

第14章 固体干燥

本章学习要求

* 掌握的内容:湿空气的性质;湿度图及其应用;含水率的表示方法;物料中水分的分类;干燥速率和干燥时间的定义及计算。

* 熟悉的内容:干燥流程及各种干燥器的操作原理



西安建筑科技大学

Xi'an University of Architecture and Technology

14.1 概述

湿物料

湿分：水分或其它液体

除湿方法：

(1)机械分离法，即通过压榨、过滤和离心分离等方法去湿。

(2)吸附脱水，即用固体吸附剂，如 CaCl_2 、硅胶等吸去物料中所含的水分。

(3)干燥法，指利用热能，使湿物料中的湿分气化而除去的方法。



西安建筑科技大学

Xi'an University of Architecture and Technology

干燥方法分类

传导干燥 热能通过传热壁面以传导方式传给物料，产生的湿分蒸气被气相（又称干燥介质）带走，或用真空泵排走。例如纸制品可以铺在热滚筒上进行干燥。

对流干燥

热能以对流方式加入物料，产生的蒸气被干燥介质所带走。

辐射干燥 由辐射器产生的辐射能以电磁波形式达到物料表面，为物料所吸收而重新变为热能，从而使湿分汽化。例如用红外线干燥法将自行车表面油漆干燥。

介电加热干燥 将需要干燥的电解质物料置于高频电场中，电能潮湿的电介质中转变为热能，例如微波干燥食品。



14.2 湿空气的性质及湿度图

一. 湿空气的性质 浓度、比热、比容（密度）、焓、温度等。

1. 湿空气中水蒸气含量的表示方法

(1) 湿度 又称湿含量 kg 水/kg 干空气

$$H = \frac{\text{水气的质量}}{\text{绝干空气的质量}} = \frac{\text{水气的摩尔数}}{\text{绝干空气的摩尔数}} \cdot \frac{M_{rw}}{M_{ra}} = \frac{p_w}{P - p_w} \cdot \frac{18}{29}$$

$$H = 0.622 \frac{p_w}{P - p_w}$$

$$\text{饱和湿度 } H_s = 0.622 \frac{p_s}{P - p_s}$$

空气
水蒸汽



西安建筑科技大学

Xi'an University of Architecture and Technology

(2)相对湿度

$$j = \frac{p_w}{p_s} \cdot 100\%$$

ϕ 值愈小，表示空气的吸湿能力越大

$$H = 0.622 \frac{p_w}{P - p_w} = 0.622 \frac{j p_s}{P - j p_s}$$

2. 湿比容 V_H 单位为 m^3 湿空气 / kg 干空气

$$\text{比容} = \frac{1\text{kg 物质的体积}}{1\text{kg 物质}}$$



西安建筑科技大学

Xi'an University of Architecture and Technology

总压为 $p=101.3\text{kPa}$,温度为 t 条件下:

$$V_H = 1\text{kg干空气的体积} + 1\text{kg水汽的体积} \cdot H$$

$$= \frac{1}{29} + \frac{H}{18} \cdot 22.4 \cdot \frac{273+t}{273}$$

$$= (0.773 + 1.244H) \cdot \frac{273+t}{273}$$



3. 湿比热 c_H $\text{kJ}/(\text{kg 干气} \times \text{K})$

比热 ---- $\text{kJ}/(\text{kg} \times \text{K})$

$(1+H)$ kg 湿空气

c_a 干空气的比热, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ $\gg 1.01 \text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

c_w 水气的比热, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ $\gg 1.88 \text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

$$c_H = c_a + c_w H = 1.01 + 1.88H$$



西安建筑科技大学

Xi'an University of Architecture and Technology

4. 湿空气的焓 I_H

kJ/kg 干气

焓---- kJ/kg

$$I = I_a + i_w H = (c_a + c_w H)t + r_0 H$$

$$\gg (1.01 + 1.88 H)t + 2492 H$$

通常规定， 0°C 时绝干空气及液态水的焓为零

$$I_a = c_a t \quad i_w = r_0 + c_w t$$



西安建筑科技大学

Xi'an University of Architecture and Technology

5. 干球温度 t 和湿球温度 t_w

干球温度简称温度，是指空气的真实温度

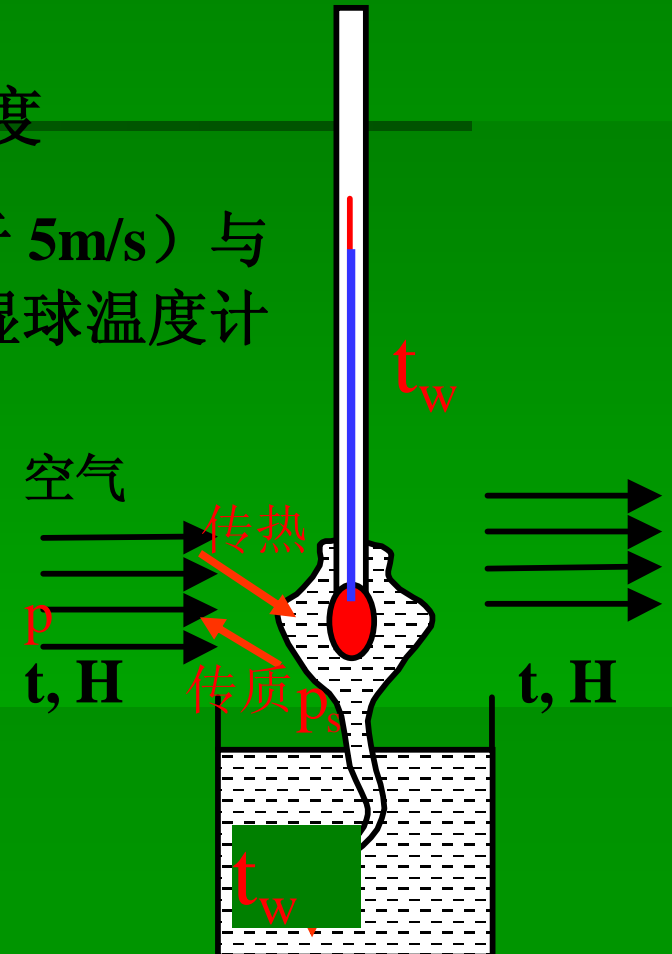
大量、快速流动的空气（空气的流速应大于 5m/s ）与少量水接触，达到稳定时（动态平衡），湿球温度计所指示的温度就称为**湿球温度**，用 t_w 表示。

湿球温度过程分析：

$$t_w = t - \frac{k_H r_w}{a} (H_w - H)$$

$$t_w = f(t, H),$$

而与水的初始状态无关



西安建筑科技大学

Xi'an University of Architecture and Technology

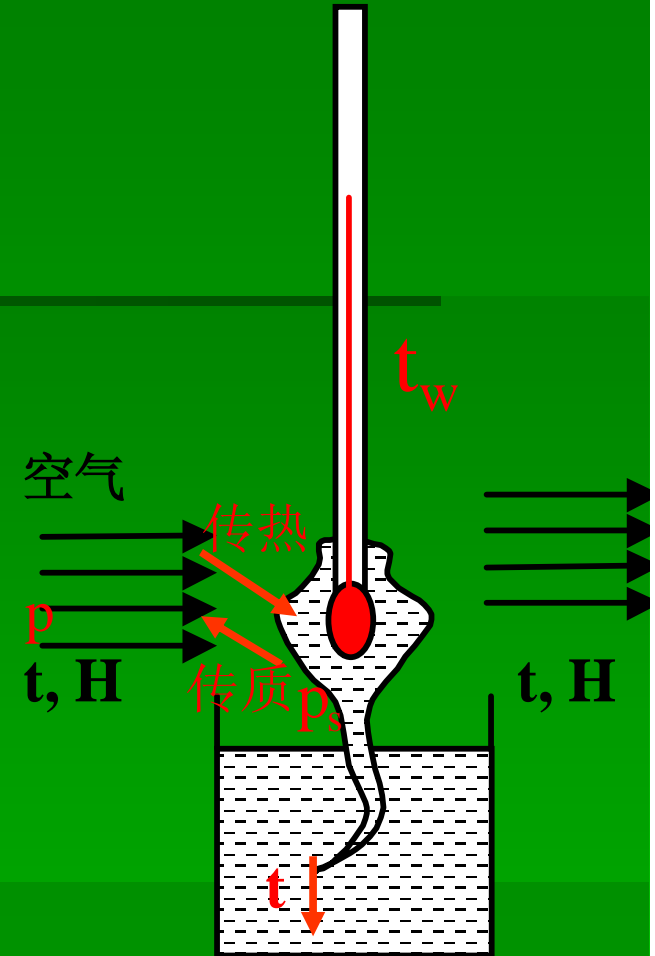
湿球温度计 9

k_H 、 a 主要与空气流速有关，但 $\frac{a}{k_H}$

却几乎与流速无关。

对空气 $\frac{3}{4}$ 水系统，当被测气体温度不太高、流速 $>5\text{m/s}$ 时， $\frac{a}{k_H}$ 为一常数，且

与 c_H 近似相等，其值约为 $1.09\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 。



湿球温度计



西安建筑科技大学

Xi'an University of Architecture and Technology

6. 绝热饱和温度 t_{as}

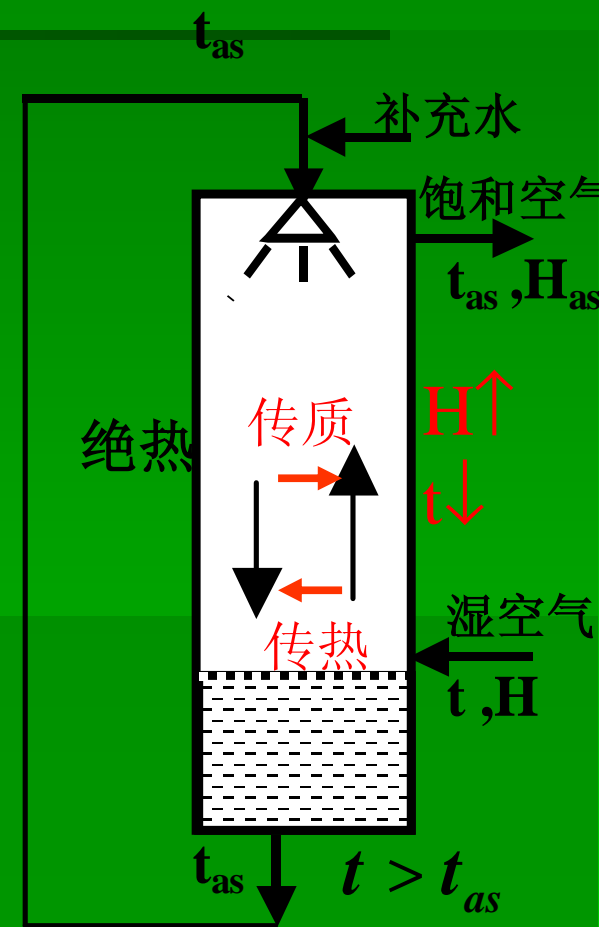
在与外界绝热情况下，空气与大量水经过无限长时间接触后，空气温度与水温相等，称这一稳定的温度为湿空气的**绝热饱和温度**，用 t_{as} 表示。

湿空气为等焓变化

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

$$t_{as} = f(t, H)$$

t_{as} 是湿空气的性质，而与水的状态无关



绝热饱和塔示意图¹¹



西安建筑科技大学

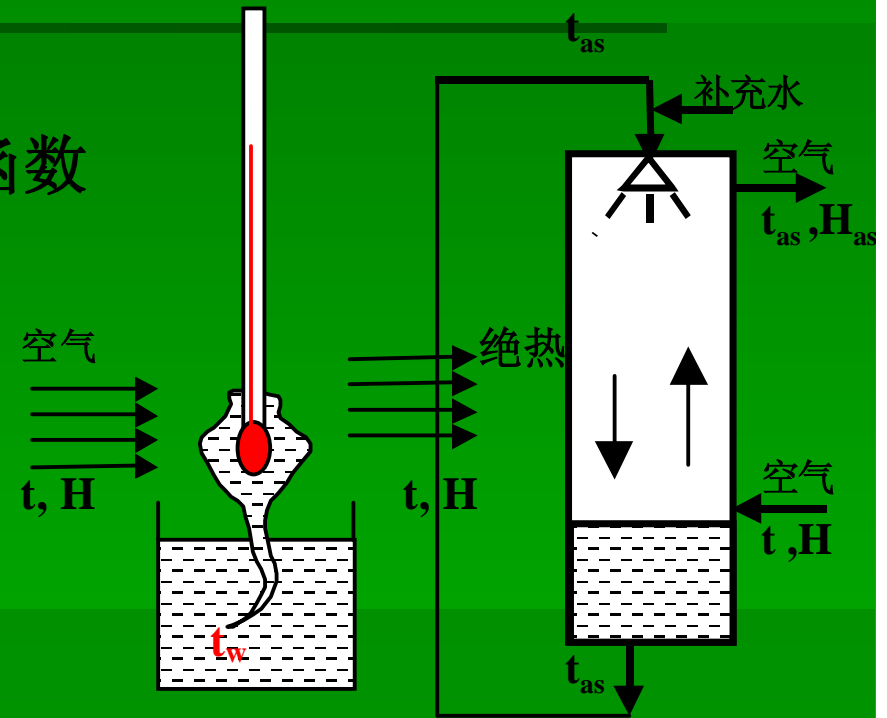
Xi'an University of Architecture and Technology

湿球温度 t_w 与绝热饱和温度 t_{as} 的异同:

相同之处:

- 1、湿空气均为等焓变化、
- 2、均为空气状态 (t 、 H) 的函数
- 3、对于空气 $\frac{3}{4}$ 水体系,

$$\frac{a}{k_H} \gg C_H, r_0 \gg r_w, \text{ 因此, } t_w \gg t_{as}$$



湿球温度计 绝热饱和塔示意图



西安建筑科技大学

Xi'an University of Architecture and Technology

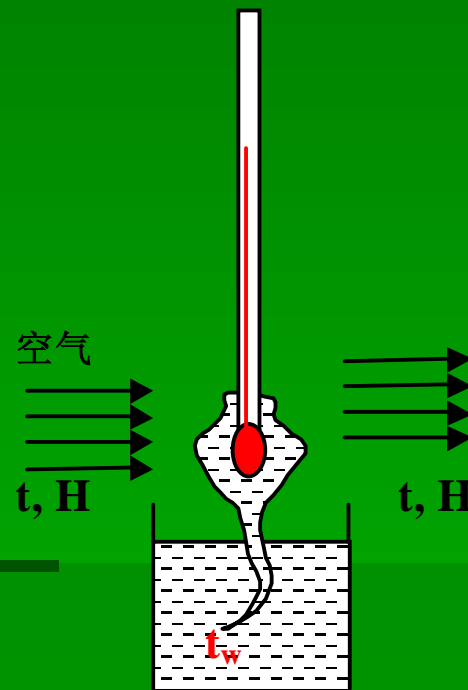
湿球温度 t_w 与绝热饱和温度 t_{as} 的异同:

不同之处:

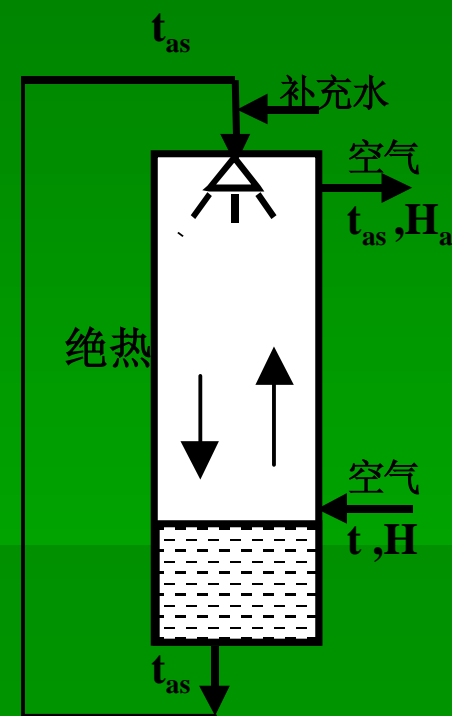
①、

湿球温度: 大量空气与少量水接触后的稳定的水温, 空气的状态 (t, H) 不变。

绝热饱和温度: 少量空气与大量水经过接触后达到的稳定温度, 空气增湿、降温。



湿球温度计



绝热饱和塔示意图



西安建筑科技大学

Xi'an University of Architecture and Technology

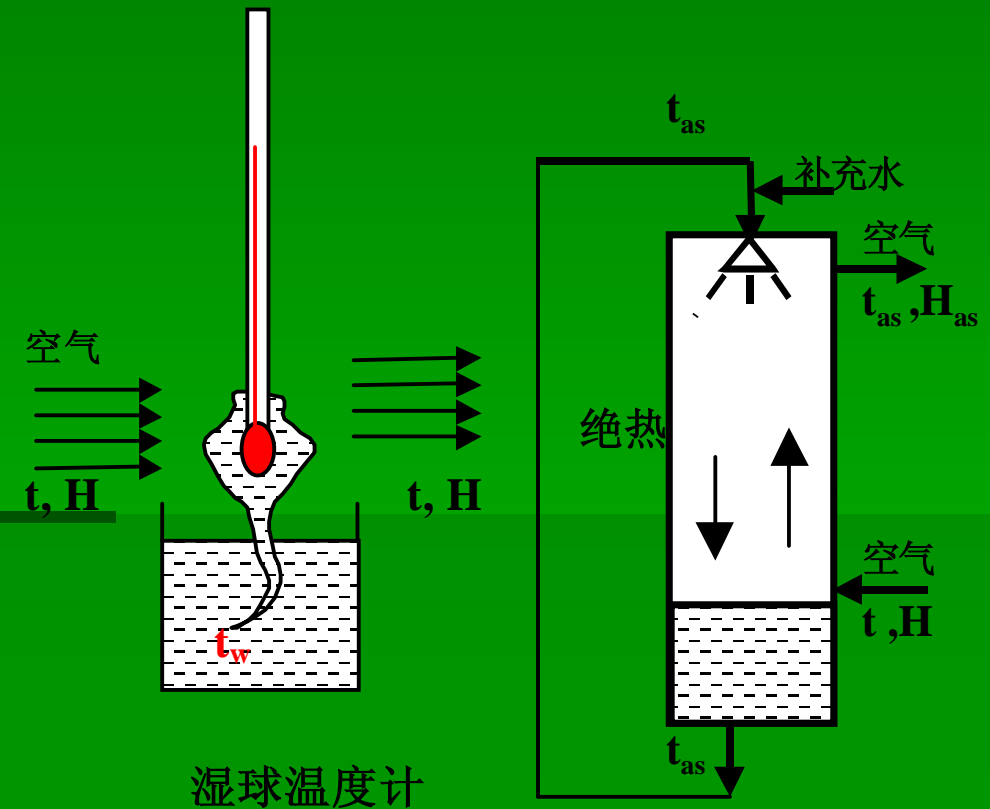
②、

湿球温度:

传质、传热仍在进行，
因此属动态平衡范畴。

绝热饱和温度:

没有净的质量、热量传递进行，
因此属静态平衡范畴。



湿球温度计

绝热饱和塔示意图



7. 露点 t_d

在总压不变的条件下，将不饱和湿空气冷却，直至冷凝出水珠为止，此时湿空气的温度称为露点，用 t_d 表示。

特点：

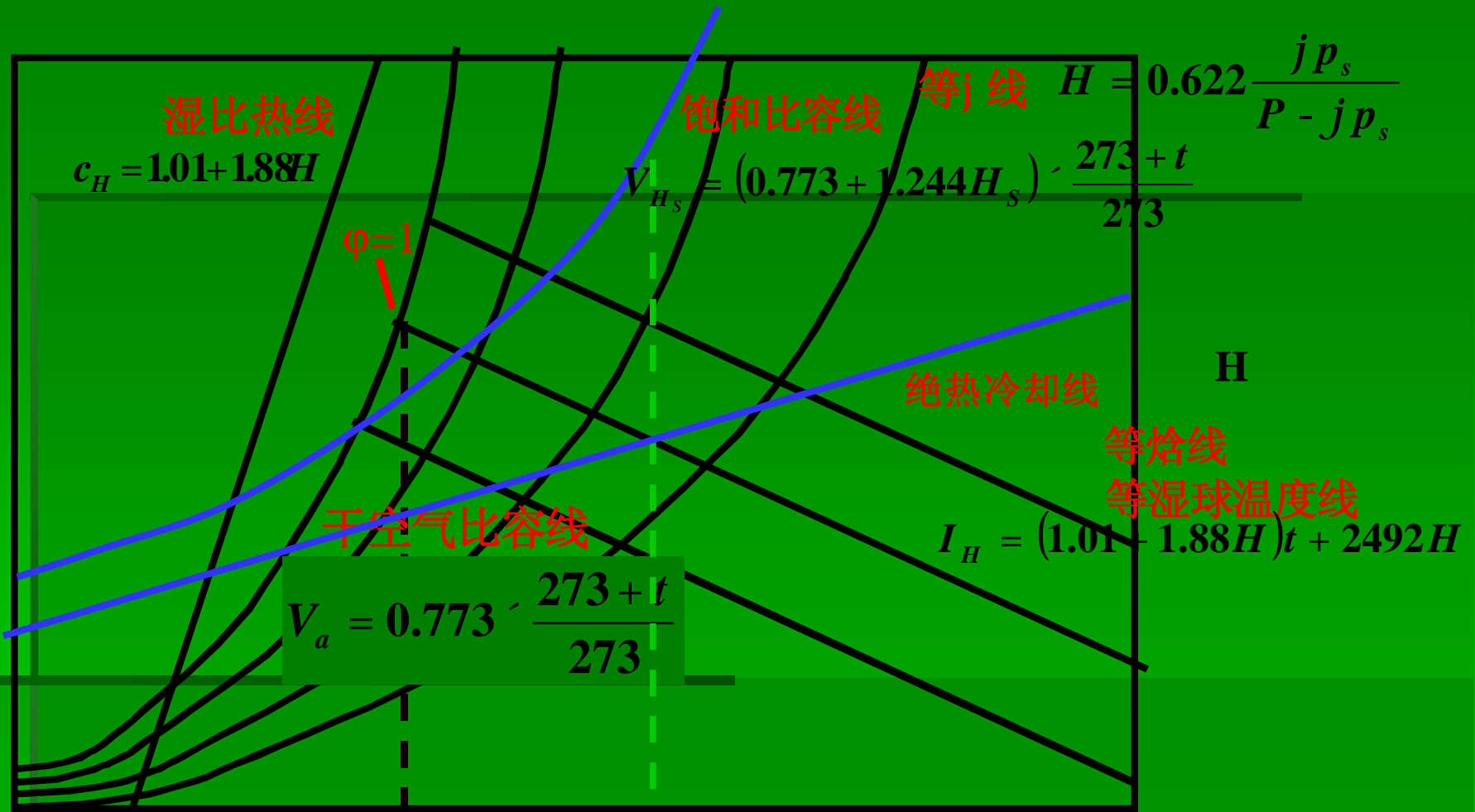
$$p = p_d$$

$$H = H_d = 0.622 \frac{p_w}{P - p_w} = 0.622 \frac{p_d}{P - p_d}$$

$$j = \frac{p_w}{p_s} \cdot 100\%$$



二、湿度图 ----- 如t-H图、I-H图 (P一定)



$t_{as}(t_w)$

t

$$\frac{V_H - V_a}{V_{H_s} - V_a} = \frac{H}{H_s}$$

湿度图

P=1atm

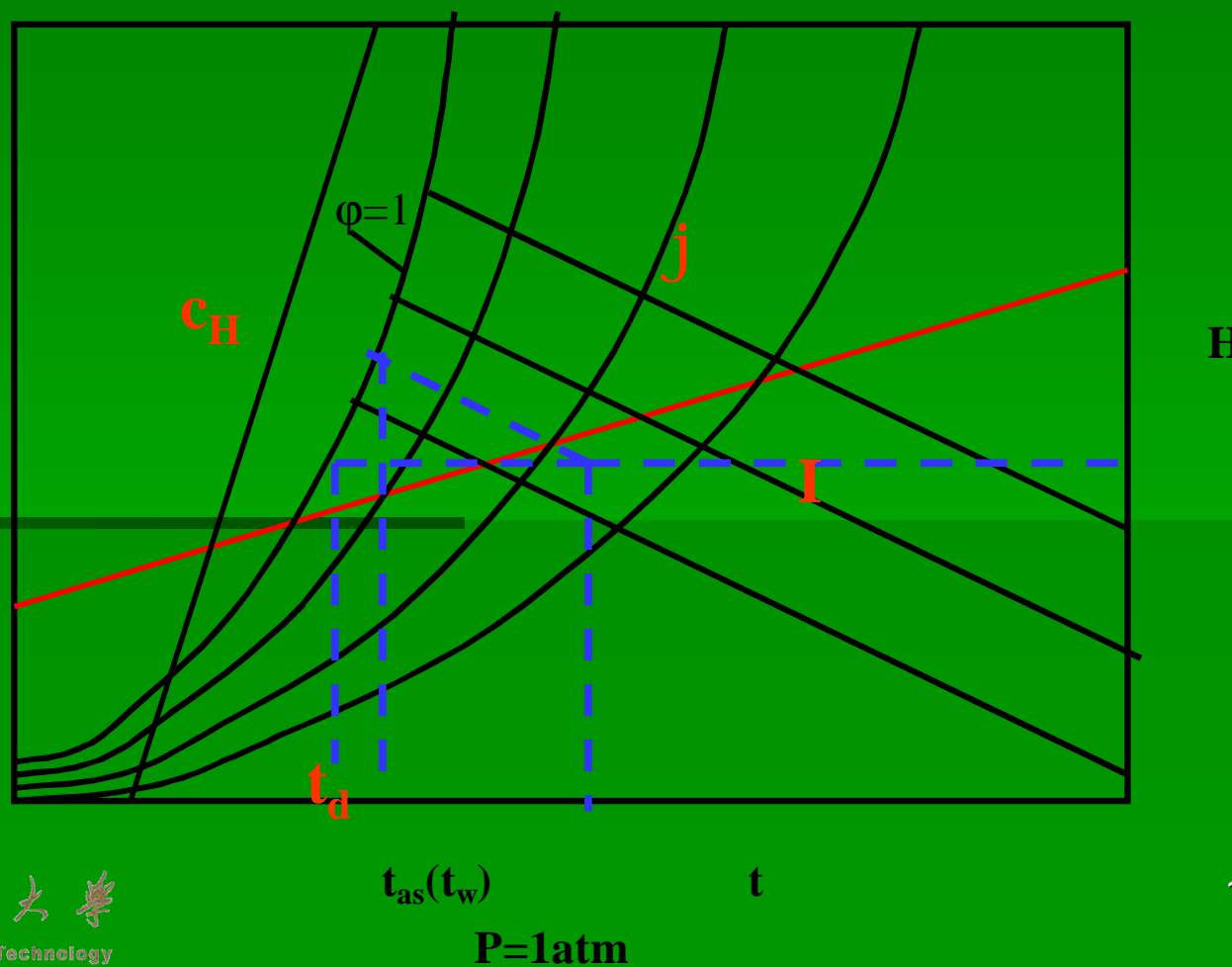


西安建筑科技大学

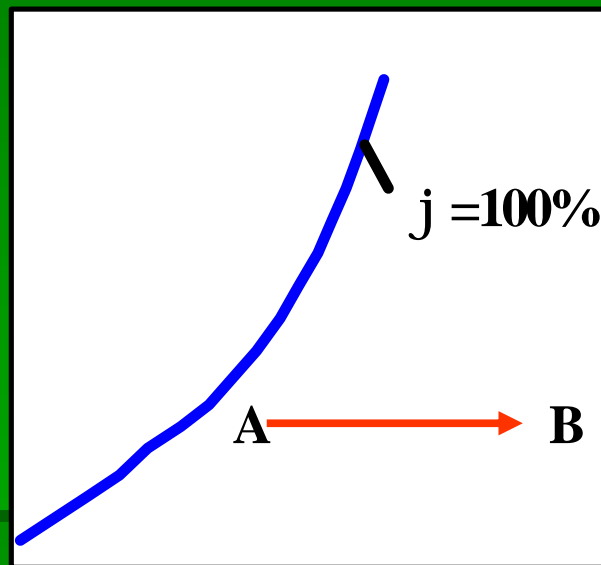
Xi'an University of Architecture and Technology

