



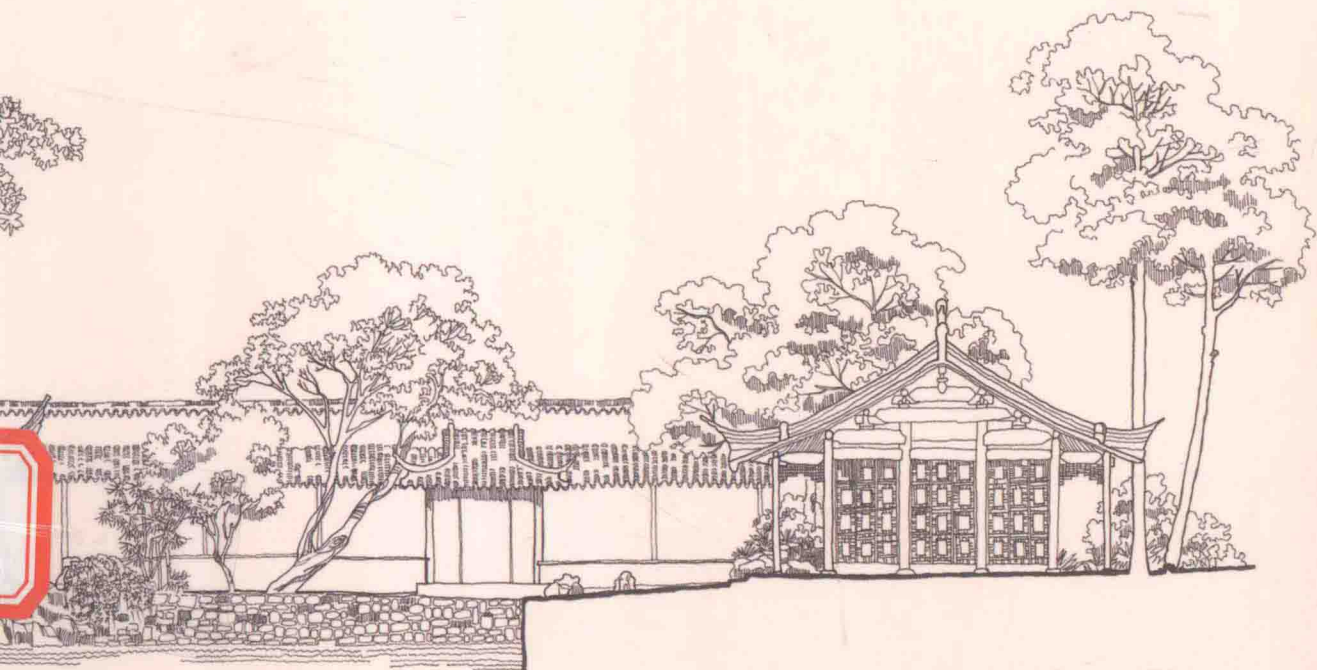
“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
高校建筑环境与能源应用工程学科专业指导委员会规划推荐教材

建筑环境测试技术 (第三版)

Testing Technology for Building Environment

方修睦 主编

方修睦 姜永成 张建利 编著



中国建筑工业出版社

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
高校建筑环境与能源应用工程学科专业指导委员会规划推荐教材

建筑环境测试技术

(第三版)

方修睦 主编
方修睦 姜永成 张建利 编著
肖曰嵘 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑环境测试技术/方修睦主编.—3版.—北京:中国建筑工业出版社,2016.8

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材. 高校建筑环境与能源应用工程学科专业指导委员会规划推荐教材

ISBN 978-7-112-19691-3

I. ①建… II. ①方… III. ①建筑物-环境管理-测试技术-高等学校-教材 IV. ①TU-856

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第196702号

本书为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,也是高校建筑环境与能源应用工程学科专业指导委员会规划推荐教材。

本书在保留第二版教材特色的基础上,充分考虑“大土木”特点,以测试技术为主线,以学习、掌握测试技术的相关理论、方法为目标,进行章节的划分及内容编写。全书分为测试技术基础、测量仪表和测试技术三篇,共计13章。本书不仅详细阐述了测试技术的基本理论,介绍了国内外最新的测试技术、测量设备和研究成果,还介绍了如何根据测试目标,利用所学的测试理论、测量仪表进行测试方案设计,强化了测试技术在本专业的应用。书后附形式多样的思考题与习题。

