

## 气流粉碎干燥器

一、笼形气流粉碎干燥机 笼形粉碎干燥机因在其底部设有一对鼠笼形粉碎付而得名，笼形粉碎干燥机应属于气流粉碎干燥机的一种，主要适用于干滤饼和潮湿团块状物料的干燥。目前尚无系列产品，但可根据物料的物性设计制造。许多物料在其生产过程中往往都需要脱水干燥。从工艺和经济角度，往往先进行机械脱水，如经离心机、板框压滤机或吸滤槽脱水而呈滤饼膏糊状，这种物料是细小颗粒在水或其它溶剂的粘附力和机械力挤压作用下形成的凝聚体，一般含水率范围因物料物性而异，亲水性物料含水率较高，疏水性物料含水率较低。可为 20%~90%（以湿基计）。有些具有可塑性和触变性，其流变性复杂，剪切应力与剪切速率、时间和历程都有关。不同物料的物性差异很大，个性突出，即使同种物料因含水率不同或挤压程度不同，含水量率也会有较大差异。膏糊状物料在干燥中的主要特征是粘附性极强，使进料困难，干燥过程不易分散，或物料脱水较慢，易于使已分散的物料重新粘结成团。水分在物料中的传递阻力较大，干燥时间长。易粘器壁。用于解决这类物料的干燥设备不多，笼型气流粉碎干燥器可以解决多种滤饼状物料的干燥，为这种物料的干燥提供了可行的干燥手段。（一）

工作原理 轴与动盘在电机带动下作高速运转，物料和高温气体从笼的中心进入粉碎室，在惯性离心力作用下沿笼径向并流，最后沿笼的外沿切向离开笼体，进入扩大段（扩大段主要是降低气流携带速度）。大的颗粒重新落入粉碎室，小颗粒经气流携带进入气固分离系统。高速旋转的动盘产生巨大的离心力且和定盘上的冲击棒间产生很大的剪切应力，致使物料被撞击而破裂，在干燥过程中不断被分散，因此干燥和粉碎同时进行，增加了颗粒与气流间传质面积。且物料在被粉碎的同时，以很大的离心速度和运动方向扭转 90°而冲向器壁，使物料和颗粒在高速紊流状态下进行传热传质，强化了传热传质过程，提高了体积传热系数。动盘的离心力和冲击棒间的剪切作用有利于克服低温进气条件下颗粒的粘附。刮刀的作用是将粘附在笼体外壁的物料薄层刮掉，以免物料在此积累阻碍动盘旋转。粉碎干燥器的工作过程可分为三个阶段。第一阶段：分散、粉碎。膏状物从顶部加入。落至粉碎室中心，由于离心力的作用，从粉碎盘的内圈甩向外圈，并受冲击棒的冲击，被剪切分散，同时获得冲击棒传递的冲量在内部产生很大的内应力，沿不均匀的断面破裂，成为细小颗粒状。第二阶段：干燥。膏状物变为细小颗粒后，比表面积较大，被粉碎盘带动而具有高速的热空气（最大达 34m/s）与其充分混合，强化传质传热，物料处在湿球温度下瞬间干燥。第三阶段：筛选。初步干燥的物料，随热空气从粉碎盘边缘上升到扩压室，由于扩压室直径较大，流速突然减小，粒径合格的已干物料继续随气流上升出干燥器，粒径较大或未干的物料被截留下来，返回到锥体内进行沸腾干燥，更大的颗粒再次进粉碎室。笼形粉碎干燥器对物料适应性强，影响体积传热系数的因素很多，除转速、直径、干品量、干品粒径、进口含水率外，物料的流变性和干燥特性也是很重要的影响因素。干燥粒径分布类似于一般固体冲击粉碎机理，不同物料的粒径可通过操作工况、分级方法、冲击棒间隙和转速等调节控制。笼形气流粉碎干燥器工艺流程见 2-1 图。图 2-1 笼形气流粉碎干燥器机工艺流程图 1—鼓风机；2—加热器；3—主机；4—旋风分离器；5—布袋除尘器；6—引风机（二）

流程简述 竖式笼形粉碎干燥器系统主要有加料器、粉碎干燥器、鼓风机、空气加热器、旋风分离器、螺旋下料器、脉冲除尘袋滤器和引风机等组成。主体设备粉碎干燥器组成，下部是机械传动系统，由于转速较高（达 200r/min），配有两只轴承和风冷系统。中部是粉碎干燥室，由内装有许多冲击棒的动盘和静盘组成。动盘与下部传动轴相连，工作时高速旋转；中上部是锥形沸腾段，上部有减速扩压室；粉碎干燥器顶部是加料器，装有由电磁调速电机带动的搅拌器和螺旋输送机，将膏状物料均匀地向下输送。膏状物料加入加料器内，由垂直螺旋输送机均匀地送入粉碎干燥器内，粉碎干燥器内粉碎盘高速旋转，将物料分散、粉碎为小颗粒。空气由鼓风机吹入，经空气加热器加热后进入干燥器，与物料充分接触，完成瞬间干燥。干品由热气流带出，经旋风分离器分离后，再经螺旋下料器输送包装。热空气经脉冲袋滤器进一步过滤后由引风机排向大气。（三）

笼形粉碎干燥器的特点 1. 干燥能力大 该装置是连续式干燥设备，传热系数大（以白炭黑为例，干燥的体积传热系数数达到  $5.85 \times 10^4 \text{ kJ/m}^3 \cdot \text{h} \cdot \text{k}$ ）。体积干燥强度高达  $684 \sim 947 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{h}$ ，生产能力达  $400 \sim 500 \text{ kg 干品/m}^3 \cdot \text{h}$ 。干燥膏状物料的独特效果。2. 适应性强 该装置不仅对膏状物，而且对晶体和矿物质，在很大的湿度范围内都可进行粉碎干燥器处理；对加料的要求低，不论是条状、块状或颗粒状，只要加料速度均匀，就能稳定生产。另外，干燥介质的温度范围大，可高达  $200^\circ\text{C} \sim 700^\circ\text{C}$ ，低温为  $140^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$ ，可以在较低的进气温度下干燥高含湿物料。3. 干燥时间短 物料与气体的接触时间短，为几秒至几十秒，适合热敏性物料的干燥。热损失较少，热效率高，干品含水率均匀，目前已进行了  $\gamma$  酸、G 盐、R 盐和 H 酸等物料的干燥。二、强化气流干燥器 历来膏糊状物料的干燥是个难题，适用于膏状物料的干燥器较少。自从上海某染化厂试制成功强化气流干燥器之后，使许多膏糊状物料得以直接干燥，大大提高了热效率。现在，这一技术已普遍用于染料、颜料、四环素渣料、石膏、农药等的干燥操作中，其干燥操作原理类似于闪蒸干燥机。强化气流干燥器，也称短管气流干燥器、粉碎气流干燥器。强化气流干燥器是在直管气流干燥器的基础上发展起来的，最早应用在染料行业，用于解决各种染料滤饼的干燥问题，目前国内有定型产品，现已成为气流干燥器中主要干燥机型之一，对高粘度膏糊状物料的干燥取得了很好的效果。现在强化气流干燥

