

**表4-1 阿姆斯壮加湿器选型指南**

	有集中蒸汽供应			无集中蒸汽供应					
	工厂蒸汽, 无化学危害担忧	有化学危害担忧, 加湿量<350千克/小时	有化学危害担忧, 加湿量>350千克/小时	蒸汽产生于去离子水	硬水, 很少维护	自来水, 价格因素比性能更关键	去离子水, (电加热型)	燃气型, 自来水或去离子水, 加湿量<200千克/小时, 控制要求不严	低维护要求, 低运行成本, 要求蒸发冷却型
空气输送系统, 可见蒸汽段控制要求严格*	C	D/L	E/C	C	F/L	G/L	F/L	H/L	—
空气输送系统, 可见蒸汽段控制要求不严格	A	D/K/O	E/A	B	F/K/O	G/K/O	F/K/O	H/K/O	I/J
区域直接喷射加湿	A/M	D/M	E/A/M	B/M	F/M	G/M	F/M	H/M	I/J

### 加湿器型式:

- A. 9000系列蒸汽直喷型加湿器
- B. 1000系列蒸汽直喷型加湿器
- C. 带控制阀、疏水阀、过滤器的格栅型系列加湿器
- D. CS-10系列蒸汽转蒸汽型加湿器
- E. 阿姆斯壮无燃烧型蒸汽发生器
- F. HC-6000系列电热式清洁加湿器
- G. EHU-800系列电极式蒸汽加湿器
- H. GFH系列燃气清洁加湿器
- I. 阿姆斯壮冷雾加湿器
- J. 阿姆斯壮高压微雾加湿器

### 喷管型式

- K. 不锈钢非夹套型喷管
- L. 格栅型加湿机组的布汽格栅
- M. 风扇布汽
- N. 文丘里喷嘴布汽
- O. 蒸汽夹套型喷管 (SJDT)

\*严格要求的可见蒸汽段长度<0.9米

# 加湿工程设计指南

虽然眼睛看不到湿气，但我们很容易感受到湿气的影 响。对于人来说，合适的湿度会使人感到更舒适，办事效率更高；对于商务和工业环境来说，有效进行湿度控制，可以改进设备和材料的性能。

通过湿度控制保持室内空气质量可以降低能耗，提高生产率，节省人力和维修费用，确保产品质量。总之，控制湿度可以提供更好的环境，提高生活和工作的质量。

自从1938年以来，阿姆斯壮公司一直与用户共享着加湿技术。通过对加湿设备的设计、生产和应用，阿姆斯壮公司指导用户节省了无以计数的能源、时间和资金。阿姆斯壮公司还提供计算机软件、音像资料及其它培训材料，为用户选择加湿设备、选型、安装和维修提供帮助。

阿姆斯壮公司最新的“加湿工程设计指南”，为各类建筑环境控制系统的设计、安装和维修人员提供问题解答和培训帮助。另外，用户可以免费索取阿姆斯壮公司Humid-A-ware™软件（加湿器选型软件），为自己的系统一步一步选择所需加湿设备。该选型软件可从：[www.armstronginternational.com](http://www.armstronginternational.com)网站上下载。

阿姆斯壮代理可以回答用户的具体加湿问题。困难的和特殊的问题由阿姆斯壮公司的加湿专家为您提供帮助。

有控制的加湿能帮助保护对湿度敏感的材料、人员、精密仪器和设备。除了舒适度调节和生产工艺控制之外，湿度控制还能防止产生爆炸性环境。不控制湿度的损失大得惊人。保护投资的最好途径就是使用经事实证明领先的阿姆斯壮加湿技术和方法。

## 参考资料

ASHRAE手册，系统和设备卷，2000年

ASHRAE手册，基础卷，2002年

ASHRAE手册，暖通空调应用卷，1999年

IBM安装计划书，1973年4月

Obert, Edward F. 热力学，1948年

静电，美国防火协会，1941年

### 本节内容包括：

- 加湿的重要性
- 湿度如何影响材料
- 材料湿度的基本要求
- 空气焓湿图在加湿中的应用
- 加湿器工作原理
- 蒸汽加湿器选型注意事项
- 基本应用原则
- 加湿量的计算
- 中央空调系统中的蒸汽加湿器
- 安装注意事项
- 直接排放单元加湿器的应用
- 冷雾系统的选型

**重要说明：**本章节意在概括加湿器安装使用的通用准则。实际安装和使用应由有经验的人士负责。选型安装时应有足够的技术支持和指导，这里的资料不能替代这些技术指导和支 持。建议大家与当地的阿姆斯壮代理联系，以获得更多的帮助。

## 术语

### 相对湿度 (RH) :

空气中水蒸气压力 (或摩尔数) 与相同干球温度和相同压力下饱和空气的水蒸气压力 (或摩尔数) 之比。

### 显热:

向一物体增加或减少热量, 能引起该物体温度变化的热量, 换句话说, 能用温度计测出变化的热量, 称为显热, 用英热单位 BTU (或千焦耳 KJ) 计量。

### 潜热:

向一物体增加或减少热量, 引起或伴随有该物体相变, 这一热量不引起温度变化, 故不能用温度计测出热量的变化, 所以叫做“潜在”的或“隐藏”的热——潜热。计量单位是英热单位 (或千焦耳)。

### 露点:

在压力不变, 且不增加或不排走水份的条件下, 空气遇冷发生凝结 (相对湿度为 100%) 的温度称为空气的露点。

### 蒸发冷却:

液态水从空气中吸收热量蒸发成蒸汽, 使空气温度降低, 湿度增加的过程。

### 焓 (热容)

内能与体积压力乘积之和, 计量单位为英热单位/磅 (或千焦/千克)。

### 吸湿材料:

能吸收或放出水份的材料称为吸湿材料。

### 相:

物体存在的状态称为相: 有固相、液相和气 (汽) 相。

加湿其实就是往空气中加入水份这么简单。但湿气却对环境和生理因素起着重大影响。湿度不当 (过高或过低) 会使人感觉不适, 会损坏多种设备和材料。相反合适的加湿设备可以实现有效、经济和无故障的湿度控制。

当我们与其它环境因素: 温度、清洁度、风速和热辐射一起考虑湿度重要性时, 需要注意的是: 湿度是最不容易感觉到的。大多数人对温度的变化、气味或空气中粉尘、气流及辐射热更加敏感, 反应更快。由于相对湿度与这些因素都有相互关系, 因此在全面环境控制中是个至关重要的因素。

## 湿度和温度

湿度是空气中存在的水蒸气或湿气成份。湿度可以严格定义为: 单位空气中水蒸气的量。但是这一定义不能表明空气的干、湿程度。要表明干、湿程度只能计算在相同温度下, 实际的蒸汽分压与饱和蒸汽分压之比。这就是相对湿度 RH, 以下式表示:

$$RH = \frac{VPa}{VPs} | t$$

式中 VPa=实际蒸汽压力

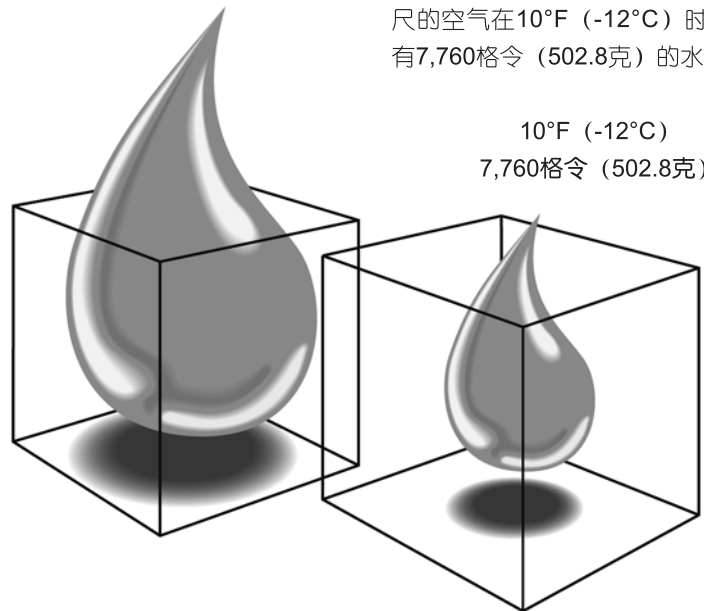
VPs=饱和蒸汽压力

t=干球温度

为了实用, 在建筑物系统内经常遇到的温度和压力下, 相对湿度可以认为是空气中水蒸气量与在给定温度下空气所能容纳的水蒸气量之比。

“在给定温度下”是理解相对湿度的关键。暖空气比冷空气含湿能力强。例如 10,000 立方英尺 (283 立方米) 70°F (21°C) 的空气可以含有 80,550 格令 (5,220 克) 水份, 同是 10,000 立方英尺的空气在 10°F (-12°C) 时却只能含有 7,760 格令 (502.8 克) 的水份。

70°F (21°C)  
80,550 格令 (5,220 克)



如果 10°F (-12.2°C) 下的 10,000 立方英尺 (283 立方米) 的空气含有 5,820 格令 (377 克) 的水份, 则其相对湿度为 75%; 如果取暖系统使这些空气的温度升至 70°F (21°C) 而不增加水份, 则空气中仍含有 5,820 格令的水份。

但是在 70°F 下的 10,000 立方英尺空气能含有 80,550 格令 (5,220 克) 的水份。这样, 空气实际含有的 5,820 格令的水份使其相对湿度只有 7% 多一点。这是非常干燥的空气, 更甚于撒哈拉大沙漠。

## 空气运动与湿度

另一种情况是建筑物内空气的流入或流出将会影响到温度与相对湿度间的关系。通常室外的冷空气替换室内空气的次数为每小时一至三次（如强制排气或补汽，换气次数会更多）。采暖系统把冷而潮湿的室外空气加热成暖而干燥的室内空气。

## 蒸发冷却

我们已讨论过改变温度对相对湿度的影响。改变相对湿度（RH），同样也会引起温度的变化。空气每蒸发1磅（0.454千克）水份，蒸发热使空气的显热减少1,000英热单位（1,055千焦耳），这可以是空气从室内人体、木材、纸张、纺织品和其它吸湿材料吸收的水份。反过来，如果吸湿材料从空气中吸收水汽，则汽化热就会释放给空气，增加空气的显热。

## 露点

当窗玻璃表面的温度低于露点时，窗上会凝结有水。表7-2是ASHRAE手册系统和设备卷中的数据。表中给出室内相对湿度所对应的出现冷凝水的室外温度。多数现代建筑物窗下安装的空调器，向窗玻璃上吹加热过的空气，允许有较高的相对湿度而又不发生明显的冷凝。

**表7-2 在窗玻璃未被加热时，70°F（21.1°C）下玻璃上出现冷凝水的相对湿度**

室外温度		单层玻璃	双层玻璃
°F	°C		
40	4	39%	59%
30	-1	29%	50%
20	-7	21%	43%
10	-12	15%	36%
0	-18	10%	30%
-10	-23	7%	26%
-20	-29	5%	21%
-30	-34	3%	17%

**表7-1 不同温度下，每立方英尺饱和空气和每磅干空气所含水分的格令数（摘自ASHRAE手册）**

°F	每立方英尺	每磅干空气	°F	每立方英尺	每磅干空气	°F	每立方英尺	每磅干空气	°F	每立方英尺	每磅干空气
-10	0.28466	3.2186	50	4.106	53.38	78	10.38	145.3	106	23.60	364.0
-5	0.36917	4.2210	51	4.255	55.45	79	10.71	150.3	107	24.26	375.8
0	0.47500	5.5000	52	4.407	57.58	80	11.04	155.5	108	24.93	387.9
5	0.609	7.12	53	4.561	59.74	81	11.39	160.9	109	25.62	400.3
10	0.776	9.18	54	4.722	61.99	82	11.75	166.4	110	26.34	413.3
15	0.984	11.77	55	4.889	64.34	83	12.11	172.1	111	27.07	426.4
20	1.242	15.01	56	5.060	66.75	84	12.49	178.0	112	27.81	440.4
25	1.558	19.05	57	5.234	69.23	85	12.87	184.0	113	28.57	454.5
30	1.946	24.07	58	5.415	71.82	86	13.27	190.3	114	29.34	469.0
31	2.033	25.21	59	5.602	74.48	87	13.67	196.7	115	30.13	483.9
32	2.124	26.40	60	5.795	77.21	88	14.08	203.3	120	34.38	566.5
33	2.203	27.52	61	5.993	80.08	89	14.51	210.1	125	39.13	662.6
34	2.288	28.66	62	6.196	83.02	90	14.94	217.1	130	44.41	774.9
35	2.376	29.83	63	6.407	86.03	91	15.39	224.4	135	50.30	907.9
36	2.469	31.07	64	6.622	89.18	92	15.84	231.8	140	56.81	1064.7
37	2.563	32.33	65	6.845	92.40	93	16.31	239.5	145	64.04	1250.9
38	2.660	33.62	66	7.074	95.76	94	16.79	247.5	150	71.99	1473.5
39	2.760	34.97	67	7.308	99.19	95	17.28	255.6	155	80.77	1743.0
40	2.863	36.36	68	7.571	102.8	96	17.80	264.0	160	90.43	2072.7
41	2.970	37.80	69	7.798	106.4	97	18.31	272.7	165	101.0	2480.8
42	3.081	39.31	70	8.055	110.2	98	18.85	281.7	170	112.6	2996.0
43	3.196	40.88	71	8.319	114.2	99	19.39	290.9	175	125.4	3664.5
44	3.315	42.48	72	8.588	118.2	100	19.95	300.5	180	139.2	4550.7
45	3.436	44.14	73	8.867	122.4	101	20.52	310.3	185	154.3	5780.6
46	3.562	45.87	74	9.153	126.6	102	21.11	320.4	190	170.7	7581.0
47	3.692	47.66	75	9.448	131.1	103	21.71	330.8	195	188.6	10493.0
48	3.826	49.50	76	9.749	135.7	104	22.32	341.5	200	207.9	15827.0
49	3.964	51.42	77	10.06	140.4	105	22.95	352.6			

注：1格令=0.0648克 1立方英尺=0.0283立方米 1磅=0.4536千克=7000格令

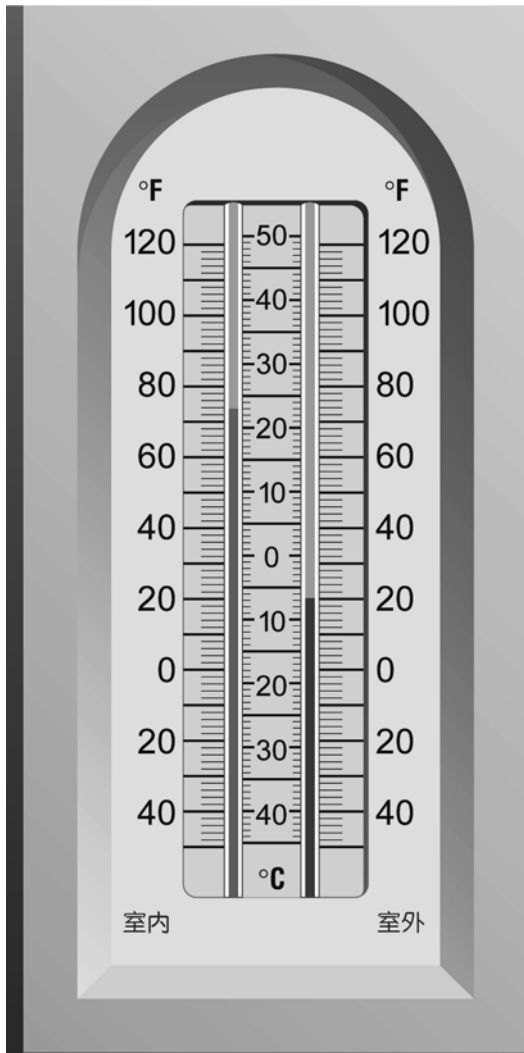


## 控制相对湿度，节省能源

前面公式计算的室内相对湿度称为室内理论相对湿度 (TIRH)，它在实际中是根本不存在的。用一种叫作湿度计的仪器测出的相对湿度实际上大于理论相对湿度。这是因为干燥空气是饥渴的空气，它要从任何可以放出水份的物体吸收水份 (如木材、纸张、食品及皮革等)，使在室内的人感到鼻孔和皮肤发干。

但这是免费“加湿”吗？不，当考虑到人类生活的舒适程度、材料的变质及生产困难时，这种加湿是加湿方法中代价最高的。另外，不管是吸收人体和材料的水份，还是用高效加湿系统为空气加湿，所消耗的能量是相同的。

加湿系统实际所需的能量是从室内实际湿度水平，而不是从理论湿度水平计算出来的。实际上，把相对湿度控制在所需的水平，就增加的动力负荷来说，其费用是微不足道的。在有些情况下，还能减少能量消耗。



据美国中部的一家大型会议中心报道说，增加了蒸汽加湿系统之后，它们的蒸汽总耗量反而下降。比较无加湿的取暖季与有加湿器运行的下一个取暖季，发现用于加湿的蒸汽耗量为1,803,000磅 (818,000千克)，可是在同一时期，采暖用的蒸汽量却下降2,486,000磅 (1,129,000千克)。蒸汽耗量的减少 (表测出的) 是在气温比前一年下降7.2%的情况下实现的。该单位的记录表明：用保持较高的可调相对湿度的办法，可以减少蒸汽的总耗量。

下面利用焓 (热容) 对理论系统进行分析，作为我们分析问题的基础。

- 设冬季的一天，室外温度为0°F (-17.8°C)，相对湿度为75%
- 空气的焓为0.6英热单位/磅干空气 (1.394千焦/千克干空气)。
- 如果把空气加热到72°F (22.2°C) 且不增加水份，则焓值为18英热单位/磅干空气 (41.8千焦/千克干空气)。
- 理论相对湿度为3.75%，而实际相对湿度为25%。
- 在72°F (22.2°C) 相对湿度25%的条件下，焓值为22英热单位/磅干空气 (51.1千焦/千克干空气)。
- 增加的水份是从该场所的吸湿材料和人体吸出的。

这里有个问题：从18英热单位/磅干空气到22英热单位/磅干空气，增加的能量从哪来的？答案是：增加的能量必定是来源于加热系统对汽化潜热的补偿，使得虽有汽化，但未降温。如果要利用加湿系统达到舒适的相对湿度35%，则焓为23.6英热单位/磅干空气 (54.8千焦/千克干空气)。

这比“不可避免的”能量负荷22英热单位/磅干空气 (51.1千焦/千克干空气) 只增加7%，大大少于在72°F (22.2°C) 下相对湿度从3.75% (18英热单位/磅干空气——41.8千焦/千克干空气) 增加到35% (23.6英热单位/磅干空气——54.8千焦/千克干空气) 时，31%的能量负荷增加值。在35%的相对湿度下，如果温度只有68°F (20°C) (因为在低温的高湿度下人会感到更舒适)，则焓值为21.8英热单位/磅干空气 (50.7千焦/千克干空气)，能量反而略有减少。

### 干燥空气引起的问题

干燥空气可以引起各种经济损失和麻烦的问题，有时甚至产生危险，如果对干燥空气的影响不熟悉，就找不出这些问题的起因。所以，从事吸湿材料 (如木材、纸张、纺织纤维、皮革或化工制品) 处理和储运的人应关心这些问题。干燥空气或湿度大幅度波动可以引起严重的生产问题或引起材料变质。

在干燥空气条件下，静电可以累积，影响生产机械或电子办公设备的正常运行。在使用易产生静电的材料如纸张、胶片、计算机软盘和其它塑料制品的场合，干燥空气大大加重了静电问题。在有潜在爆炸危险的空气中，干燥空气及其引起的静电累积是最危险的。

## 湿度与人体舒适

研究表明，当相对湿度保持在35%到55%之间时，人们一般会感到最舒适。在干燥空气中，水份容易从皮肤蒸发，使人感到冷，即使温度是75°F (24°C) 或更高些也是这样。由于人们经常把对相对湿度的感觉当成温度的差别，所以可以在较低温度下，适当地控制湿度获得舒适的环境条件。这样节省的取暖费用在一个采暖季就相当可观。

## 现代电子化的工作环境需要湿度控制

电子设备正在不断地改进办公室、工厂运作、通讯、收集资料及维修设备的方式。在办公室内，静电复印机、电话系统、计算机、传真机，甚至墙上的恒温器都是电子控制的。另外，办公室装饰陈设中有比以前多得多的工作间装有天然或人造纤维材料的墙板和家具。

在加工制造领域，有更多的机器是电子控制的。您可以看到比以前更多的控制室（安装的是电子控制系统）。

所有这些都表明，现代工作的性质使得适当湿度控制成为必不可少的。

## 为什么湿度不合适会损坏敏感电子设备

现代所有电子线路的核心都是集成电路（IC）或芯片。芯片的心脏是一个刻在半导体材料上的薄晶片微型电路。电子部件—特别是芯片—可能因瞬态电压（电压峰值）而过载。这可能在半导体微小区域形成放电痕并熔化，导致运行中断，失去内存或永久失效。这种损坏可能使部件马上失效，即便不立刻失效，也会缩短部件的使用寿命。

产生电压峰值的主要原因是静电放电（ESD）。虽然电压峰值的时间很短，但对于半导体薄晶片表面却具有破坏性。静电放电可以是像雷电一样的高电压，闪击很快。

静电放电是一种特别危险的现象，因为人体就是这些瞬态电压的电源。静电正是人体内积聚起来的。在人体接触门把手时或与人握手时，所出现的放电就是静电放电。下面的表9-1所列为日常活动可能发生的静电电压。

电压在表面（这里指人体）积聚，当与其它低电压的表面接近时，发生放电现象。注意产生静电电压的湿度情况。当湿度增加时，静电电压下降。这是因为表面形成一层水份膜，把电荷接地。虽然表9-1所列的65%—90%的相对湿度对于办公室内来说是不合实际的，但湿度的任何增加都会大大减少静电放电事件。

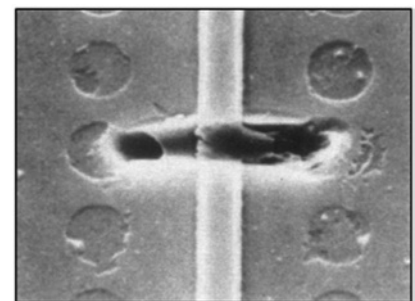
## 静电放电损坏的实验测量

在铺有毛毯的未经加湿的室内，对人体静电放电现象进行了十六个月的研究，测量了静电放电的强度（电流安培数）。结果表明在10%-20%的相对湿度下，产生0.3安培电流的可能性比在45%-50%相对湿度下大100倍。换句话说，相对湿度越高，静电放电发生的次数越少，强度越小。

