

陕西某河湖相沉积型天然石英砂工艺矿物学研究

唐腾望¹, 管俊芳^{1,2}, 任子杰^{1,2}, 高惠民^{1,2}, 刘孟浩¹, 宋昱晗¹

1. 武汉理工大学资源与环境工程学院, 湖北武汉 430070;
2. 矿物资源加工与环境湖北省重点实验室, 湖北武汉 430070

中图分类号: TD91 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2023)02-0106-06
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2023.02.016

摘要 以陕西某河湖相沉积天然石英砂为研究对象, 通过 XRD、XRF、EPMA、光学显微镜等现代测试技术进行系统的研究。结果表明: 该石英砂脱泥后的 SiO₂ 含量为 84.54%, 杂质元素主要为 Al、K、Na、Fe 等; 矿物主要为石英, 脉石矿物为钠长石、钾长石、绢云母及赤(褐)铁矿等。偏光显微镜下砂粒主要可分为岩屑砂粒和石英等矿物单体砂, 单体矿物砂粒占 70%, 岩屑砂粒占 30%。岩屑砂粒可进一步分为石英岩岩屑、燧石岩屑、云母石英片岩岩屑、石英砂岩岩屑、千枚岩岩屑; 单体矿物砂粒主要是石英, 少量的长石类。擦洗分级后的精砂破碎率(应力 28 MPa)为 8.5%, 平均球度为 0.72, 平均圆度为 0.68, 浊度为 30.25 FTU, 满足石油行业用支撑剂标准。

关键词 天然石英砂; 石英; 工艺矿物学; 石油压裂; 长石

引言

天然石英砂是一种在自然界分布广泛的硅质原料之一, 储量位居我国硅质原料第二位。相比于石英岩、脉石英等资源, 天然石英砂具有圆球度好、粒度分布集中, 生产过程中无需破碎磨矿, 只需经过脱泥分级即可满足玻璃、铸造行业粒度要求等优点^[1-3]。但因其杂质成分较多, 提纯困难, 天然石英砂多用作铸造型砂、3D 打印砂、石油支撑剂等产品^[4-5]。随着我国玻璃、信息技术行业的发展, 石英砂的需求逐渐增大, 据不完全统计, 我国每年硅质原料消耗量在 1 亿 t 左右^[6-7], 优质的硅质原料正在逐渐减少, 可加工和利用的河湖相沉积天然石英砂有重要的应用前景。

侯军发等^[8]以国外某氧化铁浸染型天然石英砂为原料, 采用擦洗—分级—酸浸组合工艺, 70 °C 下硫酸浸出 30 min, 获得 SiO₂ 含量为 99.35%、Al₂O₃ 含量为 0.25%、Fe₂O₃ 含量为 230×10⁻⁶ 的石英产品。张婷婷等^[9]以海相沉积型天然石英砂为原料, 采用筛分—擦洗—分级—重选—磁选的选矿工艺流程, 获得了 SiO₂ 含量为 99.68%、Fe₂O₃ 含量为 0.0076% 的超白玻璃用石英产品。王守敬等^[10]对海南文昌海滨石英砂矿进行矿物学研究, 综合分析认为该石英砂矿表面普遍黏

附有黏土矿物等杂质, 且不易除净, 不适合高纯石英砂原料, 可作为普通石英砂原料进行开发利用。以上多为海相沉积型石英砂矿的研究, 对河湖相沉积型石英砂矿的研究文献鲜有报道, 而且关于天然石英砂的矿石工艺矿物学的研究较少, 制约了天然石英砂开发利用。

本文以陕西某河湖相沉积型天然石英砂为对象, 系统分析砂矿的化学成分、矿物组成、圆度、球度、强度等特征, 并对其应用进行综合评价, 旨在为同类型石英砂的开发利用提供参考。

