

“十二五”高等学校机械类专业规划教材

机械工程 测试技术

祝海林 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



本书结合编者十余年来的教学经验和科技新成就,学习和借鉴了同类优秀教材特别是国外精品教材的写作思路,以导入案例、阅读材料、知识链接等形式将一些与课程相关的材料(历史、理论出处、应用等)穿插在每一章中,弥补了某些工科教材艰深古板、枯燥乏味的不足。本书内容充实,深浅适当,风格清新活泼,突出趣味性、可读性,是一本适应高等教育大众化需要的实用教材。全书共分9章,包括信号及其描述、测试系统基本特性、传感器原理、信号变换及调理、显示与记录仪器、信号处理与分析、振动与噪声测量。

本书可作为高等学校机械设计制造及其自动化或相近专业本科生教材和研究生的参考用书,也可供高职高专、广播电视大学和成人教育有关专业选用。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程测试技术/祝海林主编. —北京:机械工业出版社,2012.7
“十二五”高等学校机械类专业规划教材
ISBN 978-7-111-38335-2

I. ①机… II. ①祝… III. ①机械工程—测试技术—高等学校—教材
IV. ①TG806

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第157777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:孔劲 责任编辑:孔劲

版式设计:霍永明 责任校对:王欣

责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2012年8月第1版第1次印刷

184mm×260mm·26印张·643千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-38335-2

定价:49.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

策划编辑:(010)88379772

社服务中心:(010)88361066

网络服务

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

读者购书热线:(010)88379203

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

作 者 序

倘若有人问你，从小学到大学，哪门课让你终生难忘？恐怕你答不上来。如果问你最不喜欢哪些课，也许你能历数出一二三条。

学习，原本是一种艰苦的劳动，理工科的理论知识更是抽象深奥，哪有游戏、QQ聊天好玩。不然，学海无涯无需以“苦”作舟，测不准的海森堡比比皆是了。

有人说，世上最贵重的黄金、白金，也比不上霍金。普通公众也许只知道这个在轮椅上坐了近50年的瘫痪病人写过《时间简史》——一本可能是世界上最难看懂的畅销书——全球销量几乎达到1000万册。宇宙的难以理解之处就在于它居然是可以理解的，而霍金的书令人难以理解的地方则在于，难以理解的它居然卖出去了，还很畅销。霍金17岁那年，做医生的父亲希望他学医，但他不喜欢生物学，因为他认为这个学科不够抽象。在理论物理中，有两个领域是最抽象也最基本的，一个是看不见摸不着的基本粒子，另一个是庞大的宇宙。霍金觉得粒子物理不如宇宙学抽象，前者更像生物学，霍金选择了研究宇宙学。最终，他的黑洞理论和量子宇宙理论震动了科学界，成为享有国际盛誉的广义相对论和宇宙理论家。

大发明家爱迪生几乎每天在实验室里工作18个小时，在那里吃饭睡觉，但他丝毫不以为苦，他说：“我一生从未做过一天工作，我每天都其乐无穷。”就是这个从未进过学校的人，这个报童出身的人，视工作为快乐，发明了灯泡、电话等一千多种专利产品，改变了我们世人的生活。

孔子说过“知之者不如好之者，好之者不如乐之者”。霍金、爱迪生的故事告诉我们，兴趣是最好的老师，是学习的动力，是成功的催化剂。只要有心、用心、用身去感觉，知识的魅力无处不在。

教材是课程学习的依据，只有让学生对教材感兴趣，真正的喜欢学习，就不愁课程学不好。本书正是基于这样的想法，试图从学生的兴趣、已有的生活经验和实际出发，尽可能地将人文知识融入抽象的知识讲解之中，让学生的学习活动或多或少成为一种愉快的体验。作者这种投石问路式的尝试，希望能够为我国工科院校专业教材建设起到抛砖引玉的作用。

著名漫画家丁聪先生，跨了两个世纪之后，依然思维前卫，佳篇迭出，艺术之树常青。有人说：“丁聪不竭的创造能力，缘于他的天分，他是个千年一出的天才。他年近九旬，还自称‘小丁’，待人接物率真坦直，毫无心机——他的创作激情，缘自他始终不肯长大，始终不肯一息消泯的童贞和天趣。”

虽然兴趣在知识学习过程中扮演着一个相当重要的角色，但兴趣绝不是天生注定一成不变的。兴趣可以与生俱来，也可以后天培养。只要你愿意培养自己的兴趣，历久成习惯，习惯成自然，兴趣就会不知不觉地产生了。千万不要拿没兴趣作为搪塞自己的借口，否则会使你的知识储备残缺不全、参差不齐，由此引起的对以后的人生直接或间接的影响是无法估量的，所以要注意培养兴趣！

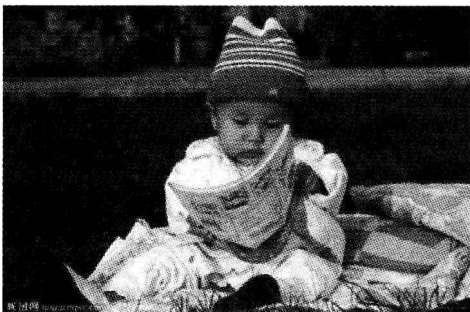
世界很大，事情太多，一个人不可能体验或享受世界所有的精彩，无论感情、事业还是人生，但你可以从别人的故事中吸取经验。

