

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2025.092>

Short Survey



新疆库拜盆地北缘古河湖相锆石砂矿的发现实现 我国锆矿找矿突破

刘 兵^{1,3}, 李益龙^{2,3*}, 彭 宇¹, 刘崴国¹, 王国庆³, 时显振¹, 韩建华¹, 王海涛¹,
林泽华¹, 殷豫江¹, 韩继全¹, 马思捷¹, 高 奇², 喻福涛⁴, 曾小波⁴

1. 新疆维吾尔自治区地质局区域地质调查中心, 新疆乌鲁木齐 830013

2. 新疆维吾尔自治区地质局, 新疆乌鲁木齐 830000

3. 中国地质大学(武汉)地球科学学院, 湖北武汉 430074

4. 中国地质科学院矿产综合利用研究所, 四川成都 610000

0 引言

锆是我国最为紧缺的战略性关键稀有金属矿产之一, 它的应用极其广泛, 在陶瓷、耐火材料、核能、军工等领域发挥着不可或缺的作用(许箭琪等, 2024), 自然界中锆石(也称锆英石, 化学分子式: ZrSiO_4)是最常见的含锆矿物。我国锆石矿床类型多样, 已发现的包括内生型与外生型两大类。其中, 内生型矿床主要包括碱性岩型、碱性花岗岩型、伟晶岩型和变粒岩型; 外生型矿床则以滨海沉积型、河流冲积型及风化壳型为主(表 1)。受开采和选冶条件的制约, 目前我国仅滨海沉积型锆石砂矿可实现工业化开采利用, 但该类矿床正日益面临矿石品位下降、环境保护压力加大以及采矿成本持续上升等问题, 制约了其可持续开发与利用。

从锆矿资源储量来看, 我国锆资源储量约 50 万 t, 占全球储量的比例不足 0.6%。然而, 伴随高端制造业和绿色能源等战略性新兴产业的快速发展, 我国锆资源的消费总量已占全球总需求的约 53%,

成为全球最大的锆资源消费国(申正伟等, 2016; 张振芳等, 2019)。当前我国锆矿的对外依赖程度高达 90% 以上, 在锆被多国列为关键战略资源的情况下, 资源安全问题日益凸显, 供需矛盾日趋严峻。因此, 为保障国家经济安全、国防安全和战略性新兴产业发展需求, 急需加大锆矿的勘查力度, 提升国内锆资源保障程度。

新疆作为国家能源资源战略保障基地, 是新一轮找矿突破战略行动的主战场。新疆地质局作为找矿的主力军, 以国家紧缺的战略性矿种为主攻目标, 在全疆范围内开展技术攻坚行动。近期, 该局首次在庫拜盆地北缘的新生代地层中发现了具有超大型规模远景的古河湖相锆石砂矿床——宇海锆石砂矿床。该矿床的发现显著提升我国锆矿资源储量的同时, 对缓解锆资源对外依赖起到了积极推动作用, 更为重要的是, 该矿床的成功识别为我国乃至全球锆矿资源的勘查工作提供了新的战略思路与找矿方向。

作者简介: 刘兵(1986—), 男, 高级工程师, 主要从事资源勘查工作。E-mail: 33824790@qq.com

* 通讯作者: 李益龙, 教授, 主要从事岩石学与矿床学研究及相关教学工作。ORCID: 0000-0003-2688-7634。E-mail: ylli@cug.edu.cn

引用格式: 刘兵, 李益龙, 彭宇, 刘崴国, 王国庆, 时显振, 韩建华, 王海涛, 林泽华, 殷豫江, 韩继全, 马思捷, 高奇, 喻福涛, 曾小波, 2025. 新疆库拜盆地北缘古河湖相锆石砂矿的发现实现我国锆矿找矿突破. 地球科学, 50(6): 2452–2456.

