



室内热环境 实验研究与 能耗分析

唐中华 等 著



科学出版社

014032682

X21
90

室内热环境实验研究 与能耗分析

唐中华 等 著



科学出版社

北京



北航

C1720981

X21
90

58850210

内 容 简 介

本书主要进行了室内热环境的实验研究和能耗分析,在几种不同的建筑物内部进行了夏季和冬季工况实验研究与测试,特别是通过对家居空调新风引入、排风热回收的冬季和夏季能耗问题研究,得到了一些非常有用的结论,填补了国内家居空调新风引入研究上的空白。对建筑室内热环境控制与建筑能耗分析提供了可以借鉴的数据和资料,为建筑节能领域的参考资料拓宽,提供了更多的研究文献。

本书可供建筑环境与能源应用工程专业、建筑学专业、空调制冷专业及土木工程专业的工程技术人员、研究人员、教师、研究生等参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

室内热环境实验研究与能耗分析 / 唐中华等著. —北京: 科学出版社, 2014. 3

ISBN 978-7-03-039886-4

I. 室… II. 唐… III. 室内环境-热环境-能耗指标-实验研究
IV. X21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 037164 号

责任编辑: 王 倩 / 责任校对: 宋玲玲

责任印制: 赵德静 / 封面设计: 李姗姗

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年3月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2014年3月第一次印刷 印张: 12 3/4

字数: 390 000

定价: 78.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

在经历了 SARS 的全球性灾难后,室内空气环境的改善已成为整个暖通空调行业不可避免的问题。解决这一问题最简便的方法就是尽量引入室外新风,这就产生了一种新的课题,即空调系统或家用空调新风引入的室内热环境研究。集中空调系统新风引入已有成熟的研究成果,而家用空调新风引入的研究就显得尤为重要。由于全球能源紧张,特别是考虑到处于经济高速发展时期的中国能源紧张的现实状况,暖通空调行业要尽可能地降低能源消耗,建设可持续发展的和谐社会,这就是室内热环境控制与节能。

室内环境研究主要是指建筑物内部的“热”、“湿”以及“污染物”的研究与调控,本书主要完成了两方面的研究工作。

1. 夏季室内热环境控制方法和能耗分析

通过对室内房间夏季使用空调引入新风情况下的室内热环境实验研究,旨在掌握各种因素对室内热环境的影响,明确其中的主要影响因素;同时以实验实测数据为基础,通过相关热环境参数的比较,结合其能耗,确定最优的夏季新风引入方式;最后在实验数据的基础上,确定以室内温度及空气流速为研究对象,建立理论模型,通过比较主要影响因素的不同水平的模拟结果,确定出最优的主要影响因素及其取值范围。由此得到下列结论:

(1) 在实验所选取的空调新风方式、室内机组送风速度、新风引入位置、新风量、排风方式等五种影响因子中,通过聚类极差分析得出,空调新风方式和室内机组送风速度对室内热环境和能耗的综合影响最大,而新风量、新风引入位置、排风方式的影响则相对来说要小得多。

(2) 通过比较室内热环境的不平均性、室内平均辐射温度、室内热舒适性评价指数 PMV-PPD,以及室内气流组织的优劣,发现室内排风引出新风下入低速送风状态的综合排名评分最高,可认为它是最优的夏季空调新风引入方式,而且发现低速状态的排名评分要普遍高于高送风速度状态,在实验条件下,室内人员在代谢率一定的情况下,其舒适感在很大程度上要受风速的影响。

(3) 新风引入方式成为影响能耗的主要因素,排风引出新风下入的新风引入方式不但节约了新风机的能耗,而且室内的排风引到室外机组(即冷凝器),

提高了空调机组的制冷效率,起到了节能的作用,特别是在低速状态下,能耗远低于其他新风引入状态的能耗,这一发现有力地证明了室内排风引入到室外机组是一种简便易行的节能方法,值得进一步深入研究。