1 试验原料与仪器

1.1 试验原料

采自陕西某地河湖相沉积天然石英砂, 肉眼观察, 石英砂砂粒呈松散状, 部分砂粒可见黄色铁染现象, 将石英砂在 65% 质量浓度下擦洗 5 min, 转速 400 r/min, 取擦洗后 +0.105 mm 粒级石英砂试样为研究样进行工艺矿物学研究。

1.2 测试仪器

日本电子株式会社生产的 JSM-IT300 型扫描电

收稿日期: 2022-11-28

作者简介: 唐腾望(1996—), 男, 江西赣州人, 硕士研究生, 主要从事非金属矿物加工研究, E-mail: 1446934197@qq.com。

通信作者: 任子杰(1987—), 男, 山西孝义人, 博士, 副教授, 博士生导师, 主要从事非金属矿物分选和非金属矿物材料的研究, E-mail: renzjje@whut.edu.cn。

子显微镜附加 X-MaxN20 能谱仪; 日本理学公司生产的 D/MAX-RB 型转靶 X 射线衍射仪; 荷兰 PANalytical.B.V 生产的 Zetium 型 X 射线荧光光谱仪; 日本电子株式会社生产的 XA-8230 电子探针显微分析仪; 德国莱卡公司生产的 DMLP-S8APO 透/反显微镜及立体显微镜; 舜宇光学科技有限公司生产的体式显微镜。

2 结果与讨论

2.1 化学成分与物相组成

采用 X 荧光光谱仪对砂样进行化学成分分析, 结果见表 1。由表 1 可知, 石英砂主要成分为 SiO₂ 84.54%; 其次为 Al₂O₃ 8.55%、K₂O 2.37%、Na₂O 1.80%, 其他元素含量小于 1%。若要提高砂的质量, 杂质元素需通过选矿等手段去除。

表 1 石英砂化学组成

元素	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
含量	84.54	0.80	8.55	1.80	0.03	2.37	0.58
元素	MgO	TiO ₂	SrO	ZrO ₂	Rb ₂ O	烧失量	
含量	0.60	0.14	0.02	0.01	0.01	0.55	

石英砂的 XRD 物相分析图谱见图 1。由图 1 可知, 石英砂矿的主要矿物组分为石英、钾长石、钠长石, 其他矿物含量较低, 提高石英的含量需进行长石的去除。

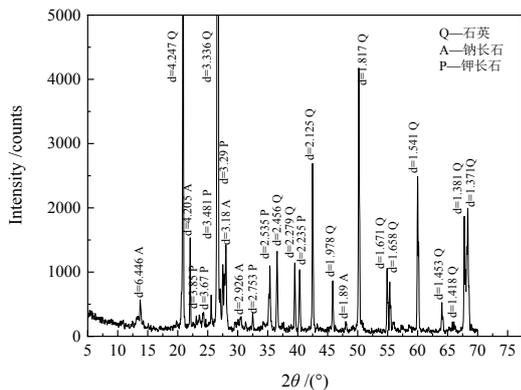


图 1 石英砂的物相组成
Fig. 1 Phase composition of quartz sand

2.2 光学显微镜下矿物组成及特征

石英砂的光学显微镜照片见图 2。由图 2 照片 a 和 b 可知, 在体式显微镜下, 砂粒粒度大小较均匀, 最大 1.401 mm, 最小 0.094 mm, 砂粒磨圆度较好, 为次圆~圆状, 少数为次棱角状。砂粒的颜色主要是白色、无色、黄色, 少量砂粒为褐色、黑色和肉红色等。砂粒主要可分为岩屑砂粒和石英等矿物单体砂, 单体矿物砂粒占 70%, 岩屑砂粒占 30%。

