

# 粉体简介

freemant*technology*

a  micromeritics® company



## 转自

粉体常用于生产我们日常生活中许多重要的产品。富瑞曼科技专注于粉体,尤其是如何表征和理解粉体从而提高产品开发和优化制造工艺。该手册,是系列丛书中的第一本,是从我们十多年处理高难度但又十分有趣的物料中,获取有关粉体行为的经验总结。

## 粉体简介

不管是作为原材料、中间产品还是最终产品,粉体都是大量工业过程中不可或缺的成分,占据了所有制造商品中约80%。尽管它们普遍存在,但在产品开发、制造和质量保证中,我们仍面临着许多挑战。粉体常常被打上“不好”的标签,而实际上,更准确地说,这只是因为我们对它们的特性不够了解。充分了解粉体特性是生产工艺优化、高质量产品开发及选择合适的粉体特性方法的最关键基础。

本白皮书特此向不熟悉该领域的新用户或对粉体处理有较丰富经验而想寻求新观点的用户,就粉体作个简单、实用的介绍,主要讨论下列问题:-

- 从工业观点看,粉体特性的哪些方面值得关注?
  - 粉体因何流动或停止流动?
  - 哪些因素会影响工艺中的或作为产品的粉体特性?
- 
- 粉体或颗粒?这两者有何差异?为什么这些差异很重要?



# 目录

## 第1节

### 什么是粉体?

了解颗粒与粉体之间的区别, 以及为何这两者都难以测量、理解和控制。

## 第2节

### 粉体特性值得关注的方面

了解粉体更多值得关注的和有工业使用价值的特性以及为何它们与工业有关:-  
内聚性 - 粘性 - 压缩性 - 透气性 - 流化性 - 固结性 - 剪切速率敏感度 - 结块 - 分层 - 静电。

## 第3节

### 流动性亮点

流动性是粉体得以广泛应用的关键, 本节探索粉体流动性机理。找出粉体流动或不流动的原因, 形成基本认识, 对观察到的性能作出合理解释。

## 第4节

### 工艺环境

粉体本身没有好坏之分, 但它们适合各种不同的工艺环境。了解为何工艺条件如此重要, 它们是如何影响粉体显现的特性的。

## 第5节

### 总结

总结了解粉体特性需要知道的方面, 以及它们与产品开发和粉体处理的关系。

# 页

6 - 9

10 - 19

22 - 28

29 - 33

34

# 第1节

## 什么是粉体？

粉体是松装组合物，包含颗粒，但又不仅仅是颗粒。术语“颗粒”和“粉体”经常互换使用，但这会造成误解。粉体还包括颗粒表面或其结构内部的气体（通常为空气）和液体（通常为水）。

各种形式粉体的属性以及它们之间的相互作用，决定了松装粉体的特性。也就是说，特性会受到大量变量和一系列潜在相互作用的影响。在这些变量中，许多都与颗粒的物理属性有关，包含颗粒的：-

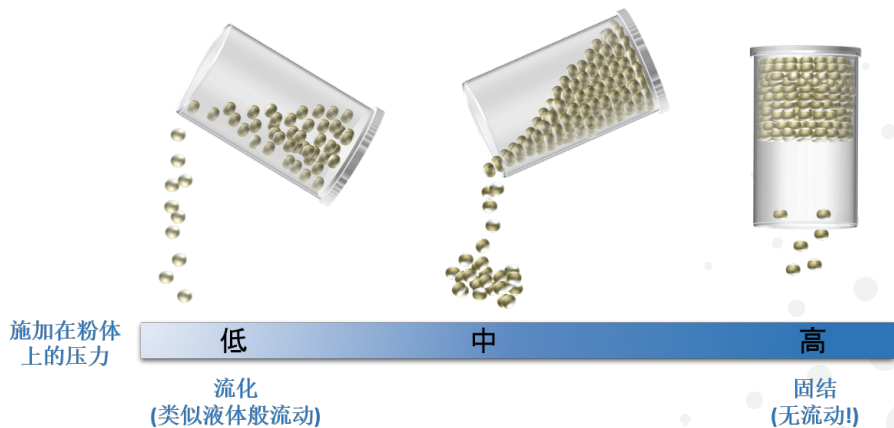
- 尺寸
- 形状
- 表面结构
- 表面积
- 密度
- 内聚性
- 粘性
- 弹性
- 可塑性
- 孔隙率

- 静电电位
- 吸湿性
- 硬度/易碎性

(请注意，许多属性都是分布式的，而不是单一的值。)



粉体是包含固体、液体和气体的松装组合物。这三种形态相互作用，共同决定了松装粉体的特性



当颗粒属性或外部变量 (如空气含量或固结程度) 成为粉体特性时, 它们就变得非常重要。

还有一些其它变量与工艺或“外部”影响有关, 例如, 空气含量、水分含量和固结程度等。

粉体特性由颗粒和外部变量共同决定, 正因如此, 它们变得很复杂, 我们无法只测量粉体的物理属性来准确预测其表现。实际上, 影响粉体特性的变量实在太多, 我们无法精确的进行数学建模。而且, 这么说也不为过, 我们对所有可能的相互作用尚不完全了解, 同时也没有能力直接测量许多影响参数。

