

干燥器

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：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。

物料多样性，生产能力的差别，设备的适应性和局限性等要求干燥器的形式也多样性。

- (1) 能够适应被干燥物料；
- (2) 设备的生产能力要高；
- (3) 能耗的经济性。

按加热方式分类：

- **对流干燥器：** 洞道式、转筒式、气流式、流化床、喷雾干燥器等
- **传导干燥器：** 滚筒式、耙式、间接加热干燥器
- **辐射干燥器：** 红外线干燥器
- **介电加热干燥器：** 微波干燥器

干燥器选型应考虑因素：

- **保证物料的干燥质量：** 均匀，不变质，晶形完整，无龟裂变形；
- **干燥速率快，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；
- **能耗低，热效率高，动力消耗低；**
- **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。**

对流干燥器中物料与介质的接触方式

(1) 并流干燥特点

高湿含量物料在进口与高温低湿气体接触，传热传质推动力大，干燥速度很快。低湿含量物料在出口与低温高湿气体接触，推动力小，干燥速度较慢。适用于湿物料能承受强烈干燥而不发生龟裂、变形或表面结硬壳，而干物料又不能耐高温，且产品湿含量较高的情况。

(2) 逆流干燥特点

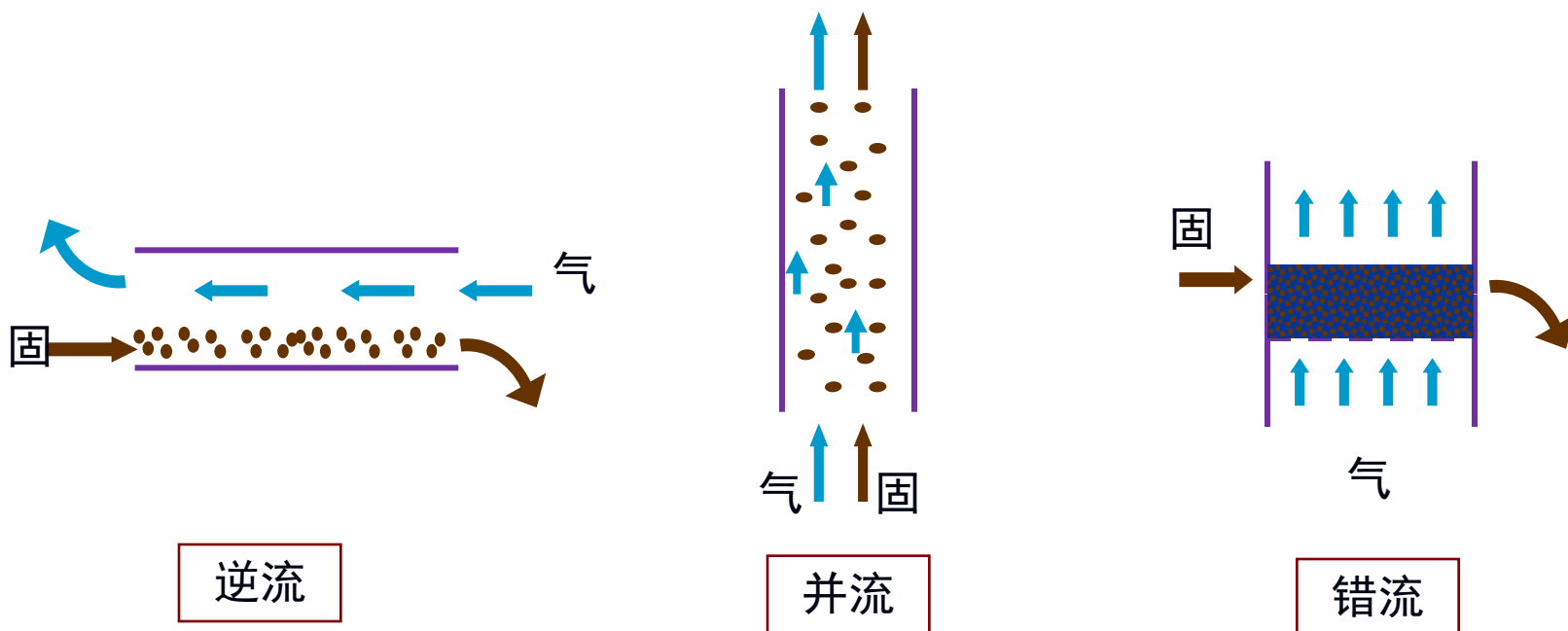
进口端湿物料与低温高湿的气体接触，出口端干物料与高温低湿的气体接触，各处干燥推动力和干燥速度比较均匀，适用于湿物料不允许强烈干燥，而干物料又可以耐高温，产品湿含量很低的场合。

