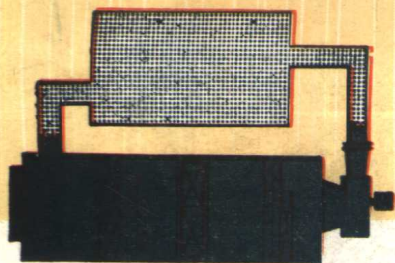


安装工人技术学习丛书

空 调 试 调



中国建筑工业出版社

06227

安装工人技术学习丛书

空 调 试 调

陕西省第一设备安装工程公司

陕西省第八建筑工程公司 编

陕西省建筑工程学校



中国建筑工业出版社

目 录

概 述	1
第一章 空气调节基础知识	5
第一节 空气的物理性质	5
第二节 空气的焓湿图 ($i-d$ 图) 及其应用	18
第三节 集中式空调系统的主要设备——空气调节机	34
第四节 喷水室处理空气	43
第五节 表面冷却器处理空气	66
第六节 处理空气的其它方法	74
第七节 集中式空气调节系统及其运行调节	97
第二章 空气调节系统的试调程序	127
第一节 试调前的准备工作	124
第二节 试调的主要项目和程序	129
第三章 空气调节系统测试的常用仪表	134
第一节 测量温度的仪表	134
第二节 测量空气相对湿度的仪表	168
第三节 测量风速的仪表	175
第四节 测量风压的仪表	182
第五节 其它仪器仪表	199
第四章 空调系统风量的测定与调整	201
第一节 通风机的试运转	201
第二节 风量测定的方法和步骤	204
第三节 通风机性能的测定	222

第四节 系统风量的调整方法	235
第五章 空调机(器)性能的测定与调整	251
第一节 喷水室的试验和调整	252
第二节 表面式换热器(空气冷却器和 空气加热器)的测定	273
第三节 空气过滤器的测定	279
第六章 空调房间内气流组织的测定与调整	282
第一节 射流的基本概念	282
第二节 空调房间的气流组织方式及适用范围	292
第三节 侧送气流的测定与调整	304
第四节 散流器送风气流组织的测定	327
第五节 孔板送风气流组织的测定	332
第七章 空调自动调节系统及其试验调整	342
第一节 自动调节的基本概念	344
第二节 调节设备性能的测定	356
第三节 “露点”温度的自动调节系统	381
第四节 二次加热温度的自动调节系统	413
第五节 室温自动调节系统	425
第六节 空调自动调节新技术的应用	461
第八章 空调系统综合效果的测定	488
第一节 测定内容和测定前的准备工作	489
第二节 测定的方法	495
第三节 测定数据的整理分析	499
第四节 交工验收资料的编制	508
第九章 空调用制冷装置	510
第一节 压缩式制冷的工作原理	510

第二节	活塞式压缩制冷系统的组成	515
第三节	离心式压缩制冷机组	538
第四节	单级压缩制冷循环的热力计算原理及 制冷装置冷量的测定与估算	542
第五节	溴化锂—水吸收式制冷装置的基本原理	555
第六节	蒸汽喷射式制冷的基本原理	564
第十章	局部式、混合式空调系统及消声与减振	570
第一节	局部式空调系统——空气调节机组	570
第二节	诱导式空调系统	586
第三节	风机—盘管空调系统	595
第四节	消声与减振	601
附录一	空气的重量、体积、水蒸汽压力和含湿量表	617
附录二	湿空气 <i>i-d</i> 图(插页)	620
附录三	氨(NH ₃)lg <i>P-i</i> 图(插页)	620
附录四	氟利昂-12(F-12)的lg <i>P-i</i> 图(插页)	620

概 述

随着社会主义建设事业的发展,在许多工业部门(例如,精密机械工业、电子工业、光学仪器制造工业、仪表工业、纺织工业、合成纤维工业、医药工业等)以及计量部门、科研部门的实验室和国防建设中,根据生产工艺的特殊用途,对室内的空气环境提出了一定的甚至比较特殊的要求,即室内保持一定的空气条件,这样的条件通常可用空气的温度、相对湿度、空气的流动速度和洁净度(简称“四度”)来衡量。因此,维持室内的“四度”在一定范围内变化的调节技术就是空气调节,简称“空调”。

