

## 半导体除湿机的化工过程

张安殊  
(化工系)

**提 要** 本实用新型的半导体除湿机是以半导体致冷器件代替以氟里昂为工作介质的压缩制冷的小型系统. 免除污染源, 结构简化, 工作稳定, 根据对空气除湿流程的特点, 机内半导体致冷器件工作于最高致冷效率( $\eta_{max}$ )状态, 其致冷效率在 83% 左右, 除湿效率在 80% 左右.

**关键词** 除湿机; 干燥; 半导体致冷

### 0 前言

除湿在化工过程中称为“干燥”, 是大家既熟悉又普遍的化工单元操作之一. 一种新的工艺过程或某种新型化工设备, 总是由小型到中型, 然后放大到初具规模才有其使用价值和生命力. 在特定条件下, 小型除湿技术有它的重要用途. 在科研工作和日常生活中, 经常需要对小范围空间内环境空气的湿度和温度及其变化提出严格的要求和控制, 例如贵重药料的贮存, 微生物的培养, 生物标本的存放, 固体材料特性的测试以及精密仪器重要零部件工作环境的特殊要求等.

湿分是生物繁殖的重要条件之一, 也是直接影响仪器精密度的重要原因之一. 化工过程中的除湿最常用的是热风, 虽然热风干燥法可除去物料中的部分水份, 但同时物料也被加热升温, 这在上述列举的工作环境中, 大部分是不允许的. 我校化工原理教研组研制并经工厂使用数年的新型厢式热泵冷却干燥装置<sup>(1)</sup>比热风干燥有许多不可媲美的优点, 但该设备需用致冷剂—氟里昂及与它配套的制冷设备压缩机、冷凝器、蒸发器和输运管路等. 由于氟里昂破坏大气中的臭氧层  $O_3$ , 1993 年以后被国际环境学会划为禁用之列. 本文介绍以半导体致冷器件为冷源的小型除湿机原理及设计依据.

### 1 半导体除湿系统流程

1884 年, Peltier 发现帕耳帖效应, 本世纪五十年代, 苏联 Иоффе 院士发现并指出半导体材料 Te、Bi、Se、Sb 合金的帕耳帖效应十分显著, 具有工业应用价值, 并建立半导体温差电致冷理论. 大约经过四十年的进展, 用半导体合金材料制成的半导体致冷器件已经在理、工、农、医等各个领域获得广泛应用.

由于半导体致冷具有小型化、寿命长、无机械运转部份, 因而无振动、无噪音, 且不需要任何致冷剂, 只要通电即可连续工作, 变换电流方向, 既可制冷又可加热等一系列优点, 世界各工业和科学技术发达的国家都竟先发展半导体致冷技术. 我国研制和生产的半导体致冷材料七十年代已达到国际先进水平, 同时也制成大、中、小各种规格和型号的半导体致冷器件. 半导体除湿机采用 CT1-12703 型的半导体致冷器件作为新型冷源, 将半导体致冷技

术与化学工程中的干燥除湿技术结合起来，制成低温除湿系统，代替以氟里昂为工作介质的热泵压缩制冷系统。

空气中的水汽，其含量随气候、季节以及空气的温度而变，要除去空气中的水汽，必须把空气冷却降温直至露点，使水汽冷凝下来，方可降低空气的含水量。在空气湿度图中(图 1)，其过程从 A → B → C → D。半导体除湿系统的基本原理是：以半导体致冷器件为冷源，利用风机作用，使除湿装置内外形成压力差，从周围环境进入装置内部的空气，其状态为 A 点，经降温冷却到 B 点后，呈过饱和状态直接冷凝除湿直至 C 点，同时利用冷端的低温低湿干燥介质对半导体致冷器件的热端进行散热，尔后送回周围环境中，空气的状态又从 C 点变化到 D 点<sup>(2)</sup>。这样，半导体除湿装置与周围环境空气形成循环除湿干燥系统，使环境空气达到有效除湿的目的。其流程如图 2 所示。

