

摘要: 本文主要介绍了珠磨机是什么, 珠磨(砂磨)、球磨的区别, 珠磨机的工作原理, 应用领域简单的选型依据及HM&M珠磨机的类型、特征及应用领域。

关键词: 珠磨机、工作原理、选型、应用HM&M

一、珠磨机介绍

珠磨机又称砂磨机, 是一种在圆柱形容器中通过搅动研磨介质(磨珠)来研磨或分散浆料中的微小颗粒的设备。研磨容器(呈圆筒形)内部装有搅拌器, 磨珠和浆料(物料), 珠磨机的转子产生磨珠运动, 产生强烈的剪切力和对颗粒的冲击。珠磨机应用范围广泛, 如粉碎较大的颗粒和分散纳米颗粒。微米或亚微米大小的粒子被有效地压缩成更细的粒子, 细到几十纳米。通过优化介质尺寸、转子转速和转子类型, 可对每种材料实现最佳条件的能量和冲击力进行调整。



图1 HM&M珠磨机的产品图

二、珠磨机常见误区: 珠磨机(砂磨机)/球磨机傻傻分不清楚

珠磨机在球磨机的基础上发展而来, 在国外被称作搅拌式球磨机(搅拌轴+球磨机组合), 珠磨机和球磨机都是利用研磨介质之间的碰撞、挤压、摩擦等原理来粉碎物料, 但珠磨机在研磨效率、制备成本上均优于球磨机, 珠磨机制备出的粉料平均粒径也比球磨机制备的产

品粒度小得多¹。

三、珠磨机的工作原理

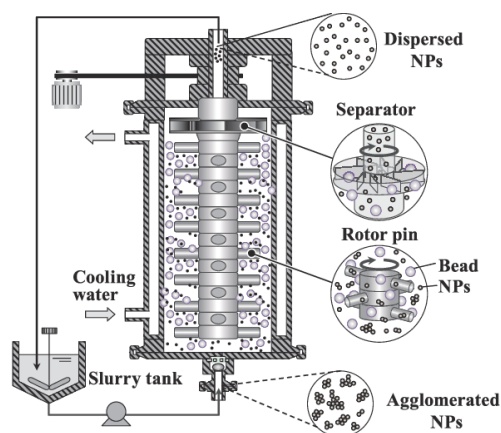


图2 珠磨机原理图

以立式布局珠磨机为例, 对珠磨原理进行简单介绍。如图2所示, 通过泵将浆料(黑色)送入研磨腔后, 搅拌转子(银灰)按照预设的转速转动, 推动研磨腔内的研磨珠(白色)运动, 研磨珠通过撞击或者摩擦剪切的方式将浆料中大颗粒粉碎成小颗粒, 或者将小颗粒团聚而成的团簇分散开。浆料经过粉碎或分散后, 通过顶部的无筛网离心式珠料分离装置, 与研磨珠分离, 然后从顶部流出, 通过管路回流到搅拌桶, 之后再次被泵送入研磨腔, 循环往复, 直至达到目标细度。



图3 研磨(左)与分散(右)的区别

什么是珠磨机

Date: 2022.10



珠磨机的工作简单分，可分为两种，一种是对大的“分散”使之分散成小颗粒稳定存在。图3黄色图形代表浆料内部的颗粒。左边的一整块大颗粒经过珠磨机处理后，变成一个个小颗粒，此过程称之为粉碎。右边大颗粒则是由小颗粒团聚在一起形成的团簇，经过珠磨机处理后，原本团聚在一起的颗粒全部分散开，并不会重新团聚在一起，此过程称之为分散。

四、珠磨机的应用

通过珠磨机的原理，珠磨主要起到的是粉碎和分散的作用。应用于多个领域，例如医药领域（难溶性药物，混悬剂，微晶药品），墨水涂料颜料领域（如喷墨，彩色光刻胶中金属络合物颜料），电子及半导体材料领域（如多层片式陶瓷电容器（MLCC）中的BaTiO₃，化学机械抛光用的研磨液（CMP Slurry，锂电池行业的原材料，如三元材料磷酸铁锂等），日化领域（如防紫外化妆品中用的二氧化钛）等。下图4所示为珠磨机主要的应用分类。表1和表2展示了一些HM&M珠磨机的应用案例。