Citation: Liu Bing, Li Yilong, Peng Yu, Liu Weiguo, Wang Guoqing, Shi Xianzhen, Han Jianhua, Wang Haitao, Lin Zehua, Yin Yujiang, Han Jiquan, Ma Sijie, Gao Qi, Yu Futao, Zeng Xiaobo, 2025. The Discovery of a Paleo-Fluvio-Lacustrine Facies Zircon Deposit on the Northern Margin of the Kubai Basin in Xinjiang Represents a Breakthrough in the Exploration of Zircon Deposits in China. *Earth Science*, 50(6): 2452–2456.

表 1 我国主要锆矿床类型
Table 1 Main types of zirconia deposits in China

序号	矿床类型	主要矿床	含矿地质体	矿床规模	矿种类型
1	碱性岩型	辽宁赛马稀有稀土矿、新疆阔克塔格稀有稀土矿、新疆拜城波孜果尔稀有稀土锆矿	异霞正长岩、碱性正长岩	均为小型	稀有稀土为主,伴生锆
2	碱性花岗岩型	扎鲁特旗 801 稀土矿、西昌莲花山铌钽矿、江西横峰葛源黄山铌钽矿	钠长石化花岗岩、碱性花岗岩	大、中、小型均有	稀土为主,伴生锆
3	伟晶岩型	江西石城海罗岭铌钽矿、江西横峰葛源黄山铌钽矿、莱西市塔埠头稀土矿、新疆依兰里克稀土矿、新疆可可托海稀土矿	碱性伟晶岩、花岗伟晶岩	均为小型	稀土为主,伴生锆
4	变粒岩型	甘肃余石山稀土矿	变粒岩	大型	稀土为主,伴生锆
5	滨海沉积型	山东荣成、桃园锆石砂矿、辽宁登沙河锆石砂矿、广东陆丰锆石砂矿、海南文昌、琼海、万宁、陵水锆石砂矿	海砂	中小型为主	锆为主,共伴生钛、铁、稀土、钪
6	河流冲积型	广东龙门永汉、电白马店河稀土矿、陆川白马磷钇矿、勐海勐阿独居石矿	河砂	大型	稀土为主,伴生锆
7	风化壳型	江西省龙南县塔背锆矿、全南县寨下大峰脑锆钪矿、湖南江华姑婆山锆矿、广东广宁 512、513 锆矿	黑云母花岗岩风化壳	中、小型	稀土、锆(钪)共生

注:修改自王汝成等(2020);尹传凯等(2024).

1 矿床地质特征

库拜盆地位于塔里木盆地北缘,呈北东东向展布,北临南天山造山带,南临塔北隆起(图 1a),是塔里木板块与天山造山带相互作用形成的中—新生代前陆盆地,其构造演化受控于古特提斯洋闭合及印度—欧亚板块碰撞的远程效应.盆地基底为前二叠系地层,盖层为中—新生界地层,发育有一系列由北向南的逆冲断层及相关褶皱,形成“北陡南缓”的楔形结构.新发现的宇海锆石矿位于库拜盆地北缘,距离拜城县约 30 km,区内中—新生界地层出露齐全(图 1b,1c).受南天山碰撞造山带由北向南逆冲作用影响,区内地层呈向南陡倾的单斜构造,倾角为 45°~75°.在矿区北部的波孜果尔地区,发育有碱性花岗岩,岩性主要为霓石钠闪石英碱性长石正长岩、霓石钠闪碱性长石花岗岩和黑云母碱性长石正长岩(刘春花等,2012),这些碱性岩是波孜果尔 REE-Nb-Ta-Zr 超大型矿床的主要赋矿岩石(图 1c).

宇海锆石矿主矿体产于古近系渐新统阿瓦特组(E_{3a})、新近系中新统吉迪克组(N_{1j})和康村组(N_{1k})内(图 2),整体上为三角洲—湖泊沉积环境,发育有扇三角洲、三角洲、湖泊等多种类型的沉积相(谭秀成等,2006).含矿岩性为松散—半固结的含砾中—粗粒砂岩,砂岩粒径多为 0.5~2 mm,砾石以碱性花岗岩为主,含少量大理岩、流纹岩和千枚岩等,砾石直径多在 2~20 mm,个别大于 10 cm.