要明白什么是学习？生命有限，你不可能亲身经历、去探究一切未知的东西。学习可以帮助你体验别人经历过的精彩，所以学习很重要，但生活的真实存在更重要。记住，任何理论都是发展的，要学习理论，同时也要怀疑理论、有所创新。任何人活在这个世界上，都有过人之处。面对世界和社会，包括科学技术，如果你一直保持婴儿第一次看世界的好奇心与新鲜感，你就会不断有新的发现、新的创造。学习的本质，不在于记住哪些知识，而在于它触发了你的思考。本教材的目的就是为了唤醒年轻学子永不停歇的理性的思考，让求知者既见树木、又见森林。

科学源于对世界的童真！想象力比知识更重要！

祝福你那可爱的前途光明！

为生命中的青春举杯！



前 言

测试技术是获取信息、分析和处理测量数据的关键技术与手段，是从事科学研究、产品质量检验与控制不可缺少的工具。现代机械设备大多是集机械、电子、信息、控制为一体的复杂机电系统，这些设备的创新设计、运行状态监测、故障诊断与维护都离不开测试技术。随着制造业信息化的发展，测试技术与机械工程紧密结合，已成为机械工程领域重要的组成部分。因此，机械工程测试的原理、方法等方面的知识是已经或将要从事机械工程领域科技与生产的人员必须学会、必须掌握的一门重要的技术基础知识。为此，国内外许多高校将测试技术课程列入机械类各专业本科教学的主干课程和研究生的学位课程。

近年来，传感技术、微电子技术、材料科学、信号处理与计算机技术取得了突破性进展，使得综合运用上述诸多学科的测试技术发生了深远的变革，推动着测试仪器、测试方法不断更新换代，也促成了很多版本的测试技术教材和教学参考书问世。由于测试技术课程涉及的知识面广、理论分析抽象复杂，学生对教材内容经常感到困惑：“我学的这些理论知识，有用吗？在什么地方用的上？”鉴于此，本教材以现有的多种版本为参考，借鉴了同类优秀教材特别是国外精品教材的写作风格，结合作者十余年来的教学经验与学生反馈意见，同时又紧扣时代脉搏，适应高等教育大众化的需要撰写而成。力图使教材体现测试技术在机械工程实际中的应用，形式新颖、内容有新意，便于教学和自学。

本书以培养学生从事实际测试工作的基本能力和基本技能为目的，将理论知识的讲解与社会、科技发展的现实相结合。在内容编排时贯彻少而精、人文知识与科技知识相融合的原则，以“必需、够用、实用”为度，注意了知识点的由浅入深、循序渐进和相互渗透，通过“导入案例”、“知识链接”、“阅读材料”、“小思考”、“核心提示”、“应用案例”等拓展信息量，使教材具有开放性，留给教师和学生可以发挥、探索的空间，注重学生学习兴趣的培养及与生活经验、实际应用之间的融会贯通，也拉近了理论教学与生产实际的距离，让学生明白理论知识学习的意义，达到学以致用、学以致用的教学效果。

和其他教材相比，本书的特点是：考虑到新时代年轻学子好奇、喜新、求趣的心理需求和认知规律，对测试技术基本知识的表达力求做到通俗易懂、图文并茂、内容丰富且精炼，强调知识联想、抽象理论与工程背景及工程应用的结合，目的是培养学生理论联系实际、灵活运用所学理论知识分析并解决问题的能力，并以此激发学生对课程学习的兴趣，在愉悦中唤起他们的求知欲望，为日后的应用奠定良好的基础。在每章后安排了小结及若干思考与练习题，以使读者能够对本章主要内容进行有条理、针对性的学习。

全书共9章，前7章围绕测试系统的组成，首先从我们身边的测试技术谈起，依次介绍了与机械工程相关的测试技术的基本概念、基础理论和应用技术，主要包括测试信

号及其描述、测试系统基本特性的评价方法、常用传感器原理与应用、信号调理分析与处理、显示记录装置的特点等,第8~第9章分别介绍了机械工程领域经常遇到的振动、噪声测量等实用知识。

本书主要由祝海林教授编写,其他参加编写的还有邹旻、喻勇、胡如夫、冯小平、胡爱萍教授和吴泽龙副研究员、虞锋及宋业存副教授、沈爱娟老师,最后由祝海林教授负责全书统稿及修改工作。在编写过程中,编者参阅了大量教材、专著、网络和论文,尤其是书后所列的文献,从中受益匪浅,在此特向有关作者表示衷心的感谢。

在本书成稿过程中,北京科技大学高澜庆教授、北京大学姜天仕教授、国家液压元件质量监督检验中心宋学义高工、华中科技大学钱祥生教授、湖北工业大学徐声钧教授、解放军理工大学龚烈航教授等曾给予许多指导与鼓励。作者还得到常州大学刘雪东、郭强、张锁龙、裴峻峰等教授、张煌老师及北京大学出版社童君鑫、周瑞等先生的大力帮助。北京理工大学魏一鸣教授,北京化工大学李方俊教授,北京科技大学石博强教授、马飞教授,中国测试技术研究院胡静高工等曾与作者进行过不少学术探讨,作者还要特别感谢本书的策划编辑孔劲博士,本书的出版离不开他们的关心和帮助。

