

超细粉碎

CHAO XI FEN SUI

郑水林 / 编著



中国建材工业出版社

超 细 粉 碎

郑水林 编著

中国建材工业出版社

内容简介

本书在1993年版《超细粉碎原理、工艺设备及应用》的基础上增补了近几年超细粉碎原理、设备、工艺技术的新发展和新成果；删减了原书中部分属于一般粉碎技术范畴的内容。全书包括超细粉体粒度和粒度特性的描述及粒度测定方法和仪器，超细粉碎过程力学原理、能耗规律、物理化学原理（机械力化学、粉碎助剂），高速机械冲击磨、气流磨、搅拌磨、振动磨、胶体磨等各种超细粉碎设备的结构、工作原理、性能特点及应用，精细分级原理与各种精细分级设备的结构、性能特点及应用，超细粉碎工艺设计及设备选型，非金属矿物及其它原料的超细粉碎工艺与生产技术实践等内容。

本书可供从事粉碎工程、化工、冶金、矿物加工、非金属矿及其深加工的科研、开发和工程技术人员以及大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

超细粉碎/郑水林编著. -北京:中国建材工业出版社,1999

ISBN 7-80090-853-4

I. 超… II. 郑… III. 粉碎 IV. TB4

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第12546号

超 细 粉 碎

郑水林 编著

*

中国建材工业出版社出版

(北京海淀区三里河路11号 邮编:100831)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京丽源印刷厂印刷

开本:850×1168毫米 1/32 印张:10.375 字数:251千字

1999年5月第一版 1999年5月第一次印刷

印数:1--3000册 定价:23.80元

ISBN 7-80090-853-4/TU·195

序 言

拙作《超细粉碎原理、工艺设备及应用》1993年由建材工业出版社出版至今已整整五年了。承蒙建材工业出版社同志的辛苦工作和广大读者的厚爱,1996年上半年,该书即告售罄。许多超细粉碎行业的读者和建材工业出版社的同志希望重印该书。但是,五年来,由于市场需求的不断增加和非金属深加工的需要,超细粉碎技术有了很大的进步,我国的超细粉碎和精细分级设备厂商由当年的10余家发展到今天的60余家,各种非金属矿物超细粉体的生产能力由当年的几万吨发展到今天的每年数十万吨。因此,重印肯定满足不了读者的要求。尽管该书初版后对促进我国超细粉碎和非金属矿深加工技术的发展起了一点作用。但从现在超细粉碎技术的发展水平和生产实践来看,该书已明显存在很多不足和需要修订之处,鉴于此,作者借再版之机对原书进行了较大的修订。

此次修订的原则可归结为一删一增两个字,即删除原书中部分不适用于超细粉碎的基本原理和属于一般粉碎技术的设备和工艺;增补近五年来超细粉碎原理、设备、工艺技术的新发展和新的生产技术实践。同时,考虑到一般从事超细粉碎工艺、设备的研究开发和超细粉生产厂的技术和管理人员只需了解粒度测定的一般原理、方法、仪器和测定范围,不必深入了解其理论基础和仪器结构,因此,此次修订对原书第2章(粒度测定方法)进行了精简,将其并入第1章。本着这一原则,修订本除精减了第2章的内容外,删除了三个传统的粉碎能耗假说(雷廷格、基克和榜德能耗假说)、第6章第1节的球磨机、第7章第2节雷蒙磨和第3节高压辊磨机、第8章的循环气流和旋风器式分级机及部分一般机械选粉机,

增补了粉碎过程力学和粉碎过程化学(机械力化学和助磨剂)的部分内容,新设备、新工艺和影响超细粉碎效果的工艺参数、分级粒径和分离极限,超细粉碎工艺设计和设备选型,超细粉碎生产技术实践等内容。同时,对原结构也作了一些调整,如将超细粉碎工艺专门列为一章(第7章),同时将原第5章的冲击粉碎原理调整并入第3章,等等。

此次修订出版的目的是更近的反映超细粉碎基本原理研究、技术发展成果以及超细粉碎生产技术和实践;更好地为超细粉碎和非金属矿深加工行业的工程技术人员和大专院校师生提供参考。能否达此目的,有待于广大工程技术人员和专家学者评判!

