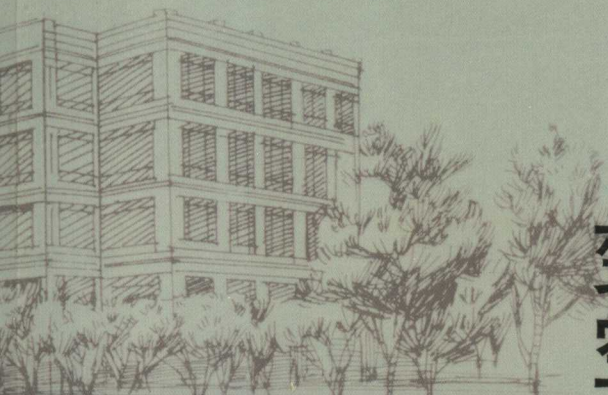




变风量 空调设计 (第二版)

现代建筑空调设计丛书

蔡敬琅 编著

中国建筑工程出版社

现代建筑空调设计丛书

变风量空调设计

(第二版)

蔡敬琅 编著



中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

变风量空调设计/蔡敬琅编著. —2版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2007
(现代建筑空调设计丛书)
ISBN 978-7-112-09184-3

I. 变… II. 蔡… III. 空气调节系统设计
IV. TU831.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 035978 号

本书自第一版出版以来 10 年间, 变风量空调技术的研究有了很大进展, 获得了许多新成果。本次再版对原文作了较大修改, 增加了“变风量空调系统设计前期研究”一章; 对末端装置的选择, 作了更多阐述; 在变风量空调系统控制方面作了更详细的介绍, 增加了许多新研究成果; 其他章节也多有修改; 取消了第一版的附录, 目的是为了压缩篇幅, 如有需要可仍查第一版或其他书籍。

责任编辑: 吴文侯
责任设计: 董建平
责任校对: 王雪竹

现代建筑空调设计丛书

变风量空调设计

(第二版)

蔡敬琅 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京密云红光制版公司制版

北京建筑工业出版社印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 15 $\frac{3}{4}$ 字数: 309 千字

2007 年 6 月第二版 2007 年 6 月第五次印刷

印数: 7001—10000 册 定价: 35.00 元

ISBN 978-7-112-09184-3
(15848)

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)

本社网址: <http://www.cabp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

第二版前言

近十年来，变风量空调系统在我国建筑工程中得到更为广泛的应用，变风量空调技术的研究有很大进展，国外有关变风量空调技术的研究也有许多新成果。本次再版，对原文作了较大修改，力求反映一些新进展、新成果。

第二版修改的主要内容是增加了“变风量空调系统设计前期研究”一章；对末端装置的选择，作了更多阐述；在变风量空调系统控制的论述中，增加了更多的新研究成果。其他章节的内容也都作了一些修改。

在本次再版修改中，得到许多同行的支持，特别是李阳辉工程师提供了许多参考资料，在此致以深深的谢意。

对于再版书中可能存在的不当之处，请读者继续不吝指教。

2006年12月

第一版前言

空调技术是伴随着现代文明社会的进步而发展起来的。而当人们在享受着空调技术给生产和生活带来方便和舒适时,紧接着也就在思考如何减少空调所需要消耗的能量。特别是进入 20 世纪 70 年代以来,以石油危机为标志的世界能源危机更加促使一些发达国家在各行各业中研究和推广节能技术,变风量空调技术便也就得到了迅速的发展和推广应用。

自从改革开放以来,我国国民经济发展迅速。与此同时,空调技术的应用范围也越来越广,规模也越来越大,水平也越来越高。但这其中变风量空调技术的发展则显得滞后,无论是变风量空调理论上的研究探讨,还是产品的研制开发,都与世界上发达国家有不小差距,我国现有空调设计和施工规范中,对变风量空调系统的阐述也不够,使这项技术的推广和应用受到影响。

节能是我国的一项重要国策。具有显著节能效果的变风量空调系统,应该在我国得到更多的应用。随着我国经济的进一步发展,这项技术一定会在工程中得到更多的采用。

全书请建设部建筑设计院设计大师李娥飞教授级高级工程师和航天工业建筑设计研究院宋宏光研究员进行了审核,在此致以诚挚的谢意。本书能够出版,还要感谢中国建筑工业出版社吴文侯编审的鼎力支持。