经槽探及钻探控制,本研究区初步圈定出 3 条矿化带:Ⅰ号矿化带产于阿瓦特组地层内,长约 10 km,宽 30~100 m,带内含砾砂岩的 ZrO₂质量百分含量在 0.10%~0.35%;Ⅱ号矿化带产于吉迪克组地层内,长约 8 km,宽 50~300 m,带内含砾砂岩的 ZrO₂质量百分含量在 0.12%~0.32%;Ⅲ号矿化带产于康村组地层内,长约 6.5 km,宽 200~800 m,控制斜深大于 500 m,带内含砾砂岩 ZrO₂质量百分含量在 0.15%~0.45%.该矿床的锆石潜在矿物量大于 200 万 t,有望达到超大型规模.

为探索该类矿床是否具备开发利用价值,新疆地质局区域地质调查中心委托中国地质科学院矿产综合利用研究所对该矿床中主要的矿石开展了选矿探索性试验,选矿试验样采集点均匀分布在槽探及出露地表的含矿地层内.综合 X 射线衍射(XRD)分析结果、光学显微镜下的矿物学观察及扫描电镜—能谱(SEM-EDS)测试,识别出原矿中锆、钛及稀土等有价值元素的主要赋存矿物分别为锆石、钛铁矿、氟碳铈矿和磷钇矿等,其质量百分含量分别为 0.4%、0.21%、0.09% 和 0.02%(图 3a).经“磨矿—重选—粗—精—再选—两段磁选”联合工艺,获得 Zr(Hf)O₂质量百分含量为 60.51% 的锆精矿,ZrO₂+HfO₂含量达到《锆精矿》(YS/T 858-2013)四级质量标准.其中,锆钛中矿 ZrO₂含量在 0.55%~34.31%,TiO₂含量在 0.65%~26.24%,经进一步锆钛分离,可综合回收矿石中的锆和钛,分

