

民用建筑供暖通风 与空气调节设计规范 技术指南

本书编委会 编
徐伟 主编

中国建筑工业出版社

民用建筑供暖通风与空气调节设计规范 技术指南

本书编委会 编
徐 伟 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

民用建筑供暖通风与空气调节设计规范技术指南/本书编委会编, 徐伟主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2012. 9
ISBN 978-7-112-14439-6

I. ①民… II. ①本… ②徐… III. ①民用建筑-采暖设备-建筑设计-设计规范-指南 ②民用建筑-通风设备-建筑设计-设计规范-指南 ③民用建筑-空气调节设备-建筑设计-设计规范-指南 IV. ①TU83-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 160412 号

《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736-2012 经住房和城乡建设部 2012 年 1 月 21 日以第 1270 号公告批准、发布, 自 2012 年 10 月 1 日正式实施。本规范为暖通空调行业最重要的基础性标准和通用标准, 技术难度高、覆盖面广、影响力大, 是我国暖通空调行业, 特别是建筑节能领域的最重要的基础性标准之一。

为配合《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736-2012 在全国范围内的宣贯、培训、实施以及监督工作的开展, 将支撑此次规范编制过程中的主要研究专题资料进行留存, 将暖通空调行业的一些基本概念和定义进行统一, 将一些暖通空调行业的新技术、新系统、新设备进行推广, 将一些相关计算方法标准化, 将国内外的行业最新信息介绍给广大工程技术人员, 《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》编制组特编制了此“技术指南”。为了更好地支撑规范的相关重点条文, 本书从室内设计计算参数的确定, 室内设计新风量、洁净度的确定及 IAQ 指标, 供暖系统设计参数 (供回水温度) 的选择研究, 供暖系统设计参数 (比摩阻) 的选择与间歇供暖负荷计算方法, 间歇逐时空调附加冷负荷系数的计算方法研究, 室外空气计算参数的确定方法及更新, 空调冷负荷计算方法及软件比对分析, 中外暖通空调设计规范 (手册) 比对研究等方面进行了系统介绍, 形成了专题研究报告, 以供工程技术人员参考使用。

本书为《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范宣贯辅导教材》的姊妹篇, 可作为各省、自治区、直辖市建设行政主管部门开展《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736-2012 宣贯培训工作的配套辅导教材, 也可作为工程建设管理和技术人员理解、掌握该规范的参考资料; 可供从事民用建筑供暖通风与空气调节设计、施工、监理、工程咨询、施工图审查等工程技术人员, 大专院校从事供暖通风与空气调节研究、教学的广大师生, 新材料、新设备等生产厂家的有关人员参考使用。

* * *

责任编辑: 孙玉珍 何玮珂
责任设计: 赵明霞
责任校对: 党 蕾 王雪竹

民用建筑供暖通风与空气调节设计规范 技术指南

本书编委会 编
徐 伟 主编

*

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
北京红光制版公司制版
北京中科印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 39¼ 字数: 978 千字
2012 年 8 月第一版 2012 年 8 月第一次印刷

定价: 88.00 元

ISBN 978-7-112-14439-6
(22512)

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)

本书编委会名单

主 编：徐 伟
编 委：邹 瑜 徐宏庆 孙敏生 潘云钢 金丽娜
李先庭 寿炜炜 马伟骏 王国复 赵晓宇
于晓明 董重成 伍小亭 王 谦 戎向阳
马友才 吴大农 张 旭 朱 能 狄洪发
刘 鸣 孙延勋 毛红卫 王 钊 阮 新
贾 晶 刘一民 程乃亮 叶水泉 张寒晶
朱江卫 丛旭日 杨利明 傅立新 于向阳
王舜立 邵康文 李振华 魏光远 张翥翥
郭建雄 王聪慧 张时聪 陈 曦 孙峙峰

专篇作者：(以文章顺序排序)

朱 能 田 喆 丁 研 徐 欣 张 旭
周 翔 王 军 蒋丹丹 王 敏 徐 伟
金丽娜 狄洪发 董重成 王 昕 陈 玲
冯爱荣 杜国付 邹 瑜 陈晓波 于晓明
李先庭 戎向阳 王智超 孙敏生 潘云钢
孙德宇 陈 曦 李振华 魏光远 徐宏庆
林坤平 钟 鸣 曹 阳 毛红卫 程新红
刘晓华 刘 鸣 贾 晶 寿炜炜 叶水泉
刘月琴 王 钊 伍小亭 吴大农 赵晓宇
崔维龙 张时聪 刘宗江 袁闪闪

前 言

《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736-2012 由住房和城乡建设部组织编制、审查、批准，并与国家质量监督检验检疫总局联合发布，将于2012年10月1日起正式实施。这是我国批准发布的第一部完全针对民用建筑供暖通风与空气调节设计的基础性通用技术规范，对规范建筑市场，提高设计水平，促进节能减排，保障人民工作和生活环境，以及推动相关工程标准和产品标准的完善具有重要作用。

