

胶东矿集区金成矿系统组成与演化概论*

A summarization of the gold metallogenic system and its evolution in Jiaodong gold province

邓 军^{1,2}, 杨立强^{1,2}, 王庆飞^{1,2}, 徐 浩^{1,2}

(1 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083;

2 中国地质大学“岩石圈构造、深部过程及探测技术”教育部重点实验室, 北京 100083)

DENG Jun^{1,2}, YANG LiQiang^{1,2}, WANG QingFei^{1,2} and XU Hao^{1,2}

(1 State Key Laboratory of Geological Process and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2 Key Laboratory of Lithosphere Tectonics and Lithoprobe Technology of Ministry of Education,

China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

摘 要 由于中生代以来构造动力体制多次转换及火山-侵入岩活动形成了胶东矿集区金成矿系统。成矿类型主要以石英脉型、复合脉带型、浸染细脉带型等类型为主, 多种类型金矿多为同源成矿溶液在不同构造背景和物化条件下的沉淀产物, 从而发育类似的构造-蚀变-矿化分带结构。胶东矿集区存在 3 期成矿作用, 金成矿作用主期明显集中于燕山中期 (130~120 Ma), (含金) 银矿化为燕山晚期 (<97 Ma), 含金 (银) 铅锌矿化介于两者之间、更接近于燕山晚期 (100 Ma 前后), 区域地质事件的定年与因果分析显示这三期成矿过程的物质来源、成矿作用均受壳-幔相互作用等大尺度构造体制转折事件控制。

关键词 成矿系统; 构造-蚀变-矿化; 成矿时代; 胶东矿集区

太古宙—元古宙, 胶东地区发育了绿岩带, 金矿源系统初步形成。由于中生代以来构造动力体制多次转换, 火山-侵入岩系及与其相关的金-多金属硫化物的成岩-成矿作用发生, 形成了数百处金矿床及矿化, 其产出严格受岩石建造-成矿构造系统的联合制约, 构成了特色鲜明的成矿系统。本文即概述胶东矿集区金成矿系统的组成与演化。

1 矿床类型

据控矿断裂构造的性质、特征和矿床的位置、分布以及矿化类型等的不同, 可将胶东金矿分为石英脉型 (玲珑式)、复合脉带型 (灵山沟式)、浸染细脉带型 (焦家式)、砾岩型 (十里堡金银矿、金翅岭金矿和崖子金矿)、次火山岩型 (栖霞香奁)、层控热液叠加型 (杜家崖粉子山群碎屑岩内) 和砂金型等多种类型, 以前三种类型为主 (表 1)。

石英脉型金矿 (玲珑式) 指多阶段含金硫化物叠加于规模较大的石英脉的有利构造部位而形成的矿床 (体), 主要矿体不超越石英脉。主干剪切带控制石英脉, 石英脉的形态、规模及其中的剪切带联合控制矿体; 矿体数量多, 但单个矿体规模小; 矿石品位相对较高, 但变异性较大, 具有特高品位; I、II、III、IV 阶段矿化齐全, I 阶段石英脉巨大; 围岩蚀变以线型蚀变为主; 矿体垂向空间出露标高较大。

远离主裂面的次级脆性构造, 常可充填为细脉-网脉状矿体, 称之为复合脉带型金矿。复合脉带型金矿由一个主剪切带控制的主要矿脉和多个次级剪切带控制的支矿脉以及星散状矿体共同组成彼此相连的矿脉组合, 其整体形态呈网脉状, 它们受同一构造应力场中同序次, 不同级别的构造组合控制。主裂面产状变化处、裂隙宽度膨大处、主-次级裂隙穿切或衔接处, 是矿体产出部位, 其它地段为无矿地段, 矿体数量及规模介于石英脉型和浸染细脉带型之间, 矿体出露标高中等。矿石品位

