

纺织新技术书库⑩

纺织空压技术

李宗耀 编
张锦荣 审
潘大绅



中国纺织出版社

前 言

改革开放以前,纺织工业除化纤生产使用压缩空气外,其他如:棉、毛、丝、麻等生产加工,几乎不接触压缩空气。随着改革开放,纺织工业陆续引进了国外先进纺织机械,国内纺织机械也在不断创新,从而使纺织工业的装备发生了很大的变化,压缩空气几乎成为各生产工序必要的动力手段,特别是喷气织机及自动络筒,压缩空气已成为决定其生产好坏的关键因素之一。目前我国喷气织机大部分为引进设备,为了保证压缩空气的品质要求,大部分企业均同时引进了国际上先进的空压机,这对整个空压设备及系统管理提出了较高的要求,但生产企业往往缺乏具有这方面专业知识的技术及管理人员,由于管理不善,压缩空气品质得不到保证,从而严重影响生产。为此在无锡市纺织专家、教授级高工郭孝承和纺织学会秘书长张进新的倡导下,请无锡市纺织工程学会空调专业委员会主任李宗耀高级工程师编写了此书,以期满足此类技术人员培训之需。

本书主要是为使用压缩空气的纺织企业技术人员和管理人员服务。它提供了较为全面的空压技术资料,从空气性质和空压机工作原理到管理规程及设计选用,特别对目前纺织企业使用较多的主要品牌空压机[如美国英格索兰(Ingersoll-Rand)、瑞典阿特拉斯(Atlas Copco)、日本神钢、美国寿力(SULLAIR)以及国内生产的主要空压设备]均作了较为详细的介绍,并收集了大量空压设备操作、维护保养

及管理方面的宝贵经验,既有必要的理论知识,又有丰富的实践经验,是纺织企业从事空压设计和管理的领导、科技人员、操作人员良好的学习参考资料。

本书在编写过程中,请有关科技人员进行多次集体审稿,并得到无锡新纺织有限公司(一棉)李庆庆工程师、庆丰纺织有限公司(二棉)龚国富工程师、第三棉纺织厂孙旭东工程师和第四棉纺织厂副主任许荣国工程师的帮助,最后由中国纺织工程学会空调专业委员会副主任张锦荣高级工程师和潘大绅高级工程师精心审阅定稿。同时还得到阿特拉斯公司、英格索兰公司、寿力公司、无锡压缩机股份有限公司、无锡优元公司的大力帮助,在此一并表示谢意。

限于我们的知识与经验不足,本书在内容和编排方面难免存在缺点和错误,恳请读者批评指正。

无锡市纺织工程学会

2000年7月

目 录

概论	1
第一章 空气压缩机理	3
第一节 空气的物理性质	3
一、空气的组成	3
二、空气的状态参数	3
第二节 空气压缩机的分类及应用范围	12
一、空气压缩机的分类	12
二、空气压缩机的型号	13
三、各类型空气压缩机的应用范围	15
第三节 空气压缩机的工作原理及特点	15
一、往复活塞式空气压缩机	15
二、螺杆式空气压缩机	17
三、离心式空气压缩机	18
第二章 纺织厂几种常用的空气压缩机	21
第一节 活塞式空气压缩机	21
一、单级压缩机	21
二、二级压缩机	26
第二节 螺杆式空气压缩机	29
一、无油螺杆式空气压缩机	29
二、喷油螺杆式空气压缩机	45

三、使用润滑液的无油空气压缩机	49
第三节 离心式空气压缩机	57
一、主要组成部分和结构	57
二、工作流程	62
三、离心式压缩机的喘振	64
第三章 空压系统的主要附属设施	67
第一节 冷却系统	67
一、空气冷却系统	67
二、水冷却系统	68
第二节 空气净化装置	75
一、空气过滤器	75
二、空气干燥机	78
三、除油装置	90
第三节 储气罐	92
一、储气罐的作用	92
二、储气罐的配置	92
第四节 干燥净化空气的检测方法	94
一、露点分析	94
二、尘埃测定	97
三、测定仪器性能简介	98
第四章 纺织厂空压设备的操作、维护保养及管理	99
第一节 操作规程	99
一、活塞式空压机的操作规程	99
二、螺杆式空压机的操作规程	100
三、离心式空压机操作规程	102
四、冷却塔操作规程	103
五、空气干燥机操作规程	103
第二节 维护保养	105
一、空压机及附属设备的完好标准	106
二、空压机维护保养检查标准	107

