系统的组成 .....	008
1.4 现代测试技术的发展动向 .....	009
1.4.1 传感器的发展 .....	010
1.4.2 测试手段的发展 .....	012
1.4.3 测量信号处理的发展 .....	013
1.4.4 开发平台的发展趋势 .....	013
第 2 章 常规传感器 .....	015
2.1 传感器概述 .....	016
2.1.1 传感器的作用 .....	016
2.1.2 传感器的定义和组成 .....	017
2.1.3 传感器的分类及要求 .....	017
2.1.4 传感器开发的新趋势 .....	018
2.2 电阻式传感器 .....	020
2.2.1 电阻应变式传感器 .....	020

2.2.2	压阻传感器	023
2.2.3	变阻式传感器	023
2.3	电容式传感器	026
2.3.1	工作原理及类型	026
2.3.2	特点与应用	029
2.3.3	电容式传感器应用举例	030
2.4	电感式传感器	031
2.4.1	自感式传感器	031
2.4.2	互感式传感器	036
2.4.3	压磁式传感器	038
2.5	压电式传感器	040
2.5.1	压电效应与压电材料	040
2.5.2	压电式传感器及其等效电路	042
2.5.3	压电元件常用的结构形式	043
2.5.4	测量电路	044
2.6	磁电式传感器	045
2.6.1	磁感应电式传感器	045
2.6.2	霍尔式传感器	048
2.6.3	磁阻效应传感器	049
2.7	光电式传感器	050
2.7.1	光电效应及光电器件	050
2.7.2	光电式传感器的形式	053
2.8	半导体传感器	054
2.8.1	气敏传感器	054
2.8.2	湿敏传感器	056
2.8.3	半导体色敏传感器	057
2.9	数字式传感器	059
2.9.1	编码器	059
2.9.2	光栅传感器	061
2.9.3	感应同步器	065
2.10	热电偶传感器	069
2.10.1	热电偶传感器工作原理	069
2.10.2	热电偶传感器的应用	073

2.11	热电阻传感器	074
2.12	传感器应用实例	078
<b>第3章</b>	<b>微机械传感器</b>	<b>081</b>
3.1	微传感器的概念及特点	081
3.2	微机电系统的主要加工技术	083
3.3	微机械传感器原理	086
3.3.1	微机械加速度传感器	086
3.3.2	微机械压力传感器	091
3.3.3	微机械陀螺	093
3.3.4	其他微机械传感器	097
<b>第4章</b>	<b>测量误差分析</b>	<b>099</b>
4.1	测量误差的基本概念	100
4.1.1	测量误差及研究的意义和内容	100
4.1.2	测量误差的来源	102
4.1.3	测量误差的表示方法	103
4.1.4	测量误差的分类	104
4.1.5	测量不确定度与置信概率	106
4.2	随机误差的处理	111
4.2.1	随机误差的特征和概率分布	111
4.2.2	随机误差的方差和标准差	116
4.2.3	不等精度直接测量的数据处理	121
4.3	系统误差的分析	122
4.3.1	系统误差的判别	123
4.3.2	系统误差的消除	124
4.4	粗大误差的分析和剔除	128
4.4.1	粗大误差的产生和处理原则	128
4.4.2	坏值判别准则	128
4.4.3	粗大误差的剔除	131
4.5	误差的合成与分配	133
4.5.1	误差的合成	134
4.5.2	误差的分配	137

第5章 常见工程量的测量 .....	140
5.1 位移测量 .....	140
5.1.1 滑线电阻式位移传感器 .....	142
5.1.2 应变式位移传感器 .....	143
5.1.3 电感式位移传感器 .....	144
5.1.4 光栅式数字传感器 .....	149
5.1.5 电容式传感器 .....	152
5.1.6 光电式位移传感器 .....	154
5.1.7 霍尔式位移传感器 .....	155
5.1.8 超声波测距离传感器 .....	155
5.2 速度测量 .....	156
5.2.1 线速度测量 .....	156
5.2.2 角速度测量 .....	159
5.3 加速度测量 .....	161
5.3.1 线加速度测量 .....	162
5.3.2 角加速度测量 .....	166
5.4 力与压力测量 .....	167
5.4.1 力的测量 .....	167
5.4.2 压力的测量 .....	170
5.5 振动测量 .....	174
5.5.1 测振传感器 .....	175
5.5.2 测振仪的电路原理 .....	177
5.5.3 振动的记录方法 .....	178
5.5.4 振动试验设备 .....	178
5.6 噪声测量 .....	179
第6章 信号调理 .....	188
6.1 电桥 .....	189
6.1.1 直流电桥 .....	189
6.1.2 交流电桥 .....	191
6.2 信号放大 .....	193
6.2.1 运算放大器 .....	193

