

参 见 条

矿棉 见耐火纤维
奎宁 见生物碱

拉曼光谱测定法 见分析方法
铜 见稀土元素
铈 见钪系元素和钪系后元素
铈 见铂族金属
雷酸盐 见炸药
镭 见放射性(天然放射性)
类酯 见天然药物;脂肪和脂油;植物油

离合器材料片 见摩擦材料
离心分离 见液固分离
利福平 见抗生素
联甲苯胺 见联苯胺和其他联苯系二胺
炼焦 见煤的焦化

链霉素 见抗生素
钌 见铂族金属
裂化 见石油炼制
邻氨基苯甲酸 见苯甲酸
磷肥 见磷酸、磷酸盐和磷肥
磷光体 见发光材料;电池;光电检测材料和器件

磷矿 见磷酸、磷酸盐和磷肥
磷酸铵类肥料 见复混肥料;铵化合物;磷酸、磷酸盐和磷肥

硫化汞 见颜料 1. 无机颜料
硫化氢 见硫化合物
硫氰酸盐 见硫化合物
硫酸铵 见肥料;铵化合物
硫酸钾 见钾化合物
硫铁矿 见铁;硫;硫酸和三氧化硫
镨 见稀土金属
氯代酸 见醋酸及其衍生物

化工百科全书

第 10 卷

空气调节—氯代醇

kong — lü

化学工业出版社

· 北 京 ·

目 录

主 词 条

空气调节	1
控释给药系统	13
口腔卫生用品	23
矿物分选	29
矿物质营养素	57
喹啉和异喹啉	139
醌	155
扩散分离	169
蜡和蜡制品	195
铈和铈化合物	213
离子交换和离子交换树脂	223
离子交联聚合物	239
离子选择电极	269
离子注入	279
锂和锂化合物	303
利尿药	321
沥青	351
联苯胺和其他联苯系二胺	367
联苯和联三苯	381
量纲分析	389

量热法	403
磷	421
磷化合物 1. 无机磷化合物	431
磷化合物 2. 有机磷化合物	459
磷酸、磷酸盐和磷肥	527
流变现象	617
流量检测	641
流态化	661
流体力学	699
硫	719
硫醇	739
硫代硫酸盐	747
硫化化合物	757
硫化染料	779
硫回收	795
硫酸和三氧化硫	815
笼合物和笼合作用	855
铝	869
铝合金	891
铝化合物 1. 无机铝化合物	937
铝化合物 2. 有机铝化合物	971
氯	983
氯苯和多氯苯	1019
氯代醇	1025

参 见 条

矿棉 见耐火纤维
奎宁 见生物碱

拉曼光谱测定法 见分析方法
铜 见稀土元素
铈 见钪系元素和钪系后元素
铈 见铂族金属
雷酸盐 见炸药
镭 见放射性(天然放射性)
类酯 见天然药物;脂肪和脂油;植物油

离合器材料片 见摩擦材料
离心分离 见液固分离
利福平 见抗生素
联甲苯胺 见联苯胺和其他联苯系二胺
炼焦 见煤的焦化

链霉素 见抗生素
钌 见铂族金属
裂化 见石油炼制
邻氨基苯甲酸 见苯甲酸
磷肥 见磷酸、磷酸盐和磷肥
磷光体 见发光材料;电池;光电检测材料和器件

磷矿 见磷酸、磷酸盐和磷肥
磷酸铵类肥料 见复混肥料;铵化合物;磷酸、磷酸盐和磷肥

硫化汞 见颜料 1. 无机颜料
硫化氢 见硫化合物
硫氰酸盐 见硫化合物
硫酸铵 见肥料;铵化合物
硫酸钾 见钾化合物
硫铁矿 见铁;硫;硫酸和三氧化硫
镨 见稀土金属
氯代酸 见醋酸及其衍生物

kongqi tiaojie

空气调节 Air Conditioning

赵荣义 清华大学热能工程系

1. 概述.....	1	3.4. 其他空气处理方法.....	7
2. 基础理论.....	2	3.5. 空气的净化处理.....	7
2.1. 空气的热力学性质及湿空气焓湿 ($i-d$) 图.....	2	4. 空气调节系统与设备.....	8
2.2. 受控空间的空气环境.....	4	4.1. 集中式空调系统.....	8
2.2.1. 满足人体热舒适的空气环境.....	4	4.2. 半集中式空调系统.....	8
2.2.2. 生产过程所需的空气环境.....	4	4.3. 局部空调机组.....	8
2.2.3. 空气质量控制.....	5	5. 空气调节的设计原理.....	8
2.3. 空间空调的负荷确定.....	5	5.1. 空气处理方案的确定.....	8
2.4. 送风量.....	5	5.2. 空气处理设备容量的确定.....	9
3. 空气处理方法.....	6	5.3. 空气的输送与分配.....	9
3.1. 空气与水直接接触的处理方法.....	6	5.4. 空调系统的运行与节能.....	10
3.2. 表面式换热器的处理方法.....	6	6. 空气调节在工业中的应用.....	10
3.3. 固体与液体吸湿剂的处理方法.....	7	参考文献.....	11
		基本参考文献.....	12

1. 概 述

随着社会生产力的发展及人民物质文化生活水平的提高,不仅生产过程和科学实验过程要求人工控制的空气环境,而且人们自身也要求不断改善其工作和生活环境的条件,以满足健康、舒适和保持较高的工作效率。

所谓空气环境一般是指在某一特定空间内的空气温度、湿度、洁净度和空气流动速度。在特定条件下,空气的压力、成分、气味和噪声等因素也是空气环境的组成部分。

对一特定空间内的空气环境,一般要经受两方面的干扰:一是来自空间内部生产过程和人员等所产生的热、湿和其他有害物;二是来自空间外部气候变化、太阳辐射所产生的热作用及外气中存在的其他有害物。采用技术手段消除上述内外干扰,空气调节的任务就是保持特定空间内的空气环境,满足生产、科学实验和人们工作和生活的需要。

空气调节的技术手段主要是处理定量空气和其他冷(热)介质,通过热质(湿)交换,将内部空间多余

的热、湿和其他有害物排除,以保持空间内的空气温度、湿度、洁净度等处于规定的范围内并输送和合理分配。因此,空气调节的内容主要包括空间对象内外干扰量即负荷的计算,空气量的确定及空气处理方法,设备的选择,空气的输送与分配,以及为处理空气所需的冷源和热源等。

近年来空气调节发展迅速。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工业、以高湿度精度要求的纺织和化纤业等都广泛采用了空气调节手段。现代药品和生物制品的生产要求控制空气中的细菌量,胶片、印刷、造纸、橡胶及烟草等工业也都有一定的温湿度要求,还有各种工业中常用的计量室、控制室及计算机房等通常要求较高的空气环境,因此,空气调节的应用日益广泛。

现代农业的发展,如大型温室、禽畜养殖、粮种贮存等要求空气调节。交通运输工具如汽车、飞机、火车及船舶等空气调节的装着率也逐年提高。在宇航、核能、地下和水下空间以及军事领域,空气调节也是不可缺少的。因此可以说,现代工农业、交通业,现代科学实验的

