内蒙古狼山地区霍各乞矿床中磁铁矿矿体成因

包创[1,2)]，朱祥坤[1)]，陈岳龙[2)]，高兆富[1,2)]

1）中国地质科学院地质研究所 国土资源部同位素地质重点实验室，大陆构造与动力学国家重点实验室，北京，100037；2)中国地质大学 地球科学与资源学院，北京，100083

霍各乞铜多金属矿床位于内蒙古中西部狼山北侧，是我国著名的 Cu-Fe-Pb-Zn-S 矿床。在过去二十年中，大量学者已经对该矿床矿床成因、成矿时代以及成矿模型进行了系统的研究，并认为该矿床属于沉积喷流到火山块状硫化物过渡型矿床，且成岩-成矿时代定为中元古代（彭润民等，1999, 2007；彭润民和翟裕生，2004；费红彩等，2004）。但近年来，狼山地区中元古界地层中大量新元古代地质体被发现（彭润民等，2010；Hu et al., 2014）和霍各乞铜多金属矿床中成矿期热液黑云母中得到 239.8±3.4 Ma 的 $^{39}Ar/^{40}Ar$ 坪年龄（钟日晨等，2015），使狼山地区渣尔泰山群（原狼山群）沉积时限和霍各乞铜多金属矿床成矿时代具有强烈的争议。同时，钟日晨等（2015）对霍各乞铜多金属进行系统研究，认为磁铁矿矿体为沉积作用形成，并经受后期变质作用叠加富集成矿。而这与中国地质大学（北京）彭润民教授认为的该磁铁矿属于后期热液成矿（私下通信）不相吻合。

磁铁矿体与透闪石、石榴子石等变质矿物共生，呈致密块状、条带状、网脉状分布，与围岩（炭质板岩和石英岩）接触关系为断层接触、侵入接触，且在磁铁矿矿体与炭质板岩接触带可见隐爆角砾岩（图 1A，图 1B）和石榴子石透辉石岩矽卡岩（图 1A，图 1 D）。同时可见磁铁矿矿体呈网脉状穿切碳酸盐岩现象（图 1C），具有典型的热液特征。

含磁铁矿透闪石岩与围岩微量元素、稀土元素含量和分布型式具有显著差异。利用 PAAS 微量元素标准化图解和 NASC 稀土元素标准化后图解（图 2）显示：含磁铁矿透闪石岩微量元素、稀土元素含量比围岩（炭质板岩、云母石英片岩）低，且磁铁矿化透闪石岩具有强烈的正 Eu 异常，说明磁铁矿化透闪石岩与围岩具有明显不同的成因。

霍各乞铜多金属矿床中 23 件磁铁矿矿石 $\delta^{56}Fe$ 值为 0.36‰～−0.86‰，平均值为−0.15‰，表现为富集轻同位素的特征。

霍各乞矿区磁铁矿矿石富集铁的轻同位素，与世界典型的沉积型磁铁矿 BIF、宣龙式铁矿以及典型的岩浆成因的磁铁矿（攀西钒钛磁铁矿、白云鄂博铁矿床中磁铁矿）铁同位素分布明显不同，而是与安徽矽卡岩型新桥铁矿磁铁矿、国外典型热液铁矿床、海底、洋中脊热液以及与海底热液成因密切相关的铁锰结壳铁同位素分布特征类似。结合野外地质特征、微量元素、稀土元素分析，霍各乞矿区磁铁矿为后期热液成因，并非典型的沉积变质型铁矿。

参 考 文 献 / References

费红彩, 董普, 安国英, 肖荣阁. 2004. 内蒙古霍各乞铜多金属矿床的含矿建造及矿床成因分析. 现代地质, 18(1): 32~40.

李志红, 朱祥坤, 唐索寒. 2008. 鞍山-本溪地区条带状铁建造的铁同位素与稀土元素特征及其对成矿物质来源的指示. 岩石矿物学杂志, 27(4): 285~290.

李志红, 朱祥坤. 2012. 河北省宣龙式铁矿的地球化学特征及其地质意义. 岩石学报, 28(9): 2903~2911.

彭润民, 翟裕生. 2004. 内蒙古狼山—渣尔泰山中元古代被动陆缘热水喷流成矿特征. 地学前缘, 11(1): 257~268.

