

# 硅砂、陶粒砂和宝珠砂铸造工艺性能研究

赫振梅<sup>1, 2</sup>, 郑金康<sup>1, 2</sup>, 李育慧<sup>2</sup>

(1. 河北省高强度耐磨铸钢技术创新中心, 河北张家口 075132; 2. 河北北方铸业有限公司, 河北张家口 075132)

**摘要:** 研究了鄂尔多斯硅砂、通辽硅砂、海南海砂、陶粒砂和宝珠砂的形貌, 用其做原砂的碱酚醛树脂砂的抗拉强度, 原砂抗机械破碎和粉化能力等。结果表明: 鄂尔多斯硅砂形貌最差, 呈尖角、片状; 通辽砂、海砂较好, 呈圆形、多角形; 陶粒砂和宝珠砂最好, 呈圆形。型砂24 h时抗拉强度, 鄂尔多斯硅砂最低, 只有0.277 MPa; 通辽硅砂和海砂较高, 接近0.6 MPa; 宝珠砂最高, 接近0.9 MPa; 陶粒砂为0.667 MPa, 高于硅砂, 低于宝珠砂。经机械搅拌破碎试验得出: 鄂尔多斯硅砂强度较低, 抗破碎能力最差, 易破碎粉化, 粉尘含量由0.03%提高到0.812%; 通辽硅砂和海砂强度都较好, 粉化较轻, 粉尘含量由0.016%提高到0.32%; 陶粒砂强度也较好, 粉化较少, 粉尘含量由0提高到0.195%; 宝珠砂破碎和粉化率极低, 粉尘含量基本无变化。

**关键词:** 砂型铸造; 硅砂; 陶粒砂; 宝珠砂; 形貌; 抗拉强度; 抗破碎能力

我国铸造用硅砂资源处于枯竭趋势, 价格逐年攀升, 国家环保标准不断提高, 铸造废砂已经无处丢弃, 处理成本也不断上升, 其再生是必由之路<sup>[1-2]</sup>。寻找一种不易破碎和旧砂再生率都高的综合性能优良的原砂, 以减少废砂排放, 适应新的环保要求变得越来越紧迫了。近几年来, 铸造行业在推广熔融陶瓷砂(又称宝珠砂)、烧结陶粒砂等人造原砂<sup>[3-4]</sup>, 部分替代硅砂, 用于铸造生产, 取得了较好的效果, 但系统研究工作也处于起步阶段。本文研究了内蒙古鄂尔多斯硅砂、通辽硅砂、海南海砂、陶粒砂和宝珠砂等5种原砂的各项工艺性能, 分析其差异及优缺点, 为铸造生产中原砂选用提供参考。

## 1 试验内容

本试验选取了树脂型砂常用粒度组成40/70目的内蒙古鄂尔多斯硅砂、内蒙古通辽硅砂、海南海砂、陶粒砂、宝珠砂样品, 做了原砂形貌观察, 碱酚醛树脂砂抗拉强度、发气量、透气值、粒度分析、抗破碎性等项目的试验。

## 2 试验方法

### 2.1 理化指标

本研究选取的鄂尔多斯硅砂、通辽硅砂、海南海砂、陶粒砂和宝珠砂等原砂的理化指标见表1。

从表1可知, 3种硅砂和陶粒砂的真密度、堆积密度很接近, 宝珠砂真密度和堆积密度都较大, 5种原砂的酸耗值相近。

### 2.2 形貌观察

取各种原砂样品少许, 放在体式显微镜下, 放大40倍观察其形貌, 鄂尔多斯硅砂、通辽硅砂、海南海砂、陶粒砂、宝珠砂的原砂形貌分别见图1a-e。

从图1可以看出, 内蒙鄂尔多斯硅砂的粒形多为尖角形和板片形砂; 通辽硅砂

作者简介:

赫振梅(1982-), 女, 学士, 主要从事铸钢件树脂砂工艺、壳型工艺、高强度耐磨材料等方向研究。  
电话: 18932733466, E-mail: hezhenmei@northfoundry.com

中图分类号: TG221

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2024)

