胶西北金矿集区成矿作用发生的地质背景

邓 军, 王庆飞, 杨立强, 王建平, 高帮飞, 刘 琰

(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)

摘 要:通过矿集区赋存的地质背景,包括区域重大地质事件、壳幔结构、深断裂及浅层断裂系的导流性、区域流体活动、地层建造及岩浆侵入事件等研究,建立了矿集区形成与演化框架,并提出了形成的必备因素。成矿诸因素间彼此关联,耦合为大型矿集区的形成提供了必备而优越的条件。地质演化历史中构造体制转换事件是大规模成矿作用发生的基础,其引起的区域壳幔物质交换、岩浆活动等系列事件及耦合作用为区域成矿作用提供了充足成矿物质、良好导流网络、丰富成矿流体、持续成矿能量等必备条件,最终导致矿集区的形成。

关键词:胶西北金矿集区; 壳幔结构; 构造体制转换; 成矿流体

中图分类号:P611 **文献标识码**:A **文章编号**:1005-2321(2004)04-0527-7

胶西北矿集区是中国重要的金产地,研究历史悠久。矿集区发生的区域地质条件、演化过程及构造体制转换-岩浆活动-成矿作用间的内在联系一直是学者关注的焦点。本文在查清矿集区赋存的宏观地质背景(如区域重大地质事件、壳幔结构、深断裂及浅层断裂系的导流性、区域流体活动、地层建造及岩浆侵入事件等)基础上,建立了矿集区形成与演化框架,并进一步讨论了矿集区发生的必备因素及其多因耦合机制。

1 区域成矿背景

1.1 大地构造背景与深断裂

胶西北矿集区位于胶东地体西北部(即胶北隆起西部),郯庐断裂沂沭段为其西部边界,苏鲁超高压带在该区北部展布(图 1)。在胶北隆起内部及其周边地区,岩石圈断裂与地壳断裂较为发育。区域主要深断裂,如郯庐断裂、牟平—即墨断裂、五莲—荣成断裂、招平剪切带、艾山剪切带以及胶西北隆起与胶莱坳陷之间的分界构造带等,在深部磁场和重力场中表现为明显的梯级带,反映了深大断裂的贯通性。深断裂对区域岩浆活动与成矿事件有明显的制约,胶东地体金矿点主要沿多个深断裂展布而形成若干次级成矿带,矿带的金储量随矿带与郯庐断裂间距离的增大而不断减少。

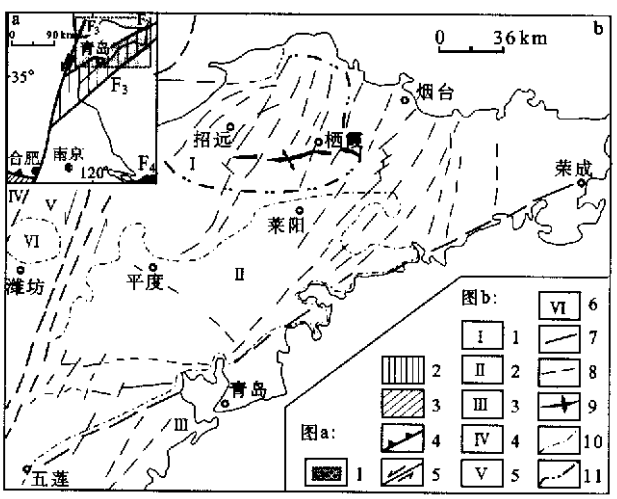


图 1 胶东西北部矿集区大地构造位置图

(据吴根耀,2003[1]和山东招金集团公司,2002[2]资料修编)

Fig. 1 Tectonic location of the deposit concentrated area, northwestern Jiaodong area, Shandong Province

a:1—图 b 在图 a 中的位置; 2—苏鲁造山带; 3—秦岭—大别造山带; 4—残留的地缝合线; 5—走滑断裂; F_1 为郯庐断裂; F_2 为五莲—荣成断裂; F_3 为庐江—灌云断裂; F_4 为苏州—昆山断裂。b: 1—胶西北隆起; 2—莱阳坳陷; 3—胶南隆起; 4—潍西坳陷; 5—潍坊坳陷; 6—潍县隆起; 7—岩石圈断裂; 8—地壳断裂; 9—栖霞背斜; 10—地质单元界线; 11—古陆边界

收稿日期:2004-05-29;修订日期:2004-07-30

基金项目:教育部科学技术研究重点项目(01037,03678);国家自然科学基金资助项目(40172036);教育部跨世纪人才基金和国家重点基础研究发展规划项目(1999043206)