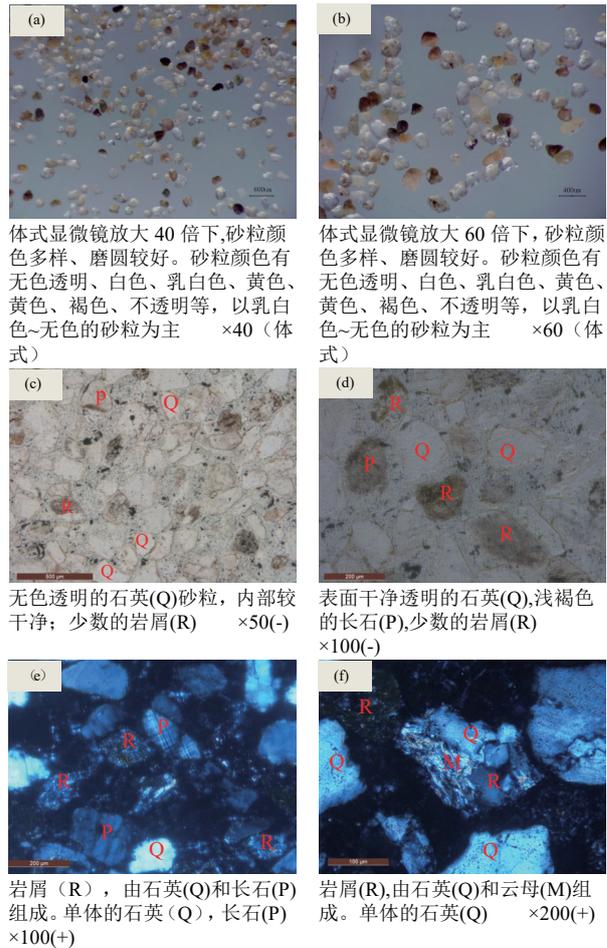


图 2 石英砂光学显微镜照片
Fig. 2 Optical microscope photo of quartz sand

岩屑砂粒(图 2 c~f, R): 可进一步分为石英岩岩屑、燧石岩屑、云母石英片岩岩屑、石英砂岩岩屑、千枚岩岩屑; 以石英类的石英岩、燧石、石英砂岩岩屑为主。

单体矿物砂粒(图 2 d~f, Q, P): 主要是石英, 少量的长石类, 微量的其他矿物。

砂的矿物组成: 主要是石英, 少量钾长石和钠长石, 微量的绢云母、黏土矿物、赤(褐)铁矿等。

石英(图 2c~f, Q): 多为无色、透明, 单体或分布在含石英的各种岩屑中。单体石英砂粒中石英一般为 0.105~0.3 mm, 最大 1.362 mm; 在岩屑中的石英大小不等, 最小 0.005 mm, 一般 0.050~0.060 mm, 石英的含量为 70% 左右。

长石(图 2 c~f, P): 可细分为钾长石和钠长石, 多为无色或浅褐色、板状或粒状, 单体或分布在含长石的各种岩屑中。单体长石砂粒中长石一般为 0.1~0.28 mm, 最大为 0.35 mm; 在岩屑中的长石大小不等, 最小 0.045 mm, 一般 0.052~0.070 mm。长石普遍发生高岭石化或绢云母化, 其中钠长石含量为 15% 左右, 钾长石为 12% 左右。

云母类(图 2 f, M): 分布在由石英和云母组成的

岩屑中,含量少于 2%。

赤褐铁矿(H):单体或分布在含赤铁矿的岩屑中,含量少于 1%。

2.3 砂粒粒度特征

在光学显微镜中,对砂薄片的砂粒进行连续的拍照,对每张照片中砂粒的粒度进行统计,结果见表 2。由表 2 可知,砂粒粒度分布较窄,粒度主要集中在-0.3+0.105 mm 粒级,该粒级的颗粒数占 92.14%;其中,-0.2+0.15 mm 粒级占比最高,为 37.64%;其次为-0.3+0.22 mm 粒级,占比为 17.7%。目前,玻璃工业用石英砂粒度要求为-0.6+0.1 mm,石油压裂支撑剂用石英砂粒度要求一般为-1.7+0.106 mm。该天然砂无需破碎磨矿处理,经过擦洗分级后,砂粒中符合石油压裂支撑剂粒径(-1.7+0.106 mm)要求的颗粒占比为 93.54%,符合玻璃砂粒度范围的颗粒占 92.14%。

