



“十三五”国家重点出版物出版规划项目
面向可持续发展的土建类工程教育丛书
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
21世纪高等教育建筑环境与能源应用工程系列规划教材

第3版

建筑环境 与能源测试技术

陈刚 主编

王汉青 王海桥 主审

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

双色印刷



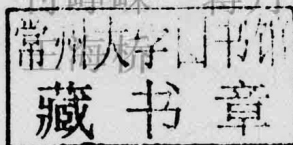
免费教学资源

“十三五”国家重点出版物出版规划项目
面向可持续发展的土建类工程教育丛书
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
21世纪高等教育建筑环境与能源应用工程系列规划教材

建筑环境与能源 测试技术

第3版

主 编 陈 刚
副主编 赵运超
参 编 李惠敏 李端茹 邹志军
吴会军 付峥嵘 蒋丹凤
主 审 王汉青



机械工业出版社

本书是在《建筑环境测量》第2版的基础上,结合新规范、新标准、新技术以及使用者反馈的意见等修订而成。书中主要介绍了供暖、通风、空调、制冷与能源等领域相关参数的测试技术。全书共10章,内容包括:测量及测量仪表的基本知识、测量误差分析与数据处理、建筑热湿环境参数测量、流体参数测量、空气环境中有害物质测量、建筑声环境参数测量、建筑光环境参数测量、燃气参数测量、建筑节能检测、建筑环境综合测试技术及应用。每章后附有思考题,方便学生复习掌握所学知识。

本书是普通高等院校建筑环境与能源应用工程专业“建筑环境测试技术”课程教材,同时也可供从事暖通空调等相关专业设计、施工和运行管理的技术人员,从事建筑节能研究和技术运用推广的技术人员以及开展相关专业实验研究的研究生参考。

本书配有ppt电子课件等教学资源,免费提供给选用本书作为教材的授课教师。授课教师可登录机械工业出版社教育服务网(www.cmpedu.com)注册下载,或将申请信息(姓名、电话、职称、职务、所属院校、授课专业)发送邮件至 1847737699@qq.com 索取。

图书在版编目(CIP)数据

建筑环境与能源测试技术/陈刚主编.—3版.—北京:机械工业出版社,2019.6

21世纪高等教育建筑环境与能源应用工程系列规划教材“十三五”国家重点出版物出版规划项目 面向可持续发展的土建类工程教育丛书 普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-62595-7

I. ①建… II. ①陈… 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(2019)第079170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:刘涛 责任编辑:刘涛 于伟蓉

责任校对:张晓蓉 封面设计:陈沛

责任印制:张一博

三河市宏达印刷有限公司印刷

2019年7月第3版第1次印刷

184mm×260mm·22.25印张·579千字

标准书号:ISBN 978-7-111-62595-7

定价:58.00元

电话服务

客服电话:010-88361066

010-88379833

010-68326294

封底无防伪标均为盗版

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

机工教育服务网:www.cmpedu.com

序

建筑环境与设备工程（2012年更名为建筑环境与能源应用工程）专业是教育部在1998年颁布的全国普通高等学校本科专业目录中将原“供热通风与空调工程”专业和“城市燃气供应”专业进行调整、拓宽而组建的新专业。专业的调整不是简单的名称的变化，而是学科科研与技术发展，以及随着经济的发展和人民生活水平的提高，赋予了这个专业新的内涵和新的元素，创造健康、舒适、安全、方便的人居环境是21世纪本专业的重要任务。同时，节约能源、保护环境是这个专业及相关产业可持续发展的基本条件。它们和建筑环境与设备工程（建筑环境与能源应用工程）专业的学科科研与技术发展总是密切相关，不可忽视。

新专业的组建及其内涵的定位，首先是由社会需求决定的，也是和社会经济状况及科学技术的发展水平相关的。我国的经济持续高速发展和大规模建设需要大批高素质的本专业人才，专业的发展和重新定位必然导致培养目标的调整和整个课程体系的改革。培养“厚基础、宽口径、富有创新能力”符合注册公用设备工程师执业资格要求，并能与国际接轨的多规格的专业人才是本专业教学改革的目的。

机械工业出版社本着为教学服务，为国家建设事业培养专业技术人才，特别是为培养工程应用型和技术管理型人才做贡献的愿望，积极探索本专业调整和过渡期的教材建设，组织有关院校具有丰富教学经验的教师编写了这套建筑环境与设备工程（建筑环境与能源应用工程）专业系列教材。

这套系列教材的编写以“概念准确、基础扎实、突出应用、淡化过程”为基本原则，突出特点是既照顾学科体系的完整，保证学生有坚实的数理科学基础，又重视工程教育，加强工程实践的训练环节，培养学生正确判断和解决工程实际问题的能力，同时注重加强学生综合能力和素质的培养，以满足21世纪我国建设事业对专业人才的要求。