02-0248-05

收稿日期:

2023-08-25 收到初稿,

2023-12-25 收到修订稿。

表1 原砂的物理指标  
Table 1 Physical parameters of raw sands

砂种	SiO <sub>2</sub> /%	粒度	真密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	堆积密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	酸耗值/(mL·50 g <sup>-1</sup> )
鄂尔多斯硅砂	98.00~98.68	40/70目	2.65	1.56	4.16
通辽硅砂	98.07~98.92	40/70目	2.65	1.57	3.96
海南海砂	99.51	40/70目	2.65	1.60	3.60
陶粒砂		40/70目	2.74	1.62	3.78
宝珠砂		40/70目	2.90	1.95	4.25

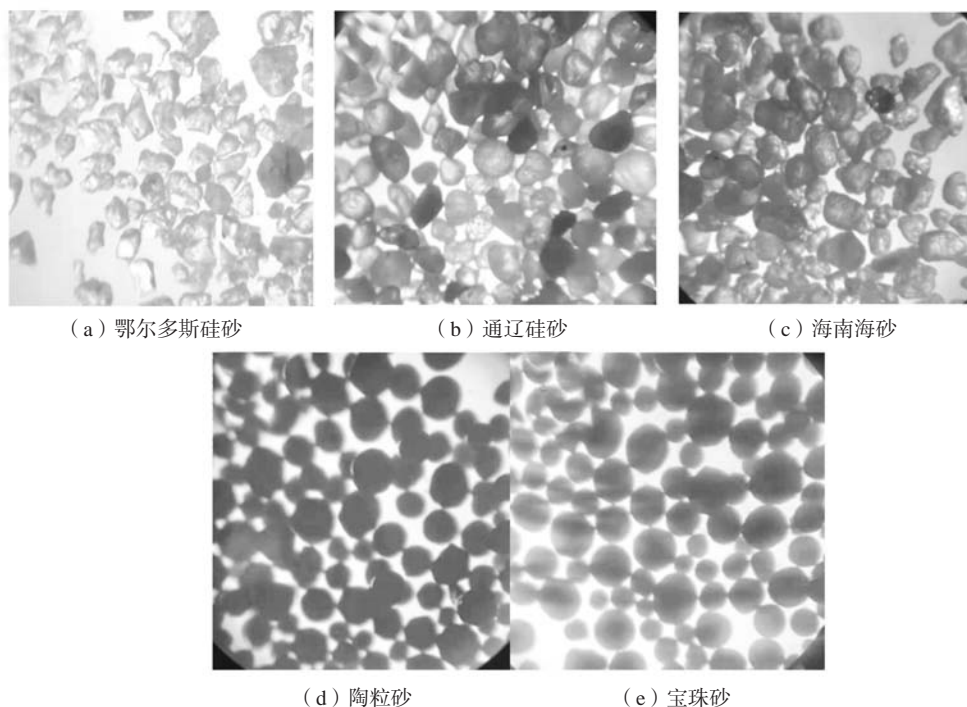


图1 原砂粒形形貌

Fig. 1 The morphology of raw sand grain shape

粒形以圆形砂为主，少量多角形；海南海砂以多角、圆形为主；陶粒砂和宝珠砂都是圆形砂，砂粒形貌远优于硅砂。对比形貌可以得出，鄂尔多斯硅砂形貌最差，通辽硅砂和海南海砂形貌较好，最好的砂粒形貌是陶粒砂和宝珠砂，最适合做铸造用原砂。

## 2.3 工艺试验

为了评价各种原砂用于砂型铸造的优劣，将5种原砂混制成树脂自硬型砂，测试抗拉强度、发气量、透气性等工艺性能，做数据对比。

### 2.3.1 制样与测试

试验用型砂配方：原砂100%、碱酚醛树脂1.6%（占原砂质量分数），固化剂25%（占树脂质量分数），在SHY试验用树脂砂混砂机中混制型砂，混制工艺为：先加原砂，再加固化剂，混制5 s，加入碱酚醛树脂，混制10 s，出砂，立即在树脂砂制样机上制作

