

岩石圈伸展背景下A型花岗岩成矿专属性：白银敖包岩体的约束

李默儒

河北地质大学

DOI:10.32629/gmsm.v8i6.2381

[摘要] 本研究针对兴蒙造山带南缘早白垩世白银敖包花岗岩体开展研究,目的是弄明白其成因、演化表现以及对稀有金属钨锡成矿的控制作用,依靠实施的系统锆石UPb年代学、全岩与矿物地球化学分析,检验得出岩体在约125Ma的岩石圈伸展背景下形成,是高分异的A₂型花岗岩类别,强烈的结晶分异与流体出溶让岩浆里W、Sn、Nb、Ta等关键金属异常富集,使岩体展现明显的稀有金属钨锡成矿专属特质,本研究搭建了“伸展-岩浆分异成矿”耦合模型,为区域找矿工作提供了关键理论支撑与勘查指引。

[关键词] A型花岗岩; 成矿专属性; 岩石圈伸展; 高分异演化; 稀有金属-钨锡

中图分类号: P619.22+2 文献标识码: A

The Specificity of A-type Granite Metamorphism in the Context of Lithosphere Extension: Constraints from the Baiyin Aobao Rock Mass

Moru Li

Hebei GEO University

[Abstract] This study focuses on the Early Cretaceous Baiyinaobao granite pluton in the southern margin of the Xing-Meng Orogenic Belt, aiming to elucidate its genesis, evolutionary processes, and controls on rare metal and W-Sn mineralization. Through systematic zircon U-Pb geochronology, whole-rock, and mineral geochemical analyses, it is confirmed that the pluton formed at approximately 125 Ma in a lithospheric extensional setting and belongs to the highly fractionated A₂-type granite. Intense crystallization differentiation and fluid exsolution led to the extraordinary enrichment of critical metals such as W, Sn, Nb, and Ta in the magma, endowing the pluton with distinct metallogenic specificity for rare metals and W-Sn. This study establishes an integrated "extension-magmatism-differentiation-mineralization" coupling model, providing essential theoretical support and exploration guidance for regional prospecting.

[Key words] A-type granite; metallogenic specificity; lithospheric extension; highly fractionated evolution; rare metals and tungsten-tin

引言

中生代这一阶段岩石圈伸展背景中的岩浆活动,是掌握陆内成矿作用的关键,作为伸展体制典型产物的A型花岗岩,是稀有金属和钨锡多金属的关键携带体,但它的成岩构造环境、高度分异的演化进程与成矿潜力的内在联系,仍存在分歧,兴蒙造山带南缘有白银敖包早白垩世的岩体,是区域伸展成矿事件中的一部分。

前人对于该岩体的岩石学及年代学已有初步把握,然而其成因、演化程度以及对稀有金属钨锡成矿的制约效果尚不清晰,本研究计划采用高精度锆石U-Pb年代学、全岩及矿物地球化学等多种办法进行综合分析,精准查明岩体成因,勾勒岩浆分异演化的路径,进而明确其成矿专有的属性,为区域找矿预测提供科学佐证。

1 区域地质背景与岩体地质特征

1.1 区域构造演化与地层系统

研究区所处的兴蒙造山带经历了多期次、多阶段的复杂构造演化过程。早至中泥盆世时期,古亚洲洋的闭合引发了强烈的陆陆碰撞事件,这一地质作用不仅造成区域地壳的显著增厚,还促使大范围的区域变质作用发生,这一系列地质现象的出现,标志着兴蒙造山带主造山期的全面终结^[1]。

自石炭纪开始,该区域的构造环境发生根本性转变,正式进入陆内伸展阶段,这一阶段的地质特征表现为双峰式火山岩、碱性花岗岩的广泛发育,以及低压高温变质作用的普遍出现,这些地质作用共同促使区域内一系列裂谷盆地逐步形成^[1]。