限于学识、水平和经验,书中难免存在一些问题和不妥之处,恳请同行专家与读者提出宝贵意见,以便再版时修正。

编 者

目 录

作者序

前言

第一章 绪论	1
第一节 测试的基本概念	2
第二节 信息与信号	4
第三节 机械工程中的测试方法——非电量电测法	6
第四节 测试工作的任务	12
第五节 测试技术的应用	13
第六节 测试技术的发展趋势	17
第七节 本课程的特点及学习要求	19
本章小结	21
思考与练习	22
第二章 信号及其描述	23
第一节 信号的分类	24
第二节 信号的描述方式	32
第三节 周期信号及其离散频谱	34
第四节 非周期信号及其连续频谱	49
第五节 随机信号	67
本章小结	74
思考与练习	75
第三章 测试系统的基本特性	77
第一节 概述	77
第二节 测试系统的静态特性	82
第三节 测试系统的动态特性	90
第四节 典型测试系统的动态特性分析	95
第五节 典型激励的瞬态响应	102
第六节 测试系统动态特性参数的获取	104
第七节 实现不失真测试的条件	107
本章小结	110
思考与练习	111
第四章 传感器	113
第一节 概述	113
第二节 电阻式传感器	130
第三节 电感式传感器	144
第四节 电容式传感器	153
第五节 电涡流式传感器	161
第六节 压电式传感器	169
第七节 热电式传感器	185
第八节 磁电式传感器	198
第九节 霍尔 (Hall) 传感器	204
第十节 光电式传感器	211
第十一节 光导纤维传感器	220
第十二节 传感器的选用	228
本章小结	229
思考与练习	229
第五章 信号变换及调理 (中间变换器)	231
第一节 电桥	232
第二节 调幅及其解调	243
第三节 调频及其解调	252
第四节 滤波器	257
本章小结	271
思考与练习	272
第六章 显示与记录仪器	274
第一节 概述	275
第二节 笔式记录仪	277
第三节 光线示波器	280
第四节 磁带记录仪	283
第五节 新型记录仪	288
第六节 虚拟仪器	291
本章小结	303
思考与练习	303
第七章 测试信号的处理与分析	305
第一节 概述	305
第二节 信号的数字化处理	307
第三节 信号的相关分析	318
本章小结	333
思考与练习	334
第八章 机械振动的测试	335
第一节 概述	335
第二节 单自由度系统的受迫振动	341
第三节 机械振动的激励	346
第四节 测振传感器	354

第五节 振动信号分析仪器	356	第二节 噪声的度量	377
第六节 振动测量的实施	361	第三节 噪声测量常用仪器	388
第七节 固有频率和阻尼比的测试	364	第四节 噪声测量方法及有关问题	396
第八节 振动的控制	368	第五节 噪声的控制	398
本章小结	371	本章小结	402
思考与练习	371	思考与练习	403
第九章 噪声的测量	373	参考文献	405
第一节 概述	373		

第一章 绪 论

【本章学习要求】完成本章内容的学习后应能做到：

1. 了解测试的含义及其基本内容。
2. 掌握非电量电测法的概念、基本组成及各部分的功能。
3. 了解测试技术的应用领域、发展动态。
4. 明确测试技术的任务、学习方法及学习要求。

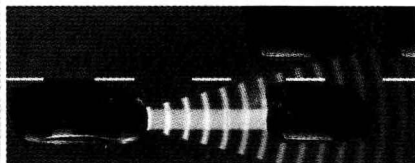
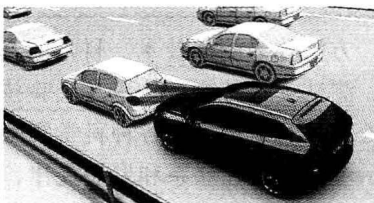
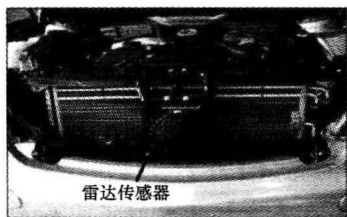
导入案例



人们对交通安全的不断重视，推动了汽车前向碰撞报警、前向主动避撞、自适应巡航控制等车辆主动安全技术的飞速发展。上述技术的共同点是通过车用测距雷达测量主车与目标车之间的距离、相对速度以及相对方位角等信息，并将其传送给系统的控制单元。

车用测距雷达是实现汽车主动安全技术的关键技术之一，是当前智能交通、信号处理以及传感器工业的研究热点。

数据显示，在车祸造成的死亡事故中，追尾占 25%。特别是在高速行驶中，车辆更容易发生追尾事故。目前，部分高档轿车上安装有车距监控防撞系统，大大提高了车辆行驶的安全性，降低了车辆追尾事故发生的概率。车距监控防撞系统是一个智能型自动定速巡航系统，该系统的核心是安装在车头部散热器上的测距雷达传感器，俗称为“电眼”。通过雷达传感器不断侦测与前车的距离，根据车辆自身的车速、两车的距离、角度以及道路等情况决定车辆速度，与前车保持一定的距离，让驾驶更安全。在距离前车太近时会发出报警声，并启动制动装置。当前车紧急制动时，即使本车司机没反应过来，车距监控防撞系统也会马上计算出合适的制动力度和制动距离，在与前车相撞之前自动制动停车。



