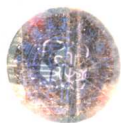
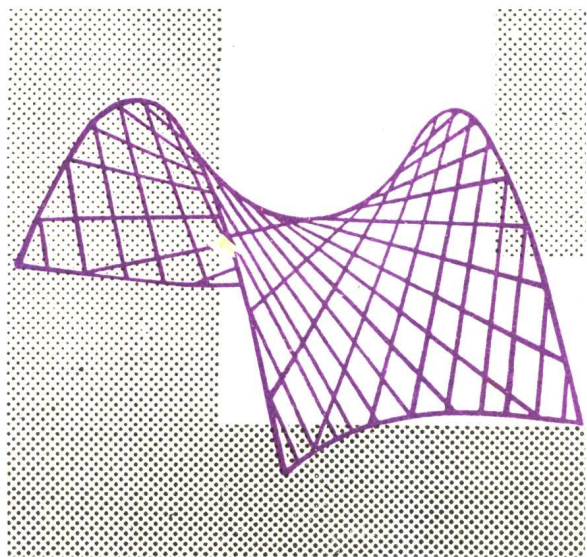


高等学校建筑工程专业系列教材

通风与空气 调节工程

曹叔维 周孝清 李峥嵘 编

● 中国建筑工业出版社



高等学校教学用书

通风与空气调节工程

曹叔维 周孝清 李峥嵘 编

中国建筑工业出版社

(京) 新登字 035 号

图书在版编目 (CIP) 数据

通风与空气调节工程/曹叔维等编. —北京: 中国建筑工业出版社, 1998

高等学校教学用书

ISBN 7-112-03406-X

I. 通… II. 曹… III. ①建筑-通风-高等学校-教材②建筑-空气调节系统-高等学校-教材 IV. TU83

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 21676 号

高等学校教学用书

通风与空气调节工程

曹叔维 周孝清 李峥嵘 编

*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京市社科印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 13 $\frac{1}{4}$ 字数: 322 千字

1998 年 6 月第一版 1998 年 6 月第一次印刷

印数: 1—3500 册 定价: 13.70 元

ISBN 7-112-03406-X

TU·2632 (8565)

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)

前 言

本书是为暖通设备管理专业学生准备的一本教材，内容以空气调节为主线，加入了通风工程中的有关内容。编写时从设备管理角度出发精简了冷负荷计算，空气热湿处理，净化系统等内容；加强了设备维护、运行调节等内容，并介绍了一些较新设备。由于作者水平及时间所限，许多方面尚欠考虑，错误之处敬请使用本书的同志批评指正。

本书由同济大学热能工程系曹叔维（绪论和第6、9章）、周孝清（第4、5、7、8章）和李峥嵘（第1、2、3章）三人编写。

范存养教授审阅了书稿并提出了许多宝贵意见，特致谢意。

目 录

绪论	1	3.1.2 室内设计条件的选择	32
1. 室内污染物控制与通风	3	3.1.3 室内设计参数	33
1.1 非工业污染物及控制	3	3.2 室外气象和室外计算条件	33
1.2 局部通风	3	3.2.1 室外空气温、湿度的变化 规律	33
1.2.1 局部送风	3	3.2.2 室外空气计算参数	34
1.2.2 局部排风	4	3.2.3 太阳辐射对建筑的热作用	35
1.3 全面通风	4	3.2.4 室外空气综合温度	39
1.3.1 全面通风的气流组织	4	3.3 通过围护结构的得热量及其形成的 冷负荷	39
1.3.2 全面通风的基本微分方程	4	3.3.1 得热量与冷负荷	39
1.3.3 全面通风量的确定	5	3.3.2 通过围护结构的得热所形成的 冷负荷	40
1.4 置换通风	6	3.4 室内热源、湿源的散热散湿形成的 冷负荷和湿负荷	42
1.4.1 置换通风的原理	6	3.4.1 设备散热形成的冷负荷	42
1.4.2 置换通风的特点	7	3.4.2 照明得热形成的冷负荷	43
1.4.3 置换通风系统送风量的确定	7	3.4.3 人体散热与散湿形成的冷负荷 与湿负荷	43
1.5 事故通风	8	3.4.4 其他湿源散湿形成的湿负荷及 潜热冷负荷	44
1.6 自然通风	8	3.5 空调房间送风量的确定	48
1.6.1 自然通风的作用原理	8	3.5.1 送入房间的空气的状态变化 过程	48
1.6.2 室内、外温差作用下的自然 通风	9	3.5.2 夏季送风状态点及送风量的 确定	48
1.6.3 室外风力作用下的自然通风	9	3.5.3 冬季送风状态点与送风量的 确定	49
2. 湿空气的性质及处理	10	4. 空气调节系统	51
2.1 湿空气的物理性质和状态参数	10	4.1 空气调节系统的分类	51
2.1.1 湿空气的组成	10	4.1.1 按空气处理设备设置情况分类	51
2.1.2 理想气体状态方程和道尔顿 定律	10	4.1.2 按负担室内空调负荷所用的 介质来分类	51
2.1.3 湿空气的状态参数	12	4.1.3 根据集中式空气调节系统处理的空 气来源分类	52
2.2 湿空气的焓湿图	15		
2.2.1 焓湿图的制作	15		
2.2.2 湿球温度和露点温度	16		
2.3 空气处理过程	21		
2.3.1 几种典型的空气处理过程	21		
2.3.2 两种不同状态的空气混合过程的 计算	22		
3. 房间的热湿负荷	24		
3.1 热舒适与室内计算条件	24		
3.1.1 热舒适方程和舒适区	24		

