

选择粉体测试仪

freeman*technology*

英国富瑞曼科技



致辞 Tim Freeman

各种粉体测试技术在许多行业的日常应用十分广泛，商用市场上的粉体测试仪也可谓丰富多样。因此，想要为特定应用选择最适合的测试仪颇有难度。各类粉体测试仪在功能、复杂度、自动化程度和成本方面具有很大的差异。本手册是该系列的第二本，是Freeman Technology使用粉体测试技术解决工业问题的丰富经验结晶。我希望它能够为您在选择最适合您特定需求的粉体测试仪方面提供一些实用指南。

A stylized, handwritten signature in white ink, consisting of a cursive 'T' followed by a long horizontal stroke.

总裁
富瑞曼科技有限公司

选择粉体测试仪

关于如何选择粉体测试仪可谓是众说纷纭。测试技术为数众多，仪器多种多样，反映了数十年来开发合适方法确定重要工业材料特性的努力成果。一些粉体测试仪相对便宜，而有些则需要很大的资本支出。因此，了解各种测试仪能够测量的参数以及结果数据的潜在价值，具有重要意义。一言蔽之 - 避免花不该花的钱，但也不要对简易设备抱太大希望。

而关于如何选择分析型仪器，关键的第一步是考虑为什么要采集这个数据，要测量的参数是否与相关任务最为密切。回答好这些问题，才能合理选择适当的测量技术。

为此，本手册提供了一些基本指导，介绍了如何选择最适合的粉体测试仪器，探讨了下列问题：

- 粉体测试为何是一项复杂的工作？
- 我应该关注粉体测试方法的哪些方面？
- 传统技术 (包括美国和欧洲药典中介绍的技术) 的优势和限制有哪些？
- 粉体测试仪器的哪些特性决定了其是否实用？

目录

页

第1节:

为什么要测量粉体？确定测试需求

为什么要测量粉体属性？我们从这里开始讲起。了解有助于确定仪器的哪些特性具有吸引力，设定一些选项评估标准的信息需求。

6 - 7

第2节:

粉体特性鉴定方面的挑战

可使用多种方式对粉体进行量化。我们将探讨致使粉体测量与液体和气体分析不同的原因，以及它对结果的相关性、灵敏度和实用性的影响。我们还将探讨为何单一数字定性方法无法充分描述粉体特性。

8 - 12

第3节:

评估各类选项

本节回顾了一些较传统的粉体测试技术的优缺点，包括美国药典中粉体流动性章节USP 1174中所列出的所有技术。我们概要介绍了各种技术的工作原理及其优势和劣势。

14 - 23

第4节:

灵敏度和工艺相关性的价值

评估一些传统粉体测试方法，并比较各自的优缺点。我们给出了展示测量数据与工艺性能和应用相关性的数据。而且重要的是，我们还探讨高灵敏度的价值以及它能带来的实际好处。

24 - 25

第5节:

总结

总结粉体测试仪选择时要考虑的因素。

26

第1节

为什么要测量粉体？确定测试需求

在评估分析技术时，探寻测量原因是一个有效的入手点。解决这个问题有助于为评估技术设定一些标准。因此，我们先从一些可确定粉体测试需求的实际问题开始：

- 这种配方在我们现有搅拌器中是否能很好地混合？如果不能，能否优化混合工艺，使其适合粉体属性，或改良配方，使其兼容性更出色？
- 如果最终产品仍能满足规定的技术规范，但为何客户对新批次产品的抱怨反而越来越多？
- 为什么我们的工艺大多数时间都能正常运作，但偶尔会发现填充重量/压缩属性/颗粒密度/卸料速度/效率等方面存在变动？
- 能否使用这种低成本原材料，又不影响工艺效率或产品质量？

- 确保该原材料不结块的存储条件范围是多少？
- 哪个工艺步骤对产品质量影响最大？
- 这种新原材料能否从我们现有的料斗中卸出？
- 如何为这种新产品或配方开发最优工艺设计？

