

# 构造演化与成矿系统动力学

## ——以胶东金矿集中区为例

邓军 翟裕生 杨立强 肖荣阁 孙忠实

(中国地质大学,北京,100083)

(长春科技大学,长春,130061)

**摘要** 成矿系统的形成、演化与区域构造演化和地球动力学行为有关,成矿系统动力学是确定成矿系统演化和最终结果的关键,其研究是对传统成矿理论的突破,具有重要的理论与实践意义。胶东地区长期处于大陆边缘,构造成岩成矿作用过程表现出复杂性和多样性:(1)太古宙—元古宙绿岩地体产生、形成——金的矿源系统雏形;(2)古生代构造环境稳定——金成矿作用间歇;(3)中生代绿岩带强烈活化—改造——构造成岩成矿;(4)新生代构造继承性活动——后期构造破矿作用。胶东金矿集中区是典型的剪切带构造成矿系统,是区域尺度地质作用的产物,其形成、演化受大陆岩石圈和深断裂成熟度控制,与太平洋区板块俯冲碰撞及郯庐断裂带的形成、演化紧密相关,其发生和作用过程及演化受地壳演化和地球动力体制转换制约,与区域构造的形成、演化相互关联。“断裂带—地震泵吸—周期性破裂愈合”的构造动力体制转换是成矿物质活化、运移、聚集、成矿的基本动力学保障,构造应力场转换是其重要表现形式,金的成矿作用发生于剪压变形构造岩相向剪张变形构造岩相转换的时空界面。

**关键词** 成矿系统 构造演化 深断裂成熟度 构造应力场转换 成矿动力学

**CLC** P612, P543

成矿系统具有嵌套的层次结构,区域成矿系统属重要研究对象,其形成、演化与区域构造演化和地球动力学行为有关。一个地质结构复杂、构造运动频繁的区域内存在着多个成矿系统,它们之间存在着复杂的、非线性的联系与作用。本文以胶东地区及其金成矿系统为例,重点分析成矿系统的发生和作用过程与区域构造演化、地壳演化、大陆岩石圈和深断裂成熟度及大地构造动力体制转换的相互关系,探讨金成矿系统动力学,阐述其研究的重要理论与实践意义。

## 1 区域构造演化与成矿作用过程

成矿作用是地球动力作用的一种表现形式,成矿系统是地球物质系统的组成部分,是地

收稿日期:1998-08-07

作者简介:邓军,男,1958年生,教授,博士生导师,矿床学和构造地质学专业。主要从事区域构造、矿田构造及成矿动力学的教学和科研工作。

本研究受原地质矿产部重点科技项目(编号:9501107)、国土资源部“百名跨世纪科技人才培养计划”基金、国家科技攀登计划项目(编号:95-预-25和95-预-39)和原国家计划委员会科技项目(编号:JC947110)资助。

球漫长历史演化中的特定产物。成矿演化与地壳演化及大地构造演化紧密相关, 板块运动的变化阶段是金的成矿时期, 陆壳演化与成矿演化同步进行, 板块演化控制着成矿演化。矿