表 2 石英砂粒度特征
Table 2 Grain size characteristics of quartz sand

粒级/mm	按颗粒数计算		
	线颗粒数	颗粒数占比/%	累计颗粒数占比/%
+0.300	5	1.40	1.40
-0.300+0.220	63	17.70	19.10
-0.220+0.200	48	13.48	32.58
-0.200+0.150	134	37.64	70.22
-0.150+0.125	54	15.17	85.39
-0.125+0.105	29	8.15	93.54
-0.105+0.074	18	5.06	98.60
-0.074	5	1.40	100.00
总计	356	100.00	-

2.4 石英砂 SEM 形貌特征

石英砂 SEM 图像见图 3。由图 3 可知,石英砂主要为次圆~圆状的颗粒,少数次棱角状,这与光学显微镜观察结果一致。砂粒的表面不平整,表面可见明显的溶蚀坑和小凸起,大量出现虫蛀状、鱼鳞状微形貌,砂粒表面黏附有少量碎屑。

2.5 砂粒圆度、球度特征

在石油天然气开采时,石英砂、陶粒及树脂包覆复合颗粒等常作为支撑剂用于提高油气产量。石油支撑剂的球度、圆度越好,其导流能力越好。为判断该天然石英砂能否作为石油支撑剂原料,依照《SY/T 5108—2014 水力压裂和砾石充填作业用支撑剂性能测试方法》,称取 5 g 缩分后的砂粒置于显微镜下观察,随机选取 140 颗砂粒进行测试,将显微镜下观察到的图片与球度、圆度图版进行比对^[11],结果见表 3。

由表 3 可知,砂粒最大球度和圆度为 0.9,最小球

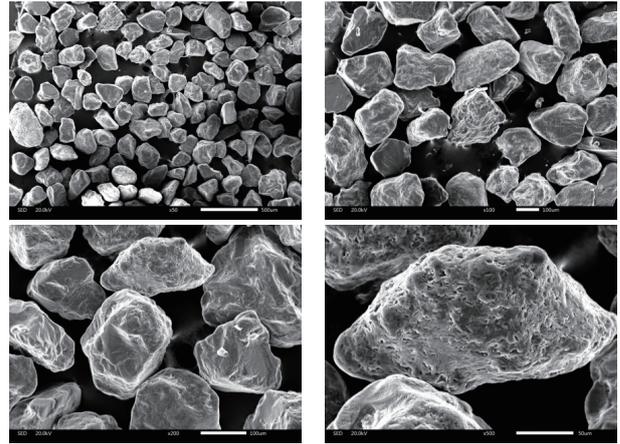


图 3 石英砂形态特征
Fig. 3 Morphological characteristics of quartz sand

表 3 砂粒圆度、球度统计结果

Table 3 Statistical results of sand roundness and sphericity

颗粒数	球度	圆度	颗粒数	球度	圆度
9	0.9	0.9	2	0.7	0.3
21	0.9	0.7	9	0.5	0.9
12	0.9	0.5	7	0.5	0.7
3	0.9	0.3	5	0.5	0.3
21	0.7	0.9	2	0.5	0.1
31	0.7	0.7	3	0.3	0.7
13	0.7	0.5	2	0.3	0.5
平均值	0.72	0.68			

度为 0.3、最小圆度为 0.1,砂粒中球度和圆度均大于 0.7 的颗粒数占比为 58.57%,砂粒平均球度为 0.72,平均圆度为 0.68,满足石油行业用支撑剂标准(天然石英砂平均球度、圆度应大于 0.60)。

