

仪器设计技术概论

在介绍仪器设计技术之前,必须搞清楚什么是仪器。这是一个简单却很少有文献直接回答的问题,而这个问题却直接指向仪器及其设计技术的内涵。人们常常将仪器和机器混淆,尽管现代机器的确离不开仪器,但是仪器和机器的内涵却完全不同。简单地说,仪器和机器的最大区别在于:仪器所传递的是信息(information),而机器所传递的却是功率(power)。

早期的仪器主要是指具有测量、检测和测试功能的工具、装置和设备。因此能直接或间接地将被测量与已知基准量进行比较的设备和工具,都可称为仪器。仪器的主要功能在于用物理、化学或生物的方法,获取被检测对象可能的变化信息,然后通过与显式或隐式的已知基准量进行比较,转换为可直接或间接利用的测量结果,并以人们易于理解、识别、阅读和表达的量化形式显示或记录下来,作为科学分析和客观评价的依据,或直接用于自动化、智能运转系统的控制。

某些仪器被用作人类认识客观世界的视野或感知能力的扩展工具,直接服务于仪器使用者,因此往往具有便于人们直接读数和识别的表头,这类仪器也被称为仪表。显然,仪表仅仅是部分特定仪器的一种具体体现形式。根据仪器表头的不同表现形式,仪表可以分成模拟指针式仪表、数字显示式仪表和图形图像显示式仪表等3类。图1-0-1给出了以不同表头实现形式显示的具有代表性的仪表实例,图(a)所示为模拟式微位移测量仪表——机械位移千分表,图(b)所示为数显式电流测量仪表——钳式电流表,图(c)所示为图形图像显示式波形测量仪表——手持式波形万用表。

随着科学技术的发展,现代仪器的直接服务对象已经不再局限于仪器使用者本人,而是直接服务于智能化的自动控制设备,因此也就不必都具备便于人能直接读数和识别的表头,图1-0-2给出的用于管道探测的 γ 射线管道爬行探伤仪,其仪器本身就无需安装便于人能直接读数和识别的表头,因为其测量结果的直接服务对象是用于数据分析和自动控制的计算机系统。

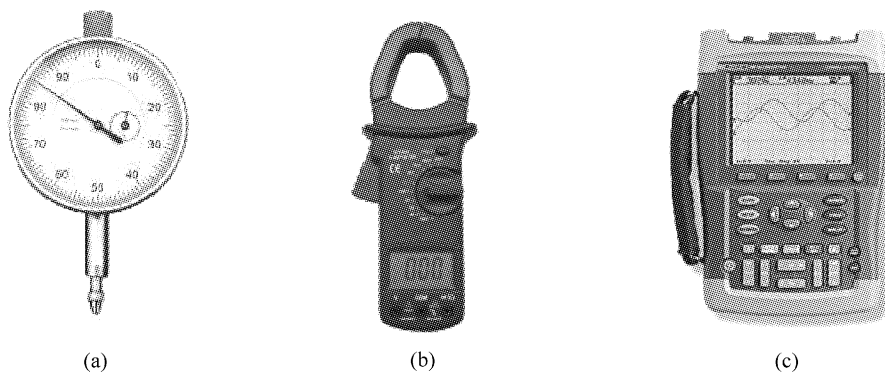


图 1-0-1 以不同表头显示的具有代表性的仪表实例
(a) 机械位移千分表；(b) 钳式电流表；(c) 手持式波形万用表

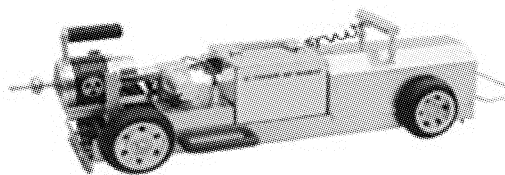


图 1-0-2 无表头的 γ 射线管道爬行探伤仪

由于仪表仅仅是部分仪器的某一种特定表现形式,其实质也是仪器。因此,在现代仪器技术中,仪表的概念正在被逐渐淡化(其内涵已经缩小为表头的意思),现代仪器技术中更愿意使用仪器这个含义更广的概念。