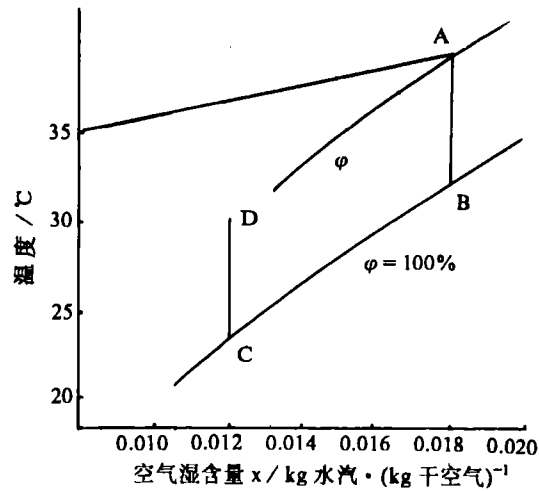


图 1 除湿过程图解(空气湿度图)

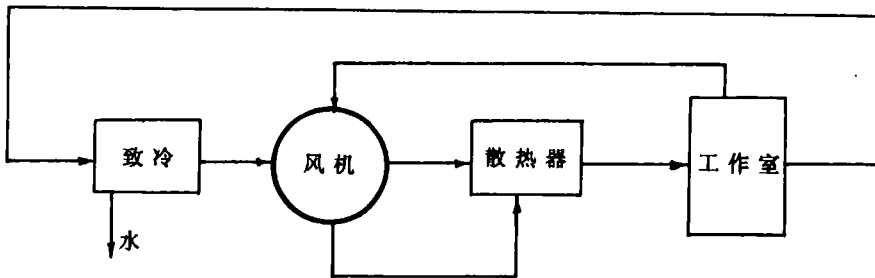


图 2 小型除湿机流程图

本装置设备简单，操作方便，与氟里昂除湿相比，可免去冰机、蒸发器、冷凝器、管路和各种配件以及氟里昂工作介质等。结构大为简化，彻底免除污染源，同时使除湿干燥空气的潜热和显热得以充分利用，达到节能的目的。

### 2 半导体致冷器件的工作状态和除湿效率

各种型号的半导体致冷器件都可以分别在两种状态下工作：即最大产冷量( $Q_{max}$ )状态和最高致冷效率( $\eta_{max}$ )状态。前者要求器件通电工作之后保证具有最大的产冷量，即获得最大的温度差，后者要求器件能够最有效地将电能转换成“冷”量，但不要求获得最大温差。图 3 表示在上述的两种状态下，半导体致冷器件的致冷效率与器件温度差( $T_h - T_c$ )的关系<sup>(3)</sup>。由

图可知, 当温差  $\Delta T$  超过  $35^\circ\text{C}$ , 两种状态曲线开始接近, 直至重合在一起. 这意味着在追求最大温差的前提下, 致冷效率与能耗的经济效益已不可能同时兼顾. 在温差  $\Delta T < 20^\circ\text{C}$  时, 两种工作状态的效率几乎相差一倍. 当温差越小, 直至  $\Delta T \rightarrow 0$  时, 最高致冷效率状态下的  $\eta \rightarrow \infty$ ; 而最大产冷量状态下, 则  $\eta \rightarrow 1/2$ , 可见温差  $\Delta T$  越小, 两种不同状态下的  $\eta$  的提高幅度有很大的差别, 两种不同状态下致冷器件工作参数的计算也完全不同.