发展,均有赖于空气调节的保证作用。同样对于大规模民用和公共建筑而言,空气调节则是这些内部环境条件优劣的主要标志之一。

2. 基础理论

2.1. 空气的热力学性质及湿空气焓湿 (i-d)

图[1]

通常空气是指干空气与一定含量的水蒸汽的混合物,亦称湿空气。湿空气的热力学性质主要涉及其温度、压力、含湿量、比容(密度)及焓等状态参数之间的相互关系和变化规律。由于空气调节一般在常温常压下进行,

因而湿空气可被看作理想气体。

湿空气的温度是干空气和水蒸汽混合物的温度,而湿空气的压力则是由干空气的压力与水蒸汽分压力合成。一定温度下的湿空气所能含有的最大水蒸汽量是一定的,因而也就存在饱和水蒸汽分压力。

湿空气中含有水蒸汽量的多少,对空气调节至关重要。常用两种度量指标。

(1) 含湿量 指湿空气中水蒸汽的质量与干空气质量之比,以 d 表示,即:

$$d = \frac{m_v}{m_a}, \text{ kg/kg 干空气} \tag{1}$$

式中 m_v ——湿空气中水蒸汽质量, kg;

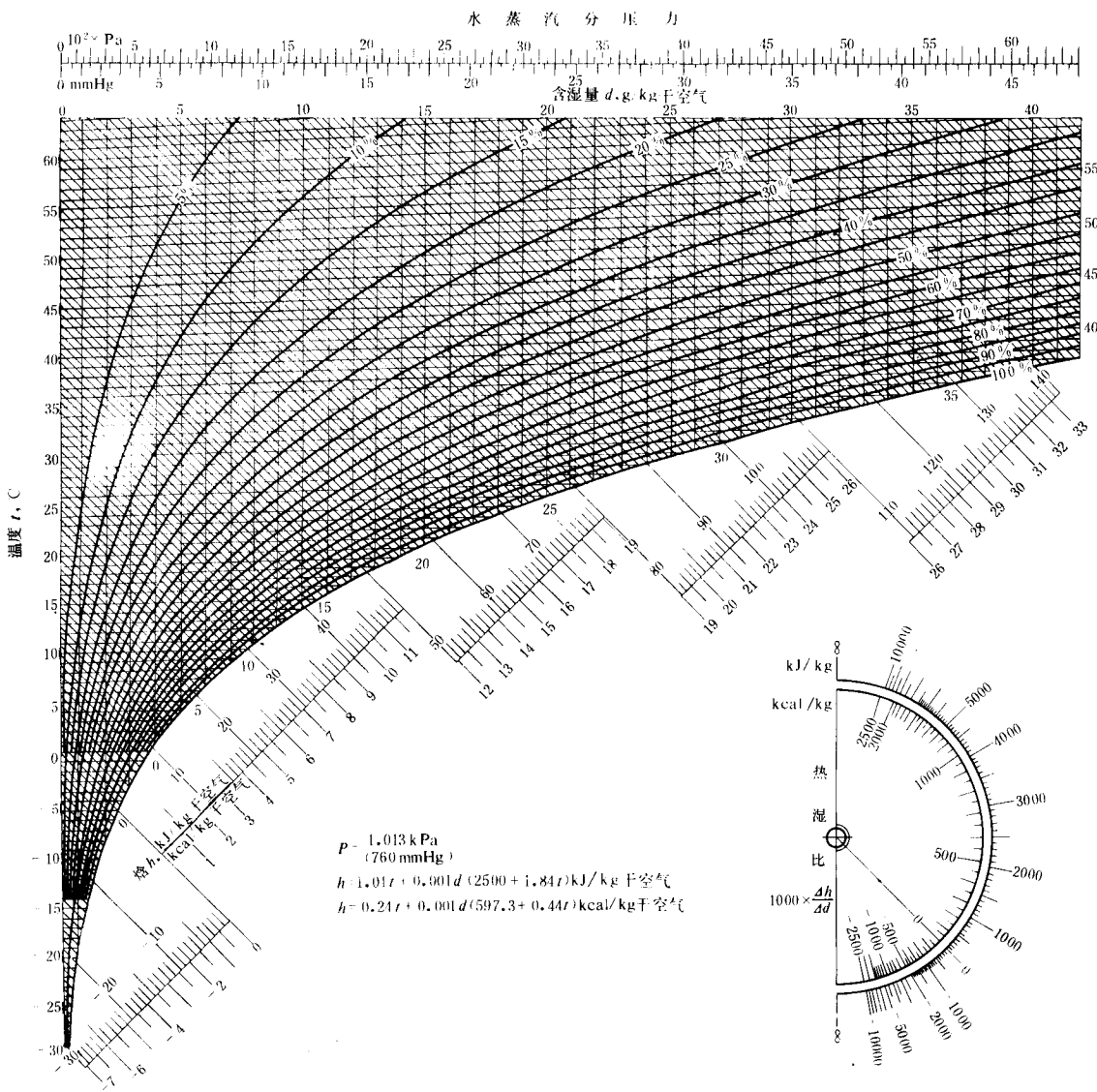


图 1 湿空气焓湿图

m_a ——湿空气中干空气质量, kg。

(2) 相对湿度 指湿空气中水蒸汽分压力与同温度下饱和水蒸汽分压力之比, 以 φ 表示, 即:

$$\varphi = \frac{P_v}{P_{s,v}} \times 100\%, \% \quad (2)$$

式中 P_v ——湿空气的水蒸汽分压力, Pa;

$P_{s,v}$ ——同温度下湿空气的饱和水蒸汽分压力, Pa。

相对湿度表示湿空气接近饱和的程度。

由热力学可知, 当湿空气的压力变化不大时, 引起湿空气状态变化的能量大小可用其焓变化来衡量。湿空气焓的表达式为:

$$i = (1.01 + 1.84d)t + 2500d; \text{kJ/kg 干空气} \quad (3)$$

式中 t ——湿空气的温度, $^{\circ}\text{C}$;

d ——湿空气的含湿量, kg/kg 干空气 。

此外, 反映湿空气性质的参数尚有密度, ρ , 即单位容积的湿空气所具有的质量, 以及其倒数即湿空气比容, v , $\rho = 1/v$, kg/m^3 。

在空气调节工程中, 为了避免繁琐的计算, 可将在大压力一定条件下, t , d , φ , i 及 P_v 等湿空气状态参数之间的关系用线图表示, 其中常用的一种即以焓及含湿量为坐标的焓湿图 (i - d 图) (见图 1)。图中有等焓 (i) 线、等含湿量 (d) 线、等温 (t) 线、等相对湿度 (φ) 线及水蒸汽分压力 (P_v) 标尺 (其等压线与等 d 线重合)。 i - d 图在空气调节中不仅可以用于确定空气的状态, 同时还能用于分析空气状态的变化过程, 是空气调节设计计算和运行调节等方面的有用工具。

i - d 图的具体应用可有以下几种:

(1) 已知 t , d , i , φ 中任意两个参数, 则可在图上确定空气的状态点, 并能查出其他各相应的参数。

(2) 已知两种不同状态的空气, 并按一定的质量比例相混合, 利用作图法即可在 i - d 图上确定混合状态。如图 2 所示, 1, 2 两点代表不同的空气状态, 已知状态 1 的空气质量为 G_1 , 状态 2 的空气质量为 G_2 , 则根据 $G_1/G_2 = \overline{23}/\overline{13}$ 可知, 混合状态点 3 必然将 $\overline{12}$ 线段分割成 $\overline{13}$ 与 $\overline{23}$ 两段, 并且满足 $\overline{13} : \overline{23} = G_2 : G_1$, 即混合点的位置可以确定。

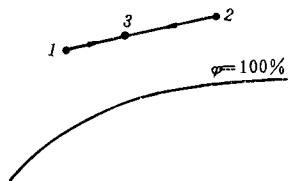


图 2 利用 i - d 图求混合状态

(3) 利用 i - d 图可查得空气的露点温度 $t_{d,p}$ 及空气的湿球温度 $t_{w,b}$ 。

如图 3 所示, A 代表空气状态, 由 A 沿等 d 线 (含湿量不变) 与 $\varphi=100\%$ 的饱和线相交, 其交点的温度即为露点温度 $t_{d,p}$ 。

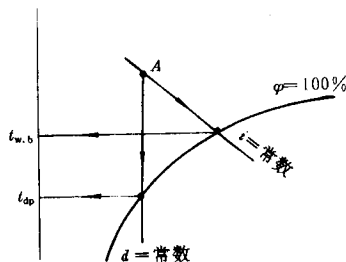


图 3 在 i - d 图上确定空气的露点温度和湿球温度

湿球温度可近似由空气状态 A 沿等 i 线与饱和线相交; 其交点的温度即为 A 状态空气的湿球温度 $t_{w,b}$ 。

(4) 表示空气处理的各种过程。如图 4 所示, 对某空气状态 A 的空气加热, 则空气温度升高而含湿量不变, 因此该过程可表示为 $A \rightarrow 1$; 如对 A 状态空气冷却, 空气不产生结露, 则其含湿量保持不变, 因而其过程应为 $A \rightarrow 2$; 若在空气冷却过程出现结露, 则空气的含湿量减小, 其过程则可表示为 $A \rightarrow 3$; 利用循环水对空气加湿可以实现 $A \rightarrow 4$ 的变化过程, 这一过程空气的焓值近似不变; 利用固体吸湿剂吸收空气中的水分, 可以近似实现 $A \rightarrow 5$ 过程, 空气的焓值也近似不变; 向空气中喷蒸汽的处理过程可以表示为 $A \rightarrow 6$ 的近似等温变化过程等。

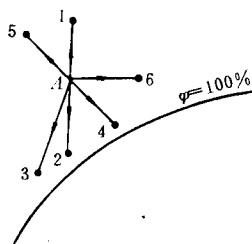


图 4 在 i - d 图上表示空气处理过程

(5) 在 i - d 的右下方有一半圆形热湿比图, 用来确定空气状态变化的方向和特征。热湿比 $\epsilon = \Delta i / \Delta d \times 1000$, 即空气状态变化前后的焓差和含湿量差的比值, 可正可负。在含湿量不变 ($\Delta d = 0$) 时, $\epsilon = +\infty$ 或 $-\infty$ 。若某空气状态的热湿比已知, 则可将热湿比图上 ϵ 值的斜率平行地移到该状态点, 则此斜率线即代表空气状态变化的方向。

2.2. 受控空间的空气环境

2.2.1. 满足人体热舒适的空气环境

人体在摄取食物后经新陈代谢所产生的能量，除在劳动过程中对外作功部分外，大部分用于维持人体的热平衡，即在一定的热环境条件（空气温度、湿度、风速及周围物体的表面温度）下，人体为保持体温稳定所需的产热量。人体在一定的活动强度和着衣量条件下，热环境各参数的高低，综合影响人体的主观热感觉。大量的实验研究表明，满足人体热舒适（主观热感觉处于中性，即不冷不热，没有吹风感，空气相对湿度适中）的热环境参数有一个较大的范围。表 1 给出中国常用的内部空气环境参数的控制范围^[2]。由于一般建筑物的内表面平均温度比较接近空气温度，所以表 1 只给出内部环境的空气温度的控制要求。同时，各环境参数的要求是以满足人体热舒适为依据的，对于工业生产的空气环境，如果生产工艺过程本身对环境参数无特殊要求时，也可参照表 1 所列对民用建筑的要求选用。

表 1 内部空气环境参数的控制要求

内部环境控制方式	内部环境类别	季节	等级	空气温度 ℃	相对湿度 %	风速 m/s
采暖	民用建筑	冬季	高中低	20~22 18~20 16~18	无明确要求	无明确要求
	工业建筑	冬季	轻作业 中作业 重作业	15~18 12~15 10~12	无明确要求	无明确要求
空气调节	民用建筑	冬季		18~22	40~60	<0.2
		夏季		24~28	40~65	<0.3
	工业建筑	冬季	轻作业 中作业 重作业	18~22 17~19 16~18	30~60 30~60 30~60	<0.2 <0.3 <0.3
		夏季		结合生产要求确定	无明确要求	0.2~0.5

2.2.2. 生产过程所需的空气环境

生产过程所需空气环境的控制区域一般是指离外墙 0.5m，离地面 0.3m 及高于精密设备 0.3~0.5m 所包括的空间。在该空间内的空气温度，空气相对湿度一般均规定其控制基准，同时规定其控制精度（或空调精度），即在要求的持续时间内，实际空气温度或相对湿度偏离基准的最大偏差值。如 $t_a=20\pm0.5^\circ\text{C}$ ； $\varphi_a=50\pm5\%$ ，则表示空间内空气的温、湿度基数为 $t_a=20^\circ\text{C}$ ； $\varphi_a=50\%$ ，而

相应的空调精度为 $\Delta t=\pm0.5^\circ\text{C}$ ； $\Delta\varphi=\pm5\%$ 。

1984 年，中国制订了“洁净室设计标准” GB J73-84，其中对洁净级别的规定可见表 2。

表 2 空气洁净度等级

等级	1m ³ (1L) 空气中 ≥0.5μm 尘粒数	1m ³ (1L) 空气中 ≥5.0μm 尘粒数
100	≤35×100 (3.5)	
1000	≤35×1000 (35)	≤250 (0.25)
10000	≤35×10000 (350)	≤2500 (2.5)
100000	≤35×100000 (3500)	≤25000 (25)

随着超大规模集成电路生产的发展，空气中悬浮微粒的控制粒径已降低到 0.1μm。因此，在美国重新制订的联邦标准 FS209E 中^[3]，提出以 10^M 中的指数 M 为级别代号，以粒径 ≥0.5μm 的粒子数为 10^M，这样 M₁ 级别则代表在 1m³ 空气中，有 10 粒 ≥0.5μm 的粒子；M_{3.5} 级别则代表 3500 粒/m³（实际上，10^{3.5}=3162，取近似结果），相当于表 2 中的 100 级。对于粒径不是 0.5μm 时，则空气中含有的粒子数在级别已知的条件下可用下式计算：

每 m³ 粒子数=10^M (0.5/d)^{2.2} (4)

