



21世纪高等职业技术教育 机电一体化专业规划教材
数控技术

机械工程

测试技术

■ 主 编 刘 春
■ 副主编 钟 诚

Jixie gongcheng
ceshi jishu



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

21 世纪高等职业技术教育机电一体化·数控技术专业规划教材

机械工程测试技术

主 编 刘 春
副主编 钟 诚

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书共9章,前6章中分别介绍了关于测试信号、测试系统的基本知识,主要包括测试系统的组成、信号及其描述、测试装置的基本特性、传感器、信号调理电路、显示记录装置等,第7~9章分别介绍了典型工程参数的测试、计算机辅助测试技术以及测试系统的抗干扰技术等实用技术。此外,在每章后安排了一定数量的思考题与习题,以使读者能够对本课程的主要内容进行有条理、有针对性的学习。书中还对一些测试技术的基本术语加注了英文注释。全书内容的编排有利于教师根据不同的教学时数进行适当取舍或拓展。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械工程测试技术 / 刘春主编. —北京:北京理工大学出版社, 2006. 8
ISBN 7-5640-0690-0

I. 机… II. 刘… III. 机械工程-测试技术-高等学校:技术
学校-教材 IV. TG806

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 083569 号

出版发行 / 北京理工大学出版社
社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号
邮 编 / 100081
电 话 / (010) 68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)
网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>
经 销 / 全国各地新华书店
印 刷 / 北京圣瑞伦印刷厂
开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16
印 张 / 21
字 数 / 422 千字
版 次 / 2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷
印 数 / 1~4000 册
定 价 / 32.00 元

责任校对 / 陈玉梅
责任印制 / 吴皓云

图书出现印装质量问题,本社负责调换

出版说明

当前，高度发达的制造业和先进的制造技术已经成为衡量一个国家综合经济实力和科技水平的重要标志之一，成为一个国家在竞争激烈的国际市场上获胜的关键因素。

如今，中国已成为制造业大国，但还不是制造业强国。我们要从制造业大国走向制造业强国，必须大力发展以数控技术为主的先进制造技术，提高计算机辅助设计与制造（CAD/CAM）的技术水平。

制造业要发展，人才是关键。尽快培养一批高技能人才和高素质劳动者，是先进制造业实现技术创新和技术升级的迫切要求。高等职业教育既担负着培养高技能人才的任
务，也为自身的发展提供了难得的机遇。

为适应制造业的深层次发展和数控技术的广泛应用，根据高等职业教育发展与改革的新形势，北京理工大学出版社组织知名专家、学者，与生产制造企业的技术人员反复研讨，以教育部《关于加强高职高专人才培养工作的若干意见》等文件对高职高专人才培养的要求为指导思想，确立了“满足制造业对人才培养的需求，适应行业技术改革，紧跟前沿技术发展”的思路，编写了这套高职高专教材。本套教材力图实现：以培养综合素质为基础，以能力为本位，把提高学生的职业能力放在突出位置，加强实践性教学环节，使学生成为企业生产服务一线迫切需要的高素质劳动者；以企业需求为基本依据，以就业为导向，增强针对性，又兼顾适应性；课程设置和教学内容适应技术发展，突出机电一体化、数控技术应用专业领域的新知识、新技术、新工艺和新方法；教学组织以学生为主体，提供选择和创新的空
间，构建开放、富有弹性、充满活力的课程体系，适应学生个性化发展的需要。

本套教材的主要特色有：

1. 借鉴国内外职业教育先进教学模式，顺应现代职业教育教学制度的改革趋势；
2. 以就业为导向，进行了整体优化；
3. 理论与实践一体化，强化了知识性和实践性的统一。

本套教材适合于作为高职高专院校机电一体化、数控技术、机械制造及自动化、模具设计与制造等专业的课程教学和技能培训用书。

北京理工大学出版社

前 言

机械工程测试技术涉及机械工程领域中的非电量电测技术和其他测试技术等知识，是工业生产中必不可少的重要技术手段。

本书作者长期从事测试技术的研究和教学工作，在总结教学经验的基础上。参考了同类教材的优点，力图编写一部能够体现“测试技术”在机械工程中的应用，形式上新颖，内容上有新意，避免学术专著的教材。全书概念清晰、深入浅出、实例生动，便于学生理解。