8字试样。制作的8字试样，分别放置30 min、1 h、2 h、24 h，在每个时间点分别取一组试样，在XQY-Ⅱ型砂强度机上测试抗拉强度；在ZTY型智能透气性测定仪上和GET-Ⅲ型智能造型材料发气性测定仪上分别测试型砂的透气性值和发气量。

### 2.3.2 试验结果

各种型砂工艺性能测试结果见表2，其型砂抗拉强度随时间变化曲线见图2。

### 2.3.3 结果分析

从表2和图2中可知，用碱酚醛树脂作粘结剂的型砂，鄂尔多斯硅砂作原砂的抗拉强度较低，只有通辽硅砂作原砂的抗拉强度的39.3%（0.5 h）、32.1%（1 h）、41.7%（2 h）和47%（24 h），后者远高于前者。陶粒砂的抗拉强度略高于通辽硅砂，海南海砂的抗拉强度和通辽硅砂相当，这3种原砂的粒形都接近圆

表2 型砂工艺性能测试结果  
Table 2 The results of technological properties test of molding sands

原砂产地	原砂平均 细度AFS值	抗拉强度/MPa				发气量 (850 °C) /(mL·g <sup>-1</sup> )	透气性值	试验条件
		0.5 h	1 h	2 h	24 h			
鄂尔多斯硅砂	34.2	0.033	0.070	0.118	0.277	11.0	534	相对湿度 40%~50% 环境温度 26~28 °C
通辽硅砂	38.2	0.084	0.218	0.283	0.589	9.7	455	
海南海砂	36.9	0.042	0.104	0.188	0.596	11.1	522	
陶粒砂	37.9	0.079	0.229	0.349	0.667	8.8	451	
宝珠砂	38.3	0.184	0.316	0.538	0.895	10.1	417	

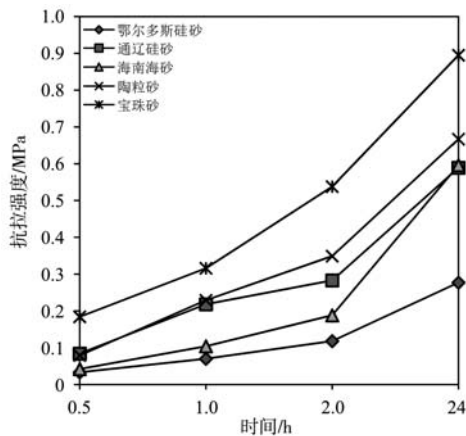


图2 型砂抗拉强度随时间的变化曲线

Fig. 2 The change curves of tensile strength of molding sands with time  
形, 测出的抗拉强度也接近。宝珠砂的抗拉强度高于陶粒砂, 后者是前者的42.9% (0.5 h)、69.6% (1 h)、64.9% (2 h)、74.5% (24 h), 宝珠砂和陶粒砂都属于球形砂, 本应抗拉强度接近, 出现强度较大差异是宝珠砂的真密度、堆密度都大于陶粒砂, 单位质量宝珠砂的表面积小于陶粒砂, 相当于宝珠砂树脂加入量大于陶粒砂。

型砂试样放置24 h时的抗拉强度, 鄂尔多斯硅砂、通辽硅砂、海南海砂、陶粒砂和宝珠砂分别为: 0.227 MPa、0.589 MPa、0.596 MPa、0.667 MPa和0.895 MPa, 鄂尔多斯硅砂最低, 只有通辽硅砂强度的47%; 通辽硅砂、海南海砂和陶粒砂的强度相当, 在0.6~0.7 MPa左右; 宝珠砂最高, 可以达到0.9 MPa。

鄂尔多斯硅砂、通辽硅砂、海南海砂、陶粒砂和宝珠砂的发气量都很接近, 在8.8~11.1 mL/g; 鄂尔多斯硅砂的平均细度AFS值为34.2, 砂粒较粗, 透气性值最高, 为534, 鄂尔多斯硅砂多成片状和尖角形貌, 型砂难以紧实, 空隙率高, 也是透气性高的原因之一。通辽硅砂、陶粒砂和宝珠砂的平均细度AFS值在37.9~38.3, 砂粒相对较细, 透气值都较低, 在417~455。海南海砂的平均细度AFS值为36.9, 砂粒相对较粗, 透气性值为522, 也较高。