静电放电除对电子设备有破坏作用外，在很多工艺过程中，静电产生的火花也会造成巨大的损失。在有可燃气体、挥发性液体、爆炸性粉尘的场所，静电就更加危险。例如很多军用工厂、喷漆间、印刷厂、制药厂及其它场所都发生过静电事故。

现在有很多防静电的产品（如专用防静电的垫子、地毯、涂料及垫板等），但必须记住：湿度控制是防静电的固有安全措施。它任何时候都在起作用，在人们疏忽于防静电时，也能保证安全。

图9-1  
湿度对静电电压的影响



静电放电损坏的集成电路  
(照片由摩托罗拉半导体有限公司提供)

表9-1 湿度对静电电压的影响		
静电产生的途径	静电电压 (伏)	
	相对湿度10% - 20%	相对湿度65% - 90%
在地毯上行走	35,000	1,500
在乙烯树脂地板上行走	12,000	250
在工作台上工作	6,000	100
传达工作指令的塑料封皮	7,000	600
从工作台上拿起的普通塑料袋	20,000	1,200
带聚氨酯泡沫垫的工作椅	18,000	1,500

## 纸张和纸制品

纸张行业的每一位生产管理者，都曾遇到过由于冬季干燥所造成的大量碎纸损失和客户投诉的头痛问题：

1. 库存产品卷缩。
2. 折叠纸箱、纸板箱、瓦楞纤维和硬纤维容器的折缝开裂。
3. 包装箱失去强度。
4. 由于静电影响，纸张不能顺利通过机器，延误生产。
5. 胶合失效。

所有上述冬季遇到的问题一般都是由于室内相对湿度低，纸张干燥或卷缩引起的。

凡是加热空气，而不加入水份时，相对湿度就会降低。从表10-1可以看出，0°F (-17.8°C)，75%相对湿度的室外空气，当在室内加热到70°F (21.1°C)时，其相对湿度只有4.4%。虽然用户厂房内的理论湿度应该是4.4%，但实际观察湿度大大高于这一数值，原因是空气吸收了纸张中的水份。这种加湿方式需要为库存和生产付出高昂的代价。



图10-1 水份含量对折叠纸的影响。

左边的纸含有合适的水份，右边的纸缺乏水份——干而脆——折叠时破裂。

周围空气的相对湿度决定纸张中的水份含量，如表11-1所示。当纸张比周围空气干燥时，纸张从周围空气中吸收水份，反之，纸张会失去水份。

为了保持纸张的适当强度和可加工性，必须保持纸张的水份含量在5%-7%的范围内。这要求室内相对湿度为40%-50%左右（取决于纸张成份）。

不同类型纸张内的含湿量与表中所列略有不同，但基本道理相同。

因此，改变纸张内水份的含量，会改变纸张的厚薄、平曲、硬软、大小、柔脆程度。

表 10-1 室内采暖减少室内相对湿度使纸张变干

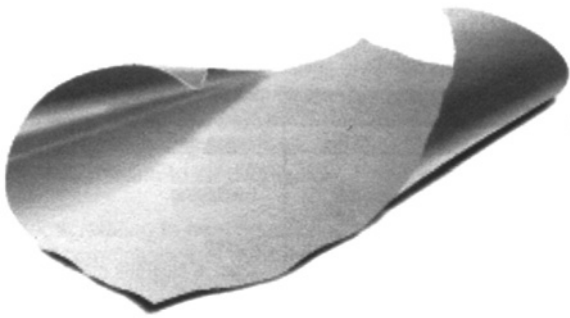
室外温度		室内温度70°F (21.1°C)	
		室内相对湿度 (%)	纸张内水份含量占总重量的百分比 (%)
°F	°C		
-20	-28.9	1.5	0.5
-10	-23.3	2.5	0.8
0	-17.8	4.4	1.2
10	-12.2	7.2	2.2
20	-6.7	11.6	3.3
30	-1.1	18.1	4.3
40	4.4	26.8	5.3
50	10.0	38.3	6.4
60	15.6	54.0	8.0
70	21.1	75.0	11.6

室内采暖对牛皮包装纸相对湿度及水份含量的影响。

注：本表设室外相对湿度为75%。当室外相对湿度低于75%时（经常是这样），室内相对湿度小于表内数值。室内温度高于70°F (21.1°C)时，也会使室内相对湿度降低。

## 印刷

在造纸业中发现的干燥空气问题，在印刷业中也常见于干



燥的空气吸收纸表面的水份，引起纸张膨胀和收缩，发生卷曲。卷缩是顺着纸张纤维的。库存中重量轻的纸及面上的纸以及一面有涂层的纸的卷缩尤为严重。

## 木制品、木材加工及家具生产

在周围空气的相对湿度变化时，和一切吸湿材料一样，木材吸收或放出水份。在任何给定的温度和相对湿度下，当木材最后停止吸收或放出水份时，就说木材达到平衡含湿量。这时木材中的水份与空气中的水份“达到平衡”。

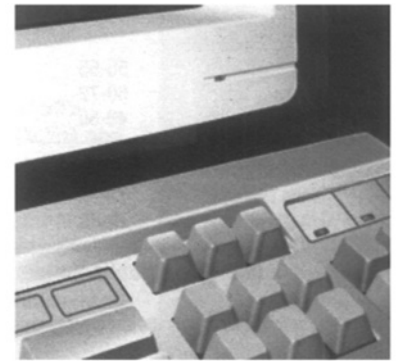
一般情况下，在寒冷季节把室内相对湿度保持在与温暖季节相同的水平是不现实的。但是，当寒冷季节到来时，加湿器的存在允许相对湿度和平衡水份含量逐渐减少到实际可行的最低工作水平。在这一控制条件下，可以不发生变形和断裂。

## 皮革加工

相对湿度均衡地保持在40%-60%的范围内（在滚磨间要高一些）可以减少破裂，保持柔韧性最大，有助于保持质量和美观，并减少工厂内的粉尘。

## 办公室

相对湿度保持在30%-40%的范围内，可以防止镶板和家具开裂、收缩及胶结失效，延长地毯和窗帘的使用寿命。办公室电子设备，如计算机、静电复印机及电话系统要有40%-50%的恒定相对湿度，以防有害的静电放电（见第9页）



## 图书馆和博物馆

储藏室、保险库及陈列室的相对湿度应恒定在40%-55%，以保持胶水、浆糊和粘结剂的柔韧，减少纸张、画布、卷轴、皮革装订等的纤维脆化，延长珍贵收藏品的寿命。

表11-1 不同相对湿度下纸张的含湿量与总重量的百分比 (%)

材料	说明	相对湿度%								
		10	20	30	40	50	60	70	80	90
新闻纸	木纸浆，24%灰份	2.1	3.2	4.0	4.7	5.3	6.1	7.2	8.7	10.6
书写纸	木纸浆，3%灰份	3.0	4.2	5.2	6.2	7.2	8.3	9.9	11.9	14.2
白板纸	破布，1%灰份	2.4	3.7	4.7	5.5	6.5	7.5	8.8	10.8	13.2
普通帐本纸	75%破布，1%灰份	3.2	4.2	5.0	5.6	6.2	6.9	8.1	10.3	13.9
牛皮包装纸	松柏木纸浆	3.2	4.6	5.7	6.6	7.6	8.9	10.5	12.6	14.9







# 空气焓湿图在加湿中的应用

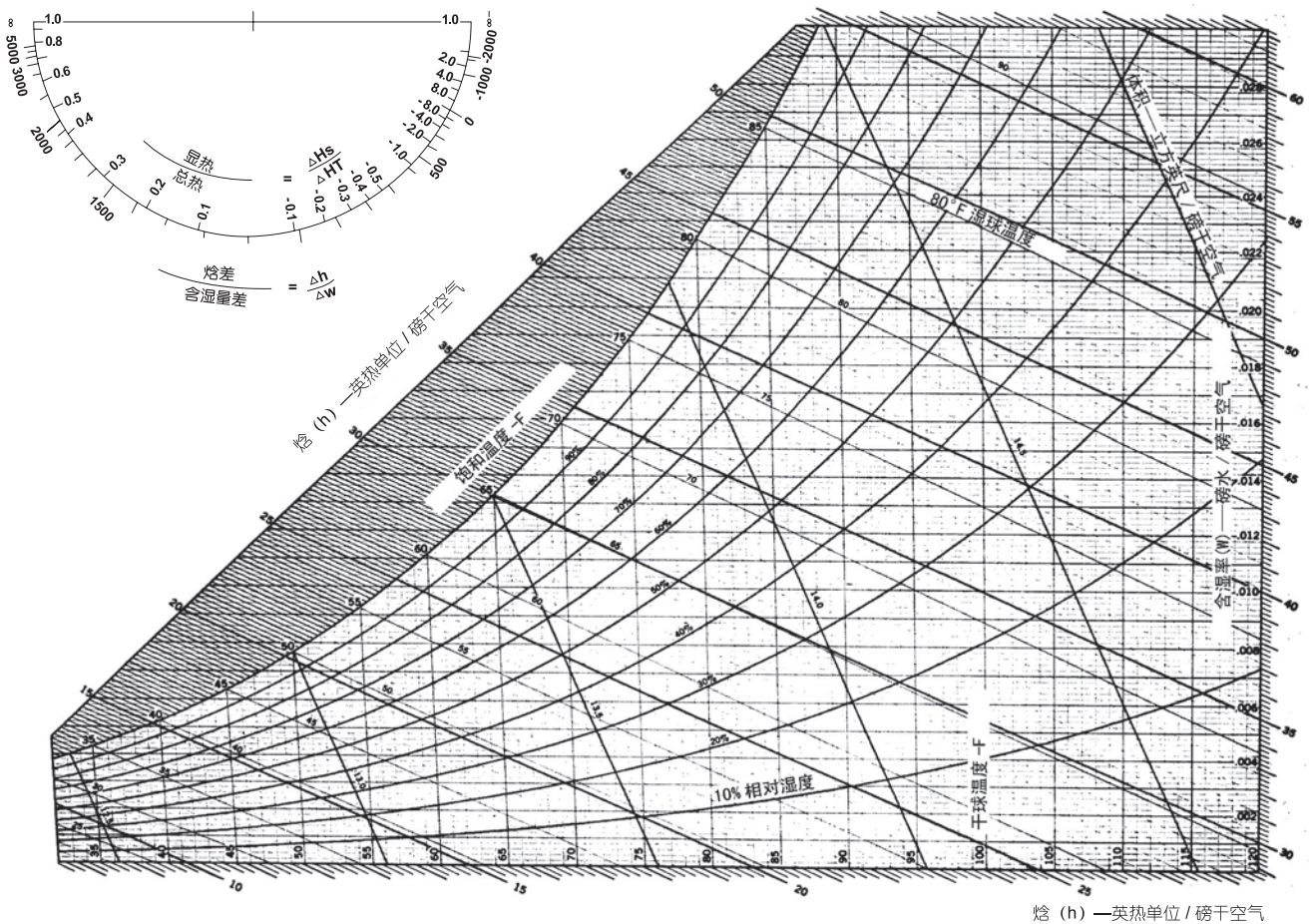
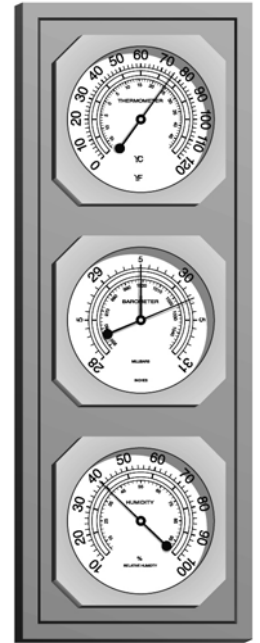
焓湿图用以表示湿空气的热力学性能，是解决问题的有力工具，它能清楚表明加热、冷却、加湿和除湿对湿空气性能的影响。解决空气调节各种问题和工艺过程都需要焓湿图的数据。

大多数复杂的加热、冷却和湿度调节问题都由多个比较简单的过程组成。焓湿图可以用图线的形式说明这些简单过程，可以清楚地表明这些变化对湿空气性能的影响。

焓湿图在现代特别有用的原因之一源于大多数新建筑物（也包括老建筑物）的采暖方法。新建筑物使用的风道温度低（55°F（12.8°C）或更低），很难精确控制湿度。（这是因为在低风道温度下，空气吸收水份的能力低，通过中央空调系统增加含湿量的能力低。通过中央空调系统增加含湿量，必须在空气离开风道前进行再加热补偿）。

对于这种应用场合，增加湿度有时必须在风道再加热达到最终温度后完成。

为了维持典型的70°F（21.1°C）和50%相对湿度，需要风道内的湿度非常高（相对湿度为75%或更高）。为了防止风道内达到饱和，要安装最大湿度恒湿器。在这种情况下最大湿度恒湿器成为加湿器的主要控制器。由于这一恒湿器安装在靠近加湿器处，且空气在流动，又接近饱和，要求加湿器的输出控制必须快速精确、重复性好。

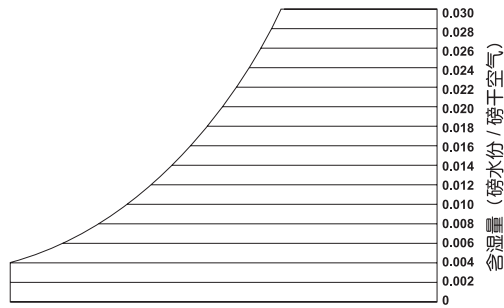


$$1\text{Btu/lb } ^\circ\text{F} = 4.187 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

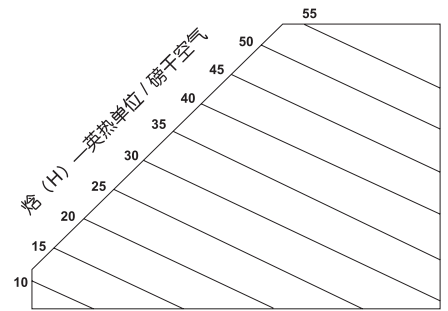
## 如何使用焓湿图

焓湿图是湿空气性能的热力学参数图示。

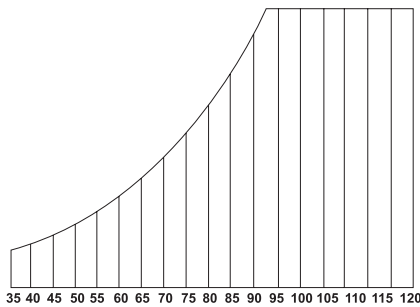
包括八个重要参数：



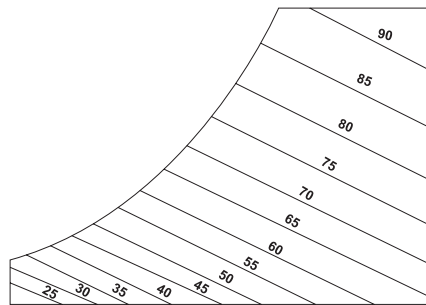
1. 含湿量的数值顺右边线竖直标注, 最底下值为0, 增加到顶为0.03。



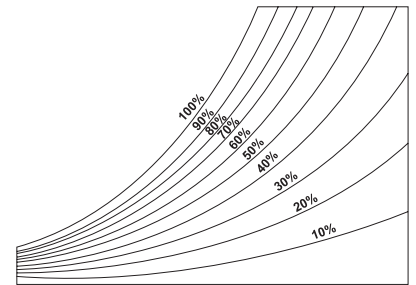
2. 焓或总热线为从左上方到右下方的斜线, 线间距为5英热单位/磅干空气。



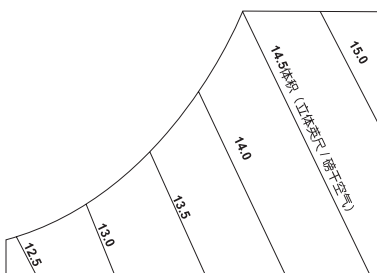
3. 干球温度线为竖直线, 线间距为1°F



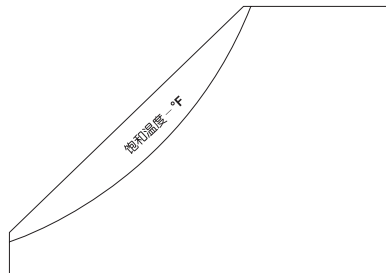
4. 湿球温度线为斜线, 几乎平行于等焓线。湿球温度线间距为1°F



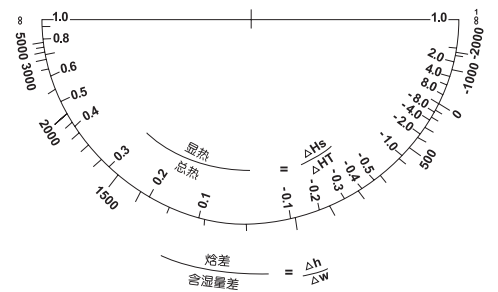
5. 相对湿度线为从左到右的上翘曲线。线间距为10%, 从底下的10%到最上面的饱和曲线 (100%)。



6. 体积线表示每磅干空气的立方英尺体积, 间隔0.5立方英尺。

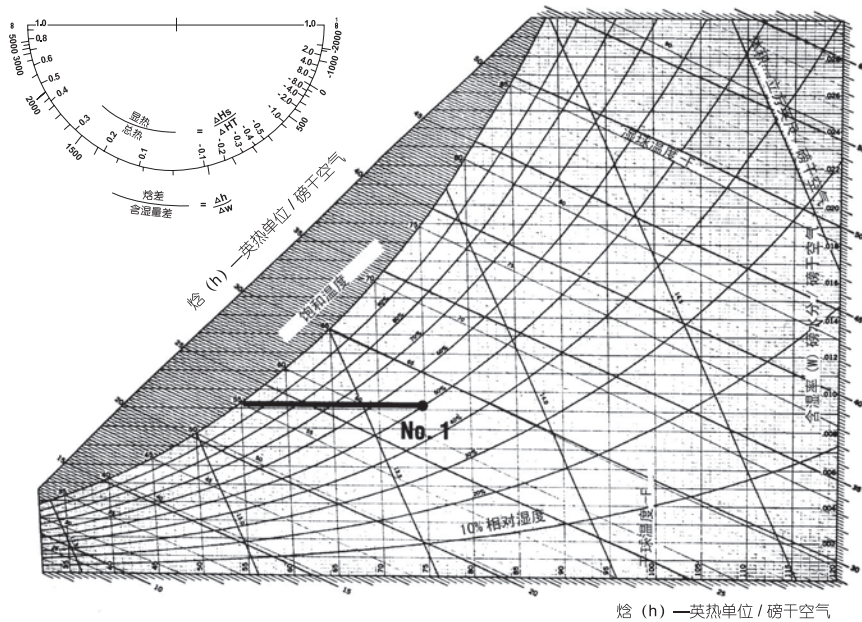


7. 两相区包括饱和线左方狭长的交叉阴影线的区域, 表示处于平衡状态的冷凝水与湿空气的混合物。



8. 半园规在左上角, 有两个刻度尺。一个是焓差变化率; 另一个是显热与总热之比。半园规确定图上过程线的角度。





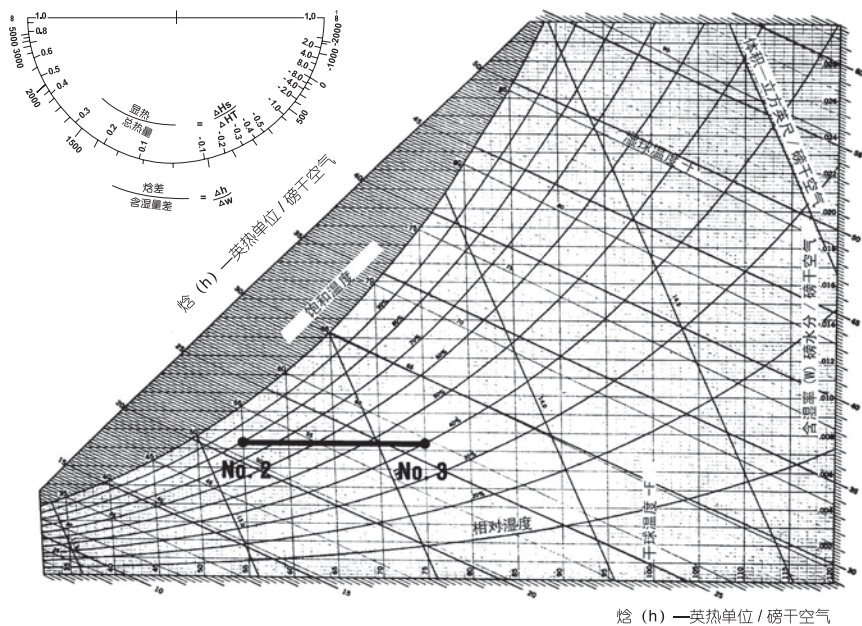
1Btu/lb °F=4.1868kJ/kg °C

### 例1

已知干球温度为75°F (23.9°C)，相对湿度为50%的空气，确定露点、体积和含湿量的格令/立方英尺干空气值。

解：

1. 找到干球温度为75°F (23.9°C) 线与相对湿度50%的交点，叫作状态点1。
2. 向左水平投影到饱和曲线，交点为55°F (12.8°C) (露点)。
3. 向右水平投影，读得含湿量为0.0092磅水份/磅干空气。(9.2克/千克干空气)。
4. 通过状态点1画一水平线平行于13.5体积线，估计出体积值为13.68立方英尺/磅干空气 (0.85立方米/千克干空气)。
5. 计算格令/立方英尺干空气： $0.0092 \times 7000 \div 13.68 = 4.71$  格令/立方英尺干空气 (10.8克/立方米)。参见表29-5的简明数据。



1Btu/lb °F=4.187kJ/kg °C

### 例2

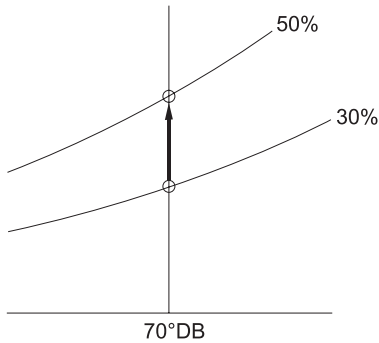
干球温度为55°F (12.8°C)，相对湿度80%的空气，被加热到75°F，试确定加热后的相对湿度。

