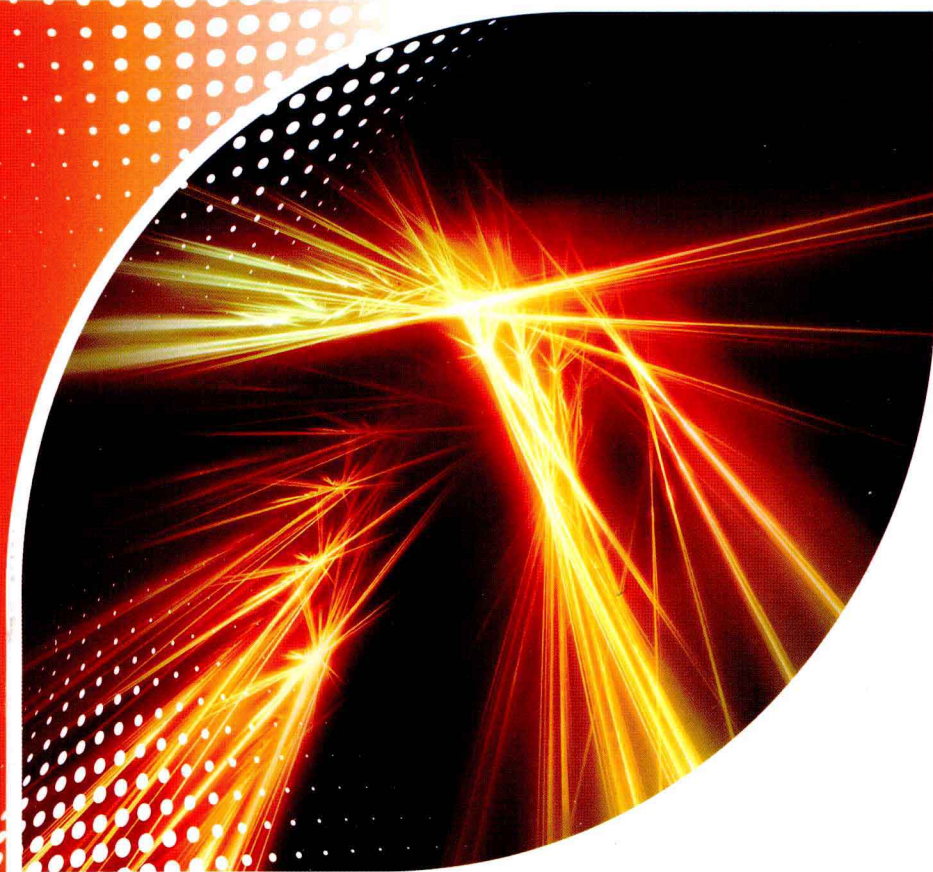




全国高等院校仪器仪表及自动化类“十二五”规划教材

# 仪器制造 工艺学

◎ 张雪飞 付生力 主编



结合理论与应用、搭配图例

详述仪器设计及制造过程

展示先进仪器制造技术及工艺



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

全国高等院校仪器仪表及自动化类“十二五”规划教材

# 仪器制造工艺学

张雪飞 付生力 主 编

周天国 王树逵 白东哲 齐济源 参 编

黄安贻 主 审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书围绕仪器制造工艺的各个主题,系统地介绍了仪器制造过程中所涉及的理论及相关工艺,从仪器制造过程中的选材到仪器制造工艺过程的规划,以及仪器零件的成形工艺和相关的制造技术,最后介绍了仪器的装配与调整。全书共分为9章,主要包括绪论、仪器常用材料及相关元件、仪器制造工艺过程基本概念及规划原则、仪器零件的成形工艺基础、加工精度分析与制造质量控制、精密与特种加工技术、制造自动化技术、微机电系统制造技术、仪器装配与调整。

本书可作为测控技术与仪器及相关专业教材,也可供从事仪器制造及相关研究工作的工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容  
版权所有,侵权必究

## 图书在版编目(CIP)数据

仪器制造工艺学/张雪飞,付生力主编. —北京:电子工业出版社,2013.1

(全国高等院校仪器仪表及自动化类“十二五”规划教材)

ISBN 978-7-121-19027-8

I. ①仪… II. ①张… ②付… III. ①仪器—生产工艺—高等学校—教材 IV. ①TH706

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第278211号

策划编辑:郭穗娟(guosj2008@163.com)

责任编辑:刘 凡 文字编辑:王 燕

印 刷:涿州市京南印刷厂

装 订:涿州市京南印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:21.75 字数:498千字

印 次:2013年1月第1次印刷

印 数:3000册 定价:39.80元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@s@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@s@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

# 《全国高等院校仪器仪表及自动化类“十二五”规划教材》 编 委 会 名 单

主 任：许贤泽

副主任：谭跃刚

|      |     |     |     |     |
|------|-----|-----|-----|-----|
|      | 刘波峰 | 郝晓剑 | 杨述斌 | 付 华 |
| 委 员： | 赵 燕 | 黄安贻 | 郭斯羽 | 武洪涛 |
|      | 靳 鸿 | 陶晓杰 | 杨书仪 | 李志华 |
|      | 秦 斌 | 王 欣 | 李德俊 | 孙士平 |
|      | 冯先成 | 白福忠 | 张国强 | 王后能 |
|      | 张雪飞 | 谭保华 | 郑红霞 |     |

