

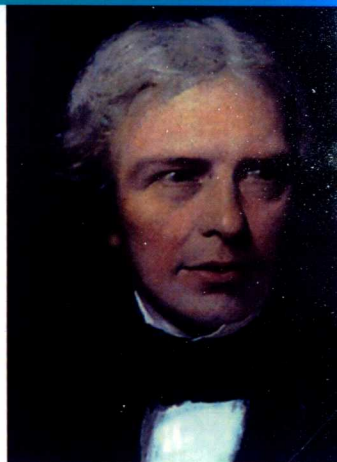
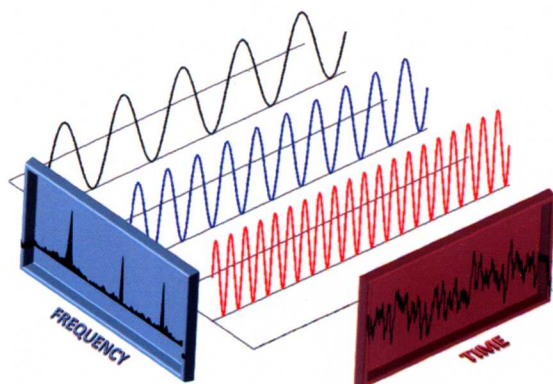
以案例激发学生求知欲的机械类专业示范教材

机械工程 测试技术

第2版



傅里叶 (Fourier, JBJ)



法拉第 (Michael Faraday)

主 编 祝海林



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

机械工程测试技术

第 2 版

祝海林 主编

机械工业出版社

本版教材基于编者二十余年的教学经历、体会,对第1版做了较大修改,补充了新知识,精简了内容。本版教材仍注重在每一章中穿插与课程相关的案例与背景知识,理论与应用相映成趣,在有意思与有意义中激发学生的求知欲,是一本适应大众化教育需要的实用教材。

全书共分8章,内容包括:绪论、信号及其描述、测试系统的基本特性、传感器、信号调理与显示记录、信号的处理与分析、振动的测试及噪声的测量。

本书主要作为高等院校机械类专业本科生、研究生教材,也可供大专、高职和成人教育有关专业选用,还可作为机械工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程测试技术/祝海林主编. —2版. —北京:机械工业出版社, 2017.7

ISBN 978-7-111-57140-7

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(2017)第176064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 王春雨 责任校对:肖琳

封面设计:马精明 责任印制:李昂

三河市国英印务有限公司印刷

2017年9月第2版第1次印刷

184mm×260mm·19.75印张·480千字

标准书号:ISBN 978-7-111-57140-7

定价:39.00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

服务咨询热线:010-88361066

读者购书热线:010-68326294

010-88379203

封面防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

金书网:www.golden-book.com

教育服务网:www.cmpedu.com

作者序

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不能言语、整天在轮椅上坐着的瘫痪病人写过《时间简史》——一本可能是世界上最难看懂的畅销书——被翻译成40种文字，全球销量过亿册。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，就选择了自己感兴趣的宇宙学。最终，他的黑洞理论和量子宇宙理论震动了科学界。

大发明家爱迪生几乎每天在实验室里工作18个小时，但他丝毫不以为苦，他说：“我每天都其乐无穷。”就是这个从未进过学校的人，视工作为快乐，发明了灯泡、留声机等一千多个专利产品，改变了人类的生活。

“微分几何之父”陈省身，中学时代就喜欢玩，而且很会玩。他玩数学、玩化学、玩植物学、玩围棋，玩一切他喜欢的功课和项目——他同知识玩、同自己的心智玩、有目标地玩，终成一代数学大师。

霍金、爱迪生、陈省身的故事告诉我们，兴趣是最好的老师，是学习的动力，是成功的催化剂。只要用心去感觉，知识的魅力无处不在，再难的学问也是小菜一碟。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。

