



球磨时间对 BC 干粉灭火剂形态特征的影响

黄冬梅, 王信群, 杨 剑

(中国计量学院 质量与安全工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要:为了探究球磨时间对 BC 干粉灭火剂形态特征的影响机理,以常用的 BC 干粉灭火剂为原料,硬脂酸镁为表面改性剂,采用机械粉磨法对其进行粉磨,并测定其形态特征。结果表明,当球磨时间为 0.5~4 h 时,粉体表观中位粒径呈现先减小后增大的趋势,粉体形貌由较为松散的团聚体变为较密实的球形团聚体,转折点为球磨时间 2 h,球磨工艺的最优表观中位粒径为 3.82 μm ,最佳球磨时间为 2 h,极限粒径约为 0.9~1.2 μm 。

关键词:干粉灭火剂;球磨;粒径分布;形貌

中图分类号:X932 文献标志码:A

文章编号:1008-5548(2014)01-0001-06

Influence of Milling Time on Morphologic Characters of BC Dry Powder Extinguish Agents

HUANG Dongmei, WANG Xinqun, YANG Jian

(College of Quality and Safety Engineering, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: To investigate the influence mechanism of milling time on morphologic characters of BC dry powder extinguish agents, the BC dry powder extinguish agents were prepared by utilizing planetary ball milling apparent to grind the mixture powders which were consisted of BC dry powder extinguish agents and magnesium stearates. The morphologic characters of the milling and commercial powders were measured. The results show that the apparent median particle size decreases firstly and then increases when the milling time is between 0.5 and 4 h. The morphology turns from a loose aggregate to a dense spherical aggregate. The critical milling time is 2 h. The optimal apparent median particle size is 3.82 μm . The optimum milling time is 2 h. The limit particle size is between 0.9 and 1.2 μm .

Key words: dry powder extinguish agents; ball milling; particle size distribution; morphology

粉体是最常见的灭火剂之一,尤其是近年来随着

哈龙等卤代烷灭火剂的停止使用,粉体灭火剂需求量不断增大,应用领域不断扩展,已成为较优异的哈龙灭火剂的替代品^[1-2]。目前常用的干粉灭火剂为灭火基料、防潮剂、润滑剂等的混合物,通常使用的防火基料为小苏打、碳酸铵、磷酸的铵盐等。普通干粉灭火剂粒径通常在 60 μm 左右,相比较而言,颗粒粒度较大,比表面积小,易沉降,且分解较慢,因此灭火效率较低,限制了干粉灭火剂的使用。超细干粉灭火剂为微米级干粉灭火剂,由于其粒径较小,弥散性较强,比表面积较大,表面活性较高,单个粒子较轻,沉降较慢,受热时分解快,捕捉自由基的能力较强,灭火效率优于同等条件下普通干粉灭火剂的^[3-5]。近年来,制备粒径较小、分散均匀的粉体灭火剂逐渐成为国内外火灾防治研究的热点问题之一,采用的细化方法主要有机械细化法、气流破碎法、喷雾干燥法等^[6-12],但是气流破碎法及喷雾干燥法制备过程中能量消耗较大,这将致使产品生产成本增大,难以推广和普及;而机械破碎法,如球磨粉碎所需设备及工艺参数简单,制备时能耗较小(通常情况下节能量约为 30%~40%^[13]),目前已广泛用于超细粉体制备、机械力化学等领域^[14],是我国目前最常用的一种细化方法。近几十年来,国内外研究者就球磨参数对粉体形貌的影响开展了研究。Kelsall 等^[15-18]研究了球磨停留时间分布、磨球直径、助磨剂密度等对湿磨效率的影响,结果表明改变磨球直径主要影响平均停留时间及某一粒径的一阶破碎率常数,而对无量纲的瞬间破碎函数或停留时间影响不大。Schilz 等^[19]研究了行星球磨机运行时球磨参数对热电半导体材料如 Si-Ge、 Mg_2Si 、 $\text{Mg}_2(\text{Si}, \text{Sn})$ 合金形成的影响,结果表明磨球形状、角速度是影响球磨性能的主要因素。郝保红等^[20]研究得出石英粉在干磨和湿磨以及钢球干磨条件下的粉碎极限,并指出可通过改变粉碎条件来控制粉碎极限,延缓粉碎平衡。颜景平等^[21]对行星球磨机最佳参数进行理论分析,得出行星球磨机的最佳转速、最佳装载率、最佳料球比、破碎速度、极限细度等参数。综上所述,前人对行星球磨机粉碎过程中的最佳参数进行了部分研究,但是较少对某一球磨参数,如球磨时间对粉磨效果的影响机理开展较深入细

