

初论胶东地区金矿成矿模式*

孙景贵 胡受奚 赵懿英

(南京大学地球科学系, 南京)

姚凤良

(长春科技大学地球科学系, 长春)

提 要: 对胶东金矿集中区成矿规律和地球物理信息的综合研究, 提出了胶东地区可能存在一个规模较大的中生代地幔热柱—幔枝热构造。从区域构造背景出发, 深入讨论了胶东地区的变质作用、岩浆作用、成矿作用的相互关系及其时空规律, 初步建立了地幔热柱构造体系的壳-幔成矿模式。

关键词: 中生代 壳幔成矿作用 成矿模式 胶东金矿集中区

中图法分类号: P618.5

矿床模式是对矿床地质、成矿条件等理论概括和总结, 是在深入研究矿床类型的地质、地球化学、地球物理等方面特征的基础上建立的。80 年代以来, 随着对胶西北部的金矿的大规模勘探和开发利用, 胶东部地区的金矿找矿工作也取得较大的进展, 先后发现勘探含金铅锌矿床、含金银多金属矿床, 这表明胶东金矿集中区是一个以金矿化为主, 银、铅锌多金属矿化集中区。它们在成矿时代上具明显的时控性, 并与特定的构造、岩浆岩有密切的空间关系。本文试图从金矿化类型、分布格局出发, 结合地球物理场的特征的研究, 将变质作用、岩浆作用和成矿作用的相互关系及其时空规律与壳幔作用密切联系, 建立了该区的壳幔成矿模式。

1 胶东半岛金矿分布格局

1.1 区域地质特征

研究区位于华北陆台东南缘, 中生代为环太平洋板块作用的构造区。基础地质研究表明该区是一个典型的“双重”地质构造区(图 1), 前寒武纪地壳演化主要受扬子板块、华北板块控制, 中生代为环太平洋板块作用的构造区, 区内三面为深断裂所切割, 西侧为郯庐断裂、南东侧为五莲-荣成断裂及比邻的赣榆-黄海、嘉山-响水断裂, 北侧为威海-秦皇岛断裂。前寒武纪地质体主要发育有新太古代胶东岩群、TTG 岩系, 古元古代荆山群(粉子山群)由花岗质片麻岩、超镁铁质-镁铁质岩等变质岩组成, 普遍发生不同期次、不同程度的变质变形作用, 为麻粒岩相、角闪岩相、榴辉岩相以及退变质的低角闪岩相、绿片岩相。胶东群的形成时代为新太古代($> 2500 \times 10^6$ a), 原岩主要是一套中基性—基性—超基性火山岩, 相当于大洋型

* 国家自然科学基金项目(49177120)和国家教委基金项目(3951-002)及南京大学金属矿床成矿作用实验室联合资助成果

第一作者简介: 孙景贵, 男, 38 岁, 副研究员, 现南京大学博士后, 主要从事岩石学、矿床学和地球化学方面的科研和教学工作。邮政编码: 210093

1998-10-30 收稿, 1999-12-03 修改回

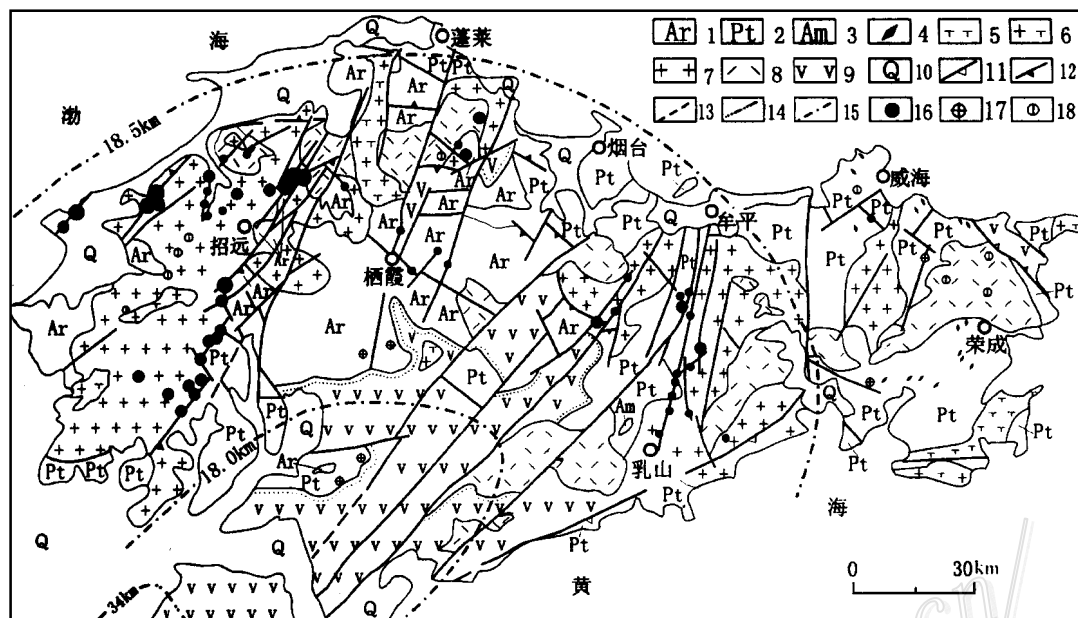


图1 胶东金矿地质及地球物理界面图

1—胶东岩群及岩系; 2—荆山群及钙碱性花岗片麻岩; 3—斜长角闪岩; 4—榴辉岩及超基性岩; 5—地幔交代型碱性花岗岩; 6—碱性花岗岩; 7—交代重熔型花岗岩; 8—壳幔混合型花岗岩; 9—火山岩系; 10—第四纪; 11—边界断裂; 12—拆离断层; 13—推测及实测断层; 14—康拉界面深线; 15—莫霍界面深线; 16—金矿床(特大、大型、中型或小型); 17—含金铅锌矿床; 18—含金银矿床(中型、小型或矿化点)

Fig. 1. Geological and geophysical boundaries in gold deposits of east Shandong.