针对一项具体的空调工程来讲,对室内空气的“四度”不一定全部都有严格要求。某些空调工程要求室内空气保持一定的基准温度($^{\circ}\text{C}$)和基准相对湿度(%),这里的基准温度和基准相对湿度称为“空调基数”。房间在需要保持规定参数的时间内,工作区的空气温度偏离其基数的允许差值称为室内温度(室温)允许波动范围;工作区的空气相对湿度偏离其基数的允许差值称为室内相对湿度允许波动范围;两者可合称室内温湿度允许波动范围。例如,温度 $t_N = 23 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $\phi_N = 50 \pm 5\%$, 其中 23°C 、 50% 就是空调基数, $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 和 $\pm 5\%$ 就是室内温、湿度允许波动范围。

为了保证产品质量,某些空调房间内的空气温度和相对湿度要求恒定在一定数值范围内。对于这样一些保持室内温

湿度恒定的空调工程通常称为恒温恒湿空调工程。在恒温工程中，按室温允许波动范围大小可分为：大于或等于 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、等于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 和等于 $\pm 0.1\sim 0.2^{\circ}\text{C}$ 的三类。在某些公共建筑，例如体育馆、会堂、宾馆以及某些车间对空调基数不需要恒定，随着室外气温的变化允许温湿度基数在一定范围内变化，例如 $t_N = 18\sim 28^{\circ}\text{C}$ 、 $\phi_N = 40\sim 70\%$ ，这类空调在夏季是以降温为主，通常称为一般空调（或舒适性空调）工程。某些生产工艺房间，不仅要求一定的温湿度，而且对空气的洁净度有严格的要求，这类房间采用的空调就是所谓超净化（简称“超净”）空调工程。在一些地下建筑物、人工洞或洞库内，室内的散湿量很大，需要对送入房间的空气进行除湿处理，以保持室内达到规定的相对湿度，这类空调就是以除湿为主的空调工程。

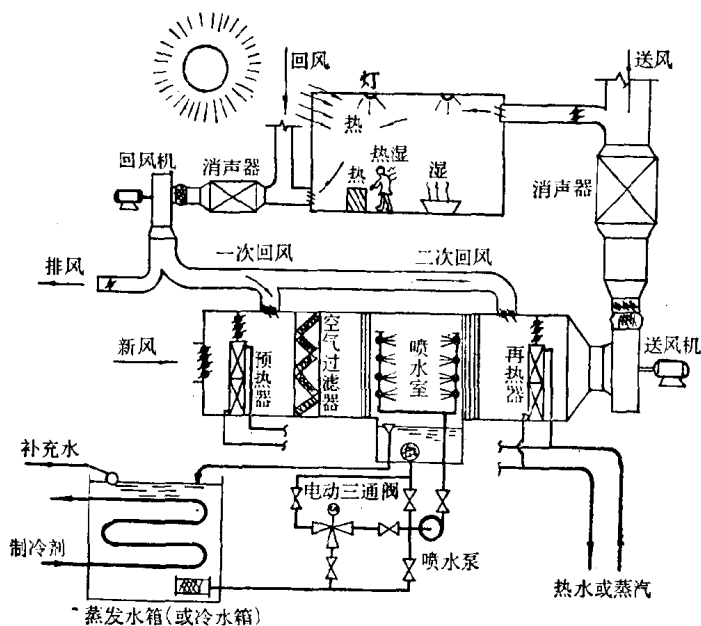
空调设备运行过程中会产生噪声和振动，它们将通过风道和地基传布到空调房间内，影响产品质量，干扰人们的工作和休息，所以对于要求防振和控制噪声的空调工程，应对其采取适当的消减措施。