# 前 言

仪器是体现一个国家高科技发展水平的重要标志之一，是信息时代的源头技术，对国民经济和推动科技发展具有重要的作用。在人类社会已进入信息时代的今天，仪器作为获取、测量、传递、变换、处理、监视、显示及控制信息的重要工具，越来越得到广泛的应用，它已成为现代科学和生产技术发展必不可少的基本设备。

仪器制造是一门涉及光学、机械学、电子学、计算机科学等多个领域的关联学科，其制造过程涉及内容广泛，加工方法多种多样。对于优质仪器，不仅要求设计水平高，还要求加工制造（包括设备、加工场所、加工技术，检验水平等）水平高。因此，制造时需应用制造精度理论，依据质量监控技术合理地选择精密机械制造、电装工艺、成形工艺、特种工艺及先进的制造自动化技术及微机电系统制造技术，来满足现代仪器制造所具有的高精度、高效率、多功能及高智能的发展方向。

本书可作为测控技术与仪器及相关专业教材，也可供从事仪器制造及相关研究工作的工程技术人员参考。编者在编写过程中充分地考虑了测控技术与仪器类及相关专业教学、科研的特色，将先进的仪器制造技术及工艺展示给读者。

全书共由 9 章组成：

第 1 章 绪论。总体介绍仪器的基本概念、构成和目前状况，以及未来的发展前景。

第 2 章 仪器常用材料及相关元件。根据仪器零件的功能分别介绍了仪器功能性零件用材（电、磁、热、光功能材料，隐形及智能和纳米材料）、仪器结构性零件用材（金属材料、高分子材料、无机非金属材料及复合材料）和电子元器件、印制电路板及电装工艺用材。

第 3 章 仪器制造工艺过程基本概念及规划原则。介绍了工艺过程及设计基本概念、电子制造工艺规程设计和机械加工工艺规程设计，以及机械加工过程中所使用夹具的设计。

第 4 章 仪器零件的成形工艺基础。介绍了电子组装技术、光学零件加工、塑料零件加工、陶瓷零件加工、金属零件成形、连接工艺、刻划工艺和表面技术。

第 5 章 加工精度分析与制造质量控制。介绍了仪器精度、加工精度的基本概念，加工误差的统计分析和在线质量监控、预报，以及机械加工表面质量控制。

第 6 章 精密与特种加工技术。介绍精密与特种加工方法及其分类、常用的精密加工技术及特种加工技术。

第 7 章 制造自动化技术。介绍制造自动化技术的定义、发展及关键技术，数控加工技术，柔性制造系统，计算机集成制造系统，自动化装配技术，工业机器人及快速原型技术。

第 8 章 微机电系统制造技术。介绍了微机电系统（MEMS）的研究开发内容，以及光刻技术、薄膜淀积、牺牲层技术、外延技术、高能束刻蚀技术等微细加工技术，以及 MEMS 的装配与集成。

第 9 章 仪器装配与调整。介绍了仪器的电装配工艺过程，以及机械装配工艺过程。

本书由沈阳大学张雪飞、付生力主编，武汉理工大学黄安贻教授主审。其中，第 1、2、3、5、9 章由张雪飞、付生力编写，第 4 章由周天国编写，第 6 章由白东哲编写，第 7 章由王树逵编写，第 8 章由齐济源编写。全书由张雪飞统稿。



在编写的过程中，编者参考了国内外有关教材，对相关作者在此一并致谢。

尽管编者为编写本书付出了许多努力和心血，但书中疏漏在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

2012 年 10 月

# 目 录

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 .....               | 1  |
| 1.1 概述 .....                 | 1  |
| 1.1.1 仪器的基本概念 .....          | 1  |
| 1.1.2 仪器及系统的地位与作用 .....      | 4  |
| 1.2 仪器的基本构成及其理论基础 .....      | 5  |
| 1.2.1 仪器的基本构成 .....          | 5  |
| 1.2.2 仪器的功能特点 .....          | 6  |
| 1.2.3 仪器理论的基本内容 .....        | 7  |
| 1.2.4 仪器设计与制造工艺的关系 .....     | 9  |
| 1.3 仪器的发展状况与前景 .....         | 11 |
| 1.3.1 发展科学仪器是国家的战略措施 .....   | 11 |
| 1.3.2 仪器的发展状况 .....          | 11 |
| 1.3.3 虚拟仪器 .....             | 14 |
| 1.3.4 我国仪器的现状 .....          | 18 |
| 1.3.5 仪器的发展方向 .....          | 20 |
| 1.3.6 仪器制造的关键技术 .....        | 20 |
| 思考与练习 .....                  | 21 |
| 第 2 章 仪器常用材料及相关元件 .....      | 22 |
| 2.1 概述 .....                 | 23 |
| 2.1.1 仪器选材在制造工艺中的地位 .....    | 23 |
| 2.1.2 仪器常用材料的分类 .....        | 23 |
| 2.2 仪器功能性零件用材 .....          | 23 |
| 2.2.1 电功能材料 .....            | 23 |
| 2.2.2 磁功能材料 .....            | 28 |
| 2.2.3 热功能材料 .....            | 31 |
| 2.2.4 光功能材料 .....            | 34 |
| 2.2.5 隐形材料及智能材料 .....        | 37 |
| 2.2.6 纳米材料 .....             | 38 |
| 2.3 仪器结构性零件用材 .....          | 41 |
| 2.3.1 金属材料 .....             | 41 |
| 2.3.2 高分子材料 .....            | 57 |
| 2.3.3 无机非金属材料 .....          | 61 |
| 2.3.4 复合材料 .....             | 65 |
| 2.4 电子元器件、印制电路板及电装工艺用材 ..... | 67 |
| 2.4.1 电子元器件引脚材料 .....        | 67 |



