



世纪高等教育建筑环境与设备工程系列规划教材

建筑环境测试技术

陈友明 主编
陈在康 主审



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



免费电子课件

TU8/50

2009

21 世纪高等教育建筑环境与设备工程系列规划教材

建筑环境测试技术

主 编 陈友明
参 编 郝小礼 莫志姣
主 审 陈在康

机械工业出版社

本书共分 11 章, 内容涉及测量和测量仪表的基础知识, 测量误差的分析与处理, 建筑环境与设备的参数: 温度、湿度、压力、流量、流速、液位、室内空气污染物、声、光、成分分析等参数的测量技术, 以及智能测量技术等。本书既注重基本知识、基本原理、基本方法的介绍, 又注重学生的实际应用能力的培养和知识面的拓宽, 内容系统、全面。

本书作为高等院校建筑环境与设备工程专业教材, 同时也可供函授、夜大同类专业和和相关工程技术人员使用。

本书配有电子课件, 免费提供给选用本教材的授课教师, 请需要者根据书末的“信息反馈表”索取。

图书在版编目(CIP)数据

建筑环境测试技术/陈友明主编. —北京: 机械工业出版社, 2009. 5
(21 世纪高等教育建筑环境与设备工程系列规划教材)
ISBN 978-7-111-26257-2

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 020216 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: 李建秀

版式设计: 霍永明 责任校对: 刘志文

封面设计: 王伟光 责任印制: 李 妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2009 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 29.25 印张 · 566 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-26257-2

定价: 42.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
销售服务热线电话: (010)68326294

购书热线电话: (010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010)88379720

封面无防伪标均为盗版

序

建筑环境与设备工程专业是 1998 年教育部新颁布的全国普通高等学校本科专业目录，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，因而它们和建筑环境与设备工程专业的学科科研与技术发展总是密切相关，不可忽视。

作为一个新专业的组建及其内涵的定位，它首先是由社会需求所决定的，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，并能与国际接轨的多规格的专业人才以满足需要，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作贡献的愿望，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授、副教授主编了这套建筑环境与设备工程专业系列教材。

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专业人才的培养产生积极的作用,会为我国建设事业作出一定的贡献。

陈在康

前 言

人们 80% 以上的时间是在建筑环境中度过，建筑环境对于人们的舒适、健康和工作效率有着至关重要的影响。要创造一个舒适、健康和高效的建筑环境，需要对建筑室内的热环境、声环境和光环境进行测量和评价；需要对创造建筑室内环境的建筑设备的性能参数进行检测；还需要对建筑设备运行的过程参数进行测量，为建筑设备系统的控制与管理提供准确可靠的信息。这就要求建筑环境与设备工程专业的工程技术人员必须掌握建筑环境与设备的相关测试技术。

建筑环境测试技术是建筑环境与设备工程专业主要的专业基础课之一，内容涉及建筑环境及设备的参数，包括温度、湿度、压力、流量、流速、液位、烟气成分、环境噪声、光照、空气中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。这些都是建筑环境与设备工程人员从事工程设计、安装调试、运行管理与科学研究的必要而且重要的手段。

本教材参考全国建筑环境与设备工程专业指导委员会的指导性意见，在总结编者多年从事本课程教学经验的基础上，吸收相关课程的教学和科研成果的一些新内容编写而成的。第 1 章讲述测量和测量仪表的基础知识；第 2 章讲述测量误差的分析与处理；第 3~10 章分别介绍建筑环境与设备的主要参数，如温度、湿度、压力、流量、流速、液位、室内空气污染物、声、光、热流、烟气成分等参数的测量技术。其中既包含了传统的、量大面广的、使用成熟的测试方法（这是本书的基本内容，读者需要牢固掌握）；也包含了新发展起来的测量方法，如红外技术、激光测速技术、PIV 技术等在建环境测量中的应用。这些内容能使读者掌握必需的测量技术，也有利于拓宽读者的知识面，开阔思路、提高解决实际技术问题的能力。第 11 章介绍了智能测量技术及其应用的相关内容。

