

填料粒度对熔模铸造石膏型性能的影响

周英伟, 尹绍奎, 姜延春, 于瑞龙, 谭 锐, 张海东

(沈阳铸造研究所有限公司, 高端装备轻合金铸造技术国家重点实验室, 辽宁沈阳 110022)

摘要: 研究了石英粉和铝矾土两种填料的粒度对熔模铸造石膏型性能的影响。结果表明, 填料粒度的变化会显著影响石膏型的干强度和线收缩率。两种填料相比, 石英粉的粒度变化对石膏浆料的流动性、初凝时间以及石膏型的湿强度影响更为明显。本试验配方条件下, 当石英粉粒度为200目, 铝矾土粒度为325目时, 石膏型的综合性能最佳。

关键词: 石膏型; 填料; 石英粉; 铝矾土; 粒度

石膏型熔模铸造工艺综合了熔模铸造和石膏法铸造的优势, 既保持了熔模铸件的表面质量和尺寸精度, 又充分利用了石膏浆料的良好充型能力和复模性能, 能够实现具有复杂、薄壁、异型等结构铸件的精密成形, 并且石膏型与传统耐火材料型壳相比, 省去了多层涂覆和反复干燥硬化的工序, 可有效节约生产成本, 缩短生产周期^[1-4]。

熔模铸造用石膏型在石膏水化凝固后为脱除模料, 需进行高温焙烧, 但是 α 半水石膏在焙烧过程中会产生较大的体积收缩, 700 °C时线收缩率大于3%, 过高的收缩率会加大裂纹出现的倾向, 最终导致铸型开裂, 因此不能单独使用石膏粉制作铸型^[5]。在石膏中加入一定量的耐火填料, 可有效减少石膏的收缩开裂现象, 近年来, 国内外学者对石膏型所用填料进行了广泛的研究, 研究重点主要集中在填料的种类和加入量方面^[6-8]。粒度作为填料的一项重要参数, 会对石膏型的各种工艺性能产生影响, 但目前有关填料粒度对石膏型性能影响的研究报道较少, 研究填料粒度对石膏型性能的影响规律对改善石膏型性能, 提高产品质量具有重要意义。

本文以石英粉、铝矾土作为石膏型的填料, 通过改变二者的粒度, 并设置不同的组合方式, 研究了填料粒度的变化对石膏型性能的影响规律, 为优质石膏型的制备提供了一定的理论依据和技术支持。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

本试验所采用的石膏粉为 α 半水石膏粉(购于湖北荆门市金九石膏股份有限公司)粒度为200目, 采用的填料为石英粉(购于河北灵寿县乾鑫矿产品加工厂)和铝矾土(购于河南洛阳酬诚矿业有限责任公司), 填料的粒度分布如图1、图2所示; 增强剂为无碱短切玻璃纤维, 其短切长度15 μm , 单丝直径9~13 μm ; 减水剂为萘系减水剂FDN-C, 其硫酸钠含量为18%; 消泡剂为德丰DF-804聚醚改性有机硅消泡剂。

1.2 试验方法

按照石膏混合料配方进行各组分的称量后, 首先将石膏粉、石英粉、铝矾土进行充分干混; 之后将增强剂、减水剂、消泡剂加入到水中进行搅拌, 搅拌转速300~500 r/min, 搅拌时间为2 min; 最后将混合均匀的粉料加到水中继续搅拌, 搅

作者简介:

周英伟(1992-), 男, 工程师, 硕士, 主要从事铸造材料研究工作。E-mail: zhoyuw1123@163.com

中图分类号: TG221

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2021)11-1319-06

基金项目:

辽宁省“兴辽英才计划”项目(XLYC1802102); 机械总院基金项目。

收稿日期:

2021-06-08 收到初稿,

2021-07-15 收到修订稿。

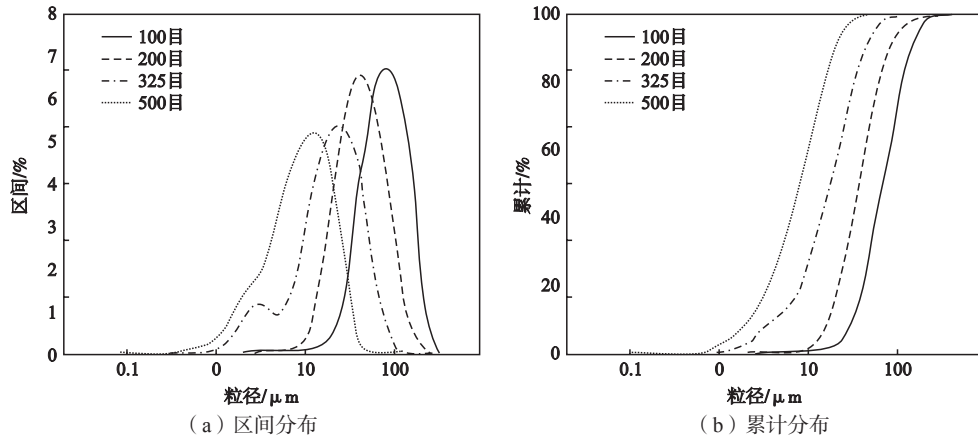


图1 石英粉粒度分布曲线

Fig. 1 Distribution curves of the particle size of the quartz powder

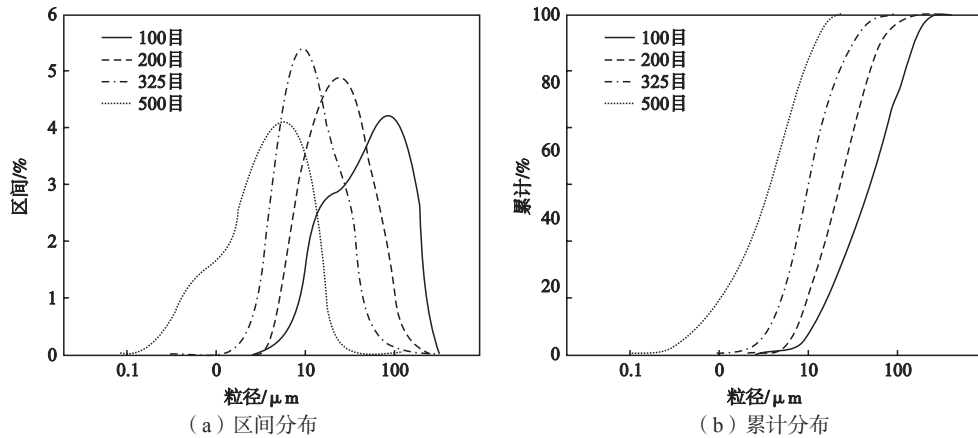


图2 铝矾土粒度分布曲线

Fig. 2 Distribution curves of the particle size of the bauxite

拌3 min后进行试样的浇注。试验中所用不同粒度的石英粉、铝矾土两种填料分别选自同一厂家的同批次产品，两种填料不同粒度间共有16种组合，试验对每种组合进行了石膏浆料和石膏型试样的性能检测。试验中所用石膏混合料配方如表1所示。

1.3 性能测试及设备

按照JB/T 11734—2013《石膏型熔模铸造用铸型粉》规定的方法对本试验制备的石膏混合浆料及石膏型试样进行流动性、凝结时间、强度、线收缩率以及抗热震性的检测。

试验中试样检测所用的仪器设备有标准稠度仪（直径50 mm、高度60 mm的铜质圆管，200 mm×200 mm的玻璃板）、维卡仪、XQY-II型智能型砂强度机、数显千分尺、GML-1700-LB型箱式电炉。

2 结果与分析

2.1 填料粒度对石膏浆料流动性的影响

流动性是石膏浆料重要的工艺性能之一，良好的浆料流动性是获得高品质石膏型熔模精密铸件的必要条件。石膏浆料流动性的好坏不仅受石膏粉料本身及加水量的影响，石膏混合料中的填料的种类和粒度对其也有一定影响。

