

湖山铀矿地质构造特征及其对成矿的控制作用

谢从农

深圳中广核工程设计有限公司

DOI:10.32629/gmsm.v9i2.2461

[摘要] 纳米比亚湖山铀矿是世界上重要的铀资源产地,其成矿过程与地质构造密不可分。本文通过探讨达马拉造山带的地质演变历史,详细解析了湖山铀矿的地质构造特征及其对铀矿形成影响的机制。湖山铀矿坐落在达马拉造山带南部的中心区,区域性深大断裂、穹隆构造以及其转折端为铀矿的形成提供了良好的储矿空间及导矿通道。地壳运动不仅影响了富含铀元素的花岗岩浆的侵入过程,还对成矿流体的移动和铀元素的沉淀、聚集起到了作用。在构造演化的过程中,形成的断裂系统和裂隙网络也为铀的活化迁移与沉淀富集创造了必要的条件。该研究为在地质条件相近区域的铀矿勘查提供参考依据。

[关键词] 湖山铀矿; 地质构造; 铀成矿作用; 控矿作用

中图分类号: P618.130.2 **文献标识码:** A

Geological structure characteristics of Husab Uranium deposit and its control on mineralization

Congnong Xie

China Nuclear Power Design Co., Ltd

[Abstract] The Husab Uranium deposit in Namibia stands as a major global source of uranium, with its mineralization intricately tied to geological structures. This paper thoroughly examines the geological evolution of the Damara orogenic belt and offers an in-depth analysis of the geological structures of the Husab Uranium deposit, along with how to influence uranium deposit formation. The deposit is situated in the central of the southern Damara orogenic belt. Large-scale deep faults, dome formations, and their junctions create ideal conditions for uranium and guiding its flow towards deposit sites. The movement of the Earth's crust influences not only the intrusion of uranium-rich granite magma but also the flow of mineral-forming fluids, as well as the deposition and concentration of uranium. As tectonic forces shape the landscape, the resulting fracture patterns and networks become crucial for mobilizing, transporting, and concentrating uranium. Our findings offer valuable insights for uranium exploration in regions with comparable geological settings.

[Key words] Husab uranium deposit; Geological structure; Uranium mineralization; Ore-control mechanism

1 引言

地质构造对铀矿的形成影响显著,特别是花岗岩型铀矿,不仅决定了铀元素的来源和迁移路径,还影响矿体赋存位置和富集水平^[1]。

褶皱的蜿蜒、断层的错动、节理的裂隙等构造形态都直接关系矿体的储存与富集。探究其地质特征及其影响因素,是矿产定位、保障安全及矿业可持续发展的关键。

纳米比亚矿产资源丰富,埃龙戈省约56km的湖山铀矿是当今世界上已探明的第二大铀单金属矿床^[2],设计年产U₃O₈6500吨,目前业已达产,为我国核电行业提供坚实的资源支持。

该矿区发育的穹隆和褶皱结构,为铀矿化提供了丰富的储

存空间,区域的大断裂则成为铀源迁移的渠道^[3]。本文基于前人研究,梳理纳米比亚湖山铀矿的地质构造特征,分析构造活动对铀成矿的控制作用,及二者内在联系,为类似地质背景铀矿勘查提供科学参考。

2 区域地质背景与构造演化

在区域地质背景上,湖山铀矿位于纳米比亚达马拉造山带,该造山带形成于新元古代-早古生代,是泛非造山活动在西南非洲留下的痕迹。达马拉造山带自北向南可以划分为七个地质单元,分别是:北部地体、北带边缘、北带、中央带、南带、南带边缘和南部前陆(参见图1)。根据板块运动理论,其构造演化可分为五个阶段:板内裂谷期(7.5亿年前)、持续扩张期(7.3至6

