

“十一五”期间国家重点图书出版规划项目

(第2版)



中国仪器仪表学会 测量控制与仪器仪表工程师资格认证培训教材

测量控制与仪器仪表 前沿技术及发展趋势

The Frontier Techniques and Development
Trends of Measurements & Controls and Instrumentation

林玉池 主编



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

“十一五”期间国家重点图书出版规划项目



中国仪器仪表学会 测量控制与仪器仪表工程师资格认证培训教材

测量控制与仪器仪表 前沿技术及发展趋势

The Frontier Techniques and Development
Trends of Measurements & Controls and Instrumentation

(第2版)

■ 林玉池 主编

内 容 提 要

本书为测量控制与仪器仪表工程师资格认证(MCIEA)培训教材之一。书中对现代测量控制与仪器仪表相关领域的前沿技术和发展趋势进行了全面阐述,内容广泛、深入浅出、条理分明。

全书分3篇11章,内容包括测量控制与仪器仪表的基本理论基础、学科发展现状和总体趋势以及与仪器仪表密切相关的信息传感与测试、模拟信号调理、数字信号处理、智能控制与系统、现代仪器仪表的设计与制造技术等学术领域的前沿技术,还以工业过程参数检测与控制系统、科学仪器、电子与电工测量仪器、医疗仪器为典型,分门别类地介绍典型仪器仪表的发展现状与趋势。

本书可供从事测控技术与仪器、电子精密机械、光学仪器、精密仪器与机械、微纳米机电系统、自动化、机电一体化的研究、设计、制造、使用和调修的工程技术人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

测量控制与仪器仪表前沿技术及发展趋势/林玉池主
编.—2版.—天津:天津大学出版社,2008.12

中国仪器仪表学会测量控制与仪器仪表工程师资格认
证培训教材

ISBN 978-7-5618-2757-4

I.测… II.林… III.测量仪器—自动控制系统—资格
考核—教材 IV.TH761

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 126854 号

出版发行 天津大学出版社
出 版 人 杨欢
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742
网 址 www.tjup.com
印 刷 昌黎太阳红彩色印刷有限责任公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 185mm×260mm
印 张 25.25
字 数 631 千
版 次 2008 年 12 月第 1 版
印 次 2008 年 12 月第 1 次
定 价 48.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请向我社发行部门联系调换。

版权所有 侵权必究

编
审委员会

主 任:

丁天怀 清华大学精仪系主任 教授

副主任:

裘祖荣 天津大学精仪学院副院长 教授

施文康 上海交通大学电信学院所所长 教授

委 员: (以姓氏笔画为序)

孔 力 华中科技大学 教授

王 祁 哈尔滨工业大学 教授

刘桂雄 华南理工大学 教授

刘京诚 重庆大学 教授

苏 岩 东南大学 教授

余晓芬 合肥工业大学 教授

张 玘 国防科技大学 教授

苑玮琦 沈阳工业大学 教授

胡大可 浙江大学 教授

赵 建 西安电子科技大学 教授

黄元庆 厦门大学 教授

廖俊必 四川大学 教授



序言

当今世界已进入信息时代,信息技术成为推动科学技术和国民经济发展的关键技术。测量控制与仪器仪表作为对物质世界的信息进行采集、处理、控制的基础手段和设备,是信息产业的源头和重要组成部分。仪器仪表是工业生产的“倍增器”,科学研究的“先行官”,军事上的“战斗力”,国民活动中的“物化法官”,应用无所不在。

现代测量控制与仪器仪表是机械、电子、计算机、材料、物理、化学、生物等领域先进技术的高度综合,是一个国家科技和国民经济发展水平的重要标志。测量控制与仪器仪表工程师是国家急需的专业技术人才。为了适应我国经济发展的需要和政府职能的转变,发展和规范专业人才评价工作,推动人才的合理交流和用人单位的量才录用,促进工程师资格国际互认,经中国科学技术协会批准,中国仪器仪表学会已正式开展测量控制与仪器仪表工程师资格认证(Measurement & Control and Instrumentation Engineer Accreditation, MCIEA)工作。为保证 MCIEA 工作的顺利进行和确保 MCIEA 的质量,将 MCIEA 与专业继续教育、培训和资格考试紧密结合,中国仪器仪表学会委托授权 15 所高校建立第一批 MCIEA 培训考试中心,开展培训和组织考试。为此,中国仪器仪表学会组织专家、教授专门编写了这套 MCIEA 培训教材,经 MCIEA 教材编审委员会及有关部门的专家审定正式试用。

