



简介

碳酸钙 (CaCO_3) 是塑料行业最受欢迎的矿物填料之一。广泛应用于全球各地，不仅适用于各种聚合树脂和经济材料，还可通过研磨等方法将其粒度轻松降至特定值。作为塑料复合材料的添加剂， CaCO_3 可以帮助降低表面能并增加不透明度和表面光泽度，从而使得表面更加光洁。此外，如果严格控制粒度大小， CaCO_3 还可以帮助提高抗冲击强度性能和弯曲模量（刚度）。

多种热塑性树脂都可以使用碳酸钙。聚丙烯复合材料中往往添加碳酸钙以提高硬度，这是能够适应高温操作的一个必要条件。在PVC中，管材、线材和电缆绝缘层、乳胶手套、垃圾袋等柔性复合材料，以及挤压管、水管和门窗异型材等刚性复合材料，都使用了碳酸钙。

碳酸钙的气力传输

堆积固体的颗粒形状、大小（纵横比）和粒度分布以及颗粒的粗糙度、硬度（耐磨性）和密度会在很大程度上影响喂料或气动传输系统的设计。

对于碳酸钙，其特性根据单份样本的来源和生产工艺有很大不同。下图中的筛析方法展现了两份碳酸钙样本在颗粒形状、粒度和粒度分布方面的不同。

大量的颗粒交互作用（见第2页侧栏）使得填料的颗粒级属性和堆积流动性之间很难建立明确的相互关系。因此，无法购买现成的气动传输系统，必须根据特定情况进行定制。堆积特性的不同会影响系统工程设计和设备选择。通常情况下，必须进行实验室测试，以帮助确定材料的属性和流动性。

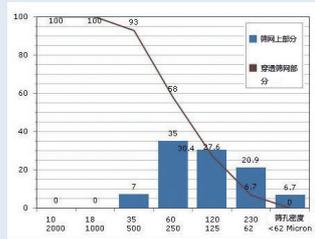
气力传输系统通常包括五个基本部分：动力装置、传输线、配料装置、物料气体分离装置和控制系统。



碳酸钙筛析

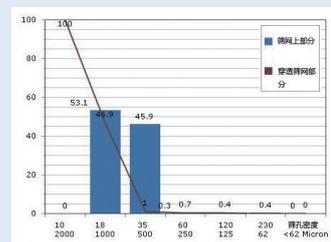
CaCO_3 样本A

99% 纯沉淀碳酸钙 (PCC)；堆积密度从 0.301 kg/dm^3 [18.8 lb/ft^3]（松散）到 0.398 kg/dm^3 [24.9 lb/ft^3]（紧实）各有不同。



CaCO_3 样本B

95% 纯粒状碳酸钙；堆积密度从 1.378 kg/dm^3 [86 lb/ft^3]（松散）到 1.474 kg/dm^3 [92 lb/ft^3]（紧实）各有不同。



配料设备

在选择配料装置时，必须考虑某些粒级的 CaCO_3 颗粒较轻且流动性较强，可能会大批涌入传输线。在这种情况下，必须考虑使用旋转阀来测量送入传输线的材料。不管用高压气动传输系统还是真空气动传输系统，都可以通过旋转阀上料。由于 CaCO_3 存在粘度等级，所以产物容易堆积并粘附在下落式旋转阀的叶片上。这种情况下需使用鼓风式旋转阀；随着阀门转动，气流穿过每个阀套，吹落叶片上的材料。在喂料仓内安装流化锥也可以帮助控制材料流动。

传输线

碳酸钙粉末在传输系统中会产生许多问题，其中包括卡在料斗中、大量涌入传输线、堆积在传输线内侧以及堵塞接收装置内的过滤袋或筒仓。

不管是高度流化还是略带粘性的 CaCO_3 ，都可以使用刚性管材作为传输线。但如果 CaCO_3 容易粘附在传输线内部，则可以考虑使用柔性管材，因为灵活弯曲的特性可以防止物料堆积在管壁上。

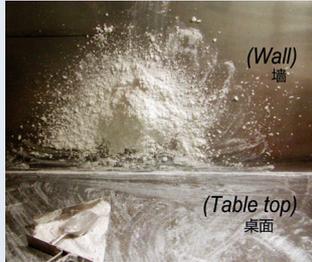
在真空连续作业系统中，使用冲洗阀可以很好地确保传输线在两次传输之间保持清洁。首先，关闭真空系统上料侧的切断阀，使传输线内的气压不断增加。然后打开此阀门，所形成的压力波可以帮助清除粘附在传输线内表面的所有物料。