Material	Application (Characteristic)	Purpose of dispersing	Attained particle size (nm)
Organic pigment	LCD color filter	Transparency, Contrast-up	20
	Ink jet printer ink	Microparticulation	30
ZnO	Cosmetics : UV cutting	Transparency	10
Al ₂ O ₃	Abrasive compound	Microparticulation Sharpness of PSD	15
	Hard coating	Transparency	10
ZrO ₂	Anti-reflecting coating (High refractive index)	Transparency	15
	Hard coating	Transparency	15
SiO ₂	Nano-composite	Transparency, Strength up	10
	Abrasive compound	Microparticulation Sharpness of PSD	10
ITO, ATO	Transparent electrode (Conductivity)	Transparency	30
	Infrared cutting film	Transparency	30
	Anti-reflecting coating (High refractive index)	Transparency	30

表1 HM&M常见应用案例

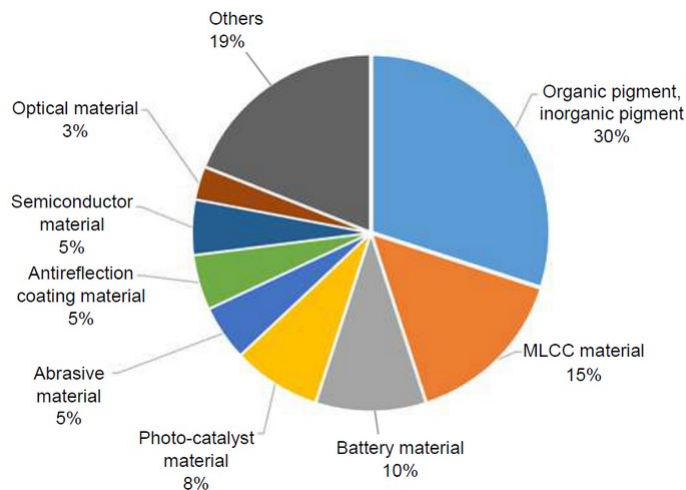


图4 珠磨机常见应用

Material	Application	Purpose of dispersing	particle size (nm)
TiO ₂	Photo catalyst	Keeping crystal form and primary particle size	10
	Cosmetics : UV cutting	Transparency, Microparticulation	10
BaTiO ₃	MLCC	Keeping crystal form and primary particle size	100
Nano diamond	Abrasive compound	Microparticulation Sharpness of PSD	8
Cu	MLCC	Keeping primary particle form	100
Ni	MLCC	Keeping primary particle form	50
Ag	Transparent electrode	Keeping primary particle form	10
Pt,Pd,Rd(ceramic Catalyst for car exhaust support) gas		Microparticulation	20
Medicine	Medicine	Microparticulation	120

表2 HM&M常见应用案例



五、如何选择珠磨机

可以说，珠磨机的应用领域非常广泛，适用各式各样的材料。磨珠尺寸是粉碎分散处理中最重要的因素。当把微米粒子粉碎成亚微米粒子时，应选择 $\varnothing$ 0.5mm以上的大磨珠。当粉碎或分散亚微米或纳米的粒子时，应选择 $\varnothing$ 0.3mm以下的磨珠。在分散处理中，不需要对粒子施加巨大的冲击力。

通常在使用珠磨机时，会根据处理粒径、样品特性（黏度、硬度）、目标粒径、处理目的等选择合适的处理参数。通过选择合适的磨珠尺寸，搅拌器转速和加入的磨珠量（磨珠填充率），调节粉碎/分散所需要的能量，从而达到处理目的。

