

山东金矿成矿地球动力学背景的初步讨论*

Discussion on Geodynamic Background of Mesozoic Gold Metallogeny in Shandong

叶 杰 刘建明 李永兵 姜 能 李潮峰

(中国科学院地质与地球物理研究所矿产资源研究重点实验室, 北京 100101)

Ye Jie, Liu Jianming, Li Yongbing, Jiang Neng, Li Chaofeng

(Key Laboratory on Mineral Resources, Institute of Geology and Geophysics CAS, Beijing 100101, China)

摘 要 山东众多金矿床尽管矿化类型、产出空间、地质背景不同,成矿时代都集中在(115±10) Ma(早白垩世中期)这一狭短的时段内,暗示它们都受某次统一的重大地质事件的制约。金矿石中碳酸盐矿物以及鲁西同时代火成碳酸岩显示,成矿流体中的CO₂很可能来自深部(地幔)。早白垩世正是华北东部中生代动力学体制转折的关键时段,此时华北东部岩石圈开始剧烈减薄、郯庐断裂带强烈拉张、火山-岩浆活动、尤其是深源(幔源)岩浆活动最为强烈。这也与部分学者提出的超级地幔柱的高潮时段相吻合,暗示可能有深部物质和热能的大规模强烈上涌。因此,山东金矿床的形成可能是(115±10) Ma前后一次大规模的深部物质和能量上涌的结果。

关键词 金矿床 早白垩世 深部流体 山东

金属矿床空间分布的极端不均匀性乃是地球表面最为引人注目的特征之一,形成这种金属矿床巨型矿集区的制约因素和地球动力学背景,正在成为研究热点。胶东半岛乃是我国最著名的巨型金矿集中区,数十年来几代人的研究工作积累了丰富的资料和有益的认识。本文仅就目前的最新成果结合我们的近期研究,试图探讨山东金床成矿的地球动力学背景。

山东位于华北克拉通东缘,北北东向的郯庐断裂带纵贯全省将其分为鲁西和胶东。鲁西具有典型的华北克拉通变质基底(中晚太古界泰山群),上覆晚元古界-古生界的地台型盖层沉积(未变质),显示了较为典型的克拉通双层结构模式。胶东的南北两端分别是胶南隆起和胶北隆起,中间夹胶莱盆地,接受了巨厚的白垩系陆相火山-碎屑沉积。胶北隆起的基底是晚太古代胶东群中高级变质岩,其上及早元古代荆山群/粉子山群中高级变质的泥砂质碎屑岩-碳酸盐岩。胶南隆起沿五莲-荣成断裂带南侧发育的区域性超高压榴辉岩带,被认为是秦岭-大别超高压变质带的东延部分,代表着三叠纪华北/华南大陆深俯冲带。胶东广泛发育燕山期花岗质侵入岩、火山岩以及北北东向构造线。

山东金矿强烈集中在胶北隆起及其边缘,鲁西和胶南则较少见。传统意义上的胶东金矿是指产在胶北隆起深成侵位花岗岩及其变质围岩中的破碎带蚀变岩型和石英脉型金矿床,其次是与浅成侵位的中-酸性小岩体以及次火山岩有关的浅成热液脉型、爆破角砾岩型、乃至斑岩型-矽卡岩型金矿床(仅为叙述方便简称“斑岩型”)。近年又发现了一类潜力很大的新类型,即沿胶莱盆地边缘产出、由盆地底部砾岩或层间滑脱角砾岩容矿的盆地边缘砾岩型金矿床。它们在成矿地质背景和矿床地质-地球化学特征等方面都有很大的差异。