教材是课程学习的依据，只有让学生对教材感兴趣，真正喜欢学习，就不愁课程学不好。本书正是基于这样的想法，试图从学生已有的生活经验和实际出发，将人文知识融入抽象知识的表述，让学生的学习活动或多或少成为一种愉快的体验，在有意思与有意义的求知过程中激发好奇心和兴趣。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。

所有的青春都是在为未来做准备！自己耕耘，自己收获！如果每天热衷于与网络相伴，看韩剧、翻手机、玩游戏、逛淘宝、刷微信朋友圈，年轻时在美好时光里放肆地享乐、忘形地得意，恐怕将来还不起。“低头一族”总该想想自己的未来，千万不要等到白了少年头，空悲切。

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，但你可以从别人的故事中分享快乐与幸福。诚然，生命有限，你不可能去探究一切未知的东西。学习却可以为你快速认识很多未曾了解和接触的知识提供捷径，所以学习很重要。同时又必须明白什么是学习，要知道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。

现代人才学发现，人至少有146种才能，而现在的考试制度只能发现41种，人的大部分才能并未很好地被我们自己开掘、发现和利用。我们每个人都是独一无二的，长得完全一样的人以前没有，现在没有，将来也不会有。记住：天生我材必有用。

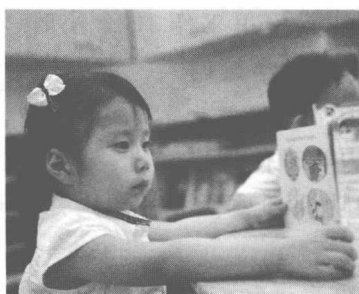
童心是这个世界上最宝贵的东西。著名漫画家丁聪先生，跨了两个世纪之后，依然思想前卫，佳篇迭出，艺术之树常青，是个千年一出的天才。他年逾九旬，还自称“小丁”，他的创作激情，源于他从未消泯的童贞。

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、创造出惊喜与感动。学习的本质，不在于记住了哪些知识，而在于它触发了你的思考。本教材之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！

祝福你前途光明！

为生命中的青春举杯！



前 言

测试技术是获取信息以便分析、控制、改进研究对象的重要手段。随着信息科学、材料科学、微电子技术和计算机技术的迅速发展,测试技术所涵盖的内容更加深刻、应用领域更加宽广。云计算、协同机器人、物联网、大数据、智能制造、工业 4.0 等正在改变制造业的格局,数字化、信息化、测试技术与机械工程的结合日益紧密。因此,机械工程测试的原理、方法等方面的知识是机械工程科技与产业界人员必须掌握的一门重要的基础技术。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,以适应制造业信息化的需要。

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。如何让科学知识更接地气,克服专业教材趣味不足、难于看懂的现状,考验着编者的智慧。本书在参考了国内外同类教材的基础上,博采众长,作者结合自身二十余年的教学经验与学生的反馈意见,在书中注意知识点的由浅入深、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”等来触发学生与实际生活之间的联想,在有意思与有意义中学习,达到学以致用效果。

和同类教材相比,本书的特点是:不是让科学知识生硬地被提出,而是从日常生活及工程应用中一些有意思的案例切入,进而揭示科学道理,激发学生的好奇心及其对科学现象、规律与方法的思考。对测试技术基本知识的表达力求做到通俗易懂、图文并茂,开启学生自由探索的想象力,以期在愉悦中唤起学生的求知欲望,让科学知识从被动灌输变成主动追求,为学生毕业后灵活运用所学知识分析并解决问题奠定良好的基础。在每章后安排了小结、思考与练习题,以使读者能够对本章主要内容进行有条理、针对性的复习与巩固。

全书共 8 章,前 6 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,主要包括信号及其描述、测试系统的基本特性、传感器、信号调理与显示记录、信号的处理与分析,后两章分别介绍了机械工程领域经常遇到的振动的测试、噪声的测量。

