

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



KONGQI TIAOJIE GONGCHENG

空气调节工程

韦节廷 主 编
金洪文 王 浩 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



KONGQI TIAOJIE GONGCHENG

空气调节工程

主 编 韦节廷
副主编 金洪文 王 浩
编 写 李树录 凌美群 肖楚雄
主 审 陈 超



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材，全书共分十一章，主要从空调系统分类、组成、工作原理、计算方法等方面进行重点介绍。具体内容包括空调系统室内外参数确定、冷热湿负荷计算、风量确定和空调系统的分类、空调设备及处理过程、空调系统防排烟、消声减振、气流组织计算、空调冷热源、空调系统节能及运行调节等。

本书可作为高等院校建筑环境与设备工程、建筑智能化、给水排水工程等专业教材，也可作为相关专业工程技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

空气调节工程/韦节廷主编. —北京: 中国电力出版社, 2009

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-8924-0

I. 空… II. 韦… III. 空气调节设备—建筑安装工程—高等学校—教材 IV. TU831

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 089214 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 8 月第一版 2009 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17.75 印张 427 千字

定价 28.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神，加强教材建设，确保教材质量，中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校，满足学科发展和人才培养的需求，坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

人的一生有三分之二以上的时间是在室内度过的。室内空气环境的好与坏不仅关系到人的舒适与健康，还与创造室内空气环境需要的能量有关。合理设置室内的温度、湿度、风速和洁净程度是目前在强调整能的大环境下如何保证室内空气环境的关键，更是最大限度地节约空调所引起的能量消耗的主要途径之一，这也是工程技术人员应该不断探索的问题。

随着改革开放的不断深入和我国国民经济的不断发展，建筑物中空调的应用更加广泛，空调技术不断更新，为了使读者在掌握空调原理知识的同时，能够了解到新的空调技术，本书编者将一些前沿的专业技术及规范，如空调系统节能等内容编入书中，通过紧密联系工程实际应用，使空调知识工程化、系统化。

本书在编写过程中，吸取了国内同类教材的优点，借鉴了相关工具书和规范的有关内容，在此表示感谢！

本书由长春工程学院韦节廷主编，编写绪论和第三章、第四章；长春工程学院金洪文副主编，编写第二章、第五章、第十一章；长春工程学院王浩编写第六章、第七章；吉林建筑工程学院张喜明编写第八章、第十章；山西建筑职业技术学院张炯编写第一章、第九章。

全书由北京工业大学陈超主审，提出了许多宝贵意见，在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

2009年6月

目 录

前言	
绪论	1
第一章 空调工程室内外设计参数的确定	3
第一节 空调工程室内设计参数的确定	3
第二节 空调工程室外设计参数的确定	5
第二章 空调工程冷、热、湿负荷计算	7
第一节 太阳辐射热对建筑物的热作用	7
第二节 通过围护结构的得热量及其形成的冷负荷	8
第三节 室内热源散热形成的冷负荷	11
第四节 室内湿源散湿形成的湿负荷	13
第五节 空调热负荷计算	14
第六节 冷、热负荷简化计算	16
第三章 送风状态及送风量的确定	18
第一节 湿空气的物理性质和状态参数	18
第二节 湿空气焓湿图	22
第三节 焓湿图的实际应用	26
第四节 送风状态及送风量的确定	28
第四章 空气调节系统	32
第一节 空调系统的分类	32
第二节 新风量的确定和空气平衡	33
第三节 全空气空调系统	36
第四节 空气—水空调系统	52
第五节 制冷剂空调系统	61
第六节 变风量系统	64
第七节 局部空调系统	68
第五章 空气处理设备及过程	73
第一节 空气处理的各种过程和设备分类	73
第二节 空气加热处理	74
第三节 空气冷却处理	79
第四节 空气加湿处理	96
第五节 空气减湿处理	98
第六节 空气净化处理	102
第七节 组合式空调机组	107

第六章 空调系统的防火排烟	109
第一节 防火排烟的基本概念.....	109
第二节 防火和防烟分区.....	112
第三节 空调系统的防火排烟装置.....	114
第四节 自然排烟.....	120
第五节 机械减压排烟.....	122
第六节 机械加压送风防烟.....	126
第七章 空调系统的消声减振	130
第一节 噪声及其物理量度.....	130
第二节 噪声的主观评价和室内噪声标准.....	134
第三节 空调系统的噪声源.....	138
第四节 空调系统中噪声的自然衰减.....	140
第五节 消声器消声量的确定.....	145
第六节 消声器的种类.....	148
第七节 空调装置的振动源.....	158
第八节 振动设备减振设计原理.....	161
第八章 空调房间的气流组织计算	165
第一节 送风射流的流动规律.....	165
第二节 排风口的气流流动规律.....	169
第三节 送、排风口的种类.....	170
第四节 空调房间气流组织计算.....	174
第五节 空调系统管路设计.....	184
第九章 空调系统冷热源	192
第一节 空调系统冷源种类.....	192
第二节 空调系统热源种类.....	196
第三节 空调冷、热源选择.....	200
第十章 空调系统的节能	202
第一节 空调建筑采用的节能措施.....	202
第二节 空气处理设备的节能.....	204
第三节 空调系统的自动控制节能.....	208
第十一章 空调系统的运行调节	212
第一节 室内热、湿负荷变化时的运行调节.....	212
第二节 室外空气状态变化时的运行调节.....	217
第三节 变风量空调系统的运行调节.....	221
第四节 空气-水空调系统的运行调节.....	222
第五节 空调系统的故障分析及排除.....	228
附录	234
附表 1-1 我国主要城市的室外空气计算参数.....	234