颗粒交互作用

有三种独特的交互作用关系会影响气动传输和喂料系统中矿物填料的流动性：颗粒与颗粒、颗粒与设备及颗粒与环境的交互作用。

颗粒与颗粒

颗粒与颗粒的交互作用与填料的化学成分和物理特性直接相关，与堆积特性无关。颗粒与颗粒之间最主要的作用力是分子之间的静电或范德华力。随着颗粒之间的距离增大，范德华力会慢慢减弱，这说明在粘性粉末中添加小颗粒可以改善流动性。颗粒与颗粒之间的其他作用力还包括毛细管作用力（负责形成液桥）和烧结力（负责形成固桥）。当气相中存在水蒸气时会产生毛细管作用力，而当材料因扩散或粘性流产生迁移时会产生烧结力。颗粒之间的作用力会使粉末具备粘性，从而更易于聚结或结块。



颗粒与设备

固体颗粒在容器或管道内的流量是墙面摩擦力和抗剪强度这两个重要特性的函数。墙面摩擦力是指颗粒在接触面上的滑动情况，抗剪强度是指堆积粉末的抗变形能力或颗粒的相对滑动情况。



颗粒与环境

颗粒与环境之间的交互作用力与施加在整批颗粒上的外力（例如，温度、相对湿度、振动、重力、进气等）有关。由于颗粒之间存在液桥，所以空气相对湿度（RH）和填料的吸湿性往往与粘性增加程度息息相关；温度会影响颗粒的结晶性，促进“烧结”，而压力会增加颗粒之间的接触点，从而导致堆积密度增加或颗粒之间的附着力增加。



材料气体分离装置

CaCO_3 往往会粘附在过滤器上，从而导致堵塞并降低过滤器工作效率。对于粘性级 CaCO_3 ，用过滤袋代替折叠滤筒可以帮助防止 CaCO_3 粘附在过滤器上。如果情况严重，则建议使用 PTFE 过滤介质。

有些碳酸钙粒级可能需要使用更陡的锥形卸料口，以帮助彻底卸完料斗中的材料。通常，接收装置料斗内的振动器或流化垫等流动辅助装置可以确保接收装置更快、更完全地进行卸料。

应用实例

第1页图中的筛析方法展现了两份碳酸钙样本在颗粒形状、粒度和粒度分布方面的不同。样本A属于堆积密度相对较低的沉淀碳酸钙（PCC），样本B属于堆积密度相对较高的粒状碳酸钙。

第3页上展示了气力传输系统的示意图，在混配操作中，需要使用该系统将储料仓中的碳酸钙输送到喂料系统。

在本例中，客户需要将 4.5 T/hr (10,000 lb/hr) 的碳酸钙从储料仓（1）输送至过旋转阀（3）顶部的连续式真空上料机（2），以便在塑料混配设备中对 PP 和 CaCO_3 进行挤压成型处理。该设备位于海拔 305 m (1000 英尺) 的高处，全年日平均温度为 29.5°C (85°F)。

选定的碳酸钙样本需要在水平跨度 30 米 (100 英尺)，垂直跨度 15 米 (50 英尺) 的气动传输线上进行传输，且整个系统中有四个 90 度弯管（4）。应正确放置鼓风机（5），使气管长度达到 15 米 (50 英尺)（计入水平和垂直跨度），而所使用的弯管数不超过 2 个。

由于两份 CaCO_3 样本存在明显不同的颗粒性质，所以需要选择不同的设备部件并对整个系统规模进行不同程度的调整。碳酸钙 B 需要更高马力的鼓风机（5），从而增加系统空气流量和真空压力，使稀相传输保持在一个既定的速度。由于堆积密度和颗粒特性的不同，需要调节旋转阀（3）吞吐量来维持既定的速率。为此，对于堆积密度更高的材料 B，其体积吞吐量远远低于碳酸钙样本 A。

过滤器外壳直径取决于每份样本的罐口速度限制。最大罐口速度是指穿过过滤器外壳的最大垂直速度，在此速度下，多数材料都可以脱离气流。每份材料的滤布面积取决于每份样本的过滤特性。