(3) 错流干燥特点

干燥介质垂直穿过物料层，气体进入和流出物料层时，其温度和湿度均有较大变化，要求物料能耐高温，并能承受快速干燥。

影响干燥过程的主要因素

- 物料尺寸和气固接触方式
- 减小物料尺寸，干燥面积增大，干燥速率加快。

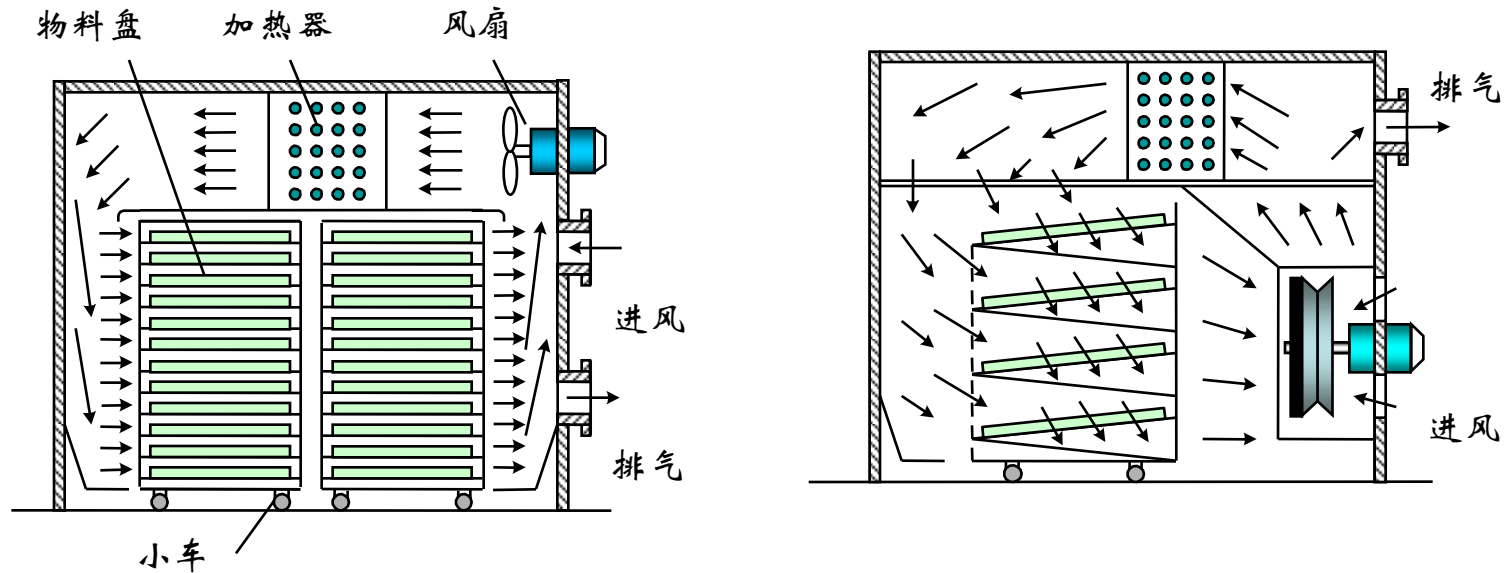


连续干燥器中的气固接触方式

常用的干燥器

厢式（室式）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。通常在常压或真空下间歇操作。



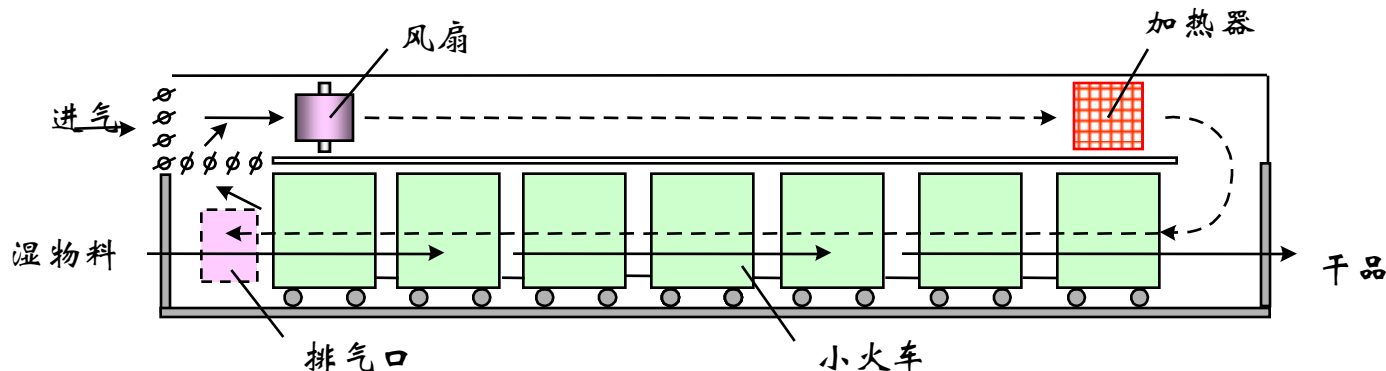
优点：对物料适应性强，可以用于各种物料的干燥，适用于小规模多品种、干燥条件变动大的场合。