装置已用于医药、农药、化工、食品、建材等行业。如多菌灵原粉、氧化铝粉、钛白粉等多种物料的干燥作业。强化气流干燥器是在干燥管底部装有分散物料的**传动**装置，用以打碎滤饼状物料，增大热空气与物料的传热面积，强化干燥过程。同时，高速旋转的分散装置产生高速湍动的气流，使物料与热空气始终保持较高的相对速度，也强化了干燥作用。另外，强化气流干燥器可以设计成较大直径，节省了建筑空间。强化气流干燥系统由加热器、加料器，干燥器（主机）/粉碎机、旋风分离器、袋式除尘器、引**风机**等组成。（一）强化气流干燥器的工作原理 湿物料经定量螺旋加料器，由螺旋片的推力挤压成片状或条状连续输入干燥器内，在下落的过程中与热空气相遇，部分水分即**蒸发**，使物料的粘性下降，结成块状的物料不断落入强化器。经粉碎机粉碎后再干燥，粉状湿物料悬浮在热空气中运动，物料不断翻滚，加大了传热面积，提高了传热系数，干燥时间短。干燥后的粉粒随气流继续上升进入旋风分离器收集，尾气经袋式除尘器**过滤**后放空。该系统把预成形、预干燥、粉碎、最终干燥结合在一起，解决了膏状物料在**干燥设备**内因粘结而不能流化的问题，物料回收率达99.5%以上。强化气流干燥器是以粉碎、干燥为其主要特征的**干燥设备**，因而提高了气固间传热传质速率，并且减小了物料内部水分扩散到表面的传递距离，尽可能把物料的内部结合水转变为表面水分进行干燥。同时，在强化器的作用下，使热空气形成湍动和螺旋上升气流，延长了物料的停留时间，物料的流动得到了加速，具备了良好的传热与传质条件。由于物料是由定量加料器连续、稳定地加入强化器内，在粉碎机的作用下，物料被迅速粉碎，进行传热、传质过程而被干燥。同时在强化区被粉碎的物料失去粘性，呈小块并形成稀相流化；在干燥器出料口细粒物料被气流夹带而出。因此，强化气流干燥器具有类似流化床和气流干燥器的双重作用。（二）强化气流干燥器的特点 1. 干燥器容积**蒸发**强度高，生产能力大。与其它干燥膏糊状物料的干燥器相比，该设备能连续生产。物料与气流的接触时间短，干燥介质的温度可高于被干燥物料的热敏温度，一般操作温度为150~300℃，因此热损失少、热效率高。 2. 产品含水率均匀，质量稳定。 3. 强化器在正常操作状态下，分散物料所消耗的能量较少，系统的流体阻力与气流干燥大致相同，因此生产动力消耗较低。 4. 粉碎装置的高速运转，物料对器壁有强烈的“气扫”效果，因此，干燥器有良好的自清洁功能，大大减轻了物料的粘壁。（三）强化气流干燥器的主要设备 强化气流干燥工艺流程由空气加热装置、干燥器本体、加料装置、卸料装置、**风机**五个部分组成，除了干燥器本体之外，其它各部分都有几种型式可根据物料的特性，选用适当的型式进行组合，现分别介绍如下。 1. 干燥器主机 强化气流干燥器集强化（**搅拌**、粉碎）干燥、沸腾干燥、气流干燥于一体。下部锥形为强化区，锥角60°，通常沿锥壁四周装有多档固定齿，**搅拌**轴上有活动齿，活动齿与锥壁间隙5mm，活动齿与下固定齿间隙6~8mm，转速250~450r/min。热空气进口接近锥形底部，其大小按热空气气速20~35m/s。高气速可以阻止较大颗粒下落积聚在锥底。强化区依靠活动齿与固定齿及锥壁的高速相对运动，产生巨大剪切力使较大颗粒半干物料得到粉碎和研磨，并与进口高温气流接触大大强化了传热和传质的效果。锥形底以上至0.6m左右高度为流化区，物料在强化区粉碎后被热气流带至流化区继续气流干燥，在沸腾区内颗粒边干燥边相互碰撞自粉碎，最后得到干而细的粉状物料被热气流带出流化区至气流干燥区进一步干燥后带出干燥器本体。由热空气从塔中及塔顶的温度降可以算出强化区和沸腾区的**蒸发**水量为整个干燥器**蒸发**水量的75%~90%，整个干燥器的容积**蒸发**强度为275~600 kg水/m<sup>3</sup>·h。干燥器直筒部分气速一般取4~6m/s。 2. 加料装置 强化干燥器的加料装置由竖向和横向两部分组成，竖向加料器也是定量加料器，是一锥底带**搅拌**的容器。**搅拌**器底部出口处有一段螺旋，起到将物料压出的作用。加料器盖上有滤饼加料口，可接在**真空**转鼓的滤饼出料口，也可直接加入由**压滤机**或其它**过滤**装置上卸下的滤饼。**搅拌**器及螺旋由直流电机带动，可控硅无级变速以达到调节加料量的目的。一般加料器转速为10~40r/min，视加料量而异。 横向加料器有两种型式：（1）单螺旋输送机，直接插入强化流化干燥器上部本体内，使出口物料直接落入干燥器内，螺旋输送机出口处应装有带小孔或缝隙的挡板使送出物料能分散成小条状。这种加料器适用于粘性不大、湿含量不太高、较易干燥的物料，如氧化铁红。（2）当物料湿含量较高、粘性较大不易干燥时，直接用单螺旋加料器加入就容易使干燥器发生粘壁以致不能操作，因此需要用双螺旋加料器，又称双螺旋预干燥器或双螺旋混和器。这种加料器由壳体及带有一定角度叶片的两个旋转相反的轴组成。叶片与轴的垂直方向成25~30°角，两轴上方有一定空隙可使热气流夹带干燥物料通过，空隙处气速约5~6m/s。叶片一面将物料向前推送，一面不断将物料混和。湿物料经过双螺旋混和器到干燥器入口时已成大小不等的颗粒状态，热气流与湿物料接触情况可由蝶阀控制一定比例。 3. 卸料装置 热气流夹带干物料出干燥器（或双螺旋混合器）进旋风分离器卸料。由于气流中含固率较高，所以，卸料用旋风分离器宜选用扩散式，可以根据风量选用定型产品，如果集料箱的出口阀**密封**情况较好，则扩散式旋风分离器的分离效率可达90%~95%。其余细粉可用脉冲袋滤器再次捕集回收，选用脉冲袋滤器应根据滤袋材质的耐温性控制进袋滤器的气流温度。如果旋风分离器出口温度过高，可选用湿法除尘器。（三）已干燥的物料 强化气流干燥机特别适合含湿量比较大的、湿物料呈膏糊状、用其他气流干燥方法无法干燥的物料，目前已干燥的物料有：白炭黑、醋酸乙烯及氯乙烯的共聚物、醋酸纤维素、催化剂、C.M.C、CT-1树脂、煅石膏、电解二氧化锰、葱醌磺酸铵盐、氟石、硅藻土、硅胶催化剂、骨粉、高