我深信，这套系列教材的出版，将对我国建筑环境与设备工程（建筑环境与能源应用工程）专业人才的培养发挥积极的作用，会为我国建设事业做出一定的贡献。

第3版前言

本书由《建筑环境测量》第2版修订、更名而来。本书继被评为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”后，又被选入“‘十三五’国家重点出版物出版规划项目”。

为做好本次修订工作，特邀了部分“建筑环境测试技术”课程的主讲教师加入编写组。编写组成员广泛吸取了授课教师的意见，结合近年来国家出台的与本书内容有关的新规范和新标准，对本书的结构进行了较大幅度的调整，对内容进行了全面修订，以期更好地满足广大师生的需要。

本书由南华大学陈刚主编，并编写、修订了绪论、第1章和第2章部分内容以及第6章、第7章、第10章和3.1节、4.2节、8.4节；江西理工大学赵运超编写、修订了1.1节、1.4节、2.4节、3.3节、4.1节、10.1.3节、10.7节；南华大学李惠敏编写、修订了第8章、第9章和7.4节；湖南工业大学李端茹编写、修订了2.6.1节、2.6.7节、3.1.7节、10.2节；上海理工大学邹志军编写、修订了第1~4章的思考题；广州大学吴会军、湖南工业大学付嵘嵘编写修订了第5章；蒋丹凤编写、修订了1.3节。

本次修订得到南华大学王汉青教授、湖南科技大学王海桥教授的指导和帮助；西安工程大学黄翔教授、上海理工大学黄晨教授在本书更名方面提供了悉心指导；湖南大学陈友明教授和张泉教授、湖南科技大学邹声华教授、武汉科技大学李玉云教授、广州大学丁云飞教授、江西理工大学王习元副教授等对本次修订提出了宝贵意见并提供了热心帮助，硕士生李建东、任雪妍、杨芬等在资料收集和整理编排、图表绘制等方面做了大量工作，在此一并表示衷心感谢！

在修订本书过程中，参考了许多教材、专著、规范、标准、科技论文及有关文献资料（数据、图表、例题、习题等），谨向相关作者表示衷心的感谢和崇高的敬意。

本次修订是在第2版的基础上进行的，在此感谢原编写组成员所做的基础工作和付出的辛勤劳动，感谢所有师生对本书提出的宝贵意见和建议。

本书虽经修订，但难免还会有错误和不妥之处，欢迎广大同行、专家、任课教师不吝赐教，您的宝贵意见将会使本书不断得到完善。

编者联系方式：陈刚，湖南省衡阳市常胜西路28号，南华大学土木工程学院，邮编421001，E-mail: 171548726@163.com。

赵运超，江西省赣州市红旗大道86号，江西理工大学建筑与测绘工程学院，邮编341000，E-mail: zhaoyunchao168@163.com。

编者

第2版前言

《建筑环境测量》第1版于2005年出版,2006年被评为教育部“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”。六年多来,本教材已陆续被60余所高校选为专业课程“建筑环境测试技术”(或建筑环境测量)教材;与本教材配套的电子课件被数十所院校教师下载使用,学生和专业教师反映良好。在此,特向广大使用者和对教材提出宝贵意见的教师与学生表示崇高的敬意和衷心的感谢。

经过六年多的应用实践,编写组成员对课程体系、课程内容的认识有了进一步的提高。本次修订在第1版基础上,吸收了近年来国内外建筑环境测量的最新技术和建筑节能方面的成果,并注重与国家现行的规范、标准、技术措施接轨,以实际操作为主,理论指导为辅,突出实际应用。本次修订工作主要体现在以下几点:

1) 国家建筑节能工作已全面推行,许多节能措施在设计规范中被列为强制性条文。为配合建筑节能工作的全面开展,教材增加了第8章“建筑节能检测”。该章从介绍建筑能耗的国内外现状、建筑节能材料、建筑节能构件等基础内容入手,阐述了建筑节能检测的主要参数和基本内容、从事建筑节能检测机构的具体要求、对建筑材料和构件进行节能检测的方法和步骤、建筑物节能效果现场检测及节能效果的判别原则等,最后还简要介绍了建筑节能技术的应用与节能效果的综合评价。

2) 将原教材的第8章调整为第9章,并结合近年来建筑环境测试技术的发展成果,补充、完善了原有的一些参数测试的内容,增加了“气相色谱分析测试技术”的内容。

3) 对原教材中一些参数测量的内容有不同程度的修改。

4) 对原教材中的个别疏漏之处进行了更正。

全书共9章,其中绪论、第1章、第3章、第6章由南华大学陈刚修订,第4章、第9章由南华大学李惠敏修订,第2章、第7章由上海应用技术学院冯劲梅修订,第5章由湖南工业大学付峥嵘、杨景华修订,第8章由陈刚、李惠敏合作编写。