亿年前)、洋陆俯冲期(5.8至5.6亿年前)、俯冲碰撞期(5.5至5.4亿年前),以及碰撞晚期(5.3至4.6亿年前)。

前人研究发现,经U-Pb等测年数据显示达马拉造山带内所谓的富铀岩体“白岗岩”(实际为浅色花岗岩),主要形成于510-490 Ma,其成因与碰撞晚期构造及岩浆活动密切相关。达马拉造山带中部以大量侵入岩为特点,这些岩石覆盖的面积大约为75000平方公里。其中,96%由花岗岩构成,而其余4%由钙碱性辉长岩和花岗闪长岩类型构成。侵入岩体可区分为两个阶段:早期的前达马拉时期与随后的达马拉时期。前达马拉期的侵入岩以阿巴比斯杂岩体中的花岗岩片麻岩和眼球片麻岩为主要成分。后达马拉期的岩浆侵入作用不明显,沿断裂仅能观察到少量的粗粒玄武岩和细粒晶岩。

湖山铀矿位于达马拉造山带的中南部地区,该地区的主要天然铀矿床沿着狭长的地带排列,从东北部的Valencia矿床一直延续到西南部的Ida dome矿,覆盖面积超过2000平方公里。其中铀含量较高的花岗岩类型与新元古代达马拉造山带中南部区域内的高温低压变质带是相符合的。

据前人工作,达马拉造山带构造活动一共分为4期地质构造事件,分别为D1-D4:

D1: 构造事件是达马拉变质沉积岩经历的首个地质变化,形成了一系列朝南至南南东方向的平卧褶皱结构;

D2: 产生了一组北北东方位的垂直封闭褶皱;

D3: 构成了显著的东北走向地质构造特征,并形成了清晰可见的盆地和隆起地貌;

D4: 生成了一条北北东走向的左旋走滑断层,促使早期构造发生旋转,并引发了北东向的逆冲断层的形成。前人认为包含罗辛和湖山在内的较大花岗岩型矿床与晚期的北-北东向千岁兰线型构造有着明显的空间关系。

但实际上本文认为从矿床类型来看,最后一期形成的千岁兰断裂是对罗辛、湖山矿某种程度上的破坏,因为铀元素相对于钍元素更易溶于地下水,含铀地下水沿断裂在其水系下游形成钙质结砾岩型沉积铀矿,如:兰杰矿,并在湖山矿断裂附近形成高钍铀比型矿石,会导致以放射性强度来判断矿石品位并进行储量计算时的误判。

3 湖山铀矿地质构造特征及其控矿作用

3.1 构造格架与特征

湖山铀矿区域构造格架主要由区域性深大断裂、层间不整合接触带、褶皱或穹窿、走滑断层等构造类型组成(见表1)。

3.2 构造系统的控矿作用

构造系统在湖山铀矿的形成中发挥了关键作用。区域性深大断裂不仅为岩浆侵位提供空间,也是含铀热液(成矿流体)迁移的一个重要导矿构造,岩浆沿断裂向上运移,侵入并就位于Rössing组与Khan组或Khan组与Chuoss组接触部位。褶皱和穹窿为铀元素富集提供赋存空间。走滑断裂(如千岁兰断裂)改造成矿构造,影响矿体形态及类型。

经前人研究觉得含矿浅色花岗岩(诸多文献及报告中称其

为“白岗岩”)属于湖山铀矿主要含矿岩体,但经湖山工作阶段放射性物探及取样测试,实际上所谓的“白岗岩”中基本不含铀^[4](见图1)。

表1 湖山铀矿区域主要构造要素及其特征

构造类型	走向	规模	产状特征	控矿作用
区域性深大断裂	NE向	区域性	控制侵入岩分布	导矿构造,为岩浆侵入和含铀热液迁移提供通道
层间不整合接触带	随岩层产状变化	区域性	控制侵入岩分布	导矿构造,岩浆侵入和为含铀热液迁移提供通道
褶皱、穹窿构造	近等轴状	直径数公里	基底片麻岩隆起,上覆地层褶皱	容矿构造,为铀矿富集提供赋存空间
走滑断层	NNE向	区域性	近直立,水平错动明显	改造成矿构造,影响矿体形态及类型

