第13章 热质同时传递的过程

13.1概述

（1）过程目的：

①传热，伴有传质

如热水直接空气冷却

②传质，伴有传热

如气体增减湿

（2）原理：温度差、分压差(判据没变)

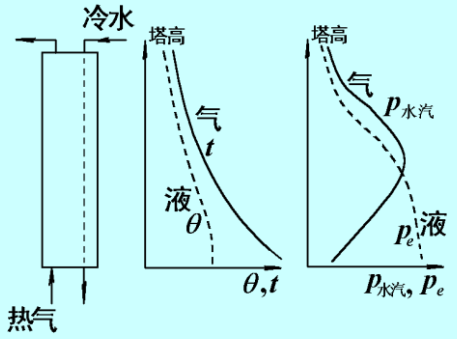
（3）实施方法：气液直接接触

（4）操作费用：热量(汽化、冷凝)

输送机械能

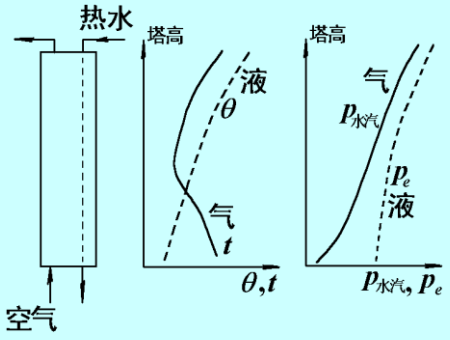
工业实例：

热气体直接水冷

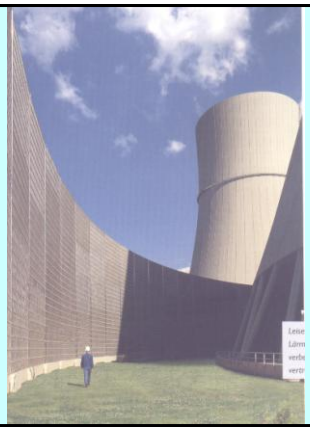


工业实例：

凉水塔



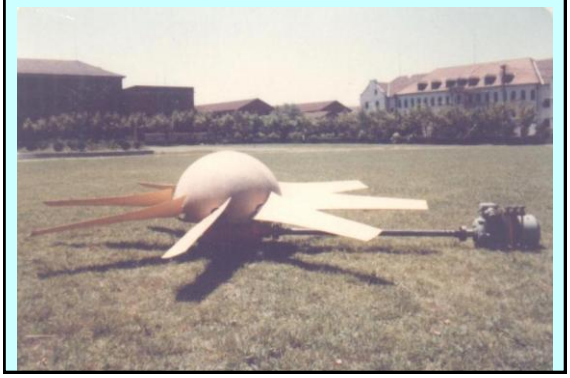
冷却塔外观



冷却塔
下部

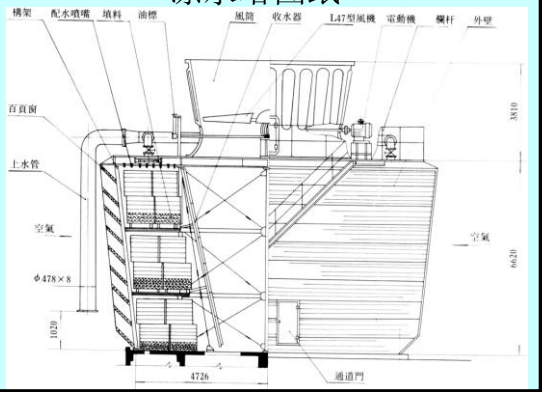
凉水塔外观

凉水塔风机

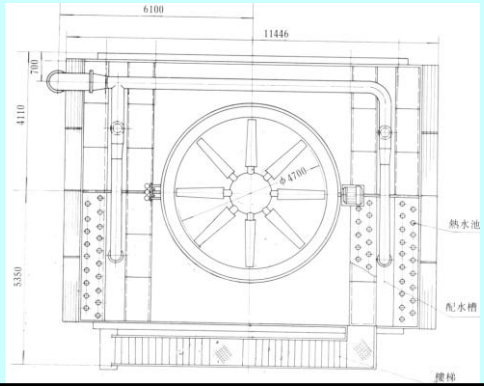


凉水塔外观

凉水塔图纸



凉水塔图纸



（5）过程新特点：

①传热方向或传质方向可能发生逆转

②极限不一定是$\theta=t, p_{水汽}=p_e$

传递方向会逆转的原因：

气相双组分，有两个独立变量 $t, p_{水汽}$

液相单组分，只有一个独立变量 $p_e=f(\theta)$

t ← 传热 → $p_e=f(\theta)$ ← 传质 ← $p_{水汽}$

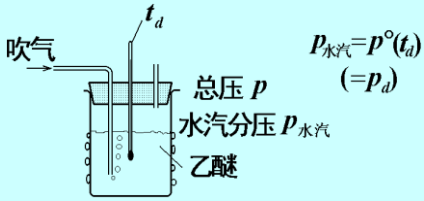
传热传质相互牵制，

一个过程的继续可打破另一过程的平衡

条件：大量气体，少量液体

13.2 湿空气状态的描述

（1）水汽分压$p_{水汽}$或露点温度t_d(录像)



（2）湿度 H kg水汽/kg干气

$$H=\frac{M_{水}}{M_{气}}\frac{p_{水汽}}{p-p_{水汽}}=0.622\frac{p_{水汽}}{p-p_{水汽}}$$

（3）相对湿度φ

