



# 粉体流动性及喷流性测量方法及其应用

崔 灵, 笹边修司, 清水健司, 横山豊和

(细川密克隆集团公司 粉体工学研究所, 大阪 573-1132, 日本)

**摘要:** 使用以 Carr 指数法为理论基础研发的、唯一符合美国材料试验协会 (ASTM) 标准的细川综合测粉仪器——粉体流动性-喷流性测量仪的最新型号 PT-X 型, 采用 3 种粒度不同的日本工业标准 (JIS) 试验用粉体, 综合分析评价该仪器自动测量的先进性与可靠性, 并将其发展应用于纳米复合颗粒的物性评价, 探讨该测量法在生产与研发中的实用价值。结果表明, 通过改进 Carr 指数法测粉仪器的自动化水平, 可以提高粉体流动性及喷流性的测量精度与再现性, 并能将其应用在纳米复合颗粒的物性评价。

**关键词:** 粉体物性; Carr 指数; 流动性; 喷流性; 纳米复合颗粒

中图分类号: TB302.1 文献标志码: A

文章编号: 1008-5548(2012)01-0072-06

## Development and Application for Measuring Method of Powder Flowability and Floodability

Cui Ling, Sasabe Shuji, Shimizu Kenji, Yokoyama Toyokazu

(Powder Technology Research Institute, Hosokawa Micron Group, Osaka 573-1132, Japan)

**Abstract:** The newest model of powder tester PT-X, which was the only powder characterizing instrument based on Carr index method according to the ASTM standard, was recently developed. It was used to carry out tests with three JIS test powders having different particle sizes for the comprehensive analysis and the evaluation of its advanced and reliable features in the automatic measurement and so on. Then it was applied for the evaluation of nano-particles properties to discuss the practical value of this method in the production and research. The experimental results showed that automating the powder characterizing instrument based on Carr index method could improve the measuring precision and reproducibility. It could be used for physical property evaluation of nano-sized powders.

**Key words:** Carr index; flowability; floodability; nano-sized composite particle

粉体与现代生活息息相关, 但是在使用粉体时, 我们都可能遇到各种大大小小的技术难题。这些难题的根源在于粉体多变的特性, 因为根据颗粒大小、形

收稿日期: 2011-11-01。

第一作者简介: 崔灵(1970-), 女, 博士, 研究员, 主要从事粉体物性测量设备的技术开发工作。E-mail: lcui@hmc.hosokawa.com。

状、制备方法以及操作工艺的不同, 粉体表现出来的特性千变万化, 因此对于粉体物性的研究日趋重要, 特别是作为粉体工艺特性的流动性与喷流性的研究尤为关键。Carr 指数法特别适用于评价由静止状态过渡到运动状态的粉体流动特性, 并且与其它物性以及实际现象紧密相关。此评价法的可信度已由大量数据予以统计证实, 作为美国材料试验协会 (ASTM) 标准 (ASTM D 6393-2008) 已成为粉体工艺设计与质量管理的有力评价手段<sup>[1-9]</sup>。

本文中使用的 Carr 指数法为理论基础, 经 40 多年研发推出的唯一符合 ASTM 标准的细川综合测粉仪器——粉体流动性-喷流性测量仪的最新型号 PT-X 型, 采用 3 种粒度不同的日本工业标准 (JIS) 试验用粉体, 综合分析评价其自动测量的先进性与可靠性, 并将其发展应用于纳米复合颗粒的物性评价, 探讨了该测量法在生产与研发中的实用价值。

## 1 测量原理与方法

### 1.1 粉体流动性及喷流性综合评价

PT-X 型粉体流动性-喷流性测量仪是以 Carr 指数法作为粉体特性评价理论基础, 由细川公司独自研制的产品 (图 1)。仪器测量范围涵盖粉粒体各项物理特性, 包括 7 项粉粒体物性参数与 3 项辅助参数, 共计 10 个标准测量项目。通过各项参数测定, 能全面平衡把握粉粒体的流动性、附着性、凝聚性、分散性以及喷流性等综合特性。