岭土、过氯酸钾磺胺类药物、合成树脂、活性面筋、活性白土、化学滤饼、金红石型钛白粉、癸二酸、硫酸铜、硫酸铝、硫酸钠、磷酸钙、磷酸酯化淀粉、染料、柠檬酸钙、煤泥、氧化铁、面团形的面包加料米糠、粘土、粘土水泥、尿素、膨润土、球形粘土、氢氧化铝、氢氧化钡、乳酸钙、水洗高岭土、三聚氰酸、石膏浆、石灰、生物制品、炭黑、碳酸钙浆、污泥渣、硬脂酸铝、氧化铁、玉米蛋白**饲料**、污泥浆、云母粉、药剂、颜料、重铬酸钾、纸浆、酒糟渣等。强化气流干燥机工艺流程见 2-2 图。图 2-2 强化气流干燥机工艺流程 1—加热器；2—加料器；3—强化气流干燥机；4—粉碎电机；5—旋风分离器；6—出料阀；7—布袋除尘器；8—消音器；9—风门；10—引**风机**

三、分级闪蒸干燥机（一）工作原理和性能特点 有些物料在干燥后对**粉体**的细度有一定要求，因此，干燥机在具有干燥物性的同时兼有粉碎和分级功能。分级闪蒸干燥机是在参考国内外某些**干燥设备**的基础上独特设计的，是将气流干燥、粉碎和分级集一机的干燥装置，主要适用于对干燥产品有一定粒度要求的场合。其效率高，性能好，具有九十年代世界领先水平。湿物料由喂料装置送入干燥段内即受到高速粉碎装置的粉碎，由粉碎装置下方进入的高温空气同时对物料进行干燥。物料颗粒在干燥的同时，不断受到粉碎，其尺寸不断减小，在热空气作用下，细粉及小颗粒物料被带向上方分级装置处。由于分级装置旋转时（转速可调）产生向下的压力和离心力，故颗粒物料被下抛到干燥段内壁，失去部分能量后沉降到粉碎装置处继续被粉碎和干燥，已干的细粉通过分级装置由除尘器收集。该机结构紧凑效率高，具有最小的热能消耗和热量损失。干燥能力大、产品质量均匀、易于调整产品的细度和水分含量、要求的干燥管段较短、负压操作无尘、操作简单、维修成本低。目前本机已有系列产品，用户可根据产品的粒度要求选用。

（二）主要结构和配套系统 1. 主机部分 主机可根据用户需要，用不锈钢或碳钢制造。主机下部为高速旋转的粉碎装置，中部为干燥段，上部为分级装置。分级装置由直流调速电机带动旋转，其转速可根据干料的细度及水分要求而加以调整。高速旋转的粉碎装置和分级装置在制造时都经过动平衡实验以减小振动和噪音，确保机器的使用寿命。主机**轴承**的润滑和冷却采用了带冷却器的压力循环润滑装置，确保**轴承**的使用寿命，并设计了独特的**密封**装置。进料装置一般采用双螺旋进料器，可由无级变速器实行无级变速，以调整进料量。特殊物料可采用其它的进料装置。本干燥机带有断油自动保持装置和自动控温装置，确保系统安全可靠。 2. 配套系统部分 （1）热源 可根据需要分别选用蒸汽加热、电加热、热空气炉、烟道气加热等。（2）除尘器 除尘器在这里是收集物料的装置，同时又确保排出的尾气洁净、含尘量符合排放标准。其下部装有关风器以便干料连续不断地排出，尾气经引**风机**排空。除尘器一般采用二级除尘装置，第一级为旋风分离器，绝大部分物料在此收集。第二级为脉冲袋式除尘器，可使 99.5% 的物料收集下来。（三）应用范围 该机广泛适用于化工产品和药品、矿物和陶瓷制品、食品和**饲料**、调味品和添加剂、颜料和染料、**塑料**和树脂、农化学产品和肥料、洗涤剂 and 涂料粉等物料的干燥和粉碎。适用于湿的块状、片状、纤维状物料的干燥、滤饼、糊状物或膏状物的干燥、结晶体含水的干燥、热敏性和触变性材料的干燥等。氢氧化镁、酵母、糖类、炭黑、淀粉、碳酸盐、染料、农药、硫酸铜、七水亚硫酸铁、磷酸氢钙、云母、高岭土、膨润土、碳酸钙。分级闪蒸干燥机工艺流程见 2-4 图。图 2-3 分级闪蒸干燥机工艺流程图 1—空气加热器；2—主机；3—旋风分离器；4—布袋除尘器；5—引**风机**

四、闪蒸干燥机（一）前言 有些文献中将闪蒸干燥机归类为流化床干燥装置范畴，也有些书中将其归纳到气流干燥器中。的确，闪蒸干燥机具有这两类**干燥设备**的部分特征，但从工作原理分析，更多倾向于气流干燥，所以本书将其归类到气流**干燥设备**中。为解决化学工业中高粘性膏糊状物料的干燥问题，1970 年研制成功了旋转闪蒸干燥机。但是，“70”型旋转闪蒸干燥机有许多不足之处，主要是粉末容易进入高温区，造成物料过热凝聚，旋转部件的机械稳定性差。78 年对“70”型进行了改造，“78”型虽然有较大的进步，但也存在粉末床层不稳定，出口温度和产品残余水分波动等缺点。现在我们所见到的结构基本是经过两次大的结构改进以后的机型，我们称之为“83”型。闪蒸干燥机作为一种新机型，有其它**干燥设备**不能比拟的优点，它一出现就引起了各大化学公司的浓厚兴趣，旋转闪蒸干燥机目前以丹麦安海达诺公司为代表，各国也都有新的结构出现。该机于 1990 年从丹麦引入我国，闪蒸干燥机国内也称旋流干燥机，旋转快速干燥机。是处理膏状物料的理想**干燥设备**，最早应用在染料行业。到目前为止，经过广大工程技术人员的不懈努力，已经把原来的机型改变了多种型式，进风方式也由原来的狭缝进风增加了切线进风，可以降低系统阻力。加料方式也由原来的单**螺杆**进料增加了双**螺杆**进料，同时又增加了物料的分级功能，有效保证了产品粒度。根据不同物料采取与其它**干燥设备**串联的方式，又增加了设备的应用范围。干燥器也已经实现了系列化，目前干燥器的直径已放大到 1600mm，可以说，目前闪蒸干燥机是发展最快，应用范围最广泛的机型之一。在染料、农药以及其它有机化工、无机化工等行业都有大量应用。目前有关闪蒸干燥机的研究最为活越，也是工程中需求量最大的一种机型，国内已经形成了系列产品。（二）闪蒸干燥机的结构 闪蒸干燥是一种带有旋转粉碎装置的竖式流化床干燥器，能同时完成物料的干燥、粉碎、分级等操作。设备主体为圆筒形干燥室，由底部的粉碎流化段、中部干燥段、顶部分级段组成。底部粉碎段装有**搅拌器**，**搅拌器**转速通过调节外部电机的转速进行无级调节。**搅拌器**有两个作用，带动从分配室进入干燥室的热空气产生高速旋转的气流形成流化床层。另外，对物料产生