和第 1 版相比,第 2 版在内容增删、具体写法等方面均有较大变动。补充了新知识,以“必需、够用、实用”为原则,精简了内容,并将原来的第五章“信号变换及调理”与原来的第六章“显示与记录仪器”合并为新的第五章“信号调理与显示记录”,原来的第六章“显示与记录仪器”作为新的第五章的第五节“信号的显示与记录”。本版教材仍保持在每一章中穿插与课程相关的案例与背景知识、风格清新活泼、突出趣味性等优点,是一本适应高等教育大众化需要的实用教材,便于教学和自学。考虑到各学校的教学计划,特别是教学要求、课时有很大差异,因此,任课教师在使用本教材时,可以根据实际情况调整、补充教学内容。

本次修订的第 2 版由祝海林教授主编,其他参加编写修订的还有邹旻、沈爱娟、胡

静、杨敏、冯鲜、胡如夫、宋业存、喻勇、胡爱萍、吴泽龙老师，本书由祝海林教授负责全书统稿。在本次修订过程中，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，在此特向有关作者深表谢意。

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、华中科技大学钱祥生教授、解放军理工大学龚烈航教授等曾给予许多指导与鼓励。北京理工大学魏一鸣教授、北京化工大学李方俊教授、浙江大学龚国芳教授、北京科技大学石博强教授、马飞教授等曾与作者进行过不少学术探讨。本书出版以来，得到了使用本教材的山东大学、江南大学、安徽理工大学、常州大学、华东交通大学、南昌师范大学、江汉大学、西华师范大学、江西师范大学、天津科技大学、青岛理工大学、湖南农业大学、西北农林科技大学、南京工程学院等高校任课教师的支持，在此一并表示感谢。