6.2.2	差分放大器	194
6.2.3	隔离放大器	199
6.2.4	仪用放大器	201
6.2.5	可变增益放大器	202
6.2.6	运算放大器的基本参数与性能	203
6.3	信号滤波	205
6.3.1	理想滤波器	206
6.3.2	低通滤波器	208
6.3.3	高通滤波器	210
6.3.4	带通滤波器	211
6.3.5	数字滤波器	212
6.4	调制与解调	215
6.4.1	幅值调制与解调	216
6.4.2	频率调制与解调	221
6.4.3	脉冲调制原理	225
6.5	信号变换	227
6.5.1	电压—电流转换	227
6.5.2	电压—频率转换	231
<b>第 7 章</b>	<b>现代测试系统</b>	<b>239</b>
7.1	计算机测试系统的基本组成	240
7.1.1	多路模拟开关	240
7.1.2	A/D 转换与 D/A 转换	241
7.1.3	采样保持 (S/H)	245
7.2	现场总线技术	247
7.2.1	CAN 总线技术	249
7.2.2	FF 总线技术	250
7.3	测试系统的智能化和网络化技术	251
7.3.1	智能测试系统	252
7.3.2	测试系统的网络化技术	258
	参考文献	266

# 第 1 章 绪论

## 【学习目标】

通过对本章的学习，掌握现代测试技术的基本概念和测试系统的组成及特点，了解测试技术的地位、作用和发展动态。

## 【学习要求】

掌握测试技术的概念及研究的基本内容，掌握检测系统的结构特点及组成，了解测试技术的应用情况和发展动态。

## 1.1 测试技术的地位和作用

在科学研究领域中，测试是人类认识客观事物最直接的手段，是科学研究的基本方法。测试技术隶属于试验科学，并在其中占据着很重要的部分，它主要研究各种物理量的测量原理和测量信号（包括可能的误差信息）的分析与处理方法。近年来，随着各种计算机技术、传感器技术、大规模集成电路技术、通信技术的飞速发展，测试技术领域发生了巨大的变化。现代测试技术的一个主要特点是基于计算机的测试，该系统一般具有开放化、远程化、智能化、多样化、网络化、测控系统大型化和微型化、数据处理自动化等特点，已成为仪器仪表与测控系统新的发展方向。

### 1.1.1 测试技术的地位

#### 1. 测试是现代生产的推动器

生产力是社会决定制造水平的因素之一。自古以来，衡量生产水平的两大指标一直是质量和效率。测试对于保证质量的重要性是不言而喻的，没有测试就无法判定产品质量的优劣，更无从保证产品的质量。现代生产都是通过测试实现反馈并控制产品的质量。

生产效率同样也离不开测试。一台高速切削机床必须有良好的轴系，包括回转精度、动平衡等，而这一切都需要测试。生产效率是以每个人在单位时间内的产值来衡量的，为了提高生产效率必须实现自动化。制造业的自动化起源于 20 世纪初，主要是利用凸轮、挡块等在纺织、钟表等大规模生产中实现刚性自动化。科学技术的进步要求产品不断更新、工艺技术不断进步，这种刚性自动化在多数情况下已经成为生产发展的障碍。现代的自动化是柔性自动化，越是柔性的系统越需要测量。没有测量就无法获得反馈信息，就无法正确、准确地控制工艺过程和执行部件的运动。

生产过程包括物质流、能源流与信息流，其中信息流是最活跃的，物质流与能源流在信息流的指挥下运动。信息技术与制造技术的融合是机械制造技术发展的主要方

向，这些年制造业的最大进步是实现制造业的信息化，而作为提供源头信息的测试技术，在这里起关键作用。越是现代化的企业，测控设备在总投资中的比例越大。国家中长期科学技术发展规划指出，仪器仪表是国民经济的倍增器。