缺点：热效率较低，产品质量不易均匀。

洞道式干燥器

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、皮革或陶器等的干燥。



气流干燥器

优点：

干燥速度快

气固并流操作，符合干燥基本规律

干燥时间短，特别适合于热敏性物料的干燥

湿含量均匀

结构简单

缺点：

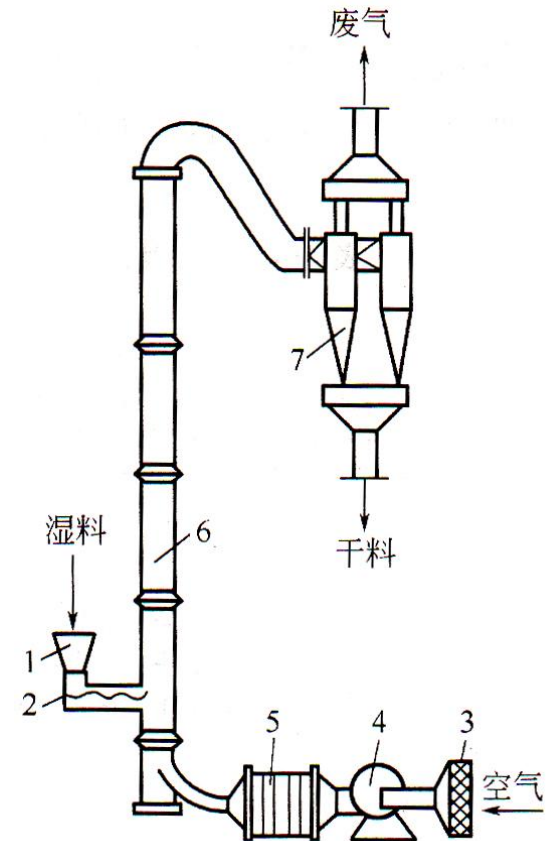
物料停留时间短，常被用作物料的预干燥

颗粒破碎现象比较严重

气固两相分离任务很重

气固两相接触时间短

气体通过干燥系统的流动阻力较大

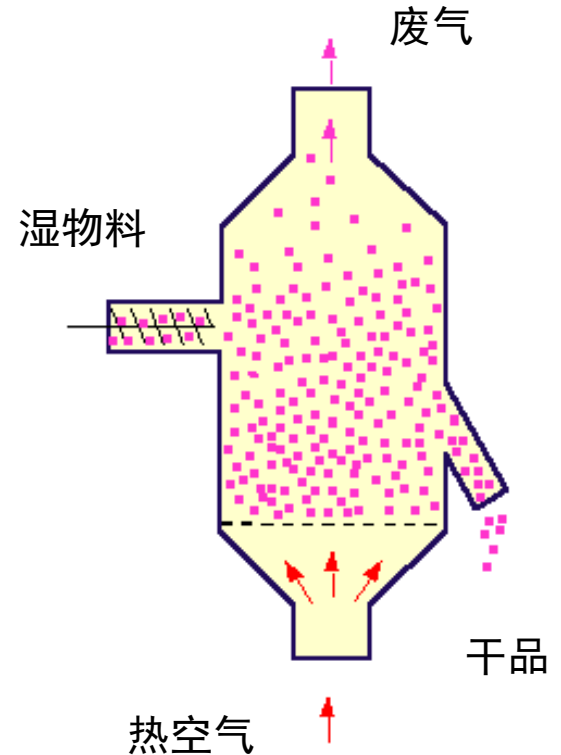


- 1-料斗；2-螺旋加料器；
3-空气过滤器；4-风机；
5-预热器；6-干燥管；
7-旋风分离器

流化床干燥器（沸腾床干燥器）