我国正处在城镇化的快速发展时期，2010年我国城镇化率为47.5%，国民经济和社会发展第十二个五年规划指出，“十二五”期间城镇化率仍将保持每年0.8%的增长趋势，到“十二五”末期将达到51.5%。城镇化快速发展使新建建筑规模仍将持续大幅增加，按“十一五”期间城镇每年新建建筑面积推算，“十二五”期间，全国城镇累计新建建筑面积将达到40~50亿 m^2 。城镇化快速发展带来对能源、资源的更多需求，如何在保证合理舒适度的前提下，降低建筑能耗是建筑节能工作的重点之一。

供暖、通风与空调工程是基本建设领域中一个不可缺少的组成部分，对合理利用资源、节约能源、保护环境、保障工作条件、提高生活质量，有着十分重要的作用。人民对生活质量需求不断提高对建筑室内环境提出更高要求，暖通空调系统在建筑物使用过程中持续消耗能源，如何通过引导暖通空调行业整体形成正确的设计理念，合理选择系统与优化设计使其能耗降低，满足“节能、健康、环保、安全”的室内环境，平衡建筑室内环境节能与健康、节能与环保舒适、节能与安全的关系，推动行业科学健康发展对实现我国建筑节能目标和推动绿色建筑发展作用巨大，关系到我国能源的可持续发展。

《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736-2012 为暖通空调行业最重要的基础性标准和通用标准，技术难度高，覆盖面广，影响力大，是许多其他标准，特别是节能标准的重要基础之一。从2008年开始，住房和城乡建设部组织中国建筑科学研究院等39个单位的多名专家组成编制组，经广泛调查研究，认真总结实践经验，对暖通行业新产品、新技术进行分析甄别、总结归纳，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，最后编制完成《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736-2012（以下简称《规范》）。在编制过程中，一些设计师希望标准具有更宽的尺度，以满足在设计上的灵活性，但考虑到不同地区设计院以及设计师的专业能力，标准还以约束和规范性条文为主，突出标准的可操作性。

在《规范》编写的过程中，为更好支撑《规范》相关重点条文编制，规范组设立了八个专项研究课题，分别为“室内设计计算参数的确定”、“室内设计新风量、洁净度的确定及IAQ指标”、“供暖系统设计参数（供回水温度）的选择研究”、“供暖系统设计参数（比摩阻）的选择与间歇供暖负荷计算方法”、“间歇逐时空调附加冷负荷系数的计算方法

研究”、“室外空气计算参数的确定方法及更新”、“空调冷负荷计算方法及软件比对分析”和“中外暖通空调设计规范（手册）比对研究”，研究专题在汇总国内外最新资料和成果的基础上，形成了专题研究报告，并完成《规范》相关具体条文和条文说明的编写。在研究的过程中，由于《规范》对内容的要求，一些基础性的研究资料并没有写入《规范》的条文和条文说明，这些基础性资料也具有重要的学术价值，值得保存。

同时，在《规范》编制和征求意见的过程中，随着行业相关信息的不断收集和反馈，规范组发现，一些暖通行业的基本概念和定义在规范、高校教材、技术丛书内还不尽统一，一些暖通行业的节能舒适的新技术、新系统、新设备、新工艺的出现没有得到广泛普及和使用，一些支撑设计的重要计算方法还有待标准化，而且随着我国逐渐与国际接轨，行业人员也希望能更多地了解国外相关暖通设计标准（手册）的具体情况。因此，借《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736 - 2012 实施的机会，为了将支撑此次《规范》编制的研究专题的主要研究资料进行留存，将暖通行业的一些基本概念和定义进行统一，将一些暖通行业的新技术、新系统、新设备进行推广，将一些相关计算方法标准化，将国内外的行业最新信息带给大家，规范组特组织邀请相关行业专家完成此本《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范技术指南》。需要说明的是，一些专项研究课题是相关研究单位及个人的观点和看法，考虑到技术成熟度、操作可行性、经济合理性，一些观点和看法未被《规范》吸纳，但其研究思路及结论具有很强的科研价值，值得行业探讨、交流和借鉴。