附表 2-1	不同类型的外墙和屋面的不同构造 (部分)	236
附表 2-2	外墙的冷负荷计算温度的逐时值 t_{Lx} ($^{\circ}\text{C}$)	238
附表 2-3	屋面的冷负荷计算温度的逐时值 t_{Lx} ($^{\circ}\text{C}$)	239
附表 2-4	地点修正值 t_d ($^{\circ}\text{C}$) I~IV型结构	240
附表 2-5	单层窗玻璃的 K 值 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]	241
附表 2-6	双层窗玻璃的 K 值 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]	241
附表 2-7	玻璃窗的传热系数修正值	242
附表 2-8	玻璃窗的冷负荷计算温度的逐时值 t_{Lx} ($^{\circ}\text{C}$)	242
附表 2-9	玻璃窗的地点修正值 t_d ($^{\circ}\text{C}$)	242
附表 2-10	窗的有效面积系数 C_a	243
附表 2-11	窗玻璃的遮挡系数 C_s 值	243
附表 2-12	窗内遮阳设施的遮阳系数 C_n	243
附表 2-13	不同纬度带各朝向七月份日射得热因素的最大值 $D_{J,\max}$	243
附表 2-14	玻璃窗的冷负荷系数	244
附表 2-15	不同室温和劳动性质时成年男子散热、散湿量	245
附表 2-16	人体显热散热冷负荷系数	246
附表 2-17	照明散热冷负荷系数	246
附表 2-18	有罩设备和用具的显热散热冷负荷系数	247
附表 2-19	无罩设备和用具的显热散热冷负荷系数	247
附表 3-1	湿空气的密度、水蒸气压力、含湿量和焓	248
附图 3-1	湿空气焓湿图	250
附表 4-1	空调冷水水利计算表 (冷冻水)	251
附表 4-2	空调冷水水利计算表 (冷却水)	253
附表 5-1	部分国产空气加热器的传热系数实验公式	254
附表 5-2	国产 SRZ 型空气加热器技术数据	255
附图 5-1	Y-1 型离心喷嘴	255
附表 5-3	喷水室热交换效率实验公式的系数和指数	256
附表 5-4	部分水冷式表面冷却器的传热系数和阻力实验公式	257
附表 5-5	水冷式表面冷却器的 E' 值	258
附表 5-6	JW 型表面冷却器技术数据	258
附图 6-1	通风管道单位长度摩擦阻力线算图	259
附表 6-1	钢板矩形风管计算表	260
附表 6-2	局部阻力系数	266
参考文献		273

绪 论

空气调节 (Air Conditioning) 是一个内部受控的空气环境。空气调节的任务,就是在任何自然环境下,用人工的方法,将室内空气的温度、湿度、气流速度以及洁净度维持在一定范围之内,以保证生产工艺、科学实验或人体的生理需求。

进入 20 世纪以来,随着社会生产力的发展和人类生活水平的提高,人们对改善建筑物内工作环境和居住环境的要求愈来愈强烈,对某些生产过程和科学实践过程的环境控制要求愈加精确。空气调节就是在这种背景下,依据工程热力学与流体力学等理论,综合建筑、机电等相关工程的发展成果而形成的独立工程技术学科分支,该项技术专门研究和解决各类建筑内部工作、居住、生产和科研所要求的空气环境控制问题。

建筑物内空气环境的控制,一般是指对室内空气的温度、湿度、清洁度、流速、压力以及噪声等进行调节或控制。在工程上将实现对空间内空气温度、湿度、清洁度、流速等各项参数进行调控的技术手段称为空气调节。空气调节对国民经济各行业的发展和对人民物质文明水平的提高起着重要的作用。这不仅意味着受控的空气环境对各种生产过程的稳定运行和保证产品质量有重要作用,而且对提高劳动效率,保护人的身体健康,创造舒适的工作及生活环境有重要意义。