(4) 尽管空调室内的送风速度已经很大,但通过实测的数据可以清楚地发现,在室内空间,特别是在接近壁面的区域内的空气温度、焓值、含湿量值呈现明显的分层现象,与其设想相差较大,而且通过观察空间测点风速值的分布,更加清楚地说明这一点。流场中只有处于空调送风射流主流区的个别点风速很高,而其他区域的风速则极低,这些都阐明了空间空气流动状态及分布的不均匀性。

(5) 与预想的结果不同,室外环境的变化波动,对于室内热环境及能耗的影响并不是很大,特别是能耗,基本不能得出室内外温度差与空调能耗的相关性。而在整个实验过程中,室内温度、湿度、风速、壁面温度基本没有随室外环境参数的波动而产生较大波动。

(6) 在对室内气流组织的评价过程中发现,下部排风的混合新风引入方式有最佳的室内气流组织。

(7) 最后利用所建立的数值模型,以实验实测数据为边界条件,模拟得到了空间各个测点的温度、风速模拟计算值,通过与实验实测值进行比较,确定所建立模型的可靠性。以此为基础,进一步研究空调机组送风风速对室内温度及气流速度的影响,通过计算结果,发现风速在 $1.6 \sim 1.7 \text{ m/s}$ 时,室内人员活动区的温度已经满足舒适性要求,但通过分析其主断面上的风速分布,发现空气的高流速区有很大一部分处于人的活动区,这时只有适当提高送风温度(即减少送风量),才可能改善热舒适性。

2. 冬季室内热环境控制方法和能耗分析

对办公环境中冬季空调新风引入情况下室内热环境及能耗的实验和模拟研究,旨在确立各种影响因素对室内热环境和能耗的影响,明确影响室内热环境与能耗的主要因素;同时以实验实测数据为基础,通过相关热环境参数的比较,结合其能耗分析,确定最舒适的冬季新风引入方式;在实验数据的基础上,建立相应的建筑模型,采用 DeST-c 能耗模拟软件对实验结论进行验证及补充,最终在夏热冬冷地区确立了一种既节能又满足舒适性要求的冬季办公用分体空调的空调送风方式,为实验结果应用到实际办公环境中提供理论依据。并得到以下主要结论:

(1) 在实验所选取的空调新风方式、室内机组送风速度、换气次数、气流组织形式四种影响因子中,通过实验结果分析,发现室内机组送风风速对室内热环境和能耗的综合影响最大,空调新风方式和换气次数影响次之,而气流组织形式的影响需要进一步的实验来验证。

(2) 通过比较实验室空间气流的温度场、相对湿度场、单向风速场、壁面

温度、人体舒适性,发现空调低速送风时,人体的舒适度是最优的,而计算结果显示,这种空调送风方式又是一种节能的送风方式,结合实验结论与能耗计算结果最终确立了一种最佳的空调送风方式。

(3) 新风引入方式成为影响能耗的主要因素,排风引出新风下送的新风引入方式不但节约了新风机的能耗,而且室内的排风引到室外机组(即蒸发器),提高了空调机组的制热效率,起到了很好的节能作用,特别是在高速送风状态下,能耗远低于其他新风引入状态的能耗,这一发现有力地证明了室内的排风引入到室外机组是一种简便易行的节能方法,值得进一步深入研究。

(4) 室内换气次数不同对室内舒适性及空调能耗也产生了一定的影响,特别是能耗,虽然实验中选取的换气次数不大,而且新风量还属于小新风量的范畴,但是大的换气次数也会引起较大的空调能耗。

(5) 在冬季送风时,气流组织形式对室内的气流分布也有一定的影响,最佳的气流组织形式是上送下排的气流组织形式,即排风口在房间下部时,这样空调送出的热气流可以在室内进行充分混合后再排出,但影响规律还需进一步的实验得出。

(6) 实验中建立的建筑模型通过 DeST-c 能耗模拟软件能够很好地得到验证,再次引用到办公环境中,计算结果比较接近实验结果,这就为我们将实验结果应用到实际办公环境中提供了理论基础,这为暖通设计人员及空调用户提供了理论依据。最终得到了一种既满足人体舒适性要求的又节能的空调送风方式。