4.2	新风量的确定和空气平衡	52	6.2	通风管道的水力计算	114
4.2.1	新风量的确定	52	6.2.1	计算的一般原则	114
4.2.2	室内空气的平衡	53	6.2.2	系统的管内流速	114
4.3	基本空调系统介绍	54	6.2.3	计算例题	115
4.3.1	全空气空调系统	54	6.3	管路特性和风机特性对空调系统运行的影响	119
4.3.2	变风量空调系统	63	6.3.1	管路特性曲线	120
4.3.3	半集中式空调系统	65	6.3.2	风机特性曲线	120
4.3.4	局部空调机组	70	6.3.3	风机的工作点	120
5.	空调系统的设备	73	6.3.4	风机的功率确定	123
5.1	空气热湿处理设备类型	73	6.4	管路设计和布置中的若干注意问题	123
5.2	直接接触式热湿交换设备的选择	74	7.	空调系统的运行调节和节能	127
5.2.1	空气和水直接接触时的热湿交换原理	74	7.1	定风量空调系统的运行调节	127
5.2.2	空气和水直接接触时的状态变化过程	76	7.1.1	室内负荷变化时的调节	127
5.2.3	喷淋室的类型和结构	77	7.1.2	全年气候的运行调节方法	129
5.2.4	喷淋室的设计	78	7.2	空调系统的自动控制	130
5.2.5	喷淋室的维护	81	7.2.1	自动控制系统的组成	130
5.3	冷却、加热、蒸汽盘管	81	7.2.2	中央空调系统的典型控制	131
5.3.1	盘管的结构和安装	81	7.3	变风量系统的运行调节	133
5.3.2	冷却盘管的计算	82	7.4	风机盘管系统的全年运行调节的方法	135
5.4	常用空气湿处理设备	88	8.	通风空调系统的消声、防振和防火排烟	138
5.4.1	等温加湿	88	8.1	通风空调系统中的噪声及其物理量度	138
5.4.2	等焓加湿设备	89	8.1.1	噪声的物理量度	138
5.4.3	空气的减湿	89	8.1.2	通风空调系统的噪声源	140
5.5	空气净化处理设备	92	8.1.3	通风空调系统的噪声衰减和控制	142
5.5.1	概论	92	8.1.4	消声器的确定和种类	144
5.5.2	空气过滤器的过滤机理	92	8.2	通风空调系统的防振	148
5.5.3	空气过滤器的性能	93	8.2.1	基本概念	148
5.5.4	空气过滤器简介	95	8.2.2	减振器计算	149
5.6	空气分配设备	96	8.3	空调系统的防火排烟	152
5.6.1	空气自由射流的流动规律	97	8.3.1	防火概念	152
5.6.2	回(排)风口的气流流动	98	8.3.2	建筑防火和防烟分区	153
5.6.3	送风口的形式和气流组织	99	8.3.3	空调系统的防火排烟措施	153
5.7	空调系统冷热源设备	101	8.3.4	防火排烟方式	153
5.7.1	冷水机组	101	9.	通风空调系统的测定和调整	156
5.7.2	冷水循环泵	103	9.1	风量测定	156
5.7.3	蓄冷设备	103	9.1.1	管内风量测定	156
5.7.4	锅炉	104			
6.	系统管路设计	105			
6.1	管道的沿程阻力和局部阻力	105			
6.1.1	沿程阻力	105			
6.1.2	局部阻力	109			

9.1.2	风口风量测定	158
9.2	局部排风罩性能测定	159
9.3	系统风量调整	160
9.4	室内静压调整	161
9.5	冷却设备的冷量测定	161
9.6	加热设备的热量测定	163
9.7	室内空气条件的测定	164
9.8	噪声与防振检测	165
9.9	故障及其排除	165
附录 1	居住区大气中有害物质的 最高容许浓度	167
附录 2	湿空气的密度、水蒸气 压力、含湿量和焓	168
附录 3		170
附录 3.1	部分城市空调室外计算干、 湿球温度	170
附录 3.2	模比系数 α_i	170
附录 3.3	部分城市日较差	170
附录 3.4	我国主要城市的经纬度	171
附录 3.5	计算太阳辐射强度的系数 (ASHRAE)	172
附录 3.6	地面反射率 ρ_g	172
附录 3.7	部分城市夏季各朝向墙面的 太阳辐射强度	173
附录 3.8	上海市外墙的负荷温差	173
附录 3.9	上海市屋面的负荷温差	175
附录 3.10	外墙的夏季热工指标	176
附录 3.11	屋面的夏季热工指标	180
附录 3.12	部分城市玻璃窗传热的负 荷温差	184
附录 3.13	窗户的构造修正系数 X_g	185