散粒状湿物料从加料口送入，热气体穿过流化床底部的多孔气体分布板，将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，湿废气由床层顶部排出，经旋风分离器分离所夹带的少量细微粉后放空。



流化床干燥器的特点

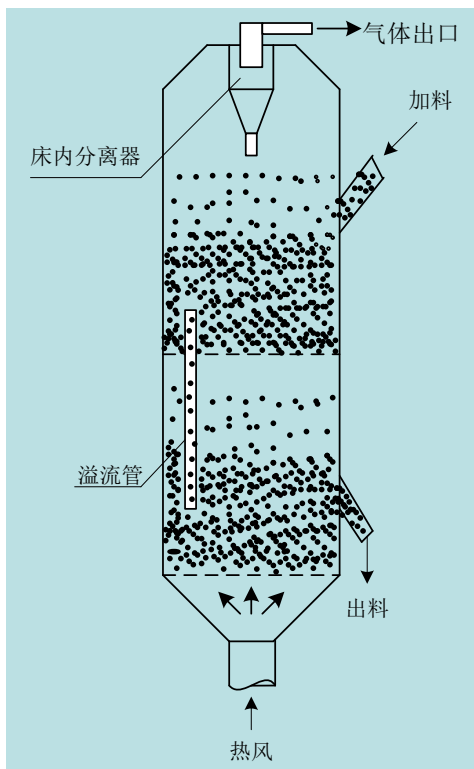
气流干燥与流态化干燥的区别在于操作气速不同。气流管中颗粒浓度较低，流化层中颗粒浓度较大；

工业上常将流化床干燥器与气流干燥器串联使用

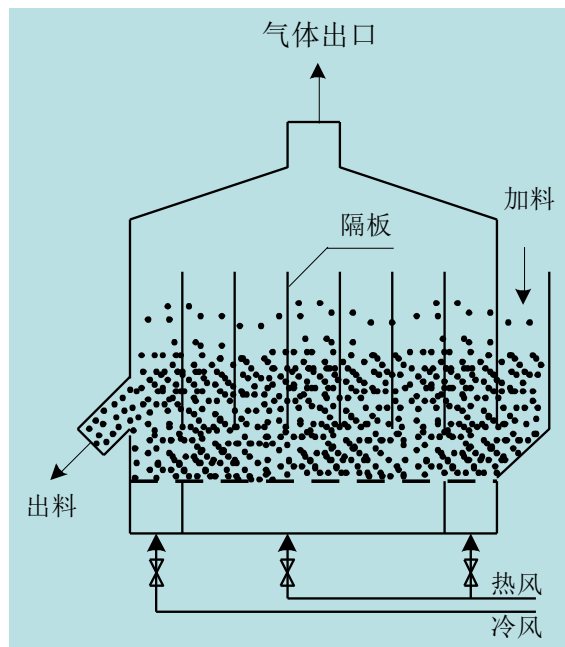
流化床干燥器结构简单，造价较低，可动部件少，维修费用低，物料磨损较小，气固分离比较容易，传热传质速率快，热效率较高，物料停留时间可以任意调节，因而这种干燥器在工业上获得了广泛的应用，已发展成为粉粒状物料干燥的最主要手段。