本次修订得到了湖南工业大学王汉青教授的指点和大力帮助;湖南科技大学王海桥教授和邹声华教授、武汉科技大学李玉云教授、湖南工业大学寇广孝教授等对本次修订提出了宝贵意见;南华大学供热、供燃气通风与空调工程硕

士研究生万丽霞、孙丁、谢吉平等在资料收集和整理、图表绘制等方面做了大量的工作，在此一并表示衷心感谢！

本教材在修订过程中，参考了许多教材、专著、规范、标准、科技论文及有关文献资料（数据、图表、例题、习题等），谨向有关文献的作者表示衷心感谢。

教材编写组的全体同志十分感谢教师们在使用本教材中所付出的辛勤劳动和努力，也感谢各位对教材所提的宝贵意见和建议。

教材虽经修订，书中仍会有许多不尽如人意之处，欢迎广大同行、专家、任课教师不吝赐教，批评指正，以便不断改进。

主编联系方式：湖南省衡阳市常胜西路28号 南华大学城市建设学院 邮编421001 E-mail: cg9019@163.com

编者

第1版前言

“建筑环境测量”是建筑环境与设备专业主要的专业基础课之一，内容包括温度、压力、湿度、流速、流量、液位、气体成分、环境噪声、光的强度、环境中的有害物质等参数的基本测量方法和测试仪表的原理及应用。这些都是从事工程设计、安装调试、运行管理与科学研究必不可少的重要知识和技能。

本书在编写过程中在注重基本原理的基础上引入了工程测量中常用的测量方法和测量仪表的相关知识，并加强了针对每个被测量如何设计测量系统，确定测量原理、测量方法，选择测量仪表，采取相应的测量步骤等内容的介绍。

随着科学技术的迅速发展，尤其是非电量电测技术的迅猛发展，以及计算机和电信号处理技术的普遍应用，丰富了测量的方法和手段。因此，本书在注重基本原理、方法及实际应用的基础上，加强了对近期国内外测量技术的新成就、新发展和新趋向等方面内容的介绍，以便于扩展读者的知识面，开阔思路，提高解决实际技术问题的能力。

本书可作为普通高等院校建筑环境与设备工程专业“建筑环境测量”（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，也可作为相关专业工程技术人员设计、施工、运行管理时的参考用书。

本书按38学时编写，各校在使用时，可视实际的教学时数及各地区应用情况取舍。

本书由南华大学陈刚（绪论、第1章、第6章）和李惠敏（第8章）、上海应用技术学院冯劲梅（第2章、第7章）、河南城建学院程广振（第3章、第4章）、湖南工业大学付峥嵘（第5章）及上海理工大学邹志军（部分思考题）编写。陈刚任主编，冯劲梅任副主编，湖南工业大学王汉青教授、湖南科技大学王海桥教授主审。

本书参考了许多资料（数据、图表等），谨向有关文献的作者表示衷心感谢。此外，本书在编写的过程中，先后得到了南华大学的周剑良教授（博导）、湖南大学的龚光彩教授、中南大学的屈高林教授、武汉科技大学的李玉云教授、安徽建筑工程学院的宣玲娟副教授的指点和帮助，并提出了宝贵意见。在此，一并表示诚挚的谢意。