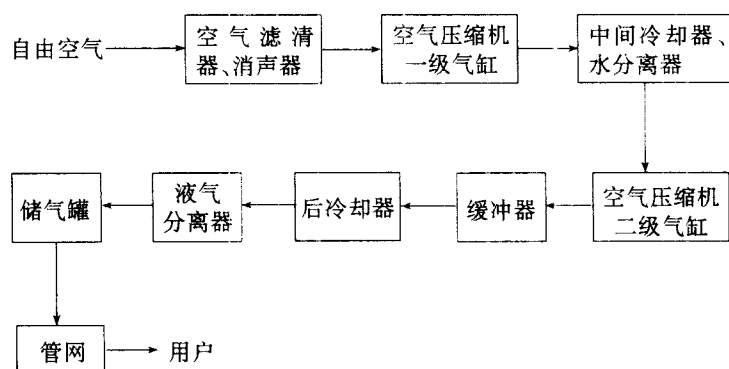
三、空压机组的运行参数	107
四、润滑管理计划	109
五、保养周期计划	111
六、常见故障分析及处理方法	115
第三节 空压站的管理制度	127
一、操作工岗位责任制	127
二、空压机房巡回检查制度	128
三、空压机房安全保卫制度	128
四、配电柜操作规程	129
五、空压机安全操作规程	129
六、空压站设备点检制度	129
七、空压站设备运行记录制度	129
第四节 压力容器使用管理规范	142
一、使用与管理	142
二、定期检验	144
三、安全附件	145
 第五章 压缩空气站的安全和节能	 147
第一节 压缩空气站的燃爆事故和原因	147
一、积炭及分解物的形成	147
二、温度在燃爆中的作用	147
第二节 燃爆事故的防止方法	148
一、减少和清除积炭	148
二、降低气体温度	149
三、改善操作方法	149
第三节 压缩空气站的消声设计	149
一、国家现行的噪声控制标准、规范	149
二、压缩空气站的噪声及其影响因素	150
三、噪声声压级的计算	153
第四节 防振	154
一、振动的危害及原因	154
二、振动的控制标准	155

三、压缩空气站振动防治措施	156
第五节 空压系统的节能措施	157
一、系统设计和选型	157
二、干燥器的选择	158
三、自动化计量仪表设置及管理	159
四、能量回收	159
第六章 压缩空气站的系统设计	165
第一节 设计原始资料及供气方案的确定	165
一、设计原始资料的确定	165
二、压缩空气供应方案的确定	165
三、压缩空气量的换算	166
四、站房设计中的负载计算	167
第二节 空压机的选型	168
第三节 压缩空气的品质要求及选择	171
一、空气品质等级的划分	171
二、喷气织机对压缩空气的要求	174
第四节 空压站设计	174
一、空压站位置的选择	174
二、空压机台数的确定	177
三、附属配套设施的设计和选择	177
第五节 车间管网设计	178
第六节 设计示例	180
附录	184
附录 1 湿空气的密度、水蒸气压力、含湿量和焓	184
附录 2 单位名称、符号、工程单位与国际单位的换算	186
附录 3 常用国家法定计量单位	187
附录 4 不同压力、温度下的空气密度	188
附录 5 全国各主要城市空气温度及大气压力参考数据	190
附录 6 不同海拔高度处的大气压力	193
附录 7 海拔高度与压缩空气流量关系表	194

附录 8	不同压力下的空气饱和含湿量	194
附录 9	不同露点下空气中的水分	195
附录 10	湿空气焓湿图	196
附录 11	压力容器安全状况等级的划分和含义	196
附录 12	压力容器的压力等级和品种划分	197
附录 13	阿特拉斯公司 ZR/ZT 型无油螺杆式空气压缩机 技术参数	198
附录 14	阿特拉斯公司 MD 吸附式干燥器技术参数	200
附录 15	阿特拉斯公司 GA 系列喷油螺杆式压缩机技术参数	200
附录 16	阿特拉斯公司 FD 型冷冻式空气干燥机技术参数	204
附录 17	寿力公司 24KT 型单段螺杆式空气压缩机技术参数	206
附录 18	寿力公司 24KT 型双段螺杆式空气压缩机技术参数	209
附录 19	寿力公司 PCR 型空气组合过滤器技术参数	211
附录 20	英格索兰公司 SIERRA 型无油螺杆式空气压缩机 技术参数	212
附录 21	无锡压缩机股份有限公司生产的空压机技术参数	213
附录 22	无锡优元公司冷冻式压缩空气干燥机技术参数	222
附录 23	全国主要空气压缩机及其辅助设备生产厂家和本书 主要资料提供厂商通讯录	231
参考文献和资料来源		233

