

第一章 干燥机械

第一节 概述

一、干燥的意义和要求

降低或除去物料中的水分称为干燥。在农产品加工和食品加工中，干燥具有十分重要的意义。干燥能使农产品提前收获，减少作物在田间受风、雨、虫害等造成的损失，能缩小农产品的体积，减轻重量，便于运输分配，能保持农产品的品质，有利于贮藏和加工；能使农产品水分降低到不易引起霉变、酶化和虫害的状态，从而减少损失；可以提高农产品的商品等级和经济价值，并可制成风味和形式各异的产品，以满足人们的需求。干燥的要求如下：

(1) 干燥后应具有良好的品质。如种子的发芽率要高；谷物的爆腰率要低；复水性好；保持原有的色泽、风味和一定的外观形态；尽量减少产品的损伤和营养成分的损失。

(2) 干燥均匀，降水适当。

(3) 能耗低。一般干燥所需热量较大，故要改进工艺和设备，减少热损失，提高热效率，力求降低热耗。

(4) 减少和避免污染。

二、干燥方法和干燥设备类型

1 干燥方法

农产品干燥的方法很多。按干燥介质温度的不同，分常温干燥、低温干燥和高温干燥；按物料受热方式的不同，分对流干燥（热风干燥）、传导干燥（接触干燥）、辐射干燥和高频电流干燥。按处理物料方式的不同，分分批干燥、间歇干燥和连续干燥；按物料与气流通过干燥机的相对运动方向，分横流、顺流和逆流。按物料的运动状态，分固定床、移动床、流化床和沸腾床等。另外，还有升华干燥法。

在物料干燥过程中，需要有一种物质与物料接触，起传递热量与带走物料中汽化出来的水分的作用，这种物质称为干燥介质。常用的干燥介质是空气、加热空气、烟道气和空气的混合气体（又称炉气）。

(1) 对流干燥法。将加热的空气或烟道气与冷空气混合，以对流的方式接触物料，从而进行湿热交换，即物料吸收热量、蒸发水分，蒸发出来的水分则由干燥介质带走。这种方法的主要特点是干燥介质的温度和湿度容易控制，可避免物料因过热而降低品质。但干燥过程较为缓慢，热效率也不高。尽管如此，由于对流干燥设备结构简单，操作容易，所以它是农产品干燥中最主要的一种方法。如物料固定床、物料移动床、物料流化床、物料循环、物料喷雾等干燥形式都是该法的具体应用。

(2) 传导干燥法。物料与加热表面直接接触而获得热量，蒸发水分。若物料层很薄或物料很潮湿，采用此法干燥较为适宜。如在热炕上烘干谷物，在蒸汽式烘干机中谷物边运动

边与蒸汽管接触而被烘干等。

(3)辐射干燥法。是利用阳光或红外辐射器发出的辐射热能来干燥物料。用红外线热能辐射可以加热干燥谷物、蔬菜，还可用于牛乳、果汁、啤酒等的巴氏杀菌。辐射干燥后的物料，内外水分比较均匀。

(4)高频电流干燥法(如微波干燥)。将物料放在高频电场中，由于电场的振荡导致物料中的极性分子迅速摆动，分子间产生摩擦热，使物料中水分汽化，达到干燥的目的。该法干燥速度快 物料内外温度均匀 但其耗电量大 成本高 目前在农产品干燥上实际应用还不多。

(5)联合干燥法。为了取得更好的干燥效果和经济效果，常常将上述 4 种方法中的两种联合使用。如对流干燥与传导干燥；辐射干燥与对流干燥；高频电流干燥与对流干燥；高低温组合干燥等。

(6)升华干燥法。是先将物料冷冻，然后置于高度真空之下，慢慢地使冰冻物料的水分升华，达到干燥的目的。所需的汽化热可由周围介质从干燥室的传热壁或远红外辐射加热器取得。这种方法多在低压、低温($-10^{\circ}\text{C} \sim -40^{\circ}\text{C}$)下进行，又称为冷冻干燥。多用于对热极为敏感的药品、疫苗、人参、蔬菜、肉、奶及海鲜等物料的加工。