收稿日期:2013-06-06, 修回日期:2013-06-27。

基金项目:国家国际科技合作专项项目,编号 2013DFG71760;国家自然科学基金项目,编号 51174182;浙江省公益项目,编号:2012C23053。

第一作者简介:黄冬梅(1984—),女,博士,讲师,研究方向为粉体灭火原理及技术、消防员个人防护装备。电话:0571-86914534, E-mail: 20021567@163.com。

致的研究。本文中以常用的BC干粉灭火剂为原料,以硬脂酸镁为表面处理剂,采用行星球磨机粉磨样品,在一定工艺条件下,研究球磨时间对粉体表观粒径分布及形貌的影响,确定最优球磨时间及最佳粒径,为采用机械细化法制备分散性好、疏水性强的超细干粉灭火剂提供参考。

1 实验

1.1 立式行星球磨机的工作原理

立式行星球磨机工作系统如图1所示。该系统通常由水平的转盘和4个垂直放置的球磨罐组成,这些球磨罐均匀分布在转盘上,各球磨罐的中心轴线相互平行。系统包括2种运动系统:主盘运动系统及行星盘运动系统,其中主盘运动系统以角速度 ω_2 绕主轴匀速转动,行星盘以角速度 ω_1 绕行星轴匀速转动。2种运动系统共同作用使球磨罐进行行星运动^[22-23]。球磨罐内的磨球受到惯性力、磨球之间相互作用力、球磨罐壁的支撑力、惯性力的合力在磨球切线方向上的分力、球磨罐内壁之间的摩擦力及自身重力的作用。

球磨粉碎是机械粉碎最常用的方式,其基本原理是通过外力作用扩展被破碎颗粒内部原有的微裂纹、位错等晶格缺陷,以达到破碎的目的。在外力作用下,当颗粒所能承受的临界应力小于其内部产生的应力

时,颗粒内部发生断裂,达到粉碎的目的^[17]。

1.2 实验方法

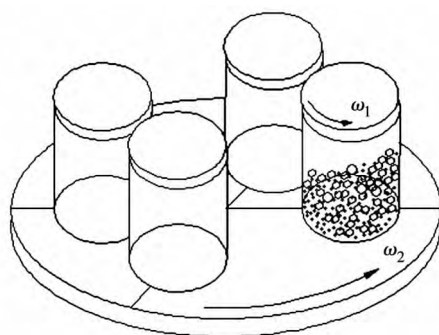
以市售BC干粉灭火剂(山东能源集团有限公司)为原料,其主要成分是质量分数为92%的碳酸氢钠,填料是质量分数为4%的活性白土、质量分数为4%的云母粉和防结块添加剂。使用前采用鼓风干燥箱于50℃温度下干燥24 h。超细BC干粉粉碎实验在QM-3SP4型行星球磨机上进行,球磨罐是容积为1 000 mL的尼龙罐,共4个,磨罐直径为107.7 mm,高度为115 mm,电机调速频率为35 Hz。磨球为玛瑙球,每罐磨球质量为400 g,磨球直径分别为6、10、20 mm。球磨机运行方式为正、反交替间歇运行,即顺时针转30 min—停止30 min—逆时针转30 min—停止30 min,如此循环。为了提高物料的表面活性,缓解糊球及结底现象,选用硬脂酸镁为表面改性剂,对BC干粉进行干法表面改性处理,加入量为BC干粉的2%(质量分数)。

采用单因素分析法研究球磨时间对BC干粉灭火剂粉体形貌及粒度分布的影响。球磨时间为球磨机运行的有效时间,不包括间歇运行期间的停止时间。球料质量比为4:1,每只磨罐磨球均由直径为20、10、6 mm的玛瑙球混合组成,其中直径为20 mm的磨球4个,直径为10 mm的磨球200个,直径为6 mm的磨球若干,球磨时间为0.5~4.5 h,增加步长为0.5 h,共8组。

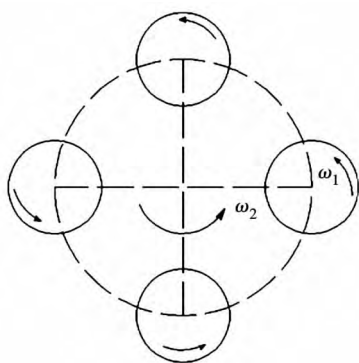
采用S3500型激光粒度仪测定球磨后样品的粒度分布,分散剂为无水乙醇。由于超细粉体灭火剂在使用之前将不会采用分散处理,因此为了接近实际使用情况,直接测定粉体的表观粒径。采用扫描电镜(SEM)观察不同条件下球磨后粉体样品的形貌。