强烈的**搅拌**和粉碎作用，强化了传质传热，加快物料的干燥速率。在干燥器底部设有蜗壳式空气分配室，使切向送入的热空气通过环状导向缝隙均匀进入干燥室。在干燥段设有螺旋加料器，加料器由调速电机拖动，通过变频器调节转速，顶部分级段有一个分级环，根据产品的粒度要求选择分级环的通路。（三）闪蒸干燥工作原理 根据闪蒸干燥机的结构，可以把工作过程分为破碎、气固接触、干燥、分级等四个阶段，这四个工作过程也是其它干燥器所不能同时具备的。1. 破碎 由于闪蒸干燥机主要用于膏糊状物料的干燥，物料进入干燥器后立即受到**搅拌**浆叶和高速气流的破碎，以最大限度地增加物料的分散度和单位体积湿物料的表面积。2. 气固混合 闪蒸干燥机一般以空气为载热体，能否有效达到气固混合是影响干燥速率的主要因素。闪蒸干燥机的**搅拌**浆把物料破碎并产生弥散作用，同时进入干燥器的空气也处于高度湍动状态，很快达到气固混合。同时，块状物料在重力作用下向下堕落，由于干燥器底部为倒锥结构，气流的速度很大，最高可达60m/s。能保证块状物料处于良好的流化状态而被热空气包围。3. 干燥阶段 物料粉碎后，被来自底部高速旋转的热气流吹起，在干燥室内形成了一个相对稳定的流化层。在物料与热空气之间进行传质传热的干燥过程，大部分水分在这一阶段**蒸发**掉。含水率高，表面积小的物料密度大，在干燥室内向下堕落，由于底部的气速高，下落到一定距离后下落速度为零，此时重力与浮力平衡。物料受到进一步破碎和水分**蒸发**后浮力大于重力，物料开始向上运动，通过分级后排出干燥器。4. 分级阶段 分级器是装在干燥器顶部的环形挡板，由于受到离心力的作用，物料随气流上升过程中，大块、未干的物料旋转半径增大，当旋转半径大于分级环半径时被挡在干燥室内，直至满足要求才能通过分级器排出干燥器。当物料加入到干燥器后，物料处于旋转的流化状态。团块受到粉碎后直径迅速减小，水分被**蒸发**。物料在气体的夹带下作螺旋上升运动，粒径较小较干的物料在内环，较大较湿的物料产生的离心力大而在外层靠近器壁。但外层的大颗粒在不断被粉碎干燥，离心力变小后也在向内环运动，当水分满足要求后被气体带出。旋转半径和压力之间的关系是旋转半径越小，压力越低。在干燥室中心处，压力也最低，在器壁附近压力最大。对于小直径颗粒，由于压力随半径的增大而增大，径向压力分配不均，小颗粒向中心处运动，大颗粒由内向外干燥器边缘运动。因此干燥后的小颗粒被气流从干燥室中心处带出，而大颗粒沿边缘向上运动后被分级环挡住不能逸出，从而保证产品含水和粒度均匀。在干燥器工作过程中上述四个阶段并不是独立进行，主要是为研究方便和叙述需要把几个过程分别介绍。（四）闪蒸干燥机的结构特点 1. 干燥室底部设有倒锥形结构，使热空气流通截面自下而上不断扩大，底部气速高，上部气速低，从而下部大颗粒与上部小颗粒都能处于良好的流化状态。倒锥结构还缩小了**搅拌**轴悬臂的长度，增加运行的可靠性。**轴承**设在机外，避免**轴承**在高温区长期工作，延长了**轴承**的使用寿命。2. 湿物料在被**搅拌**齿粉碎的同时，又被甩向器壁，粘结在内壁上，如不及时刮下会影响产品质量，所以**搅拌**齿顶端设有刮板，能及时刮掉粘结在器壁上的物料以防过热。3. 干燥室上部设有分级环，其作用主要是颗粒较大，或没干燥的物料与合格产品分离，挡在干燥室内，能有效保证产品粒度和水分要求。4. 锥底热空气入口处设有冷风保护，防止物料与高温空气接触产生过热变质。5. 物料在热空气中高速分散，干燥时间短，特别适用于热敏性物料的干燥。6. 连续化操作，加料量、热空气温度、产品粒度可以在一定范围内自行控制，从而保证干燥产品的各项指标。7. 干燥系统为封闭式，而且在负压下操作，粉尘不外泄，保护生产环境，安全卫生。8. 设备结构紧凑，占地面积小，集干燥、粉碎、分级为一体。是流化技术、旋流技术、喷动技术及对流传热技术的优化组合，大大简化了生产工艺流程，节省了设备投资和运转费用。此外，国内经过多年的实践，根据不同的物料设计出多种结构。将原来的狭缝进风改为切向进风。这种进风式适用于低粘度的物料，如H酸、DSD酸、白炭黑、碳酸钙的干燥。这种结构的主要优点是进风阻力小，减小**风机**的功率，但对高粘度物料要慎重使用。（五）适用范围 有机物：阿特拉津（农药杀虫剂）、月桂酸、苯甲酸、安息香酸、草酸钠、醋酸纤维素等。染料：蒽醌、氧化铁黑、靛蓝、丁酸、氢氧化钛、硫化锌、各种偶氮染料中间体、酞菁蓝、硫化蓝、铝铬黄、碱性嫩黄。无机物：硼砂、碳酸钙、氢氧化物、硫酸铜、氧化铁、碳酸钡、三氧化铋、各种重金属盐、合成冰晶石等。碳酸锰、碳酸镁、亚硫酸钠、磷酸氢钙、氧化铝、氧化铁红、氢氧化铝、醋酸钠、白炭黑、膨润土。陶瓷：高岭土、二氧化硅、粘土等。食品：大豆蛋白、胶凝淀粉、酒糟、小麦糖、小麦淀粉等。废料：生物泥浆、铁锰渣、糖醛渣等。硬盐系列：硬脂酸钙（镁、铝、锌、钡、铝、铬）、二盐基亚磷酸铝、三盐基硫酸铝。有机化工类：三聚氰胺、三苯基醋酸锡、苯甲酸、甲基纤维素、溴氨酸、DSD酸、2,4D酸，H酸，J酸。农药：巴丹、杀虫单、代森锰锌、扫满净、灭多威、精喹禾灵、三环唑、苯噻草胺、多效唑、莠去津、莠灭净、吡虫啉。闪蒸干燥机设备结构及工艺流程见图2-4。图2-4 闪蒸干燥机设备结构及工艺流程图 1—鼓**风机**；2—加热器；3—空气分配器；4—**搅拌机**；5—螺旋加料器；6—主机；7—分级器；8—旋风分离器；9—星形出料阀；10—布袋除尘器；11—引**风机**

