

胶东玲珑-焦家式金矿床矿源岩系系列研究*

吕古贤

(中国地质科学院地质力学研究所, 北京)

提 要: 该文在前人研究成果的基础上, 通过详细分析胶东岩体形成的环境、岩石地球化学成分、同位素、稀土特征以及它们与金矿的关系, 逐步形成了金矿床矿源岩系(序)列的初步认识, 并将胶东成矿矿源岩系划分为初始矿源岩、中间矿源岩系和直接矿源岩组合。同时指出其主要找矿意义。

关键词: 金矿床矿源岩系(序)列 胶东

胶东是我国金矿最大的产量和储量基地。胶东金矿争论及研究最集中的问题即是矿化物质来源, 包括原始矿源及区内广泛发育的玲珑型片麻状花岗岩、郭家岭型花岗闪长岩和滦家河型花岗岩及其中玲珑-焦家式金矿的物质来源和成矿作用问题。还可以发现, 对3类花岗岩和变质岩, 矿床的研究多侧重于从它们的成分分析展开, 而将它们作为具体地质构造环境的组成进行探讨的较少。

胶东金矿的地质背景具备建立金矿矿源岩系演变序列及系列概念的可能条件。综合这种特点和前人成果, 作者在实际地质研究基础上逐步形成了金矿床矿源岩系(序)列的初步认识。矿源岩系是成矿物质随着其载体岩石的形成、相变、形变和变质而断续分散、运移、富集和重新分配, 直至形成矿床这一演变过程和体现这一过程的岩石组合。根据时空上与形成矿床作用亲疏远近程度, 将矿源岩系划分为初始矿源岩、中间矿源岩系和直接矿源岩组合。

1 胶东大地构造环境和金矿成矿的主要特征

胶东地处山东省东部, 大地构造位置为新华夏系巨型构造第二隆起带之胶东隆起部分, 抑或隶属于中朝准地台的胶辽地盾, 中生代以来成为地台活化, 地洼区。

中国东部地区在中生代发生了广泛的岩浆断裂活动。然而成矿作用并非受中生代构造岩浆或层位等单一因素控制, 而往往是在前中生代有利成矿地质、地球化学环境基础上, 经中生代上叠和改造的复杂过程而成生发展起来的。

本区显生宙前经历过漫长的地槽发展过程, 太古-下元古界巨厚的胶东群变质原岩, 中一基性火山-碎屑建造成生于地槽早期阶段, $2.2 \times 10^9 \sim 2.9 \times 10^9$ a; 而粉子山群碳酸盐岩建造则是晚期局部地槽阶段的产物; 胶东运动, 17.12×10^9 a, 造成大规模褶皱回返, 在局部海槽地带接受了新元古界蓬莱群陆属碳酸盐类沉积。元古宙末的蓬莱运动结束了地槽活动历史 ($700 \times 10^6 \sim 900 \times 10^6$ a 左右), 进入稳定的地台发展阶段。中生代印支-燕山运动以来

* 国家计委国土资源部科技找矿项目胶东课题 (JG947110-2) 资助

吕古贤, 男, 1949年生, 研究员。从事矿田构造及构造物理化学研究。邮政编码: 100081

($220 \times 10^6 \sim 70 \times 10^6$ a 左右), 部分地区断裂活动相当剧烈, 伴随大规模强烈岩浆活动并形成大小不等的中生代断陷盆地。盆地内发育厚近两万米的 J_3 -K 陆相碎屑间火山喷发建造。该时期, 华夏式构造, 特别是新华夏系巨型构造强烈活动。玲珑-焦家式金矿的主要成矿作用 ($>100 \times 10^6 \sim 71 \times 10^6$ a 左右) 与其构造、岩浆活动有关 (表 1)。

