

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2025.191>

Short Survey



内蒙古中段三叠纪浅成低温热液型金矿的发现与启示

刘鹏¹, 夏锐², 黄志全³, 王竹全⁴, 林鑫⁵, 刘敏¹, 杨彪⁴, 刘磊⁵,
蔡云龙³, 姚薇⁶, 王文杰⁴, 王宁¹, 田永飞¹, 齐楠¹, 张超¹, 葛良胜²

1. 西北大学地质学系, 大陆演化与早期生命全国重点实验室, 陕西西安 710069
2. 中国地质调查局自然资源综合调查指挥中心, 北京 100055
3. 中国黄金集团有限公司苏尼特金曦黄金矿业有限责任公司, 内蒙古锡林郭勒 011216
4. 中国地质调查局呼和浩特自然资源调查中心, 内蒙古呼和浩特 010010
5. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西西安 710054
6. 中国地质调查局西安矿产资源调查中心, 陕西西安 710100

中亚成矿域是全球著名的“金腰带”, 尤其是中亚成矿域西段, 发育了穆龙套等多个世界级金矿床, 金资源量大于 100 t 的矿床超过了 20 个。内蒙古中段位于中亚成矿域中东段(图 1a), 与西段具有相似的成矿地质背景。截至目前, 区内已累计探明金资源量约 800 t, 金成矿与找矿潜力巨大, 是近期有望实现金矿找矿重大突破的有利地区。

毕力赫金矿是带内代表性金矿床之一。其 I 号带是内蒙古中段典型的斑岩型金矿床, 后发现的 II 号带原被认为是斑岩型金矿(葛良胜等, 2009), 但也有学者认为是岩浆型金矿(Yang *et al.*, 2015)。而在矿区北部新探明的 26 号脉则为典型的低硫型浅成低温热液型金矿, 与 I 号带浅部矿化特征相似。最近, 本研究团队通过详细的野外地质调查和初步研究, 在毕力赫矿区外围区域又新识别出一批低硫型浅成低温热液型金矿床(点), 自西向东包括白音哈尔、赛伊日、霍布尔等金矿床(点)(图 1b), 形成了一条长达 60 km 的浅成低温热液型金成

矿带。以上金矿床(点)及矿带的发现与识别对区内金成矿研究与找矿勘查工作部署具有重要意义。

1 区域地质背景

内蒙古中段地区位于中亚造山带东南部, 大地构造位置属于华北克拉通北缘中西段, 其构造演化主要受控于古亚洲洋的俯冲-闭合过程。根据古亚洲洋不同分支洋盆的时空演化关系, 可进一步划分为早古生代(南白乃庙洋)和晚古生代-早中生代(索伦洋)两个阶段。其中, 早古生代演化阶段主要记录了白乃庙岛弧与华北克拉通北缘之间的南白乃庙洋的俯冲-闭合以及随后的弧-陆碰撞过程。石炭纪以来, 索伦洋持续向南俯冲, 在华北克拉通北缘形成了大规模的安第斯型陆缘弧构造-岩浆系统, 且在早二叠世随着洋壳俯冲的加速而达到其演化的峰期。最终, 索伦洋于晚古生代末期至早中生代初期, 沿着索伦-西拉木伦构造带自西向东呈剪刀式闭合, 区域构造背景转为陆内造山体制。在上

基金项目: 深地国家科技重大专项项目(No. 2025ZD1006500); 中国黄金集团有限公司地质科研项目(No. JX/FWLHT2024-036); 中国地质调查局地质调查项目(Nos. DD20243282, DD20243042, DD20230384)。

作者简介: 刘鹏(1988—), 男, 教授, 博士生导师, 长期从事矿物学与战略性金属成矿作用研究。ORCID: 0000-0001-6396-0525。E-mail: pengliu@nwu.edu.cn

引用格式: 刘鹏, 夏锐, 黄志全, 王竹全, 林鑫, 刘敏, 杨彪, 刘磊, 蔡云龙, 姚薇, 王文杰, 王宁, 田永飞, 齐楠, 张超, 葛良胜, 2025. 内蒙古中段三叠纪浅成低温热液型金矿的发现与启示. 地球科学, 50(9): 3717–3722.