1—Jiaodong Group Complex and TTG rock series; 2—Jingshan Group and calc-alkaline granitic gneiss; 3—Amphibolite; 4—Eclogite and ultrabasic rock; 5—Alkali granite of mantle metasomatic type; 6—Alkali granite; 7—Granite of metasomatic remelting type; 8—Granite of crust-mantle mixed type; 9—Volcanic rocks; 10—Quaternary; 11—Boundary fault; 12—Decoupling fault; 13—Inferred and measured fault; 14—Conrad discontinuity; 15—Moho; 16—Gold deposit (giant, large, medium or small); 17—Auriferous lead-zinc deposit; 18—Auriferous silver deposit.

的高级绿岩地体^[1]; 荆山群的形成时代为古元古代($> 1700 \times 10^6$ a) 原岩建造相当于孔兹岩系; 两者空间上, 胶东群及TTG岩系主要分布栖霞—招远一带, 荆山群及花岗质片麻岩分布在胶东群的外侧, 呈现出内老外新的格局。中生代地质体由花岗岩及火山岩、火山-沉积岩构成, 印支末期形成地幔交代型碱性岩(如: 宁津所石岛岩体等, $205 \times 10^6 \sim 220 \times 10^6$ a, 相当于 A_2 型花岗岩, Rb/Sr 为0.06~0.12, $(Sr)_i$ 为0.70575, 富Sr、Ba等元素, 贫Co、Ni等元素)^[17]。燕山早期形成交代-重熔型钙碱性(-碱性)酸性花岗岩(如: 玲珑、昆崙山为 $144 \times 10^6 \sim 199 \times 10^6$ a; Rb/Sr 为0.1~0.17, $(Sr)_i$ 为0.7082~0.7107; $^{207}Pb/^{204}Pb$ 为15.33~15.83, $^{206}Pb/^{204}Pb$ 为16.40~17.87; $\delta^{18}O_{H_2O}$ 为+7.4‰~+8.8‰, δD_{H_2O} 为-82.5‰~-72.5‰; $\delta^{34}S$ 为+3.9‰~+14.9‰); 燕山晚期形成壳-幔混合型中酸性花岗岩(如: 伟德山、郭家岭等, $140 \times 10^6 \sim 97 \times 10^6$ a; Rb/Sr 为0.0101~0.719; $(Sr)_i$ 为0.7071, $\delta^{34}S$ 为+2.7‰~+10.0‰, $^{207}Pb/^{204}Pb$ 为17.562~17.618, $^{206}Pb/^{204}Pb$ 为15.497~15.634, $\delta^{18}O_{H_2O}$ 为+8.4‰~+9.1‰)^[2,17]及中基性-中酸性火山岩和火山-沉积岩。地幔交代型碱性岩相对规模较大的岩

体主要分布在胶东地体边界断裂带附近,交代重熔型花岗岩分布在平度→招远→烟台(栖霞)→牟平→乳山一带,呈半环形展布,壳-幔混合型花岗岩分布在交代重熔型花岗岩体内部及NE向边界断裂的内侧乳山—荣成一带。火山岩大面积分布在胶莱拗陷内,相当于胶东地体的中心部位,部分沿边界断裂分布。此外,榴辉岩类主要分布在威海—胶南一线,呈NE向带状分布,由南到北构成“NE-NNE-NNW”向带状展布,其形成时代虽有争议,但印支期陆-陆碰撞造山高压—超高压变质作用已基本公认^[3,4,18]。从这种意义上讲,中生代地质格局基本为线-环构造形态,中心为火山岩,外围为花岗岩、变质岩(含构造杂岩)等。从构造作用、变质作用和岩浆作用序列上看,前寒武纪主要表现为新太古代(?)的麻粒岩相条件下,形成早期的EW向构造、变质岩及TTG岩系组合;元古宙主要表现为古元古代末(1700×10^6 a)的角闪-麻粒岩相变质作用形成近东西向构造(栖霞复式背斜)、变质岩及部分超基性岩,新元古代末($700 \times 10^6 \sim 900 \times 10^6$ a)期钙碱性花岗质片麻岩岩浆事件^[5]。中生代构造作用主要表现为陆-陆碰撞作用,榴辉岩相的变质、变形作用,形成近NE向高压变质带,使早期EW向大型的褶皱构造发生弯曲,形成弧形展布的片麻岩穹隆,与此同时地体北侧形成威海-秦皇岛深断裂,与郯庐断裂一起构成地体边界断裂,导致地体的总体构造格架的形成、定位,进入印支末期—燕山早期应力释放,构造作用转入韧-脆性及脆性变形作用,发生跨越了郯庐断裂的规模较大的幔隆作用,区内在边界断裂控制下断块上升发生幔隆作用,导致弧形背斜发生大规模深熔作用,形成环状交代重熔型花岗岩片麻状隆起构造及其边部近于半环状拆离断层带及构造片带。燕山中期转入脆性为主的断裂作用,叠加在早期构造之上,形成了一系列的放射状(区内多为NNE、NE向)压扭性断裂及环状张扭性断裂(区域上);燕山晚期区域拉伸构造作用进一步发展,中心部位(胶莱盆地)形成火山岩盆地,边部形成一些小型火山岩盆地及壳-幔混合型花岗岩片麻穹隆构造,后期存在多组断裂(NE、NW等)叠加活动(图2)。