*本文得到国家自然科学基金项目 (No. 40572063)、教育部“跨世纪人才培养计划”和教育部科技研究重点项目 (No. 03178) 的共同资助

第一作者简介 邓 军, 男, 1958 年生, 教授, 博士生导师, 主要从事区域构造、成矿流体及成矿动力学的教学和科研工作。Email: djun@cugb.edu.cn

小于石英脉型, 大于浸染细脉带型; I、II、III、IV 阶段矿化齐全, 围岩蚀变为线型-面型。其断层应变强度小, 分带结构相对较差, 成矿强度小。

表1 胶东矿集区主要类型金矿床特征对比

矿化类型	控矿构造	矿体形态、规模	矿石品位	矿石结构构造	成矿阶段	围岩蚀变	位置
石英脉型(玲珑式)	主干剪切带控制石英脉, 石英脉的形态、规模及其中的剪切带联合控制矿体	与围岩分界清楚, 数量多, 单个矿体规模小, 形态复杂	品位相对较高, 但变异性较大, 具有特高品位	致密块状、网脉状、浸染状构造; 晶粒状、填隙、溶蚀、压碎、包含结构等	I、II、III、IV 阶段矿化齐全, I 阶段石英脉巨大	线型蚀变为主	垂向空间出露标高
复合脉带型(灵山沟式)	主干剪切带和次级剪切带联合控制主矿脉和支矿脉构成矿脉组合	介于石英脉型和浸染细脉带型之间	小于石英脉型, 大于浸染细脉带型	介于石英脉型和浸染细脉带型之间	I、II、III、IV 阶段矿化齐全	线型-面型矿化	出露标高中等
浸染细脉带型(焦家式)	受韧性剪切带、碎裂岩带(局部片理化带)和脆性剪切带复合控制	与围岩分界模糊, 数量少, 单个矿体规模较大, 宽脉状、透镜状, 与剪切带平行	品位相对较低, 但变异性较小, 一般不具特高品位	脉状、细脉浸染状构造和晶粒状结构为主	I 阶段矿化缺乏或规模很小, II、IV 阶段矿化发育, III 阶段矿化相对不发育	面型矿化为主	出露标高小

在紧靠主裂面下盘受到广泛的碎裂作用和热液蚀变作用, 往往形成浸染型-细脉型金矿, 称之为浸染细脉带型金矿。浸染细脉带型金矿受韧性剪切带、碎裂岩带(局部片理化带)和脆性断裂带复合控制, 矿体数量较少, 单个矿体规模较大, 而且产状稳定, 矿体与主裂面总体走向一致, 但主裂面上往往无工业矿体。数个矿体断续产于破碎蚀变带中, 其中主矿体占总储量的绝大部分, 矿体出露标高小。I 阶段矿化缺乏或规模很小, II、IV 阶段矿化发育, III 阶段矿化相对不发育。浸染状、细脉状矿化发育, 面型矿化为主。次级羽状裂隙往往控制了脉状矿体产出, 尽管其数量较少, 但对矿石品位变异有重要影响。矿石品位相对较低, 但变异性较小, 一般不具特高品位。

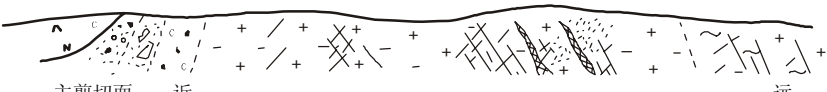
2 构造-蚀变-矿化分带结构

由于成矿作用过程中, 各成矿阶段的构造活动和蚀变及矿化特征有很大的差异性, 不同阶段的蚀变矿化产物常在空间上重复和叠加; 同时, 不同的构造蚀变具有差异的找矿指示意义, 因此深入研究分析成矿系统构造-蚀变-矿化分带规律, 建立分带模型, 不仅是成矿系统动力学研究的内容, 而且对于隐伏区及矿床深部的找矿预测具有重要的指导作用。构造-蚀变-矿化分带体现着构造动力与物质成分之间的相关性, 而这种分带性在胶东的矿带、矿田、矿床中具有良好的自相似性。为此, 作者采用对比分析法, 以焦家金矿床为例详细剖析, 以点代面, 从构造变形岩相和蚀变矿化分带特征及其分带机制等几个方面, 探究胶东地区成矿系统整体分带特征及形成机制。结果表明, 构造-蚀变-矿化分带是一个统一整体, 在构造动力作用下, 不同构造应变带的构造应力、构造变形岩相组合及构造物理化学条件不同, 从而控制了矿化蚀变的形成与分布。构造形迹的分形结构制约着蚀变、矿化的分形特征。成矿系统构造-蚀变-矿化分带在矿带、矿田、矿床和矿石中具有普遍性和协调性, 体现着分带结构的自相似性(表2)。