|            |                          |            |
|------------|--------------------------|------------|
| 2.4.2      | 印制电路板材料                  | 69         |
| 2.5        | 仪器材料的选用                  | 71         |
| 2.5.1      | 仪器设计与选材的关系               | 71         |
| 2.5.2      | 选材的一般原则                  | 71         |
| 2.5.3      | 选材的典型实例分析                | 72         |
|            | 思考与练习                    | 74         |
| <b>第3章</b> | <b>仪器制造工艺过程基本概念及规划原则</b> | <b>75</b>  |
| 3.1        | 工艺过程及设计基本概念              | 76         |
| 3.1.1      | 工艺过程控制要素和基本内容            | 76         |
| 3.1.2      | 工艺控制项目和方法                | 77         |
| 3.2        | 电子制造工艺规程设计               | 78         |
| 3.2.1      | 电子产品制造工艺规程               | 78         |
| 3.2.2      | 电子产品制造工艺程序               | 80         |
| 3.3        | 机械加工工艺规程设计               | 82         |
| 3.3.1      | 基本概念                     | 82         |
| 3.3.2      | 机械加工工艺规程                 | 84         |
| 3.3.3      | 工艺路线的确定                  | 86         |
| 3.3.4      | 加工余量、工序尺寸及公差的确定          | 90         |
| 3.3.5      | 工艺尺寸链                    | 93         |
| 3.3.6      | 时间定额与技术经济分析              | 97         |
| 3.4        | 夹具设计                     | 99         |
| 3.4.1      | 夹具的组成                    | 99         |
| 3.4.2      | 定位原理与自由度分析               | 100        |
| 3.4.3      | 定位方法与定位元件                | 102        |
| 3.4.4      | 定位误差的分析与计算               | 106        |
| 3.4.5      | 工件的夹紧                    | 111        |
|            | 思考与练习                    | 116        |
| <b>第4章</b> | <b>仪器零件的成形工艺基础</b>       | <b>118</b> |
| 4.1        | 电子组装技术                   | 118        |
| 4.1.1      | SMT 和 THT                | 118        |
| 4.1.2      | 电子组装中的焊接技术               | 120        |
| 4.1.3      | 电子组装中的检测                 | 121        |
| 4.1.4      | 电子组装中的清洗与返修              | 122        |
| 4.2        | 光学零件加工                   | 123        |
| 4.2.1      | 光学零件的基本加工工艺              | 125        |
| 4.2.2      | 光学零件的现代制造技术              | 127        |
| 4.2.3      | 光学零件的镀膜工艺                | 131        |
| 4.3        | 塑料零件的加工                  | 135        |
| 4.3.1      | 塑料零件的成形                  | 135        |



|              |                      |            |
|--------------|----------------------|------------|
| 4.3.2        | 塑料零件的加工              | 137        |
| 4.3.3        | 塑料零件的结构工艺性           | 138        |
| 4.4          | 陶瓷零件加工               | 141        |
| 4.4.1        | 陶瓷零件的成形技术            | 141        |
| 4.4.2        | 陶瓷零件的加工技术            | 143        |
| 4.5          | 金属零件成形               | 144        |
| 4.5.1        | 金属零件的液态成形            | 144        |
| 4.5.2        | 金属材料的塑性成形            | 147        |
| 4.6          | 连接工艺                 | 155        |
| 4.6.1        | 焊接工艺                 | 155        |
| 4.6.2        | 胶接工艺                 | 158        |
| 4.6.3        | 机械连接                 | 160        |
| 4.7          | 刻划工艺                 | 161        |
| 4.7.1        | 机械刻划                 | 161        |
| 4.7.2        | 机械-物理法刻划与机械-化学法刻划    | 162        |
| 4.7.3        | 照相复制法刻划              | 163        |
| 4.7.4        | 激光刻划                 | 164        |
| 4.8          | 表面技术                 | 164        |
| 4.8.1        | 电镀与化学镀               | 165        |
| 4.8.2        | 金属表面转化膜技术            | 166        |
| 4.8.3        | 涂覆技术                 | 168        |
| 4.8.4        | 真空镀膜技术               | 172        |
|              | 思考与练习                | 174        |
| <b>第 5 章</b> | <b>加工精度分析与制造质量控制</b> | <b>176</b> |
| 5.1          | 仪器精度的基本概念            | 176        |
| 5.1.1        | 仪器精度                 | 176        |
| 5.1.2        | 仪器参数与特性              | 177        |
| 5.1.3        | 影响仪器精度的主要因素          | 178        |
| 5.2          | 加工精度的基本概念            | 182        |
| 5.2.1        | 加工精度                 | 182        |
| 5.2.2        | 获得规定加工精度的方法          | 182        |
| 5.2.3        | 影响加工精度的工艺因素          | 184        |
| 5.3          | 加工误差的性质与统计分析         | 197        |
| 5.3.1        | 加工误差的性质              | 197        |
| 5.3.2        | 加工误差的统计分析            | 197        |
| 5.4          | 在线质量监控及预报            | 204        |
| 5.5          | 机械加工表面质量             | 205        |
| 5.5.1        | 机械加工表面质量的意义          | 206        |
| 5.5.2        | 表面质量对仪器使用性能的影响       | 206        |
| 5.5.3        | 影响表面质量的工艺因素          | 207        |