附录 3.14	上海市透过单层钢框玻璃窗的太阳 总辐射负荷强度	186
附录 3.15	内遮阳系数 X_L	189
附录 3.16	设备、器具散热的冷负荷 系数	189
附录 3.17	照明散热的冷负荷系数	190
附录 3.18	一名成年男子的散热量 (W) 和散湿量 (g/h)	190
附录 3.19	人体散热的冷负荷系数	191
附录 4	风机盘管实验数据	192
附录 5		193
附录 5.1	Y-1 型离心喷嘴	193
附录 5.2	喷水室热交换效率实验公式 的系数和指数	194
附录 5.3	表面式冷却器的传热系数和 阻力经验公式	195
附录 5.4	水冷式表面式冷却器的 E' 值	196
附录 5.5	JW 型表面冷却器技术数据	196
附录 5.6	空气加热器的传热系数和阻力试 验公式	196
附录 5.7	SKZ 型空气加热器技术数据	197
附录 5.8	活塞式冷水机组结构	198
附录 5.9	离心式冷水机组结构	199
附录 5.10	螺杆式冷水机组结构	200
附录 6	通风管道统一规格	201
参考文献		203

绪 论

人们为改善居住环境长期来作了不懈的努力。到本世纪初以热力学、传热学和流体力学为主要理论基础，综合建筑、机械、电工和电子学等工程学科，逐渐形成了一个独立的空气调节技术学科分支，为解决各种室内空气环境问题提供了基础和技术措施，从此人们可以主动地把某个室内环境控制并保持在要求的范围内，改善人们自身的舒适条件和进一步促进科学技术的发展。

空气调节，简称空调，旨在对室内的空气温度、湿度、速度和清洁度进行控制和调节，以保证生产工艺和科学实验过程或人的热舒适的需要，在某些场合也需要对空气的压力、气味等进行控制。为保证室内生产工艺和科学实验过程而进行的空调称为“工艺性空调”，为保证室内人的热舒适要求的空调称为“舒适性空调”。在现代社会中，即使在一般的民用建筑内空调已不再是一种奢侈品，而是为了提高工作效率所必需的一种措施。

影响室内环境的因素来自室外和室内两个方面。室外的气温、太阳辐射、湿度等，室内的人员、灯光、设备等因素，有的在夏天造成不利影响而到冬天又成为室内环境的有利因素。为了排除这些不利因素，保持一个稳定的室内环境，就要采用通风与空调技术。通风与空调是密不可分的，但在工程上，将只要求控制内部温度的调节技术称为供暖或降温，将为保持室内环境有害物浓度在一定卫生要求范围内的技术称为通风，只有对空气能进行全面处理，即具有对空气进行加热、加湿、冷却、去湿和净化的技术才能称为空调，其中尤其是冷却和去湿都与制冷系统有关，制冷设备制造较精密，又有一定的压力，它的造价比较高，它是空调设备中造价的主要组成部分，因此空调设备的造价一般是比较高的，运行费用也比较贵，特别要消耗大量的电力。所以对于舒适性空调，在过渡季或非工作时间内，都要辅以适当的通风系统和开启窗户进行机械通风和自然通风。

空调在民用建筑中的应用日益广泛，在会议厅、图书馆、展览馆、影剧院、体育馆、办公楼等处均需设置空调系统；在宾馆、酒店、商业中心、游乐场所均已普及，家用空调的普及率也在提高，在汽车、飞机、火车及船舶上也大都装有空调系统。因此可以说，现代生活离不开空调，而空调技术的不断提高与发展也要依赖于现代化。本书将介绍通风空调的基本内容：室内污染物的控制与通风，房间的热湿负荷计算，空调系统和空调设备，管道计算，系统运行调节和测定调整等，当然这是初步的基本知识，进一步的提高，有待在此基础上不断地积累经验和深入学习。

现代空调面临着诸多问题，也是目前的发展方向，总的归纳起来就是能源问题和环境问题。空调设备是一种耗能耗电较大的设备，因此在空调整能上可以有很多改进，除设备性能的改进和自动控制系统的发展外，还有多种节能系统和新设备的开发，冰蓄冷系统是当前人们感兴趣的问题。此外，人们也已注意到对多种被动供冷方式的研究。与能源问题密切相关的是室外大气污染。空调所耗能量目前大多来自矿物燃料的燃烧，燃烧过程所产生的排放物（CO₂等）是全球变暖的主要因素之一。因此节约能耗，提高系统能量综合利用