以焦家金矿田为例, 热液蚀变分带一般自矿体向两侧依次为(黄铁)绢英岩带→绢英岩化花岗岩带→红化(K化)花岗岩带。这种蚀变分带现象不仅在主剪切带控矿的焦家金矿、新城金矿到次级剪切带控矿的望儿山金矿、河东金矿至河西金矿均具一致性, 而且在大规模发育的红化花岗岩带内、裂隙旁侧和显微尺度上也如出一辙。红化花岗岩带内, 裂隙带内为(黄铁)绢英岩, 向外渐次变为绢英岩化花岗岩及红化(K化)花岗岩。焦家剪切带所控制的焦家、新城等金矿床, 矿体直接赋存于主剪切面下盘, 形成破碎带蚀变岩型矿化。而低级序的侯家剪切带、河西剪切带所控制的河西、红布金矿床, 由于距主剪切带有一定距离, 在密集节理构造带中, 发育单一的岩石间破碎带及陡倾斜裂隙, 形成以细网脉状为主的矿化类型。更远处由河东—望儿山剪切带所控制的河东、界河、望儿山等金矿床, 容矿裂隙明显的控制矿化类型以网脉或脉状为主, 尤为重要是望儿山金矿发育了较为典型的石英脉型矿化类型。而在典型石英脉型金矿发育的玲珑矿田内, 从破头青剪切带往西, 就呈完整的演化系列。吉林夹皮沟剪切带中金矿脉形成时间计算结果表明: 在流体作用下, 连通弥散空间相互贯通形成连通自由空间仅需几十年, 表明浸染状矿化形成网脉状矿化相对于整个成矿作用过程极为短暂。可见, 构造-蚀变-矿化分带结构的自相似性不仅表现在时间和空间上, 还表现在作用过程上(邓军等, 2005)。

可见, 两大主要金矿类型, 即焦家式细脉浸染矿化形式与玲珑式充填石英脉矿化形式均为同源成矿溶液在不同构造(变形带或剪切带)和物化条件下的沉淀产物。两大金矿类型在同一成矿区内, 有统一的成矿地质环境和矿质来源, 矿石具有类似的围岩蚀变及矿化阶段, 并且有相似的成矿温度范围、稳定同位素、微量元素、稀土配分特征, 而表现在矿体形态、规模产状、矿化形式、矿石自然类型等方面的差异无疑是由控岩控