本书由西南科技大学土木工程与建筑学院唐中华执笔统稿,这是目前该团队全体同志共同努力的结果,其中:第1章执笔人:唐中华、温玉杰(东方鼎盛集团地产发展有限公司)、廖百胜(西南科技大学);第2章执笔人:唐中华、温玉杰、廖百胜;第3章执笔人:唐中华、温玉杰、廖百胜;第4章执笔人:唐中华、冀晓霞(成都航空职业技术学院建筑工程系);第5章执笔人:唐中华、冀晓霞;第6章执笔人:唐中华、冀晓霞;附录执笔人:唐中华、温玉杰、冀晓霞。

本书在编写过程中,引用了许多文献资料,谨向相关作者表示衷心感谢。研究生晏旺、雷德保、靳俊杰、夏铭珠、雷肖苗、唐莉、杨杰等为本书资料整理做了较多工作,在此,向他们表示衷心感谢。

由于书中所述为新思路、新方法的探索,又由于作者水平有限,难免有些观点和读者持不同见解,文字表述可能存在疏漏,恳请读者批评指正。

目 录

上篇 夏季室内热环境及能耗实验研究

第 1 章 夏季室内热环境能耗及实验研究	3
1.1 概述及评价标准	3
1.1.1 概述	3
1.1.2 热环境评价标准	6
1.2 室内热环境及能耗特点实验	7
1.2.1 实验设计思路	7
1.2.2 实验内容及进度	8
1.2.3 实验数据整理	13
第 2 章 夏季室内热环境实验结果分析	31
2.1 实验数据分析过程中的合理性分析	31
2.2 室内热环境评价分析	34
2.2.1 室内平均辐射温度分布	34
2.2.2 室内热环境评价指数 PMV-PPD	40
2.3 室内热环境及气流组织的不均匀性分析	53
2.3.1 室内温度不平均系数分析	54
2.3.2 室内含湿量不平均系数分析	56
2.3.3 室内风速不平均系数分析	58
2.3.4 室内空气焓值不平均系数分析	59
2.3.5 热环境空间分布均匀性分析	61
2.4 室内气流组织及能效特点评价	63
2.4.1 室内空间气流组织分析	63
2.4.2 空调房间气流组织能效分析	69
2.4.3 不同状态气流组织综合评价	72
2.5 实验期间空调能耗分析	74
2.5.1 夏季室内家用空调的负荷构成	74

2.5.2 测试房间空调系统能耗分析	75
2.6 不同实验组新风引入综合评价	80
2.7 实测参数主要影响因素分析	81
2.7.1 影响因素分析概述	81
2.7.2 分析方法简介	82
2.7.3 具体分析结果	84
第3章 夏季室内热环境数值模型建立及其模拟	86
3.1 数值模型建立及模拟概述	86
3.2 室内空间流动、温度数值模型	86
3.2.1 实验数值模型的建立	87
3.2.2 模拟计算结果与分析	94
结论	105
参考文献	107

下篇 冬季室内热环境及能耗研究

第4章 冬季室内热环境及能耗分析概述	113
4.1 研究动向	113
4.1.1 问题的提出	113
4.1.2 国内外发展及研究现状	114
4.1.3 主要研究内容	118
4.2 建筑节能及能耗的计算方法	119
4.2.1 建筑节能概念的提出及解决途径	119
4.2.2 建筑能耗计算方法	125
第5章 冬季室内热环境能耗分析实验	130
5.1 冬季室内环境能耗特点实验	130
5.1.1 实验设计思路	130
5.1.2 实验内容及安排	131
第6章 统计室内热环境实验数据及能耗分析	139
6.1 实验数据整理及分析	139
6.1.1 实验期间检测室外温湿度变化	139
6.1.2 各送风状态下室内平均温度比较	139
6.1.3 各送风状态下室内平均相对湿度比较	141
6.1.4 各送风状态下室内平均单向风速比较	143