“倒车请注意！”想必不少人还记得这个声音，这是倒车雷达的第一代产品，现在只有小部分商用车还在使用。只要司机挂上倒挡，它就会响起，提醒周围的人注意。从某种意义上说，它对司机并没有直接的帮助，不是真正的倒车雷达。


第一节 测试的基本概念

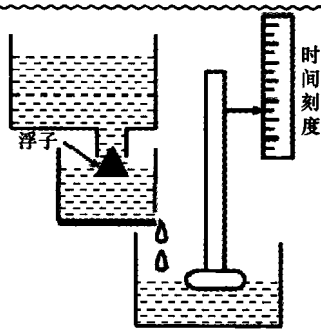
人类对自然界的一切认识均离不开对自然界信息的获取。在日常生活中，人类可凭借感觉器官获取大量信息。但在浩瀚的科学技术领域中，欲获取事物内在规律的信息，无论在获取信息的幅值上，还是时间、空间上，或在分辨信息的能力方面，人类的感覺和大脑功能十分有限。因此，伽利略主张根据观测和实验对自然界的现象、特性进行定量描述。

测试起着类似人的感觉器官的作用，定量的描述事物的状态变化和特征总离不开测试。人们对客观世界的认识和改造总是以测试为基础的，翻开人类历史，在文化最先发达的地区，都有测量工作的史实记载。人类早期在从事生产活动时，就已经能够对长度（距离）、面积、时间和质量进行测量。最初的计量单位或是和自身生理特点相联系（如长度），或是与自然环境相联系（如时间）。公元前 27 世纪，埃及大金字塔的建设，其形状与方向都很准确，表明当时已有放样的工具与方法。秦始皇（公元前 259 年～公元前 210 年）统一中国建立秦朝后，立即统一度量衡制度，对发展生产力和推动社会进步发挥了积极作用，说明恰当的测试工作对发展生产和社会交往的重要性。


【名人名言】伟大的化学家、计量学家门捷列夫（Mendelyev, Dmitry Ivanovich）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”。

阅读材料：铜壶滴漏计时器

铜壶滴漏又称漏壶、刻漏、水钟等。它以壶盛水，常常几个壶连在一起，上边的几个壶底都有小孔，上层的壶装满水后，水以恒定的流量滴入下层的壶，最下边的壶中有一直立的浮标（也叫刻箭），上有刻度。漏壶就是根据水位高低使浮标升降，观测壶中刻箭刻度来计算时间的昼夜计时器。漏壶可以不分白天、夜晚，不分晴天、雨天计时。漏是古代中国人的习惯用语，含义就是现在的“钟”。我国现存最完整的成组型滴漏是元代仁宗延佑三年（公元 1316 年）铸造，这件铜壶滴漏从制成之日起一直被使用到公元 1900 年前后，历时将近 700 年。



用以实现测试目的所运用的方式、方法称为测试技术。科学的基本目的在于客观地描述自然界，测试技术是实验科学的一部分。测试技术是测量技术及试验技术的总称，主要研究各种物理量的测量原理、测量信号的分析处理方法，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。通过测试可以揭示事物的内在联系和发展规律，进而加以利用和改造，推动科学技术的发展。科学技术的发展历史表明，科学上许多新的发现和突破都是以测试为基础的。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需要测试技术，现代社会的进步无一不与测试技术的广泛应用相关联。同时，其他领域科学技术的发展又为测试工作提供了新的方法和装备，促进了测试技术的发展。

 **【特别提示】**测试技术是关于将被测量转换为可检测、传输、处理、显示或记录的量，再与标准量比较的过程技术。

测试技术几乎涉及任何一项工程领域,无论是生物、海洋、气象、地质、雷达、通信以及机械、电子等工程,都离不开测试与信息处理。例如,过程监测(如环境温度测量、气体和水体积测量以及临床监测)和过程控制(如研究不规则形状物体内部的温度分布、确定汽车碰撞时仿真驾驶员模型各部位的受力分布)。测试技术并不神秘,在日常生活中,会随处可见测试技术的应用例子。例如,空调、电冰箱中的温度测量和压缩机起/停控制装置,全自动洗衣机中衣服的质量和 water 的测量、洗衣电动机起/停控制装置,数码相机中的自动对焦,自动门的人体检测,超市中商品的条形码扫描,汽车中的燃料量和速度测试等,不胜枚举。相信随着科学技术的发展和人们对物质文化生活需求的增长,运用测试技术的机电产品,将在我们的日常生活中扮演更加重要的角色。