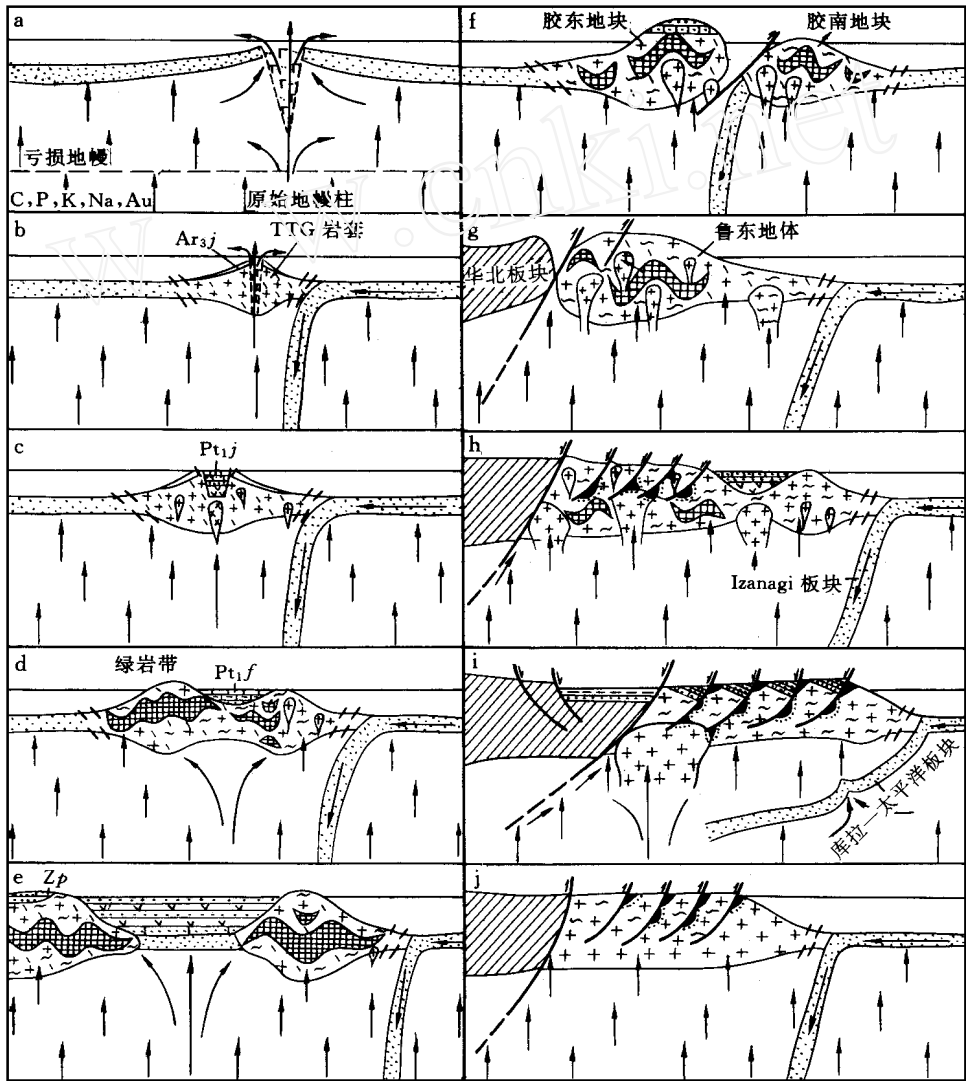


图 1 胶东区域构造演化与金成矿作用过程

Fig. 1 Regional tectonic evolution and process of gold ore-forming in Jiaodong area

a-大洋中脊火山喷发; b-岛弧火山喷发-沉积, 绿岩地体产生; c-裂谷; d-弧后盆地, 绿岩带生成; e-海盆沉积, 盖层形成, 金的矿源系统雏形; f-陆核隆升, 成矿作用间歇; g-俯冲碰撞, 剪切深熔, 绿岩带活化、改造; h-NNW 向俯冲挤压, 郯庐断裂左行平移, 构造体制转换, 强烈成岩成矿; i-NNW 向俯冲挤压, 拉张裂谷构造环境, 后期成岩、成矿; j-右旋挤压扭动破矿; Ar<sub>3j</sub> 胶东岩群; Pt<sub>1j</sub> 荆山群; Pt<sub>1f</sub> 粉子山群; TTG 岩套-奥长花岗岩-英云闪长岩-花岗闪长岩岩套

集区是区域尺度地质作用的产物, 以大型剪切带构造成矿系统为例, 它的热动力来源于俯冲碰撞引起的地壳加厚导致的地热增温, 并随着造山带整体抬升导致的等温线下降而终结, 其形成、演化受大陆岩石圈和深断裂成熟度的控制, 与区域构造形成、演化相互关联。其演化过程为: 拉伸; 扭压增生; 区域变质; 俯冲和消减; 钙碱性岩浆作用; 区域性

抬升；脆-韧性逆冲断层或平移断层；局部拉伸扭张；晚构造金成矿；碱性岩浆作用。剪切带构造成矿系统主要出现在与钙碱性岩浆作用同时或稍后至碱性岩浆作用之前的这段时间内<sup>[1]</sup>。

胶东金矿集中区是典型的剪切带构造成矿系统，由于长期处于大陆边缘，经受多期构造热动力作用，具有独特而复杂的地质构造演化史，在不同演化阶段，其构造动力状态不同，金成矿作用过程表现出复杂性和多样性(图 1)<sup>[2~21]</sup>。类似的例子也见于北美大陆环太平洋金矿带<sup>[22,23]</sup>。