彭润民，翟裕生，王建平，陈喜峰，刘强，吕军阳，石永兴，王刚，李慎斌，王立功，马玉涛，张鹏. 2010. 内蒙狼山新元古代酸性火山岩的发现及其地质意义. 科学通报，55（26）：2611~2620.

王跃, 朱祥坤. 2012. 铁同位素体系及其在矿床学中的应用. 岩石学报, 28(11): 3638-3654.

钟日晨，李文博，霍红亮. 2015. 内蒙古霍各乞 Cu-Pb-Zn 矿床 $^{39}Ar/^{40}Ar$ 年代学研究:元古代预富集叠加印支期变质热液矿化实例。岩石学报，31（6）：1735~1748.

注：本文为 973 项目（2012CB416806）、国家自然科学基金项目（41273065）和地质调查项目（12120113015700）联合资助的成果。
收稿日期：2015-08-02；改回日期：2015-09-02；责任编辑：费红彩。
作者简介：包创，男，1988 年生。博士研究生，地球化学专业，E-mail:564489926@qq.com

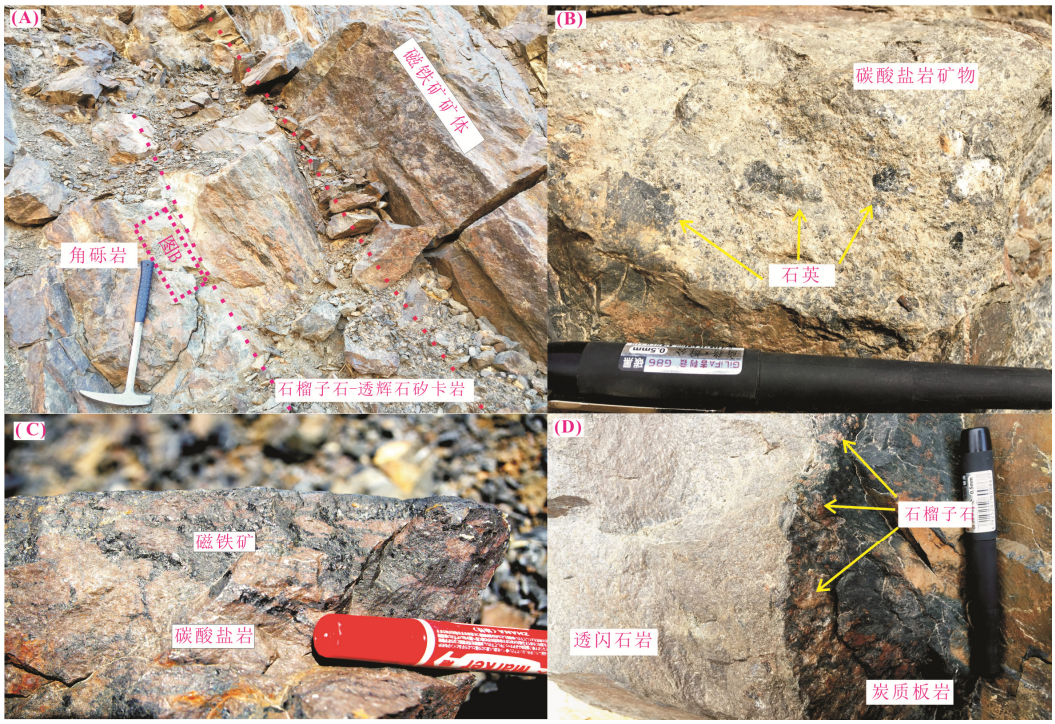

图 1 磁铁矿矿体与围岩关系

A,磁铁矿矿体与炭质板岩接触带，接触带靠近炭质板岩一侧为隐爆角砾岩，靠近磁铁矿矿体一侧为石榴子石透辉石岩矽卡岩；B, 隐爆角砾岩中角砾为石英颗粒，胶结物为碳酸盐岩矿物；C, 网脉状磁铁矿穿切碳酸盐岩；D, 含磁铁矿透闪石岩与炭质板岩接触带，炭质板岩发生石榴子石矽卡岩化