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，以期再版时改正和提高。

目 录

序	
第3版前言	
第2版前言	
第1版前言	
绪论	1
第1章 测量及测量仪表的基本知识	3
1.1 测量的定义及测量方法	3
1.1.1 测量的定义	3
1.1.2 测量过程与测量变换	3
1.1.3 测量方法	4
1.2 测量系统的结构及基本功能	7
1.2.1 测量系统组成	7
1.2.2 测量环节及其功能	7
1.3 智能化测量系统概述	9
1.3.1 智能化测量系统的发展历程	9
1.3.2 智能化测量系统的分类及基本组成	9
1.3.3 智能化测量系统的特点	10
1.3.4 智能化测量系统的发展趋势	11
1.3.5 智能化测量系统的功能及影响因素	11
1.4 测量误差与测量精度的基本内容	12
1.4.1 真值、测量值、测量误差和测量不确定度	12
1.4.2 测量误差的分类	14
1.4.3 测量精度	18
1.5 测量仪表的分类及其基本性能	18
1.5.1 测量仪表的分类	18
1.5.2 测量仪表的基本性能	19
思考题	22
第2章 测量误差分析与数据处理	23
2.1 随机误差	23
2.1.1 随机误差的性质	23
2.1.2 剩余误差	24
2.1.3 方差与标准差	24
2.1.4 随机误差的分布概率	24
2.2 系统误差	25
2.2.1 系统误差的性质	25
2.2.2 系统误差的判别	26
2.2.3 系统误差产生的根源	27
2.2.4 处理系统误差的一般原则	27
2.2.5 削弱系统误差的典型测量技术	27
2.3 测量误差的评价指标及其定义	28
2.3.1 测量列的标准误差 σ 和极限误差 Δ_{\max}	28
2.3.2 最优概值的标准误差 σ_{x_0} 和极限误差 $\Delta_{x_{0\max}}$	30
2.4 测量误差的合成	30
2.4.1 随机误差的合成	30
2.4.2 系统误差的合成	30
2.5 测量误差的传递与分配	31
2.5.1 系统误差的传递公式	31
2.5.2 随机误差的传递公式	33
2.5.3 误差的分配	35
2.6 测量数据处理	36
2.6.1 最小二乘法原理	36
2.6.2 有效数字的处理	38
2.6.3 直接测量数据的处理	39
2.6.4 间接测量值的处理	41
2.6.5 等精度测量结果的处理	43
2.6.6 误差分析在数据处理中的应用举例	44
2.6.7 测量数据的回归分析	46
思考题	48
第3章 建筑热湿环境参数测量	50
3.1 温度测量	50

3.1.1 温度和温标	50	5.2.1 甲醛的定义及室内的主要来源 ...	149
3.1.2 利用热膨胀效应的温度测量	51	5.2.2 甲醛对人体的危害及室内的允许 标准	149
3.1.3 利用热电效应的温度测量	55	5.2.3 甲醛的测量方法	150
3.1.4 利用热电阻效应的温度测量	62	5.2.4 甲醛测量的常用仪器	153
3.1.5 利用热辐射的温度测量	64	5.3 挥发性有机化合物 (VOCs) 的 测量	154
3.1.6 利用全息干涉技术的温度测量	70	5.3.1 挥发性有机化合物 (VOCs) 的 定义	154
3.1.7 其他测温方法	72	5.3.2 室内挥发性有机化合物对人体的 危害	155
3.1.8 温度计的制作、校准与标定	76	5.3.3 挥发性有机化合物的测量方法 ...	155
3.2 湿度测量	78	5.3.4 挥发性有机化合物测量的常用 仪器	160
3.2.1 湿度的基本概念	78	5.4 空气中可吸入颗粒物浓度的测量	161
3.2.2 干湿球法湿度测量	80	5.4.1 颗粒物浓度的表示方法	161
3.2.3 电阻法湿度测量	82	5.4.2 测量空气中可吸入颗粒物常用的 方法及基本原理	162
3.2.4 露点法湿度测量	83	5.5 室内空气中菌落总数的测量	163
3.2.5 吸湿法湿度测量	85	5.5.1 室内空气中的微生物	163
3.2.6 湿度校正装置	86	5.5.2 室内菌落总数的标准	163
3.3 热量测量	87	5.5.3 测量室内空气中菌落总数的原理及 方法	164
3.3.1 热流测试方法	87	5.6 室内放射性物质——氡的测量	164
3.3.2 热流计的工作原理与分类	89	5.6.1 氡的物理性质	165
3.3.3 热流计的应用	91	5.6.2 氡进入室内环境的途径及对人体的 危害	165
3.3.4 热量测量仪器	92	5.6.3 氡的测量方法与原理	166
思考题	95	5.7 一氧化碳和二氧化碳的测量	168
第4章 流体参数测量	96	5.7.1 一氧化碳和二氧化碳的性质	168
4.1 压力测量	96	5.7.2 一氧化碳和二氧化碳的测量 方法	168
4.1.1 概述	96	思考题	172
4.1.2 平衡式压力计	97	第6章 建筑声环境参数测量	173
4.1.3 电气式压力计	101	6.1 声音的基本特性	173
4.1.4 压力仪表的选用与校正	103	6.1.1 声音的产生机理	173
4.2 流速和流量的测量	105	6.1.2 声音的传播特性	173
4.2.1 流速和流量测量的基本概念	105	6.1.3 声音与人的听觉	175
4.2.2 测量流速常用的仪表及方法	107	6.2 噪声的物理量度	177
4.2.3 测量流量常用的仪表及方法	116	6.2.1 声强与声压	177
4.3 液位的测量	127	6.2.2 声强级与声压级	178
4.3.1 浮力法液位测量	127	6.2.3 声功率和声功率级	179
4.3.2 差压法液位测量	129	6.2.4 噪声的频谱特性	179
4.3.3 电气法液位测量	132	6.2.5 声波的叠加	180
4.3.4 声学法液位测量	134	6.3 环境噪声及其危害	180
思考题	136		
第5章 空气环境中有害物质测量	137		
5.1 常用采样和分析方法	138		
5.1.1 有害物常用采样方法	138		
5.1.2 采样空气体积的测量及流量计 ...	143		
5.1.3 采样效率及其评价方法	145		
5.1.4 现场采样技术要求	147		
5.1.5 样品的分析和结果整理	148		
5.2 甲醛的测量	149		