本书的编写凝聚了所有参编人员的集体智慧，是大家辛苦的付出才得以完成。编写过程中，始终得到了住房和城乡建设部标准定额司的指导和支持，在此一并感谢。

部分《规范》专项研究课题和本书的编写得到了能源基金会（美国）的资金赞助。

由于时间仓促，本书难免有不足之处，敬请读者给予批评指正。

徐伟

2012年5月

目 录

舒适与节能的室内设计热工参数研究.....	1
建筑室内设计新风量研究	29
室外空气计算参数确定方法研究	76
严寒寒冷地区供暖热负荷计算修正方法	89
散热器供暖系统供回水温度参数研究	93
民用建筑热水供暖系统经济比摩阻研究.....	100
间歇供暖负荷计算方法.....	107
新型散热器连接方式散热量修正研究.....	141
发热电缆地面辐射供暖线功率限值研究.....	163
户式热泵供暖设计方法.....	182
集中供热住宅供暖系统设计要点.....	190
CFD 模拟技术在暖通空调系统设计中的应用	197
大空间置换送风计算及设计方法.....	222
空气过滤器设计选型.....	279
集中空调系统空气净化装置设计选型.....	293
空调建筑房间相对压差值及风量平衡设计计算.....	304
我国空调冷负荷计算方法的发展历程.....	311
空调冷负荷计算理论比对与改进研究.....	316
天正软件空调逐时冷负荷计算方法说明.....	326
鸿业软件空调负荷计算方法说明.....	345
间歇逐时空调附加冷负荷系数的计算方法研究.....	355
空调冷负荷简化方法计算系数表使用方法.....	375
多联机空调系统计算及设计方法.....	381
地板送风空调系统设计方法.....	394
温湿度独立控制空调系统计算及设计方法.....	409
水蒸发冷却空调系统设计及计算方法.....	436
干热气候地区空调系统设计方法.....	444
冷水机组全年能耗评价指标的探讨.....	459
地源热泵系统适宜性研究.....	468
空调水系统耗电输冷(热)比($EC(H)R$)编制情况介绍和实施要点	474

空调水系统选择与设计.....	487
蓄冷系统计算及设计方法.....	502
区域供冷系统设计要点.....	518
规划阶段区域供冷负荷的确定方法.....	524
空调系统在线清洗技术.....	530
暖通空调系统检测与监控设计要点.....	537
设备与管道最小保温保冷厚度计算方法.....	551
俄罗斯联邦建筑技术法规 СНиП41-01 《供暖通风与空气调节》简介	558
美国暖通空调设计标准（手册）简介.....	566
日本暖通空调设计手册简介.....	589
英国暖通空调设计导则简介.....	605

舒适与节能的室内设计热工参数研究

天津大学环境科学与工程学院 朱能 田喆 丁研 徐欣

1 前言

随着我国经济的快速发展,人们对生活质量的要求也不断提高。人的一生中 80% 以上的时间是在室内度过的,所以室内环境质量的好坏对人们的生活有很大的影响。室内设计参数的重要作用之一就是满足居住者对于热舒适的需求。需要注意的是,伴随着我国城市化的高速发展,建筑能耗所占社会商品能源总消费量的比例也持续增加,而其中大部分能耗是用于供暖、通风与空调。随着我国对节约能源意识的不断加强,暖通空调系统的节能也越来越受到关注,只有制定合理的室内设计参数,才能科学地计算冷、热负荷,选择经济合理的供冷及供热设备,达到建筑节能的目的。所以,室内设计参数的确定是供暖通风与空气调节设计的首要前提。

室内计算参数主要是指建筑室内的温度、相对湿度、风速以及新风量等,这些参数的变化直接影响室内的热环境以及建筑的能耗。室内各计算参数,对于室内热舒适和空调系统能耗的影响程度是各不相同的,有些参数的变化对室内热舒适环境影响较大,对能耗影响却较小,而有些参数的变化则恰恰相反。因此,在修订室内计算参数时,如何均衡地考虑热舒适和节能,是本报告的重点,也是难点。此外,为了更好地结合我国的实际情况,对国内已有建筑室内温、湿度的调研也将为参数修订提供一定的支持依据。

2 室内设计热工参数——热舒适部分

暖通空调设计规范作为进行室内空调系统和供暖系统设计的主要依据,需要认真考虑室内热舒适的情况。室内设计热工参数与室内热舒适直接密切相关,所以从热舒适角度考虑室内设计热工参数的确定十分重要。

依据热舒适标准对室内设计热工参数进行修正的主要工作包括以下三个方面:

1) 选择合理的热舒适评价指标

“热舒适”是指人体对热环境的主观热反应。1992 年美国供暖、制冷与空调工程师协会标准 (ASHRAE Standard 55-1992) 中明确定义:热舒适是指对热环境表示满意的意识状态。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。

目前国际上主要应用的是:PMV-PPD 指标、有效温度 ET 和标准有效温度 SET 等指标。在以上的各个评价指标中,应结合我国的实际情况并参考国际上通用的热舒适标准,选择适用于我国暖通空调规范且合理的热舒适评价指标,以此作为根据进行必要的热

舒适计算。

2) 不同功能建筑的热舒适区的计算

根据选择的热舒适评价指标, 结合我国居民的着装习惯、一般新陈代谢率等条件, 进行热舒适区的计算。确定在不同的相对湿度、室内风速条件下, 各种典型建筑的热舒适区范围。

3) 确定参数条目及其范围

根据计算的热舒适区, 结合建筑能耗和温、湿度之间的关系, 并参考我国现有建筑常用室内设计参数的经验设计值, 制定室内设计参数要求的条目及其范围。

2.1 热舒适评价指标的选择

国外关于人体对热湿环境反应的研究起步很早。早在 20 世纪初, 美国供暖、制冷与空调工程师协会 ASHRAE 的前身 ASHVE (The American society of Heating and Ventilation Engineers) 提出了通过人体热舒适感觉而得出的评价室内热湿环境指标: ET (Effective Temperature)。随着研究的深入, 人体热舒适理论也不断完善。