2 结果与讨论

以市售BC干粉灭火剂为原料,采用立式行星球磨机对其进行粉磨,测定球磨时间对物料形貌及粒径分布的影响。共进行8组实验,分别编号为MT1—8,对每组实验的出料进行粒径分析及扫描电镜观察。各实验组别的分析结果如表1所示。由表可知,在采用行星球磨机对BC干粉灭火剂进行粉磨时,粉体出现不同程度的结底和糊球现象;物料结底和糊球现象越严重,粉磨效率越低,出料量越少;在球磨过程中粉体基本未出现糊球现象,但是当球磨时间大于2 h时,出现明显的结底现象,即几乎所有的粉体均沉于罐底。球磨粉体结底、糊球的3种情况如图2所示。在粉磨过程中产生糊球、结底的原因有以下几个方面:1)磨球在球磨罐内高速运转,不断地与罐壁和磨球摩擦,产生热量,从而致使罐内温度升高;2)粉磨过程中,大颗粒在磨球及壁面的撞击下表面能不断增大,



(a) 转盘



(b) 磨罐

ω_1 —行星盘绕行星轴匀速转动的角速度,rad/s;
 ω_2 —主盘运动系统绕主轴匀速转动的角速度,rad/s。

图1 立式行星球磨机工作系统

Fig. 1 Work system of vertical planetary ball mill

表 1 各实验组别的粉磨结果
Tab. 1 Ball milling results of each experiment

试样	球磨时间/h	结底	糊球
MT1	0.5	-	-
MT2	1.0	-	-
MT3	1.5	-	-
MT4	2.0	-	-
MT5	2.5	+	-
MT6	3.0	++	-
MT7	3.5	++	-
MT8	4.0	++	-

注: + —微量糊球或结底; ++ —糊球或结底严重; - —不糊球或不结底。

断裂面的表面电荷增加,不但使颗粒相互粘附和聚集,还会导致糊球、结底现象发生。

2.1 粒径分布的变化

采用激光粒度仪测定不同球磨时间下粉体的粒径分布,结果如图 3 所示。由图可知,行星球磨对 BC 干粉灭火剂粉体粒径的影响十分明显。与未球磨的粉体相比,BC 干粉灭火剂的平均粒径明显减小,可见,采用行星球磨机对 BC 干粉灭火剂进行机械破碎,其粉磨能力较强,破碎效率较高。BC 干粉灭火剂粉磨前,其粉体的粒径主要分布在 50~150 μm ,最大粒径和最小粒径分别约为 296.0、1.635 μm 。球磨时间为

0.5~4 h 时,粉体的粒径分布主要表现为 2 种形式:当球磨时间为 0.5~2 h 时,粉体粒径较均匀,粉体粒径分布近似成偏正态分布,分布较窄,累积体积分数为 80% 时粉体粒径小于 20 μm ,占总体积最多的粉体粒径分别为 7.78、4.62、3.27、2.31 μm ,球磨时间分别为 0.5、1、1.5、2 h 时,累积体积分数为 95% 时粉体粒径分别小于 30、45、60、60 μm ,粉体的最小粒径随着球磨时间的延长略有减小,但是均小于 0.6 μm ,最大粒径随着球磨时间的延长而增大,依次为 87.99、148.0、209.3、248.9 μm ;当球磨时间为 2.5~4 h 时,粉体粒度分布出现 2 个峰值,较小的峰值在 4 μm 附近,较大的峰值在 60 μm 附近,说明此时粉体粒径不均匀,主要分布在 2 个区间。粉体最小粒径小于 0.6 μm ,粉体的最大粒径随着球磨时间的延长出现先增大后减小的趋势,当球磨时间为 3、3.5 h 时,粉体的最大粒径达到 418 μm 。累积体积分数为 80%、95% 时粉体粒径随着球磨时间的延长而增大。当球磨时间为 4 h 时,累积体积分数为 95% 的粉体粒径小于 150 μm ,接近未球磨的 BC 干粉灭火剂。

图 4 所示为 BC 干粉灭火剂粉体表观中位粒径随球磨时间的变化规律。由图可知,球磨后粉体的中位粒径小于原始 BC 干粉的粒径,粉体的表观中位粒径呈现先减小后增大的趋势,球磨时间为 0.5 h 时,粉