全书共分为9章：第1章为绪论，阐明了测试技术的基本概念、基本组成及本课程的学习任务；第2章介绍了常规的传感器以及一些先进的测试技术，如光纤传感器、超声波传感器、CCD传感器和数字传感器等；第3章讲述了电桥电路、信号的放大电路、调制和解调电路等信号调理电路以及常用的模拟式和数字式显示记录装置；第4章讲述了信号的时域分析、频域分析、幅域分析、时频分析、近代信号分析以及数字信号分析方法；第5章测试系统基本特性的主要内容为频域响应、时域响应等理论在测试系统中的应用，重点阐明了测试系统的动态特性是如何通过频率响应特性来获得的；第6章介绍了机械工程中常见的参数，如位移、力、机械振动、压力、流量和温度等参量的测量方法；第7章介绍了计算机测试系统的基本组成以及各环节的主要技术；第8章介绍了测试系统的基本设计步骤以及系统的抗干扰设计，并给出了三个系统的设计实例以帮助学生理解；第9章介绍了测试技术的发展方向，重点讲述了虚拟仪器技术，突出了计算机在测试系统中的应用和发展。

为适应教育改革的现状与发展，以及现代职业教育的特点与规律，本书结合高职高专学生的特点，对传统教材进行了大胆的改革尝试。其特点如下所述。

在第2章里，将传感器基本原理同它的应用以及测量电路相结合进行讲述，有利于学生把传感器的原理、结构、测量电路、应用作为一套完整的知识来理解，充分体现了本书安排

的合理性。第3章增加了数字滤波器的基本概念及 MATLAB 设计实例,既增加了学生的学习兴趣,又减少了数字滤波器的神秘感,突出了计算机在测试技术中的应用。根据以往的教学经验,信号分析是学生较难掌握的部分,本书尽量避免纯数学推导,将数学知识的要求限制在最简单的微积分知识之内,以力求用通俗化的语言简明地阐述有关数学内容的物理意义。第4章除了传统信号时域、频域以及幅域的分析外,还对时频分析以及一些更为先进的近代信号分析理论,如时序分析、高阶谱分析、功时谱分析、小波分析等方法进行了介绍,旨在拓宽学生的知识面;第4章将数字信号处理作为单独的一节来讲,使学生能够更为系统地掌握数字信号处理系统的组成及工作环节,更为清晰地明白数字信号处理系统与模拟信号处理系统之间的区别。本书将计算机测试系统单独另辟一章(第7章)进行描述,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系统所占有的越来越重要的地位。第8章以三个实例帮助学生或工程技术人员学会运用所学的测试技术和知识设计或构成现代的测试系统。为了适应形势的发展,第9章重点介绍了先进的 LabVIEW 虚拟仪器技术,在讲述过程中,尽量避免对虚拟仪器的软硬件结构、应用优势的泛泛而谈,新增了虚拟仪器 VI 的设计步骤,给出了两个简单的 VI 设计实例,可以激励学生学习的兴趣和主动性,学生可以尽早上机进行虚拟仪器设计的软件实验,并可将其用于实验中。

本书主要用做机械、机电类专业通用的高职高专技术基础课程教材,也可作为工程技术人员的参考书。

本书由刘春担任主编,钟诚担任副主编。在编写过程中参考了兄弟院校的教材和资料,得到了许多同仁的关心和帮助,谨致谢意。限于时间、篇幅及编者的业务水平,在内容上难免有缺点和不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 本课程的意义	(1)
1.2 测试技术的社会作用	(1)
1.3 测试技术的基本概念	(3)
1.3.1 测量方法及其分类	(3)
1.3.2 测量误差	(4)
1.4 测试系统的组成	(13)
1.5 本课程的内容	(15)
思考题	(16)
第 2 章 测试系统常用传感器	(17)
2.1 传感器概述	(17)
2.1.1 传感器的基本概念	(17)
2.1.2 传感器的基本组成	(18)
2.1.3 传感器的分类	(18)
2.1.4 传感器的应用	(20)
2.1.5 传感器的发展方向	(21)
2.2 弹性敏感元件	(23)
2.2.1 弹性敏感元件的基本特性	(23)
2.2.2 弹性敏感元件的材料	(25)
2.2.3 弹性敏感元件的应用	(26)
2.3 电阻式传感器	(28)
2.3.1 电阻应变式传感器	(28)
2.3.2 变阻器式(电位器式)传感器	(36)
2.4 电容式传感器	(39)
2.4.1 电容式传感器的工作原理	(39)
2.4.2 电容式传感器的测量电路	(42)