根据目前国内外的研究结果, 影响室内热舒适的因素主要有以下 6 个: 人体的新陈代谢率、服装热阻、室内空气流速 (风速)、空气温度、平均辐射温度、相对湿度 (或含湿量)。根据这 6 个主要的影响因素, 国际上形成了一系列的评价指标, 常用的主要有: 有效温度 ET 、 $PMV-PPD$ 指标等。

2.1.1 有效温度 (ET)

有效温度的定义是: 干球温度、湿度、空气流速对人体温暖感或冷感影响的综合数值, 该数值等于产生相同热感觉时的静止饱和空气的温度。有效温度是通过人体试验得到的, 并将具有相同有效温度的点作为舒适线绘制在湿空气焓湿图上。随着研究的深入, 人们发现有效温度过高地考虑了湿度的影响, 于是对其进行了修正, 陆续地又提出了新有效温度 (ET^*)、标准有效温度 (SET^*)。新有效温度 (ET^*) 中引入了皮肤润湿度的概念, 该指标适用于着标准服装和坐着工作的人员。随后综合考虑了不同的活动水平和服装热阻, 形成了标准有效温度 (SET^*), 但是由于其运算比较复杂, 通常不适用。

2.1.2 Fanger 热舒适理论和 $PMV-PPD$ 指标

丹麦的 P. O. Fanger 教授提出的著名舒适方程基于人体热平衡方程:

$$M - W - C - R - E - S = 0 \quad (2-1)$$

式中 M ——人体能量代谢率, 决定于人体的活动量的大小, W/m^2 ;

W ——人体所做的机械功, W/m^2 ;

C ——人体外表面向周围环境通过对流形式散发的热量, W/m^2 ;

R ——人体外表面向周围环境通过辐射形式散发的热量, W/m^2 ;

E ——汗液蒸发和呼出的水蒸气所带走的热量, W/m^2 ;

S ——人体的蓄热率, W/m^2 。

人体处于热平衡状态, 蓄热率为零, 令公式 (2-1) 中蓄热量等于零, 则得到:

$$M - W - C - R - E = 0 \quad (2-2)$$

(2-2) 式中各项表达式可以通过传热理论和人体试验得到的经验数值综合得到, 将各项的表达式带入, 就可以得到人体的热平衡方程。

Fanger 教授进一步发展了舒适方程，并用公式表示一个可预测任何给定环境变量的组合所产生热感觉的指标，这一指标被称为预测平均反应 (PMV)。

PMV 指标代表了同一环境中绝大多数人的感觉，但是人与人之间存在生理差别，所以 PMV 指标并不能够代表所有个人的热感觉，为此 Fanger 教授又提出了预测不满意百分比指标 (PPD) 表示人群对于热环境不满意的百分数。

PMV 热感觉标尺如表 2-1 所示。

表 2-1 热感觉标尺表

热感觉标尺			热感觉标尺		
+3	hot	热	-1	slightly cool	稍凉
+2	warm	暖	-2	cool	凉
+1	slightly warm	稍暖	3	cold	冷
0	neutral	中性			

图 2-1 表示了 PMV 与 PPD 之间的关系。

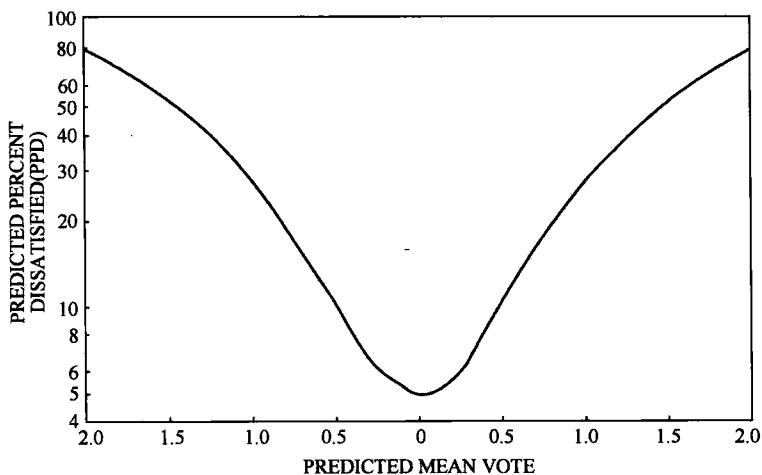


图 2-1 PMV-PPD 之间的关系

热舒适方程的适用条件：

(1) Fanger 教授的研究对象是穿着短袖的人员，且服装热阻没有改变。现在对不同着装热阻的人员的大量研究，结合现在人员的整体着装及服装特性，有学者提出应该对方程的辐射换热项进行修正。

(2) 关于对流换热项，在实验过程中受试人员的状态是静止的，如果人员是活动的，则采用相对风速才可以得到合理的结果，但该公式只有对风速小于 2.6m/s 时才能得到正确结果；对于高风速也是不适合的，因为人体对流散热量在高风速下（大于 2m/s）时已经不随风速显著增加了。

