

制冷与空调实验教程

—— 供热空调部分

主 编 石富金 邹同华
副主编 律宝莹 胡晓微 张 艳 韩学廷



天津大学出版社

TIANJIN UNIVERSITY PRESS

制冷与空调实验教程 ——供热空调部分

主 编 石富金 邹同华
副主编 律宝莹 胡晓微 张 艳 韩学廷



内容提要

本实验教材在总结多年实验教学经验的基础上,基于天津商业大学制冷与空调实验教学中心的实验教学体系构架编写而成,系该中心教材建设中的系列教材之一。

该实验教材编入了建筑环境与设备工程专业目前所涉及的大部分专业课实验指导书。包括供热工程、建筑环境学、空气调节、锅炉与锅炉房设备、工业通风、建筑给排水、建筑照明等课程的实验。为使本教材系统化,流体输配管网、建筑设备自动化等课程的有关实验编入了《制冷与空调实验教程——专业基础部分》分册,空调制冷技术课程的有关实验编入了《制冷与空调实验教程——制冷部分》分册。

本教材的构架既便于实验教学与课程理论教学的同步进行,也适于实验课程单独设置的教学模式。在内容上较详细地论述了各实验的实验目的、实验内容、实验原理、实验测试方法和实验步骤,对参加实验的人员提出了实验要求和实验中应注意的事项,给出了针对课程和实验的思考题,并提出了对实验报告的要求。

本教材不仅方便学生在实验课上使用,也便于学生理解各专业课之间的关系,使各专业课之间更系统地有机结合起来。本书适用于建筑环境与设备工程本科、专科学生使用,也可供相关专业学生及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

制冷与空调实验教程. 供热空调部分/石富金, 邹同华主编. —天津:天津大学出版社, 2010. 2

ISBN 978-7-5618-3381-0

I. ①制… II. ①石… ②邹… III. ①制冷技术—实验—教材 ②空气调节设备—实验—教材 ③供热系统—实验—教材 IV. ①TB657-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 031186 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 天津泰宇印务有限公司

经销 全国各地新华书店

开本 185mm × 260mm

印张 6.5

字数 163 千

版次 2010 年 3 月第 1 版

印次 2010 年 3 月第 1 次

定价 50.00 元(共三册)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

序

2001年8月教育部下发的《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》一文明确指出,要进一步加强实践教学,注重学生创新精神和实践能力的培养。众所周知,大学作为高素质创新人才的培养基地,更应特别重视本科实践教学,重视知识、能力和素质的综合训练,为国家培养大批创新人才。因此,国家级实验教学示范中心建设的目的在于发挥其辐射作用,促进本科教学质量的提高。目前,实验教学的最大弊病就是开设了大量仅为理论教学服务的验证性实验,而缺乏培养工程应用能力的实验。国外大学的人才培养模式并非完美无缺,但其重视能力培养的模式的确是我们所应借鉴的。审视我们人才培养体系所塑造、培养的毕业生,虽然有着基础知识扎实等优点,但在创新意识和能力的培养等方面却存在着明显的不足。实验教学要向实践教学的方向迈进,实践教学环节是一个将知识转化成能力的"酿造过程"。作为素质教育的重要内容,实验教学不仅是理论教学的补充、解释、验证和延伸,更应当作为一个与理论教学同等重要的环节来设计,实验教学与理论教学应该相互促进、相辅相成。所以,构建一批适应于教学改革为目的,更具专业性、设计性和创造性的实验教材非常之必需,以便使学生在4年学习中能接受多个带有实践环节的培养。实践创新教育是重视学生对所学知识的应用空间,是重视学生的思维意识,是重视创新精神和实践能力的培养。

近年来,各高校教学环境及硬件设备都有很大的提高,但是相对于实验教学软件方面的重视尚有待加强,如改进实验教学体系,开发设计性、创新性和综合性实验教学项目,重视实验教材的建设等方面。基于目前情况,天津商业大学热能与动力工程实验教学中心依据自身的实验教学体系,编写了这套《制冷与空调实验教程》的实验教材,教材包括了专业基础、制冷和供热空调三大部分。将实践性较强、与制冷及暖通专业联系密切、注重培养专业技能的一些实验编进本套教材,是一件非常有意义的工作,适应于热能与动力工程及相关专业实验教学发展的需要。所以,该实验教材的编写出版在满足本校实验教学需要的同时,更因为其中