限于学识、水平和经验，书中难免存在疏漏和不妥之处，恳请同行专家与读者不吝指教。作者联系方式：fei678yao@sina.cn。

编 者

目 录

作者序

前言

第一章 绪论 1

第一节 信息与信号 2

第二节 非电量电测法 4

第三节 测试技术的应用与发展 9

第四节 本课程的特点及学习要求 13

本章小结 13

思考与练习 14

第二章 信号及其描述 16

第一节 信号的分类 16

第二节 信号的描述方式 24

第三节 周期信号及其离散频谱 25

第四节 非周期信号及其连续频谱 39

第五节 随机信号 55

本章小结 60

思考与练习 61

第三章 测试系统的基本特性 63

第一节 概述 63

第二节 测试系统的静态特性 67

第三节 测试系统的动态特性 74

第四节 典型测试系统的动态特性分析 79

第五节 测试系统动态特性参数的获取 88

第六节 实现不失真测试的条件 91

本章小结 93

思考与练习 94

第四章 传感器 96

第一节 概述 96

第二节 电阻式传感器 104

第三节 电感式传感器 114

第四节 电容式传感器 123

第五节 电涡流式传感器 131

第六节 压电式传感器 138

第七节 热电式传感器 151

第八节 磁电式传感器 161

第九节 霍尔 (Hall) 传感器 166

第十节 光电式传感器 172

第十一节 光导纤维传感器 179

第十二节 传感器的选用 185

本章小结 186

思考与练习 187

第五章 信号调理与显示记录 189

第一节 电桥 190

第二节 调幅及其解调 199

第三节 调频及其解调 207

第四节 滤波器 212

第五节 信号的显示与记录 224

本章小结 228

思考与练习 229

第六章 信号的处理与分析 230

第一节 概述 230

第二节 信号的数字化处理 231

第三节 信号的相关分析 241

本章小结 254

思考与练习 255

第七章 振动的测试 256

第一节 概述 256

第二节 单自由度系统的受迫振动 261

第三节 振动的激励 265

第四节 测振传感器与分析仪器 271

第五节 振动测量的实施 276

第六节 固有频率和阻尼比的测试 278

第七节 振动的控制 281

本章小结 283

思考与练习 284

第八章 噪声的测量 285

第一节 概述 285

第二节 噪声的评价 288

第三节 噪声测量常用仪器 297

第四节 噪声测量方法 301

第五节 噪声的控制 303

本章小结 306

思考与练习 306

参考文献 308

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：

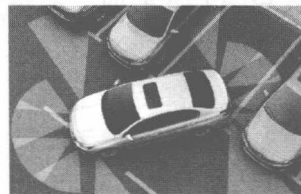
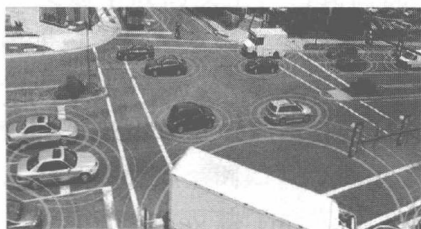
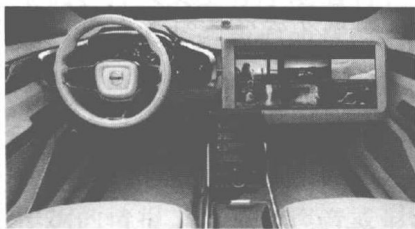
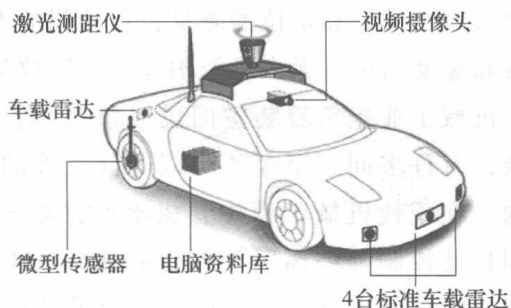
1. 了解测试的含义及其基本内容。
2. 掌握非电量电测法的概念、基本组成及各部分的功能。
3. 了解测试技术的应用领域、发展动态。
4. 明确测试技术的任务、学习方法及学习要求。

导入案例：无人驾驶汽车



无人驾驶汽车是利用车载摄像头、传感器来感知道路环境、车辆位置和周围障碍物信息，自动规划行车路线，并控制车辆自动适时制动、变速、转向，自行避开附近车辆、行人及道路前方障碍物，使车辆能够安全行驶，最终自行到达预定目的地的智能汽车。

无人驾驶汽车行驶时无需驾驶人操控，这意味着方向盘、节气门、制动等传统汽车必不可少的配件，在无人驾驶汽车上通通看不到，软件和传感器取代了它们。无人驾驶汽车是传感器、测试技术、计算机科学、模式识别和智能控制技术高度发展的产物，也是衡量一个国家科研实力和工业水平的一个重要标志，在国防和国民经济领域有广阔的应用前景。



车辆倒车入库或泊车到指定位置，是很多驾驶人感到头疼的问题。不用人工干预、能够自动停车入位的自动泊车系统是无人驾驶技术的一大成就，该系统通过遍布车辆周身的传感器测量车身与周边物体间的距离和角度，经车载电脑分析处理后得出车辆当前位置、目标位置，作出自动泊车策略并将其转换成电信号，据此操控倒车时的行驶角度、方向及车速，将车辆安全倒入停车位。

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。测试起着放大、延伸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。用以实现测试目的所运用的方式、方法称为测试技术。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。

【名人名言】 伟大的化学家、计量学家门捷列夫说过：“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”。

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。测试技术并不神秘，生活中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水位的测量，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，无人机航拍等，不胜枚举。

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。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。



【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。

第一节 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。

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。

知识链接

二维码是用按某种特定规律分布、黑白相间的图形来表示文字、数值、符号信息的。



用手机可以拍摄二维码图像，获取二维码所存储内容并触发相关应用。通过手机客户端软件解码后，可以触发手机上网、获取信息（名片、地图、WIFI 密码、资料）、广告宣传（直接浏览商家推送的视频广告）、手机支付（扫描商品二维码，手机直接购物下单，通过银行或第三方完成支付）、拨打电话等多种关联操作，为用户提供各类信息服务。