这种从晚古生代延续至中生代初期的长期伸展构造背景,为研究区后续早白垩世时期大规模岩浆活动的发生以及相关的

岩浆成矿事件,提供了稳定且有利的构造条件,也为该区域成矿规律的形成奠定了坚实的构造基础。

1.2 区域岩浆岩序列与成矿谱系

此区域早白垩世处于伸展性的背景,演化出一套特征明晰的岩浆岩组合,其主要成分是A型与高分异I型花岗岩,还伴随产出碱性花岗岩、正长岩与基性岩墙群,共同拼合出典型的非造山岩浆岩套。

区域成矿谱系清晰可辨:与高分异花岗岩有着紧密联系的稀有金属(如铌、钽、稀土)矿化,并且钨锡石英脉型和云英岩型矿床大量发育;中酸性岩体接触处往往会产生矽卡岩型多金属矿床。

该“岩浆-成矿”组合完整呈现了伸展背景下岩浆分异演化对金属元素大量富集的关键控制效果。

1.3 白银敖包岩体野外地质与岩相学

白银敖包岩体表现为近椭圆形岩株的产出样式,露出面积大概是XX平方公里,侵入至古生代浅变质的砂岩与板岩中,接触带的产状呈现较陡的特点,围岩普遍有角岩化、云英岩化等热接触变质晕发育,局部可看到有矽卡岩化情况,这说明其侵位活动剧烈,同时伴有明显的流体作用。

岩体内部有明显分带性:边缘处为细粒碱长花岗岩,宽度从几十米到一百多米不等;向岩体内部过渡为中粒结构过渡相;中心相为粗粒伟晶状碱长花岗岩,一般可见晶洞构造,主要造岩矿物是石英、条纹长石和钠长石,暗色矿物含量少到几乎没有,呈现出典型的高分异花岗岩特质。

1.4 岩体岩相学与矿物学初步特征

白银敖包岩体岩相学与矿物学特征显示其为典型的高分异A型花岗岩。手标本上,岩石呈肉红色,具有典型文象结构与晶洞构造。显微镜下观察,主要矿物为具卡式双晶的高温自形石英、条纹长石及钠长石;暗色矿物以富铁黑云母为主。这些特征共同指示了高温、富碱、贫水的岩浆环境。更关键的是,副矿物组合中除常见锆石、磷灰石外,通过电子探针分析可识别出如烧绿石(钽铌矿物)、独居石、锡石等对成矿至关重要的稀有金属矿物^[2],这为揭示其稀有金属成矿潜力提供了直接的矿物学证据。

2 分析方法与实验结果

2.1 样品采集与分析方法

本研究针对白银敖包岩体开展了系统的样品采集与测试分析工作,采集对象为该岩体不同相带(边缘相、过渡相、中心相)内新鲜且未发生蚀变的代表性岩石样品,以确保测试数据能够真实反映岩体的原始地质特征。在年代学测试方面,锆石U-Pb定年实验通过激光剥蚀电感耦合等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)完成,并选用国际标准锆石91500进行仪器校正,以提升定年结果的准确性。

主量元素分析借助X射线荧光光谱仪(XRF)完成全岩主量元素的测定,微量及稀土元素含量则利用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)进行精准测试;锆石Hf同位素分析依托多重接收器

电感耦合等离子体质谱仪开展,石英、长石等主要造岩矿物的原位主量元素分析通过电子探针(EPMA)完成。

所有测试分析过程均设置了严格的过程空白监测环节,并运用标准物质进行全程校正,以此保障各项实验数据的可靠性与精确度,为后续的岩石成因及构造演化研究提供高质量的数据支撑。

2.2 锆石U-Pb年代学结果

对本次采集的样品中的锆石开展系统分析后发现,其阴极发光(CL)图像显示,绝大多数锆石颗粒都呈现出清晰的振荡生长环带,这一典型特征表明这些锆石属于岩浆成因锆石范畴。通过LA-ICP-MS U-Pb定年获得的测试数据表现出高度聚合的特点,在锆石U-Pb年龄谱和图中,所有分析数据点均集中分布在一致曲线及其附近区域,经加权平均计算得到的年龄值为 125.3 ± 1.5 Ma,据此可精准判定白银敖包岩体的结晶时代为早白垩世。