许多内容体现了天津商业大学制冷学科多年的实践积累,可以为国内其他高校相关专业所参考和借鉴,更好地发挥其国家级实验教学示范中心的辐射作用。

天津商业大学制冷学科与社会的接触较为密切,多个科研和生产单位已作为学生的实习基地,这对于实践教育改革的实施也是非常有利的条件,同时毕业生也容易被社会所接纳。该教材的出版也体现了他们的工作成效,在此感谢参与这套实验教材建设的教师们,也感谢天津大学出版社。这套实验教材将在我国能源动力类实验教学发展中发挥巨大作用。

热能与动力工程教学指导委员会副主任

A stylized, handwritten signature in black ink, likely belonging to the Vice Chairman of the Thermal Energy and Power Engineering Teaching Guidance Committee.

2009年6月

前 言

全国设置热能与动力工程或建筑环境与设备工程专业的学校有 100 多所,由于这两个专业在一定程度上是相通的,服务的行业也有一定的相似性,因此这 100 多所学校中大部分学校这两个专业都有,有的是先有热能与动力工程专业(原名制冷设备专业或制冷工艺专业,习惯称制冷专业),后有建筑环境与设备专业(原名为供热、供燃气、通风与空气调节专业,习惯称空调专业);也有的是先有建筑环境与设备工程专业,后有热能与动力工程专业。在国家相关专业教学指导委员会制定的教学大纲的指导下,各学校根据自身的办学特色,在理论课教学过程中除了选择一些国家级“十五”或“十一五”规划教材外,还选择一些自编的特色教材,而在实验教学方面则是根据各学校实验设备条件来设置一定的实验课,各学校并无统一的实验教学大纲和教学方案,更无统一的实验教材。为此,我们在“高等学校本科教学质量与教学改革工程”建设思想指导下,组织编写了这套《制冷与空调实验教程》,全套书分三部分:专业基础部分、制冷部分和供热空调部分,这套实验教程的出版,一方面总结了我校多年来在制冷与空调实验教学方面的经验,使实验教学内容和体系更加完善;另一方面也对有相关专业的学校起一个辐射和示范作用。

实验教学是实践教学的重要内容之一,是专业人才培养过程中的重要教学环节。供热、空调、锅炉、空调用制冷技术、自动控制等方面相关专业课在热能与动力工程、建筑环境与设备工程等相关专业人才培养的课程体系中占有重要的地位,这类课程的实验教学在理论知识与方法的传授、工程应用与创新能力的培养过程中起着重要作用。

《制冷与空调实验教程——供热空调部分》主要对应与专业密切相关的课程(建筑环境学、暖通空调、供热工程、空调用制冷技术、锅炉房工艺与设备、建筑自动化等),本教程体系并没有按课程来进行实验项目的安排,而是按专业方向和专业技能来安排实验项目,各实验项目相对独立,形成一个较完整的实验体系。

为便于学生实验前预习,增强每个实验过程的系统性,各实验项目的阐述采

用了统一的内容构架,即实验目的,实验原理、方法和手段,实验内容,实验准备,实验步骤,注意事项及其他说明,思考题,实验报告等八部分;为了强化实验教学和 Related 理论知识的联系,提高实验教学的效率和效果,对每个实验项目都设置了与实验内容和方法相关的思考题,学生在完成后,应对实验内容和方法进行认真思考,以巩固实验成果。

本教程由石富金、邹同华担任主编,各实验项目由空调专业教研室和实验室全体老师共同完成,参与本书编著人员:石富金、邹同华、韩学廷、律宝莹、胡晓微、张艳、严雷、耿凤彦、叶庆银。全书由石富金统稿。

在本书的编写过程中,参阅了其他兄弟院校的同类教材、资料及文献,并得到许多同行专家、教授的支持和帮助,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中缺点和错误在所难免,敬请广大师生、读者提出宝贵意见,以求进一步改进。