二维码作为一种全新的信息存储、传递和识别技术，在世界许多国家已经用于各类证件、报表和票据的管理，商品及货物运输的管理、邮政包裹的管理、工业生产线的自动化管理。

但是，二维码也成了手机病毒、钓鱼网站传播的新渠道。扫描二维码有时会刷出一条链接，提示下载藏有病毒的软件，导致手机自动发送信息并扣取大量话费。所以一定要认真阅读手机给出的安装提示，不要图方便，一路 OK 到底。

二、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，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（如电压、电流、磁场强度等），通过信号能传达消息或信息。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。

阅读材料：户外求救信号

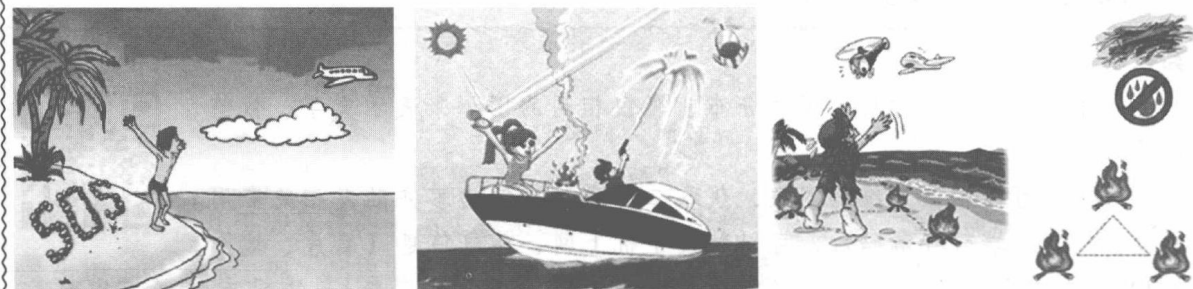


SOS 是国际通用的求救信号。一般情况下，重复三次都象征求助，根据自身情况和所处环境条件，可以点燃三堆火、制造三股浓烟、发出三声响亮口哨、呼喊等。

1) 火光信号。燃放三堆火焰，火堆摆成三角形，每堆之间的间隔最好相等。保持燃料干燥，一旦有飞机路过，尽快点燃求助，点火地点尽量选择开阔地带。

你应该了解

2) 浓烟信号。在白天,浓烟升空后与周围环境对比强烈,易被发现。在火堆中添加青草、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) 反光信号。利用阳光反射镜、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。

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) 现代防空警报——人们感受到的是声信号,其携带的信息则是“敌机空袭”。
- 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?

第二节 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。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、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，实现这种转换的器件称为传感器。

【小思考】非电量与电量的本质区别是什么？

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；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）、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。

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

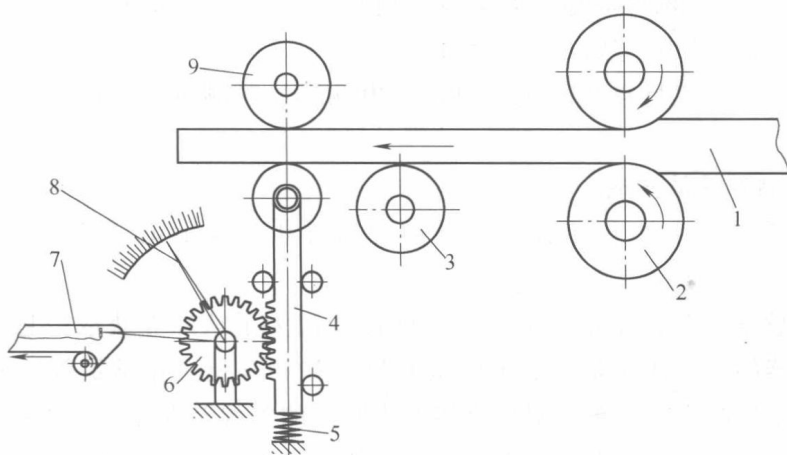


图 1-1 钢板厚度的机测法

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

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。

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），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。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。