作者简介:邓 军(1958—),男,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、成矿流体及成矿动力学的教学和科研工作。

1.2 构造体制转换事件

与胶西北矿集区有关构造体制转换事件主要包括：(1)在 240～216 Ma[3～5] 阶段，华北与扬子板块的碰撞导致郯庐断裂雏形和苏鲁超高压带的形成及岩浆侵入事件的发生。(2)在 140 Ma 阶段，由于伊泽奈崎(Izanag)板块由慢速俯冲转为快速俯冲(20～30 cm/a)，引发郯庐断裂的大规模左型滑移[6]。(3)在早白垩世(130～120 Ma)阶段，中国东部岩石圈地幔及部分下地壳拆沉，引起软流圈上涌和上地

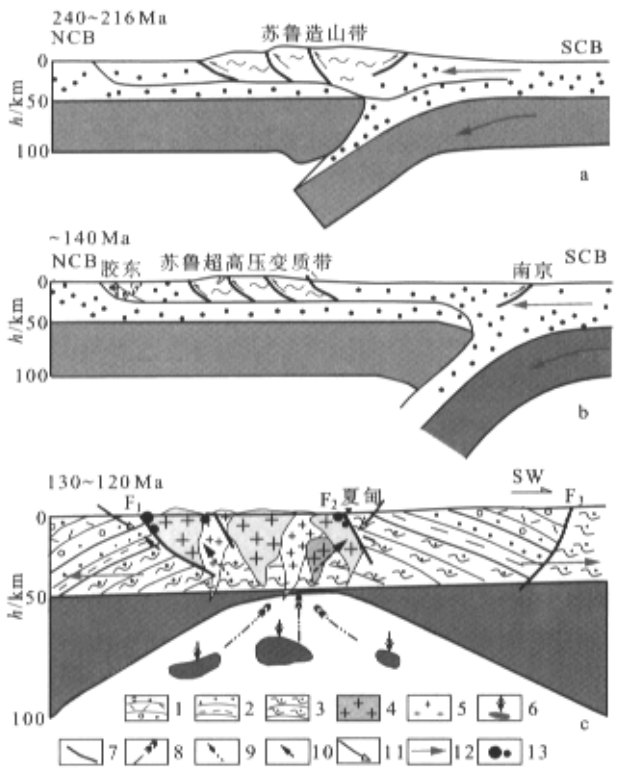


图 2 与成矿有关的主要地质事件的时代图示

Fig. 2 Chronological figure of the main geologic events related to metallogeny

a：华北-扬子板块碰撞与苏鲁超高压变质带形成；b：Izanag 板块快速俯冲，郯庐断裂大规模左型滑移；c：岩石圈拆沉与胶西北矿集区成矿作用发生。1—中、新生界；2—古、中元古界；3—新太古界；4—玲珑花岗岩；5—郭家岭花岗岩；6—拆沉作用；7—断裂；8—地幔流体；9—岩浆流体；10—变质流体；11—大气降水；12—板块运动方向；13—金矿；F_1 为焦家断裂带；F_2 为招平断裂带；F_3 为五莲—荣成断裂

壳伸展[7,8]，并与断裂深切割作用相耦合，进一步引发岩浆活动、区域应力场性质转变及大规模成矿流体活动(图 2)。

1.3 壳幔结构

胶东及其邻区天然地震近震首波 Pn 残差由西向东逐渐减小，反映了地壳厚度和平均波速的差异性。而视速度 v_{Pn} 在 310°左右为最大，70°方向最小，表明其上地幔存在约 8%的波速各向异性；区域莫霍面呈波状起伏，幔隆与幔凹交替产出(图 3)。以

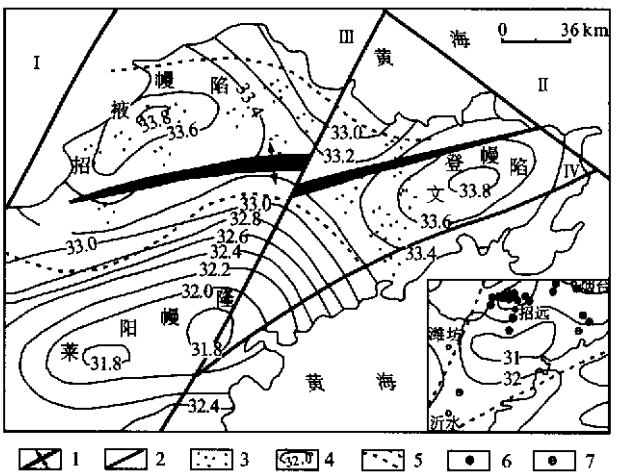


图 3 胶东地区深断裂成熟度与金成矿系统[10]