|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 5.5.4 机械加工过程中的振动.....         | 209        |
| 思考与练习.....                    | 212        |
| <b>第6章 精密与特种加工技术.....</b>     | <b>213</b> |
| 6.1 精密与特种加工方法及其分类.....        | 213        |
| 6.2 常用精密加工技术.....             | 214        |
| 6.2.1 精密切削加工.....             | 214        |
| 6.2.2 精密磨削加工.....             | 217        |
| 6.3 特种加工技术.....               | 224        |
| 6.3.1 电火花加工.....              | 224        |
| 6.3.2 电化学加工.....              | 234        |
| 6.3.3 激光加工.....               | 241        |
| 6.3.4 超声波加工.....              | 244        |
| 6.3.5 电子束和离子束加工.....          | 248        |
| 6.4 其他特种加工技术.....             | 251        |
| 6.4.1 水射流加工.....              | 251        |
| 6.4.2 磨料流加工.....              | 252        |
| 6.4.3 等离子体加工.....             | 253        |
| 思考与练习.....                    | 254        |
| <b>第7章 制造自动化技术.....</b>       | <b>255</b> |
| 7.1 概述.....                   | 255        |
| 7.1.1 制造自动化技术的定义、内涵及技术地位..... | 255        |
| 7.1.2 制造自动化技术的发展.....         | 256        |
| 7.1.3 制造自动化技术的关键技术.....       | 257        |
| 7.2 数控加工技术.....               | 259        |
| 7.2.1 数控机床的组成、分类和特点.....      | 260        |
| 7.2.2 数控加工技术的发展趋势.....        | 261        |
| 7.3 柔性制造系统.....               | 262        |
| 7.3.1 FMS 的组成.....            | 262        |
| 7.3.2 FMS 的特点.....            | 264        |
| 7.3.3 FMS 的应用和发展前景.....       | 264        |
| 7.4 计算机集成制造系统.....            | 265        |
| 7.4.1 CIMS 的组成.....           | 266        |
| 7.4.2 CIMS 的生产管理模式.....       | 268        |
| 7.4.3 CIMS 的现状和发展.....        | 269        |
| 7.5 自动化装配技术.....              | 269        |
| 7.5.1 装配机的结构形式.....           | 269        |
| 7.5.2 装配设备.....               | 271        |
| 7.6 工业机器人.....                | 276        |
| 7.6.1 概述.....                 | 276        |

|              |                        |            |
|--------------|------------------------|------------|
| 7.6.2        | 工业机器人的运动轴系和自由度.....    | 279        |
| 7.6.3        | 工业机器人在现代制造中应用.....     | 280        |
| 7.6.4        | 工业机器人技术的发展.....        | 283        |
| 7.7          | 快速原型制造技术.....          | 284        |
| 7.7.1        | 概述.....                | 284        |
| 7.7.2        | 快速原型制造工艺.....          | 286        |
| 7.7.3        | 快速原型制造技术的应用.....       | 288        |
| 7.7.4        | 快速原型制造技术的发展趋势.....     | 290        |
|              | 思考与练习.....             | 292        |
| <b>第 8 章</b> | <b>微机电系统制造技术</b> ..... | <b>294</b> |
| 8.1          | 概述.....                | 294        |
| 8.2          | MEMS 的研究开发内容.....      | 296        |
| 8.3          | 微细加工技术.....            | 298        |
| 8.3.1        | 光刻技术.....              | 299        |
| 8.3.2        | 薄膜淀积.....              | 301        |
| 8.3.3        | 牺牲层技术.....             | 303        |
| 8.3.4        | 外延技术.....              | 304        |
| 8.3.5        | 高能束刻蚀技术.....           | 304        |
| 8.3.6        | 典型 MEMS 的微细加工技术.....   | 305        |
| 8.3.7        | MEMS 装配与集成.....        | 308        |
|              | 思考与练习.....             | 309        |
| <b>第 9 章</b> | <b>仪器装配与调整</b> .....   | <b>311</b> |
| 9.1          | 仪器零部件的电装配工艺.....       | 311        |
| 9.1.1        | 电装配工艺设备.....           | 311        |
| 9.1.2        | 部装和总装.....             | 311        |
| 9.1.3        | 环境条件对装配的影响.....        | 315        |
| 9.2          | 仪器零部件的机械装配工艺.....      | 316        |
| 9.2.1        | 概述.....                | 316        |
| 9.2.2        | 装配工艺规程的制定.....         | 317        |
| 9.2.3        | 仪器结构装配工艺性.....         | 318        |
| 9.2.4        | 装配尺寸链.....             | 320        |
| 9.2.5        | 保证装配精度的装配方法.....       | 321        |
| 9.2.6        | 仪器装配自动化.....           | 327        |
|              | 思考与练习.....             | 330        |
|              | 参考文献.....              | 332        |

