【成果快讯】(Research Express)

# 东秦岭西峡地区花岗岩中发现高纯石英原料

## Identification of high-purity quartz raw materials from granites in the Xixia area, east Qinling orogenic belt

贺承广[1,2]，翟文建[1,2]，王艳慧[1,2]，任建德[1,2]，张诗启[1,2]，王 坤[1,2]，黄业豪[1,3]

HE Chengguang[1,2]，ZHAI Wenjian[1,2]，WANG Yanhui[1,2]，REN Jiande[1,2]，ZHANG Shiqi[1,2]，WANG Kun[1,2]，HUANG Yehao[1,3]

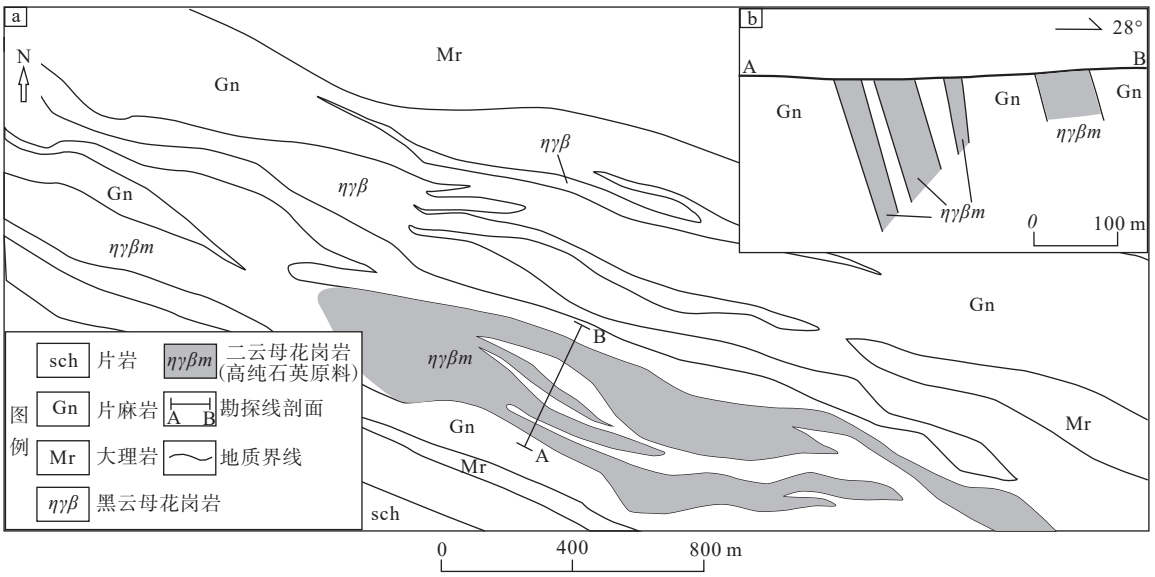
1. 河南省地质研究院，河南 郑州 450016；
2. 地质过程与矿产资源国家重点实验室河南技术联合研发和示范中心，河南 郑州 450001；
3. 河南省超纯矿物新材料产业技术研究院，河南 三门峡 472000

1. *Henan Academy of Geology*, *Zhengzhou* 450016, *Henan*, *China*;
2. *Henan Technology Joint Research & development and Demonstration Center*, *State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources*, *Zhengzhou* 450001, *Henan*, *China*;
3. *Henan Research Institute of Ultra-pure Mineral New Material Industry Technology*, *Sanmenxia* 472000, *Henan*, *China*