### 1.1 太古宙—元古宙绿岩地体产生、形成——金的矿源系统雏形

太古宙—元古宙，胶东地区板块活动序列为：大洋中脊火山喷发—岛弧火山喷发—沉积裂谷—弧后盆地—海盆沉积—陆核隆升。与此相应，产生了两套绿岩带，金矿源系统初步形成。

3 000~2 600 Ma 间地壳全面活动。太古宙胶东地区发育厚达 8 000 余 m 的火山喷发—沉积旋回(胶东岩群  $Ar_{3j}$ )，从早到晚出现超镁铁质岩—拉斑玄武岩—碱质玄武岩—碳酸盐岩—碎屑—粘土岩—碎屑岩。太古宙晚期，胶东地区近 EW 向延长的古陆核产生，花岗岩—绿岩带形成。2 500~800 Ma 间胶东地区进入稳定克拉通化阶段，古陆核增生、地壳增厚，发生多次强烈区域变质作用，形成近 EW 向弧形展布的复式褶皱。早元古代岛弧火山—沉积旋回发育(南部为荆山群  $Pt_{1j}$ ，北部为粉子山群  $Pt_{1f}$ )，从早到晚出现碎屑岩—粘土—碎屑岩—碳酸盐岩—粘土岩。新元古代陆台沉积盖层(蓬莱群  $Z_p$ )形成。元古宙末期(700~600 Ma)，胶东地块和胶南地块作为镶嵌于古大洋板块中的两个岛弧地块，随着大洋板块相向运动而碰撞拼贴，形成鲁东联合地体，胶东地区基底固化、隆起。此即胶东绿岩地体的产生和形成过程，标志着金的矿源系统初步形成。

### 1.2 古生代构造环境稳定——金成矿作用间歇

古生代—中生代早期，胶东地区地壳稳定抬升，表现为稳定的构造环境，构造—岩浆活动不发育，为成矿作用间歇期，仅在局部地段沉积了少量古生代地层。在此期间，NE、NW 等方向的断裂构造横跨叠加于 EW 向基底构造带之上，局部地段隆起加剧。

### 1.3 中生代绿岩带强烈活化—改造——构造成岩成矿

中生代，现代板块构造体制全面展开。根据多种同位素测年资料显示，胶东地区金矿主要成矿期为 135~100 Ma，整个中生代是其重要的构造成岩成矿期，绿岩带活化—改造，剪切深熔形成花岗岩。同时，绿岩带内金活化、迁移，经水—岩交代反应，发生大规模蚀变、矿化，胶东金矿集中区形成。其构造—成岩—成矿演化可分为 3 个阶段。

$T-J_1$  期间，Izanagi 板块由 SE 向 NW 俯冲挤压，鲁东地体以右行剪切方式沿郯庐断裂带拼贴于华北板块之上，导致胶东地区发生强烈褶皱作用，深层次活化，出现相对挤压区和相对拉张区。南部含油气盆地地壳减薄，地幔上隆；北部金矿集中区在壳内构造薄弱带发生剪切深熔作用，地壳增厚并发生花岗岩浆活动。同时，由于断裂的剪切深熔作用，产生剪切—深熔型花岗岩和相关脉岩，太古宙—元古宙绿岩地体强烈活化—改造，其内金及相关元素被激活，并向流体相运移。

$J_2-K_1$  期间，由于板块俯冲，郯庐断裂带因边界效应而发生大规模的左行平移。 $J_2-K_1$  期间，在 NW-SE 向强烈构造挤压条件下，胶东地区发生裂解作用，胶东拗陷开始形成。这期间，洋壳俯冲速度明显降低，约在 135 Ma 开始，在印度—澳大利亚板块向北运移作用的影响

下,本区转为板内拉张带,挤压作用逐渐减弱。之后,直至  $K_2$  转为拉张阶段。在挤压作用向拉张作用转换的过渡阶段,胶东地区花岗岩化作用强烈,NE向构造-岩浆带发育成熟,此时,真空泵吸作用促使成矿流体进入剪切裂隙系统,使其成为矿化热液最佳吸收带,造成含矿热液大量释放,形成了胶东金矿集中区。

$K_2$  期间,太平洋区板块运动状态发生改变,由原来的 Izanagi 板块向 NNW 俯冲挤压变为太平洋板块的 NNW 向运动,郯庐断裂带发生右旋压扭性活动。胶东地区的构造状态已从 NW-SE 向挤压转为 SE-NW 向拉张,裂谷构造形成,并延续至老第三纪。在此期间,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。目前,胶东地区已知金矿床均分布于主裂谷和支裂谷斜坡。