2.6 砂粒的其他理化特性

在水力压裂工艺中,浊度、破碎率、酸溶解度、体积密度等性能指标是判定压裂支撑剂性能的重要指标。为进一步判断该天然砂能否作为石油支撑剂,进行浊度、破碎率、酸溶解度、体积密度、视密度等性能指标测试,结果见表 4。

由表 4 可知,砂粒浊度为 30.25 FTU、体积密度为 1.51 g/cm³、酸溶解度为 5.7%、视密度为 2.64 g/cm³,

表 4 砂粒性能测试结果
Table 4 Sand performance test results

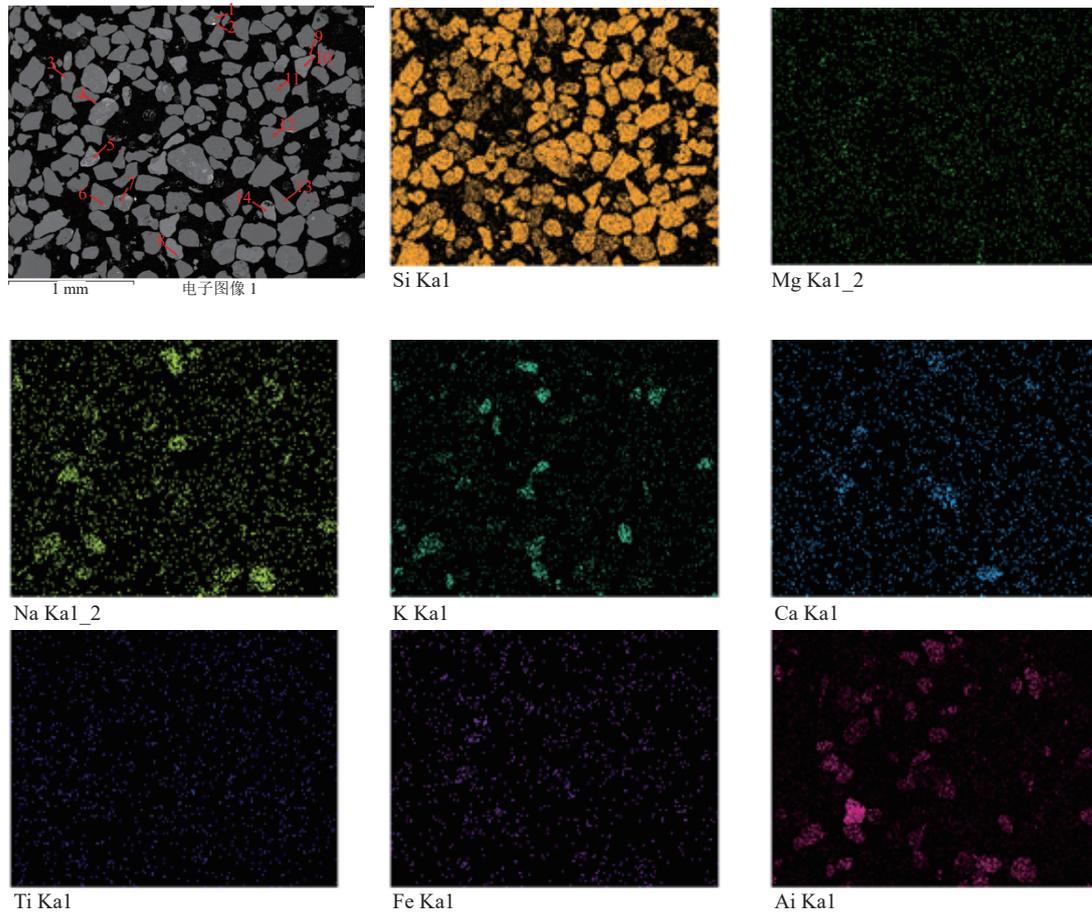
测试项目	技术指标	检测结果	评价
浊度/FTU	≤150	30.25	符合
体积密度/(g·cm ⁻³)	/	1.51	/
视密度/(g·cm ⁻³)	/	2.64	/
酸溶解度/%	≤7.0	5.7	符合
破碎率(应力 28 MPa)/%	≤9.0	8.5	符合