高纯石英(high-purity quartz)是硅产业高端产品的关键性基础材料，广泛应用于电子信息、新能源、新材料等领域，是世界稀缺、中国短缺的战略性资源，在国家资源安全保障方面具有重要地位(汪灵等，2022)。目前，对高纯石英界定尚无统一的标准，国际上一般认为高纯石英 $SiO_2$ 含量大于 99.995%(4N5 级)，国内则通常认为高纯石英 $SiO_2$ 含量大于 99.99%(4N 级)(Müller et al.，2012；Götze and Ramseyer，2012；张亮等，2024)。目前，全球可以加工高纯石英的矿床非常稀少，主要分布于美国、挪威、印度和巴西等国家，矿床类型主要为天然水晶、脉石英、花岗伟晶岩等(Müller et al.，2012；Snook，2014；王九一，2021；王云月等，2021)，其中美国 Spruce Pine 花岗伟晶岩(白岗岩)型高纯石英矿床规模大、品质稳定，是全球最为重要的矿产类型。中国高纯石英研究起步较晚，但发展迅速，已在东秦岭—大别山、阿尔泰、武夷山等地区相继发现了花岗伟晶岩、脉石英、天然水晶等高纯石英原料(赵金洲等，2021；张海啟等，2022a，2022b；唐春花等，2024；何振忠等，2024)。由于天然水晶具有储量小、化学成分不稳定等特征，脉石英和花岗伟晶岩石英逐步成为中高端高纯石英产品的理想原料。近年来，东秦岭造山带卢氏地区发现了一批≥4N 级的花岗伟晶岩型高纯石英原料(赵金洲等，2021；张海啟等，2022a；Zhang et al.，2022；赵海波等，2024)，然而，由于花岗岩伟晶岩内部分带的复杂性，其石英矿物品质差别较大。近期，笔者在东秦岭西峡地区开展高纯石英调查评价和成矿地质条件研究工作过程中，从花岗岩中新发现一些具有找矿价值的高纯石英原料。相较于花岗伟晶岩型高纯石英原料，新发现赋存在花岗岩中的高纯石英原料具有规模大、内部分带弱和品质稳定等特征。文章主要对该类高纯石英原料矿的地质特征、石英矿物学特征和实验室提纯试验结果进行初步报道，以期为区域高纯石英资料调查评价和找矿方向提供借鉴。

研究区位于秦岭造山带东段的北秦岭地块内，加持于商南−丹凤断裂带和朱阳关−夏馆断裂带之间，主体由古元古界秦岭岩群、中—新元古界峡河岩群构成，岩浆活动以新元古代和早古生代中酸性侵入岩为主，并伴随有同期不同规模的花岗伟晶岩脉和深熔岩脉(张成立等，2013；张国伟等，2019)。新发现的赋存在花岗岩中的高纯石英原料位于西峡县回车一带，岩石类型为糜棱岩化二云母二长花岗岩，沿区域构造线方向以不规则带状侵入于古元古界秦岭岩群郭庄岩组中深变质岩之内。通过地质简测、槽探和钻探等调查评价工作，并根据实验室提纯试验，石英砂纯度 $w$ 大于 4N 级的边界指标，圈定了 1 条高纯石英原料矿体，原料矿体控制宽度 100～300 m，延伸长度 1700 m(图 1)。

岩石主要矿物组成为钾长石(35%±)、斜长石(30%±)、石英(25%±)、白云母(3%～5%)、黑云母(2%～4%)，副矿物为少量石榴子石和磷灰石。典型特征为韧性剪切变形组构发育(图 2a)，表现为长石(以微斜长石、酸性斜长石为主)颗粒的旋转定向排列，云母类矿物沿 C 面理断续定向排列，石英则呈粒状集合




a—高纯石英原料矿区岩性分布图；b—高纯石英原料矿体形态剖面示意图

图 1　研究区地质简图

Fig. 1　Simplified geological map of the study area

(a) Lithologic distribution map of high-purity quartz raw material mining area; (b) Morphological section of high-purity quartz raw material orebody