解：

1. 找到55°F (12.8°C) 干球温度线与80%相对湿度的交点，叫作状态点2。
2. 向右水平投影与75°F (23.9°C) 干球温度线相交，交点称为状态点3，其相对湿度为40%。
3. 可以看出，把状态2的空气输给系统时，可以用加热的办法达到状态3，再输给处于状态3的区域。
4. 如果该区域需要达到状态1 (例1) 输入空气必须加湿。

## 蒸汽加湿（等温过程）

蒸汽加湿器与其它加湿方法不同，对干球温度影响最小。蒸汽加湿器排出现成的水蒸汽，当这些水蒸气与空气混合、提高相对湿度时，无需额外热。蒸汽是存在于212°F（100°C）的纯水蒸气。在蒸汽排入空气时，蒸汽的这一高温使人产生一种感觉，认为蒸汽会使空气温度增加，这是一种常有的错误想法。事实上，在加湿器把蒸汽排到空气中时，形成蒸汽/空气混合物，在这种混合物中，蒸汽的温度很快基本降低到空气温度。



用焓湿图可以帮助说明蒸汽加湿是一个干球温度不变的过程。在任何干球温度下的蒸汽加湿过程是从起始状态沿该等温线竖直向上的过程。上图的例子表明，当相对湿度从30%增加到50%时，干球温度70°F不变。这是由于蒸汽含有增加湿度所必须的热量（焓），无需增加或降低干球温度。实际应用中，在使用高压蒸汽或相对湿度增加幅度较大（50%以上）时，干球温度增加1°F到2°F（0.56-1.1°C）。所以蒸汽加湿无需另外的加热或空调负荷。

## 直接喷射蒸汽加湿器

蒸汽加湿器最常用的是直接喷蒸汽型的。从维修角度考虑，直接喷蒸汽的加湿系统很少需要维修。蒸汽汽源本身可用作清洁工质，保持系统部件不发生像喷水及蒸发盘系统那样的矿物质沉积堵塞现象。

直接喷射蒸汽加湿方法的另两个优点是可以响应控制要求和  
对蒸汽输出进行定量控制。由于水蒸汽是已有的现成蒸汽，只需与空气混合，以满足系统的要求。另外直接喷射蒸汽加湿器可以利用调节控制阀控制蒸汽的输出量。由于直接喷射蒸汽加湿系统对控制有响应，可以把调节阀置于从关闭到全开的任何位置上。这样，直接喷射蒸汽加湿器可以对变动的加湿要求作出迅速精确的响应。

蒸汽加湿所固有的高温，使蒸汽实际上成了杀菌介质。在锅炉给水质量符合要求的条件下，如果加湿通道内没有冷凝、滴水、喷水，则蒸汽加湿不会传播细菌或臭味。

正确安装的蒸汽系统很少发生腐蚀问题。水垢和沉淀物——不管是自身生成的还是蒸汽带来的——均能通过蒸汽疏水阀从加湿器内排出。

## 蒸汽转蒸汽加湿器

蒸汽转蒸汽加湿器用热交换器和经处理的蒸汽的热量使未经处理的水产生二级蒸汽，用于加湿。二级蒸汽通常处于大气压力，对设备的安装位置要求很严格。

蒸汽转蒸汽加湿器的维修取决于水质。水中杂质，如钙、镁和铁会成为水垢沉淀，需要频繁的清洗。蒸汽转蒸汽加湿对控制的响应比使用蒸汽直接加湿要慢，原因是使水沸腾需要时间。

直接蒸汽加湿

图16-1 分离器型

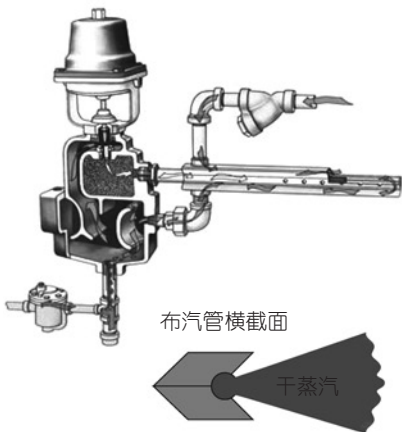
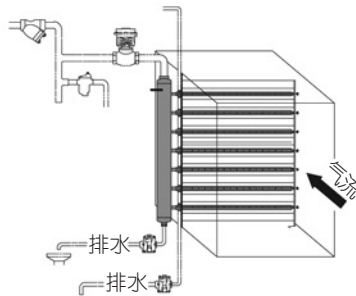
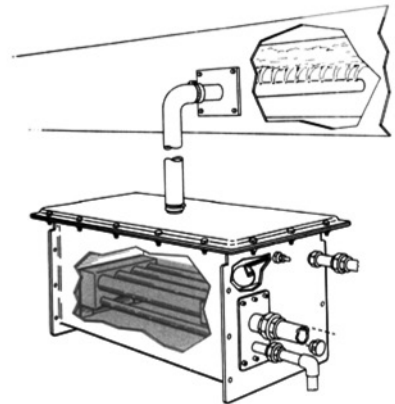


图16-2 格栅型



蒸汽转蒸汽加湿

图16-3



## 电蒸汽加湿器（电极型）

在没有蒸汽源的地方可以使用电蒸汽加湿器。利用电能和水，产生大气压力的蒸汽。电极型的加湿器给水通电流，得到与电能消耗成比例的蒸汽输出。通常，如果只使用纯的去矿物质水、去离子水或蒸馏水不能为电极导电提供足够的电导率。

水质影响电极型加湿器的使用和维修。使用硬水需要频繁清洗；而纯软水会缩短电极使用寿命。微处理器诊断程序可以帮助查找故障。

电极型加湿机组容易接受不同控制信号，蒸汽输出完全可调节。但是需要首先使水沸腾，这使得其可控性无法和直接喷射蒸汽的加湿器相比。

## 电蒸汽加湿器（离子床型）

典型的离子床电蒸汽加湿器使用浸没式电阻加热元件煮沸水。由于电流不通过水，所以与水的电导率无关。离子床技术使得该种加湿器可以广泛适用于各种水质。这种加湿器使用含有纤维介质的离子床插件，在水温升高时，从水中吸收固体，减少加湿器内固体的堆积。这样，水质不影响运行。通常情况下，维修只需要更换离子床插件。

离子床加湿器可接受不同控制信号，蒸汽输出完全可调。但是控制受到需要使水沸腾的影响。

## 燃气蒸汽加湿器（离子床型）

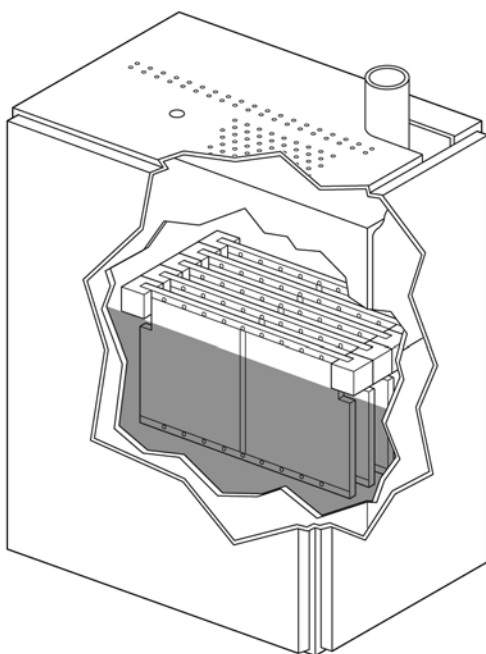
燃气蒸汽加湿器使用燃气或丙烷为燃料，将其与空气混合后送入气体燃烧器。燃烧热通过换热器传给水，产生加湿用的常压蒸汽。燃烧气体必须按有关规定进行排放。燃料气成分、燃烧空气品质和通风方式均影响工作过程。

水质也影响到燃气加湿器的运行和维护。离子床型燃气加湿器使用带纤维介质的离子床插件来吸附水温上升后产生的固体，最大限度减少固体在加湿器内的堆积。因此，水质对此种加湿器运行没有影响，维护通常也只是简单更换离子床插件。

离子床型燃气加湿器适合于各种控制信号，提供比例调节输出。但是，室内相对湿度控制受到水沸腾过程的影响。也受到气体阀门和风机技术水平的限制。

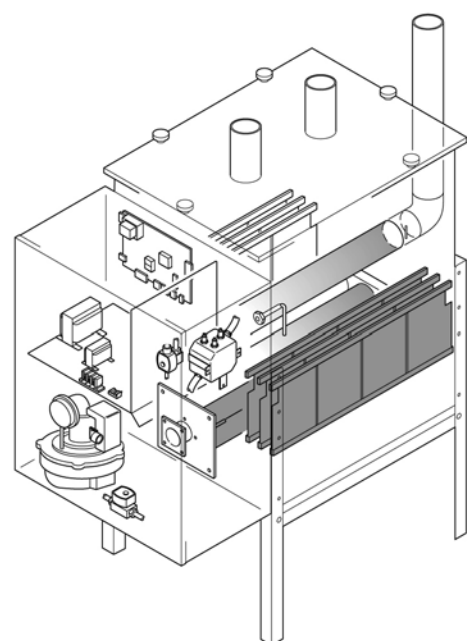
电蒸汽加湿器（带离子床）

图17-1



燃气加湿器（带离子床）

图17-2





## 喷雾系统 (绝热过程)

喷雾系统使用压缩空气使水雾化为微小的水粒子流，看上去为雾。要使水变成蒸汽，每千克大约需要2330千焦的热量。当水粒子从周围空气或气流中吸收热量后迅速由液体变为气体。喷雾系统设计要求空气中有足够的热量使水汽化，避免水在物体表面“析出”——这可能带来控制或卫生问题。

喷雾系统并不含有将相对湿度提高到希望水平所需的蒸发热，因此，喷雾加湿实际上为一个等焓过程。如焓湿图所示，相对湿度从30%提高到50%时干球温度将发生变化。这一蒸发冷却效应可为具有较高内部热负荷的系统带来节能效益。

与很多等焓加湿器不同，合理设计的喷雾系统可以对压缩空气和水两者的压力提供比例调节输出。虽然需要时间和距离使水蒸发（空调系统中），但对控制的响应是即时的。高的蒸发效率确保系统发挥最大运行效能。

如果没有反渗透水或去离子水，在应用喷雾系统之前建议进行水质分析。

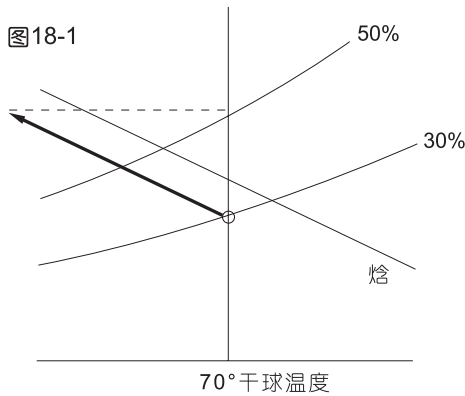


图18-2 喷雾头

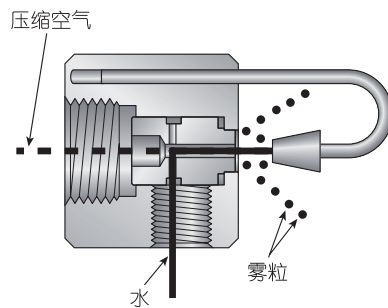
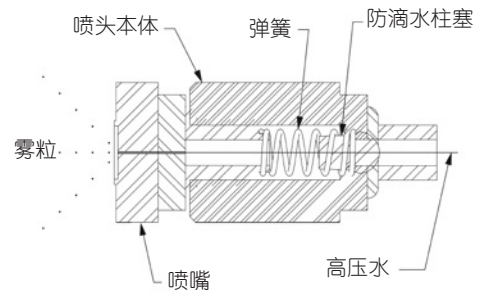


图18-3 压力喷雾头



## 高压微雾加湿器工作原理

PressureFog高压微雾加湿器，利用高压柱塞泵将经过净化或软化处理的普通自来水，加压至5~7MPa，通过管路输送到特制喷头，在喷头内高速旋转雾化，形成超细微雾粒子喷射到空气中。超细微雾粒子在空气中吸收热量，由液态汽化为气态，使空气湿度得到增大，并使空气温度降低。整个加湿过程为等焓过程。

## 成本比较

合理估计选用加湿系统的费用，应将安装、使用和维护费与初始投资费用一起考虑。加湿总费用一般远远少于采暖和冷却系统的费用。

当然，初始投资费用随着加湿机组的大小而变。根据加湿能力定价，加湿量越大的加湿器越经济，不管哪一种类型的加湿器都是这样。就是说，一台加湿能力为1000磅/小时（454千克/小时）的加湿器的费用少于同样类型的500磅/小时（227千克/小时）的两台加湿器。

在加湿量为100磅/小时（45.4千克/小时）或更高加湿量的条件下，直接蒸汽加湿器按每美元初装费计算的加湿能力最大；喷雾加湿系统和燃气加湿器最不经济。

表18-1 加湿方法的比较

	直接蒸汽	蒸汽转蒸汽	电蒸汽	离子床电蒸汽	离子床燃气蒸汽	喷雾系统
对温度的影响	基本无变化					温度明显下降
单机加湿能力	小到很大	小	小到中等	小到中等	小到中等	小到很大
蒸汽质量	极好	好	好	好	好	一般
对控制的响应	即时	慢	一般	一般	一般	即时
对输出的控制	好至极好	低于一般	一般	一般	低于一般	好至极好
卫生/腐蚀	无菌介质/无腐蚀	细菌能存活	程序控制不滋生细菌	程序控制不滋生细菌	程序控制不滋生细菌	设计不滋生细菌
维护频度	每年一次	每月一次	每月到每季度一次	每季度到每半年一次	每季度一次	每年一次
维护难度	小	大	中等	小	中等	小
费用：价格 (单位加湿量)	低	高	中等	中等	高	中等
安装	随蒸汽、水、燃气、电等的近便程度变化					
运行	低	低	中等	中等	低	低
维护	低	高	高	从低到中等	低至中等	低

由于不同的地方供水、蒸汽和电的远近难易程度大不相同，所以很难准确地比较各种类型加湿器的安装费用。直接蒸汽加湿的运行费用较低，蒸汽转蒸汽的加湿费用要高些，喷雾加湿和燃气（离子床）加湿的运行费用也低，电加湿器的能耗较高。

直接蒸汽加湿器的维护费用最低，喷雾系统次之。离子床电热加湿器和燃气加湿器专门设计，适用于各种水质，使维护费用减少到最低。其它类型加湿器的维护费用相差很大，取决于水质和使用情况。

这些就是选用加湿器需考虑的基本方面。表18-1列出各种类型加湿器的特点。

### 对使用加湿器的建议

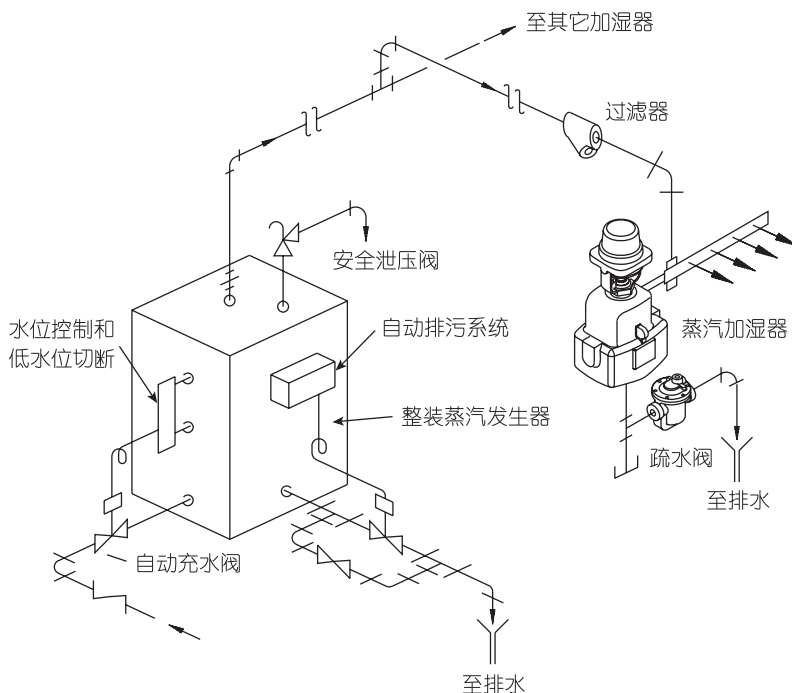
**蒸汽：**建议一切商业、事业和企业单位尽可能使用蒸汽加湿。在没有提供蒸汽的场合，加湿量小于90千克/小时的，使用带离子床自产蒸汽的加湿机组最好。大于这一加湿量范围，采用集中供汽装置的蒸汽加湿系统最为有效和经济。在需要对较小空间的吸湿材料大量加湿的场所，选用蒸汽要小心。在这种应用条件下的加湿问题，建议用户咨询阿姆斯壮公司代理。

**喷雾系统：**合理设计的压缩空气/水混合喷雾系统使用反渗透水或去离子水，可避免卫生、霉菌滋生、异味或结垢等问题。在以下应用场合对喷雾系统的潜在节能效益应当进行评价，即加湿量大于500磅/小时（227千克/小时）而无蒸汽，或者蒸发冷却有好处，如空气侧循环空调装置、具有较高内部热负荷的设施等。

**总结：**事实证明，蒸汽是最好的天然加湿介质。各种产汽方法中最有效的蒸发器——锅炉——为加湿提供现成蒸汽，没有矿物质灰尘沉积，而且由于没有液态水份存在，蒸汽不产生卫生问题，不助长藻类或细菌，没有气味，无腐蚀或沉积矿物质水垢。

由于蒸汽直接加湿具有上述优点，当需加湿的建筑物无蒸汽供应时，工程师们甚至单为加湿而考虑增加蒸汽锅炉。选择锅炉的经济可行的加湿负荷范围是90千克/小时以上。蒸汽发生器的蒸发能力一般选成比最大加湿负荷大50%，取决于受热输汽管道及加湿器和布汽管的数量。锅炉-加湿器装置的典型管路连接如图19-1所示。

图19-1 锅炉-加湿器装置的典型接管图



- 锅炉-加湿器组合装置设计指导**
- 1、锅炉的总蒸汽出力应至少为总加湿负荷的1.5倍。
  - 2、锅炉给水中应加软化剂。
  - 3、不需要凝结水回水系统（环境有要求时除外）。
  - 4、锅炉表压应为 15 p s i (0.103MPa) 或更低。
  - 5、最好安装自动排污系统。
  - 6、所有供汽管道均需加保温层。
  - 7、对一台锅炉安装的加湿器大小和数量无限制。

## 电或燃气蒸汽加湿器

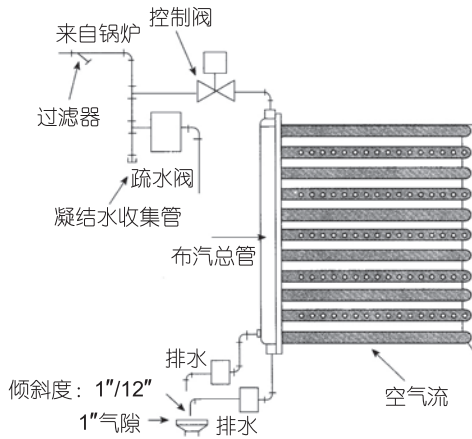
在没有蒸汽源的场所，自带蒸汽发电器的电或燃气蒸汽加湿器可以满足低加湿量的要求。选择这些类型加湿器的首要考虑因素是适用各种水质的能力。离子床电热或燃气加湿器经常被选用作为这种低加湿量的加湿器。

## 直接喷蒸汽加湿器

下面对加湿器的三大使用特性进行评价，从中可以看出蒸汽加湿优于其它加湿的地方。这三大使用特性是：

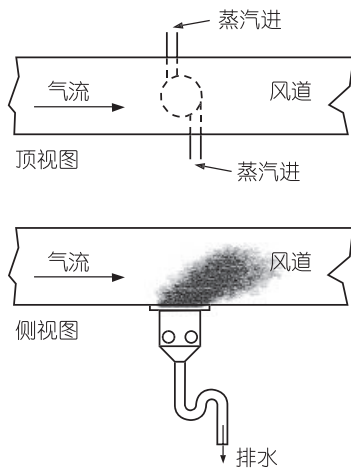
- 调整
- 控制
- 布汽

图20-1. 蒸汽格栅型加湿器



注：凝结水不能被提升或排入有压回水管。

图20-2. 杯型蒸汽加湿器



加湿器必须对蒸汽进行调整使蒸汽完全干燥，不含固体杂质。加湿器对控制信号的响应必须迅速，对输出量的调节必须精确。加湿器向空气中散布蒸汽必须尽可能均匀。这三个方面中，任一方面的不足都意味着加湿器不满足基本加湿要求。

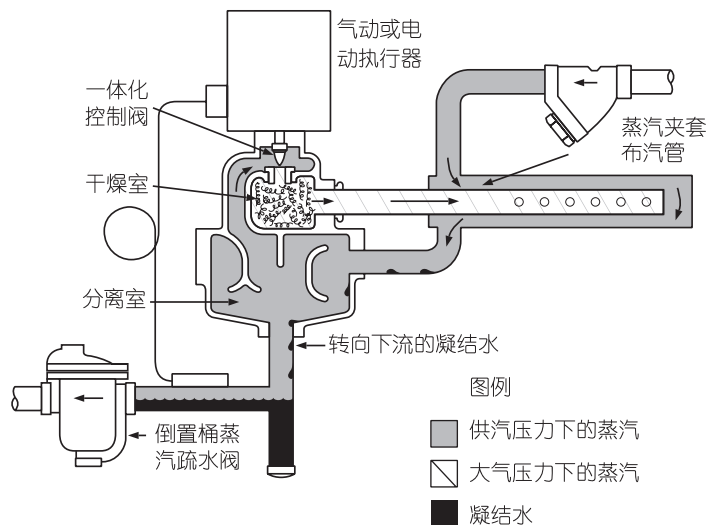
直接喷蒸汽加湿器有三种基本类型：专门设计的蒸汽格栅型、蒸汽杯型和汽-水分离器型。

专门设计的蒸汽格栅加湿器具有先进的结构，适用于对雾化尾迹有严格要求的场合。

蒸汽杯型加湿器从杯的侧面引入蒸汽。从理论上说，这种进汽方式可以靠重力使凝结水下落，进入疏水阀。但是实际上，蒸汽中带有大量的液滴进入空气流内，蒸汽本身也分布得不均。