图3为石英粉和铝矾土两种填料粒度变化对石膏浆料流动性能的影响，从图中可以看出，随着石英粉和铝矾土粒度的减小，石膏浆料的流动性逐渐下降，其中铝矾土的粒度变化对石膏浆料的流动性的影响较小，当石英粉粒度为200目，铝矾土粒度由100目减小至500目时，石膏浆料的流动半径仅减小2%；相比之下，石英粉的粒度变化对石膏浆料流动性的影响更为

表1 石膏混合料配方
Table 1 Gypsum mixture formula

石膏粉	石英粉	铝矾土	增强剂(占粉料)	减水剂(占粉料)	消泡剂(占粉料)	水(占粉料)	w_B /%
35	30	35	1	0.1	0.1	35	

显著,当铝矾土粒度不变,石英粉粒度由100目减小至200目时,石膏浆料流动半径急剧减小,尤其当铝矾土粒度为200目,石英粉粒度由100目减小至200目时,石膏浆料的流动半径减少了20%左右。

通过分析发现,之所以会出现上述现象,主要是因为当填料的粒度减小时,填料的分散性变好,吸附水的能力变强,从而减少了向石膏中转移水分,因此当填料粒度减小时,石膏浆料流动性会下降;与铝矾土相比,石英粉颗粒的形状不规则,颗粒表面尖角较多,因此当两种填料的粒度同时逐渐减小时,石英粉会对石膏浆料的流动性表现出较强的阻碍作用,使得石膏浆料的流动性随石英粉粒度的减小而急剧降低^[9]。试验中还发现,当填料的粒度较大时,虽然浆料的流动性很好,但是浆料中的填料颗粒的悬浮性能会下降,导致浆料出现一定的偏析,从而影响浆料的均匀性。因此填料粒度的选择应避免过大或过小,结合实际情况,当流动半径控制在90~110 mm时,石膏浆料的充填性能较好,因此为保证石膏浆料具有良好的流动性,填料选择200~325目之间的石英粉和铝矾土较为合适。

2.2 填料粒度对石膏浆料凝结时间的影响

石膏浆料的凝结时间包括初凝时间和终凝时间,其中初凝时间直接影响石膏浆料的可操作时间,而终凝时间则决定了石膏型何时可以进行移动、搬运。图4、图5分别为石英粉和铝矾土两种填料粒度变化对石膏混合浆料初凝时间和终凝时间的影响。

由图4可以看出,当石英粉粒度大于200目时,铝矾土粒度的减小会使得石膏浆料的初凝时间有明显的下降趋势,其余情况下铝矾土粒度变化对石膏浆料的初凝时间没有显著影响;当石英粉的粒度逐渐减小时可以发现,石膏浆料的初凝时间变化明显,并且呈现出了先减少后增加的趋势,其中当铝矾土粒度为200目,石英粉粒度为325目时,出现了石膏浆料初凝时间的最小值,此时与石膏浆料的初凝时间的最大值相比减少了43%左右。

由图5可以看出,石英粉和铝矾土的粒度变化均对石膏浆料终凝时间产生了较为明显的影响,其中随石英粉粒度的逐渐降低,石膏浆料的终凝时间也呈现出了先减小后增加的趋势,并且终凝时间的最小值同样出现在了石英粉粒度为325目和铝矾土粒度为200目时,但是终凝时间的最大值却出现在石英粉粒度为100目和铝矾土粒度为325目时,这与初凝时间略有不同。