空气调节主要涉及内容为空调系统室内外参数确定、负荷计算、风量确定和空调系统的分类、空调设备及处理过程、空调系统防排烟、消声减振、气流组织计算、空调冷热源、空调系统节能及运行调节等。在工程上,能够实现内部环境空气温度的调节技术称为供热或降温,能实现内部环境有害浓度在一定卫生要求范围内的技术称为通风,而空调是供热和通风技术的发展。

空气调节应用于工业生产及科学实验过程一般称为“工艺性空调”,如以高精度恒温、恒湿为特征的精密机械和仪器制造业,以高洁净度为特征的电子和制药工业,以保证湿度要求为特征的纺织业等。而应用于以人为主的空气环境调节则称为“舒适性空调”,如装有空气调节系统的会堂、体育馆、商场、宾馆及酒店、博物馆、展览馆、图书馆、大型娱乐场所等。

空气调节应用的广泛性及必要性还表现在各种科学实验环境的控制方面,如:地下、水下、宇宙空间的探索与开发;近代农业的发展,如大型温室、机械化畜禽养殖等需要创造适宜动植物生长的人工环境等。因此,可以说:现代化进程需要空气调节,而空气调节的发展则依赖于现代化。

空气调节在给人们创造适宜的室内环境的同时,也带来了能源消耗和环境污染问题。据统计,在我国空气调节所消耗的能量约占国民经济总能耗的 10%~15% (发达国家接近 30%)。其次,采用压缩式制冷的空调冷源所用工质多为氯氟烃 (CFC) 物质,该类物质 (尤其是 R12 等) 对臭氧层的破坏性很大,国际上已将其列为环害工质,禁止使用。

在建筑物内部空气质量方面,由于大量合成材料用于建筑物的装修和保温,而为了节能又尽量提高建筑物的密闭性,致使室内空气质量下降。长期在建筑物内停留和工作的人产生

不适，甚至导致空调建筑“综合症”。

在我国政府已签署《气候变化框架协定》等国际公约，颁布实施《环境保护法》和《节约能源法》的今天，环保和节能正日益受到社会各界的广泛重视。因而需要大量懂专业的人才，从可持续发展战略出发，运用现代科技手段在能源利用、能量的节约、能量转换和传递设备性能的改进、系统技术经济分析及优化、计算机控制、有利于健康的人居环境等方面不断研究和探索。

综上所述，空调技术的发展，不仅要在节约能源和能量传递设备的改进、系统的技术经济分析和优化等方面继续研究和开发，而且要进一步研究创造有利于健康的适于人类工作和生活的内部空间环境。所以空气调节的发展前景十分广阔，有大量的工作需要去完成、去开拓。

第一章 空调工程室内外设计参数的确定

室内冷(热)负荷、湿负荷的计算以室外气象参数和室内要求保持的空气参数为依据。室内温度高低与空调能耗的多少密切相关,从建筑传热和新风负荷与作用温差之间的基本关系可以知道,空调室内计算温度越低(高),冷负荷(热负荷)越大,能耗越高。所以室内参数的合理确定就显得尤为重要。

第一节 空调工程室内设计参数的确定

室内空气设计参数的确定是比较复杂的问题,除了要考虑室内参数综合作用下的舒适条件外,还应依据室外空气参数、冷源情况、经济条件和节能要求综合考虑。

空调房间室内温度、湿度通常用两组指标来规定。对于工艺性空调而言,温度、湿度都要有一定的精度要求,所以空调房间室内的两组指标通常写成温度、湿度基数和空调精度的形式。例如, $t_N=(20\pm 1.0)^\circ\text{C}$ 和 $\varphi_N=50\%\pm 5\%$,这样两组指标完整地表达了室内温度、湿度参数的要求。然而对于舒适性空调房间的温度、湿度则不需要有精度,只要从人体舒适感出发确定室内温度、湿度设计标准即可。

一、人体热平衡和舒适评价

1. 人体热平衡和舒适感

人体的舒适感是由许多因素决定的,如环境的声音、振动、视觉、温度、湿度、气流速度等,其中与人体冷热感有关的因素有:

- (1) 室内空气温度及其在空间的分布和随时间的变化;
- (2) 室内空气的相对湿度;
- (3) 人体附近的气流速度;
- (4) 围护结构内表面及其他物体表面的温度;
- (5) 人体的温度、散热及体温调节;
- (6) 衣服的保温性能及透气性。

人体在新陈代谢过程中产生热量,人体的散热主要以对流、辐射、热传导和蒸发等方式进行。对流散热是通过人体表面进行,对流散热的过程中包括热传导,由于热传导散热量不大,一般不单独考虑。蒸散发热通过皮肤、鼻咽黏膜与肺进行。

人体散热和体内新陈代谢产热相平衡时,人的热感觉良好,体温保持在 36.5°C 左右。

如果与人体热感觉有关的因素发生变化,会使人体散热量增大或减少。为了保持产热量和散热量的平衡,最初人体会运用自身的调节机能,如可以加强汗液分泌来增加散热,或以皮下血管收缩,同时减少在血管中的血流量来减少散热,继而,人体内温度也要发生变化。人体在这个时候就会感觉不舒适或生病甚至死亡。