6.3.1	建筑物内噪声的来源	180	第8章	燃气参数测量	214
6.3.2	环境噪声的危害	181	8.1	燃气参数测量基本知识	214
6.3.3	决定噪声对人类影响程度的主要因素	182	8.1.1	天然气计量标准	214
6.4	噪声的主观评价和噪声标准	183	8.1.2	天然气计量要求	216
6.4.1	等响曲线	183	8.1.3	天然气计量参数	217
6.4.2	噪声评价曲线	184	8.2	燃气与烟气的湿度测量	218
6.4.3	噪声标准	184	8.3	天然气流量计量	221
6.5	噪声测量	186	8.3.1	概述	221
6.5.1	测量噪声常用仪器	186	8.3.2	流量计量仪表	222
6.5.2	其他噪声测量仪器	188	8.4	燃气成分分析	225
6.5.3	测量噪声的方法	188	8.4.1	气相色谱仪的组成	226
6.6	噪声控制的措施和方法	192	8.4.2	定性与定量分析	227
6.6.1	噪声控制的措施	192	8.4.3	天然气气相色谱分析	229
6.6.2	噪声控制的方法	192	8.4.4	天然气组分浓度计算	231
思考题		193	8.5	燃气的相对密度测量	232
第7章	建筑光环境参数测量	194	8.5.1	测量方法	232
7.1	光源	194	8.5.2	本生-希林法测量相对密度	233
7.1.1	天然光源	194	8.6	燃气热值测量	234
7.1.2	人工光源	194	8.6.1	燃气热值测量的方法	234
7.2	光的性质	195	8.6.2	水流吸热法测量热值	235
7.3	光的物理量度	196	8.7	火焰传播速度和爆炸极限测量	238
7.3.1	光谱光效率	196	8.7.1	火焰传播速度测量	238
7.3.2	光通量	197	8.7.2	爆炸极限测量	243
7.3.3	照度	198	思考题		245
7.3.4	发光强度	198	第9章	建筑节能检测	246
7.3.5	光亮度	199	9.1	建筑能耗与建筑节能	246
7.4	光环境质量的评价标准	199	9.1.1	建筑能耗	246
7.4.1	适当的照度水平	200	9.1.2	建筑节能	251
7.4.2	舒适的亮度比	202	9.2	建筑节能检测基础	253
7.4.3	宜人的光色,良好的显色性	202	9.2.1	建筑节能设计标准、规范、规定与政策	253
7.4.4	避免眩光干扰	203	9.2.2	建筑节能检测的基本内容	255
7.4.5	正确的投光方向与完美的造型立体感	203	9.2.3	建筑节能检测的方法	258
7.5	光环境测量常用仪器	204	9.2.4	建筑物节能达标的判定	259
7.5.1	照度计	204	9.2.5	建筑节能检测机构及其要求	260
7.5.2	亮度计	205	9.3	建筑材料及构件的节能检测	262
7.6	室内光环境的现场测量	206	9.3.1	建筑节能材料热工性能	262
7.6.1	概述	206	9.3.2	建筑材料的分类	264
7.6.2	照度测量	207	9.3.3	建筑构件	268
7.6.3	亮度测量	209	9.3.4	建筑材料与构件的热工参数检测	273
7.6.4	采光系数的测量	210	9.4	建筑物节能效果现场检测	280
7.6.5	反射比与透射比的测量	211	9.4.1	围护结构传热系数检测	280
7.6.6	颜色测量	212	9.4.2	外围护结构隔热性能检测	283
思考题		213	9.4.3	外围护结构热工缺陷检测	284