表 1 胶东金矿化集中区矿源岩系(序)列主要地质演化过程简表

矿源岩系	大地构造特征	区域地质构造特征	同位素年龄及接触关系
直接矿源岩系, 交代重熔花岗岩	印支-燕山运动强烈陆内构造-岩浆活化阶段, 具优地洼环境特点 在基底上隆及区域扭动条件下, 变质岩经交代深熔重熔发生大面积多期次花岗岩化及岩浆作用; 大陆及边缘断陷盆地发育陆相碎屑、酸性-中酸性火山岩及火山碎屑岩喷发-沉积建造	中生代地体拼合之后上隆作用伴有因陆-洋壳差异运动而产生的区域反钟向扭动 “N”型构造-岩相型式控制岩浆、沉积、火山作用及金矿的形成而成生发展起来的 $170 \times 10^6 \sim 70 \times 10^6$ a..... 花岗岩 Rb-Sr 年龄: ($154 \sim 125$) $\times 10^6$ a 117 $\times 10^6$ a Ar-Ar 年龄: 164 $\times 10^6$ a 134 $\times 10^6$ a
.....	新元古代陆台沉积-盖层阶段, 蓬莱群为陆盆边缘沉积、碳酸盐夹粘土岩、碎屑岩建造 蓬莱运动产生次绿片岩相, 之后陆核上升	可以识别出北西西-北西走向的区域劈理、褶劈和小褶皱形成作用	($230 \sim 180$) $\times 10^6$ a 850×10^6 a.....
中间(衍生)矿源岩系, 角闪岩相变质岩	胶东运动 II 幕, 区域变质作用产生绿帘角闪岩相-低角闪岩相变质建造 胶东运动 I 幕, 区域变质作用发生角闪岩相变质, 局部出现麻粒岩相建造	北东向构造复合东西向构造形成反“S”状弧形断褶-变质岩相型式, 晚期为透入性劈理流褶曲, 早期为复式褶皱及多期塑性流变变形 2000×10^6 a..... U-Pb 年龄: ($2484 \sim 1830$) $\times 10^6$ a 2500×10^6 a.....
初始矿源岩系, 海底镁铁质火山沉积岩	古元古代大洋裂谷-岛弧火山喷发-火山沉积旋回, 发育超镁铁质-铁镁质火山喷发岩及沉积岩; 晚期边缘沉积盆地有碳酸盐岩、粘土和碎屑岩建造 新太古代大洋中脊火山喷发-火山沉积旋回, 有大洋超铁镁质岩, 拉斑玄武岩和碳酸岩、粘土碎屑火山沉积岩建造	近于东西向展布的及延长的古陆核初步形成, 核内流褶曲发育, 新太古界为核, 古元古界介于核外发育分布	英云闪长岩 U-Pb 年龄: 2858 $\times 10^6$ a 2615 $\times 10^6$ a 2610 $\times 10^6$ a 2664 $\times 10^6$ a

2 矿源岩系的主要地质及岩石、地球化学特征

矿源岩系是相对矿床而言的。对于玲珑-焦家式金矿来说, 区内以胶东群为代表的前寒武纪变质岩系被划为中间矿源岩, 而其以海底中基性火山岩到钙质及泥质碎屑岩为主的太古-元古宙沉积原岩视为初始矿源岩, 主要在中生代交代重熔变质而成的花岗岩是直接矿源岩系。

矿源岩系的同源演变明显可从地质、岩矿地球化学特征反映成矿环境及其变化特点。胶东群原岩建造为一套基性火山岩为主的火山-沉积建造。火山沉积的低钾拉斑玄武岩浆分异

作用明显。以角闪岩相为主，局部达麻粒岩亚相。变质岩不同程度地保留有原岩特征。

胶东群为主的变质岩与后期花岗岩岩石以渐变关系为主。花岗岩主要在变质岩区内发育。花岗岩中含有大量老地层残留体，花岗岩的结构构造和残留体展布多同附近岩层及区域构造方向协调。在玲珑花岗岩中由残留的变质岩甚至可以恢复出复式褶皱的轮廓，这些都是老地层基础上交代重熔演化而来的证据。但是从早到晚，在花岗岩中残留体的含量变少，较晚期的滦家河花岗岩显示更多的侵入接触关系和更强的岩浆作用特征。并且岩浆岩之间，它们和变质岩之间缺乏有规律的热接触变质带，总体是渐变过渡关系为主。

矿源岩系岩石化学的因袭性及变化表现在：各类岩石组合的量比，主要造岩矿物、造岩元素及造矿元素虽然有所差别，但都在一定的幅度内、在一定范围里变化。 SiO_2 、 K_2O 和 Na_2O 依老地层变质岩、残留体、玲珑型片麻状花岗岩、郭家岭型花岗闪长岩到滦家河型花岗岩的次序呈增长趋势，而 CaO 、 Fe_2O_3 、 FeO 逐渐降低。化学成分这种变化反映，在同样的化学背景下以碱质、硅质交代特色进而达部分重熔花岗岩化的演变过程。

玲珑-焦家式金矿及其矿源岩系的成生时间序列建立在大量的地质研究基础之上，特别是近年大量同位素地质年龄测试研究。同位素研究还从不同方面反映矿源岩系的同源性和差异特征。岩石、矿石硫化物硫同位素组成特征是， $\delta^{34}\text{S}$ 平均值正向偏离陨硫，分布在 $6.7\text{‰} \sim 12.4\text{‰}$ 范围。矿石平均 9.1‰ ，花岗岩平均在 9.5‰ ，胶东群平均 7.4‰ 。反映矿源岩系均以富集重硫为特点，矿石硫源于地层，但矿石硫同位素更接近于直接矿源岩，花岗岩的硫同位素组成、而与中间矿源岩的差别更大一些。