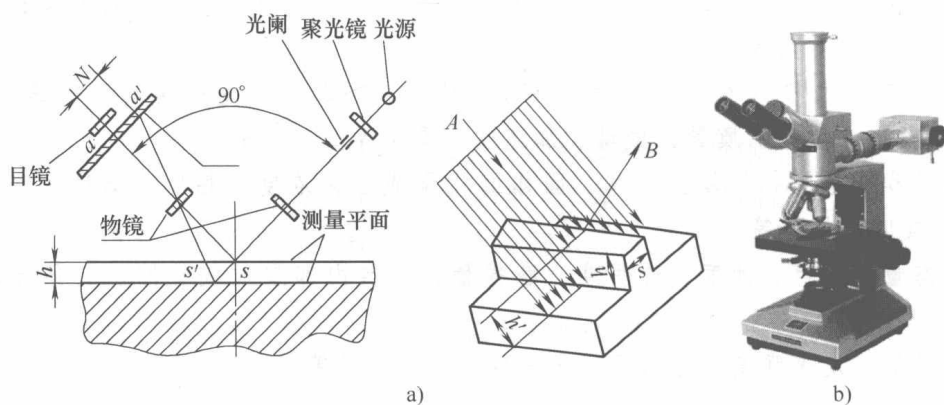


图 1-2 表面粗糙度的光测法

a) 光路系统 b) 光切显微镜外形

目前，机械工程中普遍使用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。

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。

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。

传感器是“感知”被测量信息的工具，就像人们为了从外界获取信息，必须借助感觉器官一样。传感器的主要作用是将非电的被测量（如物理量、化学量等）转换成与其有一定关系的电量，是检测系统与被测对象直接发生联系的关键器件。从图 1-4 中可以看出传感器在非电量电测系统中占有重要的位置，它获得的信息正确与否，直接关系到整个系统的测量精度。