## 2.4 破碎试验

铸造原砂在混制型砂时需高速搅拌, 砂型浇注后落砂, 旧砂也需进入砂处理再生机进行冲击摩擦或搅拌再生处理, 这两个加工过程都会使原砂受到强烈的机械冲击或撞击, 造成部分砂粒破碎和粉化。不同的原砂, 抗破碎和粉化的能力有差异, 为了评价各种原砂抗破碎和粉化的能力, 设计了原砂抗破碎性试验, 模拟原砂在混砂、再生过程中受机械冲击或撞击破坏的情况。

### 2.4.1 试验方法

称取原砂样品1 000 g, 做粒度分析, 之后将1 000 g硅砂倒入SHY型树脂砂混砂机中搅拌5 min, 取样(四分法)做粒度分析, 分析得出数据后, 再将取样砂全部倒回混砂机中, 继续搅拌5 min, 再取样进行粒度分析, 如此搅拌试验重复做5次, 将各次粒度分析数据进行对比, 来评价硅砂的抗破碎和粉化的能力。

### 2.4.2 试验结果

鄂尔多斯硅砂、通辽硅砂、海南海砂、陶粒砂和宝珠砂等原砂5次搅拌破碎试验粒度分析结果见表3, 各种原砂搅拌次数与其粉尘含量、平均细度AFS值、粒度集中率的变化关系见图3-5。

### 2.4.3 结果分析

从表3中得知, 5次搅拌后, 各种原砂的粉尘含量、平均细度和粒度集中率的变化为: 鄂尔多斯硅砂, 粒度集中率由82%提高到86.13%, 变化较大, 平均细度AFS值由34.2提高到39.4, 提高了5.25个点; 粉尘含量由0.03%提高到0.812%, 原砂砂粒破碎和粉化较严重。通辽硅砂, 粒度集中率由97.12%降低到96.04%, 变化不大, 平均细度AFS值由38.2上升到40.7, 提高了2.5个点; 粉尘含量由0.016%提高到0.32%, 原砂砂粒破碎较少, 粉化较轻。海南海砂, 粒度集中率由94.18%提高到98.28%, 平均细度AFS值由36.9提高到39.1, 提高了2.2个点, 粉尘量由0.03%提高到0.271%, 但粉化

表3 原砂破碎试验粒度分析结果  
Table 3 The particle size analysis results of raw sand crushing test

原砂种类	测试项目	原砂搅拌次数					
		原砂	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次
鄂尔多斯原砂	平均细度AFS值	34.2	38.5	37.8	37.8	40.7	39.4
	粒度集中率/%	82.00	85.16	85.47	83.37	85.32	86.13
	粉尘含量/%	0.030	0.320	0.374	0.425	0.501	0.812
通辽原砂	平均细度AFS值	38.2	38.3	38.9	39.4	40.4	40.7
	粒度集中率/%	97.12	97.25	97.00	96.30	95.87	96.04
	粉尘含量/%	0.016	0.036	0.074	0.098	0.269	0.320
海南海砂	平均细度AFS值	36.9	37.4	38.4	38.3	39.0	39.1
	粒度集中率/%	94.18	96.10	98.17	98.52	98.22	98.28
	粉尘含量/%	0.030	0.055	0.074	0.102	0.195	0.271
陶粒砂	平均细度AFS值	37.9	38.3	39.4	39.8	40.7	40.9
	粒度集中率/%	97.11	97.06	96.75	96.2	95.61	95.38
	粉尘含量/%	0.0	0.015	0.060	0.118	0.162	0.195
宝珠砂	平均细度AFS值	38.3	38.4	38.2	38.5	38.6	38.6
	粒度集中率/%	83.72	83.68	85.27	85.64	84.01	85.72
	粉尘含量/%	0.036	0.027	0.026	0.032	0.034	0.045