矿床、花岗岩和胶东群岩石中的铅同位素特征颇为一致。它们的模式年龄按B R Doe公式计算，矿床在 700×10^6 a左右，胶东群是 760×10^6 a左右，表明均为古老铅，并且矿床 Th/U 值、A值与地层的也相近。前者4.17和9.24，后者为4.02和9.31，说明源区一致。但是，在 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图上，玲珑-焦家式金矿的样品点集中而方向不明显，在老地层中的金矿样品铅同位素组成变化大，样品较分散但有方向性。两者铅同位素组成在投影图上的分布范围首尾相连。后者的铅构成一条二次等时线。但前者，花岗岩中矿床的铅均为正常铅。两者与单段铅演化线的交点均为 850×10^6 a，反映初始铅源是一致的，但直接来源及演化过程不同。区内氢、氧同位素有较丰富的研究资料积累。测试分析结果在 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ 图上显示出，花岗岩、变质岩和矿脉氢氧同位素组成变化分别集中，变化范围较窄，且有所重叠，反映来源一致及渐变演化的特征。还表明，中间矿源变质岩类→直接矿源岩花岗岩类玲珑-焦家式金矿床→晚期浅成无石英， $\delta^{18}\text{O}$ 逐步降低， δD 值在降低过程中并有升高，说明了受变质水→岩浆水→混合岩浆水→雨水同位素环境的影响。

玲珑-焦家式金矿床矿源岩系的稀土分布特征可知，RREE值低于世界花岗岩平均值(250×10^{-6})， Eu/Eu 较大，有相似的REE地球化学特征，反映成因上的联系。还可以见到，从中间矿源岩→直接矿源岩→矿体， ΣREE 逐渐降低，矿体形成之前有LREE/HREE逐渐变小的特征，但矿化岩石中轻稀土有相对增加的趋势。稀土资料分析表明，矿源岩系有向岩浆岩化程度更深的方向演变的特点。

变质岩、矿床中金矿物的成色分析及研究说明，胶东不同矿区、不同类型金矿金的成色分布属正态分布，即为一正态母体衍生物。胶东群中金矿物平均成色高875左右，但具明显熔蚀外形且颗粒变粗，反映是由原沉积地层中的金继承下来的。矿床多为新生金，成色较

低, 754.08。矿源系主要岩类含金性表明, 中间矿源岩岩石含金较高, 且层位从下向上含金量降低与初始矿源岩基性向酸性演化趋势一致。而直接矿源岩、3类花岗岩的含金丰度并不很高, 但衍生脉岩及交代岩金含量明显高得多。这显示出成岩晚期花岗岩中金矿质呈大规模析出的成矿过程, 也是直接矿源岩系的一个特点。

花岗岩的成因, 特别是其形成作用与矿质来源直接相关。3类岩体和金矿氧同位素资料表明, 不属于幔源成因, 并且 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 均化程度低, 初始比在0.706~0.718之间。据Powell (1972)的意见, 它们可能属壳源型, 即交代改造型花岗岩浆成因。

3 胶东玲珑-焦家式金矿床矿源岩系的地质找矿意义

玲珑-焦家式金矿床矿源岩系表现为空间上渐变过渡为主且具同源性质的岩石组合, 反映出地质演化及成矿进程, 具有重要的地质找矿研究意义。

(1) 区内该类金矿源岩系表现为渐变过渡的地质、构造相关关系, 与大地构造演化进程有关。

(2) 岩石地球化学特征表现出 SiO_2 、 K_2O 、 Na_2O 逐渐增加, 而 CaO 、 Fe_2O_3 和 FeO 逐渐减少的趋势。

(3) 矿源岩系均以正向富集重硫为特征, 铅同位素组成特征一致; 矿床和花岗岩、变质岩铅模式年龄相近, 矿化水以混合岩浆水为主, 岩石属轻稀土富集型, 重氧同位素均比较高; 但是随着矿源岩的演化, 硫、铅、氧同位素组成逐渐接近金矿, 矿液水从变质水、岩浆水向天水区漂移, 稀土表明向岩浆岩化更深的方向变化, 直接矿源岩的岩石含金偏低可以作为一个研究标志, 岩石同位素年龄是划分矿源岩系的重要数据资料。

(4) 中间矿源岩不具有重要的金矿床分布, 直接矿源岩是矿体的主要围岩, 在从早到晚的矿化过程中, 矿床分布有从岩相内部向边缘相, 进而向外接矿带一定范围集中的变化趋势。

(5) 构造结合岩相研究表明, 太古-元古宙构造-沉积岩相形式是胶东金矿化集中区范围探讨的基础。前寒武纪弧形构造-变质岩相形式与金矿带展带有关; 中生代构造-花岗岩相形式同金矿田的分布相关, 花岗岩中的断裂构造-蚀变岩带往往控制玲珑-焦家式金矿床出露位置。不同性质及级别的构造控制不同矿床类别的产出具体的分布特点、地质形态及形成作用。