Fig. 3 Maturity of deep faults and gold ore-forming system in Jiaodong area, Shandong

Ⅰ为郯庐断裂；Ⅱ为秦皇岛—威海断裂；Ⅲ为桃村—即墨断裂；Ⅳ为五莲—荣成断裂；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；6—焦家式金矿；7—玲珑式金矿

上特征表明大陆地壳和岩石圈地幔结构具不均一性，经历过较为强烈的构造扰动。金矿床(点)往往产于莫霍面的梯度变化处或变形部位，它既与幔隆及幔凹的交替产出有关，也与深断裂对莫霍面的影响有关[9,10]。

1.4 地层建造

在区域地层建造中缺失整个古生界，新元古界及中、新生界也发育不全，显示了沂沭断裂东侧的胶西北地壳长期上升的特征。新太古代胶东群—古元古代荆山群、粉子山群变质岩地层中金的丰度较高，且变异较大，而 Au 与 Cu、Pb、Zn、Cr、Ti、Sr、Ba 等元素均呈负相关关系，表明金在岩石中呈分散状态，不易成矿且有大量迁出，说明新太古代—古元古代变质岩为金成矿提供了物质来源，成为中间矿源岩。而新太古代变质岩金的丰度变异更大，表明对金成矿贡献更大[11,12]。

1.5 岩浆活动

胶西北地区岩浆活动频繁，具有多期多旋回的特点。据原岩成分、结构、构造及产出状态，结合同位素年龄值和岩体接触关系，划分出 3 种岩石类型：片麻状黑云母花岗岩(简称玲珑型)、斑状角闪花岗闪长岩(简称郭家岭型)以及钾长花岗岩(简称滦家河型)(图 4)。高精度同位素定年表明玲珑花岗岩

与滦家河花岗岩形成于(146±3)～(160±3) Ma[13~15]。郭家岭花岗岩形成于(126±2)～(130±3) Ma[15~18]。岩石地球化学和 Sr-Nd-Pb 同位素的系统测试研究表明玲珑片麻状花岗岩和滦家河钾长花岗岩具有壳源深熔花岗岩特点，是华北板块与扬子板块碰撞造山后的产物[17]。郭家岭花岗岩显示壳幔混合的特点，为壳幔物质交换及断裂深切割引发的岩浆活动[19]。

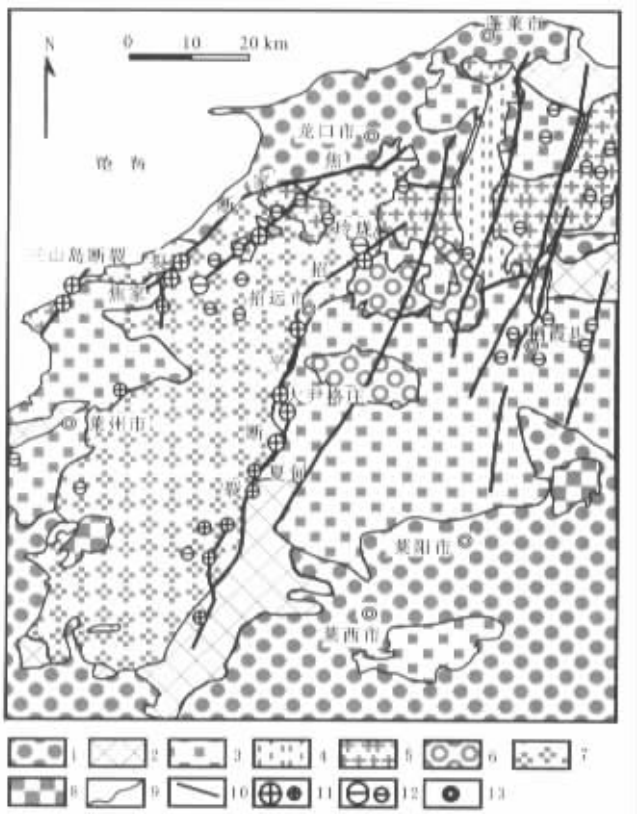


图 4　胶西北矿集区地质矿产图

(据 L. G. Wang，1998[15]和山东招金集团公司，2002[2]资料修编)

Fig. 4　Sketch map of geology and mineral products in deposit concentrated area, northwestern Jiaodong area

1—中、新生界；2—古、中元古界；3—新太古界；4—艾山花岗岩；5—郭家岭花岗岩；6—滦家河花岗岩；7—玲珑花岗岩；8—未定名花岗岩；9—地质界线；10—断裂；11—焦家式金矿；12—玲珑式金矿；13—城市