本书剪系统性强,取材新,信息量大,内容通俗易懂,阐述简明扼要。

本书可作为建筑环境与能源应用工程专业教材,亦可供函授、夜大同类专业以及建筑技术科学类专业使用。同时也可供从事环境监测、供热通风空调、建筑给排水、燃气供应等公共设施系统的研究生以及设计、制造、安装和运行人员参考。

* * *

责任编辑:齐庆梅

责任校对:王宇枢 刘梦然

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
高校建筑环境与能源应用工程学科专业指导委员会规划推荐教材

建筑环境测试技术

(第三版)

方修睦 主编

方修睦 姜永成 张建利 编著

肖曰嵘 主审

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京嘉泰利德公司制版

环球东方(北京)印务有限公司印刷

*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:26 字数:641千字

2016年12月第三版 2016年12月第二十六次印刷

定价:48.00元

ISBN 978-7-112-19691-3

(28802)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码:100037)

第三版前言

本版教材在保留了第二版教材特色的基础上有下述变化：

1. 根据测试技术的最新研究成果和本专业新的规范，对第二版中的内容进行了调整，以反映测试技术的新进展及符合新版规范的要求。

2. 根据本专业的发展需要，新增加了下述内容：

(1) 为适应科学及工程技术发展的需要，使学生正确理解测量不确定度的概念，正确掌握测量不确定度的表示与评定方法，本次修订增加了“测量不确定度的概念及评定方法”、“测量不确定度的合成和扩展不确定度”以及“测量不确定度的报告和评定实例”三节内容。

(2) 光纤测温是对传统测温方法的扩展和提高，可供本专业领域在多种复杂环境下应用，本次修订增加了“光纤温度计”一节。

(3) 智能变送器和网络技术的发展，产生了网络系统与现场仪表的通信要求，为满足现代测试技术的发展需求，本次修订增加了“现场总线仪表”一节。

(4) 强化了建筑环境测试技术一章的内容，本次修订增加了“除尘器基本性能测量技术”一节。

3. 为便于学生自学，对难度较大的习题，增加了解题提示。

在本书编写过程中，得到了本学科专业指导委员会的一贯支持和鼓励，得到了中国建筑工业出版社的支持，使得本教材成为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。中国建筑工业出版社的齐庆梅编辑对第三版的修订给予了很大的支持。兄弟院校的有关老师对本书的第二版提出了很多建设性的意见及建议，在此一并向他们表示衷心感谢。

为方便任课教师制作电子课件，我们制作了包括本书中公式、图表等内容的素材库，可发送邮件至 jiangongshe@163.com 免费索取。

由于时间仓促和编者水平有限，错误和不妥之处在所难免，敬请读者及兄弟院校使用本书的师生给予批评指正。

哈尔滨工业大学
方修睦 姜永成 张建利

第二版前言

建筑环境测试技术这门课程是在专业目录调整之后所确立的一门技术基础课。专业目录的调整,赋予了建筑环境与设备工程专业新的内涵。为了适应新的专业要求,2002年出版了《建筑环境测试技术》第一版教材。随着教学改革的深入,建筑环境与设备工程专业课程设置逐步合理,课程内容逐步完善,各门课程之间的交叉相对稳定。专业内涵及外延所需要的知识支撑,突破了第一版所涉及的内容。以现代科技为特征的传感器技术、计算机测量技术和通信技术为基础的现代测试技术发展迅速,丰富了建筑环境测量的方法和手段。日益庞大的工程系统和人类对居住环境及舒适度需求增加,需要相应的测试技术予以保证。为满足这一需求,本版教材有下述变化:

1. 在保留第一版教材特色的基础上,充分考虑“大土木”特点,以测试技术为主线,以学习、掌握测试技术的相关理论、方法为目标,进行章节的划分及内容的编写。全书分为测试技术基础、测量仪表和测试技术三篇。在测试技术基础这一篇,主要介绍测试技术的基本概念、测试系统的组成以及测量误差和数据处理。在测量仪表这一篇,主要介绍了本专业所涉及的传感器与相应的仪表,重点介绍仪表的基本原理、选择应用及校准方法。在测试技术这一篇,主要介绍了自动化测量系统以及数据采集系统的构成、组建方法及建筑环境与设备工程专业测试技术。

2. 根据本专业的最新规范,对第一版中内容进行了调整,补充了适合本专业应用的国内外最新的测试技术、测量设备和研究成果,如集成型温度传感器、红外测温仪、V形锥流量计等;增加了空气中有毒物质——甲醛的测量、苯及总挥发性有机化合物(TVOC)的测量、空气含尘浓度及生物微粒的测量;增加了建筑光环境测量和交流电量测量。

