

医药生产厂房新型除湿节能的探讨

中国电子系统工程第四建设有限公司 赵伟

摘要 对医药行业目前经常使用的几种除湿技术的原理进行分析,指出目前医药行业经常使用的冷却除湿和转轮除湿存在的能耗问题,同时引入新型转轮除湿技术,并对几种除湿方法进行投资、除湿能力、运行费用的分析,得出其使用的领域。

关键词 冷却除湿 新型节能转轮除湿 含湿量 节能 新版 GMP

Probe about Energy Saving of New Dehumidification in Pharmaceutical Facilities By ZhaoWei

Abstract Principle Analysis about the dehumidification technology in pharmaceutical facilities, indicate the energy consumption of cooling dehumidifier and rotary dehumidifier. And new rotary dehumidifier principle technical has been bring forward. According to analysis the investment, capacity of dehumidify and cost it is displayed which is field of use with these kinds of dehumidifiers.

Keywords Cooling dehumidifying, New type energy-saving rotary dehumidifier, Moisture content, Energy Saving, New GMP

1. 除湿应用环境

新版 GMP 实施后,无菌改造已经接近尾声,即将迎来口服药品改造高潮。而由于口服产品剂型特点,除湿技术将迎来新的机遇。

随着新版 GMP 的实施,医药产品剂型较以前有了较大变化,软胶囊产品凭借其使用过程中无二次污染的特点,受到越来越多用户喜欢,而软胶囊的生产过程中,干燥隧道的湿度是一个非常重要的环节,一般在湿度控制在 20%~35%,温度控制在 $22 \pm 2^\circ\text{C}$;而对于压片间等固体制剂项目,因生产工艺要求,也对受控环境提出低湿要求。

2. 除湿技术原理及对比

传统除湿技术分升温除湿,通风除湿,冷冻除湿,吸附除湿,干湿除湿,混合除湿。医药行业目前应用的主要有冷冻除湿(见图 2.1),普通转轮除湿(图 2.2),溶液除湿,具体原理图如下:

冷冻除湿是指湿空气经低温表面,湿度下降至露点温度以下,湿空气中水蒸汽冷凝析出。它比较适合空气露点温度高于 4°C 场合。其原理图见图 2.1。

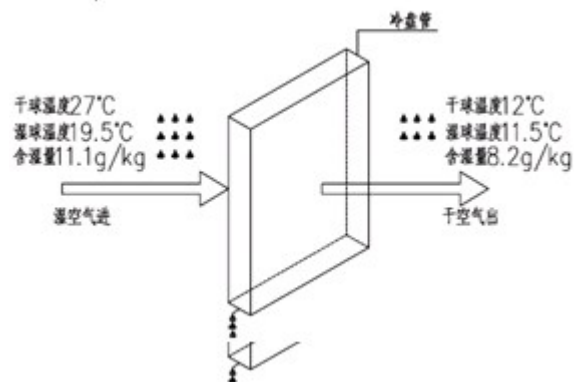


图 2.1 冷却除湿原理图

普通转轮除湿是载有吸湿剂的转轮,被密封条分成两个扇形区域,圆心角为 270° 的处理区和圆心角为 90° 的再生区。处理空气进入转轮的处理区后,由于在常温下,转轮中吸湿剂的水蒸气分压力低于湿空气的水蒸气分压力,所以,处理空气中的水分被转轮中的吸湿剂吸附,除湿后的空气由处理风机送出。与此同时,再生空气经加热后进入转轮的再生区;由于在高温下,空气的水蒸气分压力低于转轮中吸湿剂的水蒸气分压力,因此,原先吸附的水分被析出,并随着湿空气排至室外,转轮则又恢复了除湿能力。其除湿原理见图 2.2。