破碎率(应力 28 MPa)为 8.5%, 可满足石油行业用支撑剂要求。

2.7 砂中杂质元素赋存状态研究

杂质元素的赋存状态对石英砂提纯有着重要的影响, 为了查明杂质元素赋存状态, 为后期加工提纯

提供参考, 取部分石英砂制备探针片, 选取有代表性区域进行电子探针分析, 在电子探针的背散射图像选定视域, 进行元素面扫描, 定量检测视域中出现的元素, 而后根据元素富集位置, 进行元素点分析。共测试 3 个视域, 94 个点。图 4 为视域 2 背散射和元素面扫描图, 表 5 是部分点元素检测结果。



注: 图 4 中第一张图片为背散射图, 其它为 Al、Si 等元素的面扫描图。

图 4 砂粒背散射图和 Al、Si 等元素的面扫描

Fig. 4 Sand backscatter diagram and surface scanning of Al, Si and other elements

在背散射图中, 不同矿物灰度不同; 表面干净且灰度一样的是同一个矿物。结合背散射图和表 5 可知: (1) 点 1 处含 Fe 较高, 另有少量 Si 元素, 应为石英与赤褐铁矿的混相; (2) 点 5 处铝硅钠原子数比约为 1 : 3 : 1, 含少量 Ca、Fe 元素, 为铁浸染的斜长石; (3) 点 8 处为 Si 富集处, 含少量 K、Al 元素, 应为石英与长石的混合相; (4) 点 9 处主要为 Si、Al, 另含 Mg、Fe 元素, 应为长石和云母的混相。砂中主要脉石矿物为钾长石、斜长石、云母、赤(褐)铁矿、高岭石等, 与前文结果一致。试样中的 Al 存在于长石、云母、高岭石中, K 存在于长石、云母中, Fe 存在于赤褐铁矿中, Na 存在于长石中, Mg 存在于云母中, Ca 存在于长石中, Ti 存在于赤(褐)铁矿中。

由图 4 中 Si、Al 等元素面扫描可知, 各杂质元素

在砂粒中分布不均匀; Al、K、Na 等杂质富集于部分岩屑砂粒中, 这部分杂质可通过长石浮选来去除。Fe 主要以赤(褐)铁矿包裹在岩屑中, 可通过磁选去除, 少部分的 Fe 以浸染形式存在, 若需获得低铁石英精矿, 这部分铁需要酸溶去除。

3 石英砂矿应用评价

(1) 擦洗分级后的石英砂浊度为 30.25 FTU, 平均圆球和球度均 > 0.60, 体积密度为 1.51 g/cm³, 酸溶解度为 5.7%、视密度为 2.64 g/cm³, 破碎率(应力 28 MPa)为 8.5%。根据 SY/T 5 108—2014 石油天然气行业标准, 该天然石英砂擦洗分级后可满足石油压裂支撑剂要求。

(2) XRF 和 XRD 结果表明, 擦洗分级后的石英

表 5 石英砂各矿物的能谱分析(质量分数)

/%

Table 5 Energy spectrum analysis of each mineral of quartz sand (mass fraction)

测点	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO ₂	Na ₂ O	备注
1	0.00	4.19	0.00	0.00	0.00	1.42	94.39	0.00	0.00	石英与赤褐铁矿的混相
2	0.00	67.95	20.32	0.00	1.95	0.00	0.00	0.00	9.78	斜长石
3	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	石英
4	0.00	66.60	21.74	4.13	1.29	0.00	0.00	0.00	6.23	斜长石
5	0.00	63.89	17.84	1.12	3.54	1.61	2.87	0.00	9.12	铁染长石
6	0.00	39.65	60.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	长石蚀变的高岭石
7	3.47	51.24	29.92	12.70	0.00	0.00	2.67	0.00	0.00	白云母
8	0.00	93.75	2.86	3.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	长石与石英混相
9	3.52	58.92	17.40	8.25	0.00	0.00	6.66	0.00	5.25	长石与云母的混相
10	0.00	64.59	16.53	18.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	钾长石
11	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	石英
12	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	石英
13	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	石英
14	0.00	66.20	17.14	15.09	0.00	0.00	0.00	0.00	1.57	钾长石