汽-水分离器型加湿器是更加完善的加湿器，合理的设计使其从根本上满足使用性能要求。

图20-3. 汽-水分离器型加湿器



## 蒸汽的调整

当蒸汽流过供汽管道时，蒸汽流中可能夹带水垢及沉淀物，所以需要安装Y型过滤器，去除较大的固体颗粒。类似地，供汽管道内的凝结水使蒸汽流中夹带有水滴甚至水塞，并带入加湿器内。

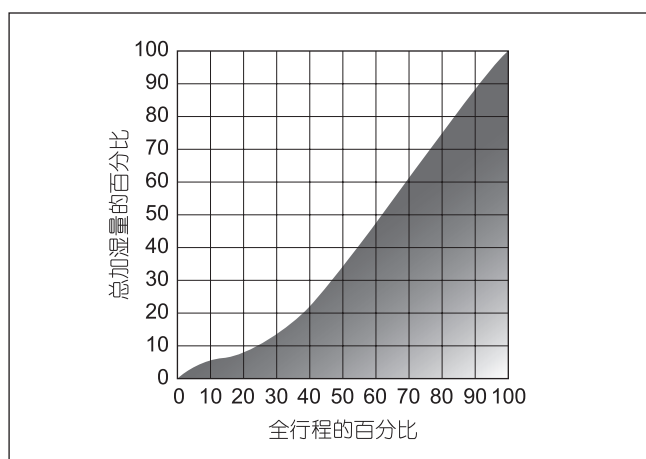
需要在加湿器内设置几个调节步骤防止排出的加湿蒸汽内夹带有水滴和微小杂质。

加湿器内的分离室应提供蒸汽最佳减速和最大汽-水分离的空间。绝大部分凝结水都从蒸汽中分离出来，随着大部分很微小的固体颗粒一起通过疏水阀排出。

从分离室出来的蒸汽仍含有液体雾滴，必须除掉。加湿器内装有由分离室蒸汽包围的内部干燥室，可以使任何残留的水滴重新汽化，最后变成干蒸汽排出加湿器。控制阀也由分离室蒸汽包围，并应与加湿器成一整体。加湿器和布汽管都有供汽压力和温度下的蒸汽夹套，防止在排汽过程中发生冷凝。

只有合理设计加湿器，进行蒸汽调节，才能确保高度卫生和清洁的空气。上述这些指导原则可以实现完美的加湿条件，确保加湿器严格满足系统的应用要求。

曲线图21-1. 用于调节控制阀门的理想修正线性特性曲线。在加湿量要求很小，阀瓣略微离开阀座的工况下，修正线性特性可以实现精确控制。



## 输出的控制

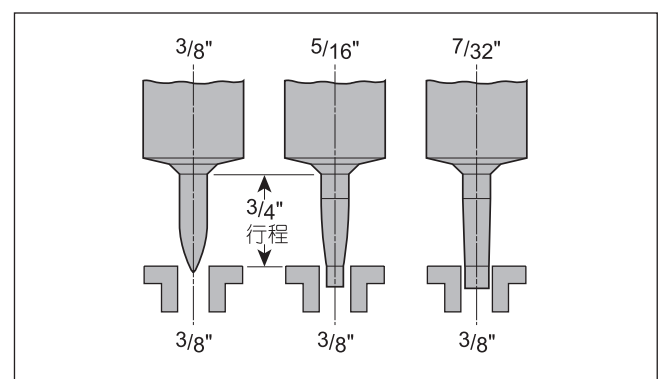
在大多数应用场合，加湿器经常运行在低于最大输出的工作状态。

加湿器的控制必须实现快速响应和精确控制，以便准确保持所要求的相对湿度。不合格的控制很难提供所需的加湿量，还可能导致风道内过度潮湿，产生湿斑。

有两个设计因素影响加湿器的控制精度，这就是定量阀和调节定量阀位置的执行器。

为把蒸汽加入空气中专门设计了阀门，可以实现精确的流量控制。抛物线柱塞阀是完成这一任务的最合适的阀门。这种阀门的行程比其它类似工业阀门长，即使在阀门“全开”的位置，阀塞也伸入阀座内，这样就容易实现在阀门的全行程内全量程精确调节流量。

图21-1. 抛物线柱塞型定量阀



## 控制阀

抛物线柱塞阀结构还能提供特别大的可调范围。可调范围是流过阀门的蒸汽最大可调流量与最小可调流量之比。阀门的可调范围越大，对蒸汽流量的控制越精确。表22-1所列的阿姆斯壮9000系列加湿器内使用的抛物线阀可调范围是这类阀门能达到的典型值。

执行器是湿度控制的另一个重要部件。有几种类型的执行器可以兼容各种系统。执行器对阀瓣位置的控制必须使阀瓣相对于阀座的位置关系在开、关行程中非常接近相同，这是加湿器实现一致、精确定量排出蒸汽量的关键所在。

根据设计，电动调节执行器在开、关行程中，都能实现线性定位。气动执行器不一定能提供精确控制所需的精确定位特性。建议使用滚压膜片式气动控制器，需满足以下要求：

1. 膜片面积要大(77cm<sup>2</sup>以上)以提供大提升力。允许使用足够强的弹簧，以稳定滞后和流速对阀位—气动压力关系的影响。
2. 在反复开关工作条件下，膜片材料耐磨耐用，强度不减。
3. 执行器行程足够长，结合阀体柱塞和阀座的设计，以提供大调节范围比。

所有调节执行器，不管是电动的还是气动的，都应安装复位弹簧。万一发生断电或中断控制气源时，复位弹簧可以确保关闭阀门。

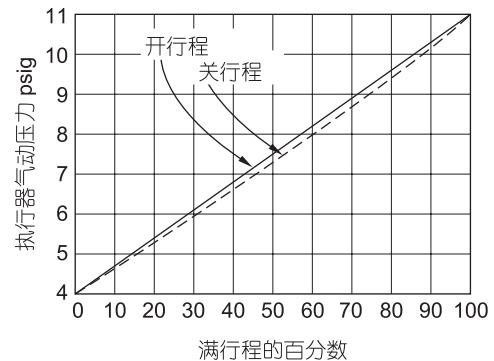
对于厂内工作加湿和某些极少数的风道应用场合，可以使用电磁阀进行简单的通/断控制。在使用电磁阀对风道系统进行开关控制之前，必须对系统进行详细的分析。

表22-1 蒸汽加湿器控制阀可调范围

阀门尺寸		可调范围	
相当直径		流量比	最小流量占最大
in	mm	最大：最小	流量百分比
1-1/2	38	63:1	1.6
1-1/4	32	69:1	1.4
1-1/8	29	61:1	1.6
1	25	53:1	1.9
7/8	22	44:1	2.3
3/4	19	33:1	3.0
5/8	16	123:1	0.8
9/16	14	105:1	0.9
1/2	13	97:1	1.0
15/32	12	85:1	1.2
7/16	11	75:1	1.3
13/32	10	64:1	1.6
3/8	10	70:1	1.4
11/32	9	59:1	1.7
5/16	8	49:1	2.0
9/32	7	40:1	2.5
1/4	6	31:1	3.2
7/32	6	24:1	4.2
3/16	5	18:1	5.6
5/32	4	59:1	1.7
1/8	3	37:1	2.7
7/64	3	28:1	3.5
3/32	2	21:1	4.8
5/64	2	15:1	6.9
1/16	2	10:1	10.0

曲线图22-1. 气动执行器的理想工作特性

在任何给定气动压力下，阀瓣的位置在开、关行程中几乎完全相同。



1 psig = 0.00689MPa



## 蒸汽的散布

加湿器合理设计的第三个重要因素是蒸汽的散布。蒸汽必须尽可能均匀地排入空气中，以便最快地吸收，而不产生湿斑或饱和区。

在一般风道内，跨风道截面的长度方向安装单个布汽管，可以达到满意的蒸汽分布。在大风道内，可能需要加宽蒸汽排放面以达到所需要的分布，这样就需要在一个或多个加湿器上安装多个布汽管。

工业场所的加湿，在没有中央空调的条件下，通常使用多个单元加湿器直接向大气中排蒸汽。可以用两种方法实现蒸汽与空气的均匀混合，一是在加湿器上安装风扇，另一方法是通过单元加热器吸收并散布水蒸气。

图23-2. 一般风道内用单根布汽管

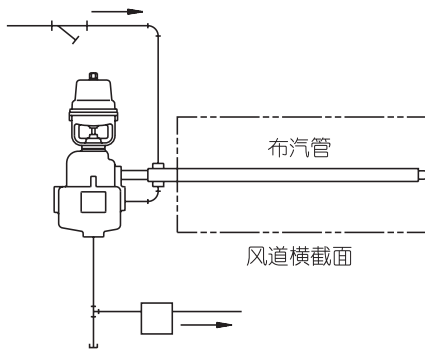


图23-1. 向加湿区直接排蒸汽的加湿器

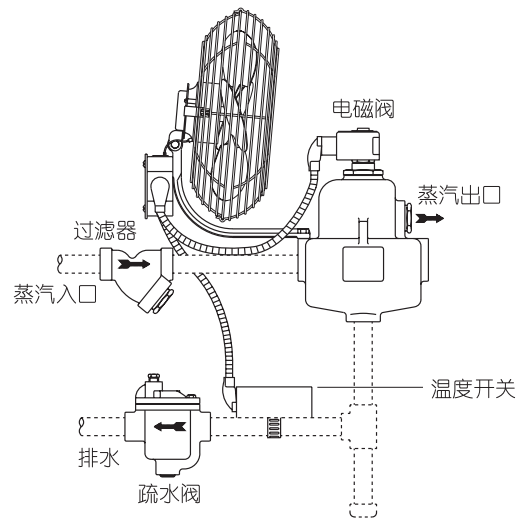
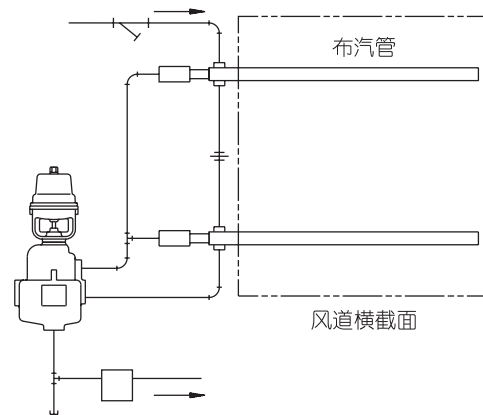


图23-3. 大风道或大房间内用多个布汽管



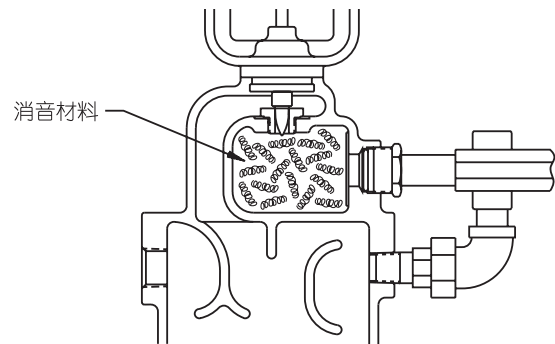
注：多根布汽管连接见第26页

## 运行噪声

除了前面谈到的这些重要的使用特性之外，对于需要安静的场所，如医院、写字楼、学校等，运行噪声也是选择加湿器需考虑的问题。

图23-4.

排放蒸汽的噪声产生于控制阀。为了消除这一噪声，需要围绕控制阀加消音材料。



在使用蒸汽加湿设备时，必须考虑几个基本原则，以避免可能发生的问題。

蒸汽在风道内的弥散是需考虑的事项之一。在蒸汽加湿过程中，100°C的纯蒸汽与较低温度的空气混合，温度较高的蒸汽与温度较低的空气的混合伴有传热。蒸汽付出热时就会有冷凝，这一冷凝的标志就是出现可见蒸汽。当蒸汽从布汽管排到空气通道中时，很快由不可见蒸汽变成可见的微小水粒，然后弥散，再次成为不可见的蒸汽。

可见蒸汽区表明该区域为过饱和，不可见的蒸汽凝结成微小水粒。发生凝结时，蒸汽向风道内的空气释放汽化潜热（约2326kJ/kg）。然后，当蒸汽完全与风道空气混合时，已释出的汽化潜热又被吸收回来，把可见的蒸汽变回不可见蒸汽，干球温度基本恢复到未冷凝前的风道温度（见图24-1）。

很明显，蒸汽在风道内的弥散，对于确定温度控制器和湿度控制器的正确安装位置是很重要的。由于风道内存在饱和空气段，安装在可见蒸汽段内或靠近该段的控制器所给出的结果是不准确的。在典型风道条件下，一般控制器都应装在布汽管下游至少3到3.7米以外。但是，加湿系统内的下述条件会影响可见蒸汽段的大小，因此在确定控制器位置时应考虑在内。

1. 风道的高宽比 风道的高与宽之比是影响可见蒸汽区分布的因素之一。图24-2表示具有相同截面积，但高宽比不同的两个风道。空气的流速、温度、相对湿度及布汽管的排汽量，在两个风道中完全相同。不同的是，在较高的风道内，布汽管较短，排出蒸汽所接触的空气比另一个风道少得多，形成较长的可见蒸汽区。

2. 风道空气温度 风道内空气的温度也影响可见蒸汽区的长度。如图25-3所示，在其它条件相同时，较暖的空气，使可见蒸汽区变短。

图24-1.

风道内近加湿器布汽管区典型干球（显热）温度变化。在释放汽化潜热的区段，温度上升。在可见蒸汽区或其附近，温度可能升高多达10-16°C，但是当可见蒸汽与气流混合重新汽化时，汽化潜热被吸收，风道空气温度又回到原来的水平。

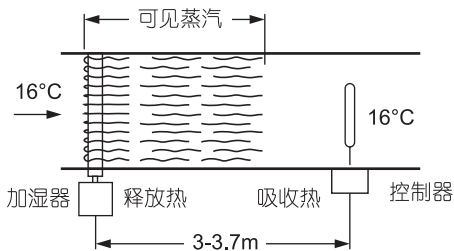
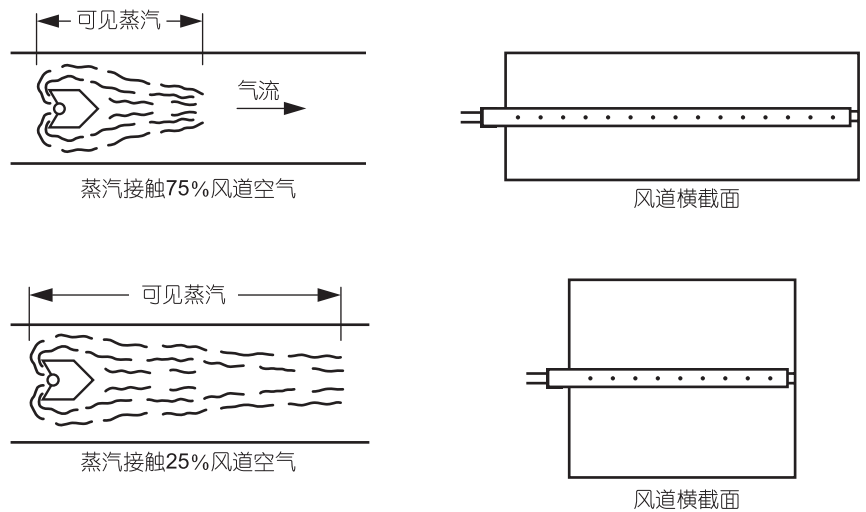


图24-2



**3. 布汽管保温** 尽管说蒸汽加湿是一个等温过程，当使用蒸汽夹套管布汽时还是向空气流传递了一些热能，通常会引起 $3^{\circ}\text{F}$  ( $1.7^{\circ}\text{C}$ )的温升。在对空气温度要求严格的应用场合，使用保温的蒸汽夹套管可以降低热传递水平。

当必须选用保温布汽管时，安装时应注意一些问题。蒸汽夹套管安装的典型要求是使蒸汽喷入空气流，**使用保温布汽管时，要使蒸汽顺着气流方向喷入**，以确保水雾不在保温夹套的冷面凝结。但是，当喷管按此方法安装后，气流通过标准蒸汽夹套管所增加的扰动将不复存在，会出现较长的可见蒸汽尾迹。图25-1和图25-2表明了正确的安装方法，以及对可见蒸汽尾迹的影响。

**4. 风道气流速度** 风道气流速度增加时，可见蒸汽区变长。图25-4表示两个风道，其气流速度分别为 $2.5\text{米/秒}$ 和 $10\text{米/秒}$ ，其它条件相同：包括温度、风道空气湿度、风道形状、尺寸及相同布汽管中排出的蒸汽量。可见蒸汽区的长度大致与风道气流速度成正比。

**5. 风道内布汽管的数目** 需要两个加湿器排汽量的大风道内，为达到较好的蒸汽分布，可以横贯风道的宽度安装两个布汽管，在高度方向上把风道截面分成三等份。使排汽量能满足需要的单个加湿器，安装多个布汽管能达到同样的效果。定量的蒸汽，通过多个布汽管分配时，每个布汽管排出的汽量较少，风道内更多的空气可以接触到蒸汽。如图25-5所示。

**6. 风道内空气相对湿度** 风道内的相对湿度也影响可见蒸汽区的长短。加湿器排汽口下游的相对湿度越大，可见蒸汽区越长。风道内的条件越接近饱和状态，可见蒸汽区可能拖得越长。风道内空气的相对湿度可由高限恒湿器进行限制，如第27页图27-2所示。

图25-1 标准夹套布汽管

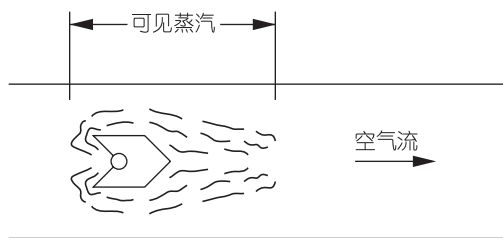
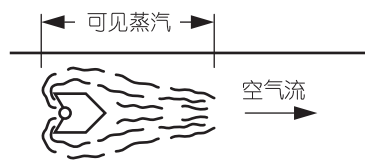
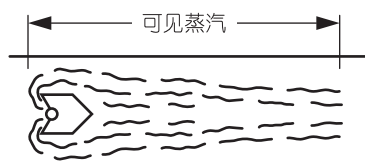


图25-3



风道空气 $24^{\circ}\text{C}$



风道空气 $13^{\circ}\text{C}$

图25-2 保温夹套布汽管

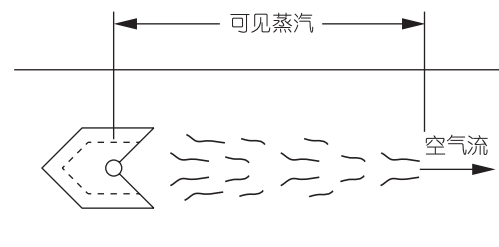
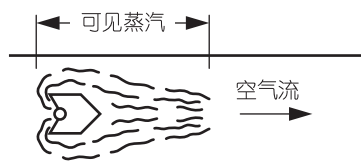
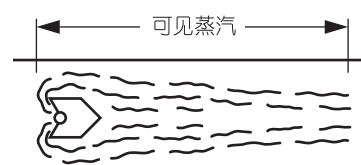


图25-4

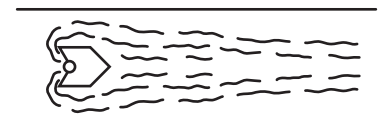


空气流速 $2.5\text{m/s}$



空气流速 $10\text{m/s}$

图25-5



由于多个布气管能使可见蒸汽区缩短，在加湿器的安装场所满足下列任一条件时，应考虑使用此种安装方式：

- A. 风道内空气温度低于18°C或相对湿度高于80%。
- B. 风道内气流速度超过4米/秒。
- C. 加湿器下游3米之内需安装“末端”或“高效”过滤器。
- D. 风道高度超过0.9米。
- E. 可见蒸汽冲击加湿器下游盘管、风机、挡板、过滤器（非“末端”）、转叶等。

表26-1和图26-1列出风道高度大于0.9m时，常用的布气管根数及其相互间距。

用户的具体问题请咨询当地的阿姆斯壮代理，或从[www.armstronginternational.com](http://www.armstronginternational.com)网站下载Armstrong Humid-A-ware加湿选型软件

带多个布气管的加湿器的接管布置，随布气管的位置不同而改变。

当所有布气管都高于加湿器的入口时，布气管接管如图26-2所示。

当一根或多根布气管低于加湿器进口时，布气管应单独疏水，如图26-3所示。

安装加湿器处的风道高度	一个或多个加湿器的布气管数
0.9~1.5m	2
1.5~2.0m	3
2.0~2.5m	4
2.5m以上	5

材料	颗粒尺寸 (微米)
肉眼能见的颗粒	10 以上
人的头发	100
灰尘	1至100
花粉	20至50
水雾 (可见蒸汽)	2至40
喷雾 (喷水)	40至500
工业烟尘	0.1至1
细菌	0.3至10
气体分子 (蒸汽)	0.0006

尽可能安装较小的布气管，这样可以减少多个布气管的成本。应注意加湿器的加湿能力不得超过多根布气管的喷湿总能力。接管布置见图27-3。

### 7. 加湿器布气管距高效过滤器太近

很多空调处理系统需要安装高效过滤器（又称“完全”或“末端”过滤器），这种过滤器可以滤除高达99.97%的所有直径0.3微米的颗粒及100%的较大的颗粒。这些过滤指标的重要作用通过与表26-2所列一般物体颗粒大小的比较可以显示出来。

图26-1

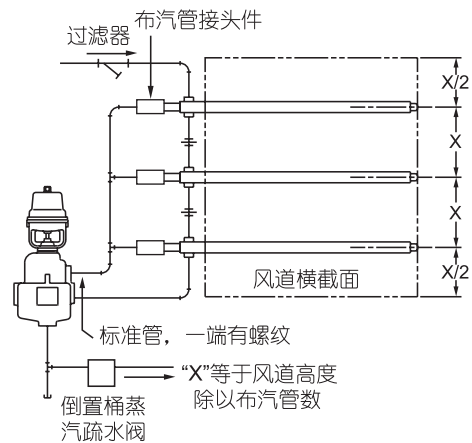


图26-2

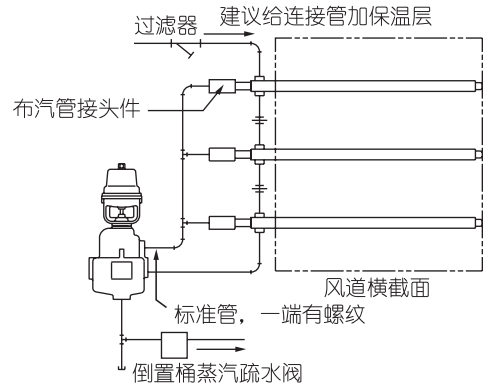
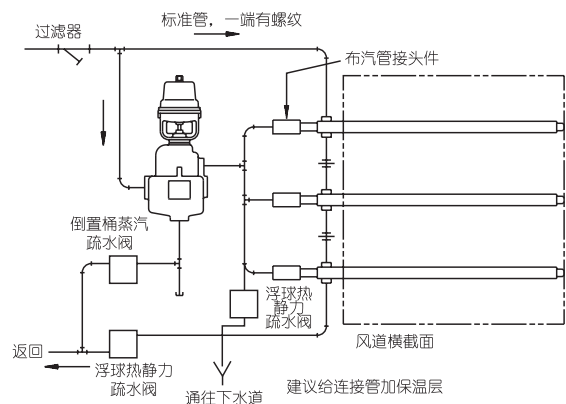