#### 1.4 新生代构造继承性活动——后期构造破矿作用

新生代郯庐断裂带整体表现为右旋挤压扭动。N-Q 期间,胶东地区构造状态已转为 NEE-SWW 向挤压。这一时期胶东地区构造运动主要表现为先成构造继承性活动,对矿体起切割破坏作用。在现代河谷(床)中,产出有中小型河谷砂金矿。

## 2 深断裂成熟度与金成矿系统

地幔对流控制了板块的离散与聚合。岩石圈的成熟度及成熟岩石圈断裂带的动力地质热演化是地壳动力学体制转换的基础。随着地球各圈层的形成和发展,成矿系统有由初级过渡型 高级的演化趋势,其聚矿功能表现为由弱到强的发展过程<sup>[24, 25]</sup>。

岩石圈的成熟度由岩石圈上部的脱基化强度和持续时间、莫霍面以下地幔亏损程度以及岩石圈与软流圈厚度的反比关系所决定。与此相应的成熟岩石圈断裂带穿过地壳,延伸到岩石圈下层,它是能量载体和质量转移系统,其中不同演化阶段和不同构造层次发生的岩浆作用、变质作用、流体作用和成矿作用复杂组合,交织成一个整体。岩石圈物质沿深断裂发生的流体化作用从交代作用开始,沿断裂带发生的构造位移和交代作用同时进行。

在挤压条件下,流体组分、成岩组分和成矿组分的质量转移形成所谓“薄膜机制”,并产生富含矿碱性流体蚀变面貌的同构造期交代岩。这些交代岩的基础是一个高度组织结构性质的疏导转移流体系统,也是糜棱岩或剪切岩带交代变质系统。在交代蚀变同期,构造应力场从韧性挤压变形体制向韧性剪切变形体制转换。大量成岩组分和成矿组分活化、运移,沉淀于较高层位,从而发生成矿组分的预富集作用。在交代蚀变后期,构造应力场从韧性变形体制向脆性剪张变形体制转换,即转变为应力松弛阶段。原有流体部分沉积,并有新的流体加入,使其转为偏酸性,这时工业矿化大量形成。进一步的拉张作用使大量  $SiO_2$  沉淀,含矿流体转而向偏碱性过渡,黄铁矿化、多金属硫化物矿化和网脉状金矿化即伴随晚期硅化、碳酸盐交代岩而产生。

胶东剪切带金成矿系统的形成和演化有着深部壳-幔结构原因,与郯庐断裂的剪切深熔作用密不可分(图 2)。中生代板块俯冲挤压,地幔上隆,并导致莫霍面呈波状起伏,其实是深部地质构造特征的显示,反映幔隆与幔凹的交替产出。莫霍面凹陷区与挤压构造体制紧密相关,幔凹后的局部变形则与拉张环境相互关联,而不同构造部位金成矿系统的聚矿功能不同,表现为凹陷区的局部隆起部位金的成矿强度明显小于其它地段。

按照地壳均衡理论,地壳厚度与地表大型隆起区和凹陷区相间的构造特征对应,胶东金

矿集中区为相对于周边的地幔隆起区,莫霍面高出 2~3.5 km。由于岩石圈厚度长期增加,其下富含流体组分和成矿组分的软流圈得以形成,并通过壳-幔相互作用,将含矿流体系统输运到更高的层位。金矿床(点)往往产于莫霍面的梯度变化处或变形部位,它既与幔隆及