根据试验及生产中的情况,石膏浆料合适的初凝时间在6~9 min,终凝时间在12~16 min,因此为保证石膏浆料具有合适的凝结时间,石英粉和铝矾土的粒度

应在200~325目之间进行选择。

2.3 填料粒度对石膏型强度的影响

石膏铸型要具有合适的湿强度能够保证石膏铸型在后续的移动、搬运过程中不发生开裂或损坏,同时

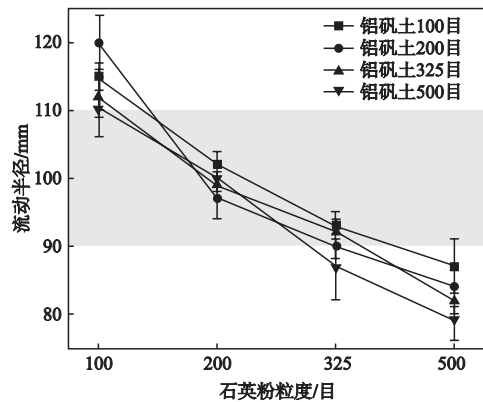


图3 填料粒度对石膏浆料流动性的影响

Fig. 3 Effect of the filler particle size on the fluidity of the gypsum slurry

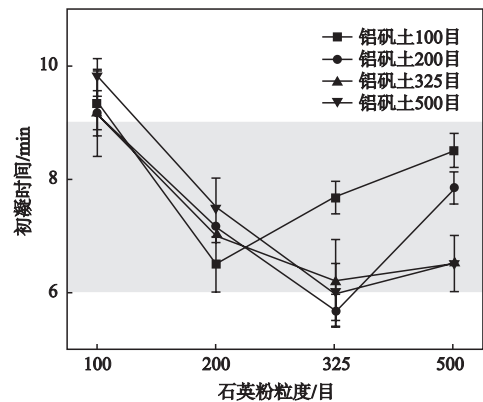


图4 填料粒度对石膏浆料初凝时间的影响

Fig. 4 Effect of the filler particle size on the initial setting time of the gypsum slurry

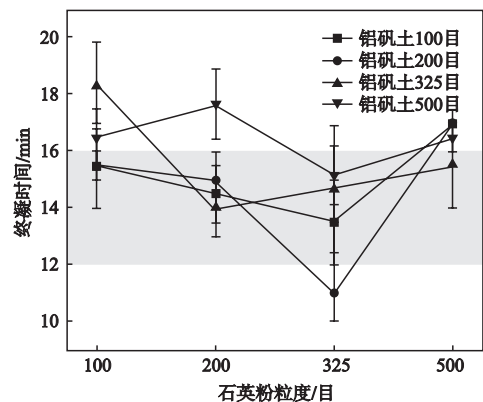


图5 填料粒度对石膏浆料终凝时间的影响

Fig. 5 Effect of the filler particle size on the final setting time of the gypsum slurry

也要具有一定的干强度，能够确保石膏型在金属液充型过程中不发生开裂或变形。石膏型的强度主要是由包裹在填料周围的石膏晶粒交叉搭接而形成的网状结构产生，其次还有一部分来自于填料粒子间的吸附力^[10-12]。因此，填料粒度的变化会对石膏型的强度产生一定的影响，图6、图7分别展示了石英粉和铝矾土两种填料粒度的变化对石膏型湿强度和干强度的影响趋势。

由图6可知，铝矾土的粒度变化对石膏型的湿强度影响较小，当石英粉粒度为500目时，铝矾土粒度为100目和500目的石膏型强度几乎相同；石英粉的粒度变化则会显著影响石膏型的湿强度，随石英粉粒度逐渐降低，石膏型的湿强度出现了先升高后降低的趋势，强度最高点均出现在石英粉粒度为325目时，石英粉粒度为325目的石膏型湿强度平均要比石英粉粒度为100目的石膏型高出33%左右。石膏型的湿强度应至少大于3 MPa，才能保证石膏型在后续的搬运过程中不易发生破裂、损坏，因此为保证石膏型的湿强度，在制备时尽量选用200目以上的石英粉，如果选择了粒度较大的石英粉，则不能再和粒度较大的铝矾土进行搭配使用。