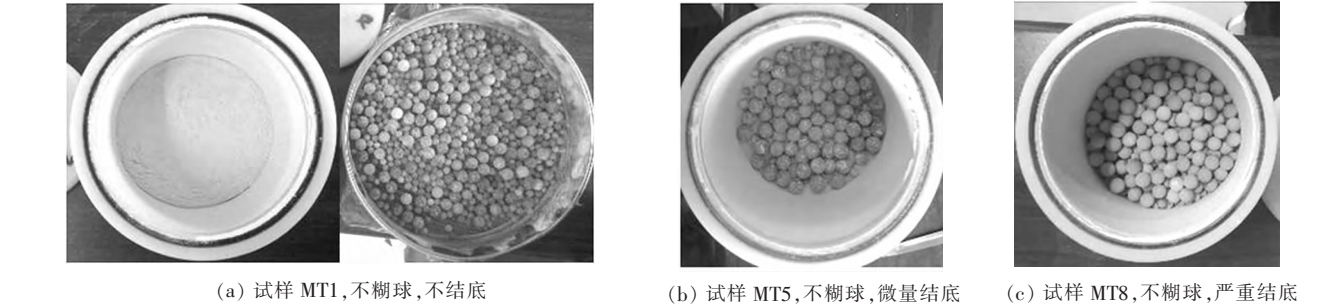


图 2 球磨 BC 干粉灭火剂的结底、糊球情况
Fig. 2 Pot bottom and ball sticking of ball milling BC dry powder extinguish agents

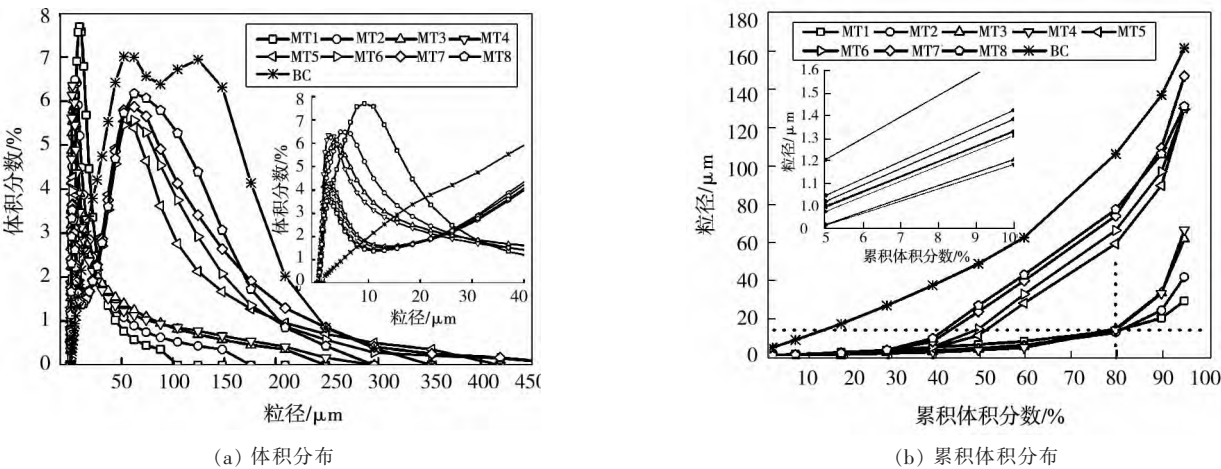


图 3 BC 干粉灭火剂粉体粒径分布
Fig. 3 Particle size distribution curves of BC dry powder extinguish agents

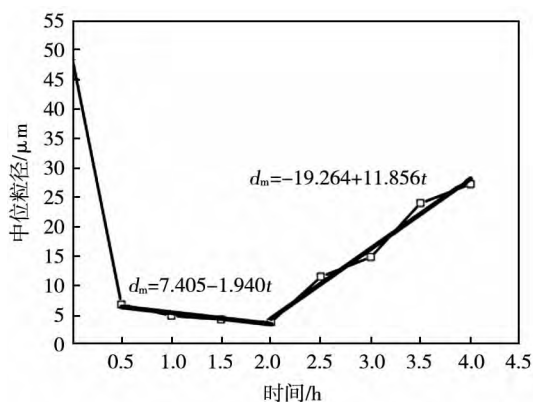


图 4 BC 干粉灭火剂粉体表现中位粒径随球磨时间的变化规律

Fig. 4 Variation of apparent median particle size of BC dry powder extinguishers and ball milling time

磨效率较高, 粉体表现中位粒径由 $49\ \mu\text{m}$ 减小为 $6.8\ \mu\text{m}$, 可见机械球磨可有效减小 BC 干粉灭火剂粉体表现中位粒径。当球磨时间为 $0.5\sim 2\ \text{h}$ 时, 粉体表现中位粒径与球磨时间呈线性关系减小, 关系式为 $d_m = 7.405 - 1.940t$, 其中 d_m 为粉体表现中位粒径, μm , t 为球磨时间, h 。当球磨时间大于 $2\ \text{h}$ 时, 粉体表现中位粒径随着球磨时间的延长而增大, 采用关系式 $d_m = -19.264 + 11.856t$ 表示。由此可知, 当采用行星球磨机对 BC 干粉灭火剂进行机械粉磨时, 球磨初期粉磨效率较高。球磨最优时间为 $2\ \text{h}$ 。