2. 人体热舒适环境评价指标

1984年国际标准化组织提出了评价和测量室内热湿环境的新标准化方法(ISO 7730标

准),即采用 PMV (Predicted Mean Vote)-PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) 指标,综合考虑人体的活动程度、衣着情况、空气温度、平均辐射温度、空气流动速度和空气湿度等因素,来评价人体对环境的舒适感。

PMV 指标代表了对同一环境绝大多数人的舒适感觉,利用 PMV 指标预测热环境下人体的热反应。而 PPD 指标是表示人们对热环境不满意的百分数。PMV 指标的分布见表 1-1。两个指标的关系如图 1-1 所示。

表 1-1 PMV 指标的分布

热感	热	暖	微暖	适中	微凉	凉	冷
PMV 值	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3

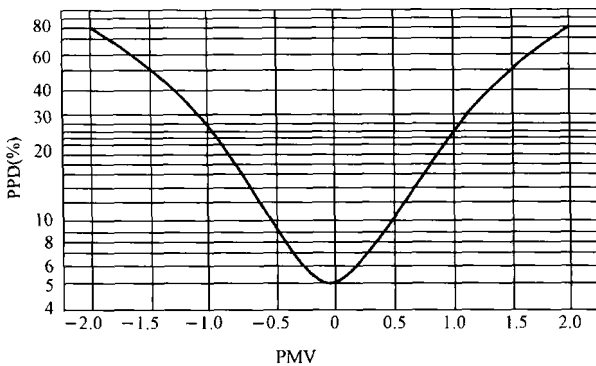


图 1-1 PMV 与 PPD 的关系

人们生活的实际热环境是多变的,有时也是瞬变的。空调房间的舒适环境是人为创造出的,如果要求这种环境精度高,势必要消耗很多能源,精度太低又感觉不到空调效果。所以确定合适的室内空气设计参数是非常重要的。

二、室内空气设计参数

1. 舒适性空调

舒适性空调的作用是维持室内空气具有使人感觉舒适的状态,以保证

良好的工作条件和生活条件。根据我国国情,舒适性空调室内设计参数可依据 GB 50019—2003 规定,见表 1-2。

表 1-2 舒适性空调的室内空气设计参数

季节	温度 (°C)	相对湿度 (%)	工作区风速 (m/s)
夏季	24~28	40~65	≤0.3
冬季	18~24	30~60	≤0.2

2. 工艺性空调

工艺性空调的室内温度、湿度基数及其精度允许波动范围,应以满足生产工艺过程对空气状态的要求,以保证生产过程顺利进行。在可能的情况下,应尽量兼顾地考虑一些人体热舒适的要求。

根据工艺要求的不同,可把工艺性空调分为降温性空调、恒温恒湿性空调和净化空调等。降温性空调使工人在操作中手不出汗,不影响生产工艺和产品质量,夏季室温要求一般不高于 26~28°C,相对湿度维持在 40%~60%即可,无精度要求;恒温恒湿性空调要求比较高,一般要求温度基数为 20~25°C,精度为 ±0.1~±0.5°C 甚至更低,相对湿度的要求比较高;净化空调不仅对空气温度、湿度有一定要求,而且对空气中所含尘粒的大小和数量也有一定要求。

必须注意,对于工艺性空调室内设计参数的确定,一定要了解实际工艺过程对温、湿度的要求。

第二节 空调工程室外设计参数的确定

在空调工程设计中,计算通过围护结构传入室内或由室内传至室外的热量时,需首先确定室外空气温度。计算加热或冷却室外新风所需热、冷量及确定室外新风状态时需已知室外空气干、湿球温度。室外空气干、湿球温度在一年中不仅随季节变化,而且在同一个季节甚至一个月乃至一天当中的各个时段都在变化。而且,室外空气计算参数的取值,直接影响室内空气状态和设备投资,若夏、冬季取用很多年才出现一次而且持续时间较短(几小时或几昼夜)的当地室外最高或最低干、湿球温度,会因设备庞大而形成投资浪费。因此,我们有必要了解一下室外空气状态参数变化规律及确定原则。以便做到在设计参数选用时既能满足设计要求又能经济、节能。

一、室外空气温度和湿度变化规律

1. 室外温度的日变化

室外空气温度在一昼夜内的波动,称为气温的日变化。由传热学可知,气温日变化是以24h为周期的周期性波动。这种波动是由于地球每天接受太阳辐射热和放出热量而形成的。在白天,地球吸收太阳辐射热,使靠近地面的空气温度升高;到夜晚,地面得不到太阳辐射,还要由地面向大气层放出热量。黎明前为地面放热的最后阶段,故气温一般在凌晨四、五点钟最低,随着太阳的逐渐升高,地面获得的太阳辐射热量逐渐增多,到下午两、三点钟左右,达到全天的最高值。此后气温又随太阳辐射热的减少而下降,到下一个凌晨,气温又达最低值。如图1-2所示。工程计算上,把气温日变化近似看作正弦函数或余弦函数变化规律。