这些问题旨在强调在工业应用中，为何始终要执行粉体测试为解决某个问题或满足特定需求。粉体测试最优先最重要的目标是，必须提供与要考虑的问题直接相关的信息。要确保测试数据有用，其必须具有相关性，理想情况下，我们应将其与工艺或产品性能的某些方面相互关联起来。

这看起来非常简单，但实际上，许多测试方法对操作相关性无能为力。对照该要求严格评估一种方法所提供的数据，这是问题的关键。

另一个关键问题是这些问题突显了差异化需求。目标可能是对配方的微小变动进行量化，或从一系列相似选项中找出最佳的原材料。这就要求测试极其灵敏，能够检测出重要但通常很微小的差异。

技术越灵敏，区分在许多方面相似的样品的能力就越强。使用更灵敏的方法，就能够实现更严格的质量控制。在故障检测时，灵敏度越高，就越容易检测出触发问题的微小变动。因此，高灵敏度可转换为真正的价值。

粉体测试的工业需求要求能够以相关和灵敏的方式检测粉体差异化的实用技术。

第2节

粉体特性鉴定方面的挑战

任何处理粉体的人员都认为有必要进行测试，但问题是很难清晰定义测试工具包。针对常规用途的粉体测试方法有很多，但公布的粉体属性数据组却不多，因为实际应用中各行各业的差异很大。为什么会这样？

在粉体特性主题简介手册“粉体简介”中，我们探讨了相关事实，指出粉体是由颗粒、气体 (通常是空气) 和液体 (通常是水) 组成的松装复合物。我们总结了粉体的多种特性，说明了它对选择合适的粉体测试仪的影响，请参考该手册，了解粉体特性的更多信息。

相关性

粉体的表现方式由系统中各种成分之间的共同作用决定：颗粒、气体和液体。这些相互作用催生了粉体一系列令人感兴趣的特性，使得粉体能够：流动；压缩；充气和/或流化；固结；团聚；粘结；带静电等。



这些特性赋予了粉体工业价值，也意味着可使用多种参数对它们进行量化。但也引发了一个问题，哪些才是相关的属性？

实际上，对于任何一种应用，都有一组主导性能的属性，因此，量化描述这些特定属性的参数十分重要。例如，如果将粉体用于稀相气动输送，则粉体对空气的反应十分关键。而透气性测量和关于充气特性的信息极为相关。而对于压片，无约束流、壁摩擦力和压缩率则是关键变量。

因此，对于各种应用以及工艺步骤，各项粉体属性的相关性不尽相同，且不存在普遍实用的单一粉体属性。这就不难解释为何要结合使用不同方法，同时也印证了仅测量粉体特性某一方面的技术存在严重局限性。

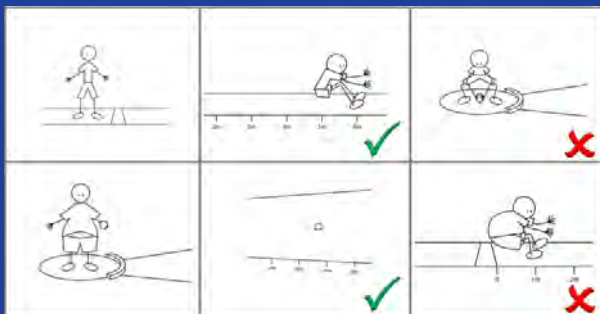
粉体展现多种不同的行为属性，因此需要测量多个特征。对于各种应用，与性能关系最大的属性各不相同。因此，测量单一属性的技术有着固有限制。

使用单一参数的误区

在寻找合适的粉体测试仪时，很多人都说想要一种仅凭单一参数就能分辨粉体好坏的理想仪器。这种想法存在两个问题：仅凭单一参数获取粉体的完整特性，最终主观地分辨粉体的好坏。

我们可以拿两名运动员来作类比。一名运动员又高又瘦，步幅很大。他是一名优秀的跑步运动员，并且在跳远等运动中也有很好的表现。另一名运动员较矮，但上身力量较强。他有潜力成为世界级的铅球运动员。我们没法用单一属性来判断这些运动员的好坏，也没法用一种描述信息鉴别出特定体育项目的优秀候选人。每种体育项目都需要不同的属性组合，因此在各种情况下，“好”的定义也是不同的