(3) 该方程只适用于接近海平面上的正常气压。

(4) PMV 方程没有考虑到人体自身的生理调节功能。

(5) 由于人体处于整体热平衡、局部热不平衡状态，这也会引起局部不舒适。

虽然有以上的适用和限制条件，Fanger 教授的热舒适方程仍然是目前发展最为成熟、

应用最为广泛的热舒适理论，国际通用标准 ISO 7730、美国标准 ASHRAE 55-2005、欧盟标准 EN 15251 等都采用了此指标作为计算热舒适区的依据。

2.1.3 我国室内设计热工参数设定选择的热舒适理论

基于以上的介绍，在进行室内设计参数修编时主要采用 Fanger 教授的热舒适方程和 $PMV-PPD$ 指标作为理论依据，其主要原因有以下几点：

(1) 这是目前发展最成熟的理论，也是国际标准采用的理论基础。Fanger 教授在 1982 年提出的热平衡方程，已经被国际上很多学者和专家所接受，上面已经提到现行国际通用标准 ISO 7730、美国标准 ASHRAE 55-2005、欧盟标准 EN 15251 等都采用该指标作为计算热舒适区的依据。

(2) 我国目前关于热舒适的研究，一般都是采用热舒适方程和 $PMV-PPD$ 指标，例如王昭俊等热舒适评价指标和冬季室内计算温度的探讨；朱能等人体热舒适区的实验研究；张欢等商场建筑夏季室内参数的选择与节能等等。虽然我国有很多学者对于国际标准规定的热舒适区对于我国居民是否适用提出疑问，但是一般研究者只是对参数的范围提出质疑。在我国学者制定适合我们国内人民的舒适区时，使用的理论基础仍是热舒适方程，只是与国际标准相比我国居民适应的范围发生了细微的变化。

(3) 目前关于热舒适的研究文献表明，国内外有许多研究者对于热舒适方程中的经验参数值提出了疑问，认为关于服装热阻的修订、排汗的影响等经验系数的规定与人种、地理位置等有关，仅凭 Fanger 教授对美国 and 丹麦学生的实验不能以偏概全。虽然目前这方面的研究有很多，但是现在还不能形成相对成熟的理论体系，尤其是对于方程中系数的研究也没有形成统一的结论。

(4) 采用 $PMV-PPD$ 指标可以直接看出空气温度的范围，对于设计指导来说，空气温度比有效温度更加直接、便于应用。

不可否认，随着研究的不断进行，热舒适方程会不断得到完善，甚至有人会提出更加实用的新热舒适理论，但是综合目前国内外的研究现状，在本文的工作中仍采用热舒适方程和 $PMV-PPD$ 指标作为计算热舒适区的依据。

2.2 热舒适区的计算

2.2.1 建筑按热舒适水平分级的说明

我国 2003 年颁布实施的《采暖通风与空气调节设计规范》GB 50019 - 2003 中室内设计参数范围跨度很大，如冬季采暖室内设计参数规范中规定的是：16~24℃。在实际的工程设计中，设计者通常根据经验在此范围内选择一个具体的数值进行负荷计算。

参考国际标准 ISO 7730 和欧盟 EN 15251 中的相关规定，建议对建筑按照不同的热舒适水平进行分级。

建筑分级可以为设计者提供更为精确的设计要求，设计者可以根据所设计建筑的舒适要求选择室内设计参数，提高了室内热舒适水平；此外，建筑分级有利于我国的建筑节能政策的实施，在人员热舒适要求不高的环境中可以采用更为宽松的热舒适要求，既节约了能源也能满足大部分人的热舒适要求。

在本文中，拟根据预测平均热反应 (PMV) 作为划分建筑热舒适等级的依据：以热感觉“凉”和“暖”作为舒适区的边界，即 PMV 的范围在 -1~+1 之间。具体分级如

表 2-2 所示。

表 2-2 建筑分级

建筑级别	PMV 及热感觉	PPD	建筑级别	PMV 及热感觉	PPD
I 级	-0.5~+0.5, 舒适	10%	II 级	-1.0~+1.0, 稍凉~稍暖	27%

2.2.2 热舒适区的计算

1. 典型条件计算结果

由于不同功能建筑（民用建筑和公共建筑）室内人员的活动量和服装热阻的不同，本文将居住建筑和公共建筑分开进行计算，选择典型的新陈代谢和服装热阻水平，按照 PMV 和 PPD 的计算公式编程进行计算。