2. 干燥设备类型

干燥设备的种类繁多，而且往往结构各异，这主要是根据农产品的特性和不同的干燥方法而设计的。常用的干燥机械与设备有 仓式干燥机、塔式干燥机、柱式干燥机、流化床式干燥机、滚筒式干燥机、隧道式干燥机、烘房、远红外干燥机、气流干燥机 等等。

农作物种子贮藏期安全水分标准，见表 1-1。

表 1-1 种子贮藏期安全水分标准

种子	含水率 (%)	种子	含水率 (%)	种子	含水率 (%)	种子	含水率 (%)
籼稻	13.5	大麦	13.5	谷子	13.5	荞麦	13.5
粳稻	14.0	玉米(粒)	13.0	高粱	13.0	蚕豆	12~13
小麦	12.0	玉米(穗)	13~14	大豆	11.5~12.5	花生(仁)	8~9
花生(果)	9~10	棉花籽	9.0	向日葵	10~11		
油菜籽	9.0	芝麻	7~8	蓖麻	8~9		

第二节 干燥机械

一、仓式干燥机

仓式干燥机又分满仓干燥和成批式干燥两种。满仓干燥又有气流不加热的常温满仓干燥和气流加热的低温满仓干燥；成批式干燥仓又分方仓和圆仓两种。

1. 满仓干燥

满仓干燥大多数情况是在谷仓内进行，物料层静止不动，干燥介质作相对运动，物料烘干后一次卸出或留在仓内贮藏，属固定床式。物料层厚度常在 5 米以下，因采用的气流流量很低，故干燥速度缓慢。为防物料发霉，干燥物料的最初含水率不能过高。

(1) 气流不加热的满仓干燥。用这种方法干燥时，当物料盖住透风板，就可开动风机，在干燥区扩展到整个干燥仓之前，风机要连续运转。在白天风机运转期间，物料靠气流加热（利用气流本身的热量）。夜间视当地气候而定，如空气相对

湿度过高，应停止风机运行。不少农村粮站都采用这种方法来干燥和贮藏粮食。

(2) 气流加热的满仓干燥。加热的气流温度比大气温度高 $5^{\circ}\text{C}\sim 11^{\circ}\text{C}$ 最高热气温度不超过 45°C 属低温干燥。图 1-1 所示的固定床方形满仓干燥仓，它由干燥箱体、风机及加热器 3 部分组成。

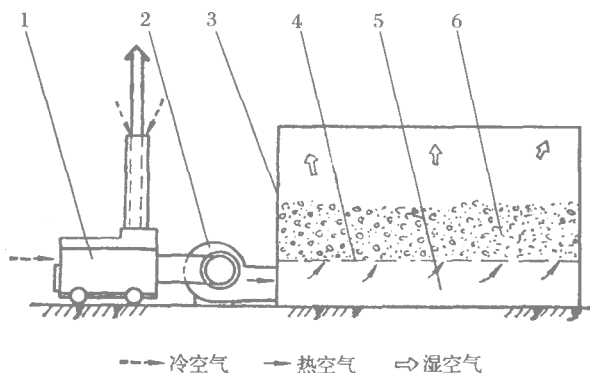


图 1-1 方形干燥仓结构示意图

1. 加热器 2. 风机 3. 干燥箱 4. 透风板 5. 热风室 6. 谷物

干燥箱体由干燥箱、透风板（即多孔地板）、热风室等组成。干燥箱体可建造新仓库，也可用原仓库改造，或用铁皮制作。工作时，加热的空气经风机压入热风室，穿过透气板进入物料层，此时热空气将热量传给物料，又把物料蒸发出的蒸汽带走，排出室外，达到干燥目的。由于物料静止不动，热空气自下而上穿过物料层，下层物料先接触热空气，吸收热量，进行蒸发，首先干燥，形成干燥区，然后干燥区逐渐向上扩大。由于气流量较小，干燥区向上移动缓慢。如果热风温度较低，

物料湿度较大 待干燥区扩大到上层物料时 上层物料可能发生霉变。如果热风温度高于大气温度 11 但不超过 45 ，待干燥区扩大到上层物料时，下层物料会过分干燥。为避免上述现象发生 应对物料进行翻动 即把下层翻到上层 把上层翻到下层，进行间歇翻动。一般在干燥过程中翻动 1~3 次，即可达到均匀干燥的目的，具体次数视物料含水率而定。翻动物料的方法有人工翻动和机械翻动。一般方形干燥仓采用人工翻动，圆形干燥仓采用机械翻动。