就目前我们所了解到的情况,只能确认:-

粉体特性 = fn (颗粒尺寸) + fn (颗粒形状) + fn (颗粒刚度)  
+ fn (颗粒孔隙率) + fn (颗粒表面结构)  
+ fn (颗粒密度) + fn (内聚性) + fn (粘性) + 等

还有一些外部变量,例如:-

- 固结程度
- 空气含量
- 水分含量
- 剪切程度/应力
- 设备表面属性



### 常见问题:原材料供应商变更

粉体加工商要考虑变更原材料供应商,以降低成本。于是采用成分、纯度、颗粒尺寸、松装密度和水分含量等方面有相同技术规范的同等级材料。新材料的技术规范与原来的相吻合,但引入到工厂中时,工艺的执行效果却不佳。堵塞经常发生,流速也会变慢,最终产品不能满足质量标准。为什么符合技术规范,却会发生这样的问题?

很显然,仅技术规范无法体现工艺中表现不佳和表现良好的喂料之间的差异。一定有技术规范中未包括的其它材料属性影响着工艺中的特性。因此,根据不同处理方式的表现来选择粉体时,关键在于确定与工艺表现相关的、可用于有效消除执行不佳的可测量参数。而在这些方面,颗粒和化学数据通常无能为力。

许多变量都会影响粉体特性 - 但通过了解颗粒属性和外部变量来预测尚无法实现

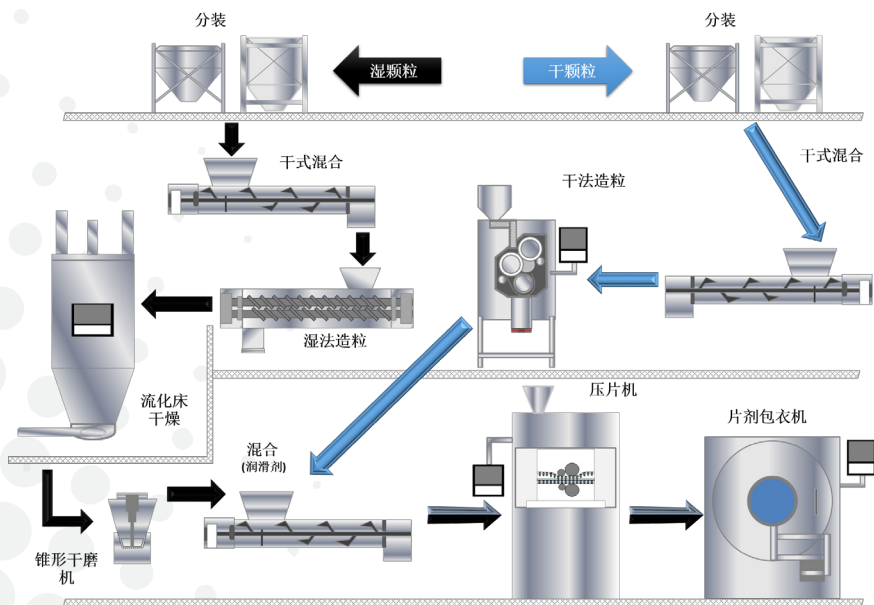
粉体以“松装组合物”的形式流经工艺,因此如果目标不是预测和了解工艺表现,则应以松装属性的形式来量化特性。

## 第2节

### 粉体特性值得关注的方面

粉体是颗粒、气体和液体的松装组合物，因此，它们才会如此复杂，但这也正是它们的工业价值所在。根据配方、制造工艺以及工艺环境的不同，粉体可能有许多执行方式。它们也因此变得非常有用。试想一下，当流过压片机后，粉体就变成了硬实的片剂，或在流化床包衣中，粉体会粘附在金属板上。对许多人来说，粉体，特别是粉体测试，只关乎粉体在料斗中的流动和料斗设计，但实际上，粉体特性以及它的工业意义远不止于这个狭隘定义。我们将对一些重要粉体特性作深入探讨。

粉体特性不只是流经料斗！粉体加工商还对喂料、混合、粒化、干燥、填充、制片、雾化、气动传送、配量、存储、运输等等感兴趣...



连续压片制作工艺示意图

## 流动性

试想一下,有两罐粉体样品摆在您面前,一罐是砂糖,另一罐是面粉。举起装糖的罐子打转,将会使粉体产生像流体一样的运动;如果滚动罐子,砂糖将平稳翻转,维持稳定的流型。

在任何一个平面旋转面粉样品时,都将形成非常不同的间歇性运动,大多数是团聚的运动。缓慢移动罐子,开始什么也不会发生,然后突然像雪崩一样,粉体坍塌到新位置。这种粉体也能流动,但方式截然不同,很明显,它不适合需要稳定工艺流的应用。

在松散堆积状态,这两种粉体分别位于流动性的两个极端。以简单的粉体表征而言,砂糖可视为“自由流动的”,而面粉则是“粘性的”,但需要注意的是,许多粉体的特性位于这两种极端状态之间的细化分点上。