图 1 PT-X 型粉体流动性-喷流性测量仪  
Fig.1 Appearance of powder tester model PT-X

1)安息角 (angle of repose)。在静平衡状态下,粉体堆积层的自由表面与水平面的夹角叫做安息角,也称休止角。仪器采用注入法,通过特定的振动方式(正弦波)使粉体自然下落到专用平台上形成。一般来说,流动性差的粉粒体,安息角则较大。

2)崩溃角 (angle of fall)。给粉体堆积层以一定的冲击,使其表面崩溃后所形成的崩溃面的倾角叫做崩溃角。它与粉体堆积层在外力作用下开始流动后恢复安定的倾向之大小有关。崩溃角越小,粉粒体越容易发生自然流动。仪器测量的崩溃角是通过给安息角施加 3 次相同的冲击操作而形成的。

3)差角 (angle of difference)。安息角与崩溃角之差称为差角。差角越大则粉粒体越容易发生喷流(飞扬)现象。

4)刮铲角 (angle of spatula)。刮铲堆积形成的粉粒体斜面的倾角,也称平板角。刮铲角角越大,粉粒体的流动性越差。

5)松装密度 (aerated bulk density)。粉体的质量与所占体积之比,是单位体积的粉体质量。仪器采用注入法,通过特定的振动方式使夹杂空气的粉体自然下落到专用容器中形成。

6)振实密度 (packed bulk density)。给松装密度的粉粒体以一定的上下敲击即振实作用,使粉粒体处于紧密填充状态后的密度。

7)压缩度 (compressibility)。振实密度与松装密度的差值与振实密度之比称为压缩度,也称为压缩率。压缩度越大,粉粒体的流动性越差。

8)均一度 (uniformity)。用粒径分布测定或筛分等方法测得的筛下累积质量分数为 60%粒径与筛下累积质量分数为 10%粒径之比称为均一度。用来表示粒径分布的范围。

9)凝聚度 (cohesion)。在一定时间内,使用标准筛给粉体特定的振动后,称取的筛上残留团聚粉的质量。凝聚度越大,粉体的流动性越差。

10)分散度 (dispersibility)。从一定高度投下一定量的粉粒体后,称取下方的玻璃皿上残留的样品量。用此评价样品的分散性、飞扬性等特性。

Carr 指数法是依据 Carr 指数表换算上述测量值,得出相应的单项流动性、喷流性指数,然后将安息角、刮铲角、压缩度、均一度或凝聚度的指数相加,得出 Carr 流动性综合指数(见表 1<sup>[1]</sup>);再将崩溃角、差角、分散度各项以及 Carr 流动性综合指数所对应的喷流性指数相加,得出 Carr 喷流性综合指数(见表 2<sup>[1]</sup>)。而在计算流动性综合指数时,需要在均一度与凝聚度之间选择一项。均一度多用于凝聚性较小的粗粉,而凝聚度则适用于易团聚的细粉或微粉。另外,测量凝聚度

还需要满足样品全部通过最下层振动筛的前提条件。若采用干式筛分法,可能由于粉体团聚而不能全部通过下筛网,则需采用湿式筛分法或其它粒径测量法予以正确评价。而当粉体中含有一定量大于最下层筛网孔径的粉体时,则需测量均一度。

## 1.2 仪器的特征

新型 PT-X 型粉体流动性-喷流性测量仪除上述标准 Carr 指数法的测量项目以外,还在提高设备的操作性、除尘性、测量精度以及样品少量化等方面上增加许多新功能<sup>[5]</sup>。

### 1.2.1 测量选项

为方便多种流动性检测需要以及进一步提高一机多用性,新增简易粒径分布测定(JIS Z8815 干式筛分法)、压缩特性(USP(美国药典)、ASTM(美国材料试验协会)、川北方程式)及振实平衡点检测等选项测量功能。

①简易粒径分布测定 (JIS Z8815 干式筛分法)。其为符合 JIS 标准最多可采用 8 只筛网的干式筛分试验法,通过称取筛网质量,可自动计算包括 10%、50%、60%、90%粒径在内的粉粒体的粒度分布。

②压缩特性(USP、ASTM、川北方程式)。这 3 种压缩特性分别依据 USP 和 ASTM 标准以及川北方程式理论,采用玻璃量筒加入粉体后进行振击时测其粉体层的体积减少量。粉体层体积的减少程度也是粉体的特性之一,与流动性密切相关。本仪器可以自动检测玻璃量筒中的粉面高度,只需设定测量条件,投料后可以实现无人操作。