为克服方形干燥仓人工翻动物料，可采用互换通气低温干燥机 如图 1-2 所示。干燥箱体为封闭式，在箱体的上部 and 下部都设有进、排气道 每个气道都装有控制阀门。此类干燥机多采用吸气式风机，即干燥箱内为负压，通过阀门的控制，热空气可自上而下穿过物料层，也可自下而上穿过物料层，不需人工翻动即可达到均匀干燥的目的。

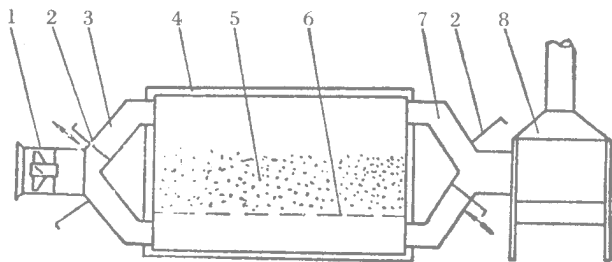


图 1-2 互换通气低温干燥机结构示意图

1. 风机 2. 控制阀门 3. 抽气管道 4. 干燥箱体
5. 谷物 6. 透风板 7. 进气管道 8. 加热器

2. 圆仓循环干燥机

圆仓循环干燥机由圆形仓体、风槽、透风板、扫仓绞龙、下

输送绞龙、斗式提升机、上输送绞龙、均布器、风机、加热器等组成如图 1-3 所示。仓体分上、中、下 3 层，下层为热风室，中层为干燥段，中、下层之间由透气板隔开；上层为缓苏段，上、中层之间由水平风槽隔开。工作时，谷物从进料斗进入，经斗式提升机、上输送绞龙、均布器，均匀地撒落到透气板上，直至达到所要求的厚度为止。然后开动风机，把热空气压入热风室，热风自下而上穿过谷物层，经风槽中央风管由排湿风机通过排气窗排出机外。需要翻动谷物时，开动扫仓绞龙、下输送绞龙、提升器、上输送绞龙、均布器。下层谷物由扫仓绞龙送到下输送绞龙，经提升器、上输送绞龙到均布器，均匀地撒在谷面上，使上下层谷物翻动调换。如此不断循环，直到全仓物料干燥到规定水分后，再全部卸出。这种干燥仓，干燥速率快，生产能力大，干燥均匀，并可兼作贮存仓。但结构较复

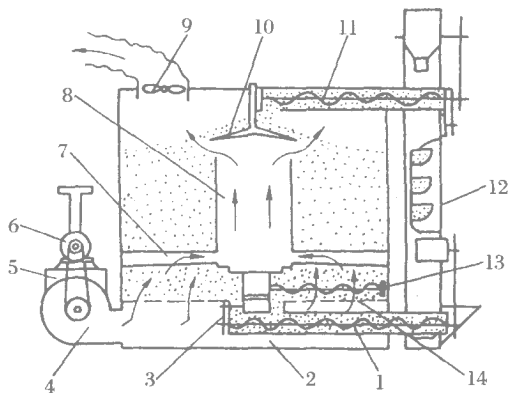


图 1-3 圆仓式循环干燥机

1. 下输送绞龙 2. 热风室 3. 循环机构 4. 通风机 5. 加热器 6. 电机
7. 风槽 8. 风筒 9. 排湿风机 10. 均布器 11. 上输送绞龙 12. 斗式提升机
13. 扫仓绞龙 14. 孔板

杂 投资费用大 能耗也较大 属大型干燥设备。

二、塔式干燥机

塔式干燥机机形如高塔 内装有角状气道 故又称气道分布式干燥机。该机型的最大优点是占地面积小，内部容积大，烘干时间长，可以较大幅度降水，一次干燥降水幅度可达 5%~6%，可连续作业，也可分批作业。属于大中型谷物干燥设备。适宜干燥小麦、玉米和大豆的热风温度为 80℃~90℃，干燥稻谷的热风温度为 60℃。