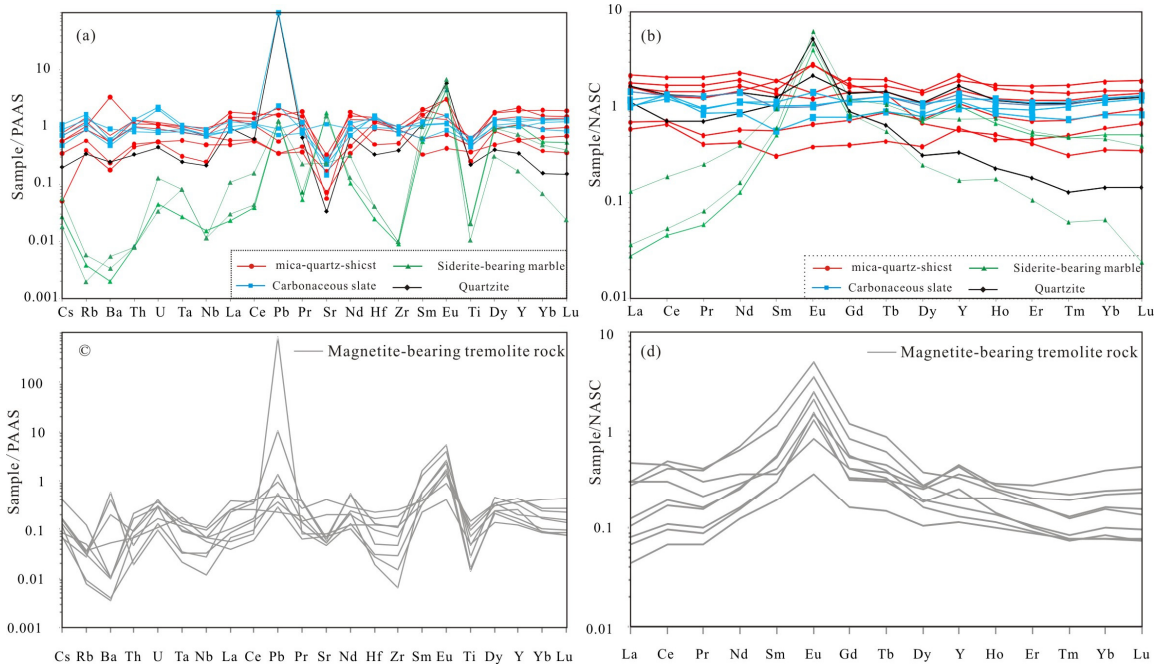

图 2 含磁铁矿透闪石岩与围岩微量元素蜘蛛图和稀土元素分布型式图解

Beard B L, Johnson C M, Von Damm K L and Poulson R L. 2003. Iron isotope constraints on Fe cycling and mass balance in oxygenated Earth oceans. Geology, 31(7): 629~632.

Dauphas N, Cates N L, Mojzsis S J and Busigny V. 2007. Identification of chemical sedimentary protoliths using iron isotopes in the> 3750 Ma Nuvvuagittuq supracrustal belt, Canada. Earth and Planetary Science Letters, 254(3): 358~376.

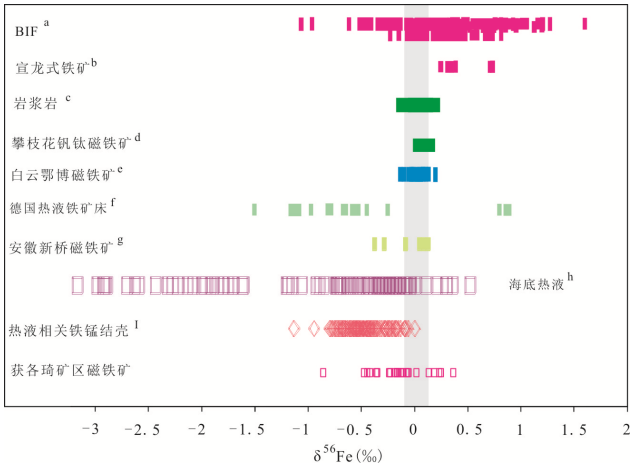

图 3 霍各乞铜多金属矿床磁铁矿铁同位素分布及相关地质体铁同位素分布

a, Dauphas et al., 2004, 2007; Planavsky et al., 2012; 李志红等，2008; Jonhson et al., 2008; Hyslop et al., 2008; b. 李志红和朱祥坤，2012; c. Beard et al., 2003; Weyer and Ionov, 2007; Zhao et al., 2012; Sun et al., 2013; Schoenberg et al.,, 2006; Weyer and Ionov, 2007; Zhao et al., 2012; d. 王跃等，2012; e. Sun et al., 2013; f. Markl et al., 2006; g. Wang et al., 2011; h. Severmann et al., 2004; Rouxel et al., 2004, 2008; Beard et al., 2003; Sharma et al., 2001; i. Zhu et al., 2000; Levasseur et al., 2004.