③振实平衡点检测。给密度测量容器中的粉粒体反复施加一定的上、下敲击即振实作用,直到粉粒体的体积不再减小为止,测得此时的密度即为振实平衡点密度,是粉体工艺设计的重要参数之一。

### 1.2.2 测量操作性

为方便操作上述 10 多个测量项目,本仪器采用便于操作的触屏式手提电脑,并详细显示操作步骤及其说明,而且全自动地计算与评价测量结果,从而基本实现初学者也能胜任的最佳化测量流程。通过实现合理化部件结构设计,不但较以前机型缩短测量时间近 25%,而且将接触粉料的测量部的凹凸降至最低限,从而大大方便了清扫作业,提高整体操作性。另外,仪器采用与振动连锁的高效除尘系统,大幅度减少对操作环境的粉尘污染。此外,本机软件搭载多种数据处理以及安全权限管理等新功能,并提供日、英、中、韩 4 种语言版本。

### 1.2.3 测量精度

本机电动机传动系统经全面改良,大大提高传动系统的精度,振实部改变原有的凸轮构造而使用步进

表 1 Carr 粉体流动性指数表  
Tab.1 Carr's flowability index for powders

流动性等级评价	流动性指数	防止架桥措施的必要性	安息角		刮铲角		压缩度		均一度*		凝聚度**	
			测量值/ (°)	指数	测量值/ (°)	指数	测量值/ %	指数	测量值	指数	测量值/ %	指数
优	90-100	不需要	<26	25	<26	25	<6	25	1	25	—	—
			26~29	24	26~30	24	6~9	23	2~4	23	—	—
			30	22.5	31	22.5	10	22.5	5	22.5	—	—
良	80-89	不需要	31	22	32	22	11	22	6	22	—	—
			32~34	21	33~37	21	12~14	21	7	21	—	—
			35	20	38	20	15	20	8	20	—	—
中上	70-79	有时需要振动器	36	19.5	39	19.5	16	19.5	9	19.5	—	—
			37~39	18	40~44	18	17~19	18	10~11	18	—	—
			40	17.5	45	17.5	20	17.5	12	17.5	—	—
中	60-69	输送界限 发生架桥现象	41	17	46	17	21	17	13	17	—	—
			42~44	16	47~59	16	22~24	16	14~16	16	—	—
			45	15	60	15	25	15	17	15	<6	15
中下	40-59	需要	46	14.5	61	14.5	26	14.5	18	14.5	6~9	14.5
			47~54	12	62~74	12	27~30	12	19~21	12	10~29	12
			55	10	75	10	31	10	22	10	30	10
差	20-39	需要有力措施	56	9.5	76	9.5	32	9.5	23	9.5	31	9.5
			57~64	7	77~89	7	33~36	7	24~26	7	32~54	7
			65	5	90	5	37	5	27	5	55	5
最差	0-19	需要特殊设备及技术	66	4.5	91	4.5	38	4.5	38	4.5	56	4.5
			67~89	2	92~99	2	39~45	2	29~35	2	57~79	2
			90	0	>99	0	>45	0	>35	0	>79	0

注:\* 如果是粉状或粒状的粉,并且可以测量均一度,则采用均一度的测量值;

\*\* 如果是易团聚的微粉,并且可以测量凝聚度,则采用凝聚度的测量值。

电动机后,实现并提高了振实行程任意可调性。为避免人为误差,竭力减少手动操作而采用自动化操作模式,在振动筛投料控制中,通过数控振动传感器监控筛上粉体质量变化进行振幅自动反馈控制,并增加振动自动停止控制,实现了操作系统的高精度及自动化,从而提高安息角形成条件的安定性,减少测量者之间的差异,提高测量结果的可比性,大大满足了质量管理等对测量条件要求严格的需要。

一般来讲,粉体物性测量项目中,粉体堆积层的角度(安息角、崩溃角、刮铲角)的测量存在较大的人为误差。其原因主要在于粉体堆积层形状的不特定性与手动测量的局限性。另外,手动操作还可能因机械振动而破坏粉体堆积层。与此相比,本仪器采取的自动测量模式,利用图像处理技术进行非接触式测量,既便捷又准确。