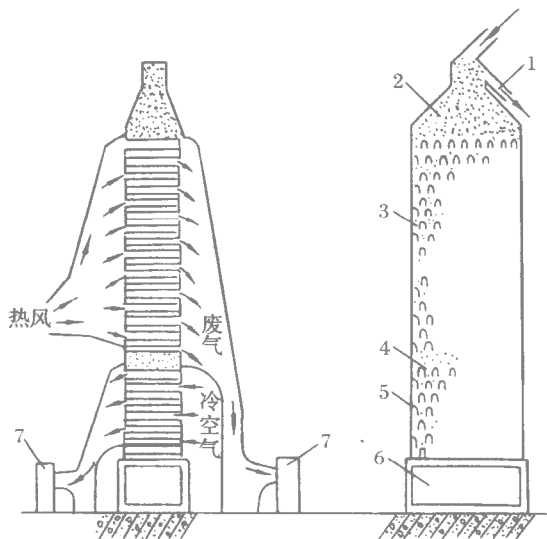


图 1-4 塔式干燥机示意图

1. 回粮管 2. 贮粮段 3. 烘干段 4. 隔离段 5. 冷却段 6. 排粮段 7. 风机

塔式干燥机由于内部角状气道的形状、尺寸、排列方法、进气道与排气道的布置不同，可分为若干类，图 1-4 为整体

式塔式干燥机。塔身为整体式 多为砖、水泥结构 保温性能较好。角状管为五角形，一端封闭 另一端开口 呈横向成排排列，固定在塔的两壁上。一排开口在进气一侧的是进气管道，一排开口在排气一侧的是排废气的管道，上下交错配置。一排进气管和一排废气管称为一组，2~4组构成一层。由5~25层干燥箱和加热、送风、输送、控制等装置集合组成生产效率不同的干燥机。角状管排列及气流流向见图 1-5 所示。

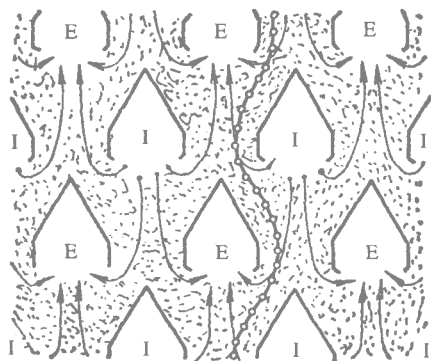


图 1-5 角状管道排列示意图

I 热风管 道 E 排气 冷风 管道

工作时，谷物从塔的顶部溜管进入，多余的谷物从回粮管流出。谷物靠自重自上而下，从角状管之间的间隙中流下。先经过贮粮段，然后到干燥段被热空气烘干，再经过隔离段到冷却段，经过冷却的谷物进入排粮段被排出。热空气由风机送入各进气角状管，从管侧和管底逸出，穿过谷物层，吸收谷物水分后，从邻近的排废气角状管排出。谷物在干燥过程中，