2.2 粉体形貌的变化

图 5 为球磨前后及不同球磨时间 BC 干粉灭火剂

样品的扫描电镜图像。由图可知, 球磨前粉体的分散性优于球磨后的。结合粒径分析结果可知, 机械球磨粉碎可减小粉体粒径, 但是粉磨后的粉体团聚为较大颗粒, 当球磨时间小于 $2\ \text{h}$ 时, 形成较松散的不规则形状的团聚体, 如图 5(b)~(e) 所示, 结合粒径分析可知, 这种团聚体在酒精溶剂中可分散, 从而使粉体粒径随着球磨时间的延长而减小。当球磨时间大于等于 $2.5\ \text{h}$ 时, 形成球形的团聚体, 如图 5(f)~(i) 所示, 结合粒径分析结果可知, 球磨时间越长, 形成的团聚体越紧密, 越不易分散, 此时测定得到的粒径为不易分散的团聚体的整体直径。

为了进一步观察粉磨前后粉体的形貌, 进一步放大粉体的表现形貌, 如图 6 所示。由图 6(a) 可知, 原始 BC 干粉灭火剂的粉体为不规则的形状, 采用机械球磨对粉体进行粉碎后, 粉体粒径减小, 但是其形貌仍为不规则形状。对比图 6(b)、(c) 可知, 球磨可减小粉体的粒径, 且粉体粒径随着球磨时间的延长而减小, 但是随着粉体粒径的减小, 颗粒之间的结合力不断增大, 团聚现象加剧。

由上述分析可知, 当球磨时间由 $0.5\ \text{h}$ 延长到 $4\ \text{h}$ 时, BC 干粉灭火剂粉体粒径呈先减小后增大的趋势。主要原因是行星球磨机超细粉碎是由粗变细的粉碎与团聚的复杂过程, 而并非简单的破碎过程^[20], 球磨粉碎过程原理如图 7 所示。