2.4.3	电容式传感器的应用	(44)
2.4.4	电容式传感器的使用注意事项	(45)
2.5	电感式传感器	(45)
2.5.1	变气隙式自感传感器	(46)
2.5.2	差动变压器式电感传感器	(48)
2.5.3	电感式传感器的应用	(49)
2.6	电涡流式传感器	(50)
2.6.1	电涡流式传感器的工作原理	(50)
2.6.2	电涡流式传感器的结构	(52)
2.6.3	电涡流式传感器的测量电路	(52)
2.6.4	电涡流式传感器的应用	(53)
2.7	压电式传感器	(54)
2.7.1	压电效应	(54)
2.7.2	压电元件的等效电路	(55)
2.7.3	压电式传感器的测量电路	(56)
2.7.4	压电式传感器的应用	(58)
2.8	磁电式传感器	(59)
2.8.1	动圈式磁电传感器	(60)
2.8.2	磁阻式传感器	(61)
2.9	光电式传感器	(63)
2.9.1	光电管	(64)
2.9.2	光电倍增管	(66)
2.9.3	光敏电阻	(66)
2.9.4	光电池	(68)
2.9.5	光敏二极管和光敏晶体管	(69)
2.9.6	光电式传感器的分类	(70)
2.9.7	光电式传感器的应用	(71)
2.10	热电式传感器	(73)
2.10.1	热电偶	(73)
2.10.2	热电阻	(76)
2.10.3	热敏电阻	(78)
2.10.4	集成(IC)温度传感器	(82)
2.11	霍尔式传感器	(83)
2.11.1	霍尔元件的工作原理	(83)
2.11.2	霍尔元件的零位误差	(84)

2.11.3	霍尔元件的温度特性	(84)
2.11.4	霍尔传感器的类型及应用	(85)
2.12	光纤传感器	(86)
2.12.1	光纤的传光原理	(87)
2.12.2	光纤的传感器的分类	(88)
2.12.3	光纤传感器的优点	(88)
2.12.4	光纤传感器的应用	(89)
2.13	超声波传感器	(91)
2.13.1	超声波的波形	(91)
2.13.2	超声波的传输特性	(92)
2.13.3	超声波的产生和接收	(93)
2.13.4	超声波检测的原理	(93)
2.13.5	压电超声波传感器的结构	(93)
2.13.6	超声波传感器的应用	(94)
2.14	CCD 图像传感器	(97)
2.14.1	CCD 传感器的工作原理	(97)
2.14.2	CCD 传感器的应用	(98)
2.15	数字式传感器	(99)
2.15.1	编码器	(99)
2.15.2	光栅传感器	(102)
2.15.3	感应同步器	(105)
2.15.4	频率式数字传感器	(109)
2.16	智能传感器	(112)
2.16.1	智能传感器的特点	(112)
2.16.2	智能传感器的典型结构	(113)
2.16.3	DSTJ-3000 智能式差压、压力变送器	(113)
2.17	传感器的选用原则	(114)
	思考题	(116)
第3章	测试信号调理电路与显示记录	(117)
3.1	电桥	(117)
3.1.1	直流电桥	(117)
3.1.2	交流电桥	(119)
3.2	信号的放大	(121)
3.2.1	基本应用电路	(122)