1.2 区域地球物理场特征

区域重磁场的特征不仅能够更好地反映区域构造的深部信息,而且还能反映不同性质的地质体空间分布格架。据此对该区的区域重磁场资料^[6,7]进行了探讨。

胶东半岛的重力场特征(图略)分为二种异常:①线性异常梯度带;②条-环性异常梯度带。线性异常梯度带主要有两条:NNE向线性异常和NE向线性异常带,前者线性异常梯度带呈较宽低布格重力异常,与郯庐断裂相吻合,后者线性异常带呈现南宽北窄的低布格重力异常带,与区内五荣断裂相一致,两者相交于莒县附近;条-环性重力梯度在北侧,从胶东半岛的高密北侧向北至蓬莱经烟台至乳山进入文登-威海,从其形态上西侧呈半环形(海阳以西)、东侧呈NE向线状的“?”形式展布特征。高布格重力异常主要有两处:①呈线状展布,分布在NE向布格重力负异常带的南侧;②半环状重力区异常,在莱阳盆地一带,西从莱州经高密至莱西呈半环形态套在低布格重力异常带外侧,并整个四周被NE、NNE及近EW展布的环形负异常所包围。负异常区显示与中生代交代重熔型花岗岩的展布特征相一致,正异常为中生代火山岩分布区。航磁特征(图略)与重力场特征完全吻合,从磁异常的特征上看,除了NE向郯庐断裂带呈线性展布的特征外,所夹的胶东半岛内部亦呈“?”型式展布的负异常环带(-100~-200),并且四周均被零等值线所围,其内部地质体为花岗片麻岩、胶东岩群、荆山群地层、部分中生代交代重熔型花岗岩,并与内侧半环形拆离断层带相一致,外围为半环状中生代交代重熔型花岗岩及少量前寒武系变质岩。环线型异常带中心为中基性火山岩为主,这

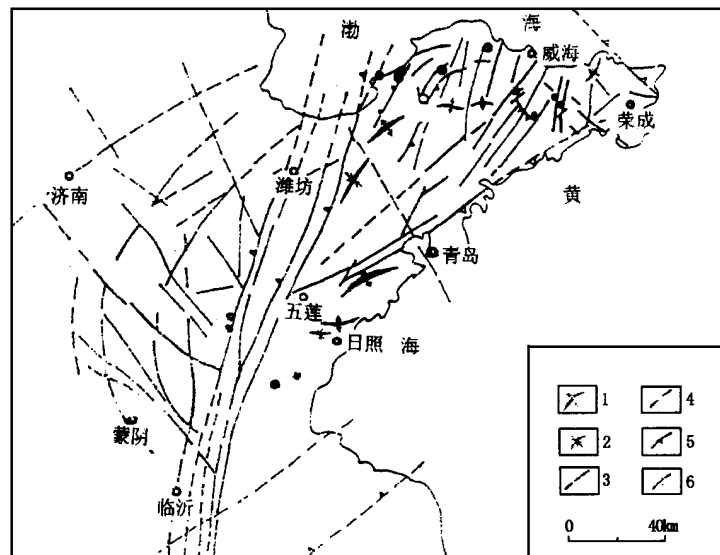


图2 研究及邻区构造纲要与金矿的分布关系简图

(据谷上礼, 1991; 山东地质志, 1991)

1—背形构造; 2—向形构造; 3—断裂; 4—推测断裂; 5—拆离断层; 6—超壳断裂; ·—金矿床

Fig. 2. Diagrammatic map showing relationship between tectonic outline and distribution of gold deposits in east Shandong and neighboring areas.

1—Antiform structure; 2—Synform structure; 3—Fault; 4—Inferred fault; 5—Separated fault; 6—Crust-penetrating fault; ·—Gold deposit.

种套叠式的关系反映上隆拉伸盆地的构造特征。此外, 胶东半岛北侧也显示出一条重力、航磁异常带, 呈NW向展布, 这条异常带与区域秦皇岛-威海断裂相一致, 其特征不明显的原因可能与图所限定的范围小, 只反映出部分异常线。另据断裂带布格重力异常梯度带极值线的偏离关系及部分区域航磁资料化极上延不同高度磁场曲线梯度变化的偏向推测: 五荣断裂向SE倾、具有上陡下缓的特征, 郯庐断裂西倾, 秦皇岛-威海断裂NE倾。地壳测深结果表明它们是均已深切地壳达40 km以上的超壳断裂, 沿断裂均分布有基性火山岩也证明了这一点。因此, 从重磁场特征上看胶东半岛为三角—环形的重磁场特征, 中生代为相对独立的演化地体。根据地球物理测深资料显示, 胶东地区地壳较薄, 岩石圈(康标界面)厚度18 km左右, 等值线呈环形展布, 中心部位在高密、平度(胶莱凹陷)一带; 莫霍面深度为33.9~35 km, 深度等值呈环形特征, 浅部为33.9 km, 在高密一带, 其等值线特征与康拉界面完全吻合^[8]。总体表现为中心薄、浅, 外围相对厚、深(图1), 为一壳幔隆起的构造特征^[9, 10, 19, 20]或为亚地幔柱的构造格架。