郑水林

1999年2月于武汉工业大学北京研究生部
(北京市朝阳区管庄,100024)

目 录

1 绪论	(1)
1.1 超细粉碎技术与现代产业发展	(1)
1.2 超细粉碎过程特点	(4)
1.3 超细粉碎的主要研究内容和发展趋势	(6)
2 粒度特性与粒度分析	(9)
2.1 粒度的表示方法	(9)
2.1.1 单个颗粒的粒径表示方法	(9)
2.1.2 粒群的平均直径	(11)
2.1.3 计算平均粒径方法的选择	(14)
2.2 粒度组成特性的表示方法	(16)
2.2.1 列表法	(17)
2.2.2 图解法	(18)
2.2.3 矩值法	(22)
2.2.4 函数法	(25)
2.3 粒度测定方法	(34)
3 粉碎过程力学	(40)
3.1 晶体的破碎与变形	(40)
3.2 裂纹及其扩展	(45)
3.2.1 裂纹的扩展条件与扩展力	(46)
3.2.2 裂纹的扩展速度与物料的粉碎速度	(48)
3.2.3 裂纹尖端的能量平衡	(50)
3.3 比表面能及晶格键能	(52)

3.4	物料的强度、硬度和可磨性	(56)
3.5	粉碎机械的施力作用	(59)
3.6	超细粉碎能耗理论	(63)
3.7	热力学效率与能量利用率	(68)
3.8	颗粒冲击粉碎原理	(71)
4	粉碎过程化学	(77)
4.1	粉碎过程机械化学	(77)
4.1.1	晶体结构的变化	(78)
4.1.2	机械化学反应	(93)
4.1.3	物理化学性质的变化	(98)
4.1.4	粉碎方式和气氛对机械化学变化的影响	(107)
4.2	助磨剂	(110)
4.2.1	助磨剂及其作用效果	(110)
4.2.2	助磨剂的作用原理	(113)
4.2.3	助磨剂的种类及选择	(119)
4.2.4	影响助磨剂作用效果的因素	(121)
5	超细粉碎设备	(129)
5.1	高速机械冲击式磨机	(129)
5.1.1	超细粉磨机(Super Micro Mill)	(129)
5.1.2	分级研磨机(Classifier Mill)	(133)
5.1.3	喷射粉磨机	(136)
5.2	气流磨	(137)
5.2.1	圆盘式气流磨	(138)
5.2.2	循环管式气流磨	(143)
5.2.3	对喷式气流磨	(145)
5.2.4	流化床式逆向喷射气流磨	(148)
5.2.5	靶式气流磨	(150)
5.3	介质搅拌磨	(154)

5.3.1	概述	(154)
5.3.2	间隙式搅拌磨	(157)
5.3.3	循环式搅拌磨	(160)
5.3.4	连续式搅拌磨	(161)
5.3.5	塔式磨	(165)
5.3.6	螺旋搅拌磨	(166)
5.3.7	双锥环隙搅拌磨	(168)
5.3.8	研磨剥片机	(169)
5.3.9	偏心搅拌磨	(170)
5.4	振动磨	(170)
5.4.1	概述	(170)
5.4.2	单筒式振动磨	(175)
5.4.3	多筒式振动磨	(177)
5.4.4	新型振动磨	(180)
5.5	胶体磨	(184)
5.5.1	胶体磨粉碎原理	(184)
5.5.2	胶体研磨机	(186)
5.6	高压射流式粉碎机	(189)
5.7	其它	(190)
5.7.1	CLM 旋磨机	(190)
5.7.2	CXM 气旋流粉碎机	(192)
5.7.3	多级粉碎及分级磨机	(193)
5.7.4	离心磨	(194)
6	分级原理与精细分级设备	(198)
6.1	精细分级原理	(199)
6.1.1	重力和离心力分级原理	(199)
6.1.2	分级粒径	(203)
6.1.3	沉降分级(离)极限	(209)