本着加强基础、拓宽专业、培养学生的自学能力和知识更新能力的原则，教材的内容安排突出了以下几点：

1) 既注意保持了传统的建筑环境与设备参数的基本测试技术，使知识结构具有系统性、渐进性，又力求反映国内外测量技术的新成就、新发展和新趋向，以较大篇幅介绍新技术、新方法和发展方向，如超声、红外、激光、PIV、智能测量等技术在建筑环境测试中的应用，以满足“先进性、创新性、适用性”的要求。

2) 鉴于建筑环境测量仪表具有涉及学科面广、内容多而零散、各参数测量间相互联系不紧密、逻辑性差等特点，因此着重提取各种测量方法、技术中有规律性和常用的内容，并在此基础上进行归纳总结和分析比较，使读者能够获得一个系统和完整的知识体系。

3) 为加强实用性和突出对应用能力的培养，增加了建筑环境测量仪表的应用实例介绍，还增设了根据使用条件进行仪表选型、各种仪表的使用注意事项和误差分析等内容，重点说明解决问题的方法和过程，希望读者能在学习掌握原理知识的同时掌握一些应用技能和方法。

4) 为方便学生自学，在叙述上力求先易后难，通俗易懂、深入浅出和突出重点，在介绍概念原理的同时尽量给出相关基础知识。

5) 整个教学内容分为11章，每章相对独立，具有很强的针对性和灵活性，既适应不同读者的需要，又便于根据课时要求安排教学。

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。

由于编者水平所限，书中不妥和错漏之处，恳请读者予以指正。

感谢建筑智能控制研究基金(JRP0901)对本教材编写的资助。

编者

目 录

序

前言

第1章 测量和测量仪表的基础知识	1
1.1 测量的概念与意义	1
1.1.1 测量的概念	1
1.1.2 测量与检测的联系与区别	1
1.1.3 测量的意义	1
1.1.4 测量的构成要素	2
1.2 测量方法	2
1.2.1 直接测量法	2
1.2.2 间接测量法	2
1.2.3 组合测量法	3
1.3 测量分类	3
1.3.1 静态测量和动态测量	3
1.3.2 等精度测量和不等精度测量	4
1.3.3 工程测量与精密测量	4
1.4 测量误差	5
1.4.1 基本概念	5
1.4.2 误差的分类	6
1.4.3 误差的来源	7
1.4.4 误差的表示方法	9
1.4.5 测量准确度、正确度和精密度	10
1.5 测量系统	10
1.5.1 测量系统的组成	10
1.5.2 测量系统的基本特性	12
1.6 测量技术的发展状况	19
思考题	21
第2章 测量误差分析与处理	22
2.1 随机误差的分布规律	22

2.1.1	随机误差的正态分布性质	22
2.1.2	正态分布密度函数与概率积分	24
2.2	直接测量误差分析与处理	25
2.2.1	算术平均值原理、真值的估计	26
2.2.2	均方根误差的估计与贝塞尔公式	27
2.2.3	测量结果的置信度	28
2.2.4	测量结果的误差评价	31
2.2.5	小子样误差分析、 t 分布及其应用	32
2.2.6	非等精度测量与加权平均	35
2.3	间接测量误差分析与处理	37
2.3.1	误差传布原理	38
2.3.2	间接测量误差分析在测量系统设计中的应用	40
2.4	组合测量的误差分析与处理	41
2.4.1	最小二乘法原理	41
2.4.2	正规方程、未知参数最佳估计值的求取	42
2.4.3	组合测量的误差	45
2.5	粗大误差	48
2.5.1	拉伊特准则	49
2.5.2	格拉布斯准则	49
2.6	系统误差	51
2.6.1	系统误差的性质	52
2.6.2	系统误差处理的一般原则	53
2.6.3	系统误差存在与否的检验	54
2.6.4	系统误差的估计	58
2.7	误差的综合	59
2.7.1	随机误差的综合	59
2.7.2	系统误差的综合	60
2.7.3	误差合成定律	60
2.8	测量不确定度	61
2.8.1	概述	61
2.8.2	不确定度的评定	62
2.8.3	不确定度的合成	64
2.9	有效数字及其计算规则	64
2.9.1	有效数字	64
2.9.2	计算规则	65

