



普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材
全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材

Regongceliang
Yu
Zidongkongzhi

热工测量与自动控制

(第二版)

(供热通风与空调工程技术专业适用)

本教材编审委员会组织编写

程广振 主编



中国建筑工业出版社
China Architecture & Building Press

普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材
全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材

热工测量与自动控制

(第二版)

(供热通风与空调工程技术专业适用)

本教材编审委员会组织编写

程广振 主 编

苏长满 副主编

尚久明 主 审

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

热工测量与自动控制/程广振主编. —2版. —北京:
中国建筑工业出版社, 2012.12

普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材. 全国
高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材
(供热通风与空调工程技术专业适用)

ISBN 978-7-112-14969-8

I. ①热… II. ①程… III. ①热工测量②热力工程-自
动控制 IV. ①TK3

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第289106号

本书包括热工测量和自动控制两部分。热工测量部分讲述供热通风与空调工程技术中
温度、湿度、压力、流量、流速、液位、热量等热工参数的测量方法, 测量仪表以及系统
组成; 自动控制部分讲述供热通风与空调工程技术中自动控制系统的组成原理、控制规
律、控制仪表以及自动控制系统的实际应用。

本书可作为高职高专、成人教育供热通风与空调工程技术专业或其他热能类专业的教
材, 也可供相关领域工程技术人员参考。

责任编辑: 齐庆梅 朱首明

责任设计: 董建平

责任校对: 姜小莲 刘 钰

普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材
全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材

热工测量与自动控制

(第二版)

(供热通风与空调工程技术专业适用)

本教材编审委员会组织编写

程广振 主 编

苏长满 副主编

尚久明 主 审

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京密云红光制版公司制版

北京天来印务有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 13 字数: 320 千字

2013年5月第二版 2013年5月第九次印刷

定价: 26.00 元

ISBN 978-7-112-14969-8

(23019)

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)

本教材编审委员会名单

主 任：贺俊杰

副主任：刘春泽 张 健

委 员：陈思仿 范柳先 孙景芝 刘 玲 蔡可键

蒋志良 贾永康 王青山 余 宁 白 桦

杨 婉 吴耀伟 王 丽 马志彪 刘成毅

程广振 丁春静 胡伯书 尚久明 于 英

崔吉福

第二版前言

本书是住房和城乡建设部普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材。全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材,是根据高等学校土建学科教学指导委员会高等职业教育专业委员会提出的《建设类高等职业教育专业教材编审原则意见》,以及教育部组织制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》、《高职高专教育专业人才培养目标及规格》,由高等学校土建学科高等职业教育专业委员会和中国建筑工业出版社组织编写。

本书针对高等职业教育特点,充分体现高职高专课程教学基本要求,具有如下特点:

1. 突出高职特色,面向生产一线,着力培养懂设计、能施工、会管理的应用型专业技术人才。重点培养施工技术、岗位素质、实际技能。
2. 精选教材内容,突出实际应用,内容反映学科前沿动态,充分体现新技术、新工艺、新材料、新设备的应用。符合现行行业标准、规范。
3. 强化实用内容,精简理论推导,以必须、够用为尺度,以掌握基本概念、仪器仪表使用为重点,做到理论少而精,理论与实际应用相统一。
4. 插图尽量与实物相一致,增强直观性,便于理解仪器仪表结构、安装,以及与其他仪表的连接方式。
5. 注意与相关课程的协调分工,做到无重复,无疏漏。

自2005年第一版出版至今已过七年,中间经过多次重印,随着科学技术的发展,新理论、新技术、新工艺、新材料不断出现,国家标准、行业标准不断完善。教材内容必须反映教育教学改革,反映当代科学技术、文化的最新成就,适应新制定的专业规范要求,遵循国家标准、行业标准。在保持第一版特点的基础上,加强了热工测量与自动控制仪表应用方面的内容。