值得注意的是,在少数锆石颗粒的核部区域,可识别出残留或捕获锆石的痕迹,这类锆石的U-Pb年龄显著偏古老,这一现象大概率反映出岩浆在上升侵位过程中,对地壳深部的古老地壳物质发生了少量捕获或同化混染作用,该发现为深入探究岩体岩浆源区的物质组成与本质属性提供了关键线索。

2.3 全岩地球化学特征^[3]

白银敖包岩体的全岩地球化学数据显示出典型A型花岗岩的特性,主量元素体现出SiO₂含量较高(>72%)以及全碱含量高(Na₂O+K₂O>8%)的状况,CaO以及MgO含量少,从微量元素角度看,明显富集Ga、Zr、Nb、Y以及稀土元素,显著出现Ba、Sr、P、Ti的亏损,且呈现明显的Eu负异常现象。在关键的Ga/Al对Zr+Nb+Ce+Y等系列判别图式里,所有样品点均掉入了A型花岗岩的范围,尤其是A₁型(板内非造山)范围,这套齐全地球化学“指纹”证明了其A型属性,还为其形成于早白垩世岩石圈呈现伸展状态的背景提供了可靠证明。

2.4 矿物地球化学与同位素示踪^[4]

经过锆石Hf同位素分析表明,白银敖包岩体的 ϵ_{Hf} ,这象征其岩浆源区主要是新生地壳物质也或亏损地幔物质,添加了少量古老地壳成分,这在同位素方面为伸展背景下岩浆的高温特性与成矿物质来源提供限制,针对石英、长石尤其是黑云母等矿物进行原位微量元素分析后得知,这些矿物明显积聚了W、Sn、Li、Nb、Ta等关键成矿元素,特别是黑云母当中Nb、Ta含量和氟含量呈正相关变动,直接表明了岩浆经历了强烈的高分异演化阶段,同时已初步实现稀有金属元素的富集,有着不错的成矿潜力。

3 讨论

3.1 岩体成因与构造环境判别

综合全岩地球化学与锆石同位素的系统分析数据,本研究判定白银敖包岩体应归入A₂型(后造山)花岗岩的范畴,该岩体的形成与区域内显著的岩石圈伸展构造背景密切相关。尽管岩体中较高的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值显示,其岩浆源区有新生地壳或亏损地幔物质的参与和贡献,但全岩地球化学特征进一步揭示了岩体的

物质来源属性: 岩体整体表现出Rb、Th、U等元素的相对富集, 同时伴随Sr、P、Ti、Eu等元素的明显亏损, 且在Y/Nb等判别图解中呈现出典型的A₂型花岗岩特征。

上述地球化学特征充分说明, 白银敖包岩体的岩浆主要源自经历拉张减薄作用后的陆壳物质部分熔融, 且熔融过程中受到了地幔热量的注入与影响。该形成时代约为125Ma的岩体, 侵位于区域主碰撞造山期(海西期一早印支期)之后, 其存在不仅印证了兴蒙造山带南缘在早白垩世时期处于陆内后造山伸展的构造环境, 同时也成为这一构造演化阶段的关键岩石学证据^[5]。

3.2 岩浆高分异演化过程与成矿元素富集机制^[6]

全岩地球化学分析数据显示, 白银敖包岩体的稀土元素配分模式呈现出清晰的“海鸥型”轮廓, 同时伴随显著的中稀土元素亏空特征与极强程度的Eu负异常, 这一典型地球化学信号明确指示岩体形成过程中, 岩浆曾经历以斜长石为主的强烈分离结晶阶段。结合锆石结晶温度测试数据, 以及岩体中Nb/Ta比值随岩浆演化呈现的系统性降低趋势可以进一步推断, 白银敖包岩体在岩浆演化阶段经历了充分且彻底的高度结晶分异作用, 且在此过程中还伴随有F、Cl等挥发分富集的流体出溶现象。

这一岩浆分异与流体出溶耦合过程, 能够将W、Sn、Nb、Ta等不相容元素从矿物晶格中有效析出, 促使这些成矿元素在残余岩浆中不断聚集并形成超常富集, 最终通过岩浆体系向热液体系的转化过渡, 为区域内相关矿产的形成与矿化作用的发生提供了关键物质基础与动力学条件。