Dauphas N, van Zuilen M, Wadhwa M, Davis A M, Marty B, and Janney P E. 2004. Clues from Fe isotope variations on the origin of early Archean BIFs from Greenland. Science, 306(5704): 2077~2080.

Hu J M, Gong W B, Wu S J, Liu Y, Liu S C. 2014. LA-ICP-MS zircon U–Pb dating of the Langshan Group in the northeastmargin of the Alxa block, with tectonic implications. Precambrian Research, 255: 756~770.

Hyslop E V, Valley J W, Johnson C M, Beard B L. 2008. The effects of metamor-phism on O and Fe isotope compositions in the Biwabik Iron Formation, northernMinnesota. Contributions to Mineralogy and Petrology, 155: 313~328.

Johnson C M, Beard B L, Klein C, Beukes N J and Roden E E. 2008. Iron isotopes constrain biologic and abiologic processes in banded iron formation genesis. Geochimica et Cosmochimica Acta, 72(1): 151~169.

Levasseur S, Frank M, Hein J R., and Halliday A N. 2004. The global variation in the iron isotope composition of marine hydrogenetic ferromanganese deposits: implications for seawater chemistry ? Earth and Planetary Science Letters, 224: 91~105.

Markl G, Von Blanckenburg F and Wangner T. 2006. Iron isotope fractionation during hydrothermal ore deposition and alteration. Geochemica et Cosmochemica Acta, 70(12): 3011~3030.

Planavsky N, Rouxel O J, Bekker A, Hofmann A, Little C T S, Lyons T W. 2012. Iron isotope composition of some Archean and Proterozoic iron formations. Geochimica et Cosmochimica Acta, 80: 158~169.

Rouxel O, Fouquet Y, Ludden J N. 2004. Subsurface processes at the Lucky Strike hydrothermal field, Mid-Atlantic Ridge: evidence from sulfur, selenium, and iron isotopes. Geochimica et cosmochimica acta, 68(10): 2295~2311.

Rouxel O, Shanks III W C, Bach W, Edwards K J. 2008. Integrated Fe-and S-isotope study of seafloor hydrothermal vents at East Pacific Rise 9–10 N. Chemical Geology, 252(3): 214~227.

Schoenberg R, Blanckenburg F V, 2006. Modes of planetary-scale Fe isotope fractionation. Earth and Planetary Science Letters, 252(3): 342~359.

Severmann S, Johnson C M, Beard B L, German C R, Edmonds H N, Chiba H, Green D R H. 2004. The The effect of plume processes on the Fe isotope composition of hydrothermally derived Fe in the deep ocean as inferred from the Rainbow vent site, Mid-Atlantic Ridge, 36°14′. Earth and Planetary Science Letters, 225: 63~76.

Sharma M, Polizzotto M, Anbar A D. 2001. Iron isotopes in hot springs along the Juan de Fuca Ridge. Earth and Planetary Science Letters, 194(1): 39~51.

Sun J, Zhu X, Chen Y, Fang N. 2013. Iron isotopic constraints on the genesis of Bayan Obo ore deposit, Inner Mongolia, China. Precambrian Research, 235: 88~106.

Wang Y, Zhu X, Mao J, Li Z, Cheng Y, 2011. Iron isotope fractionation during skarn-type metallogeny: A case study of Xinqiao Cu–S–Fe–Au deposit in the Middle–Lower Yangtze valley. Ore Geology Reviews, 43(1): 194~202.

Weyer S, Ionov D A. 2007. Partial melting and melt percolation in the mantle: themessage from Fe isotopes. Earth and Planetary Science Letters, 259: 119~133.

Zhao X M, Zhang H F, Zhu X K, Tang S H, Yan B. 2012. Iron isotope evidence formultistage melt–peridotite interactions in the lithospheric mantle of easternChina. Chemical geology, 127~139.

Zhu X K, O'Nions R K, Guo Y L, Reynolds B C. 2000. Secular variation of iron isotopes in North Atlantic deep water. Science, 287(5460): 2000~2002.