式中 M——为级别的数字代号，如 M₂ 级即 M=2；

d——微粒粒径，μm。

由上式可计算出在控制粒径为 0.1μm 时，M₁ 级的对应粒子浓度为 345 粒/m³，实际级别限制值为 350 粒/m³（各级别限制值详见该标准）。

工业生产过程的空气调节随工艺过程对空气环境的要求又可分为一般性空气调节，恒温恒湿性空气调节及净化空气调节。一般性空调只提出空气温湿度度的上限，对空调精度无明确要求，如在一些避免产品受潮，工人操作时手部出汗的场合，规定夏季空气温度不高于 28℃；相对湿度不大于 60%。

恒温恒湿性空调则根据精密测量，精密制造的工艺要求，不仅规定空调基数，而且明确规定空调精度，如某些计量室要求全年保持空气温度 20±0.1℃；相对湿度 50±5% 的空气环境。

净化空调在电子工业、制药和生物制品业、食品工业等具有重要作用，因为空气中的悬浮微粒或浮游菌对产品质量、成品率和可靠性具有不可忽视的影响。不同工艺过程所要求的洁净度级别一般是根据加工线宽①和浮游微粒对表面的污染，以及细菌等对药剂的污染决定的。

① 在电子工业中，洁净度是考虑以集成电路内线路的尺寸（如 1μm）为加工线宽，并以此线宽的 1/5~1/10 为微粒控制粒径的依据。

确定生产过程所需的空气环境参数应对工艺过程认真考察,盲目地提高空调基数和空调精度将使耗能量和投资增大。

2.2.3. 空气质量控制

空气环境中的空气成分,一般含氧量占体积的20%以上,在人们长期停留的空间,由于CO₂量的增加及O₂量的减少,会使空气的正常成分受到破坏,从而对人体的健康带来不利影响。因此,为保证内部空间环境的空气质量,空调系统要根据设计规范要求供应一定的新鲜空气量,如生产车间应保证每人不少于30m³/h;一般办公性房间每人不少于25m³/h等。

生产过程产生各种有害气体时,则应考虑首先在有害物源处局部排除,以免大量有害气体弥散于车间内。如果有有害气体分散地产生,则应考虑采用全面性的换气冲淡方式,使有害气体浓度符合“工业企业设计卫生标准”的规定。

满足冲淡有害物所需的新鲜空气量V,可按下式计算:

$$V = \frac{M}{C_p - C_o}, \text{ m}^3/\text{s} \quad (5)$$

式中 M——有害气体的产生量, kg/m³;

C_p——空气中某种有害气体的允许浓度, kg/m³;

C_o——新鲜空气中该种有害气体的初始浓度, kg/m³。

当同时有多种有害气体产生时,对人体有同种危害的同类有害气体,应将其产生量相加作为总有害气体产量;对不同类的有害气体则按需要新鲜空气量大者计算。

向受控的内部环境供给新鲜空气,由于外界气候的季节性变化,常常在冬季需要对其加热加湿;在夏季需要冷却干燥,因此,对新鲜空气(亦称新风)的处理,是空调系统耗能的主要因素之一。

现有的研究证明,即使在非生产性建筑内,长期生活在空调环境也会导致易患感冒等不适症状,称为“空调适应不全”,甚至某些建筑物被称为“病态建筑”(sick building)。究其原因,除由于建筑材料和装饰材料的污染外,空调系统本身管理维护不善和新鲜空气量少是重要原因。因此,保持受控环境有足够的新鲜空气量是保证空气质量的主要因素^[4]。

2.3. 空间空调的负荷确定

在已知空间空调内的空气参数和当地外部气象条件的基础上,则需确定空气调节空间的冷(热)、湿负荷。

为保持空间内空气参数稳定在设计值需从空间内排除的多余热量称为冷负荷;多余湿量称为湿负荷;需向空

间补充的热量称为热负荷。构成冷(热)负荷和湿负荷有以下各项:(a)围护结构(墙、窗、屋顶等)在空间内外温差作用及太阳辐射的热作用下引起的传热部分;(b)透过玻璃窗的太阳辐射部分;(c)内部人员及设备散热散湿部分。

由于外部气象条件(外温、太阳辐射等)是经常变化的,同时一些围护结构具有衰减和延迟热作用的特性。因此,通过围护结构传入的热量并非立即全部转化为负荷,只有最终传入空间空气的热量(或传出的热量)才成为空间的空调负荷。

空间空调负荷的计算方法有多种,仔细计算时比较复杂且计算量也较大。在对一般民用性建筑物内部空间的负荷估计时,可采用经验性统计指标^[1]。

2.4. 送风量

为了消除空间内多余的热量和湿量,保持内部环境规定的空气参数,则要求送入空气的状态参数(温度、湿度)低于受控空间的空气状态参数,反之亦然。显然,送入空气的参数与内部环境空气参数的差别越大,则要求的送风量越少。考虑到空间内部空气参数的控制精度要求,送风量越小,则空气分布的均匀性也会越差,因此在经验上一般限定一个送风温差(送风空气温度与空间内空气温度之差),以保证内部参数分布的均匀性(见表3)。

表3 送风温差与换气次数

空气温度允许波动范围,℃	送风温差 Δt_o ,℃	换气次数 次/h
>±1.0	≤15	
±1.0	6~10	5(高大空间除外)
±0.5	3~6	8
±0.1~0.2	2~3	12

在选定送风温差 Δt_o 后,在*i-d*图上(见图5)找到空间内空气的设计状态N,并按已经确定的冷负荷和湿负荷,求得热湿比 ϵ 。

$$\epsilon = Q/W = \Delta i / \Delta d \quad (6)$$

式中 Q——空间内冷负荷, kJ/s;

W——空间内湿负荷, kg/s。

过N点作平行于热湿比斜率的直线,该直线与 $t_o = t_N - \Delta t_o$ 的等温线相交于O点,O点即为送风状态。

已知送风状态点后,则送风量可由下式求得:

$$G = \frac{Q}{t_N - t_o}; \text{ kg/s} \quad (7a)$$

或
$$G = \frac{W}{d_N - d_0}; \text{kg/s} \quad (7b)$$

式中 i_N, i_0 ——分别为空间内空气与送风的焓值,

kJ/kg ;

d_N, d_0 ——分别为空间内空气与送风的含湿量,

kg/kg 。

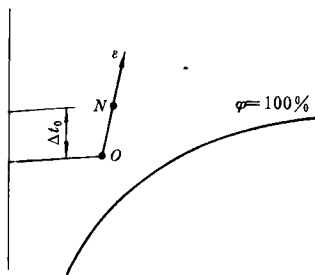


图 5 送风状态的确定

当只考虑空气温度变化时,也可用显热负荷及送风温差计算送风量,即:

$$G = \frac{Q_s}{1.01(t_N - t_0)}, \text{kg/s} \quad (8)$$

式中 Q_s ——显热冷负荷, kJ/s 。

一般情况下,冬季时空间内的多余热量较夏季少,有时需送热风向空间内补热,同时送热风时送风温差可以增大,因此,冬季计算的送风量一般小于夏季计算送风量。在实际设备容量的选择时,可按夏季送风量选用风机,但在实际运行时,冬夏可以同样的风量送风,也可改变送风量,后者对节能颇有意义。