6.1.4	分级效率	(211)
6.2	精细分级设备	(212)
6.2.1	干式精细分级机	(212)
6.2.2	湿式精细分级机	(223)
7	超细粉碎工艺	(236)
7.1	概述	(236)
7.2	气流磨粉碎工艺	(238)
7.2.1	空气流粉碎工艺	(238)
7.2.2	过热蒸气湿法捕集工艺	(239)
7.2.3	过热蒸气干法捕集工艺	(240)
7.2.4	惰性气流粉碎工艺	(242)
7.2.5	易燃易爆物料气流粉碎工艺	(243)
7.2.6	CP 系列气流粉碎分级工艺	(243)
7.2.7	流化床逆向气流磨超细粉碎工艺	(244)
7.2.8	塔靶式气流磨超细粉碎工艺	(245)
7.3	高速机械冲击磨超细粉碎工艺	(247)
7.4	介质研磨超细粉碎工艺	(249)
7.4.1	球磨机超细粉碎工艺	(249)
7.4.2	搅拌磨超细粉碎工艺	(251)
7.4.3	砂磨机超细研磨工艺	(259)
7.4.4	振动磨连续超细粉碎工艺	(261)
7.5	其它超细粉碎工艺	(262)
7.5.1	CXM 气旋流粉碎机超细粉碎工艺流程	(262)
7.5.2	塔式磨干法超细粉碎工艺	(263)
7.5.3	高压辊磨机超细粉碎工艺	(264)
7.6	超细粉碎工艺设计及设备选型	(266)
8	超细粉碎实践	(271)
8.1	重质碳酸钙	(271)

8.1.1	干法生产线	(272)
8.1.2	湿法生产线	(275)
8.1.3	干法和湿法组合生产线	(279)
8.2	高岭土	(279)
8.3	滑石	(286)
8.4	云母	(289)
8.5	石墨	(296)
8.6	硅灰石	(301)
8.7	锆英石	(303)
8.8	重晶石	(304)
8.9	其它	(305)
8.9.1	磨料	(305)
8.9.2	钛白粉	(305)
8.9.3	水泥	(306)
8.9.4	水煤浆	(307)
附录 中国主要超细粉碎与精细分级设备厂商		(312)
参考文献		(316)

1 绪论

根据粉碎加工技术的深度和粉体物料物理化学性质及应用性能的变化,一般将细粉体和微细粉体划分为 $10\sim 1000\mu\text{m}$ (细粉)、 $0.1\sim 10\mu\text{m}$ (超细粉)和 $0.001\sim 0.1\mu\text{m}$ (超微细粉)三种。对于 $10\sim 1000\mu\text{m}$ 的细粉一般采用传统的粉碎或磨粉设备及相应的分级设备等加工,这种加工技术称为磨粉;小于 $0.1\mu\text{m}$ 的超微细粉目前还难以完全用机械粉碎的方法进行加工,需要采用其他物理、化学方法进行加工;一般将加工 $0.1\sim 10\mu\text{m}$ 的超细粉体的粉碎和相应的分级技术称为超细粉碎。工业上所称的超细粉碎一般指加工 $d_{97}=10\mu\text{m}$ 超细粉体的粉碎和相应的分级技术。

1.1 超细粉碎技术与现代产业发展

超细粉碎技术是伴随现代高新技术和新材料产业,如微电子和信息技术、高技术陶瓷和耐火材料、高聚物基复合材料、生物化工、航空航天、新能源等以及传统产业技术进步和资源综合利用及深加工等发展起来的一项新的粉碎工程技术。现已成为最重要的工业矿物及其他原材料深加工技术之一,对现代高新技术产业的发展具有重要意义。

超细粉体由于粒度细、分布窄、质量均匀、缺陷少,因而具有比表面积大、表面活性高、化学反应速度快、溶解度大、烧结温度低且烧结体强度高、填充补强性能好等特性以及独特的电性、磁性、光

学性能等,广泛应用于高技术陶瓷、陶瓷釉料、微电子及信息材料、塑料、橡胶及复合材料填料、润滑剂及高温润滑材料、精细磨料及研磨抛光剂、造纸填料及涂料、高级耐火材料及保温隔热材料等高新技术和新材料产业。

具有特殊功能(电、磁、声、光、热、化学、力学、生物等)的高技术陶瓷是近 20 年迅速发展新材料,被称之为继金属材料和高分子材料后的第三大材料。在制备高性能陶瓷材料时,原料越纯、粒度越细,材料的烧成温度越低,强度和韧性越高,一般要求原料的粒度小于 $1\mu\text{m}$ 甚至 $0.1\mu\text{m}$ 。如果原料的细度达到纳米级,则制备的陶瓷称之为纳米陶瓷,性能更加优异,是当今陶瓷材料发展的最高境界。粒度细而均匀的釉料使制品釉面光滑平坦、光泽度高、针孔少。一般高级陶瓷釉料要求不含或尽量少含大于 $15\mu\text{m}$ 的颗粒。用作釉料的锆英石粉的平均粒径要求为 $1\sim 2\mu\text{m}$ 。因此,超细粉碎技术与高技术陶瓷材料及高级陶瓷制品密切相关。