3. 拓展了与测试系统相关的内容,增加了基于现代传感器技术和存储技术的数据采集系统构成、组建方法及相关技术;通过建筑环境测试技术一章,介绍了如何根据测试目标,利用所学的测试理论、测量仪表进行测试方案设计,强化了测试技术在本专业的应用。

4. 增加了形式多样的思考题与习题。

本书按照48学时编写,所设立的三篇既相对独立又相互联系,各校在使用中,可视实际的教学时数及教学安排取舍。本书可作为高等工科院校建筑环境与设备工程专业本科的“建筑环境测试技术”课程的教材,亦可供函授、夜大同类专业使用。同时也可作为相关专业研究生及工程技术人员设计、施工和运行管理时的参考用书。

本书由哈尔滨工业大学张建利(第1、2、12章)、姜永成(第3、4、5、6、11章)和方修睦(第7、8、9、10、13章)编著。方修睦主编,清华大学肖曰嵘教授主审。

在本书编写过程中,得到了本学科专业指导委员会的一贯支持和鼓励。中国建筑工业出版社的齐庆梅编辑对第二版大纲研讨会给予了很大的支持,并做了大量的组织工作。很

多兄弟院校的有关老师对本书的第二版大纲提出了很多建设性的意见及建议(恕不一一列名),在此一并向他们表示衷心感谢。

为方便任课教师制作电子课件,我们制作了包括本书中公式、图表等内容的素材库,可发送邮件至 jiangongshe@163.com 免费索取。

由于时间仓促和编者水平有限,错误和不妥之处在所难免,敬请读者及兄弟院校使用本书的师生给予批评指正。

哈尔滨工业大学
方修睦 姜永成 张建利
2008年3月于哈尔滨

第一版前言

“建筑环境测试技术”课程是面向建筑环境与设备工程专业本科生的一门技术基础课。它涉及供热通风空调、建筑给水排水、燃气供应等公共设施系统及建筑环境中的试验技术、计量技术及非电量电测技术等领域的知识，是设计、安装、运行管理及科学研究必不可少的重要手段。

为适应当前提出的拓宽专业口径、扩大学生知识面，调整学生知识结构的高等工程教育目标，本书在编写中注意融入现代新技术成果和应用经验，力求扩大本教材向读者提供的信息量。注意了从测量系统出发，介绍各类传感器及二次仪表，强调了对测试仪表的原理、选择、应用及标定方法的介绍。特别加强了以现代科技为特征的传感器技术及计算机技术的介绍。为方便教学，在教材的写法上，力求通过基本公式讲授基本原理，通过便于理解的原理示意图或简单实用的结构图讲授测量装置。

本书可作为高等工科院校建筑环境与设备工程专业本科的“建筑环境测试技术”课的教材，亦可供函授、夜大同类专业使用。

本书由哈尔滨工业大学方修睦(第七、八、九、十、十三章)、姜永成(第三、四、五、六、十一章)和张建利(第一、二、十二、十三章)编写。方修睦主编，清华大学肖曰嵘教授主审。

由于时间仓促和编者水平有限，错误和不妥之处在所难免，敬请读者不吝指教，并提出建议，以期再版时质量有较大提高。

哈尔滨工业大学
方修睦 姜永成 张建利
2002年5月于哈尔滨

目 录

第1篇 测试技术基础

第1章 测试技术的基本知识	2
1.1 测试技术的基本概念	2
1.2 测量方法及分类	6
1.3 测量仪表概述	9
1.4 计量的基本概念	12
思考题与习题	14
第2章 测量误差和测量不确定度	16
2.1 测量误差	16
2.2 测量误差的来源	20
2.3 误差的分类	21
2.4 随机误差分析	24
2.5 系统误差分析	34
2.6 间接测量的误差传递与分配	38
2.7 误差的合成	46
2.8 测量不确定度的概念及评定方法	48
2.9 测量不确定度的合成和扩展不确定度	52
2.10 测量不确定度的报告和评定实例	54
2.11 测量数据的处理	60
2.12 最小二乘法	64
思考题与习题	71

第2篇 测量仪表

第3章 温度测量	76
3.1 温度测量概述	76
3.2 膨胀式温度计	78
3.3 热电偶测温	81
3.4 热电阻测温	93
3.5 接触式测温方法	100
3.6 非接触测温	102
3.7 集成型传感器测温	111
3.8 光纤温度计	114
思考题与习题	125
第4章 湿度测量	127
4.1 概述	127