胶西北金矿集中区与金矿空间伴生的脉岩为高钾-钾质或钾玄质-高钾钙碱性脉岩系，侵位年龄在140～90 Ma[20]，均为壳幔物质混合的产物，源区由富集型地幔向亏损型地幔逐步过渡，它从一个侧面证实了中生代中国东部区域岩石圈拆沉事件。

区域地质资料与稀土元素、稳定同位素特征显示成矿活动与玲珑型花岗岩，尤其是郭家岭花岗岩和成矿期脉岩有密切的成因关系。

1.6　成矿物质来源

同位素研究发现矿集区成矿物质具有多来源(表1)，如：①玲珑矿田铅同位素组成较稳定，$N(^{206}Pb)/N(^{204}Pb)$为 17.214～17.345，$N(^{207}Pb)/N(^{204}Pb)$为 15.413～15.410，$N(^{208}Pb)/N(^{204}Pb)$为 37.729～38.050，其在 Zartaman 图解上位于下部地壳和幔源铅演化线之间，表明成矿物质总体为地壳物质，也有幔源成分的加入[21]。②焦家金矿 $\delta^{34}S$ 平均值为 10.27‰，花岗岩的 $\delta^{34}S$ 平均值为 7.9‰～10.2‰，胶东群岩的 $\delta^{34}S$ 平均值为 7.4‰，从而证实矿石硫同位素来源于花岗岩的源岩胶东群变质岩。

表 1　胶东地区同位素组成

Table1　Isotopes components in Jiaodong area

对象		测试内容		
玲珑岩体	年龄/Ma	Rb-Sr(全岩)	SHRIMP(年代范围)　(锆石)	
		156±1.1	(146±3)～(160±3)	
	同位素比值	$N(^{87}Sr)/N(^{86}Sr)$	$N(^{206}Pb)/N(^{204}Pb)$	$N(^{207}Pb)/N(^{204}Pb)$
		0.702 8～0.716 0	17.313 17.229	15.421 15.433
滦家河岩体	年龄/Ma	Rb-Sr(全岩)	SHRIMP	
		152.5±7.2	(152±10)～(157±5)	
	同位素比值	$N(^{87}Sr)/N(^{86}Sr)$	$N(^{206}Pb)/N(^{204}Pb)$	$N(^{207}Pb)/N(^{204}Pb)$
		0.712 5	16.948 17.313	15.276 15.513
郭家岭岩体	年龄/Ma	Rb-Sr(全岩)	SHRIMP	
		131.9±8.8	(126±2)～(130±3)	
	同位素比值	$N(^{87}Sr)/N(^{86}Sr)$	$N(^{206}Pb)/N(^{204}Pb)$	$N(^{207}Pb)/N(^{204}Pb)$
		0.709 4～0.712 1	17.124 17.386	15.405 15.409
成矿时代与流体同位素组成	焦家/玲珑金矿	SHRIMP	$N(^{206}Pb)/N(^{204}Pb)$	$N(^{207}Pb)/N(^{204}Pb)$
		(120±2)～(128±2)	17.198 17.207	15.438 15.444
		$\delta^{13}C_{PDB}$/‰　$\delta^{34}S$/‰	$\delta^{18}O$/‰	δD/‰
		−6.4～3.4　10.27～6.61	12.4(Ⅰ) 13.2(Ⅱ) 14.4(Ⅲ)	−73(Ⅰ) −80(Ⅱ) −92(Ⅲ)

注：Rb-Sr 测年资料引自杨进辉等，2000[18]；$\delta^{13}C_{PDB}$ 数据引自毛景文等，2002[22]；$N(^{87}Sr)/N(^{86}Sr)$，$\delta^{18}O$，δD 数据引自张理刚等，1994[22]；$\delta^{34}S$ 数据引自张理刚，1985[24]；$N(^{40}Ar)/N(^{4}He)$，$N(^{3}He)/N(^{4}He)$数据引自张连昌等，2002[25]。

成矿流体呈现多来源的特点，岩浆流体、变质流体与幔源流体不同程度地参与了成矿作用。玲珑、焦家金矿的 $\delta^{13}C_{PDB}$ 值(−3.4‰～−6.4‰)与地幔来源碳同位素值(−7‰)相当接近[22]，说明成矿流体有幔源成分参与；焦家金矿矿石黄铁矿中流体包