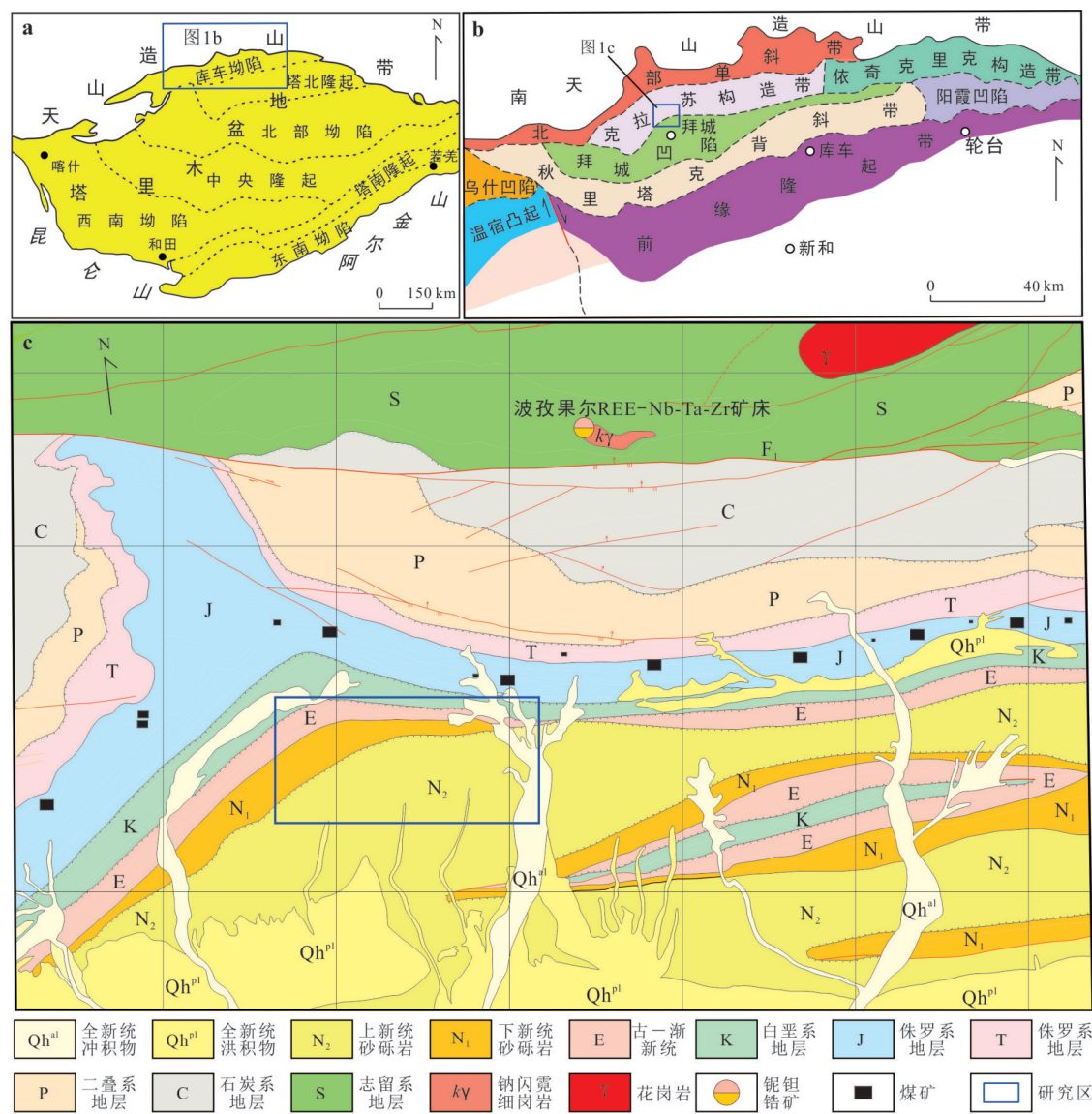


图 1 研究区区域地质矿产简图

Fig.1 Regional geological map and mineral resources in the study area

别获得锆精矿产品和钛精矿产品. 锆钛中矿的稀土 TREO 含量为 1.13%~3.43%, 锆钛分离后, 产品中稀土矿物会得到进一步富集, 再进行稀土分选, 有望获得稀土产品.

磁选精矿中矿物组成主要为钛铁矿、锆石以及少量阳起石(闪石族)、顽火辉石(辉石族)等脉石矿物(图 3a). 磁选尾矿中矿物组成主要为锆石, 少量为石英, 以及微量的氟碳铈矿和绿柱石等矿物(图 3b). 锆石呈无色透明、浅粉玫瑰色、不均匀红褐、黄褐色, 不规则粒状、柱粒状、次棱角柱状, 晶体粒度大小以 0.074~0.250 mm 为主, 其次为 0.26~0.50 mm, 个别晶体在 0.51~1.38 mm.

2 矿床发现的意义

我国境内产于碱性花岗岩、伟晶岩或变粒岩内的原生锆石矿, 受制于选矿工艺复杂、回收率低及成本高等因素, 目前尚不具备开发利用的价值. 与此同时, 滨海砂矿的长期开采, 导致资源逐步枯竭, 剩余的锆砂矿多具有埋藏深、品位低等不利地质特征, 开采技术难度显著增加, 致使整体开发成本持续上升. 滨海地区也是许多生物的栖息地, 开采滨海锆砂矿不仅会影响周边的生态环境, 还可能导致泥沙进入海洋, 影响海洋水质和海洋生态系统. 此外, 开采与选矿过程中产生的大量废水、废渣等固液污染物若处理不当, 将对周边土壤、水体及大气



图2 矿区宏观特征(a)、含矿地层(b)及岩心(c)照片

Fig.2 Strata distribution of the mining area (a), outcrop of the ore-hosting strata (b), and core sample images (c)

Q. 第四系; N_1k . 中新统康村组; N_j . 中新统吉迪克组; E_3a . 渐新统阿瓦特组; K. 白垩系; J. 侏罗系

环境造成不同程度的污染,进而危及人居环境与公众健康.在此背景下,国内亟需寻找可替代滨海锆砂矿的锆石资源,实现锆资源供应的可持续发展.

宇海锆石矿床是我国境内首次在中—新生代陆相沉积盆地中发现的具有超大型矿床规模的古河湖相锆石砂矿床,该矿床具有以下特点.