作为自动化的进一步发展就是智能化。智能化生产要求生产过程能自动适应环境、原材料、工具和装备条件的变化，使生产系统工作在最佳状态，获得最优的产品与效益。智能化生产要求在整个生产过程中，对环境、原材料、工具箱装备的状态进行检测，并在此基础上做出决策，使生产过程按最佳方式进行，准确测试是智能控制的关键。

### 2. 没有测试，就没有科学

国力竞争的关键是科技水平，我国与发达国家的差距也主要体现在科技上。我国已将科技兴国作为基本方针，而测试技术是科学发展必不可少的手段。伟大的化学家、计量学家门捷列夫曾说过：“科学是从测量开始的，没有测量就没有科学，至少是没有精确的科学、真正的科学。”我国“两弹一星”元勋王大珩院士也说过：“仪器是认识世界的工具，科学是用斗量禾的学问。用斗去量禾就对事物有了深入的了解、精确的了解，就形成科学。”

科学上的发现和技术上的发明是从对事物的观察开始的。对事物的精细观察就要借助于仪器，就要测试，特别是在自然科学和工业生产领域更是如此。在对事物的观察、测试基础上，经过分析推导，形成认识。到这一阶段还只能是假说、学说。实践是检验真理的唯一标准，只有经过测试考核，才能真正形成科学，所以说在科学发展的任何阶段都离不开测试。国家中长期科学技术发展规划指出，仪器仪表和测试是“新技术革命”的先导和基础。

纵观科学发展史和科技发明史，许多重大发现和发明都是从仪器仪表和测试技术进步开始的。从20世纪初到现在，诺贝尔奖颁发给仪器发明、发展与相关实验项目的达27项之多。众所周知，没有哈勃望远镜就难以进行天体科学的研究，天体科学上的许多重大发现都是依靠哈勃望远镜的观测而得到的。扫描隧道显微镜的发明对纳米科技的兴起和发展可以说起到了决定性作用。

苹果落在牛顿的头上，启发了牛顿的灵感。但真正导致万有引力被发现的还是星球的运动。按照牛顿第一定律，在没有外力作用的情况下，月亮应该做等速直线运动，但为什么月亮不飞出去，而是绕地球转动？这是困惑牛顿的一个问题。只有在有向心力作用的情况下，月亮才会绕地球转动。苹果落在牛顿的头上，启发牛顿意识到一定是地球对月亮有一个引力。牛顿根据他假设的万有引力公式和向心力的公式进行了计算，由于当时测量技术的限制，牛顿没有获得正确的答案。牛顿是一个科学家，没有得到实践证明的东西，还不是科学，他没有发表。在他故去之后，由于测试技术的进步，在测量了地球与月亮的较精确的距离和地球的质量的情况下，万有引力学说才得到证实，是他的学生发表了牛顿的论文，使牛顿万有引力成为科学。测试在将“学说”发展为科学中往往起到关键性作用。

### 3. 测试在信息科技中至关重要

当今时代是信息时代，信息科技包括信息的获取、处理、传输、存储、执行。测试是科技、生产领域获取信息的主要手段，在这个信息流中处于源头位置，所以从一

定意义上说,没有测试,信息科技就成了无源之水、无本之木。处于源头的信息是最脆弱、最容易受到干扰的。信息的准确性首先取决于源头信息,取决于测试。为了提高所获取信息的准确性,现代测试系统往往还包括信息的预处理、预存储、传输和控制,把从信息的获取到控制作为一个整体来对待。

信息时代的主要标志是高性能的电子计算机的发展与广泛应用,因此,计算机的发展也离不开制造技术和测试技术。

计算机的性能指标首先是它的运算速度和存储容量,这些都取决于在一块芯片上能集成多少个晶体管,后来又取决于大规模集成电路的线条能做得多细。目前,大规模集成电路的线宽已做到 $0.1\mu\text{m}$ 左右,进一步的发展要求将线条做到纳米级。知名的摩尔定理说芯片上开关器件的密度每18个月翻一番,其实这是在N.Taniguchi于1974年提出的制造误差按指数曲线下降的预测基础上得出的。正是精密工程按N.Taniguchi预测的曲线发展,才保证了计算机工业的发展和摩尔定理的兑现。