裹体 $N(^{40}Ar)/N(^{4}He)$为 0.09～1.35，介于地幔与地壳之间，$N(^{3}He)/N(^{4}He)$为 3.0±0.2，比地壳的比值高 40～60 倍，进一步证实成矿作用同壳幔流体混合作用有关[25]；而流体包裹体中的高 CO_2 含量也证实了幔源流体的参与。成矿包裹体的氢、氧稳定同位素测试值在图解上显示为成矿流体的初始状态偏离了变质流体与岩浆流体的范围，随着成矿作用的持续而向大气线漂移。上述分析说明流体主要为变质水-岩浆水-幔源流体的混合物，后期有大气降水的参与。

1.7 导流网络

本区域主要发育两个深度层次的构造，一是东西向隐伏断层，其在重磁场中有显示，并在地表有零星痕迹；二是在地表壳见到明显构造形迹的几组断裂系，每一组均是围绕一主干深断裂发育的诸多次级断裂。主次断裂切割深度各异，且彼此连通，形成了导流-控矿网络。胶西北金矿集中区平面构造系的分维值为 1.46(图 5)，该平面构造网络的分维值是断裂连通性及热液活动强度的重要指标。其他地区构造网络二维分维值研究发现，分维值在 1.4～1.5 的地区显示断裂具有很好的连通性，有良好的矿化前景[26]。由此可推断胶西北矿集区的平面断裂网络具有较好的导流性。

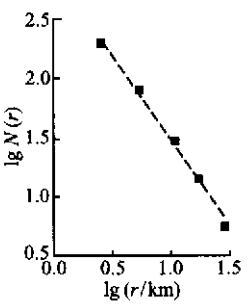


图 5 招远—莱州地区线、环形体分形特征

Fig. 5 Fractal property of linear structure and circular structure of Zhaoyuan-Laizhou area, Shandong Province

2 矿集区演化过程

胶西北热液成矿系统的演化主要包括以下几个阶段(图 3)：

(1)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，产生了绿岩带，其为后期燕山期成矿作用提供了部分成矿元素。

(2)240～216 Ma 期间，华北与扬子板块碰撞，导致郯庐断裂雏形及苏鲁超高压带的形成，并对胶西北基底进行了改造。造山后的区域伸展导致改造过的基底发生熔融，引起玲珑与滦家河花岗岩的侵入，区域性导流-控矿断裂系的雏形也在该阶段形成。

(3)140 Ma 左右，Izanag 板块由慢速俯冲转为快速俯冲(20～30 cm/a)，引发地幔物质上涌及郯庐断裂的大规模左型滑移，使得壳幔物质混合、熔融并沿深断裂上侵，在胶西北地区形成郭家岭花岗岩。同时，快速俯冲也引起幔源流体的形成与向上运移，区域性导流-控矿断裂系基本形成。岩浆多期侵位形成的高热异常为变质流体形成及成矿元素迁移提供了温床。

(4)130～120 Ma 期间，岩石圈北北东向拆沉和区域地壳伸展背景下，原压剪性的区域断裂转为张剪性，幔源流体与岩浆流体、变质流体混合，成矿作用发生。

3 矿集区发生的多因耦合机制

影响胶西北矿集区产生的因素诸多，主要包括 6 个因素：(1)成矿物源丰富多样：成矿物质来自岩浆、地幔及地层等多个矿源；(2)成矿地质流体汇集：岩浆流体、幔源流体和变质流体及大气降水共同组成了成矿流体系统；(3)高热动力异常：多期次岩浆侵入、岩脉活动及区域构造的长期活动为区域流体的渗透-循环-定位提供了能量；(4)壳幔物质循环显著：板块碰撞和郯庐岩石圈断裂的深切割作用引发了壳幔物质混合，并造成壳幔混合的岩浆侵入及幔源流体活动；(5)大型构造密集并长期活动：大型构造的活动不但促使岩浆产生，并且为其向上运移提供了通道，其与周围产生的浅层次级构造组成了区域控矿-导流网络；(6)漫长的地质成矿历史：自太古宙至燕山晚期，在复杂的地质演化历史中，构造体制发生多次转换(主要指由于地幔柱上升、板块碰撞、岩石圈拆沉等重大地质事件)，引发了壳幔物质交换、深断裂活动、岩浆侵入、应力场性质转变等系列事件，是大规模成矿作用发生的基础。以上分析可以看出，成矿诸因素彼此关联、耦合，为大型矿集区的形成提供了必备而优越的条件[27]。其相互耦合的意义在于地质事件均存在广泛的联系：(1)地质事