鉴于编著者水平有限,书中错误或不当之处一定不少,恳请读者不吝赐教。

1997 年 4 月

目 录

第一章 变风量空调系统	1
第一节 概述	1
一、什么是变风量空调系统	1
二、建筑物的内区和外区及其负荷分析	2
第二节 变风量空调系统的型式	6
一、仅供冷的基本变风量系统	6
二、带有单独供热系统的变风量系统	6
三、再热式变风量系统	7
四、双风道变风量系统	7
五、地板送风变风量系统	9
第三节 变风量空调系统的组成	10
一、集中空气处理设备	10
二、送、回风系统	10
三、末端装置	11
四、送风散流器	40
第四节 变风量空调系统的特点	40
第五节 变风量空调系统的应用	41
一、合理采用变风量系统	41
二、变风量系统的几种特殊应用	42
三、关于辅助负荷	44
第二章 变风量空调系统设计前期研究	46
第一节 关于整体综合设计概念	46
第二节 关于模拟设计	48
第三节 变风量空调系统型式选择	49
一、特性权重法	49
二、分区选择变风量系统问题	53
第四节 竖风道或管井的位置和大小	54

第五节 回风系统	56
第六节 设计送风温度	58
第三章 变风量空调系统负荷计算	61
第一节 冷负荷计算	61
一、单个房间（或单个建筑模数）的冷负荷计算	61
二、分区或分系统的冷负荷计算	67
第二节 送风量和通风换气	68
第三节 室内相对湿度分析	69
第四节 负荷差异性	72
第五节 热负荷计算及供热方式	73
一、周边区的辅助供热系统	73
二、再热式变风量系统的供热	74
三、单风道变风量系统的供热	74
四、值班供热	74
第六节 单风道变风量空调系统负荷计算	75
一、仅为建筑物内区服务的单风道变风量系统	75
二、仅为建筑物外区服务的单风道变风量系统	78
三、同时为建筑物内区和外区服务的单风道变风量系统	81
四、计算例题	85
第四章 末端装置选择与平面布置	89
第一节 末端装置选择的一般原则	89
一、最大送风量	89
二、最小送风量	90
三、噪声	90
四、总压力降	92
第二节 几种末端装置的选择	93
一、串联风机动力式末端装置	93
二、并联风机动力式末端装置	95
三、双风道变风量末端装置	95
第三节 几种常用末端装置的选择参数	96
第四节 末端装置选择中的其他问题	96
一、零最小风量	96
二、关于仅供冷的末端装置	128

三、关于电再热	129
第五节 末端装置及送风散流器与吊顶平面的协调布置	129
第五章 风管系统设计	131
第一节 风管系统设计的一般指南	131
第二节 送风管尺寸计算	137
一、送风管尺寸计算方法	137
二、变风量系统风管优化设计	139
第三节 静压复得法	141
一、概述	141
二、用静压复得法计算低速风管	151
三、用静压复得法计算高速风管	154
第四节 比摩阻缩减法	163
第五节 送风管尺寸计算举例	166
一、差异性系数及调整计算风量	167
二、计算送风主管尺寸	170
三、计算各分支送风干管尺寸	171
第六节 回风管尺寸计算	179
第七节 风管系统设计的其他技术问题	180
一、送风机出口与风管联结方式	180
二、噪声控制	181
第六章 集中空气处理装置	184
第一节 概述	184
第二节 送风机	185
一、送风机选择准则	185
二、送风机控制方式对送风机选择的影响	186
第三节 回风机和排风机	188
第四节 预热器和再热器	188
第五节 表面冷却器	189
第六节 过滤器和新风入口	190
第七章 变风量空调系统的控制	192
第一节 概述	192
第二节 末端装置对风量的控制——房间温度控制	192

一、末端装置控制分类	192
二、房间温度控制与控制分区问题	194
三、最小风量控制	196
四、再热式末端装置的控制	202
五、双风道末端装置的控制	205
六、几种常见末端装置的控制	208
第三节 空气处理装置的控制	218
一、送风温度控制	218
二、最小新风量控制	221
三、新风、回风、排风的联动控制——建筑物内正压控制	229
第四节 送风机控制——系统静压控制	234
一、静压控制方法	234
二、定静压控制与变静压控制（静压设定点再调控制）	236
三、正确选择静压控制测点的位置	241
参考文献	244