图26-3



由于可见蒸汽中的水滴颗粒大小为2到40微米，这些水滴都能被高效过滤器挡住。某些类型的过滤器吸收水滴并膨胀，减少了通过过滤材料的空气流，造成风道内静压从正常值约25毫米水柱增加到1000毫米水柱。在过滤器吸收水份时，也向风道空气释放出蒸汽凝结的潜热。

如果加湿器布汽管的安装位置过于接近完全过滤器，过滤器会吸收水滴，减少到达加湿区的水蒸气。如果加湿器布汽管安装在过滤器上游远一些的位置，则可以允许水滴变成蒸汽，顺利通过完全过滤器。

如果加湿器布汽管安装在末端过滤器上游3米或更远一些的位置，在大多数情况下，水蒸气能弥散得很均匀。在风道空气温度低，空气流速高或风道过高时，可以安装多个布汽管，以加速蒸汽与风道空气的混合。为了进一步加强保护，可以在紧靠末端过滤器的上游处安装风道最大湿度控制器，把最大湿度限制在低于90%左右（见图27-2）。

### 专门设计的蒸汽格栅系统

对于布汽管下游蒸汽吸收距离特别短的应用场合，可使用量身定做的系统。系统应包括分离器/布汽总管和多布汽管组件，并装有控制阀、蒸汽过滤器、蒸汽供汽管凝结水疏水阀以及一台或两台布汽总管排水疏水阀。每个系统都是根据现场条件定做的，以提供均匀布汽和缩短湿蒸汽尾迹（见图27-4）。

### 蒸汽格栅系统如何缩短湿汽区

经过调整处理的蒸汽进入每一个布汽管，通过从布汽管中心伸出的不锈钢蒸汽喷嘴喷入空气中。

空气流首先遇到空气导流管（见图27-1），使空气改变流动方向，速度增加。空气流绕过空气导流管，与喷嘴中喷出的高速蒸汽流迎头相遇，使蒸汽更均匀地分布在空气流中，水分更快地被空气流吸收，湿汽区比传统的布汽管缩短。

图27-1

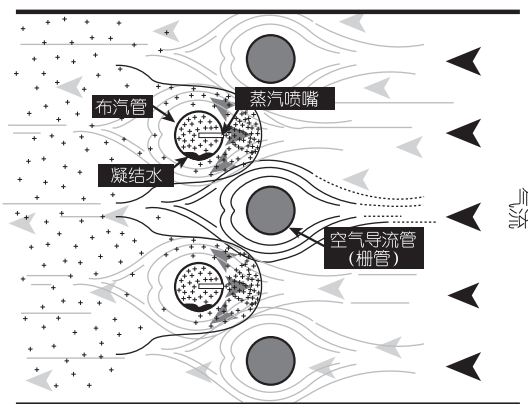


图27-3

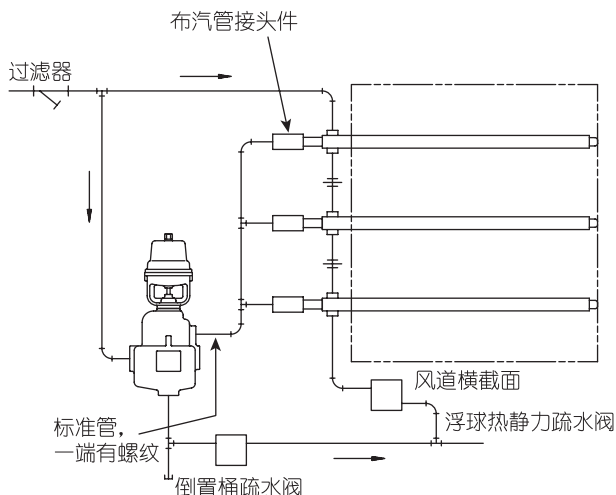


图27-2

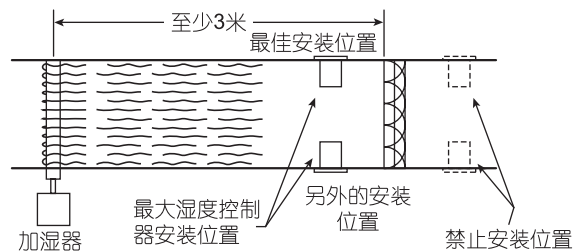
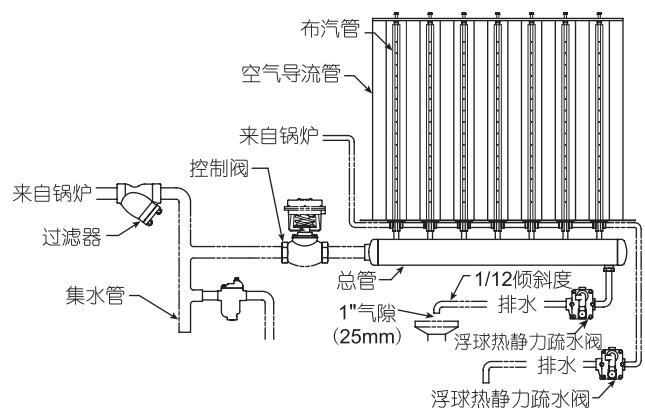


图27-4 蒸汽格栅系统



注：凝结水不得提升或排入有压回水管





# 加湿量的计算

## 使用风道系统的加湿问题

在实践中，可能会发现那些用中央空调系统不能达到满意加湿效果的需要加湿的场所。这些场所一般是具有高显热负荷而又必须用低风道空气温度维持设计温度条件。典型的例子是数据处理间或医院的手术室。在这些场所需要用低到10°C的风道空气维持室内24°C设计温度。风道空气的低温使得不能在风道空气中加足够的水份以满足室内相对湿度，如55%的设计要求。

用下列条件作为一个例子进行说明：风道空气温度为10°C，相对湿度为90%，每立方米含略低于8.5克的湿汽。在24°C时，不变的8.5克含湿量达到的相对湿度为39%。为了达到设计室内条件：相对湿度为55%和24°C，空气必须含有11.9克/米<sup>3</sup>的湿汽—比风道空气温度下所含有的湿汽多3.4克/米<sup>3</sup>。

对于这一应用场合，在空气达到最终温度后，必须进行增强加湿。我们建议使用自产蒸汽的电加湿器或蒸汽加湿器组合风扇的系统，可以安装在被加湿区内，也可以用风道送到被加湿区。在应用于医院时，加湿器与风扇组合系统应安装一体化高效（95%）过滤器，以满足标准要求。

## 确定空调系统的加湿负荷

大多数工程师喜欢根据设计条件和加湿需求用焓湿图确定所需的加湿量。

下面给出的简捷方法可以进行这些计算或用于检查焓湿图计算的结果。

### 一次加湿的计算

在为空调系统确定风道加湿器的加湿量时，应已知：

- 空气的流量，
  - 设计室外空气温度和相对湿度，
  - 所要求的室内温度和相对湿度，
  - 向加湿器供蒸汽的压力。
- 加湿负荷的计算公式是：

$$\text{加湿负荷} = \frac{Q (R2 - R1)}{1000} \text{ (kg/h)}$$

式中：

- Q=含湿量为R1的未加湿空气流量，m<sup>3</sup>/h
- R2=所要求的室内空调空气的含湿量，g/m<sup>3</sup>
- R1=需加湿的室外空气的含湿量，g/m<sup>3</sup>
- 1000=g/kg转换系数

## 例：设

室外空气17000m<sup>3</sup>/h  
 设计室外空气温度-17.8°C  
 蒸汽压力0.069MPa表压  
 要求在温度21.1°C下相对湿度40%  
 从表29-1可以查出，在21.1°C的最终温度下，要求相对湿度40%，室外空气温度为-17.8°C时，每170m<sup>3</sup>/h空气所需加湿量为1.114千克/小时。则17000 ÷ 170 × 1.114=111.4，或说设计条件要求111.4千克/小时的加湿量。

一台加湿器足够提供这一加湿量，也可选用两台加湿器按顺序先后运行，以防止在很小负荷时风道内蒸汽凝结。布汽管的长度取决于安装加湿器处的风道宽度。

## 增强加湿器的加湿量计算

设一次加湿器提供21.1°C下相对湿度40%的空气。现需要向实验室提供1530m<sup>3</sup>/h，21.1°C下40%的空气，使其相对湿度维持60%。查表29-3，在设计相对湿度为60%，对应于21.1°C和40%的初始条件，得170m<sup>3</sup>/h空气所需增强加湿量为0.63kg。则加湿器在供应蒸汽压力下，必须提供的加湿量为  
 1530 ÷ 170 × 0.63=5.67kg/h。

## 特殊条件下的加湿量计算

当计算加湿量的温度不是表29-1至表29-3所规定的温度时，可以用表29-5帮助计算。

要求新条件为：在25°C下相对湿度55%。  
 补充空气为：在21.1°C下相对湿度35%。  
 用表29-5，  
 由新工作条件查得含湿量为12.68g/m<sup>3</sup>，减去补充空气的含湿量6.45g/m<sup>3</sup>，得需补充加湿量6.23g/m<sup>3</sup>。设所需补充空气量为1360m<sup>3</sup>/h，则总加湿量为

$$\frac{1360 \times 6.23}{1000} = 8.47\text{kg/h}$$

## 室内与风道湿度条件的比较

室内需要湿度高（70°F/21.1°C，60%相对湿度），而风道温度（50°F/10°C）低于室内温度时，风道最大湿度恒湿器经常成为控制恒湿器。风道最大湿度恒湿器应设定在相对湿度为70%至90%之间。建议，其设定值不要高于90%。表29-4给出不同风道条件下，可以达到的室内最大湿度。

## 计算机软件可以简化加湿器的选择

阿姆斯壮加湿器选型软件 Humid-A-ware 可以应用于 Microsoft® Windows® 9x 或 Windows® 200x 环境，软件光盘还包括“PDF”格式的英文样本及图纸。

Humid-A-ware 软件可提供如下功能：

- 计算加湿负荷
- 选择正确的加湿器型号

- 生成设备数据表
- 显示空气的焓湿特性
- 计算不可湿汽化距离（可见蒸汽尾迹长度）
- 打印完整的加湿应用说明
- 相关计算中的公制单位与英制单位转换

如需要免费阿姆斯壮加湿器选型软件，请与阿姆斯壮公司或当地的阿姆斯壮代理联系。

**表 29-1. 70°F(21.1°C)一次加湿。达到21.1°C下要求的相对湿度，每170m³/h空气所需蒸汽千克数（室外空气75%饱和）**

室外温度		要求相对湿度							
°F	°C	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%
*30	-1.1	0.528	0.685	0.841	0.998	1.154	1.311	1.468	1.624
20	-6.7	0.734	0.890	1.047	1.203	1.360	1.517	1.673	1.830
10	-12.2	0.870	1.026	1.183	1.339	1.496	1.653	1.809	1.966
0	-17.8	0.958	1.114	1.271	1.427	1.629	1.740	1.897	2.053
-10	-23.3	1.013	1.169	1.326	1.482	1.639	1.796	1.952	2.109
-20	-28.9	1.047	1.204	1.360	1.517	1.679	1.830	1.987	2.143

**表 29-2. 75°F(23.9°C)一次加湿。达到23.9°C下要求的相对湿度，每小时每170m³/h空气所需蒸汽千克数（室外空气75%饱和）**

室外温度°C		要求相对湿度							
°F	°C	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%
*30	-1.1	0.719	0.902	1.086	1.270	1.453	1.637	1.821	2.004
20	-6.7	0.923	1.106	1.290	1.474	1.657	1.841	2.025	2.209
10	-12.2	1.059	1.242	1.426	1.610	1.794	1.977	2.161	2.345
0	-17.8	1.147	1.331	1.515	1.698	1.882	2.066	2.249	2.433
-10	-23.3	1.203	1.387	1.570	1.754	1.938	2.121	2.305	2.489
-20	-28.9	1.237	1.421	1.604	1.788	1.972	2.156	2.339	2.523

\*当室外设计温度超过-1.1°C时，可用室外设计温度和室外设计相对湿度查表29-5。

**表 29-3. 增强加湿 在不改变温度的条件下，达到要求的相对湿度 每170m³/h空气所需蒸汽千克数**

初始条件		要求相对湿度							
°F	°C	相对湿度	要求相对湿度						
			40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%
70	21.1	35%	0.156	0.313	0.467	0.626	0.780	0.939	1.098
70	21.1	40%	-	0.156	0.313	0.467	0.626	0.780	0.939
72	22.2	35%	0.167	0.330	0.499	0.662	0.830	0.998	1.166
72	22.2	40%	-	0.167	0.331	0.499	0.662	0.830	0.998
75	23.9	35%	0.184	0.367	0.553	0.735	0.921	1.102	1.288
75	23.9	40%	-	0.184	0.367	0.553	0.735	0.921	1.102

**表29-4. 不同给定风道条件下，室内最大相对湿度**

风道温度		风道相对湿度	在不同给定温度下，室内相对湿度			
°F	°C		68 °F (20°C)	70 °F (21°C)	72 °F (22°C)	75 °F (24°C)
50	10	90%	47%	44%	41%	37%
		85%	44%	41%	39%	35%
		80%	42%	39%	36%	33%
55	12.8	90%	57%	53%	49%	44%
		85%	53%	50%	46%	42%
		80%	50%	47%	44%	39%
60	15.6	90%	68%	63%	59%	53%
		85%	64%	60%	56%	50%
		80%	60%	56%	52%	47%

**表29-5. 空气在不同温度和相对湿度下的含湿量**

空气温度		饱和含湿量 g/m³	指定相对湿度下的含湿量 (g/m³)							
°F	°C		35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	75%
80	26.7	25.260	8.832	10.113	11.371	12.630	13.888	15.147	16.428	18.945
79	26.1	24.504	8.580	9.793	11.028	12.264	13.476	14.712	15.924	18.373
78	25.6	23.749	8.305	9.495	10.685	11.875	13.064	14.254	15.444	17.824
77	25	23.017	8.054	9.221	10.365	11.509	12.676	13.820	14.986	17.274
76	24.4	22.306	7.802	8.923	10.044	11.143	12.264	13.385	14.506	16.725
75	23.9	21.617	7.573	8.649	9.724	10.799	11.898	12.973	14.048	16.222
74	23.3	20.942	7.322	8.374	9.427	10.479	11.509	12.561	13.614	15.696
73	22.8	20.288	7.093	8.122	9.129	10.136	11.165	12.172	13.179	15.215
72	22.2	19.604	6.887	7.871	8.832	9.816	10.799	11.783	12.767	14.735
71	21.7	19.034	6.658	7.619	8.557	9.518	10.479	11.417	12.378	14.277
70	21.1	18.430	6.452	7.367	8.283	9.221	10.136	11.051	11.989	13.820
65	18.3	15.661	5.491	6.269	7.047	7.825	8.603	9.404	10.182	11.737
60	15.6	13.259	4.645	5.308	5.972	6.635	7.299	7.962	8.626	9.953
55	12.8	11.186	3.912	4.484	5.034	5.583	6.155	6.704	7.276	8.397
50	10	9.289	3.295	3.752	4.233	4.690	5.171	5.628	6.109	7.047
40	4.4	6.551	2.288	2.631	2.952	3.272	3.592	3.935	4.256	4.919
30	-1.1	4.452	1.327	1.556	1.785	2.219	2.448	2.677	2.883	3.340
20	-6.7	2.842	0.984	1.144	1.281	1.419	1.556	1.716	1.853	2.128
10	-12.2	1.775	0.618	0.709	0.801	0.892	0.984	1.075	1.144	1.327
0	-17.8	1.087	0.389	0.435	0.480	0.549	0.595	0.664	0.709	0.824
-10	-23.3	0.652	0.229	0.252	0.297	0.320	0.366	0.389	0.435	0.480
-20	-28.9	0.380	0.137	0.160	0.160	0.183	0.206	0.229	0.252	0.275



# 加湿量的计算 (续)

## 节能型循环空调

风机盘管系统可以把回风与室外空气(新风)以不同的比例混合,以得到要求的最终混合温度。在确定这种系统的最大加湿负荷时需要解决一些特殊的问题。

室外空气温度为最大设计值-10°F (-23.3°C)时,这种系统通常使用定量的室外空气(约10%至30%)。当室外温度升高时,为了得到最终混合空气温度55°F (12.8°C),需要增加与回风混合的室外空气的量。由于加湿负荷是所用室外空气量(及其含湿量)的函数,所需最大加湿量发生在某一室外空气温度下,而不是最大设计值。

## 需要室外空气量和最大加湿量

下面的表30-1和表30-3给出在所各室外温度下,维持要求的混合空气温度所需的室外空气百分比。表30-1的回风(室内空气)温度为70°F (21.1°C)。表30-3的回风温度为75°F (23.9°C)。

表30-2和表30-4可用来确定在给定混合空气温度和相对湿度下的最大加湿量,设室外空气相对湿度为40%,最小室外空气比例为10%。

注:对于较低温度的系统,应考虑过饱和情况。

## 例子

已知:21°C的回风与室外空气混合,形成风道内混合空气温度为12.8°C;空调场所的设计温度为21°C,相对湿度为40%;通过风机系统的空气总流量为68000m³/h。试确定最大加湿量。

由表30-2,用12.8°C混合空气温度及40%相对湿度,查得1700m³/h空气总流量的加湿负荷为5.2kg/h。这一最大负荷发生在室外空气温度为12.8°C时。 $5.2 \times 68000 \div 1700$ 得出该系统中每小时的总加湿量208kg/h,这样,最大加湿量为每小时208千克蒸汽。

表30-1. 回风温度为70°F (21°C)

要求混合空气温度		不同温度(°C)下,所需室外空气的%															
°F	°C	-23°	-18°	-15°	-12°	-9°	-7°	-4°	-1°	2°	4°	7°	10°	13°	16°	18°	
50	10.0	25	29	31	33	36	40	45	50	57	67	80	100	-	-	-	
55	12.8	19	21	23	25	27	30	33	36	43	50	60	75	100	-	-	
60	15.6	12	14	15	17	18	20	22	25	29	33	40	50	67	100	-	
65	18.3	6	7	7	8	9	10	11	13	14	16	20	25	33	50	100	

表30-2. 回风温度为70°F (21°C)

在给定室内相对湿度下,1700m³/h空气流量系统最大加湿负荷(kg/h蒸汽)及其发生时的室外空气温度													
室内相对湿度		30%		35%		40%		45%		50%		55%	
混合空气温度		室外空气	最大	室外空气	最大	室外空气	最大	室外空气	最大	室外空气	最大	室外空气	最大
°F	°C	(°C)	负荷	(°C)	负荷	(°C)	负荷	(°C)	负荷	(°C)	负荷	(°C)	负荷
50	10	5.6	3.5	10.0	4.9	10.0	6.4	10.0	8.0*	10.0	9.6*	10.0	11.2*
55	12.8	5.6	2.6	11.1	3.6	12.8	5.2	12.8	6.8	12.8	8.3	12.8	10.0*
60	15.6	5.6	1.7	11.1	2.4	15.6	3.7	15.6	5.3	15.6	6.9	15.6	8.5
65	18.3	-17.8	0.9	11.1	1.2	18.3	2.0	18.3	3.6	18.3	5.2	18.3	6.8

表30-3. 回风温度为75°F (24°C)

要求混合空气温度		不同温度下,所需室外空气的百分比															
°F	°C	-23°C	-18°C	-15°C	-12°C	-9°C	-7°C	-4°C	-1°C	2°C	4°C	7°C	10°C	13°C	16°C	18°C	
50	10.0	30	33	36	38	42	45	50	56	62	71	83	100	-	-	-	
55	12.8	23	26	28	31	33	36	40	44	50	57	67	80	100	-	-	
60	15.6	18	20	21	23	25	27	30	33	37	43	50	60	75	100	-	
65	18.3	12	13	14	15	16	18	20	22	25	29	33	40	50	67	100	

表30-4. 回风温度为75°F (24°C)

在给定室内相对湿度下,1700m³/h空气流量系统最大加湿负荷(kg/h蒸汽)及其发生时的室外空气温度													
室内相对湿度		30%		35%		40%		45%		50%		55%	
混合空气温度		室外空气	最大	室外空气	最大	室外空气	最大	室外空气	最大	室外空气	最大	室外空气	最大
°F	°C	(°C)	负荷	(°C)	负荷	(°C)	负荷	(°C)	负荷	(°C)	负荷	(°C)	负荷
50	10	7.8	5.0	10.0	6.9	10.0	8.8*	10.0	10.7*	10.0	12.5*	10.0	14.5*
55	12.8	7.8	4.0	12.8	5.6	12.8	7.5	12.8	9.4*	12.8	11.3*	12.8	13.2*
60	15.6	7.8	3.0	15.6	4.2	15.6	6.1	15.6	7.9	15.6	9.8	15.6	11.7*
65	18.3	7.8	2.0	18.3	2.8	18.3	4.4	18.3	6.2	18.3	8.1	18.3	10.0*

\*在给定温度下,风道中的加湿负荷将超过90%。建议使用增强加湿。

# 中央空调系统中的蒸汽加湿器

正确选定安装位置，正确安装及控制是实现完全满意无故障运行的关键。首要目标是达到要求的相对湿度，不发生滴水、喷水或凝结。系统中不能出现液体湿气，即便是局部湿斑也不允许。风道内出现水会引起构件损坏，更严重的是如果形成细菌滋生的环境会危害人身健康。

除需要正确进行加湿器设计和运行之外，下面几个因素也应高度重视。加湿器的加湿能力必须适合需加湿的系统；与系统内的其它部件的相对位置要恰当；加湿器和管道的安装不妨碍所采取的其他措施。在选定加湿器型号时必须确保其加湿量符合设计计算所要求的数值。加湿器的供汽压力必须保持相对恒定，以确保足够的加湿能力。要加倍注意的是：加湿量不要超过在空气温度下所能容纳的最大加湿量。使用焓湿图可以帮助用户确定其系统的最大加湿量。

正确选定加湿器在系统中的安装位置是最重要的。有时系统的设计增加了选定安装位置的难度。

## 系统1

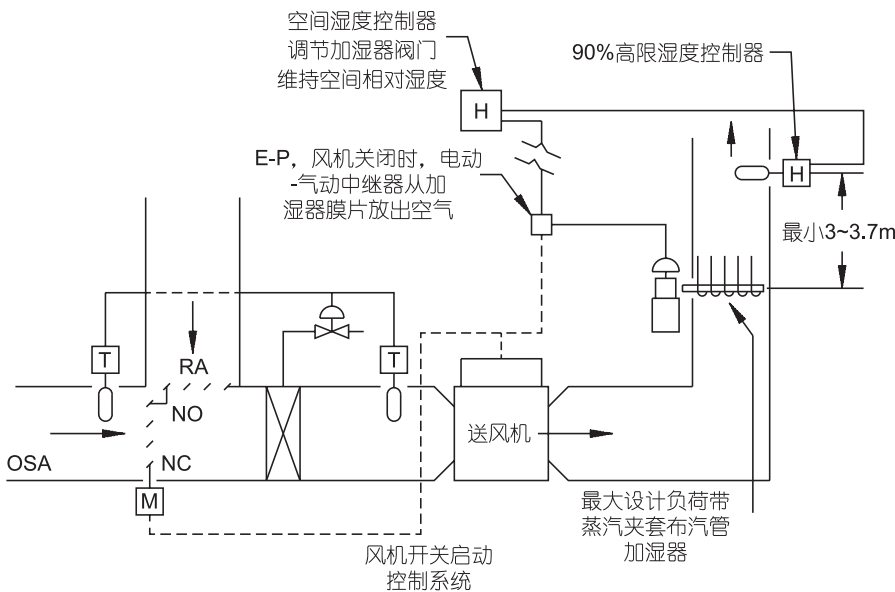
这是一个简单的通风系统。我们假设风道的最终空气温度略高于要求的室温，一次加湿器蒸汽夹套布汽管的理想位置在送风机的下游，这一加湿器按最大设计负荷选型。如果该加湿器的安装位置选在盘管与风机之间，就可能干扰测温包。图中所示的风道高限湿度控制器是可选项。在室外空气含湿量高于设计值时，如果设计负荷下的加湿器加湿能力可能对空气过度加湿，则最好使用风道高限湿度控制器。高限湿度控制器应安装在加湿器下游3-3.7米处。高限湿度控制器的安装位置应与加湿器安装位置有相同的风道温度。如果高限湿度控制器安装在较暖的空气中，则加湿器处的较低温度可能会导致饱和。

图示为一气动控制系统，风机开关启动控制系统。在风机关闭时，电动气动中继器从加湿器控制器膜片放出空气。下一个例子也是一个气动控制系统。如果系统是电动的，控制器的位置不变。

## 系统1

图31-1.