Citation: Liu Peng, Xia Rui, Huang Zhiquan, Wang Zhuquan, Lin Xin, Liu Min, Yang Biao, Liu Lei, Cai Yunlong, Yao Wei, Wang Wenjie, Wang Ning, Tian Yongfei, Qi Nan, Zhang Chao, Ge Liangsheng, 2025. Discovery and Implication of the Triassic Epithermal Gold Deposits in the Middle Section of Inner Mongolia. *Earth Science*, 50(9): 3717–3722.

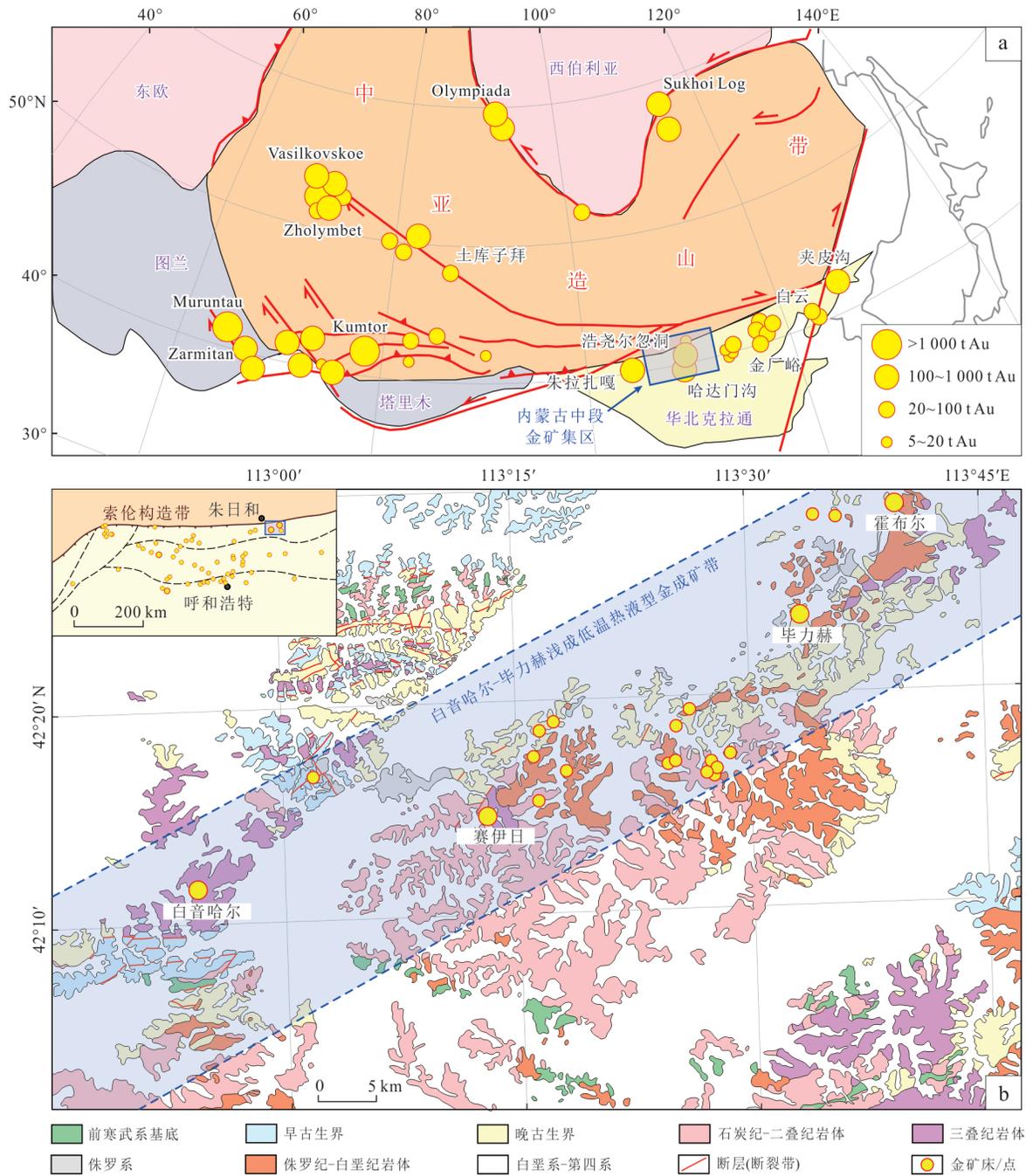


图1 (a)中亚成矿域金矿分布;(b)内蒙古中段地区浅成低温热液型金矿分布地质图

Fig.1 Distribution map (a) of gold deposits in the central Asian metallogenic domain; geological map (b) of the middle section of Inner Mongolia, showing the distribution of epithermal Au deposits

述多阶段俯冲-碰撞过程中,发育了多期强烈的岩浆活动,主要分为 475~420 Ma、340~300 Ma、290~265 Ma、250~230 Ma 和 230~210 Ma 五个阶段.其中,475~420 Ma 的岩浆作用具有明显的弧岩浆属性,记录了弧陆碰撞前的长期洋壳俯冲和地幔交代过程(Zhang *et al.*, 2014a);340~300 Ma 和 290~265 Ma 的岩浆作用代表了索伦洋南向俯冲过程中的两个弧岩浆作用峰期,前者以发育大量中

钾钙碱性系列岩石为特征,而后者或因壳幔岩浆混合作用的加强而出现了更多高钾钙碱性系列岩石(Liu *et al.*, 2024);250~230 Ma 的岩浆作用以花岗岩类为主,其形成与最终碰撞过程中的地壳重熔作用密切相关;230~210 Ma 的岩浆作用中出现了大量与软流圈地幔上涌有关的碱性岩类,是典型造山后伸展背景下的产物(Zhang *et al.*, 2014b).