在确定过滤物料所需的滤布面积时，粒度是主要考虑因素。粒度越大，越容易脱离气流，因此需要的滤布越少。表 1 概述了这两份样本所需装置的部分不同之处。

表 1：传输装置选型的差异

装置	样本 A	样本 B
鼓风机功率	16 kW [20 HP]	20 kW [25 HP]
旋转阀吞吐量	15 m ³ /hr [531 ft ³ /hr]	3.6 m ³ /hr [128 ft ³ /hr]
旋转阀效率	84%	92%
调节后的 RV 吞吐量	17.9 m ³ /hr [632 ft ³ /hr]	3.9 m ³ /hr [139 ft ³ /hr]
过滤器外壳直径	1.4 m [54 in]	0.9 m [36 inches]
所需滤布面积	17.7 m ² [191 ft ²]	7.5 m ² [81 ft ²]
最大罐口速度	21.3 m/min [70 ft/min]	无限制

CaCO₃ 喂料

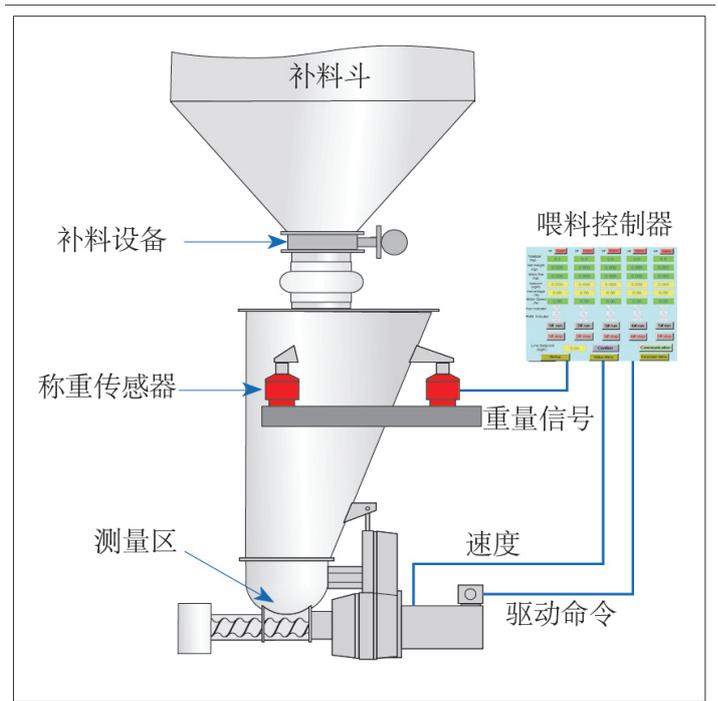
以下两个主要变量决定了每份碳酸钙样本对应喂料系统的选择：矿物填料（例如，粒度和形状、气体渗透性、堆积密度和安息角）的特性以及既定喂料速度。

失重（LIW）式喂料器可以完全封住原料和灰尘并提供理想的喂料速度，从而确保最终产品整体质量。LIW喂料器拥有多种不同配置，可根据具体特性、流动性和喂料流量自定义料斗大小、喂料设备和桥秤。

体积测量与重量测量

多数喂料器都可以归为体积喂料器或重量喂料器。体积喂料器在单位时间内送出一定体积的物料，是一种资金成本最低的喂料解决方案。但螺旋式体积喂料器不具备探测功能，也无法根据物料堆积密度的变化进行调整。因此，此类喂料器最适合堆积密度稳定且流动相对自由的物料（例如：球状颗粒）和喂料精度不是非常重要的应用领域。