参加本书第二版编写修订的有:内蒙古建筑职业技术学院王文琪讲师(第一、三章),徐州建筑职业技术学院苏长满副教授(第十、十一章),湖州师范学院程广振教授(第五、七、八、九、十二章),贾玉景副教授(第二、四、六章),全书由程广振担任主编,苏长满担任副主编。

本书第二版编写过程中参阅了大量的文献资料,使本书内容丰富充实,在此一并向诸位原作者致以衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免有错误不妥之处,敬请读者批评指正。

为方便选用本书作为教材的任课教师授课,编者制作了配套电子课件,需要的教师可发邮件到邮箱 chgzh169@126.com 索取,编者乐于无偿提供。

第一版前言

本书是全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材。

是根据全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会提出的《建设类高等职业教育专业教材编审原则意见》，以及教育部组织制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》、《高职高专教育专业人才培养目标及规格》编写的。

本书针对高等职业教育的特点，充分体现高职高专教育课程教学的基本要求，具有如下特点：

1. 突出高职特色，面向生产一线，着力培养懂设计、能施工、会管理的应用型专业技术人才，重点培养施工技术、岗位素质、实际技能。

2. 精选教材内容，突出实际应用，内容反映学科前沿动态，充分体现新技术、新工艺、新材料、新设备的应用，符合现行行业标准、规范。

3. 强化实用内容，精简理论推导，以必须、够用为尺度，以掌握基本概念、仪器仪表使用为重点，做到理论少而精，理论与实际应用相统一。

4. 插图尽量与实物相一致，增强直观性，便于理解仪器仪表结构、安装，以及其他仪表的连接方式。

5. 注意与相关课程的协调分工，做到无重复，无疏漏。

参加本书编写的有：平顶山工学院程广振（第二、五、八、九、十二章），徐州建筑职业技术学院苏长满（第十、十一章），平顶山工业职业技术学院贾玉景（第四、六、七章），内蒙古建筑职业技术学院王文琪（第一、三章），全书由程广振担任主编，苏长满担任副主编。

本书的编写得到了全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会的指导和帮助，平顶山工学院建筑环境与热能工程系领导、沈阳建筑大学职业技术学院刘春泽教授、内蒙古建筑职业技术学院贺俊杰教授给予了大力支持，沈阳建筑大学职业技术学院尚久明副教授担任主审并提出了宝贵的修改意见，对此编者表示诚挚的谢意。在编写过程中参阅了大量的文献资料，使本书内容丰富充实，在此一并向诸位原作者致以衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免有错误不妥之处，敬请读者批评指正。

目 录

绪论	1
----	---

第一篇 热 工 测 量

第一章 测量的基本知识	5
第一节 测量的意义及方法	5
第二节 测量系统	7
第三节 测量误差与测量精度	10
第四节 测量仪表的基本技术指标	14
思考题与习题	18
第二章 温度测量	19
第一节 测温仪表的分类	19
第二节 双金属片温度计	20
第三节 玻璃液柱温度计	21
第四节 压力式温度计	24
第五节 热电偶温度计	25
第六节 热电阻温度计	32
第七节 温度计的选择及安装	36
第八节 其他测温仪表	39
第九节 温度误差补偿	42
第十节 温度传感器的应用	46
思考题与习题	50
第三章 湿度测量	51
第一节 干湿球湿度计	51
第二节 氯化锂电阻式湿度计	57
第三节 氯化锂露点式湿度计	58
第四节 其他湿度计	60
第五节 湿敏传感器应用	65
思考题与习题	68
第四章 压力测量	69
第一节 液柱式压力表	69
第二节 弹性式压力表	71
第三节 电气式压力计及变送器	74
第四节 常用压力表的校验、选择及安装	78
思考题与习题	80

