

白云鄂博稀土矿床中 辉钼矿的铼-钨同位素年龄

刘兰笙 高 翎

杜安道 孙亚莉

(中国地质科学院地质研究所, 北京) (中国地质科学院测试研究所, 北京)

提 要: 白云鄂博铁稀土矿床的形成年龄一直是个有争论的问题, 采自该矿床东采场的辉钼矿样, 通过镜下对矿物结构构造的研究, 认为辉钼矿是矿区晚期矿脉形成阶段的矿物, 它的铼-钨同位素年龄为 $(439 \pm 8) \times 10^6$ a。此结果从另一侧面说明该矿床在加里东期有一期成矿作用。

主题词: Re-Os 法 辉钼矿 $^{187}\text{Re}/^{187}\text{Os}$ 白云鄂博

白云鄂博铁稀土矿床是世界著名的大型矿床之一, 历来受到世界和我国地质工作者的极大关注。几十年来众多的地质学家在此矿区做了大量野外和室内的研究工作, 积累了丰富的资料, 由于此矿床地质情况复杂, 所在在矿床成因及成矿时代方面都还未取得统一的想法。笔者在承担中国东部区域矿产任务的过程中, 对白云鄂博矿区进行短期的野外考察。在矿区考察过程中, 从白云鄂博铁稀土矿床的东采场采到辉钼矿样, 通过野外观察和镜下鉴定, 均说明辉钼矿是晚期矿化的伴生产物。经地质矿产部测试研究所铼-钨同位素年龄实验室对辉钼矿进行 Re-Os 法同位素测年, 其模式年龄为 $(439 \pm 8) \times 10^6$ a, 虽然只有一个样, 但是用与前人不同的方法测得的年龄数据, 可以从另一个侧面为研究白云鄂博的成矿时代提供参考。同时结合前人测得的同位素年龄数据, 可以说明白云鄂博铁稀土矿床在加里东期有一期成矿作用。

1 矿区地质概况

白云鄂博矿区位于华北地台边缘裂陷槽中, 北邻天山-兴安褶皱带。矿区出露的地层有: 晚太古界的二道洼群及元古界的白云鄂博群。晚太古界的二道洼群分布于矿区东部, 由绢云母石英片岩、黑云母绿泥片岩、变质长石石英砂岩、片麻岩组成。中元古界白云鄂博群不整合覆盖于二道洼群之上, 是由石英岩、板岩、千枚岩、石灰岩组成的一套浅海相的浅变质沉积变质岩系^[1]。矿区出露有九个岩性段, 自下而上为: H₁: 灰黑色、灰绿色含砾砂长石石英岩及石英岩; H₂: 白云石英岩、石英砂岩, 顶部夹板岩; H₃: 黑色碳质板岩、铁锰质板岩夹砂岩; H₄: 浅灰色到灰黑色长石石英砂岩夹薄层黑色板岩; H₅: 灰黑色碳质板岩夹薄层石英岩和灰

刘兰笙, 女, 58岁, 研究员, 从事区域矿产地质研究。邮政编码: 100037

1995-10-6 收稿, 1995-12-29 修改回

岩；H₆：灰色、灰黄色长石石英砂岩夹灰岩及板岩；H₇：灰岩夹变质石英砂岩；H₈：灰黑色、黑色灰岩、白云质灰岩、白云岩；H₉：灰黑色硅质板岩夹深灰色石英岩。除上述地层外附近还有第三纪、第四纪地层。

白云鄂博矿区的东南侧及南侧出露有华力西期花岗岩，北部尖山一带有闪长岩的侵入。

白云鄂博铁稀土矿体产于白云鄂博群第 8 岩性段的白云岩层中，矿化带呈东西向分布，形成一个东西长 16 km，南北宽 1~2 km 的矿化带，矿化带由大小不等的几十个矿体组成。分成了四个矿段：西矿、主矿、东矿、东矿接触带。其中主矿和东矿是白云鄂博的主要矿段。

主矿和东矿的矿石类型有块状铈稀土铁矿石、条带状铈稀土铁矿石、霓石型铈稀土矿石、钠闪石型铈稀土铁矿石、白云石型铈稀土铁矿石、黑云母型铈稀土铁矿石、霓石型铈稀土矿石、白云石型铈稀土矿石、透辉石型矿石^[1]。

2 样 品

辉钼矿采自白云鄂博矿区东矿采场，含辉钼矿的矿石矿物有白云石、萤石、钠长石、易解石、锆石、辉钼矿、黄铁矿、黄铜矿。此矿石似属于白云石型铈稀土矿石类型，从镜下观察辉钼矿是晚期的矿物，呈片状产于萤石及白云石矿物的周围及其裂隙中。