第一章 变风量空调系统

第一节 概 述

一、什么是变风量空调系统

全空气空调系统设计的基本要求,是要决定向被空调房间输送足够数量的、经过一定处理的空气,用以吸收室内的余热和余湿,从而维持室内所需要的温度和湿度。

它的基本计算公式是:

$$L = \frac{3.6Q_q}{\rho(h_n - h_s)} = \frac{3.6Q_x}{\rho c(t_n - t_s)} \quad (1-1)$$

式中 L ——送风量, m^3/h ;

Q_q 、 Q_x ——空调送风所要吸收的总全冷负荷和总显冷负荷, W ;

ρ ——空气密度, kg/m^3 , 可取 $\rho=1.2$;

c ——空气定压比热容, $\text{kJ}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$, 可取 $c=1.01$;

h_n 、 h_s ——室内空气焓值和送风状态空气焓值, kJ/kg ;

t_n 、 t_s ——室内空气温度和送风温度, $^\circ\text{C}$ 。

从公式(1-1)中可以看出,当室内总显冷负荷发生变化而又需要使室内温度 t_n 保持不变时,可将送风量 L 固定,而改变送风温度 t_s ;也可将送风温度 t_s 固定,而改变送风量 L 。那种固定送风量而改变送风温度的空调系统,一般便称其为定风量系统,而固定送风温度,改变送风量的空调系统,则称其为变风量系统。因此,变风量系统就是随着室内冷负荷不断变化,而相应地改变送风量,从而达到维持室内所需要温度的一种全空气空调系统。

对于服务于多个房间(或区域)的定风量空调系统来说,由于经过空调设备处理过的空气其送风温度一定,为了适应某个房间(或区域)的负荷变化,在出现部分负荷时,送进这些房间(或区域)去的空气往往需要进行再热,才能维持该房间(或区域)的温湿度在所要求的范围内。否则,因为送到各房间(或区域)去的风量是按它们的最大负荷求得的风量,且送风温度相同,在这些房间(或区域)出现部分负荷时,势必产生过冷现象。迫使经过冷却去湿处理过的空气又需进行再热处理,然后送进房间(或区域),方可维持其需要的温湿度,这种冷热抵消的处理过程,显然是一种能量的浪费。而事实上,对于多数舒适性空

调要求来说,并不需要十分严格的温度和湿度的控制。变风量系统则可以克服上述缺点,它可以通过改变送到房间(或区域)里去的风量的办法,来满足这些地方负荷变化的需要,当然,整个系统的总风量也在发生变化。因此,变风量系统在运行中是一种节能的空调系统。

在一幢大型民用建筑中,各个朝向的房间一天中最大负荷并不出现在同一时刻。对于定风量系统来说,由于它送到房间去的风量和系统总风量都是固定的,因而只能按各房间的最大负荷来设计送风量。而变风量系统则可以适应一天中同一时间各朝向房间的负荷并不都处于最大值的需要,空调系统输送的风量(实际上输送的是热能)可以在建筑物内各个朝向的房间之间进行转移,从而系统的总设计风量可以减少。实际工程的设计计算表明,在负荷相同的情况下,与定风量空调系统相比较,变风量系统的总设计风量可减少10%~20%。这样,各种空调设备的容量都可以减小,既可节省设备费用的一次投资,也可进一步降低系统的运行费用。

二、建筑物的内区和外区及其负荷分析

(一) 负荷分析

负荷计算是空调系统设计的基础。而在作一幢大楼的变风量空调负荷计算之前,对负荷特点进行分析,则更是变风量空调系统设计的基础。

负荷分析的目的,是为了指导系统设计和设备选择,即根据负荷分析结果,选择一个合理的变风量系统型式,选择与之相适应的设备。

负荷分析的方法,是要建立供热、供冷负荷与室外温度变化之间的关系,反映出供热、供冷负荷如何去适应变化的需要。室外温度在全年是不不断变化的,这种变化的幅度大,它可以使建筑物从得热状态变成失热状态,或者相反。为适应全年室外温度的变化,需要在系统设计时考虑如何实现相应的供冷、供热的改变。室外温度在一天中也是不断变化的,它也会影响到室内温度的变化,但相对于全年室外温度的变化来说,这种变化的幅度显得要小一些,可以在变风量系统的运行过程中,通过采用各种调节手段,来适应这种变化,而与系统设计关系不大。因此,所谓负荷分析,主要是针对全年室外温度变化而言。