概 论

空压技术即空气压缩技术,它是把常压下的空气经压缩机压缩成压强大于大气压的一门技术,压缩空气的产生过程为:自由空间的空气经过空气过滤器进入空气压缩机内,经压缩,使体积缩小,压力变高,再通过管道排出,此时的空气即为压缩空气。空气在压缩过程中会产生一定热量,使空气温度提高,不利于压缩机的持续运行及降低能耗,因此压缩空气在生产过程中尚需经过冷却、分离油水和固体杂质等,压缩空气的基本生产流程如下:



压缩空气作为一种动力源,无论在生产和生活中,它都有广泛的应用。它可以带动气锤、风铲、风镐、风动砂轮、铆钉轮等风动机械和风动工具进行金属加工、矿山开采、挖掘隧道、铆接桥梁等;还可以用来喷砂、喷漆、搅拌、输送物料以及控制仪表及自动化装置等。因此压缩空气在机械制造、交通运输、建筑、采矿、化工、冶金及国防工业等许多部门中都有大量使用。特别是煤矿,由于风动机械在使用中不会产生火花,可以防止瓦斯爆炸,因此压缩空气的应用是很广泛的。

20 世纪 80 年代以前,空压技术在纺织工业生产上应用较少,随着现代纺织技术的不断发展,压缩空气得到了十分广泛的应用。主要应用在纤维物料输送、轧辊加压、移动工位、喷射气流加工、射流自控技术、清洁部件、机台等方面。特别是在原为电子检测自控技术方面,由于纺织生产环境受温湿度、粉尘等变异因素的影响,易产生判断失真,所以其中部分自控技术逐渐已被压缩空气技术所取代。喷气织机的生产主体是以压缩空气作为引纬载体的,对压缩空气的质量和压力的要求尤其严格。

现将纺织企业在部分生产设备上应用压缩空气的情况简述如下表:

纺织企业应用压缩空气的情况

工 序	设 备 名 称	部 位	作 用
纺 纱	混棉机	储棉仓	气动翻板
	梳棉机	车肚	气流自动出车肚
	并条、粗纱、细纱机	牵伸部分	罗拉气动加压
	条卷机	卷取部位	气动加压
	喷气纺纱机	加捻部位 接头器	气流喷射加捻 气流喷射捻接
	络筒(短纤、长丝)机	接头器	气流喷射捻接
织 造	浆纱机	压浆辊 车头部位	气动加压 气动自动落轴
	喷气织机	储纬部分 边撑部分	气流输送纬纱 气流喷射使边纱纳入织口
	片梭织机	开口部分	气动控制多臂开口
针 织	大圆机	导纱管 纱架	气流穿引纱线 气流喷洒油雾
	转盘式印花机	印花部位	气动控制印花框升降
	袜机	落袜部位	气流吹击落袜
染 整	烧毛机	火口部位	气动火口移位
	罐蒸机	罐体门	气动开启、紧闭
	溢流染色机	罐内	气动冲击坯布流动达到匀染效果
	水洗、染色轧车	轧辊	气动捻起、加压
	呢毯整理机		气流检测控制坯布跑偏
	染色机	染槽	气流检测控制液面高度
	剪呢机	剪毛部位	气动自控呢面高低位置
化 纤	切片运送线	料仓—干燥室	气流管道输送
	短纤纺丝生产线	卷曲机压辊 干燥—成色	气动加压 气流管道输送
	高速纺丝机	网络变形部位 卷绕头部位	气流喷射产生网络 气动自动落筒
	空气变形机	网络变形部位 变形部位	气流喷射产生网络 气流喷射缠结变形
	弹力丝机	网络变形部位 导丝管部位	气流喷射产生网络 气流穿引原丝
	纺丝生产线	仪表控制部位	通过射流方式实现气动自动控制
其 他	空调	仪表控制部位	气动自动控制
	除尘、清洁	各类纺织设备、环境	气流喷射除尘