件之间具有成因联系，如伊泽奈崎(Izanag)板块的快速俯冲产生了郯庐断裂的左型大规模走滑、幔源流体的产生及上地幔上涌等多个事件；(2)两事件或多个事件共同作用而引发另一事件，如板块碰撞引起的上地幔上隆与郯庐深断裂的剪切熔融共同作用加速壳幔物质的混合并产生郭家岭岩体；(3)事件之间通过相互作用而相互激励，例如区域断裂的剪切作用引发岩浆热液的产生，后者又通过水解弱化等方式增强断裂的剪切作用。在诸事件的耦合作用框架中，华北板块-扬子板块的碰撞、伊泽奈崎(Izanag)板块的快速俯冲及岩石圈拆沉是原动力，两者引起区域性深断裂的形成及长期活动、壳幔物质相互混合、岩浆活动与幔源流体形成，而深断裂的切割作用又加剧了后三者的规模与强度。多期岩浆活动既提供了大量含矿流体，又为区域流体提供了热动力源。成矿流体的多来源性是成矿物源丰富多样的直接因素。

4 结论

胶西北矿集区宏观成矿背景的解析发现，地质演化历史中构造体制转换事件是大规模成矿作用发生的基础，其引起的区域壳幔物质交换、岩浆活动等系列事件的耦合作用为区域成矿作用提供了充足的成矿物质、良好的导流网络、丰富的成矿流体、持续的成矿能量等必备条件，并最终导致了矿集区的发生。

References[参考文献]:

[1] WU Genyao, MA Li, CHEN Huanjiang, et al. Tectonic evolution of the Su-Wan block, creation of the Su-Lu orogen and orogenesis-coupled basin developing[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2003,27(4):337-353(in Chinese). [吴根耀，马力，陈焕疆，等. 苏皖地块构造演化、苏鲁造山带形成及其耦合的盆地发育[J]. 大地构造与成矿学，2003，27(4)：337-353.]

[2] LU Dongshang, LIN Jizhao, GUO Cunyu, et al. *Geology and Prospective in Gold Deposits Clustering Region of Zhaoyuan, Shandong*[M]. Beijing: Seismological Press, 2002. 174-177(in Chinese). [路东尚，林吉照，郭纯毓，等. 招远金矿集中区地质与找矿[M]. 北京：地震出版社，2002. 174-177.]

[3] YANG Wencai, YU Changqing. Kinetics and dynamics of development of the Dabie-Sulu UHPM terranes based on geophysical evidences[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2001, 44(3):347-359(in Chinese). [杨文采，余长青. 根据地球物理资料分析大别—苏鲁超高压变质带演化的运动学与动力学[J]. 地球物理学报，2001，44(3)：347-359.]

[4] LI Shuguang, JAGOUTZ E, XIAO Linyi, et al. Chronology of ultrahigh-pressure metamorphism in the Dabie Mountains and Su-Lu terrane: I. Sm-Nd isotope system[J]. *Science in China* (*Series* D), 1996, 39(6): 587-609.

[5] LI Shuguang, LI Huimin, CHEN Yizhi, et al. Chronology of ultrahigh-pressure metamorphism in the Dabie Mountains and Su-Lu terrane: Ⅱ. Zircon U-Pb isotope system[J]. *Science in China* (*Series* D), 1997, 27(3): 200-206(in Chinese). [李曙光，李惠民，陈移之，等. 大别山—苏鲁地体超高压变质年代学——Ⅱ. 锆石 U-Pb 同位素体系[J]. 中国科学(D辑)，1997，27(3)：200-206.]

[6] XU Guizhong, ZHOU Rui, YAN Zhen, et al. Discussion on the evidences of Mesozoic lithosphere thinning and its dynamic mechanism in Jiaodong area[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2001,25(4):368-380(in Chinese). [徐贵忠，周瑞，闫臻，等. 论胶东地区中生代岩石圈减薄的证据及其动力学机制[J]. 大地构造与成矿学，2001，25(4)：368-380.]

[7] ZHU Guang, SONG Chuanzhong, NIU Manlan, et al. Lithospheric texture of the Tan-lu fault zone and their genetic analysis [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2002,8(3): 249-256(in Chinese). [朱光，宋传中，牛漫兰，等. 郯庐断裂带的岩石圈结构及其成因分析[J]. 高校地质学报，2002，8(3)：249-256.]

[8] ZHU Guang, WANG Daoxuan, LIU Guosheng, et al. Extensional activities along the Tan-Lu fault zone and its geodynamic setting[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2001,36(3): 269-278(in Chinese). [朱光，王道轩，刘国生，等. 郯庐断裂带的伸展活动及其动力学背景[J]. 地质科学，2001，36(3)：269-278.]