粉体本身是相同的。需要使用多个参数来定义成功与否。适用的参数组取决于具体应用。



灵敏度

取得粉体测试成功的第二个因素是灵敏度。当前，无法通过测量颗粒的物理属性预测粉体特性。例如，无法通过颗粒尺寸和颗粒形状数据确定粉体流动性。所以，必须测量松装粉体整体的属性。然而，这需要测量整个系统，而不是其中的颗粒，也就是说，许多变量都会影响分析。

在测试粉体时，仅仅因为样品发生如下更改，结果就会发生变化：

- 在测试时改变堆积结构 (抽走空气)
- 从工艺环境中取出时，进行烘干或吸取水分
- 在测量之前是否有震动或振动
- 是否倒入容器 (充气)
- 吸附更多或更少静电
- 未进行适当采样

这使得在粉体测试中实现高灵敏度变得很困难。灵敏度在某种程度上依赖于再现性和重复性，当影响结果的变量很多时，就很难控制。

这直接引出了哪种特性可赋予技术或测试仪更高灵敏度这个问题？这其中涉及到许多重要因素。它们包括：

- 采用的测量原理
- 样品制备的有效性
- 测试仪器的设计和构造质量
- 分析方法的定义
- 自动化程度

尽量减少手动输入，使得技术在工业环境中的例行测量更加实用，提高重复性。

固有灵敏度出色的方法、设计合理的仪器、优化的样品处理和制备过程以及自动化方法都可提高重复性和再现性。未明确定义的手动方法和/或受到操作员变动性影响都将降低重复性和再现性。这是粉体测试中广泛认可的问题，对数据价值有直接影响。再现性不佳的方法会产生偏差很大的结果，使其很难区分样品。是样品本身不同，还是只是分析技术的人工误差？

实用性

许多加强灵敏度的问题也会影响实用性。要提高一种技术的重复性，最简单的方法之一是尽量减少或消除操作员的输入。同时，由于降低了操作成本，也使得技术更具吸引力。当需要操作员输入时，下列因素将使得分析变得更简单，更具重复性和实用性：

- 合理定义的方法和操作步骤
- 简单易用的软件
- 设计稳固且易于操作和组装的仪器和附件

关于重复性、再现性和灵敏度的一些关键词

这三个术语是评估分析技术的关键，因此，给它们清晰明确的定义很有价值：

重复性是与同一操作员使用同一仪器测量同一样品相关的变动性。因此，可用它评估仪器引发的变动性。

再现性是与不同操作员使用可能不同的仪器测量不同样品相关的变动性，因此，它包括操作员之间的变动性以及采样和样品制备相关的误差，还有因仪器导致的误差。

灵敏度是某种技术检测变动的能力。它是技术的固有功能，但也受到重复性和再现性的影响。

如果再现性和重复性高，技术将变得更加灵敏，但一些方法在本质上要比另一些更灵敏。灵敏度可直接转换成区别高相似度样品的能力，有直接解决问题的价值。

第3节

休止角测量根据粉体堆停歇时的角度量化粉末流动性。

评估各类选项

上一节介绍了粉体测试方法评估和应用这些方法的仪器的坚实基础。明确了选择标准后，我们现在便可探寻一些常用方法。

休止角

休止角是最简单最古老的粉体测量方法，在医药领域和其它粉体加工行业应用十分广泛。

工作原理

休止角测量依据的前提是，粉体堆停歇时的角度取决于粒间作用力的强弱。通过测量粉体堆与水平面之间的角度，可推测粉体流动的难易程度。可根据该角度对粉体流动性进行分类。25 - 30°表示样品流动性极佳，而超过 66°则表示样品流动性极差[USP 1174]。