1) 目标粒径和处理物质本身的硬度决定了粉碎/分散所需要的能量。通过选择合适的参数，能调节粉碎/分散所需要的能量。

2) 磨珠和粒子之间的碰撞频率会影响粉碎/分散速度。（碰撞频率由搅拌器转速和磨珠大小控制）

3) 磨珠间的空隙大小与磨珠自身的大小成正比例，而这个空隙大小会影响粒子的最终尺寸。

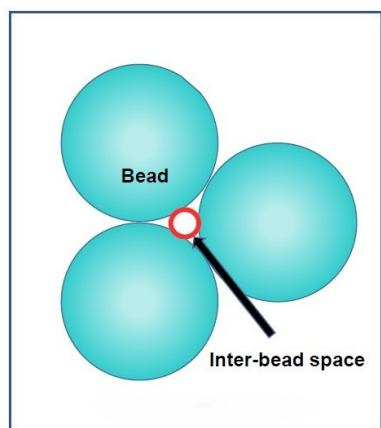


图5 磨珠间的空隙

所以，磨珠尺寸越小，磨珠与粒子的接触机会将更多。请注意，磨珠间的空隙指的是当磨珠紧密堆积时，由

磨珠包围的空间（图5）。此外，较小的磨珠能加快处理速度，这是因为在同一体积中，相对于大尺寸的磨珠数量，小尺寸的磨珠数量更多，从而增加了磨珠和粒子之间的碰撞频率。

如前所述，根据不同的处理目的来选择合适的磨珠大小非常重要。下一步，则是选择最佳的磨珠分离方法，而这取决于磨珠的大小。磨珠的分离方法是决定珠磨机类型的重要因素之一。磨珠分离方法通常分为狭缝分离法，筛网分离法和离心分离法，每种方法都具有其优选的磨珠尺寸。以下将介绍这三种方法。

狭缝式磨珠分离器

这种方法是通过浆料出口处的狭小的缝隙将浆料与磨珠分离。缝隙宽度约为磨珠直径的1/3。配备有狭缝分离器的珠磨机，适用于 $\varnothing$ 0.3mm或更大的磨珠。如果使用小于 $\varnothing$ 0.3mm的磨珠，狭缝处可能会被磨珠和粗大粒子堵塞，导致浆料的供给压力增加。即使是处理高粘度的浆液，这种方法也能保证操作稳定并且不会有磨珠的漏出。

筛网式磨珠分离器

该分离器在浆料出口处设置有筛网，通过筛网来对浆料和磨珠进行分离，类似于狭缝式磨珠分离器。该分离器由金属线的网状物构成，网中的窄小间隙用于磨珠和浆料的分离。配备这种分离器的珠磨机通常选用大于 $\varnothing$ 0.1mm的磨珠。与狭缝式相比，筛网式的分离面积更多，能适用于更小的磨珠的分离。然而，当磨珠小于或者等于 $\varnothing$ 0.1mm的情况下，便需要配备更细的筛网，而这种情况下筛网处容易被磨珠和浆料中的粗大粒子堵住发生堵塞。这种磨珠分离法不适合处理高粘度浆料。

离心式磨珠分离器

该分离器是利用离心力分离磨珠，它内部有呈排列

什么是珠磨机

Date: 2022.10



状的分隔板。由于磨珠的密度是浆料的4到5倍，产生在磨珠上的离心力能有效地起到重力筛选的作用来分离磨珠。该方法的一个重要特征是没有狭窄的间隙。不需要浆料通过狭窄的间隙，即使是使用15或30 μm 大小的磨珠，也不会发生堵塞。因此，当使用微珠（指 ϕ 0.1mm或以下的磨珠）分散或粉碎处理亚微米粒子和纳米粒子时，离心式磨珠分离器为最佳。

不同类型的磨珠分离器的比较

在珠磨机进行粉碎或分散操作前，首先应确定合适的磨珠尺寸。如前所述，磨珠大小由原材料的属性和处理的手段和目的（分散或粉碎）决定。在确定磨珠大小之后，再选择合适的磨珠分离器类型。