停留时间不均匀问题的解决方法

多层流化床

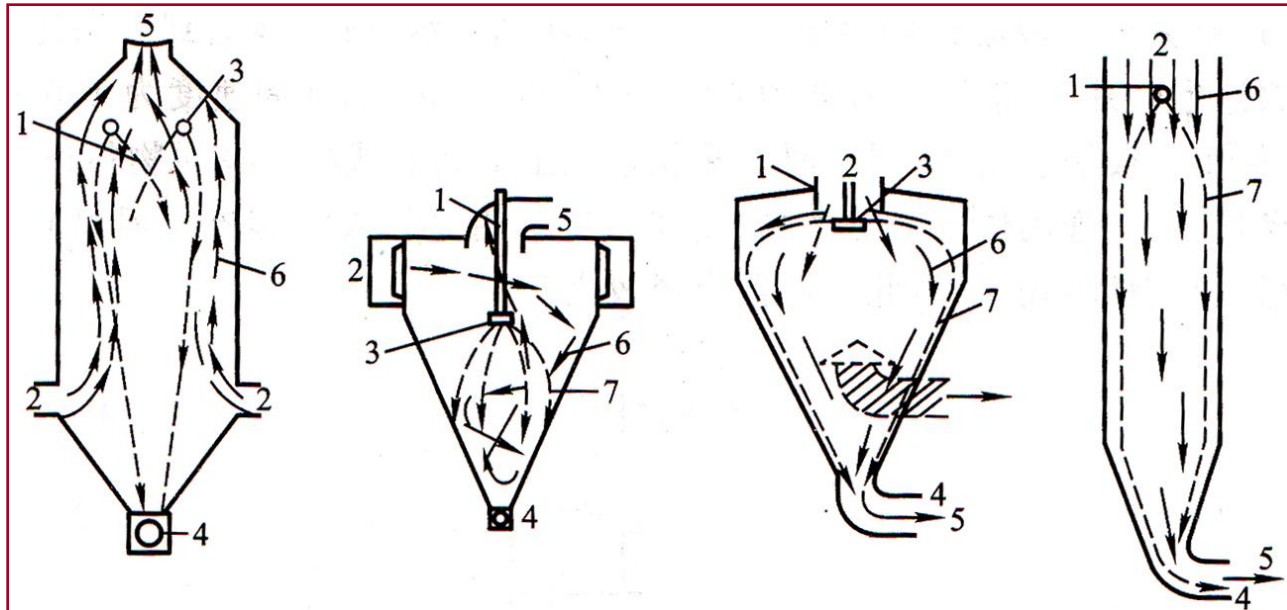


卧式多室流化床



喷雾干燥器

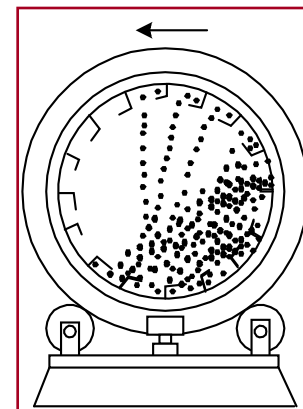
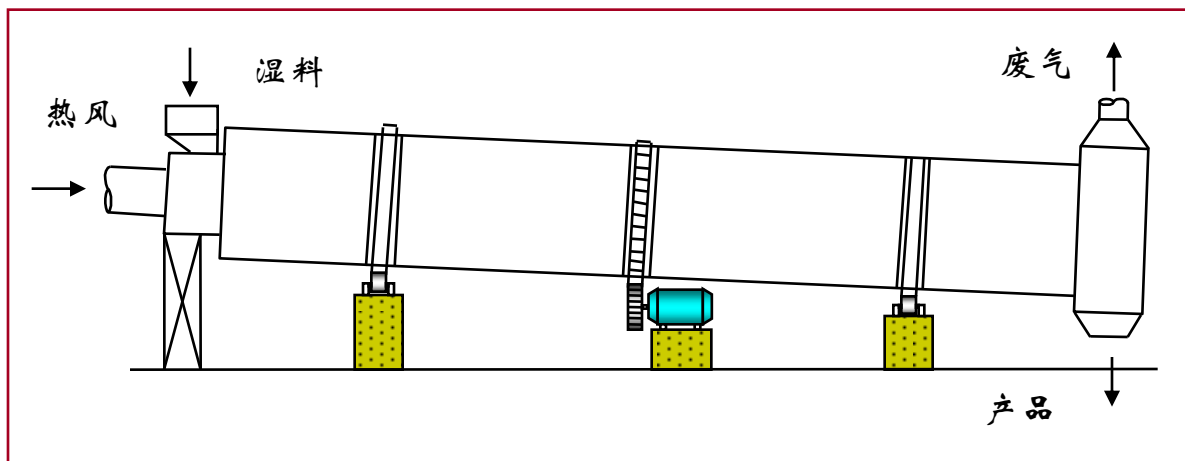
用于干燥溶液、浆液或悬浮液。