机械工业担负着装备国民经济各部门的任务,机械工程技术中的研究对象往往十分复杂,有许多问题至今还难以进行完善的理论分析和计算,需依靠实验研究来解决实际问题。在现代机械工程中,机电产品的研究、设计开发、生产监督、性能实验、质量保证和自动控制等都离不开测试技术,在各种现代装备系统的设计制造与运行过程中,测试工作内容已嵌入系统的各部分,并占据关键地位,成为现代装备系统日常监护、故障诊断和有效安全运行的不可缺少的重要手段。例如,数控机床中为了精确控制主轴转速,需要对机床主轴转速进行测试;机器人为了获得手臂末端在作业空间中的位置、姿态和手腕作用力等信息,需要对各个关节的位移、速度和手腕受力进行实时的测试;自动生产线上常需应用测试技术对零件进行分类和计数。在当今激烈的市场竞争下,机械工业始终面临着更新产品、革新生产技术、提高产品质量等挑战,测试技术将是机械工业应对上述挑战的基础技术之一。

测试技术已经在国民经济各个领域起着越来越重要的作用,成为社会进步、现代科学技术发展和先进制造技术的重要基础。可以说,没有测试技术便没有科学研究今天的成就和明天的发展,而整个制造业则会因为没有测试技术而导致产品质量体系的彻底崩溃。



【核心提示】 机械工程测试技术,研究与机械工程有关的物理量(机械量——力、压力、应力、应变、位移、速度、加速度等)测试的基本原理、测试方法以及测量装置等。

阅读材料



按测量介质不同,车用测距雷达分为超声波雷达、红外雷达、激光雷达及微波雷达。超声波雷达、红外雷达的探测距离较短,主要应用于汽车倒车控制系统。激光雷达和微波雷达因其具有测量距离远、精度高等优点,被广泛应用于车辆主动安全控制系统。

激光雷达的优点是结构较简单,具有单色性、高方向性、相干性好、测量精度高、探测距离远、能识别道路状况、价格便宜等特点。缺点是测量性能易受环境因素干扰,遇到雨、雪、雾等天气情况,测量性能会有所下降,受测量原理限制只能传递相对距离信息。

微波雷达探测的距离远、运行可靠、测量性能受天气等外界因素的影响较小,可以获得主车与目标车辆间距离、相对速度,有些雷达还可获得相对方位角和相对加速度等信息,但价格较贵。当前,微波雷达的使用频率主要集中在 23 ~ 24GHz, 60 ~ 61GHz, 76 ~ 77GHz 三个频段,波长均为毫米级,因此微波雷达也称为毫米波雷达,探测范围一般为 2 ~ 150m,相对速度为 0.4 ~ 180km/h。

第二节 信息与信号



【核心提示】 人类对自然界的认识和改造过程都离不开对自然界中信息的获取，测试工作的基本任务就是获取来自研究对象的信息。

一、信息

信息是客观世界中事物特征、状态、属性及其发展变化的直接或间接的反映，是事物运动的状态和方式，如液压泵的流量、压力、温度是液压泵的基本信息。人类社会充满着信息和信息交换，人们的衣、食、住、行等一切活动都离不开信息。信息是计划和决策的基础，是组织和控制过程的依据。测试是依靠一定的科学技术手段，定量地获取某种研究对象原始信息的过程。通过对研究对象中有关信息作出客观、准确的描述，使人们对其有一个恰当、全面的认识，以达到进一步改造和控制研究对象的目的。

信息的表示形式多种多样，数字、文字、语言、声音、光、符号、图形、报表等都可以表示信息。某些信息是能够直接检测的，而有些信息不容易直接检测，需对其相关的信息进行加工处理才能获得。信息本身不具备传输、交换的功能，只有通过信号才能实现这种功能，因此测试技术与信号密切相关。信息、信号、测试系统之间的关系可表述为：获取信息是测试的目的，信号是携带信息的载体，信息则是这个载体所携带的内容，测试是得到被测参数信息的技术手段。

被研究对象的信息量总是非常丰富的，一般来说，测试工作总是用最简捷的方法获得与研究任务相联系的、最有用的、能表征研究对象特征的有关信息，根据一定的目的和要求，获取有限的、观测者感兴趣的某些特定信息，而不是企图也不可能获取该研究对象的全部信息。

二、信号

自然界本身存在的或人为产生的一些物理现象，如每日平均气温的高低、人们讲话时声压的变化、电流随时间的波动、一幅数码图像像素的亮度随二维空间坐标的变化等，都可以用物理量表示，这些变化的物理量在信号分析与处理中称为信号。


信号是带有信息的某种物理量，如光信号、声信号和电信号等。人们通过对光、声、电信号进行接收，可以知道对方要表达的消息。例如，古人利用点燃烽火台而产生的滚滚狼烟，向远方军队传递敌人入侵的消息，这属于光信号；道路交通信号灯的红灯（表示禁止通行）、绿灯（表示允许通行）、黄灯（表示警示）发出的也是光信号，用以指导交叉路口的车辆、行人安全有序地通行，减少交通事故的发生；当我们说话时，声波传递到他人的耳朵，使别人了解我们的意图，这属于声信号；遨游太空的各种无线电波、四通八达的电话网中的电流等，都可以用来向远方表达各种消息，这是电信号。

信号是一种可以觉察的物理量或脉冲（如电压、电流、磁场强度等），通过信号能传达消息或信息，是用来传递消息或命令的光、电波、声音、动作等的统称。信号是承载消息的工具，是消息的载体，例如，用电报、电话、无线电、雷达或电视传达的情报、信息、声音