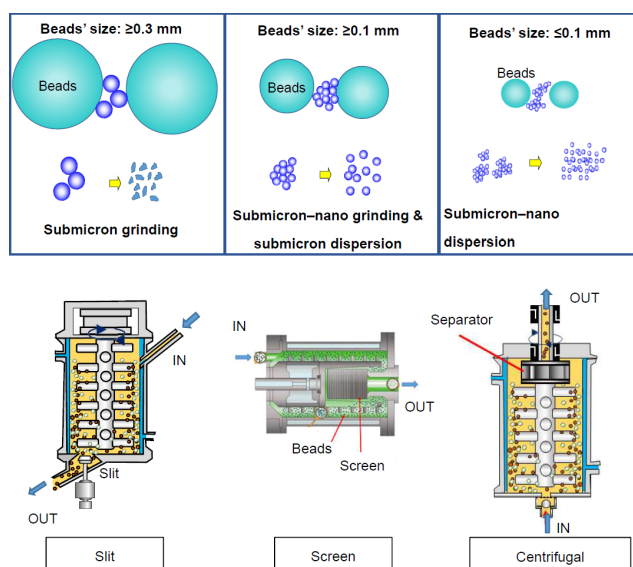


图6 磨珠分离器的类型及其应用

由于每种磨珠分离器具有其自身的优点和缺点，所以在选择磨珠分离器时，应根据不同磨珠分离器的特点和磨珠尺寸来进行选择。将粒子粉碎至微米或亚微米时，应选用较大的磨珠，这时将采用狭缝和筛网分离器。将粒子分散至亚微米的情况下，由于所选的磨珠尺寸小于 ϕ 0.3mm，故采用筛网式和离心式。将粒子分散至纳米的情

况下，应选用 ϕ 100 μm 以下的磨珠，所以选择离心式磨珠分离器。

横卧式和垂直式的珠磨机比较

珠磨机按搅拌器放置位置划分，有横卧式和垂直式两种。由于作用在磨珠上的离心力是重力的100至1000倍，因此重力的影响小到可以忽略不计。因此，两种类型之间的处理性能上没有显著差异。

然而，就可操作性和维修简易性而言，存在以下优点和缺点。

横卧式

- 占地面积大
- 磨珠堆积时的高度较低，起动功率低
- 回收残留浆液和排出磨珠需要更多的工作和时间
- 更换零件相对容易

垂直式

- 占地面积小
- 磨珠堆积时的高度高，起动功率高
- 回收残留浆液和排出磨珠更容易
- 更换零件不是很容易

六、HM&M珠磨机简介

广岛金属机械股份有限公司化工科技事业部，英文名为 HIROSHIMA METAL & MACHINERY CO.,LTD. (HM&M)，为顾客提供浆料处理和粉末混合的最新设备和解决方案。40年来，HM&M一直致力于生产和制造化学工业生产中不可或缺的浆料处理设备。HM&M于1995年发明离心式磨珠分离法，并开发了离心式珠磨机UAM。珠磨机UAM的诞生开启了珠磨机的新纪元，并应用于纳米材料的技术加工。其获取奖项众多，例如由日本国家教育部颁发的科学技术奖和由国家商务部颁发的制造

什么是珠磨机

Date: 2022.10

业大奖，表彰对化学、电子和材料行业的纳米技术进步所作出的贡献。

HM&M有狭缝式和离心式珠料分离系列珠磨机。根据原材料的属性（硬度、黏度、粒度等）和处理的手段和目的（粉碎和研磨），细分成如下6类珠磨机。涵盖了从微米级矿石的研磨到纳米颗粒的低损伤分散的浆液处理技术，为各种浆液的处理选择最合适的处理装置。

Apex Mill系列包含1种狭缝式磨珠分离机，支持从微米到纳米尺寸的粉碎处理。此外，还有4种离心式磨珠分离机，通过使用小粒径的磨珠（最小磨珠直径:0.015mm）来分散粒径至纳米或亚微米。此外，还提供小型LABO系列



APEX LABO

特征：这是一台间歇式的对应少量样品（30cc~80cc）处理的磨珠机。此机型可适用直径为 $\phi 15\mu\text{m}$ 至1mm的磨珠。其设计考虑了在实验研究中的易用性，小巧简单。