#### 4. 国防和高科技的发展离不开测试

在现代的战争中,仪器仪表的测量控制精度决定了武器系统的打击精度。仪器仪表的测试速度、诊断能力决定了武器系统的反应能力。飞机、火箭、宇宙飞船从它们的加工到装配,一步也离不开检测,火箭在现场安装、准备发射都离不开检测。在发射场上精确校正并发射后,由于大气和其他天体、气象等因素的影响,需要不断地检测航行的轨迹,进行校正。不仅要按测量结果校正航行轨迹,还要按测得的加速度控制燃料和气体的排放,以保证飞行轨迹的准确,而对所有这些检测的精度和速度响应的要求是极高的。

一部现代的汽车有五六十个传感器,而一架飞机、火箭、宇宙飞船上则有几百、几千个传感器,它们从加工到装配一步也离不开检测,它们的加工和装配精度都是生死攸关的。俗话说,差之毫厘,失之千里,而今火箭、宇宙飞船的发射差之毫厘,又何止失之千里?

国家中长期科学技术发展规划指出,运载火箭的试制费用一半用于仪器仪表,由此可见测试技术在发展航天、航空、国防等高科技中的作用。应当说今后的载人宇宙飞行、登月计划、到其他星球的探索等很重要的任务,甚至主要任务,还一直在测试。只有通过测试,才能了解宇宙,开发宇宙。以宇宙飞行为例,它不仅包括宇宙飞船,还包括许许多多地面观测站、测控船。可以推测,在宇宙飞行实施中,用于仪器仪表和各种观测站的费用不会少于一半。

核武器和核工业的发展同样离不开测试。核聚变与核裂变相比,不仅具有更高的能量转换效率,释放更巨大的能量,而且是更清洁的能源,这对核工业是十分重要的。利用飞秒激光脉冲激励、泵浦核聚变反应是国际上十分引人注目的一个研究方向,因为飞秒激光脉冲具有非常高的瞬时功率。为了获得较高的激励功率和激励效率,需要将几十路飞秒激光束同时精确瞄准一个直径仅为几百微米的空心靶球的球心,这是一个要求很高的几何量测试问题。当然,在整个核反应过程中还有更多其他重要的测试问题。

在谈论当今时代的高科技时,不能不提及纳米科技和微机电系统。宇宙飞行是向大的方向探索宇宙空间的奥秘,而纳米科技和微机电系统则是向小的方向,包括分

子、原子领域探索世界的奥秘。

纳米结构的物质表现出很多独特的性能，这些性能在材料科学、医学等许多领域有重要应用。例如，纳米结构的材料在硬度、密度、强度、延展性、导热性、磁耦合、催化能力、吸附选择性以及电学和光学性能均有很大增进。例如，纳米碳管的抗拉强度比钢高 20 倍，而强度质量是钢的 50 多倍。将这些材料用于航空航天和人体上，显示出十分巨大的优越性。纳米粒子、纳米薄膜也显示了其许多独特性能，纳米科技正在带动一场新的科技革命。

### 5. 测试技术是开展生命科学研究的支撑

随着科技的发展，人类在适应和征服大自然中取得了巨大的成就。改革开放以来，我国人民的生活有了很大的改善，人们越来越多地关心健康，一些发达国家更是如此。工业的发展只有几百年的历史，而人类与生物的进化已经有几千年、几万年的历史，生命科学和生物技术成为 21 世纪的领头科学和技术。

生命科学研究成为微机电系统又一重要应用领域。进行生命科学和生物技术的研究，需要将各种微型传感器和执行器植入人体或生物内部，探索人体与生物的奥秘。人体的治疗与骨骼、神经和关节等的康复，无损伤的外科手术，药品的准确输送，心脏疾病的准确诊断，人工器官的植入，生物品种的改良等也需要各种微型器械。在微观范畴中，物体、材料的许多物理、力学等性能都是与宏观世界不一样的。许多常用的工程设计数据在微机电系统的设计中都不能应用，必须通过测试来获取适合于微机电系统的新的设计数据。为了获得符合性能要求的微机电器件，必须对微机电系统的工艺过程和成品进行检测。测试技术已经成为发展微机电系统的一个瓶颈。