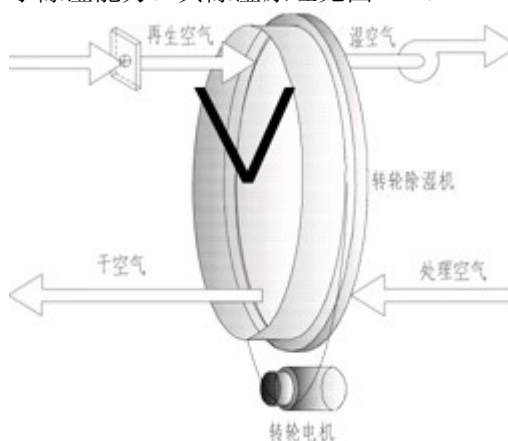


图 2.2 转轮除湿原理图

常规转轮其轮体为无机材料,采用蜂窝状结构,每 1m^2 的吸湿面积 3000m^2 ;可在 -30°C 到 40°C 范围有效吸湿。

溶液除湿是依靠空气的水蒸气分压力 P_v 与除湿溶液表面的饱和蒸汽分压力 P_s 之差为推动力而进行的质传递,由于 $P_v > P_s$,所以,水蒸气由气相向液相传递。随着质传递过程的进行,使空气含湿量

减少。溶液除湿装置通常由除湿器、除湿剂（溶液）再生器、蒸发冷却器、换热器、水泵等设备组成。

上述几种除湿技术各有优缺点，冷冻除湿是原理最简单的一种方式，但除湿能力较弱。例如，对于干球温度 27℃，湿球温度 19.5℃ 的空气，其含湿量 11.1g/kg；采用 5-10℃ 冷冻水最后处理后空气参数为干球温度 12℃，湿球温度 11.5℃，含湿量 8.2g/kg。而对于同样条件的空气，采用转轮除湿，最后空气状态为干球温度 12℃，湿球温度 11.5℃，含湿量至少可以达到 5.7g/kg < 8.2g/kg。由此可知转轮除湿能力远远优于冷冻除湿。另外，由于冷冻除湿空调箱内空气温度较低，要提高空调箱的保温性能，在空调箱体温度 6℃，机房干球温度 32℃，湿球温度 26℃ 条件下，空箱体表面温度 > 25℃，空调箱冷桥因子必须 $K_b > (T_i - T_{smax}) / (T_i - T_a)$

$$= (6 - 25) / (6 - 32) > 0.733$$

因此采用冷冻除湿，对空调箱保温性能有较高要求。

普通转轮除湿和溶液除湿也各有优缺点，主要体现在转轮除湿动力上，普通转轮除湿一般使用蒸汽作为再生能源，而溶液除湿可以使用太阳能、废热等再生能源，节能效果非常明显。但由于其结构比较复杂，目前在医药行业应用尚少。

3. 新型节能转轮除湿技术

新型节能转轮采用一种表面带有特殊干燥吸附剂的转轮去湿设备，在低到 23.9℃ 时还能再生还原（见图 3.1），在相对湿度高的空气中对水蒸气具有较强的亲和力，其原理图见（新型节能转轮除湿原理图 3.2~3.3）。空气相对湿度高时，具有很强的吸湿能力；在空气相对湿度低时，具有很强的保湿能力。因此新型节能除湿转轮可在常温下进行回风再生还原，与传统的加热再生式除湿转轮相比，新型节能除湿转轮除湿和节能效果明显。