(二) 内区、外区及其负荷特点

一幢大型民用建筑物,都包括有热工意义上的内区和外区(又称周边区),而内区和外区的空调负荷特点是不相同的。我们把在不考虑新风负荷变化这一条件下,空调负荷随室外温度的变化而变化的空调区称为外区,与此相对应,空调负荷不随室外温度变化的空调区,称为内区。

一幢建筑物的内区,其空调负荷是由人员、灯光和各种机械设备产生的得热而形成的。这些负荷在全年都始终是一种得热,并始终表现为一种冷负荷(图1-

1), 其数量上的变化, 仅取决于建筑物内人员情况和使用情况, 而与室外温度无关。因此, 对建筑物内区来说, 全年都需要供冷, 即使在冬季也是如此。但供冷方式则可以是机械制冷, 也可以充分利用天然冷源。当室外温度很低, 特别是在冬季, 可以利用室外低温的新风作为冷源向内区供冷。

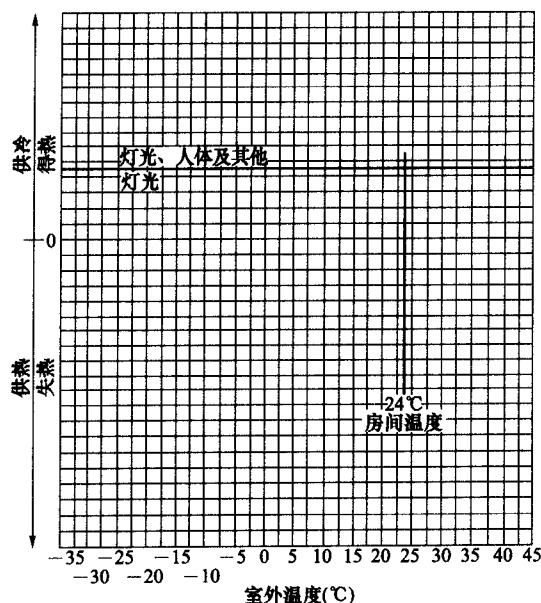


图 1-1 典型办公建筑物内区空调负荷与室外温度的关系

一幢建筑物的外区, 都有外玻璃窗、外墙面或屋面, 外区既有来自灯光、人员和机械设备的得热, 又有穿过外窗和外墙或屋面的太阳得热, 同时, 还有通过外窗和外墙或屋面的传热。来自灯光、人员和机械设备的得热, 其特点与内区一样, 它们数量上的变化, 仅仅取决于建筑物的使用情况, 与室外温度无关 (图 1-2a)。穿过外窗和外墙或屋面的太阳得热, 与太阳辐射强度有关, 但太阳辐射强度仅与该地区所处的纬度有关, 即与太阳高度角有关, 而与室外温度无关。由于从冬季到夏季的一年四季中, 对某一地区来说, 太阳高度角是在变化的, 因此, 太阳辐射强度也在变化, 太阳得热也在变化, 而同时, 室外温度也在变化。所以, 太阳得热似乎与室外温度有某种关系 (图 1-2a)。由此分析看出, 对于外区, 来自灯光、人员和机械设备的得热, 以及来自太阳得热, 在全年始终表现为一种冷负荷。然而, 通过外窗、外墙或屋面的传热负荷, 则可能是得热, 也可能是失热, 这直接与室外温度有关。这些传热负荷与灯光、人员、机械设备和太阳辐射所产生的负荷本身无关, 传热负荷的变化只取决于室内外温差 (见图 1-2b)。当室外温度高于室内温度时, 这种传热是得热, 表现为一种冷负荷; 反之, 当室外