第一章 空气压缩机理

第一节 空气的物理性质

空气压缩机的原料是空气,而空气是多种气体的混合物,同时空气中还存在水蒸气。因此,了解和掌握空气的物理性质是很有必要的。

一、空气的组成

围绕地球表面的空气层称为大气。它是由干空气和水蒸气两部分组成的,其中,干空气是由氮、氧、氩、二氧化碳、氦和其他一些微量气体所组成的混合气体。各组成气体在空气中的百分比参见表 1-1。

表 1-1 干空气的组成成分

组成气体(分子式)	干空气含量/%		分子 量
	按 容 积	按 质 量	
氮(N ₂)	78.08	75.52	28.02
氧(O ₂)	20.94	23.15	32.00
氩(Ar)	0.93	1.28	39.88
二氧化碳(CO ₂)	0.03(变化)	0.05	44.00
氦(He)	0.0018	—	20.18
氖(Ne)、臭氧(O ₃)、氢(H ₂)、氪(Kr)、氙(Xe)等	0.00061	—	—
干空气	100	100	28.97

这种绝对的干空气在自然界通常是不单独存在的。空气中除了干空气之外,还包含有水蒸气,我们把干空气和水蒸气的混合物称为湿空气。通风空调中使用的空气就是湿空气(简称空气)。湿空气中的水蒸气含量很少,一般只占 0.2%~4%,它来源于海洋、江河、湖泊和田野表面水分的蒸发,以及各种生物(人、动植物)的生理过程和生产过程。在空气中,水蒸气的含量不论是绝对值还是相对值都不是恒定不变的,而是随着季节、气候、湿源等各种条件的变化而改变的。值得注意的是,湿空气中水蒸气含量的变化很大,空气中水蒸气含量的多少决定了空气的潮湿程度,对人体健康和纺织生产的产品质量、工艺过程和设备维护等都有很大影响。因而湿空气中水蒸气含量的多少,在研究和使用湿空气时是不容忽视的。

二、空气的状态参数

空气的物理性质不仅与它的组成成分有关,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,这些物理量统称为空气的状态参数。现将常用的空气状态参数简述如下:

1. 压力 气体垂直作用在器壁单位面积上的力称为压力,是由大量分子撞击器壁的结果。设 G 为总的垂直作用力, F 表示面积,则压力 P 可表示为:

$$P = \frac{G}{F} \tag{1-1}$$

压力单位有很多,在法定单位制中,常用帕斯卡(Pa)表示:

$$1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$$

在工程单位制中,过去常用千克力/米²(kgf/m²)或千克力/厘米²(kgf/cm²)和液柱(水柱、汞柱)高等表示。

(1)大气压力(B):在地球表面有一层很厚的空气层压在地面上,我们把这种在地面上单位面积所受到大气的作用力称为大气压力。

大气压力不是定值,它除了与所在地区的海拔高度有关外,还与季节、天气有关。如我国东部的上海市海拔为 4.5m,设计室外气象参数,夏季的大气压力为 1005.3hPa(百帕),冬季为 1025.1hPa;而我国西藏高原的拉萨市海拔为 3658.0m,设计室外气象参数,夏季的大气压力为 652.3hPa,冬季的大气压力为 650.0hPa,显然气压要比沿海城市低很多。大气压力的不同,空气参数也要发生变化。为了工程上计算和使用的方便,通常以纬度 45°处海平面上(空气温度为 0℃ 时)测得的平均压力,作为国际上规定的标准大气压(atm)或物理大气压,即:

$$1\text{atm} = 101325\text{Pa} = 1013.25\text{hPa}$$

各种单位制的压力换算关系见表 1-2。

表 1-2 压力换算表

单位名称	法定计量单位		非法定计量单位				
	帕斯卡 Pa	千帕斯卡 kPa	巴 bar	毫巴 mbar	千克力/米 ² kgf/m ²	标准大气压 atm	毫米汞柱 mmHg
1 Pa	1	10 ⁻³	10 ⁻⁵	10 ⁻²	0.101972	9.86923 × 10 ⁻⁶	7.50062 × 10 ⁻³
1 kPa	10 ³	1	10 ⁻²	10	101.972	9.86923 × 10 ⁻³	7.50062
1 bar	10 ⁵	10 ²	1	10 ³	10197.2	9.86923 × 10 ⁻¹	7.50062 × 10 ²
1 mbar	10 ²	10 ⁻¹	10 ⁻³	1	10.1972	9.86923 × 10 ⁻⁴	7.50062 × 10 ⁻¹
1 kgf/m ² (mmH ₂ O)	9.80665	9.80665 × 10 ⁻³	9.80665 × 10 ⁻⁵	9.80665 × 10 ⁻²	1	9.6784 × 10 ⁻⁵	7.35559 × 10 ⁻²
1 kgf/cm ² (at)	9.80665 × 10 ⁴	9.80665 × 10	9.80665 × 10 ⁻¹	9.80665 × 10 ²	10 ⁴	9.6783 × 10 ⁻¹	735.559
1 atm	101325	101.325	1.01325	1013.25	10332.3	1	760
1 mmHg	133.332	0.133332	1.33332 × 10 ⁻³	1.333320	13.5951	1.31579 × 10 ⁻³	1