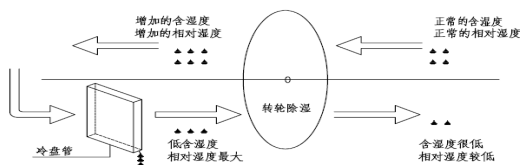


图 3.1 新型节能转轮除湿原理（一）

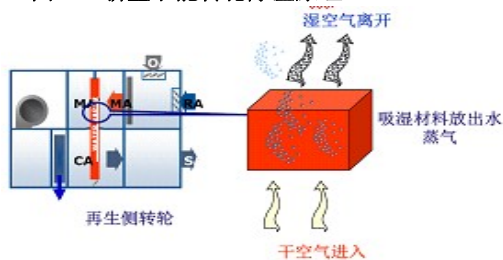


图 3.2 新型节能转轮除湿原理（二）

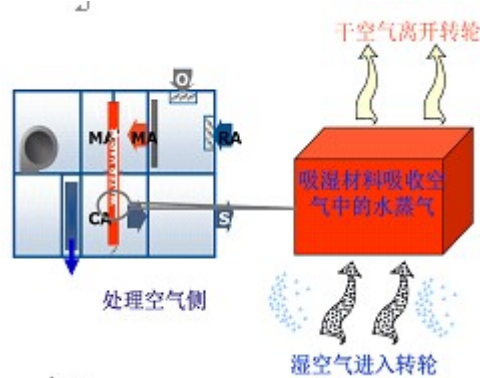


图 3.3 新型节能转轮除湿原理（三）

由于新型转轮除湿采用了类型 3 吸湿材料（见图 3.4）和普通转轮除湿使用材料不一样，可利用空调回风再生还原，不需要蒸汽作为热回收能源，从原理上改进了传统转轮。

由上面可以看出，新型节能转轮除湿技术较普通转轮除湿有 2 个优点：第一节能：不需要再生能源，在常温下可以再生；第二结构简化：常温可以再生，可以省去再生加热器，也省去了原转轮除湿的再生段和再生风机。

不同转轮材料吸湿能力比较图（图 3.4）

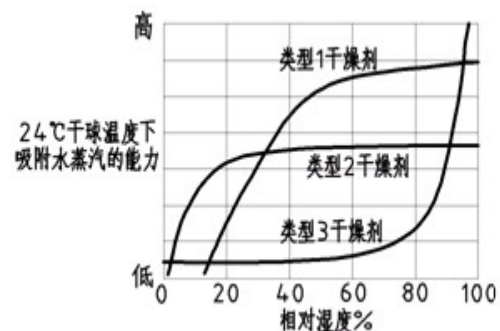


图 3.4 不同转轮材料吸湿能力比较图

4. 普通转轮除湿及节能转轮除湿的技术节能对比

普通转轮和节能转轮节能对比，其条件如下：

- 室外新风状态点：
 - 新风干球温度 34℃
 - 湿球温度 28.2℃
- 室内回风状态点：
 - 回风干球温度 22℃
 - 回风相对湿度 30%
- 出风温度：18℃
- 含湿量 3.85g/kg
- 空调总送风量 Q=5000CMH

4.1 普通转轮能耗计算如下：

下图为普通转轮除湿原理图，其中 A, B, C, D, E 代表其处理后状态点。

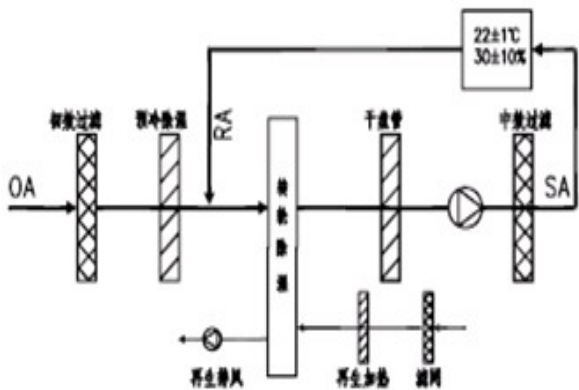


图 4.1 转轮除湿过程原理图

转轮除湿处理过程焓湿图如下：

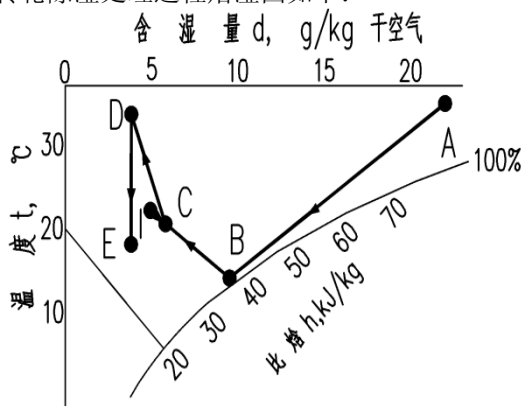


图 4.2 转轮除湿焓湿图

由上焓湿图可以得出空气处理的各状态点参数如下表：

表 4.1 转轮除湿各状态点参数表

参数	干球温度 (°C)	风量 (m³/h)	焓 (kJ/kg)	含湿量 (g/kg)
A	34	1000	90.6	22
B	14	1000	38.1	9.5
C	20.4	5000	35.3	5.8
D	33.4	5000	43.5	3.8
E	18	5000	27.8	3.8
I	22	4000	34.7	4.93