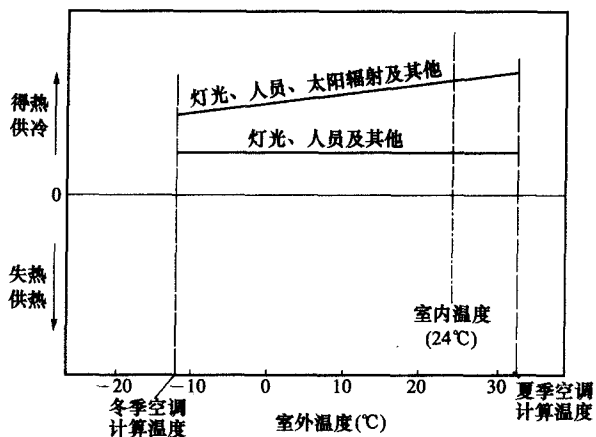


图 1-2a 建筑物外区空调负荷与室外温度关系之一

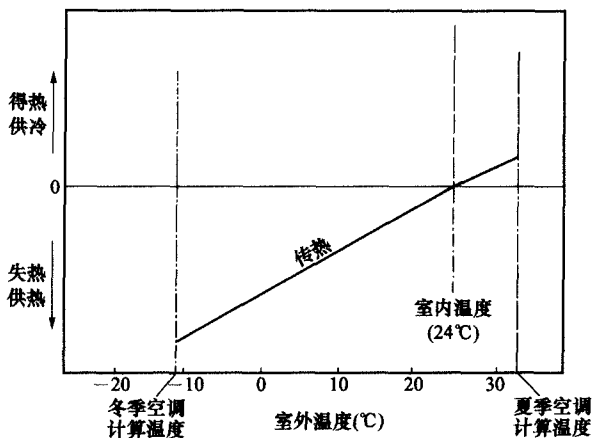


图 1-2b 建筑物外区空调负荷与室外温度关系之二

温度低于室内温度时，这种传热便是失热，表现为一种热负荷了。在图 1-2b 中，每度温差产生的热负荷比冷负荷值大，是因为把室外冷空气渗透负荷也考虑到热负荷中去了。

我们将图 1-2a 和图 1-2b 的数值进行叠加，就可以得出外区灯光、人员、机械设备得热、太阳得热以及传热等各种不同负荷综合作用的结果，见图 1-3 所示。

分析图 1-3，我们可以得出以下结论：

1. 仅从灯光、人员、机械设备和太阳得热来看，建筑物外区全年都需要供冷，即使是冬季也是如此。但是，由于有传热而产生的综合作用，只有当室外温度高于某一温度时（例如图中所示的 3°C 左右），建筑物外区才需要开始供冷。

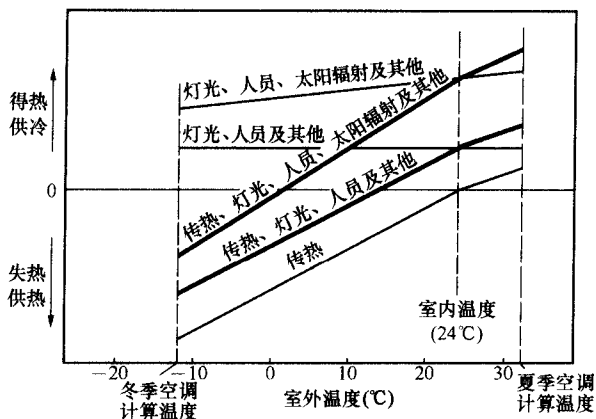


图 1-3 建筑物外区空调负荷与室外温度的综合关系

2. 仅从传热的负荷变化来看，当室外温度低于室内温度时，建筑物外区就需要供热，即使尚未进入冬季，也是如此。但是，由于灯光、人员、机械设备和太阳得热而产生的综合作用，只有当室外温度低于某一温度时（例如图中所示的 3°C 左右），建筑物外区才需要开始供热。

3. 当各种因素综合作用的结果，使得热等于失热时，则既不需要供冷，也不需要供热。此时的室外温度便称之为供冷、供热的临界温度。

（三）划分内区和外区的一般原则

在一幢大型民用建筑中，各层平面的内区和外区有时并无明确的建筑分界。特别是处在建筑设计阶段，业主尚未将楼房租售出去，其内区和外区更是暂时难以确定。但是，合理划分内区和外区，对选择变风量空调系统的型式，确定空调设备容量的大小，都十分重要，应该认真分析。

合理划分内区和外区的关键，是要合理确定外区的进深宽度（即离开外围护结构的距离）。

影响外区热环境的主要因素有：由外墙、外窗内表面温度与室内空气温度之差而产生的对流热；由外墙、外窗内表面温度与室内人员外表面（包括皮肤和服装）温度之间存在温度差而产生的辐射热。因此，决定外区进深宽度的主要因素便是上述的对流温差和辐射温差。