# 第1章

## 绪 论

### 1.1 概 述

#### 1.1.1 仪器的基本概念

仪器是人们认识世界、改造世界的手段和工具，是用来对客观物质实体及其本质属性进行观察、监视、测量、记录、传输、转换、显示、分析、处理，以及控制的各种器具、设备与系统的总称，是信息技术的源头。从功能上说，仪器包括了测控仪器、计算仪器、分析仪器、显示仪器等。

目前，仪器广泛应用于石油、化工、冶金、电子、电力、机械、轻纺、航空、航天、航海、兵器，以及天文、气象、地质勘探、医疗等领域，遍及国民经济和生产、生活各领域。在自动化生产程度较高的工业企业中，仪器已成为检测、计量、记录、计算和控制生产过程中不可缺少的基本设备，如机械制造和仪器制造工业中产品的静、动态性能测试；加工过程的控制与监测，故障的诊断等。在电力、化工、石油工业中，为保证生产过程能正常、高效运行，要对工艺参数，如压力、流量、温度、尺寸等进行检测和控制；在航空、航天产品中对质量要求更为严格，如对发动机进行转速、转矩、振动、噪声、动力特性等进行测量；在农业、医疗卫生、金融、环境保护等各个领域，仪器也得到日益广泛的应用与发展。

仪器的功能在于借助物理、化学或生物等方法，获取被检测对象的状态或者状态的变化信息，并通过信息的变换及其相关处理，使其成为人们易于理解，能够识别和便于表达的量化形式，进而可以显示、观测、存档或直接进入自动控制系统，实现系统的决策控制。可见，仪器能延伸、扩展、补充或代替人的感觉器官，以及相关的决策功能，其主要研究内容包括了信息的获取、处理及信息的利用等方面。

仪器新产品不断产生，其种类十分繁多。因此，要对仪器进行细致的分类是相当复杂的，目前尚无统一的分类方法。从仪器在系统中所起的作用角度可将仪器分为测量仪器、计算仪器和控制仪器。

#### 1. 测量仪器

将被测量取出并与测量标准进行比较，准确地表示被测量的真实数值，这就测量仪器的作用，它的主要测量对象是各种物理量。

测量仪器可分为以下8种。

##### 1) 几何量测量仪器

这类仪器包括各种尺寸检测仪器，如长度、角度、形貌、相互位置、位移、距离测量仪器



等,如各种尺寸的量具、工具显微镜、测量仪,以及表面粗糙度和工件几何形状测量仪器、光电光波比较仪等。图1-1所示为数字式万能工具显微镜。

### 2) 热工量测量仪器

这类仪器包括温度、湿度、压力、流量的测量仪器,如各种温度计、气压计、真空计、多波长测温仪器及水、气、油的流量计等。图1-2所示为红外测温仪,它是利用红外线传输数字的原理来感应物体表面温度的,操作比较方便,特别是对高温物体的测量;应用广泛,如对铸造、炉温、机器零件、玻璃及室温、体温等各种物体表面温度的测量。

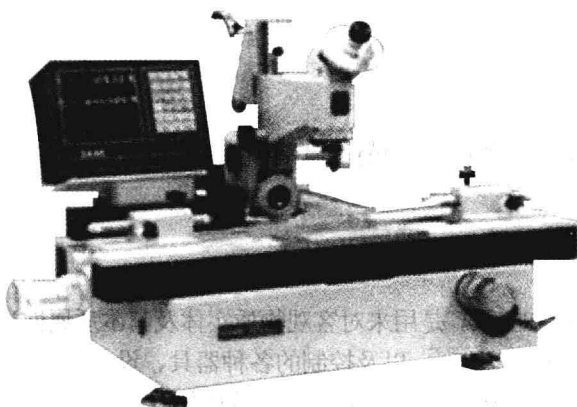


图 1-1 数字式万能工具显微镜



图 1-2 红外测温仪

### 3) 机械量测量仪器

机械量测量仪器是指各种测力仪、硬度仪、压力计、加速度与速度测量仪、力矩测量仪、振动测量仪及材料试验机等。图1-3所示为维氏显微硬度计,该硬度仪可以完成经过或未经热处理的有色金属或黑色金属以及陶瓷材料的硬度测试,测试过程全部实现自动化。图1-4所示为电子拉力试验机,可对物体进行拉力测试。