由于接触高温时间很短，多次遇到低温，因而可用较高温度的热风。

三、柱式干燥机

柱式干燥机又称立式网柱型干燥机，见图 1-6。机内设有内外两层长孔筛板，两筛板之间构成柱室，中间上部为热风

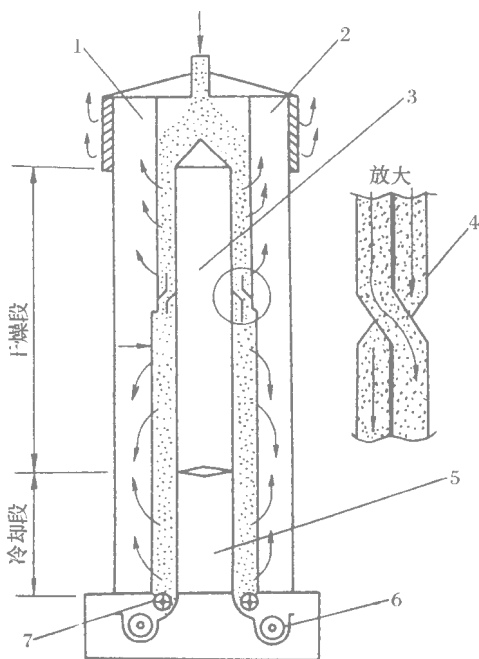


图 1-6 柱式干燥机

1.2. 废气室 3. 热风室 4. 分流器 5. 冷风室 6. 排粮器 7. 排粮叶轮

室,下部为冷风室 外侧为废气室。柱室上部为干燥段 内设分流器;下部为冷却段 底部装有排粮器。干燥机外壳顶部有排气百叶窗。

工作时 谷物从机体顶部连续进入两柱室 依靠自重向下流动 热风 and 冷风由风室横穿柱室内的谷物 依次使其干燥和冷却, 谷物达到干燥要求后由排粮器卸出。热空气从热风室以垂直于谷物的运动方向穿过谷柱, 属横流型干燥机。横流型干燥的缺点是靠近气流入口处的谷层干得很快, 而在气流出口处的谷层干得很慢 为了使干燥均匀 在柱室内设有 2~3 个谷物分流器, 使网柱内外层的谷物互相调换位置。改变排粮器的转速, 可以控制谷物在机内的停留时间。在干燥小麦、玉米时 柱室分为加热段和冷却段 使冷却后的谷物直接入库贮藏。而干燥稻谷时 不宜立即冷却 因立即冷却会增加稻谷爆腰率 所以将柱室分为第一加热段和第二加热段 另配置缓苏冷却装置。该机型的特点是: 生产能力大, 成品质量好 机械化程度高 热效率较高。是用于农场和粮食部门的大型干燥设备。

四、流化床式干燥机

所谓“流化”是指固体颗粒被流体吹起呈悬浮状态, 粒子相互分离, 并作上下、前后运动。流化干燥就是在干燥介质作用下使物料处于流化状态进行干燥的过程。流化床式干燥机的类型也较多, 按结构分为单层孔板、双层孔板和三层孔板等类型。图 1-7 为单层孔板流化床干燥机, 它由供热装置(炉子)风机和烘干机 3 部分组成。工作原理见图 1-8。潮湿谷物从进料进入烘干室, 落在孔板上, 热空气以一定的速度进

入斜槽 穿过孔板 将谷物吹起并悬浮在气流中激烈翻动 纵向沸腾，呈流化状。流化的谷物沿坡度为 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$ 的孔板向前

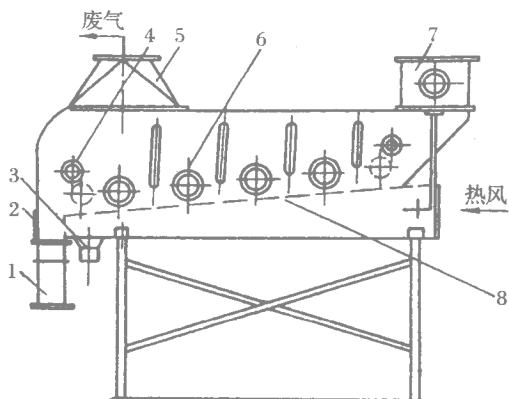


图 1-7 单层孔板流化床干燥机

1. 出料斗 2. 检查口 3. 出灰口 4. 进 出 料 控 制 门
5. 排风罩 6. 观察窗 7. 进料斗 8. 孔板

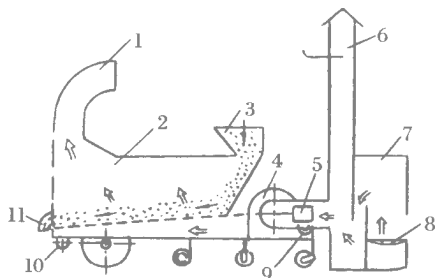


图 1-8 流化床干燥机工作原理图

1. 废气口 2. 烘干体 3. 进料斗 4. 风机 5. 冷风门 6. 烟囱
7. 炉膛 8. 炉条 9. 电动机 10. 集尘杯 11. 出粮口

流动，直到从出料口排出，在流动的过程中而被干燥。穿过谷物层的废气从废气口排出，操作时要防止进、出料口漏风。

该机型结构简单 造价低 使用维修方便 传热效果好 温度分布均匀，属于高温快速干燥。广泛用于稻谷、小麦、玉米和油菜籽等。但不适用于含水量较高或结团物料的干燥。

五、滚筒式干燥机

滚筒式干燥机又称回转式干燥机，是一种比较常见的干燥机械，种类也较多。按传热方式有对流加热、传导加热和复合加热等类型。按滚筒的长度有大、中、小 3 种类型。大型长度在 8 米以上 中型长度为 5~7 米 小型长度为 3~4 米。