效果不仅关系到能量资源的合理利用，也关系到对地球的保护问题。与大气有关的另一个问题是卤化烃（CFC_s）制冷剂的替代问题，寻求过渡性或永久性的替代物已经非常紧迫了。除室外环境问题外，还有室内环境，即室内空气品质问题。现代建筑的密封性越来越好，使室内污染物的浓度上升，带来了“空调病”。另外由于科技进步，室内各种装饰材料与新型建筑材料带来的甲醛、石棉、玻璃纤维、铝等污染物以及空气、水源和空调系统本身的尘埃、微生物、氡等污染物的浓度大大超过了人所能承受的浓度。这些污染物的综合作用不能简单地根据各种成分的浓度大小而定，使得现有空调系统的设计和维护等方面亟待改进。

综上所述，空调技术的发展不仅要在能源利用、能量节约和回收、能量转换和传递设备性能的改进，系统的技术经济分析和优化及自动控制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宜于人类工作和生活的内部环境。可以预料，空气调节将由目前主要解决空气环境的控制发展到内部空间环境质量的全面调节和控制，即所谓的内部空间的人工环境工程，还需要各种研究成果以及通过这些成果的实际应用和检验才能完成。因此空气调节有着广阔的发展前途，需要我们不断地开拓进取。

1. 室内污染物控制与通风

1.1 非工业污染物及控制

在主要以人为对象的建筑空调中，例如各类宾馆、商住建筑等，室内的污染物主要来源于两方面：一是人本身带进来的灰尘、细菌等以及人所呼出的气体二氧化碳；二是周围环境产生的，如各种建筑、装潢材料产生的有机污染物，空气中因燃料燃烧产生的二氧化硫等废气，地下水、地下建筑、土壤中存在的氡等。而对于有特殊用途的空间如厨房、卫生间等，室内污染物主要是油烟、臭气等。

这些污染物在室内的浓度达到一定程度时必然将影响人们的日常生活与身体健康，因此必须采取一定手段和方法使它们在室内的浓度低于某一标准(如国家规定的各类卫生标准见附录一)，该手段或方法就被称为污染物控制方法。目前最主要的污染物控制方法是通风方法。

常用的通风方法可以分为两类：自然通风与机械通风。前者是利用室外风力或室内、外温差产生的密度差为动力进行通风换气；后者则依靠机械动力（如风机风压）进行通风换气。本章只简单介绍几种通风方法的概念与原理。

1.2 局 部 通 风

局部通风包括局部送风与局部排风两类。

1.2.1 局部送风

局部送风就是将干净的空气直接送至室内人员所在的地方，改善每位工作人员周围的局部环境，使其达到要求的标准，而并非使整个空间环境达到该标准。这种方法比较适用于大面积的空间、人员分布不密集的场所。图 1.1 是一种局部送风系统的示意图。空气经

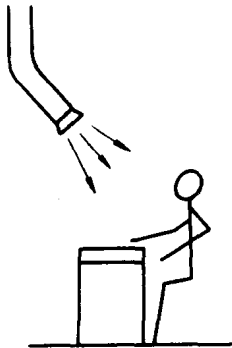


图 1.1 局部送风示意图

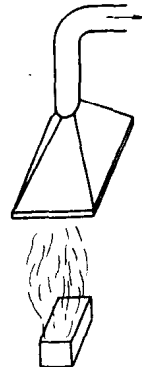


图 1.2 局部排风示意图

处理后由风管送到每个人附近。

1.2.2 局部排风

局部排风就是在产生污染物的地点直接将污染物捕集起来，经处理后排至室外。在排风系统中，以局部排风最为经济、有效，因此对于污染源比较固定的情况应优先考虑。

一个典型的局部排风系统如图 1.2 所示。污染源产生的污染物经局部排风罩收集后，通过风管送至净化设备处理后，排至室外。

1.3 全 面 通 风

全面通风亦称稀释通风，即对整个控制空间进行通风换气，使室内污染物浓度低于容许的最高浓度。由于全面通风的风量与设备较大，因此只有当局部排风无法适用时才考虑全面通风。

1.3.1 全面通风的气流组织

控制空间的通风气流组织形式对全面通风的效果影响很大，因此在设计全面通风系统时应遵守一个基本原则：应将干净空气直接送至工作人员所在地或污染物浓度低的地方，然后排出。

常用的送、排风方式有上送上排、下送上排及中间送、上下排等多种形式。具体应用时，应根据下列原则选择：

1. 进风口应位于排风口上风侧；
2. 送风口应接近工作人员所在地点，或者污染物浓度低的地带；
3. 排风口应设在污染物浓度高的地方；

4. 在整个控制空间内，尽量使室内气流均匀，减少涡流的存在，从而避免污染物在局部地区聚积。

1.3.2 全面通风的基本微分方程

如图 1.3 所示的空间，若该空间中污染物的发生量为 x (kg/s)，通风量为 L (m^3/s)，空间容积为 V (m^3)。通风开始时室内污染物浓度为 y_1 (kg/m^3)，送风气流中污染物浓度为 y_0 (kg/m^3)，则通风后室内污染物浓度 y 是时间 t 的函数 $y(t)$ 。