三、湿度图的应用

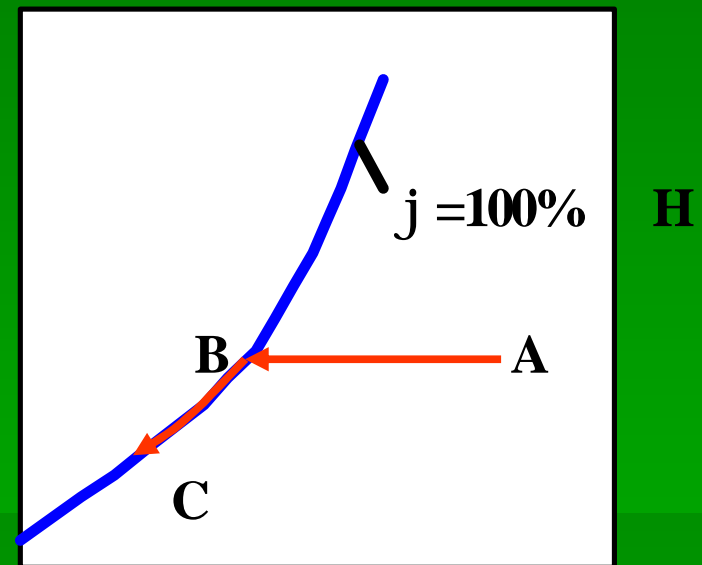
1. 查取湿空气的性质



2. 表示湿空气的状态变化过程

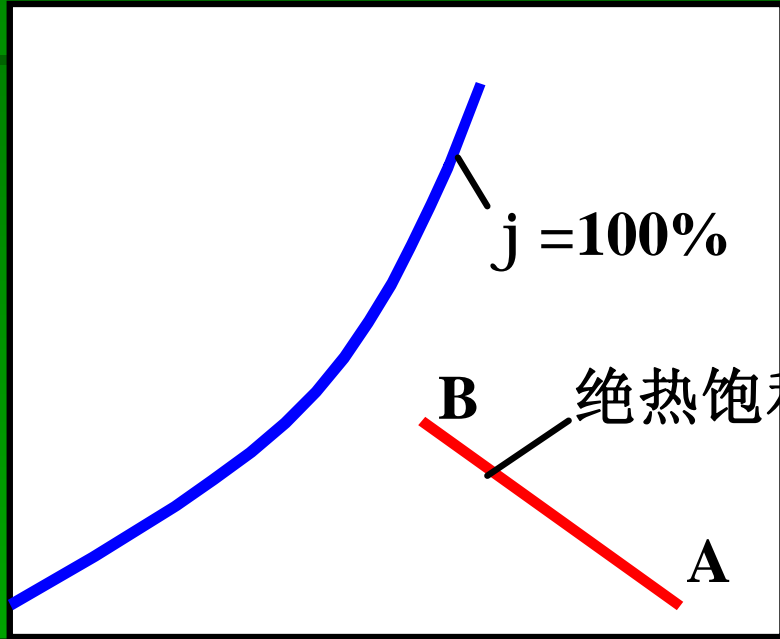


t
(a) 加热过程



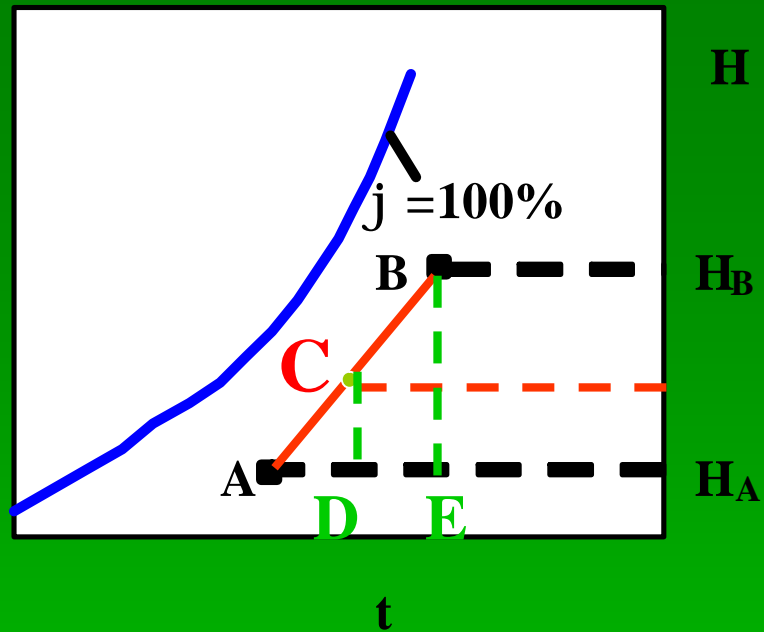
t
(b) 冷却过程





(c) 绝热增湿、降温过程





(d) 两股湿空气的混合

由物料衡算可得：

$$L_A + L_B = L_C$$

$$L_A H_A + L_B H_B = L_C H_C$$

$$\Rightarrow \frac{L_B}{L_A} = \frac{H_C - H_A}{H_B - H_C} = \frac{\overline{AC}}{\overline{CB}}$$

-----杠杆原理

由热量衡算可得: $L_A I_A + L_B I_B = L_C I_C$

$$\rightarrow L_A c_{H_A} t_A + L_B c_{H_B} t_B = L_C c_{H_C} t_C$$

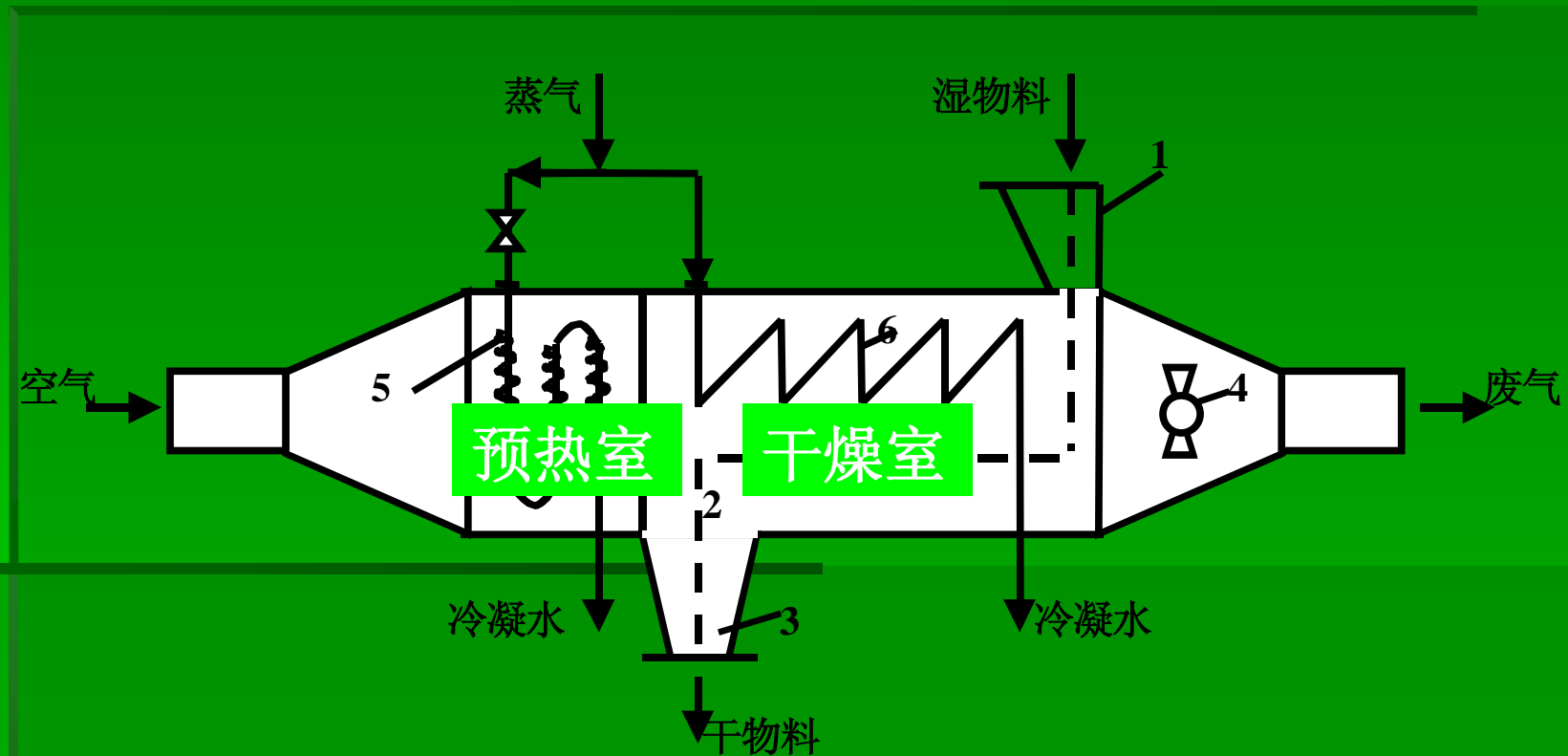
$$\rightarrow \frac{L_B}{L_A} = \frac{H_C - H_A}{H_B - H_C} = \frac{\overline{AD}}{\overline{DE}}$$

-----杠杆原理



14.3 干燥过程的计算

干燥过程



空气干燥器的流程图

1^{3/4} 进料口；2^{3/4} 干燥室；3^{3/4} 卸料口；4^{3/4} 抽风机；5、6^{3/4} 空气加热器



西安建筑科技大学

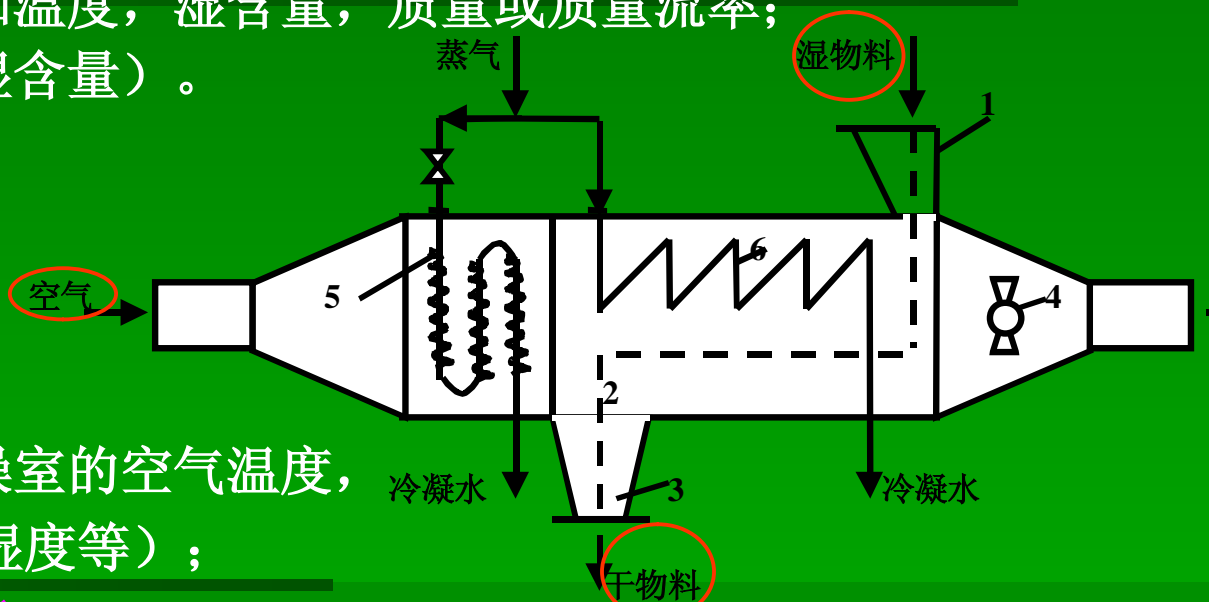
Xi'an University of Architecture and Technology

已知:

- ✓ 干燥介质（空气）的进口条件，如温度、湿度、压力等；
- ✓ 物料的进口条件，如温度，湿含量，质量或质量流率；
- ✓ 物料的干燥要求（湿含量）。

求解:

- ✓ 干燥介质用量；
- ✓ 干燥条件（如进干燥室的空气温度，出干燥室的空气温度和湿度等）；
- ✓ 整个设备的热能消耗；
- ✓ 干燥室尺寸
等等。



空气干燥器的流程图

1^{3/4} 进料口；2^{3/4} 干燥室；3^{3/4} 卸料口；4^{3/4} 抽风机；5、6^{3/4} 空气加热器



西安建筑科技大学

Xi'an University of Architecture and Technology

一、湿物料中含水率的表示方法

1、湿基含水率

$$W = \frac{\text{水分质量}}{\text{湿物料的总质量}} \times 100\%$$

2、干基含水率

$$X = \frac{\text{水分质量}}{\text{湿物料中绝干物料的质量}} \times 100\%$$

思考：两种含水率之间的换算关系？

$$W = \frac{X}{1 + X} \quad X = \frac{W}{1 - W}$$



西安建筑科技大学

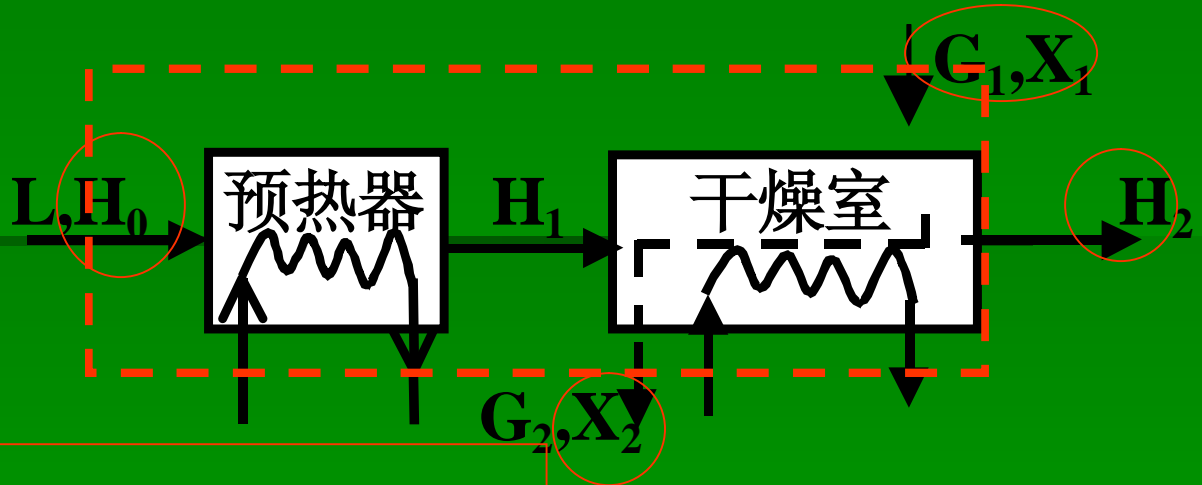
Xi'an University of Architecture and Technology

二、物料衡算

求解:

干燥介质用量,
蒸发的水分量等

蒸发的水分量



$$\begin{aligned}
 W &= G_1 - G_2 \\
 &= G_C (X_1 - X_2) = G_1 \frac{W_1 - W_2}{1 - W_2} = G_2 \frac{W_1 - W_2}{1 - W_1} \\
 &= L(H_2 - H_1)
 \end{aligned}$$

$$G_C = G_1(1 - W_1) = G_2(1 - W_2)$$

干空气用量

$$L = \frac{W}{H_2 - H_1}$$

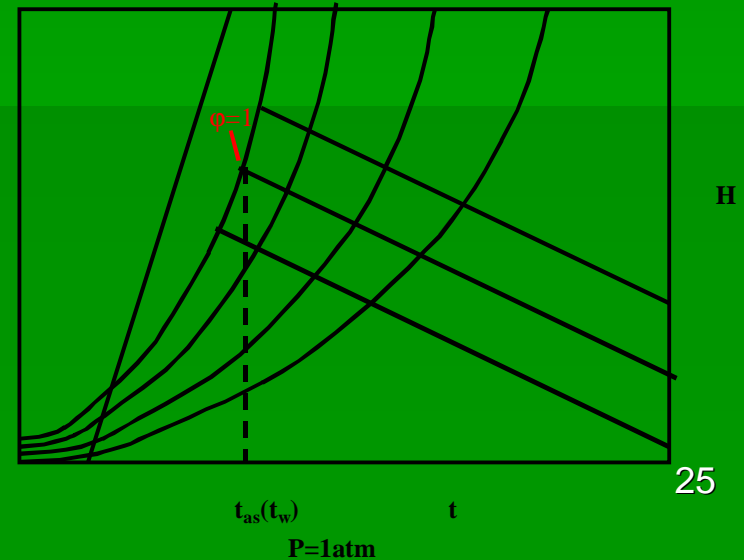
比空气用量

$$l = \frac{1}{H_2 - H_1}$$

l 与干燥过程所经历的途径无关。

西安建筑科技大学

Xi'an University of Architecture and Technology



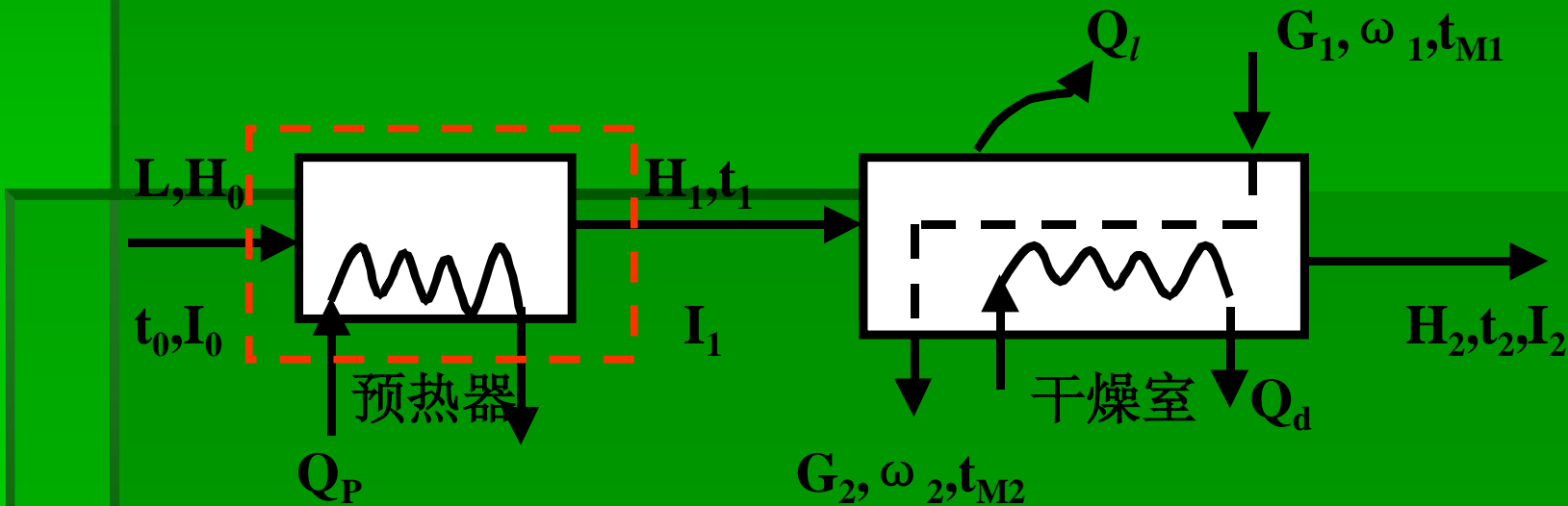
25



求解：整个设备的热能消耗

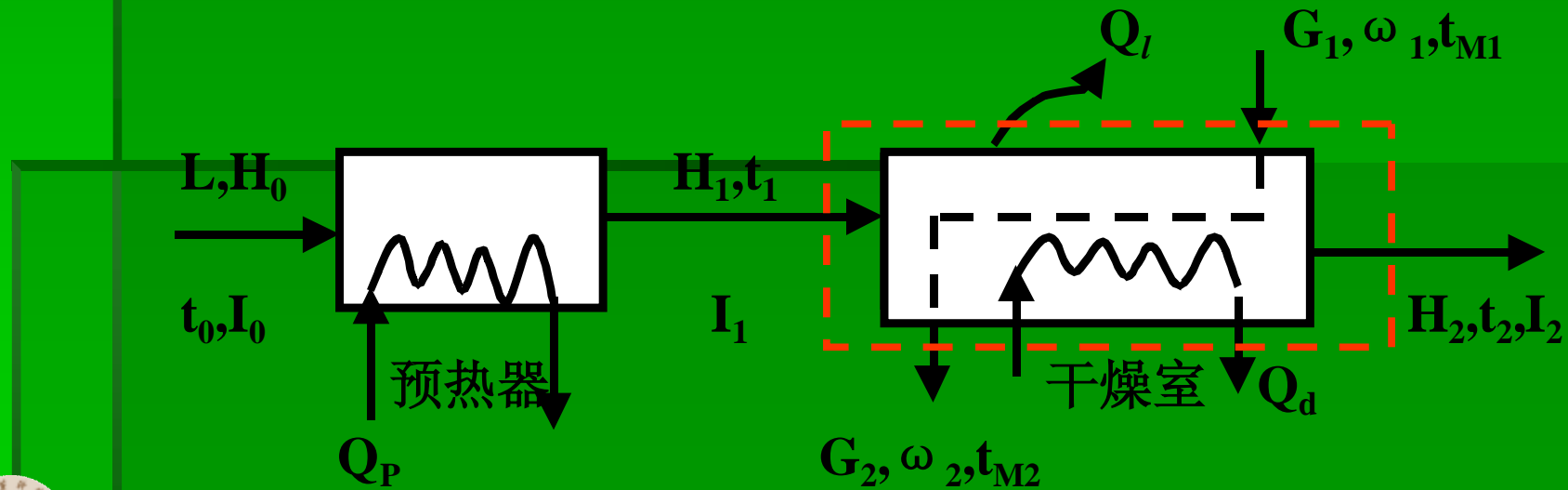
1、预热器的热量衡算

$$Q_P = L(I_1 - I_0) = Lc_{H_0}(t_1 - t_0)$$



2、干燥室的热量衡算

$$LI_1 + G_1 c_{M_1} t_{M_1} + Q_d = LI_2 + G_2 c_{M_2} t_{M_2} + Q_l$$



供能方

新鲜空气被加热所耗的能量

物料中水分蒸发所耗的能量

$$Q_P + Q_d = Lc_{H_0}(t_2 - t_0) + W[(1.88t_2 + 2492) - c_l t_{M_1}] + G_2 c_{M_2}(t_{M_2} - t_{M_1}) + Q_l$$

物料升温所耗能量

热损失

加入干燥系统的全部能量有四个用途：

加热空气、蒸发水分、加热物料和热损失



西安建筑科技大学

Xi'an University of Architecture and Technology

3、干燥设备的热效率

热效率

$$h = \frac{\text{蒸发水分所需的热量 } Q_{\text{气化}}}{\text{输入干燥设备的总热量 } Q} \cdot 100\%$$
$$= \frac{W \left[(2492 + 1.88t_2) - c_l t_{M_1} \right]}{Q_P + Q_d} \cdot 100\%$$

一般， $h=30\sim60\%$ ，
在应用部分废气循环时， $h=50\sim70\%$



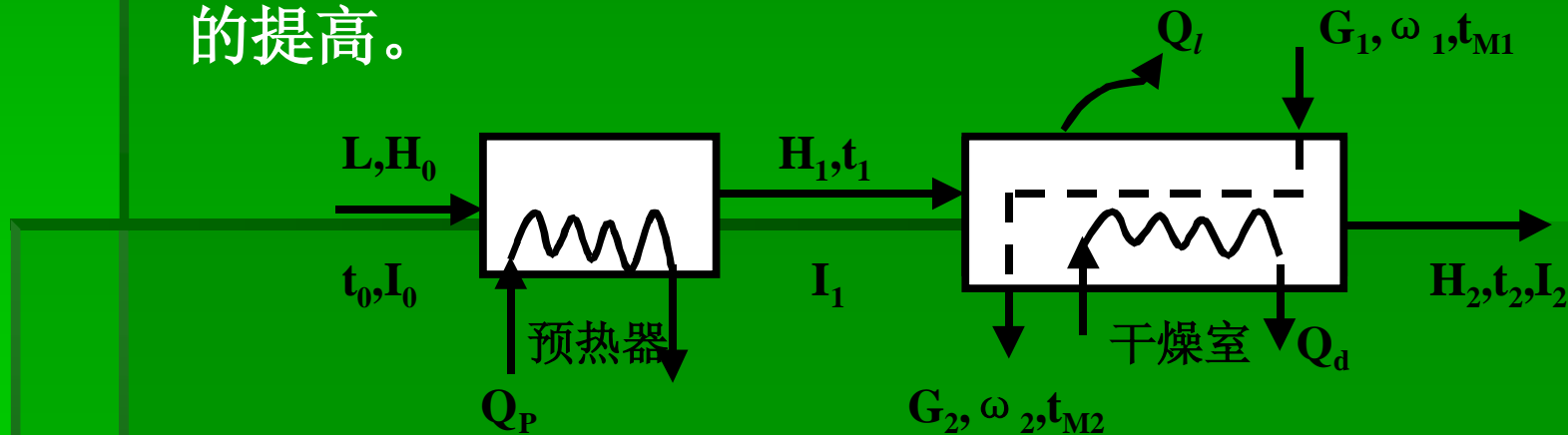
西安建筑科技大学

Xi'an University of Architecture and Technology

影响热效率的因素:

H_2 、 t_2 、 Q_d ，则 h 。

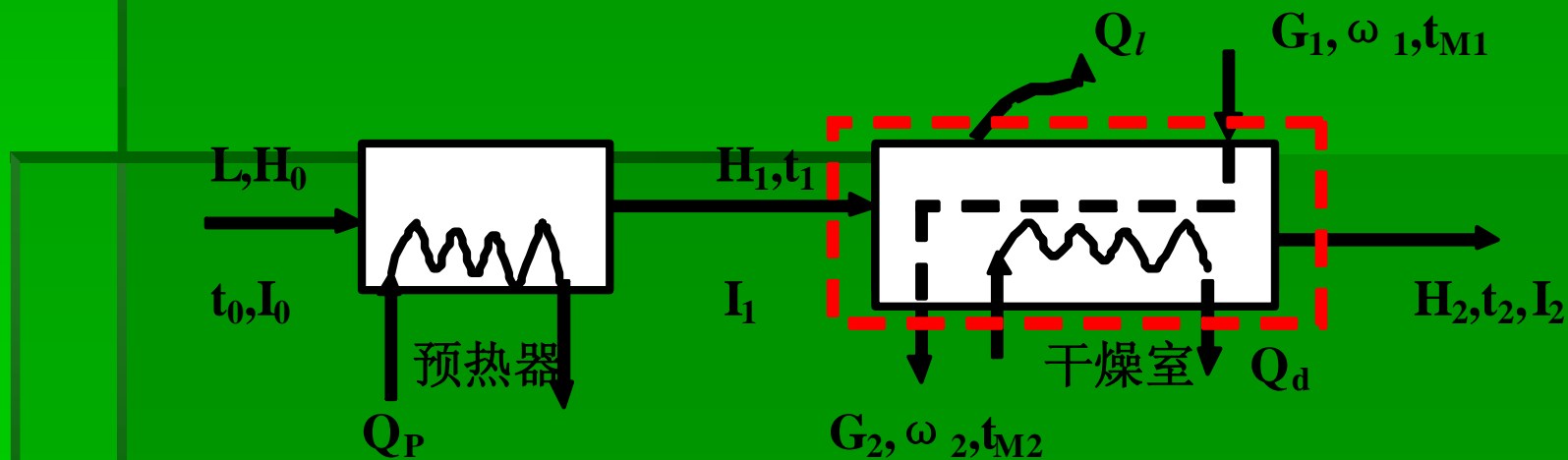
此外，尽量利用废气中的热量，例如用废气预热冷空气或湿物料，或将废气循环使用，也将有助于热效率的提高。



4、理想干燥过程和实际干燥过程

√理想干燥过程（又称绝热干燥过程）—— $I_1 = I_2$

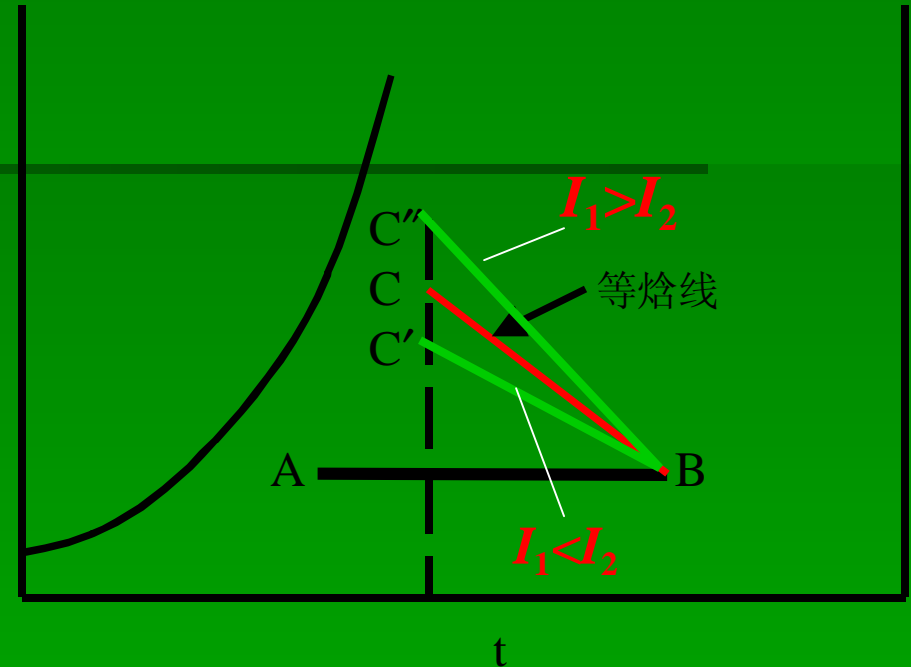
$$h_{\text{理想}} = \frac{Q_{\text{汽化}}}{Q_P} \cdot 100\% = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_0} \times 100\%$$



实际干燥过程

(1) $I_1 > I_2$

(2) $I_1 < I_2$



理想干燥过程和实际干燥过程中湿空气状态变化示意图



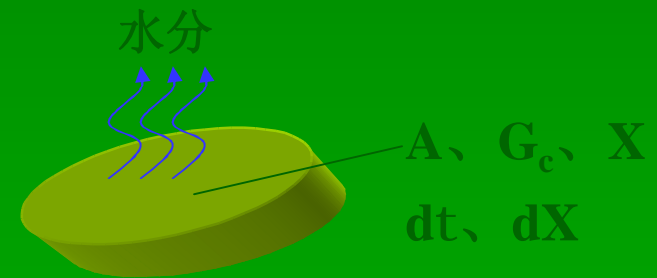
14.4 干燥速率和干燥时间-----干燥动力学

干燥动力学可以解决干燥室尺寸问题

干燥速率: $kg/(m^2 \times s)$

单位时间、单位干燥表面所汽化的水分量

$$U = - \frac{G_c dX}{A dq}$$



其中 G_c 绝干物料质量, kg;

A干燥面积, m^2 ;

X物料中干基含水率, kg水/kg干料。



西安建筑科技大学

Xi'an University of Architecture and Technology

一、物料中的几种水分

1、结合水分与非结合水分

-----取决于物料本身的性质，与空气状况无关。

非结合水-----机械地附着在物料表面的水分，或物料堆积层中大空隙中的水分

特点：与固体相互结合力较弱，较易去除；非结合水的性质与纯水的相同。

结合水-----结晶水、小毛细管内的水分、细胞内的水分等。

特点：结合水的蒸气压低于同温下水的饱和蒸气压；借化学力或物理化学力与固体相结合，较难去除。



西安建筑科技大学

Xi'an University of Architecture and Technology

一、物料中的几种水分

2、平衡水分与自由水分-----取决于物料本身的性质、空气状态。

什么是平衡水分? -----在一定空气状态下的干燥极限

在一定空气状态下，湿物料中的恒定含水量称为该物料的水。也就是在一定空气状态下物料中不能除去的水分。用 X^* 表示，单位kg水/kg干料。

什么是自由水分?