预冷量： $Q_1 = (90.6 - 38.1) \times 1000 \times 1.2 / 3600 = 17.5 \text{kw}$

再冷量： $Q_2 = (43.5 - 27.8) \times 5000 \times 1.2 / 3600 = 26.1 \text{kw}$

总冷量： $Q = Q_1 + Q_2 = 43.6 \text{kw}$

制热量：根据转轮厂家的选型结果为 53kw

4.2 节能型转轮除湿过程（一次回风）

下图为节能转轮一次回风处理过程原理图（图 4.3）及各状态点参数：

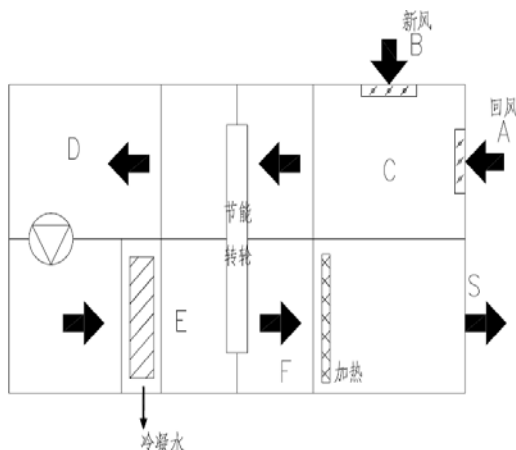


图 4.3 一次回风节能转轮除湿过程原理图

各个状态点焓湿如下：

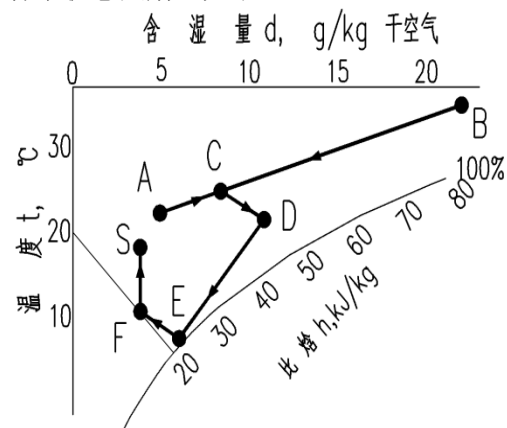


图 4.4 一次回风节能转轮除湿焓湿图

由上焓湿图可以得出空气处理的各状态点参数如下表：

表 4.2 一次回风节能转轮除湿各状态点参数表

参数	干球温度 (°C)	风量 (m³/h)	焓 (kJ/kg)	含湿量 (g/kg)
A	22	4000	34.7	4.9
B	34	1000	90.8	22.0
C	24.5	5000	45.9	8.3
E	7.2	5000	22.35	6
F	10.3	5000	20.1	3.85
S	18	5000	27.9	3.85

制冷量： $Q_1 = (48.9 - 22.35) \times 5000 \times 1.2 / 3600 = 44.3 \text{kw}$

制热量： $Q_r = (18 - 10.3) \times 5000 \times 1.2 / 3600 = 12.8 \text{kw}$

根据计算结果列表，并对其用电量进行核算，结果见下表（表 4.3）

表 4.3 一次回风节能转轮能耗表

	处理能力		耗电量		电费(0.75元/kwh)	
	节能转轮	普通转轮	节能转轮	普通转轮	节能转轮	普通转轮
制冷量(kw)	44.3	43.6	8.05	7.9	6	5.9
制热量(kw)(电加热)	12.8	53	12.8	53	9.6	39.8
电机功率(kw)	5.5	6.25	5.5	6.25	4.1	4.7
					19.8	50.4