一次加湿通风系统



本系统和下面几个系统有以下特点：

- A. 由于蒸汽加湿器能瞬时响应，所以能进行精确控制。
- B. 控制可以是电动或气动调节（如图所示）。
- C. 不需接水盘或挡水板；加湿器安装位置灵活性大。
- D. 加湿不明显改变风道干球温度。
- E. 加湿器一体蒸汽夹套控制阀有抛物线柱塞阀瓣，精确选型，满足加湿要求。

### 符号说明

- EA——排风
- E-P——电动-气动中继器
- H——湿度控制器
- M——风门马达
- MA——混合空气
- NC——常关
- NO——常开
- OSA——室外空气
- RA——回风
- T——温度控制器



## 系统2

这是一个100%利用室外空气加湿的系统，具有预热和再热盘管。预热盘管把室外空气加热到10°C-16°C的风道温度，再热盘管根据加湿空间的要求为空气增加显热。本系统中，一次加湿器的最佳位置是在再热盘管的下游，这里的干球温度达到最高值。

注意湿度控制器在排气风道内的安装位置。如果在加湿空间内没有适于安装湿度控制器的位置，则安装在排气风道中尽可能靠近出口格栅处也能很好地控制湿度。

在本系统中，高限湿度控制器也是可选的，但是建议在一般情况下，装上更好些。

## 系统3

这是一个与系统2相似的系统，也是100%的室外空气，有预热盘管和再热盘管。但是本系统有两台加湿器，用同一个空间或排气风道湿度控制器进行顺序控制。两台加湿器在图中标为V-1和V-2。

V-1可提供三分之一的总加湿量，其弹簧压力范围为4-7psig（0.027-0.048MPa）；V-2的加湿能力定为所需加湿量的三分之二，其弹簧压力范围为8-13psig（0.055-0.090MPa）。这种顺序加湿控制可以更严格地控制加湿量，特别是在加湿条件大大偏离设计条件的情况下，能防止过度加湿及风道饱和。在室外空气较温和的条件下，加湿能力只占总加湿量三分之一的加湿器V-1就能满足加湿要求。

当室外空气较冷、较干燥时，加湿器V-1不再能满足加湿要求，V-2按着多出的加湿需要投入运行。这样，在任何室外空气条件下都能提供适度的加湿，防止在最小设计加湿量时风道过饱和。同样，高限湿度控制器为任选设备，但是建议安装。

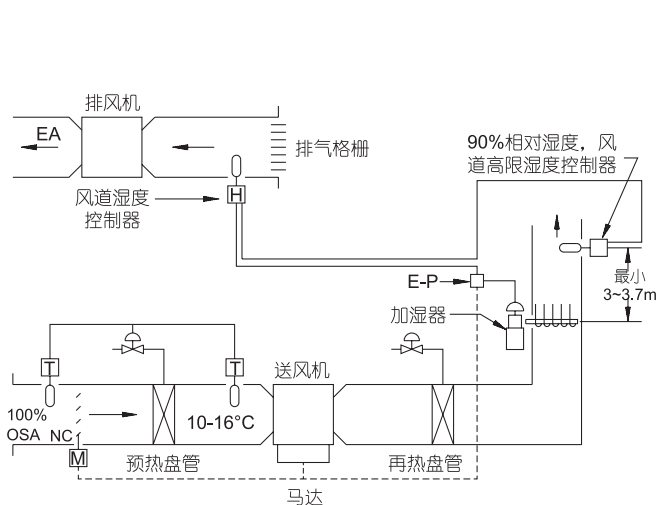
### 符号说明

EA——排风	NC——常关
E-P——电动-气动中继器	NO——常开
H——湿度控制器	OSA——室外空气
M——调节马达	RA——回风
MA——混合空气	T——温度控制器

## 系统2

图32-1

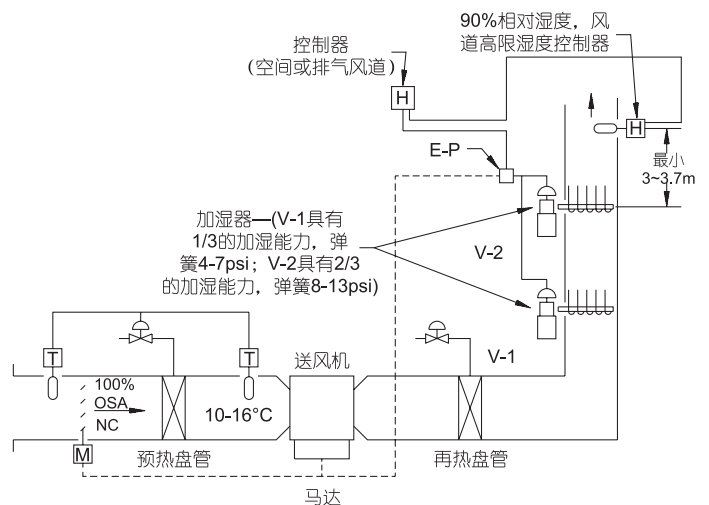
带一次加湿的100%室外空气加热通风系统



## 系统3

图32-2

顺序控制一次加湿100%室外空气加热-通风系统



## 系统4

这是另一种100%利用室外空气的系统。系统中，经预热盘管加热的空气保持10°C-16°C温度不变。系统使用两台加湿器，一台用作一次加湿器，另一台用作增强加湿器或叫二次加湿器。

在该系统中，一次加湿器直接由风道湿度控制器控制，使加湿空间在24°C温度下保持35%的相对湿度。增强加湿器安装在再加热盘管和风机的下游，其选型和控制可以在需要时使加湿空间的相对湿度从35%增加到要求的较高湿度，比如55%。这可以使单独控制的加湿区达到其它方法达不到的高湿度。

这是一个很重要的组合，因为使用一次加湿器可以减少增强加湿器的加湿量，即使增强加湿器安装在距出口格栅仅0.9米处，也不会发生过饱和及可见蒸汽段。更多情况请咨询阿姆斯壮代理，或从[www.armstronginternational.com](http://www.armstronginternational.com)网站下载阿姆斯壮Humid-A-ware™加湿器选型软件。

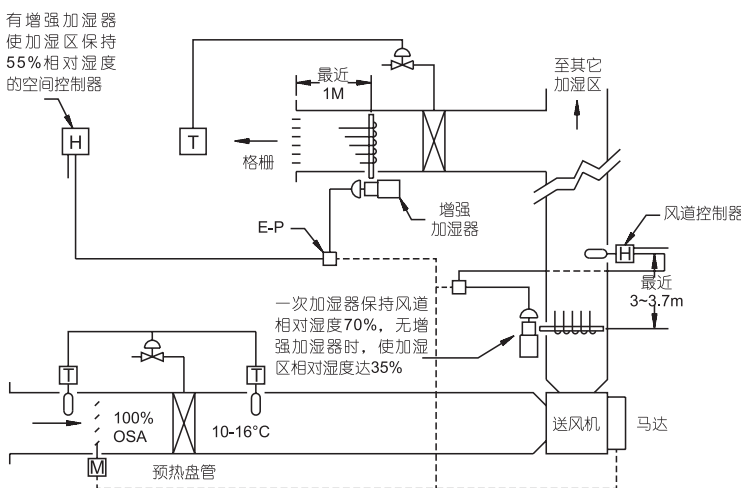
## 系统5

这是一个单一加湿区整装加热和通风系统，带内部正面和侧面风门调节器。加湿器应安装在混合调节器的下游，使水蒸汽可以加在加热通风系统出口温度下的空气内。这一安装位置可以保持空间的相对湿度较高而又不出现风道饱和。由于这一位置的空气温度较高，混合较均匀，故比安装在紧靠加热盘管的上游要好。同样，建议在加湿器下游3-3.7米处安装高限湿度控制器，以防止可能出现的风道饱和。

### 系统4

图33-1

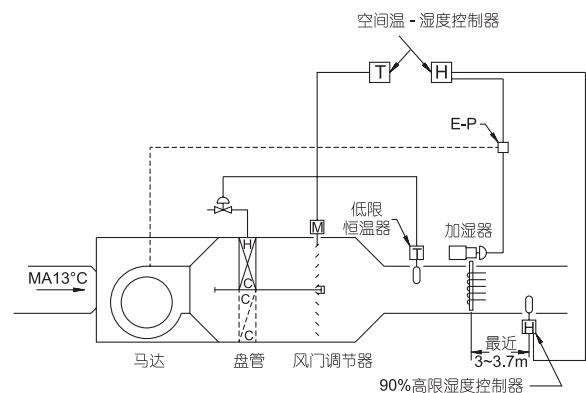
带一次和增强加湿的100%室外空气加热-通风系统



### 系统5

图33-2.

一次加湿有内部正面和侧面风门的单区加热-通风系统



## 系统6

这是一种多区加热/通风系统，每个区都有正面和侧面风门调节器。本例中给出的是一次加湿的方法和安装位置，但只限于“舒适加湿”，如35%相对湿度。通常此类系统多为整装系统，一般作法是把加湿器安装在加热盘管之前，如图所示。这种安装方法，在分出热区之前，给热层或冷层提供均匀的加湿分布。但是这一系统对13°C的空气不能提供足够的加湿。要想使相对湿度高于35%，就可能发生可见蒸汽冲击加热盘管的问题（见第15页例2）。

在这种系统中，有时可以使用两台加湿器，在不同加湿区之间加挡板，实现不同的相对湿度。在各分开的加湿区内，需要时可以使用增强加湿器，以提高相对湿度。

## 系统7

这是一个高气流速度双风道系统，带有一次加湿器和增强加湿器（如图所示）。一次加湿器像系统6一样提供只有30%至35%相对湿度的“舒适加湿”。由于安装空间的限制，一次加湿器可以安装在送风机的前面（如图所示），其选型要保持风道内混合空气的相对湿度达90%。加湿器应尽可能远离送风机，至少不小于0.9米，确保蒸汽与空气的充分混合，使风道控制器有充分时间探测出饱和状况。使用多个布汽管有助于蒸汽与空气的混合。

注意，这种安装方法，一次加湿器的湿度控制器不能装在空间或排风风道，而应是在如图所示的送风风道。由于每个加湿区都有各自的温度受控制的混合箱，如果把一次加湿器控制器安装在加湿空间或排风风道，肯定不能进行精确控制。另外，加湿器与控制器之间的距离远，会造成反应滞后或超控。

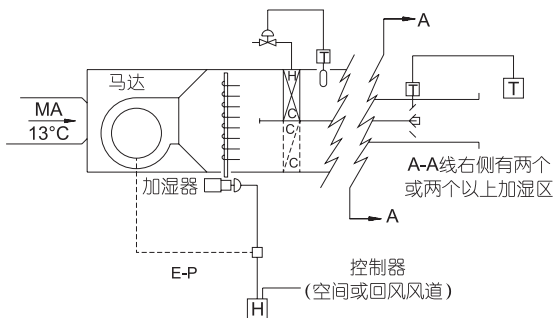
### 符号说明

EA——排气	NC——常关
E-P——电动-气动中继器	NO——常开
H——湿度控制器	OSA——室外空气
M——风门马达	RA——回风
MA——混合空气	T——温度控制器

系统6

图34-1.

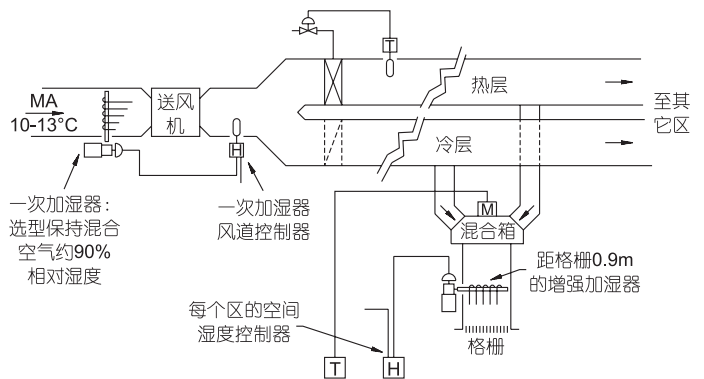
带内部正面和侧面风门调节器的多区供热通风系统——一次加湿



系统7

图34-2

带一次加湿和增强加湿的高气流速度双风道系统



## 组合空调机组的安装

加湿器大多数必须装在中央空调机组内。由于组合空间的限制，经常发生安装位置的矛盾。

在图35-1所示的吸入型的水平送风组合机组中，建议加湿器的安装位置在风机的排风口。在某些情况下，这样装不可能。注意，如果加湿器安装在替代位置，布汽管必须安装成逆气流排汽，排入气流紊流最大的区域。这样，空气可在接触风机叶片之前达到最佳混合。当加湿器安装在替代位置时，应如图所示安装高限湿度控制器并设置为80%相对湿度

度。对于竖直送风的吸入型空调器，其加湿器的建议安装位置（图35-2）与水平送风机组完全相同。如果安装在替代位置，则需要安装设定为80%相对湿度的高限湿度控制器。布汽管与水平送风机组相同，也应逆气流排汽。

图35-1. 水平送风

加湿器安装在建议位置时，风道高限湿度控制器应设定为90%相对湿度；装在替代位置时，应设为80%相对湿度

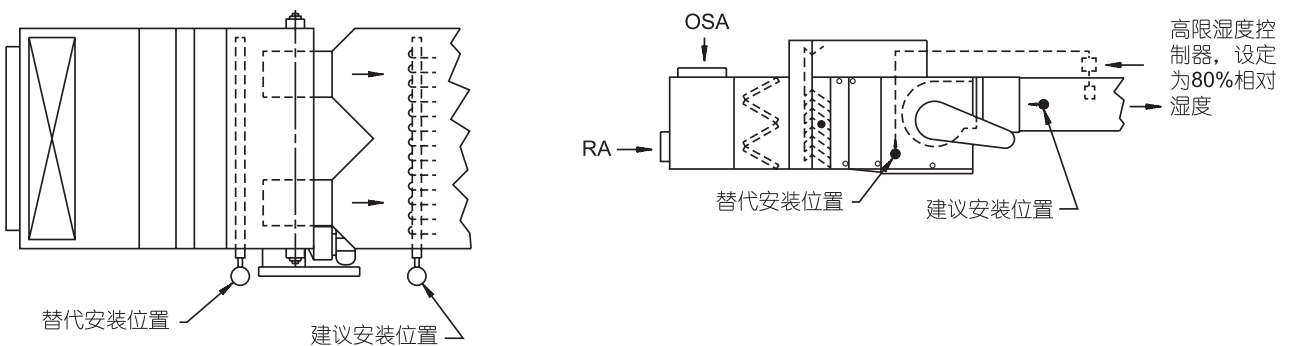
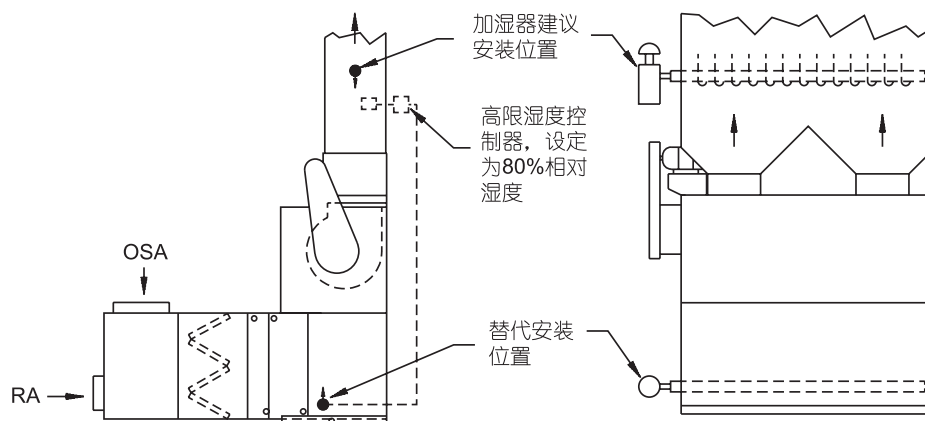


图35-2. 竖直送风





在低压吹入型多区组合式空调机组内（图36-1），建议安装方法与上述基本相同。为了防止对冷风道过度加湿，并防止排汽产生冲击，布汽管应逆气流排汽而不是直接顺着风机气流排汽。

像吸入型机组一样，应安装高限湿度控制器，并设定为90%相对湿度。在高压吹入型组合机组中（图36-2），加湿器的建议安装位置也是尽可能靠近风机，布汽管的排汽直接排入风机排风中。需要安装设定为90%相对湿度的高限湿度控制。

当加湿安装在替代位置时，不管是高压系统还是低压系统，高限湿度控制器都应设定为80%相对湿度。

图36-1 低压系统

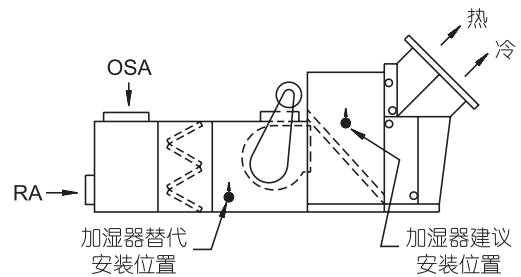
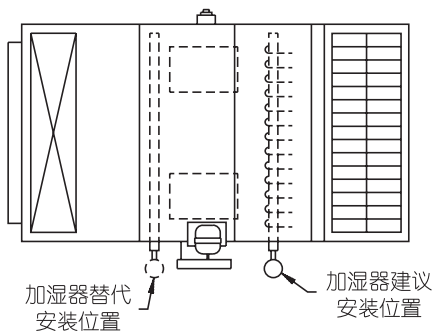
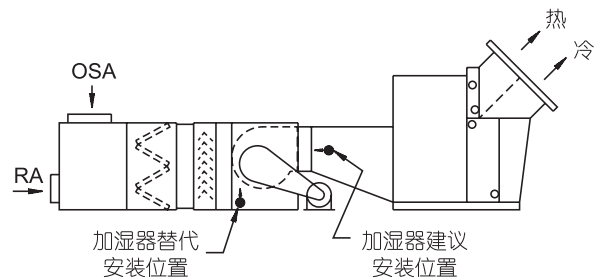
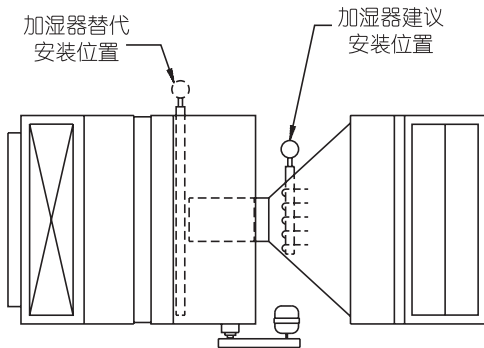
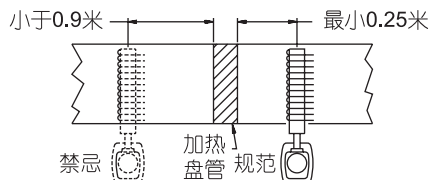