根据水蒸汽的温度和它的饱和蒸汽压的单值关系, 假设空气的露点温度为  $t_d$ , 对应的饱和蒸汽压为  $P_d$  (这时的空气被水汽饱和, 相对湿度  $\varphi = 1$ ), 则

$$P_d = \frac{HP}{0.622 + H}$$

式中:  $P$  为空气总压 (本系统即大气压), 可视为恒定, 因此饱和水蒸汽压  $P_d$  只与空气的湿含量  $H$  有关. 由于空气在除湿机内停留时间很短, 被除去的仅是空气中的部分水汽, 因而空气中的水蒸汽分压  $P_d$  降低不多, 相应的空气露点  $t_d$ , 即除湿机的冷端温度  $T_c$  就不用太低, 这在要求低湿而不要求低温的工作环境中是恰到好处的. 以能耗为基准的效率高低则是设备在使用过程中的重要经济指标, 所以本除湿机以  $\eta_{max}$  和温差  $\Delta T$  的关系为设计依据. 试验的温差范围 (器件冷热端的温度差) 为  $20^\circ\text{C}$  至  $25^\circ\text{C}$  之间, 半导体致冷器件可以在不大的温差下工作.

半导体除湿机的有关工作参数则是根据最大致冷效率的公式进行计算.

(1) 最佳工作电流

根据  $\eta$  的一般表达式, 令  $\frac{\partial \eta}{\partial I} = 0$ , 可求得最佳工作电流值为:

$$I_0 = \frac{\bar{\alpha}(T_h - T_c)}{R(M - 1)}$$

式中:  $\bar{\alpha} = |\alpha_n| + |\alpha_p|$ ;  $\alpha_n$  和  $\alpha_p$  分别为 N 型和 P 型材料的温差电动势率. 根据天津市半导体致冷器件厂提供的产品参数<sup>[4]</sup>:

$$\alpha_n = 230\mu\text{V} / \text{K}; \quad \alpha_p = 220\mu\text{V} / \text{K}$$

所以,  $\bar{\alpha} = 450\mu\text{V} / \text{K}$ .

致冷器件中 N 型和 P 型致冷元件的串联总电阻  $R$  为

$$R = \rho \frac{l}{S} = \left( \frac{1}{1200} + \frac{1}{1200} \right) \times \frac{0.3}{(0.12)^2} \times 127 = 4.41(\Omega)$$

式中:  $\rho$  为致冷元件的电阻率 ( $\Omega \cdot \text{cm}$ ), 本器件 N 型和 P 型材料的电阻率相等, 均

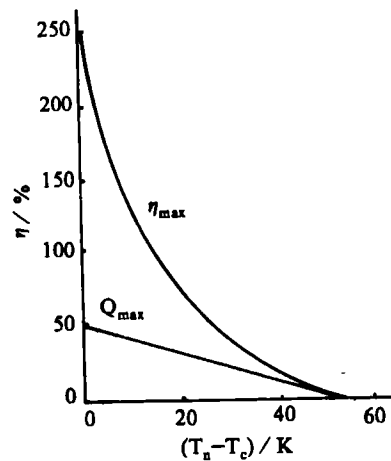


图3 致冷效率与器件温差关系

为  $1/1200(\Omega \cdot \text{cm})$ ;  $l$  为 N 型和 P 型致冷元件的长度, 本器件的  $l = 0.3\text{cm}$ ;  $S$  为 N 型和 P 型致冷元件的截面积, 本器件的  $S = (0.12)^2\text{cm}^2$ ; 式中的 127 指致冷器件的电偶对数.

引入参数  $M$ ,  $M$  为衡量致冷元件的热导率和焦耳热等不可逆过程导致效率降低的一个无量纲参数, 本设计  $M$  值为

$$M = \sqrt{1 + 0.5z(T_h + T_c)} = \sqrt{1 + 0.5 \times 2 \times 10^{-3} \times (308 + 283)} = 1.26$$

式中, 材料优值系数  $z$  考虑了 N 型与 P 型材料性能参数的差异, 一般取  $2 \times 10^{-3}\text{K}^{-1}$ , 因此最佳工作电流值为

$$I_0 = \frac{\bar{\alpha}(T_h - T_c)}{R_0(M - 1)} = \frac{450 \times 10^{-6}(308 - 283)}{0.0347(1.26 - 1)} = 1.25(\text{A})$$

式中:  $R_0 = \frac{4.41}{127} = 0.0347(\Omega)$ , 为单个电偶对的电阻值.