重量喂料器在单位时间内送出恒定重量的物料。重量喂料器不仅具备喂料过程监控功能，还拥有能够测量重量和速度的反馈回路，从而确定每秒实际喂料重量。



典型失重式喂料器

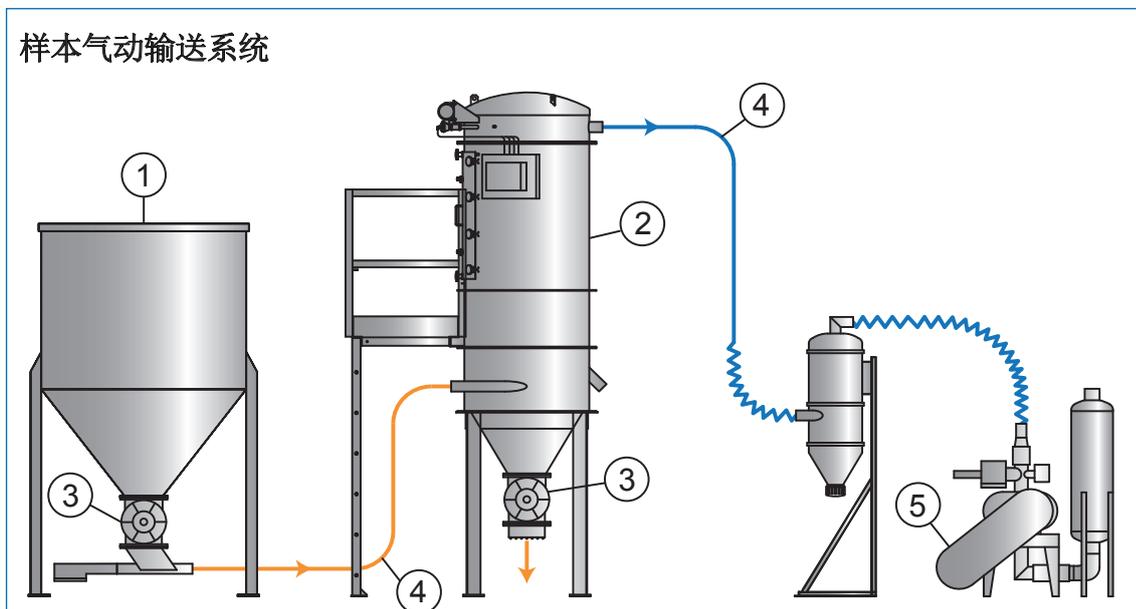
料斗选择

一旦确定了喂料器的尺寸和类型，必须选择拥有合适形状和尺寸的料斗来盛装连续塑料混配操作中需要的适量填料。料斗分为圆柱形、非对称和对称形，其尺寸从1升到数百升各有不同。

喂料器料斗的大小取决于喂料器的补料要求以及可用空间。根据经验，一般每小时补料12次，且料斗中填料的最高线应为料斗容积的80%。由于存在增量成本和空间要求且材料压实度可能会因为颗粒之间的交互作用力而提高，所以料斗尺寸不应过大。因此，使用以下理论计算方法来初步估计要选择的料斗尺寸：

$$\text{料斗容量} = \frac{\text{流量}}{(\text{堆积密度} \times 0.8 \times 12)}$$

料斗中的沉淀碳酸钙容易变得密实，因此，可能会出现鼠洞和架桥。



喂料设备

根据喂料的不同，所使用的喂料设备也不同。易流动粉末和颗粒可以使用单螺杆喂料器，难流动粉末可以使用双螺杆喂料器，纤维料和易碎材料可以使用振动托盘。

对于易流动级CaCO₃，使用单螺杆喂料器就足够了，但通常建议使用双螺杆喂料器，以便让结果更可靠。根据矿物填料的流量和特性，可以使用各种不同的螺杆。最常用的螺杆异型材为凹陷形、钻头形、螺旋形和双螺旋形。使用螺杆的目的是将大量固体料均匀送入塑料混配工艺。当螺杆喂料器停止工作时，这些螺杆还可以阻止物料流动，防止流化固体料大量涌入。

在喂料器螺杆等金属表面上，碳酸钙也容易变得密实。为此，需使用两个具有自清洁功能的啮合同向旋转螺杆来确保螺杆表面清洁和无堆积料。



各种双螺杆设计

桥秤

称重系统从小容量台秤到大型三点悬秤系统各有不同。

样本喂料系统

表2展示了两种碳酸钙样本的理想喂料系统。

表2: 喂料器装置选型的差异

装置	样本 A	样本 B
喂料器型号	T46	T38 或 S60
料斗大小	180 dm ³	40 dm ³
助流装置	水平搅拌和垂直搅拌	水平搅拌
喂料设备	啮合螺杆	啮合螺杆/看两根钻头或螺旋螺杆
秤台	3点式称重传感器	单点式称重传感器

总结

由于影响粉末流量的变量有多个，所以塑料混配操作中碳酸钙气动传输和/或喂料系统的设计并非小事。塑料混配工厂的投资回报（ROI）取决于是否正确选择了最具成本效益的气动传输和喂料系统。颗粒特性以及颗粒与颗粒、颗粒与设备、颗粒与环境之间的交互作用力会影响设备与系统设计的选择。卡尔麦系统拥有经验丰富的系统工程设计团队，能够凭借专业知识为任何应用领域设计智能解决方案。