6.1.5 各送风状态下室内壁面温度分布比较	145
6.1.6 各送风状态下室内热舒适性比较	147
6.1.7 各送风状态下空调能耗比较	151
6.1.8 实验中频繁出现的空调间歇运行现象及其解释	153
6.2 DeST 能耗模拟分析	154
6.2.1 夏热冬冷地区空调状况	154
6.2.2 夏热冬冷地区地域和气候特点	155
6.2.3 建筑模型的建立	156
6.2.4 模拟分析	157
结论	165
参考文献	167
附录	171

上篇 夏季室内热环境 及能耗实验研究

人在室内度过的时间占一生中的85%~93%，而且随着我国物质文化生活水平的不断提高，室内空气环境的改善已成为整个暖通空调行业的重要课题。解决这一问题最关键的技术就是尽量引入室外新风，即对空调系统或家用空调新风引入的室内热环境研究。夏季集中空调系统和半集中空调系统的新风引入已有很成熟的研究成果，但家用空调新风引入的研究（夏季）还没有可适用的技术，再加之全球能源紧张，特别是我国能源紧张已是不争的事实，而暖通空调行业又是能耗大户，其运行管理应尽量节能，这就是夏季室内热环境与能耗研究的主要任务。

第 1 章 夏季室内热环境能耗及实验研究

1.1 概述及评价标准

1.1.1 概述

1.1.1.1 建筑热环境概述

建筑热环境是指室内温度、湿度、气流组织及辐射温度等方面的环境^[1]，又称为室内热环境，它是建筑环境中最主要的内容。

室内环境品质 (indoor environment quality, IEQ) 如声、光、热环境及室内空气品质是建筑环境学研究的主要内容。室内环境品质对人的身心健康、舒适感及工作效率都会产生直接影响，其中热环境和室内空气品质因素对人的影响尤为显著^[2]。

1.1.1.2 室内热环境研究概述

室内热环境研究主要体现在热环境评价指标、人体与环境传热模型及计算流体动力学 (computational fluid dynamics, CFD) 在室内热环境研究中的应用等。

1) 热环境评价

基于建筑室内热环境，结合人的主观感受，方便对室内热环境进行科学评价，提出了热舒适度的概念。“热舒适”是指人体对热环境的主观热反应。美国供暖、制冷与空调工程师协会标准 (ASHRAE Standard 100—2006) 中明确定义：热舒适是指对热环境表示满意的意识状态^[3]。Gagge 将热舒适定义为，一种对环境既不感到热也不感到冷的舒适状态，即人们在这种状态下会有“中性”的热感觉^[4]。Bedford 在 1936 年提出热舒适的 7 级评价指标，这一指标也反映出热舒适和热中性是同义的^[5]。

Houghton 和 Yaglou 确定了包括温度、湿度两个变量的裸体男子的等舒适线，并由此创立了对热环境研究具有深远影响的有效温度指标 (effective temperature, ET)^[6,7]。20 世纪 60 年代，美国堪萨斯州立大学、丹麦哥本哈根工业大学相继建

立了人体热感觉专用实验室,开始研究空气温度对热舒适的影响,以及周围物体温度、空气相对湿度和空气流动情况等对人体热舒适的影响。1962年,Macpherson定义了影响热舒适感觉的六个因素:空气温度、流动速度、湿度、平均辐射温度、新陈代谢率和衣服热阻^[8]。在此基础上,通过可控环境小室和稳态热交换模型研究,Fanger建立了热舒适方程,并在搜集了1396名美国与丹麦受测试对象的热感觉表决票的基础上,他提出了一个较为客观度量热感觉的尺度指标——预期平均评价指标(predicted mean vote, PMV),以反映对同一环境绝大多数人的冷热感觉^[9]。建筑物室内热环境参数,如空气温度、气流速度、相对湿度、周围表面温度等对热舒适均有影响^[10,11],不仅要考虑单一参数对热舒适的影响,同时要针对不同参数的相互组合来讨论人体热舒适。

2) 人体与环境传热模型

关于人体与环境传热模型方面的研究,主要是靠建立多层节点网格进行非线性分析。研究主要集中在如下三方面:

- (1) 人体内环境与外环境间的热、湿、质传递过程;
- (2) 生理、心理因素对舒适性热反应的影响;
- (3) 非稳态环境下人体舒适性热反应。

人体与环境传热模型研究将来主要是考虑心理因素和非稳态环境的人体热反应,其中比较重要的模型及研究报告包括以下八种:

- (1) 美国堪萨斯州立大学 Rohles、Jonsel、McCullough 等提出的一种人体与环境传热的数学模型^[12,13];
- (2) 美国堪萨斯州立大学 Stolwijk 提出的把人体分为六节段四层模型^[12,13];
- (3) 美国耶鲁大学 Gagge 提出的 Stolwijk 模型的修正模型^[14];
- (4) 纽约大学 Charmy、辐射研究学会 Hagman 和机械工程学会 Levin 等提出一种更为复杂的人体模型^[15];
- (5) 寿荣中等提出了一种将人体分成15段的模型^[16];
- (6) 文学军将人、建筑热环境、暖通空调系统视为一个动态热力系统,构建了稳态和动态热环境人的热感觉模糊预测模型^[17];
- (7) 贾庆贤等将吹风对人体热舒适的影响进行了客观调查和主观评价^[17];
- (8) 王怡等对我国中部地区冬季空调房间室内舒适参数进行了测试与研究,分析了室内温度、湿度对室内空气品质的影响^[18]。

3) CFD 技术在室内热环境研究中的应用现状

近年来 CFD 技术已成为对室内热环境参数如空气温度、湿度、空气速度、污染物浓度进行数值模拟和预测的重要工具^[19]。在这方面,主要集中在对紊流模型的研究上。

模型的建立主要有两个方向,一个是微观,一个是宏观。

从微观方向着手主要是以 N-S 方程为基础,采用标准 $k-\varepsilon$ 模型对室内空气的温度、流速分布等进行预测。主要的经典模型包括五种:

(1) 标准 $k-\varepsilon$ 模型;

(2) 低雷诺数 $k-\varepsilon$ 模型;

(3) 双层 $k-\varepsilon$ 模型;

(4) 双尺度 $k-\varepsilon$ 模型;

(5) RNG $k-\varepsilon$ 模型。

Chen 通过对这五种 $k-\varepsilon$ 模型的对比,指出在模拟室内较为复杂的流体状况时, RNG $k-\varepsilon$ 模型要比标准 $k-\varepsilon$ 模型准确一些,其他的模型则要逊色一些^[20~23]。但是标准 $k-\varepsilon$ 模型在具体的暖通空调 (heating ventilation air conditioning, HVAC) 的应用中却存在很多问题,大量的研究证明这种模型不适于解决低雷诺数的情况,特别是有强烈热对流的情况,而且不能很好地描述近壁面边界层的热对流^[25~27]。

近些年来,主要围绕 RNG $k-\varepsilon$ 模型进行了改进。Chen 和 Xu 根据不同模型的特点,提出了两层湍流模型,结合直接数值模拟和标准 $k-\varepsilon$ 模型对复杂的室内空气热、质交换及流动状况进行描述,在近壁面 [$y < 80\text{mm}$] 使用直接数值模拟,而在空间内使用标准 $k-\varepsilon$ 模型^[28,29]。

从宏观方向着手的研究主要是依据 Zonal 模型^[26,27],将空间划分为有限的规则区域,对每个区域分别建立质量、动量及能量平衡方程,然后对描述整个空间的方程组进行求解。其主要的代表性模型是 Sim-Zonal 模型,有研究证明这种模型在处理低雷诺数问题时更有优势,而且计算过程简单,一般的计算机可通过简单计算就可以得到比较精确的结果^[28]。当然也存在一些问题,在处理空间复杂的流场状况时,计算结果的可信度不高,没有常规的标准 $k-\varepsilon$ 模型的解那么精确,但由于其使用简便,足以满足工程应用的需要^[29],故在工程中得到广泛应用。