应用：不仅适用于新产品的研究开发以及珠磨机加工方法的研究，也适用于样品产品和小批量产品的生产。其分散处理得到的结果在升级至量产级别的机型时也能够得到再现。



Apex Mill (AM)

高级珠磨机的狭缝式分离器

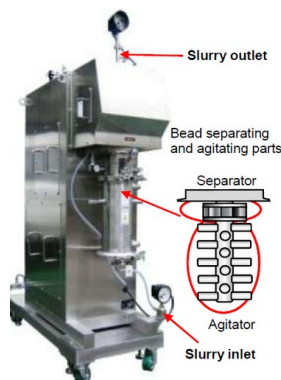
特征：这是一款垂直型珠磨机，内配的狭缝阀是由HM&M开发，用于磨珠分离。狭缝阀的工作原理是根据内部压力变化，自动调节狭缝的大小。这款珠磨机，解决了狭缝处的堵塞问题和磨珠漏出问题，能够进行长时间的稳定操作。而固定式狭缝分离器会出现堵塞状况。

这款珠磨机（AM）适用于0.5mm~3mm的磨珠，能将数 $100\mu\text{m}$ ~数 $10\mu\text{m}$ 的粒子粉碎至数 $10\mu\text{m}$ ~数100nm。

此外，还能处理高达10,000 mPa·s的高粘度浆液。

应用：

- 将食品从数百微米粉碎至数微米。
- 将用于多层片式陶瓷电容器（MLCC）的钛酸钡从数微米粉碎约至500nm。
- 将印刷颜料从数微米粉碎约至500nm。
- 将药用粉末从数微米粉碎约至200nm。

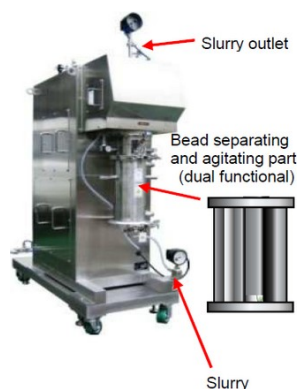
Ultra Apex Mill (UAM)
采用离心分离法的标准珠磨机

特征：UAM是采用离心分离方式分离磨珠的珠磨机。它可适用于细至 $15\mu\text{m}$ 的微珠，这是目前最小的磨珠。与筛网式磨珠分离法不同，它是利用离心力将磨珠和浆液分离，因此不需要考虑浆液出口处的间隙大小，即使是使用微珠，也不会发生堵塞。UAM是第一台用于纳米分散的珠磨机，并用于商业生产。

UAM不仅适用于微珠，还适用于1mm的较大磨珠，它应用于亚微米粒子的粉碎或纳米粒子的分散等多个领域。

应用：粉碎或分散颜料，电子材料，食品，药物等。

- 将数微米的喷墨颜料进行分散处理，细化程度可至20nm。
- 将防晒霜里的氧化钛从数微米分散至数10nm。
- 将硬涂层里的氧化锆从数微米分散至数10nm。
- 将食品添加剂里的碳酸钙从数微米粉碎至100nm。

Whole Length Separation Apex Mill (WAM)
全长式离心分离珠磨机

特征：全长式珠磨机旨在提高磨珠分离器在高流速下的分离能力。其全长式磨珠分离的构造，决定了即使在高流速下也能有效分离磨珠。其搅拌部位，既用于磨珠分离也用于搅拌。

由于WAM的流速是UAM的3倍。因此在相同的时间段内，使用WAM时，浆液里粒子的处理次数要比UAM多。因为处理次数增加，所以能在短时间内实现均一分散。

WAM可使用微珠来处理高粘度浆液。（最大500mPa·s）

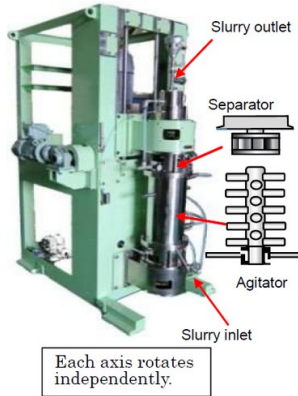
此外，这种类型的搅拌器能比UAM的支杆式搅拌器进行更加温和的搅拌。因此，在分散处理中磨珠对一次粒子的损伤较低。