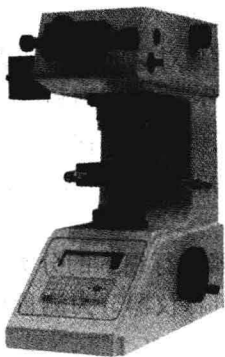


图 1-3 维氏显微硬度计

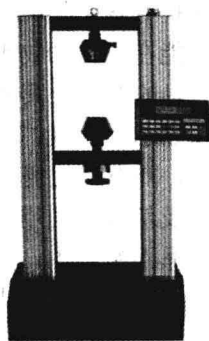


图 1-4 电子拉力试验机

### 4) 时间频率测量仪器

时间频率测量仪器是指各种计时仪器与钟表、铯原子钟、铂原子时间频率基准器、时间频率测量仪等。图1-5所示为国家授时中心守时用铯原子钟。铯原子钟是国际上规定的复现秒定义的标准装置,它的激励源是石英晶体振荡器,它利用铯原子内部的电子在两个能级间跳跃时辐射出来的电磁波作为标准,去控制校准电子振荡器,进而控制钟的走动。这种钟的稳定程度

很高,目前,最好的铯原子钟要达到500万年才相差1s。现在国际上,普遍采用铯原子钟的跃迁频率作为时间频率的标准,广泛应用于天文、大地测量和国防建设等各个领域。

#### 5) 电磁测量仪器

电磁测量仪器是指用于测量各种电量及磁量的仪器,如各种交/直流电流表、电压表、功率表、电阻测量仪、电容测量仪、静电仪、磁性材料测量仪和磁参量测试仪器等。图1-6所示为电容测量仪。

#### 6) 无线电参数测量仪器

无线电参数测量仪器包括示波器、信号发生器、相位测量仪、频率发生器、动态信号分析仪等。图1-7所示为动态信号分析仪。

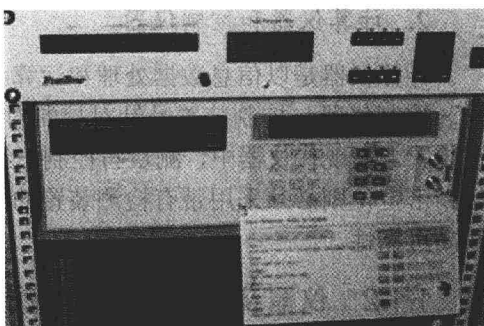


图 1-5 国家授时中心守时用铯原子钟

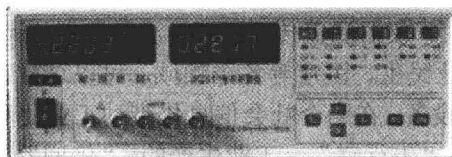


图 1-6 电容测量仪

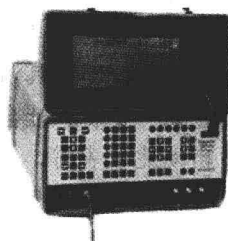


图 1-7 动态信号分析仪

#### 7) 光学与声学参数测量仪器

光学与声学参数测量仪器包括光度计、色度计、光谱辐射计、激光参数计量仪、光学传递函数测量仪等。图1-8所示为成像光谱辐射计,该辐射计可用于固定或移动目标的空间和光谱特征的测量,每个图像可提供多达15个不同的波长,帧速率高达150Hz。

#### 8) 电离辐射测量仪器

电离辐射测量仪器包括各种放射性、核素计量, $\alpha$ 射线、 $\gamma$ 射线及中子计量仪器等。图1-9所示为中子计量仪,它能精确测量从慢中子到快中子的所有能量水平的中子,同时能有效地屏蔽 $\gamma$ 辐射的干扰。

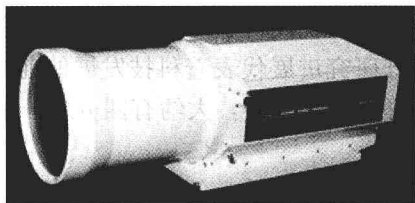


图 1-8 成像光谱辐射计



图 1-9 中子计量仪

以上8大类测量仪器在基本技术上是融会贯通的,其研究、设计和使用存在许多共性的东西。测量仪器还经常和观察仪器(显微镜、夜视仪、工业电视……)、显示仪器(记录仪、打



印机等)一起配套使用。

## 2. 计算仪器和控制仪器

计算仪器是以信息数据处理和运算为主的仪器,如各种专用计算器、通用计算机等。

控制仪器与控制装置是针对控制对象按照生产要求设计制作的控制装置和自动调整与校正装置。在现代仪器中,测量与控制已经密不可分。如在纳米测量技术中,精密工作台的纳米级精密定位则必须采用带有检测装置的闭环控制系统,否则,很难达到预定的高精度、高效率和高可靠性。