现假设：

1. x 、 L 、 y_0 、 y_1 均为常数；
2. x 均匀散发到整个空间；
3. 送入室内的空气一进入室内立刻与室内空气充分混合，而且送风量等于排风量，室内、外空气温度相同。

则在时间 Δt 内，有室内污染物改变量为：

$$\Delta y \cdot V = x \cdot \Delta t + Ly_0 \cdot \Delta t - L \cdot y(t) \cdot \Delta t$$

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 有

$$\frac{dy}{dt} = \frac{1}{V} [x + Ly_0 - Ly(t)] \quad (1.1)$$

式 (1.1) 即为全面通风基本微分方程，易求得解为：

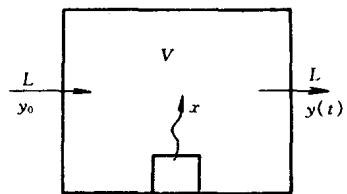


图 1.3 房间全面通风示意图

$$-\frac{L}{V}t = \ln[x + Ly_0 - Ly(t)] + c$$

当通风开始 $t=0$ 时, 有 $y(t) = y_1$, 从而有:

$$\exp\left(\frac{L}{V}t\right) = \frac{x + Ly_0 - Ly_1}{x + Ly_0 - Ly(t)} \quad (1.2)$$

1.3.3 全面通风量的确定

当室外空气中污染物浓度 y_0 低于室内污染物初始浓度 y_1 、通风量满足式 (1.3) 时, 据式 (1.2) 可知室内污染物浓度在通风后满足式 (1.4), 因此, 此时对该空间的通风为稀释通风。

$$L > \frac{x}{y_1 - y_0} \quad (1.3)$$

$$y(t) < y_1 \quad (1.4)$$

从式 (1.2) 可以得到:

$$y(t) = \left(\frac{x}{L} + y_0\right) - \left(\frac{x}{L} + y_0 - y_1\right)e^{-\frac{L}{V}t} \quad (\text{kg/s}) \quad (1.5)$$

当 $t \rightarrow \infty$ 时有:

$$y(t) = \frac{x}{L} + y_0 = y_2 \quad (\text{kg/s})$$

可见, 在一定的通风量前提下, 室内污染物浓度 $y(t)$ 最终趋于稳定值 y_2 , 而与空间初始浓度 y_1 无关。反之, 若已知室内污染物的最终浓度 y_2 , 则可求得全面通风的通风量为:

$$L = \frac{x}{y_2 - y_0} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (1.6)$$

但因室内污染物不可能均匀散发, 室内送风也不可能与室内空气充分混合, 所以实际所需的全面通风量要比式 (1.6) 的计算结果大得多, 因此实际的通风量计算式要引入安全系数 k , 即:

$$L = \frac{kx}{y_2 - y_0} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (1.7)$$

安全系数 k 要考虑多方面的因素, 如污染物的毒性、污染物的分布及其散发的不均匀性, 室内气流组织及通风的有效性等。对于精心设计的小型试验室可取 k 为 1; 而对于一般的通风房间可据实际情况, 按经验在 3~10 范围内选用。

【例 1.1】 某车间体积为 500m^3 , 车间内每秒钟产生 $4.5 \times 10^{-5}\text{kg}$ 的二氧化硫气体, 而根据国家有关规定, 车间内二氧化硫的最高许可浓度为 $1.5 \times 10^{-5}\text{kg}/\text{m}^3$, 问进行全面通风时需要的通风量是多少。(送风全部为室外空气)

【解】 由于送风全部为室外空气, 因而可认为送风气流中二氧化硫气体浓度 y_0 为 0, 取安全系数 k 为 7, 则通风量为:

$$L = \frac{7 \times 4.5 \times 10^{-5}}{1.5 \times 10^{-5} - 0} = 21\text{m}^3/\text{s}$$

如果室内污染物为热量和水蒸气, 则为了消除余热、余湿所需要的全面通风量为:
消除余热所需的通风量为:

$$G = \frac{Q}{c(t_p - t_0)} \quad (\text{kg/s}) \quad (1.8)$$

消除余湿所需的通风量为:

$$G = \frac{G_{sh}}{d_p - d_0} \quad (\text{kg/s}) \quad (1.9)$$

式中 G ——全面通风通风量, kg/s ;
 Q ——室内余热量, J/s ;
 c ——空气质量比热, $1.01\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{C})$;
 t_p ——排出空气温度, C ;
 t_0 ——送入室内的空气温度, C ;
 G_{sh} ——室内余湿量, kg/s ;
 d_p ——排出空气含湿量, kg/kg 干空气;
 d_0 ——送入室内的空气含湿量, kg/kg 干空气。