压力的度量基准有两种。一种以绝对零压力(或绝对真空)为基准,这种以绝对零压力为基准的压力称为绝对压力 P_j ;另一种以大气压力为基准。一般测压计上指示的压力值为表压力 P_b ,是绝对压力与大气压力之差值。当绝对压力大于大气压力时,绝对压力与大气压力之差称为表压力;当绝对压力小于大气压力时,则大气压力与绝对压力之差称为真空度 P_z 。上述两种度量基准的压力关系可以用下式表示:

当 $P_j > B$ 时, 则:

$$P_j = B + P_b \quad (1-2)$$

当 $P_j < B$ 时, 则:

$$P_j = B - P_z \quad (1-3)$$

式中: P_j ——绝对压力;

P_b ——表压力;

P_z ——真空度;

B ——当地大气压力。

由此可知, 表压力和真空度均为相对值, 它们都不能表示真实压力的大小, 只有绝对压力才是真实压力, 所以绝对压力是气体的基本状态参数。图 1-1 为绝对压力与相对压力的换算关系示意图。

例 1-1 压力表指出容器中气体的压力为 1470hPa, 当地大气压力为 1027hPa, 求容器中气体的绝对压力, 如图 1-2 所示。

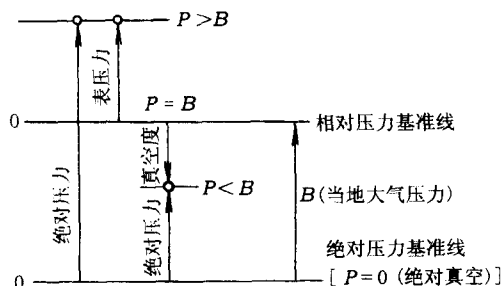


图 1-1 绝对压力与相对压力换算关系示意图

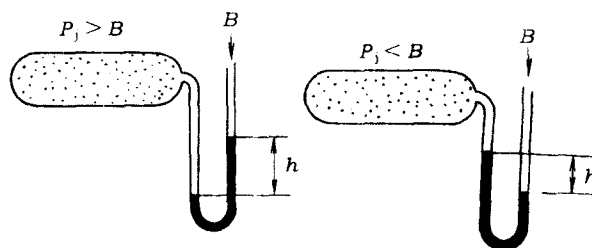


图 1-2 绝对压力示意图

解 已知 $P_b = 1470\text{hPa}$ $B = 1027\text{hPa}$

由式(1-2)可得容器中气体的绝对压力为:

$$P_j = B + P_b = 1027 + 1470 = 2497(\text{hPa})$$

例 1-2 已知某容器内的压力低于大气压力, 由真空压力表指针读数为 307hPa, 当地大气压力为 1020hPa, 试求蒸发器内的绝对压力是多少?

解 已知 $P_z = 307\text{hPa}$ $B = 1020\text{hPa}$

由式(1-3), P_z 为真空度, 可得:

$$P_j = B - P_z = 1020 - 307 = 713(\text{hPa})$$

(2) 水蒸气分压力(P_q): 所谓气体分压力, 是假定混合气体中各组成气体单独存在, 并具有与混合气体相同的温度和容积时各组成气体的压力。

根据道尔顿定律, 混合气体的压力等于混合气体各组成气体的分压力之和。即混合气体各组成气体分子的运动不因存在其他分子而受影响, 好像单独存在于混合气体的容积中运动一样, 这是由理想气体的假定而来的, 故道尔顿定律, 只适用理想气体。

湿空气符合理想气体规律, 由于它是由空气与水蒸气组成的混合气体, 因此, 湿空气的总压力(大气压力 B)等于干空气的分压力 P_g 与水蒸气的分压力 P_q 之和, 即:

$$B = P_g + P_q \quad (1-4)$$

式中: B ——湿空气的总压力;