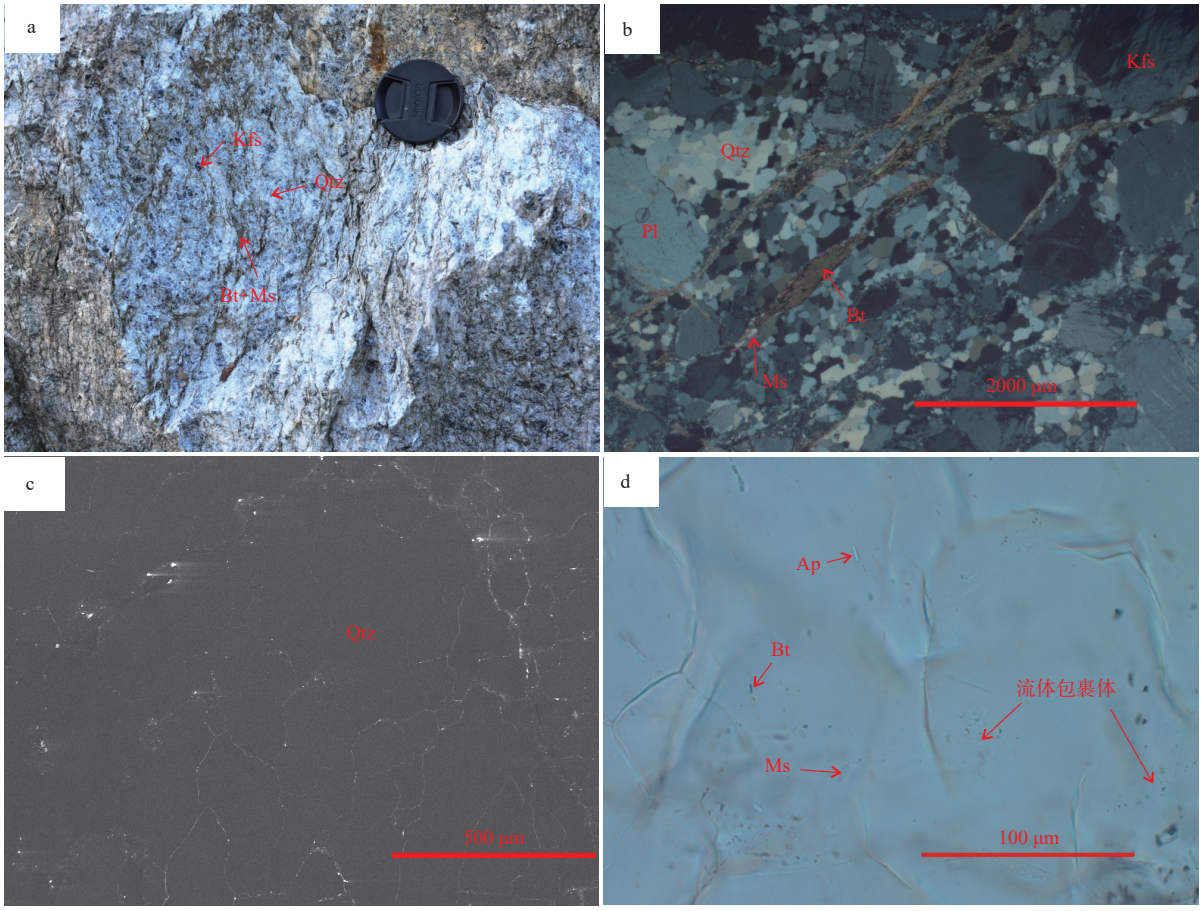
体(2～5 mm)充填于长石颗粒之间(图 2b)。石英呈灰白色、透明状、油脂光泽，显微镜下石英颗粒呈半自形—他形粒状，粒径为 0.2～0.7mm，粒状镶嵌结构和重结晶特征明显，未见明显波状消光，颗粒边界较为截然、平直，整体呈三边平衡结构，CL 图像显示石英亮度偏暗且较为均一(图 2c)，表明石英颗粒的早期韧性变形特征已完全遭受后期静态恢复作用的改造。沿单颗粒边界及其三角形围限间隙处可见绢云母、长石及其他不明铝硅酸盐等细小矿物。