4.2	干湿球湿度计	129
4.3	露点湿度计	131
4.4	电子式湿度传感器	132
4.5	湿度计的校准	138
	思考题与习题	139
第5章	压力测量	141
5.1	概述	141
5.2	液柱式压力计	143
5.3	弹性压力计	146
5.4	电气式压力检测	150
5.5	压力检测仪表的应用与校准	153
	思考题与习题	158
第6章	物位测量	160
6.1	物位检测的主要方法和分类	160
6.2	静压式物位检测	161
6.3	浮力式物位检测	167
6.4	电气式物位检测	169
6.5	声学式物位检测	171
6.6	射线式物位检测	173
	思考题与习题	175
第7章	流速及流量测量	176
7.1	流速测量	176
7.2	流速测量仪表的校准	184
7.3	流量测量方法和分类	187
7.4	差压式流量测量方法及测量仪表	189
7.5	叶轮式流量计	200
7.6	电磁流量计	203
7.7	超声波流量计	205
7.8	涡街流量计	207
7.9	容积流量计	209
7.10	流量计的校准	211
	思考题与习题	213
第8章	热流测量	216
8.1	热阻式热流计	216
8.2	热量及冷量的测量	222
	思考题与习题	224
第9章	建筑环境测量	226
9.1	空气中气体污染物的测量	226
9.2	空气含尘浓度及生物微粒的测量	235
9.3	环境放射性测量	239
9.4	环境噪声测量	241
9.5	建筑光环境测量	243

9.6 环境测量仪器的校准	245
思考题与习题	248
第10章 其他参数的测量	250
10.1 过剩空气系数测量	250
10.2 水中含盐量测量	254
10.3 水中含氧量测量	256
10.4 交流电电量测量	258
思考题与习题	264
第11章 电动显示仪表	265
11.1 概述	265
11.2 模拟式显示仪表	270
11.3 数字式显示仪表	274
11.4 智能式显示仪表	279
11.5 传感器及变送器与显示仪表的连接	284
11.6 现场总线仪表	286
思考题与习题	292
第3篇 测试技术	
第12章 自动化测量系统	294
12.1 自动化测量系统概述	294
12.2 集中式及分布式自动化测量系统	296
12.3 数据采集器	302
12.4 数据采集系统	306
思考题与习题	311
第13章 建筑环境测试技术	312
13.1 建筑能耗测量技术	312
13.2 通风空调系统风量测量技术	326
13.3 一般通风用空气过滤器性能测量技术	332
13.4 空气冷却器与空气加热器性能测量技术	336
13.5 散热器热工性能测量技术	341
13.6 空调机组性能测量技术	345
13.7 洁净室测量技术	354
13.8 工业企业噪声测量技术	359
13.9 除尘器基本性能测量技术	365
思考题与习题	374
附录	377
附录1 计量检定系统框图	377
附录2 分布积分表和分布表	381
附录3 标准化热电偶分度表	383
附录4 标准化热电阻分度表	390
附录5 热阻式热流计的参考精度	392
附录6 环境质量指标	393
附录7 饱和水蒸气压力和含湿量	396
专业名词索引	399

第1篇 测试技术基础

测量是人们认识和改造世界必不可少的重要手段，它是以确定被测物属性量值为目的的一组操作。通过测量和试验能使人们对事物获得定性或定量的概念，从而发现客观事物的规律性。广义地讲，测量是对被测量进行检出、变换、分析、处理、判断、控制等的综合认识过程。

测试技术是对生产过程和运动对象实施定性检查和定量测量的技术。测试技术涉及传感器、试验设计、模型理论、信号加工与处理、误差理论、控制工程和参数估计等内容。需要根据误差理论、根据检测对象特性和检测的具体问题，合理设计、科学组建检测系统，正确使用各种检测工具、设备和检测方法，正确地进行测量并对测试结果进行正确处理分析。

本篇以学习、掌握检测技术和检测系统的相关基础理论、方法为目标，重点介绍测试技术的基本知识，测量误差和数据处理的基本概念、理论及方法。

第 1 章 测试技术的基本知识

测试技术是人们认识客观事物的重要方法，是从客观事物中取得有关信息的认识过程。其特点是广博的理论性和丰富的实践性，随着现代科学技术的发展而发展。本章主要介绍计量、测量、测试、测试技术的基本概念、测量方法及分类、测量仪表概况、测试系统的基本构成以及测试技术的国内外发展情况。