### 1.1.2 仪器及系统的地位与作用

仪器是体现一个国家高科技发展水平的重要标志之一,是信息时代的源头技术,发展至今已经成为一门独立的学科,具有多学科交叉融合的特点。

仪器是仪器仪表学科的重要组成部分。它研究的对象是各种物理量的测量及其相关控制所应用的仪器。这些物理量主要包括长度、力学、热工、电磁、光学、无线电、时间、频率和电离辐射等。当前,仪器及其测控技术已经渗透到人类的科学研究、工程实践和日常生活的方方面面,对促进生产发展和社会进步发挥着重要作用。仪器涵盖传感技术、测量仪器、计量仪器、分析仪器、自动化仪表等,广泛应用于国防、工业民生、医疗等各个领域。可以这样认为,仪器是物质世界信息测量与控制的基础手段和重要设备,在当今社会信息化带动工业化和产业化的过程中发挥着举足轻重的作用,是科学研究的“先行官”,工业生产的“倍增器”,军事保障的“战斗力”,国民活动中的“物化法官”。我国已故著名科学家钱学森院士指出:“信息技术包括测量技术、计算机技术和通信技术。测量技术对信息进行采集和处理,是信息技术的源头,是关键中的关键。”元素周期律的发现者俄国科学家门捷列夫说:“测量是科学的基础。”例如,生产过程中产品质量的控制和生产过程的自动化、节能等,这些都要测量生产过程中的有关参数并进行反馈控制,以保证生产过程中的这些参数随时处于最佳最优状态,确保生产质量和安全。

测量是揭示客观世界规律的手段,是人类认识客观世界最基本的方法,用仪器进行测量是人们从自然界获取信息的手段。广义地说,任何(实验科学)的结论,都是对实验数据统计推断的结果,而数据的取得,只有靠测量来完成。人们通过测量可以建立对客观事物属性量度的认识,并可通过对测量结果数据进行必要的归纳和演绎、从中找到客观事物的演变规律,提出科学的理论。因此,有名言道:“测量是科学进步的阶梯”,“没有测量,就没有科学”。测量技术是人类科学技术和改造客观世界能力的重要标志之一。

在人类社会已进入信息时代的今天,仪器作为获取、测量、传递、变换、处理、监视、显示及控制信息的重要工具,越来越得到广泛的重视,它已成为现代科学和生产技术发展必不可少的基本设备。科学仪器是从事科学研究的物质手段,其研究进展代表着科技发展的前沿,是一个民族、一个国家创新能力的重要体现。在诺贝尔物理和化学奖中,大约有四分之一的获奖者是因为在测试方法和仪器创新中的贡献而获奖的。

同时,仪器也是现代生产及改造传统工业,提高产品竞争能力的必备手段。因此在一定意义上讲,仪器技术和生产的发展标志着一个国家的技术与经济水平,仪器对国民经济发展有巨大的拉动作用。近几十年,世界上工业发达的国家十分重视仪器仪表的发展,早已很明智地优先发展仪器工业,其速度远远超过国民经济其他部门的发展。美国商务部国家标准局在20世纪



90年代评估仪器工业对美国国民经济总产值的影响时,发布的调查报告称,美国仪器仪表产业占社会总产值的4%,而它拉动的相关经济的产值达到社会总产值的66%,而且还明显有继续上升的趋势。仪器行业对国民经济发展的巨大促进作用由此可见一斑。

## 1.2 仪器的基本构成及其理论基础

### 1.2.1 仪器的基本构成

一个典型的仪器主要由实验装置、测量部件、数据处理、分析和输出设备,以及针对具体对象的控制设备等几部分构成。如图 1-10 所示的基于计算机的仪器构成,在许多场合下,要求仪器能够提供数字信号,以便于接入计算机数据采集系统或通信系统中。如果传感器的输出不是数字信号,则必须用模拟/数字(A/D)转换器将模拟信号转换为数字信号。数字信号送入计算机后,再进行处理、存储、显示或接入其他系统。

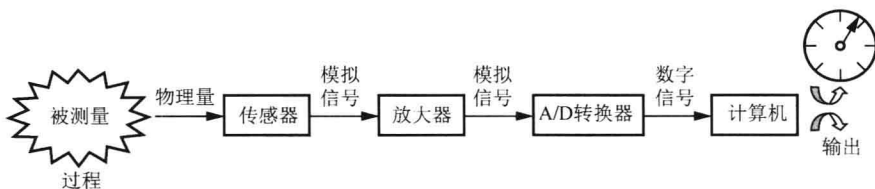


图 1-10 基于计算机的仪器构成

实验装置是一种能使被测对象处于预期待测状态的专口设备,它的作用在于充分暴露被测对象的内在特性以便进行有效的测量。

测量部件由传感器、信号测量电路或测量仪器(部件)组成。传感器是测量系统中的第一个环节,用于从被测对象获取信息或能量,并将其转换为适合测量的变量或信号。被测对象在一定的激励下,它的各种物理性能的变化经传感器完成由非电量到电量的转换,由此可见,对于不同的被测物理量要采用不同的传感器,因此所依据的构成传感器作用原理的物理效应也是千差万别的。对于一个测量任务来说,第一步便是能有效地从被测对象来取得能用于测量的信息,因此,传感器在整个测量系统中的作用是十分重要的。