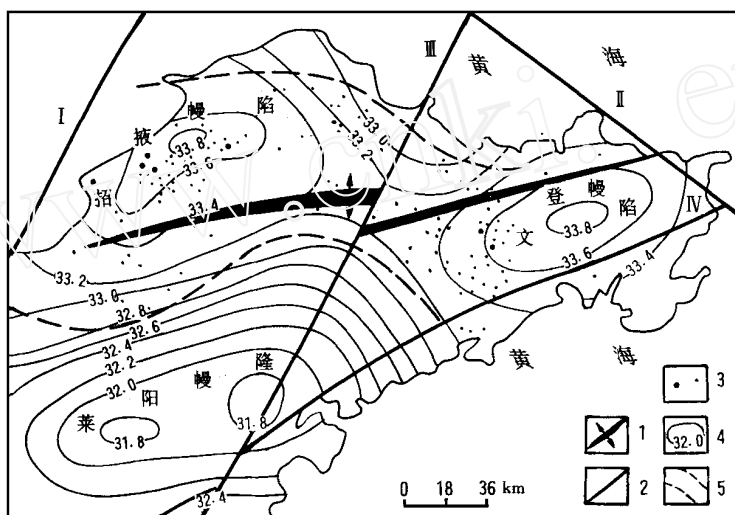


图 2 胶东地区深断裂成熟度与金成矿系统

Fig. 2 Maturity of deep-fault and gold ore-forming system  
in Jiaodong area

1-复背斜;2-深断裂;3-金矿床(点);4-莫霍面深度,km;5-胶东金矿集中区分布范围;  
-郯庐断裂; -秦皇岛-威海断裂; -桃村-即墨断裂; -五莲-荣城断裂

幔凹的交替产出有关,也与深断裂对莫霍面的影响有关。郯庐断裂是鲁东地体与华北板块的碰撞拼贴带,是深切地幔的成熟岩石圈断裂,其剪切深熔作用是成矿元素和成矿流体得以活化、运移的重要驱动力,是成岩成矿作用发生的根本原因之一。此即本区区域隆起、构造成岩成矿作用强烈发育的壳-幔结构原因<sup>[26-28]</sup>。

### 3 构造应力场转换与成矿系统动力学

成矿系统是多重时间标度、多种控矿参量和多样作用过程构成的高度复杂的整体,成矿作用是不同速率并举、多样过程耦合和各种机制交织的复杂非线性动力学过程。基本成矿动力型式有边界成矿、转换成矿、多场耦合成矿和叠加-改造成矿,它们之间相互耦合和套合是形成矿集区的基本条件。构造成矿系统动力学是指构造运动对成矿系统过程的启动、运行机制、成矿物质的运动学、几何学特征及由此产生的成矿过程、聚矿功能和成矿产物之差异。它包括三个层次: 宏观地球动力学; 区域成矿系统中介; 微观成矿系统过程动力学。区域构造和地球动力学因素决定成矿系统产生的动力学背景与环境,不同区域构造演化和地球动力学过程决定不同类型成矿作用的发生、发展。成矿系统动力学研究可揭示成矿系统的本质,即成矿系统时空结构及成因序次,从而使矿床成因和成矿规律研究从静态上升到动态,是定性综合与定量分析的统一,对传统成矿理论将有新的突破。同时,成矿理

论的深化又对成矿预测和矿产普查勘探具有重要的指导意义<sup>[29~33]</sup>。

胶东金矿集中区长期处于大陆边缘,经受多期构造热动力作用,在不同演化阶段,其构造动力状态不同。自中生代以来,其构造动力体制发生多次转换:从被动陆缘(230~150 Ma)到剪切(转换)陆缘(150~110 Ma),再到活动陆缘,其中活动陆缘是由斜向俯冲(110~45 Ma)转变到正面俯冲(45 Ma)的<sup>[34]</sup>。在早期挤压体制下,从地幔到地壳发生了强烈的质量转移,形成花岗岩化带,而在上部层位开始产生花岗片麻岩穹窿。幔源 CO<sub>2</sub> 流体沿剪切带上升,使角闪岩进一步变质脱水,形成麻粒岩,并引起大离子亲石元素向上部地壳运移。随着岩石圈下部下降到更深的层位,并使更深层的地幔亏损,深断裂切割加深,其发育程度和构造体制向张剪性转换。此时最易熔的酸性岩浆逐渐被基性岩浆取代,而后又被碱性和超基性-碱性岩、碳酸岩、钾镁煌斑岩和金伯利岩取代。这些深源物质伴随张剪性深断层和大量流体活动,侵入位于早期挤压体制下形成的花岗片麻岩穹窿。由于剪切带向上变窄,引起流体聚积及流体压力  $p_f$  增高。当  $p_f > p_n + R_t$  时( $p_n$  为载荷压力或正应力,  $R_t$  为抗张强度),引起岩石破裂,流体充填,形成含金石英脉。进而  $p_f$  下降,流体继续积聚,重新开始上述过程,如此反复多次的运移、积聚,从而形成广泛的蚀变与矿化,此即“断裂-地震泵吸-周期性破裂愈合”模式。晚期结束阶段,上地幔岩浆源(岩石圈和较深层软流圈的流体系统补给)在剪张构造体制下形成更晚一期的从辉绿岩到煌斑岩和沸绿岩的岩墙杂岩。当富含 CO<sub>2</sub> 等挥发份的流体到达浅部层次时,大气水的混入是形成脉型及角砾岩型金矿的重要机制。构造动力体制的这种转换是成矿物质得以活化、运移,并在浅部聚集以至成矿的基本动力学保障<sup>[35~42]</sup>。