3 辉钼矿的铼-钌同位素测定方法及结果

铼-钌测年法是基于¹⁸⁷Re 通过 β 衰变生成¹⁸⁷Os 引起钌同位素异常来计算地质年龄的^[8]。是一种直接测定金属矿床年龄的好办法。由于辉钼矿富含铼，几乎不含普通钌，其中的钌基本上是¹⁸⁷Re 衰变生成的¹⁸⁷Os^[9,10]。因此可根据¹⁸⁷Re 和¹⁸⁷Os 含量来计算成矿年龄。本文通过同位素稀释等离子体质谱 (ICP-MS) 测定辉钼矿中铼和¹⁸⁷Os 的含量并计算成矿年龄，细节请参考文献^[2]。现将方法简述如下：将¹⁸⁵Re 和¹⁹⁰Os 稀释剂转入氢氧化钠介质，与样品一起充分混合，过氧化钠熔融，用水提取熔块，取部分溶液用丙酮萃取铼，用阳离子交换树脂除去钠后，用 ICP-MS 测定铼。另取溶液，加入适量硫酸铈和硫酸进行蒸馏，用冰浴水吸收蒸出的四氧化钌，用 ICP-MS 测定¹⁸⁷Os 含量。结果列于表 1。

表 1 白云鄂博铁稀土矿中辉钼矿 Re-Os 年龄测定结果

Table 1. Re-Os ages of molybdenite samples from the Bayan Obo iron-REE ore deposit

编 号	取样量 (g)	Re (2 σ) ($\mu\text{g/g}$)	¹⁸⁷ Re (2 σ) ($\mu\text{g/g}$)	¹⁸⁷ Os (2 σ) (ng/g)	模式年龄 (10 ⁶ a)
BD-26	0.08	49.40 $\pm$ 0.30	30.92 $\pm$ 0.18	223.52 $\pm$ 3.76	439 $\pm$ 8

年龄计算公式为 $T = [\ln (1 + ^{187}\text{Os}/^{187}\text{Re})] / \lambda$; ¹⁸⁷Re 衰变常数 $\lambda = 1.64 \times 10^{-11} \text{年}^{-1}$ ^[11]

4 讨 论

(1) 从理论上说铼-钌测年法是一种直接测定金属矿床年龄的好方法。据 J M Luck 和 C J

Allegre^[12~14]测定一些地区不同年龄的11个辉钼矿的Re、Os含量,基本上不含普通钼。另据杜安道、何红蓼测定杨家杖子-兰家沟辉钼矿的¹⁸⁷Re-¹⁸⁷Os等时线,其中¹⁸⁷Os初始值接近零^[3],表明比较纯的辉钼矿中所含钼基本上是放射成因的¹⁸⁷Os,也就是说在辉钼矿中¹⁸⁷Os基本上由¹⁸⁷Re衰变而成,那么辉钼矿中的¹⁸⁷Re/¹⁸⁷Os的比值就是矿物年龄的函数,本文所用的ICP-MS法测定年龄,年龄误差仅在3%~4%之间^[4,5]。

(2)用铼-钼测年法在华北地台上所测定的硫化物矿床中辉钼矿模式年龄的结果与其它方法测年结果基本相似。与地质上的观察也基本吻合。

白云鄂博铁稀土矿床中的辉钼矿是与钠闪石、萤石、易解石、黄铁矿、黄铜矿(微量)相伴生,属晚期矿化。辉钼矿Re-Os模式年龄为 $(439 \pm 8) \times 10^6$ a。此结果可与矿区同期矿物,用其它测年方法测定结果对比。张宗清等1995年对主矿、东矿脉体中的钠长石、钠闪石、黄河矿用Sm-Nd法测得的等时线年龄为 $(422 \pm 18) \times 10^6$ a^[6,7];东矿萤石、霓石脉中的易解石U-Th-Pb法年龄 386×10^6 a^[1](中科院地化所,1988);美国地质调查所赵景德用黄河矿、氟碳铈矿测得的Th-Pb模式年龄分别为 $(438 \pm 25) \times 10^6$ a、 $(425 \pm 4) \times 10^6$ a。上述均为晚期矿化。年龄基本一致在 $386 \times 10^6 \sim 463 \times 10^6$ a范围内。

(3)前人把白云鄂博矿区的热液活动归纳为:①早期钠化阶段及氟化阶段;②晚期钠化阶段及氟化阶段;③晚期矿脉形成阶段;④与华力西期花岗岩有关的矽卡岩阶段。从野外观察及室内工作也都说明这四次热液活动是存在的。张宗清等(1995年)依据大量同位素年龄数据将白云鄂博铁稀土矿床经受的重大热事件分成四期:① $1200 \times 10^6 \sim 1500 \times 10^6$ a,元古宙稀土成矿地质事件;② $700 \times 10^6 \sim 900 \times 10^6$ a,地质热事件;③ $400 \times 10^6 \sim 500 \times 10^6$ a,第二次成矿期;④ $200 \times 10^6 \sim 300 \times 10^6$ a,华力西花岗岩热事件^[6]。