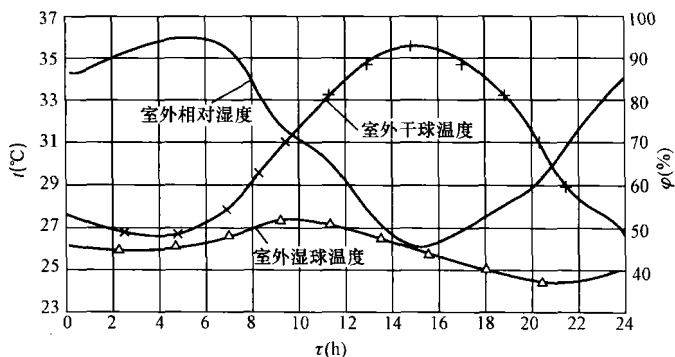


图1-2 气温日变化曲线

2. 气温的季节性变化

室外气温的季节性变化也是呈周期性的,全国各地的最热月份一般在七~八月,最冷月份在一月。图1-3给出了北京、西安、上海三地区十年(1961~1970年)的月平均气温变化曲线。

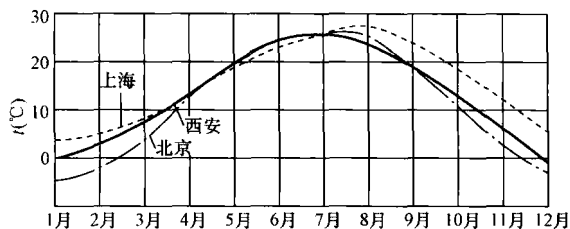


图1-3 气温月变化曲线

变化曲线。

3. 室外空气湿度的变化

空气的相对湿度取决于空气干球温度和含湿量,在空气的含湿量保持不变,干球温度升高,则相对湿度减少;干球温度降低,相对湿度则增大。就一昼夜内的大气而论,含湿量变化不大(可看

作定值), 则大气的相对湿度变化规律正好与干球温度的变化规律相反, 即中午相对湿度低, 早晚相对湿度高, 见图 1-2。由图 1-2 还可看出, 室外湿球温度的变化规律与干球温度的变化规律相似, 但峰值出现的时间是不同的。

二、夏季空调室外计算干、湿球温度

夏季空调室外计算干球温度应采用历年平均不保证 50h 的干球温度; 夏季空调室外计算湿球温度应采用历年平均不保证 50h 的湿球温度。室外空气计算参数在 GB 50019—2003《采暖通风与空气调节设计规范》中已做出明确的规定。

三、夏季空调室外计算日平均温度和逐时温度

由于空调设计要考虑传热的不稳定性, 所以在计算围护结构传入室内的热量时, 就必须知道设计日的平均气温和逐时气温。夏季空调室外计算日平均温度采用历年平均不保证 5 天的日平均温度。

任一时刻的围护结构夏季空调室外计算逐时温度可用下式计算

$$t_{w,\tau} = t_{w,P} + \beta_{\tau} \Delta t_{\tau} \quad (1-1)$$

$$\Delta t_{\tau} = (t_w - t_{w,P}) / 0.52 \quad (1-2)$$

式中 $t_{w,\tau}$ ——室外计算逐时温度, °C;

$t_{w,P}$ ——室外计算日平均温度, °C;

β_{τ} ——室外温度逐时变化系数, 按表 1-3 采用;

Δt_{τ} ——夏季室外计算平均日温差;

t_w ——夏季空调室外计算干球温度, °C。

表 1-3 室外温度逐时变化系数

时刻	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
β 值	-0.35	-0.38	-0.42	-0.45	-0.47	-0.41	-0.28	-0.12	0.03	0.16	0.29	0.40
时刻	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
β 值	0.48	0.52	0.51	0.43	0.39	0.28	0.14	0.00	-0.10	-0.17	-0.23	-0.29

四、冬季空调室外温度和相对湿度的确定

空调系统冬季的加热、加湿所耗费用远小于夏季的冷却去湿所耗费用。为便于计算, 冬季可按稳定传热方法计算传热量, 而不考虑室外气温的波动。因而可以只给定一个冬季空调室外计算温度作为计算新风负荷和计算围护结构传热之用。

GB 50019—2003《采暖通风与空气调节设计规范》规定冬季空调室外计算温度, 应采用历年平均不保证一天的日平均温度。当冬季不使用空调设备送热风而仅使用采暖装置供热时, 则应采用采暖室外计算温度。通常情况下, 同一地区的采暖室外计算温度比空调室外计算温度高。