在表 3 中除送风温差推荐值外,尚有换气次数的推荐值。换气次数是指送风量相当于空间体积的倍数(在一小时内)。在以送风温差确定的送风量小于推荐的换气次数时,则至少应保持换气次数不低于推荐值。

如果在空间内排除有害气体所需的风量大于排热、排湿所需的风量,则应取大者。

3. 空气处理方法

3.1. 空气与水直接接触的处理方法

利用向空气中喷水的处理方法,依据水温的不同和喷水量与空气量的比值大小,可以实现不同的处理过程。如图 6 所示,理论上用喷水处理空气可使空气状态 A 在与 $\varphi=100\%$ 饱和线相切的范围内任意方向变化。因此,采用喷水室处理空气可以实现多种过程,如降温减湿过程(A→1),等湿降温过程(A→2),降温增湿过程(A→3, A→5),近似等焓过程(A→4),等温加湿过程(A→6)等。常用的喷水处理过程是 A→1 及 A→4。

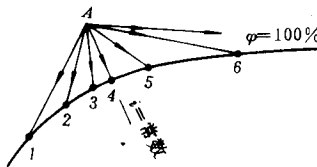


图 6 用水处理空气时可能具有的理想过程

喷水室的构造见图 7 所示。喷水室的主要构件是带喷嘴的管排,挡水板和底池。管排一般设 1~3 排,喷嘴密度一般取 $13 \sim 20$ 个/ m^2 。通过喷水室断面的空气流速为 $2 \sim 3 \text{m/s}$ 。喷水量与空气量之比,即水气比为 $0.6 \sim 1.0$ 。

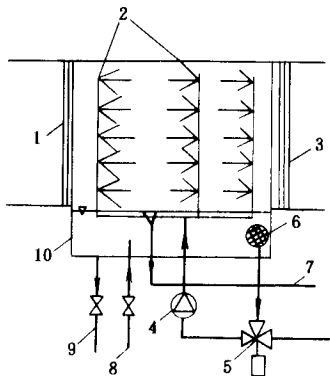


图 7 喷水室构造示意图

- 1—前挡水板; 2—喷嘴管排; 3—后挡水板;
4—水泵; 5—三通阀门; 6—过滤网; 7—溢水管;
8—补水管; 9—排水管; 10—水池

将喷水室断面的空气流速提高一倍,即形成“高速喷水室”,相当于断面缩小一倍。为避免阻力过大,高速喷水室的前挡水板改为导流栅格,后挡水板改为双波形,挡水效果好,且阻力小。所用的离心式喷嘴比“低速”喷水室喷嘴喷水量小,扩散角大,在喷嘴密度为 $38 \sim 41$ 个/ m^2 时,喷水压力较低。

利用喷水室处理空气在纺织,合成纤维及要求维持空间内空气相对湿度较高的工程对象中得到广泛应用。

3.2. 表面式换热器的处理方法

表面式换热器一般是指用导热性能较好的圆管(铜管、铝管或钢管等)作成,除光管式换热器外,大多为扩大与空气的接触表面在管外侧加装各种不同结构的翅片

(见热交换技术)。

加热空气用的换热器多用热水或蒸汽作热媒,空气通过管外侧各翅片间流过时被热表面加热。由于是干加热表面,所以空气的状态变化过程为等湿升温。

冷却空气用的换热器一般有三种冷媒可用:冷水或冷冻水,冷冻盐水,直接蒸发的制冷剂工质。当冷媒温度等于或高于空气的露点温度时,换热器表面不出现凝结水(结露),空气的状态变化过程为等湿降温。当冷媒温度低于空气露点温度时,则能实现冷却减湿的空气处理过程。

在出现凝结水时,要求空气通过换热器断面的迎面风速控制在 $2\sim 3\text{m/s}$,以免将水滴带出。同时,在换热器下部要设滴水盘,收集凝水,并集中排除。

以空气为被冷却对象的换热器,其换热管的外表面均采用不同的翅(肋)片予以扩大,并尽可能地增加空气掠过时的扰动以增强换热。因此,研究换热器管内的强化换热方法,以及减小管与翅片间的接触热阻是改善换热器结构的主要途径。

3.3. 固体与液体吸湿剂的处理方法

某些固体如硅胶和氯化钙等内部含有大量孔隙,形成大量水蒸气分压力低的吸附表面,因而,具有较强的吸湿能力。硅胶的吸湿量能达到其本身质量的 30%,而氯化钙的吸湿量却能达到 100%,但它吸湿后会发潮解并对金属有较强的腐蚀性。

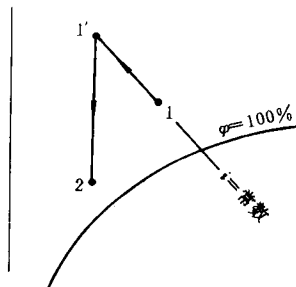


图 8 用固体吸湿剂处理空气

利用固体吸湿剂处理空气时,空气状态的变化过程近似于等焓过程(见图 8 所示)。状态 1 的空气通过吸湿剂时,其含湿量减少,被吸湿剂吸附的水分凝结时放出汽

化潜热,又被空气接收,因此,空气焓值基本不变。吸湿干燥后的空气状态 1' 取决于干燥材料层的厚度和接触时间。一般根据空气处理要求,确定 1' 状态,并经进一步冷却达到所需的处理状态 2。

吸湿剂在吸湿后需要再生,其方法是用 $150\sim 180^{\circ}\text{C}$ 的热空气加热,使吸附的水分蒸发出去,然后经冷却后重复使用。考虑到处理空气的连续性要求,一般采用固定床的固体吸湿装置要同时设置两个,一个吸湿,一个再生,二者互相倒用。如用活动床(如转轮式吸湿器)时,则可一面吸湿,一面再生。

某些盐类的水溶液,如氯化钙、氯化锂和三甘醇($\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_4$)等,由于溶液表面的水分子比同温度下的水表面分子数目少,水蒸气分压力低。溶液的浓度越高,水蒸气分压力越低,因而具有的吸湿能力越强。

水溶液表面的薄层空气如同水表面的薄层空气能代表水的状态一样可以表达水溶液的温度和表面水蒸气分压力的状态。据此,在温度一定时, $i-d$ 图上等温线的某个点即代表一定的溶液状态。盐水溶液在 $i-d$ 图上广泛的分布范围,说明利用它们来处理空气可以实现各种过程,并不仅限于减湿。

利用盐溶液处理空气的设备与喷水室结构相同。但盐溶液在对空气减湿时所产生的温度和浓度变化,必须经加热再生和冷却处理,以保持供给喷水室的溶液状态是稳定的。

氯化锂和氯化钙一类盐水溶液对金属有腐蚀作用。三甘醇无腐蚀性,且吸湿能力也较强,具有一定的发展前景。

3.4. 其他空气处理方法

其他对空气进行热、湿处理的方法有:

- 利用电热丝或电热管加热空气;
- 利用喷蒸汽加湿空气;
- 利用电加湿器加湿空气。

上述一些加热加湿装置通常有定型产品,可供用户选用。

3.5. 空气的净化处理

对空气中含有的悬浮微粒进行净化处理的方法主要是空气过滤。用于过滤空气的过滤器一般用无机的或有

表 4 空气过滤器的分类

类 别	有效捕集 粒径, μm	计数效率, % (对粒径为 $0.3\mu\text{m}$ 的尘粒)	其他效率测定 法的相当值, %	阻力 Pa	用 途
粗效过滤器	>10	<20	质量效率 40~90	≤ 30	用于一般空调系统或作为预过滤用
中效过滤器	>1	20~90	比色效率 45~98	≤ 100	用于对空气质量浓度有一定要求的对象
亚高效过滤器	<1	90~99.9	—	≤ 150	用于一般食品, 医疗及洁净要求较低的对象
高效过滤器	≥ 0.3	≥ 99.97	—	≤ 250	用于具有不同洁净等级的使用对象

机的纤维做成，并根据纤维的粗细、密实程度、对空气中悬浮微粒的过滤效果，将过滤器分成粗效过滤器，中效过滤器及高效过滤器。有关过滤器的分类见表 4 所示。

4. 空气调节系统与设备

空气调节系统的类型按其空气处理设备的集中程度可分为集中式空调系统，半集中式空调系统及分散式空调装置。同时，还可按交换内部空间所用介质的不同分为全空气系统，全水系统，空气-水系统及制冷剂系统等。就空调系统本身而言，按使用空气的来源又可有全新风系统，封闭式再循环系统及带回风的系统。在工业中比较常用的是集中式，全空气带回风的空调系统。

4.1. 集中式空调系统

由集中设置的空气处理机将处理后空气送至被调空间称之为集中式空调系统。该系统的冷源和热源一般也都集中设置（如冷冻站，锅炉房）。图 9 为一般集中式空调系统的示意。图中示出 A、B、C 三个被调空间共用一套空气处理机，系统有一次回风，并且是单风机工作。当系统规模较大或系统阻力较大时，为控制被调空间内的“正压度”，也可设置回风机。为节省二次加热量，亦可使用二次回风系统。另外，当各空间要求的控制参数不同时，则集中式系统只担负共同要求的处理要求，在将空气送入要求不同的各空间前，可以局部处理设备作进一步加工。

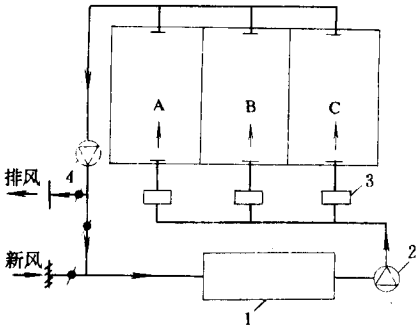


图 9 集中式空调系统示意

1—空气处理机；2—送风机；

3—局部加热装置；4—回风机（单风机系统不设）

集中式空调系统的空气处理机是将空气过滤器，加热器，冷却器或喷水室，加湿器及各种调节用风阀等分段组装成一个箱体。空调系统所用的送风机或兼有回风机可置入箱体，亦可单独设置。典型的空气处理机示于图 10。目前工厂化生产的空气处理机做成模块式，每段均具

有一定功能，用户可根据需要选择各功能段。

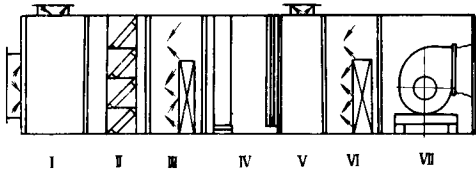


图 10 集中式空气处理机

I——一次混合段；II——过滤器段；III——预热器段；

IV——表冷器段；V——二次混合段；

VI——再热器段；VII——风机段

4.2. 半集中式空调系统

该种系统采用集中与分散相结合，其分散部分的典型装置为风机盘管和诱导器，一般称为空气处理的“末端装置”。以风机盘管为例，这种末端装置由一表面式换热器和风机组成。将集中设置的冷源和热源制备的冷水或热水送入分散设置的风机盘管，在风机的驱动下，空气通过表面式换热器被冷却或加热。风机盘管有带新风口的型式，以向空间供应新鲜空气，但多数风机盘管均不带新风口，空间所需的新鲜空气由另设一套集中式新风系统来供给。

4.3. 局部空调机组

典型的分散式空调装置即在空间内设置具有独立制冷系统的空调器，如窗式空调器，柜式空调器等。空调器本身也有单体式和分体式之分，分体式空调器是将压缩机和冷凝器部分作为室外机，蒸发器和供风部分作为室内机，以避免机组噪声和振动过大。

分散式空调方案具有灵活性大的特点，可按需启停，但维修管理不便。

5. 空气调节的设计原理

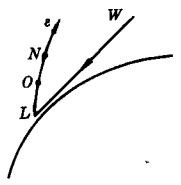
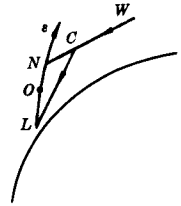
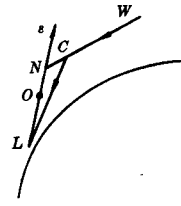
空气调节的设计包括室内外设计参数的确定；热湿负荷量的计（估）算；送风状态的确定及送风量的计算。

对于送风状态点确定后，具体可以选择的集中式空调系统可有以下几种：直流式系统，一次回风系统及二次回风系统。只有在计算送风量大于新鲜空气的需要量时，才有可能将其差值作为回风量，即可再循环使用的风量。

5.1. 空气处理方案的确定

典型的直流式，一次回风和二次回风系统的夏季空气处理方案如表 5 所列。

表 5 不同集中式空调系统的空气处理方案

系统类别	空气处理的 <i>i-d</i> 图示意	夏季设计条件下的空气处理	所用的主要处理设备
直流式系统		全部室外空气由 W $\xrightarrow{\text{冷却干燥}}$ L (机器露点) $\xrightarrow{\text{加热}}$ O (送风状态) $\xrightarrow{\text{室内负荷}}$ N (室内状态) $\rightarrow$ 排出室外	表面式空气冷却器或喷水室 加热器
一次回风系统		新风 W $\xrightarrow{\text{混合}}$ C $\xrightarrow{\text{冷却干燥}}$ L 回风 N $\xrightarrow{\text{加热}}$ O 室内负荷 $\rightarrow$ N $\rightarrow$ 部分排出室外 部分再循环使用	表面式空气冷却器或喷水室 新回风混合阀门
二次回风系统		新风 W $\xrightarrow{\text{一次混合}}$ C $\xrightarrow{\text{冷却干燥}}$ L 一次回风 N $\xrightarrow{\text{二次混合}}$ O 室内负荷 $\rightarrow$ N 二次回风 N 部分排出室外 部分再循环作一、二次回风	表面式空气冷却器或喷水室 一、二次回风混风阀

上列各集中式系统的冬季处理方案在一般情况下均采用空气加热器加热,喷蒸气加湿或采用喷循环水加湿,以保证达到送风状态点。

选择何种集中式系统要考虑新风量占总风量的比例大小。在允许回风的情况下,虽然二次回风系统可以节省二次加热量,但其系统比较复杂,控制要求较高,在非设计工况下,也需一定的二次加热处理。