或形象。信号的变化反映了所携带的信息的变化，如：刀具磨损、切削力加大、李四病了、可能会发烧等。

你了解吗？

阅读材料：求救信号

 SOS是国际通用的求救信号。一般情况下，重复三次都象征求助，根据自身情况和所处环境条件，可以点燃三堆火、制造三股浓烟、发出三声响亮口哨、呼喊等。

1) 火光信号。国际通用的火光信号是燃放三堆火焰，火堆摆成三角形，每堆之间的间隔相等最为理想。保持燃料干燥，一旦有飞机路过，尽快点燃求助，点火地点最好选择开阔地带。

2) 浓烟信号。在白天，浓烟升空后与周围环境形成强烈对比，易被发现。在火堆中添加绿草、树叶、苔藓或蕨类植物都能产生浓烟；潮湿的树枝、草席、座垫可熏烧更长时间。

3) 旗语信号。一面旗子或一块色泽亮艳的布料系在木棒上，挥棒时，在左侧长划，在右侧短划，做“8”字形运动。如果双方距离较近，不必做“8”字形运动，简单划动即可，在左边长划一次，右边短划一次，前者应比后者用时稍长。

4) 声音信号。如距离较近，可大声呼喊求救，三声短、三声长，再三声短；间隔一分钟后重复。

用烟火信号求救



5) 反光信号。利用阳光和一个反射镜即可发出信号光求救。如果没有镜子，可利用罐头盖、玻璃、金属片等来反射光线。持续的反射将产生一条长线和一个圆点，引人注目。

6) 指示信号。遇险人员转移时，应留下一些信号物，以便救援人员发现。例如：

将岩石或碎石摆成箭头形，指示方向。

将棍棒支撑在树杈间，顶部指着行动方向。

在一卷草束的中上部系上结，使其顶端弯曲指示行动方向。

在地上放置一根分杈的树枝，用分杈点指向行动方向。

用小石块垒成大石堆，在边上再放一小石块，指示行动方向。

用一个深刻于树干的箭头形凹槽表示行动方向。

两根交叉的木棒或石头意味着此路不通。

用三块岩石、木棒或灌木平行竖立或摆放表示危险或紧急。

信号和信息的关系举例如下：

- 1) 古代烽火——人们观察到的是光信号，而它所蕴涵的信息则是“外敌入侵”。
- 2) 现代防空警笛——人们感受到的是声信号，其携带的信息则是“敌机空袭”或“敌机溃逃”。
- 3) 教师讲课时发出的是声音信号，是以声波的形式发出的，而声音信号中所包含的信息就是教师正讲授的内容。
- 4) 学生自学时，通过书上的文字或图像信号获取要学习的内容，这些内容就是这些文字或图像信号承载的信息。

从研究对象获取的信号所携带的信息往往很丰富，既有研究者所需要的信息，也含有大量人们不感兴趣的其他信息（统称为干扰）。相应地，对于信号，也有“有用信号”和“干扰信号”的提法，但这是相对的。在某种场合被认为是“干扰”的信号，在另一种场合则可能是“有用”的信号。例如，齿轮噪声对工作环境来说是一种“干扰”，但在评价齿轮副的运行状态及进行故障诊断时，又成为“有用”的信号。测试工作的一个重要任务就是从复杂的信号中排除干扰信号，提取出有用信号，此过程称为信号的处理和分析。

【小思考】在日常生活中，哪些属于信息？哪些属于信号？

名人故事

1896年，法国物理学家贝克勒尔发表了一篇工作报告，详细地介绍了他通过多次实验发现的铀元素。铀及其化合物具有一种特殊的本领，它能自动、连续地放出一种人的肉眼看不见的射线，这种射线和一般光线不同，能透过黑纸使照相底片感光，它同伦琴发现的X射线也不同。这一现象激发了居里夫人极大的兴趣：这种与众不同的射线是什么？居里夫人决心揭开它的秘密。

1897年，居里夫人选定了自己的研究课题——对放射性物质的研究。在实验研究中，居里夫人设计了一种测量仪器，不仅能测出某种物质是否存在射线，而且能测量出射线的强弱。这个研究课题，把她带进了科学世界的新天地，最终完成了近代科学史上最重要的发现之一——发现了放射性元素镭，并奠定了现代放射化学的基础。这位伟大的女科学家，以自己的勤奋和天赋，在物理学和化学领域都作出了杰出的贡献，并因此而成为唯一一位在两个不同学科领域、两次获得诺贝尔奖的著名科学家。



第三节 机械工程中的测试方法——非电量电测法

一、电量与非电量

我们生活的世界是由物质组成的，一切物质都处在永恒不停的运动之中。物质的运动形式多种多样，它们通过物理现象或化学现象表现出来。表征物质特性或其运动形式的参数很多，根据物质的电特性，可分为电量和非电量两类。电量一般是指物理学中的电学量，如电压、电流、电阻、电感、电容、电功率等；非电量则是指除电量之外的一些参数，如压力、流量、尺寸、位移、质量、力、速度、加速度、转速、温度、浓度、酸碱度等。人们在科学