构造应力场转换是构造动力状态转换的重要形式,表现为不同层次的构造叠加作用和韧-脆性变形的转换以及同一构造层次不同时期、不同构造部位应力的转换。构造应力场转换导致构造物理化学场结构差异,形成不同成矿界面,从而发生各种蚀变与矿化作用。Richard 等<sup>[43]</sup>和 David 等<sup>[44]</sup>注意到太古宙绿岩带石英脉型金矿的构造变形转换成矿现象,指出矿脉形成于韧性变形向脆性变形的过渡阶段。Eion<sup>[45]</sup>也注意到 Ramble 剪切带金矿的成矿与剪切带性质转换有关,认为富 CO<sub>2</sub> 的流体从巨型的韧性剪切带中溶解出大量的金,并将金运移到后期窄小的脆性剪切带中,在有利的构造空间沉淀下来,形成金矿。

胶东地区 NE 向成矿带成矿前构造应力场为韧性压剪状态,成矿早期应力场向脆性剪张转换,成矿主期应力场转换为脆性剪张状态,成矿后构造应力场又重新转换为压剪状态,成矿期构造应力值明显低于成矿前古应力值。空间上,成矿早期构造应力场主压应力方位为 NW-SE 方向,主压应力、剪应力、能量、运移势和破裂系数值从主断裂向两侧呈降低趋势,而在次级断裂裂隙发育部位常出现高应力值;成矿主期最大主压应力方位为 NE-SW 方向,最小主应力方位为 NW-SE,中间主应力轴近于直立,主压应力、剪应力、能量及运移势值从主断面向两侧呈升高趋势。可见,胶东地区成矿主期构造应力场正处于由较强的挤压作用分布阶段向较弱的剪张作用分布阶段转换的时空界面,在已形成矿化(脉)而相对脆弱的岩石物理界面地段,是形成有富金硫化物和裂隙金叠加的富金矿石的有利构造条件,即金属硫化物成矿作用发生于剪压变形构造岩相向剪张变形构造岩相转换的时空界面<sup>[46,47]</sup>。

## 参 考 文 献

- 1 Feng R, Kerrich R. Archean geodynamics and the Abitibi-Pontian collision: implications for advection of fluids at transpres-