物料总水分中，除了平衡水分以外的那部分水。



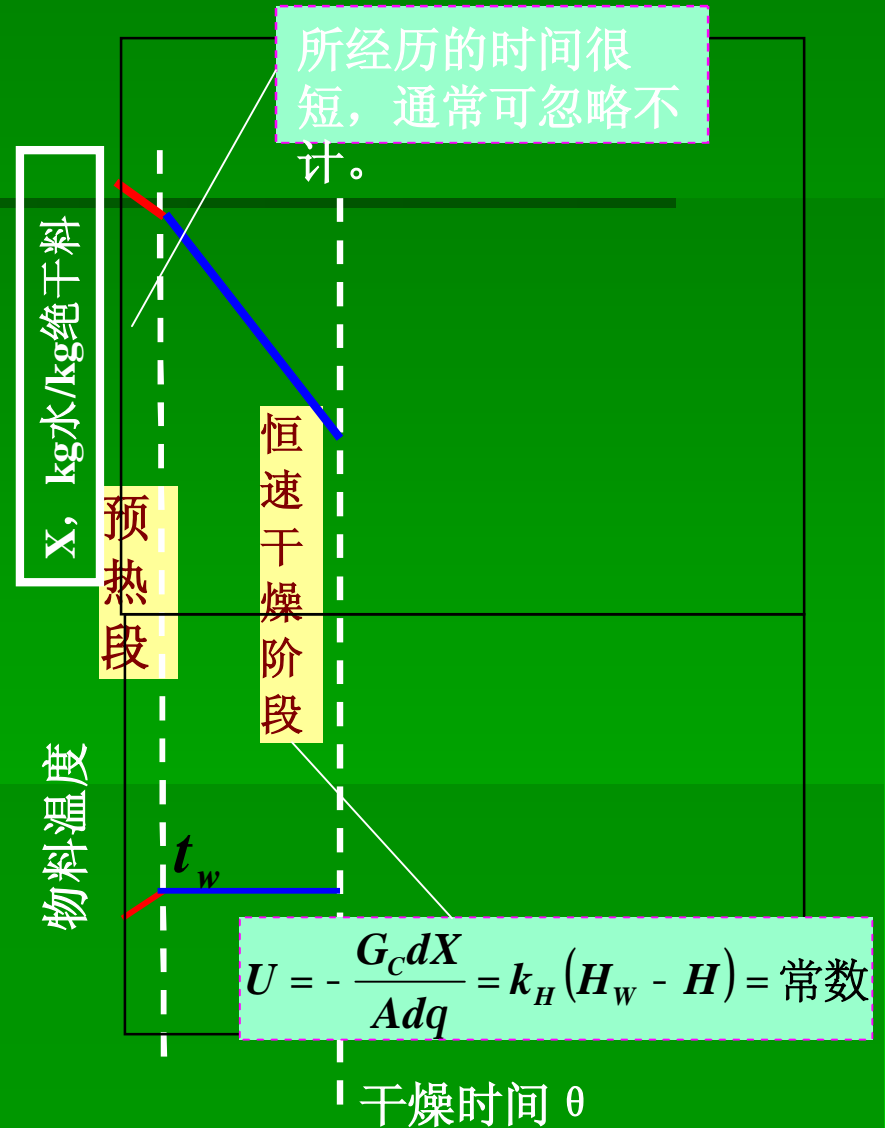
二、干燥过程及机理

恒定干燥条件:

湿空气的状态 (温度、湿度) 不变、
空气流速不变、
与物料的接触方式不变

思考:

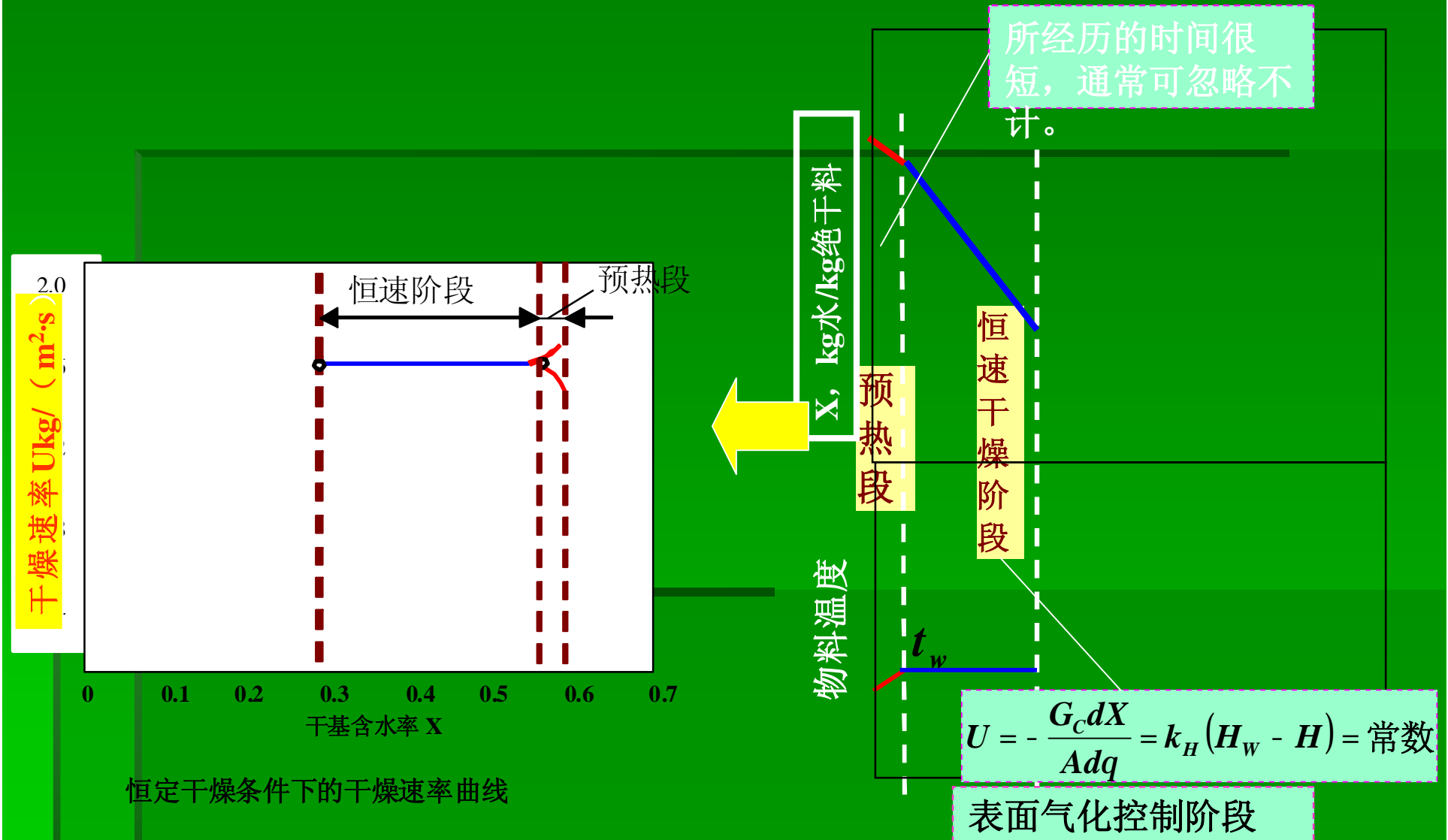
恒速阶段除去的是什么
水? 非结合水



西安建筑科技大学

Xi'an University of Architecture and Technology

二、干燥过程及机理



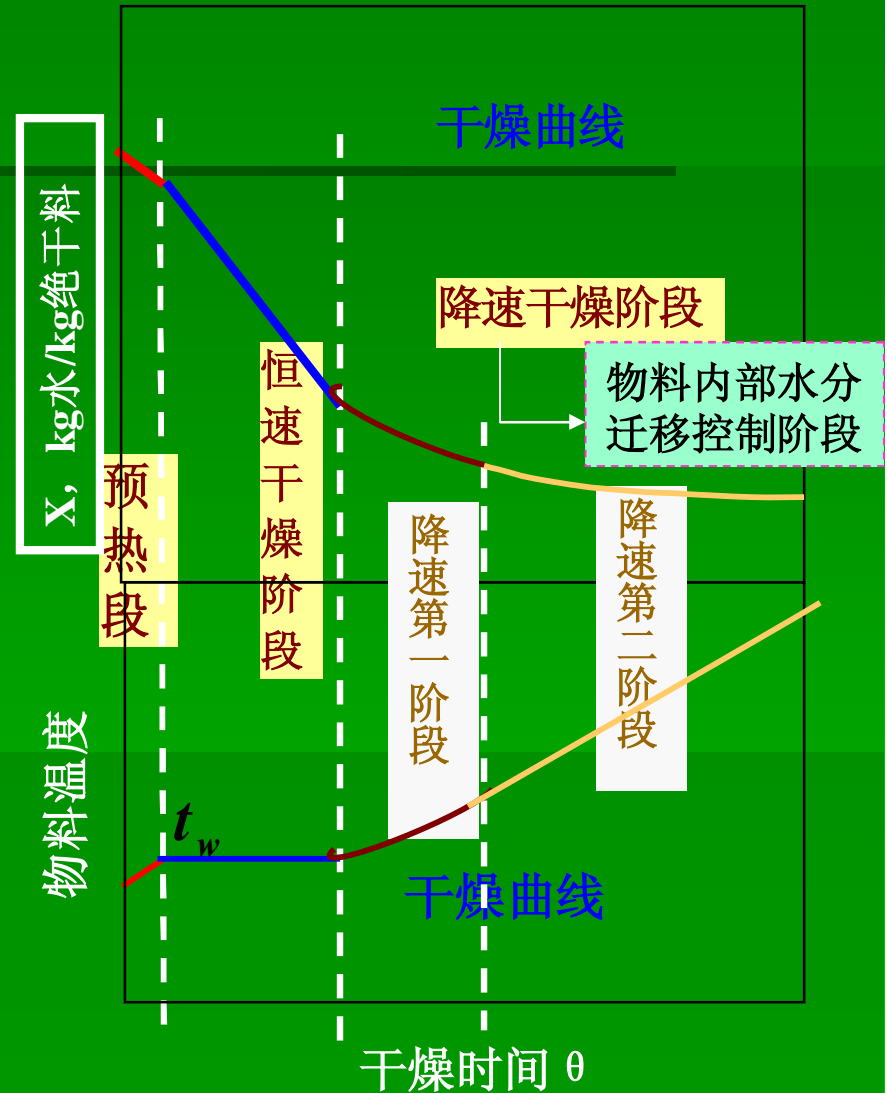
恒定干燥条件下的干燥速率曲线



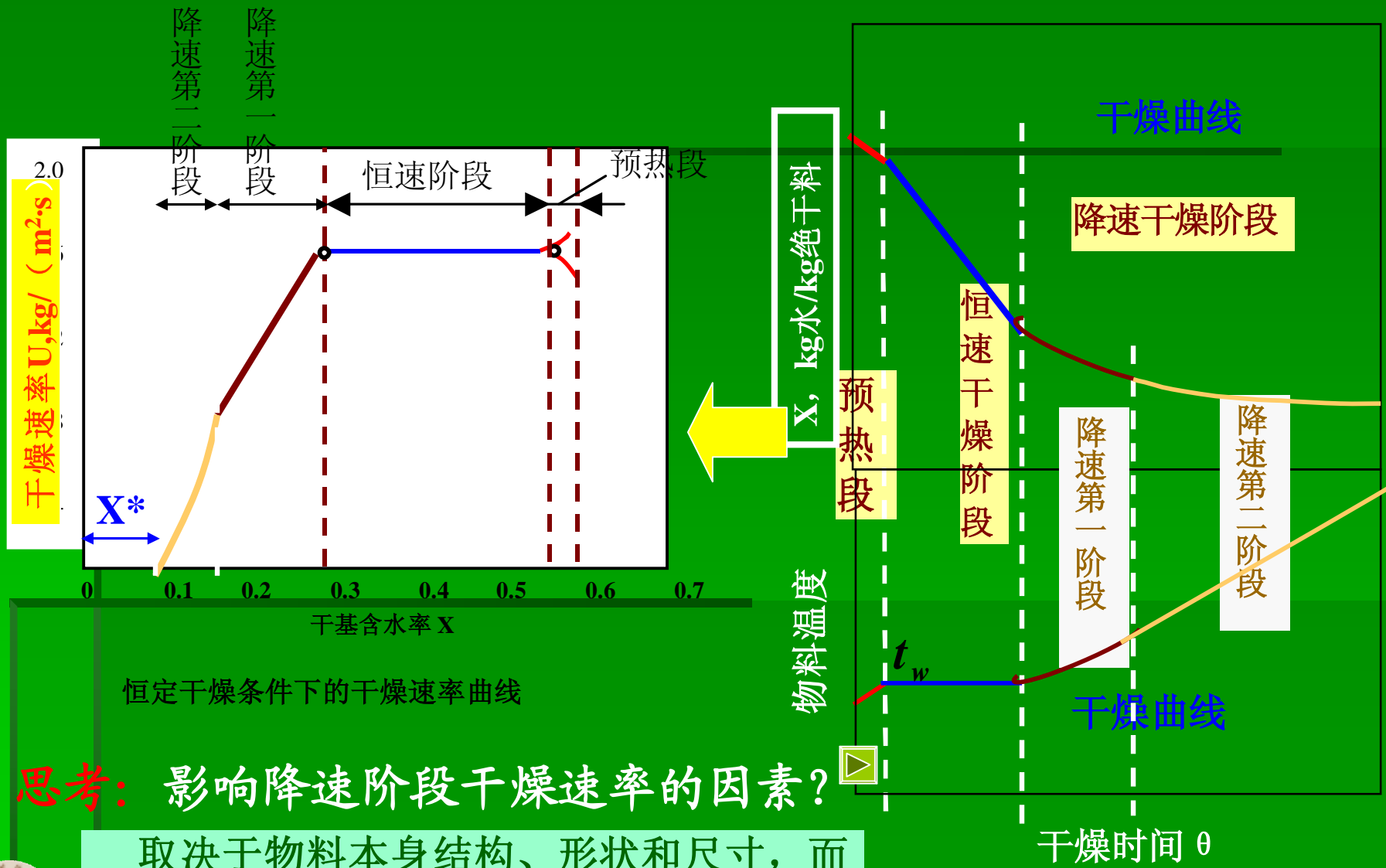
二、干燥过程及机理

整个干燥过程可分为三个阶段：
预热段、恒速段、降速段

思考：降速阶段除去的是什么水？
非结合水和部分结合水



二、干燥过程及机理



思考：影响降速阶段干燥速率的因素？

取决于物料本身结构、形状和尺寸，而与干燥介质状况关系不大。



三、干燥时间的计算

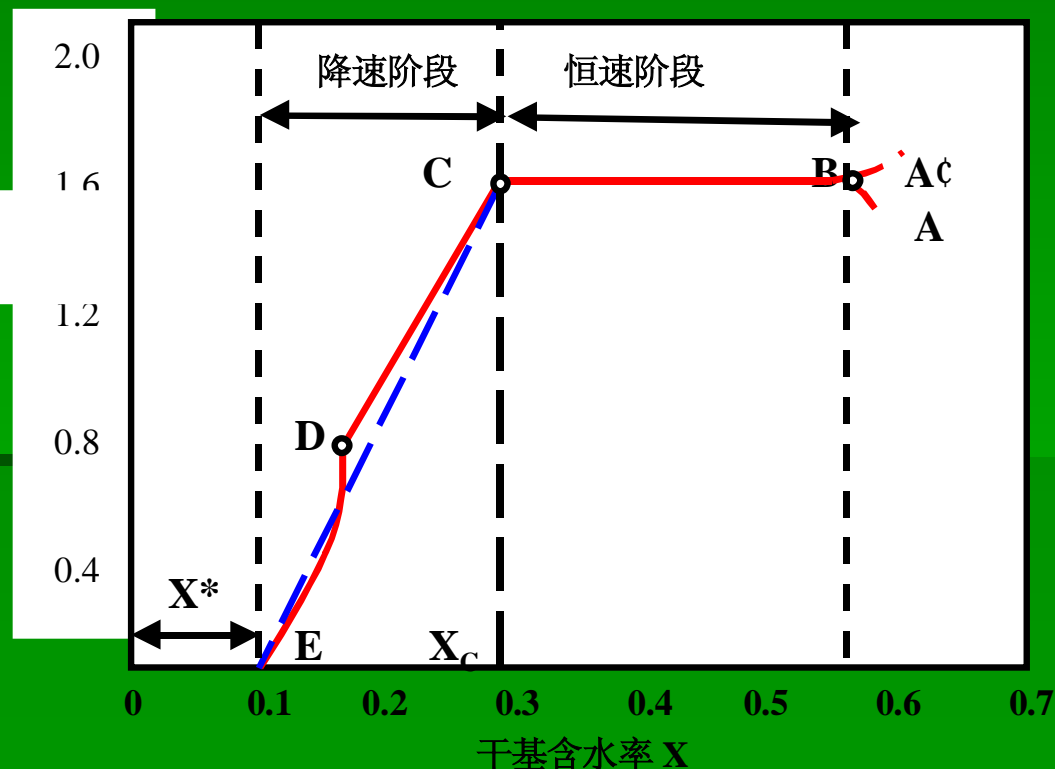
1、恒速干燥阶段干燥时间 θ_1 的计算

$$QU = - \frac{G_c dX}{Adq} = \text{常数} = U_c$$

$$\dot{Q}^{q_1} dq = \frac{G_c}{AU_c} \dot{Q}_{X_c}^{X_1} dX$$

$$q_1 = \frac{G_c (X_1 - X_c)}{AU_c}$$

其中 $U_c = k_H (H_w - H)$
 $= \frac{a}{r_w} (t - t_w)$



恒定干燥条件下的干燥速率曲线



三、干燥时间的计算

2、降速阶段干燥时间 θ_2 的计算

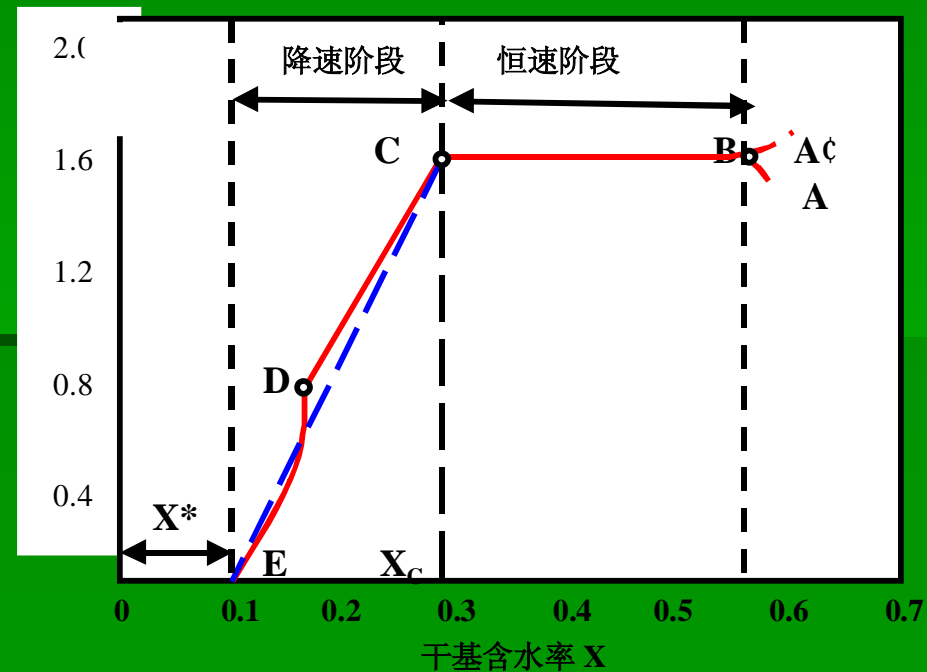
$$U = - \frac{G_c dX}{A dq} \quad 1 \text{ 常数} \quad \longrightarrow \quad q_2 = \int_0^{q_2} dq = \frac{G_c}{A} \int_{X_2}^{X_c} \frac{dX}{U}$$

若降速阶段的干燥曲线可近似为直线，则

$$\text{斜率 } K_X = \frac{U}{X - X^*} = \frac{U_c}{X_c - X^*}$$

$$U = U_c \frac{X - X^*}{X_c - X^*}$$

$$q_2 = \frac{G_c (X_c - X^*)}{A U_c} \ln \frac{X_c - X^*}{X_2 - X^*}$$



14.5 干燥器简介

按加热方式可分为：

- i 对流式
- ii 传导式
- i 辐射式
- ii 介电加热式

根据操作压力又可分为

- i 常压式
- i 减压式

按操作方式则可分为

- i 连续式
- i 间歇式



干燥器：实现物料干燥过程的机械设备。

被干燥物料的特点：

形状：有板状、块状、片状、针状、纤维状、粒状、粉状，膏糊状甚至液状等；

结构：多孔疏松型，紧密型；

耐热性：热敏性；

结块：易粘结成块的湿物料在干燥过程中能逐步分散，散粒性很好的湿物料在干燥过程中可能会严重结块。

对产品的要求：

干燥程度：脱除表面水分，结合水分甚至结晶水分。要求的平均湿含量和干燥均匀性。

外观：一定的晶型和光泽，不开裂变形等。



西安建筑科技大学

Xi'an University of Architecture and Technology

按加热方式可将干燥器分为：

- (1) 对流干燥器，如：洞道式干燥器、转筒干燥器、气流干燥器、流化床干燥器、喷雾干燥器等；
- (2) 传导干燥器，如：滚筒式干燥器、耙式干燥器、间接加热干燥器等；
- (3) 辐射干燥器，如：红外线干燥器；
- (4) 介电加热干燥器，如：微波干燥器。

干燥器的选型应考虑以下因素：

- (1) 保证物料的干燥质量，干燥均匀，不发生变质，保持晶形完整，不发生龟裂变形；
- (2) 干燥速率快，干燥时间短，单位体积干燥器汽化水分量大，能做到小设备大生产；
- (3) 能量消耗低，热效率高，动力消耗低；
- (4) 干燥工艺简单，设备投资小，操作稳定，控制灵活，劳动条件

好，污染环境小。

Xi'an University of Architecture and Technology

厢式干燥器

小型的称为烘箱，大型的称为烘房，可同时处理多种物料。

是典型的常压、间歇式、对流干燥设备。

适用场合：任何形状物料

优点：对物料的适应性强。

缺点：物料得不到分散，干燥速率低，热利用率较差、且产品质量不均匀。产量不大。

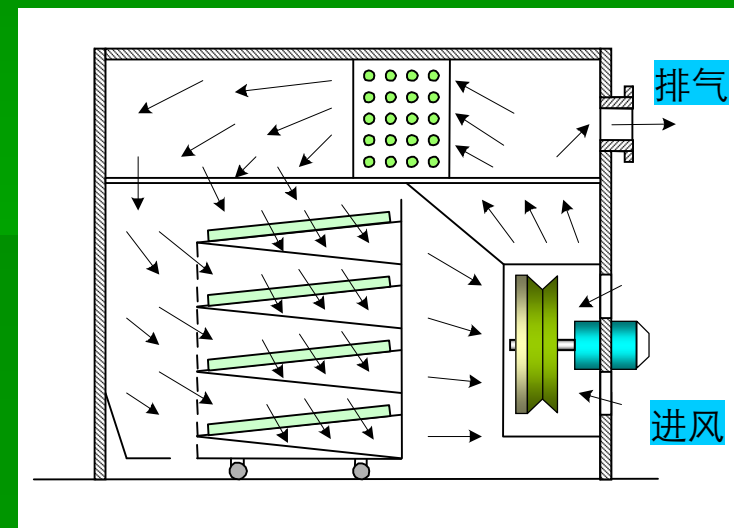
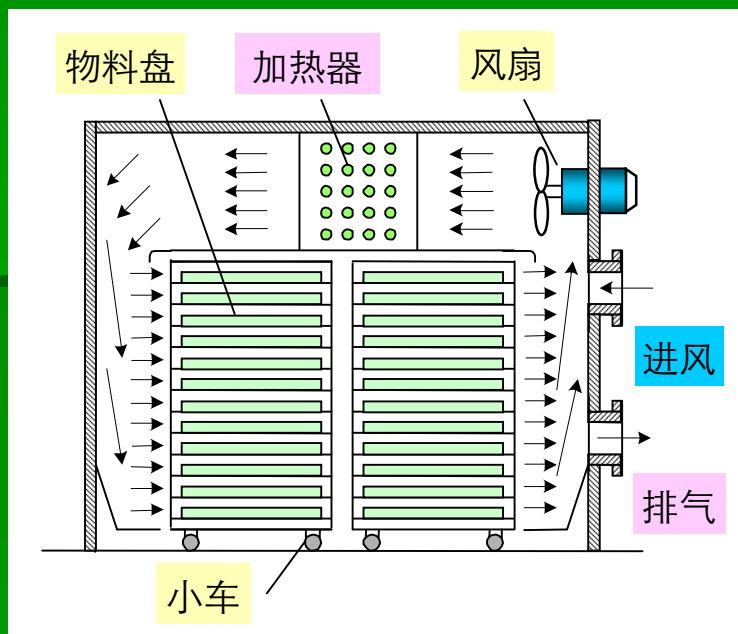


西安建筑科技大学

Xi'an University of Architecture and Technology

结构及工作原理

通常在常压或真空下间歇操作。厢内设有支架，湿物料放在矩形浅盘内，或悬挂在支架上(板状物料)，空气经加热器预热并均匀分配后，平行掠过物料表面，离开物料表面的湿废气，部分排空，部分循环，与新鲜空气混合后用作干燥介质。



洞道式干燥器

连续的或半连续操作

适用场合：处理量大、干燥时间长的物料

优、缺点：同厢式干燥器

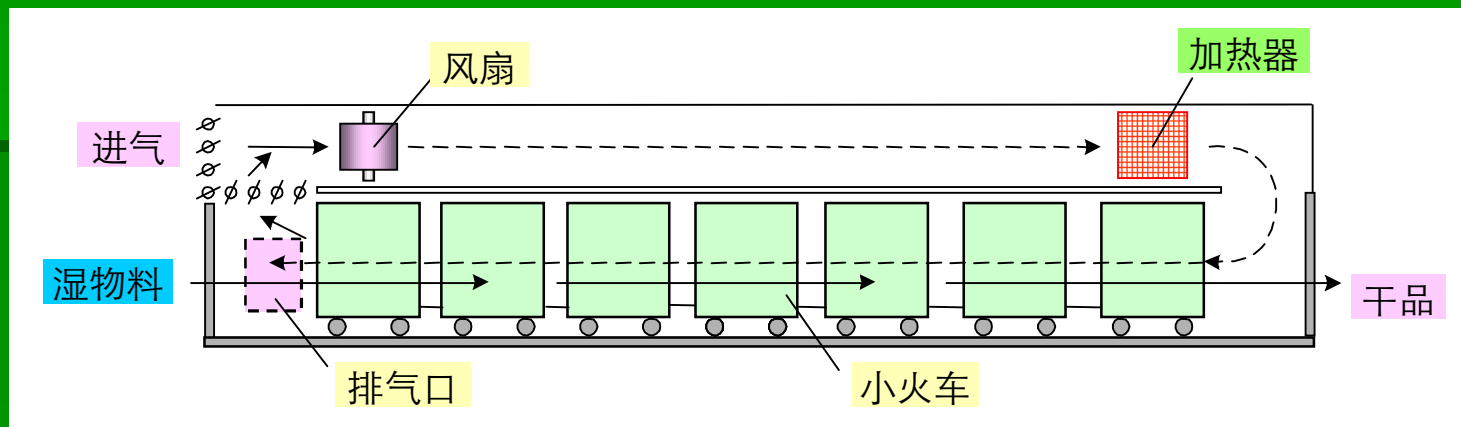


结构及工作原理

在一狭长的通道内铺设铁轨，物料放置在一串小车上，小车可以连续地或间歇地在进、出通道。

空气连续地在洞道内被加热并强制地流过物料表面，流程可安排成并流或逆流，还可根据需要安排中间加热或废气循环，干燥介质可用热空气和烟道气。

洞道式干燥器容积大，小车在洞道内停留时间长，适用于具有一定形状的比较大的物料如木材、皮革或陶器等物的干燥。



转筒干燥机

主体是略带倾斜并能回转的圆筒体。湿物料从高端上部加入，与通过筒体内的热风或加热壁面进行有效接触被干燥，干燥后的产品从低端下部收集。在干燥过程中，物料借助于圆筒的缓慢转动，在重力的作用下从较高一端向较低一端移动。筒体内壁上装有抄板，它不断地把物料抄起又洒下，使物料的热接触表面增大，以提高干燥速率并促使物料向前移动。