这套 MCIEA 培训教材包括《测量控制与仪器仪表的前沿技术及发展趋势》与《测量控制与仪器仪表现代系统集成技术》两本教材。两本教材对测量控制与仪器仪表应用最多且发展较快的一些前沿技术及发展趋势进行了全面描述,对测量控制与仪器仪表现代系统集成技术的原理、应用和发展进行了重点说明。这套教材内容广泛、深入浅出、条理分明,在突出技术先进性的同时,兼顾技术的实用性,力求学员在领会测量控制与仪器仪表的前沿技术及发展趋势、提高接受和运用新技术能力的同时,了解测量控制与仪器仪表现代系统集成技术的本质,提高解决实际问题的能力。这些知识和能力是一个现代测量控制与仪器仪表工程师需要具备的。

中国仪器仪表学会名誉理事长



再版前言

测量控制与仪器仪表作为高技术密集、多学科交叉的边缘性基础技术学科,由于机械学、光学、物理学、化学、生物学、测量学、微电子学、电学、材料学和计算机科学等学科技术进步以及科研、军事、国民经济和人民日常生活日益增长的需求驱动,仪器科学技术正产生日新月异的发展变化。

本书分3篇11章,介绍了测量控制与仪器仪表的基本理论、知识、作用、仪器仪表的性能评价、量值的传递与溯源、计量科学发展、测量信息论以及我国和世界仪器仪表的发展现状与趋势;从信息传感与测试、模拟信号调理、数字信号处理、智能控制与系统、现代仪器仪表的设计与制造五个方面介绍了仪器仪表中常用的前沿技术;又以工业过程参数检测与控制系统、科学仪器、电子与电工测量仪器、医疗仪器为典型,介绍了仪器仪表方方面面的发展现状与趋势。本书内容丰富翔实,涉及面广,参考性强,可作为测量控制与仪器仪表以及相关学科,如测控技术与仪器、电子精密机械、光学仪器、精密仪器与机械、微纳米机电系统、自动化、机电一体化、机械、电子、物理等学科的高年级本科生、研究生的教材或参考书,也可供从事测量控制与仪器仪表研究、设计、制造、使用和调修的工程技术人员学习和参考。

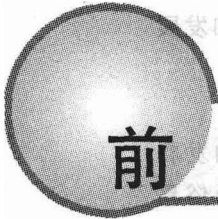
2005年,本书作为测量控制与仪器仪表工程师资格认证培训教材之一,只作为内部出版少量发行,为学员提供一本学习和了解仪器仪表的前沿技术发展趋势的参考书籍。2006年,本书入选“十一五”期间国家重点图书出版规划项目。

承本书再版之际,我们听取了部分使用本书的老师、学生和读者的意见,更正了原书的个别错误,由各章节的原编者对内容进行了审核,增加或替换了少量各领域的最新技术进展。考虑本书以介绍测量控制与仪器仪表新技术和发展动态为特点,内容需要与时俱进,所以对第一篇总论的内容做了较大变动,增加了仪器科学与技术学科教育的内容,重编了仪器仪表最新发展动态,删除了几何技术规范体系研究内容,代之以与仪器仪表各领域密切相关的计量新发展动态。在此,对给本书提出宝贵意见的所有同志表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中缺点和错误在所难免,恳请广大读者继续给予批评指正。

编者

2008年4月



前言

当今世界已进入信息时代,信息技术成为推动科学技术和国民经济高速发展的关键技术。仪器仪表作为对物质世界的信息进行测量与控制的基础手段和设备,是信息产业的源头和组成部分。现代仪器仪表在社会生活中的重要作用怎样评估都不过分。