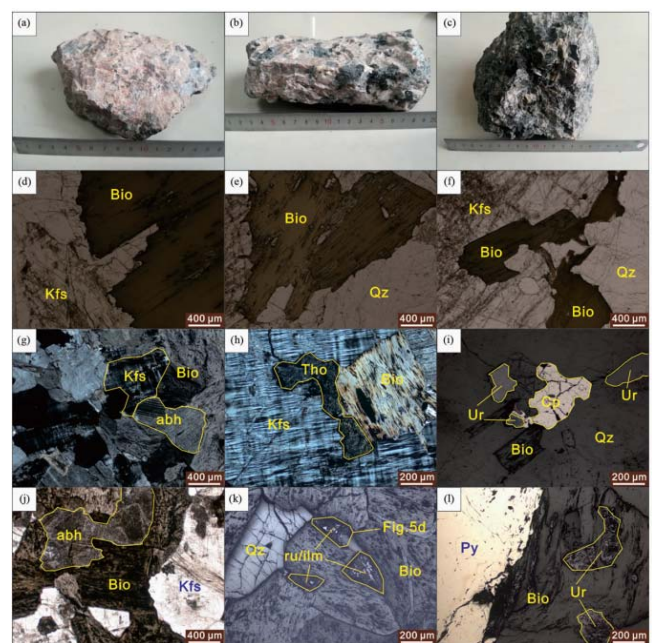


图1 湖山铀矿“白岗岩”的代表性手标本及显微照片

a: E-LUP, 低铀含量伟晶岩; b: E-MUP, 中铀含量伟晶岩; c: E-LUP, 高铀含量伟晶岩

通过对浅色花岗岩中节理的统计分析,基本确定了湖山矿区在碰撞后区域的应力场特征。最优势的主压应力方向在北东 $26^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 方位间,其次为介于东东南 $110^{\circ} \sim 129^{\circ}$ 和北北西 $345^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 方位间的压应力。至今存留在各种岩石中的高密度节理构造,多由碰撞造山后的地质活动或岩浆侵入引起,这与铀矿的集中分布有着密切关联。

3.3 区域性深大断裂和不整合面的导矿作用

在达马拉造山带形成初期,拉哈里克拉通和刚果克拉通相互碰撞,形成区域性大断裂,该断裂成为达马拉造山带中岩浆侵入的关键通道,上升至层间不整合面,沿该结构面继续扩张。而在湖山铀矿,铀矿石主要分布于浅色的花岗岩体内。区域性深大

断裂和层间不整合面是含铀元素矿化流体从地壳深部迁移至近地表的关键所在,起到导矿作用。

3.4 褶皱与穹窿构造的容矿作用

褶皱和穹窿构造对湖山铀矿的控制作用主要体现在:褶皱或穹窿挠曲最大的部位是应力集中部位,易形成节理、破裂密集带,穹窿构造转折端、褶皱引起的层间裂隙和滑脱部位均为铀矿就位的良好空间。

在湖山及周围浅色花岗岩型铀矿床,主要分布于达马拉层序底部岩层,紧邻穹顶基岩。矿床通常形成在距离Abbabis变质杂岩体露头 and 穹窿结构约2至6公里的位置。在位于Swakop河谷的基底杂岩体中,出现了明显的放射性异常。上方的达马拉岩层经历变形和挤压,形成了矿物储存空间。

4 构造与成矿关系的探讨

4.1 构造运动对铀源的控制

花岗岩型铀矿有普遍类似的特征,它们与围岩是同一套岩浆活动的产物。铀的富集及矿床形成的物质基础和热力学条件主要与构造运动引发的岩浆活动有关。

构造运动对湖山铀矿的铀源同样具有明显影响。富铀的前达马拉基底是浅色花岗岩型铀矿成矿物质的主要来源,而成矿母岩浆是同化混染与分离结晶共同作用的结果。

4.2 构造对铀迁移和富集的控制

构造活动不仅控制了铀的来源,同时也影响了铀的迁移和富集过程。由于热液活动导致部分U发生活化运移,在应力集中形成的节理密集带、断裂裂隙面等有利部位富集形成沥青铀矿、脉状铀石等铀矿物,从而实现铀元素的再次富集。