一、笼形气流粉碎干燥机 笼形粉碎干燥机因在其底部设有一对鼠笼形粉碎付而得名，笼形粉碎干燥机应属于气流粉碎干燥机的一种，主要适用于干滤饼和潮湿团块状物料的干燥。目前尚无系列产品，但可根据物料的物理性质设计制造。许多物料在其生产过程中往往都需要脱水干燥。从工艺和经济角度，往往先进行机械脱水，如经离心机、板框压滤机或吸滤槽脱水而呈滤饼膏糊状，这种物料是细小颗粒在水或其它溶剂的粘附力和机械力挤压作用下形成的凝聚体，一般含水率范围因物料物性而异，亲水性物料含水率较高，疏水性物料含水率较低。可为 20%~90%（以湿基计）。有些具有可塑性和触变性，其流变性复杂，剪切应力与剪切速率、时间和历程都有关。不同物料的物理性质差异很大，个性突出，即使同种物料因含水率不同或挤压程度不同，含水量率也会有较大差异。膏糊状物料在干燥中的主要特征是粘附性极强，使进料困难，干燥过程不易分散，或物料脱水较慢，易于使已分散的物料重新粘结成团。水分在物料中的传递阻力较大，干燥时间长。易粘器壁。用于解决这类物料的干燥设备不多，笼型气流粉碎干燥器可以解决多种滤饼状物料的干燥，为这种物料的干燥提供了可行的干燥手段。（一）工作原理 轴与动盘在电机带动下作高速运转，物料和高温气体从笼的中心进入粉碎室，在惯性离心力作用下沿笼径向并流，最后沿笼的外沿切向离开笼体，进入扩大段（扩大段主要是降低气流携带速度）。大的颗粒重新落入粉碎室，小颗粒经气流携带进入气固分离系统。高速旋转的动盘产生巨大的离心力且和定盘上的冲击棒间产生很大的剪切应力，致使物料被撞击而破裂，在干燥过程中不断被分散，因此干燥和粉碎同时进行，增加了颗粒与气流间传质面积。且物料在被粉碎的同时，以很大的离心速度和运动方向扭转 90°而冲向器壁，使物料和颗粒在高速紊流状态下进行传热传质，强化了传热传质过程，提高了体积传热系数。动盘的离心力和冲击棒间的剪切作用有利于克服低温进气条件下颗粒的粘附。刮刀的作用是将粘附在笼体外壁的物料薄层刮掉，以免物料在此积累阻碍动盘旋转。粉碎干燥机的工作过程可分为三个阶段。第一阶段：分散、粉碎。膏状物从顶部加入。落至粉碎室中心，由于离心力的作用，从粉碎盘的内圈甩向外圈，并受冲击棒的冲击，被剪切分散，同时获得冲击棒传递的冲量在内部产生很大的内应力，沿不均匀的断面破裂，成为细小颗粒状。第二阶段：干燥。膏状物变为细小颗粒后，比表面积较大，被粉碎盘带动而具有高速的热空气（最大达 34m/s）与其充分混合，强化传质传热，物料处在湿球温度下瞬间干燥。第三阶段：筛选。初步干燥的物料，随热空气从粉碎盘边缘上升到扩压室，由于扩压室直径较大，流速突然减小，粒径合格的已干物料继续随气流上升出干燥器，粒径较大或未干的物料被截留下来，返回到锥体内进行沸腾干燥，更大的颗粒再次进粉碎室。笼形粉碎干燥机对物料适应性强，影响体积传热系数的因素很多，除转速、直径、干品量、干品粒径、进口含水率外，物料的流变性和干燥特性也是很重要的影响因素。干燥粒径分布类似于一般固体冲击粉碎机理，不同物料的粒径可通过操作工况、分级方法、冲击棒间隙和转速等调节控制。笼形气流粉碎干燥器机工艺流程见 2-1 图。图 2-1 笼形气流粉碎干燥器机工艺流程图 1—鼓风机；2—加热器；3—主机；4—旋风分离器；5—布袋除尘器；6—引风机（二）流程简述 竖式笼形粉碎干燥机系统主要有加料器、粉碎干燥器、鼓风机、空气加热器、旋风分离器、螺旋下料器、脉冲除尘布袋滤器和引风机等组成。主体设备粉碎干燥机组成，下部是机械传动系统，由于转速较高（达 200r/min），配有两只轴承和风冷系统。中部是粉碎干燥室，由内装有许多冲击棒的动盘和静盘组成。动盘与下部传动轴相连，工作时高速旋转；中上部是锥形沸腾段，上部有减速扩压室；粉碎干燥机顶部是加料器，装有由电磁调速电机带动的搅拌器和螺旋输送机，将膏状物料均匀地向下输送。膏状物料加入加料器内，由垂直螺旋输送机均匀地送入粉碎干燥机内，粉碎干燥器内粉碎盘高速旋转，将物料分散、粉碎为小颗粒。空气由鼓风机吹入，经空气加热器加热后进入干燥器，与物料充分接触，完成瞬间干燥。干品由热气流带出，经旋风分离器分离后，再经螺旋下料器输送包装。热空气经脉冲袋滤器进一步过滤后由引风机排向大气。（三）笼形粉碎干燥机的特点 1. 干燥能力大 该装置是连续式干燥设备，传热系数大（以白炭黑为例，干燥的体积传热系数数达到  $5.85 \times 10^4 \text{ kJ/m}^3 \cdot \text{h} \cdot \text{k}$ ）。体积干燥强度高达  $684 \sim 947 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{h}$ ，生产能力达  $400 \sim 500 \text{ kg 干品/m}^3 \cdot \text{h}$ 。干燥膏状物料的独特效果。2. 适应性强 该装置不仅对膏状物，而且对晶体和矿物质，在很大的湿度范围内都可进行粉碎干燥机处理；对加料的要求低，不论是条状、块状或颗粒状，只要加料速度均匀，就能稳定生产。另外，干燥介质的温度范围大，可高达  $200^\circ\text{C} \sim 700^\circ\text{C}$ ，低温为  $140^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$ ，可以在较低的进气温度下干燥高含湿物料。3. 干燥时间短 物料与气体的接触时间短，为几秒至几十秒，适合热敏性物料的干燥，热损失较少，热效率高，干品含水率均匀，目前已进行了  $\gamma$ 酸、G 盐、R 盐和 H 酸等物料的干燥。二、强化气流干燥器 历来膏糊状物料的干燥是个难题，适用于膏状物料的干燥器较少。自从上海某染化厂试制成功强化气流干燥器之后，使许多膏糊状物料得以直接干燥，大大提高了热效率。现在，这一技术已普遍用于染料、颜料、四环素渣料、石膏、农药等的干燥操作中，其干燥操作原理类似于闪蒸干燥机。强化气流干燥器，也称短管气流干燥器、粉碎气流干燥器。强化气流干燥器是在直管气流干燥器的基础上发展起来的，最早应用在染料行业，用于解决各种染料滤饼的干燥问题，目前国内有定型产品，现已成为气流干燥器中主要干燥机型之一，对高粘度膏糊状物料的干燥取得了很好的效果。现在强化气流干燥装置已用于医药、农药、化工、食品、建材等行业。如多菌灵原粉、氧化铝粉、钛白粉等多种物料的干燥作业。强化气流干