1.1 测试技术的基本概念

测试技术涉及传感器、试验设计、模型理论、信号加工与处理、误差理论、控制工程和参数估计等内容。本节主要对测试的基本概念、测试技术的作用和任务、测试技术的内容和特点以及测试技术的发展加以介绍。

1.1.1 基本概念

1. 测量

人们通过对客观事物大量的观察和测量，形成了定性和定量的认识，通过归纳、整理建立起了各种定理和定律，而后又要通过测量来验证这些认识、定理和定律是否符合实际情况，经过如此反复实践，逐步认识事物的客观规律，并用以解释和改造世界。俄罗斯科学家门捷列夫(П. N. Менделеев)在论述测量的意义时曾说过：“没有测量，就没有科学”，“测量是认识自然界的主要工具”。英国科学家库克(A. H. Cook)也认为：“测量是技术生命的神经系统”。这些话都极为精辟地阐明了测量的重要意义^[1]。历史事实也已证明：科学的进步，生产的发展，与测量理论、技术、手段的发展和进步是相互依赖、相互促进的。测量技术水平是一定历史时期内一个国家的科学技术水平的一面“镜子”。正如特尔曼(F. E. Telmen)教授所说：“科学和技术的发展是与测量技术并行进步相互匹配的。事实上，可以说，评价一个国家的科技状态，最快捷的办法就是审视那里所进行的测量以及由测量所累积的数据是如何被利用的。”

因此可以说，测量是人认识和改造世界的一种不可缺少和替代的手段。它是以确定被测物属性量值为目的的一组操作。通过测量和试验能使人们对事物获得定性或定量的概念，并发现客观事物的规律性。广义地讲，测量是对被测量进行检出、变换分析处理、判断、控制等的综合认识过程。据国际通用计量学基本名词推荐：测量是以确定量值为目的的一组操作，这种操作就是测量中的比较过程——将被测参数的量值与作为单位的标准量进行比较，比出的倍数即为测量结果。

2. 误差公理

在科学试验和工程实践中，由于客观条件的限制以及在测量工作中人的主观因素的影响，都会使测量结果与实际值不同，也即测量误差客观存在于一切科学试验与工程实践中，没有误差的测量是不存在的，这就是所谓的误差公理。对测量误差的控制就成为衡量

测量技术水平以至科技水平的重要标志之一。研究误差的目的，就是要根据误差产生的原因、性质及规律，在一定测量条件下尽量减小误差，保证测量值有一定的可信度，将误差控制在允许的范围之内。

3. 计量

计量和测量是互有联系又有区别的两个概念。测量是通过实验手段对客观事物取得定量信息的过程，也就是利用实验手段把待测量直接或间接地与另一个同类已知量进行比较，从而得到待测量值的过程。测量过程中所使用的器具和仪器就直接或间接地体现了已知量。测量结果的准确与否，与所采用的测量方法、实际操作和作为比较标准的已知量的准确程度都有着密切的关系。因此，体现已知量在测量过程中作为比较标准的各类量具、仪器仪表，必须定期进行检验和校准，以保证测量结果的准确性、可靠性和统一性，这个过程称为计量。计量的定义不完全统一，目前较为一致的意见是：“计量是利用技术和法制手段实现单位统一和量值准确可靠的测量。”计量可看作测量的特殊形式，在计量过程中，认为所使用的量具和仪器是标准的，用它们来校准、检定受检量具和仪器设备，以衡量和保证使用受检量具仪器进行测量时所获得测量结果的可靠性。

4. 测试

测试是测量和试验的全称，有时把较复杂的测量称为测试。

5. 检测

检测是意义更为广泛的测量，是检验和测量的统称。具体到工程检测技术，则是对研究对象、生产过程实施定性检查和定量测量的技术。也就是根据检测的具体问题、误差理论及对象的特性，来合理设计、科学组建检测系统，正确地进行测量。检验是由测量来实现的，它常常需要分辨出参数量值所归属的某一范围带，以此来判别被测参数是否合格或某一现象是否存在。