而当各种粉体固结或充气后,它们的流动性会受到影响,它们的行为也会发生相应的变化。如果砂糖颗粒受到

振动,它们将很快锁结在一起,致使材料很难流动,甚至比因振动而固结的面粉更糟。

充气 and 固结这些外部变量的影响可能会很剧烈,如果充气(如滑石),会将原本流动性一般的粉体变成像流体一样的材料,或者,在固结(如调色剂)后,将原本自由流动的材料变成固体。因此,为了对粉体的流动性有全面充分的了解,必须评估它们在所有应力状态下从充气到固结的特性。

另外,粉体往往对流速很敏感,它们流动顺畅与否还取决于所施加的剪切速率。要说明这一点,混合工艺是个很好的实例。一些对流速很敏感的粉体需要高剪切工艺,以便实现混合均匀性。对流速敏感度低的粉体可在低剪切速率下均匀混合,从而可以利用低能耗混合工艺进行混合,因为高剪切速率的操作可能会破坏颗粒,诱发静电。

理解粉体流动性对许多工艺的高效运作起到关键作用。流动性影响粉体混合的难易程度,在喂料器中的行为特性,以及如何流入模具或填充胶囊。深入了解影响流动的因素,对建立最优存储条件有着重要作用。即使两种粉体的流动性基本相似,但由于松装或剪切属性不同,它们也可能表现出大相径庭的工艺特性。想要彻底、明确地表征,关键在于精确量化各种相关行为和特性之间的微小差异。

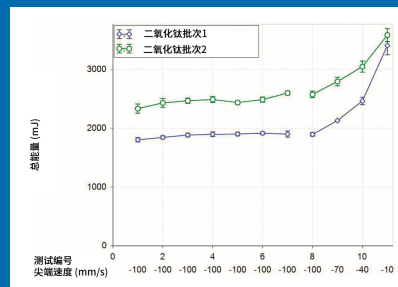
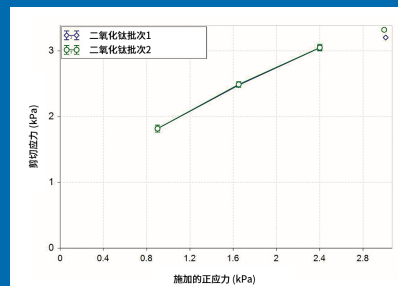
粉体处理涉及到许多设备操作,在每种操作中,粉体都受到一组特定条件的作用。没有普遍的“好”粉体 – 重要问题是,“这种粉体的属性是否适合该设备操作的工艺条件?”

## 常见问题 – 测量错误的属性!

粉体加工商收集两组二氧化钛样品数据,一组使用剪切测试仪,另一组使用直接测量流动性的动态流动性测试技术 – 基本流动能 (BFE)。剪切数据显示两个样品有相同的属性,但动态流动性的结果却与之相反。哪一个才是正确的?

这两组数据都正确。毕竟,这些技术测量的是粉体特性的不同方面。从这些结果中,我们可以得出结论,虽然在固结环境中(例如,在料斗中(剪切测试数据)),在一开始流动时,两种样品表现出来的特性很相似,但在工艺中动态移动时,它们的流动性差异很大,这可通过测量动态流动性来量化。

如果分析是为了评估这些粉体在工艺中是否有相同表现,则答案取决于所关注的是工艺的哪一部分。在料斗中,两种粉体的表现很相似,但进一步评估动态表现时,在中等或低应力环境下(例如,在混合和填充工艺中),这些粉体很可能呈现不同表现。



## 内聚性

术语“内聚性”通常与粉体的流动性有关,实际上,对于粉体松装特性而言,它是最具影响的一种属性。内聚性是颗粒之间相互作用的机制,是一种相邻颗粒彼此“接合”的一种趋势。这些拉力是静电或表面能与范德华力共同形成的结果。

粉体处于固结状态时,两个相邻颗粒之间的内聚力一般较小,通常无关紧要,而摩擦力和机械咬合力最为明显。但当粉体处于松散堆积状态时,相比于作用在颗粒上的其它力,内聚力显得很大,从而主导粉体松装特性。由于粉体通常在低应力堆积状态下进行处理,因此内聚力的强度将会影响粉体工艺表现的好坏。

本文档将在后文对此主题详细讨论,但需要在此强调一下,在粉体松散堆积的工艺或应用中,内聚性十分重要。

## 粘性

内聚性量化的是颗粒之间相互作用的强度,而粘性则是衡量颗粒粘附不同表面或材料(通常是处理设备的表面)的习性。这是粉体处理过程中的一个重要问题,因为残留粉体会导致混合不均匀,需要经常彻底清洁,还会提高各批次之间交叉污染的风险,也是造成堵塞的重要原因。