优点

- 测量快速
- 原理简单
- 美国药典方法
- 设备成本低

缺点

- 方法定义不良 - 例如，倒出粉体的容器高度可能相对于底部有变化或保持不变；可能会以固定直径形成粉体堆，或允许扩散
- 精度不佳 - 一个粉体堆可能会形成多个角度设备成本低
- 重复性和再现性差 - 方法取决于操作员技术、设备选择和使用的的方法。漏斗中充气、固结和分层都会影响得到的结果
- 如果粉体无法从漏斗中自由流出，将无法得到数字结果

总结

休止角测试的测量原理容易理解，操作也简单、快速，相对也容易。然而，这种方法有一些固有的局限性。

虽然休止角是一种成熟的技术，但测试协议却没有实现标准化。它也是一种手动方法，依赖于操作员的技术。灵敏度不高，结果的相关性也不总是很明确。特别是涉及固结、充气或流速变化的工艺，因为这些问题都无法直接研究。粘性很强的粉体可能无法排出，从而无法测量。



通过孔口的粉体流

通过孔口的粉体流与休止角测量有许多相同特点，但使用这种方法评估流动性更加合理。

工作原理

在通过孔口的粉体流技术中，需要测量流经确定尺寸孔的粉体流速。可连续（记录一定时间段内的流速）或离散测量（已知量的粉体的排出时间）。一般使用基于体积或质量的方法。还可通过测量可流动的最小孔径，进行比较测试。多种变量会影响结果，包括粉体流出的容器类型和孔口尺寸等。测试可手动或自动执行

优点

- 测量快速
- 设备成本通常较低，虽然自动化系统比手动操作的设备要昂贵的多
- 可提供直观的结果
- 美国药典方法

缺点

- 重复性差 - 测试前样品如何被加载到容器对结果影响很大，因为会影响堆积变动性可提供直观的结果
- 结果取决于操作方法和设备，而它们又带来了许多变数。数据未标准化，难以进行交叉比较
- 可能会产生“空”结果，特别是粘性较强、不容易流动的粉体

总结

流经孔口是一种直观的技术，操作简单，易于理解。它对监测粉体流的质量和检测脉动流特性趋势（粉体以迟缓形态流动，而不是以连续速率形式）很有用。然而，堆积密度、容器类型、结构材料和粉体流化床体积的不同将致使测试结果出现大幅变动。重复性和再现性都很差，该技术实际只适用于能够自由流动的粉体。



通过孔口的粉体流技术包括测量流经确定尺寸孔的粉体量。

振实密度 - 卡尔指数/豪斯纳比率

振实密度技术十分简单，应用也相对容易。豪斯纳比率和卡尔指数 (CCI) 是密切相关的参数。卡尔命名法即通过轴向振动诱使粉体固结，而非直接压缩，由此来确定流动性。

$$CCI = \frac{\rho_t - \rho_p}{\rho_t} \times 100$$

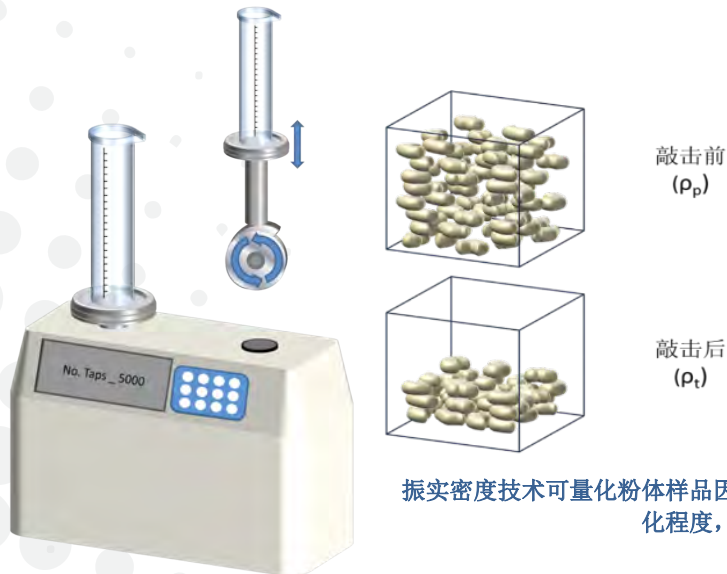
$$HR = \frac{\rho_t}{\rho_p}$$

其中

CCI是卡尔指数
HR是豪斯纳比率
 ρ_t 是振实密度
 ρ_p 是倒入密度

工作原理

振实密度测量的原理是粉体样品在振动时发生的松装密度变化与材料内聚性相关。当振动样品时，其中的颗粒将会挤成更密集的堆积状态。颗粒在粉体床中的移动能力受粒间作用力的影响，该力也影响着粉体流动性。从而，振动引起的密度增加与粉体流动性相关。