1.3 金矿的分布规律

目前研究表明: 胶东地区金矿床(大型或超大型及中型、小型)主要分布在中生代交代重熔型花岗岩内部及围岩接触带的断裂体系中(图1), 从西往东: 莱州西北成矿带, 招掖成矿带, 栖霞—蓬莱成矿带, 以及研究区的牟平—乳山成矿带等。其中: 莱州西北成矿带主要

矿床为三山岛、仓上 2 个特大型、大型金矿, 其围岩为胶东群地层, 控矿断裂主要为三山岛 NNE 向断裂 (三山岛断裂南段); 招掖成矿带由 3 个亚矿带组成 (焦家- 新城、灵山- 北郭和玲珑), 主要金矿类型有焦家式、玲珑式及介于两者之间的灵山沟式^[11,12], 矿床主要分布在玲珑花岗岩体内部及内外接触带中, 控矿断裂主要为 NNE-NE-NEE 向压扭性断裂; 栖霞- 蓬莱成矿带; 主要由栖霞金矿、百里店金矿、大流口金矿等矿床构成, 控矿断裂为 NNE 向, 其次为 NW 向 (如马家瑶金矿), 围岩为胶东群变质岩, 其深部为玲珑式花岗岩; 乳山- 牟平成矿带: 主要有乳山金矿、邓格庄金矿等, 矿体赋存在昆嵛山花岗岩及围岩变质片麻岩 (荆山群及其元古宙花岗质片麻岩), 控矿断裂及/或容矿断裂主要为 NNE-NE 向压扭性断裂, 尚存在受 NW 向及近 EW 向的断裂系统所控制的矿床 (如: 范家埠金矿、蓬家疃金矿等)。含金铅锌矿床既存在 NE 向压扭断裂控制, 又存在 NW 向张扭断裂控制型式; 而含金银矿床主要受晚期 EW 向断裂破碎带所控制。前者围岩主要是元古宙花岗片麻岩、荆山群地层, 而含金银矿床主要为壳-幔混合型花岗岩。

以上论述可见, 胶东金矿的分布具有明显的成群、成带的特征, 且重要的矿段几乎无一例外地被限定在特定的范围中。即: 重要的金矿床分布在交代重熔型花岗岩内部或区域拆离断层带内或之间, 布格重力异常区的环形 (-12~-20 场值区) 场内, 航磁异常区的半环形 (零值场区) 场区内; 含金铅锌矿床主要分布在变质岩中, 在金矿床集中区的外围; 含金银矿床主要分布在壳-幔混合型花岗岩内, 而这种类型的花岗岩, 既产在交代重熔型花岗岩的内部呈现断续的环状或半环状分布外, 也有分布在外侧呈孤立的岩体产出或呈岩带 (海阳- 荣成

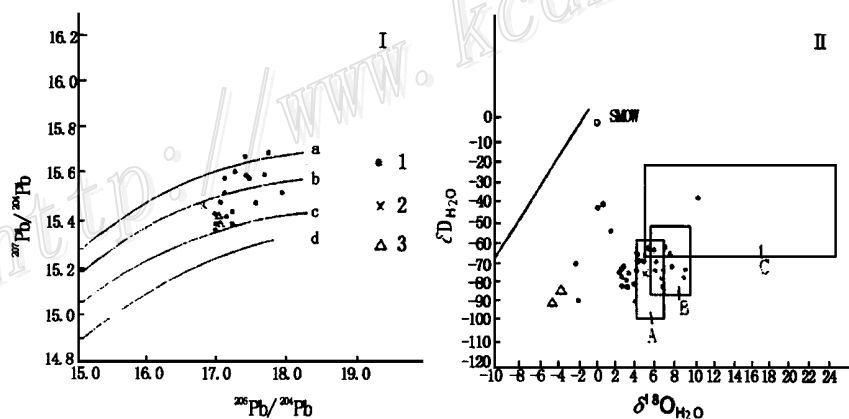


图 3 I 胶东地区及邻区铅同位素不同构造环境演化图; II $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}-\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 成矿溶液判别图

(I 据 DOC 和 Zartman, 1979; II 部分数据来源于杨士望, 1993^[14]和陈振胜, 1994、1995^[15,16])

a—上地壳铅; b—造山带铅; c—地幔铅; d—下地壳铅; A—地幔初生水; B—岩浆水; C—变质水; 1—金矿床; 2—含金(银)铅锌矿床; 3—含金银矿床

Fig. 3. I Lead isotopic evolutionary diagram of different tectonic environments in east Shandong and neighboring areas; II $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}-\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ ore-forming fluid discriminant diagram.

a—Upper crust lead; b—Orogenic zone lead; c—Mantle lead; d—Lower crust lead; A—Mantle juvenile water; B—Magmatic water; C—Metamorphic water; 1—Gold deposit; 2—Auriferous (silver) lead-zinc deposit; 3—Auriferous silver deposit.