由于冬季室外空气含湿量远较夏季小, 而且其变化也很小, 因而不必给出湿球温度, 只给出室外相对湿度。

冬季空调室外计算相对湿度, 应采用累年最冷月平均相对湿度。

在上面的论述中可见, 设计规范中规定的室外计算参数是按全年少数时间不保证室内温、湿度标准而制订的。若室内温、湿度必须全年保证时, 另行规定。

我国主要城市的室外空气计算参数见附表 1-1。

第二章 空调工程冷、热、湿负荷计算

太阳辐射热从空气调节的角度看,对冬季室内来说是有利的,而在夏季它使室内产生大量余热,要维持房间一定温度就必须准确计算出多余的热量。因此,在进行室内冷负荷计算时,掌握太阳辐射热对建筑物的影响有着重要的意义。

第一节 太阳辐射热对建筑物的热作用

太阳不断向外辐射出巨大的能量,但并不是所有能量百分之百到达地面,在向外辐射过程中,被大气层反射、吸收一部分,只有约三分之一到达地球表面,太阳辐射热的大小用辐射强度 I 来描述。

一、围护结构外表面所吸收的太阳辐射热

当太阳射线照射到非透明的围护结构外表面时,一部分被反射,另一部分被吸收,二者的比例取决于表面材料的种类、粗糙度和颜色。表面愈粗糙,颜色愈深,吸收的太阳辐射热愈多。黑色表面对各种波长的辐射几乎全部吸收,而白色表面对不同波长下辐射的吸收情况则变化很大。白色表面对于可见光的吸收仅有 10% 左右。所以,在外围护结构上刷白或玻璃窗上挂白色窗帘可减少进入室内的太阳辐射热。

二、室外空气综合温度

室外环境传给围护结构外表面的热量由太阳辐射热和对流传热两部分组成。外表面单位面积上得到的热量可以表示为

$$\begin{aligned} q &= \alpha_w(t_w - \tau_w) + \rho I \\ &= \alpha_w \left[\left(t_w + \frac{\rho I}{\alpha_w} \right) - \tau_w \right] \\ &= \alpha_w(t_z - \tau_w) \end{aligned} \quad (2-1)$$

式中 α_w ——围护结构外表面与室外空气间的传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$;

t_w ——室外空气计算温度, $^{\circ}C$;

τ_w ——围护结构外表面温度, $^{\circ}C$;

ρ ——围护结构外表面对太阳辐射的吸收系数;

I ——围护结构外表面接受的总的太阳辐射强度, W/m^2 。

式中称 $t_z = t_w + \frac{\rho I}{\alpha_w}$ 为室外空气综合温度。

由上式可以看出,所谓综合温度,实际上是在室外空气温度 t_w 的基础上增加了一个由太阳辐射热引起的太阳辐射当量温度值 $\frac{\rho I}{\alpha_w}$ 后合成的温度,而并非实际存在的空气温度。

式(2-1)只考虑了来自太阳对围护结构的中短波辐射,没有考虑围护结构外表面与天空和地面之间存在的长波辐射。另外,由于太阳辐射强度与围护结构的朝向有关,吸收系数与围护结构材料及表面情况有关,所以不同朝向和不同材料的外表面,在同一时刻的综合温

度是不同的。因而，需要做如下的修正

$$t_z = t_w + \frac{\rho l}{\alpha_w} - \frac{\varepsilon \cdot \Delta R}{\alpha_w} \quad (2-2)$$

式中 ε ——围护结构外表面的长波辐射系数；

ΔR ——围护结构外表面向外界发射的长波辐射和由天空及周围物体向围护结构外表面向外发射的长波辐射之差， W/m^2 。

由于 ΔR 的确定很复杂，一般近似认为

对于水平面 $\varepsilon \cdot \Delta R / \alpha_w = 3.5 \sim 4^\circ C$

对于垂直面 $\Delta R = 0$

可见，考虑了长波辐射作用后，综合温度值下降了。若不考虑长波辐射对围护结构外表面的热作用，夏季空调冷负荷计算偏安全。

第二节 通过围护结构的得热量及其形成的冷负荷

一、得热量和冷负荷

得热量是指在某一时刻由室外和室内热源散入房间的热量的总和。

冷负荷是指在某一时刻为了维持某个稳定的室内基准温度需要从房间排出的热量或者是向房间供应的冷量。

两者有时相等，有时不等。围护结构的蓄热能力决定了两者的关系。

房间的得热量通常包括以下几方面：

- (1) 传导得热：通过围护结构由室内、室外温差传热进入房间的热量；
- (2) 日射得热：太阳辐射经过门、窗玻璃时引起的得热；
- (3) 人员得热：由室内停留人员的人体散热引起的得热；
- (4) 灯光得热：由室内照明灯具引起的得热；
- (5) 设备得热：由室内发热设备引起的得热；
- (6) 新风得热：由室外进入室内的空气带入房间的热量。