(1)资源储量巨大、找矿前景好:锆石均匀地赋存于古近系—新近系松散一半固结含砾中—粗砂岩内, ZrO_2 平均品位大于0.20%,依据探矿工程圈定的3条矿带长6.5~10.0 km,宽30~800 m,锆石潜在矿物量大于200万 t,且东西两侧均未完全控制,仍具有良好的找矿前景.

(2)开采、运输成本低:矿区位于拜城县以北约30 km处,有柏油公路直通矿区附近,交通十分便利;矿体厚度大,出露地表且分布连续,矿物含量均匀稳定,适合露天开采,且矿区不与任何生态红线重叠.

(3)选矿工艺成熟,流程简单:矿石矿物粒度适中(0.074~0.5 mm居多),重选+磁选的工艺,对锆石及钛铁矿等目的回收矿物具有较好的富集效果.

(4)磨矿耗能小:矿石呈松散一半固结状,易破碎,耗能少.

(5)伴生资源丰富:除主要有用元素锆外,还富集铪、钽、铈、钛等元素,经济价值高.

综上所述,宇海锆石砂矿相较于硬岩型原生锆石矿具有更低的磨矿和选矿成本,相较于滨海砂矿具有资源储量大、锆英石含量高、采矿成本低、生态环境扰动性小、伴生资源丰富等优势,具有很好的开发利用前景.

该矿床的发现,不仅提升了我国锆石资源储量,亦有望改变我国锆石资源供给格局.更重要的是,该成果突破了传统锆石矿赋矿地质体的认知框架,开辟了锆石矿找矿工作的全新方向.同时,该类型锆石砂矿尚无勘查规范,本矿床的勘查成果和经验总结将有助于填补该类型矿床勘查技术体系的空白,提升相关找矿工作的科学性与规范性.新疆地质局区域地质调查中心这种“通过选矿论证找矿成果”的找矿模式在寻找新类型矿床方面取得了很好的效果,是实现找矿突破的成功典范.