$$\varphi=\frac{p_{水汽}}{p_S}$$ (当$p_S\le p$)

p_S为t温度下的饱和蒸汽压

$$\varphi=\frac{p_{水汽}}{p}$$ (当$p_S\ge p$)

（4）湿空气的焓I kJ/kg干气

$$I=(c_{pg}+c_{pV}H)t+r_0H$$

$$I=(1.01+1.88H)t+2500H$$

（5）湿空气的比容 v_H m^3/kg干气

常压下，

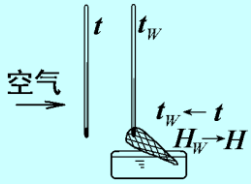
$$v_H=(\frac{22.4}{M_{气}}+\frac{22.4}{M_{水}}H)\frac{t+273}{273}$$

（6）极限温度

①湿球温度t_W

$$A\alpha(t-t_W)=Ak_H(H_W-H)r_W$$

传热速率　　汽化潜热



$$t_W=t-\frac{k_H}{\alpha}(H_W-H)r_W$$

t_W的影响因素：

a.物性，b.气体状态: t, $p_{水汽}$(或H), 总压p

c.流动条件：α, k_H

空气-水系统，流动时 $\frac{\alpha}{k_H}=1.09$ kJ/kgK

②绝热饱和温度

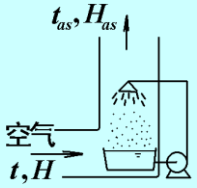
气体在绝热条件下，

增湿至饱和(等焓过程)

$$Vc_{pH}(t-t_{as})=V(H_{as}-H)r_{as}$$

气温下降放热　　气体增湿带热

$$t_{as}=t-\frac{r_{as}}{c_{pH}}(H_{as}-H)$$



路易斯规则：空气-水系统：$\frac{\alpha}{k_H}\approx c_{pH}$，$t_{as}\approx t_W$

湿球温度的物理含义是什么？

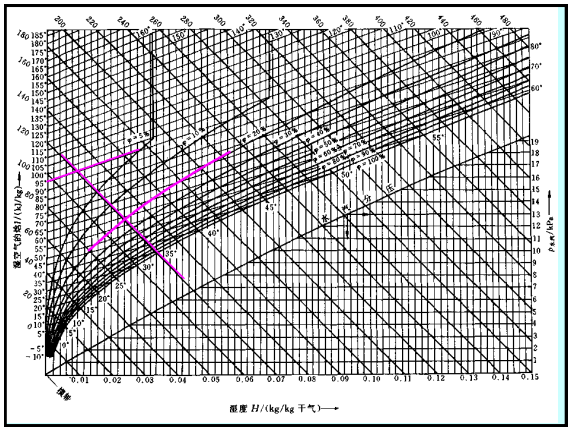
绝热饱和温度的物理含义是什么？

两者有什么异同点？

焓-湿图(总压一定，两个独立变量)