P_g ——干空气的分压力;

P_q ——水蒸气的分压力。

空气中的水蒸气分子充满于空气整个容积之中(即与该空气占有相同的容积),其温度等于空气的温度。湿空气的质量等于干空气的质量与水蒸气的质量之和。水蒸气、干空气以及二者混合成的湿空气三者之间的体积、温度、压力、质量的关系,可用图 1-3 表示。

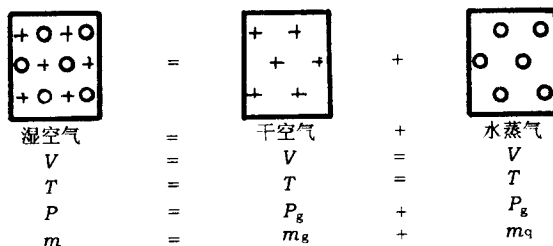


图 1-3 湿空气、干空气、水蒸气三者的 V 、 T 、 P 、 m 的关系

湿空气中水蒸气含量愈多,其分压力也愈大,水蒸气分压力的大小直接反映空气中水气数量的多少,它是衡量空气湿度的一个指标。在空调工程中,空气的加湿与去湿处理过程就是水分蒸发到空气中去或水气从空气中凝结出来的湿交换过程,这种交换和空气中的水气分压力是有关系的。

2. 温度 温度表示物体的冷热程度,反映了物体分子运动的激烈程度,是分子运动平均动能的宏观表现。温度的数值表示称为“温标”。常用的温标有两种:

(1) 开尔文温标:在国际单位制中,热力学温标采用“开尔文”作为度量温度的单位,以 T 表示,单位为“开尔文”,用符号 K 表示,简称开氏温标或绝对温标。根据国际计量大会的决定,水的三相点的热力学温度定为 $273.16K$ 。这种规定说明, $1K$ 即是水的三相点的热力学温度的 $1/273.16$,而温标的零点在水三相点以下 $273.16K$ 处。

(2) 摄氏温标:在国际单位制中,摄氏温标以 t 表示,单位为摄氏度,用 $^{\circ}C$ 表示。

摄氏温标是目前国际上实用的温标,它是在标准大气压下、纯水的冰点定为 $0^{\circ}C$,纯水的沸点定为 $100^{\circ}C$,把这两固定点之间分成 100 等分,每 1 分格为 $1^{\circ}C$ 。

3. 湿度 湿度是表示空气中含有水气量多少的参数,也可以说湿度是表示空气潮湿的程度。

表示空气湿度的方法有以下三种:

(1) 绝对湿度(r_q): $1m^3$ 湿空气中含有水气的质量(以 g 计)称为空气的绝对湿度,以 $r_q(g/m^3)$ 表示。

按照道尔顿定律,在 $1m^3$ 湿空气内,由于气体分子的自由扩散运动,其中水气所占有的容积也是 $1m^3$ 。因此,绝对湿度是单位容积湿空气中水蒸气的质量克数,可用下式表示:

$$r_q = \frac{m_q}{V_q} \times 1000 \quad (1-5)$$

式中: m_q ——水蒸气的质量(kg);

V_q ——水蒸气的容积, 即湿空气的容积(m^3)。

由湿空气状态方程式 $P_q V_q = m_q R_q T$ 变换后可得:

$$r_q = \frac{m_q}{V_q} \times 1000 = \frac{P_q}{R_q T} \times 1000 = \frac{P_q}{461 T} \times 1000 = 2.17 \frac{P_q}{T} \quad (1-6)$$

式中: P_q ——湿空气中水气分压力(P_a);

R_q ——水蒸气的气体常数[J/(kg·K)];

T ——湿空气的绝对温度(K)。

由式(1-6)可知, 当空气温度一定时, 水气分压力 P_q 愈大, 则绝对湿度 r_q 也愈大。同时, 还可知绝对湿度和温度有关, 在同一水气分压力下, 温度愈高, 绝对湿度愈小, 这是因为温度升高后空气体积膨胀, 以致单位容积内水气量减少, 故绝对湿度变小。正是由于绝对湿度随着水气分压力 P_q 和绝对温度 T 两个参数的变化而变化, 所以在计算过程中用绝对湿度不能确切地反映空气中水气量的多少, 为此, 常用含湿量这一参数。