滚筒式干燥机由炉灶、风机、烘干体、进出料设备、湿谷仓和冷却仓等组成。图 1-9 为滚筒式干燥机主体结构示意。滚筒筒体装有两个滚圈，由托辊支撑定位，在筒体偏中的部位装有一个大齿圈，电机通过变速箱及变速箱上的小齿轮使大齿圈转动，从而带动整个滚筒旋转。

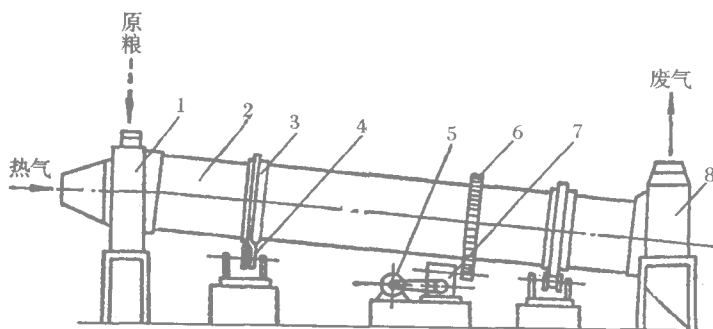


图 1-9 滚筒干燥机结构示意图

1. 头罩 2. 滚筒体 3. 滚圈 4. 托辊 5. 电机 6. 齿圈 7. 变速箱 8. 尾罩

滚筒筒体用厚 4~6 毫米的钢板制成，安装斜度为 3° ，滚筒转速一般为 20 转/分左右。滚筒的进料端和出料端均装有环形板以防止谷物飞溅。通过环状板内孔直径的大小，可以调节干燥机内谷物的充满系数。

滚筒内壁装有拨撒谷物的抄板。随着滚筒的转动，抄板将谷物带到滚筒的上部并撒布下来，与通过滚筒的干燥介质（热气流）接触，受热干燥。抄板的形状和数量决定了谷物在筒体截面的分布均匀性。抄板一般用 3 毫米厚的钢板制成。图 1-10(a) 是用一块矩形钢板制成的抄板，图 1-10(b) 是中心角逐渐变化的抄板。

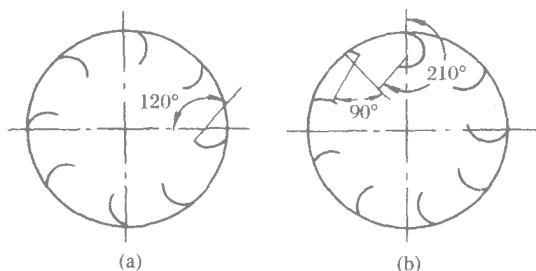


图 1-10 滚筒干燥机的抄板

(a) 矩形钢板制成的抄板 (b) 中心角变化的抄板

工作时，湿物料与热风分别从头罩和前端进入滚筒内，物料与干燥介质在旋转筒体内向前运动，同时进行湿热交换，干燥物料。被干燥的物料从滚筒末端排出，废气则由尾罩顶部被抽走。此种加热方式物料的降水率较低（干燥稻谷每次降水 $1\% \sim 1.5\%$ ）。为了提高生产效率，常采用双热式滚筒干燥机，即一面向滚筒内通入热风，直接加热物料，一面用热气加热滚筒，热量通过筒壁以热传导方式加热物料。

该机操作方便，干燥后物料品质好。主要用于片状、短条状和颗粒状物料的干燥。

六、隧道式干燥机

隧道式干燥机由隧道体(干燥室)、加热器、风机和装载输送装置组成如图 1-11 所示。隧道体用金属板或砖与混凝土制作底面安装有斜度为 1/200 的料车运行轨道两端分别为供料车和热风的进出口。工作时，物料放在小车或传送带上，小车或传送带缓缓地通过隧道，物料受气流作用而得到干燥。加热器设置在单隧道式干燥机的侧面或双隧道式干燥间的中央。加热器把空气加热，由通风机送入隧道，产生的废气一部分被排出，一部分回到加热间再次使用。