振实密度技术可量化粉体样品因振动造成的密度变化程度，以确定粉体流动性。

在振实密度测量中，将固定量的粉体倒入测量圆筒中，然后垂直“振动”，可以振动固定次数，或者直到体积不再变化。粘性较强的粉体，密度变化较大，假设粘性粉体在未固结时堆积得松散，因此，振动时比较容易增密。CCI低于10、豪斯纳比率介于1–1.11之间的样品被认为十分容易自由流动。粘性极强的材料的CCI可能超过38，豪斯纳比率大于1.60 [USP 1174]。

优点

- 成本相对较低
- 美国药典方法

缺点

- 重复性差，因为很难实现初始体积的均匀密度，且不同填充方式有差异。
- 灵敏度受到可在圆筒上测得的精度水平的限制，因为一开始实现平整表面很难

缺点

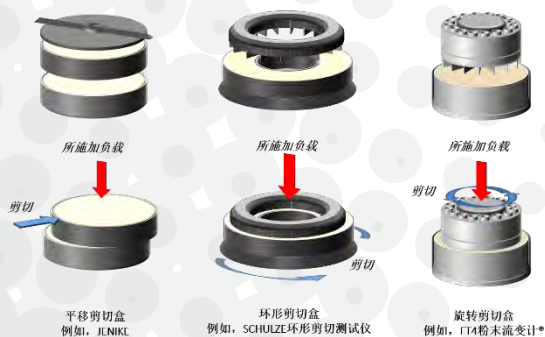
- 当前有许多“标准”方法，但没有一种确定的设备配置和方法
- 虽然振动通常使用自动化过程实现，但是对于不同设备，其频率、幅度和旋转也各不相同
- 对于粘性很强的粉体，结果与直觉相反
- 测量本身会发出较大的噪音

总结

振实密度测量简单快速。它们可提供样品内聚性的一些认识，但该技术不怎么灵敏。对于自由流动的材料，结果有一定的重复性，但差异较大。对于粘性粉体，很难使用这种方法进行测试，重复性很差。测试设备以及使用的方法的差异使得各种测试配置之间不好比较。许多粉体不符合流动性差与体积变化大有关的假定，如硅胶就是一例。

剪切盒分析法

剪切测试以土壤力学为基础，由Andrew Jenike在20世纪60年代进一步发展而来，他的开拓性举措为料斗设计提供了科学的方法。虽然出料特性和料斗设计的科学原理尚不完善，这种方法至今仍在使用，剪切测试技术也随之发展。而如今的剪切测试应用已远超其初始目的。



剪切盒测试仪测量相对于另一个平面剪切一个固结粉体平面所需的力，以量化粉体样品中的内聚力。

工作原理

简而言之，剪切测试涉及相对于另一个平面，剪切一个固结粉体平面所需的力的测量。相似的方法也应用于测量壁摩擦力 - 制造工艺设备的试样材料与相关粉体之间的摩擦力。两种测试类型的数据都被用于料斗设计中。在料斗中，粉体由于上方材料的重量而固结，被强制相对自身或容器壁移动，因此，这些测试的相关性很明确。对于测试固结粉体从静态变为动态的难易程度，剪切测试很有用。

日常使用中有各种不同设计的剪切盒，反映了改良技术和提高测量精度方面的努力成果。使用该技术，可合理控制实验环境，因此，可以大胆使用精密仪器，评估在料斗中在固结状态下粉体的特性。

优点

- 与其它美国药典方法相比，实验控制程度高，可在一定程度上评估工艺变量 (即固结应力) 的影响
- 生成可直接应用于料斗设计计算的数据
- 对评估中到高应力水平下的固结粉体特性很有用