5.2. 空气处理设备容量的确定

在空气处理方案确定后,即可根据空气处理的要求,确定空气处理设备的容量大小。以表 5 中直流式系统为例,表面式冷却器(或喷水室)应提供的冷量为:

$$Q_c = G \cdot (i_w - i_L) \tag{9}$$

空气加热器应提供的热量为:

$$Q_h = G \cdot (i_o - i_L) \tag{10}$$

假定服务的空间对象相同,但允许使用部分回风,则对于一次回风系统的表面式冷却器(或喷水室),其冷量为:

$$Q_{c1} = G(i_c - i_L) \tag{11}$$

加热器的热量与直流式方案相同。

显然,一次回风系统比直流式系统节约冷量,因为 $i_w > i_c$ 。同样,二次回风系统比一次回风系统会节约热量。

应该指出,夏季所需的冷量 Q_c 实际上是冷却新鲜空气,消除空间内产热及抵销由 $L \rightarrow O$ 的加热量之和。可见,夏季对送入空间空气的任何加热量均需由冷冻系统排除,这种“冷热抵消”的现象应尽量避免。

空气处理设备的容量确定后,即可根据定型产品的性能样本,选择设备的型号和规格。冬季设计条件下的加热器容量和加湿器容量的确定方法也是在空气处理方案确定后,由计算求出。

5.3. 空气的输送与分配

空气的输送由通风机和通风管道来完成。常用的通风机有离心式与轴流式两种。一般而言,离心式风机压头较高,而轴流式风机风量较大。空气调节中由于空气通过的空气处理设备较多,有时输送距离也较远,产生的压降较大,因此离心式风机应用较多。各种型号通风

机的性能（压头、风量及功率消耗等）均可由生产厂家的样本中得到。

通风管道一般呈矩形或圆形，多用薄钢板、塑料或玻璃钢等制成。在选择通风管道截面大小时，可采用参考性管内流速来确定。对于工业性空调推荐的管内流速见表 6。

表 6 风管内空气流速推荐值

空气输送系统的部位	推荐风速 m/s	空气输送系统的部位	推荐风速 m/s
新风入口	2.5~6.0	主风道	6.0~11.0
风机入口	5.0~7.0	水平支风道	4.0~9.0
风机出口	8.0~14.0	垂直支风道	4.0~8.0
送风口	2.0~5.0		

在风道尺寸已定并经阻力计算后，则可根据整个空气输送系统（经空气处理装置和风道等）所需的压头和风量选择通风机（一般增加 10~20% 的裕量）。

送入受控空间的空气应合理地加以分配，并选择合适的送风方式，使送风能有效地排除热、湿和其他有害物质，并维持空间要求的空气参数。

对温湿度和洁净度要求严格的空调对象，可以选用天花板满布孔板的送风方式（见图 11a 所示）。图 11 中所示的其他送风方式则要根据具体使用对象的特点来选择。近年来，下送风方式（图 11d）引起人们的重视和发展，这种方式对改善工作区的空气质量有一定的优点。

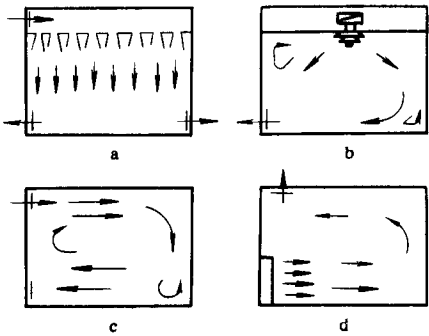


图 11 不同的送风方式

- a. 天花板孔板送风；b. 散流器送风；
c. 侧送侧回方式；d. 下送方式

5.4 空调系统的运行与节能

在设计条件下正确设计和施工安装的空调系统，当外界气候变化和内部热、湿产量变化时，需要随时调整被

处理空气的参数和系统运行的工况。这种调整是通过自动控制来完成的，即通过设置在空间内有代表性位置的温度和湿度传感器将信号传至调节器，经与设定值比较后，指挥执行器动作，从而改变风阀和其他阀门的位置及冷（热）媒的参数或流量，使空间内空气参数达到使用要求。现代空调系统已实现计算机控制与管理，使系统的运行工况更为合理，节省能耗。

空调系统耗能量较大，除尽可能减小空间内冷（热）负荷（增加围护结构保温，减少太阳辐射等），在冬夏使用恰当的新风量外，可以采用以下几种节能的措施。

- (1) 在全年系统运行分析的基础上，确定节能的工况分区，并相应地采用自动控制系统；
- (2) 采用热交换装置回收由空间内排出空气的冷（热）量；
- (3) 在过渡季节，尽可能地利用外气的自然冷却（free cooling）作用；
- (4) 选用部分负荷（即在非设计条件下的负荷量）特性好的通风机，制冷机及水泵等；
- (5) 尽可能利用低品位的热源或余热、废热等。采用适当的蓄冷措施，使制冷装置在非用电高峰期工作。

6. 空气调节在工业中的应用

化工工业及其相关工业生产过程所需的空气环境是多样的。表 7 列出了一些工业生产过程所要求控制的空气参数^[5]，可供设计参考。

内部空气环境的控制水平，实质上将对产品的质量、一致性和标准化水平产生影响。例如化学反应和工艺过程，生化反应，结晶率和晶体大小，产品的含水率，纯度等均与空气环境相关。在一些金属和非金属材料的表面，即使是非常细微的裂隙内，也会捕捉水分子而形成不可见的，不连续的表面膜并随空气湿度的增高而增大。这可能导致金属表面的腐蚀或绝缘材料电阻值的变化。

在合成纤维工业中，空气调节用来保证质量一致性；纱的粘度；控制反应和凝固率及酸槽的蒸发量和有毒烟雾的排放；防止湿丝卷绕时拉伸及在丝和机器上形成晶体。由于人造纤维工艺过程产生有毒烟雾，因而空气调节系统的新风量较大。

为了防止在纤维素碎片及碎片机上凝结，要求空气的露点不高于 10℃。

在制药和生物制品工业中，为保证产品的质量，防止细菌污染和交叉污染，要求采用空气洁净空调系统。1988 年中国卫生部发布了“药品生产质量管理规范”，它是世界卫生组织（WHO）提出的 GMP（good manufacture pracrice）为基础制订的。GMP 的基本点在软件方面要求有可靠的生产工艺，严格的管理制度，在硬件方面主要包括环境、厂房和设备等。药品生产的洁净度级别对片剂、胶囊及口服药等生产要求 10 万级；眼药生产及最终

表 7 各工艺过程对空气环境的参数要求^[6]