为了提高空调控制精度，降低经常运行费用和减轻运行人员的劳动强度，在恒温恒湿系统和大面积的空调工程中，一般需要采用自动控制设备进行工作。

影响空调房间内空气环境的因素较多，诸如：室外气象条件的变化，室内人们的活动和生产设备产生热、湿、灰尘，这些因素都会干扰室内空气的温度、湿度和洁净度。我们称这些室外因素的干扰为外扰；室内因素的干扰为内扰。空气调节本身就是所采取的反干扰措施之一。另外，在工艺设备上，在建筑围护结构上，在建筑设备上也要采取适当的反干扰措施，以便维持室内所需要的空气环境。

空气调节就是将空气处理成要求状态后送入空调房间内，以满足“四度”及噪声控制等要求。所以它应由空气处理、空气的输送和分配等设备组成一个完整的空调系统。该系统能够对空气进行冷却、加热、加湿、干燥和净化处理，并能消除传入房间内的噪声；空调系统的运行尚能进行自动控制和检测。对于有特殊要求的房间（如手术室等），空调系统能对空气进行消毒或离子化处理。

图中所示是常见的集中式空调系统示意图。此外还有其它类型的空调系统，例如局部式空调系统（空气调节机组），混合式空调系统（诱导式系统、风机—盘管机组）在各类建筑中得到应用。



集中式空调系统示意图

空气调节在我国还是一门比较年轻的科学。解放以来，在从事空调设备研制、空调系统设计、安装和运行的工人与革命技术人员的共同努力下，本着“洋为中用”和一系列两条腿走路的方针，大搞群众性的技术革新和技术革命运动，闯出了具有我国自己特点的发展空调技术的道路，取得了可喜的成绩。随着空气调节技术的发展，对空调系统的试验与调整工作相应地也提出更高的要求。本书是以介绍工业企业恒温工程的测试与调整技术为主要内容，叙述了试验与调整的程序和操作方法，希望对初学人员能有所帮助。

第一章 空气调节基础知识

第一节 空气的物理性质

空气调节就是将空气进行各种处理（例如加热、加湿、冷却、减湿和过滤等），以满足空调房间工艺要求的一门技术。因此，搞空调就得同空气“打交道”。作为空调调试人员，首先应对空气的成份和物理性质有所了解，并对衡量空气性质的常用状态参数以及它们之间的关系，具有明确的概念。

一、空气的组成

大家知道，人不能离开空气而生存。地球是被一个相当厚的大气层包围着，我们就生活在这个大气的“海洋”里。由于地球表面大部分是海洋、江河和湖泊，总是有大量的水分蒸发为水蒸汽进入大气中，所以，自然界中的空气都是“干空气”和水蒸汽的混合物，叫做“湿空气”。通风空调中提到的空气，都是指的湿空气，简称为“空气”。绝对干燥的空气在自然界中是不存在的。

“干空气”主要是由氮、氧、二氧化碳和少量稀有气体（氮、氦、氩）组成，重量比例如下：

氮 (N_2)	75.55%
氧 (O_2)	23.10%
二氧化碳 (CO_2)	0.05%
稀有气体	1.30%

此外，大气中还夹杂着少量的灰尘、烟雾和细菌。一般情况下，干空气的组成比例基本不变。从卫生的角度来看，要求工作环境的空气新鲜和清洁，一是空气中要保持正常的含氧比例，二是要将空气中的灰尘和有害气体的浓度降低到许可范围内。

湿空气中的水蒸汽含量很少，没有固定的比例，它是随天气的变化和水汽的来源情况而经常改变。实践证明，水汽含量的多少，将直接影响到人们的日常生活和许多工业生产过程，同时在某种程度上也决定着湿空气的热工性质。