3.2.2	测量放大器	(123)
3.2.3	增益调控测量放大器	(124)
3.2.4	隔离放大器	(124)
3.3	信号的调制和解调	(125)
3.3.1	信号的调幅与解调	(126)
3.3.2	信号的调频与解调	(129)
3.4	滤波器	(132)
3.4.1	模拟滤波器的原理与分类	(133)
3.4.2	理想滤波器	(134)
3.4.3	滤波器的基本参数	(135)
3.4.4	RC 滤波器	(136)
3.4.5	有源滤波器	(139)
3.4.6	数字滤波器	(141)
3.5	信号的显示与记录	(144)
3.5.1	模拟式显示记录装置	(144)
3.5.2	数字式显示记录装置	(155)
	思考题	(162)
第4章	测试信号的分析	(164)
4.1	信号的分类	(164)
4.1.1	确定性信号	(164)
4.1.2	非确定性信号	(165)
4.2	信号的时域分析	(166)
4.2.1	信号的时域特征参数	(166)
4.2.2	信号的相关分析	(169)
4.3	信号的频域分析	(173)
4.3.1	周期信号的频域分析	(173)
4.3.2	非周期信号的频域分析	(179)
4.3.3	随机信号的频域分析	(184)
4.4	信号的幅域分析	(187)
4.5	信号的时频分析	(188)
4.6	近代信号分析方法简介	(188)
4.6.1	时序分析	(189)
4.6.2	功时谱分析	(189)
4.6.3	小波分析	(189)

4.7	数字信号处理	(190)
4.7.1	模拟信号的数字化	(191)
4.7.2	离散傅里叶变换和快速傅里叶变换	(196)
	思考题	(197)
第5章	测试系统的基本特性	(198)
5.1	线性时不变系统	(198)
5.1.1	线性时不变系统的微分方程	(198)
5.1.2	线性时不变系统的性质	(200)
5.2	测试系统的静态特性	(201)
5.3	测试系统的动态特性	(203)
5.3.1	测试系统的传递函数	(204)
5.3.2	测试系统的频率响应函数	(205)
5.3.3	零阶系统的动态特性	(205)
5.3.4	一阶系统的动态特性	(207)
5.3.5	二阶系统的动态特性	(209)
	思考题	(211)
第6章	测试技术在机械工程中的应用	(213)
6.1	位移的测量	(213)
6.1.1	常用的位移测量方法	(214)
6.1.2	常用的位移传感器	(215)
6.1.3	位移传感器的选用原则	(220)
6.2	力的测量	(221)
6.2.1	电阻应变式测力传感器	(221)
6.2.2	电容式差压传感器	(228)
6.2.3	压磁式测力传感器	(228)
6.3	振动的测试	(230)
6.3.1	机械振动测试的基本内容	(230)
6.3.2	机械振动参数的测试	(231)
6.3.3	振动系统特性参数的测试	(235)
6.4	压力的测量	(238)
6.4.1	压力的基本概念	(238)
6.4.2	压力传感器的分类	(239)
6.4.3	常用的压力传感器	(240)

6.5	流量的测量	(242)
6.5.1	流量的表示方法	(242)
6.5.2	常用流量计	(243)
6.6	温度的测量	(247)
6.6.1	温度测量概述	(247)
6.6.2	测温方法与测温传感器的分类	(249)
6.6.3	常用的测温计	(251)
	思考题	(255)
第7章	计算机测试系统	(256)
7.1	概述	(256)
7.2	数据采集系统	(256)
7.2.1	多路模拟开关	(258)
7.2.2	采样/保持电路	(258)
7.2.3	模数和数模转换器	(259)
7.2.4	数据采集系统的构成方式	(266)
7.3	自动测试系统	(268)
7.3.1	自动测试系统的结构及特点	(268)
7.3.2	自动测试系统的发展历程	(269)
7.3.3	自动测试系统的总线技术	(270)
7.4	智能仪器	(272)
7.4.1	智能仪器的组成	(272)
7.4.2	智能仪器的性能特点	(274)
7.4.3	智能仪器的典型功能	(275)
7.4.4	智能仪器的发展趋势	(276)
	思考题	(277)
第8章	测试系统设计及实例	(278)
8.1	测试系统设计概述	(278)
8.2	测试系统的抗干扰设计	(279)
8.2.1	干扰的来源	(280)
8.2.2	干扰的传播途径	(281)
8.2.3	干扰的作用方式	(282)
8.2.4	干扰的抑制方法	(283)
8.3	低功耗便携式心电图记录系统的设计	(285)