1 山东金矿带成岩-成矿时代的启示

* 受科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-07)的资助。

第一作者简介 叶杰,男,1961年生,助研,沉积地球化学。

人们曾尝试用不同的定年方法测定石英脉型-破碎带蚀变岩型金矿的成矿时代,最准确的方法是,对直接穿插矿脉的成矿前、成矿期和成矿后岩浆岩(包括脉岩)时代的精确测定,或直接测定矿石中黄铁矿等硫化物以及共生的绢云母、钾长石、方解石等矿物的 Rb-Sr 等时线年龄。此外还可测定矿体及其两侧矿化蚀变带中绢云母、钾长石、石英等矿物以及黄铁绢英岩等含金蚀变岩的 K-Ar/Ar-Ar 和 Rb-Sr 等时线年龄,但往往会因为蚀变不彻底或同位素体系受后期地质作用的干扰而出现年龄偏老或偏新的现象。而矿脉中石英流体包裹体的 Rb-Sr 等时线定年则经常给出相对偏老的年龄数据。据此,我们调研了大量文献数据,精选了近年出现的较为可靠的年龄数据。明显的结论是:尽管胶北隆起上的石英脉型-破碎带蚀变岩型金矿数量多、分布广,但它们的成矿时代都集中在(115±10) Ma 这一狭小的时间范围内(张振海等, 1994; 苗来成等, 1997; 杨进辉, 2000;)。斑岩型(爆破角砾岩型)金矿床的成矿时代与其赋矿斑岩体的时代基本一致或稍微滞后,其成矿时代也集中在(115±10) Ma。盆地边缘砾岩型金矿床的研究程度低,但因金矿体受到与青山组火山岩(107~127 Ma)同期的次火山岩脉的穿插,矿石中绢云母的 K-Ar 定年给出了 105 Ma (孙丰月等, 1995),因此其成矿时代也大致在(115±10) Ma 左右。可见,山东金矿床尽管矿床类型、分布区域、产出地质环境等都完全不同,但其成矿时代却都集中在(115±10) Ma 这一狭小的时间范围内。这是否暗示它们都是(115±10) Ma 前后某次重大地质事件的结果?显然,这种统一的、大区域的制约因素不会是浅部的局部因素,而更可能是一种深部因素。

综合最新同位素定年成果,可将胶东中生代岩浆岩(包括侵入岩、火山岩、次火山岩、脉岩)分成 3 期:①早期的玲珑型和溱家河型花岗岩(晚侏罗世, 160~135 Ma),以深成侵位的、大的花岗岩岩基为主,主要产出在胶北隆起以及胶南隆起,据研究主要是壳源花岗质岩浆;②中期(早白垩世, 135~95 Ma)不仅包括了郭家岭型和艾山型花岗闪长岩(侵位稍浅的、较小的岩基、岩株和斑岩体),而且还包括了早白垩世的青山群火山岩-次火山岩,以及大量的高钾基性-中性脉岩,据研究主要是富集地幔来源的岩浆;③燕山晚期(晚白垩世, < 95 Ma)主要指崂山型碱性花岗岩和一些高钾基性-中性脉岩。有趣的是,山东金矿的主成矿时代(115±10 Ma)刚好对应中期那次深源岩浆活动!从而不禁使人们联想到,这次深源岩浆活动可能正是胶东金矿形成的统一背景。

2 同位素地球化学的启示

如果上述推论属实,山东金矿不仅应在成矿时代上,而且还应该在其它某些方面也显示受某种统一的深部因素制约的迹象。

鲁西莱芜-淄博一带出露有火成碳酸岩脉,为含云母的方解石碳酸岩,来源于富集地幔(储同庆等, 1992)。其云母的 K-Ar 年龄为 123~135 Ma,与山东金矿的成矿时代基本一致而略早。这些小岩脉(厚度仅数米至十几米)侵入于古生代海相碳酸盐地层中。鲁西火成碳酸岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 类似或略大于典型的火成碳酸岩,而 $\delta^{18}\text{O}$ 值则向海相沉积碳酸盐的方向明显漂移,脉内的灰岩角砾和脉旁的灰岩则向火成碳酸岩漂移,二者之间显然发生了较强的氧同位素交换。胶东金矿田内煌斑岩等暗色脉岩中的碳酸盐矿物(尤其是碳酸盐球颗)可能是富 CO_2 的硅酸盐熔浆熔离出的碳酸盐熔滴或岩浆期末的富 CO_2 挥发份作用的结果。其碳氧同位素组成与鲁西同时代的火成碳酸盐岩相似,而 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 略低,更接近典型的火成碳酸岩。因此,鲁西火成碳酸岩和胶东煌斑岩相互映证,大致勾画出了山东中生代幔源碳酸盐岩浆在受到一定程度的壳源混染后的碳氧同位素组成特征。

山东几类金矿的流体包裹体研究都显示,成矿流体富 CO_2 、成矿的较晚阶段或主成矿阶段大都有碳酸盐矿物的生成。本次研究系统采集了以下 4 个矿区含碳酸盐矿物的矿石样品:焦家金矿(胶北隆起西段,破碎带蚀变岩型)、乳山金矿(胶北隆起东段,石英脉型)、七宝山金矿(郯庐断裂带边缘,爆破角砾岩型)、以及彭家夼金矿(盆地边缘砾岩型)。X-衍射粉晶分析和显微镜观察表明,矿石中与金矿化有关的碳酸盐矿物主要是菱铁矿和方解石。共分离并测试单矿物 100 余个,样品数据显示:①山东不同地区、不同类型的金矿具有十分相似的碳氧同位素组成($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 主要集中在 -6‰~-2‰ 之间, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 主要集中在 +9‰~