我们认为,可以结合这两种模型求解方式,借鉴 Chen 及 Xu 所提出的双层湍流模型的思路,根据空间雷诺数的分布情况,采用 Sim-Zonal 模型的方法将空间进行大区域划分,在局部流场复杂的区域内使用标准 $k-\varepsilon$ 模型进行求解,其他流场稳定区域可按稳态处理,整体采用 Sim-Zonal 模型的计算方法,就可以快速得到精确的结果。

4) 其他研究成果

周艳蕊等^[30]进行的空调房间无新风状态下空调送风参数对室内热环境影响的研究中,得出结论:送风角度对室内热环境有较大影响,而风速的影响则要小

一些;送风角度大时,室内温度场分布均匀,而送风角度小时,室内房间的通风能量利用率高,速度分布均匀。

端木林等^[31]进行的空调送风角度对室内热环境影响的模拟研究中,通过与实验数据对比,指出大角度送风的室内热环境没有小角度送风时的效果好。胡平放等^[11]气流组织对室内环境的影响所做的模拟中指出,置换通风气流组织的室内热环境及能耗是最佳的。

周磊^[32]在其毕业论文中针对大换气量房间冬季供暖的热环境及能耗特点进行了分析,指出在小新风量时,供暖方式对热环境影响较大;大新风量时,主要是室内气流组织方式对热环境有较大影响。

另外,Chen等^[23]通过对比不同送风口形式送风时室内热环境的异同,同样有力地证明了室内气流组织形式(不论是空调的送风角度、送风风速、回风方式、新风量,还是送风口形状等因素)对室内的热环境及能耗有着重要影响。

除上述类型的研究外,最近研究的热点是建立关于室内热环境与能耗的关系,采用CFD方法对其进行求解,对不同的边界条件(送风量、送风位置、送风温度等)下的室内热环境及能耗水平进行预测。Zhai等^[33]在这方面进行了相关的研究,指出气流组织形式对室内的热环境及能耗有重要影响。

针对家用空调节能措施的研究,值得注意的是将室内排风引入空调室外机组,提高机组效率的新风引入方法。在这方面,Nguyen等^[34]所进行的热泵在冬季供热工况下的新风引入室外机组的节能研究中发现,室内排风引出的节能效果要优于其他的新风方式;国内的吴毅平等^[35]基于这种思路进行了空调机组热效率理论计算,得出了同样的结论。本次研究中将针对家用空调的夏季制冷工况进行实验研究。

1.1.2 热环境评价标准

1) 人体热舒适性方程及PMV-PPD指标

1967年,丹麦Fanger教授在堪萨斯州立大学的实验数据基础上,发表了著名的热舒适方程式。1970年Fanger以人体热平衡方程及ASHRAE七点标度为出发点,并对McNall等在堪萨斯州立大学所进行的实验得出四种新陈代谢率情况下的热感觉数据进行曲线拟合,得到了至今被广泛使用的热舒适评价指标——预测平均投票数(PMV)和预测不满意百分数(predicted percentage of dissatisfied, PPD)指标^[9]。该指标综合了空气温度、平均辐射温度、空气流速、空气湿度、人体新陈代谢率及服装热阻六个因素,是至今最全面的评价热环境的指标,已被编入国际标准ISO7730。1972~1975年,Fanger又对影响人体热舒适的其他因素(年龄、性别、种族、健康水平等)作了进一步研究,认为:人体热舒适不受上

述因素影响。但已有人对此表示怀疑,不断有学者考虑人的心理状况对 PMV-PPD 方程进行了修正。

PMV 的数学表达式如下:

$$\begin{aligned} \text{PMV} = & [0.303 \exp(-0.036M) + 0.0275] \times \{M - W - 3.05[5.733 \\ & - 0.007(M - W) - P_a] - 0.42(M - W - 58.15) \\ & - 1.73 \times 10^{-2}M(5.867 - P_a) - 0.0014M(34 - t_a) \\ & - 3.96 \times 10^{-8}f_{cl}[(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mrt} + 273)^4] - f_{cl}h_c(t_{cl} - t_a)\} \quad (1-1) \end{aligned}$$

式中, M ——人体代谢率, W/m^2 ;

W ——人体所做的机械功, W/m^2 ;