一线)的岩体内部。因此,从胶东地区金矿化、银矿化及铅锌矿化显示出一定的环状或半环状矿化规律。结合地球物理特征,在金矿化的环形区内侧明显地存在一个等深的环形隆起莫霍面,其隆起中心在胶莱盆地一带,等值区跨越了郯庐断裂及五荣断裂,涉及南黄海及鲁东南、鲁西南地域,胶东地区是其中的一部分(图2,3)。该区构造-岩浆-成矿作用性质、空间分布规律与地幔隆起具有明显的协合性,因此区内中生代的构造-岩浆-成矿作用主要受地幔升降——地幔热柱控制。

2 金矿成矿模式

胶东地区区域大地构造背景:①前寒武系地质演化隶属于华北板块南侧边缘并与扬子板块对接部位的性质,曾发生多期变形、变质作用及岩浆作用;②中生代适值环太平洋构造带上,处于与古太平洋板块强烈挤压俯冲作用以及北面西伯利亚板块向南作用,发生大规模俯冲作用,壳幔之间由积累了大量的能量,并发生幔源隆起及边界超壳深断裂,这种构造控制了该区中生代构造-岩浆-成矿作用。地质、地球物理资料证实该区地幔隆起开始强烈上升活动时间为中生代地台活化初期,与中国东部中生代大陆地壳急剧减薄的时间相对应。根据对地幔柱构造的理论研究,该地区地幔隆起区相当于地球上规模较小的热点区-地幔亚柱顶冠所影响的地区一部分,与冀西北金银多金属成矿区具有相似的控矿构造^[13]。

2.1 地幔热柱构造的构造-超变质-岩浆作用及其时空演化

研究区及邻区构成的地幔亚柱构造的超变质作用主要包括两种类型:一种是与地幔热柱构造作用过程中地幔射气(气体)-喷流(流体)作用等有关的温度型变质作用;另一种是与古太平洋板块于印支期强烈的俯冲作用诱发的地幔热柱构造隆起-伸展-拆离作用有关的应力型变质作用。区内正长岩的形成(交代地幔成因)具有地幔气体(二氧化碳为主)作用形成的特征,交代重熔型花岗岩为超变质作用形成的一个典范,而壳-幔混合型花岗岩的形成又是幔-壳物质交换的直接表现。相当于地幔亚柱的中心部位为大面积中基性火山岩(可见天窗式出露的前寒武纪变质岩)以及外侧的边界断裂带中分布的带状火山岩拉伸盆地,过渡带呈半环状拆离断层带与交代重熔型花岗岩体的半环状隆起两者协调一致,它们在时空演化表现:环状热流导致环状岩浆带的形成,进而形成环状拆离构造、拉伸火山岩盆地(图1,2)。

胶东地区的交代重熔花岗岩基本上属于原地侵位的花岗岩,原岩形成于元古代—新太古代,形成交代重熔岩浆的年龄为 $144 \times 10^6 \sim 199 \times 10^6$ a,为中生代活化深部热液(沿早期被改造的复式褶皱(构造软弱带)上升、交代重熔形成($^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为15.33~15.83, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为16.40~17.87; $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为+7.4‰~+8.8‰, $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为-83‰~-73‰; $\delta^{34}\text{S}$ 为+3.9‰~+14.9‰),固结伴随地幔隆升形成边缘的拆离断层带,即伸展构造体系。据有关资料显示,在青山组底砾岩和莱阳组的上部砾岩层中有相当于玲珑花岗岩的砾石,说明沉积时已有部分花岗岩被剥露地表、在青山组($120 \times 10^6 \sim 100 \times 10^6$ a)形成之前研究区的韧性变形已转入脆性变形系统,隆升作用导致岩体活化去根,形成的含矿溶液。含矿溶液上升、定位于岩体及围岩变质岩的压扭性脆性断裂系统中。壳-幔混合型花岗岩明显的侵位交代重熔型花岗岩及变质岩,侵位界面多呈不规则状,其围岩的热烘烤蚀变作用不发育,局部地段发生小范围的被岩体挤压形成韧性变形带,说明岩体上升侵位时,围岩地质体的地热梯度与岩浆侵位时的温

度梯度基本一致。从这种意义上讲,壳-幔混合型花岗岩 ($^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 17.562~17.618, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.497~15.634, $\delta^{34}\text{S}$ 为 +2.7‰~+10.0‰, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 +8.4‰~+9.1‰) 的形成比火山岩形成要相对早些,但明显比交代重熔型花岗岩的形成晚 ($140\times 10^6\sim 97\times 10^6\text{a}$), 与其相伴生的矿化定位于这种岩体形成之后的张扭性断裂体系之中或早期断裂活化体系之中。区域岩浆作用、火山作用的分布规律及形成时代进一步说明与地幔热柱构造完全相同的结构,中间部位形成中基性火山岩,外围形成交代重熔型花岗岩,从岩浆形成温度上看,从中心向边部温度变低。反之也证实地幔亚柱构造作用存在的客观性。

2.2 地幔热柱构造的成矿作用及时空演化

地幔热柱构造的成矿作用及其时空演化主要表现为深部物质的壳幔混合作用、碱交代作用和矿床成矿作用三方面。在 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解上 (图 3I), 该地区的金矿床含金 (银) 铅锌矿床成分点主要分布在上地壳-地幔演化线之间, 含金银矿床成分点落在地幔演化线上; 氢氧同位素特征显示 (图 3II), 金矿床的成分点多数落入地幔源区及靠近地幔源区的大气水、岩浆水两侧; 含金 (银) 铅锌矿床的成分点落入地幔源区, 含金银矿床的成分点落入大气水区。这种特征表明: 该地区金矿床的成矿物质具有明显的壳幔混合特征, 不同矿床壳源占的比例有多有少, 成矿溶液以幔源为主, 不同矿床存在一定程度的岩浆水和大气水的参与; 含金 (银) 铅锌矿床主要表现为幔源流体的特征 (成分点较少), 而成矿物质的来源也是壳幔混生的特征; 含金银矿床的成矿物质来源为典型地幔源, 而成矿溶液为大气水的特征。矿床最终定位过程中伴随强烈的绢云母化 (K^+ 离子取代)、硅化、钾化等蚀变作用, 其中的部分 K 、 Si 也主要是地幔提供^[12]。各类矿床在空间上密切伴生)、重要的矿床限于特定部位和范围, 成矿时间演化表现金矿化明显集中于燕山中期 ($130\times 10^6\sim 120\times 10^6\text{a}$), 含金银矿化为燕山晚期 ($< 97\times 10^6\text{a}$), 含金 (银) 铅锌矿化介于两者之间、更接近于燕山晚期, 而且成矿物质来源、成矿类型、成矿作用等方面也存在着与地幔、壳-幔作用密切相联的统一体, 构成典型的壳-幔型金、银多金属成矿系列。