有研究表明,在湖山普通花岗岩中,铀元素的富集受控于分离结晶作用,而在铀矿化花岗岩中,铀矿化与同化混染作用密切相关。围岩成分(如FeO、MgO、TiO₂)会影响含铀花岗岩熔体中矿物的结晶顺序。这种变化使黑云母在较高温度下开始结晶,而钾长石的结晶温度则有所下降,与普通花岗岩熔体的情况不同。这种情况延长了黑云母的结晶时间,并为其提供了更好的生长条件。在这个过程中,会显著消耗岩浆中的氟离子,导致UF₄-m络合物发生水解,进而促使结晶态铀矿在集合体黑云母周围沉积,形成铀矿化现象。

在湖山铀矿中,同时也存在着大量团块状黑云母花岗岩没有铀矿化,而且发生同化混染作用一般在侵入岩与围岩接触部分,在这些位置的铀元素可能已发生迁移。例如特高品位矿石更倾向于分布在节理面中。在湖山铀矿大量炮孔测井数据显示,同一台阶相邻炮孔之间的差异性明显大于上下台阶同一水平位

置的差异性,且不受岩体产状影响,与节理面产状高度一致。

4.3 构造对铀矿的破坏作用

我们看到构造对湖山铀矿形成、富集起到关键的作用,但同时在铀矿形成后产生的走滑断层会对花岗岩型铀矿具有破坏作用。因为铀离子既溶于酸也溶于碱,走滑断裂中的地下水会带走花岗岩型铀矿中的铀,流入大海或在其下游沉积富集,形成钙结晶型铀矿。

5 构造控矿规律指导湖山外围勘查

经湖山铀矿的勘查实践表明,地质构造研究对铀矿找矿工作具有重要的指导意义。纳米比亚的花岗岩型铀矿床在地质结构上有许多相似之处,这可能是因为它们是同时期岩浆侵入事件在同一地区形成的结果。

在地质勘探中,这些特征能有效指引矿物的寻找。当结合花岗岩类矿床的成矿模型时,能够准确地划定湖山铀矿床的勘探目标区域。

在对控矿构造的研究基础之上,对矿区主要铀矿床(点)进行野外地质调查、重点地段大比例尺地质填图和放射性测量,开展典型铀矿床(点)解剖,识别出不同矿床铀矿化特征、控矿要素。这一综合勘查技术方法非常适合在湖山铀矿及其周边区域进行推广和应用。

6 结论

通过对纳米比亚湖山铀矿地质构造特征及其对成矿控制作用的综合研究,可以得出地质构造在湖山铀矿的形成和分布中起到至关重要的控制作用。深入研究构造与成矿的关系,不仅有助于理解铀成矿机制,而且对指导找矿勘查实践具有重要的实际价值。未来应进一步加强构造与成矿关系的深入研究,完善成矿模型,为铀矿勘查提供更加科学有效的理论指导。

[参考文献]

- [1]孙宏伟,任军平,唐文龙,等.纳米比亚达马拉造山带地质、构造演化特征与铀成矿作用[J].西北地质,2023,56(5):35-48.
- [2]荣建锋,林泳钊,王照良.纳米比亚湖山铀矿床地质概况[J].四川地质学报,2016,36(1):101-106.
- [3]刘晨阳.纳米比亚湖山铀矿床地质特征及成因探讨[D].成都理工大学,2016.
- [4]黄冉笑,袁国礼.纳米比亚湖山铀矿床中黑云母伟晶岩型矿石特征及铀矿化机制[J].岩石学报,2021,37(5):1587-1610.

作者简介:

谢从农(1988—),男,湖北黄石人,本科,工程师,研究方向:地质学。