仪器技术是关于仪器的设计、制造和应用的技术。随着科学技术的发展,现代仪器技术则被赋予了更深广的含义,即关于测量及其控制的科学与技术都可以被称为仪器技术。扫描隧道显微和原子力显微等科学分析仪器(其测量原理将在后面的有关章节中介绍)均为具有代表性的典型测控仪器。图 1-0-3 给出了扫描隧道显微分析仪器的工作原理示意图及其实物照片,通过对隧道电流的实时监测,控制仪器保持恒定的隧道间隙,从而可实现纳米级的表面微观特征测量。

因此,以扫描隧道显微分析仪器为例,又提出了另一个基本概念——测控仪器。测控仪器是指同时具有测量与控制功能的仪器。需要指出的是,仪器技术领域中的测量与控制与自动化等其他技术领域的测量与控制略有差别:一般情况下,仪器技术中的控制往往是手段,测量才是真正目的,因此仪器技术领域中的控制多服务于测量,而自动化等其他技术领域中测量与控制的关系则刚好相反。

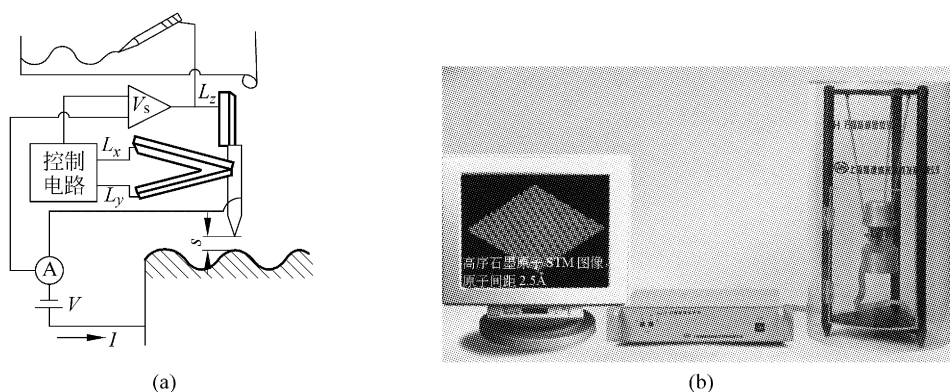


图 1-0-3 扫描隧道显微分析仪器

(a) 工作原理示意图；(b) 实物照片

测量与控制精度相对较高的仪器被称为精密仪器。精密仪器是一个与具体技术时代背景相关的动态发展的相对概念,它将随着实际生产和生活水平的要求,以及仪器的设计、制造、工艺等技术水平的变化而变化。也就是说,部分早期的精密仪器,目前很可能已经成为非常普通的仪器,而目前的精密仪器也可能成为未来的普通仪器。

由于仪器本身是由光、机、电、磁、声、医疗、生物、化学和环境等功能部件构成的综合系统,因此仪器设计技术必然是一门综合性非常强的专业技术。本教材将围绕仪器设计技术中所必需具备的专业性基础理论与知识进行组织和讲解。本书通过对仪器专业基本概念和基础知识的介绍,以达到让读者提高交叉知识的综合运用能力,掌握仪器设计技术的基本技能和本领,培养出区别于其他专业的、具有创造性和个性化发展优势的仪器设计专业技术人才的教学目标。为此,我们有必要先了解一些仪器技术的相关背景、社会作用、社会地位以及该技术的 research 发展现状和趋势等基本知识。

1.1 仪器技术的社会作用与重要地位

科学技术前所未有的发展对社会的影响是巨大而深刻的。科学技术在解决人类社会发 展进程里面临的日益严重的生存与发展问题的过程中所表现出来的无穷威力,促进了科学技术对现代社会的广泛渗透和影响。与此同时,科学技术本身也发生了重大的、带有革命性的变化。科学与技术的相互渗透和相互促进愈来愈强烈,科学高度技术化,技术高度科学化。以信息技术为代表的高科技在科学技术体系中的地位日益重要,并对世界政治、经济和文化产生了深刻影响,而仪器技术则是一切信息技术的源头。“仪器仪表工业是信息工业,是信息的源头”这一论断是 1995 年我国 20 多位院士共同向国务院提交的“关于振兴仪器仪表工业的建议”中和第 34 次香山科技会议上科学家们达成的具有共识