岩石地球化学特征表明，该类花岗岩 $SiO_2$ 含量为 71.63%～77.66%，$Al_2O_3$ 含量为 12.40%～14.97%，$Na_2O/K_2O$ 为 0.5～1.3，属过铝质高钾钙碱性花岗岩，具有稀土总量偏低(小于 $100\times10^{-6}$)、轻稀土富集、Eu 负异常的特征，相对富集大离子亲石元素 Rb、K、U，强烈亏损 Ba、Sr 和 Ti 等元素，相对亏损 P、Nb、Ta 等元素，暗示其可能为高分异花岗岩。

包裹体是制约高纯石英原料矿石质量的重要因素之一。此次新发现的二云母二长花岗岩的石英晶粒内包裹体总体较少(含量约 2%)，以固相包裹体为主(含量约 1.5%)，流体包裹体较少(含量约 0.5%)。激光拉曼分析显示固相包裹体主要为鳞片状白云母、黑云母(5～20 μm)和棒状磷灰石(10～15 μm)，总体呈孤立单晶体产出，云母类矿物以 2 种形态产出，一类分布于石英颗粒晶界附近，片径为 10～20 μm，含量约占云母总量的 80%；另一类则产出于石英晶粒之内，片径为 5～10 μm，含量约占云母杂质总量的 20%。流体包裹体多呈弥散状分布于石英单晶的边缘带，分布宽度为 20～40 μm，单个包裹体大小为 2～10 μm，主要为气液两相包裹体(图 2d)。

石英晶格杂质尤其是 Al、Ti 等杂质元素含量是评价高纯石英原料质量的关键标志性指标，可根据石英晶粒原位激光剥蚀电感耦合等离子质谱(LA-ICP-MS)进行初步质量优劣的定性判别。研究区二云母二长花岗岩内石英原位分析(LA-ICP-MS)显示，Al 元素含量变化范围介于 $2.97\times10^{-6}$～$20.27\times10^{-6}$，均值为 $13.01\times10^{-6}$；Ti 元素含量变化范围介于 $2.64\times10^{-6}$～$16.27\times10^{-6}$，均值为 $9.64\times10^{-6}$。与 Müller et al.(2012)提出的 Al≤$30\times10^{-6}$、Ti≤$10\times10^{-6}$ 和张亮等(2024)提出的 Al≤$50\times10^{-6}$、Ti≤$10\times10^{-6}$ 等高纯石英原料微量元素判别标准相比，基本可以判定此次新发现的二云母二长花岗岩为具有一定潜力的高纯石英原料。

在详细研究岩石矿物组合、石英结构状态、包裹体特征和杂质元素含量等影响石英矿物可选性因素的基础上，对探槽和钻孔内各 1 件二云母二长花岗岩样品开展了磨矿筛分、精细分离和深度纯化等常规流程的实验室提纯试验。提纯结果显示，在扣除 Al、Ti、Ca 等 15 种杂质元素含量后，石英砂纯度 $w$ 为




