前寒武纪条带状铁矿硅同位素特征及其地质意义

Silicon Isotope Compositions of Precambrian Banded Iron Ore Deposits and Its Geological Significance

万德芳[1] 蒋少涌[2]

(1 中国地质科学院矿产资源所，北京 100037；2 南京大学地球科学系，江苏 南京 210093)

Wan Defang[1] and Jiang Shaoyong[2]

(1 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China)

摘 要 前寒武纪条带状铁矿是世界上最重要的铁矿资源。虽然近年来对其开展了大量氧、碳、锶、钕同位素及稀土和微量元素研究并对其成因提供了大量证据，但其硅同位素研究资料极少。本文对前寒武纪条带状铁矿硅同位素的对比研究表明，我国冀东迁安铁矿磁铁石英岩 δ^{30}Si 值为－0.8‰～－1.4‰，辽宁弓长岭铁矿磁铁石英岩为－0.9‰ ～ －2.2‰，加拿大苏必利尔铁矿的石英 δ^{30}Si 值为－1.6‰，明显低于含矿围岩。文章认为该类型铁矿是前寒武纪海底火山-沉积环境中热水化学沉积产物。

关键词 前寒武纪 条带状铁矿 硅同位素 地质应用

前寒武纪条带状铁矿在世界上分布广泛，是目前世界上最重要的铁矿资源。矿床产出的地质条件和含铁建造组合划分为上湖型和阿尔戈马型两大类。上湖型铁矿系大陆棚和冒地槽盆地边缘浅海相沉积,含铁层多沿古老地台或地槽盆地边缘分布；阿尔戈马型铁矿则属优地槽沉积环境，含铁层多赋存在前寒武纪火山岩和沉积岩带内。我国前寒武纪条带状铁矿主要分布于华北地台结晶基底，其次产于华北地台古元古代沉积盆地及扬子准地台南缘等地区，其中最重要的铁矿集中区为辽宁鞍本和冀东迁滦等地区。不少学者曾对该类矿床的氧、 碳、锶、钕同位素，稀土和微量元素作了大量研究，其硅同位素研究（丁悌平等 1994；Douthitt, 1982）文献报道还极少见。本文对我国冀东迁安铁矿、辽宁弓长岭铁矿和加拿大苏必利尔铁矿硅同位素组成作了初步对比研究。

1 矿区地质概况

（1）迁安(水厂)铁矿。 位于华北地台北缘内蒙地轴东部。条带状铁矿呈层状、似层状和扁豆状产于中太古代迁西群三屯营组二段地层中。三屯营组由一套深变质的斜长片麻岩、斜长角闪岩组成,局部夹磁铁石英岩、磁铁辉石岩和含铁石英岩建造。矿区岩石普遍受强烈变质作用，变质程度属麻粒岩相。岩石同位素年龄 30～34 亿年(Rb-Sr 法、K-Ar 法，中国地质科学院地质所、力学所，1980)。矿区位于水厂－磨石庵复式向斜内。矿区断裂构造发育，东西向断裂多呈等间距分布、对矿体影响不大；NE 向断裂与主期褶皱同时形成，常破坏向斜轴部铁矿体完整性；此外尚发育 SN 向、NEE 向和 NW 向断裂，这些断裂对矿体破

第一作者简介 万德芳，女，1950 年生，研究员，从事稳定同位素研究。

坏不大。矿区东北有紫苏花岗岩出露，同位素年龄为 25～26 亿年❶，系区内最早的岩浆活动产物。矿石矿物主要为磁铁矿、假象赤铁矿，脉石矿物为石英、透辉石、角闪石和黑云母等。矿石具条带状、片麻状和块状构造。

（2）弓长岭铁矿。位于华北地台北缘胶辽隆起西北部。矿区出露地层主要为太古宙鞍山群茨沟组、奥陶系和第四系。与成矿有关的鞍山群茨沟组为一套变质较深的变粒岩、片岩和云母石英片岩。矿区地处弓长岭背斜北翼，区内断裂较发育，主要为 NE 向和 NW 向断裂。NE 向断裂规模较大、常构成区域性断裂; NW 向断裂多为走向逆断层，断距较大，对铁矿的连续产出有破坏。条带状铁矿呈层状、似层状产于茨沟组变质岩系内, 7 个含铁层构成上下两个含铁带。下含铁带内有 3 层铁矿(Fe1、 Fe2 和 Fe3)，上含铁带有 4 层铁矿(Fe4、 Fe5、Fe6 和 Fe7)，上下带以钠长变粒岩、片岩层(K 层)作为划分标志层。含铁岩系上下盘均为混合花岗岩。弓长岭混合花岗岩在二矿区西南部出露、同位素年龄为 24 亿年，麻峪混合花岗岩在矿区东北出露，同位素年龄为 19 亿年（姚培慧，1993）。矿石矿物主要为磁铁矿、赤铁矿、假象赤铁矿和少量褐铁矿，脉石矿物主要为石英、角闪石、石榴石和黑云母等。铁矿石具块状、条带状和片麻状构造。