- sive collisional boundaries and the origin of giant vein systems. *Earth Science Reviews*, 1992, 32: 33 ~ 60
- 2 翟裕生. 古大陆边缘构造演化和成矿系统. 见: 北京大学地质系编. 北京大学国际地质科学学术研讨会论文集. 北京: 地震出版社, 1998. 769 ~ 778
  - 3 Starostin V I. Problems of tectonics of the evolutionary metallogeny. *Earth Science Frontiers (地学前缘)*, 1995, 2(1 ~ 2): 29 ~ 36
  - 4 Meyer C. Ore-forming processes in geologic history. *Economic Geology*, 1981, 75: 6 ~ 41
  - 5 孙丰月, 石淮立, 冯本智. 胶东金矿地质及幔源 C+H<sub>2</sub>O 流体分异成岩成矿. 长春: 吉林人民出版社, 1995. 1 ~ 170
  - 6 赵伦山, 徐景奎, 吴悦斌, 等. 试论胶东区域地壳演化与金成矿作用的关系. *现代地质*, 1993, 7(增刊): 16 ~ 24
  - 7 马宗晋, 莫宣学. 地球韵律的时空表现及动力问题. *地学前缘*, 1997, 4(3 ~ 4): 211 ~ 221
  - 8 Yang S N, Zhou G F. The active terraces of the continental margin in eastern Asia and its geodynamic. In: *Tectonics of China*. Beijing: GPH Press, 1996. 1 ~ 40
  - 9 孙丰月. 胶东地区中生代区域构造演化与成矿. *长春地质学院学报*, 1994, 24(4): 378 ~ 384
  - 10 Nur A. Oceanic plateaus, the fragmentation of continents, and mountain building. *J Geophys Res*, 1982, 87: 3644 ~ 3661
  - 11 Engebretson D C, Cox A, Gordon R G. Relative motions between oceanic and continental plates in the Pacific Basin. *Geol Soc Am*, 1985, 206(Special Paper): 59
  - 12 Xu Jiawei. *The Tancheng-Lujiang Wrench Fault System*. New York: John Wiley & Sons Ltd, 1993. 300
  - 13 Wan Tianfeng. Evolution of Tancheng-Lujiang Wrench fault zone and paleostress fields. In: Wan Tianfeng, Zhu Hong, Zhao Lei, et al., eds. *Formation and Evolution of Tancheng-Lujiang Wrench Fault Zone*. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996. 43 ~ 56
  - 14 Lin Jinlu, Fuller M. Paleo-magnetism, North China collision and the Tan-Lu fault. *Phil R Soc Lond*, 1990, A 331: 589 ~ 598
  - 15 陈衍景, 郭光军, 李欣. 华北克拉通花岗岩绿岩地体中生代金矿床的成矿地球动力学背景. *中国科学(D辑)*, 1998(1): 35 ~ 41
  - 16 徐嘉炜, 马国锋. 郯庐断裂带研究的十年回顾. *地质论评*, 1992, 38(4): 316 ~ 324
  - 17 何永明, 贾东, 施央申. 郯庐断裂带的新认识——从地体的拼贴运动看郯庐断裂带的发展演化. *南京大学学报(地球科学)*, 1990(4): 85 ~ 93
  - 18 张理刚, 陈振胜, 刘敬秀, 等. 焦家式金矿水-岩交换作用——蚀变岩石氢氧同位素组成研究. *矿床地质*, 1995, 14(3): 261 ~ 272
  - 19 张振海, 张景鑫, 叶素芝. 胶东招掖金矿带金矿化蚀变带 Rb-Sr 等时线的研究及测定. *贵金属地质*, 1993, 2(1): 26 ~ 34
  - 20 杨敏之, 吕古贤. 胶东绿岩带金矿地质地球化学. 北京: 地质出版社, 1996. 1 ~ 228
  - 21 陈好寿. 同位素地球化学研究. 杭州: 浙江大学出版社, 1994. 1 ~ 340
  - 22 Elder D, Cashman S M. Tectonic control and fluid evolution in the Quartz Hill, California, Lode Gold Deposits. *Economic Geology*, 1992, 87: 1795 ~ 1813
  - 23 Miller L D 著. 梁智敏译. 阿拉斯加东南部朱诺金矿带流体循环、成脉作用、区域变形和深成侵入岩作用间的成因联系. *地质科学译丛*, 1994, 11(4): 58 ~ 61
  - 24 翟裕生. 地史中成矿演化的趋势和阶段性. *地学前缘*, 1997, 4(3 ~ 4): 197 ~ 203
  - 25 李人澍. 成矿系统分析的理论与实践. 北京: 地质出版社, 1996. 1 ~ 180
  - 26 Livaccari R F. Role of crustal thickening and extensional collapse in the tectonic evolution of the Sevier-Laramide orogeny, western United States. *Geology*, 1991, 19(11): 1104 ~ 1107
  - 27 邓晋福, 赵海玲, 莫宣学, 等. 中国大陆根-柱构造——大陆动力学的钥匙. 北京: 地质出版社, 1996. 59 ~ 82
  - 28 范永香, 高秋斌. 山东招远-掖县金矿带构造控矿规律研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993. 1 ~ 50
  - 29 翟裕生. 关于构造-流体-成矿作用研究的几个问题. *地学前缘*, 1996, 3(4): 230 ~ 236
  - 30 於崇文. 成矿作用动力学——理论体系和方法论. *地学前缘*, 1994, 1(3): 54 ~ 82