砂 SiO₂ 的含量为 84.54%，达不到玻璃砂要求，杂质元素含量高。若要用于玻璃行业，可通过磁选去除磁性矿物，通过浮选去除长石和云母，有望达到普通玻璃砂标准。若要加工成更高级别玻璃用石英砂，需进行进一步的选矿工艺研究。

4 结论

(1)天然石英砂擦洗分级后 SiO₂ 含量为 84.54%，石英砂主要由石英和岩屑组成，砂中脉石矿物为长石、微量云母及赤(褐)铁矿。

(2)石英砂中主要杂质元素为 Al、K、Na、Fe、Ti、Ca 等，Al 主要赋存于长石及云母中，K 存在于钾长石、云母中，Fe 存在于赤(褐)铁矿中，Na 存在于长石中，Mg 存在于云母中，Ca 存在于长石中；Ti 存在于赤(褐)铁矿。

(3)根据 SY/T 5108—2014 水力压裂性能测试数据分析，擦洗分级后的精砂可作为油气浅层压裂支撑剂使用。精砂中岩屑含量高导致石英品位低，可通过磁选—浮选等选矿工艺去除岩屑降低 Al、Fe 含量，使其达到普通平板玻璃用原料的级别。

参考文献:

[1] 金达表, 张兄明, 邹蔚蔚. 我国天然硅砂的加工现状[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2004(z1): 93-96.
JIN D B, ZHANG X M, ZOU W W. Processing status of natural silica sand in China[J]. China Non-metallic Mining Industry Herald, 2004(z1): 93-96.

[2] 李佩悦, 马立云, 吴建新, 等. TFT-LCD玻璃基板用海相沉积型天然石英砂的工艺矿物学研究[J]. 硅酸盐通报, 2020, 39(5): 1650-1658.
LI P Y, MA L Y, WU J X, et al. Study on process mineralogy of marine

sedimentary natural quartz sand for TFT-LCD glass substrate[J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2020, 39(5): 1650-1658.

[3] 汪灵, 汤建, 张科, 等. 沐川黄丹石英砂岩特点及其铸造型砂应用[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2014, 41(3): 393-400.
WANG L, TANG J, ZHANG K, et al. Characteristics of quartzose sandstone from Huangdan in Muchuan of Sichuan and its application of foundry molding sand[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2014, 41(3): 393-400.

[4] 汪灵. 石英的矿床工业类型与应用特点[J]. 矿产保护与利用, 2019, 39(6): 39-47.
WANG L. Industrial types and application characteristics of quartz ore deposits[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2019, 39(6): 39-47.

[5] 余利军, 孙亚光, 余丽秀. 油气压裂支撑剂应用进展及发展趋势[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2014(3): 14-16.
YU L Y, SUN Y G, YU L X. The fracture proppant of oil and gas applications progress and development trend[J]. China Non-metallic Mining Industry Herald, 2014(3): 14-16.

[6] 王自国, 宁树正, 杨岗. 我国石英价格波动原因分析[J]. 中国煤炭地质, 2021, 33(9): 48-50.
WANG Z G, NING S Z, YANG G. Causation analysis of quartz price in China[J]. Coal Geology of China, 2021, 33(9): 48-50.

[7] 颜玲亚, 刘艳飞, 于海军, 等. 中国高纯石英资源开发利用现状及供需形势[J]. 国土资源情报, 2020(10): 98-103.
YAN L Y, LIU Y F, YU H J, et al. Development and utilization status and supply and demand situation of high purity quartz resources in China[J]. Land and resources Information, 2020(10): 98-103.