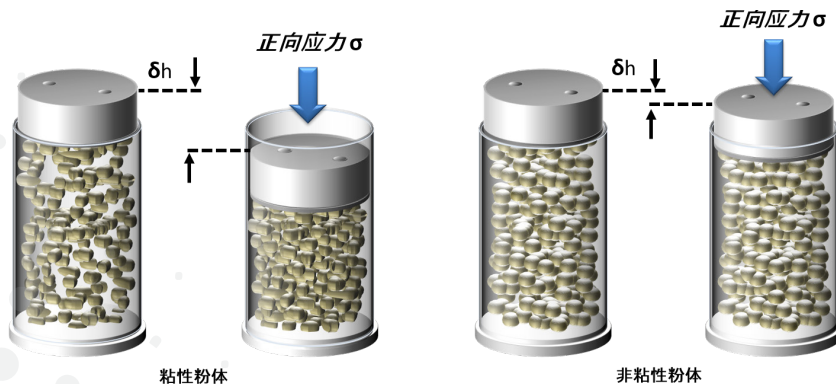
## 压缩性

压缩性用于衡量粉体样品在内聚应力作用下的体积变化。该应力将颗粒压紧在一起，相同数量的颗粒堆成更小的体积，从而增大松装密度。

不应将压缩性与因振动导致的固结混为一谈，后者是一种完全不同的机制，它是松装粉体挤撞后、颗粒重新组织的结果。

有时候会有意压缩粉体（例如，压制片剂），另外有些会以相对不受控制的方式进行（例如，存储时在自身重力的压力下压缩粉体）。

一些粉体几乎不可压缩，而另一些则很容易压缩（体积上）。我们再回去看我们的两种实例，晶粒砂糖相对不可压缩。与之相反，对面粉样品施加结固应力，将使得粉床高度发生显著变化，同时产生有较高结构强度的填料。面粉相对容易压缩。



一般而言，粘性粉体装填性差，因为包含更多空气，比非粘性的粉体更容易压缩。

压缩性和流动特性之间存在一定的关系,虽然它们不像传统测试方法所认为的那么明确。高压缩性粉体在低应力状态下常具有低装填性,这是粘性较强的粉体的重要特征。与之相反,非粘性粉体的压缩性则要低得多。

这个原理是传统松装密度方法及其流动性测量应用的基础,但需要注意的是,这些方法依靠轴向减速(或振动)来引发体积变化。传统上,这种方法被称为“压缩性”测试,但不应将该术语与施加外力引发的压缩性混为一谈。使用这种方法从密度变化值中推算流动性会误导人,敏感度也比直接测量流动性要低得多。

## 透气性

空气传输穿过粉体床的难易程度,它是粉体整体透气性(切勿与前文提到的充气相混淆)的函数。一般而言,颗粒尺寸大的粉体一般透气性高,因为颗粒之间的通道比较大,空气穿透比较容易。包含细粉的粉体,空气含量相对较高,或固相摩擦或松装密度较低,由于空隙较小,“气泡”连接通路不佳,松装粉体对气流的阻力较大。

其它一些粉体属性也会影响透气性,例如,细颗粒含量、颗粒形状及其表面属性等。此外,松装粉体的透气性取决于粉体的压缩程度。高压缩性的粉体在固结时透气性变化较大。与之相反,承受固结负载时装填结构变化较小的粉体,透气性比较稳定。因此,建议在较大的固结应力范围内对透气性进行量化。

透气性测量有助于量化粉体充气或脱气的难易程度,鉴别材料从流体到固体(或相反)之间快速转换的潜质,这通常会导致工艺出问题。相对自由

流动的粉体充气后,可能会保持这种状态,然后以完全不受控制的方式在工艺中“泛滥”。另一方面,容易失去空气的粉体可能会快速变成难以流动的固定材料。



填充和压缩工艺对透气性特别敏感, 这些工艺需要快速排出模具中的空气, 代之以颗粒。粉体透气性低可限制颗粒间的空气逃逸, 随着颗粒填充模具, 将严重影响填充率。在片剂压缩期间, 压缩步骤中, 阻碍空气从模具松散的粉体中逃逸的能力, 与片剂的机械强度以及开裂和顶盖等不利特性有很大关系。

在流化工艺和其它单元操作 (例如, 气动传送, 空气 (或其它气体) 在其中扮演重要作用) 中, 相对容易观察关联透气性。但粉体中空气的量通常无法控制, 在例行处理中也可能会剧烈变化。粉体很轻易携带和散失空气, 例如, 将粉体从容器中倒出, 或放置任其因重量自沉。对于一些粉体, 这会导致特性发生显著变化。



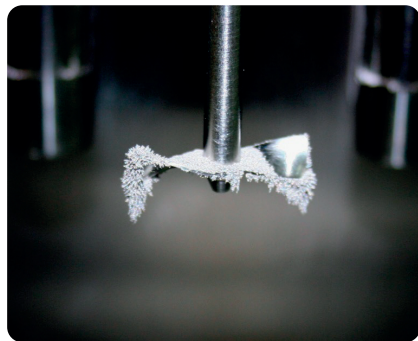
感谢Solids Handling Technologies提供照片

可有意对粉体充气 (左), 或者, 在例行处理中粉体也会轻易携带或散失空气。当发生涌流时, 将失去对工艺的控制, 导致成本问题 (右)

## 静电

吸附在计算机显示器上的颗粒是静电影响的一个显著实例。一些颗粒很容易带电,从而改变粉体中的力平衡,影响粉体特性。但粉体通常是电绝缘体,简单地将带电粉体接地,几乎没什么改善。出于安全原因,将工艺设备“接地”是操作惯例,但不能认为,该操作将能完全消除松装粉体中的静电形成。更有效的方式是优化粉体中的含水量。水通常被认为不利于粉体流动,但在带静电的粉体中,水可作为导电介质。这样,水可提供有效的接地路径,释放系统中的静电,并能让颗粒流动地更加顺畅。