[9] DENG Jun, YANG Liqiang, ZHAI Yusheng, et al. Association of elements of geologic bodies and the constituents and evolution of ore source system[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 1999,20:414-419(in Chinese). [邓军，杨立强，翟裕生，等. 地质体元素组合与矿源系统组成及演化[J]. 地球学报，1999，20：414-419.]

[10] DENG Jun, YANG Liqiang, FANG Yun, et al. Crust-mantle interaction and ore-forming effect of gold ore deposits concentrating area in Jiaodong, Shandong, China[J]. *Scientia Geological Sinica*, 2000a,35(1):60-70(in Chinese). [邓军，杨立强，方云，等. 胶东壳-幔相互作用与金成矿效应[J]. 地质科学，2000a，35(1)：60-70.]

[11] DENG Jun, LIU Wei, SUN Zhongshi, et al. Evidence of mantle-rooted fluids and multi-level circulation ore-forming dynamics: A case study from the Xiadian gold deposit, Shandong Province, China[J]. *Science in China* (*Series* D), 2003a,46(Suppl):96-104(in Chinese). [邓军，刘伟，孙忠实，等. 幔源流体判别标志及多层循环成矿作用动力

学——以山东夏甸金矿床为例[J]. 中国科学(D辑),2003a,46(增刊):96-104.]

[12] DENG Jun, YANG Liqiang, SUN Zhongshi, et al. Metallogenic model of gold deposits of the Jiaodong granite- greenstone belt[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2003b, 77(4): 537-546.

[13] MIAO Laicheng, LUO Zhenkuan, GUAN Kang, et al. The implication of the SHRIMP U-Pb age in zircon to the petrogenesis of the Linglong granite, east Shangdong Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1998, 14(2): 199-206(in Chinese). [苗来成,罗镇宽,关康,等. 玲珑花岗岩中锆石的离子质谱 U-Pb 年龄及其岩石学意义[J]. 岩石学报,1998,14(2):199-206.]

[14] LUO Zhenkuan, GUAN Kang, MIAO Laicheng, et al. Review and prospecting for computer technology application in the geological works in Zhaoyuan-Laizhou area, Shandong [J]. *Shandong Geology*, 1999, 15(3): 24-57(in Chinese). [罗镇宽,关康,苗来成,等. 招远—莱州地区花岗岩类继承锆石年龄及其意义[J]. 山东地质,1999,15(3): 24-57.]

[15] WANG L G, QIU Y M, McNAUGHTON N J, et al. Constraints on crustal evolution and gold metallogeny in the Northwestern Jiaodong Penisula, China, from SHRIMP, U-Pb zircon studies of granitoids[J]. *Ore Geology Reviews*, 1998, 13: 275-291.

[16] LU Huanzhang, YUAN Wanchun, ZHANG Guoping, et al. Stable isotope studies and age dating of gold deposits and Linglong granites in Linglong-Jiaojia Area, Shandong, China [J]. *Journal of Guilin Institute of Technology*, 1999a, 19(1): 1-8(in Chinese). [卢焕章,袁万春,张国平,等. 玲珑—焦家地区主要金矿床稳定同位素及同位素年代学[J]. 桂林工学院学报, 1999a,19(1):1-8.]

[17] ZHOU Taihe, LÜ Guxian. Tectonics, granitoids and mesozoic gold deposits in East Shandong, China[J]. *Ore Geology Reviews*, 2000, 16: 71-90.

[18] YANG Jinhui, ZHOU Xinhua, CHEN Lihui. Dating of gold mineralization for super-large altered tectonite-type gold deposits in Northwestern Jiaodong Peninsula and its implications for gold metallogeny[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2000, 16(3): 454-458(in Chinese). [杨进辉,周新华,陈立辉. 胶东地区破碎带蚀变岩型金矿时代的测定及其地质意义[J]. 岩石学报,2000,16(3):454-458.]

[19] QU Xiaoming, WANG Henian, RAO Bing. Partial melting experiments of Jiaodong Group and their implication for the origin of the granites[J]. *Geochemistry*, 2000, 19(2): 154-161(in Chinese). [曲晓明,王鹤年,饶冰. 胶东群部分熔化实验及其对花岗岩成因的指示作用[J]. 地球化学,2000,19(2):154-161.]

[20] LIU Jianming, ZHANG Hongfu, SUN Jinggui, et al. Geochemistry research on C-O and Sm-Nd isotopes of mantle-derived from Shandong Province, China[J]. *Science in China* (*Series* D), 2003, 33(10): 921-930(in Chinese). [刘建明,张宏福,孙景贵,等. 山东幔源岩浆岩的碳-氧和锶钕同位素地球化学研究[J]. 中国科学,2003,33(10):921-930.]