由对流温差产生的对流热对外区进深宽度的影响大小，取决于送、回风的气流组织形式。例如，在夏季，当回风口布置在靠外墙一侧上方时，因为外墙、外窗内表面产生的对流热气流，与沿外墙上升的回风气流的流向相同，对流热不会对室内热环境产生干扰和影响，因此，这时对流热对确定外区进深宽度没有影响。而当送风口布置在靠外墙一侧上方时，尽管外墙外窗内表面产生的向上对流

热气流可能与送风冷气流产生某种干扰,但由于变风量系统所要求的送风散流器具有良好的贴附性能,因而这种干扰对确定外区进深宽度的影响也不大。但是在冬季,不论是回风口靠外墙一侧布置,还是送风口靠外墙一侧布置,外墙、外窗内表面产生的对流冷气流都将沿外墙、外窗下沉侵入人员停留区域,从而影响外区的室内热环境。

由辐射温差产生的辐射热随着离开外墙、外窗距离的增加而减小。当这种辐射热对室内热环境的影响减小到可以忽略不计时,我们便可将其划分为内区。如果不考虑(或根本没有)冬季工况沿外墙、外窗内表面产生的下沉并侵入人员停留区域的冷气流,那么,这种辐射热便成为决定外区进深宽度的惟一因素。

除此之外,对于变风量空调系统来说,还要注意不要使某一区域的换气次数过大。外区的进深宽度划分得过窄的话,就可能使得外区的空调送风换气次数过大,从而产生对人员的吹风感,影响舒适性。

划分内区和外区的严格计算,无论在理论上和实践上,都还是个需要探讨的问题。在实际工程设计中,通常可将距外墙 3~8m 以内的区域(多数情况下以不超过 5m 的范围为宜)视作外区,其余区域均可视作内区。

第二节 变风量空调系统的型式

一、仅供冷的基本变风量系统

变风量系统所送出去的空气是在中央空气处理装置中被冷却去湿处理过,通过变风量末端装置送到房间里去的。在过渡季和冬季,制冷系统可以间歇运行,通过对新风和回风的混合控制来维持变风量系统运行的送风温度。

变风量系统将适量的冷空气送到房间里去,当室内并不处于最大负荷而出现部分负荷时,送风量可与房间需要的冷负荷相匹配或相平衡。这种仅供冷的变风量系统,运用到建筑物的内区是最为理想的,因为在内区,全年都有冷负荷出现。全年都仅供冷,为建筑物内区服务的变风量系统,便是一种基本的系统型式。其他的各种系统型式,都是为了适应不同的需要,在这种基本系统型式上衍生得来的。

二、带有单独供热系统的变风量系统

前已述及,在一幢建筑物的外区,冬季会通过外墙、外窗或屋顶产生传热损失,往往需要供热。而要实现这种供热,方法之一,是可以在外区单独设计一个热水采暖系统,也可以设计一个定风量空调系统,在冬季需要供热时送热风。而在夏季和在内区(或区域内部),仍然设计一个全年都只供冷的变风量系统,从而组成了带有单独供热系统的变风量系统。很显然,上述供热系统并不是用额外

的加热使送进房间的冷风进行再热，因为冷风量是根据房间的冷负荷大小来进行调节的。

通常，只有当室外温度低于 $16\sim 18^{\circ}\text{C}$ 时，才需要开启这类供热系统。而且，采暖系统的供水温度或定风量系统的送风温度（注意，不是送风量），都应该可以根据室外温度进行再调，或者根据变风量系统末端装置上的控制开关作单独的区域控制。但根据室外温度进行再调的设备初投资比较低，所以应用广泛。

在寒冷地区，建筑物屋面热损失是一个需要认真考虑的因素，往往需要在吊顶空间里安装辅助加热装置。这种装置的供热量也应根据房间温度控制器进行控制，使吊顶内的温度同附近房间的温度保持一致或接近一致。这样，在变风量系统关闭后的非使用期间内，可以维持一个所谓值班温度。

三、再热式变风量系统

这种系统是在末端装置的送风出口端安装一个再热器，与末端装置组成一个整体，再热热源可以是热水或电，当然以低温热水最为经济可靠。采用再热式变风量系统，便可以取消为外区设置的单独供热系统，这也是在冬季实现向外区供热的另一种方法。