缺点

- 结果不能预测粉体在低应力条件和/或动态环境 (如搅拌器中、填充工艺或流化时) 下的特性
- 对于可自由流动的粉体，测量差异化较小
- 施加的固结应力可导致粉体属性 (例如，颗粒破碎或分解) 改变，产生误导性的数据
- 对于一些设备，测试的手工操作强度大，也很耗时

总结

剪切盒测试是一种定义明确的技术。设计合理的剪切盒测试仪可实现良好的再现性，给出相当有价值的结果。数据专门用于料斗设计，并可进一步推广至中到大应力环境下的粉体特性评估。然而，剪切盒数据对于预测低应力条件、高速流动或流化时的粉体特性没有太大用处。因此，剪切盒测试在粉体加工应用中存在限制。

动态粉体测试

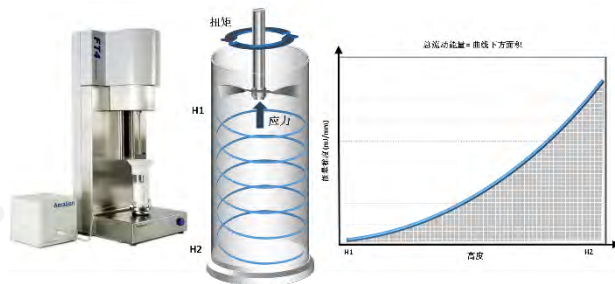
动态粉体测试涉及测量运动中的粉体。该技术在20世纪90年代发展而来，主要为了应对直接测量粉体在模拟工艺环境下的流动性的需求。通过动态测试，可测量在固结、中等应力、充气或甚至流化状态下的粉体，以代表日常粉体加工的整个应力范围。

工作原理

动态粉体属性可通过测量刀片或叶片在粉体样品中精确旋转时作用在其上的轴向和旋转力来量化。这些属性包括基本流动能（BFE，测量低应力粉体的约束流属性（挤压流））和比流动能（SE，低应力状态下粉体的无约束流属性（挤压流））。SE与预测粉体在低应力应用（例如，重力填充）中的流动有很大关系。

有许多完善的方法测试所有的动态属性。样品预处理是这些方法的一部分，确保粉体以可重复的状态进行测试。这两个因素以及动态粉体测试仪的精度设计，使得这种技术的重复性和再现性都很高。由于动态粉体测试仪的机械和电子特性以及所使用的测试方法大部分已自动化，动态技术本质上很灵敏。

在空气穿过样品时进行测量，可直接量化粉体对空气一直到流化点（如果适用的话）的反应。类似地，在固结粉体上测量可预测高应力环境下的流动属性。也可采用相同的动态方法研究其它变量（例如，流动（或应力）速度、水分含量、存储时间和静电效应等）的影响。



动态测试测量运动中的粉体，可应用于固结、中等应力、充气或甚至流化状态下的样品。

优点

- 通过与工艺特性直接相关的属性提供直观的结果
- 可在固结、中等应力、及各种模拟工艺条件下测试粉体
- 高重复性、高再现性和高灵敏度
- 良好定义、充分自动化的测试方法
- 一些动态粉体测试仪还可测量松装粉体属性 (如密度、压缩性和透气性等), 并提供剪切盒功能
- 需要的样品量极少

缺点

- 经验方法, 意味着对数据的解析很困难
- 与其它测试方法相比, 测试设备需要更多的投资

总结

动态粉体测试在20世纪90年代末开始投入商业使用, 使得粉体测试广泛用于许多领域。动态测量灵敏度很高, 可区分其它技术 (包括剪切测试) 认为相同的样品。在应对从产品开发到加工和质量控制的粉体特性问题上, 也有切实的好处。能够直接量化粉体对空气的反应特别有用。