+13‰之间),可能指示了某种相对统一的CO₂来源,确实显示了某种统一的制约因素。② 这一数据分布特征与前述同时代来自富集地幔的火成碳酸盐岩十分相似,因此这一优势性的、统一的CO₂来源最有可能是来自深部的富集地幔,并可能有少量地壳沉积碳酸盐混染。③ $\delta^{13}\text{C}$ 值从蚀变岩型→石英脉型→斑岩型依次升高,正与它们的成矿就位深度依次变浅的顺序相吻合。

此外,人们早就发现,山东众多金矿床矿石中硫化物的硫同位素组成十分相似:① 每个矿床内部的 $\delta^{34}\text{S}$ 值离散度小, $\delta^{34}\text{S}$ 值的极差通常小于5‰;② 数十个矿床的数百个样品的 $\delta^{34}\text{S}$ 值都位于+1‰~+11‰之间,主要集中在+3‰~+8‰的狭小范围内。这通常被解释为以深部幔源硫为主、受壳源硫部分混染。本次研究调研了大量的文献资料并有针对性地补充测试了部分样品,再次验证了这一认识。山东金矿的矿石铅同位素也很有意思,尽管各人解释不同,但铅同位素数据相对集中,占据较小的数值区域,也大致显示出受某种统一因素的制约。

3 深源(地幔)流体及其成矿能力

目前对地幔(深源)流体及其成矿能力的认识已经有了长足的进步。概而言之,深源流体属C-H-O体系而且以CO₂作为主要成分,其次是H₂O。CO₂在深部流体中的重要性远远超过其在地壳浅部流体中,这可能是胶东金矿床矿石中的石英大多富含CO₂流体包裹体的原因之一。地幔流体具有使溶质和各种微量元素活化和再沉淀的特性,因而在各种交代作用和流岩反应过程中异常活跃。业已证明,这种流体可以含非常高的成矿金属元素(包括金),具有很强的成矿能力,即使被地壳浅部流体成百倍地稀释后其成矿能力仍然高于我们通常意义上的成矿流体(Scott, 2000 年学术报告),这很可能与超临界CO₂极强的萃取和携带搬运能力有关。

地幔流体可能包括了地幔去气作用和深俯冲板片脱水脱气作用产生的流体,后者不仅指大洋俯冲板片,在胶东更可能涉及深俯冲的大陆板片。而这些过程都能造成地幔流体同位素(尤其是碳氧同位素)组成的变化。在地幔去气过程中,由于CO₂相对于碳酸盐稍微富集¹³C和¹⁸O,所生成的CO₂将相对于原始地幔碳酸盐富集 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 。因此,山东金矿床碳酸盐矿物的 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 值高于原始地幔碳酸盐的原因,既可能是成矿流体运移演化并在地壳浅部成矿定位过程中同位素交换/混染甚或分馏的结果,也可能是深俯冲大陆板片的混染,或是地幔去气过程自身带来的结果。胶东与金成矿密切相关的燕山中期岩浆岩的富集地幔源区以及鲁西同时代火成碳酸盐岩的富集地幔源区,是否与深俯冲大陆板片的脱水脱气以及相关的壳幔交代作用有关?而山东金矿强烈集中在胶北隆起,难道是深俯冲大陆板片脱水脱气的主要区段垂向上在地壳浅部的响应?

4 山东金矿成矿与华北东部中生代动力学体制转折的关系

华北东部在古生代末—中生代初经华北克拉通北(兴蒙)、南(秦岭—大别—苏鲁)两条东西向碰撞造山带焊接而成为欧亚大陆东缘的一部分,随后强烈卷入到北北东向的滨太平洋构造域,地球动力学体制在中生代发生了显著的变革:① 构造体制的急剧转折:中生代早期,南北边缘的碰撞造山作用趋于结束,因此南北向的挤压体制向中生代中期—新生代的近东西向拉张体制转变,古生代近东西的构造线方向转变为北北东向为主的中生代构造线;② 岩石圈剧烈减薄:华北东部厚达200 km的古生代大陆型岩石圈,中生代后减薄到不足80 km,白垩纪末—老第三纪的基性岩浆岩显示了很薄的大洋型岩石圈地幔,而且岩石圈厚度在这以后又开始显示缓慢增厚的趋势(吴福元和孙德友,1999);③ 大陆深俯冲:沿大别—苏鲁碰撞造山带华南大陆壳曾俯冲到地幔深处,强烈的壳幔相互作用深刻地影响着岩石圈演化的方式和进程;④ 强烈而又频繁的岩浆—火山活动;⑤ 地壳物质的剧烈变形、重组和重熔;⑥ 大规模的流体成矿作用;⑦ 陆相含油气裂陷盆地广泛发育。尽管已经积累了较多的资料和认识,但目前对这一重大事件的时间演化和空间迁移序列、尤其是地球动力学机制,仍然不甚清楚。可能有下列两方面的主导原因:① 自中生代以来