显像管是现代微电子和信息产业的重要器件。显像管用的氧化铝微粉平均粒径一般要求为 $1.5\sim 5.5\mu\text{m}$;黑底石墨乳粒径要小于 $1\mu\text{m}$,管颈石墨乳小于 $4\mu\text{m}$,销钉及锥体石墨乳小于 $10\mu\text{m}$;现代重要信息材料的复印粉及打印墨粉要求粒径达到微米级;现代高档纸张用的高岭土和碳酸钙涂料要求细度 $-2\mu\text{m}$ 含量超过 90%,填料要求 $-2\mu\text{m}$ 含量达到 40% 以上。显然,现代微电子和信息产业的发展离不开超细粉碎和精细分级技术。

高聚物基复合材料的重要组成部分之一是碳酸钙、高岭土、滑石、云母、硅灰石、石英、氧化铝、氧化镁、透闪石、伊利石、硅藻土等。这些工业矿物填料的重要质量指标之一是其粒度大小及粒度分布。在一定范围内,填料的粒度越细,级配越好,其填充和补强性能越好。高性能的高聚物基复合材料一般要求无机工业矿物填料的细度小于 $10\mu\text{m}$ 。例如,低密度聚乙烯薄膜要求碳酸钙填料的平均粒径 $1/4\sim 3/4\mu\text{m}$,最大粒径小于 $10\mu\text{m}$;聚烯烃和聚氯乙烯热塑性

复合材料要求平均粒径 $1\sim 4\mu\text{m}$ 的改性重质碳酸钙填料;平均粒径 $1\sim 3\mu\text{m}$ 的重质碳酸钙在聚丙烯、均聚物和共聚物中的填充量为 $20\%\sim 40\%$,而且制品的弹性模量较单纯的聚合物还要高;平均粒径 $0.5\sim 3\mu\text{m}$ 的重质碳酸钙不仅可以降低刚性和柔性 PVC 制品的生产成本,还可提高这些制品的冲击强度。在美国,用作塑料填料的高岭土的平均粒径为:粗粒级 $2\sim 3\mu\text{m}$,中粒级 $1.5\sim 2.5\mu\text{m}$,细粒级 $0.5\sim 1.0\mu\text{m}$;煅烧高岭土 $0.3\sim 3\mu\text{m}$ (硅烷处理)。因此,超细粉碎和精细分级技术是高聚物基复合材料中填充的无机工业矿物填料所必须的加工技术之一。

高档涂料的着色颜料和体质颜料粒度越细、粒度分布越均匀,应用效果越好。例如,作为白色颜料的金红色型 TiO_2 ,考虑其光学性能,最合适的粒径是 $0.2\sim 0.4\mu\text{m}$;具有电、磁、光、热、生物、防腐、防辐射、特种装饰等功能的特种涂料,一般要求使用粒径微细、分布较窄的功能性颜料或填料,如含玻璃微珠厚层涂膜的道路标志涂料,所用的玻璃微珠反射填料的平均粒径为 $0.1\sim 1\mu\text{m}$;用作玻璃模具脱模剂的高温润滑涂料,其无机矿物填料石墨、碳化硼等的平均粒径要求小于 $10\mu\text{m}$ 。这些颜料或填料的加工无疑离不开超细粉碎和精细分级技术。

矿物原料的粒度大小和粒度分布直接影响耐火材料及保温隔热材料的烧成温度、显微结构、机械强度和容重。对同一种原料,粒度越细烧成温度越低、制品的机械强度越高。所以现代高档耐火材料一般选用粒径 $0.1\sim 10\mu\text{m}$ 的超细粉体作为原料。对于轻质隔热保温材料,如硅钙型硅酸钙,石英粉原料的粒度越细,容重越小,质量越好。所以制备容重小于 $130\text{kg}/\text{m}^3$ 的超轻硅钙型硅酸钙,要求石英粉的细度小于 $5\mu\text{m}$ 。