仪器与测试技术是了解人体和生物生命机制，探测疾患的主要手段。没有良好的测试手段，包括各种植入人体内部的传感器，是不可能洞察人体和生物的奥秘的。对于我国传统的中医学、中草药更是如此。中医学、中草药积累了很多代人的心血和经验，是人类宝贵的文化遗产。中医学关于将人作为一个整体的见地，有关经络、针灸、号脉等的学说与实践都是非常珍贵的，但也存在将它们由经验、技艺变为科学并进一步深化、扩大的问题，这需要靠测试、靠仪器仪表来实现。

仪器仪表及测试技术还能为人类提供多种人造器官，实现康复。这里不仅包括人工眼睛、耳朵、鼻子、舌头等感觉器官，也包括其他的各种器官。例如，上肢的瘫痪可能是感觉—运动通道因麻痹而阻断所引起的。在通过测试得到正常人小脑发出的信号、利用电激励模拟神经刺激后，就可以恢复上肢的运动。若是因为肌肉或骨骼受到损伤而失去上肢运动，则可通过对正常人在小脑指挥下的神经系统机电运动控制信号的测试，构建人工假肢，实现所需运动。

应当说，在机械量的测试与人体或生物测试之间并没有一条鸿沟，其基本原理是完全相通的。在几何量测试中具有广泛应用的迈克尔逊干涉仪，同样可以应用于人体的测量。在几何量测试中，为了得到大的相干长度，常常使用单色性好的激光。在光学层析术（OTC）中要求光源的相干长度短，只有当由分光镜分光、形成的测量光束与参考光束光程相等时，光电探测器上才能产生干涉信号。依靠改变加在压电陶瓷上的电压，使参考反射镜的位置变化，引起参考光束光程改变，使得被测对象上的层

析面位置也随之改变。利用一套几何光路,对被测对象进行扫描,测量对象上的每个点,这种方法已被成功用于皮肤癌的诊断中。

美国南加州大学教授、天津大学长江学者卢志杨教授提出了激励技术(Inspiring Technology)的思想。他认为测试应当无所不在,在人们日常的工作和生活用品上,都应该安装微型传感器,用于检测人们的身体状况。根据检测的结果,有针对性地发出反馈激励信号,从而促进人们的健康。

## 6. 现代生活和人类生存离不开测试技术

如果说多年前测试手段主要用于科学研究和工业生产,那么今天测试技术已经进入千家万户。许多家用电器都带有测试装置,如傻瓜相机具有测量光亮度和物体距离的装置,能够自动调整曝光度和对焦。一部现代汽车装有50~60个传感器,用于检测油量、油门打开的情况,以及司机是否喝酒、安全带是否系好等,全球导航系统(GPS)已成为汽车的必备装置。

人们一直梦想房屋、车辆、衣服能自动调节温度,为此需要将各种微型传感器、芯片、执行器置入建筑、车辆、衣物等。已经证明,这一梦想在技术上完全可以实现,只是价格问题。在保健、医疗设备上就更习以为常了,测试已经成为我们生活不可或缺的一部分。

科技的发展创造了历史的奇迹,但环境和生态也正遭到巨大的破坏,成为对人类生存的最大威胁之一。要保护环境,就必须对环境进行监测。海洋资源的开发、海洋污染防治与灾难的预防,都需要加强监测。地震、火灾、恐怖行为等都在对我们的生存形成威胁,需要加强监测。

在我们日常生活中,由于环境的污染和一些利益的驱动,无论在我们的食品、饮料,还是药品中,都会有大量的有害物质,其危害不可轻视。需要加快开发一些简易、便携的手段,加强对于各种污染的检测。例如,现在开发了一种检测液体的装置,被测液体经毛细管形成液滴,在液滴生成过程中,其形状变化与液体的比重、黏度、表面张力等诸多力学特性有关。在滴头上插两根光纤,一根是输入光纤,另一根是接收光纤。这样,接收光纤中输出的光强信号,既与液滴的形状有关,又与液体的颜色、浑浊度、折射率等许多光学特性有关,如此就可以精确识别液体的性质和浓度。为了避免供液速度的影响,由环形电极和滴头构成电容器,测量液滴的体积。输出光强随液滴体积变化的曲线称为液体的指纹图。为了进一步分析液体的成分,还可以插入光谱仪,以获得光强随液滴体积、光波长变化的三维指纹图。