数据处理(也称为信号调理)部分是对从传感器所输出的信号做进一步的加工和处理,包括对信号的转换、放大、滤波、存储、重放和一些专门的信号处理及标定等,完成对被测信号的测量。这是因为从传感器输出的信号往往除了有用信号外还夹杂各种有害的干扰和噪声,因此,在进行进一步处理之前必须先将干扰和噪声对有用信号的影响减小到能正常测量有用信号的范围内。另外,传感器的输出信号往往具有光、机、电等多种形式,而对信号的后续处理往往都采取电的方式和手段,因而有时必须对传感器的输出信号进行进一步的转换,转换为适合电路处理的电信号,其中也包括信号的放大。通过信号调理部分的处理,最终希望获得能便于传输、显示和记录,以及可进行进一步后续处理的信号。

输出设备部分是将经信号调理部分处理过的信号用便于人们观察和分析的对象和手段进行记录或显示,测量结果或用指示仪表指示出来,或用记录仪记录,还可传送给数据处理器作进一步处理运算或求谱分析,使之变成后续设备所需要的输入信号。一方面被显示、打印、记





录、存储、绘图；另一方面根据需要提供给控制仪器，作为控制的依据。

控制设备主要是根据数据处理单元按某种控制规律给出的控制信号对执行元件进行控制，从而使被控对象按照预定的指标或者规律运行，保证系统的正常工作和工业生产的正常进行。

以上功能都是通过传感器和不同的测量仪器、装置和控制设备来实现的，它们构成了一个仪器系统的核心部分。但是，被测（控）对象和观察者也是仪器系统的组成部分，它们同传感器、信号调理部分、控制器，以及数据显示和记录部分一起构成了一个完整的测控系统。这是因为在用传感器从被测对象获取信号时，被测对象通过不同的连接或耦合方式也对传感器产生了影响和作用。同样地，观察者通过自身的行为和方式也直接或间接地影响着系统的传递特性。因此，在评估一个测控系统的性能时也必须考虑这两个因素的影响。

随着生产实践和科学研究发展的需要，大量精度高、功能强、使用方便灵活、完全突破传统概念、全新一代的仪器不断涌现，已经得到了仪器界的广泛重视。这种仪器内部以微处理器为核心、具有信号采集、数据处理、显示记录、传输和测试过程自动控制等一系列功能，甚至还能辅助专家推断分析和进行决策，有自动补偿、自动校准、自动检测等较高的自动化水平和一定的分析判断能力，称为智能仪器。

### 1.2.2 仪器的功能特点

人类社会进入了信息时代，作为信息获取、测量、控制、监视与显示的仪器，无疑是一种极其重要的信息测量工具，是保证连续化生产设备安全、经济及自动化运行，为运行人员提供操作依据，为自动调节和控制过程参数乃至整个生产过程提供精确可靠信息的重要装备。

近20年来，世界上工业发达国家都十分重视仪器的发展，我国也已将信息产业作为优先发展的产业。因此，作为信息产业重要组成部分的仪器必将得到加速发展。近年来，由于半导体技术和微型计算机的飞速发展，微型计算机与仪器相结合，使仪器精度提高、功能扩展、可靠性增加。仪器的功能特点主要有以下几个方面：

（1）由于现代电子技术的应用，仪器能进行连续测量、记录和实时控制，并能根据测量的结果自行判断、运算与分析。反应速度快，不但适用于传统的静态测量，也适应飞速发展的动态测量的要求。

（2）微处理器的引入使现代仪器的功能较传统仪器有了极大的提高。仪器利用微处理器的数据处理能力，可以将几个不同参数的测量结果综合起来，从而间接地获得需要知道的测量参数。许多原来用硬件电路难以解决或根本无法解决的问题，由于利用软件而得到较好的解决。

（3）有较强的数据处理能力，即运算和判断的能力。如求平均值、方差、百分误差和统计分析等，仪器可以通过数据处理进行自动校正、非线性补偿、数字滤波等处理来修正、克服由各种传感器、变换器、放大器等引进的误差和干扰，从而能大大提高仪器的精度和其他性能指标。

（4）具有很高的自动化水平和自动测量的能力。如自动选择量程，自动调节零点、测试点和触发电平，自动校准、自动故障诊断和自动扫描键盘等，实现了测量过程的自动化，提高了测量的精确度、灵敏度和仪器的可靠性。

（5）具有可编程操作能力和人机对话的能力。现代仪器面板通常采用键盘操作和字符显示，通常都具备GPIB接口，配有IEC-625和RS-232等通用接口总线，能很方便地通过接口组成多功能自动测试系统，进行多点扫描检测。

（6）由于采用了微处理器，越来越多的硬件被软件所代替，重量、体积和功耗减小，结构简化，成本降低，仪器的可靠性和可维修性得以提高。