应用：应用于电池材料，电子材料及颜料的粒子分散加工，对一次粒子的损伤较低。

- 将电池材料从数十微米分散约至200nm。
- 将用于MLCC的钛酸钡从数微米分散约至100nm。
- 将用于液晶显示器（LCD）的滤色器的颜料从数微米分散约至10nm。

什么是珠磨机

Date: 2022.10



Dual Apex Mill (DAM)

双轴式分散粉碎珠磨机

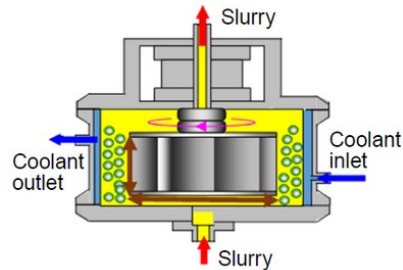
的转速, 在这种情况下, 低转速会降低磨珠分离器的分离能力, 将对整个分散处理造成影响。而DAM解决了这一矛盾, 让搅拌器即使在低速运转的情况下, 也能将磨珠分离器调至高速, 实现有效的磨珠分离。

应用: 粉碎和分散颜料, 电子材料等。

- 将液晶显示器 (LCD) 的滤色器的颜料低损伤分散至数十纳米。
- 将硬涂层的氧化锆低损伤分散至数十纳米。
- 将多层片式陶瓷电容器 (MLCC) 的钛酸钡低损伤分散至150nm。

特征: 这款珠磨机由两个各自独立驱动的轴构成, 上轴装有磨珠分离器, 用于磨珠的分离, 下轴装有支杆式搅拌器, 用于浆液的搅拌。不仅应用于粒子的强粉碎处理, 也可应用于纳米粒子的低损伤分散。适用的磨珠尺寸为 $\phi 15\mu\text{m}$ 至 $\phi 1\text{mm}$ 。其应用领域广泛, 既能用于实验室研究, 也用于商业生产。

DAM最突出的特点是磨珠分离能力不受搅拌器转速大小的影响, 即使在低转速中, 也能保证磨珠与浆液的有效分离。而使用标准珠磨机进行低损伤分散时, 需要降低搅拌器



Ultra Apex Mill Advance (ADV)

新型低损伤纳米分散机

叶片设计, 使得搅拌器即使在低离心力的状态下, 也能提供高效的磨珠分离, 并且比DAM和WAM更能有效实现粒子的低损伤分散。

此外, 低L/D比的设计使得浆液的流动更加均一, 避免了粒子的过度损伤。

应用: 分散电子材料, 电池材料, 金属材料等, 避免一次粒子受到损伤。

- 将MLCC的钛酸钡低损伤分散至150nm。
- 分散电极和配线材料的金属粒子, 不会令粒子变形。

特征: ADV是珠磨机系列的最新设备。用于纳米粒子的低损伤分散。它的搅拌器和WAM的类似, 兼具搅拌和磨珠分离两个功能。与WAM的全长式搅拌器相比, ADV的搅拌器呈宽而低的扁长状。

我们通过调整搅拌器的高度与直径的比率 (L / D) 和优化内部的

参考文献

1. 靳国青, 涂远生, 黄阳, 黄龙, 胡伟伟, 李洋, 李明双. 砂磨机在氧化锌电阻片制造过程中的应用[J]. 电瓷避雷器, 2021 (04): 81-86. DOI: 10.16188/j.issn.1003-8337.2021.04.013.
2. 蔡晓峰, 黄宝坤. 超声换能压电陶瓷粉体加工研究[J]. 佛山陶瓷, 2017, 27 (02): 11-15.
3. <http://www.hiroshimamm-chemtech.com/ch/c-wet/>