内蒙古中段金矿的形成也明显受控于上述多

阶段俯冲-碰撞演化过程,发育“前寒武变质岩系+古生代-中生代多期构造-岩浆作用”共同控制的复杂金成矿系统,金矿成因类型多样,包括造山型、石英脉-蚀变岩型和斑岩型等金矿床,且不同类型金矿在空间上呈现明显的分带规律.自西向东,造山型金矿主要分布在内蒙古阿拉善盟和巴彦淖尔市等西部地区,例如朱拉扎嘎、浩尧尔忽洞和图古日格等金矿床;石英脉-蚀变岩型金矿主要分布在包头市等中部地区,如哈达门沟、长胜渠和甲浪沟等金矿床,而斑岩型金矿则主要分布在锡林郭勒盟等东部地区,如毕力赫I号带深部、II号带和哈达庙金矿床.

2 矿床(矿化)地质特征

内蒙古中段新发现和识别出的低硫型浅成低温热液金矿床(点)主要分布在锡林郭勒盟南部的白音哈尔-毕力赫一带,自西向东呈北东向分布,包括白音哈尔、赛伊日、毕力赫26号脉和霍布尔金矿床(点)(图1b).区域内出露的地层主要为下二叠统本巴图组、中二叠统额里图组、中二叠统三面井组、下侏罗统的玛尼图组和白音高老组火山岩,岩性为长石(岩屑)砂岩、粗砂岩、粉砂岩、粉砂质板岩、安山岩、英安岩、流纹岩、流纹质凝灰岩、流纹质晶屑凝灰岩、安山质凝灰岩等.区内发育大面积侵入岩,主要包括志留纪石英闪长岩,二叠纪的花岗闪长岩和二长花岗岩,三叠纪石英闪长岩和花岗闪长岩,以及侏罗纪-白垩纪的二长花岗岩和正长花岗岩等.区内构造以近东西向和北东向断裂为主,次为北西向和近南北向断裂,北东向或北西向断裂或构造破碎带是主要的控矿构造.主要赋矿围岩为中二叠统额里图组火山岩(流纹岩、晶屑凝灰岩)、志留纪石英闪长岩和二叠纪花岗闪长岩,围岩局部发育浸染状矿化,可呈角砾状蚀变岩,伴生有强烈的硅化、绿泥石化、绢云母化和少量的黄铁矿化.主要矿体呈乳白色或烟灰色石英脉,石英呈皮壳状、蠕虫状或角砾状(图2a~2f),金以自然金形式产出,与绢云母、绿泥石、伊利石共生产于石英脉中(图2g~2h),石英脉中还发育大量铁白云石和方解石,仅有少量黄铁矿和黄铜矿,表现为典型的低硫型浅成低温热液型金矿的矿化特征.