另外，考虑到随着建筑节能政策的提出，目前我国很多地区都采用了地板辐射采暖和辐射吊顶供冷的方式，因而对这两种建筑也进行了单独的计算。

进行计算需要对计算条件进行一些假设，表 2-3 作出了详细的说明。

表 2-3 热舒适区计算假设条件

工 况	前 提 和 假 设
1. 冬季住宅建筑	代谢率 $M=1.1\text{met}$, 服装热阻 $I_{cl}=1.0\text{clo}$, 室内风速 $v=0.1\text{m/s}$, 机械效率 $W=0$, 室内空气温度等于平均辐射温度: $t_a=t_r$
2. 夏季住宅建筑	代谢率 $M=1.1\text{met}$, 服装热阻 $I_{cl}=0.5\text{clo}$, 室内风速 $v=0.1\text{m/s}$, 机械效率 $W=0$, 室内空气温度等于平均辐射温度: $t_a=t_r$
3. 冬季办公室建筑	代谢率 $M=1.2\text{met}$, 服装热阻 $I_{cl}=1.0\text{clo}$, 室内风速 $v=0.2\text{m/s}$, 机械效率 $W=0$, 室内空气温度等于平均辐射温度: $t_a=t_r$
4. 夏季办公室建筑	代谢率 $M=1.2\text{met}$, 服装热阻 $I_{cl}=0.6\text{clo}$, 室内风速 $v=0.2\text{m/s}$, 机械效率 $W=0$, 室内空气温度等于平均辐射温度: $t_a=t_r$
5. 冬季商场建筑	代谢率 $M=1.7\text{met}$, 服装热阻 $I_{cl}=1.5\text{clo}$, 室内风速 $v=0.3\text{m/s}$, 机械效率 $W=0$, 室内空气温度等于平均辐射温度: $t_a=t_r$
6. 夏季商场建筑	代谢率 $M=1.7\text{met}$, 服装热阻 $I_{cl}=0.5\text{clo}$, 室内风速 $v=0.3\text{m/s}$, 机械效率 $W=0$, 室内空气温度等于平均辐射温度: $t_a=t_r$
7. 冬季辐射采暖（住宅）	代谢率 $M=1.1\text{met}$, 服装热阻 $I_{cl}=1.0\text{clo}$, 室内风速 $v=0.1\text{m/s}$, 机械效率 $W=0$
8. 夏季辐射供冷（办公室）	代谢率 $M=1.2\text{met}$, 服装热阻 $I_{cl}=0.6\text{clo}$, 室内风速 $v=0.1\text{m/s}$, 机械效率 $W=0$

表 2-4 是整体舒适区的温度统计结果。

表 2-4 舒适区温度统计结果

单位: $^{\circ}\text{C}$

编号	1	2	3	4
工况	冬季住宅	夏季住宅	冬季办公室	夏季办公室
II 级	17.7~25.6	21.8~29.7	17.4~28	21~29.3
I 级	19.8~26	23.2~28	19.6~25.9	22.6~27.6

续表 2-4

编号	5	6	7	8
工况	冬季商场	夏季商场	居住建筑地板辐射	夏季办公室吊顶供冷
II级	7.3~24.1	18~28.1	16.5~28.5	21.5~31
I级	11~20	20.1~25.9	18.5~26	23.3~29

2. 舒适区随参数的变化

在计算的过程中，可以发现相对湿度 RH 和室内的设计风速对热舒适区的温度范围有较明显的影响，下面以冬季住宅建筑为例，说明这种变化。

1) 风速对于热舒适区温度范围的影响

对于居住建筑当其他计算条件不变时，假设室内设计风速分别为：0.1m/s, 0.2m/s, 0.3m/s时，统计其舒适区的范围（固定相对湿度为某一值，此处以 $RH=0\%$ 为例），得到图 2-2~图 2-4。

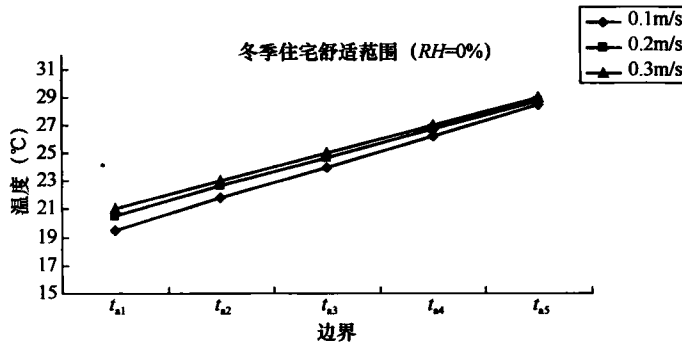


图 2-2 热舒适区的整体变化

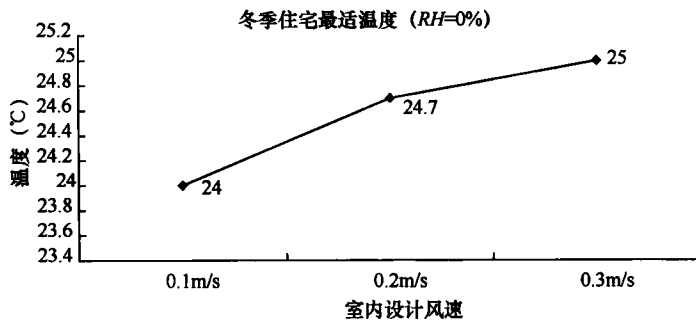


图 2-3 热中性温度的变化

从图 2-2 可以看出满足 PMV 从 $-1 \sim +1$ 变化的温度边界值基本呈线性关系，室内设计风速较大时，满足同样人体热舒适水平所要求的空气温度越大。从图 2-3 和图 2-4 可以看出当室内风速从 0.1m/s 变为 0.3m/s 时，人体感到热中性的温度值从 24°C 变成了 25°C ，上升了 1°C ，舒适区的下限温度值从 19.5°C 变成了 21°C ，上升了 1.5°C 。所以，无论是从舒适还是节能的角度考虑，都应该选择合适的室内设计风速。