燥器是在干燥管底部装有分散物料的**传动**装置，用以打碎滤饼状物料，增大热空气与物料的传热面积，强化干燥过程。同时，高速旋转的分散装置产生高速湍动的气流，使物料与热空气始终保持较高的相对速度，也强化了干燥作用。另外，强化气流干燥器可以设计成较大直径，节省了建筑空间。强化气流干燥系统由加热器、加料器，干燥器（主机）/粉碎机、旋风分离器、袋式除尘器、引**风机**等组成。（一）强化气流干燥器的工作原理 湿物料经定量螺旋加料器，由螺旋片的推力挤压成片状或条状连续输入干燥器内，在下落的过程中与热空气相遇，部分水分即**蒸发**，使物料的粘性下降，结成块状的物料不断落入强化器。经粉碎机粉碎后再干燥，粉状湿物料悬浮在热空气中运动，物料不断翻滚，加大了传热面积，提高了传热系数，干燥时间短。干燥后的粉粒随气流继续上升进入旋风分离器收集，尾气经袋式除尘器**过滤**后放空。该系统把预成形、预干燥、粉碎、最终干燥结合在一起，解决了膏状物料在**干燥设备**内因粘结而不能流化的问题，物料回收率达 99.5%以上。强化气流干燥器是以粉碎、干燥为其主要特征的**干燥设备**，因而提高了气固间传热传质速率，并且减小了物料内部水分扩散到表面的传递距离，尽可能把物料的内部结合水转变为表面水分进行干燥。同时，在强化器的作用下，使热空气形成湍动和螺旋上升气流，延长了物料的停留时间，物料的流动得到了加速，具备了良好的传热与传质条件。由于物料是由定量加料器连续、稳定地加入强化器内，在粉碎机的作用下，物料被迅速粉碎，进行传热、传质过程而被干燥。同时在强化区被粉碎的物料失去粘性，呈小块并形成稀相流化；在干燥器出料口细粒物料被气流夹带而出。因此，强化气流干燥器具有类似流化床和气流干燥器的双重作用。（二）强化气流干燥器的特点 1. 干燥器容积**蒸发**强度高，生产能力大。与其它干燥膏糊状物料的干燥器相比，该设备能连续生产。物料与气流的接触时间短，干燥介质的温度可高于被干燥物料的热敏温度，一般操作温度为 150~300℃，因此热损失少、热效率高。 2. 产品含水率均匀，质量稳定。 3. 强化器在正常操作状态下，分散物料所消耗的能量较少，系统的流体阻力与气流干燥大致相同，因此生产动力消耗较低。 4. 粉碎装置的高速运转，物料对器壁有强烈的“气扫”效果，因此，干燥器有良好的自清洁功能，大大减轻了物料的粘壁。（三）强化气流干燥器的主要设备 强化气流干燥工艺流程由空气加热装置、干燥器本体、加料装置、卸料装置、**风机**五个部分组成，除了干燥器本体之外，其它各部分都有几种型式可根据物料的特性，选用适当的型式进行组合，现分别介绍如下。 1. 干燥器主机 强化气流干燥器集强化（**搅拌**、粉碎）干燥、沸腾干燥、气流干燥于一体。下部锥形为强化区，锥角 60°，通常沿锥壁四周装有多档固定齿，**搅拌**轴上有活动齿，活动齿与锥壁间隙 5mm，活动齿与下固定齿间隙 6~8mm，转速 250~450r/min。热空气进口接近锥形底部，其大小按热空气气速 20~35m/s。高气速可以阻止较大颗粒下落积聚在锥底。强化区依靠活动齿与固定齿及锥壁的高速相对运动，产生巨大剪切力使较大颗粒半干物料得到粉碎和研磨，并与进口高温气流接触大大强化了传热和传质的效果。锥形底以上至 0.6m 左右高度为流化区，物料在强化区粉碎后被热气流带至流化区继续气流干燥，在沸腾区内颗粒边干燥边相互碰撞自粉碎，最后得到干而细的粉状物料被热气流带出流化区至气流干燥区进一步干燥后带出干燥器本体。由热空气从塔中及塔顶的温度降可以算出强化区和沸腾区的**蒸发**水量为整个干燥器**蒸发**水量的 75%~90%，整个干燥器的容积**蒸发**强度为 275~600 kg 水/m<sup>3</sup>·h。干燥器直筒部分气速一般取 4~6m/s。 2. 加料装置 强化干燥器的加料装置由竖向和横向两部分组成，竖向加料器也是定量加料器，是一锥底带**搅拌**的容器。**搅拌**器底部出口处有一段螺旋，起到将物料压出的作用。加料器盖上有滤饼加料口，可接在**真空**转鼓的滤饼出料口，也可直接加入由**压滤机**或其它**过滤**装置上卸下的滤饼。**搅拌**器及螺旋由直流电机带动，可控硅无级变速以达到调节加料量的目的。一般加料器转速为 10~40r/min，视加料量而异。 横向加料器有两种型式：（1）单螺旋输送机，直接插入强化流化干燥器上部本体内，使出口物料直接落入干燥器内，螺旋输送机出口处应装有带小孔或缝隙的挡板使送出物料能分散成小条状。这种加料器适用于粘性不大、湿含量不太高、较易干燥的物料，如氧化铁红。（2）当物料湿含量较高、粘性较大不易干燥时，直接用单螺旋加料器加入就容易使干燥器发生粘壁以致不能操作，因此需要用双螺旋加料器，又称双螺旋预干燥器或双螺旋混和器。这种加料器由壳体及带有一定角度叶片的两个旋转相反的轴组成。叶片与轴的垂直方向成 25~30°角，两轴上方有一定空隙可使热气流夹带干燥物料通过，空隙处气速约 5~6m/s。叶片一面将物料向前推送，一面不断将物料混和。湿物料经过双螺旋混和器到干燥器入口时已成大小不等的颗粒状态，热气流与湿物料接触情况可由蝶阀控制一定比例。 3. 卸料装置 热气流夹带干物料出干燥器（或双螺旋混合器）进旋风分离器卸料。由于气流中含固率较高，所以，卸料用旋风分离器宜选用扩散式，可以根据风量选用定型产品，如果集料箱的出口阀**密封**情况较好，则扩散式旋风分离器的分离效率可达 90%~95%。其余细粉可用脉冲袋滤器再次捕集回收，选用脉冲袋滤器应根据滤袋材质的耐温性控制进袋滤器的气流温度。如果旋风分离器出口温度过高，可选用湿法除尘器。（三）已干燥的物料 强化气流干燥机特别适合含水量比较大的、湿物料呈膏糊状、用其他气流干燥方法无法干燥的物料，目前已干燥的物料有：白炭黑、醋酸乙烯及氯乙烯的共聚物、醋酸纤维素、催化剂、C.M.C、CT-1 树脂、煅石膏、电解二氧化锰、葱醌磺酸铵盐、氟石、硅藻土、硅胶催化剂、骨粉、高岭土、过氯酸钾磺胺类药物、合成树脂、活性面筋、活性白土、化学滤饼、金红石型钛白粉、癸二酸、硫酸铜、硫酸铝、硫