在粉体喷涂(汽车业)或墨粉(激光打印)应用中,粉体的静电属性是应用成功的基础。其中,墨粉颗粒的表面改性,可调节松装墨粉的带电特性,使得它们在指定工艺应用中表现出最佳性能。



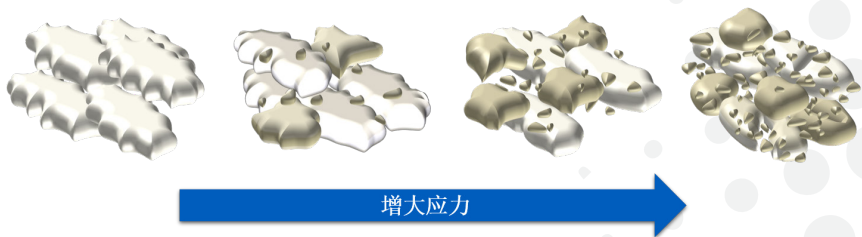
粉体中的静电积聚可改变行为

## 物理变化

在处理粉体时,颗粒的一些属性可能会发生变化,有时是有意为之,有时则不是。例如,颗粒的亲水性可能会发生很大变化。在潮湿环境中,根据粉体吸水能力的不同,处理能力也会发生变化,而某些设备操作(如湿法造粒)的性能也会受到影响。

另外,在受到压力时,机械属性不稳定的颗粒会磨损。磨损会导致颗粒尺寸减小,颗粒形状变化,增大表面积,改变表面属性,所有这些都会影响粉体特性。

在许多情况下,工艺步骤生产出统一的产品,但同时,可能会无意且不可逆转地更改颗粒和粉体的属性。比如,我们经常看到在喂入粘性粉体时出现的团块和密实化现象。螺旋喂料器常用于控制材料喂入下一个过程步骤的流速,但粉体会受到很大的剪切和压缩力。因此,当通过喂料器后,一些粉体将呈现非常不同的属性,而这往往是不希望看到的。



在应力作用下,颗粒可能会磨损,导致颗粒尺寸减小,形状和表面积发生变化

粉体特性极为多样,无法只通过一种测量方法来获取,更不用说一个数字。在粉体测试中使用多种方法现已被认为是最有效果的策略

## 使用单一参数的误区

对粉体进行测试,回答一系列问题,包括:-

- 如果制造时使用干粉直压工艺,混合是否能产生高质量片剂?
- 我能否确定这种粉体涂层会在客户设备中很好地流动?
- 这种新原材料是否能在我现有混合器中实现良好的混合均匀性?
- 对于这种新材料,应如何严格控制存储条件?
- 为确保理想的最终产品属性,粒化所需的最佳含水量是多少?

这些问题只是粉体处理行业中可能询问的数百个问题的一小部分。

粉体特性很复杂,涉及方方面面,需要结合多种不同处理环境来了解某种特性。因此,无法仅凭一个数字或一项技术来全面描述粉体。就像无法只用一个形容词来描述一个人一样。简单测量豪斯纳比率可以给我们提供对特性的一些认识,但这种认识很有限,想要通过一种分析就获取深入了解,实现高效处理,这是不现实的。



# 第3节

## 粉体流动性亮点

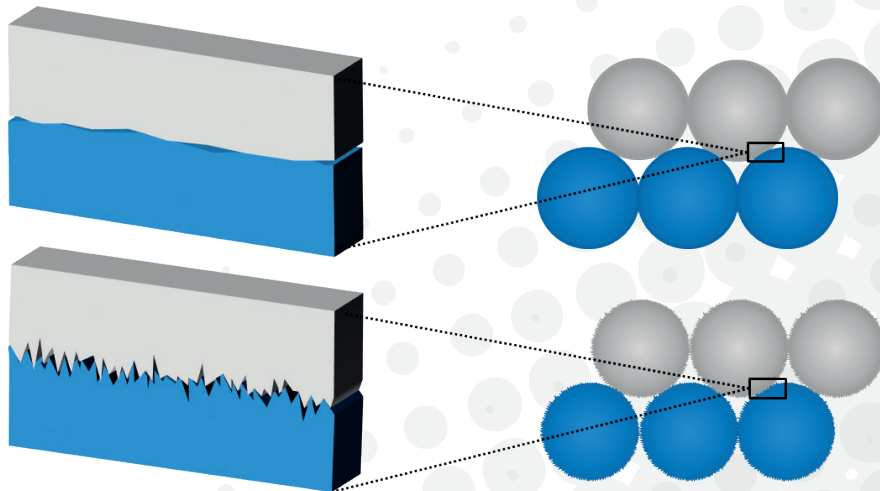
关于粉体的流动方式,最明确的特点是它极具争议。许多工艺都与流动性有关,它通常是工艺效率的核心问题。在本节中,我们将详细了解颗粒之间相互作用的机制,以及它们如何变成松装粉体流动特性。

当粉体流动时,其中的颗粒将彼此相对运动。确定运动难易程度的机制有:

- 摩擦力 - 颗粒之间以及颗粒与设备表面之间
- 机械咬合 - 与颗粒的形状有关
- 液体搭桥 - 导致毛细力
- 内聚力 - 静电力和范德华力引起的颗粒之间的相互作用力
- 重力效应 - 与颗粒的密度和尺寸直接相关