（3）苏必利尔铁矿。系阿尔戈马型铁矿床，位于加拿大地盾苏必利尔构造省南部的米契皮可坦地区。矿区主要出露前寒武纪米契皮可坦岩系和道尔岩系，前者时代较老，为一套火山碎屑岩、火山岩和火山杂岩，后者时代稍新，为一套浅海相沉积岩，二者可与美国密执安州中前寒武纪休伦岩系对比。条带状铁矿呈似层状、透镜状产于米契皮可坦岩系中部含铁建造中，并呈不整合覆于米契皮可坦岩系火山碎屑岩之上，被该岩系的安山质火山岩和杂砂岩覆盖。含铁建造中矿物相分布与火山活动中心相关，硫化物相和碳酸盐相集中分布在火山活动中心，氧化物相则远离中心分布。含铁层由磁铁矿、赤铁矿、铁质灰色燧石或碧玉燧石的交互条带组成，矿石具条带状或纹层状构造，单个含铁层厚度变化大，有的沿走向长度偶达数公里。

2　硅同位素组成的基本特征

本文从我国迁安铁矿、弓长岭铁矿（蒋少涌等，1992）和加拿大苏必利尔铁矿共分析了 22 个硅同位素数据(见表 1)，其组成具如下特点：

表 **1**　前寒武纪条带状铁矿的硅同位素组成

铁矿区	岩石类型	测定样品	样品数量	$\delta^{30}Si_{NBS-28}$ / ‰	采样位置
迁安	上部斜长片麻岩	全岩	3	－0.4～－0.1	矿体上部围岩
	磁铁石英岩	石英	2	－1.4～－0.8	主矿体
	磁铁石英岩	角闪石	2	－0.9～－1.0	主矿体
	下部斜长片麻岩	全岩	2	－0.3～－0.1	矿体下部围岩
弓长岭	上混合花岗岩	全岩	2	－0.1～0.2	上盘混合花岗岩
	上部云母石英片岩	全岩	2	－0.4～0.0	矿体上部浅粒岩
	磁铁石英岩	全岩	2	－1.3～－1.2	上含铁带
	磁铁石英岩	石英	2	－1.0～－0.9	上含铁带
	斜长角闪岩	全岩	2	－0.6～－0.2	上含铁带内角闪岩层
	磁铁石英岩	全岩	2	－1.3～－2.2	下含铁带
	角闪片岩	全岩	2	－0.1～0.1	下含铁带内片岩层
	黑云变粒岩	全岩	2	－0.3～0.0	K 层(标志层)
	下部云母石英岩	石英	2	－0.1～0.0	矿体下部云母石英岩
	下混合花岗岩	全岩		－0.3～0.0	下盘混合花岗岩
苏必利尔	磁铁石英岩	石英	2	－1.6	矿体

注：全岩和角闪石样品经化学处理,提纯 SiO_2。

（1）含矿围岩的 $\delta^{30}Si$ 组成。迁安铁矿上部围岩为斜长片麻岩，其 $\delta^{30}Si$ 为－0.4‰～－0.1‰，下部

❶ 周学禹等. 1982. 冀东前震旦纪沉积变质铁矿形成地质条件与成矿预测研究报告（未刊）.

斜长片麻岩为－0.3‰～－0.1‰，5 件围岩样品 δ^{30}Si 为－0.4‰～－0.1‰，其原岩可能为中性－中酸性火山碎屑岩；弓长岭铁矿上部围岩为云母石英片岩，其 4 件样品(全岩)的 δ^{30}Si 为－0.4‰～0.0‰，K 标志层中黑云母变粒岩 δ^{30}Si 为－0.3‰～0.0‰，其原岩推测为含火山灰的中酸性火山熔岩。上含铁带角闪岩层中斜长角闪岩 δ^{30}Si 为－0.6‰～－0.2‰，在地球镁铁质岩石 δ^{30}Si 值〔(－0.4±0.2）‰〕范围内，这一结果与其原岩为拉斑玄武岩的认识（翟明国等, 1989）相一致。下含铁带内片岩层的两件角闪片岩样品 δ^{30}Si 为－0.1‰～0.1‰，略高于斜长角闪岩，这种硅同位素变化可能是其原岩有部分陆源碎屑物混入。研究中还对弓长岭铁矿下盘的硅质岩层内石英作了样品分析，其 δ^{30}Si 为－0.1‰～0.0‰，表明原岩应为泥质粉砂岩。混合花岗岩的 4 件全岩样品 δ^{30}Si 值为－0.3‰～0.2‰，岩石中石英的 δ^{30}Si 值为－0.1‰，变化很小，不难看出弓长岭铁矿区混合花岗岩的 δ^{30}Si 值在正常花岗岩类的变化范围之中，其原岩当属花岗岩类岩石。