注意：t_d, $p_{水汽}$, H 相互不独立

I, t_{as}, t_W 相互不独立



例：已知：100kPa, t=50℃, $p_{水汽}$=4kPa

求：φ, H, I, t_d (查表50℃，p_S=12.4kPa)

计算：$\varphi=\frac{p_{水汽}}{p_S}=\frac{4}{12.4}=32.3\%$

$$H=0.622\frac{p_{水汽}}{p-p_{水汽}}=0.622\times\frac{4}{100-4}$$

=0.026kg水/kg干气

$I=(1.01+1.88H)t+2500H$ =118kJ/kg干气

查表$p_{水汽}$=4kPa的饱和温度29℃

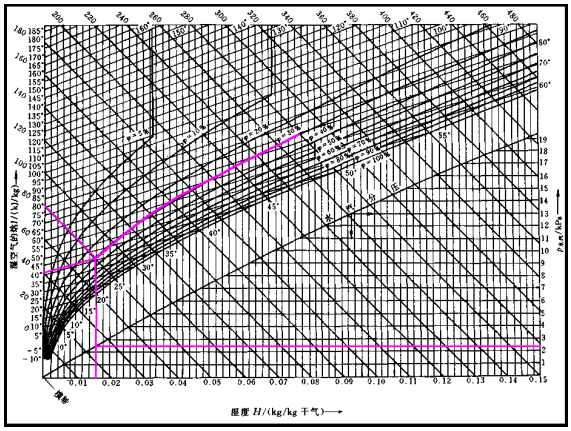
t_d=29℃

查图

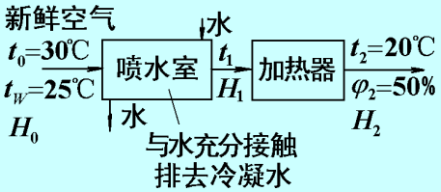
查图

例：已知： t_d=20℃, φ=30%

查：H, t, p, I



例2 常压下，现需调节气温及湿度，新鲜空气经喷水室与水充分接触，被冷却后排去冷凝水，再经加热器升温至所需温度。试求：



① H_1

② t_1

③整个过程前后湿度变化

设离开喷水室的气、液温度相同

解：①H_1=H_2，出喷水室φ_1=100%

先算H_2，查20℃，p_S=2.27kPa

$$H_1 = H_2 = 0.622\frac{\varphi p_S}{p-\varphi p_S} = 0.622\times\frac{0.5\times 2.27}{101.3-0.5\times 2.27}$$

=0.007水/kg干气

② $p_{水}$=0.5×2.27=1.14 kPa

由φ_1=100 %，查表得t_1=9℃

③查t_W=25℃, r_W=2441kJ/kg, p_W=3.186 kPa

$$\alpha(t_0-t_W)=k_H r_W(H_W-H_0)$$

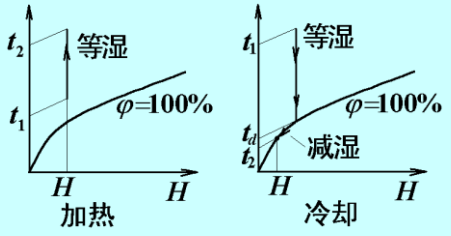
$$H_0 = H_W - \frac{\alpha}{k_H r_W}(t_0-t_W)$$

$$= 0.622\frac{p_w}{p-p_w} - \frac{1.09}{r_w}(t_0-t_w) = 0.0178\text{kg 水/kg干气}$$