## 摩擦力

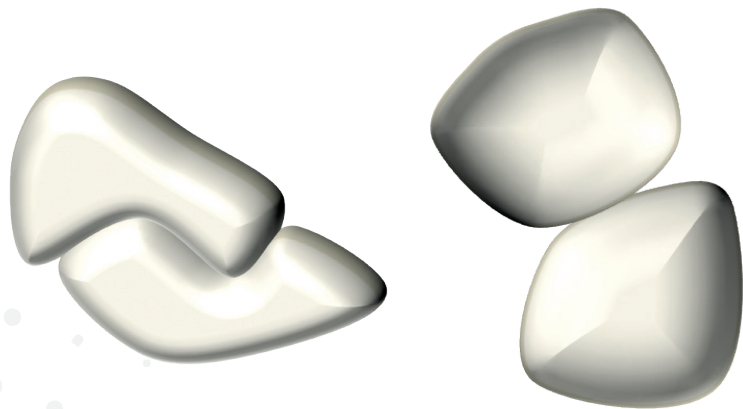
由于接触点的摩擦力小,平滑颗粒彼此更容易相对滑动。同样,颗粒与过程设备壁之间的摩擦力也将受到颗粒和结构材料的表面属性的影响。表面粗糙度和材料的化学属性也会影响摩擦作用力。



假定所有其它特性都相同,颗粒表面越平滑,摩擦作用力就越小,流动就越顺畅

## 机械咬合

右图所示的颗粒形状互补，会形成很强的机械咬合力。当出现这种情况时，即使表面摩擦力很小，颗粒也将严重阻碍运动。而上文右图所示的颗粒，由于圆形形状，受机械咬合力的影响较小。在这种情况下，虽然它们之间的净作用力仍受到其它机制的影响（例如，摩擦力），颗粒更容易彼此滑过。通常，由不规则形状颗粒组成的粉体，其流动性较差。



某些形状的颗粒会机械咬合并阻碍流动

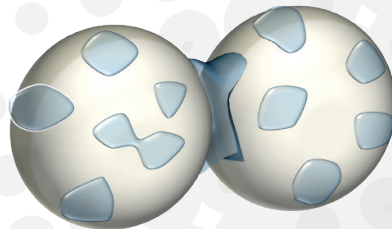


## 液体搭桥

普遍认为，吸收的水分对粉体流动性有负面影响。虽然并不总是如此，但液体搭桥显然有损流动性。粉体中的液体容易包裹在颗粒表面，形成液体桥结，阻碍颗粒彼此自由移动。

湿法造粒对这种效果加以利用，水被用于结合各个粉体颗粒，形成更容易处理的晶体粒，并具有更好的压缩性。在其他地方，水分不受控制的渗入，会严重降低材料品质，影响加工性能，促使粘结，降低生产率。粉体颗粒与处理设备壁之间也会形成粘附力，增大处理难度。

但正如前文所提及，水可帮助释放静电，提高流动性。所面临的挑战是，必须确保松装粉体中包含足够的水，以最大程度降低静电效应，但水又不能过多，致使颗粒之间形成毛细管联结，降低流动性。



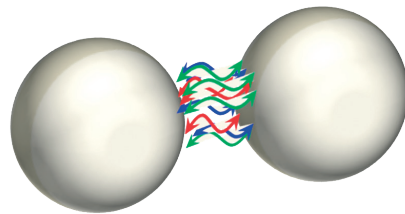
液体能够在颗粒之间建立桥梁，  
从而降低颗粒的独立性

## 颗粒内聚作用力

相互吸引的粒间作用力的固有强度(通常称为内聚力)来自于颗粒表面的范德华力和静电力的共同作用。它们通常是张力,将相邻的颗粒保持在一起,抑制单独的颗粒运动。它们会导致形成团块,是许多处理和质量问题原因。

根据颗粒化学成分、形状和表面结构、松装含水量以及处理历史的不同,粒间作用力的绝对值将呈现巨大差异。它们也会随时间变化,当静电释放后,粉体可视为松弛(例如,在高剪切混合过程后)。

内聚力可能是所有颗粒最具挑战性的应力-颗粒相互作用,很难测量和建模。但在许多工艺和应用中,它们对粉体特性的影响最大,特别是粉体未压缩,需要流动的场所。填充、混合、传送等工艺操作和干粉吸入器等应用中,粉体内聚力是主导力。因此,必须很好理解并准确量化这些力。



粒间作用力作用于接触的和十分靠近的颗粒之间

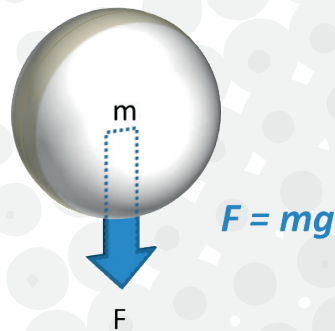
## 重力

本节到目前为止,我们已经考虑限制颗粒(以及颗粒独立性)的力。一般而言,它们的影响越大,粉体的流动性越差。但在高内聚力、不规则形态和高表面摩擦力的粉体中也能观察到流动,那么,很显然,有一个很重要的驱动力导致颗粒运动。该力即重力加速度所施加的重力。