(1)白音哈尔金矿位于锡林郭勒盟苏尼特右旗朱日和镇,矿体赋存于志留纪石英闪长岩(432 Ma)和二叠纪花岗斑岩(264 Ma)中(Liu *et al.*, 2022),矿脉主要受北东向、近南北向断裂或构造破碎带控

制,其次为北西向和近东西向断裂.矿体呈不规则石英脉状或石英透镜状产出,发育有皮壳状含金石英,伴生有强烈的绿泥石化(图2a~2b),局部发育黄铁矿化和碳酸盐化.目前,白音哈尔金矿区已探明金资源量13.5 t,平均品位4.7 g/t,还有多条含金石英脉规模亟待评价.(2)赛伊日金矿亦位于苏尼特右旗朱日和镇,处于白音哈尔金矿区北东方向.矿体主要产于成矿早期的石英闪长岩中,矿体呈脉状、透镜状,严格受北东向断裂或构造破碎带控制,与白音哈尔具有相似的矿化特征.目前矿区内探明金资源量8.2 t,平均品位2.7 g/t,伴生银6.4 t,银平均品位5.1 g/t.(3)毕力赫金矿位于锡林郭勒盟苏尼特右旗,矿区典型的斑岩型矿体主要为II号带,产于花岗闪长岩体内部或岩体与上部稍早的火山岩接触带,金矿化呈浸染状或网脉状,II号带金资源量已达26 t.毕力赫26号脉位于矿区北部,总体走向为北西向,其在浅部表现为受构造控制的硅化角砾蚀变岩,金品位变化较大,介于1.2~10.7 g/t,而在深部断裂由陡变缓的交汇部位,常形成厚大富矿体,尤其是在12号和72号勘探线深部(740 m标高),形成了真厚度大于4 m,平均品位为107.8 g/t和559.5 g/t的厚大富矿体,富矿体金品位局部可达880 g/t.金以自然金与绢云母和绿泥石共生,产于蠕虫状或碎裂石英脉中(图2c~2d和图2g~2h).目前,26号单矿脉已探明金资源量超过20 t.(4)霍布尔为新发现的金矿点,位于毕力赫矿区北东方向12 km处,其矿化特征与毕力赫26号脉矿化特征相似,发育乳白色蠕虫状矿化石英(图2e~2f).目前已施工三个钻孔中两个钻孔已见矿,圈定的Au-2矿体见矿真厚度4.4 m,平均品位2.2 g/t.同时,圈定的AuAg-1矿体见矿真厚度0.84 m,Au品位1.0 g/t,Ag品位51.8 g/t.此外,霍布尔矿区地表可见延伸约600 m的矿化石英脉,捡块样分析品位高达27.7 g/t,显示该区下一步金找矿潜力巨大.