在这些得热中，又可分为潜热和显热两种热，而显热又包括对流热和辐射热两种成分。在瞬时得热中的潜热得热和显热得热中的对流成分会立即传给室内空气，构成瞬时冷负荷；而显热得热中的辐射成分（如经窗的瞬时日射得热及照明辐射得热等）被室内各种物体（围护结构和室内家具）所吸收和储存，此时的得热量不等于冷负荷，当这些蓄热体的表面温度高于室内空气温度时，它们又以对流方式将储存的热量再次散发给空气，全部变为瞬时冷负荷，此时，得热量等于冷负荷。图 2-1 是荧光灯与冷负荷的关系。由于灯光散热比较稳定，灯具开启后大部分热量被蓄存起来，随着照明时间的延续，蓄存的热量逐渐减少，关灯后蓄存在结构中的热量再逐渐放出来成为房间冷负荷。

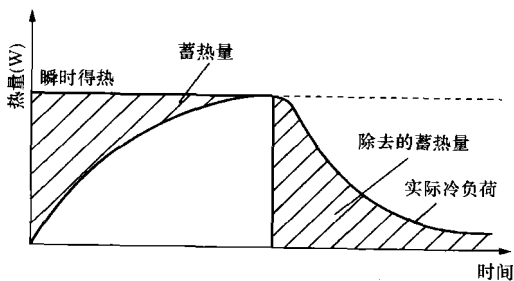


图 2-1 荧光灯形成的冷负荷示意图

此时，得热量等于冷负荷。图 2-1 是荧光灯与冷负荷的关系。由于灯光散热比较稳定，灯具开启后大部分热量被蓄存起来，随着照明时间的延续，蓄存的热量逐渐减少，关灯后蓄存在结构中的热量再逐渐放出来成为房间冷负荷。

图 2-2 表示瞬时日射得热与冷负荷之间的关系。由图可见，实际冷负荷的峰值比太

阳辐射热的峰值低，而且出现的时间也迟于太阳辐射热的峰值，围护结构和家具等室内物体的蓄热能力愈强，冷负荷峰值愈低，延迟时间也愈长。因为材料的热容量近似与其质量成正比，因此，在一般情况下，重型结构比轻型结构蓄热能力大。不同质量围护结构的蓄热能力对冷负荷的影响如图 2-3 所示。

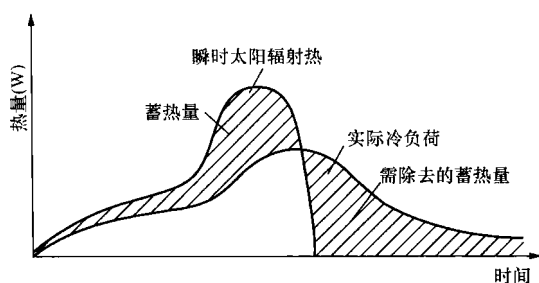


图 2-2 空调房间瞬时日射得热与冷负荷之间的关系

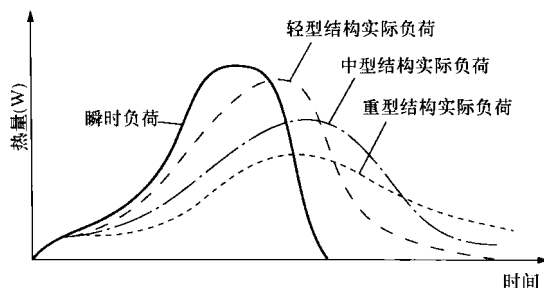


图 2-3 不同质量围护结构的蓄热能力对冷负荷的影响

由上述分析可知，在计算空调冷负荷时，必须考虑围护结构的吸热、蓄热和放热过程，如果只是按照瞬时太阳辐射热的峰值来确定冷负荷，并依次选择设备，势必会造成很大的浪费。

不同性质的得热量所形成的室内逐时冷负荷是不同的。在确定房间逐时冷负荷时，必须按不同性质的得热分别计算，然后取逐时各冷负荷分量之和。

二、用冷负荷系数法计算围护结构的空调冷负荷

目前世界上围护结构的冷负荷计算方法有 4 种：反应系数法、谐波反应法、传递函数法、冷负荷系数法。国内采用较多的是谐波反应法和冷负荷系数法。冷负荷系数法是在传递函数法的基础上建立起来的一种简化计算方法，工程中多应用此方法，下面介绍冷负荷系数法的计算方法。