2) 相对湿度对于热舒适区温度范围的影响

相对湿度的变化对于舒适温度的影响也很明显，下面仅取 $RH=20\%$, 50% , 80% 为例，来说明这种变化，如图 2-5、图 2-6 所示。

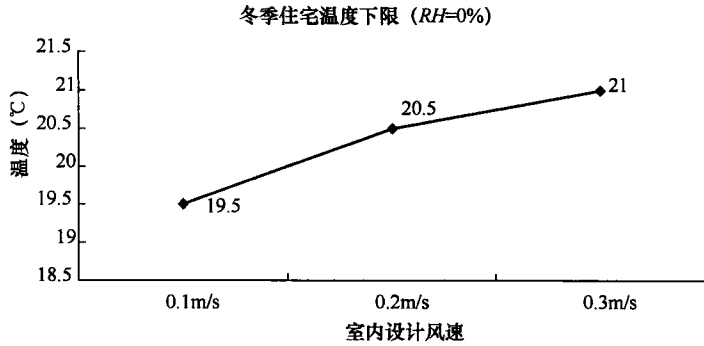


图 2-4 温度下限值的变化

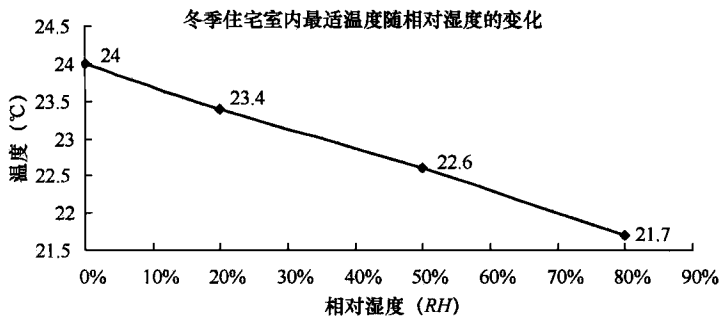


图 2-5 热中性温度的变化

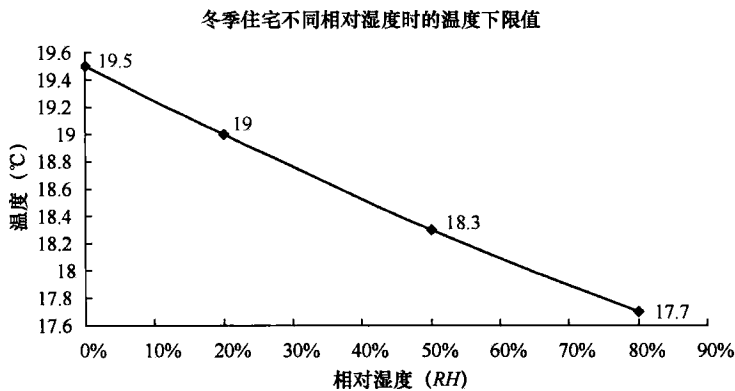


图 2-6 温度下限值的变化

从图中可以看出，当相对湿度从 20% 变为 80% 时，人体感到热中性的温度值和舒适区下限值都有了明显的减小，减小的幅度约为 2°C。可见制定合理的相对湿度设计范围，对于室内空气温度的设定有重要的作用。

2.3 国际标准热舒适参数的规定

2.3.1 国外与热舒适有关的标准分类

1) 直接与热舒适和热环境有关的标准

ASHRAE 55: Thermal environmental conditions for human occupancy

ISO 7730: Moderate thermal environments-Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, (EN ISO 7730)

ISO 7993: Hot environments-Analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rate

2) 关于设计室内环境的标准

ASHRAE 62: Ventilation for acceptable indoor air quality

CR 1752: Ventilation for buildings-Design criteria for the indoor environment

EN 15251: Indoor Environmental Criteria for Design and Calculation of Energy Performance of Buildings

3) 适用于室内热环境参数测量的标准

ASHRAE 55: Thermal environmental conditions for human occupancy

ASHRAE 113: Method of testing for room air diffusion

ISO 7726: Ergonomics of the thermal environment-Instruments for measuring physical quantities

4) 关于个人因素的标准

ISO 8996: Ergonomics-Determination of metabolic heat production

ISO 9920: Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble

下面重点对 ISO 7730 和 ASHRAE 55 的内容作说明。

国际标准 ISO 7730-2005 主要包括以下几大部分: Predicted mean vote (*PMV*)、Predicted percentage dissatisfied (*PPD*)、Local thermal discomfort、Acceptable thermal environments for comfort、Non-steady-state thermal environments、Long-term evaluation of the general thermal comfort conditions、Adaptation 等。