3.3 成矿专属性分析与成矿潜力评估

白银敖包岩体显示出高分异A型花岗岩特有的地球化学标志, 表现出强过铝质特性、极高的分异指数值、显著的Eu负异常现象, 以及对Ga、Nb、Ta、W、Sn等关键金属呈现出极度富集的特征, 当与国内外典型成矿岩体(如康沃尔、南岭某些岩体)对比时发现, 该岩体拥有极高的Rb/Sr比, Zr/Hf与Nb/Ta的比例较低, 而且在矿物中普遍检测出铌铁矿、锡石等独立矿物, 这彰显岩浆分异演化已步入稀有金属极度富集的临界时段, 该岩体有着对Li、Nb、Ta以及W、Sn矿化的专属性控制潜在力量, 作为区域内搜索相关矿床的优先目标地段。

3.4 区域伸展-岩浆-成矿系统模型

多项研究表明, 进入早白垩世时, 研究区处于陆内后造山阶段岩石圈伸展减薄的动力环境, 该伸展作用给源自受地幔热源作用减薄陆壳部分熔融的A型花岗质岩浆的形成提供了构造条件, 其相对安定、长周期的拉张环境, 为岩浆的高分异过程创造

了关键的时间阶段。构建了一个耦合系统模型, 该模型为“岩石圈伸展→A型花岗质岩浆活动→高度结晶分异与流体出溶→稀有金属(Li, Nb, Ta)和钨锡(W, Sn)在残余熔体热液中异常富集成矿”, 该模型对白银敖包岩体及其成矿潜力做定位, 认定为区域中生代伸展-岩浆-成矿事件的典型样板。

4 结论与展望

本研究证实, 白银敖包岩体为早白垩世(125.3±1.5 Ma)岩石圈伸展背景下所形成的高分异A₂型花岗岩, 它独特的地球化学属性(像强Eu负异常、富集Nb-Ta-W-Sn)明显体现了对稀有金属钨锡矿化的专属性管控, 本研究第一次精准判定其时代, 系统阐明了岩浆高度分异演化与成矿元素富集的内在联系, 清晰了其在区域伸展-岩浆-成矿模型中的关键意义。按照成矿专属性, 建议围绕着岩体中心相及内外接触带开展, 需重点对钠长石化、云英岩化发育的区域加以勘查, 还能借助地球化学填图追踪Li、Nb、Ta异常现象, 当前研究在认识深部矿化延伸与成矿流体性质方面依旧有局限, 未来要把矿物原位分析、熔/流体包裹体研究与成矿模拟实验进行结合, 全面展现其成矿的过程。

参考文献

- [1]张晋瑞,魏春景,初航.兴蒙造山带构造演化的新模式:来自内蒙古中部四期不同类型变质作用的证据[J].岩石学报,2018,34(10):2857-2872.
- [2]刘春花,尹京武,吴才来,等.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[J].岩石矿物学杂志,2012,31(04):589-602.
- [3]姚百赫,来林,徐文坦,等.内蒙古敖包包早白垩世A型花岗岩锆石U-Pb年龄、地球化学特征及其构造意义[J].地质学刊,2018,42(02):264-276.
- [4]林彬,唐菊兴,郑文宝,等.藏南扎西康矿区流纹岩的岩石地球化学、锆石U-Pb测年和Hf同位素组成[J].地质论评,2014,60(01):178-189.
- [5]王金芳,李英杰,李红阳,等.内蒙古阿尔塔拉中三叠世A型花岗岩锆石U-Pb年龄、地球化学特征及构造意义[J].地质通报,2020,39(01):51-61.
- [6]陆建军,姜耀辉,章荣清,等.江南造山带钨锡稀有金属矿床成矿作用特征[J].华南地质,2022,38(03):359-381.

作者简介:

李默儒(2001--),女,汉族,河北任丘人,硕士在读,论文方向(具体):内蒙古苏右旗白银敖包正长花岗岩年代学、地球化学特征及其地质意义。