- 31 於崇文,岑况,鲍征宇,等. 热液成矿作用动力学. 武汉:中国地质大学出版社,1993. 1~218
- 32 翟裕生,张湖,宋鸿林,等. 大型构造与超大型矿床. 北京:地质出版社,1996. 97~174
- 33 於崇文,岑况,鲍征宇,等. 成矿作用动力学. 北京:地质出版社,1998. 1~24
- 34 徐嘉炜,朱光,马国锋. 东亚大陆边缘演化的若干认识. 见:IGCP第321项中国工作组编. 亚洲的增生. 北京:地震出版社,1993. 25~30
- 35 Ramsay J G. Shear zone geometry: a review. *J Struct Geol*, 1980(2):83~99
- 36 Cameron E M, Hattori K 著. 太古代金矿化和氧化热液流体. 杨剑光译. 地质地球化学,1988,9:42~54
- 37 Cameron E M, Derivation of gold by oxidative metamorphism of a deep ductile shear zone. Part 1. Conceptual model. *Journal of Geochemical Exploration*, 1989, 31: 135~147
- 38 Newton R C 著. 许碧燕译. 深部地壳中的变质流体. 国外地质科技. 1990,8:1~9
- 40 Newton R C 著. 李维海译. 深部地壳中的流体与剪切带. 世界地质,1992,11(1):138~149
- 41 Nesbitt B E, Murowchick J R, Muhlenbachs K. Dual origins of lode-gold deposits in the Canadian Cardillera. *Geology*, 1986, 14: 501~509
- 42  
    , 1991(2):15~24
- 43 Richard H S, Francois R K. High-angle reverse faults fluid-pressure cycling, and mesothermal gold-quartz deposits. *Geology*, 1988,16:551~555
- 44 David C E, Arne B, Tom A. Fluid evolution and Au-Cu genesis along a shear zone: a regional fluid inclusion study of shear zone-hosted alteration and gold and copper mineralization in the Kautokeino greenstone belt, Finnmark, Norway. *Journal of Geochemical Exploration*, 1993, 49:233~267
- 45 Cameron E M. Derivation of gold by oxidative metamorphism of a deep ductile shear zone (part 2): evidence from the Bamble Belt, South Norway. *Journal of Geochemical Exploration*, 1989,31:149~169
- 46 邓军,徐守礼,方云,等. 胶东西北部构造体系及金成矿动力学. 北京:地质出版社. 1996. 61~74
- 47 邓军,吕古贤,杨立强,等. 构造应力场转换与界面成矿. 地球学报,1998,19(3):244~250

## TECTONIC EVOLUTION AND DYNAMICS OF METALLOGENIC SYSTEM—AN EXAMPLE FROM THE GOLD ORE DEPOSITS-CONCENTRATED AREA IN JIAODONG, SHANDONG, CHINA

Deng Jun      Zhai Yusheng      Yang Liqiang      Xiao Rongge

(China University of Geosciences, Beijing, 100083)

Sun Zhongshi

(Changchun University of Science and Technology, Changchun, 130061)

**Abstract** Metallogenic system is the component of materials system of the Earth. It has multi-level embedded construction, the regional metallogenic system is the key and core for the study. Metallization is one of the expression form of dynamic functions of the Earth. The formation and evolution of metallogenic system is related to regional tectonic evolution and dynamic action of the Earth. Dynamics is the key to determine the system evolution and final results. The research of dynamics of metallogenic system is a breakthrough at the traditional metallogenic theory, and it is of great theoretical and practical sig-

nificance. The Jiaodong area is located at the continental margin for a long time ,where is characterized by active interactions between the Earth's crust and the mantle , by complicated tectonic movements , frequent interexchange of materials and energy within various sphere of the Earth ,so its metallogenic processes display some complex and different natures : (1) the Archean-Proterozoic greenstone terrane—the embryonic form of Au-source system formed ; (2) stable tectonic setting in Paleozoic era caused a intermittence in Au-oregenic process ; (3) the greenstone belt was reacted and revised vehemently in Mesozoic era—tecto-mineralization and tecto-lithogenesis ; (4) former structures reacted in Cenozoic era—the structure action after orogenesis destroyed orebodies. The gold ore deposits concentrated area in Jiaodong is one typical metallogenic system in shear zone tectonics. It is the product of geological processes in regional scale. Its formation and evolution are controlled by the continental lithosphere and the maturity of deep-fault , and are closely related with the formation and evolution of Tanlu Fault Zone and plate subduction-collision-jams. The occurrences and processes of metallogenic system are controlled by the crust evolution and the transformation of dynamic system of the Earth ,and are interconnected with the formation and evolution of the regional structures. At the end of the paper , based on the researches of the transformation of tectonic stress field and the dynamics of metallogenesis ,the authors put forward that the transformation of tecto-dynamic mechanism gave a dynamic guarantee to mineralizing material to react ,transport ,gather and mineralize , the transformation of tectonic stress field is one of its most manifestation ,and the mineralization of gold took place on the space-time interface where shear-strain deformed structural lithofacies transformed to shear-tension deformed structural lithofacies.

**Key words** metallogenic system ,tectonic evolution ,maturity of deep-fault ,transformation of tectonic stress field ,metallogenic dynamics