性的研究结论。

著名科学家钱学森院士在对新技术革命的论述中说：“发展高新技术，信息技术是关键，信息技术包括测量技术、计算机技术和通信技术。测量技术是关键和基础。”仪器是认识世界的基本工具，这是相对于机器是改造世界的工具而言的，而改造世界是以认识世界为基础的。认识世界包括两个方面的内容：一是探索自然规律，积累科学知识；二是对生产现场的信息了解，并用以指导生产。

江泽民同志曾说过，“创新是一个民族的灵魂，是一个国家兴旺发达的不竭动力”，“要迎接科学技术突飞猛进和知识经济迅速兴起的挑战，最重要的是坚持创新。”现代仪器技术和先进的科学仪器设备既是知识创新和技术创新的前提，也是创新研究的主体内容之一和创新成就的重要体现形式。

著名科学家门捷列夫说过，“科学总是从测量开始的”、“没有测量就没有科学”。事实上，许多科学发现和研究成果均是以当时最先进的科学分析仪器技术为基础而取得的。仪器在改造世界的过程中也发挥着同样重要的作用。钱伟长教授说过：“飞机要上天，离开了航空仪表就飞不起来。”以王大珩、杨嘉墀等院士为代表的老一辈科学家对仪器技术的重要作用曾做过精辟的阐述：仪器是工业生产的“倍增器”、科学研究的“先行官”、军事上的“战斗力”、当今社会的“物化法官”，“吃穿用、农轻重、海陆空”无所不在。丁衡高、杨士莪等军事技术领域的院士在阐述现代武器发展趋势时也曾提到：现代战争打的就是“远”、“精”和“准”，而这一切都需要通过精密的测量与控制技术来实现。历史上许多重要仪器的科学研究成果常常会带来生产力水平的飞跃。目前，仪器技术在各行各业都体现出了十分重要的社会地位和作用，这可以通过以下几个方面的具体事实来说明。

1.1.1 仪器技术在认识世界方面的重要作用

古代，人们总是通过人体自身的感官和想象来认识世界，但是人们很快就发现人体自身的感官能力其实是十分有限的，因此不得不借助于仪器技术来认识更深层的客观世界。如果没有天文望远镜这样的光学仪器的发明和应用，那么人类对宇宙的认识将可能会永远停留在早期想象的“地心”世界中。当然，如果没有示波器、万用表、显微镜等常规仪器（如图 1-1-1 所示）的发明和应用，那么人们也无法意识或观测到电磁波或微生物的存在及其存在的形态或规律。曾帮助人们认识世界的类似的常规仪器实例还可以随便列举出许多来。

当今世界正在从工业化时代进入信息化时代，并向知识经济时代迈进。这个时代的特征是以计算机为核心延伸人的大脑功能，起着扩展人类脑力劳动的作用，使人类正在走出机械化的过程，进入以物质手段扩展人的感官神经系统及脑力智力的时代。这时，仪器的作用主要是获取信息，并以此作为一切智能行动的依据。