(2)含湿量(d): 湿空气是由干空气和水蒸气所组成, 湿空气的质量是干空气的质量与水蒸气的质量之和。湿空气的含湿量 d (g/kg 干) 是指: 内含 1kg 干空气的湿空气中所含水蒸气的质量克数, 用下式表示:

$$d = \frac{m_g}{m_g} \times 1000 \quad (1-7)$$

式中: m_q ——湿空气中水蒸气的质量(kg);

m_g ——湿空气中干空气的质量(kg)。

这就是说 1kg 干空气中混有 d g 水气, 这时, 湿空气的质量为 $(1 + d/1000)$ kg, 因此, 也可以说是在 $(1 + d/1000)$ kg 的湿空气中所含水蒸气的质量。如果用单位质量的湿空气中所含水蒸气量来表示空气的湿度, 即 m_q/m (m 为湿空气的质量), 这时随着 m_q 的变化, m 必定也变化, 因而 m_q/m 的分子分母都跟着变, 就不能确切地反映湿空气中水气量的多少。所以, 工程上利用湿空气中的干空气在状态变化过程中其质量不变的特点, 采用含湿量来表示空气中含有水气量的多少是很明确而很方便的。

例 1-3 已知有 100kg 湿空气, 其中干空气的质量为 97kg, 试求该空气的含湿量。

解 该湿空气中所含水气的质量为:

$$m_q = m - m_g = 100 - 97 = 3(\text{kg})$$

$$d = \frac{m_g}{m_g} \times 1000 = \frac{3}{97} \times 1000 = 31(\text{g/kg 干})$$

根据理想气体状态方程式 $P_g V_g = m_g R_g T_g$ 、 $P_q V_q = m_q R_q T_q$, 就可求得含湿量 d (g/kg 干) 的计算式:

将 $m_g = \frac{P_g V}{R_g T}$ 和 $m_q = \frac{P_q V}{R_q T}$ 代入式(1-7)可得:

$$d = \frac{m_q}{m_g} \times 1000 = \frac{\frac{P_q V}{R_q T}}{\frac{P_g V}{R_g T}} \times 1000 = \frac{P_q V}{R_q T} \times \frac{R_g T}{P_g V} \times 1000 = \frac{R_g}{R_q} \times \frac{P_q}{P_g} \times 1000$$

因为 $R_g = 287$, $R_q = 461$

$$\text{所以} \quad d = \frac{287 P_q}{461 P_g} \times 1000 = \frac{287}{461} \times \frac{P_q}{B - P_q} \times 1000 = 622 \frac{P_q}{B - P_q} \quad (1-8)$$

由含湿量公式可以看出,当大气压力 B 一定时,水蒸气分压力 P_q 愈大,含湿量也愈大,如果含湿量不变,水蒸气分压力将随着大气压力的增加而上升,随着大气压力的减小而下降。

含湿量与水蒸气分压力 P_q 是两个相关的参数。

含湿量是空气的一个重要状态参数。它确切地表示了空气中实际含有的水蒸气量,所以在空气调节加湿和去湿过程的计算中,都用含湿量的增减量来表示加湿量和去湿量。

湿空气的绝对湿度和含湿量都是表示空气中含有水蒸气量的参数,却不能表示空气的潮湿程度,因为空气的潮湿程度不仅和实际含有的水气量有关,还和空气的温度及压力有关,为了表示空气的潮湿程度,工程中常应用相对湿度。

在一定温度下,一定量的空气中能容纳的水蒸气量是有限度的,当达到最大限度时,就不能再吸收水蒸气了,这时的空气称为饱和空气,如果超过了这个最大的限度,多余的水蒸气就会从空气中凝结出来,形成雾。饱和空气的湿度即称为“饱和湿度”。相应的存在饱和水蒸气分压力 P_b 、饱和绝对湿度 r_b 和饱和含湿量 d_b 。当大气压力为 1013.25hPa 时,不同温度下湿空气的饱和水蒸气分压力、饱和绝对湿度、饱和含湿量的值可以从附录 1 表中查得。由表可见,随着空气温度的升高,饱和湿度随之增加。