以王大珩、杨嘉墀等为代表的老一辈科学家对仪器仪表的重要作用曾做过精辟的阐述,明确指出,仪器仪表是工业生产的“倍增器”,科学研究的“先行官”,军事上的“战斗力”,社会生活中的“物化法官”,可以说仪器仪表的应用遍及“吃穿用、农轻重、海陆空”无所不在。

现代仪器仪表是机械、电子、光学、计算机、材料、物理、化学、生物等先进技术的高度综合,是高新技术的产物和象征,是一个国家科技发展水平的重要标志。仪器仪表科技涉及面的广泛性和对新技术的高度敏感,使它成为新技术最先应用和新技术最集中的学科之一。

本书作为测量控制与仪器仪表工程师资格认证(Measurement & Control and Instrumentation Engineer Accreditation, MCIEA)培训教材之一,目的是为测量控制与仪器仪表各类专业技术人员,包括从事设计、研究、制造、应用、维修、管理和营销等各类专业技术人员,提供一本学习和了解仪器仪表的前沿技术和发展趋势的参考书籍。

全书内容广泛,深入浅出,不仅可作为测量控制与仪器仪表工程师培训教材,同时还适合于仪器仪表类、机电类、自动化类、信息类等在校本科生和研究生,以及相关学科的教师和广大工程技术人员参考。

全书内容分3篇。第1篇总论,介绍测量控制与仪器仪表的基本理论、知识、作用、量值的传递与溯源、测量信息论以及我国和世界仪器仪表的发展现状与趋势;第2篇从信息传感与测试、模拟信号调理、数字信号处理、智能控制与系统、现代仪器仪表的设计与制造五个方面介绍了仪器仪表中常用的前沿技术;第3篇则以工业过程参数检测与控制系统、科学仪器、电子与电工测量仪器、医疗仪器为典型,介绍了仪器仪表方方面面的发展现状与趋势。全书每章均附有习题与思考题和相关参考文献。

考虑到参加培训人员原在校学习的专业不同、从事工作后的业务性质各

异、毕业年限的差别而形成的背景多样化,全书以仪器仪表的前沿技术和发展趋势为主线编写,以“新”为主要特色,力求体现出以下特点:

- * 内容的选取尽量做到先进性、新颖性、实用性;

- * 以使学习者了解与仪器仪表相关的前沿技术及作用,了解行业的发展趋势为主要目标安排全书内容,内容以介绍、综述为主,难度不大,阐述通俗易懂,便于自学;

- * 仪器仪表涉及面广泛,前沿技术的介绍尽量突出典型性和代表性,发展趋势的阐述具有科学性和前瞻性。

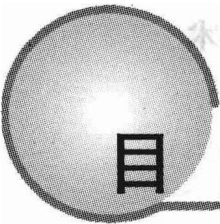
本书由天津大学精密仪器与光电子工程学院负责,由天津大学精密仪器与光电子工程学院、天津大学电气与自动化工程学院、西安电子科技大学机电工程学院部分教师编写。林玉池、毕玉玲编写第1、第2章;孙长库、栗大超、黄银国编写第3章;李刚编写第4、第11章;靳世久、曹玉珍编写第5章;杨学友、刘常杰编写第6章;裘祖荣、贾果欣、栗大超编写第7章;范世福编写第9章;天津大学自动化学院王化祥、王江、王超编写第8章;西安电子科技大学赵建编写第10章。全书由林玉池统稿。

本书的编写得到中国仪器仪表学会,尤其是学会专家委员会秘书长肖中汉的具体指导、支持和帮助;也得到编者所在学校、学院领导和广大教师的大力支持以及全国各兄弟院校的帮助。MCIEA教材编审与考试委员会和兄弟院校的专家审查了书稿并对本书提出了宝贵的修改意见。天津大学出版社负责本书的编辑做了大量的编审工作。在编写工作中,编者还参考了很多专家论著和网站的各种资料,在此一并致以衷心的感谢。

由于时间仓促、篇幅限制以及编者的背景、水平和观察问题角度的制约,书中的观点、看法暂且作为百家中的一家之言,希望起到抛砖引玉之作用。其内容选材、编写形式是一种新的尝试,错误和不当之处在所难免,恳请各位读者批评指正。