3 成矿模式-壳幔成矿模式

壳-幔成矿模式是地幔热柱构造演化的结果, 可以概括为成矿物质的大规模聚集、矿质运移传输、矿床定位三大系统。胶东金矿集中区是胶莱幔隆的一部分, 受边界断裂控制的幔隆上升作用深部物质大规模上涌 (深部去 K 、 Si 、挥发分作用) 和壳幔相互作用进入全面构造岩浆、流体活动阶段, 构成了成矿物质的大规模聚集系统, 它是该区形成不同类型金矿的主要原因或根源所在, 如形成与交代重熔型花岗岩有关的金矿床、壳幔混合型花岗岩有关的含金银矿床及含金 (Ag) 铅锌矿床; 幔隆上升作用的发展, 导致上壳拉张的韧性张扭断裂 (拆离构造) 和花岗岩体的抬升、去根形成的花岗岩穹隆-拆离构造是幔 (壳) 源岩浆、富碱热流体、含矿流体等运移和活动的主要通道, 构成了深部物质运移和传输系统, 也是导致胶东地区金矿空间组合的主导因素; 进而伴随地幔隆起-壳幔作用的发展演化, 出现浅部层次的构造作用 (脆性为主, 脆-韧性次之)、岩浆作用、含矿热液体成矿等地质作用, 构成了矿床的最终富集成矿定位系统。从图 4 中可以看出, 胶东金矿集中区边界断裂基本上控制了该区内的幔隆上升 (郯庐、偃岛断裂, 后者相当于威海-秦皇岛断裂), 其内部的半环形拆离断层 (焦家、

招平—崖子一线)、交代重熔型花岗岩的形成与后期叠加之上的断裂 (NNE 向为主, 其次为 NW 向等) 基本上控制了胶东半岛的金矿化。三山岛、焦家、招平三条低角度断裂系统中几乎集中了胶东地区绝大部分已知的超大型、特大型和具有超大型远景区的金矿床, 占胶东地

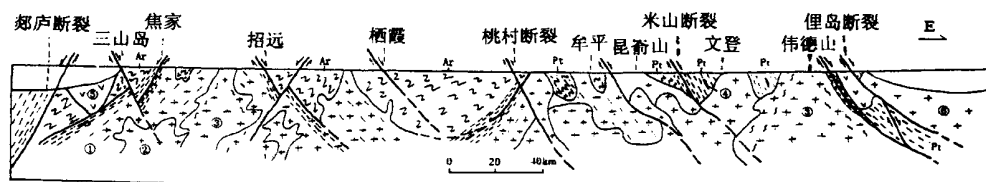


图4 胶东半岛三山岛-旧荣成矿构造-岩浆及控矿构造综合剖面图

①—玲珑 (昆崙山) 早期花岗岩; ②—玲珑 (昆崙山) 晚期花岗岩; ③—郭家岭 (伟德山) 花岗岩; ④—榴辉岩; ⑤—中生代火山岩; ⑥—碱性花岗岩; Pt—元古宙地层及花岗片麻岩; Ar—太古宙地层及“TTG”岩系

Fig. 4. Tectonic-magmatic and ore-controlling structural composite geological section along Sanshandao-Jiurongcheng of East Shandong Peninsula.

①—Linglong (Kunyushan) early granite; ②—Linglong (Kunyushan) late granite; ③—Guojialong (Weideshan) granite; ④—Eclogite; ⑤—Mesozoic volcanic rock; ⑥—Alkali granite; Pt—Proterozoic and granitic gneiss; Ar—Archeozoic strata and “TTG” rock series.

区金矿储量 80%; 向东栖霞、乳山-牟平也集中了相对较重要的金矿床, 以及伴随的含金银矿床、含金铅锌矿床。焦家、招平断裂及崖子—东井口断裂 (实为招平断裂的东沿) 的韧性变形组构均指示具拆离性质 (正) 的中浅部韧性剪切带, 分布在交代重熔型花岗岩与变质岩接触带之间, 外侧向外倾、内侧向内倾。交代重熔型花岗岩是伴随地幔隆升作用、地幔流体上升交代胶东群形成的, 这种类型的花岗岩均广泛发育塑变组构, 并与边部拆离断层相伴生 (同时或同期) 形成, 这种效应为隆升时处于半固结状态的花岗岩被抬升与围岩相互作用的结果。地幔隆升作用进一步发展, 热流体沿环状面上升聚集, 并发生去根作用 (交代重熔型花岗岩), 隆升作用进入脆性域韧性变形逐步被叠加脆性变形系统 (主要为 NNE 向) 所代替, 成矿热液进入脆性断裂系统, 并发生交代、蚀变作用, 进入拆离断层带中形成拆离型金矿床, 进入压 (张) 扭性断裂体系中形成压扭型金矿床, 张扭性断裂体系中形成张扭型金矿床等。如果断裂带内其发育较好、连续完整的片理化带或断层泥 (如: 焦家、大尹格庄含矿断裂), 则可形成规模较大的细脉-浸染状蚀变岩为主的矿体, 即为所谓的蚀变岩型金矿 (焦家式金矿床); 主断层多为压 (张) 扭性质, 下盘破裂更为发育, 加上主断裂面的断层泥等的封闭作用, 因此许多的矿床往往赋存在断层带下盘的片理化相对不发育的次一级断裂中 (如: 邓格庄金矿、西直格庄金矿、玲珑金矿等), 形成石英脉状为主的矿体, 所谓的石英脉型金矿。胶东地区金矿床多数赋存在主断裂不连续的断层泥、不十分发育的主断层及次级断层中, 因此主要形成石英脉型金矿, 从本质上讲与蚀变岩型在成因上无差别。以壳-幔岩浆混合作用为该地区形成含金银矿床、含金 (银) 铅锌矿床提供了成矿前提, 与该地区地幔柱晚期演化有密切的关系。