Kfs—钾长石；Pl—斜长石；Qtz—石英；Ap—磷灰石；Ms—白云母；Bt—黑云母

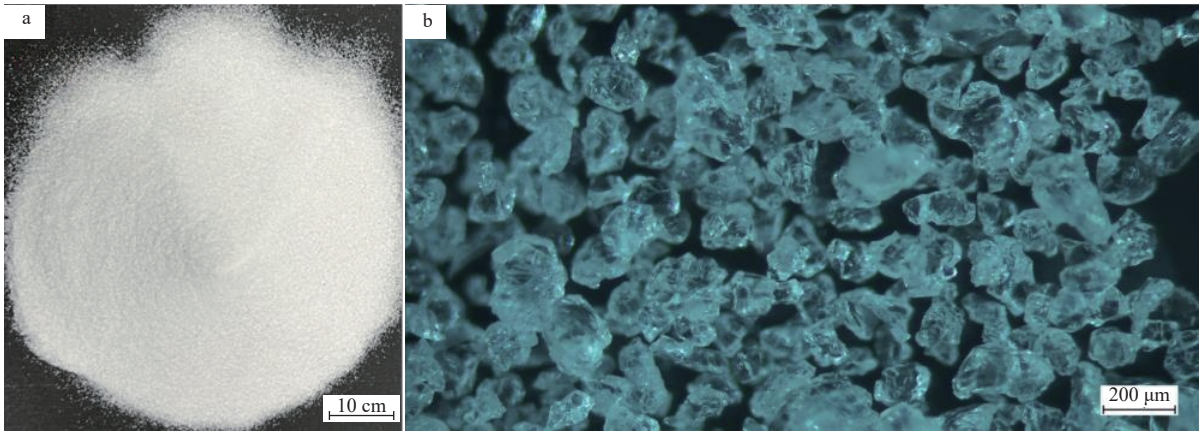
a— 二云母二长花岗岩露头及变形特征；b—二云母二长花岗岩镜下特征（正交）；c—石英 CL 图形特征（暗色部分）；d—石英内包裹体特征

图 2 含高纯石英原料花岗岩野外及镜下特征

Fig. 2 Field and microscopic characteristics of granite containing high-purity quartz material

(a) Outcrop and deformation characteristics of two-mica monzonite granite; (b) Microscopic characteristics of two-mica monzonite granite (orthogonal); (c) CL graphic features of quartz (dark region); (d) Features of inclusions in quartz

Kfs—K-feldspar; Pl—Plagioclase; Qtz—Quartz; Ap—Apatite; Ms—Muscovite; Bt—Biotite




a—分离提纯的高纯石英砂；b—高纯石英砂显微图像

图 3 花岗岩精细分离高纯石英砂特征

Fig. 3 Characteristics of high-purity quartz sands finely separated from granite

(a) Separated and purified high-purity quartz sands; (b) Microscopic image of high-purity quartz sands

99.995%～99.996%(4N5～4N6 级)(图 3, 表 1), 属中高端高纯石英砂。与美国尤尼明公司 IOTA-CG 标准砂相比, 实验样品中的 K、Fe、Ti 元素含量偏高, 推测系云母等杂质矿物仍未除尽所致, 二者其他元素含量分布较为接近。后期若加大石英提纯加工技术的研究力度, 优化加工、分离、浮选、除杂、提纯工艺流程, 其精矿纯度有望进一步提高。

**表 1　二云母二长花岗岩代表性样品实验室提纯试验结果与 IOTA-CG 产品主要杂质元素含量对比表（$\times10^{-6}$）**

Table 1　Comparison of contents of main impurity elements between laboratory purification test results of representative samples of two-mica monzonite granite and IOTA-CG products（$\times10^{-6}$）

| 元素含量<br>样品编号 | Al | Na | K | Ca | P | Fe | Mg | Mn | Ni | Cu | Li | Ti | B | Cr | Zn | 杂质<br>总量 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HCG-1K4 | 15.080 | 0.76 | 7.42 | 0.62 | 0.25 | 5.41 | 0.60 | ND | ND | ND | 0.15 | 10.69 | ND | ND | 0.04 | 41.02 |
| IOTA-CG | 14.70 | 1.00 | 0.70 | 0.60 | 0.10 | 0.30 | 0.04 | 0.029 | 0.001 | 0.019 | 0.5 | 1.2 | 0.1 | 0.007 | — | 19.30 |