编 者

2005年5月



目 录

第1篇 总论

3	1 测量控制与仪器仪表学科领域科技与产业的发展
3	1.1 测量控制与仪器仪表
11	1.2 测量控制与仪器仪表的地位作用及其自主创新的意义
14	1.3 我国测量控制与仪器仪表领域科技和产业发展的现状与趋势
25	1.4 世界测量控制与仪器仪表科技与产业的发展
30	1.5 仪器传统概念的演变
37	习题与思考题
37	参考文献
39	2 测量信息论与仪器仪表的计量评价
39	2.1 测量信息论
50	2.2 测量控制与仪器仪表的评价
52	2.3 量值的传递与溯源
60	2.4 计量科学的发展
71	习题与思考题
71	参考文献

第2篇 测量控制与仪器仪表前沿技术

75	3 传感与测试前沿技术
75	3.1 概述
77	3.2 前沿传感技术
94	3.3 前沿测试技术
114	习题与思考题
114	参考文献
117	4 模拟信号调理技术
117	4.1 引言
118	4.2 信号放大
131	4.3 开关电容滤波器
137	4.4 高速 24 位 Σ - Δ 型模数转换器
149	4.5 模拟信号调理技术的发展趋势
154	习题与思考题
154	参考文献
156	5 数字信号处理中的前沿技术
156	5.1 仪器仪表与数字信号处理
157	5.2 小波变换
165	5.3 提升小波变换
167	5.4 经验模态分解
170	5.5 独立分量分析
171	5.6 模糊计算技术
173	5.7 神经计算技术
174	5.8 进化计算技术

176	5.9 混沌计算技术
179	5.10 分形计算技术
180	5.11 智能技术的综合集成
183	习题与思考题
183	参考文献
185	6 智能控制与系统
185	6.1 新型微控制器
194	6.2 仪器仪表与系统控制网络总线
205	6.3 虚拟仪器及嵌入式系统
211	6.4 智能控制技术
217	习题与思考题
218	参考文献
219	7 现代仪器仪表的设计与制造
219	7.1 先进设计制造技术对仪器仪表的作用
221	7.2 仪器仪表的现代设计技术
232	7.3 仪器仪表的前沿制造技术
248	7.4 微米纳米制造技术与现代仪器科学
257	习题与思考题
258	参考文献

第3篇 典型测量控制与仪器仪表的发展趋势

261	8 典型工业过程参数检测与控制系统的的发展趋势
261	8.1 地位、作用和特点
262	8.2 典型工业过程参数检测的发展趋势
281	8.3 工业过程控制的发展趋势

292

习题与思考题

293

参考文献

294

9 典型科学仪器的发展趋势

294

9.1 科学仪器的地位、作用和前沿技术

299

9.2 典型科学仪器的发展现状和趋势

322

9.3 科学仪器发展的融合与分蘖

326

习题与思考题

326

参考文献

328

10 典型电子与电工测量仪器的发展趋势

328

10.1 电子与电工测量仪器的作用和基本特性

353

10.2 典型电子与电工测量仪器的发展现状与趋势

357

习题与思考题

358

参考文献

359

11 典型医疗仪器的发展趋势

359

11.1 医疗仪器的作用与特点

360

11.2 典型医疗仪器的发展现状与趋势

387

习题与思考题

388

参考文献

第 1 篇 总论





Chapter

测量控制与仪器仪表学科

领域科技与产业的发展

1.1 测量控制与仪器仪表

1.1.1 测量控制与仪器仪表概述

1. 仪器

著名科学家门捷列夫讲过：“科学是从测量开始的”，“没有测量，就没有科学”。测量是科学技术创新的基础，科学新理论的验证需要高精度的计量基（标）准提供测量基础。测量是以确定量值为目的的一种操作，是认识物质世界的一种方法。控制是针对信息获取、变送传输、数据处理和执行控制等部分的需要，研究信号产生、对象跟踪、状态反馈、信息传送、动作控制、结果输出等技术环节中的控制技术与方法。