仪器技术是信息时代的信息获取-处理-传输链条中不可或缺的源头技术。没有仪

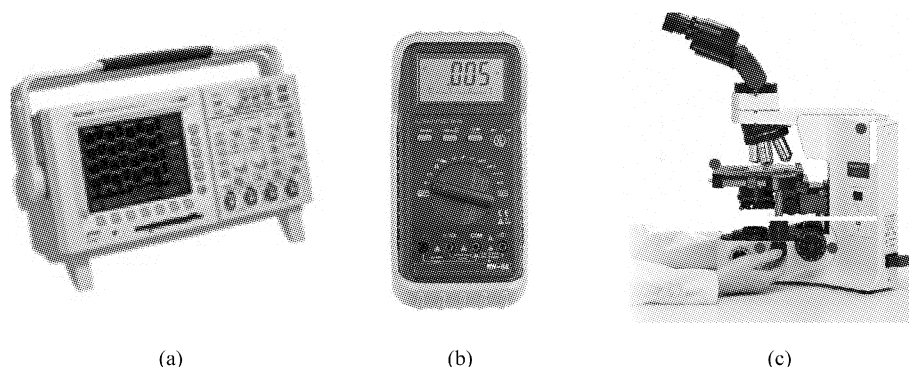


图 1-1-1 认识世界的部分常规仪器实例

(a) 示波器; (b) 万用表; (c) 微生物显微镜

器,就不能获取生产、科研、环境、社会等领域中全方位的信息,进入信息时代也将是不可能的。需要强调的是:现在人们提到信息技术时,通常想到的只是计算机技术和通信技术,而作为信息源头的关键技术——仪器技术却往往容易被人们忽视或遗忘。

科学是通过对自然规律的探索、观察和总结而积累的关于世界认知的知识。随着人们对宏观和微观两个极端世界探索范围的扩大,不得不借助于基于最新科技设计的仪器来完成。硬 X 射线天文望远镜可以帮助人们将对宇宙的认识扩大到银河系以外的宏观世界。而电子显微和原子力显微仪器的应用则可以把人们的认知范围扩大到纳米级甚至原子级的微观世界。1992 年诺贝尔化学奖获得者 R. R. Emst 说:“现代科学的进步越来越依靠尖端仪器的发展”,仪器技术几乎是一切科学研究和科学探索的基础。

仪器技术在科学研究中的作用更是显著,科学技术欲转化为生产力,首先要靠科学仪器去认识世界。科学分析仪器是从事科学研究的物质手段,“工欲善其事,必先利其器”。一切的科学实验和研究,都必须借助于各种科学仪器才能得以实现。宇宙飞船从其发射到太空的飞行探测,都需要依靠众多的科学仪器才能取得大量宝贵的试验数据和资料。而人类基因的研究也完全得益于基因测量仪器的发明。可以说,一切科学的发现,都离不开仪器科学技术的进步,现代科学的进步越来越依靠尖端仪器的发展。各种科学仪器正在不断地帮助人们到达人体感官本身不可能到达的客观世界,由此不断地推动着各种新的科学成就的诞生和科学技术的进步。

据有关统计资料显示,近 80 年来获得诺贝尔奖的科学家中,有 38 人的研究成果与科学分析仪器有关。在诺贝尔物理学奖和化学奖中大约有 1/4 是属于测试方法和仪器创新的,例如电子显微镜、质谱技术、CT 断层扫描仪、X 射线物质结构分析仪、光学相衬显微镜、扫描隧道显微镜等,这些说明,科学技术重大成就的获得和科学研究新领域的开辟,往往是以检测仪器和技术方法上的突破为先导的。为此,部分科学分析仪器越来越复杂、性

能越来越先进、规模也越来越巨大。仪器技术的进展代表着科技的前沿,是科学发展的支柱。能不能创造高水平的新式科学仪器和设备,体现了一个民族、一个国家的创新能力,甚至标志着一个国家高科技发展的水平。

1.1.2 仪器技术在改造世界方面的重要作用

信息技术是现代社会中发展最迅速、竞争最激烈、影响最广泛的技术领域。信息技术可使人类创造出全新的工作、生产、生活和思维方式,对世界经济、政治、军事、文化等各个方面产生广泛而深刻的影响。制造业是一个国家工业的基础,先进制造技术需要融合信息技术、自动化技术和现代管理技术。信息技术和自动化技术的发达程度和水平已经成为一个国家制造技术发展水平和竞争能力的重要标志。

在现代制造技术中,仪器技术是各种自动化加工设备获取信息并形成控制指令的信息源头。如果没有精确的测量与控制,人们就只能制造出像古石器时代那样粗糙的工具和用品,根本无法制造具有互换性的各种现代工业品。现代制造工业技术中大量使用仪器技术的事实可以通过图 1-1-2 给出的部分实例略予说明。其中,图(a)为用于齿轮制造质量检测和控制的一种万能齿轮测量仪器;图(b)为一种用于现场测量的便携式三坐标测量仪器;图(c)为一种用于现场测量的线径测量仪器;而图(d)则给出了依靠仪器技术工作的现代数控机床中的一种实例。限于篇幅,我们无法一一列出更多在现代制造工业技术中发挥重要作用的其他仪器。