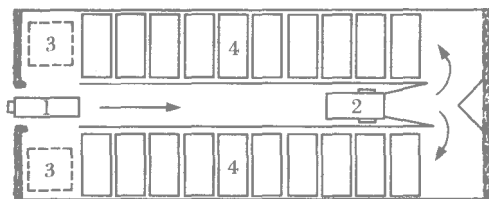


图 1-11 隧道式干燥机

1. 小车 2. 通风机 3. 排气管道 4. 加热器

根据气流与小车的相对运动方向，隧道式干燥机分为顺流式、逆流式和混合式 3 种。顺流式开始的干燥速度快，隧道终端空气的干燥能力差，故很少采用；逆流式隧道终端干燥效果好，生产上应用最广泛；混合式初置费用较大，控制也较困难。

隧道式干燥机的构造比较简单，制作容易，通用性强，生

产能力较大,干燥迅速,是广泛使用的一种干燥设备。

七、带式干燥机

带式干燥机是将物料均匀地铺在输送带上,输送带在缓慢移动过程中,物料与热风接触而被干燥。带式干燥机型很多,按带层分有单层带型、复合带型和多层带型;按通风方式分有向上通风型、向下通风型与复合通风型;按物料与排气流动方向分有逆流排气式、顺流排气式与单独排气式。该干燥机由进料装置、干燥室、输送带、风机、加热器、拨料器等组成,如图 1-12 所示。输送带由金属网编织制成或孔板胶接而成。

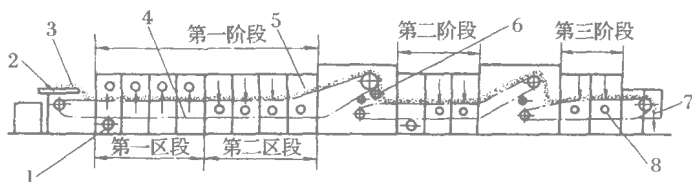


图 1-12 单层带式干燥机

1. 清理器 2. 进料器 3. 物料 4. 网带 5. 干燥室 6. 拨料器 7. 出料口 8. 风机

图 1-12 所示为单层带式干燥机。全机分为 3 个阶段,随着干燥物料不同,各段的温度不同,最后阶段温度较低或作为冷却段。每段安装 2~4 个轴流风机,气流可以循环使用。前一段自下向上吹,后一段自上向下吹,以改善料层干燥的均匀性。最后一、二段的气流宜自上向下吹,以免将已干燥的物料吹走。各段的空气温度、相对湿度和流速均可分别控制,有利于提高产品质量和生产率。在相邻两输送带之间装有拨料器,使物料在转移中得到翻动,再次混合,以改善物料的通气性。在输送带往回走的出料端处常装有自动刮料刷,以便刮

去黏附在上面的物料。该机干燥均匀迅速 产品质量好 能大批量、连续作业。但占地面积大 结构复杂 造价较高。适用于蔬菜、果品、甘薯片和泥状物料的干燥。

干燥时应小心谨慎 不要让湿物料压碎 相互交叠结块或堆放厚薄不一。过厚处的物料难于接触热空气而不易干燥，过薄处的物料易被空气吹散，使大量热空气未发挥作用就经孔眼外逸，造成浪费。干燥机停止使用时，要进行仔细地清理，去除机内各处的碎片和灰尘。

气流干燥机参见第六章第五节。

第三节 粮食干燥成套设备

本节介绍中国农业大学成套设备所近期研制的 5HG 系列塔式粮食干燥成套设备。其中 5HG-4.5A 型是国家科委向全国推广的粮食干燥成套设备。

一、5HG-4.5A 型成套设备的特点

(1)采用混流干燥原理，角状盒沿纵向采用变间距配置，上密下疏 适应粮食干燥规律 保证粮食受热均匀一致。

(2)能完成初清、复清作业，干燥后无需扬场即可直接入库。

(3)干燥后粮食品质好，可保持粮食原有色泽和营养成分。

(4)节电、省煤 作业费用低。

(5)配备热风温度控制系统、粮位控制系统。

(6)适应性广 可用于小麦、玉米、水稻、豆类等作物干燥，