9.4.4 窗户遮阳性能检测	285	10.6.4 测量冷却塔性能参数	314
9.4.5 外窗及窗口气密性检测	285	10.7 换热器性能参数测量	315
9.4.6 围护结构外墙节能构造检测	286	10.7.1 测量装置	315
9.4.7 能耗设备性能和效率参数的 检测	286	10.7.2 性能参数	316
9.5 建筑节能技术应用与节能效果综合 评价	287	10.7.3 测试步骤	316
9.5.1 国内外建筑节能技术及其应用 ..	287	10.7.4 性能参数测试结果整理	317
9.5.2 影响建筑节能效果的因素	298	10.8 散热器性能参数测量	317
9.5.3 建筑节能效果评价	298	10.8.1 热水散热器的性能参数	318
思考题	301	10.8.2 试验装置	319
第10章 建筑环境综合测试技术及 应用	302	10.8.3 测量步骤与数据记录	319
10.1 暖通空调风系统性能参数检测	302	思考题	320
10.1.1 风机单位风量耗功率检测	302	附录	321
10.1.2 新风量的检测	304	附录1 常用热电偶简要技术数据	321
10.1.3 定风量系统平衡度的检测与 风量调节	304	附录2 常用热电偶分度表	321
10.2 暖通空调水系统性能参数检测	306	附录3 常用热电阻分度表	329
10.3 组合式空调机组性能参数测量	309	附录4 常见有害物样品分析方法	334
10.4 水泵与风机性能参数测量	310	附录5 建筑和装饰装修材料中有害物质的 检验方法	335
10.5 冷水机组性能参数测量	311	附录6 民用建筑室内允许噪声级	335
10.6 冷却塔性能参数测量	313	附录7 各类建筑的室内允许噪声级	336
10.6.1 冷却塔工作原理与分类	313	附录8 城市区域环境噪声标准	336
10.6.2 冷却塔参数测试装置	313	附录9 民用建筑隔墙和楼板空气声隔声 标准	337
10.6.3 测量点布置与测量数据	313	附录10 民用建筑楼板撞击声隔声标准	337
		附录11 部分地区、省市节能标准	338
		参考文献	343

绪 论

早在远古时代，人们就开始在自己的居留地上建造遮蔽物来抵御风霜雪雨和其他外来的对生命的威胁。开始，原始人类使用自然遮蔽物（如山洞），然后开始利用一些适用的材料（如皮革、兽骨、稻草或者是木头），人类的活动没有影响自然环境。然而，自从工业革命以来，人类在不断地向自然环境索取物质能量的同时，又不停地向自然环境排放废弃物和无序的能量。最近数十年来由于这种交换超出了自然环境允许的范围，破坏了人与环境的和谐与平衡，从而使得生态环境问题被越来越多的人所关注和重视。

建筑环境指的是在自然环境中，由人类建造的建筑物及与之有关的构筑物所在地的物理环境。主要包括建筑热湿环境、建筑声环境、建筑光环境及建筑空气环境等。

建筑环境与能源测试技术是针对建筑物所处环境中的有关参数获得具体数据的一项技术活动。建筑物是为了满足人们的生产、生活需要而修建的，活动的主体是人类。因此，建筑环境中的各项参数应以满足人们的工作、生活需要及保障人们的生命财产安全为前提。而环境中的参数是否能满足这些条件呢？这就需要通过测量来获得具体数据，将这些数据与职能部门颁布的标准进行比较就可得到结论。

测量是人类对自然界的客观事物从数量上取得认识的一个过程，在这一过程中，人们借助于专门的测量工具，通过实验的方法和对实验数据的分析计算，求出用标准的测量单位来表示的未知量的数值。换句话说，测量就是为取得某一未知参数而做的全部工作，其中包括测量的误差分析和数据处理等计算工作在内。

在所有的自然科学和工程技术领域中所进行的一切研究活动，就其目的而言，无非是探求客观事物与量的变化关系，而在这些研究活动中都离不开测量。测量也是判断事物质量指标的重要手段，任何质量指标都要通过一定的数量来表示，如制冷机组的制冷量、蒸汽消耗量、空调精度等。人们往往通过测量所得的各种参数来评判事物质量的优劣，比如：一项暖通空调工程的设计是否满足要求，施工安装是否满足设计要求等都需要在现场进行温度、湿度、流速、噪声等参数测量，将测量所得的数据与规范要求相比照就可以得到客观的结论。

大量的历史事实证明：在科学技术领域内，许多新的发现、新的发明往往是以测量技术的发展为基础的，测量技术的发展推动着科学技术的前进。在生产活动中，新的工艺、新的设备的产生，也依赖于测量技术的发展水平，而且，可靠的测量技术对于生产过程自动化、设备的安全以及经济运行都是不可缺少的先决条件。无论是在科学实验中还是在生产过程中，一旦离开了测量，必然会给工作带来巨大的盲目性。只有通过可靠的测量技术进行测量，然后正确地判断测量结果的意义，才有可能进一步解决自然科学和工程技术上提出的问题。

测量技术对自然科学、工程技术的重要作用越来越为人们所重视，它已逐步形成了一门完整、独立的学科。这门学科研究的主要内容是测量原理、测量方法、测量工具和测量数据处理。根据被测对象的不同，测量技术可分为若干分支，例如力学测量、光学测量、声学测量、热工测量等。测量技术的各个分支既有共同需要研究的问题，如测量系统分析、测量误