转筒干燥机是传统干燥设备之一，由于有其他干燥设备不可替代的一些特点，所以人们在不断地进行优化改进后，目前仍被广泛使用于冶金、建材、化工等领域。

特点：生产能力大，可连续操作。结构简单，操作方便。使用范围广，可干燥颗粒物料、膏糊状物料、甚至液体物料。操作弹性大。

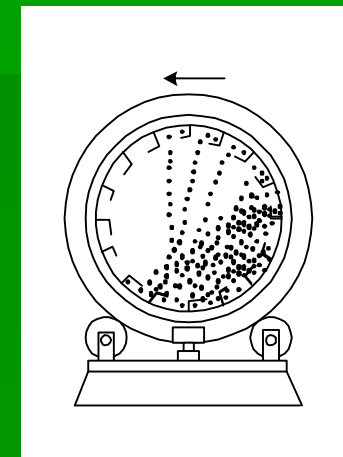
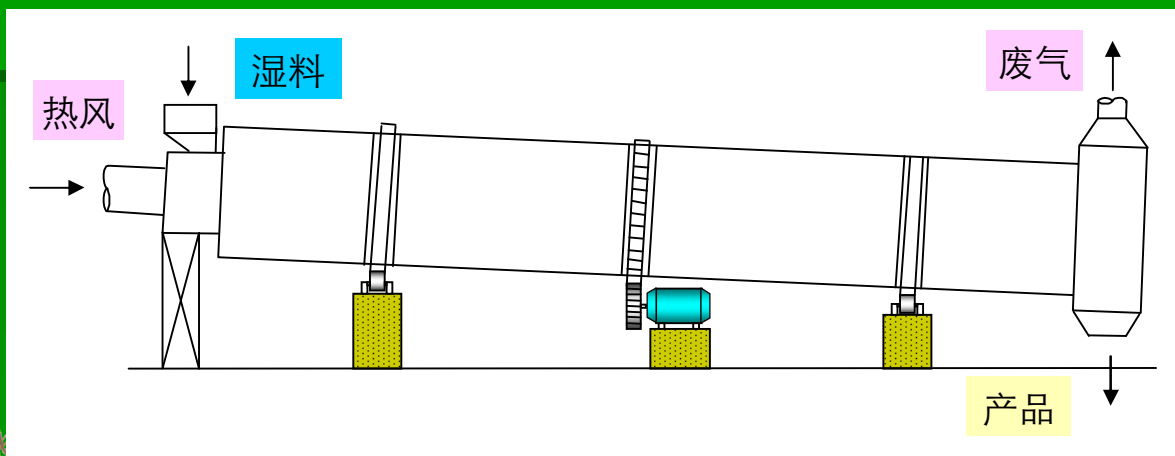


西安建筑科技大学

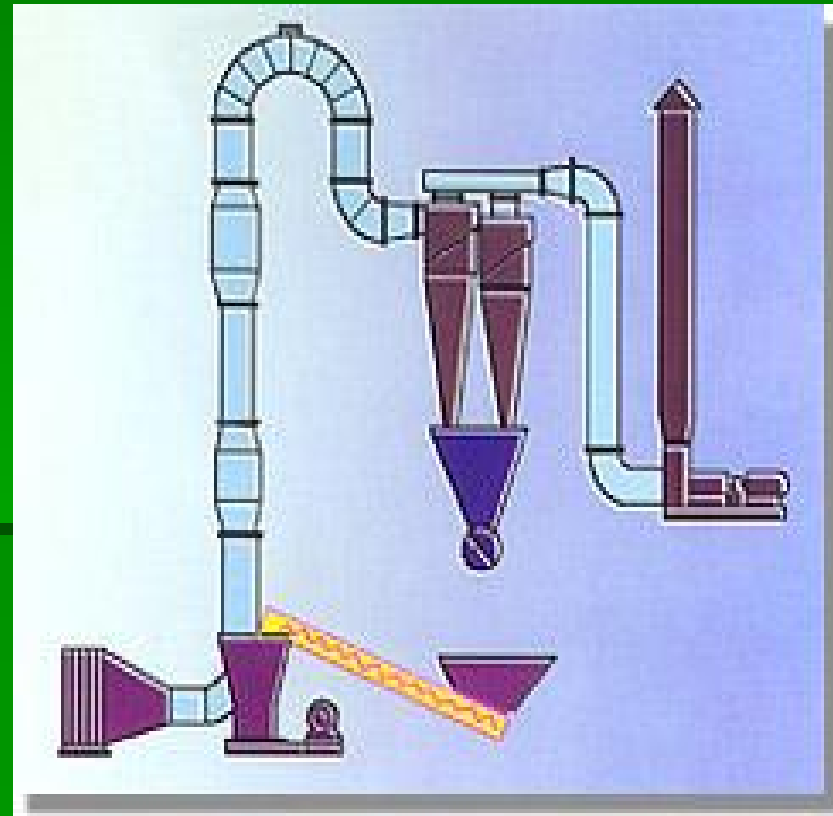
Xi'an University of Architecture and Technology

结构及工作原理

干燥器主体为一沿轴向装有若干抄板的圆筒。圆筒略呈倾斜放置，在齿轮机构的驱动下作旋转运动；
物料由转筒的较高一端送入，由较低端卸出，热风由转筒的较低端吹入，由较高端排出，气固两相呈逆流接触；
随着圆筒的旋转，物料首先被抄板抄起然后洒下，以改善气固两相的传热传质，提高干燥速率；
物料湿含量较低，产品能承受高温，宜采用逆流干燥。物料湿含量较高、产品湿含量不是很低的情况宜采用并流干燥。



气流干燥器



气流干燥器

适用场合:

主要用于干燥晶体和小颗粒物料，尤其是热敏性、易氧化、不宜粉碎的物料

优点:

干燥时间短，干燥效率高。干燥产品的湿含量均匀一致，结构简单，操作方便，性能稳定。

缺点:

系统的流动阻力大，要求的厂房高，对除尘设备要求严。



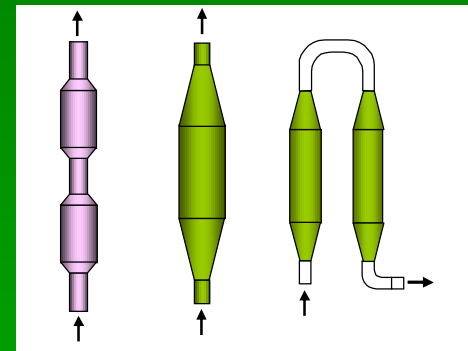
其它类型的气流干燥器

(1) 多级气流干燥器

将多台气流干燥串联使用，总管长相同的情况下，加速段增加。且各干燥器可选择合适的气体条件，有利于热能的回收和合理利用。在淀粉、奶粉生产中被广泛采用。

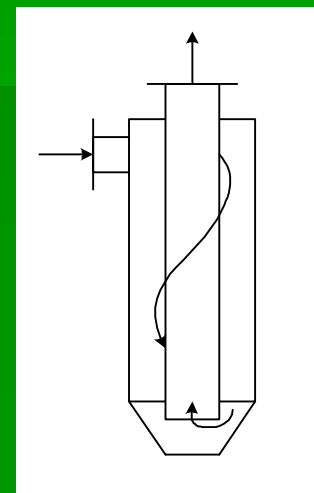
(2) 脉冲式气流干燥器

脉冲管内气速随管径变化而交替地增大和减小。由于惯性的作用，颗粒运动速度滞后气体，使气固两相的相对速度增加。



(3) 旋风式气流干燥器

类似于旋风分离器，但更长，气流携带固体颗粒沿切线方向进入后作螺旋运动，使物料在瞬间得到干燥。适用于允许磨损的热敏性物料（如制药行业）。



沸腾床干燥器 又称流化床干燥器

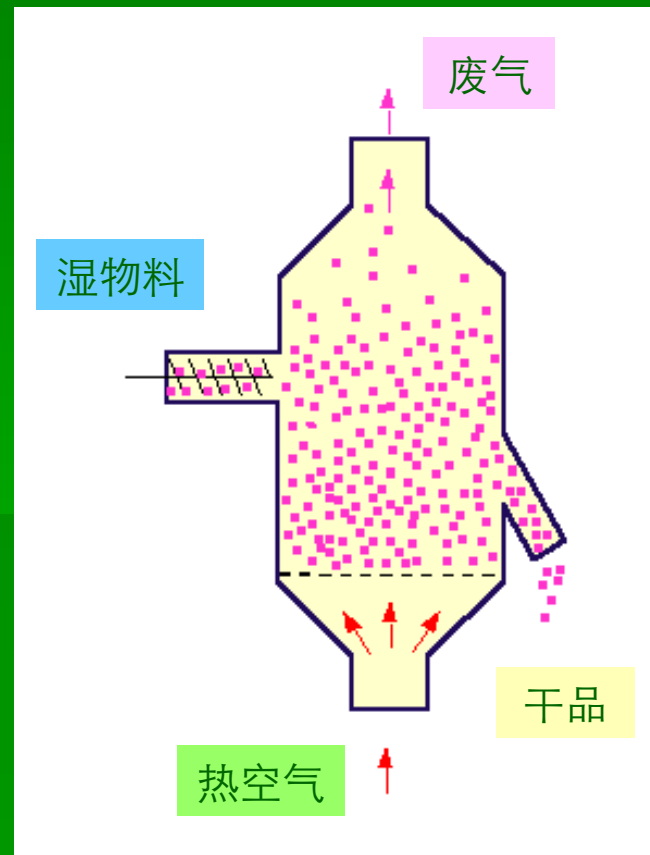


结构及操作原理

散粒状湿物料从加料口加入，热气体穿过流化床底部的多孔气体分布板，形成许多小气流射入物料层。

将操作气速控制在一定范围内时，颗粒物料悬浮在上升的气流中形成沸腾状流化床，料层内颗粒物料的相互碰撞、混合剧烈，气固两相间的传热传质过程得到强化，使物料得以干燥。

干燥产品经床侧出料管卸出，湿废气体由引风机从床层顶部抽出排空，用旋风分离器分离所夹带的少量细微粉。



西安建筑科技大学

Xi'an University of Architecture and Technology

流化床干燥器的特点

- (1) 气流干燥与流态化干燥的区别在于操作气速不同。气流管中颗粒浓度较低，流化层中颗粒浓度较大；
- (2) 气固接触面积很大
- (3) 避免了物料局部过热
- (4) 物料停留时间任意可调
- (5) 连续操作时物料的停留时间分布很不均匀，停留时间过短则干燥不充分，停留时间过长则过分干燥。单层流化床仅用于对产品湿含量的均匀性要求不高的场合，如硫酸铵、磷酸铵和氯化铵等的干燥。

工业上常将流化床干燥器与气流干燥器串联使用，利用气流干燥的闪蒸作用，迅速使物料的表面水分汽化，然后送入流化床干燥器中进一步脱除物料所含的结合水分。



流化床干燥器的用途

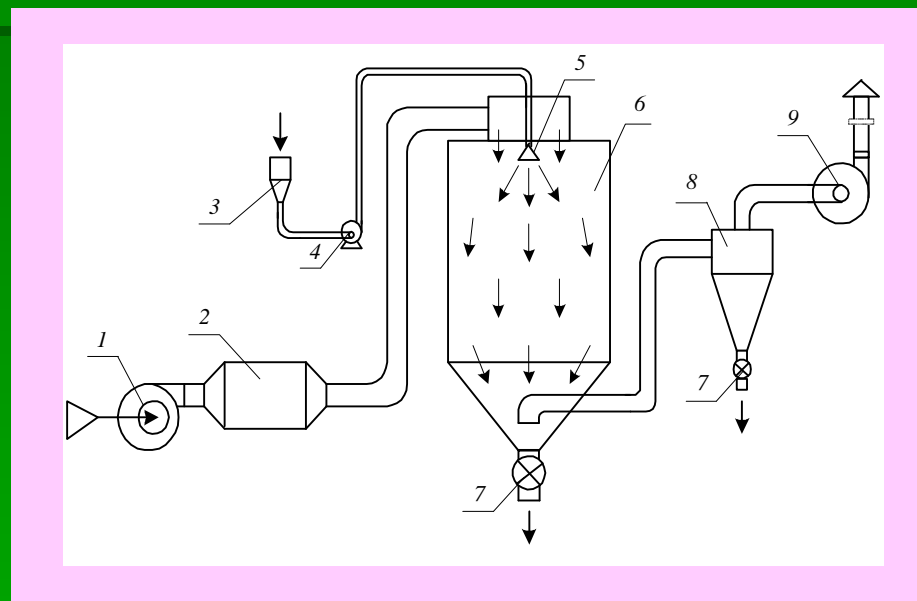
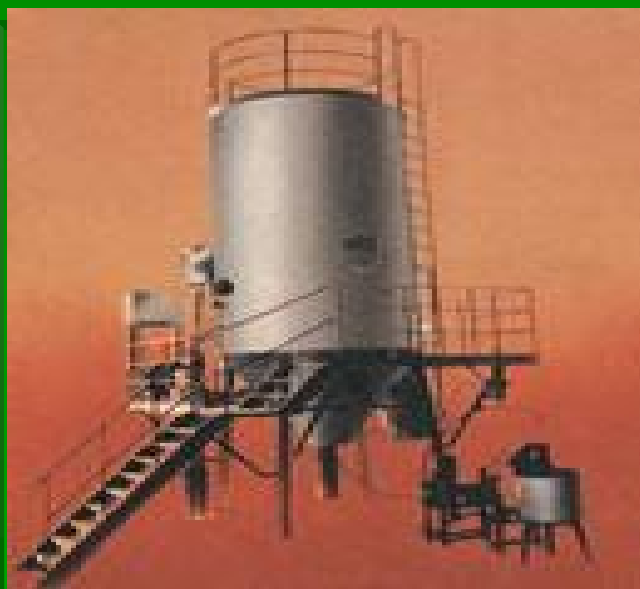
流化床干燥器适用于散粒状物料的干燥。
物料的粒径一般为 0.1~6 mm，最佳粒径为 0.5~3 mm。

- (1) 医药药品中的原料药、压片颗粒、中药冲剂；
- (2) 化工原料中的塑料树脂、柠檬酸和其它粉状、颗粒状物料的干燥除湿；
- (3) 食品、粮食加工、食品饮料冲剂、玉米胚芽、饲料等的干燥。



喷雾干燥器

用于干燥溶液、浆液或悬浮液。液状物料由雾化器喷成雾状细滴并分散于热气流中，使水分迅速汽化而获得微粒状干燥产品。



雾滴直径通常仅为 $30\sim 60\mu\text{m}$ ，每升料液具有 $100\sim 600\text{m}^2$ 的蒸发面积，故所需干燥时间很短（约为 $5\sim 30\text{s}$ ）。