二、空气的状态参数

空气的物理性质不仅取决于它的组成成分，而且也与它所处的状态有关。空气的状态可用一些物理量来表示，例如压力、温度和湿度等，这些物理量称为空气的状态参数。

空气调节工程中常用的空气状态参数叙述如下：

1. 压力

流体作用于单位面积上的垂直作用力叫做压强。在工程上，人们往往习惯地把压强简称为压力。在空调工程中，一般所说的“压力”，都是指单位面积上承受的力而言的。

大气压力 包围着地球表面的很厚的大气层对地面产生的压力称为大气压力，常用毫米水银柱表示。

通常以纬度 45° 处海平面上（空气温度为 0°C 时）测得的平均压力等于 760 毫米水银柱，作为一个标准大气压或物理大气压。大气压力随所在地区海拔高度的增高而略有降低。一般来讲，在地面附近，平均每升高 12 米，大气压力就要降低大约 1 毫米水银柱左右。就是在同一地区，也因季节、晴雨等气候变化而稍有变化。

在工程上不用物理大气压，把1.0公斤/厘米²叫做一个工程大气压。在气象工作中还规定一种叫毫巴的压力计算单位。“毫巴”是“巴”的千分之一。所谓1巴就等于10⁶达因/厘米²。1毫巴相当于0.75毫米水银柱。

各种压力计算单位的换算关系如下：

$$\begin{aligned} 1 \text{ 工程大气压} &= 1.0 \text{ 公斤/厘米}^2 = 735.6 \text{ 毫米水银柱} \\ &= 10000 \text{ 公斤/米}^2 \\ &= 10000 \text{ 毫米水柱} \\ &= 980.6 \text{ 毫巴} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ 标准大气压} &= 760 \text{ 毫米水银柱} = 1.0333 \text{ 公斤/厘米}^2 \\ &= 1013.6 \text{ 毫巴} \end{aligned}$$

大气压力的数值可用气压计测得。我国各地的大气压力可从有关规范中查得。值得指出的是，我国幅员广阔，沿海和高原地区大气压力相差很大，以夏季为例，北京大气压为751毫米水银柱，上海大气压为754毫米水银柱，拉萨为489毫米水银柱。由于大气压力不同，空气的一些性质也会不同。因此，在高原地区搞空调调试和运行时，应对大气压力的影响给予足够的注意。

在空调工程中，风道内空气压力的变化比起大气压力来是很小的，为计算方便，常用“公斤/米²”或“毫米水柱”作为计算压力的单位。

水蒸汽分压力 大气是由干空气和水蒸汽组成的混合气体，根据物理知识，大气压力（B）应等于干空气分压力（P_g）与水蒸汽分压力（P_{qi}）的和：

$$B = P_g + P_{qi} \text{ 毫米水银柱} \quad (1-1)$$

而且空气中的水蒸汽占有与干空气相同的体积，水蒸汽的温度就等于空气的温度。显然，空气中水蒸汽含量越多，其分

压力也越大，换句话说水蒸汽分压力的大小直接反映了水汽数量的多少，是衡量空气湿度的一个指标。在空气调节中要经常用到这个参数，例如在讨论空气的加湿和减湿处理过程时，就与空气中的水蒸汽分压力有关。

2. 温度

温度是衡量物质冷热程度的指标。要测量空气的温度须先确定温标。所谓温标就是指衡量温度的标尺，它规定了温度的起点（零点）和测量温度的单位。目前国际上使用的有摄氏温标、华氏温标和绝对温标等。在我国工程上，用摄氏温标居多。

摄氏温标 在标准大气压力下把纯水的冰点定为 0°C ，纯水的沸点定为 100°C ，在冰点和沸点之间分为100等分，每一等分就是摄氏一度，用 t 表示，其单位符号为 $^{\circ}\text{C}$ 。

绝对温标 又叫国际实用温标，是目前国际上通用的一种温标，用 T 表示，其单位符号为 K （读作开尔文）。它是以 -273.16°C 作为计算的起点，将纯水在一个标准大气压下的冰点定为 $273.15K$ ，沸点为 $373.15K$ ，其间相差 $100K$ 。