另外, 如果室内同时存在余热、余湿和有害物质时, 换气量取其中的最大值; 如果室内同时存在数种有害物质时, 换气量亦取其中的最大值; 而当数种溶剂(苯及其同系物或醇类、醋酸类)的蒸气、或数种刺激性气体(三氧化硫, 二氧化硫或氟化氢及其盐类等)在室内共存时, 通风量按稀释各有害物质所需要通风量的总和计算。

1.4 置 换 通 风

置换通风是70年代初期从北欧发展起来的一种通风方式。80年代, 由“病态”建筑、“密封”建筑等所引发的室内空气品质问题引起了人们的极大关注, 经研究发现有效的通风手段是解决该问题的良好方法, 而大量的通风换气又将引起建筑能耗的上升, 因此, 作为一种高效、节能的通风方法, 置换通风从80年代起, 首先被引入办公楼等舒适性空调系统, 主要用以解决香烟、二氧化碳、热量等引起的污染。虽然这种方法的应用与研究已取得了一些成果, 但目前仍主要处于研究之中。

1.4.1 置换通风的原理

置换通风是基于空气的密度差而形成热气流上升、冷气流下降的原理实现通风换气的。置换通风的送风分布器通常都是靠近地板, 送风口面积较大, 因此其出风速度较低(一般低于 0.5m/s), 在这样低的流速下, 送风气流与室内空气的掺混量很小, 能够保持分区的流态。置换通风用于夏季降温时, 送风温度通常低于室内空气温度 $2\sim 4\text{C}$ 。

置换通风送入室内的这种低速、低温空气在重力作用下先下沉, 随后慢慢扩散, 在地面上方形成一空气层。与此同时, 室内热污染源产生的热浊气流由于浮力作用而上升, 并在上升过程中不断卷吸周围空气, 形成一股蘑菇状的上升气流。系统的排风口通常被置于顶棚附近, 热浊气流上升到这里被排掉。由于热浊气流上升过程中的“卷吸”作用和后续新风的“推动”作用, 以及排风口的“抽吸”作用, 覆盖在地板上方的新鲜空气便缓缓上升, 形成类似活塞流的向上单向流动, 于是工作区的污浊空气被后续的新风所取代, 即被置换了。当达到稳定状态时, 室内空气在流态上便形成两个区域: 上部混合区和下部单向流动的清洁区, 两区域在空气温度和污染物浓度上存在一个明显的界面。上部区域为紊乱的混合区, 其污染物浓度为排风浓度, 下部区域由两部分组成: 向上的热气流区和周围的清洁空气区。在分界面上, 热浊气流的上升对流量 q_0 正好与送风量 q_s 相等, 此时可以认

为处于下部区域热浊气流之外的空气清洁度和送风气流近似相等。这种室内空气的分层可以保证人体处于清洁空气区，而人体以上的空间则不是我们所要控制的区域。

与全面通风不同，置换通风会在室内沿高度方向产生一个温度梯度；在原理上，置换通风的送风既是动量源，又是浮力源，而全面通风的送风仅作为动量源，由此产生卷吸周围空气的射流；从目标和结果看，置换通风是要在工作区创造一个近于新鲜的送风条件，全面通风则是在整个室内空间形成一个近于排风空气的条件；置换通风用新风置换工作区的污染空气，并将新风直接送到呼吸区，而全面通风是用新风来充分混合和稀释室内污染物，尽量降低呼吸区空气中的有害物浓度。

1.4.2 置换通风的特点

如上所述，低速、低温送风与室内分区流态是置换通风的重要特点，因此，置换通风对送风的空气分布器要求较高，它要求分布器能将低温的新风以较小的风速均匀地送出，并能散布开来。

由于置换通风的特殊送风条件和流态，室内污染物主要集中在房间的上部，沿垂直方向，随高度的增加，其浓度逐渐增加，温度也逐渐升高，形成垂直向的温度梯度和浓度梯度，如图 1.4 所示。

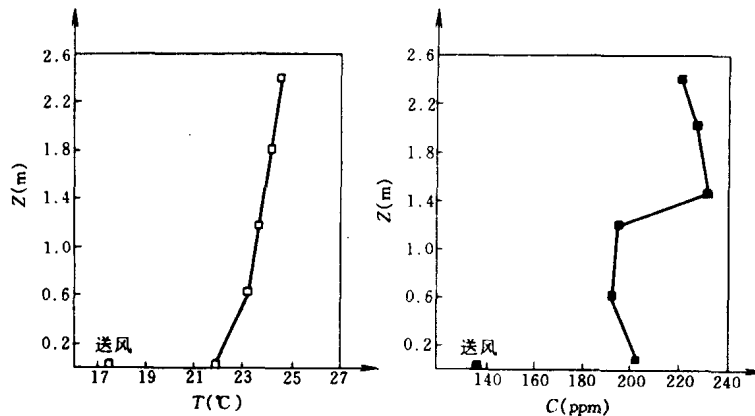


图 1.4 某置换通风房间的温度、浓度分布测定结果

置换通风与全面通风的工作原理不同，相应的送、排风温度也不同。置换通风中，工作区的温度及污染物浓度接近送风条件，房间上部的温度和污染物浓度接近排风条件；而全面通风则因送风气流与室内空气的大量掺混，全室的温度和污染物浓度几乎相同。如能在工作区域得到相同的舒适温度（比如 25℃），置换通风与全面通风系统之间送、排风温度的差别可由图 1.5 所示，由图可知置换通风系统所要求的送风温度可以高于全面通风，这就为利用低品位热源以及节省空调运行费用提供了更大的可能性。