从地质上总结的四次热液活动能否可以和从年龄数据总结的四次热事件吻合,还需做工作。但是 $400 \times 10^6 \sim 500 \times 10^6$ a的年龄数据与第三阶段的晚期矿脉形成阶段是吻合的,晚期矿脉形成时代应为 $386 \times 10^6 \sim 463 \times 10^6$ a,正与第二次成矿期($400 \times 10^6 \sim 500 \times 10^6$ a)相对应,属加里东期。

(4)多种资料说明白云鄂博铁稀土矿床成矿是极其复杂的,成矿作用是多期的。上述加里东期的成矿作用是该矿的另一成矿期,这次成矿期是与加里东构造活动分不开的。白云鄂博铁稀土矿床位于华北地台的北缘,其北侧为温都尔庙多旋回褶皱带,早古生代洋盆的张开和洋盆的闭合(造山作用)必然影响到邻侧的华北地台的北缘,为此白云鄂博铁矿床在 $400 \times 10^6 \sim 500 \times 10^6$ a时的成矿作用是受北侧加里东造山运动的影响。

总之,白云鄂博矿床辉钼矿铼-钼年龄的测定结果又从另一侧面证明了白云鄂博矿区在加里东期有一期成矿作用,同时通过对比也证明铼-钼同位素测年方法是直接测成矿年龄的有效的新手段。

参 考 文 献

- 1 中国科学院地球化学研究所. 白云鄂博矿床地球化学. 北京: 科学出版社, 1988
- 2 何红蓼, 杜安道等. 铼-钼同位素的等离子体质谱法测定及其在辉钼矿测年中的应用. 岩矿测试, 1993, 12 (3)
- 3 杜安道, 何红蓼等. Re-Os法测定辉钼矿矿化年龄. 科学通报, 1993, 38 (6): 39~347
- 4 杜安道, 何红蓼等. 辉钼矿中Re-Os同位素系统地质年龄测定方法研究. 地质学报, 1993, 12 (3): 161~165
- 5 何红蓼, 杜安道等. 铼-钼测年法中钼的化学行为研究. 分析化学, 1994, 22 (2): 109~114

- 6 任英忱, 张英臣, 张宗清. 白云鄂博稀土超大型矿床的成矿时代及其主要地质热事件. 地球学报, 1994, (1~2): 85~93
- 7 张宗清, 唐素寒等. 白云鄂博稀土矿床形成年龄的新数据. 地球学报, 1994, (1~2): 95~100
- 8 Chao E C T, Back J M, Mindin J A. Host-rock controlled epigenetic, hydrothermal metasomatic origin of Bayan Obo REE-Fe-Nd ore deposit. Inner Mongolia, P. R. C. Applied Geochemistry 1992, 7: 443~458
- 9 Suzuki Katsuhiko, Qi-Lu, Shimizu Hiroshi, Masuda Akimasa. Determination of osmium abundance in molybdenite mineral by isotope dilution mass spectrometry with microwave digestion using potassium dichromate as oxidizing agent analyst. July 1992, 117: 1151~1156
- 10 Hauri E H, Hart S R. Re-Os isotope systematics of HIMU and EMII oceanic island basalts from the south Pacific Ocean. Earth and Planet. Sci. Lett., 1993, 114: 353~371
- 11 Lindner Manfred, Leich Douglas A, Russ Price, Bazan Jeanne M, Borg Richard J. Direct determination of the half-Life of ^{187}Re . Geochimica et Cosmochimica Acta 1989, 53 (7): 1597~1606
- 12 Luck J K, Allegre C J. The study of molybdenites through the ^{187}Re - ^{187}Os Chronometer. Earth and Planet. Sci. Lett., 1982, 61: 291~196
- 13 Chen Wenming, Zhang Chengxin, Dang Zefa, Zou Xiaoqi. Polygenic mineralization of the metamorphosed Tongkuanyu Porphyry Copper Deposit in the Zhongtiao Mountains, Shanxi, China. The 9th Symposium of International Association on the Genesis of Ore Deposit, 1994, Abstracts 1, 387
- 14 Luck Jean-Marc, Allegre Claud J. Osmium isotopes in ophiolites. Earth and Planet. Sci. Lett., 1991, 107: 406~415

THE Re-Os ISOTOPIC AGE OF MOLYBDENITE FROM BAYAN OBO REE ORE DEPOSIT

Liu Lansheng, Gao Lin

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

Du Andao and Sun Yali

(Institute of Rock and Mineral Analysis, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

Key words: Re-Os method, molybdenite, $^{187}\text{Re}/^{187}\text{Os}$, Bayan Obo

Abstract

The Bayan Obo deposit is one of the famous REE ore deposits in the world, and its formation age has long been a topic of controversy. Iron and REE orebodies occur in the dolomite bed of 8th lithologic member of Bayao Obo Group. The molybdenite sample from the eastern orebody is regarded as a product associated with late mineralization, and its Re-Os isotopic age is $(439 \pm 8) \times 10^6$ a. This result proves from another aspect that there existed an ore-forming process in Caledonian period.