酸钠、磷酸钙、磷酸酯化淀粉、染料、柠檬酸钙、煤泥、氧化铁、面团形的面包加料米糠、粘土、粘土水泥、尿素、膨润土、球形粘土、氢氧化铝、氢氧化钡、乳酸钙、水洗高岭土、三聚氰酸、石膏浆、石灰、生物制品、炭黑、碳酸钙浆、污泥渣、硬脂酸铝、氧化铁、玉米蛋白**饲料**、污泥浆、云母粉、药剂、颜料、重铬酸钾、纸浆、酒糟渣等。强化气流干燥机工艺流程见 2-2 图。图 2-2 强化气流干燥机工艺流程 1—加热器；2—加料器；3—强化气流干燥机；4—粉碎电机；5—旋风分离器；6—出料阀；7—布袋除尘器；8—消音器；9—风门；10—引**风机**

三、分级闪蒸干燥机（一）工作原理和性能特点 有些物料在干燥后对**粉体**的细度有一定要求，因此，干燥机在具有干燥物性的同时兼有粉碎和分级功能。分级闪蒸干燥机是在参考国内外某些**干燥设备**的基础上独特设计的，是将气流干燥、粉碎和分级集一机的干燥装置，主要适用于对干燥产品有一定粒度要求的场合。其效率高，性能好，具有九十年代世界领先水平。湿物料由喂料装置送入干燥段内即受到高速粉碎装置的粉碎，由粉碎装置下方进入的高温空气同时对物料进行干燥。物料颗粒在干燥的同时，不断受到粉碎，其尺寸不断减小，在热空气作用下，细粉及小颗粒物料被带向上方分级装置处。由于分级装置旋转时（转速可调）产生向下的压力和离心力，故颗粒物料被下抛到干燥段内壁，失去部分能量后沉降到粉碎装置处继续被粉碎和干燥，已干的细粉通过分级装置由除尘器收集。该机结构紧凑效率高，具有最小的热能消耗和热量损失。干燥能力大、产品质量均匀、易于调整产品的细度和水分含量、要求的干燥管段较短、负压操作无尘、操作简单、维修成本低。目前本机已有系列产品，用户可根据产品的粒度要求选用。

（二）主要结构和配套系统 1. 主机部分 主机可根据用户需要，用不锈钢或碳钢制造。主机下部为高速旋转的粉碎装置，中部为干燥段，上部为分级装置。分级装置由直流调速电机带动旋转，其转速可根据干料的细度及水分要求而加以调整。高速旋转的粉碎装置和分级装置在制造时都经过动平衡实验以减小振动和噪音，确保机器的使用寿命。主机**轴承**的润滑和冷却采用了带冷却器的压力循环润滑装置，确保**轴承**的使用寿命，并设计了独特的**密封**装置。进料装置一般采用双螺旋进料器，可由无级变速器实行无级变速，以调整进料量。特殊物料可采用其它的进料装置。本干燥机带有断油自动保持装置和自动控温装置，确保系统安全可靠。 2. 配套系统部分 （1）热源 可根据需要分别选用蒸汽加热、电加热、热空气炉、烟道气加热等。（2）除尘器 除尘器在这里是收集物料的装置，同时又确保排出的尾气洁净、含尘量符合排放标准。其下部装有关风器以便干料连续不断地排出，尾气经引**风机**排空。除尘器一般采用二级除尘装置，第一级为旋风分离器，绝大部分物料在此收集。第二级为脉冲袋式除尘器，可使 99.5% 的物料收集下来。（三）应用范围 该机广泛适用于化工产品和药品、矿物和陶瓷制品、食品和**饲料**、调味品和添加剂、颜料和染料、**塑料**和树脂、农化学产品和肥料、洗涤剂和涂料粉等物料的干燥和粉碎。适用于湿的块状、片状、纤维状物料的干燥、滤饼、糊状物或膏状物的干燥、结晶体含水的干燥、热敏性和触变性材料的干燥等。氢氧化镁、酵母、糖类、炭黑、淀粉、碳酸盐、染料、农药、硫酸铜、七水亚硫酸铁、磷酸氢钙、云母、高岭土、膨润土、碳酸钙。分级闪蒸干燥机工艺流程见 2-4 图。图 2-3 分级闪蒸干燥机工艺流程图 1—空气加热器；2—主机；3—旋风分离器；4—布袋除尘器；5—引**风机**

四、闪蒸干燥机（一）前言 有些文献中将闪蒸干燥机归类为流化床干燥装置范畴，也有些书中将其归纳到气流干燥器中。的确，闪蒸干燥机具有这两类**干燥设备**的部分特征，但从工作原理分析，更多倾向于气流干燥，所以本书将其归类到气流**干燥设备**中。为解决化学工业中高粘性膏糊状物料的干燥问题，1970 年研制成功了旋转闪蒸干燥机。但是，“70”型旋转闪蒸干燥机有许多不足之处，主要是粉末容易进入高温区，造成物料过热凝聚，旋转部件的机械稳定性差。78 年对“70”型进行了改造，“78”型虽然有较大的进步，但也存在粉末床层不稳定，出口温度和产品残余水分波动等缺点。现在我们所见到的结构基本是经过两次大的结构改进以后的机型，我们称之为“83”型。闪蒸干燥机作为一种新机型，有其它**干燥设备**不能比拟的优点，它一出现就引起了各大化学公司的浓厚兴趣，旋转闪蒸干燥机目前以丹麦安海达诺公司为代表，各国也都有新的结构出现。该机于 1990 年从丹麦引入我国，闪蒸干燥机国内也称旋流干燥机，旋转快速干燥机。是处理膏状物料的理想**干燥设备**，最早应用在染料行业。到目前为止，经过广大工程技术人员的不懈努力，已经把原来的机型改变了多种型式，进风方式也由原来的狭缝进风增加了切线进风，可以降低系统阻力。加料方式也由原来的单**螺杆**进料增加了双**螺杆**进料，同时又增加了物料的分级功能，有效保证了产品粒度。根据不同物料采取与其它**干燥设备**串联的方式，又增加了设备的应用范围。干燥器也已经实现了系列化，目前干燥器的直径已放大到 1600mm，可以说，目前闪蒸干燥机是发展最快，应用范围最广泛的机型之一。在染料、农药以及其它有机化工、无机化工等行业都有大量应用。目前有关闪蒸干燥机的研究最为活越，也是工程中需求量最大的一种机型，国内已经形成了系列产品。（二）闪蒸干燥机的结构 闪蒸干燥是一种带有旋转粉碎装置的竖式流化床干燥器，能同时完成物料的干燥、粉碎、分级等操作。设备主体为圆筒形干燥室，由底部的粉碎流化段、中部干燥段、顶部分级段组成。底部粉碎段装有**搅拌器**，**搅拌器**转速通过调节外部电机的转速进行无级调节。**搅拌器**有两个作用，带动从分配室进入干燥室的热空气产生高速旋转的气流形成流化床层。另外，对物料产生强烈的**搅拌**和粉碎作用，强化了传质传热，加快物料的干燥速率。在干燥器底部设有蜗壳式空气分配室，使切向送入的热空