编 者

2009年6月

目 录

实验一	室内甲醛含量测定实验	(1)
实验二	室内温度场分布测定实验	(4)
实验三	室内气流组织模拟实验	(7)
实验四	建筑热舒适环境测定实验	(10)
实验五	室内平均照度测定实验	(13)
实验六	水的 pH 值测定实验	(16)
实验七	水的硬度测定实验	(18)
实验八	离子交换软化和除盐实验	(21)
实验九	建筑设备的现场参观	(24)
实验十	散热器热工性能测定实验	(26)
实验十一	机械循环室内热水供暖系统实验	(31)
实验十二	热水网路水力工况实验	(34)
实验十三	烟气的成分分析实验	(37)
实验十四	煤的工业分析实验	(40)
实验十五	煤的发热量测定实验	(43)
实验十六	煤中硫含量的分析实验	(47)
实验十七	锅炉自然水循环演示实验	(49)
实验十八	集中空调系统制冷(热)量综合测试实验	(52)
实验十九	空调与制冷系统参数测定实验	(59)
实验二十	柜式恒温恒湿空调机实验	(65)
实验二十一	建筑设备噪声测定实验	(68)
实验二十二	通风管道中风压、风量测量实验	(72)
实验二十三	袋式除尘器性能测定实验	(75)
实验二十四	总粉尘浓度的测定实验	(78)
实验二十五	局部排风罩性能测定实验	(80)
实验二十六	旋风除尘器性能测定实验	(85)
实验二十七	冷却塔热工性能实验	(89)
实验二十八	表面式冷却器热工性能实验	(94)

实验一 室内甲醛含量测定实验

一、实验目的

熟悉使用甲醛现场测试仪的操作方法;掌握室内污染物采样测点布置的方法;根据相关标准判断室内污染物是否超标;通过测定结果说明室内甲醛来源及其危害。

二、实验内容

- (1)掌握使用甲醛现场测试仪的操作方法和室内污染物采样测点布置。
- (2)根据实验结果判断室内甲醛是否超标,分析思考不同位置甲醛浓度不同的原因。

三、实验原理、方法和手段

1. 检查电池

电池状况被指示在分析仪 LCD 显示板上。使用之前,先检查电池,把功能开关(FUNCTION)旋到 BAT. TEST“ A”,在这个位置测试镍 - 镉充电电池电量。这组电池给泵及报警供电。如果电量充足,则 LCD 显示值高于 1.00,如低于 1.00 则需要充电。把功能开关旋到 BAT. TEST“ B”位置,测试 2#碱性电池(给电路板及传感器供电)。该组电池无论分析仪处于开或关状态下,都给传感器供电。为保障仪器正常工作,最好在显示低于 1.00 之前(如 1.02)更换电池,见图 1-1。

2. 采气管的安装

将 C12F 过滤器两头的小红帽取出(用完后,必须将小红帽再盖严)。另有一个两端粗细不同的软管,将粗的一端接 C12F 过滤器的任意一端,细的一端接到采气管上。采气管与仪器背面的进气口相接。此时,安装工作完毕。

需要注意的是,采气管的软管端在拔出仪器背面的进气口时,需先用手按住进气口处灰色的圆形卡子,再往外拔软管,见图 1-2。

3. 仪器调零和测量

仪器在气体取样前必须加装采气管并在现场调零。对于甲醛分析仪,零点调节是在 SAMPLE(采样)模式下进行的,将采样管连接到仪器进气口,在测量现场将 C12F 过滤器用过渡软管接到采样管上,将气体过滤成零气。注意,在调零旋钮调零之前,仪器指示要稳定。取下 C12F 过滤器,仪器稳定后的读数即为现场的甲醛浓度。