信号调理环节将来自传感器的电信号转换成便于传输和处理、易于测量的规范信号。这

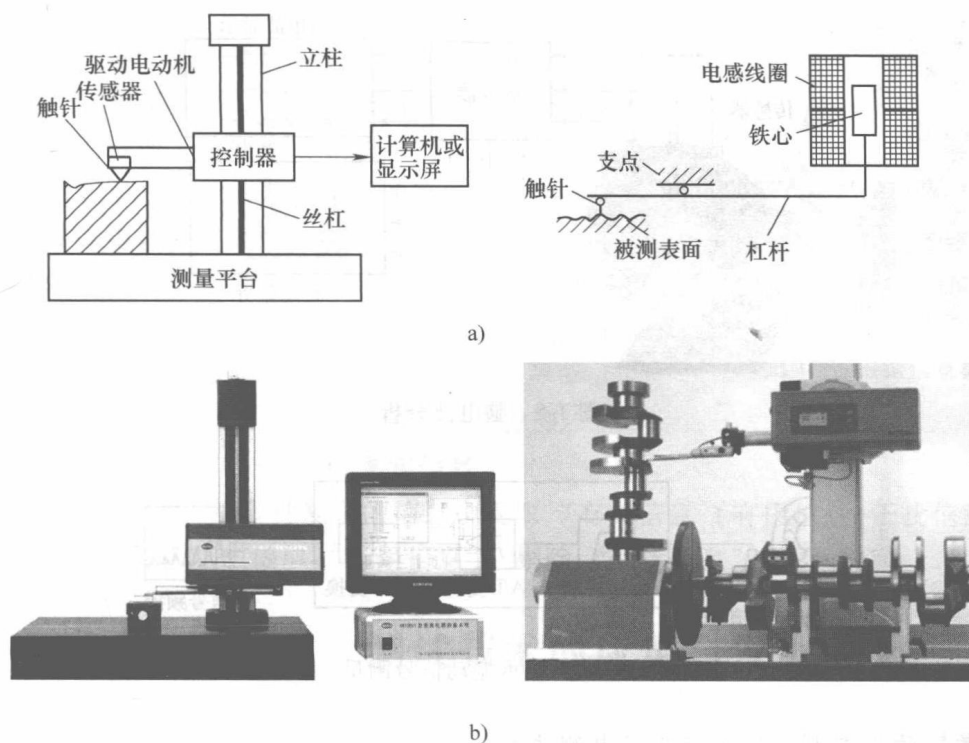


图 1-3 表面粗糙度的电测法

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

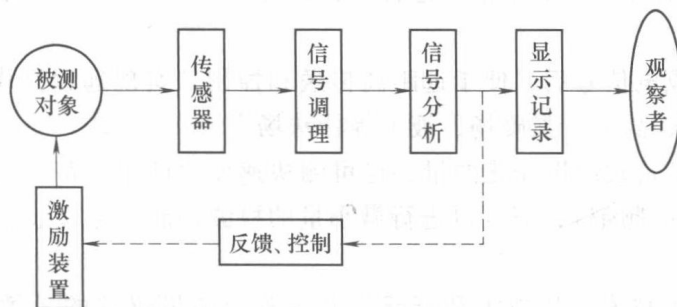


图 1-4 非电量电测系统

时的信号转换,在多数情况下是电信号之间的转换。因为传感器输出信号一般是微弱且混有干扰的信号,不便于处理、传输或记录,所以要经过放大、运算、阻抗匹配、调制与解调、滤波、数-模或模-数转换、线性化补偿等处理,变成稳定的电信号,使之适合于显示、记录,或者用于自动控制系统。

信号分析环节接受来自调理环节的信号,主要进行各种运算、分析,将结果输送至显示、记录或控制系统。

显示、记录装置用来显示或存贮测量的结果,是检测人员和检测系统联系的主要环节,使人们了解被测量的大小或变化的过程,供测试者作进一步分析。

图 1-5 所示为脑电波分析测试系统的一个例子。

图 1-6 所示为机床轴承故障监测系统。

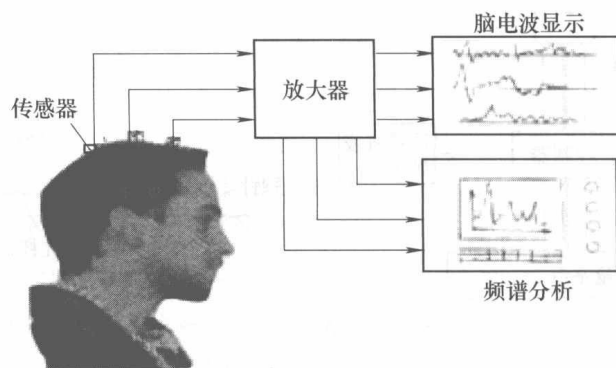


图 1-5 脑电波分析



图 1-6 轴承振动信号测量

【小思考】你周围哪些地方应用了电测法？

3. 非电量电测法的优点

1) 转变成电信号后, 可以采用相同的测量仪表、记录仪器, 从而能够使用丰富、成熟的电子测量手段对传感器输出的电信号进行各种处理和显示记录, 电测法几乎可以测量所有非电量参数。

2) 把非电量变成电信号后, 便于远距离传送和控制, 实现远程操作及遥测、遥控, 可以应用于高温、高压、高速、强磁场、液下等特殊场合。

3) 不仅能测静态量及缓慢变化的量, 也可测快速变化的量, 甚至进行瞬态测量, 具有很宽的测量频率范围 (频带), 而且可进行微小量的检测, 能够连续、自动地对被测量进行测量和记录。

4) 便于采用电子技术, 用放大和衰减的办法改变测量仪器的灵敏度, 从而大大扩展仪器的测量幅值范围 (量程), 测量仪器的频带可达到很宽, 因此很容易实现大范围的测量。

5) 把非电量转换为数字电信号, 不仅能实现测量结果的数字显示, 而且可利用计算机对测得数据进行校正、变换、运算、存储及分析处理, 实现测量的智能化人机交互功能。