工业类别	工艺名称	冬 季		夏 季		备 注
		温度 ℃	相对湿度, %	温度 ℃	相对湿度, %	
化学工业	塑料薄膜加工	全年:20±3℃;60±5%				要求洁净
	聚四氟乙烯原料工段	全年:20±1℃;≥60%				
	胶片加工	全年:20±1℃;60±5%				
合成纤维工业	1. 锦纶长丝	全年:19~20℃;60~80% 22.5±0.5℃;71±1% 30~32℃;50~60% 23±1℃;65±2%				
	侧吹					
	卷绕					
	纺丝					
	试验室	23±1	65±2	25±1	65±2	
	牵伸,倍拈,络筒					
	2. 涤纶长丝					
	卷绕	全年:27±1℃;70±5%				
	牵伸	23±1.5	70±10	25±1.5	70±10	
	3. 腈纶	>18℃ >18℃ 22±1				
	纺丝					
	聚合					
毛条						
棉纺工业	1. 棉纺	20~22	60~65	29~31	60~65	要求一般除尘
	清棉					
	梳棉					
	细纱					
	织布	23~26	70~75	28~30	70~75	
	2. 涤棉混纺	20~22	60~65	28~30	60~65	
	清棉					
	梳棉					
	细纺					
	织布					
	23~25					
	橡胶工业	钢丝锭子室	全年:25±1℃;<40%			
高压胶管钢丝编织		23±2℃;62.5±2.5%				
成型		18~28℃;约70%				
中心控制室		22±1℃;约60%				
混炼胶存放		20±3℃;约60%				
(丁腈胶)						
医药工业	抗菌素无菌分裂,菌落实验,无菌鉴定等	20	≥55	≥22	≥55	穿无菌工作服要求洁净
	针剂及大输液调配、灌装等	18	≥65	25	≥65	同上
	青霉素片剂	一般	≥55	一般	≥55	

续表

工业类别	工艺名称	冬 季		夏 季		备 注
		温度 ℃	相对湿度, %	温度 ℃	相对湿度, %	
电子工业	1. 半导体器件	全年:22±1℃;50~60% 22±1℃;50~60% 23±5℃;60~70% 23±5℃;60~70%				高净化要求
	精缩					
	光刻					
	扩散					
	蒸发、钝化、外延					
	2. 电真空器件	全年:25±1℃;60~70% 22±2 50~60 24±2 50~60				
	黑白显像管涂屏					
	阴极、热丝涂覆					

不能热压灭菌的注射剂的某些工艺过程要求 1 万级;无菌检验,某些注射剂的灌装及粉针剂的分装等要求局部 100 级。

食品工业相对于制药业对空气环境参数的要求较低。但在食品脱水、速冻、贮存、干燥,以及肉类包装,果汁浓缩和糖果生产等均要求至少具有中效过滤水平的空气调节。

对各种实验室、检验室、计量室、控制室等,则应根据需要创造不同温湿度精度、洁净度,不同空气压力和风速的空气环境。部分人工气候室要求空气的温湿度或其他参数交互变化,以模拟产品需要经受的严格的使用条件,检验产品的质量。

总之,空气调节服务工业生产需要,必须仔细地按工艺过程的要求确定所需控制的空间空气参数,使空气调节设计合理,经济适用,达到保证产品质量,提高劳动生产率和保护劳动者健康的综合目标。

参考文献

- [1] 清华大学等编,《空气调节》,第一章,7~31 页,中国建筑工业出版社,北京,1986 年。
- [2] GBJ 19-87.
- [3] FS 209E^① (U. S. General Services Administration),1992.
- [4] "State of the Art Reviews",vol. 1,Proceedings of Healthy Buildings'88,pp. 109~136,Stockholm,Sweden. 1988.
- [5] 机电部第十设计院编,《空气调节设计手册》,19~24 页,中国建筑工业出版社,北京,1983 年。
- [6] 井上宇市著,范存养等译,《空气调节手册》,中国建筑工业出版社,北京,1986 年。

① 美国联邦标准号。

基本参考文献

1. W. P. 约恩斯著, 谭天佑、梁凤珍译, 《空气调节工程》, 中国建筑工业出版社, 北京, 1989 年。
2. 井上宇市著, 范存养等译, 《空气调节手册》, 中国建筑工业出版社, 北京, 1986 年。
3. W. F. 斯托克, J. W. 琼斯著, 陈国邦等译, 《制冷与空调》, 机械工业出版社, 北京, 1987 年。
4. 早川一也著, 邓守廉等译, 《洁净室设计手册》, 学术书刊出版社, 北京, 1989 年。

kongshi geiyao xitong

控释给药系统 Controlled Release Drug Delivery System

侯惠民 上海医药工业研究院

1. 概述	13	4. 透皮治疗体系	19
2. 口服控释给药系统	15	4.1. 增加药物透皮转运的方法	20
2.1. 骨架型控释片剂	15	4.1.1. 化学渗透促进剂	20
2.1.1. 不溶性骨架片	15	4.1.2. 离子电渗技术	20
2.1.2. 亲水凝胶骨架片	16	4.1.3. 声波促渗透技术	20
2.1.3. 蜡质骨架制剂	16	4.2. TTS 的类型	20
2.2. 微孔膜控制剂	16	4.2.1. 贮库型的硝酸甘油 TTS	20
2.3. 渗透泵型控释制剂	16	4.2.2. 粘合剂分散型的可乐定 TTS	20
2.4. 控释小丸、颗粒、小片	17	4.2.3. 骨架型的硝酸甘油 TTS (nitro-dur)	21
2.5. 胃漂浮口服给药系统	17	4.2.4. 微贮库型的雌二醇 TTS	21
2.6. 生物粘附性给药系统	17	5. 靶向给药系统	21
2.7. 微囊与微球控释制剂	18	5.1. 乳剂	21
3. 粘膜给药系统	18	5.2. 静脉注射混悬剂	21
3.1. 眼粘膜给药系统	18	5.3. 脂质体	21
3.2. 口腔粘膜给药系统	18	5.4. 微球	21
3.2.1. 片剂	19	6. 展望	21
3.2.2. 膜剂	19	参考文献	21
3.3. 阴道和宫内给药系统	19		

任何药物必须制成一定的剂型才能安全、有效、正确、方便地用于治疗,药物在体内的水平是保证用药安全有效的重要条件。除了连续滴注的静脉输液剂外,几乎所有常规剂型的体外释药均按一级动力学进行。重复给药

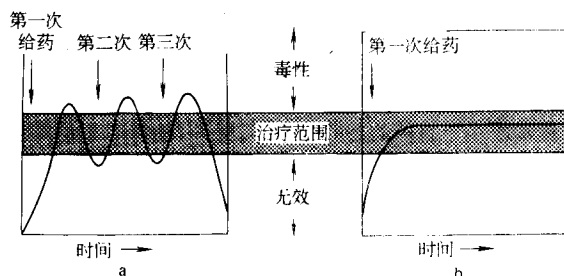


图1 口服后血液中的药物浓度

a. 普通制剂三次给药; b. 控释制剂一次给药

后,体内药物水平呈明显的峰谷现象(图1a),或超过最低中毒浓度,或低于有效治疗水平,导致药物的疗效不佳或毒副作用的出现。为维持药物疗效,必须增加服药次数,特别对一些半衰期短、治疗指数低的药物必须制定复杂严密的治疗方案,使得病人的顺应性较差。

为了减少或消除体内药物水平的峰谷现象,较长时间内维持平稳的药物水平,减少服药次数(图1b),提高病人的顺应性,从60年代后期开始的控释给药系统(controlled release drug delivery system, CRDDS)有了迅速的发展。

1. 概述

Zaffaroni^[1]首先提出控释药物治疗系统的概念,这是指一个含有药物的、能在一固定的时间内按照预定的方式向全身或特定的靶器官连续释放一种或多种药物,