注: 测试单位为连云港市质量技术综合检验检测中心, 测试时间为2024年5月

相较于东秦岭地区卢氏一带已报道的具有高纯石英资源潜力的花岗伟晶岩(张海敞等, 2022a; 赵海波等, 2024), 西峡一带新发现的可制备～4N5 级高纯度石英砂的二云母二长花岗岩, 具有规模大、分带性弱和石英纯度稳定等特征, 有望成为新的生产高纯石英砂的原料。对东秦岭地区该类花岗岩型高纯石英原料的初步调查和研究表明, 其横向延伸约达 7.0 km, 出露宽度为 50～400 m, 而其他地区仍可见该类岩体的断续出露。此次实验室提纯试验数据显示, 东秦岭地区赋存在花岗岩中的高纯石英原料具有一定的找矿潜力。虽然 K、Fe、Ti 等部分元素含量与 IOTA-CG 标准砂存在偏差, 但二者其他元素含量分布均较为接近, 若后期进一步通过分离提纯、定向除杂等关键技术攻关, 其石英精矿纯度有突破至高纯石英高端产品。综上, 西峡地区花岗岩内高纯石英原料的发现为东秦岭地区乃至全国高纯石英资源调查评价和地质勘查提供了新的找矿线索和方向。

## References


GÖTZE T, RAMSEYER K. , 2012. Trace element characteristics, luminescence properties and real structure of quartz[M]//GÖTZE J, MÖCKE LR. Quartz: deposits, mineralogy and analytics. Berlin' Heidelberg: Springer: 265-285.

HE Z Z, ZHU C H, DENG Y F, et al., 2024. Characteristics and quality of high purity quartz raw materials in the southern Dabie Mountains region[J]. Mineral Exploration, 15(12): 2270-2280. (in Chinese with English abstract)

MÜLLER A, WANVIK J E, IHLEN P M, 2012. Petrological and chemical characterisation of high- purity quartz deposits with examples from Norway[M]//GÖTZE J, MÖCKE LR. Quartz: deposits, mineralogy and analytics. Berlin' Heidelberg: Springer: 71-118.

SNOOK B R, 2014. Towards exploration tools for high purity quartz: An example from the South Norwegian Evje-Iveland pegmatite belt[D]. Exeter: University of Exeter: 1-284.

TANG C H, ZHANG S H, YUAN J, et al. , 2024. Deposit characteristics and potential resources of silicon material for high-purity quartz of muscovite-pegmatite-granite type in Ningdu, Jiangxi Province[J]. Geological Bulletin of China, 43(5): 667−679. (in Chinese with English abstract)

Wang J Y, 2021. Global high purity quartz deposits: Resources distribution and exploitation status[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 40(1): 131-141. (in Chinese with English abstract)

WANG L, 2022. Concept of high purity quartz and classification of its raw materials[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 42(5): 55-63. (in Chinese with English abstract)

WANG Y Y, DENG Y F, ZHAN J H, et al., 2021. Review on the research of characteristics and ore deposit genesis of high purity raw quartz[J]. Geological Review, 67(5): 1465-1477. (in Chinese with English abstract)

ZHANG C L, LIU L, WANG T, et al., 2013. Granitic magmatism related to early Paleozoic continental collision in North Qinling[J]. Chinese Science Bulletin, 58(35): 4405-4410.

ZHANG G W, GUO A L, DONG Y P, et al., 2019. Rethinking of the Qinling orogen[J]. Journal of Geomechanics, 25(5): 746-768. (in Chinese with English abstract)

ZHANG H Q, ZHU L K, ZHAO H B, et al., 2022a. First discovery of the Longquanping pegmatitic high-purity quartz deposit in the area of Lushi, Henan: implications for exploration[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 42(4): 153-158. (in Chinese with English abstract)

ZHANG H Q, TAN X M, MA Y M et al., 2022b. Geological characteristics of pegmatite type high-purity quartz in Altay, xinjiang and preparation technology of

4N8 grade products[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 42(5): 1-7. (in Chinese with English abstract)

ZHANG L, LIU L, ZHU L K, et al., 2024. Discussion on the geological evaluation for high purity quartz raw material[J]. Acta Petrologica Sinica, 40(4): 1311-1326. (in Chinese with English abstract)

ZHANG Y, ZHAO H B, LIU L, et al., 2022. Timing of granite pegmatite-type high-purity quartz deposit in the Eastern Qinling, China: constraints from in-situ LA-ICP-MS trace analyses of quartz and monazite U–Pb dating[J]. Acta Geochimica, 41(2): 197-207.