思考题	65
第3章 温度测量	67
3.1 概述	67
3.1.1 温度和温标	67
3.1.2 温度测量及测温仪表的分类	71
3.2 膨胀式温度计	75
3.2.1 概述	75
3.2.2 玻璃液体温度计	75
3.2.3 固体膨胀式温度计	81
3.2.4 压力式温度计	83
3.3 热电偶温度计	84
3.3.1 热电偶测温原理	84
3.3.2 热电偶的基本定律及其应用	87
3.3.3 热电偶的冷端温度处理	91
3.3.4 热电偶的材料和种类	95
3.3.5 热电偶的结构	101
3.3.6 热电偶的实用测温电路	104
3.3.7 热电偶测温误差分析	106
3.3.8 热电偶的检定和分度	109
3.3.9 热电偶的选择、使用和安装	110
3.4 电阻式温度计	113
3.4.1 电阻式温度计的测温原理	113
3.4.2 金属热电阻温度计	115
3.4.3 半导体电阻温度计	124
3.4.4 热电阻温度计的使用和误差分析	125
3.5 非接触温度测量	126
3.5.1 概述	126
3.5.2 红外测温仪	127
3.5.3 红外热像仪测温	129
3.6 气流温度测量	133
3.6.1 概述	133
3.6.2 低速气流的温度测量	134
思考题	135
第4章 湿度测量	137
4.1 概述	137

4.2 干湿球湿度计	138
4.2.1 干湿球湿度计的原理	138
4.2.2 普通干湿球温度计	139
4.2.3 通风干湿球温度计	140
4.2.4 电动干湿球温度计	140
4.3 毛发湿度计	141
4.4 电阻式湿度计	143
4.4.1 电阻式湿度计的原理	143
4.4.2 氯化锂电阻湿度传感器	143
4.4.3 氯化锂电阻湿度变送器	144
4.5 氯化锂露点式湿度计	145
4.5.1 氯化锂露点湿度传感器原理	145
4.5.2 氯化锂露点湿度测量传感器	146
4.5.3 氯化锂露点式湿度变送器	147
4.6 电容式湿度传感器	148
4.6.1 电容式湿度传感器原理	148
4.6.2 电容式湿度传感器分类	148
4.6.3 电容式湿度传感器连接方式	149
4.6.4 电容式湿度传感器的湿度计算	149
4.7 湿度传感器的基本技术指标	150
4.7.1 精度和长期稳定性	150
4.7.2 湿度传感器的温度系数	151
4.7.3 互换性	151
4.8 湿度计的标定与校正装置	152
思考题	154
第5章 压力压差测量	155
5.1 概述	155
5.1.1 压力、压差测量的意义	155
5.1.2 基本概念	155
5.1.3 压力测量仪表的分类	157
5.2 液柱式压力计	158
5.2.1 U形管压力计	159
5.2.2 单管压力计	160
5.2.3 斜管式压力计	161
5.3 弹性压力计	162