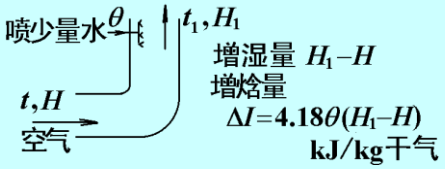
$$\Delta H = H_2 - H_0 = 0.007 - 0.0178 = -0.0108\text{kg水/kg干气}$$

13.3 焓湿图中表示过程变化

⑴加热与冷却的过程



⑵绝热增湿过程(等焓过程)



增湿量 H_1-H

增焓量

$\Delta I=4.18\theta(H_1-H)$ kJ/kg干气

∵ $C_p\theta<<r$

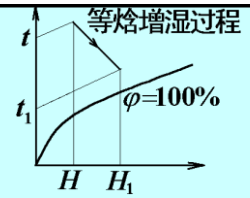
∴ $\Delta I<<I$，可忽略ΔI

则t_1, H_1与t, H之间视为等焓，$I=I_1$

$(1.01+1.88H)t+2500H=(1.01+1.88H_1)t_1+2500H_1$

$$H_1=\frac{(1.01+1.88H)t+2500H-1.01t_1}{1.88t_1+2500}$$

或 $$t_1=\frac{(1.01+1.88H)t+2500(H-H_1)}{1.01+1.88H_1}$$



达到气相中水分饱和时，则

$$Vc_{pH}(t-t_{as})=V(H_{as}-H)r_{as}$$

$$t_{as}=t-\frac{r_{as}}{c_{pH}}(H_{as}-H)$$

查等焓线至φ=100%

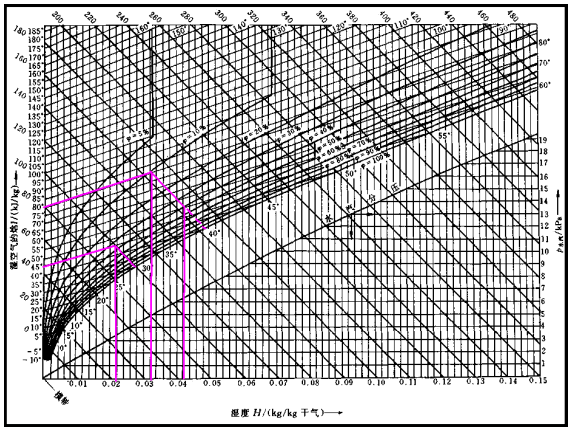
查：t=80℃, H=0.03 kg水/kg干气

等焓增湿至55℃, H_1=?

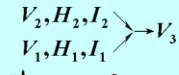
此空气的t_{as}=?

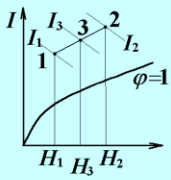
路易斯规则：空气-水系统 $t_W\approx t_{as}$

查：t_W=30℃, t=45℃, H=?



⑶两股气流的混合





$V_1+V_2=V_3$

$V_1H_1+V_2H_2=V_3H_3$

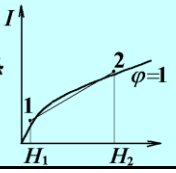
$V_1I_1+V_2I_2=V_3I_3$

杠杆定律

特殊情况：

相对湿度较高的冷热气体相遇，析出水

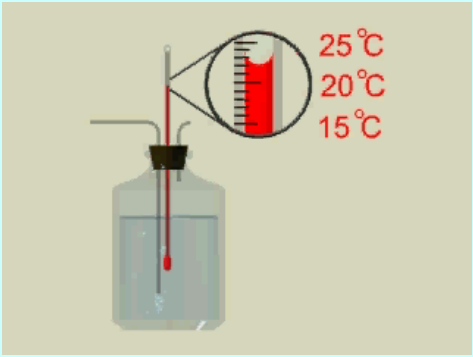
下雨的成因之一



本次讲课习题：

第13章 1，2，3，4

露点温度：



返回