我们先忽略运动中颗粒的惯性,作用在松散堆积的静态颗粒上的主要力是重力—其重量。因此,颗粒能够开始流动,特别是未固结的粉体中的颗粒,很大程度取决于所作用的重力。因此,含大尺寸颗粒或高密度材料的粉体,在松散堆积时,流动性比较好,因为颗粒的本身重量,从而作用其上的重力,比较大。

所有约束力和重力驱动力之间的关系决定了颗粒是独立移动,还是作为团块一部分存在,而后者这种情况中,粉体流动受到团块质量及它与周围团块关系的影响。有个常见的误

解,认为颗粒尺寸小的粉体内聚力要大,事实上,这并不一定。在这种情形中,由于颗粒质量很小,作用在颗粒上的重力很小,而虽然内聚力绝对值可能很小,但相比于重力,内聚力显得很大。对于含大颗粒的粉体,颗粒之间的内聚力可能较大,但由于颗粒质量大,重力占主导地位,颗粒可独立流动。



$F = mg$ , 其中,  $g$  是重力加速度。重力是作用在颗粒上的唯一驱动力

一般而言,松散堆积的粉体,如果:-

- 重力大于所有约束力,颗粒可移动,粉体将自由流动

极端实例如,包含球形大颗粒、表面摩擦力小和电导性好的粉体。

- 重力小于所有约束力,颗粒不可移动,粉体结团,流动性不佳

极端实例如,包含不规则形状小颗粒、表面能量大、表面摩擦力大以及一些粘结剂(例如,过量的水或脂肪)的粉体。

当然,这两种极端情况之间有着无数种的中间关系,再加上在颗粒尺度下,每种力都是一个变量,会随粉体环境改变,使得问题变得更为复杂。

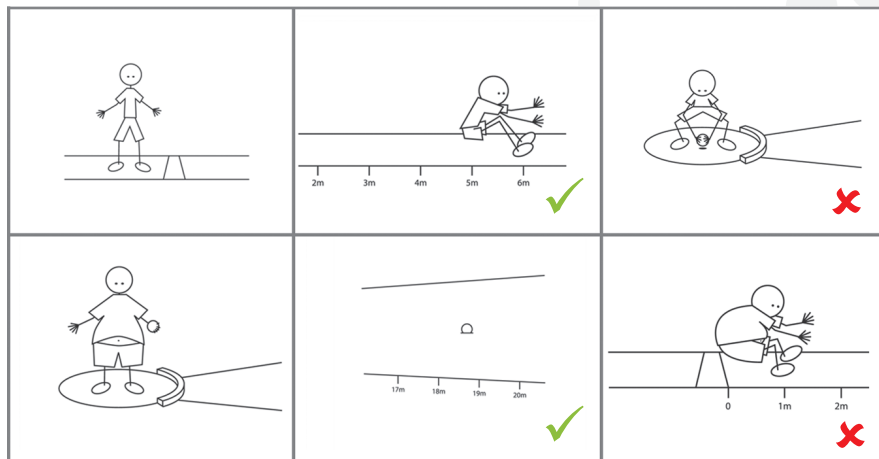
# 第4节

## 工艺环境

对于大多数粉体加工商来说,粉体特性不是一个学术问题,而是时常面临的日常挑战。粉体在处理时,受到各种不同设备操作下的不同应力和环境条件的作用,包括:-

- 料斗
- 喂料器
- 混合器/搅拌机
- 造粒机
- 干燥仪
- 传送机
- 磨粉机
- 挤出机
- 填料机
- 压缩过程

粉体本身并无好坏之分,它们可适合不同状况。要开发出最优粉体工艺,需要对粉体的本质特性和工艺需求有充分了解,并确保两者匹配。如果不能做到,则需要修改其中一项或者两者,以实现长期高效处理和高质量产品。在最后一节中,我们将详细探讨工艺环境及其对产品属性和质量的影响。



就像运动员一样,粉体有不同的特性,使得它们可适合各种不同的工艺和应用。选择和配置适合粉体内在属性的工艺操作是确保成功的关键

我们考虑这样一个情况,在充分装填的料斗中,出料粉体的环境及其上作用的应力。粉体流动由重力产生,与其它过程相比,流速通常较小。在其上方材料重量的长期(根据驻留时间)作用下,粉体固结,该重量对出口上方的粉体形成一个中到大的应力环境。粉体和料斗壁之间的摩擦作用是另一个重要因素。在出料时,料斗底部的阀打开,存储期间作用在粉体上的固结应力现在全部作用其上,压迫粉体流过阀门。

要了解粉体在工艺中的行为特性,  
最好模拟工艺环境条件进行测试



料斗下料:低流速,高应力环境

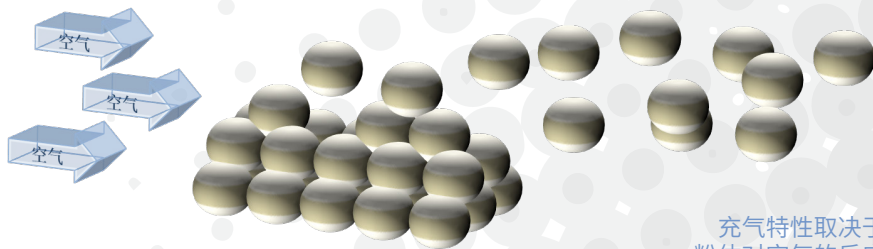
在这种环境下,因为粉体床施加的重量,可压缩粉体的行为特性更容易改变。粉体和结构材料的组合,使得料斗壁摩擦力很小,对加快粉体流十分有利,而粒间作用力也相对较小。在应力作用下,颗粒被挤压到一起,因此,摩擦力和机械咬合力很可能是主导粉体流特性的机制。内聚力也可能存在,但与其它这几个机械作用力相比,它们可忽略不计。