### 1.1.2 测试技术的作用

人们通过对客观事物大量的观察和测试,形成各种定性或定量的认识,并归纳、建立起各种定理和定律,而后又通过测试来验证这些认识、定理和定律是否符合实际情况,经过如此反复实践,逐步认识事物的客观规律,并用以解释和改造世界。因此,可以说测试是人类认识和改造世界的一种不可缺少或替代的手段。事实已经证明,当今科学技术要取得进步,社会生产要得到继续发展,就必须与测试理论、技术、手段的发展和进步相互依赖、相互促进。测试技术水平是反映一个历史时期、一

个国家的科学技术水平的一面“镜子”。可以这样认为，评价一个国家的科技状态，最为快捷的办法就是去审视在那里所进行的测试，以及由测试所累积的数据是如何被利用的。

在工程技术领域，具体来讲，测试技术主要有如下作用。

(1) 测试技术是技术部门和科研院所进行研究、认识、维护不同对象的必不可少的手段。对于科研院所，研究某一理论或进行某一实践，都涉及对对象的某种认识和了解，因此离不开相应的测试技术。对于军事部门来说，现代武器系统日益复杂，功能模块十分繁多，导致可能出现的故障和隐患大大增加，对其实施有效、实用的检测就必须借助于现代测试技术。

(2) 测试技术是产品检验和质量控制的重要手段。借助于测试工具对产品进行质量评价，是测试技术重要的应用领域。传统的方法只能将产品区分为合格品和废品，只能起到产品验收和废品剔除的作用，对废品的出现并没有预先防止或提示的能力，属于被动测试。随着科学技术的发展，在传统测试技术基础上发展起来的一种新的技术，被称为主动测试技术或在线测试技术，该技术的一个显著特点是它可以使测试和生产加工同时进行，并能及时地用测试结果对生产过程主动地进行控制，使之能够克服外界干扰因素的影响，适应生产条件的变化或能够自动地将生产过程调整到最佳状态。这样，测试的作用已经不只是单纯的检查产品的最终结果，还需要过问和干预造成这些结果的原因，从而进入质量控制的领域。

(3) 测试技术是大型设备安全经济运行的保证。电力、石油、化工、机械等行业的一些大型设备通常在高温、高压、高速和大功率状态下运行，保证这些关键设备的安全运行在国民经济中具有重大意义。为此，通常设置故障监测系统，以对温度、压力、流量、转速、振动和噪声等多种参数进行长期的动态监测，以便及时发现异常情况，加强故障预防，达到早期诊断、预防事故发生的目的，这样就可以避免严重的突发事件，保证设备和人员的安全，提高经济效益。另外，在日常运行中，这种连续监测可以及时发现设备故障的前兆，并采取预防性检修。随着计算机技术的发展，这类监测系统已经发展到故障自诊断系统，可以采用计算机来处理测试信息，进行分析、判断，及时诊断出设备故障并自动报警或采取相应的对策。

(4) 测试技术是自动化系统中不可缺少的组成部分。任何生产过程都可以看作是由“物流”和“信息流”组合而成的。人们为了有目的地进行控制，首先必须通过测试获取有关信息，然后才能进行分析、判断，以便实现自动控制，而反映物流的数量、状态和趋向的信息流则是人们管理和控制物流的依据。所谓自动化，就是系统或某个过程的运行不需要人工的干预，也就是用各种技术工具和方法代替人来完成测试、分析、判断和控制工作。一个自动化系统通常由多个环节组成，分别完成信息的获取、信息的转换、信息的处理、信息的传送及信息的执行等功能。在实现自动化的过程中，信息的获取与转换是极其重要的组成环节，只有精确、及时地将被控对象的各项参数测试出来并转换成易于传送和处理的信号，整个系统才能正常地工作。因此，自动测试技术是自动化系统中不可缺少的组成部分。

(5) 测试技术是推动现代科学技术进步的重要力量。测试技术的完善和发展直接影响着现代科学技术能否以较快的速度发展和进步。