1.1.2 测试技术的作用和任务

从测试技术的定义中可以看出，人类在研究未知世界的过程中是离不开测试技术的。最早人类只能依靠自身的感觉器官(听觉、视觉、嗅觉、味觉、触觉)和简陋的器具去考察自然现象，指导生产活动。随着科学技术的发展，人类获取信息的能力，达到了新的高度和广度。当今的时代是以新材料、新能源开发、计算机技术、信息工程、自动控制技术、激光、生物技术等为主要标志的时代，各个学科之间相互渗透、相互促进、协调发展，测试技术和数据处理等已日益为人们所重视。在建筑环境工程领域，通过对有关物理量(如温度、湿度、压力、压差、流量、热量、噪声等)的测量，不仅能够对建筑材料、建筑热工产品的质量提供客观的评价、对系统运行的实时监测调度，而且还能够为生产、科研提供可靠的数据和反馈信息，成为探索、开发、创造新材料、新产品和实现系统优化运行的一种重要手段。

测试技术的主要任务体现在以下几个方面：

1) 对建筑节能材料、建筑热工产品等的性能进行检定，以确保产品质量达到预定的标准。例如对建筑节能墙体的热工性能测试；散热器的热工性能测试；空调机组、新风机组的热工性能测试等。通过测试一方面可以防止不合格的材料、产品流入市场；另一方面可以通过测试发现材料、产品的缺陷，分析出原因，加以改正。通过测试可以给出材料、产品的性能参数作为系统设计、施工的依据。

2) 对运行参数进行监测或控制,以保证系统正常运行。为保证建筑环境与能源应用工程专业涉及的集中供热系统、燃气输配系统、室内给水系统、空调系统等能安全、可靠地运行,必须对与这些系统运行条件有关的量进行实时在线监测,以指导系统的正常运行。

3) 许多复杂系统仅凭已有的理论公式或经验公式进行计算是不够的,利用测试技术可以积累大量的系统实际运行参数的数据,通过对数据的分析研究,可以发现系统中存在的问题、改进的方法及建立系统的最优运行方案。例如对供热系统、空调系统的整个运行数据进行分析可以找出改进的优化运行方案;对建筑物的运行参数进行分析可以评价节能建筑的节能效果。

4) 在许多科学研究领域中,测试技术占有很重要的地位,如土木工程、建筑环境工程、电子工程、气象学、地震学、海洋学的研究都是和测试技术分不开的。至于人造地球卫星的发射与回收、宇宙空间的探测、航天工程等尖端技术的科学研究则更是与测试技术紧密相关的。因此,测试技术是科学技术发展中一项重要的基础性技术。

1.1.3 测试技术的内容和特点

测试技术是人们认识客观事物的重要方法,是从客观事物中取得有关信息的认识过程。在这个过程中,借助于专门的仪器设备,通过正确的试验及相应的数学处理,可求得所研究对象的有关信息。

研究对象的有关信息有些是可以直接检测的。例如,温度的变化可以引起温度敏感元件(如:热敏电阻)阻值的变化,其阻值的变化量是可以直接测量的。可是,对于有些研究对象,它的某些参数的测量就不那么容易。对于这样的对象,必须首先根据被测参数的特性选择相应的传感器,并设计一个正确的测试系统,通过对传感器获取的信号进行加工、处理才能获得所研究对象的正确参数。例如:散热器在标准流量下散热量的测量。有些复杂对象的动态特性则只有通过对其的激励和系统响应的测试才能求得。

从广义角度来讲,测试技术涉及传感器、试验设计、模型理论、信号加工与处理、误差理论、控制工程和参数估计等内容。从狭义的角度来讲,测试技术则是指在一定的激励方式下,信号的测量、数据的处理、数据的记录乃至显示等内容。本书主要介绍测试技术中的基本知识、基本理论、传感器和仪表以及基本测试技能。

基本知识主要是指计量、测量、测试、误差的概念;测试系统的基本构成;测试技术的国内外发展情况。

基本理论主要是指测量理论、误差理论、测试系统理论。

传感器和仪表主要是指本专业所涉及的传感器与相应的仪表的原理、选择应用及校准方法。

基本测试技能主要包括根据测试对象正确构思测试系统,合理选择各类传感器、组建测试系统,对测试结果进行正确处理分析。

如果所测试的信号不随时间变化,或相对观察时间而言,其变化非常缓慢,则称这种测试是静态的。如果所测试的信号变化较快,这种测试则属于动态测试。测试技术既涉及静态测试也涉及动态测试。由于动态测试系统与静态测试系统的差别,因此在传感器的选择、测试系统的构建及数据的处理方法等方面应采用不同的方法,在建筑环境测试技术中所涉及的大部分是静态测试技术,随着建筑环境测试技术的发展,动态测试技术的应用也