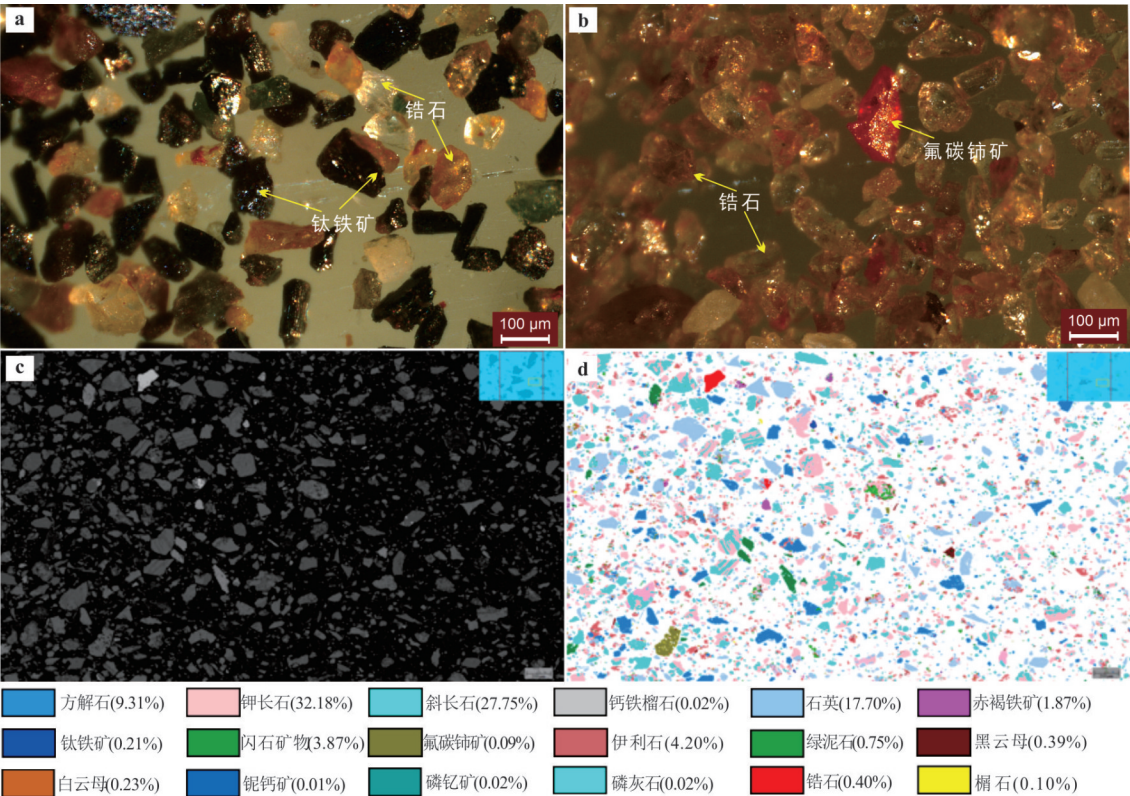


图 3 矿石精矿镜下照片(a、b)及原矿 AMICS 矿物全自动定量分析(c、d)

Fig.3 Images of ore concentrate (a, b) and color maps of the raw ore from AMICS automatic quantitative mineral analysis (c, d)

References

Liu, C.H., Yin, J.W., Wu, C.L., et al., 2012. Mineralogy and Temperature of Magma Generation for A-Type Granitoids in Boziguoer, Baicheng County, Xinjiang. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 31(4): 589–602(in Chinese with English abstract).

Shen, Z.W., Zhang, F.F., Han, C., et al., 2016. Situation Analysis and Sustainable Development Suggestions of Zirconium Resources in China. *China Mining Magazine*, 25(3): 16–20, 28(in Chinese with English abstract).

Tan, X.C., Wang, Z.Y., Li, L., et al., 2006. Arrangement and Evolution of Tertiary Sedimentary Facies in Kuche Foreland Basin, Xinjiang. *Acta Sedimentologica Sinica*, 24(6): 790–797(in Chinese with English abstract).

Wang, R.C., Che, X.D., Wu, B., et al., 2020. Critical Mineral Resources of Nb, Ta, Zr, and Hf in China. *Chinese Science Bulletin*, 65(33):3763–3777(in Chinese).

Xu, J.Q., Guo, C.L., Wang, D.H., 2024. Zirconium and Hafnium: The Most Scarce Critical Metals. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*(in press)(in Chinese with English abstract).

Yin, C.K., Wang, C.L., You, C., et al., 2024. Zircon Resource Characteristics, Deposit Types, Key Applications and

Prospecting Prospects in China. *Geology in China*, 51(6): 1930–1945(in Chinese with English abstract).

Zhang, Z.F., Chen, X.F., Gao, A.H., et al., 2019. Analysis of the Zirconium Resource Situation and Global Layout. *China Mining Magazine*, 28(4): 50–56(in Chinese with English abstract).

中文参考文献

刘春花, 尹京武, 吴才来, 等, 2012. 新疆拜城县波孜果尔 A 型花岗岩类矿物学特征及岩浆形成的温度条件. *岩石矿物学杂志*, 31(4):589–602.

申正伟, 张方方, 韩聪, 等, 2016. 我国锆资源现状分析及可持续发展建议. *中国矿业*, 25(3):16–20, 28.

谭秀成, 王振宇, 李凌, 等, 2006. 库车前陆盆地第三系沉积相配置及演化研究. *沉积学报*, 24(6):790–797.

王汝成, 车旭东, 郭斌, 等, 2020. 中国铌钽锆铪资源. *科学通报*, 65(33):3763–3777.

许箭琪, 郭春丽, 王登红, 2024. 锆与铪: 最为稀缺的关键金属. *矿物岩石地球化学通报*(待刊).

尹传凯, 王春连, 游超, 等, 2024. 中国锆矿资源特征、矿床类型、关键应用及找矿远景. *中国地质*, 51(6):1930–1945.

张振芳, 陈秀发, 高爱红, 等, 2019. 锆资源形势分析及全球布局. *中国矿业*, 28(4):50–56.