3 白音哈尔-毕力赫三叠纪浅成低温热液金成矿带的发现与启示

最新年代学数据表明,内蒙古中段西部的浩尧尔忽洞金矿报道有426 Ma、380 Ma、341 Ma、305 Ma和255 Ma多期热液事件,但最新研究表明主要金矿化形成于255 Ma(Fan *et al.*, 2024).向东到哈达门沟金矿区内的不同产状金矿化也呈多期发育,蚀变岩型、石英-钾长石脉与石英-硫化物脉

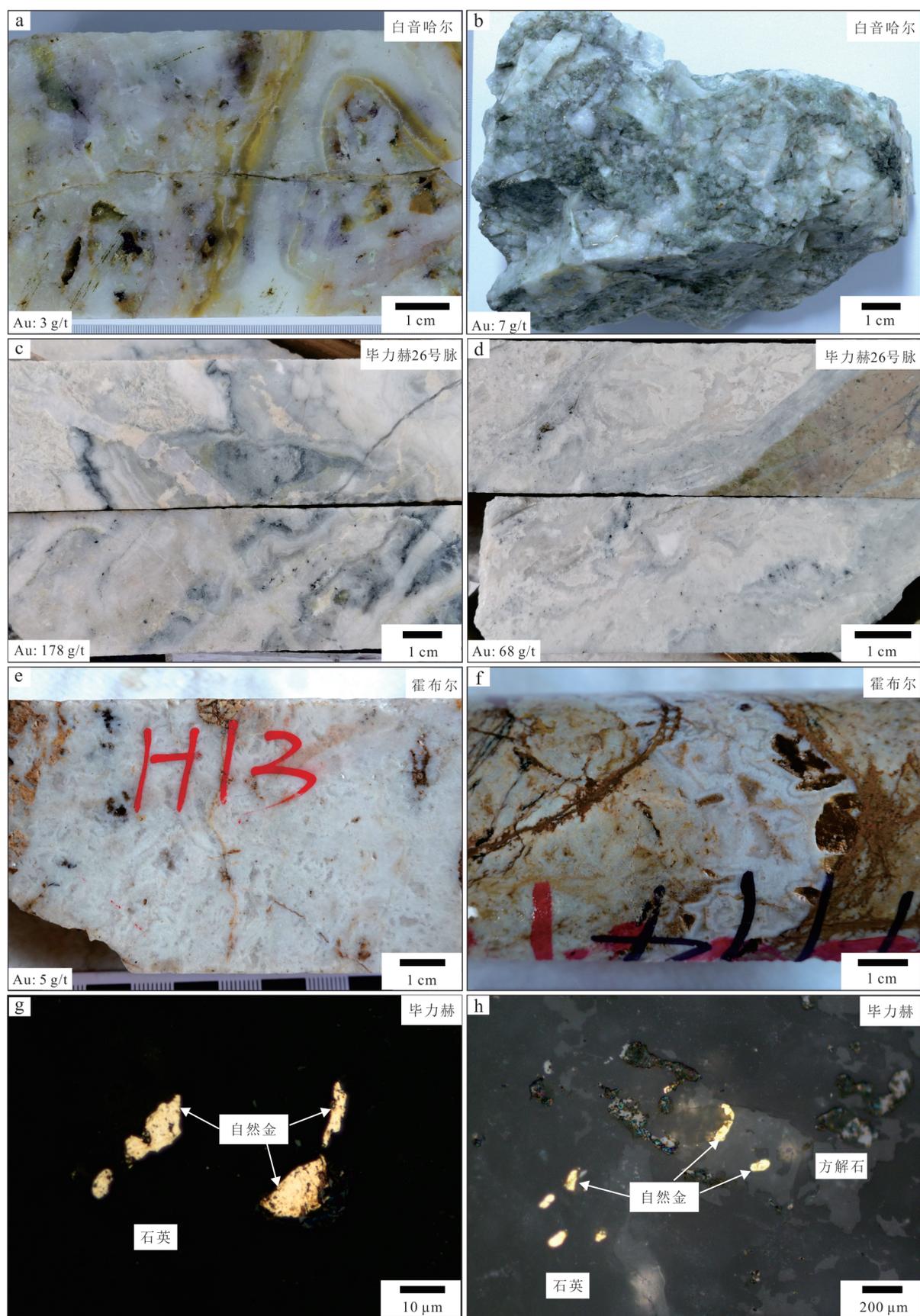


图2 白音哈尔(a~b)、毕力赫(c~d)和霍布尔(e~f)金矿石照片与毕力赫矿石镜下照片(g~h)