绝对温标与摄氏温标的关系为

$$T = 273.15 + t \quad (1-2)$$

在不需要精确计算的情况下，可近似认为同一物体的绝对温度比摄氏温度大 273 度。

在空气调节中，温度是一个很重要的参数，它对人的舒适和健康，对生产工艺过程影响很大。

3. 湿度

空气中水蒸汽含量用湿度表示，有以下几种表示方法：

绝对湿度 (γ_{qi}) 在一立方米空气中含有水蒸汽的重量称为空气的绝对湿度，单位是克/米³或公斤/米³。

含湿量 (d) 由于空气体积随温度而变化, 在计算空气处理过程时用绝对湿度不大方便, 又需要引用“含湿量”这个参数。在湿空气中, 与一公斤干空气混合在一起的水蒸汽重量, 称为空气的含湿量, 并用下式表示:

$$d = \frac{G_{qi}}{G_g} \text{ 克水汽/公斤干空气} \quad (1-3)$$

式中 G_{qi} ——水蒸汽的重量, 克;

G_g ——干空气的重量, 公斤。

显然, 如果一公斤干空气与 $\frac{d}{1000}$ 公斤的水蒸汽相混

合, 则湿空气的重量应是 $1 + \frac{d}{1000}$ 公斤。

在一定的温度、压力下, 湿空气中干空气的重量和水蒸汽含量的多少, 往往直接表现为它们分压力的大小。根据理论推导结果, 含湿量可按下式计算:

$$d = 622 \frac{P_{qi}}{P_g} = 622 \frac{P_{qi}}{B - P_{qi}} \text{ 克水汽/公斤干空气} \quad (1-4)$$

式中 P_g 、 P_{qi} ——分别为干空气和水蒸汽的分压力, 毫米水银柱;

B ——大气压力, 毫米水银柱。

从公式 (1-4) 可见, 在一定大气压力下 ($B = \text{常数}$), 空气的含湿量 d 与水蒸汽分压力 P_{qi} 有关, 换句话说, 水蒸汽分压力也只取决于空气的含湿量。它们两个是互相联系的参数。在空气调节中, 含湿量是一个很重要的参数, 它反映出空气实际含有的水蒸汽量。应当注意的是, 含湿量中的“湿”字指的是水汽而不是水。

饱和湿度 (γ_{to}) 为说明“饱和”的概念, 可从日常生活中的一些例子谈起。大家知道, 空气具有吸收和容纳水蒸汽的能力, 比如湿衣服挂在比较干燥的宿舍里就会晾干, 这是因为衣服上的水吸收热量变成水蒸汽散到空气中去了。如果把湿衣服挂在十分潮湿的房间里, 就不易晾干。这说明潮湿房间里的空气能够吸收和容纳水汽的能力较差。

在一定温度下, 空气中的水蒸汽含量达到最大限度(或称饱和量), 再也不能容纳水汽了, 这时会出现多余的水汽变成凝结水的现象, 这种空气状态叫饱和空气。与饱和空气状态相适应的参数有饱和水汽分压力, 饱和绝对湿度和饱和含湿量等。如果空气中的水汽量小于饱和量, 这种空气称为未饱和空气。

在日常生活中, 空气达到饱和状态的例子是很多的。比如在炉子上烧开水, 当水滚开时, 就可以看到从水壶里冒出大量白色的“热汽”, 冬天人们在寒冷的室外说话, 也可以看见从嘴里呼出一团团白色的“热汽”, 这是什么原因呢? 人们往往以为这就是水蒸汽, 其实水蒸汽是无色的, 看不见的。我们所看到的不是别的, 正是周围空气被饱和后, 容纳不了的那一部分多余的水汽凝结成雾状的小水珠, 在光线照射下变成白色的“热汽”。

显然, 空气能容纳水汽的最大值(即饱和绝对湿度)与温度有关, 温度越高, 容纳水汽的量就越大, 反之则小。例如在热天, 人们就看不见人说话时呼出来的白色“热汽”, 就是因为天热, 空气的“胃口”大, 能“吃”掉的水蒸汽量就大。但是, 只要水汽量超过了限度, 即使在夏天, 空气也有“吃”不下水蒸汽的时候, 热天炉子上开水壶里也会冒白气就是这个道理。