特别适合于干燥热敏性的物料，如牛奶、蛋制品、血浆、洗衣粉、抗菌素、酵母和染料等，已广泛应用于食品、医药、燃料、塑料及化学肥料等行业。

西安建筑科技大学

Xi'an University of Architecture and Technology

喷雾干燥器的特点

直线型并流: 对于易粘壁的物料, 液滴随气流并行向下, 可减少液滴撞向器壁的机会, 但停留时间短, 干燥器的塔身较高。

螺旋形并流: 物料停留时间较长, 塔身可较低, 但离心力作用使液滴甩向器壁的机会增多。

逆流: 废气从塔顶排出, 为了减少未干液滴随废气带出, 气体速度不宜过高, 故达到一定生产能力的干燥器直径较大。

优点: 干燥速度快, 干燥时间短, 特别适合于热敏性物料; 由液体直接得到干燥产品, 无需蒸发、结晶、固液机械分离等操作, 故又称为一步干燥法。

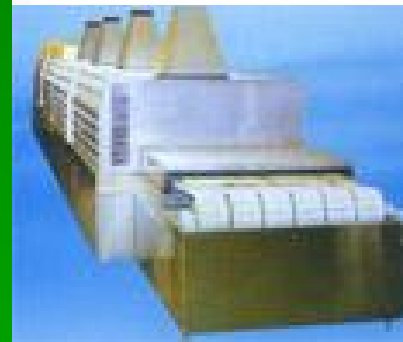
缺点: 体积传热系数很低, ha 约为 $30\sim 90\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$, 水分汽化强度仅为 $10\sim 20\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{h}$, 故干燥器体积庞大, 热效率较低, 动力消耗较大。

提高生产能力的方法:

采用过热料液, 在加压下将料液预热至 $200\sim 300^\circ\text{C}$ 进入雾化器, 液滴通过吸收自身的显热而使部分水分汽化。



带式干燥器



典型产品

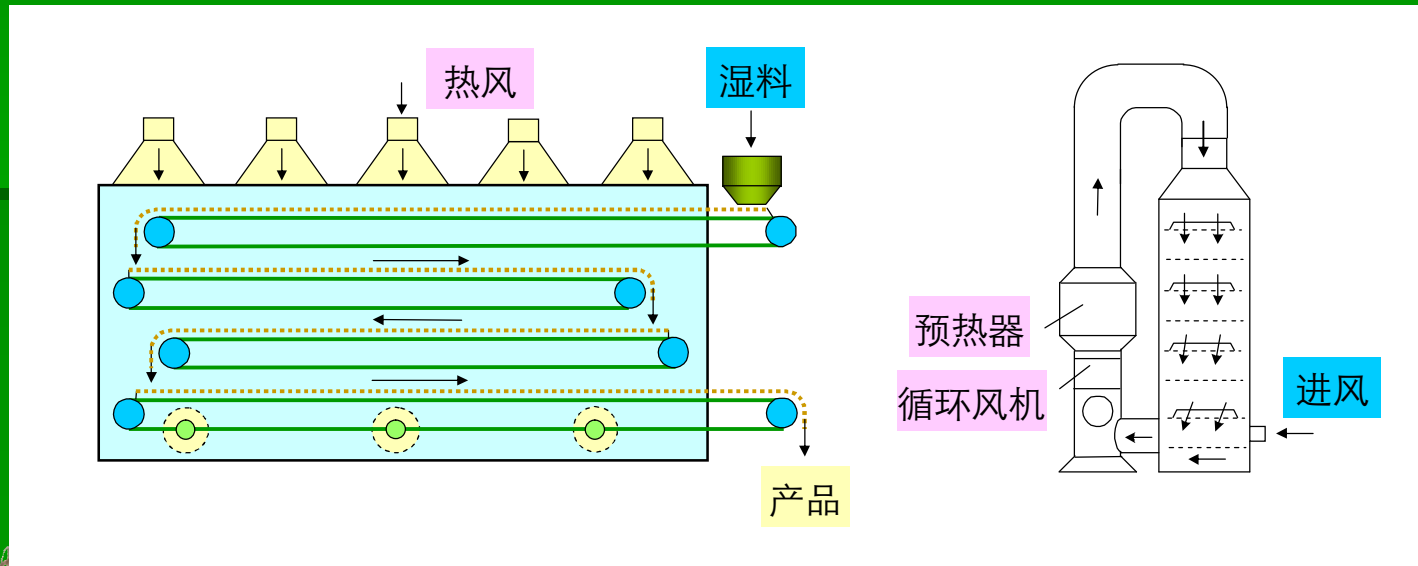
脱水蔬菜、颗粒饲料、味精、鸡精、椰蓉、有机颜料、合成橡胶、丙稀纤维、药品、药材、小木制品、塑料制品、电子元器件老化、固化等。

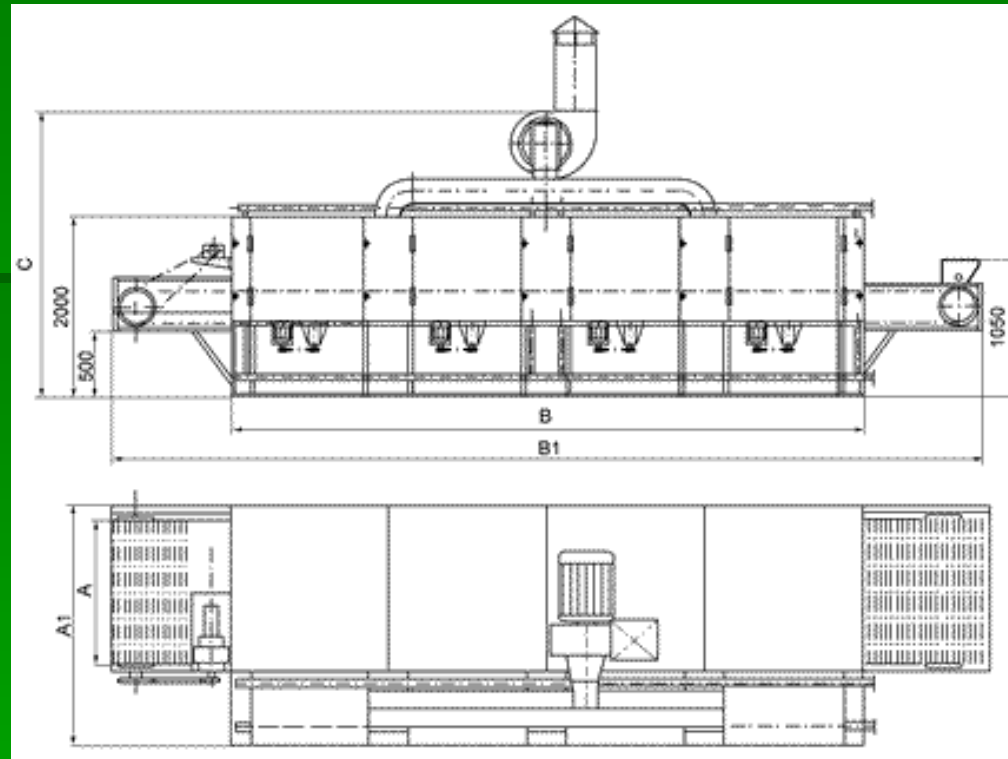


Xi'an University of Architecture and Technology

结构及原理

将物料通过布料机构（如星型布料器、摆动带、粉碎机或造粒机）分布在输送带（多为网状）上，输送带通过一个或几个加热单元组成的通道，每个加热单元均配有空气加热和循环系统，每一个通道有一个或几个排湿系统，在输送带通过时，热空气从上往下或从下往上通过输送带上的物料，从而使物料能均匀干燥。传送带可以做成多层，带宽1-3m，长为4-50m，干燥时间为5-120分钟。





带式干燥器

优点：干燥过程中物料翻动少，对晶体形状保持完好，适用于处理粒状、块状和纤维状物料；

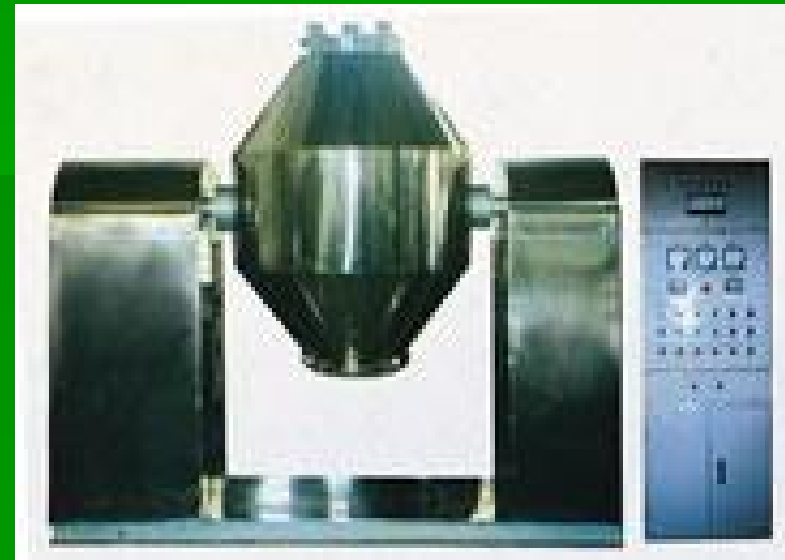
缺点：热效率较低，生产能力较小。



双锥回转真空干燥机

适用于医药、食品、化工等行业的粉、粒状物料的真空干燥和混合，尤其适用有下列要求的物料：

- (1) 不能接受高温的热敏性物料；
- (2) 容易氧化，有危险的物料；
- (3) 需回收溶剂和有毒气体的物料；
- (4) 要求残留挥发物含量极低的物料；
- (5) 对结晶形状有要求的物料；
- (6) 要求混合充分、均匀的物料；

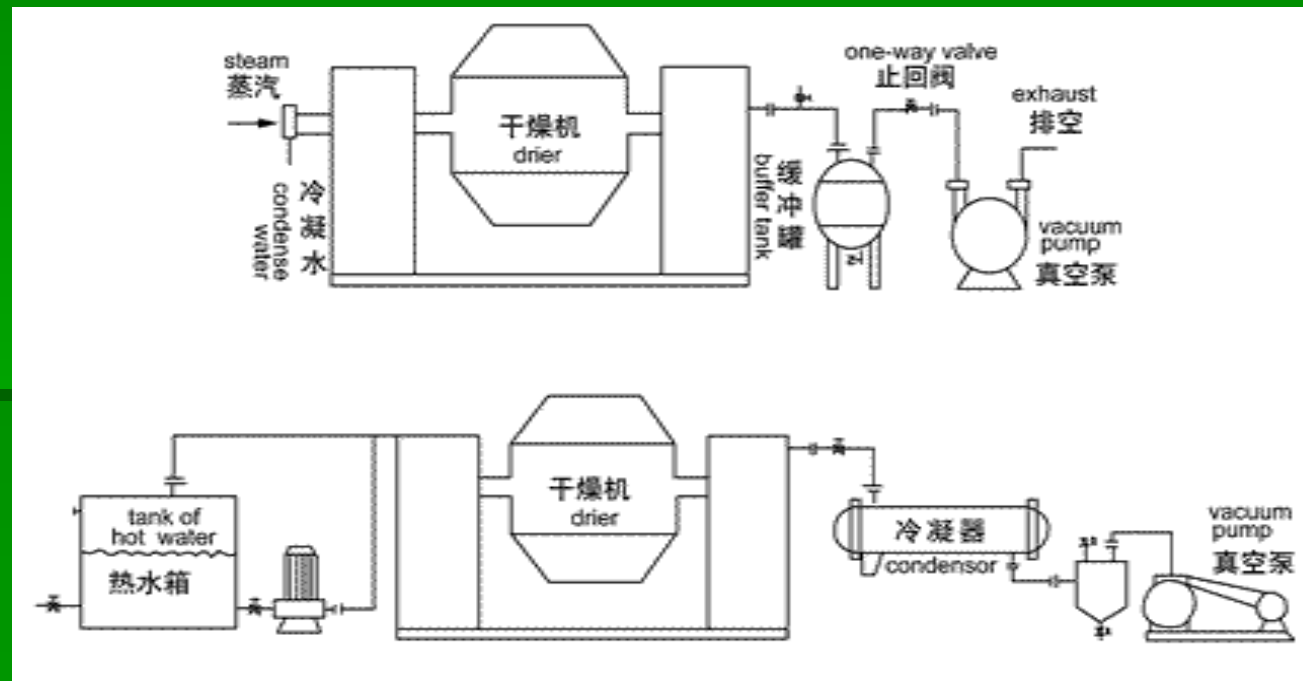


西安建筑科技大学

Xi'an University of Architecture and Technology

结构及操作原理

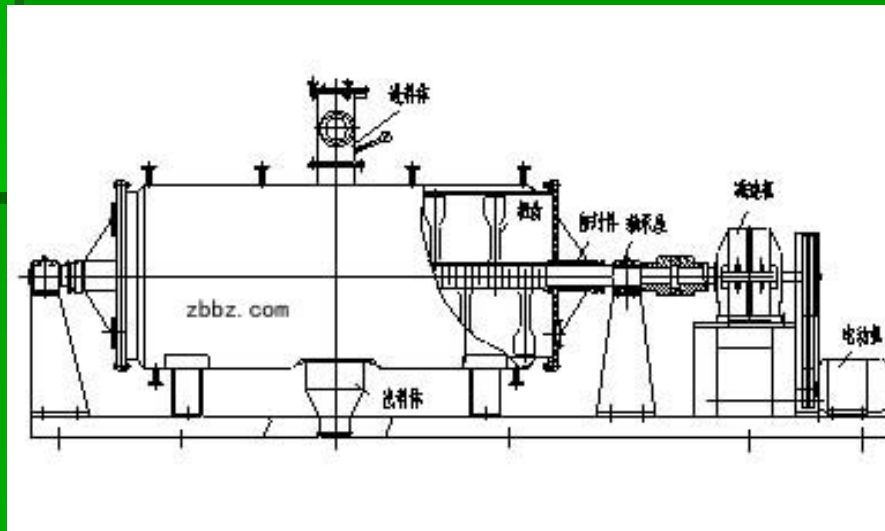
真空状态下的双锥形回转罐体，由夹套内的蒸汽或热水加热，热量通过罐体内壁与湿物料接触。蒸发水汽由真空泵从排气管抽走。由于罐体内处于真空状态，且罐体的回转使物料不断的上下、内外翻动，提高了干燥速度、干燥效率和干燥的均匀性。



耙式真空干燥机

结构及工作原理

利用物料中的水份在真空状态下沸点降低的特点进行干燥。设备用蒸汽夹套间接加热，水份受热蒸发并被及时抽除。在干燥机壳体内部，耙齿通过传动轴带动，耙齿端与轴线设计有一定夹角，主轴通过正向反向转动使物料沿轴向移动以利于干燥及出料。



应用范围

- (1) 特别适用于干燥热敏性物料，在高温下易氧化的物料、或干燥时易板结的物料，以及干燥中排出的蒸汽须回收的物料。
- (2) 干燥完毕后物料为粉末状，所以对于成品为粉末状的物料较为适用，干燥完毕后可直接包装，无需粉碎。
- (3) 进料含水率可达90%，被干燥物料有浆状、膏状、粒状、粉状或纤维状，干燥后物料水份可达1%，甚至0.5%。

特点

- (1) 适用性强，干燥速度快。由于耙式干燥机利用夹套加热，较高真空排气，所以几乎对所有不同性质、不同状态物料都适用，特别适用于易爆、易氧化物料；
- (2) 产品质量高，干燥过程耙齿不断正反转，物料搅抖均匀；
- (3) 蒸汽耗量小；
- (4) 易于操作，可回收挥发气体，减少了对环境的污染。