测量控制(简称测控)是仪器的应用领域。仪器是对物质世界的信息进行测量与控制的基础手段和设备。仪表是用于测量各种自然量(如压力、温度、速度、电压、电流等)的一种仪器。仪表一词在自动化领域使用较多,但仪器和仪表的界线从来就不是非常清楚。而且,随着科学技术的发展、仪器仪表功能的增加,这种界线就越来越模糊了。不过人们已习惯将仪器、仪表统称为仪器仪表或简称为仪器。

仪器是认识物质世界的工具,是人们用来对物质(自然界)实体及其属性进行观察、监视、测定、验证、记录、传输、变换、显示、分析处理与控制的各种器具与系统的总称。仪器的作用主要体现在测量和控制两个方面。它用物理、化学或生物的方法,获取被检测对象运动或变化的信息,并将获取信息转换处理成为易于人们阅读、识别、表达的量化形式,或进一步数字化、图像化,或直接进入自动化、智能运转控制系统,成为过程控制设备的组成部分。从人类社会的发展来看,提高生产力是决定性因素,而科学技术又是发展生产力的首要因素。科学是认识世界的知识,技术是改造世界的知识。二者相互联系,相互促进,互为因果,从而构成第一生产力。生产力的实现要靠生产资料 and 工具。科学研究的工具主要是仪器,而实现技术的工具也要依靠机器。由此可理解为

仪器是认识世界的工具,机器则是改造世界的工具。仪器起着扩展和延伸人的感官神经系统的作用,增强认识世界的能力,而机器则替代和延伸人的体力劳动。重要的是,改造世界是以认识世界为前提的。认识世界有两个方面:一是探索自然规律,积累科学知识;二是对生产现场情况的了解,用以指导生产。由于认识世界和改造世界同等重要,而且认识世界往往是改造世界的先导,所以仪器和机器同样重要,在一定条件下,仪器也是生产的物质先导。历史上许多重要仪器的科研成果,常会带来生产水平的飞跃。

今天,世界正从工业化、机械化时代进入信息化时代。这个时代的特征是以计算机为核心延伸人的大脑功能,起着扩展人脑力劳动的作用,使人类正在走出机械化过程,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,作为智能行动的依据。人们将获得的信息(信息获取)通过仪器或计算机进行选择转换或分析计算(信息转换和处理),使其成为易于人们阅读和识别表达(信息的显示、转换和运用)的量化形式,或进一步信号化、图像化,通过显示系统,以利观察、入库存档或直接进入自动化智能化运转控制系统。仪器仪表是信息的源头。

仪器是一种信息工具,起着不可或缺的信息源的作用。由于信息源必须准确无误或最大限度地少出错误,因此现代稍具复杂性的仪器都毫无例外地采用多种技术形式综合集成,平常称为光、机、电、算等,而且更加离不了电子学集成,复杂些的则与计算机密切相连。

2. 仪器与机器

仪器和机器有着不同的属性,仪器不是机器。这里有必要改变一些习惯概念,认为仪器只是一种机械,一种机床工具,是为机器配套的,是从属于机械的,仪器工业只是机械工业的一个组成部分;或者认为仪器仅仅是为科研服务的一种技术后勤,在科学上仪器科技只是机械学科的一个分支等等。在建国初期很长一段时间内国家把仪器工业归入机械部机床工具局管理就是这种错误认识的典型反映。仪器不是机器,绝大多数也不是简单的机械结构;不是单纯的精密机械,也不是单纯的光学加精密机械,而是机、电、光、算、材料、物理、化学、生物等先进技术的高度综合。特别是今天高技术发展的信息化时代,仪器完全是现代化的综合产物之一,在学科上已经具有适应时代发展的独立的科技地位。

3. 仪器的历史

仪器仪表有着悠久的历史。据《韩非子·有度》记载,中国在战国时期已有了利用天然磁铁制成的指南仪器,称为司南。古代的仪器在很长的历史时期中多数属用以定向、计时或供度量衡用的简单仪器。人类从以地球自转作为计时标准,进而以机械钟、石英钟、乃至原子钟作计时工具,这一过程整整用了 3500 多年。公元前 1500 年在古埃及出现的日晷是利用日影测得时刻的一种人类最古老的计时仪器。在公元前 1400 年,出现的漏壶(沙漏或者滴漏)是第一个摆脱天文现象的计时仪器。公元 1088 年,中国宋朝的机械师苏颂发明的“水运仪象台(水钟)”被认为是世界上第一架真正的机械钟,它是集观测天象的浑仪、演示天象的浑象、计量时间的漏刻和报告时刻的机械装置于一体的综合性观测仪器,它实际上就是一座小型天文台。这台仪器的制造水平堪称一绝,充分体现了我国古代人民的聪明才智和富于创造的精神。