图36-2 高压系统

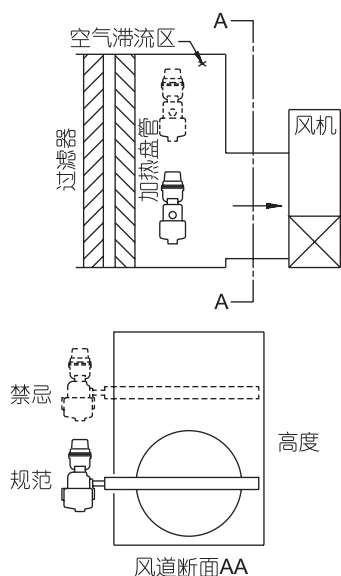


# 安装注意事项

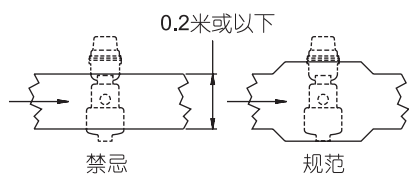
在讨论系统时，我们谈到一些安装位置规范要求 and 禁忌。现在总结一下这些注意事项有助于防止故障。例如，在可能的条件下，布汽管应安装于加热盘管的下游。如果布汽管安装在加热盘管上游，则这两者必须相距0.9米以上（风速较高的系统应0.9米以上）。



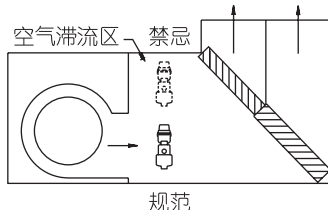
如果需要把加湿器安装于风机前的加热盘管段内，应把布汽管安装于最活跃的气流中，距风机进口尽可能远。



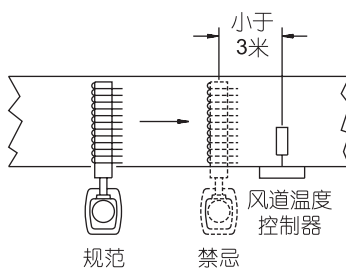
不得在高度为0.2米或更低的风道内阻碍气流，应使用如图所示的扩张段。



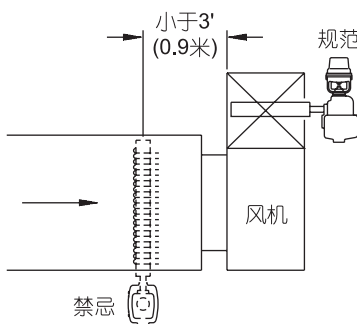
如果需要用加湿器给多区组合空调系统加温，应把布汽管安装在活跃气流中心并尽可能靠近风机排风口。



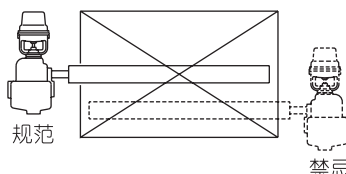
不得将布汽管安装于温度控制器上游的3米之内，否则测得的信号是错误的。



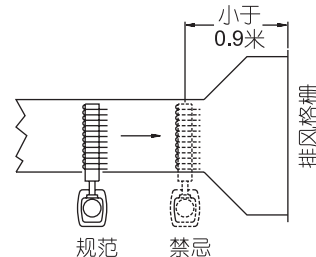
不得将布汽管安装于风机进口0.9米之内，最好是安装在风机排风口。



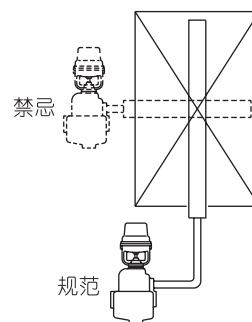
在可能的情况下，尽可能把布汽管安装于风道中心。



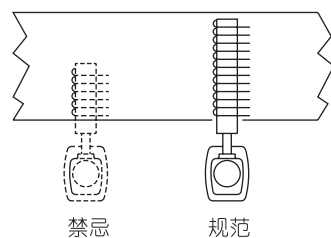
应将布汽管安装于出风格栅上游尽可能远的位置，不得少于0.9米。



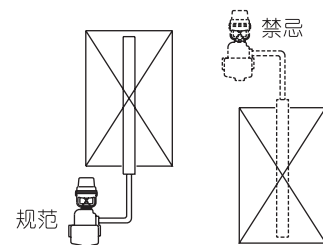
布汽管的选型和安装应使布汽管长度跨风道截面的最大边长。



选择向风道气流布汽的布汽管长度，应使布汽管占满风道的整个宽度。



不得将布汽管竖直向下安装，以免布汽管蒸汽夹套凝结水排水困难。允许布汽管竖直向上安装。



注：上面各图中的所有尺寸都是风道温度为18°C或以上，风道气流速度4米/秒或以下的尺寸。如果风道温度较低或流速较高，这些尺寸应更大或考虑使用多个布汽管。



# 直接排放单元加湿器的应用

应对应用需求进行调查分析，确定需要的加湿蒸汽量、加湿机组的数目、型号及类型，以及加湿器和湿度控制器的安装位置。

## 自然通风时的选型和安装位置

以下是一般工业加湿要求：

- 室温——18-27°C。
- 相对湿度——35%至80%。
- 自然通风——即通过门窗渗入。

## 选型需要的数据

最低室外温度：对于大多数应用场合，取当地最低记录温度加5°C作为最低室外温度。最低室外温度的存在时间一般不超过几小时。

- 室内温度
- 要求相对湿度
- 用于加湿的蒸汽压力
- 加湿空间的容积
- 每小时换气次数：换气次数按平均室内条件计算，不计通风的空气和吸湿材料的回潮。

- 一面外露的房间\_\_\_\_\_ 1
- 两面外露的房间\_\_\_\_\_ 1  $\frac{1}{2}$
- 三面或四面外露的房间\_\_\_\_\_ 2
- 无窗或无通室外门的房间\_\_\_ 1/2-3/4

## 典型例子：

- 设计室外温度\_\_\_\_\_ 0°F (-17.8°C)
- 室内温度\_\_\_\_\_ 70°F (21.1°C)
- 要求相对湿度\_\_\_\_\_ 40%
- 每小时换气次数\_\_\_\_\_ 2
- 蒸汽供气压力\_\_\_\_\_ 5psi (0.034MPa)

室温70°F (21.1°C) 时的加湿量。在不同室外温度下（室外空气相对湿度75%），为得到室温70°F所需要的室内相对湿度，每小时换气一次，每1000英尺<sup>3</sup> (28.3米<sup>3</sup>) 空间加湿蒸汽千克/小时数。

表38-1. 70°F (21.1°C) 加湿

室外温度		室内温度70°F (21.1°C) 下，所需室内相对湿度										
°F	°C	20%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%
*30	-1.1	0.358	0.062	0.088	0.114	0.140	0.166	0.192	0.219	0.244	0.271	0.297
20	-6.7	0.070	0.096	0.122	0.148	0.175	0.200	0.226	0.253	0.279	0.305	0.331
10	-12.2	0.093	0.119	0.145	0.171	0.197	0.223	0.249	0.275	0.302	0.327	0.354
0	-17.8	0.108	0.133	0.160	0.186	0.212	0.238	0.264	0.290	0.316	0.342	0.368
-10	-23.3	0.117	0.142	0.169	0.195	0.221	0.247	0.273	0.299	0.325	0.352	0.377
-20	-28.9	0.122	0.148	0.162	0.200	0.227	0.253	0.279	0.305	0.331	0.357	0.383

房间尺寸400' × 160' (122m × 48.8m)，房间高度10英尺 (3.05米)。

自然通风。

加热：热风机组，通断控制。

## 第一步：计算需要加湿蒸汽量

室内容积400' × 160' × 10' =640,000英尺<sup>3</sup> (18,123米<sup>3</sup>)  
由于室内温度为70°F (21.1°C)，故查表38-1。由0°F (-17.8°C) 室外温度行与40%的相对湿度列相交，得每次换气1000英尺 (28.3米<sup>3</sup>) 的空间加湿量0.186千克蒸汽/小时。  
需要安装加湿器的加湿能力为18123 ÷ 28.3 × 0.186 × 2=238 千克蒸汽/小时。

## 第二步：确定电控还是气控机组

由于加湿面积大，需要用多台加湿器，又无爆炸可能，所以不需用气控机组，建议用电控机组。

## 第三步：确定所需加湿器台数

需要加湿蒸汽量除以供气压力下一台加湿器的加湿能力。

## 第四步：确定加湿器型号

对于本例，建议使用多台加湿能力较小的加湿器。较大加湿能力的加湿器可能在低天棚上发生凝结。另外，由于加湿面积大，如果安装大加湿能力而台数少的加湿器，其恒湿器必相距较远，控制湿度的精确程度达不到要求。

## 第五步：确定加湿器类型

本例中，一体化风扇加湿机组比与单元加热器装在一起的直接喷蒸汽加湿机组要好。由于单元加热器的风扇是通-断型的（以控制温度），这样当最近的单元加热器在断开状态时，恒湿器可能要求加湿。另外，由于天棚较低，加湿器喷出的蒸汽可能上升至天棚，发生凝结。所以，应使用一体化风扇型加湿器。

## 第六步：确定加湿器的安装位置

有几种可能的方案。实际安装位置通常可以根据已有的供水管和回水管而定，以使安装新管最少，减少安装费用。

在本例的400英尺×160英尺×10英尺（122米×49米×3米）大厅内，可能是大厅的两侧各有一条蒸汽管。加湿器的布置可以如图39-1中黑圈所示。如果蒸汽管穿过大厅中心，则加湿器的布置如图中白色线图所示。在160英尺（49米）宽的大厅中，从蒸汽管到一体化风扇加湿器的接管约为20英尺（6米）长。如果厅室只有60英尺（18米）或80英尺（24米）宽，则接管会更短。

### 第七步：确定恒湿器的安装位置

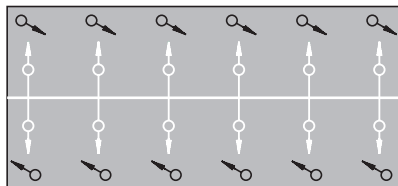
恒湿器应离开加湿器20至30英尺（6至9米）之间，略微偏至加湿气流的一侧。恒湿器应装在加湿器能“看到”的地方，不要藏在柱后或工字钢内。恒湿器必须能获取正确的空气试样，以控制湿度。

### 强制通风条件下，加湿器的选型和安装位置

典型应用场合：家具制造厂内锯木和打磨车间。这些地方的加湿器选型和安装总体与前述情况基本相同，不同点是：

1. 确定换气次数。
2. 确定加湿器和恒湿器的安装位置。

图39-1. 加湿器的位置应尽可能减少管道长度。黑色线圈表示供汽管顺厅壁布置时的加湿器位置。白色线表示供汽管在厅中心布置的情况。

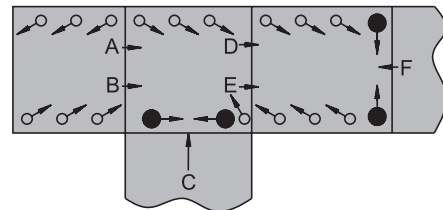


换气次数：在知道排风扇的排风量时，可用排风扇的每小时排风立方米数除以加湿的厅室容积立方米数，得换气次数。

在不知道排风量时，可以在风扇满排量运转时，用流速表测量通到厅室内的所有门窗、电梯口等的进风量，从而得到换气次数。

加湿器的安装位置：应注意到，在取暖季节，加湿器必须一天二十四小时、一周七天都进行湿度控制，而排风扇可能每周只运转40或80小时。所以，加湿器和恒湿器的安装位置必须确保在风扇运转和不运转时都能提供良好的加湿分布。

图39-2. 典型布置。有排风扇的木工加工车间内，加湿器布置简图。箭头表示风扇带来的气流，加湿器的规格根据风扇的排风量而定。加湿器安装位置要保证在风扇运转时和不运转时都能给出均匀加湿。



室温75°F（23.9°C）时的加湿量。在不同室外温度下（室外空气相对湿度75%），为得到室温75°F所需要的室内相对湿度，每小时换气一次，每1000英尺<sup>3</sup>（28.3米<sup>3</sup>）空间加湿蒸汽千克/小时数。

表39-1. 75°F（23.9°C）加湿												
室外温度		室内温度75°F（23.9°C）下，所需室内相对湿度										
°F	°C	20%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%
*30	-1.1	0.059	0.089	0.120	0.150	0.181	0.211	0.242	0.273	0.303	0.137	0.364
20	-6.7	0.093	0.123	0.154	0.184	0.215	0.245	0.276	0.307	0.337	0.153	0.399
10	-12.2	0.115	0.146	0.176	0.207	0.238	0.268	0.299	0.329	0.360	0.163	0.421
0	-17.8	0.130	0.161	0.191	0.222	0.252	0.283	0.313	0.344	0.375	0.170	0.436
-10	-23.3	0.139	0.170	0.200	0.231	0.262	0.292	0.323	0.353	0.384	0.174	0.445
-20	-28.9	0.145	0.176	0.206	0.237	0.267	0.298	0.328	0.359	0.390	0.177	0.451

\*注：当室外设计温度高于30°F（-1.1°C）时，使用第7页的表7-1。



## 高温或低温加湿的选型

在空气温度大大高于75°F (23.9°C) 或低于70°F (21.1°C) 的场所，使用表38-1或39-1是不行的。必须用第7页表7-1查得室内和室外温度下每立方英尺饱和空气所含水份的格令数，再计算所需加湿量。典型应用实例：当室内温度为90°F (32.2°C) 时，60000英尺<sup>3</sup> (1700米<sup>3</sup>) 的空间，每小时四次换气，加湿到相对湿度40%，计算每小时所需蒸汽量。设补充空气为0°F (-17.8°C)、75%相对湿度的室外空气。

查表得90°F饱和空气含湿14.9格令/英尺<sup>3</sup>，40%相对湿度下含湿5.976格令/英尺<sup>3</sup>。

查表得室外0°F饱和空气含湿0.475格令/英尺<sup>3</sup>，75%相对湿度含湿0.356格令/英尺<sup>3</sup>。

加湿量：5.976-0.356=5.620格令/英尺<sup>3</sup>。

每1000英尺<sup>3</sup> (28.32立方米)，每次换气加湿量：

$$\frac{5.620 \times 1,000}{7,000} = 0.803 \text{ 磅 (0.365 千克)}$$

注：7000格令=1磅

60000英尺<sup>3</sup> (1700米<sup>3</sup>) 的室内，每小时4次换气，所需蒸汽量为0.803×60×4=193磅/小时 (88.1千克/小时)

温度低于70°F (21.1°C) 的室内加湿计算方法完全相同。

注：对于高温空气，空气的体积随相对湿度变化很大。这种情况下，使用阿姆斯壮软件Humid-A-ware可进行精确的加湿器选型。

## 有爆炸危险场所的加湿

存在爆炸危险场所应选用气动控制加湿器，其选型要求与其它类型加湿器相同，但应按最苛刻的补充空气条件、相对湿度及最小蒸汽压力选型。

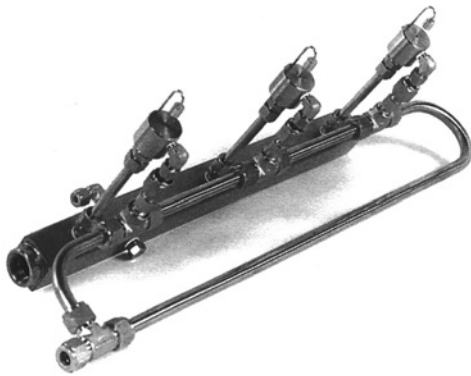
加湿器的安装位置应保证蒸汽在加湿区获得最佳扩散和分布。

## 特殊目的的工业加湿

在某些工艺流程中，需在快速移动的薄板或薄膜、薄仪表塑料、纤维、胶膜等的近表面处提供高湿度层，目的是防止静电累积或防止材料失去水份。如果薄膜是热的（可能经常是这样），容易很快失去水份。使用专门设计的蒸汽喷淋加湿器，在贴近表面处生成高湿度区，可以保持材料中的水份含量，防止损失。

对于这种应用场合，加湿器应与设备的驱动装置联动，并应保证喷出蒸汽为干蒸汽，无水滴和水雾。

# 冷雾系统的选型



与其它阿姆斯壮加湿产品不同，“冷雾系统”部件的选型几乎全在“室内”进行。选型需要用户为每一具体应用提供详细的资料。

## 水质和部件材质

“冷雾系统”（CF）在自来水中钙和其它溶解固体含量不太高时，可以使用自来水。如果水质分析表明需要对自来水进行净化处理，则应考虑使用反渗透水处理系统。“CF”设计要求加湿器喷管由铜管制成，带316号不锈钢加湿喷头；水阀由黄铜制成。

对于试验室或洁净室的加湿，需要用去离子水时，应使用“净雾系统”（PF）。“PF”设计要求加湿器喷管、喷头和水阀均由不锈钢制成。

图41-1 空气调节装置侧视图

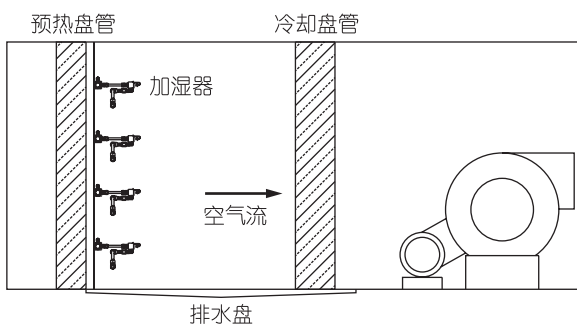
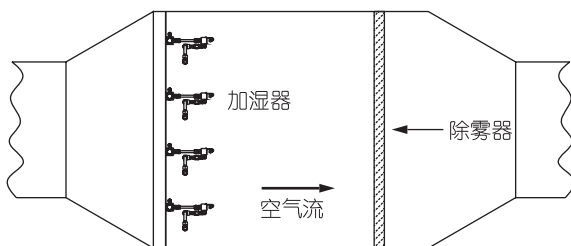


图41-2 喷雾室侧视图



## 加湿器的安装位置

加湿器可用于空气调节装置内或空气流速小于3.8米/秒的风道内。在用于风道时，如果空气流速超过推荐的最大值，则应考虑使用带除雾器和排水盘的喷雾室。

当喷雾系统不能应用于已有机械系统时，“直接区域排放加湿系统”（DDF）可能是合理的选择。“DDF”设计要求把加湿器喷头一个一个地布置在封闭区域内，例如仓库或工厂的楼层内，把雾直接排到开放空间。

## 控制类型

“标准比例控制系统”（STD）能同时调节空气和水的输出压力，从而调节加湿输出，同时保持固定的气/水压差。这种类型的控制系统最适于压缩空气耗量不是关键问题的中、小型空气调节系统。

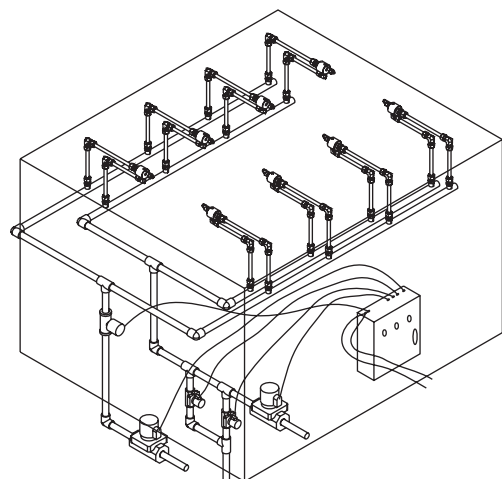
对于大型空气调节系统，压缩空气耗量是影响成本的重大因素，应考虑使用“变差压控制系统”（VDC）。由于“VDC”系统在控制范围的上半段能按比例减少空气/水出口差压，所以能使压缩空气耗量减少30%，从而减少所需压缩机的尺寸，降低运行费用。

对于负荷不变且新风百分比固定的空气调节装置，可以选用经济性好的“气水混合(HC)通/断控制系统”替代“标准比例控制系统”和“变差压控制系统”。

“直接区域喷雾系统”（DDF）由“通/断”控制柜进行控制，不能像“标准比例控制”和“变差压控制”那样对喷雾输出量进行调节。

所有控制柜都要求输入控制信号（通/断输入、4~20mA或0~10Vdc输入），通常由楼宇自动控制系统提供。

图41-3 “直接区域排雾系统”侧视图



正确使用喷雾系统，需满足以下要求：

1. 进入喷雾室的空气必须有一定的温度，流速必须足够慢；
2. 必须有足够的蒸发距离；
3. 空压机必须提供足够压力和足够流量的清洁空气；
4. 水系统必须提供足够压力和足够流量的清洁水；
5. 必须从空气系统中除去未蒸发的水。

## 空气温度及预热：

如第18页图18-1所示，当雾化水在气流中蒸发时，存在干球致冷效应。干球致冷效应的大小取决于水的蒸发速度，即决定于喷雾头的实际喷雾量和蒸发效率。

为了在要求的干球温度和相对湿度下送出空气，进入喷雾室的空气（即混合空气）必须混合或预热到送风所需要的湿球温度，这要求风门和预热盘管能实现比例调节。

虽然具体应用场合各不相同，但具有循环风的空气调节装置进口空气温度要求不得低于15~18°C。对于全新风系统，通常空气要预热到38°C或更高。

## 空气流速：

空气调节装置喷雾室内的空气流速必须足够慢，使得雾化的水在离开喷雾室和撞到下游任何表面之前能有充分的时间蒸发(最佳流速为2.5米/秒或更低)，见第41页图41-1。

风道内的空气流动一般都太快。所以，应用于风道时，通常需要采用“喷雾室”。“喷雾室”要有足够的高度和宽度，把流速减少到可接受的程度；还要有足够的长度，允许水雾充分蒸发。见第41页图41-2。

## 蒸发区域：

由于“直接区域排放加湿”（DDF）的应用中靠近加湿器喷头处空气流速通常很小，所以，要求至少有6立方米的自由空间和距最近表面3米的垂直落差，见图42-2。

## 蒸发效率和除雾：

某些应用条件下，不容许有足够的喷雾室长度来确保雾滴100%蒸发。

图42-1 标准比例控制/变差压控制

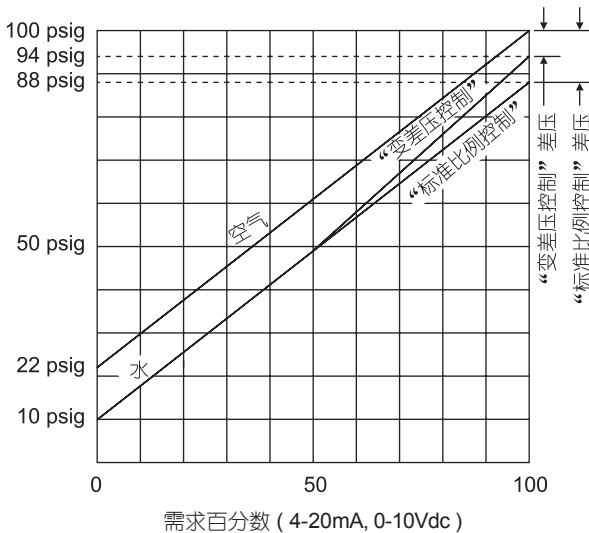
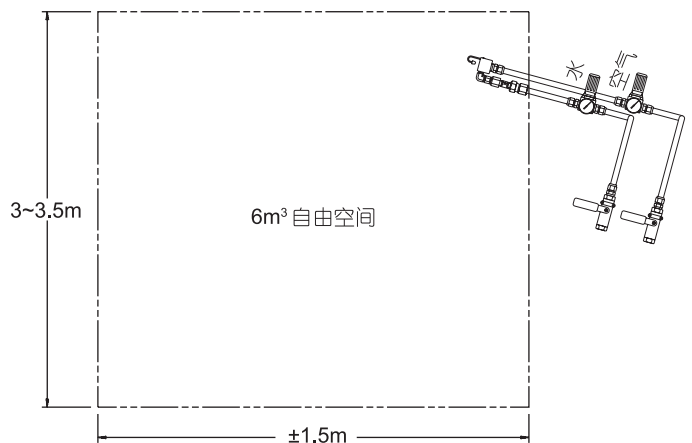