P_a ——人体周围水蒸气分压力, kPa ;

t_a ——人体周围空气温度, $^{\circ}\text{C}$;

f_{cl} ——服装的面积系数, $f_{cl} = A_{cl}/A_D = 1.0 + 0.3I_{cl}$, A_{cl} 为人体着装后的实际表面积, m^2 ; A_D 为裸身人体皮肤表面积, m^2 , I_{cl} 为服装热阻, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$;

t_{cl} ——衣服外表面温度, $t_{cl} = t_{sk} - I_{cl}(R + C) = 35.7 - 0.0275(M - W) - I_{cl}\{3.96 \times 10^{-8}f_{cl}[(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mrt} + 273)^4]\}$, t_{sk} 为皮肤温度, $^{\circ}\text{C}$, R 为人体辐射发热量, W , C 为人体对流发热量, W ;

t_{mrt} ——平均辐射温度, $^{\circ}\text{C}$;

h_c ——对流换热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $h_c = 12.1v^{0.5}$, v 为风速。

2) 室内平均辐射温度

室内平均辐射温度定义及计算见 2.2.1 节。

1.2 室内热环境及能耗特点实验

1.2.1 实验设计思路

前边章节中,通过对室内热环境分析,可知室内气流组织形式对室内的热环境及建筑能耗有着重要的影响。基于这一点,以夏热冬冷地区气候条件为背景,选取几种人为可控因素进行对比实验,确定影响室内热环境及能耗的主要因素,选出最优工况,进一步的数值模拟确定模拟目标及相关边界条件。

因实验条件的局限性,在实验设计过程中充分考虑了实验过程中可能的误差。此处所谓的特定室内热环境就是为了避免一些非测试因素对实验结果的影响。

在室内气流组织有着重要影响的因素中,最终选择了新风引入方式、室内排风方式、空调室内机送风风速、新风引入量、新风引入的位置这五个方面的因

素，每种因素又分别选取了两三种不同分列，见表 1-1。

表 1-1 实验类别选取表

因素	送风风速		排风方式		新风引入方式			新风量		新风引入位置	
类别	高速	低速	上排	下排	独立新风	混合新风	排风引出	大新风量	小新风量	高位	低位

在实验时间的选择上，考虑到夏季室内热环境的实验研究较少，还很不完善，而且作为夏热冬冷地区，冬季基本不需要供暖，所以将实验时间选择在夏季，2009 年 7 月 8 日~2009 年 7 月 28 日，共计持续 20 天（7 月 22 日暂停一天）。

由于研究的是家用空调室内环境，所以每天的实验时间从早晨 9：00 到晚上 22：00，全天共 14h，基本涵盖了家居日常生活的全部时间。由于测试手段所限，只选取了全天的四个时段（表 1-2）进行数据采集。

表 1-2 实验时间安排

时间	2009. 7. 8 ~ 2009. 7. 28			
全天时间段	8：00 ~ 9：00	13：00 ~ 14：00	17：00 ~ 18：00	21：00 ~ 22：00

由于实验测试房间空间有限，每天只由两名测试人员在测试房间内，其在测试房间内基本处于静坐状态。为尽可能降低室外温度的波动对室内的影响，实验测试房间为一楼的一个房中房（即基本为恒温房），实测发现这一方法是比较有效的。

1.2.2 实验内容及进度

1.2.2.1 实验平台

1) 实验测试平台

本实验是以夏热冬冷地区的某室内空气品质检测实验室为实验基本平台。

(1) 测试房间

实验测试房间内有效面积为 8.41m²。长、宽均为 2.9m，层高为 2.6m。东面开 1000mm×1900mm 门一扇；北墙上有 1400mm×1700mm 双层窗户一扇。墙体为 δ=240mm 的砖混结构，内外层都刷水泥砂浆；测试房间下部有 150mm×100mm 排风风道一条；南面墙体上开有左右对称 180mm×120mm 预留通风口（图 1-1）。

(2) 独立新风引入装置

实验室设有 300mm×300mm 独立新风引入风道一条，采用机械送风，风道上