周边地区强烈相互作用的综合影响,包括:东边的古太平洋板块的俯冲消减作用;北部古亚洲洋和蒙古-鄂霍茨克海闭合;南部的大陆深俯冲作用;以及西南特提斯域碰撞造山作用和印度-欧亚板块碰撞的远程效应等;②深部上升地幔热柱的作用。

王小凤等(2000)将郯庐断裂带的形成演化过程划分为4个阶段,其中从早白垩世至老第三纪为郯庐断裂带的拉张期,明确提出郯庐断裂带的引张始于早白垩世,主要表现为沿断裂带的裂隙式火山喷发和断裂带两侧伸展盆地的面状火山喷发。位于胶北隆起和胶南隆起之间的胶莱盆地是一个与郯庐断裂带的左行走滑有关的早白垩世走滑拉分盆地。盆地充填柱中部的青山群中-基性火山岩(107~127 Ma)分布广厚度大,代表了盆地演化中期强烈的岩石圈拉张、减薄、增温、基底破裂、以及大规模岩浆活动——火山喷发。而这一时段正是山东金矿的成矿高峰期[(115±10) Ma]。有趣的是,这一时间还与Larson(1991)提出的引起地球最近一次脉动的超级地幔柱的高潮时段(125~100 Ma),以及古地磁研究得出的古太平洋板块向西斜向俯冲的高速时段(135~85 Ma)相吻合。

这些相互关联的现象表明,早白垩世山东深源岩浆活动、尤其是火山喷发强烈的时期,可能正是东部岩石圈减薄作用最为强烈、构造应力场从挤压走滑转向伸展走滑、郯庐断裂开始发生强烈引张、深部物质和能量大规模强烈上涌的关键时段。一方面形成了众多的火山-次火山-浅成-深成侵入杂岩,另一方面还可能以流体上升羽的形式形成众多的金矿床。尽管由于深部流体上升的路径不同、流体卸载成矿的机制和具体环境不同,但都受同一次深部物质-热能上涌事件的制约。这样似乎可以解释“山东金矿尽管矿化类型、产出空间、以及地质背景不同,大都显示出受早白垩世中期[(115±10) Ma]某次统一的重大地质事件的控制”这一现象。实际上,这也就是山东金矿形成的地球动力学大背景。因此,山东金矿床的形成可能是(115±10) Ma前后一次大规模的深部物质和能量上涌的结果。而深切岩石圈地幔的郯庐断裂带及其东侧的强烈拉张,加上深俯冲大陆板片的深部作用,可能是造成金矿床在胶北隆起大规模集中的重要因素。

致谢:野外工作中得到山东乳山金矿、三甲金矿、邓格庄金矿、大业金矿、焦家金矿、三山岛金矿、岭南金矿、七宝山金矿、归来庄金矿以及山东地勘局地质三队的支持和帮助,室内研究中得到侯泉林、杨进辉、周新华、沈远超、霍卫国、储雪蕾、仇艾夫、张宏福、张福勤、翟明国等老师和同事的帮助,谨致谢忱!

参 考 文 献

- 储同庆,王鹤年,朱法华. 1992. 鲁中地区碳酸岩稀土元素地球化学[J]. 南京大学学报(地球科学版), 4 (1): 10~17.
- 苗来成,罗镇宽,黄佳展,等. 1997. 山东招掖金矿带内花岗岩类侵入体锆石 SHRIMP 研究及其意义[J]. 中国科学, 27: 207~213.
- 孙丰月,石准立,冯本智. 1995. 胶东金矿地质及幔源 C-H-O 流体分异成岩成矿[M]. 长春: 吉林人民出版社. 1~170.
- 王小凤,李中坚,陈柏林,等. 2000. 郯庐断裂带. 北京: 地质出版社. 185~217.
- 杨进辉. 2000. 胶东地区金矿床成矿时代及其成矿地球动力学背景——兼论壳幔相互作用与成岩成矿[C]. 中国科学院地质与地球物理研究所博士学位论文. 1~133.
- 张振海,张景鑫,叶素芝. 1994. 胶东金矿同位素年龄的厘定[M]. 北京: 地震出版社. 1~56.
- Larson R L. 1991. Latest pulse of earth: Evidence for a mid-Cretaceous superplume[J]. Geology, 19: 547~550.