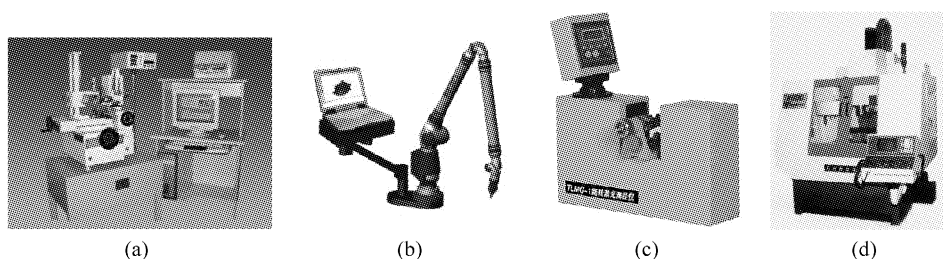


图 1-1-2 现代制造工业技术中大量使用仪器技术的部分实例

(a) 万能齿轮测量仪器; (b) 便携式三坐标测量仪器; (c) 线径测量仪器; (d) 现代数控机床

航空飞机的发明和制造是人类改造世界所取得的标志性成果之一。飞机的安全飞行需要通过各种导航仪器仪表的测量和控制才能完成,各种无人飞机更是完全依靠仪器仪表来工作。图 1-1-3 给出了某教练机型飞机驾驶室仪表的布局情况,其他类型的飞机仪表还远比这种飞机复杂,可见航空飞机主要是依靠仪器技术来工作的。

如果你对航天技术也有所了解,就会发现航天飞机(如图 1-1-4(a)所示)更是需要依赖各种先进的仪器仪表才能正常工作和完成任务。而实际上,卫星(如图 1-1-4(b)所示)



图 1-1-3 某教练机型飞机驾驶室仪表

等航天飞行器本身就是一种可以在天上飞行的仪器；导弹、火箭、宇宙飞船(其舱内仪表如图 1-1-4(c)所示)等也都离不开各种精密测控仪器,否则将无法完成其预期的任务和使命。

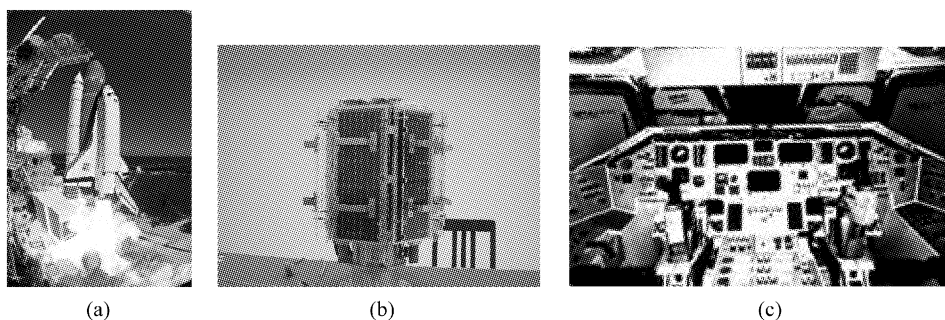


图 1-1-4 仪器技术在航天技术中的地位与作用

(a) 航天飞机；(b) 卫星；(c) 导弹、火箭、宇宙飞船等的舱内仪表

1.1.3 仪器技术在国民经济方面的重要作用

在现代化的国民经济活动中,仪器有着比以前更为广泛的用途,涉及人类活动的各种需求。现代人类的日常生活中几乎处处都应用到仪器技术,如汽车仪表、煤气表、水表、电度功率表、红外自动水龙头等,图 1-1-5 给出了其中部分日用仪器仪表应用实例。

仪器技术在国民经济建设中的作用意义重大,在工业生产中起着把关者和指导者的作用,它从生产现场获取各种参数,运用科学规律和系统工程方法,综合有效地利用各种先进技术,通过自控手段和装备,使每个生产环节得到优化,进而保证生产规范化,达到提