第五章 流速测量	81
第一节 毕托管流速测量	81
第二节 激光测速仪	83
第三节 热线风速仪	85
思考题与习题	86
第六章 流量测量	87
第一节 孔板式流量计	87
第二节 电磁流量计	93
第三节 涡轮流量计	94
第四节 超声波流量计	95
第五节 转子流量计	96
第六节 质量流量计	97
思考题与习题	103
第七章 液位测量	105
第一节 静压式液位计	105
第二节 电接触式液位计	108
第三节 浮力式液位计	111
第四节 超声波液位计	113
第五节 导电式液位计的应用	114
思考题与习题	116
第八章 热量测量	117
第一节 热阻式热流计	117
第二节 热水热量指示积算仪	120
第三节 饱和蒸汽热量指示积算仪	121
思考题与习题	122
第九章 微机在热工测量中的应用	123
第一节 微计算机化测量系统的组成	123
第二节 微机在热工测量中的应用	125
思考题与习题	127

第二篇 自动控制

第十章 自动控制原理	131
第一节 自动控制系统的组成与分类	131
第二节 自动控制系统的过渡过程	134
第三节 环节的特性参数与传递函数	136
第四节 被控对象的数学分析	147
思考题与习题	149
第十一章 自动控制仪表	150
第一节 自动控制仪表的分类	150
第二节 控制器	151

第三节 执行器.....	165
第四节 调节阀的选择与计算.....	171
第五节 风量调节阀的流量特性.....	175
思考题与习题.....	176
第十二章 自动控制系统的应用	177
第一节 空调单回路控制系统.....	178
第二节 空调多回路控制系统.....	182
第三节 空调计算机控制系统.....	183
第四节 换热设备自动控制.....	188
第五节 制冷自动控制.....	189
第六节 集中供热系统自动控制.....	190
第七节 风机盘管空调系统自动控制.....	192
第八节 流体输送设备自动控制.....	193
思考题与习题.....	197
参考文献.....	198

绪 论

热工测量与自动控制是供热通风与空调工程技术专业的一门重要课程,全书分为热工测量与自动控制两篇。热工测量主要讲述测量与测量仪表的基本知识、误差的基本性质与处理、各种热工参数测量仪表的结构、原理与使用。自动控制主要讲述自动控制原理、自动控制仪表、自动控制系统和自动控制在供热通风与空调工程中的应用实例。教学可安排 50~60 学时。

随着现代科学技术的进步和工业生产的迅速发展,人民生活水平不断提高,供热通风空调已成为人们生产、生活的基本条件并得到普及,由此产生的能源消耗在建筑物能耗中占有相当大的比重。为了实现供热通风空调工程的安全、环保、节能、经济运行,热工测量与自动控制已成为供热通风空调工程必不可少的重要组成部分。

在供热通风与空调工程中,使用的自动测控仪表种类很多,需要检测和控制的参数也多种多样。按功能可分为:检测仪表、显示仪表、调节器和执行器;按构造可分为:基地式仪表、电动单元组合式仪表、电子组装式仪表等。利用各类测控仪表,可以构成自动检测、自动保护、自动操纵和自动控制等四种类型的自动化系统。

自动检测系统是利用各种检测仪表自动并连续地对各工艺参数进行测量,并将结果自动地指示或记录下来,以替代操作者对各参数的不断观察与记录的一整套自动化装置。自动检测是判断设备或系统工作状态是否正常,实现自动控制的前提。自动保护系统是为了确保安全生产而对生产过程中某些关键性参数所设置的信号自动报警与连锁的一种安全装置,在事故即将发生前,信号系统自动地发出声和光信号,告诫人们注意并及早采取相应的措施。如工况已接近危险状态,连锁系统可立即自动地采取紧急措施,以防止事故的发生和扩大。自动操作系统是根据预先规定的步骤,自动地对生产设备进行某种周期性操作的自动化装置,它可以极大地减轻操作工人的重复性劳动。自动控制系统是在生产过程中,利用一些自动化装置,对某些重要工艺参数进行自动控制,使它们在受到外界干扰的影响而偏离正常状态时,能自动回复到规定的数值范围内的自动化系统。