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

转筒干燥器



特点：

- (1) 机械化程度较高，生产能力较大；
- (2) 干燥介质通过转筒的阻力较小；
- (3) 对物料的适应性较强，操作稳定方便，运行费用较低；
- (4) 装置比较笨重，金属耗材多，传动机构复杂，维修量较大；
- (5) 设备投资高，占地面积大。

干燥器的选型

间歇式：生产能力小、劳动强度大、产品损失较多，不易保持操作环境清洁。仅适用于物料数量不大，要求产品指标不同的场合。

连续式：干燥时间较短、产品质量均匀、劳动强度小。

选用干燥器应考虑的因素：

物料的热敏性

成品的形状、质量及价值

处理量的大小

物料的干燥速率曲线与临界含水量

物料的黏性

回收问题

干燥热源

干燥器的占地面积、排放物及噪声是否满足环保要求

干燥操作条件的确定

选择干燥条件的一般原则

➤ **干燥介质（空气、惰性气体、烟道气和过热蒸汽）的选择**
温度不太高，可有氧操作时，采用热空气作为干燥介质。
易氧化物料或从物料中蒸发出易燃易爆气体时，用惰性气体。
温度要求较高，且被干燥物料不怕污染の場合，用烟道气。

➤ **流动方式**

并流适用于①当物料含水量较高时，允许进行快速干燥而不产生龟裂或焦化的物料②干燥后期不耐高温，即干燥产品易变色、氧化或分解等的物料。

逆流适用于①在物料含水量高时，不允许采用快速干燥の場合；②在干燥后期，可耐高温的物料；③要求干燥产品含水量很低时。

错流适用于①无论在高或低的含水量时，都可以进行快速干燥，且耐高温的物料；②因阻力大或干燥器构造不适宜采用并流或逆流操作的場合。

➤干燥介质的进口温度

- ①厢式干燥中，物料静止，介质进口温度应选择低一些；
- ②转筒、沸腾、气流等干燥中，物料与介质接触较为充分，干燥速率快，时间短，介质进口温度可选择高一些。

➤干燥介质离开干燥器时的相对湿度 ϕ_2 和温度 t_2

应综合考虑 t_2 和 ϕ_2 两者

- ①若 t_2 增高，则热损失大，干燥热效率就低；
- ②若 t_2 降低，而 ϕ_2 又较高，湿空气可能会在干燥器出口端的管路中析出水滴，导致干燥失败或不正常操作。
- ③气流干燥一般取： $t_2 = \theta_2 + (10 \sim 30)^\circ\text{C}$ ，或 $t_2 = t_{w1} + (20 \sim 50)^\circ\text{C}$

➤物料离开干燥器时的温度

各干燥操作参数相互间是有联系的，不能任意确定。

通常物料的 X_1 、 X_2 及 θ_1 是由工艺条件规定的，空气的 H_1 由大气状态定，若物料出口温度 θ_2 已确定，则绝干气量 L ，及 t_1 、 t_2 和 H_2 （或 ϕ_2 ）只能规定两个，另两个由物料及热量衡算确定。