5.3.1 基本原理	163
5.3.2 弹性元件	163
5.3.3 单圈弹簧管压力计	165
5.4 负荷式压力计	167
5.4.1 活塞式压力计	167
5.4.2 浮球式压力计	169
5.5 电气式压力检测仪表	170
5.5.1 压电式压力计	170
5.5.2 电阻式压力计	174
5.6 压力变送器	186
5.6.1 电容式压力变送器	186
5.6.2 霍尔式压力变送器	189
5.7 压力表的选择、安装与校准	191
5.7.1 压力表的选择	191
5.7.2 压力表的安装	192
5.7.3 压力检测仪表的校准	195
思考题	197
第6章 流速测量	198
6.1 毕托管	198
6.1.1 毕托管的工作原理	198
6.1.2 毕托管的形式	200
6.1.3 毕托管的使用	202
6.2 叶轮风速仪	205
6.3 热电风速仪	206
6.3.1 工作原理及其组成	206
6.3.2 结构特点及性能	207
6.4 热线、热膜风速仪	207
6.4.1 工作原理与热线方程	208
6.4.2 平均流速的测量	210
6.4.3 脉动气流的测量	212
6.5 风速仪表的校验	214
6.5.1 风洞的原理结构	214
6.5.2 风速仪表的校验	214
6.6 激光多普勒测速技术	215
6.6.1 多普勒频移	216

6.6.2	激光多普勒测速原理	219
6.6.3	激光多普勒测速光学系统	220
6.6.4	激光多普勒测速的信号处理系统	224
6.6.5	激光多普勒测速中的散射粒子	227
6.6.6	激光多普勒测速方法与实用举例	227
6.7	粒子图像测速技术	229
6.7.1	粒子图像测速原理	231
6.7.2	粒子图像测速的信号处理	233
6.7.3	方向模糊性及解决办法	236
6.7.4	示踪粒子的选择	237
6.7.5	取得好结果的五条重要准则	239
	思考题	240
第7章	流量测量	241
7.1	概述	241
7.1.1	流量的定义及表示方法	241
7.1.2	流量计分类和主要参数	242
7.2	转子流量计	246
7.2.1	结构原理和流量公式	246
7.2.2	刻度换算	248
7.2.3	工作特性	251
7.2.4	转子流量计的种类	252
7.2.5	转子流量计的特点	253
7.2.6	转子流量计的选用和安装	254
7.3	节流式差压流量计	255
7.3.1	概述	255
7.3.2	标准节流装置的测量原理和流量公式	256
7.3.3	标准节流装置	259
7.3.4	标准节流装置的适用条件	264
7.3.5	流量公式有关参数的确定	267
7.3.6	标准节流装置的设计计算	270
7.3.7	节流式差压流量计的选用和安装	271
7.4	涡轮流量计	275
7.4.1	涡轮流量计的结构	275
7.4.2	工作原理和流量方程	277
7.4.3	涡轮流量计的特点和使用	278

7.5 电磁流量计	280
7.5.1 工作原理	280
7.5.2 励磁方式	281
7.5.3 电磁流量计的结构	285
7.5.4 电磁流量计的特点和选用	288
7.5.5 电磁流量计的安装和使用	289
7.6 靶式流量计	292
7.6.1 工作原理	292
7.6.2 刻度换算	294
7.6.3 工作特性及测量误差	294
7.6.4 靶式流量计的特点	296
7.6.5 靶式流量计的选用与安装	297
7.7 涡街流量计	297
7.7.1 工作原理	297
7.7.2 涡街流量计的结构	299
7.7.3 涡街流量计的特点及安装	303
7.8 超声波流量计	305
7.8.1 超声波探头	305
7.8.2 超声波流量计的分类和特点	308
7.8.3 速度差法超声波流量计	309
7.8.4 多普勒超声波流量计	317
7.9 容积式流量计	321
7.9.1 测量原理	321
7.9.2 容积式流量计的结构	322
7.9.3 影响容积式流量传感器特性的因素	325
7.9.4 容积式流量计的选择与安装	325
7.10 流量计的校验与标定	326
7.10.1 水流量标定装置	327
7.10.2 流量计的现场校验方法	328
思考题	329
第8章 液位测量	331
8.1 概述	331
8.1.1 液位的概念及其测量的意义	331
8.1.2 液位测量仪表的分类	331
8.1.3 液位测量存在的主要问题	332