样品制备的问题

从之前的讨论可以很清楚地知道，样品制备被认为是影响重复性的一个因素，但有完善样品制备程序的确定方法不多。振实密度测量的重复性受到一些因素的影响，例如，样品如何导入容器，样品是否水平。类似地，流过孔口粉体流数据受到负载变动的影响。最近几十年，应对样品准备问题的方法有了大发展。下列两个样品制备过程展示了对重复性的影响。

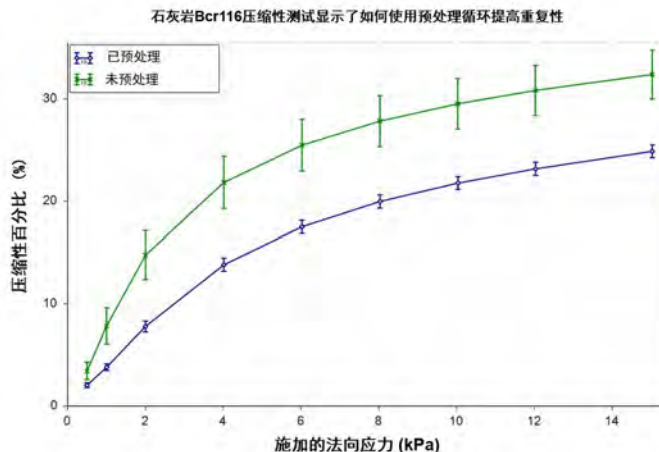
样品预处理

严重影响粉体流动属性的变量之一是装填状态。施加的应力大小和夹带的空气量可改变装填状态，这些改变不会自动反转。其结果是，粉体保留其加工和操作历史。例如，如果压缩了粉体，则其体积将减小。去除固结负载不一定能反转这种改变。

样品预处理是动态粉体测试仪的一个独特功能，它轻柔地搅拌整个样品，使其以均匀堆积的状态呈现。



样品预处理是动态粉体测试仪的一个独特功能。它将粉体以均匀堆积的状态呈现，消除样品搬运和装载历史的影响，提高重复性。预处理处理涉及轻柔搅拌整个样品，以便使粉体松散，并略微充气。其目的是打乱并轻柔地沉降每个颗粒，以便在粉体床上构建均匀的应力。该工艺可消除应力或去除多余的空气 (可能是由操作员在装载样品期间造成的)，它是所有测量必要的预操作 (除了要评估固结样品的之外)。下图给出了预处理可带来的显著影响。



容器切分

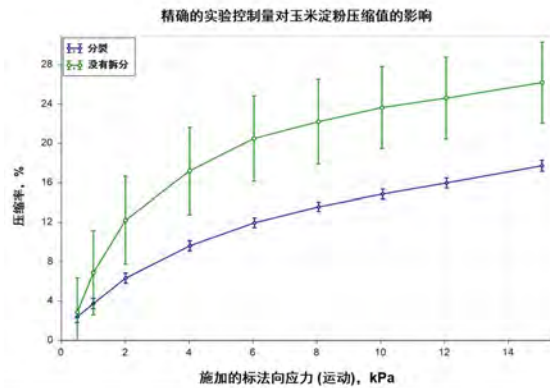
虽然“预处理”可控制装填状态，但确保样品量精确同样重要。“容器切分”就是针对此的功能。切分测试容器可通过水平表面确保一致的体积，无需：

- 抖动或倾斜
- 通过抹刀或类似物品刮平顶部表面
- 轻柔震动
- 过量填充容器



容器切分是一种干净、快速而又高效的方法，用于生成精确且固定量的样品供粉体测试之用。

在这些压缩性测试中，容器切分可提高重复性，还能确保数据准确



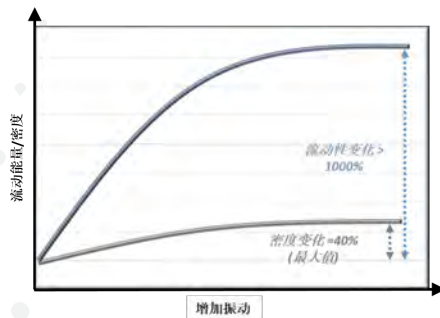
使用被称为“调平组件”的容器安装夹具，操作员可拆分容器，抛弃多余的粉体，生成精确且固定量的样品供测试之用。该方法干净、快速而又高效，无需操作员判断是否达到了目标量。下图所示的玉米淀粉数据展示了它对重复性的潜在影响。