如图7所示，石英粉和铝矾土的粒度变化对石膏型的干强度均产生了显著影响，并且随两种填料粒度的减小，石膏型的干强度呈明显增长的趋势。石英粉粒度小于200目时，铝矾土粒度的减小对石膏型的干强度有明显提升作用，例如当石英粉粒度为100目，铝矾土粒度由100目减小至500目时，石膏型的干强度提升了38%。当石英粉粒度大于200目时，铝矾土粒度的减小，对石膏型的干强度无明显影响，例如当石英粉粒度为500目，铝矾土粒度由100目减小至500目时，石膏型的干强度仅变化了1.5%。此外，石英粉粒度的减小也能够提升石膏型的干强度，但是随铝矾土粒度逐渐减小，石英粉粒度变化对石膏型干强度的影响也会逐渐降低，例如在铝矾土粒度为100目，石英粉粒度由100目减小至500目时，石膏型的干强度增长了86%，而当铝矾土粒度为500目，石英粉粒度由100目减小至500目时，石膏型的干强度却只增长了33%。

通过分析发现，由于本试验中石英粉和铝矾土的重量是一定的，当填料的粒度较大时，填料的体积会较大，此时填料颗粒会对石膏基体产生较大的分割作用，会破坏包覆在填料周围石膏膜的完整度，使得石膏型的强度降低。当填料的粒度较大时，填料的分散性较差，石膏型容易在焙烧过程中因为收缩不均而发生开裂，从而引起石膏型强度下降。填料的粒度越大，填料吸附水分的能力越差，在石膏浆料凝结过程中就会使得水分向石膏中转移，造成石膏型的强度降

低^[13]。因此，石膏型的强度会随填料粒度的减小而逐渐升高。通常，石膏型的干强度应该在1 MPa以上，才能保证石膏型在经过长时间的焙烧和金属液的冲击时不发生变形或开裂，因此在石膏型制备时，要谨慎选用粒度较大的石英粉填料。

2.4 填料粒度对石膏型线收缩率的影响

在石膏中加入膨胀性填料可有效改善石膏型的收缩和开裂情况，本试验中采用的石英粉和铝矾土均为应用较多且性能较好的石膏型填料。在石膏型焙烧过程中，在570 ℃左右时石英粉会发生由β相至α相的同素异构转变，并且会有9%左右的体积膨胀，可有效补偿、抵消石膏型的体积收缩，降低石膏型的线收缩率^[7, 14]；铝矾土热化学性质稳定，线膨胀系数小，高温下抗变形能力强，用作石膏型的填料可有效减小石膏型的线收缩率。填料的种类和加入量是影响石膏型线收缩率的主要因素，除此之外，石膏型填料粒度的大小也会影响石膏型的线量变化。图8为石英粉和铝矾

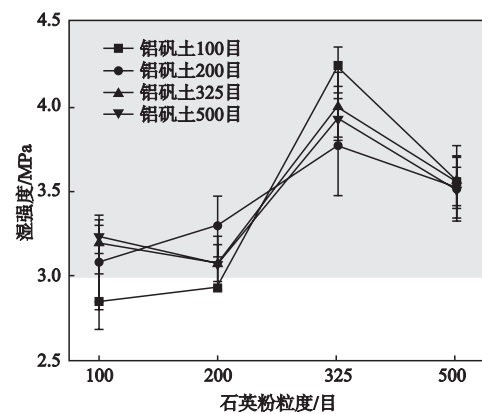


图6 填料粒度对石膏型湿强度的影响

Fig. 6 Effect of the filler particle size on the wet strength of the gypsum mold

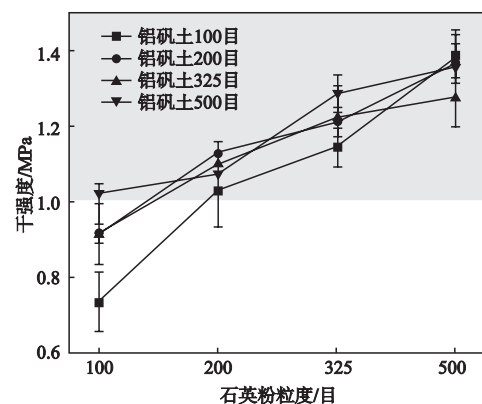


图7 填料粒度对石膏型干强度的影响

Fig. 7 Effect of the filler particle size on the dry strength of the gypsum mold

粒度的逐渐减小,石膏浆料的流动性显著下降、初凝时间先减少后增加,而石膏型的湿强度则是先增加后减小。石英粉和铝矾土两者粒度的减小都可以起到提高石膏型干强度,降低线收缩率的作用。