精细磨料和研磨抛光剂,如碳化硅、金刚砂、石英、蛋白石、硅藻土等,在某些应用领域要求其粒度小于 $10\mu\text{m}$ 。用于制备研磨和抛光剂的硅藻土,小于 $10\mu\text{m}$ 的颗粒占 99.95% ,颗粒平均粒径 5

~7 μm 。

超细粉碎与现代新兴产业密切相关的另一个例子是生化剂药业。研究表明,超细粉碎加工可显著提高药品的生物活性和有效成分的利用率。同时可以将一些难溶或难以提取有效成分的药材加工成易溶、易于提取有效成分或易于被人体吸收的速溶品或保健品,从而大大提高药材,尤其是传统中药材的有效成分利用率。现在,超细粉碎技术已经在一些药品及保健品,如花粉、人参、当归等的加工中得到应用。预计,随着药品经超细粉碎加工后生理或生物活性和临床应用效果研究的逐步深化,超细粉碎技术将在一定程度上改变传统的制药工业,尤其是某些中药的传统制作工艺和使用方法。

超细粉碎技术因现代高技术新材料产业的崛起而发展,反过来又促进相关高技术新材料产业的更大进步,以至在全球范围内,自80年代初以来各种超细粉体原料的需求量呈快速增长。据统计,中国在90年代末之前,非金属矿物超细粉体产品还不足5万t,到1996年已超过30万t。预计到2000年,中国非金属矿物超细粉体产品的产量将超过50万t,2010年将达到120万t以上。

1.2 超细粉碎过程特点

由于物料粉碎至微米及亚微米级,与粗粉或细粉相比,超细粉碎产品的比表面积和比表面能显著增大,因而在超细粉碎过程中,随着粒度减小至微米级,微细颗粒相互团聚(形成二次颗粒或三次颗粒)的趋势逐渐增强,在一定的粉碎条件和粉碎环境下,经过一定的粉碎时间后,超细粉碎作业处于粉碎—团聚的动态平衡过程,在这种情况下,微细物料的粉碎速度趋于缓慢,即使延长粉碎时间(继续施加机械应力),物料的粒度也不再减小,甚至出现“变粗”的趋势。这是超细粉碎过程最主要的特点之一。超细粉碎过程出现这种粉碎—团聚平衡时的物料粒度称之为物料的“粉碎极限”。当

然,物料的粉碎极限是相对的,它与机械力的施加方式(或粉碎机械的种类)和效率、粉碎方式、粉碎工艺、粉碎环境等因素有关。在相同的粉碎工艺条件下,不同种类物料的粉碎极限一般来说也是不相同的。

超细粉碎过程不仅仅是粒度减小的过程,同时还伴随着被粉碎物料晶体结构和物理化学性质程度不同的变化。这种变化对相对较粗的粉碎过程来说是微不足道的,但对于超细粉碎过程来说,由于粉碎时间较长、粉碎强度较大以及物料粒度被粉碎至微米级或亚微米级,这些变化在某些粉碎工艺和条件下显著出现。这种因机械超细粉碎作用导致的被粉碎物料晶体结构和物理化学性质的变化称为粉碎过程机械化学效应。这种机械化学效应对被粉碎物料的应用性能产生一定程度的影响,正在有目的地应用于对粉体物料进行表面活化处理。

由于粒度微细,传统的粒度分析方法——筛分分析已不能满足其要求。与筛分法相对应的用“目数”来表示产品细度的单位也不便用于表示超细粉体。这是因为通常测定粉体物料目数(即筛分分析)用的标准筛(如泰勒筛)最细只到400目(筛孔尺寸相当于 $38\mu\text{m}$),不可能用来测定超细粉体的粒度大小和粒度分布。现今超细粉体的粒度测定广泛采用现代科学仪器,如电子显微镜、激光粒度分析仪、库尔特计数器、图像分析仪、重力及离心沉降仪以及比表面积测定仪等。测定结果用“ μm ”(粒度)或“ m^2/g ”(比表面积)为单位表示。其细度一般用小于某一粒度(μm)的累积百分含量 $d_y = x\mu\text{m}$ 表示(式中 x 表示粒度大小, y 表示被测超细粉体物料中小于 $x\mu\text{m}$ 粒度物料的百分含量),如 $d_{50} = 2\mu\text{m}$ (50%小于 $2\mu\text{m}$,即中位粒径), $d_{90} = 2\mu\text{m}$ (90%小于 $2\mu\text{m}$), $d_{97} = 10\mu\text{m}$ (97%小于 $10\mu\text{m}$)等等。有时为方便应用同时给出被测粉料的比表面积。对于超细粉体的粒度分布也可用列表法、直方图、累积粒度分布图等形式表示。