6) 可实现无损检测。

近年来, 由于各种传感器的广泛应用, 另外, 有时需要进行自动测量或非接触测量, 在这种情况下, 电测法显示出优势, 因而广泛应用于非电量的测量和控制中。

三、测试工作的任务

在科学实验和工业生产中, 为了及时了解工艺流程、生产过程的情况, 需要对反映生产对象特征的位移、速度、加速度、温度、压力、流量、液位、力矩、应变、浓度、质量等物

理量进行测量。

测试工作是一件非常复杂的工作，需要多种学科知识的综合运用。从广义的角度讲，测试工作涉及试验设计、模型试验、传感器、信号加工与处理（见图 1-7）、误差理论、控制工程、系统辨识和参数估计等内容。因此测试工作者应当具备这些方面的相关知识。从狭义的角度来讲，测试工作则是在选定激励方式的情况下，信号的检测、变换、处理、显示、记录工作。当然，根据待测任务的繁简和要求的不同，并不是每项测试工作都要经历相同的步骤。

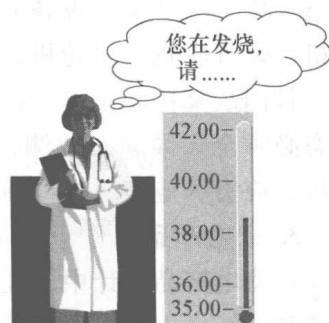


图 1-7 根据信息做出诊断

具体说来，测试工作的任务包括如下三个方面：

- 1) “不失真”测试，努力反映真实信号。
- 2) 用适当的方法，从多种复杂的信息中提取“有关信息（有用信息+干扰信息）”。
- 3) 从“有关信息”中提取“有用信息”，剔除“干扰信息”。

第三节 测试技术的应用与发展

一、测试技术的应用

人类社会生产、生活、经济交往和科学研究都与测试技术息息相关。各个科学领域，特别是生物、海洋、航天、气象、地质、通信、控制、机械和电子等，测试技术在这些领域中也起着越来越重要的作用。下面是测试技术的几个典型应用领域。

1. 产品质量检测及新产品开发

产品质量是生产者关注的首要问题。在汽车、机床等设备的电动机、发动机等零部件出厂时，必须对其性能进行测量和出厂检验，以了解产品的质量。对洗衣机等机电产品，要作振动、噪声等试验。对柴油机、汽油机等，要作噪声、振动、油耗、废气排放等试验。对某些在冲击、振动环境下工作的整机或部件，还需模拟其工作环境进行试验，以证实或改进它们在此环境下的工作可靠性。

机械加工和生产流程中的在线检测与控制技术，可将废品消灭在萌芽状态，以力保产品全部合格。如外圆直径测量仪，可按磨削工艺要求，检测磨削工件尺寸并控制磨削工艺过程。图 1-8 是流水线上轴承的滚珠是否存在漏装或缺失的在线检测。

新产品开发从构思到占领市场，必须经过设计、试验、再修改设计、再试验的多次反复。随着设计理论和计算机仿真技术的不断深化，产品设计日趋完美。但产品零部件、整机的性能试验，才是检验设计正确与否的唯一依据。

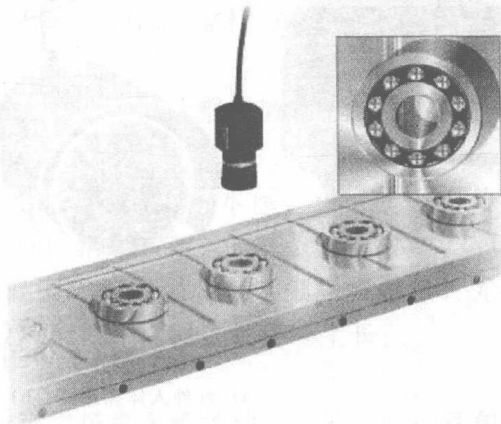


图 1-8 检查轴承滚珠是否脱漏

2. 设备运行状态监控

现代工业生产对机器设备及其零件的可靠性要求越来越高。在电力、冶金、石油、化工