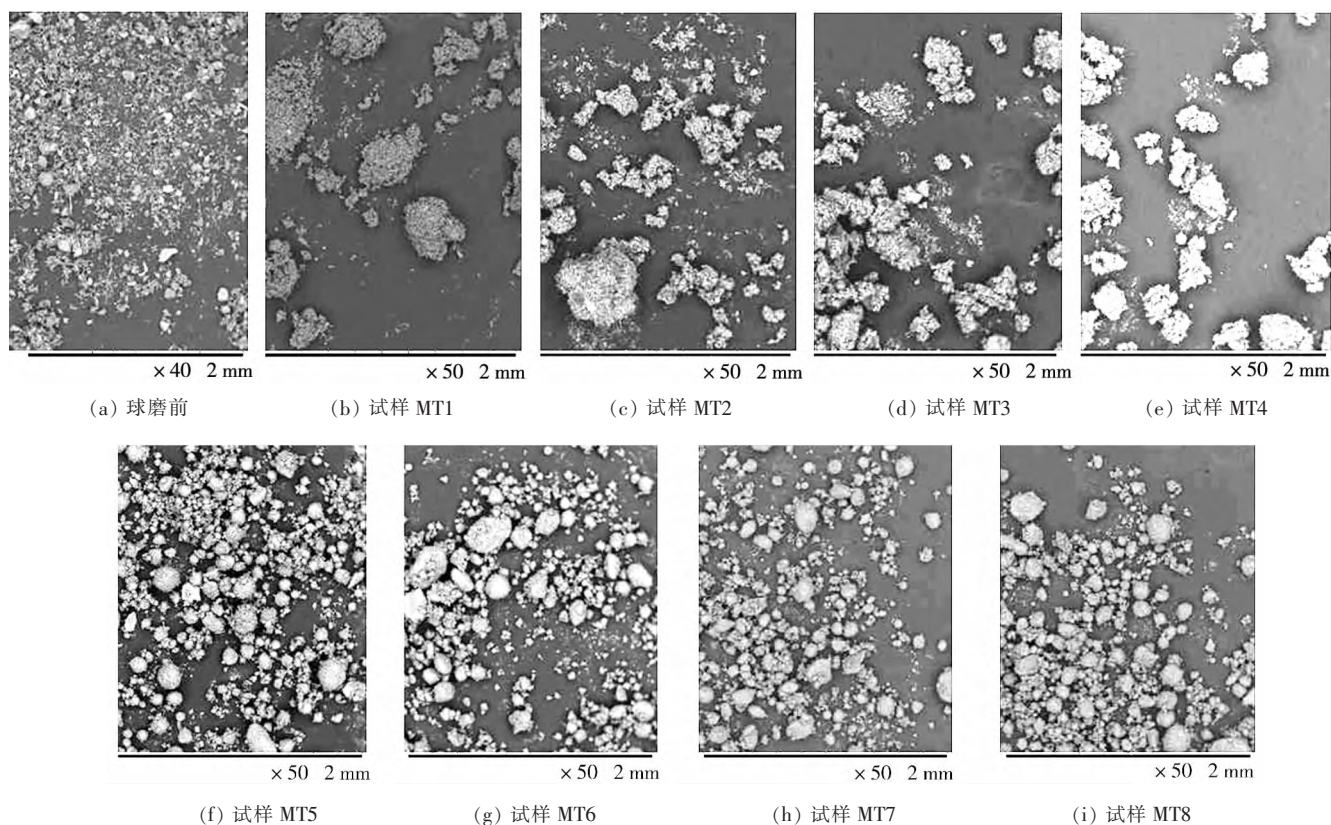


图 5 BC 干粉灭火剂球磨前、后及不同球磨时间样品的扫描电镜图像

Fig. 5 SEM images of BC dry powder extinguisher agent samples before and after ball milling and with different ball milling time

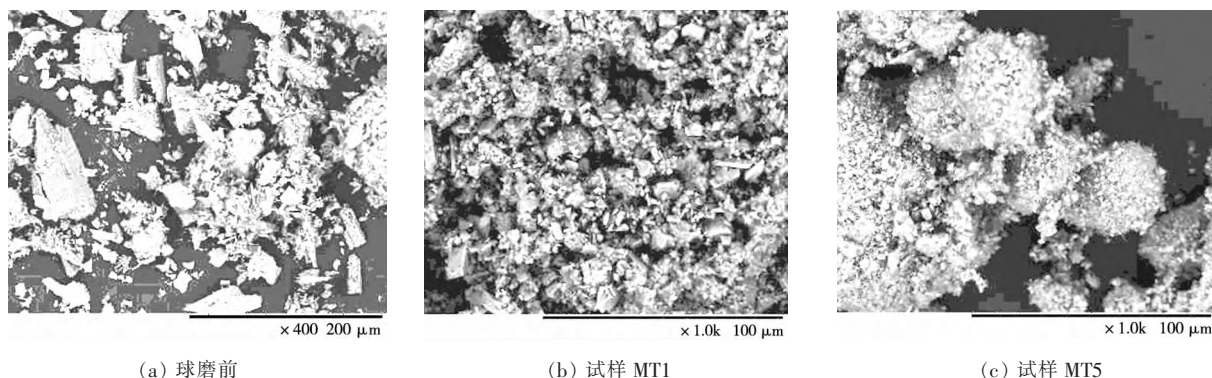


图 6 BC 干粉灭火剂球磨前、后样品的扫描电镜图像

Fig. 6 SEM images of BC dry powder extinguish agent samples before and after ball milling