(一) 外墙、屋面、窗瞬变传热引起的冷负荷

1. 外墙、屋面瞬变传热引起的冷负荷

在日射和室外气温的综合作用下，外墙和屋面瞬变传热引起的空调冷负荷，可按下列式计算：

$$CLQ_{\tau} = KF(t_{L,\tau} - t_N) \quad (2-3)$$

式中 CLQ_{τ} ——外墙和屋面瞬变传热引起的逐时冷负荷，W；

F ——外墙和屋面的面积， m^2 ；

K ——外墙和屋面的传热系数， $W/(m^2 \cdot K)$ ，根据外墙和屋面的不同构造和厚度分别在附表 2-1 中查出；

t_N ——室内设计温度， $^{\circ}C$ ；

$t_{L,\tau}$ ——外墙和屋面的冷负荷计算温度的逐时值， $^{\circ}C$ ，根据外墙和屋面的不同类型在附表 2-2、附表 2-3 中查出。

按照构造和建筑物物理特性不同，现将外墙和屋面分别划分为六种类型（I～VI）。在设计选用时，先应在附表 2-1 中查出欲计算的外墙或屋面所属的类型，再在附表 2-2、附表 2-3 中查出相应的 $t_{L,\tau}$ 值后，便可使用式（2-3）进行冷负荷的逐时计算。

需要指出的是附表 2-2、附表 2-3 中的 $t_{l,\tau}$ 是以北京市地区的气象参数数据为依据（北纬 $39^{\circ}48'$ ，以七月代表夏季，室外平均温度为 29°C ，室外最高温度为 33.5°C ，日气温波幅 9.6°C ）编制出来的；所采用的室外表面传热系数 $\alpha_w = 18.6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ；室内表面传热系数 $\alpha_N = 8.72 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ；围护结构外表面吸收系数 $\rho = 0.9$ 。

对于不同地区的 $t_{l,\tau}$ 应做如下修正

$$t'_{l,\tau} = (t_{l,\tau} + t_d) K_a K_p \quad (2-4)$$

式中 t_d ——地点修正温度值，见附表 2-4；

K_a ——外表面传热系数修正值，见表 2-1；

K_p ——外表面吸收系数修正值。计算墙体时：中性色 $K_p = 0.97$ ，浅色 $K_p = 0.94$ ；计算屋面时：中性色 $K_p = 0.94$ ，浅色 $K_p = 0.88$ 。

表 2-1 外表面传热系数修正值 K_a

$\alpha_w [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$	14	16.3	18.6	20.9	23.3	25.6	27.9	30.2
K_a	1.06	1.03	1	0.98	0.97	0.95	0.94	0.93

经修正后，相应的冷负荷计算式为

$$CLQ_{\tau} = KF(t'_{l,\tau} - t_N) \quad (2-5)$$

2. 外玻璃窗瞬变传热引起的冷负荷

在室内外温差作用下，玻璃窗瞬变传热引起的冷负荷，可按下式计算

$$CLQ_{\tau} = KF(t_{l,\tau} - t_N) \quad (2-6)$$

$$t'_{l,\tau} = (t_{l,\tau} + t_d) K_a K_p \quad (2-7)$$

式中 CLQ_{τ} ——外玻璃窗瞬变传热引起的逐时冷负荷，W。

F ——窗洞口面积， m^2 。

K ——玻璃窗的传热系数， $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，根据单层窗玻璃和双层窗玻璃的不同情况可分别由附表 2-5 和附表 2-6 中查出，当窗框情况不同时，按附表 2-7 修正；有内遮阳设施时，单层玻璃窗 K 应减小 25%，双层玻璃窗 K 应减小 15%。

$t'_{l,\tau}$ ——玻璃窗的冷负荷计算温度的逐时值， $^{\circ}\text{C}$ 。

$t_{l,\tau}$ ——玻璃窗的冷负荷计算温度的逐时值， $^{\circ}\text{C}$ ，见附表 2-8。

t_d ——玻璃窗的地点修正系数， $^{\circ}\text{C}$ ，见附表 2-9。

K_a ——外表面传热系数修正值，见表 2-1。

K_p ——外表面吸收系数修正值。计算墙体时：中性色 $K_p = 0.97$ ，浅色 $K_p = 0.94$ ；计算屋面时：中性色 $K_p = 0.94$ ，浅色 $K_p = 0.88$ 。

(二) 玻璃窗日射得热引起的冷负荷

1. 无外遮阳玻璃窗的日射得热引起的冷负荷

$$CLQ_{\tau} = FC_S C_N D_{j,\max} C_{l,Q} \quad (2-8)$$

式中 F ——窗玻璃的净面积，是将窗洞面积乘以有效面积系数 C_a ，见附表 2-10；

C_S ——窗玻璃的遮挡系数，见附表 2-11；

C_N ——窗内遮阳设施的遮阳系数，见附表 2-12；

$D_{j,\max}$ ——不同纬度带各朝向七月份日射得热因素的最大值，见附表 2-13；