相对湿度 (φ) 在空调工程中, 仅用空气的绝对湿度和含湿量, 还不能明确表达该空气状态的干湿程度对生产工艺和人体生理的影响, 因此需要引用“相对湿度”这个参数。

所谓相对湿度是指空气实际绝对湿度接近饱和绝对湿度的程度, 即空气的绝对湿度 (γ_{qi}) 与同温度下饱和绝对湿度 (γ_{bo}) 的比值, 用百分数表示:

$$\varphi = \frac{\gamma_{qi}}{\gamma_{bo}} \cdot 100\% \quad (1-5)$$

根据理论推导结果, 上式也可用水蒸汽分压力 (P_{qi}) 与同温度下饱和水蒸汽分压力 (P_{bo}) 的比值表示:

$$\varphi = \frac{P_{qi}}{P_{bo}} \cdot 100\% \quad (1-6)$$

相对湿度是指空气接近饱和的程度。当 $\varphi = 100\%$ 时, 这种空气就是饱和空气, 例如浴池内的空气就接近饱和状态。处于这样的空气环境中, 水分就不易蒸发。 φ 值越小, 空气越干燥, 吸湿能力越大; $\varphi = 0$, 就是干空气。在空气调节中, 相对湿度这个参数很重要, 经常要用到它。

相对湿度对人体的舒适和健康, 对工业产品质量都有一定的影响。人处在相对湿度很大的空气环境里, 就会感到很闷热、憋气, 在相对湿度很小的环境里, 又会觉得口干舌燥。在某些生产过程中, 从保证产品有一定含水量出发, 对相对湿度也提出了一定的要求。以纺织厂为例, 若空气湿度太大, 会使纱线粘在一起不好加工, 湿度太小, 又会使纤维失去弹性, 容易断线, 产生静电和飞花, 可见相对湿度合适与否, 直接关系到产品的质量。

如生产工艺没有特殊要求, 从人的舒适和健康出发, 一般空调和恒温房间的相对湿度应保持在40~60%之间, 至少

也应在30~70%之间。

4. 焓

焓是指单位重量空气所含有的总热量，即1公斤干空气的焓和 $\frac{d}{1000}$ 公斤水蒸汽焓的总和，用 i 表示，单位是仟卡/公斤。在空气调节中采用焓这个参数是为了计算空气热量的变化（比如加热和冷却），并人为选定 0°C 时干空气的焓和 0°C 时水的焓均为零。

根据物理知识，当物质的物态（固定、液态和气态）无变化时，其含热量的大小可用温度和比热的乘积来表示。对于重量为一公斤、温度为 $t^{\circ}\text{C}$ 的干空气的焓应为：

$$i_g = 0.24t \quad \text{仟卡/公斤} \quad (1-7)$$

式中 0.24——干空气的重量比热，仟卡/公斤 $\cdot^{\circ}\text{C}$ 。

当物质的物态发生变化，比如说从液体转变为气体的过程叫汽化，要吸收热量；而从气体转变为液体的过程叫液化，要放出热量。大家知道，湿空气中的水蒸汽就是由于水吸收了汽化热而变成的。当温度为 0°C 时，一公斤水变成水汽所吸收的汽化热为595仟卡，所以一公斤 0°C 时的水蒸汽就具有595仟卡的热量。那么，一公斤 $t^{\circ}\text{C}$ 的水蒸汽的焓应为：

$$i_{gi} = 595 + 0.47t \quad \text{仟卡/公斤} \quad (1-8)$$

式中 0.47——水蒸汽的重量比热，仟卡/公斤 $\cdot^{\circ}\text{C}$ 。

实际上，湿空气中含有的水蒸汽量只有 $\frac{d}{1000}$ 公斤/公斤干空气，于是空气的焓应为：

$$i = i_g + i_{gi} = 0.24t + (595 + 0.47t) \frac{d}{1000} \text{仟卡/公斤} \quad (1-9)$$