成矿物质的大规模聚集与岩浆作用 (产生过程) 均是壳幔物质相互作用过程中的演化产物, 两者是深部壳幔相互作用过程中的两个既互相联系又互相独立的演化系统, 可以认为成

矿物质大规模聚集系统主要表现为伴随壳幔物质与能量的交换, 幔源成矿物质上升, 深部有用物质的活化、迁移, 构成了以幔源为主的壳幔 (或以壳为主) 混合含矿流体循环系统, 而伴随地幔隆起形成大型的穹隆构造体系及发育的不同层次伸展构造, 制约了地幔与地壳物质的相互作用方式和强度与空间范围, 导致岩浆作用 (超变质作用)、成矿作用呈现明显的层次性。而地幔热柱构造活动的多期次脉冲性和不断隆升是导致不同构造层次的韧性、脆性剪切带、拆离滑脱带的多期性和叠加性的根源。胶东地区中生代金矿的形成, 揭示了不同层次构造-岩浆-成矿作用相互制约关系 (图 5)。

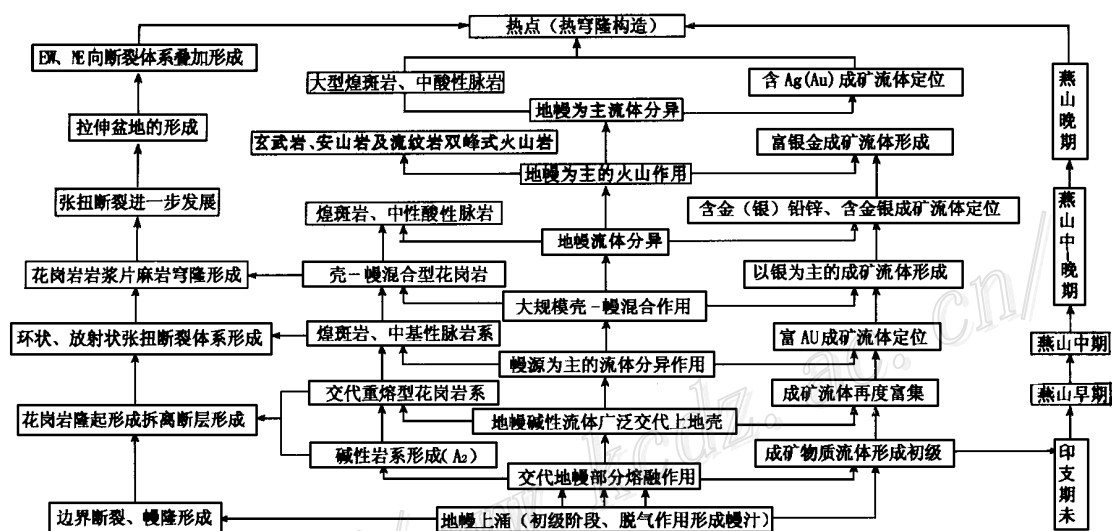


图 5 胶东金矿集中区的壳-幔成矿模式

Fig. 5. Model of crust-mantle mineralization in the gold deposits of east Jiaodong area.

区域地质背景的研究、成矿规律的讨论以及成矿类型的建立、成因类型的划分等, 其目的在于摸清成矿规律, 指导地质找矿。本文在研究分析胶东地区金矿的地质背景并借鉴相邻地区的基础地质资料, 确立了胶东地区中生代地壳演化主要受地幔隆起 (亚地幔柱) 控制。从构造位置上该区处于滨 (环) 太平洋强烈的构造活动带上 (A 型俯冲), 因此这种地幔隆起构造是地幔亚热柱的半球状顶冠的形成而造成了地幔对流, 并诱发岩石圈发生多重流变, 派生的地幔热柱构造的三级构造单元——幔枝构造, 促使该地区呈椭圆形隆升。本文是作者近年工作基础上撰写的, 有关内容尚待继续研究发表。

参 考 文 献

- 1 卢冰, 胡受奚, 周顺之等. 山东半岛的地体构造及金矿成矿的区域地质背景. 地质论评, 1995, 4 (1): 7~14.
- 2 孙景贵, 刘春华, 郑常青. 胶东半岛东部中生代中酸性花岗杂岩形成机理. 高校地质学报, 1996, 2 (2): 207~217.
- 3 林景仟, 谭东娟, 迟效国等. 胶辽半岛中生代花岗岩. 北京: 科学出版社, 1992.
- 4 丛柏林, 张儒瑗, 李曙光等. 中国苏北—胶东南高压变质带的同位素地质年代学初探. 岩石圈构造演化开放研究实验年报, 1990, 73~76.
- 5 孙景贵, 胡克. 胶东东部地区元古宙花岗岩类的地球化学及岩石成因. 岩石学报, 1997, 13 (3): 399~450.