表 2 胶东矿集区构造-蚀变-矿化分带结构

		分带特征			
构造分带					
构造剖面					
距主剪切面距离		近	近	近	远
构造岩带		强应变矿化富集带	弱应变无矿化带	弱应变弱矿化带	正常花岗岩带
构造强度		强	弱	较强	较弱
容矿裂隙		连通弥散空间	弱	连续自由空间	连续自由空间
蚀变构造		叶理、片麻理均不发育	叶理不发育片麻理局部出现	叶理较为发育	片麻理极为发育
蚀变分带					
岩石类型		黄铁绢英岩, 黄铁绢英质碎裂岩	黄铁绢英岩化碎裂花岗岩	绢英岩化-红化花岗岩	黑云母花岗岩
蚀变类型		绢英岩化、硅化、钾化黄铁矿化、碳酸盐化	绢英岩化、硅化钾化、红化	红化、黄铁矿化绢英岩化、钾化	——
蚀变强度		极强	较弱	弱	基本无蚀变
矿物组合		绢云母、石英、斜长石绿泥石、黄铜矿、闪锌矿	石英、绢云母、黄铁矿、钾长石、斜长石	石英、黄铁矿、钾长石、斜长石、钛铁矿	石英、斜长石黑云母
常量元素		Si ⁴⁺ 、K ⁺ 、Al ³⁺ 、	Si ⁴⁺ 、K ⁺ 、Na ⁺ 、Ca ²⁺	K ⁺ 、Na ⁺ 、Ca ²⁺	K ⁺ 、Mg ²⁺ 、Ca ²⁺
微量元素		Au、Ag、Pb、Cu	Hg、Sb、Pb	Ag、Hg、As	Hg、Sb、Bi
矿化分带					
成矿方式		交代	——	——	充填
矿化类型		稠密浸染型、复合型	星点状矿化	脉状、网脉状矿化	——
矿化强度		最强	弱	较强	——
矿体规模		90%	——	10%	——
矿石类型		蚀变岩型、复合型	——	石英硫化物脉型	——
矿石结构		压碎、交代结构浸染状、斑杂状构造	花岗变晶结构块状构造	碎裂结构、花岗变晶结构、细脉状构造	片麻状结构块状构造
含金性		6.44g/t	——	6.05g/t	——
矿化阶段		I、II、III、IV	II、III	I、II、III	——

矿及成岩成矿构造的部位不同、级序高低、性质差异所造成的。构造、蚀变、矿化是紧密相连不可分割的, 由此可以利用其分带相关统一性去寻找可能存在的相关矿化类型, 扩大金的远景储量。

3 成岩-成矿年龄

综合分析胶东地区主要岩体和金矿类型同位素年龄数据表明(图1), 胶东地区存在早、晚两期金成矿作用以及更晚一期的(含金)银成矿作用, 金成矿作用主期明显集中于燕山中期130~120 Ma, (含金)银矿化为燕山晚期(<97 Ma), 含金(银)铅锌矿化介于两者之间、更接近于燕山晚期(100 Ma前后)。除崔召岩体的年龄较老且分散160~400 Ma之外, 玲珑型黑云母花岗岩(包括滦家河型)的年龄主体为160~152 Ma; 郭家岭型花岗岩年龄为130~126 Ma, 成矿前的脉岩年龄为132~127 Ma, 基本与郭家岭型花岗岩年龄相当; 成矿期脉岩年龄为110~123 Ma, 成矿后的花岗斑岩脉年龄为120~64.55 Ma。同时, 在岩体锆石SHRIMP测年过程中发现有太古宙、元古代和晚侏罗世的继承锆石, 说明岩体在侵入过程中曾同化混染了大量胶东群变质岩成分。此外, 岩石化学和同位素组成研究表明, 玲珑型花岗岩和昆崙山花岗岩由地壳物质重熔作用产生, 是壳源岩; 郭家岭型花岗岩由幔源岩浆与地壳物质重熔和壳源岩浆混合作用形成, 是壳幔混合源花岗岩(杨进辉等, 2000)。