[21] LIN Wenwei, ZHAO Yiming, ZHAO Guohong, et al. The characteristics of lead isotope of Jiaodong area and discussion of minerogenetic epoch[J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 1999, 29(2): 117-121. [林文蔚,赵一鸣,赵国红,等. 胶东金矿铅同位素地质特征及成矿年代讨论[J]. 长春科技大学学报,1999,29(2):117-121.]

[22] MAO Jingwen, HE Ying, DING Tiping. Mantle fluids inclusion involved in metallogensis of Jiaodong (east Shandong) gold district: evidence of C, Oand H isotopes[J]. *Mineral Deposit*, 2002, 21(2): 122-128(in Chinese). [毛景文,赫英,丁悌平. 胶东金矿形成期间地幔流体参与成矿过程的碳氧氢同位素证据[J]. 矿床地质,2002,21(2):122-128.]

[23] ZHANG Ligang, CHEN Zhensheng, LIU Jingxiu, et al. Water-rock reaction of Jiaojia type gold deposit[J]. *Mineral Deposits*, 1994, 14(3): 261-272(in Chinese). [张理刚,陈振胜,刘敬秀,等. 焦家式金矿水-岩交换作用[J]. 矿床地质,1994,14(3):261-272.]

[24] ZHANG Ligang. *Application of Stable Isotopes in Geosciences*[M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1985. 1-267(in Chinese). [张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1985. 1-267.]

[25] ZHANG Lianchang, SHEN Yuanchao, LI Houmin, et al. Helium and argon isotopic compositions of fluid inclusion and tracing to the source of ore-forming fluids for Jiaodong gold deposits[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18(4): 559-565 (in Chinese). [张连昌,沈远超,李厚民,等. 胶东地区金矿床流体包裹体的 He、Ar 同位素组成及成矿流体来源示踪[J]. 岩石学报,2002,18(4):559-565.]

[26] DING Shijiang. Fractal analysis on fault system in central and western Hainan gold metallogenic province[J]. *Earth Sciences Frontiers*, 2004, 11(1): 189-194(in Chinese). [丁式江. 海南岛中西部金矿集中区断裂构造的分形研究[J]. 地学前缘,2004,11(1):189-194.]

[27] ZHAI Yusheng, DENG Jun, TANG Zhongli, et al. *Mineralization System of Fossil Continent Edge*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003. 1-416(in Chinese). [翟裕生,邓军,汤中立,等. 古陆边缘成矿系统[M]. 北京:地质出版社,2003. 1-416.]

The geological settings to the gold metallogeny in northwestern Jiaodong Peninsula, Shandong Province

DENG Jun, WANG Qing-fei, YANG Li-qiang, WANG Jian-ping, GAO Bang-fei, LIU Yan
(*Key Laboratory of Lithospheric Tectonics and Exploration, China University of Geosciences, Ministry of Education, Beijing* 100083, *China*)

Abstract: Based on the macroscopic studies of tectonic settings of the deposit concentrated area, including the regional giant geological events, crust-mantle structure, deep level fractures, low level fractures and its fluid guiding properties, regional fluid activity, stratum formation, and magmatic intrusion, the authors, in this paper, establish a formation and evolution framework of the deposit concentrated area and generalize the essential factors for its formation. The correlation and coupling of all factors mentioned above created the basic and superior conditions for the formation of the deposit concentrated area. The transformation of tectonic regimes is the basis of mass metallogeny in the development of geological history, which caused the coupling process of crust-mantle interaction, magmatic activity and a series of geological events; and supplied regional metallogenic events with essential abundant ore-forming materials, fluids and their guiding web, and sustained energy; and finally formed the deposit concentrated area.

Key words: gold ore deposit concentrated area; northwestern Jiaodong peninsula; crust-mantle structure; tectonic regime transformation; ore-forming fluid

Announcement of *Earth Science Frontiers*

Contributions to *Earth Science Frontiers* are welcome:

(1) The deadline for submitting manuscript to special issue on "Basins and Energy Resources": The end of April 2005.

(2) The deadline for submitting manuscript to special issue on "Environmental Geology and Prevention of Geological Hazards": The end of October 2005.

(3) The deadline for submitting manuscript to the special issue on "Fluids of Earth Interior": The end of April 2006.

(4) The deadline for submitting manuscript to the special issue on "Global Changes": The end of October 2006.

(5) The deadline for submitting manuscript to the special issue on "Evolution in Earth's History": The end of April 2007.