在逐年增多。

1.1.4 测试技术的发展

测试技术是随着现代科学技术的发展而迅速发展起来的一门新兴学科。现代科学技术的发展离不开测试技术，而且不断对测试技术提出新的要求。另一方面，现代测试方法和测试系统的出现、不断完善及提高又是科学技术发展的结果，两者是互相促进的。可以说，采用先进的测试技术是科学技术现代化的重要标志之一，也是科学技术现代化必不可少的条件。反过来，测试技术的水平又在一定程度上反映了科学技术的发展水平。科学技术的发展，使测试技术达到了一个新的水平，其主要标志有以下几个方面。

1. 传感器技术水平的提高

由于物理学、化学、半导体材料学、微电子学及加工工艺等方面的新成就，使传感器向着灵敏度高、精确度高、测量范围大、智能化程度高、环境适应性好等方向发展。已经研制成功很多可以检测压力、温度、湿度、热、光和磁等物理量和气体化学成分的智能传感器。光导纤维不仅可以用作信号的传输，而且可作为传感器。微电子技术的发展已能将某些电路乃至微处理器和传感、测量部分做成一个整体，使传感器本身具有检测、放大、判断和一定的信号处理功能。可以说传感器的小型化与智能化已经成为当代科学技术发展的标志，也是测试技术发展的明显趋势。

2. 测试方法的推进

随着光电、超声波、射线、微波等技术的发展，使得非接触式测量技术得到发展。随着光纤、光放大器等光元件的发展，使信号的传输和处理不再局限于电信号，出现了采用光的测量方法。随着超低功耗电子器件的发展，电池供电的超低功耗仪表的出现，使得离线式测试系统得到了广泛的应用。

3. 测试系统的智能化

计算机技术的普及与发展使测试技术发生了根本变化。计算机技术在测试技术中的应用突出地表现在整个测试工作可在计算机的控制下，自动按照给定的试验程序进行，直接给出测试结果，构成了自动测试系统。其他诸如波形存储、数据采集、非线性校正和系统误差的消除、数字滤波、参数估计等方面也都是计算机技术在测试领域中应用的重要成果。

测试技术已经成为自动控制系统中一个重要组成部分。宇宙空间站的建立，航天飞机的发射和返回，人造地球卫星的发射和回收，都是自动控制技术的重要成果。生产过程自动化已经成为当今工业生产实现高精度、高效率的重要手段。而一切自动控制过程都离不开测试技术，利用测试得到的信息，自动调整整个运行状态，使生产、控制过程在预定的理想状态下进行。实现“以信息流控制物质和能量流”的自动控制过程。

4. 测试系统的广泛应用

随着科学技术的发展，测试技术应用的领域不断扩大。可以说，它涉及所有几何量和物理量，诸如力、位移、速度、硬度、流量、流速、时间、频率、温度、热量、电声、噪声、超声、光度、光谱、色度、激光、电学、磁学等等。在生物工程领域，目前已经研制出用于将检测分析物的生物分子或细胞的结果转换成电信号的换能器，可以用来探测生物的奥秘。

1.2 测量方法及分类

1.2.1 测量

测量是以同性质的标准量与被测量比较,并确定被测量相对标准量的倍数(标准量应该是国际上或国家所公认和性能稳定的)。测量的定义也可用公式来表示:

$$L=X/U \quad (1.2.1)$$

式中 X ——被测量;

U ——标准量(测量单位);

L ——比值,又称测量值。

由式(1.2.1)可见 L 的大小随选用的标准量的大小而定。为了正确反映测量结果,常需在测量值的后面标明标准量 U 的单位。例如长度的被测量为 X ,标准量 U 的单位采用国际单位制——米,测量的读数为 $L(\text{m})$ 。

测量过程中的关键在于被测量和标准量的比较。有些被测量与标准量是能直接进行比较而得到被测量的量值,例如用天平测量物体的重量。但被测量和标准量能直接比较的情况并不多。大多数被测量和标准量都需要变换到双方都便于比较的某一个中间量,才能进行比较,例如用水银温度计测量水温时,水温被变换成玻璃管内水银柱的高度,而温度的标准量被变换为玻璃管上的刻度,两者的比较被变换成为玻璃管内水银柱的高度的比较。这种变换并不是唯一的,例如用热电阻测量水温时,水温被变换成电阻值,而温度的标准量被变换为电阻的刻度值,温度的比较变换成电阻值的比较。