试验和生产活动中，大多数是对非电量的测量。

非电量不能直接使用一般电工仪表、电子仪器测量，因为一般电工仪表和电子仪器要求输入的信号为电信号。在由计算机控制的自动化系统中，更是要求输入的信息为电量信号。特殊场合下的非电量，如炉内的高温、带有腐蚀性液体的液位、煤矿内瓦斯的浓度等，无法进行直接测量，这也需要将非电量转换成电量进行测量。把被测非电量转换成与非电量有一定关系的电量再进行测量的方法就是非电量电测法，实现这种转换技术的器件称为传感器。

随着科学技术的不断进步和自动化水平的提高，对非电量测量的精度、灵敏度及反应速度，尤其对被测量动态变化过程的测量和远距离的检测都提出了更高的要求，原有的对非电量的测量方法已无法适应这一需要，这就要求对原有的非电量测量方法加以改进，并采用新技术、新方法。

【小思考】 非电量与电量的本质区别是什么？

哪些是非电量

阅读材料： 非电量的分类

在科学实验及工业生产过程中，存在着各种各样需要进行测控的参量，这些参量大多数是非电量，其中有的是标量，有的是矢量；有的是离散量，有的是连续量，而且在种类和数量上远比电量多。

众多的非电量，一般可归纳为以下五类：

1) 热工量。温度、热量、比热容、热流、热分布；压力、压差、真空度；流量、流速、风速；物位、液位、界面等。

2) 机械量。位移（线位移、角位移）、尺寸、形状、形变；转角、转速、线速度；力、应力、力矩；重力、质量；振动、加速度、噪声等。

3) 物性和成分量。气体、液体、固体的化学成分；浓度、黏度、湿度、密度；酸碱度（pH值）、盐度、粒度等。

4) 状态量。颜色、浊度、透明度、磨损量、材料内部裂纹或缺陷、气体泄漏、表面质量等。

5) 光学量。发光强度、光通量、光亮度、辐射能量等。

严格地说，状态量范围更广，但是有些状态量由于已按习惯归入热工量、机械量、成分量中，因此这里没有重复列出。

二、非电量电测法

由于被测信号、测试系统的多样性和复杂性，产生了各种类型的测量方法。实践中应用的测试方法一般有机测法、非电量电测法、光测法等。机测法是采用机械式传感器与记录设备（如机械式压力自动记录仪、机械位移计等）测量所需的数据。图 1-1 中，轧制后钢板的厚度通过齿条 4、弹簧 5、齿轮 6 转变为指针 8 的角位移，同时可用记录笔在记录纸 7 上画出钢板厚度的变化曲线，指针、记录笔的位移是机械量，因此属于机测法。用百分表测量位移、天平测量质量、波纹管测量压力等，都属于机测法。机测法简便、经济、可靠，抗干扰

力强，但精度不高。

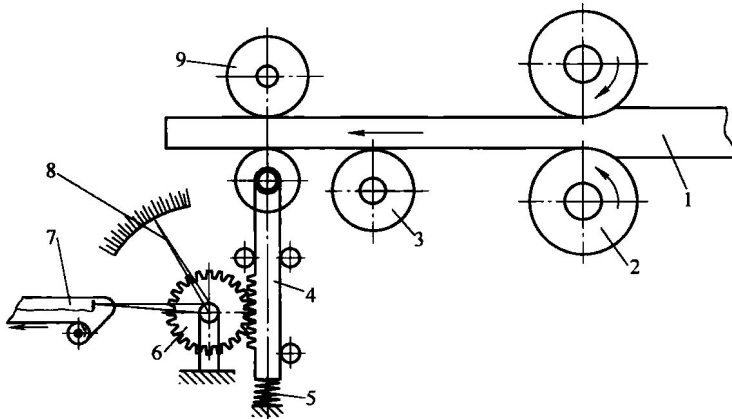


图 1-1 钢板厚度的机测法

- 1—钢板 2—轧辊 3—托辊 4—齿条 5—弹簧 6—齿轮
- 7—记录纸 8—指针 9—压辊

光测法是运用光学仪器直接记录试验的变化过程和动态景象，一般采用高速摄影机、录像机来实施。光栅技术、激光测量技术和红外测量技术等都属于光测法。图 1-2 是利用光切原理来测量工件的表面粗糙度（又称光切法），所用的仪器称为光切显微镜。图 1-2a 是光路系统，光源发出的光线经聚光镜、光阑（狭缝）、物镜后，形成一束平行光带 A，以一定角度（一般为 45° ）投射到被测表面上，经被测表面反射后，在目镜中可以观察到一条与被测表面轮廓曲线相似的亮带。测出距离 N ，便可知道被测表面微观不平度的峰-谷的高度 h ，即表面粗糙度的轮廓高度。图 1-2b 是光切显微镜的外形。光测法的特点是精度高、稳定性好，具有较好的直观性，但对环境条件要求较高，适于实验室测量。