- 6 霍光辉, 罗卫. 应用地球物理资料对胶南地体构造特征的探讨. 山东地质, 1993, 9 (2): 45~ 51.
- 7 陈昌礼. 连云港市物探专辑. 勘查地球物理与勘查地球化学文集, 北京: 地震出版社, 1992, 13.
- 8 魏斯禹. 中国东部大陆边缘地带的岩石圈结构与动力学. 北京: 科学出版社, 1990.
- 9 吴宗絮, 邓晋福, 赵海玲等. 华北大陆地壳-上地幔岩石学结构与演化. 岩石矿物学杂志, 1988, 13 (2): 105~ 110.
- 10 赵国春, 吴福元. 幔柱构造——一种新的大地构造理论. 世界地质, 1994, 13 (1): 25~ 34.
- 11 姚凤良, 刘连登, 孔庆存等. 胶东西北部脉状金矿. 长春: 吉林科学技术出版社, 1990.
- 12 孙丰月, 石淮立, 冯本智. 胶东金矿地质及幔源 C-H-O 流体分异成矿. 长春: 吉林科学技术出版社, 1995.
- 13 李红阳, 阎升好, 王金锁等. 初论地幔热柱与成矿——以冀西北金银多金属成矿区为例. 矿床地质, 1996, 15 (3): 249~ 256.
- 14 杨士望. 胶东半岛东部金矿地质. 青岛: 海洋大学出版社, 1993: 267~ 287.
- 15 陈振胜, 张理刚, 刘敬秀等. 胶东区域岩石铅同位素地球化学背景研究. 地质找矿论丛, 1994, 9 (1): 65~ 77.
- 16 陈振胜, 张理刚, 刘敬秀等. 胶东金矿矿区岩石氢氧同位素地球化学背景初探. 岩石矿物学杂志, 1995, 14 (3): 211~ 217.
- 17 Eby G N. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications. Geology, 1991, 20: 641~ 644.
- 18 Anes L, Zhou G Z, Xiong B C. Geochronology and isotopic character of ultrahigh-pressure metamorphism with implication for collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons. Central China. Tectonics, 1995, 14: 994~ 1006.
- 19 Maruyama S. Plume tectonics. J. Geol. Soc. Japan, 1994, 100: 24~ 49.
- 20 Campbell I H, Griffiths R W. The changing nature of mantle hotspots through time: implications for the chemical evolution of the mantle. J. Geol., 1992, 100: 487~ 524.

A PRELIMINARY DISCUSSION ON THE METALLOGENIC MODEL OF GOLD DEPOSITS IN JIAODONG AREA

Sun Jinggui, Hu shouxi and Zhao Yiyang

(Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093)

Yao Fengliang

(Changchun University of Science and Technology, Changchun 130061)

Key words: Mesozoic, crust-mantle mineralization, metallogenic model, gold mineralized area in east Shandong

Abstract

Comprehensive studies have revealed that there is an obvious and enormous thermal dome structure consisting of mantle plume-mantle branch in the light of metallogenic regularity and geophysical information. This is a special tectonic unit that strides across two different tectonic settings: the southeast part of North China plate and part of Circum-Pacific orogenic zone. The ultra-crust faults (West Tanlu fault, Northeast Weihai-Qinhuangdao fault and southeast Wulian-Rongcheng fault) are distributed around the periphery of the mantle

eralized area. At the center, Mesozoic volcanic rocks occur in Jiaolai basin; on the sides, there are metamorphic rocks and granite rocks, which are related to the mantle-crust movement.

The large and superlarge gold deposits are concentratedly distributed in the Linglong-Kunyushan granite batholite or its contact zone; other silver deposits or ore spots are related to the crust-mantle mixed source; Pb-Zn deposits or ore spots have to do with intermediate-acid granitic complexes and metamorphic rocks. Hence, the Au-Ag and Pb-Zn polymetallic series seem to be the ultimate evolutionary products of the hotspots in Mesozoic. In the whole evolutionary process, massive upwelling of mantle-source substances and crust-mantle interaction acted as a large gold-silver-polymetallic enrichment system. The enormous dome structure is the transferring system of ore materials, whereas magmatism and thermal fluid action make up the locations of ore deposits.

1999 年《矿床地质》审稿人员名单

1999 年度以下矿床学专家为《矿床地质》多次审过稿件, 为本刊刊文质量提高做出了较大贡献, 编辑部特此表示感谢!

丁悌平	马东升	于凤池	王玉往	王正邦	王居里	王关玉	王鹤年	邓晋福
毛景文	母瑞身	冯钟燕	卢欣祥	叶庆同	史明魁	华仁民	祁思敬	曲晓明
任秉琛	孙岱生	邬介人	耿树方	刘连登	陈文明	陈从喜	李华芹	李延河
李荫清	芮行健	芮宗瑶	邱小平	沈胃洲	宋学信	吴良士	吴必豪	吴淦国
肖序常	杨岳清	杨建民	张宗清	张德全	林文蔚	周济元	周珣若	施道林
郭立鹤	莫宣学	秦克章	陶维屏	徐 珏	徐志刚	袁忠信	袁润广	袁奎荣
黄典豪	章邦桐	谭运金	翟裕生	薛春纪				