ZHAO H B, WANG H J, Zhang Y, et al., 2024. Geochemistry, zircon U−Pb and Hf isotopes of the high−purity pegmatite−quartz deposits in the Eastern Qinling and discussion on its prospecting direction[J]. Geology in China, 51(1): 42-56. (in Chinese with English abstract).

ZHAO J Z, ZHANG C, ZHANG S S, et al., 2021. Study on the availability of high purity quartz minerals in granite-pegmatite in the East Qinling[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 41(6): 1305-1308. (in Chinese)

## 附中文参考文献

何振忠, 朱传海, 邓宇峰, 等, 2024. 南大别山地区高纯石英原料矿特征及质量影响因素[J]. 矿产勘查, 15(12): 2270-2280.

唐春花, 张生辉, 袁晶, 等, 2024. 江西宁都白云母伟晶花岗岩型高纯石英用硅质原料矿床特征与资源潜力[J]. 地质通报, 43(5): 667-679.

汪灵, 2022. 高纯石英的概念及其原料品级划分[J]. 矿产保护与利用, 42(5): 55-63.

王九一, 2021. 全球高纯石英原料矿的资源分布与开发现状[J]. 岩石矿物学杂志, 40(1): 131-141.

王云月, 邓宇峰, 詹建华, 等, 2021. 高纯石英原料特征和矿床成因研究现状综述[J]. 地质论评, 67(5): 1465-1477.

张成立, 刘良, 王涛等, 2013. 北秦岭早古生代大陆碰撞过程中的花岗岩浆作用[J]. 科学通报, 58(23): 2323-2329.

张国伟, 郭安林, 董云鹏, 等, 2019. 关于秦岭造山带[J]. 地质力学学报, 25(5): 746-768.

张海敢, 朱黎宽, 赵海波, 等, 2022a. 河南卢氏龙泉坪伟晶岩型高纯石英矿床的首次发现及找矿意义[J]. 矿产保护与利用, 42(4): 153-158.

张海敢, 谭秀民, 马亚梦, 等, 2022b. 新疆阿尔泰伟晶岩型高纯石英矿床地质特征及4N8级产品制备技术[J]. 矿产保护与利用, 42(5): 1-7.

张亮, 刘磊, 朱黎宽, 等, 2024. 关于高纯石英原料矿石地质学评价方法的探讨[J]. 岩石学报, 40(4): 1311-1326.

赵海波, 王红杰, 张勇, 等, 2024. 东秦岭伟晶岩型高纯石英矿地球化学、锆石U-Pb及Hf同位素研究: 对高纯石英找矿方向的探讨[J]. 中国地质, 51(1): 42-56.

赵金洲, 张驰, 张森森, 等, 2022. 东秦岭花岗伟晶岩中高纯石英矿物的可利用性研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 41(6): 1305-1308.

**基金项目：**河南省地质研究院科技攻关项目（2024-331-XM05）；河南省财政地质勘查项目（豫财地勘合字〔2023〕第2号）；河南区域地质矿产调查项目(DD20160043-03)

**第一作者：**贺承广（1985—），男，高级工程师，主要从事区域地质矿产调查和矿床学研究工作。Email：2692624526@qq.com

**引用格式：**贺承广，翟文建，王艳慧，等，2025. 东秦岭西峡地区花岗岩中发现高纯石英原料[J]. 地质力学学报，31（2）：340−344. DOI：10.12090/j.issn.1006-6616.2025013

**Citation:** HE C G，ZHAI W J，WANG Y H，et al.，2025. Identification of high-purity quartz raw materials from granites in the Xixia area, east Qinling orogenic belt[J]. Journal of Geomechanics，31（2）：340−344. DOI：10.12090/j.issn.1006-6616.2025013