## 2 实验部分

### 2.1 JIS 标准试验粉体

为客观评价本测试仪器,采用 JIS 试验用粉体——

白色熔融氧化铝(JIS Z 8901)的 3 种粒度不同的粉体(表 3)进行测试。为了证实仪器自动测量模式的先进性与可靠性,采用参数控制法,预先选取包括样品质量、振幅、振动时间、振实高度及振实次数等测量参数,自动测量各项 3 次,计算平均值与标准误差。然后,使用平均值根据 Carr 指数表求得各项指数,并累计各项指数求取综合指数。上述测量结果的计算全部可以自动进行。

表 4、5 分别为 JIS 试验用标准粉体白色熔融氧化铝(JIS Z 8901)的 Carr 流动性指数及喷流性指数。从表 3 可知,JIS 试验用氧化铝粉 No.1、No.4、No.6 的中位粒径分别为 2.1、18.1、72.5  $\mu\text{m}$ ,随着粒度依次增大,表 4 与表 5 的 Carr 流动性指数共计及喷流性指数共计也依次增加,这与其它许多报告结果一致<sup>[6-8]</sup>。其相应的性能等级评价也发生变化,而变化趋势与人的感觉相一致<sup>[9]</sup>,于是工艺设计上需要采取的故障防止措施也就不同。从表 4、5 还可看出,粒度对安息角、刮铲角以及分散度的影响不如对松装密度、振实密度、压缩度的影响明显,这表明对于粉体流动性及

表 2 卡尔粉体喷流性指数表  
Tab.2 Carr's floodability index for powders

喷流性等级评价	喷流性指数	防止喷流的措施	流动性		崩溃角		差角度		分数度	
			指数(表 1)	指数	测量值/ (°)	指数	测量值/ (°)	指数	测量值/ %	指数
强	80-100	必须采用旋转密封	<59	25	<11	25	>29	25	>49	25
			59~56	24	11~19	24	29~28	24	49~44	24
			55	22.5	20	22.5	27	22.5	43	22.5
			54	22	21	22	26	22	42	22
			53~50	21	22~24	21	25	21	41~36	21
			49	20	25	20	24	20	35	20
较强	60-79	需要采用旋转密封	48	19.5	26	19.5	23	19.5	34	19.5
			47~45	18	27~29	18	22~20	18	33~29	18
			44	17.5	30	17.5	19	17.5	28	17.5
			43	17	31	17	18	17	27	17
			42~40	16	32~39	16	17~16	16	26~21	16
			39	15	40	15	15	15	20	15
略强	40-59	有时需要采用旋转密封	38	14.5	41	14.5	14	14.5	19	14.5
			37~34	12	42~49	12	13~11	12	18~11	12
			33	10	50	10	10	10	10	10
较弱	25-39	根据流速及进料条件来判断旋转密封的必要性	32	9.5	51	9.5	9	9.58	9	9.5
			31~29	8	52~56	8	8	8	8	8
			28	6.25	57	6.25	7	6.25	7	6.25
弱	0-24	不需要	27	6	58	6	6	6	6	6
			26~23	3	59~64	3	5~1	3	5~1	3
			<23	0	>64	0	0	0	0	0

表 3 JIS 试验用粉体白色熔融氧化铝(JIS Z 8901)的粒度  
Tab.3 Particle size distribution of JIS test powders—white fused alumina(JIS Z 8901)

JIS 试验用粉体	粒度					
	$d_{10}/\mu\text{m}$	$d_{50}/\mu\text{m}$	$d_{60}/\mu\text{m}$	$d_{90}/\mu\text{m}$	$d_v/\mu\text{m}$	$d_n/\mu\text{m}$
氧化铝 No.1	1.2	2.1	2.3	3.2	2.2	1.1
氧化铝 No.4	12.8	18.1	19.5	27.3	19.4	15.1
氧化铝 No.6	48.9	72.5	79.0	121.8	80.8	56.3

注:  $d_{10}$ 、 $d_{50}$ 、 $d_{60}$ 、 $d_{90}$  分别为累积体积分数达到 10%、50%、60%、90% 时对应的粒度;  $d_v$  为体积平均粒径;  $d_n$  为数量平均粒径。