因此,在这种环境下,评估或预测粉体特性最有关系的是:

- 粉体在中到大应力条件下的剪切属性
- 粉体和料斗结构材料之间的摩擦力
- 压缩性和密度数据

- 透气性,特别是料斗出口连接到传送槽或其它消除空气回流的硬件时

将料斗应用与气动传送、粉体喷涂或通过如干粉吸入器进行的药物输送期间粉体充气时发生的情况相对比。在这些情形中,作用在粉体上的外部压力很小或没有。空气随着样品被吸入,可能会形成颗粒间润滑、充气并最终将粉体膨胀为一股离散的颗粒流。



充气特性取决于  
粉体对空气的反应

此时, 需要关注的问题和答案是:-

- 粉体的内聚力有多大 (这会严重影响它对充气的反应)?
- 充气后, 粉体流特性会发生怎样的变化?
- 粉体有没有流化?
- 如有, 该粉体的最小流化速度是多少?
- 颗粒是否稳定, 还是已经磨损?

因此, 对于该应用, 必须根据适用于料斗环境的各种标准选择候选粉体。在该低应力环境中, 内聚力将决定粉体流的特性, 而不是临近颗粒的作用力机制。高度内聚的粉体不大可能顺畅流动, 或展现稳定、均匀的流化性和逐渐扩散。但内聚性粉体通常透气性较低, 因此, 在重启过程中, 容易坍塌性掉落, 形成高能扩散, 这可能对应用有利。然而, 需要根据特定应用考虑最优扩散机制。

实际上, 每个工艺或设备操作都将关注不同的粉体属性组合。以传输过程为例, 在该过程中, 粉体因振动和常规作用应力而固结, 这可能会出现问題, 如果粉体存储条件不当, 将导致粘结。在模具填充期间, 性能根据粉体在重力作用下快速均匀流动能力 (通常在低应力作用下) 和粉体快速释放空气的能力来确定。

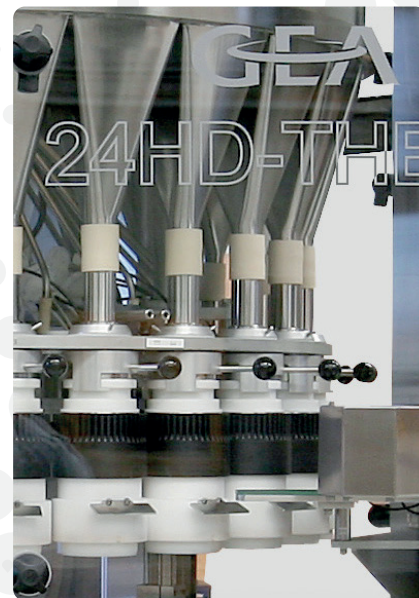
确认工艺环境的影响是理解将粉体特性变为制造性能的基础。如前文重点说明的, 每种工艺或设备操作, 都由一系列独特的粉体属性确定性能。通常有多个变量, 在各种应用中, 这些变量的组合各不相同。



正因如此,使用单一数字方法测试粉体无法奏效。特性的复杂性,以及对敏感、差异化和工艺相关信息的需求使得单一数字测试技术极受限制,也不是很有用。与之相反,不管是哪种行业、应用或粉体,多种特性均能够为确保良好的工艺-粉体匹配提供所需的深入信息。

这是理解和确定粉体特性最终关注的问题。处理不当工艺设备和/或无法产生高质量最终产品的粉体,会让您遭受连续不断的挑战,而极为匹配的粉体-工艺组合则可助您实现长期高生产率、高性能和高盈利。

粉体和工艺相匹配是实现制造效率长期最大化的关键。



GEA Avapac 2014 版权所有

# 第5节

## 总结

- 粉体是包含固体、液体和气体的多成分松装组合物。
- 因此,它们所呈现出的复杂特性,无法单单通过颗粒属性来预测
- 这种复杂性使得粉体处理和测量成为一项挑战,但同时,也提供了一系列有工业用途的特性
- 粉体所呈现出的特性是其内在属性和外部环境的函数。因此,工艺环境是一个附加变量,在确定粉体特性时必须加以考虑
- 测量特定应用的众多关键粉体属性,有助于确保良好的工艺-粉体匹配
- 确保粉体和工艺相符是确保长期高效制造和生产高质量产品的关键

**freemantechology**

英国富瑞曼科技

上海青浦区徐泾镇双联路88号三银基金园D座一楼

电话: +86 400-630-220

info@freemantechology.cn

**www.freemantechology.cn**

“富瑞曼”为Freeman Technology Ltd的注册商标版权

英国富瑞曼科技有限公司隶属于美国 麦克仪器公司

版权 © 2016 富瑞曼科技