8.3.1	心电图记录系统的功能和组成	(285)
8.3.2	心电图记录系统的硬件组成	(287)
8.3.3	心电图记录系统的软件设计	(288)
8.3.4	系统实验验证	(289)
8.4	基于虚拟仪器技术的压缩机液位测量系统	(292)
8.4.1	压缩机液位测量方法的确定	(292)
8.4.2	压缩机液位测量方案	(293)
8.4.3	硬件设计	(293)
8.4.4	软件开发	(295)
8.4.5	信号处理和液位测量试验	(298)
8.5	电磁声裂纹检测虚拟仪器系统	(299)
8.5.1	电磁声的发射和接收原理	(299)
8.5.2	硬件电路原理	(301)
8.5.3	软件设计	(302)
8.5.4	系统功能验证	(304)
思考题	(305)
第9章	现代测试技术的发展方向	(306)
9.1	测试技术的发展方向	(306)
9.2	虚拟仪器技术	(307)
9.2.1	虚拟仪器概述	(308)
9.2.2	虚拟仪器的系统构成	(308)
9.2.3	虚拟仪器的发展过程	(312)
9.2.4	LabVIEW 虚拟仪器开发系统	(312)
9.2.5	虚拟仪器 VI 的设计步骤	(314)
9.2.6	简单虚拟仪器 VI 的设计示例	(314)
9.2.7	虚拟仪器技术在现代测试系统中的应用	(318)
思考题	(319)
参考文献	(320)

第 1 章

绪 论

测试技术是信息时代的一门基础和核心技术。随着科学技术的发展和生产力水平的提高,测量、检测问题也越来越广泛地存在于各行各业中,测试技术的重要性和必要性随之日益体现出来。因此,测试技术这门学科必然会有良好的发展前景和广泛的适用性,尤其在机械工程领域和先进制造技术中,自动化智能测试技术已成为重要的技术基础。本章将对测试技术做一个简单的基础性介绍,使读者初步了解测试技术的基本概念(包括测量的基本方法、测量误差的分类和测量数据的统计处理)以及测试系统的基本组成等,为后续章节的内容做铺垫。

1.1 本课程的意义

人类在观察和研究自然界的各种现象时,需要借助一定的仪器或仪表组成检测系统。检测系统是人类感官极其重要的扩展和延伸,而自动化测试技术也已成为自动化科学技术的一个重要分支学科,它是在仪器仪表的使用、研制、生产的基础上发展起来的一门综合性技术学科。

测量和检测问题广泛地存在于各行各业,存在于生产、生活等领域,而且随着生产力水平与人类生活水平的不断提高,对测量和检测问题提出了越来越高的要求,除了要求能准确、迅速、可靠地完成检测任务之外,还要求能实现自动、智能化的检测,即如何使用各种先进技术、现代化的检测工具和手段来组建先进的自动检测系统。随着微型计算机技术的迅速发展和普及,测试技术发生了深刻的变革,目前已进入智能传感器、智能仪表和智能测试系统阶段,因此,自动化智能测试已越来越显示出它的重要性。

1.2 测试技术的社会作用

测试技术是进行各种科学实验研究和生产过程参数检测等必不可少的手段,是一切科学

发展的手段。一切的科学发现和发明创造都始于对事物的观察。伟大的化学家、计量学家门德列耶夫曾经说过：“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。”通过测试可以揭示事物的内在联系和发展规律，从而去利用它和改造它，推动科学技术的发展。科学技术的发展历史表明，人类史上许多重大的发现和发明都是从仪器仪表和测试技术的进步开始的。人们通过哈勃望远镜进行天体科学的研究，天体科学领域内的许多重大发现都是依靠哈勃望远镜的观测而得到的；人们通过安装在人造卫星和飞机上的传感器来获取有关数据，从而了解外星球的地质状况，获得星球表面的图像等；人类对事物新的认识也只有经过测试和考核，才能验证其正确性，才能形成真正的科学。同时，其他领域科学技术的发展和进步又为测试提供了新的方法和装备，促进了测试技术的发展。我国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。