喷流性的全面评价而言,用其指数合计即综合指数比用单项测量值更合理。

此外,从表 4、5 中的标准误差可以看出,即使用自动测量法,也可以保证较高的测量精度。

角度自动测量的举例可以用图 2、3 来说明。通常刮铲角的形状都不规则,特别是顶部形状尤其不同。图 2 显示氧化铝 No.4 粉体的刮铲角的测量图像。

可看出相机拍摄图像的轮廓清晰,这是因为本仪器采用了特殊光学技术,即便使用透明外罩,避免外来光源的影响。对于不规则形状的图像处理法则是,在去除顶部之后经图像处理取得左右倾角  $\theta_{s1}$  与  $\theta_{s2}$ ,再取二者的平均值。图 3 所示安息角测量法与此类似。通常的安息角虽然比起刮铲角形状规则,但也常出现图中的顶部有突起即倾角不连续的情况,可以用自动角度测量法去除顶部测得正确的角度值  $\theta_{r2}$ ,从而避免过大的测量结果如图  $\theta_{r1}$ 。

### 2.2 纳米复合颗粒

随着纳米粉体的研究与实用的推广,纳米材料物性测量的需要也日益增加。而纳米材料由于固有的大比表面积与低密度,造成流动性差且易喷流等缺点,直接严重影响储存、输送等工艺特性,容易造成有害的纳米粉尘污染。为解决此问题,经常会用到粒子复合化、表面改性等方法,因此对复合、改性效果的定量评价必不可少。而 Carr 指数理论在 40 多年之前提出至

表 4 JIS 试验用粉体-白色熔融氧化铝 (JIS Z 8901) 的 Carr 流动性指数

Tab.4 Carr's flowability index for JIS test powders—white fused alumina (JIS Z 8901)

流动性	氧化铝 No.1		氧化铝 No.4		氧化铝 No.6	
	测量值	指数	测量值	指数	测量值	指数
安息角/(°)	50.5±0.7	12.0	49.2±0.4	12.0	38.5±0.3	18.0
刮铲角/(°)	73.8±1.4	12.0	67.7±0.8	12.0	58.4±1.4	16.0
松装密度/(kg·m <sup>-3</sup> )	650±7	—	1 203±2	—	1 845±5	—
振实密度/(kg·m <sup>-3</sup> )	1411±13	—	1 946±6	—	2 250±10	—
压缩度/%	53.9±0.5	0	38.2±0.2	4.5	18±0.5	18.0
均一度/凝聚度	91.7±1.7	0	5.8±0.8	15.0	1.6	23.0
流动性指数合计	—	24.0	—	43.5	—	75.0
流动性等级评价	差		中下		中上	
防止架桥措施的必要性	需要有力措施		需要		有时需要振动器	

表 5 JIS 试验用粉体白色熔融氧化铝 (JIS Z 8901) 的 Carr 喷流性指数

Tab.5 Carr's floodability index for JIS test powders—white fused alumina (JIS Z 8901)

喷流性	氧化铝 No.1		氧化铝 No.4		氧化铝 No.6	
	指数(表 4)	指数	测量值	指数	测量值	指数
流动性	24.0	3.0	43.5	17.5	75.0	25.0
崩溃角/(°)	43.8±0.5	12.0	24.9±0.4	20.0	20.4±0.1	22.5
差角/(°)	6.7±0.5	6.3	24.3±0.5	20.0	18.0±0.3	17.0
分散度/%	6.3±0.4	6.0	13.7±0.1	12.0	9.6±0.6	10.0
喷流性指数合计	—	27.3	—	69.5	—	74.5
喷流性等级评价	较弱		较强		较强	
防止喷流的措施	根据流速及进料条来判断旋转密封的必要性		需要采用旋转密封		需要采用旋转密封	