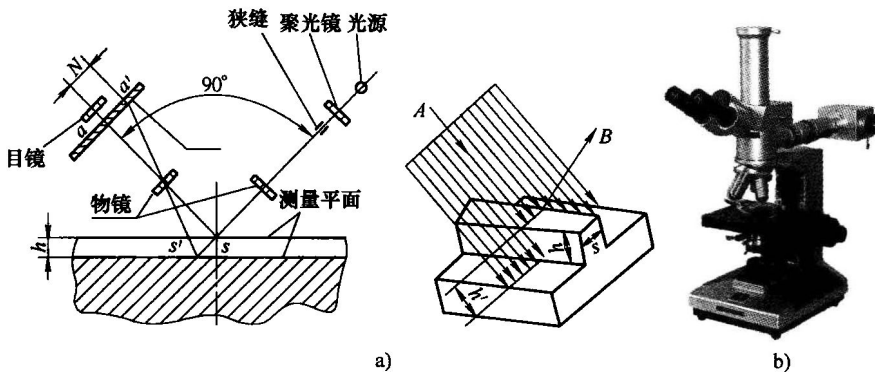


图 1-2 表面粗糙度的光测法

- a) 光切法的光路系统 b) 光切显微镜外形

目前，机械工程中用最普遍的测量方法是采用传感器技术的非电量电测法。

1. 非电量测量的基本原理

非电量电测法是通过传感器把所要测量的非电物理量（如位移、速度、加速度、压强、温度、压力、应变、流量、液位、光强等）经过传感器转换为电学量（如电阻、电容、电感、电压或电流等），并调理成稳定的电量（电压或电流信号），而后进行测量的方法。图

1-3 所示为表面粗糙度的电测法。

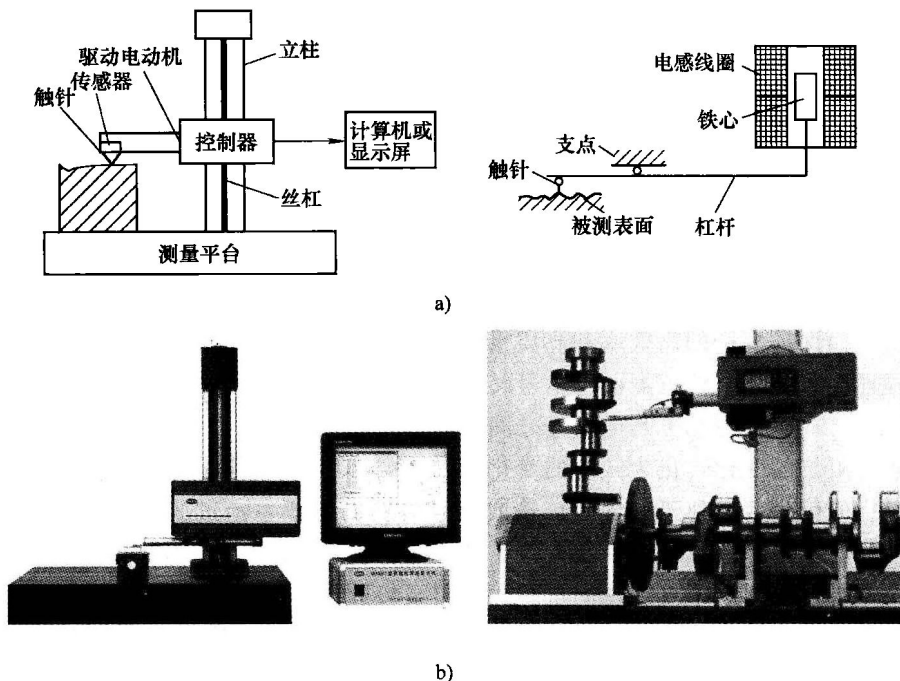


图 1-3 表面粗糙度的电测法

a) 触针式表面粗糙度测量原理 b) 触针式表面粗糙度测量仪外形

现代测试技术的一大特点是采用非电量的电测法，其测量结果通常是随时间变化的电量，亦即电信号。这些电信号，包含着有用信息，也包含有大量不需要的干扰信号。干扰的存在给测试工作带来麻烦，测试工作中的一项艰巨任务就是要从复杂的信号中提取有用的信号，或从含有干扰的信号中提取有用的信息。

2. 非电量电测系统的构成

非电量电测系统主要由传感器、信号调理与分析、显示记录装置等组成，如图 1-4 所示。

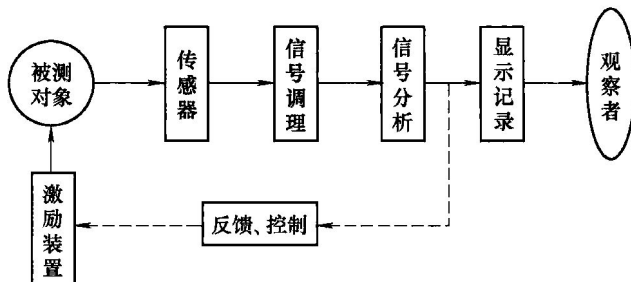


图 1-4 非电量电测系统

测试过程中，传感器将反映被测对象特性的量（如压力、加速度、温度等）检出并转换为电量，然后传输给信号调理环节（又称中间变换装置）；信号调理环节对接收到的电信号用硬件电路进行分析处理或经 A/D 变换后用软件进行计算，再将处理结果以电信号或数