迄今为止的超细粉碎方法主要是机械粉碎。设备包括机械冲击式磨机、气流磨机、旋转球磨机、搅拌球磨机、振动球磨机、离心磨机、旋磨机、胶体磨、高压水射流磨等超细粉碎设备和精细分级机以及产品输送、过滤干燥、检测控制和除尘通风等配套工艺设备。在工艺设置上有批量开路、连续开路和连续闭路等几种型式，包括干法和湿法两种粉碎方式。

1.3 超细粉碎的主要研究内容和发展趋势

超细粉碎是一个涉及粉体工程、颗粒学、力学、固体物理、化工、物理化学、流体力学、机械学、矿物加工工程、岩石与矿物学、现代仪器分析与测试技术等多学科的新兴工程技术领域。它的主要研究内容包括以下几个方面：

(1)超细粉碎基础理论。包括超细粉体的粒度、表面物理化学特性及其表征方法；不同性质微细颗粒的受力变形和粉碎机理；超细粉碎过程的描述和数学模型；被粉碎物料在不同超细粉碎方法、设备及不同粉碎条件和粉碎环境下的能耗规律、产品细度及粒度分布、粉碎效率或能量利用率；不同设备或机械应力的施加方式，如冲击、打击、研磨、摩擦、剪切、磨削、挤压等在不同粉碎条件下对被粉碎物料晶体结构和物理化学性能的影响（粉碎过程的机械化学效应）；粉碎物理化学环境及助磨剂、分散剂等对产品细度、物化性能及粉碎效率和能量利用率的影响；等等。这些基础理论研究对于超细粉碎设备的开发、工艺的优化、粉碎效率和能量利用率的提高以及超细粉体的应用等都是极为重要的。

(2)超细粉碎设备。包括各类超细粉碎设备、精细分级设备以及与之配套的过滤干燥、包装、储存与输送等设备。这是超细粉碎工程最主要的研究内容之一。

(3)超细粉碎工艺。包括不同种类、不同性质工业矿物及其他原料在一定细度、粒度分布及纯度等指标要求下的超细粉碎工艺

流程和设备选型。由于超细粉碎工程技术涉及的原料种类很多,而且性质各异,加上不同应用领域对超细粉体细度、级配及其他质量指标要求的不同,因此,超细粉碎工艺研究是超细粉碎技术、设备应用于工业生产的关键环节之一。

(4)超细粉碎过程的粒度监控技术和超细粉体的粒度检测技术。超细粉碎过程的在线粒度监控技术是实现超细粉碎工业化自动控制和连续生产的关键因素之一。超细粉体的粒度检测技术是科学研究和生产管理所必须的手段。

在即将到来的 21 世纪,人类社会将面临高技术和新材料产业发展壮大、传统产业技术进步加快、相关应用领域对各类超细粉体产品的需求量增大的良好机遇,同时也面临对超细粉体产品粒度及粒度分布、颗粒形状、纯度等要求的提高以及节约能源、保护自然环境和自然资源的严峻挑战。作为与高技术新材料产业及传统产业技术进步密切相关的原材料深加工技术的超细粉碎工程技术面对这些机遇和挑战,将在加强理论研究的基础上发展新技术、新设备、新工艺以及在线粒度大小和粒度分布的监控技术。其主要发展趋势是:

(1)改进现有超细粉碎与精细分级设备。主要是提高单机处理能力和降低单位产品能耗、减少磨耗、提高自动化控制水平和综合配套性能。

(2)发展新型超细粉碎和精细分级设备。与现有超细粉碎设备相比,新型超细粉碎设备的特点是能量利用率高、生产能力大、粉碎极限粒度小、粉碎比大、磨耗少、污染轻、适用范围宽或可用于特殊物料,如低熔点、高硬度、易燃易爆、韧性物料等的加工;新型精细分级设备的特点是分级粒度细、精度高、处理能力大、与超细粉碎设备的配套性能好。

(3)优化工艺和完善配套。发展能满足或适应不同性质物料,不同细度、级配和纯度的要求,具有不同生产能力的超细粉碎成套