四、实验准备

预习《建筑环境学》中有关室内空气品质、甲醛污染物来源及危害等相关知识,认真阅读本实验指导书。

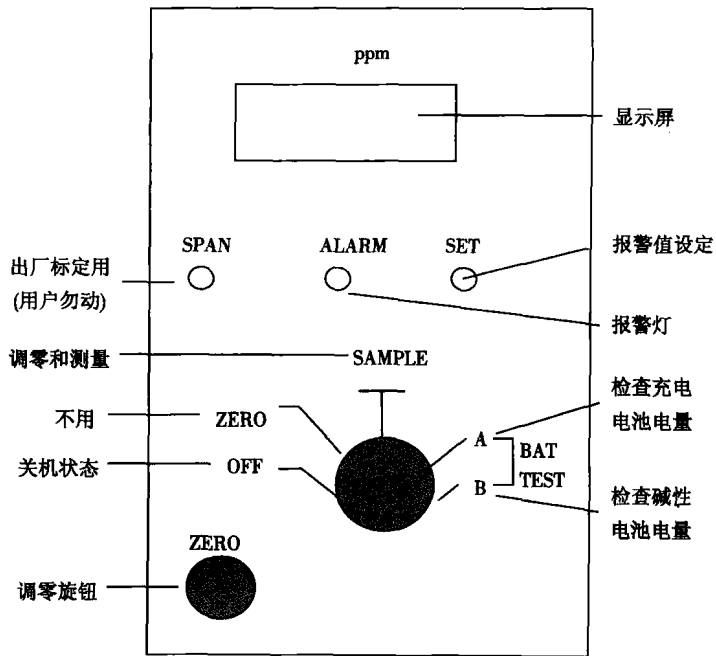


图 1-1 仪器面板

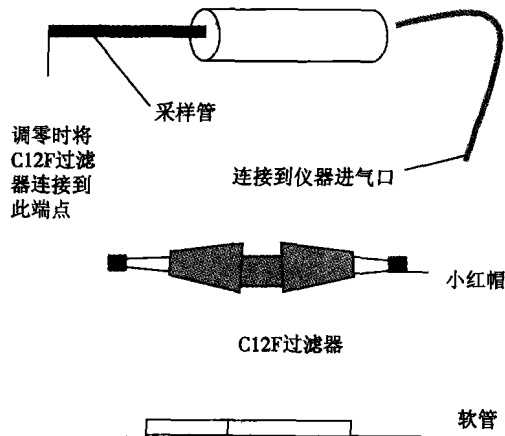


图 1-2 采样管

五、实验步骤

- (1) 在实验之前密闭门窗 1 h。
- (2) 确定采样点布置数量和位置。50 m² 采样 1~3 点, 50~100 m² 采样 3~5 点。100 m² 以上采样至少 5 个点, 可根据房间大小在房间内平均分布几个采样点。采样点应距离地面有一定距离, 约 1.2 m 处。
- (3) 连续采样 1 h。
- (4) 将数据记录入表 1-1 中。

表 1-1 甲醛浓度采样值

采样点				
甲醛值/ 10^{-6}				

(5) 将采样点平均后参照国家标准判断是否合格, 国家标准为 0.1 mg/m^3 。

甲醛浓度换算公式:

$$\text{甲醛浓度}(\text{mg/m}^3) = \text{甲醛所占体积}(10^{-6}) \times M/B$$

式中: B ——标准状态下气体的摩尔体积, $22.4 \text{ m}^3/\text{kmol}$;

M ——甲醛的分子量, 30 kg/kmol , $30 \times 10^6 \text{ mg/kmol}$ 。

六、注意事项及其他说明

(1) 参加实验的学生要严格遵守实验室的规定, 服从实验教师的安排和指导。

(2) 实验中应注意安全, 未经允许不得随意开关阀门或触摸电气设备, 杜绝人身及设备安全事故。

七、思考题

(1) 根据实验结果分析室内甲醛散发的来源。

(2) 甲醛测定结果是累计值还是瞬时值? 室内环境甲醛含量的测定时间是越长越好吗?

八、实验报告

实验报告包括的内容: 实验目的、实验方法(原理和仪器)、实验步骤、测量数据以及数据分析。

实验报告具体要求: 内容详细完善, 数据测量准确。

实验二 室内温度场分布测定实验

一、实验目的

通过室内温度场分布的测定了解室内温度波动状况,确定室内温度不均匀程度,以判断室温控制精度,同时了解室内气流组织对室内温度场的影响。通过实验掌握室内多点测量的布点方法。

二、实验内容

(1)对室内布置多点温度的测量,计算温度场平均温度及其标准方差,了解室内温度场状况。

(2)通过对恒温控制的房间布点测定温度,掌握热电偶测定方法和室内布点原则,用数学方法处理实验数据,评价室内温度场的均匀性,分析室内气流组织状况,评价室内恒温控制的效果。

三、实验原理、方法和手段

恒温区域内温度分布的测定:主要测定恒温区域内(离地面2 m以下)不同标高平面上各点的温度,绘出平面温差图,进而确定不同平面中的区域温差值。恒温恒湿空调房间测点布置要求:在距墙表面0.5~1 m,离地面0.3 m以上区域内,划分若干横向和竖向测量断面,形成交叉网格,每一个交点为测点;一般测点水平间距为1~3 m,竖向间距为0.5~1.0 m,根据精度要求决定疏密程度;测点数应不少于5个;在对温湿度波动敏感的局部区域,可适当增加测点数。画出平面测点布置图和纵断面测点布置图,其尺寸划分见图2-1。测量时,在测定断面上,用热电偶温度计逐点进行测量,测完一个断面移动一次测架。用标杆测量时,将标杆立在地板上标有胶布的测点位置处用热电偶沿标杆所示的测点测量,测完后就移动一次标杆。