(2) 最佳工作电压

$$U_0 = \frac{\bar{\alpha}(T_h - T_c)M}{M - 1} = \frac{450 \times 10^{-6}(308 - 283) \times 1.26}{1.26 - 1} = 0.0455(\text{V})$$

(3) 总电压

$$U = 127 \times U_0 = 6.92(\text{V})$$

(4) 最高致冷效率

$$\eta_{max} = \frac{T_c}{T_h - T_c} \cdot \frac{M - (T_h / T_c)}{M + 1} = \frac{283}{308 - 283} \cdot \frac{1.26 - (308 / 283)}{1.26 + 1} = 0.85$$

现将半导体除湿机的各种工作参数在不同季节的测试数据列如表 1, 并对除湿机的除湿效率与致冷器件的致冷效率进行比较.

表 1 半导体除湿机除湿效率与致冷器件致冷效率比较

序号	除湿前		除湿后		$T_h / \text{K}$	$T_c / \text{K}$	除水量 / g	$\eta_H / \%$	$\eta_{max} / \%$
	干球 $t_1 / \text{℃}$	$\varphi_1 / \%$ RH	干球 $t_2 / \text{℃}$	$\varphi_2 / \%$ RH					
(1)	30	99	35	62	308	283	6.67	82	85
(2)	28	98	33	58	306	281	7.48	76	80
(3)	31	99	36	63	309	284	7.30	83	86

注: 表中, 工作电压为 6.0V; 工作电流: (1)为 1.34A; (2)为 1.36A; (3)为 1.37A.

本实验在  $1.2\text{M}^3$  的操作箱中进行. 用人工方法提高箱内空气的湿含量达相对湿度 99%, 箱内温度为  $30\text{℃}$ (箱壁已潮湿), 然后将半导体除湿机置于箱中, 经过 1h, 测得箱内相对湿度为 62%, 温度为  $35\text{℃}$ , 被除去的水份量为 6.67g, 除湿机冷端温度为  $10\text{℃}$ .

由表 1 可见, 本文计算的实用新型半导体除湿机的除湿效率与 CT1-12703 器件的致冷效率相当接近, 能量的利用率是比较高的.

为了增大半导体致冷器件热端的散热效果, 将经过致冷除湿后的低温低湿空气作为器件热端的冷却剂. 同时从操作箱内引入一部份空气与之混合, 以增加流经致冷器件热端散热片

间空气的流速和流量, 散热效果较好. 离开散热片的空气又回到操作箱中, 因而箱内空气的温度略有升高, 这对进一步降低箱内空气的相对湿度是有利的, 也有利于箱内物品的除湿.

本除湿机可以根据工作室内的温度和湿度间歇使用, 加上控制电路, 可以有效地对小范围实验空间进行除湿、控湿, 达到实验各个阶段不同要求的恒温、恒湿条件.

本文得到我校热电致冷应用研究组的支持与帮助, 特此致谢.

#### 参考文献

- 1 张心耳, 张安殊, 杨金铭等. 热泵厢式干燥装置. 化工装备技术, 1988, 8(1): 25-28
- 2 Касагхян А. Г. Основные процессы в аппаратах химической мехнощц. Москва: [s.n], 1960. 658~660
- 3 钟广学等编著. 半导体致冷器件及其应用. 北京: 科学出版社, 1991. 56~60
- 4 天津市致冷器厂. 陶瓷平板型一级半导体致冷器件参数(产品目录). 天津: 1988. 4~6

## Chemical Engineering Process in Semiconductor Humidity Remover

Zhang Anshu

(Department of Chemical Engineering)

**Abstract** The semiconductor humidity remover is a small-sized equipment of the new type, with refrigerates by the semiconductor device instead of by Freon, and the compressor with all complex fittings, so as to get rid of the polluted source. It is simple in construction and stable in operation. The semiconductor refrigerating device CT1-12703 works in the state of maximum refrigerative efficiency ( $\eta_{\max}$ ). Its average refrigerative efficiency is about 83%, and the average efficiency of semiconductor humidity remover is about 80%.

**Keywords** humidity remover; desiccation; semiconductor refrigeration