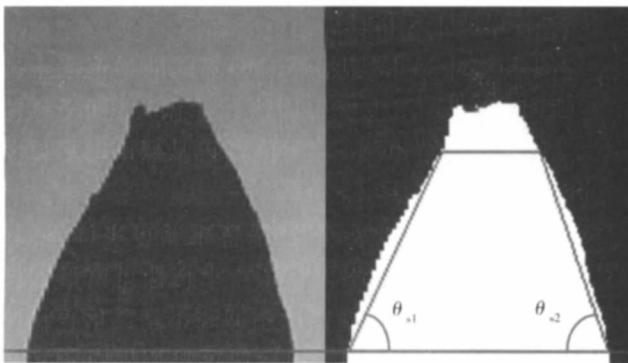
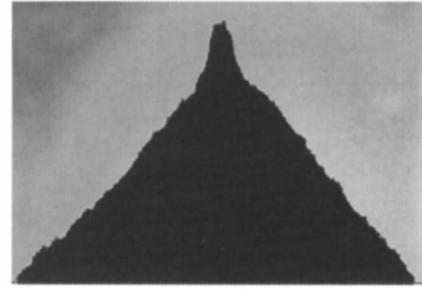


图 2 刮铲角测量示意图

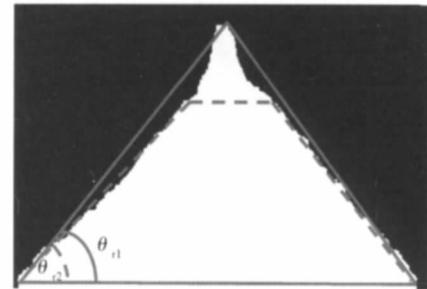
Fig.2 Angle of spatula measurement

今,其研究对象以微米以上的粉体为主,对纳米粉体的研究则很少。我们尝试了应用新开发的高精度 PT-X 型粉体流动性-喷流性测量仪来测量评价纳米粉体。

实验材料为纳米复合颗粒——TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> 的原料粉以及其表面改性粉<sup>[10]</sup>,二者的 BET 比表面积分别为



(a) 相机拍摄图像



(b) 数据处理图像

图 3 安息角测量示意图

Fig.3 Angle of repose measurement

92.51、62.94 m<sup>2</sup>/g。采用自动测量模式取得各项测量值及指数,并累计各项指数求取综合指数。

表 6、7 分别为纳米复合颗粒 TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> 的原料粉及表面改性粉的 Carr 流动性指数及喷流性指数。可以

表 6 TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> 纳米复合颗粒的 Carr 流动性指数

Tab.6 Carr's flowability indexes for TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> nanocomposite particles

流动性	原料粉		改性粉	
	测量值	指数	测量值	指数
安息角/(°)	42.5	16.0	45.8	14.5
刮铲角/(°)	65.0	12.5	65.5	12.0
松装密度/(kg·m <sup>-3</sup> )	53	—	206	—
振实密度/(kg·m <sup>-3</sup> )	77	—	367	—
压缩度/%	31.4	10.0	43.7	2.0
凝聚度/%	26.5	12.0	20.4	12.0
流动性指数合计	—	50.5	—	40.5
流动性等级评价	中下		中下	
防止架桥措施的必要性	需要		需要	

表 7 TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> 纳米复合颗粒的 Carr 喷流性指数

Tab.7 Carr's floodability index for TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> nanocomposite particles

喷流性	原料粉		改性粉	
	指数(表 4)	指数	测量值	指数
流动性	50.5	21.0	40.5	16.0
崩溃角/(°)	23.4	21.0	28.0	18.0
差角/(°)	19.1	17.5	17.8	16.5
分散度/%	34.5	20.0	28.8	18.0
喷流性指数合计	—	79.5	—	68.5
喷流性等级评价	强		较强	
防止喷流的措施	必须采用旋转密封		需要采用旋转密封	

看出,以安息角为主的角度测量值没有明显变化,但松装密度及振实密度却提高了 4~5 倍,基本达到微米粉的堆积密度的程度,从而基本解决粉料的储存与输送难题。喷流性降低了一个评价等级,喷流程度从强变为较强,减小了纳米粉体的易发尘而难除尘带来的不良影响,为评价该纳米复合颗粒的表面改性效果提供了数据。该表面改性粉已实际应用于特种树脂材料的添加剂,大幅度提高树脂的难燃性<sup>[11-12]</sup>。