四、实验准备

学生需要预习《建筑环境学》中有关室内热湿环境、环境温度测量方法等相关知识,认真阅读本实验指导书。

五、实验步骤

(1)选择上送下回的一种气流组织,布置模拟环境室某一界面的测温点,本次实验用热电偶测温,能对模拟环境室内某一截面温度场同时测量。

(2)开启模拟环境室的空调系统,使其达到某一稳定状态。

(3)开始测量该截面的各点温度,并记录数据。

(4)按实验要求移动测点布置,同时使房间的各参数恢复到第一次测量状态。

实验二 室内温度场分布测定实验

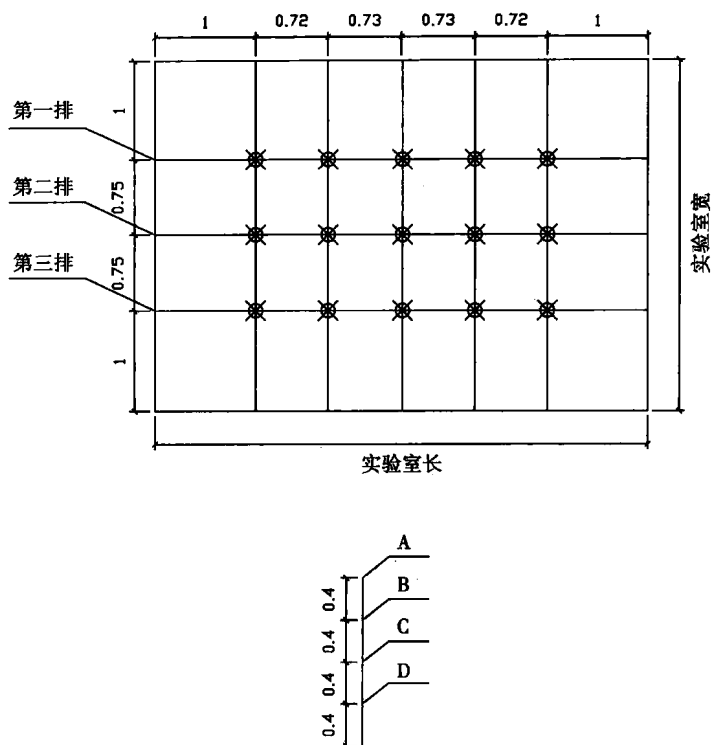


图 2-1 模拟环境室温度场测点布置

(5) 重复上述测量过程, 记录测量的数据。

(6) 数据整理和分析。

① 将室温测量值填入表 2-1。

表 2-1 室温测量值

第一排	1	2	3	4	5
A					
B					
C					
D					
第二排					
A					
B					
C					
D					
第三排					
A					
B					
C					
D					

②整理测定数据时,以恒温区所有测点的综合平均温度作为室温基数,按实验原理公式计算室内温度不均匀系数。其中温度场平均温度 t_p 及其标准方差 σ_t 采用下述公式计算:

$$t_p = \frac{\sum t_i}{n}$$

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{\sum (t_p - t_i)^2}{n - 1}}$$

式中: t_i ——室内各点测试温度,℃;

n ——测点数。

③将各测点温度值与室温基数进行比较,看其是否大于室温基数。大于则为正,小于则为负,然后在坐标纸上画出不同标高的平面温差分布图,再绘制区域温差累计曲线图。根据各种温差占总数的百分比,判断恒温室内所达到的室温是否在允许的波动范围。

六、注意事项及其他说明

(1)参加实验的学生要严格遵守实验室的规定,服从实验教师的安排和指导。

(2)实验中应注意安全,未经允许不得随意开关阀门或触摸电气设备,杜绝人身及设备安全事故。

七、思考题

(1)如果某次测量状态偏离了设计状态,对测试结果有什么影响?

(2)室内温度的波动范围是否就是房间控制温度?