注：粉尘含量是指200目、270目、底盘上的残留砂粉质量之和。

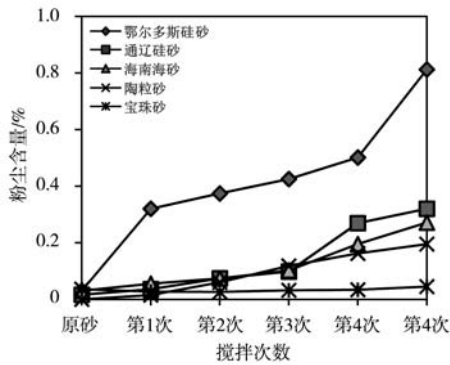


图3 原砂搅拌次数与粉尘含量的关系

Fig. 3 The relationship between stirring times of raw sands and dust content

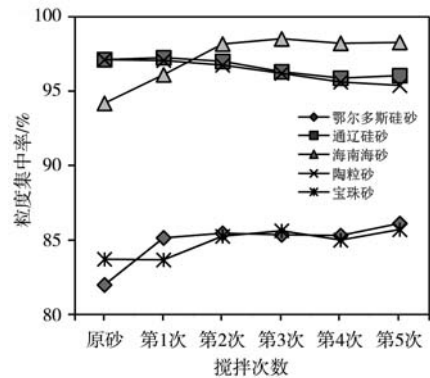


图5 原砂搅拌时间与粒度集中率的关系

Fig. 5 The relationship between stirring time of raw sands and particle size concentration ratio

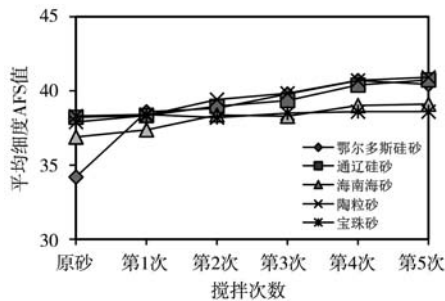


图4 原砂搅拌次数与平均细度AFS值的关系

Fig. 4 The relationship between stirring times of raw sands and the average fineness AFS value

较轻。陶粒砂，粒度集中率由97.11%降低到95.38%，平均细度AFS值由37.9上升到40.9，提高了3个点，粉尘

含量由0提高到0.195%，粗颗粒砂破碎变细，但粉化较轻。宝珠砂，粒度集中率由83.72%提高到85.72%，变化不大，平均细度AFS值由38.3提高到38.6，粉尘含量0.036%提高到0.045%，这两个技术指标基本没变，可以判断，宝珠砂破碎和粉化率很低。

#### 2.4.4 变化规律

从图3-5中曲线看出，经过5次搅拌后，各种原砂的粉尘含量、平均细度和粒度集中率变化规律为：

粉尘含量：鄂尔多斯硅砂，第1次搅拌破碎较为严重，粉尘含量快速上升，第2至第4次搅拌，粉尘含量增加减缓，但第5次搅拌，粉尘含量又急剧增多，显示



了原砂粉化严重。通辽硅砂第1次至第3次搅拌，粉尘含量缓慢上升，第4次至第5次搅拌，粉尘含量增加稍快，粉化较轻。海南海砂和陶粒砂很相似，第1次搅拌至第5次搅拌粉尘含量呈线性缓慢上升，破碎和粉化都很轻；宝珠砂第1次搅拌至第5次搅拌，粉尘含量几乎无变化，破碎粉化率极低。

平均细度：鄂尔多斯硅砂第1次搅拌，平均细度AFS值呈快速上升趋势，砂粒破碎较多，从第2次至第5次搅拌，平均细度AFS值呈缓慢上升趋势。通辽砂，海南海砂、陶粒砂，第1次至5次搅拌，平均细度AFS值变化不大，呈缓慢上升趋势。宝珠砂5次搅拌，平均细度AFS值变化很小。

粒度集中率：鄂尔多斯硅砂、海南海砂，第1次搅拌，粒度集中率呈上升趋势，第2次至第5次搅拌，基本不变；通辽砂和陶粒砂，第1次至第5次搅拌粒度集中率缓慢下降；宝珠砂，第1次至第5次搅拌，粒度集中率呈缓慢上升趋势。