差分析与数据处理理论；又有各自不同的特点，如各种不同物理参数的测量原理、测量方法与测量工具。本书将在介绍测量基本知识的基础上重点讨论声、光、气、热等有关参数的测量。

对从事建筑环境与能源应用工程专业工作的人员来说，无论是设计、施工、安装调试，还是设备制造、系统运行、各种形式的能源管理，每一道工序、每一个环节都与具体的数据有着千丝万缕的联系。为了制造出优良的暖通空调设备、营造出满足人们的舒适性要求及生产工艺性要求的人工环境，就必须掌握和严格控制一系列的参数，而这些参数的获得就必须通过测量途径。因此，“建筑环境测试技术”课程是建筑环境与能源应用工程专业的学生必修的一门专业基础课程，测量也是学生以后走上工作岗位必须具备的一项技术本领。

第 1 章

测量及测量仪表的基本知识

1.1 测量的定义及测量方法

1.1.1 测量的定义

所谓测量，就是用实验的方法，把被测量（参数）与同性质的标准量进行比较，确定两者的比值，从而得到被测量的值。欲使测量结果有意义，测量必须满足以下要求：

- 1) 用来进行比较的标准量应该是国际上或国家所公认的，且性能稳定。
- 2) 进行比较所用的方法和仪器必须经过验证。

根据上述测量的概念，被测量的值可表达为

$$X = aU \quad (1-1)$$

式中 X ——被测量；

U ——标准量（即选用的测量单位）；

a ——被测量与标准量的数字比值。

式（1-1）称为测量的基本方程式。

在测量的过程当中，通常把需要检测的物理量称为被测参数或被测量。在建筑环境与能源测试技术中，经常碰到的被测参数有温度、压力、湿度、噪声、有害物浓度等。

按照被测量随时间变化的关系，可将被测量分为静态参数（常量）和动态参数。

1. 静态参数（常量）

某些被测参数在整个测量过程中数值的大小始终保持“不变”，即参数值不随时间的改变而变化。例如，周围环境的大气压力，制冷压缩机稳定工况下的转速等均不随时间变化，这类参数通称为静态参数或常量。当然严格地讲，这些参数的数值也并非绝对恒定不变，只是随时间变化得非常缓慢而已，因而在进行测量的时间间隔内由于其数值大小变化甚微而可以忽略不计。

2. 动态参数

随时间不断改变数值的被测量称为动态参数，例如空调设备刚刚开启时，空调房间内的温度、湿度等都属于动态参数。这些参数随时间变化的函数可以是周期函数、随机函数等。

1.1.2 测量过程与测量变换

以天平称重（图 1-1）为例来分析测量的整个过程。

测量开始时应先调节天平至平衡状态，称为调零；接着将被测重物和标准砝码分别放到两侧称盘中，这一动作称为对比。然后借助于天平中间指针的偏转方向，判别天平两侧砝码和物体的轻重，指针偏离中间位置所显示的数据大小称为示差。如存在差值就需调整砝码的

大小，直到重物与砝码平衡为止，这个调节动作称为调平衡。上述动作完成后即可根据砝码的大小读出物重的数字值，这称为读数。整个测量过程包括调零、对比、示差、调平衡和读数五个动作，它贯穿于整个测量过程。在生产过程中常希望能自动实现上述测量过程，这种自动测量过程称为自动检测。

整个测量过程的关键在于被测量和标准量的比较，但是能直接将被测量与标准量进行比较的物理量并不多，大多数的被测量和标准量都要变换到双方都便于比较的某个中间量，才能进行直接比较，这种变换称为测量变换。

例如，用水银温度计（图 1-2）测量温度时，温度值被变换成毛细玻璃管内水银柱热膨胀后的直线长度，而温度的标准量变换为玻璃管上的直线刻度，这样，被测量和标准量都变换到直线长度这样的一个中间量，再进行比较并得到其比较值的大小（即测量结果）。

可见，通过测量变换可以实现测量，或者使测量变得更为方便。因此说，变换是测量的核心。综上所述，测量变换是指把被测量按一定规律变换成另一种物理量的过程，实现这种变换过程的元件称为变换元件。