此外,表面改性对流动性指数的影响并不明显,这可能与表面改性造成粉体内摩擦力增大有关。根据工艺要求,对于纳米粉体一般还可以通过造粒以及添加流动助剂来进一步改善。

### 3 结语

粉体所涉及的领域非常广泛,其种类及特性繁多,同时粉体技术的研究领域已逐步深入到纳米领域,纳米材料的特性更是难以控制。Carr 流动性与喷流性测量法作为粉体基础物性的测量法,可以为包括纳米粉体在内的粉体的研究开发、工艺设计以及质量管理提供有力评价手段。以 Carr 指数法为理论基础,经 40 多年研发推出的世界唯一符合 ASTM 标准的 PT-X 型粉体流动性-喷流性测量仪,尤以其自动检测为主的高操作性与高再现性,为表征粉体物性的标准化提供了强有力的工具。

#### 参考文献 (References):

[1] CARR R L, DIV B. Evaluating flow properties of solids[J]. Chemical

Engineering, 1965, 18(1): 163-168

[2] American Society for Testing Material (ASTM). Standard test method for bulk solids characterization by Carr indices[S]. ASTM international Designation: D 6393-08, 2008

[3] 马青山,冯连芳,顾雪萍,等.粉粒体三次物性的分析与测量[J].中国粉体技术,2000,6(2):21-26

[4] 张翔.卡尔指数法在评价煤粉特性中的应用[J].中国粉体技术,2000,6(5):33-36

[5] 笹边修司,清水健司.粉体特性測定の世界のスタンダード〜ホソカワ/ミクロンパウダテスタ最新型の紹介[J].産業機械,2011,10:53-55

[6] YOKOYAMA T, URAYAMA K. Apparatus for measuring flowability of powders by Carr's method[J]. Soc Powder Technol Japan, 1969, 6(4): 264-272

[7] MASUDA H, YOSHIDA H, IINOYA K. Statistical analysis of the Carr's flowability index[J]. Soc Powder Technol Japan, 1975, 12(4): 209-216

[8] 王川红,郭晓镭,龚欣,等.粒度、湿含量对神府烟煤粉流动性参数的影响[J].华东理工大学学报:自然科学版,2008,34(3):377-382

[9] SATO F, INOUE H, MIYATA M, et al. Experimental investigation of Carr's flowability measuring method[J]. Soc Powder Technol Japan, 1972, 9(2): 90-97

[10] TAKEBAYASHI K, WATANABE A, FUJI M, et al. Microstructure and surface behavior of oxide and composite nanoparticles prepared by flash creation method[J]. Soc Powder Technol Japan, 2009, 46: 520-525

[11] TAKEBAYASHI K, SASABE S, IJIMA M, et al. Surface modification and dispersion of gas phase synthesized oxide composite nanoparticles in organic solvent by agitation milling process with small beads[J]. Soc Powder Technol Japan, 2010, 47: 310-316

[12] 笹边修司,竹林賢治.複合ナノ粒子とそのサイズ効果によるポリマーの高機能化[J].産業機械,2010,6:56-58

## 《颗粒测试基础知识 100 问》出版发行

胡荣泽主编的《颗粒测试基础知识 100 问》一书已于 2011 年 9 月由中国建材工业出版社出版发行。

本书简明扼要地回答了颗粒测试行业遇到的一些基础问题,主要包括:一些术语解释,如颗粒、粉体、粒度分布、平均粒径等;粒度测试方法和仪器;粒度仪的选择、标准和计量规程、粒度仪量值比对;颗粒形状、表面积和孔径的测试;取样和缩分;一些粉体特性:密度、堆积和流动等的测试。

颗粒测试是一门共性技术,它涉及国民经济各个部门的粉体行业,如涂料、染料、催化剂、化肥、化妆品、水泥、陶瓷、耐火材料、泥沙、尘埃、农药、饲料、药物、食品、调味品、盐、糖、粉末冶金、硬质合金、煤、矿粉、废弃物再生、电池、洗涤剂、纸浆、橡胶、塑料、牙膏、纳米粉、抗菌剂、火药等等。

本书不但与从事颗粒测试的实验、研究人员有直接关系,而且对从事粉体行业(如粉体制备、加工、流态化、气溶胶等)的其他工程技术人员和广大师生,也有很好的参考作用。

购书联系方式:

Tel:010-88417670 E-mail:a7670@126.com