从上表可以看出，常规一次回风节能转轮除湿后，需要二次加热才可以达到预想送风温度，存在二次加热能耗，因此下面将提供二次回风改进型节能转轮除湿，看看是否可以节能。

4.3 节能型转轮除湿过程（二次回风）

通过改变空调箱结构及流程，采用二次回风形式，原理图及各状态点焓湿图见（图 4.5，图 4.6）。

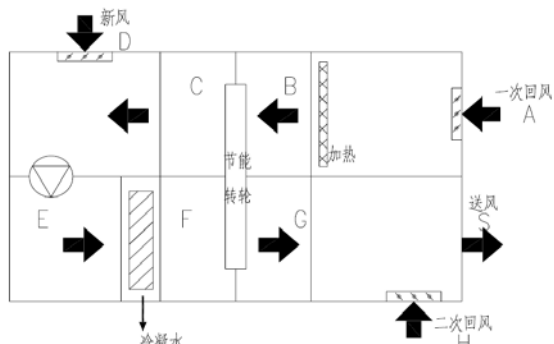


图 4.5 二次回风节能转轮除湿过程原理图

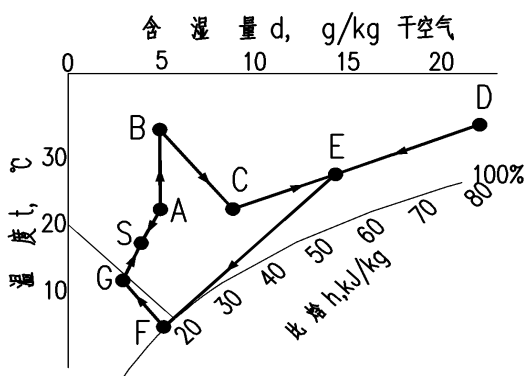


图 4.6 二次回风节能转轮除湿焓湿图

节约 74% 能量。以 5000m³/h，新风比为 20% 空调为例，在上海地区一年运行 300 天，每天运行 8 小时，可以节约 9.2 万元，投资回报周期很短。

5. 结论

由上焓湿图可以得出空气处理的各状态点参数如下表：

表 4.4 二次回风节能转轮除湿各状态点参数表

参数	干球温度 (°C)	风量 (m ³ /h)	焓 (kJ/kg)	含湿量 (g/kg)
A	22	1400	34.7	4.9
B	33.9	1400	46.8	4.89
C	22	1400	44.6	8.75
D	34	1000	90.8	22
E	27	2400	63.7	14.3
F	5.5	2400	17.3	5.1
G	11.4	1400	18.9	2.91
H	22	2600	34.7	4.9
S	17	5000	27.0	3.9

$$\text{制冷量: } Q_1 = (63.73 - 17.3) * 2400 * 1.2 / 3600 = 37.1 \text{ kw}$$

$$\text{制热量: } Q_r = (33.9 - 22) * 1400 * 1.2 / 3600 = 5.5 \text{ kw}$$

根据计算结果列表，并对其用电量进行核算，结果见下表（表 4.5）

表 4.5 二次回风节能转轮能耗表

	处理能力		耗电量		电费(0.75元/kwh)	
	节能转轮	普通转轮	节能转轮	普通转轮	节能转轮	普通转轮
制冷量(kw)	37.1	43.6	6.8	7.9	5.1	5.9
制热量(kw)(电加热)	4	53	5.5	53	4.1	39.8
电机功率(kw)	5.5	6.25	5.5	6.25	4.1	4.7
					13.3	50.4

小论：从上面 3 个方案中可以看出，采用二次回风形式节能转轮除湿系统节能效果最好，较普通转轮

冷冻除湿，设备简单，初投资低，运行费用高，适用于最低含湿量高于 5g/kg 的湿度要求不高的环境。

普通转轮除湿，是目前医药行业主流，适用于

对湿度要求非常严格地方，初投资和运行费用均较高，期待节能改进。

溶液除湿，设备复杂，能源综合利用率高，节能效果显著，适用于除湿量大、室内热湿比小于60%、空气露点温度低于5度的系统。

新型节能转轮，结构简单，运行费用低。但其也有一定局限性，其除湿能力不及普通硅胶转轮，在很低露点下可能结霜，冬季工况除湿受限，可适用于有一般除湿要求的医药生产环境。

参考文献

1. 药品生产质量管理规范（2010年修订）. 中华人民共和国卫生部.

2. 实用供热空调设计手册（第二版）. 陆耀庆，编. 中国建筑工业出版社：2007年2月1日.

3. 特灵公司技术资料 邹浩 聂庆