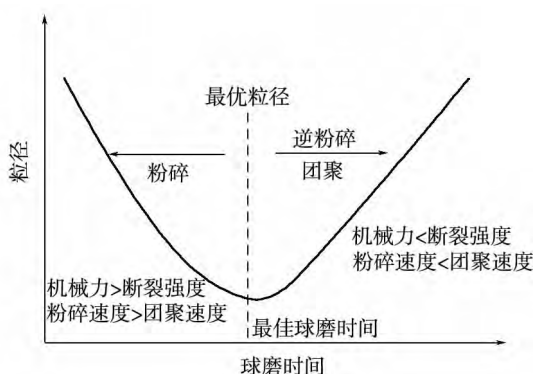


图 7 球磨粉碎过程原理

Fig. 7 Mechanism of ball milling progress

当球磨时间小于最佳时间时,磨球及磨罐在行星运动时产生较大的机械力,使粉体粒径减小,比表面积增大,与此同时,在机械力的作用下,也会导致粒径较小的颗粒出现团聚;但是当球磨时间较短时,颗粒较大的粉体较多,此时粉碎速度大于团聚速度,粉体平均粒径随着球磨时间的延长而减小。当球磨时间较长时,一方面,由于磨球直径、旋转速度的限制,磨球及磨罐产生的机械力不足以与物料进一步粉碎所需的更大断裂强度抗衡,导致微细颗粒难以继续粉碎得更细;另一方面,随着粉体中大颗粒不断被破碎,微细颗粒数增多,在机械力作用下将导致微细颗粒重聚,于是加剧团聚现象,这一现象常被称为“逆粉碎”^[20,23],此时粉体表观平均粒径随着球磨时间的延长而增大。最小的平均粒径称为该球磨工艺下的最优粒径,最优粒径对应的球磨时间为最佳球磨时间,球磨后粉体的最小粒径称为该球磨工艺下的极限粒径。由粒径分析结果可推断,实验中球磨工艺的最优粒径为 $3.82\ \mu\text{m}$,最佳球磨时间为 $2\ \text{h}$,极限粒径约为 $0.9\sim 1.2\ \mu\text{m}$,亦即,若在球磨过程中加入适宜分散剂,以防止细微颗粒之间的团聚,避免“逆粉碎”现象,则采用本文中的球磨工艺可得到粒径约为 $1\ \mu\text{m}$ 的粉体。

由图 3(a)分析可知,当球磨时间为 $2.5\sim 4\ \text{h}$ 时,粒径分布呈现双峰形状,粒径为 $0\sim 10\ \mu\text{m}$ 的粉体所占的比例随着球磨时间的延长而减小,粒径为 $10\sim$

$150\ \mu\text{m}$ 的颗粒所占的比例随着球磨时间的延长而增大,且粒径较大的颗粒所占的比例不断增大。由此可推断,球磨时间越长,团聚的粉体颗粒越多,粉体表观粒径越大。当球磨时间大于最佳球磨时间时,微细颗粒逐渐团聚为较大颗粒。由图 3(a)可以看出,当球磨时间大于 $2\ \text{h}$ 时,粉体最大粒径出现先增大后减小的趋势,由此可知,当粉体团聚到一定粒径后,随着球磨时间的延长,在机械力的作用下,再次将粉体内部较大颗粒破碎。本文中在测定粉体粒径前未采用超声分散,采用无水乙醇作为溶剂,因此可以推断当球磨时间大于最优球磨时间时,细微颗粒形成的团聚体结合较紧密,球磨过程中糊球及结底现象严重。

3 结论

1) 采用行星球磨机对 BC 干粉灭火剂进行粉磨,球磨时间小于 $0.5\ \text{h}$ 时的粉磨能力最强,球磨时间为 $0.5\sim 2\ \text{h}$ 时,粉磨效率略有提高,粉体粒径分布较均匀,体积分数为 80% 的粉体粒径小于 $20\ \mu\text{m}$,表观中位粒径与球磨时间呈线性减小的趋势;当球磨时间大于 $2\ \text{h}$ 时,粉磨效率降低,粉体粒径分布在 2 个区间,表观中位粒径与球磨时间呈线性增大的趋势。

2) 当球磨时间为 $0.5\sim 2\ \text{h}$ 时,粉体形貌为较松散的团聚体;当球磨时间为 $2.5\sim 4\ \text{h}$ 时,粉体形貌为较密实的球形团聚体,且形成团聚体的颗粒之间存在较强的结合力,不易分散。

3) 当球磨时间大于 $2.5\ \text{h}$ 时,出现“逆粉碎”现象,实验中球磨工艺的最优中位表观粒径为 $3.82\ \mu\text{m}$,最佳球磨时间为 $2\ \text{h}$,极限粒径约为 $0.9\sim 1.2\ \mu\text{m}$ 。若在球磨过程中加入适宜分散剂,以防止细微颗粒之间的团聚,避免“逆粉碎”现象,则采用本文中的球磨工艺可制备粒径约为 $1\ \mu\text{m}$ 的粉体。

参考文献 (References):

- [1] McCORNIICK S, CLAUSON M, CROSS H. US army ground vehicle crew compartment Halon replacement program [C] // Halon Options