气通过环状导向缝隙均匀进入干燥室。在干燥段设有螺旋加料器，加料器由调速电机拖动，通过变频器调节转速，顶部分级段有一个分级环，根据产品的粒度要求选择分级环的通路。（三）闪蒸干燥工作原理 根据闪蒸干燥机的结构，可以把工作过程分为破碎、气固接触、干燥、分级等四个阶段，这四个工作过程也是其它干燥器所不能同时具备的。

1. 破碎 由于闪蒸干燥机主要用于膏糊状物料的干燥，物料进入干燥器后立即受到**搅拌**桨叶和高速气流的破碎，以最大限度地增加物料的分散度和单位体积湿物料的表面积。
2. 气固混合 闪蒸干燥机一般以空气为载热体，能否有效达到气固混合是影响干燥速率的主要因素。闪蒸干燥机的**搅拌**桨把物料破碎并产生弥散作用，同时进入干燥器的空气也处于高度湍动状态，很快达到气固混合。同时，块状物料在重力作用下向下坠落，由于干燥器底部为倒锥结构，气流的速度很大，最高可达 60m/s。能保证块状物料处于良好的流化状态而被热空气包围。
3. 干燥阶段 物料粉碎后，被来自底部高速旋转的热气流吹起，在干燥室内形成了一个相对稳定的流化层。在物料与热空气之间进行传质传热的干燥过程，大部分水分在这一阶段**蒸发**掉。含水率高，表面积小的物料密度大，在干燥室内向下坠落，由于底部的气速高，下落到一定距离后下落速度为零，此时重力与浮力平衡。物料受到进一步破碎和水分**蒸发**后浮力大于重力，物料开始向上运动，通过分级后排出干燥器。
4. 分级阶段 分级器是装在干燥器顶部的环形挡板，由于受到离心力的作用，物料随气流上升过程中，大块、未干的物料旋转半径增大，当旋转半径大于分级环半径时被挡在干燥室内，直至满足要求才能通过分级器排出干燥器。当物料加入到干燥器后，物料处于旋转的流化状态。团块受到粉碎后直径迅速减小，水分被**蒸发**。物料在气体的夹带下作螺旋上升运动，粒径较小较干的物料在内环，较大较湿的物料产生的离心力大而在外层靠近器壁。但外层的大颗粒在不断被粉碎干燥，离心力变小后也在向内环运动，当水分满足要求后被气体带出。旋转半径和压力之间的关系是旋转半径越小，压力越低。在干燥室中心处，压力也最低，在器壁附近压力最大。对于小直径颗粒，由于压力随半径的增大而增大，径向压力分配不均，小颗粒向中心处运动，大颗粒由内向外干燥器边缘运动。因此干燥后的小颗粒被气流从干燥室中心处带出，而大颗粒沿边缘向上运动后被分级环挡住不能逸出，从而保证产品含水和粒度均匀。在干燥器工作过程中上述四个阶段并不是独立进行，主要是为研究方便和叙述需要把几个过程分别介绍。

（四）闪蒸干燥机的结构特点

1. 干燥室底部设有倒锥形结构，使热空气流通截面自下而上不断扩大，底部气速高，上部气速低，从而下部大颗粒与上部小颗粒都能处于良好的流化状态。倒锥结构还缩小了**搅拌**轴悬臂的长度，增加运行的可靠性。**轴承**设在机外，避免**轴承**在高温区长期工作，延长了**轴承**的使用寿命。
2. 湿物料在被**搅拌**齿粉碎的同时，又被甩向器壁，粘结在内壁上，如不及时刮下会影响产品质量，所以**搅拌**齿顶端设有刮板，能及时刮掉粘结在器壁上的物料以防过热。
3. 干燥室上部设有分级环，其作用主要是颗粒较大，或没干燥的物料与合格产品分离，挡在干燥室内，能有效保证产品粒度和水分要求。
4. 锥底热空气入口处设有冷风保护，防止物料与高温空气接触产生过热变质。
5. 物料在热空气中高速分散，干燥时间短，特别适用于热敏性物料的干燥。
6. 连续化操作，加料量、热空气温度、产品粒度可以在一定范围内自行控制，从而保证干燥产品的各项指标。
7. 干燥系统为封闭式，而且在负压下操作，粉尘不外泄，保护生产环境，安全卫生。
8. 设备结构紧凑，占地面积小，集干燥、粉碎、分级为一体。是流化技术、旋流技术、喷动技术及对流传热技术的优化组合，大大简化了生产工艺流程，节省了设备投资和运转费用。此外，国内经过多年的实践，根据不同的物料设计出多种结构。将原来的狭缝进风改为切向进风。这种进风式适用于低粘度的物料，如 H 酸、DSD 酸、白炭黑、碳酸钙的干燥。这种结构的主要优点是进风阻力小，减小**风机**的功率，但对高粘度物料要慎重使用。

（五）适用范围 有机物：阿特拉津（农药杀虫剂）、月桂酸、苯甲酸、安息香酸、草酸钠、醋酸纤维素等。染料：蒽醌、氧化铁黑、靛蓝、丁酸、氢氧化钛、硫化锌、各种偶氮染料中间体、酞菁蓝、硫化蓝、铝铬黄、碱性嫩黄。无机物：硼砂、碳酸钙、氢氧化物、硫酸铜、氧化铁、碳酸钡、三氧化铋、各种重金属盐、合成冰晶石等。碳酸锰、碳酸镁、亚硫酸钠、磷酸氢钙、氧化铝、氧化铁红、氢氧化铝、醋酸钠、白炭黑、膨润土。陶瓷：高岭土、二氧化硅、粘土等。食品：大豆蛋白、胶凝淀粉、酒糟、小麦糖、小麦淀粉等。废料：生物泥浆、铁锰渣、糖醛渣等。硬盐系列：硬脂酸钙（镁、铝、锌、钡、铝、铬）、二盐基亚磷酸铝、三盐基硫酸铝。有机化工类：三聚氰胺、三苯基醋酸锡、苯甲酸、甲基纤维素、溴氨酸、DSD 酸、2, 4D 酸, H 酸, J 酸。农药：巴丹、杀虫单、代森锰锌、扫满净、灭多威、精喹禾灵、三环唑、苯噻草胺、多效唑、莠去津、莠灭净、吡虫啉。闪蒸干燥机设备结构及工艺流程见图 2-4。图 2-4 闪蒸干燥机设备结构及工艺流程图 1—鼓**风机**；2—加热器；3—空气分配器；4—**搅拌机**；5—螺旋加料器；6—主机；7—分级器；8—旋风分离器；9—星形出料阀；10—布袋除尘器；11—引**风机**