#### 参考文献：

- [1] 李珊, 郭思福, 张方, 等. 旧砂再生综述 (2010年度) [J]. 铸造设备与工艺, 2011 (5): 45-47.
- [2] 谢吉坤, 陈云龙, 洪丁, 等. 湿型砂旧砂再生及其在智能化制芯生产线上的实践应用 [J]. 铸造工程, 2022 (3): 61-65.
- [3] 陈兆杰, 李忠泽, 刘满对, 等. 宝珠砂的特点及其在铸造生产中的应用 [J]. 铸造, 2018 (12): 1131-1135.
- [4] 韦幸, 马江达, 黄启丁, 等. 铸造烧结陶粒砂在实际生产中的应用 [J]. 装备制造技术, 2019 (2): 146-149.

### 3 结论

(1) 各种原砂形貌，鄂尔多斯硅砂最差，呈尖角形、片状；通辽砂和海南海砂较好，呈圆形、多角形；陶粒砂和宝珠砂呈圆形，最好。

(2) 碱酚醛树脂做粘结剂的型砂24 h时的抗拉强度，鄂尔多斯硅砂最低，只有0.277 MPa；通辽硅砂和海南海砂较高，接近0.60 MPa；宝珠砂最高，达到了0.895 MPa；陶粒砂为0.667 MPa，高于硅砂，低于宝珠砂。

(3) 各种原砂经5次搅拌后，其抗破碎粉化能力为：鄂尔多斯硅砂机械强度较差，其平均细度AFS值由34.2提高到39.4，粉尘含量由0.03%提高到0.812%，砂粒破碎和粉化较严重；通辽硅砂和海南海砂机械强度都较好，平均细度AFS值变化不大，粉尘含量升高不超过0.32%，破碎和粉化较轻；陶粒砂破碎较少，平均细度AFS值由37.9上升到40.9，粉尘含量由0.195%提高到0.195%；宝珠砂破碎极低，平均细度和粉尘含量变化很小。

## Study on Casting Performance of Silica Sand, Ceramsite Sand and Ceramic Foundry Sand

HE Zhen-mei<sup>1,2</sup>, ZHENG Jin-kang<sup>1,2</sup>, LI Yu-hui<sup>2</sup>

(1. Hebei Province High Strength Wear Resistant Steel Technology Innovation Center, Zhangjiakou 075132, Hebei, China; 2. Hebei North Casting Industry Co., Ltd., Zhangjiakou 075132, Hebei, China)

#### Abstract:

The morphology, mechanical crushing resistance and pulverization resistance of Ordos silica sand, Tongliao silica sand, Hainan sea sand, ceramsite sand and ceramic foundry sand, as well as the tensile strength of alkali phenolic resin sand using these sands as raw sand, are studied. The results show that Ordos silica sand has the worst morphology, which is sharp and flaky. Tongliao sand and sea sand are good, round and polygonal. Ceramsite sand and ceramic foundry sand are the best, and they are round. Tested 24 h tensile strength of molding sand of using there sands as raw sand, Ordos silica sand is the lowest, only 0.277 MPa. Tongliao silica sand and sea sand are relatively high, close to 0.6 MPa. Ceramic foundry sand is the highest, close to 0.9 MPa. The ceramsite sand is 0.667 MPa, more than silica sand and less than ceramic foundry sand. The mechanical stirring crushing test shows that Ordos silica sand has low strength, the worst crushing resistance, is easy to be broken and powdered, and the dust content increases from 0.03% to 0.812%. Tongliao silica sand and sea sand have good strength and light pulverization, and the dust content increases from 0.016% to 0.32%. The strength of ceramsite sand is also good, with less pulverization, and the dust content increases from 0 to 0.195%. The crushing and pulverization rate of ceramic foundry sand is extremely low, and the dust content remains basically unchanged.

#### Key words:

sand mould casting; silica sand; ceramsite sand; ceramic foundry sand; morphology; tensile strength; crushing resistance