（2）矿体的 δ^{30}Si 组成。迁安铁矿磁铁石英岩中石英 δ^{30}Si 值为－1.4‰～－0.8‰，明显低于含矿围岩(－0.4‰～－0.1‰),矿石中角闪石 δ^{30}Si 值为－1.0‰～－0.9‰，也低于围岩而接近磁铁石英岩；弓长岭铁矿上含铁带矿石 δ^{30}Si 值为－1.3‰～－1.2‰，下含铁带矿石为－1.3‰～－2.2‰，全矿区硅质岩之 δ^{30}Si 在－2.2‰～－0.9‰间，变化范围较大。同时我们注意到，上铁矿带中石英 δ^{30}Si 值为－1.0‰～－0.9‰、变化较小，斜长角闪岩夹层的 δ^{30}Si 值为－0.6‰～－0.2‰，下含铁带片岩夹层中角闪片岩 δ^{30}Si 值为－0.1‰～0.1‰，表明铁矿夹层的岩石 δ^{30}Si 明显高于矿石；苏必利尔铁矿矿石中石英 δ^{30}Si 为－1.6‰。上述前寒武纪条带状铁矿的 δ^{30}Si 值较负，这种硅同位素组成说明这类矿床有着相同的成矿构造环境和相同或大致相同的成矿条件。

3 讨 论

前寒武纪条带状铁矿是地球历史上最早形成的沉积铁矿床,其含铁建造在研究地球历史早期的成矿构造环境演化方面有着至关重要的理论意义。有关这类矿床的成因目前存在各种解释和不同的认识。

我们对华北地台前寒武纪条带状铁矿和加拿大苏必利尔铁矿硅同位组成的对比研究可看出：① 含矿围岩 δ^{30}Si 值均高于磁铁石英岩；② 条带状磁铁石英岩 δ^{30}Si 值均为负值；③ 条带状磁铁石英岩 δ^{30}Si 值变化范围较大；④ 矿石夹层中岩石 δ^{30}Si 值明显高于矿石(磁铁石英岩), 不同成因夹层岩石, 其 δ^{30}Si 值也不同。如弓长岭铁矿上含铁带内斜长角闪岩夹层 δ^{30}Si 值为－0.6‰～－0.2‰, 接近地球镁铁质火成岩值。下含铁带内片岩夹层角闪片岩 δ^{30}Si 值为－0.1‰～0.1‰, 接近正常沉积的碎屑岩。

据上述前寒武纪条带状铁矿硅同位素组成特征, 结合我们对大量地球岩石样品硅同位素研究, 可逐一排除 δ^{30}Si 值较负的粘土岩和生物硅质岩 (硅藻土、海绵骨针和深海放射虫等硅质岩) 为其原岩的可能性。前寒武纪条带状铁矿的 δ^{30}Si 值虽然与热泉成因硅华和海底“ 烟囱物质 ”的 δ^{30}Si 接近, 但这类矿床分布范围广、含铁建造规模巨大, 与只具有局部意义的热泉成因硅华和海底 “ 烟囱物质 ” 又明显存在矛盾。因此, 我们认为前寒武纪条带状铁矿系火山热液喷气作用形成, 其硅质源自前寒武纪海水中溶解的 SiO_2。在周期性火山热液喷气过程中, 当时海水的 pH 值发生周期性变化, 导致海水中 SiO_2 溶解度变化而形成硅质条带与铁质条带的韵律性沉积。硅在整个沉淀过程中产生了动力分馏, 先沉淀轻硅同位素, 且每次沉淀量只占整个溶液中 SiO_2 的较小部分, 磁铁石英岩中的硅质就是先沉淀下来的, 其 δ^{30}Si 值较负。因此, 该类型铁矿应属前寒武纪海底火山-沉积环境中热水化学沉积产物。

参 考 文 献

丁悌平，蒋少涌，万德芳，等. 1994. 硅同位素地球化学. 北京：地质出版社.

蒋少涌，丁悌平，万德芳，等. 1992. 辽宁弓长岭太古代硅铁建造的硅同位素组成特征. 中国科学(B 辑), (6).

姚培慧. 1993. 中国铁矿志. 北京：冶金工业出版社. 279～296.

Douthitt C B. 1982. The geochemistry of the stable isotope of silicon. Geoch. et Cosmoch. Acta. 46, 1449.