现代物质文明的发展,使人们对供热通风与空调工程自动化技术提出了更高的要求,同时,自动化技术也将供热通风与空调工程技术推向一个更新、更高的层次。因此,自动化技术与供热通风、制冷、空气调节技术的关系非常密切,从事供热通风与空调工程的工程技术人员必须学习和掌握热工测量与自动控制技术。

本书是根据教育部组织制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》、《高职高专教育专业人才培养目标及规格》,以及全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会制定的《热工测量与自动控制》课程教学大纲的要求编写的。本课程的任务与要求是:使学生领会常用热工测控仪表的工作原理和构造,熟悉各种测量仪器、仪表的使用条件和安装方法;掌握热工测量与自动控制系统的组成原理、测量方法、特性分析;能够按照具体供热通风与空调工程选择常用测量仪表,合理组建测量系统,提出本专业对自动控制的基本要求,正确绘制自动控制原理图,并能配合自控专业技术人员进行仪器仪表安装、工程调试、设备维护、运行管理;得到供热通风与空调专业工程师必备的热工测控知识的基本训练。

第一篇 热 工 测 量

第一章 测量的基本知识

第一节 测量的意义及方法

一、测量的概念

测量就是用专门的技术工具依靠实验和计算找到测量值（包括正负和大小）。其目的是为了在限定时间内尽可能准确地收集被测对象的有关信息，以便掌握被测对象的参数和控制生产过程。例如用温度计测量恒温室内空气温度的数值；在工业锅炉运行过程中，对其汽包水位的检测；在采暖系统中对蒸汽压力的检测等。

1. 测量的定义

测量就是以同性质的标准量与被测量比较，并确定被测量对标准量的倍数。

上述定义用数学公式表示如下

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

式中 X ——被测量；

U ——测量单位（标准量）；

a ——被测量与标准量的比值（测量值）。

式（1-1）称为测量的基本方程式，从上式可知，测量过程有三个要素：一是测量单位，现在采用国际单位制（SI）；二是测量方法（实验方法），它是将被测量与其单位进行比较的方法；三是测量仪器与设备，它是测量过程的具体体现与实施者，是为了求取比值而实际使用的一些仪器与设备。有些测量仪器输入的是被测量，而输出的是被测量与其单位的比值，比如压力表和温度计。

2. 测量过程及转换

以天平称重为例来分析测量过程。测量开始应调整天平到平衡，即为“调零”；接着将被测重物和标准砝码分别放到两侧称盘中，这叫对比；然后借助于天平中间指针的偏转方向，判别两侧轻重，指针偏离中间位置的大小称为示差；根据示差调整砝码的大小，直到重物与砝码平衡为止，这个动作称为调平衡；上述动作完成后，根据砝码的大小读出重物质量的大小，称为读数。

综上所述，整个测量过程包括调零、对比、示差、调平衡和读数五个动作，它是贯穿在一切测量过程中的。

上述测量过程中的关键在于被测量与标准量的比较，两量之间既可直接比较，又可以某中间量作为参照物进行间接比较，这种比较通常称为测量变换。例如用水银温度计测温时，必须将所测温度变换为玻璃管内水银柱的长度，温度的标准量为玻璃管上直线刻度，此时两量都变换到直线长度这样的中间量，再进行比较。通过变换可以实现测量或使测量简便。所以，变换是测量的核心。测量变换的定义是指把被测量按一定规律变换成另一种物理量的过程，实现该过程的元件称为测量元件。变换元件是以一定的物理规律为基础

的，它完成一个特定的变换任务，多个变换元件的有机组合构成了变换器或测量仪表，可将被测量一直变换到测量者能直接感受为止。

二、测量方法

测量方法就是如何实现被测量与标准量（测量单位）比较的方法，测量的方法有很多。

（一）按照获取测量结果的程序分

1. 直接测量

直接测量是将被测量直接与适用的标准量相比较而得出测量值的方法，例如用玻璃水位计测量水箱中水位的高度。

2. 间接测量

间接测量是通过直接测量与被测量有确定的函数关系的一个或几个量，然后计算出被测量的方法。

3. 组合测量

测量中各未知量以不同的组合形式出现，根据直接测量和间接测量所获得的数据，通过求解联立方程组以求得未知量的数值，这类测量称为组合测量，例如用铂电阻温度计测量介质温度时，其电阻值和温度的关系为