1.4.3 置换通风系统送风量的确定

在各种形式的置换通风系统的设计中，都把工作区域作为设计的目标区域，即确保单向流动、控制污染物不进入呼吸区。目前较为流行的送风量计算方法有二区和三区模型法，其基本原理是将房间进行分区，利用质量守恒原理就污染物浓度建立代数方程组，求解送风量。

下面是一种较为直接的经验公式：

$$Q = (3\pi^2 B)^{1/3} \cdot (2\alpha)^{1/3} \cdot (z_s)^{5/3} \quad (1.10)$$

式中 Q ——所求送风量， m^3/s ；

$$B = \frac{g\beta E}{\rho c_p}$$

g ——重力加速度， m/s^2 ；

E ——热源能量， W ；

c_p ——空气定压比热， $J/(kg \cdot C)$ ；

β ——空气的温度膨胀系数， m^3/C ；

ρ ——空气密度， kg/m^3 ；

α ——热对流卷吸系数（实验确定）， $1/m^3$ ；

z_s ——分界面高度， m 。

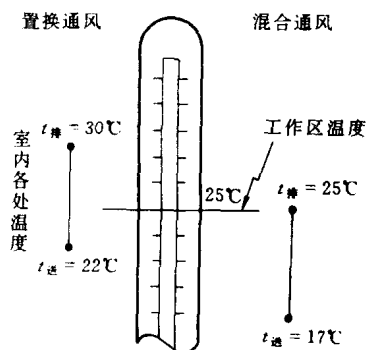


图 1.5 送排风温度的差异

1.5 事故通风

当生产设备发生偶然事故或故障时，会突然散发大量有害气体或有爆炸性气体的地方，应设置事故排风，以备急需时使用。

事故排风所必须的换气量应由事故排风系统和经常使用的排风系统共同保证。事故排风的排风量的确定应根据有关的工艺设计所提供的资料进行；当缺乏这些资料时，可按表 1.1 确定最小换气次数。

事故通风的换气量（次/h）

表 1.1

车间高度 (m)	有害气体最高容许浓度 (mg/m ³)	
	>5	≤5
≤6	≥8	≥12
>6	≥5	≥7.5

事故排风的进风口必须设在有害气体或爆炸危险气体散发量可能最大的地点。排风系统的风机开关，应分别装在室内、外便于操作的位置。

事故排风排出的气体不设专门的进风系统补偿，而且排出的气体一般不进行净化或其他处理。排出剧毒的有害物时，应排放到 10m 以上的大气中，仅在非常必要时，才采用化学方法处理。一般事故排风的排风口，不应设在人员经常停留或经常通行的地方。

1.6 自然通风

充分地合理利用自然通风是一种既经济又有效的措施，因此对于对室内空气的温度、湿度、清洁度、气流速度均无严格要求的场合，在条件许可时，应优先考虑自然通风。

1.6.1 自然通风的作用原理

如果在建筑物外围护结构上有一开口，且开口两侧存在压力差，那么根据动力学原理，空气在此压力差的作用下将流进或流出该建筑，这就形成了自然通风。

下面就分析一下在室外风力或室内、外温差产生的密度差的作用下，上述开口内、外侧压力差产生的原理。

1.6.2 室内、外温差作用下的自然通风

如图 1.6 所示建筑，在外围护结构的不同高度处有两个开口 a 与 b ，它们的高差为 h 。假设室内温度为 t_n ，密度为 ρ_n ，室外温度为 t_w ，密度为 ρ_w ，且有 $t_n > t_w$ 即 $\rho_n < \rho_w$ 。同时将开口外侧静压记为 P_{aw} 与 P_{bw} ，开口内侧静压记为 P_{bn} 与 P_{an} 。则开口 a 内外压力差为：

$$\Delta P_a = P_{an} - P_{aw}$$

开口 b 内外压力差为： $\Delta P_b = P_{bn} - P_{bw}$

且有 ΔP_a (ΔP_b) > 0 时，空气由开口 a (b) 流出，反之则流入。

现假设 $\Delta P_a = 0$ ，则 ΔP_b 为

$$\begin{aligned} \Delta P_b &= (P_{bn} - \rho_n gh) - (P_{bw} - \rho_w gh) \\ &= \Delta P_a + gh(\rho_w - \rho_n) \\ &= gh(\rho_w - \rho_n) > 0 \end{aligned}$$