变换元件以一定的物理定律为基础，通过各种参数之间内在的函数关系，完成一个特定的信号变换任务，多个变换元件的有机组合可构成变换器或测量仪表。

要想知道被测参数的大小，就需要使用测量仪表来检测它的数值。尽管测量仪表种类繁多，被测量和仪表的结构原理也各不相同，但从仪表对被测量的测量过程的本身而言，它们都有共同之处。例如，弹簧压力表对压力的测量，是根据被测压力作用于弹簧管使其受压变形，把压力信号转换成弹簧管变形的位移（机械能），然后再通过杠杆传动机构的传递和放大，变成压力表指针的偏转，最后与压力刻度标尺上的测压单位相比较而显示出被测压力的数值。又如，用热电偶来测量温度，它是利用热电偶的热电效应，把被测温度转换成热电势信号（电能），然后把热电势信号转换成毫伏表上的指针偏转（机械能），并与温度标尺相比较而显示出被测温度的数值。由此可见，不管各种测量仪表其测量原理如何不同，它们的共同之处在于被测参数都要经过一次或多次的信号与能量的转换，获得便于测量的信号或能量形式，最后由指针或数字形式显示出测量结果。因此，各种测量仪表的测量过程，就是被测参数以信号或能量形式进行一次或多次不断转换和传递的过程，以及与相应的测量单位进行比较的过程。

1.1.3 测量方法

拥有先进精密的测量仪器设备，不一定就能获得准确的测量结果。在测量过程中，只有根据不同的测量对象、具体的测量条件，选择正确的测量方法、合适的测量仪器及测量系统，进行正确、细心的操作，才有可能得到较为理想的测量结果。

测量方法就是实现被测量与标准量比较的方法。对一个物理量进行测量，可以通过不同的测量方法来实现。测量方法的选择是否合理，关系到测量结果的可靠性，也关系到测量工

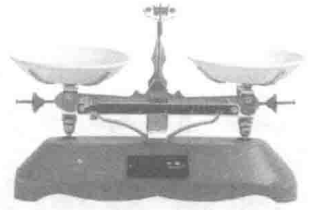


图 1-1 称重天平



图 1-2 水银温度计

作的经济性,不当或错误的测量方法,既得不到正确的测量结果,甚至还会损坏测量仪器或设备。

工程中常用的测量方法有以下几类:

1. 按测量结果产生的方式分类

按测量结果产生的方式来分类,测量方法可分为直接测量法、间接测量法和组合测量法。

(1) 直接测量法 使被测量直接与选用的标准量进行比较,或者用预先标定好的测量仪器进行测量,从而直接求得被测量数值的测量方法,称为直接测量法。它又可分为直读法和比较法。

1) 直读法。直读法就是能直接从测量仪器上读取被测量的结果的方法。例如用直尺测量某物体的长度、用电流表直接测量电路中的电流等,都属于直读法。这种方法的优点是使用方便,但一般精度较差。

2) 比较法。这种测量方法一般不能从测量仪表直接读得测量结果,往往需要使用标准测量仪器,测量过程略显复杂。但测量仪表本身的误差以及其他某些误差在测量过程中往往可以被相互抵消,因此,其测量精度一般比直读法高。根据不同的比较方法又可以区分为:

① 零值法(又称零示法)。在测量时,使被测量所产生的效果与已知量(往往是测量仪器)产生的效果相互抵消,使得总的效果为零,这样就可以确定被测量等于该已知量,例如,利用天平来测量某一物体的质量、利用电位差计来测量热电偶测温时产生的热电势的大小等。

② 差值法。通过测量被测量与一个已知量的差值来求得被测量的方法,称为差值法。例如,已知某建筑物的高度 H 和某人所处楼层的高度 h ,要测量该人从所处楼层爬到屋顶的垂直距离 h_1 ,只需将建筑物的高度 H 减去所处楼层的高度 h 即可

$$h_1 = H - h$$

③ 代替法。在一定的测量条件下,选择一个大小适当的已知量(通常是可调的标准量具),使它在测量装置中取代被测量而不至于引起仪表指示值的变化,那么,被测量的数值就等于这个已知量。由于在代替法中的两次测量,仪表的状态及其指示值都相同,所以仪表的准确度对测量结果基本上没有什么影响,从而消除了测量结果中的仪表误差,这样就可以在测量过程中选择准确度较差的测量仪表而获得较高的测量精度。比如用电位差计测量电路中滑动变阻器阻值与已知电流的乘积来替代热电偶所测的热电势的大小。

(2) 间接测量法 通过直接测量与被测量有某种确定函数关系的其他各个变量,然后将所测得的数值代入函数关系式进行计算,从而求得被测量数值的方法,称为间接测量法。函数关系式表达为 $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 。间接测量法所需测量的参数较多,测量和计算的工作量较大,引起测量误差的因素较多,但在较理想的测量条件下,可以获得较高的精确度。例如,要测量电阻 R 消耗的功率 P ,其函数关系式为

$$P = UI$$

可通过直接测量电压 U 和电流 I ,然后代入关系式中,经计算,获得功率 P 的值。

又如,测量管道内不可压缩流体的流速 v 时,采用函数关系式

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$$

通过直接测量管道内某一截面流体的动压值 Δp 和流体的密度 ρ ,然后将测得的数值代入上式,可以求得流速 v 。