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2) \quad (1-2)$$

式中 R_t —— $t^\circ\text{C}$ 时铂电阻值；

R_0 —— 0°C 时铂电阻值；

A 、 B ——与电阻材料有关的常数。

（二）按照仪表特点分

1. 非零测量法

通过仪表的测量机构，直接或间接测量被测量所产生的输出信号的大小，输出信号不为零，其显示的数值即为测量值。例如：弹簧管测压时弹簧管自由端位移值（压力），水银温度计液柱高（温度）。

2. 零位法

通过仪表的测量机构，比较被测量和已知标准量的大小与相位。调节已知量的大小，使两者相平衡或抵消，此时显示器显示信号为零，说明被测量的数值与已知量相等。例如天平称重，电位差计测电势，平衡电桥法测电阻等。

比较上述两种方法，前者简单、迅速、直观；后者测量精度高，有较强消除干扰能力，可用于发展精密仪表，但其仪表结构复杂，价格偏高。

3. 微差法

通过仪表的测量机构，用被测值取代另一已知标准值（或接近测量值）后，读出差值及方向，从而得到被测量值。微差法是非零位法和零位法的结合，测量迅速，测量范围小，精度高，如用 U 形管压力计测压。

也可按照仪表是否与被测对象直接接触分为：

1. 接触测量法

通过仪表的传感器与被测对象直接接触，在被测参数的作用下，感受其变化，并输出信号大小，例如用弹簧管压力表、体温计等测量。

2. 非接触测量法

仪表的传感器与被测对象不直接接触，在被测对象的间接作用下，感受其变化，获得信息，达到测量的目的。例如辐射温度计，不受被测对象的干扰，对测腐蚀性介质的温度尤其适用、方便、安全和准确。

(三) 按被测对象在测量过程中的状态分

1. 静态测量

指被测对象处于稳态时测量，被测对象不随时间而变化，所以又称稳态测量。

2. 动态测量

指被测对象处于不稳态时测量，此时，被测对象随时间而变化，因此，这种测量是瞬间完成的，只有这样才能得到动态参数的结果。通常情况下，生产过程中的被测对象都是随时间而变的。如果被测参数随时间变化很缓慢，而测量所需时间又很短，被测对象可近似认为处于稳态，相应的测量也可认为是稳态测量。测量某点的被测量值为点参数测量，测量某个场的被测量值（多点）为场参数测量。本书所讨论的测量，若无特殊说明，均为稳态测量和点参数测量。

(四) 按测量精度分

1. 等精度测量

指在测量条件完全相同的情况下进行测量，其精度相同。例如：某测量者用同一温度计测量不同对象的温度，因测量者与温度计不变，所得测量值精度相同，则此测量称为等精度测量。这种测量的数据处理较简便，也较常见。本书除特殊注明外，均为等精度测量。

2. 不等精度测量

指在测量条件不同的情况下进行测量，其测量的精度不同。如同样为温度测量，若测量者不同，或使用的温度计不同，甚至测量方法也不同，则其测量值的精度必不相同，有的准确，有的粗略，这就是不等精度测量。在组合测量时常见，其数据处理较为复杂。

第二节 测量系统

一、测量系统的基本功能

为了测量某一被测对象，往往需要设置由数个仪表或环节组成的测量系统来完成。比如，对蒸汽流量的测量，常用标准孔板发出差压信号输入差压变送器，转换成电量信号，通过导线或压缩空气管道传输至积算装置，其输出再接入显示仪表显示被测流量值，同时还可以记录或图示，这就组成完整的蒸汽流量测量系统。系统方块图如图 1-1 所示。