通过变换可以实现测量,变换也是实现测量的核心,一个新的变换对应着一个新的测量元件、一个新的测量方法的产生。

1.2.2 测量方法分类

一个物理量的测量,可以通过不同的方法实现。测量方法的选择正确与否,直接关系到测量结果的可信赖程度,也关系到测量工作的经济性和可行性。不当或错误的测量方法,除了得不到正确的测量结果外,甚至会损坏测量仪器和被测量设备。有了先进精密的测量仪器设备,并不等于就一定能获得准确的测量结果。必须根据不同的测量对象、测量要求及测量条件,选择正确的测量方法、合适的测量仪器及构造测量系统,进行正确操作,才能得到理想的测量结果。

从不同的角度出发可以对测量方法进行不同的分类:

按测量的手段分类:直接测量法、间接测量法、组合测量法;

按测量方式分类:偏差式测量法、零位式测量法、微差式测量法;

按测量敏感元件是否与被测介质接触分类:接触式测量法、非接触式测量法;

按被测对象参数变化快慢分类:静态测量、动态测量;

按测量系统是否向被测对象施加能量分类:主动式测量法、被动式测量法;

按测量数据是否需要实时处理分类:在线测量、离线测量;

按对测量精度的要求分类:精密测量、工程测量;

按测量时测量者对测量过程的干预程度分类:自动测量、非自动测量;

按被测量与测量结果获取地点的关系分类:本地(原位)测量、远地测量(遥测);

按被测量的属性分类：电量测量和非电量测量。

由于测量方法的分类形式较多，下面仅就几种常见的分类方法加以介绍。

1.2.3 测量方法

1. 测量手段不同的测量方法

1) 直接测量：它是指直接从测量仪表的读数获取被测量量值的方法，比如用压力表测量管道水压，用欧姆表测量电阻阻值等。直接测量的特点是不需要对被测量与其他实测的量进行函数关系的辅助运算，因此测量过程简单迅速，是工程测量中广泛应用的测量方法。

2) 间接测量：它是利用直接测量的量与被测量之间的函数关系(可以是公式、曲线或表格等)间接得到被测量的量值的测量方法。例如需要测量电阻 R 上消耗的直流功率 P ，可以通过直接测量电压 U ，电流 I ，而后根据函数关系 $P=UI$ ，经过计算，间接获得功率 P 。间接测量费时费事，常在下列情况下使用：直接测量不方便、间接测量的结果较直接测量更为准确或缺少直接测量仪器等。

3) 组合测量：当某项测量结果需用多个未知参数表达时，可通过改变测量条件进行多次测量，根据测量量与未知参数间的函数关系列出方程组并求解，进而得到未知量，这种测量方法称为组合测量。一个典型的例子是电阻器电阻温度系数的测量。已知电阻器阻值 R_t 与温度 t 间满足关系

$$R_t = R_{20} + \alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2 \quad (1.2.2)$$

式中 R_{20} —— $t=20^\circ\text{C}$ 时的电阻值，一般为已知量；

α 、 β ——电阻的温度系数；

t ——环境温度。

为了获得 α 、 β 值，可以在两个不同的温度 t_1 、 t_2 下 (t_1 、 t_2 可由温度计直接测得) 测得相应的两个电阻值 R_{t1} 、 R_{t2} ，代入式(1.2.2)得到联立方程：

$$\begin{cases} R_{t1} = R_{20} + \alpha(t_1 - 20) + \beta(t_1 - 20)^2 \\ R_{t2} = R_{20} + \alpha(t_2 - 20) + \beta(t_2 - 20)^2 \end{cases} \quad (1.2.3)$$

求解联立方程(1.2.3)，就可以得到值 α 、 β 。如果 R_{20} 未知，显然可在三个不同的温度下，分别测得 R_{t1} 、 R_{t2} 、 R_{t3} ，列出由三个方程构成的方程组并求解，进而得到 R_{20} 、 α 、 β 。

2. 测量方式不同的测量方法

1) 偏差式测量法：在测量过程中，用仪器仪表指针的位移(偏差)表示被测量大小的测量方法，称为偏差式测量法。例如使用万用表测量电压，使用水银温度计测量温度等。由于是从仪表刻度上直接读取被测量，包括大小和单位，因此这种方法也叫直读法。用这种方法测量时，作为计量标准的实物并不装在仪表内直接参与测量，而是事先用标准量具对仪表读数、刻度进行校准，实际测量时根据指针偏转大小确定被测量量值。这种方法的显著优点是简单方便，在工程测量中被广泛采用。

2) 零位式测量法：零位式测量法又称作零示法或平衡式测量法。测量时用被测量与标准量相比较(因此也把这种方法叫做比较测量法)，用指零仪表(零示器)指示被测量与标