1. 测试技术是信息技术发展的源泉

当今时代是信息时代，信息科技包括了信息的获取、处理、传输、存储和执行。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，所以测试技术是信息技术的核心之一。处于源头的信息最微弱，最容易受到干扰，而信息的准确性首先取决于源头信息，取决于测试。随着科学技术的发展和生产力水平的提高，测试技术的重要性和必要性日益体现出来，它必然会有良好的发展前景和广泛的适用性。在机械工程领域和先进制造技术中，测试技术早已成为重要的技术基础和实现手段。

2. 测试技术是国防科技发展中的关键技术

在国防工业武器系统的研制中，测试工作贯穿于武器系统研制的全过程，所有的现代化武器都必须含有反应灵敏、精密度极高的仪器仪表。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。

3. 测试技术与人类生活息息相关

如今，测试技术已经进入千家万户，融入人们生活中的点点滴滴，人们的衣食住行中都有测试技术的应用。便携式心电图可以随时捕捉到人们的心电信号，为心脑血管病人提供安全保证；人工假肢通过测试正常人在小脑指挥下的神经系统机电运动的控制信号，利用电激励模拟神经刺激，恢复人类的肢体运动；汽车上的传感器可以检测汽车行驶状况，保障人们的安全。可以看出，在人类的日常生活中，测试技术的发展已经成为提高人们生活质量的一个重要保证。

4. 测试技术机械工程领域各项研究的技术支撑

在机械工程研究领域，产品的设计及开发、产品质量控制、机械性能试验、生产线的自动化及智能化、机电设备状态监测、故障诊断等许多研究都要以先进的测试技术为技术支撑。在机械工程技术中广泛应用的自动控制技术也和测试技术有着密切的关系，测试装置是自动控制系统中的感觉器官和信息来源，对确保自动化系统的正常运行起着重要作用。

测试技术的先进程度已成为一个地区乃至一个国家科技发达程度的重要标志之一，更是

一个国家参与国际市场竞争的一项重要基础技术。可以肯定，测试技术的社会作用及地位在今后将更加重要和突出。

1.3 测试技术的基本概念

测试就是利用各种物理和化学效应，选择合适的方法与装置，将生产、生活或科研等方面的有关信息，通过测量与试验的方法获取被测量定性或定量结果的过程。

1.3.1 测量方法及其分类

在实际测量中，由于测量仪器的不准确，测量方法的不完善，以及测量环境、测量人员本身等各种因素的影响，会使实验中测得的值和它的真实值之间造成差异，即产生测量误差。随着科学技术的日益发展和人们认识水平的不断提高，虽可将误差控制得愈来愈小，但始终不能完全消除它。为了得到要求的测试精度和可靠的测试结果，需要认识测量误差的规律，以便消除和减小误差。

1. 测量的概念

测量就是在有关理论的指导下，借助专门的仪器或设备，通过实验和数据处理，收集被测对象信息的过程。例如，用压力计测压力，用电压表测负载两端的电压等。

2. 测量方法的分类

测量方法有很多的分类方式。根据测量条件，可以分为等精度测量和非等精度测量；根据被测测量在测量过程中是否随时间变化，可以分为静态测量和动态测量；按获得测量结果的方法分类，可分为直接测量、间接测量和组合测量；按测量方式分类，可分为直读法、零值法、较差法和替代法等。除了上述分类外，还有另外一些分类方法，例如，按测量敏感元件是否与被测介质接触，可分为接触式测量与非接触式测量；按测量系统是否向被测对象施加能量，可分为主动式测量和被动式测量；按被测量性质，可分为时域测量、频域测量、数据域测量和随机测量等。

1) 直接测量

直接测量就是用预先标定好的测量仪器或工具，对某一未知量进行直接测量，从而得到未知量的数值。例如，用弹簧管压力表测量压力，用磁电式仪表测量电压或电流，用直流电桥测量电阻，用温度计测温度，用玻璃水位计测量水箱中的水位等。直接测量的优点是测量过程简单而迅速。它是工程技术中应用最为广泛的一种测量方法，但是测量精度不高。

2) 间接测量

间接测量就是指不直接测量被测量，而是对与被测量有确切函数关系的物理量进行直接测量，然后通过已知函数关系的公式、曲线或表格，求出被测量的大小。例如，在测量直流电路中的负载功率时，先直接测量流过负载的电流 I 和负载两端的电压 U ，然后根据功率与