(2) 石英粉和铝矾土粒度的选择要避免过大或过

小,当石英粉为200目,铝矾土为325目时,石膏浆料及石膏型的综合性能最佳,此时石膏浆料的流动半径为99 mm,初凝时间为7 min,终凝时间为14 min,石膏型的湿强度为3.1 MPa,干强度为1.1 MPa,线收缩率为0.5%,300 ℃及700 ℃的抗裂等级均为I级。

参考文献:

- [1] 张永红,蒋玉明,杨屹.石膏型熔模特种铸造工艺[J].铸造技术,2002(6):347-349.
- [2] 冯志军,翟虎,闫卫平,等.薄壁铝合金铸件铸造技术的进展[J].航空制造技术,2009(21):32-34.
- [3] 王新节,岳畅.增材制造PS模样石膏型熔模铸造铝合金气缸盖[J].特种铸造及有色合金,2019,39(5):530-533.
- [4] 冯斌华,宋斌,宋新华,等.高强度薄壁复杂铸件石膏型低压铸造工艺研究[J].科技经济导刊,2019,27(17):21-22.
- [5] 成丹,刘天模,江涛,等.石膏型熔模铸造用铸粉的研究和实践[J].科技资讯,2008(7):27-28.
- [6] 刘新艾,王猛,黄卫东.添加剂对高岭土填料可溶性石膏型芯性能的影响[J].铸造,2010,59(4):395-399.
- [7] 卓蓉晖.填料对石膏铸型混合料性能的影响[J].山东建材,2005(3):41-43.
- [8] GENCEL O, DC DJ Jose, SUTCU M, et al. A novel lightweight gypsum composite with diatomite and polypropylene fibers [J]. Construction & Building Materials, 2016, 113: 732-740.
- [9] 罗启全.铝合金石膏型精密铸造[M].广东科技出版社,2005:155-158.
- [10] REN J, CHEN X, Li Y X, et al. Properties of fiber reinforced plaster molds for investment casting [J]. China Foundry, 2020, 17(5): 12-20.
- [11] 袁军平,金莉莉,陈绍兴,等.工艺因素对首饰石膏铸型强度的影响[J].铸造,2019,68(8):921-925.
- [12] KIM Y, KIM S, PARK H, et al. Effect of cristobalite and quartz on the properties of gypsum bonded investment [J]. Journal of Materials Science & Technology, 2008(1):143-144.
- [13] 王永威.可铸造用脱硫石膏(FGD)配方研究[D].中国矿业大学,2014.
- [14] 王狂飞,孙瑞霞,贾先军,等.铝合金可溶性石膏型芯精密铸造[J].热加工工艺,2008(13):35-36.

Effect of Filler Particle Size on the Properties of Investment Casting Gypsum Mold

ZHOU Ying-wei, YIN Shao-kui, LOU Yan-chun, YU Rui-long, TAN Rui, ZHANG Hai-dong
(Shenyang Research Institute of Foundry Co., Ltd., State Key Laboratory of Light Alloy Casting Technology for High-End Equipment, Shenyang 110022, Liaoning, China)

Abstract:

The influences of the particle size of the two fillers, quartz powder and bauxite, on the properties of investment casting gypsum molds were studied. The results show that the change of the filler particle size will significantly affect the dry strength and linear shrinkage of the gypsum mold. Compared with the two fillers, the change in the particle size of the quartz powder has more obvious effects on the fluidity, initial setting time of the gypsum slurry and the wet strength of the gypsum mold. Under the formula conditions of this experiment, when the particle size of the quartz powder is 200 mesh and the particle size of the bauxite is 325 mesh, the overall performance of the gypsum mold is the best.

Key words:

gypsum mold; filler; quartz powder; bauxite; particle size