[8] 侯军发, 谢恩俊, 段树桐, 等. 氧化铁浸染型天然石英砂制备汽车玻璃原料关键技术研究[J]. 建材世界, 2020, 41(1): 12-14+23.
HOU J F, XIE E J, DUAN S T, et al. Study on the key technology of preparing automobile glass raw materials with iron oxide impregnated natural quartz sand[J]. The World of Building Materials, 2020, 41(1): 12-14+23.

[9] 张婷婷, 任东风, 侯军发, 等. 海相沉积型天然石英砂生产超白砂的工艺研究[J]. 建材世界, 2012, 33(4): 48-51+70.

ZHANG T T, REN D F, HOU J F, et al. Marine sedimentary natural quartz sand production technology of ultra white sand[J]. *The World of Building Materials*, 2012, 33(4): 48-51+70.

[10] 王守敬, 邵伟华. 海滨石英砂矿物学研究——以海南文昌石英砂为例[J]. *矿产保护与利用*, 2019, 39(6): 58-61.

WANG S J, SHAO W H. Mineralogical study about seashore quartz sand ore—a case study from the seashore quartz sand ore at

Wenchang, Hainan province[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2019, 39(6): 58-61.

[11] 国家能源局. 水力压裂和砾石充填作业用支撑剂性能测试方法: SY/T 5108—2014[S]. 北京: 石油工业出版社, 2015.

National Energy Administration. Measurement of properties of proppants. used in hydraulicfracturing and gravel-packing operations: SY/T 5108—2014[S]. BeiJing: Petroleum Industry Press, 2015.

Process Mineralogy of Natural Quartz Sand Deposited by River and Lake Facies in Shaanxi Province

TANG Tengwang¹, GUAN Junfang^{1,2}, REN Zijie^{1,2}, GAO Huimin^{1,2}, LIU Menghao¹, SONG Yuhan¹

1. School of Resources and Environmental Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, Hubei, China;

2. Hubei Key Laboratory of Mineral Resources Processing and Environment, Wuhan 430070, Hubei, China

Abstract: Taking the natural quartz sand of a river and lake deposit in Shaanxi as the research object, the quartz sand was systematically studied by modern testing techniques such as XRD, XRF, EPMA and optical microscope. The results showed that the SiO₂ content of the quartz sand after desilting was 84.54%, and the impurity elements were mainly Al, K, Na, Fe, etc. The minerals were mainly quartz, and the gangue minerals were albite, potassium feldspar, sericite and hematite. Under the polarizing microscope, the sand particles could be mainly divided into lithic sand particles and quartz and other mineral monomer sand particles. The monomer mineral sand particles accounted for 70%, and the lithic sand particles accounted for 30%. Debris sand could be further divided into quartzite debris, flint debris, mica quartz schist debris, quartz sandstone debris, phyllite debris; the monomeric mineral sand particles were mainly quartz, with a small amount of feldspar type. The crushing rate (stress 28 MPa) of fine sand after scrubbing classification was 8.5%, with the average sphericity 0.72, the average roundness 0.68, and the turbidity 30.25 FTU, which met the standard of proppant for petroleum industry.

Keywords: natural quartz sand; quartz; process mineralogy; oil fracturing; feldspar

引用格式: 唐腾望, 管俊芳, 任子杰, 高惠民, 刘孟浩, 宋昱晗. 陕西某河湖相沉积型天然石英砂工艺矿物学研究[J]. *矿产保护与利用*, 2023, 43(2): 106-111.

TANG Tengwang, GUAN Junfang, REN Zijie, GAO Huimin, LIU Menghao, SONG Yuhan. Process mineralogy of natural quartz sand deposited by river and lake facies in Shaanxi province[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2023, 43(2): 106-111.

投稿网址: <http://hcbh.cbpt.cnki.net>

E-mail: kcbh@chinajournal.net.cn