再热式变风量系统可以单独设置为外区服务，在内区，仍设计一个仅供冷的变风量系统，即所谓内区、外区分设变风量系统。这样，这个再热式变风量系统是在变风量末端装置的送风量减至最小值后，通常都是处于深秋或冬季，才开始向其供热。而一旦实施供热，末端装置的送风量可以继续维持在最小值，也可以恢复到最大送风量，这要取决于所采用的控制模式。

再热式变风量系统也可以同时为内区和外区服务，而仅在外区的末端装置上安装有再热器，即所谓内区、外区只设同一个变风量系统。这样，也只有当外区的末端装置的送风量减至最小值后，才开始向外区的末端装置再热器供热。这似乎与定风量空调系统类似，但其实它是在最小送风量时的加热，因而比定风量系统运行节能。

四、双风道变风量系统

双风道变风量系统的原理如图 1-4 所示。它与单风道变风量系统的不同之处是，风机的出风端分成两路，一路通过冷却，一路通过加热，并分别经过冷风道和热风道送至房间的末端装置，然后再送进室内。

双风道变风量系统的空气处理过程见图 1-5。

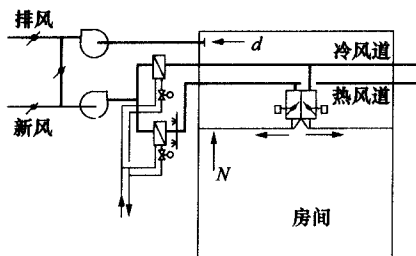


图 1-4 双风道变风量系统原理

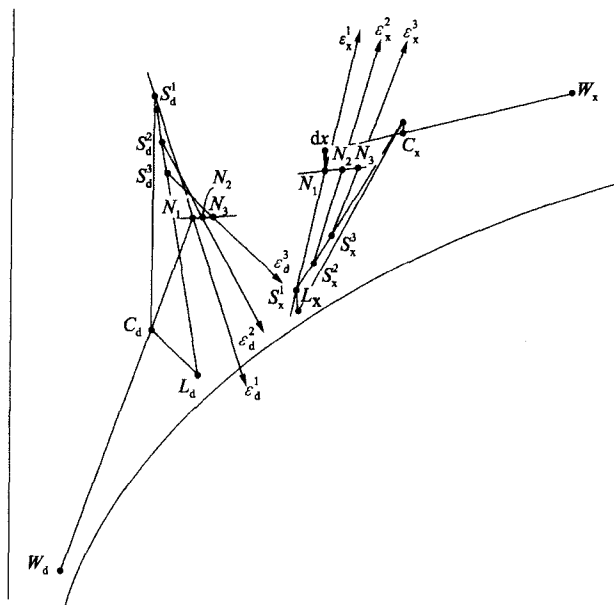


图 1-5 双风道变风量系统空气处理过程

x —夏季参数； d —冬季参数

在夏季，室外空气与吊顶中被照明灯具散热而加热了的回风相混合后，分两路送出，一路经冷却去湿处理至“露点”，再经风道等温升后，通过冷风道送至末端装置的冷风阀。另一路穿过加热器（但加热器并不供热）经过热风道送至末端装置的热风阀。在末端装置中，首先按照房间温度调节器的指令，调节冷风阀，改变冷风量。如果室内处于高峰负荷，则按最大风量送入房间，冷风阀全开，热风阀全关，使室内空气温度维持在设计状态。如果室内负荷降低，由房间温度调节器控制冷风阀成比例地减少冷风量，但保持送风温度不变。当达到最小设计送风量时，由最小风量控制器开启热风阀，向室内送进冷热风混合的空气。随着房间负荷不断减少，冷风阀将不断关小，直至关闭，热风阀不断开大，直至全开，但始终保持着最小送风量不变，却可以有不同的送风温度。而一旦冷风阀关闭，则开始向加热器供热，系统将逐渐进入冬季工况运行。

在冬季，室外空气仍与回风（此时虽也有因风机、风道等因素造成的温升，但可以认为与管壁的温降相抵消）相混合后，分两路送出。一路经加热处理后送至末端装置的热风阀，另一路有可能需要作加湿处理后穿过冷却器（但冷却器并不供冷）送至末端装置的冷风阀。系统的送风温度可根据室外气温的变化进行调节，室外温度处于设计工况时，送风温度最高，需要的加热量也最大。根据负荷的变化，首先调节热风量，当室外温度处于设计工况时，热风量最大，负荷减少