- Technical Working Conference, 2000; 229-236.
- [2] KRASNYANSKY M. Remote extinguishing of large fires with powder aerosols[J]. Fire and Materials, 2006, 30(5): 371-382.
- [3] 周文英, 杜泽强, 介燕妮, 等. 超细干粉灭火剂[J]. 中国粉体技术, 2005, 11(1): 42-44.
- [4] 倪小敏, 况凯骞, 杨冬雷, 等. 载铁改性沸石粉体抑制甲烷-空气扩散火焰试验研究[J]. 中国安全科学学报, 2012, 22(1): 53-57.
- [5] TREES D, SESHADRI K. Experimental studies of flame extinction by sodium bicarbonate (NaHCO_3) powder[J]. Combustion Science and Technology, 1997(122): 215-230.
- [6] ZHANG Xiaojing, SHEN Zhigang, CAI Chujiang, et al. Modification of ADP extinguishing powder by siliconization in spray drying[J]. Particology, 2012, 10(4): 480-486.
- [7] FU Xianhui, CAI Chujiang, SHEN Zhigang, et al. Superfine spherical hollow ammonium dihydrogen phosphate fire-extinguishing particles prepared by spray drying[J]. Drying Technology, 2009, 27(1): 76-83.
- [8] 况凯骞. 细化粉基灭火介质与火焰相互作用的模拟实验研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2008.
- [9] 殷志平, 潘仁明, 曹丽英. 超细磷酸铵盐微粒灭火剂与B类火作用的有效性研究[J]. 安全与环境学报, 2007, 7(4): 125-128.
- [10] 叶明泉, 韩爱军, 马振叶, 等. 超细粒子及其复合技术在冷气溶胶灭火剂中的应用[J]. 南京理工大学学报, 2005, 29(2): 236-239.
- [11] 颜景平, 易红, 史金飞, 等. 行星式球磨机研制及其节能机理[J]. 东南大学学报, 2008, 38(1): 27-31.
- [12] 孙怀涛, 方莹, 万永敏. 行星球磨机磨球运动规律的研究[J]. 金属矿山, 2007(10): 104-106.
- [13] 李国保, 唐新民. 球磨机钢球大小的试验研究[J]. 矿山机械, 2005, 33(4): 12-14.
- [14] 吴光瑞, 张林进, 叶旭初. 卧式行星球磨机粉磨水泥熟料的试验研究[J]. 中国粉体技术, 2010, 16(6): 39-43.
- [15] KELSALL D, REID K, RESTARICK C. Continuous grinding in a small wet ball mill: III: a study of distribution of residence time[J]. Powder Technology, 1970, 3(1): 170-178.
- [16] KELSALL D, REID K, RESTARICK C. Continuous grinding in a small wet ball mill: I: a study of the influence of ball diameter[J]. Powder Technology, 1968, 1(5): 291-300.
- [17] KELSALL D, REID K, RESTARICK C. Continuous grinding in a small wet ball mill: IV: a study of the influence of grinding media load and density[J]. Powder Technology, 1973, 7(5): 293-301.
- [18] KELSALL D, REID K, RESTARICK C. Continuous grinding in a small wet ball mill: II: a study of the influence of hold-up weight[J]. Powder Technology, 1969, 2(3): 162-168.
- [19] SCHILZ J, RIFFEL M, PIXIUS K, et al. Synthesis of thermoelectric materials by mechanical alloying in planetary ball mills[J]. Powder Technology, 1999, 105(1): 149-154.
- [20] 郝保红, 毛钜凡, 郑水林, 等. 粉石英超细粉碎过程中的“逆粉碎”现象[J]. 武汉工业大学学报, 1998, 120(1): 70-74.
- [21] 颜景平, 党根茂. 行星式球磨机最佳参数的理论分析[J]. 电子工业专用设备, 1990(2): 47-57.
- [22] 黄智勇, 王翔, 刘学建, 等. 氮化硅粉体的行星式球磨工艺研究[J]. 陶瓷科学与艺术, 2003(6): 21-25.
- [23] 孟庆杰, 张兴祥, 王学晨, 等. 压电石英超细粉末的制备及分散[J]. 功能材料, 2004, 35(增刊1): 3123-3127.

本期广告目次

彩页

- 封面 济南微纳颗粒仪器股份有限公司
- 封二 广州市博勒飞粘度计质构仪技术服务有限公司
- 封三 福建龙岩市亿丰粉碎机械有限公司
- 封四 丹东百特仪器有限公司
- 插一 浙江丰利粉碎设备有限公司
- 插二 桂林恒达矿山机械有限公司
- 插三 潍坊正远粉体工程设备有限公司
- 插四 插五 福建丰力机械科技有限公司
- 插六 山东华特磁电科技股份有限公司
- 插七 耐驰(上海)机械仪器有限公司
- 插八 江阴市启泰非金属工程有限公司
- 插九 盐城吉达机械制造有限公司

插十 2014 国际矿业展览会暨矿山装备展

- 插十一 江苏腾宇机械制造有限公司
- 插十二 长沙高新开发区万华粉体设备有限公司
- 插十三 河南黎明重工科技股份有限公司
- 插十四 合肥中亚建材装备有限责任公司

单色

- 插一 浙江力普粉碎设备有限公司
- 插二 沈阳飞机研究所粉体公司
- 插三 大连德宝力机械制造有限公司
- 插四 南京南大有限公司
- 插五 《中国粉体技术》期刊网站
- 插六 上海细创粉体装备有限公司