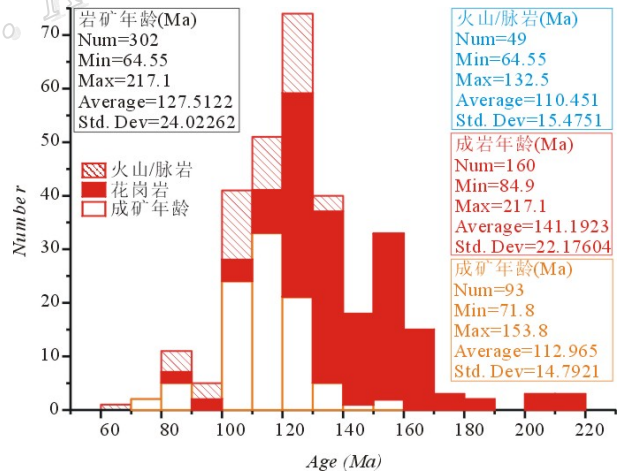


图1 胶东金矿及赋矿地质体同位素年龄分布直方图

(据王义文, 1982; 邓雁斌, 1983; 王鹤年, 1984, 1988; 杨士望, 1984; 文子中, 1985; 黄德业, 1985, 1988; 安郁宏, 1986; 胡世玲等, 1987; 骆万成等, 1987; 林润生, 1987; 李治平, 1987; 裴有守等, 1988; 山东地质六队, 1988; 敬成贵, 1988; 李兆龙, 1989, 1991; 于津海, 1989; 徐金方, 1989; Wang et al., 1992; 张韞璞, 1991; 胡家杰, 1991; 天津地质研究院, 1991; 吕吉贤等, 1992; 1993; 孙丰月等, 1992; 1995; 李华芹等, 1993; 张振海等, 1993; 周显强, 1995; 伍家善等, 1995; 张德全等, 1995; 翟建平等, 1996; 苗天成等, 1997; 罗镇宽等, 1997; 林文蔚等, 1997; 杨忠芳等, 1998; 刘连登等, 1998; 杨敏之, 1998; 卢焕章等, 1999; 徐兵, 1999; 关康, 1998; 李怀坤等, 1998; 刘连登等, 1998; 朱大岗, 1998; 李怀坤等, 1998; Yang & Zhou, 2000; 徐贵忠等, 2002; 张连昌等, 2002; Qiu, 2002; Qiu et al., 2002; 李厚民等, 2003; 邓军等, 2004; 胡芳芳等, 2004; 等绘制)

中生代花岗岩类广泛出现于胶东矿集区,被认为与成矿有关,因而同位素测年和地质地球化学研究较详细。例如,招掖成矿带的玲珑花岗岩体和牟乳成矿带的昆崙山岩体等,地质填图和同位素测年均证实其为多期多阶段形成的复式杂岩(Wang et al., 1996, 1998; 苗来成等, 1997; 徐金方, 1999; 罗镇宽等, 1999), 同位素测年也显示了相同信息。关于玲珑花岗岩带,最新获得的锆石SHRIMP铀铅年龄更清楚地给出了不同期次岩浆作用的继承、演化关系:①玲珑和滦家河形成于150~170 Ma, 而郭家岭岩体形成于126~130 Ma, 成矿后的脉岩侵位于120 Ma。②花岗岩类侵入时间比大规模成矿时间略早,这可能与花岗岩类冷凝封闭温度(一般>600°C)高于成矿温度(一般350~200°C)有关。③年轻花岗岩中总含有与较老花岗岩年龄一致的继承锆石,例如,郭家岭岩体和成矿后脉岩均有150~160 Ma的继承锆石,而仓上金矿体内强蚀变花岗岩角砾的主体锆石年龄也为154 Ma, 底板花岗岩闪长岩锆石年龄为166 Ma。④所测燕山期花岗岩体中均有大量年龄为180~300 Ma和>1 800 Ma的继承锆石,个别继承锆石的年龄为180~1800 Ma; 由于中酸性岩浆岩的锆石含量远高于基性-超基性岩,因此胶东地区在180 Ma之前曾发生多期次的中酸性岩浆事件,尤以180~300 Ma和>1 800 Ma的2次成岩事件为重要。