式中 g ——重力加速度， m/s^2 。

可见，空气将由开口 b 流出。如果 t_n 、 t_w 保持不变，则随着空气的流出，室内静压逐渐降低， ΔP_a 将由等于零变为小于零，空气将由开口 a 流入，直至开口 a 的进风量等于开口 b 的排风量时，室内静压才保持稳定，且有：

$$\Delta P_b - \Delta P_a = gh(\rho_w - \rho_n) \quad (1.11)$$

可见，正是由于室内、外温差所产生的密度差的存在，造成了开口 a 、 b 两侧的压力差，从而产生了自然通风现象。当然，如果开口 a 、 b 之间没有压力差，自然通风也不会产生。

1.6.3 室外风力作用下的自然通风

如图 1.7 所示建筑，有两个开口 a 、 b ，假设室内温度 t_n 与室外温度 t_w 相等，则没有热压作用于该建筑。当有一室外气流经过该建筑时，该气流将发生绕流现象，同时建筑的迎风面气流因为受到建筑的阻挡而动压降低，静压增高，当该静压值超过在迎风面上的开口 a 的内侧静压值时，开口 a 内外两侧将产生压力差，空气由开口 a 流入室内；而建筑侧面和背风面由于产生局部涡流而静压下降，当该静压值低于处于该面上的开口 b 的内侧静压时，开口 b 内、外侧也将产生压力差，空气由开口 b 流出，于是形成了自然通风现象。

当然，在实际应用中，室内、外温差作用下的自然通风现象与风压作用下的自然通风现象常同时存在，这时某一开口内、外两侧压力差就等于两种作用所产生的压力差之和。

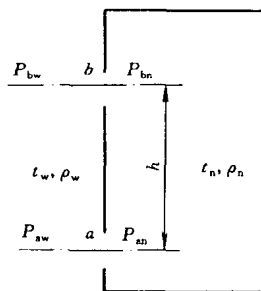


图 1.6 室内外温差作用下自然通风

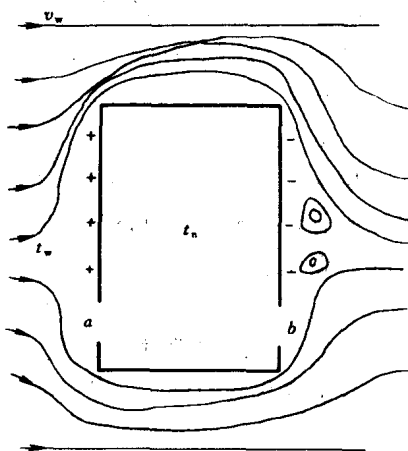


图 1.7 风压作用下自然对流

2. 湿空气的性质及处理

2.1 湿空气的物理性质和状态参数

湿空气可以看成是水蒸气和干空气的混合物，并且各自都适用理想气体定律。

2.1.1 湿空气的组成

把水蒸气从湿空气中分离出来，是因为水蒸气在仅有压力变化的情况下就能够液化，而干空气只有其温度降低到某一临界温度以下后才能够液化。干空气主要由以下几种气体混合而成，它们在干空气中所占体积比例见表 2.1。

干空气的组成成分

表 2.1

气体名称	比 例 (%)	分子量
氮	78.08	28.02
氧	20.95	32.00
氩	0.93	39.91
二氧化碳	0.03	44.00
氢	0.01*	2.02

注：前三种气体含量非常稳定，二氧化碳则随植物生长状态、气象条件、污染状态的变化而变化。前三种气体在体积百分比上占了干空气的 99.96%。这里的氢只是其他各种气体的代表，它们总共只有 0.01% 左右。

根据表 2.1 可以计算出干空气的平均分子量 M ：

$$\begin{aligned} M &= 28.02 \times 0.7808 + 32.00 \times 0.2095 + 39.91 \times 0.0093 \\ &\quad + 44.00 \times 0.0003 + 2.02 \times 0.0001 \\ &= 28.97 \end{aligned}$$

当以后应用理想气体状态方程时，要用到干空气的平均分子量，以确定其气体常数。同样，还需要了解水蒸气的气体常数。水蒸气的分子式是 H_2O ，是一种化合物，因此其分子量的计算如下：

$$M = 2 \times 1.01 + 1 \times 16.00 = 18.02$$

湿空气中的水蒸气含量很少，而且不稳定，常随季节、气候、湿源等各种条件而变化，它的含量变化会引起干、湿程度的改变，因而对人体的舒适感、产品质量等有直接影响，是空气调节所关心的问题之一。

2.1.2 理想气体状态方程和道尔顿定律

在空气调节所研究的温度、压力（常温、常压）下，干空气和水蒸气都可以当作理想气体来对待，即可以用理想气体状态方程来表示干空气和水蒸气的主要状态参数—压力、温度、比容等之间的相互关系：