饱和绝对湿度 $r_b(\text{g}/\text{m}^3)$ 可以将公式(1-6)写成:

$$r_b = 2.17 \frac{P_b}{T} \quad (1-9)$$

饱和含湿量 $d(\text{g}/\text{kg 干})$ 可以利用公式(1-8)等式成:

$$d_b = 622 \frac{P_b}{B - P_b} \quad (1-10)$$

在未饱和空气中,还能吸收一定的水气量,空气中的水蒸气量与该温度下的饱和量相差愈大,说明空气可以吸收的水蒸气量(即吸湿能力)亦愈大,当未饱和空气的绝对湿度 r_q 小于同温度下的饱和绝对湿度 r_b 时,这时 1m^3 的空气还可吸收 $\Delta r = r_b - r_q$ 的水气量。例如,温度为 16°C 、 $r_q = 13.6\text{g}/\text{m}^3$ 和温度为 40°C 、 $r_q = 25.5\text{g}/\text{m}^3$ 的两种空气,从 r_q 的大小比较似乎后一种空气要比前一种空气潮湿得多。可是,前者空气的饱和绝对湿度 $r_b = 13.6\text{g}/\text{m}^3$,这种空气中的水气量已经达到饱和,不能再吸湿了,而后者空气的饱和绝对湿度 $r_b = 51\text{g}/\text{m}^3$, r_q 比 r_b 小得多,这种空气尚能吸收 $51 - 25.5 = 25.5\text{g}/\text{m}^3$ 水蒸气,所以从吸湿能力来看,后者比前者大得多。

为了清楚地表明某一状态空气的潮湿程度,工程上常应用相对湿度这一参数。

(3)相对湿度(φ):空气的绝对湿度 r_q 与同温度下饱和绝对湿度 r_b 的比值称为相对湿度,

即:

$$\varphi = \frac{r_q}{r_b} \times 100\% \quad (1-11)$$

上式表明了某一空气的绝对湿度接近饱和绝对湿度的程度。在一定温度下, r_q 愈大, φ 就愈大, 这时空气就愈潮湿; 反之, r_q 愈小, φ 也愈小, 说明空气愈干燥。当 $\varphi = 100\%$, 空气中含有水蒸气量已达到最大, 就是饱和空气; 而当 $\varphi = 0$ 时则是干空气。因此, 用相对湿度这个指标能较明确地表示空气的潮湿程度。

相对湿度也可用空气中实际存在的水蒸气分压力与同温度下饱和水气分压力的比值表示。根据式(1-6)、式(1-9), 将 r_q 、 r_b 代入式(1-11), 可得:

$$\varphi = \frac{P_q}{P_b} \times 100\% \quad (1-12)$$

将式(1-12)得 $P_q = \varphi P_b$, 代入式(1-8), 可得含湿量的另一算式:

$$d = 622 \frac{\varphi P_b}{B - \varphi P_b} \text{ (g/kg 干)} \quad (1-13)$$

由式(1-13), 可得:

$$\varphi = \frac{dB}{(622 + d)P_b} \times 100\% \quad (1-14)$$

通常把 d/d_b 的比值称为空气的饱和度, 以符号 Ψ 表示, 它不等于空气的相对湿度 φ 。因此, 根据式(1-8)、式(1-10)可得:

$$\Psi = \frac{d}{d_b} = \frac{622 \frac{P_q}{B - P_q}}{622 \frac{P_b}{B - P_b}} = \frac{P_q}{P_b} \times \frac{B - P_b}{B - P_q} = \frac{\varphi}{100\%} \times \frac{B - P_b}{B - P_q} \quad \text{或} \quad \varphi = \Psi \frac{B - P_q}{B - P_b} \times 100\%$$

因为

$$P_q < P_b, \text{ 即 } \frac{B - P_q}{B - P_b} > 1$$

所以

$$\varphi > \Psi$$

由于 B 比 P_q 和 P_b 大得多, 如果把 $B - P_q/B - P_b$ 看成等于 1, 只会造成约 2% 的误差。因此, 在工程计算上将相对湿度可近似表示为:

$$\varphi = \frac{d}{d_b} \times 100\% \quad (1-15)$$

相对湿度是衡量空气潮湿程度的一个重要指标, 纺织厂各车间对空气的相对湿度都有一定的要求。

例 1-4 车间内空气的温度为 30°C , 相对湿度为 60%, 大气压力为 101325Pa, 求车间内空气的水蒸气分压力、空气的绝对湿度和含湿量。

解 由附录表 1, 根据 $t = 30^\circ\text{C}$, 查得饱和水气分压力 $P_b = 4232\text{Pa}$, 则

①空气中水气分压力

$$P_q = \varphi P_b = 60\% \times 4232 = 2539(\text{Pa})$$

②空气的绝对湿度