ISO 7730-2005 取代了之前的 ISO 7730-1995, 在新的条文中添加了局部热不舒适、非稳定状态和不同类别建筑中的热舒适要求等内容。ISO 7730 推荐以 $PPD \leq 10\%$ 作为设计依据, 即 90% 以上的人感到满意的热环境为热舒适环境, 此时对应的 $PMV = -0.5 \sim +0.5$, 满足人体热舒适的室内空气温度为 $21 \sim 24^\circ\text{C}$ 。

ASHRAE 55-2004 取代了之前的 ASHRAE 55-1992, 主要包括以下 4 部分 General Requirements、Conditions that Provide Thermal Comfort、Compliance、Evaluation of the Thermal Environment 等。此标准的目的是将影响舒适环境的室内热环境因素和个人因素结合起来。在此标准中对于 *PMV* 和 *PPD* 作了和 ISO 7730 一样的规定。

2.3.2 ISO 7730 和 ASHRAE 55 的参数条目及范围

影响热舒适的因素, 目前的研究者一般认为主要有以下 6 个, 其中环境因素有 4 个: 空气温度、平均辐射温度、湿度和风速, 另外两个是人体的因素: 代谢率和服装热阻; 造成局部热不舒适的因素主要是: 垂直温差、吹风感、地板温度、辐射不对称度等。基于以上的影响因素, 国际通用标准中主要列出了以下条目对舒适环境进行约束。

1. *PMV* 和 *PPD* 指标

PMV 指标是应用热平衡原则将影响热舒适的 6 个关键要素结合起来的。在 ASHRAE 中定义此指标的范围是 $PPD < 10\%$, $-0.5 < PMV < 0.5$, 在 ISO 7730 中根据

建筑分类 (A、B、C 类) 给出了推荐的指标范围, 见表 2-5。

表 2-5 Categories of thermal environment

Category	Thermal state of the body as a whole		Local discomfort			
	PPD %	PMV	DR %	PD %		
				Vertical air temperature difference	caused by warm or cool floor	radiant asymmetry
A	<6	-0.2 < PMV < +0.2	<10	<3	<10	<5
B	<10	-0.5 < PMV < +0.5	<20	<5	<10	<5
C	<15	-0.7 < PMV < +0.7	<30	<10	<15	<10

2. 操作温度

图 2-7 是 ASHRAE 55 标准中以操作温度定义的舒适区, 要求的条件是: 代谢率在 1.0~1.3met 之间, 服装热阻在 0.5~1.0clo 之间。此外, 此图表适用于室内风速 ≤ 0.2m/s 的情形, 规范中指明当风速大于 0.2m/s 时, 舒适区操作温度的上限值可能提高。其中舒适区的定义是 80% 的居住者可以接受的环境, 其中 10% 来源于整体不满意, 另外的 10% 来源于局部不舒适。在 ISO 7730 标准中同样也以图表的方式给出了三类建筑所要求的最佳操作温度。

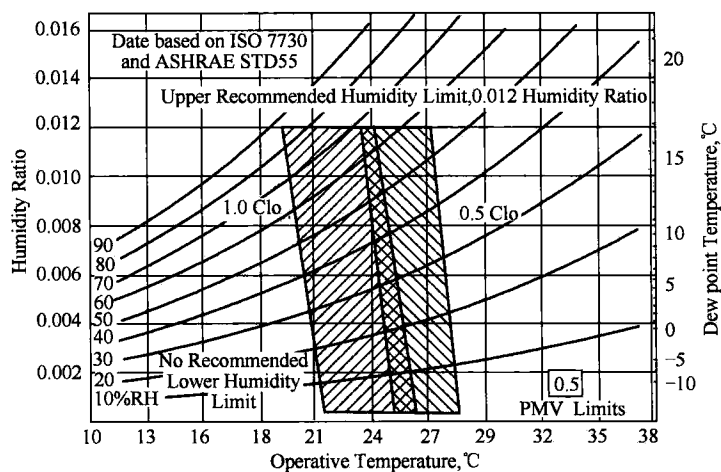


图 2-7 最佳操作温度

3. 相对湿度 (含湿量)

在 ASHRAE 55 中规定了湿度的上限值, 即要求含湿量低于 12g/kg · d, 或水蒸气分压力低于 1.910kPa; 在 ISO 7730 中没有规定湿度的限制, 但是在两个规范中同时指出室内相对湿度较低时会引起人们的热不舒适。

4. 风速

ASHRAE 55 中指出风速的限定是 0.2m/s, ISO 7730 中根据具体的活动量和建筑类型给出了推荐的室内风速值, 其中夏季最大值不超过 0.24m/s, 冬季最大值不超过 0.18m/s。另外两个规范中都指出提高风速可以提高可接受的最高温度, 以便用来消除因