Fig.2 Photographs and photomicrographs of the typical gold ores at the Baiyinhaer (a~b), Bilihe (c~d and g~h), and Huobuer (e~f) deposits

型金矿化时代分别为380 Ma、330 Ma和240 Ma(杨彪, 2024)。东部的毕力赫矿区Ⅱ号带为典型的斑岩型金矿体, 金矿化主要产于花岗闪长岩斑岩体内部或呈网脉状产于火山围岩中, 前人通过对Ⅱ号带斑岩型矿石中辉钼矿开展Re-Os测年, 获得成矿年龄为273 Ma, 属于二叠纪金成矿事件的产物(卿敏等, 2011)。综上, 区内造山型、石英脉-蚀变岩型、斑岩型等不同类型金矿形成于不同时期, 且同一矿区金矿床常表现出多期叠加、多类型共存特征。

本次新识别出的内蒙古中段地区低硫型浅成低温热液金矿床(点)主要位于东部地区, 与区内斑岩型金矿床在空间上具有重叠性, 两者是否属于同一成矿系统, 亦或是不同类型金成矿作用在空间上叠加的结果? 为了查明这一问题, 研究团队最近对毕力赫26号脉浅成低温热液型金矿体开展了成矿年龄测定, 选择与金共生的白云母和磷灰石分别开展了原位Rb-Sr和U-Pb定年, 两种方法得到结果在误差范围内一致, 成矿年龄为218 Ma, 属于三叠纪金成矿事件。显然, 这与区内典型斑岩型金矿成矿时代相差约60 Ma, 表明区内的斑岩型金矿与浅成低温热液型金矿事件可能分属不同成矿系统, 为两期不同类型金成矿作用在空间上的叠加结果。此外, 毕力赫Ⅱ号带斑岩型矿体深部发育石英脉型金矿, 且其矿物组合表现为中低温组合特征, 那么, Ⅱ号带深部的石英脉型矿体是否为三叠纪浅成低温热液金成矿事件叠加的结果? 这一问题制约区内找矿勘查工作部署的关键所在, 亟需进一步的地质年代学和地球化学研究予以证实。

更为重要的是, 相较于区内二叠纪斑岩型金矿, 受断裂或构造破碎带控制的三叠纪低硫型浅成低温热液金矿在白音哈尔-毕力赫一带发育更为广泛, 已被明确为区内金矿找矿突破的重点方向。同时, 该地区1:20万区域化探空间分布模式也印证了上述认识。经等距对数比变换(ILR)与顺序二进制分割(SBP)处理后, Au-As-Hg-Sb低温元素组合与W-Bi-Mo-Ni中高温元素组合的比值分布(图3)清晰地刻画了区内北东向展布的浅成低温热液型金成矿带, 并指示出多个成矿潜力较好的地段(如毕力赫矿区北侧)。下一步, 在深入挖掘区域化探数据的基础上, 综合1:5万化探(Au、As、Hg、Sb、Cd等特征元素分布与局部异常)与不同尺度高光谱遥感蚀变矿物(绢云母、绿

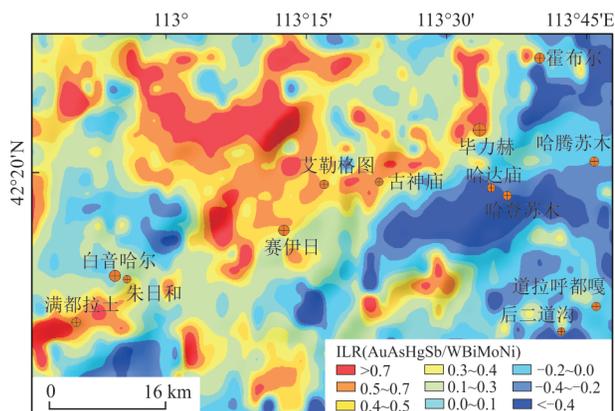


图3 内蒙古中段东部地区1:20万化探Au-As-Hg-Sb与W-Bi-Mo-Ni等距对数比(ILR)等值线(底图叠置地形DEM)