图42-2 直接区域排放



对于那些不允许在喷雾室下游存在未蒸发的水雾的空气调节装置或风道，这时需要安装带排水盘的冷却盘管或带排水盘的除雾栅，见第41页图41-2。

对于“直接区域排放”应用，还没有实用的方法来去除未蒸发的水雾。因此，对于未蒸发水雾可能对工艺或产品造成破坏的清洁室等敏感环境，不应使用“直接区域排放”（DDF）系统。

### 水源：

必须确保有适当压力和流量的水源，为加湿组合喷管水侧供水。

如果确定自来水有足够的纯度可用于加湿，则应在喷雾室的下游安装空气过滤器，去除溶解于水中不随水蒸发的固体。

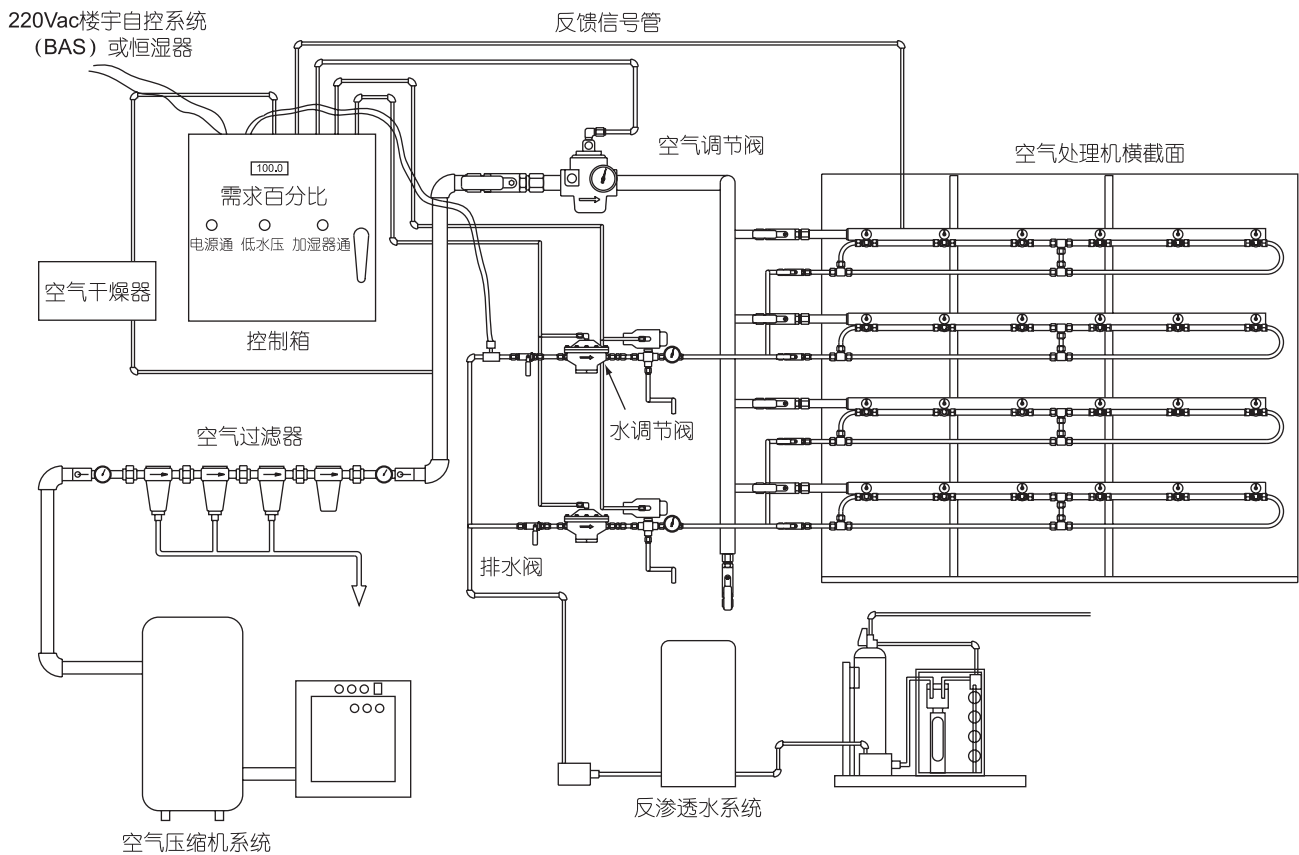
### 压缩空气源：

必须有足够流量和压力的清洁空气，为加湿器组合喷管的空气侧供气。最低要求充油的螺样压缩机，带前过滤器和至少四级后过滤器。

### 仪表气：

“标准比例控制”箱和“变差压控制”箱需要仪表气品质的气动气源。“通/断”控制柜不需要气动气源。

图43-1 “标准比例控制”（STD）或“变差压控制”（VDC）





喷雾系统加湿负荷的选型在很多方面不同于蒸汽加湿系统。喷雾加湿系统要求将室外空气预热或混合到送风状态的湿球温度；蒸汽加湿系统要求将室外空气预热或混合到送风状态的干球温度。

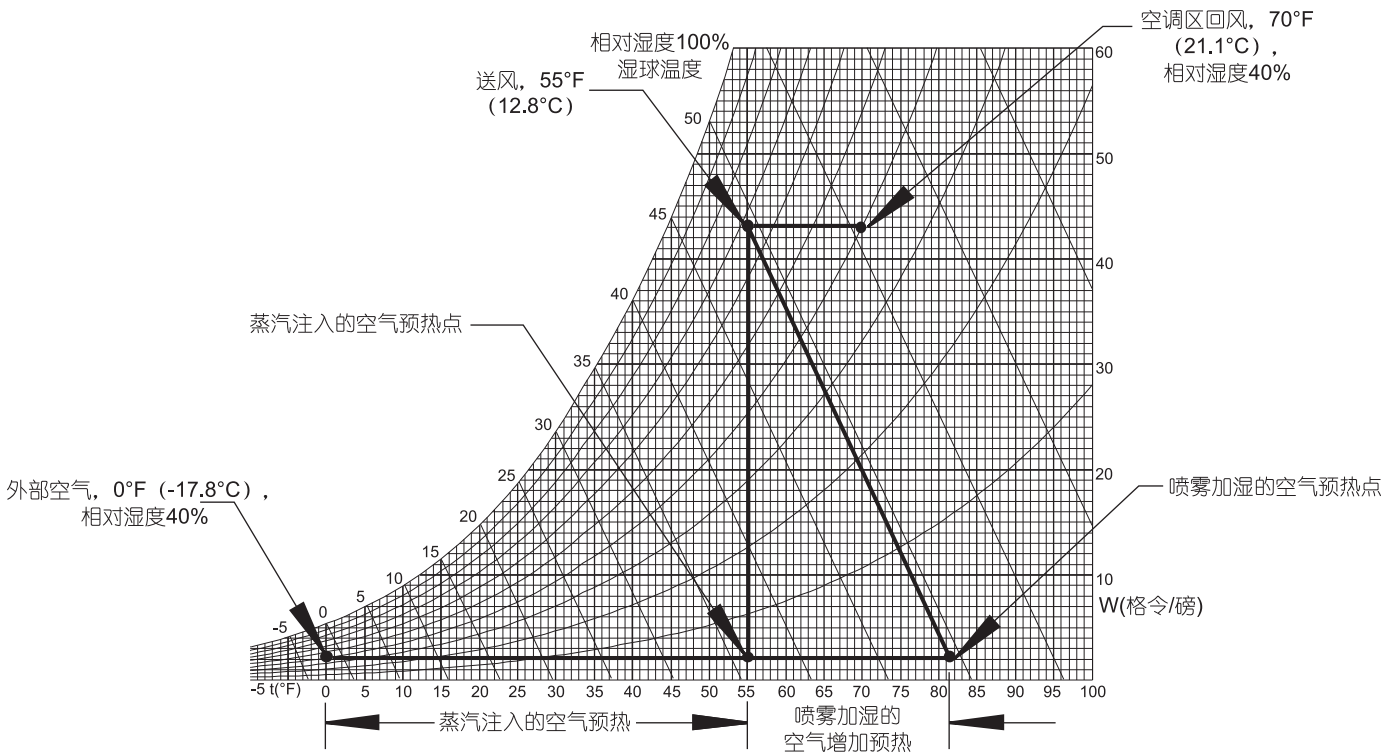
由于喷雾系统的干球致冷效应，空气必须混合或预热到高于蒸汽系统的干球温度。这虽然不影响实际加湿负荷，却是湿度计算的重要部分，且影响预热盘管的选型。

### 例1：100%外部空气，设：

0°F (-17.8°C)，40%相对湿度的10,000立方英尺/分(17000m<sup>3</sup>/h)外部干空气，需要经空气调节器处理到55°F (12.8°C) 49%相对湿度，排入室内，以便保持室内区域为70°F (21.1°C)，40%相对湿度。

与第28页的蒸汽加湿选型例子相同，蒸汽加湿系统和喷雾加湿系统的加湿负荷都是245.6磅/小时(111.4千克/小时)。但是，对于蒸汽加湿系统，在蒸汽注入空气流中之前，气流只需加热到55°F (12.8°C)；在喷雾加湿系统中，空气需要预热到82°F (27.8°C)才能达到要求的排放条件。

图44-1 例1：100%外部空气



注：空气焓湿图的数值未计入风机产生的热量、风道热损失、渗漏损失或冷却盘管除湿影响。

1格令=0.0648克

1磅=0.4536千克

### 回风循环节能装置：

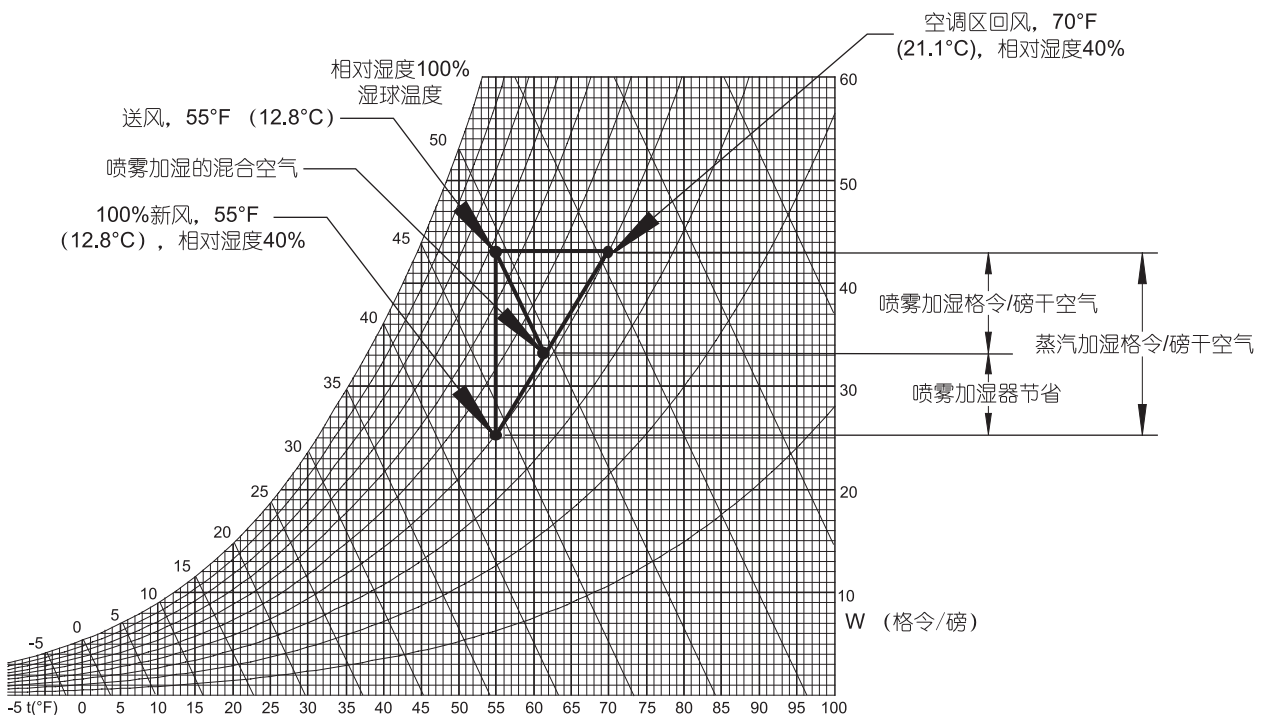
由于喷雾加湿系统要求将外部空气混合或预热到送风状态的湿球温度，故在节能循环系统中达到要求的送风温度只需要较少的外部空气，这使得加湿负荷大大减少。

### 例2：回风循环装置系统，设：

回风循环系统的送风量为40,000立方英尺/分（68,000立方米/小时），最小新风流量为10%，需要排气温度为55°F（12.8°C），维持空间温度70°F（21.1°C），要求空间设计相对湿度为40%，室外设计空气相对湿度为40%。如第30页的例子，计算蒸汽负荷为456磅/小时（208千克/小时）。

由于喷雾加湿器系统的致冷效应，为达到55°F（12.8°C）的排气温度，所需的混合空气温度为61°F（16.1°C）。由于外部空气的减少，每磅干空气中加入的水蒸汽格令数从17.8降到10，这使喷雾加湿系统的最大负荷降为258磅/小时（117.0千克/小时）。

图45-1 例2：回风循环系统



注：空气焓湿图的数值未计入风机产生的热量、风道热损失、渗漏损失或冷却盘管除湿影响。

1格令=0.0648克

1磅=0.4536千克

### 最小新风量及预热

当要求的最小新风量使最高混合空气温度低于达到55°F (12.8°C) 排放空气温度所需要的干球温度时, 需要进行预热。这种情况一般发生在新风量要求高于20%或新风设计温度低于-10°F (-23.3°C) 时。

### 例3: 预热, 设:

节能循环系统的空气流量为40,000立方英尺/分 (68,000立方米/小时), 最小新风量为25%, 需要排放温度为55°F (12.8°C), 维持空间温度70°F (21.1°C), 要求空间设计相对湿度为40%, 室外设计空气温度-20°F (-28.9°C), 相对湿度为40%。

从空气焓湿图上可以看出, 当外部空气温度为-20°F (-28.9°C) 时, 空气混合温度最高可达47.5°F (8.6°C)。这时, 蒸汽加湿和喷雾加湿的最大加湿负荷是相同的 (即280磅/小时—127千克/小时)。为了达到空气排放温度为55°F (12.8°C), 蒸汽加湿系统需预热空气到55°F (12.8°C), 而喷雾加湿器系统需预热空气到62.5°F (16.9°C)。

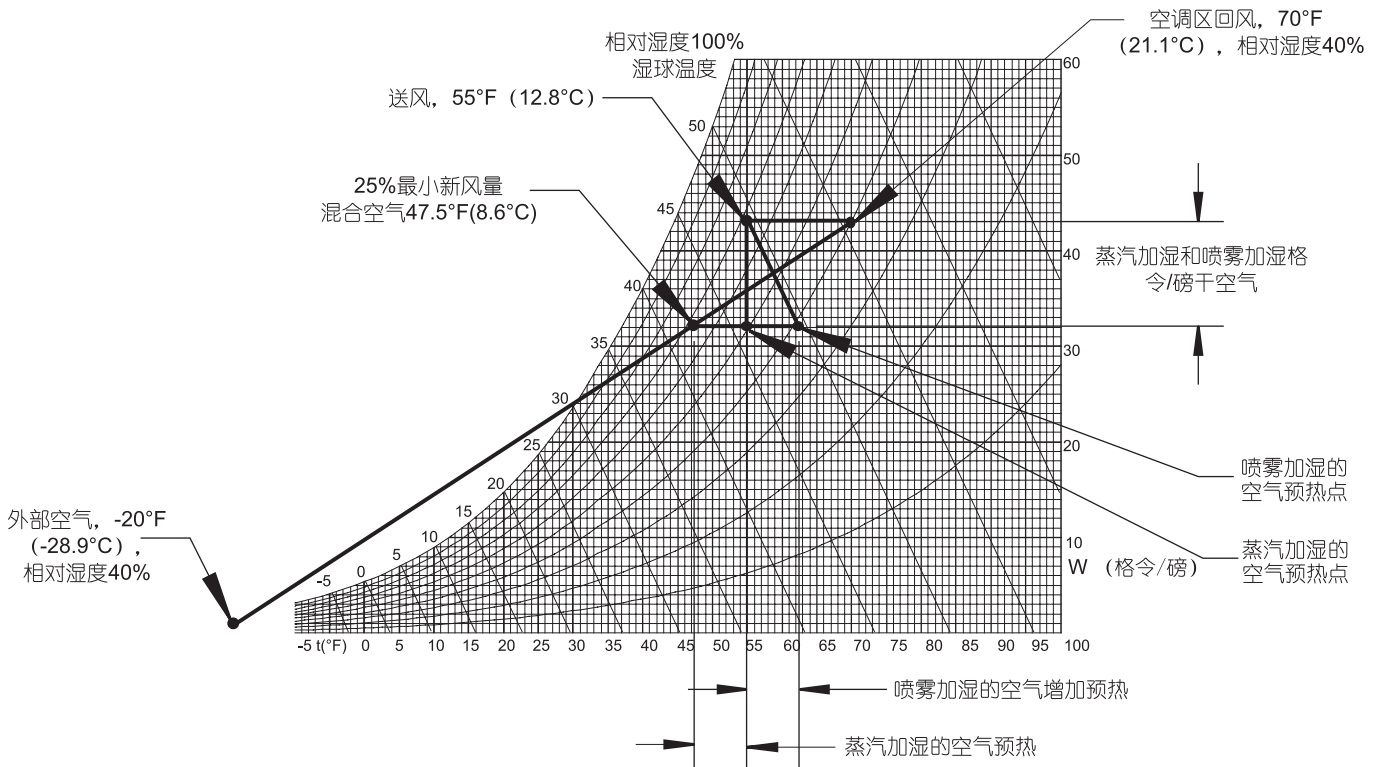
### 例4: 直接区域排放, 设:

室内长、宽为400英尺 (122米) × 160英尺 (48.8米), 天花板高为25英尺 (7.6米), 自然通风, 由单元加热器加热。

蒸汽负荷计算为1,309磅/小时 (593.8千克/小时)。

每个加湿器喷头最大推荐输出为12磅/小时 (5.4千克/小时), 这样, 本例中需要109个加湿器喷头。这些喷雾头应均匀分布在有足够蒸发面积且到最近表面的垂直距离在大于最小推荐值的位置上 (见第42页图42-2)。

图46-1 例3: 预热



注: 空气焓湿图的数值未计入风机产生的热量、风道热损失、渗漏损失或冷却盘管除湿影响。

1格令=0.0648克

1磅=0.4536千克

# 离子床技术™

当锅炉蒸汽无法获得或需要无化学添加剂的蒸汽时，阿姆斯壮提供三种独特的蒸汽加湿解决方案。

**HumidiClean** 清洁加湿器包含三种形式的自产蒸汽加湿器：电热、燃气、蒸汽转蒸汽。

阿姆斯壮的清洁加湿器始于离子床——一种放置于清洁加湿器蒸发水箱里的纤维介质。离子床看似简单，却为最大程度减少自产蒸汽加湿器水箱里的矿物质堆积问题提供了最为实用有效的方法。

为获得满意的加湿器使用效果，承包商、设计师和业主不用再为把水的电导率和硬度调整到可接受的范围而发愁，采用离子床技术的清洁加湿器（电热、燃气、蒸汽转蒸汽）可适用于广泛的水质。无论是硬水、软化水、反渗透水（RO）或是去离子水（DI）都无所谓，万能的清洁加湿器在各种水质条件下都可以完美地工作。

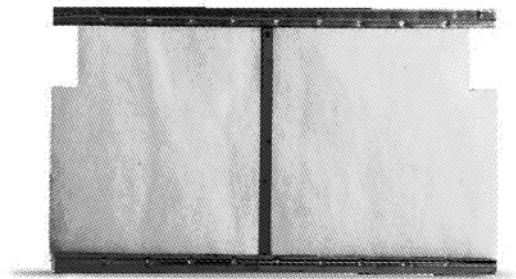
更多关于离子床技术和运用该技术的加湿器产生信息，请参见第102、110和120页。

## 阿姆斯壮是如何利用离子床技术减少加湿器维修的

### 离子床去除固体

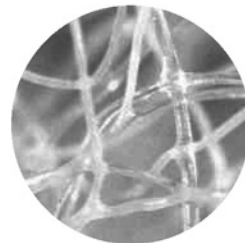
离子床由纤维材料构成，可以在水温升高时吸附水中的固体，减少固体在热交换器和加湿器内壁的沉积。当离子床达到吸附固体的最大容量时，加湿器控制板上有信号指示需要更换离子床。更换离子床只需15分钟。使用离子床可以：

- 减少对热交换器或加热元件的清洗；
- 使排水过滤网更清洁，且保持清洁时间长——加湿器排污更有效；
- 在不提高热交换器表面温度的条件下，能保持加湿器的输出；
- 减少排污的次数，节省水和能源；
- 省去造成浪费的表面撇浮器；
- 减少停机时间；
- 具有数千台加湿器多年现场成功使用的经验。



### 离子床是这样吸附固体的

下面这三张照片表明离子床纤维（放大52.5倍）在使用寿命期内是如何吸附固体的。对于不同类型的加湿器，新离子床重量也不同，约在1/3至1/2磅（0.15至0.2千克）之间。在达到最大吸附量时，其重量能达到2-1/2磅（1.1千克）以上。



新离子床



运行400小时之后



运行800小时之后