天体仪,古称“浑象”,是我国古代一种用于演示天象的仪器。我国古人很早就会制造

这种仪器,它可以用来直观、形象地了解日、月、星辰的相互位置和运动规律,可以说天体仪是现代天球仪的直接祖先。我国东汉天文学家张衡,曾经在天体仪上安装了一套传动装置,利用相当稳定的漏刻的水推动铜球,均匀地绕金属轴转动,每24小时转一圈,这一业绩已载入我国光辉史册。后来,唐朝的一行和梁令瓚、宋代的苏颂和韩公廉等人把天体仪和自动报时装置结合起来,发展成为世界上最早的天文钟。

中国的度量衡发展很早。大约在距今四五千年前的父系氏族社会末期,随着人类文明的发展,私有制的形成,商品交换日益频繁,度量衡应需而生。度量衡单位最初都是和人体相关联的:“布手知尺,布指知寸”(《孔子·家语》);“一手之盛谓之掬,两手谓之溢”(《小尔雅》)。用这种方法计量,不仅粗略,而且因人而异,没有一个法定的标准。商代遗址中出土的骨尺、牙尺,长度约合16厘米,与中等身高的人大拇指和食指伸开的指端距离相当,尺上分寸刻画采用十进位,它和青铜器一样,反映了当时生产和技术水平。春秋战国时期,由于诸侯割据,政权分散,度量衡也无法保持一致。秦始皇统一全国(公元前221)后,为适应生产和政治的需要,即推行“一法度衡石丈尺,车同轨,书同文字”。颁发了统一度量衡诏书,制定了一套严格的管理制度,巩固了中央集权,保证了度量衡的准确一致,为中国两千多年封建社会的度量衡制奠定了基础。中国古代度量衡与古代数学、物理、天文律学、建筑、冶炼等科学技术的发展起着相互促进的作用。商鞅为统一秦国度量衡而制造的标准量器(公元前344)铜方升上刻有“十六寸五分壹为升”,用度数审其容。方升流传至今,经过测量可以准确地得到战国时代秦一尺的长度,反映了当时应用数学的发展。

17—18世纪,欧洲的一些物理学家开始利用电流与磁场作用力的原理制成简单的检流计;利用光学透镜制成的望远镜,奠定了电学和光学仪器的基础。其他一些用于测量和观察的各种仪器也逐渐得到了发展。19—20世纪,工业革命和现代化大规模生产促进了新学科和新技术的发展,电子计算机等现代科技的进步,迅速推动仪器仪表的发展。现代仪器仪表已成为测量、控制和实现自动化必不可少的技术工具。

1.1.2 仪器科学与技术的学科内涵

著名科学家钱学森明确指出:“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。”科学是从测量开始的,作为测量和测试技术集中体现的仪器科学与技术学科,在当今我国国民经济和科学技术发展中的作用日益明显。仪器仪表是工业生产的“倍增器”,科学研究的“先行官”,军事上的“战斗力”,社会生活中的“物化法官”,已广为人们所理解。

在现代科学技术和生产力的推动下,测量控制与仪器仪表已成为完整的仪器科学与技术学科,成为信息技术的三大组成部分之一。仪器科学与技术学科作为工程性学科,承担着各类仪器研究、开发、制造、应用的任务,包括有关新仪器的设计、制造,各类仪器运行、应用的基础理论研究,新技术、新器件、新材料、新工艺的开发研究以及相关的传感器、元器件和材料等领域的研究工作。

“测量、控制、仪器”是描述仪器科学与技术学科和区别其他学科的关键词。仪器是测量或控制的工具,测量是使用仪器的目的,而控制是为了正确获取信息或者驱使对象执行