4 成矿系统形成背景

综合上述认识,结合区域岩石圈构造演化成果,认为玲珑型花岗岩和昆崙山花岗岩的形成与扬子板块向华北板块深俯冲、造山后伸展作用有关;郭家岭型花岗岩的形成与太平洋板块向欧亚板块俯冲,引起郯庐断裂带左行走滑、中国东部岩石圈拆沉、去根及岩石圈减薄密不可分(陈衍景等, 2004)。早期脉岩(成矿前脉岩)形成于早白垩纪,它和火山岩形成于大陆岛弧环境,由富集岩石圈地幔发生部分熔融作用,产生的岩浆在上升过程中,通过岩浆分离结晶作用形成,地壳混染作用影响较小。晚期脉岩(成矿后脉岩)形成于板内环境。脉岩的同位素组成具有向新生代碱性玄武岩过渡的特性,反映了白垩纪之后,火山岩的源区由富集的岩石圈地幔向软流圈地幔过渡。早期金成矿作用与太平洋板块向欧亚板块俯冲、郯庐断裂带左行走滑、中国东部岩石圈拆沉、去根减薄及郭家岭花岗岩的形成密不可分,它构成胶东金矿的主体(邓军等, 2004, Yang et al., 2003)。晚期(含金)银成矿作用形成于拉张构造环境,与青山组火山-侵入岩系有关。这一期的金成矿表现为 Au-Ag 成矿, Au (-Ag) -Pb-Zn 多金属硫化物成矿作用也产生于这一时期。例如胶东西北部的十里堡 Ag-Au 矿、大尹格庄金矿在早期金矿体之上叠加金银矿体形成的大型金矿床、栖霞香斧 Pb-Zn 矿, 以及胶南地体的莒县东书院 Pb-Zn-Ag-Au 矿床和五莲的斑岩 Cu-Au 矿床均与次火山岩或次火山脉岩群关系密切(图2)。这3期成矿过程的物质来源、成矿组合、成矿作用与壳-幔相互作用密切相联(Yang et al., 2006), 构成典型的大陆边缘壳-幔型金-银-多金属成矿系统。

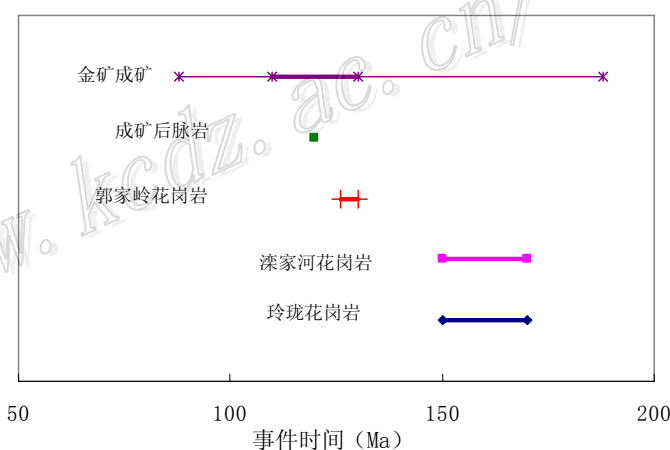


图2 胶东矿集区中生代成矿地质事件

(参考文献同图1)

参 考 文 献

- 陈衍景, Franco P, 赖 勇, 等. 2004. 胶东矿集区大规模成矿时间和构造环境. 岩石学报, 20(4): 907~922.
- 邓 军, 王庆飞, 杨立强, 等. 2004. 胶西北金矿集成矿作用发生的地质背景. 地学前缘, 11(4): 527~533.
- 邓 军, 王庆飞, 杨立强, 等. 2005. 胶东西北部金热液成矿系统内部结构解析. 地球科学, 30(1): 102~108.
- Wang L G, McNaughton N J, Groves D L, et al. 1996. SHRIMP U-Pb in zircon of plutonic rocks from the Jiaodong Peninsula, Shandong Province, China: Constraints on crustal and tectonic evolution and gold metallogeny. *Geology and mineral resources proceedings of Ministry of Metallurgical Industry. International Academic Publishers.* 64~68.
- Wang L G, Qiu Y M, McNaughton N J, et al. 1998. Constraints on crustal evolution and gold metallogeny in the Northwestern Jiaodong Peninsula, China, from SHRIMP U-Pb zircon studies of granitoids. *Ore Geol. Rev.*, 13: 275~291.
- Yang J H, Wu F Y and Wilde S A. 2003. A review of the geodynamic setting of large-scale Late Mesozoic gold mineralization in the North China Craton: an association with lithospheric thinning. *Ore Geol. Rev.*, 23: 123~152.