第4节

灵敏度的价值

之前回顾的粉体测试选项暗示，灵敏度越高，通常仪器的价格越高。因此，在最后这一节中，我们将探寻灵敏度的潜在价值。

下图显示了振动对流动能量和振实密度的影响。振实到稳定固结的状态可致使密度发生大约40%的改变。而相同的振动水平，流动属性的变化可能超过1000%；或者，换句话说，在这种程度的固结后，粉末的流动性只有原先的十分之一。那么在实际中，这意味着什么？



对于本例，振动导致的流动性变化，比密度变化大几个数量级。

大多数粉体测试技术都会提供一些评级，虽然通常很粗糙。
问题是，技术是否与应用有关，是否有足够的重复性、再现性以及回答提示测量的问题的灵敏性。

在前面的章节中，我们已经探讨了需要考虑所测数据的相关性。这个例子强调的是，如果目的是想了解固结对流动性的影响，振实密度结果具有很强的误导性。

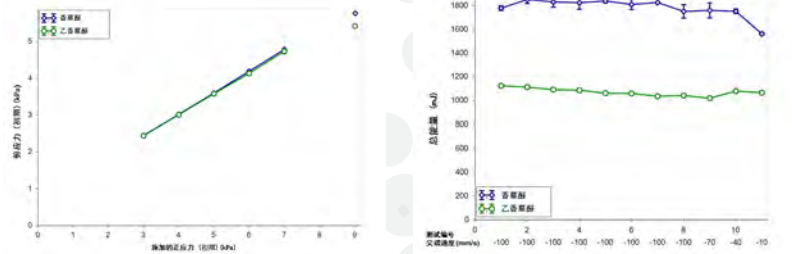
这些数据还体现了，如果我们使用振实密度监测振动固结的影响，我们只能使用相对不灵敏的技术，因为与动态流动性测量相比，它们的整体改变很小。这种相对很小的密度改变，最终会妨碍我们检测微小变化的能力。

回顾那些提示测量的问题列表，很容易看到缺乏灵敏度所导致的问题：

- 如果最终产品仍能满足规定的技术规范，但为何客户对最近批次产品的抱怨反而越来越多？
- 为什么设备大多数时候能可靠工作，但偶尔会出问题？
- 这种低成本给料是否会影响产品性能？

下图显示了一系列数据，展示剪切测试如何将两种粉体标示为相同，而动态测试则显示它们非常不同。

重申一次，这种差异可能很重要，也可能不重要，取决于相关的工艺。数据显示粉体在中到大应力环境 (例如，料斗) 下有相似的特性，但在充气或低应力流动时则不同。



剪切盒分析显示，这些粉体是相同的，而动态数据显示，它们在某些流态下表现得不同。

第5节

总结

明智选择粉体测试技术及其相关测试仪取决于切实了解您需要它做什么。简单便宜的设备也许能区分样品。而这些仪器通常仅提供一种粉体属性，而这种属性可能与工艺或生产性能有关或无关。更复杂的粉体测试仪可提供对粉体性能的详尽认识，提供从产品开发到生产和质量控制等一系列有用的信息。这些系统通常价格较高，但它们提供的信息所创造的价值，很快就能弥补仪器成本。

近几年来，粉体测试发展很快，但粉体加工商的需求也一直在发展。严格的产品质量控制是在全球市场最高层次竞争的关键；同样，制造要经济高效，因为加工能力不足已不再具有经济可持续性。在此类环境下，可使用可靠性和相关性出色的粉体测试仪，了解和控制产品和制造工艺，带来显著价值。

freemant*technology*

英国富瑞曼科技

英国富瑞曼科技有限公司上海代表处
中国上海市莲花路1733号华纳商务中
心512单元
邮编: 201103

电话: +86 21 6478 9668

传真: +86 21 6478 8689

info@freemantech.com.cn

www.freemantech.com.cn