8.2 直读式液位计	333
8.3 静压式液位测量仪表	334
8.3.1 压力计式液位计	334
8.3.2 差压式液位计	335
8.4 浮力式液位测量仪表	336
8.4.1 浮子式液位计	337
8.4.2 浮筒式液位测量仪表	339
8.5 电容式液位测量仪表	341
8.5.1 概述	341
8.5.2 用于导电介质的电容液位计	342
8.5.3 用于非导电介质的电容液位计	344
8.5.4 特点和使用	345
8.6 超声液位计	346
8.6.1 概述	346
8.6.2 超声液位测量的特点	347
8.6.3 工作原理	347
8.6.4 超声液位计的选用	349
思考题	350
第9章 室内空气污染物测量	351
9.1 概述	351
9.2 室内空气质量污染物	352
9.2.1 甲醛	353
9.2.2 苯及其同系物	354
9.2.3 总挥发性有机化合物(TVOC)	355
9.2.4 苯并[a]芘	355
9.2.5 一氧化碳	356
9.2.6 二氧化碳	357
9.2.7 二氧化硫	357
9.2.8 氮氧化物	358
9.2.9 臭氧	359
9.2.10 氨	359
9.2.11 氡	360
9.2.12 微生物	361
9.2.13 可吸入颗粒物(PM ₁₀)	362
9.3 室内空气污染物采样方法	362

9.3.1	采样方法和采样仪器	362
9.3.2	采样时间和频率	367
9.3.3	采样效率及评价	368
9.4	红外气体分析仪	369
9.4.1	红外气体分析原理	369
9.4.2	红外气体分析仪系统工作原理	370
9.5	气相色谱分析仪	372
9.5.1	概述	372
9.5.2	气相色谱的基本流程和原理	373
9.5.3	色谱流出曲线及有关术语	375
9.5.4	气相色谱仪结构及操作条件	377
9.5.5	定性和定量分析	379
9.6	荧光分光光度计	381
9.6.1	原理	381
9.6.2	荧光计及荧光分光光度计	382
9.6.3	空气中 SO ₂ 的测定	382
9.7	库仑原电池法	384
9.8	撞击式—称重法和光散射测尘法	385
9.8.1	撞击式—称重法	385
9.8.2	光散射测尘法	386
9.9	径迹蚀刻法和双滤膜法	386
9.9.1	径迹蚀刻法	386
9.9.2	双滤膜法	387
9.10	撞击法	388
	思考题	389
第10章	其他参数测量	390
10.1	热流与热量的测量	390
10.1.1	热流计	390
10.1.2	热量的测量	396
10.2	辐射热测量	400
10.2.1	辐射热计法	400
10.2.2	黑球温度计	401
10.3	烟气成分分析	402
10.4	声的测量	406
10.4.1	概述	406

10.4.2	噪声的度量	406
10.4.3	噪声的测量	411
10.5	建筑照明的测量	415
10.5.1	概述	415
10.5.2	光的物理度量	416
10.5.3	常用光照测量仪器	421
10.5.4	照度测量	423
	思考题	425
第11章	智能测量技术及其应用	426
11.1	概述	426
11.1.1	微型化	426
11.1.2	智能化	427
11.1.3	多功能化	427
11.2	智能传感器	427
11.2.1	概述	427
11.2.2	智能化传感器的结构	427
11.2.3	模糊传感器	431
11.2.4	集成式智能传感器	432
11.3	网络化仪表	434
11.3.1	现场总线差压变送器	434
11.3.2	现场总线协议	436
11.3.3	现场总线仪表应用的特点	437
11.4	虚拟仪表和软测量技术简介	438
附录		439
附录A	标准化热电偶分度表	439
附录B	主要热电偶的参考函数	443
参考文献		446