八、实验报告

实验报告包括的内容:实验目的、实验方法(原理和仪器)、实验步骤、测量数据以及数据分析。

实验报告具体要求:内容详细完善,数据测量准确。

实验三 室内气流组织模拟实验

一、实验目的

通过室内气流组织模拟实验,掌握常用风口、常见室内送回风口布置对室内气流分布、工作区温度速度均匀性的影响,掌握室内工作区温度和速度的测量方法、气流演示实验方法。

二、实验内容

(1)学生自己选择风口形式及气流组织方式;在实验区内布置测点,测量测点温度;安放发烟剂,观测并记录室内气流组织情况。

(2)通过气流演示室内多种形式的气流组织模拟实验;分析常见室内送回风口布置对室内气流分布的影响;空调送风时的能耗通过能量利用系数测定,来评价室内气流组织的优劣。

三、实验原理、方法和手段

室内气流组织的优劣直接影响室内热环境的舒适性和空调设计目的的实现,同时也直接影响空调系统的能耗量。通常室内工作区由余热而形成的负荷只占全室总负荷的一部分,另一部分产生于工作区之上。良好而经济的气流组织形式,应在保证工作区满足空调参数要求的前提下,使空调送风有效地排出工作区的余热,而不使工作区以外的余热带入工作区,从而达到不增加送风量且提高排风温度的效果,以提高空调系统的经济性。为此,引入评价室内气流组织经济性指标——能量利用系数 η :

$$\eta = \frac{t_p - t_o}{t_n - t_o}$$

式中: t_n 、 t_o 、 t_p 分别为室内工作区空气平均温度、送风温度和排(回)风温度。

通过实验获得能量利用系数 η ,以评价室内气流组织的经济性。具体实验方法和手段如下。

1. 气流组织测量方法

(1)烟雾法。将棉球蘸上发烟剂(如四氯化钛、四氯化锡等)放在送风口处,烟雾随气流在室内流动。仔细观察烟雾的流动方向和范围,在记录图上描绘出射流边界线、回流涡流区和回流区的轮廓,或者采用摄影法直接记录气流形态。由于从风口射出的烟雾不大而且扩散较快,不易看清楚流动情况,可将蘸上发烟剂的棉花球绑在测杆上,放到需要测定的部位,以观察气流流型。这种方法比较快,但准确性差,只在粗测时采用。

(2)逐点描绘法。将很细的合成纤维丝线或点燃的香绑在测杆上,放在测定断面各测点位置上,观察丝线或烟的流动方向,并在记录图上逐点描绘出气流流型,或者采用摄影法直接记录气流形态。这种测试方法比较接近于实际情况。

应注意上述用于记录气流形态的摄影法对拍摄焦距、烟雾与背景的对比度等要求较高。

2. 能量利用系数测量方法

分别在室内工作区、送回风口处布置温度测点,温度测量仪器采用热电偶测量,工作区温度应采用多点布置取其平均值,计算求得能量利用系数。

3. 风口、气流组织的选择

目前环境室内可供测量的风口有散流器、双层百叶两种风口,其中散流器送风口有两个。可供观察的气流组织形式有上送上回、上送下回。

四、实验准备

预习《建筑环境学》中有关室内气流组织、空气温度、速度测量方法等相关知识,认真阅读本实验指导书。

五、实验步骤

(1) 选择一种风口形式及气流组织方式,调整送风温度和送风量至设定值,待稳定后进行实验。

(2) 在被测环境室工作区内布置 3 支热电偶温度计,送、回风口各布置 1 支热电偶温度计,并把温度计连接到温度显示仪表。

(3) 在送风管道内安放发烟剂,等烟雾到达一定浓度且稳定后,观测室内气流组织流态,采用烟雾法、逐点描绘法或者拍摄法记录某一平面的室内气流组织情况。

(4) 与此同时记录所测工作区、送回风口处的温度。

(5) 再选择一种送风形式,重复以上步骤进行实验。

(6) 根据相机拍摄的气流组织效果图,分析该气流组织的流动情况。

(7) 记录相关测试数据,见表 3-1。

表 3-1 工作区、送回风口温度测量值与能量利用系数

风口形状	送风方式	序号	室内温度 $t_n/^\circ\text{C}$		送风温度 $t_o/^\circ\text{C}$	回风温度 $t_p/^\circ\text{C}$	能量利用系数 η
			1	2			
方形散流器	上送上回	①					
		②					
		③					
平均能量利用系数:							

六、注意事项及其他说明

(1) 参加实验的学生要严格遵守实验室的规定,服从实验教师的安排和指导。

(2) 实验中应注意安全,未经允许不得随意开关阀门或触摸电气设备,杜绝人身及设备安全事故。

七、思考题

(1) 如何用能量利用系数 η 评价室内气流组织的优劣?

(2)采用烟雾法观测室内气流组织有什么优缺点?

八、实验报告

实验报告包括的内容:实验目的、实验方法(原理和仪器)、实验步骤、测量数据以及数据分析。

实验报告具体要求:内容详细完善,数据测量准确。