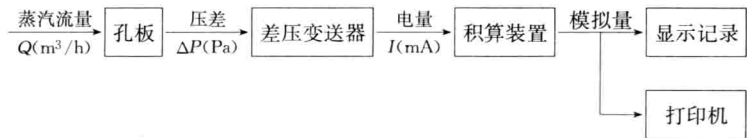


图 1-1 蒸汽流量测量系统方块图

任何测量系统都是为实现一定的测量目的，将一定的测量设备按要求进行的组合。所谓测量设备指测量过程中使用的一切设备，包括各种量具、仪表、仪器、测量装置系统及

在测量过程中所需的各种元件、器件、附属设备、辅助设备、试验设备等。在供热通风与空调工程中，所测参数种类繁多，范围广，测量要求、方法、精度与安装位置不同，测量设备的原理、外形、结构、价格及自动化程度差别较大，但就其测量过程所具有的功能都可分为四部分，即变换功能、选择功能、比较与运算功能、显示与记录功能。

1. 变换功能

将被测量和标准量都变换到双方便于比较的某个中间量。被测量 X 经变换后与输出量 Y 的函数关系（又称变换函数），一般用 $Y=F(X)$ 表示，但此式为理想情况，实际物理系统中还有其他影响因素，即干扰量（ $g_1、g_2 \cdots \cdots g_m$ ）以不同程度影响着 Y ，故有 $Y=F(X, g_1, g_2 \cdots \cdots g_m)$ ，如图 1-2 所示。所以变换元件的输入量与输出量之间实际上是一个多变量函数。例如相对湿度传感器（变换元件），其输出量除与被测湿度有关外，尚受风速、温度、辐射热、大气压力等干扰因素的影响。

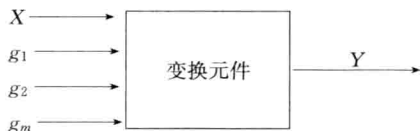


图 1-2 变换元件方块图

2. 选择功能

是测量仪表的重要功能，即仪表应具有选择输入信号，抑制其他一切干扰因素的功能。设计制造仪表时，除特定的输入输出关系外，一般希望尽量减小 $g_1、g_2 \cdots \cdots g_m$ 等影响因素对 Y 所起的干扰作用。例如，用于测量空气相对湿度的通风干湿表，利用小风机在干湿球温度计的温包周围造成一定的气流速度，用以减小测定场合的风速对测量结果的影响。这种仪表就选择了相对湿度信号，从而排除了测定场合风速对测量的干扰。同时还可采用温度补偿的方法抑制温度对测量结果的影响等。因此，选择功能是测量仪表的重要功能之一。

3. 比较与运算功能

在模拟式仪表中标准量通常表示成仪表的刻度，比较与运算过程由测量者在读数时进行。在数字式仪表中，是先将被测的模拟量转换成数字量，然后与仪表内标准电压脉冲或标准时间脉冲进行比较与运算。比较与运算过程实际上是脉冲的计算过程。

4. 显示与记录功能

将测量结果用指针的转角、记录笔的位移、数字值及符号文字（或图像）等形式显示与记录出来，是人—机联系的方法之一，具体方法有：指示、记录、打印、图示等多种形式。

二、测量系统的组成

测量系统具有前述的四个基本功能，相应的必须由传感器、变换器和显示装置三个基本环节组成，这些环节可以是各个独立的仪表或装置，也可用导线或管路等传输通道联系起来，组成完整的测量系统。也可以将上述环节组合在一个整体中，成为能独自完成对被测量进行测量的仪表，对于这种测量仪表，实质上它具有全部测量系统的功能，但其环节间的界线功能不易明确划分，下面简述各环节的基本特性。

1. 传感器

是测量系统与被测对象直接发生联系的部分，其作用是感受被测量的大小，输出一个相应的原始信号，以提供给后续环节。所以，传感器能否准确而快速地给出信号，很大程