Fig.3 Isometric logarithmic ratio (ILR) contour map of Au-As-Hg-Sb and W-Bi-Mo-Ni from 1:200 000 geochemical prospecting in the eastern mid-section of Inner Mongolia (overlaid on topographic DEM base map)

泥石等)填图信息,对区内三叠纪浅成低温热液型金矿开展重点找矿攻关。通过系统的矿田构造解析,厘定主要控矿构造并开展控矿构造数值模拟,结合有效的地球物理探测技术,进行重点靶区优选,实施钻探验证,有望实现区内金找矿新突破。

References

- Fan, C. L., Mao, J. W., Ye, H. S., et al., 2024. Age and Fluid Source Constraints of the Haoyaoerhudong Orogenic Gold Deposit, North China: Evidence from Geochronology and Noble Gas Isotopes. *Geoscience Frontiers*, 15(4): 101812. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2024.101812>
- Ge, L. S., Qing, M., Yuan, S. S., et al., 2009. Prospecting Process of Bilihe Large-Sized Gold Deposit in Inner Mongolia and Its Revelatory Significance. *Mineral Deposits*, 28(4): 390-402 (in Chinese with English abstract).
- Liu, J. L., Jin, T., Ou, Y. W., et al., 2022. Structural Control on the Baiyinha'er Gold Mineralization (Southern Central Asian Orogenic Belt) Related to Early Paleozoic Paleo-Asian Oceanic Subduction. *International Journal of Earth Sciences*, 111(8): 2867-2883. <https://doi.org/10.1007/s00531-022-02191-4>
- Liu, M., Lai, S. C., Ma, S., et al., 2024. An Enhanced Chemical Maturation of Juvenile Arc Crust Recorded by the Urad Houqi Intrusive Suite in Langshan Arc, Central Asia. *Geological Society of America*

- ca Bulletin, 136(11–12): 4616–4632. <https://doi.org/10.1130/B37465.1>
- Qing, M., Ge, L. S., Tang, M. G., et al., 2011. Molybdenite Re-Os Isotope Age of Bilihe Large-Size Porphyry Gold Deposit in Sunid Right Banner of Inner Mongolia and its Geological Significance. *Mineral Deposits*, 30(1): 11–20 (in Chinese with English abstract).
- Yang, B., 2024. Metallogenic Processes and Exploration Models of Hadamengou Gold Deposit in Inner Mongolia (Dissertation). Chengdu University of Technology, Chengdu (in Chinese with English abstract).
- Yang, Z. M., Chang, Z. S., Paquette, J., et al., 2015. Magmatic Au Mineralization at the Bilihe Au Deposit, China. *Economic Geology*, 110(7): 1661–1668. <https://doi.org/10.2113/econgeo.110.7.1661>
- Zhang, S. H., Zhao, Y., Hao, Y., et al., 2014a. Origin and Evolution of the Bainaimiao Arc Belt: Implications for Crustal Growth in the Southern Central Asian Orogenic Belt. *Geological Society of America Bulletin*, 126(9–10): 1275–1300. <https://doi.org/10.1130/B31042.1>
- Zhang, S. H., Zhao, Y., Gregory, A. D., et al., 2014b. Temporal and Spatial Variations of Mesozoic Magmatism and Deformation in the North China Craton: Implications for Lithospheric Thinning and Decratonization, *Earth-Science Reviews*, 131: 49–87. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.12.004>

中文参考文献

- 葛良胜, 卿敏, 袁士松, 等, 2009. 内蒙古毕力赫大型金矿勘查突破过程及启示意义. *矿床地质*, 28(4): 390–402.
- 卿敏, 葛良胜, 唐明国, 等, 2011. 内蒙古苏尼特右旗毕力赫大型斑岩型金矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义. *矿床地质*, 30(1): 11–20.
- 杨彪, 2024. 内蒙古哈达门沟金矿成矿作用研究与找矿勘查模型(博士学位论文). 成都: 成都理工大学.