



# 胶东金矿成矿构造背景探讨

李洪奎<sup>1,2</sup>, 嵇传源<sup>1,2</sup>, 耿科<sup>1,2</sup>, 梁太涛<sup>1,2</sup>

(1. 山东省地质科学实验研究院, 山东 济南 250013; 2. 山东省金属矿产成矿地质过程与资源利用重点实验室, 山东 济南 250013)

**摘要:**在编制1:50万山东省大地构造相图基础上,通过对大地构造相研究显示:胶东微地块是经多期增生和碰撞而形成的,其漫长的板块构造演化明显具有阶段性。侏罗纪是该区板块构造演化史上的一个重要转换期,构造演化由原来的南、北分异转变为东、西分异,胶东地区NE向新生构造起了主要作用。胶东地区中生代有2次重要的碰撞造山事件,印支造山作用主要表现为扬子板块向华北板块俯冲,形成苏鲁高压-超高压变质带及同造山花岗岩及后造山高碱正长岩;燕山造山作用的大陆动力学环境起源于中亚-特提斯构造域向滨太平洋构造域转化和太平洋板块的俯冲,在胶东地区表现为3次造山和3次伸展。晚侏罗世造山早期玲珑片麻状花岗岩组合是区域构造挤压导致地壳增厚引起地壳重熔的产物,代表了大陆弧花岗岩特征;早白垩世造山中后期郭家岭花岗闪长岩-花岗岩组合代表了造山期大陆弧花岗岩的特点;造山晚期伟德山闪长岩-花岗闪长岩-花岗岩组合表现为大陆弧花岗岩,后造山A型崂山晶洞过碱性碱长花岗岩-正长花岗岩组合为大陆造陆隆升花岗岩与后造山花岗岩,代表燕山构造的结束。胶东地区构造-岩浆事件和金矿成矿作用受控于特提斯、古亚洲洋和太平洋三大构造域的相互作用,金矿形成的动力学背景是中生代构造体制转折和岩石圈减薄,起因与太平洋板块向华北板块的俯冲机制有关。

**关键词:**碰撞造山;造山期花岗岩;金矿;构造背景;动力学条件;胶东地区

**中图分类号:**P618.51

**文献标识码:**A

## 0 引言

金矿成矿作用(Golden ore-forming process)是地壳中金元素集中形成金矿床的各种地质作用的总和,是金矿成矿物质在一定地质历史发展阶段和构造环境中多次活动、长期演化、高度聚集的产物<sup>[1]</sup>。胶东金矿矿集区内密集分布超大型金矿床5个,大型、中型金矿床30多个以及上百个小型金矿床,它具有区域集中、规模大、储量多和成矿期短的特点<sup>[2]</sup>。这一罕见的陆内动力学金矿成矿过程,已经引起地质界众多学者的高度重视<sup>[3-6]</sup>。胶东金矿集中区是区域尺度地质成矿作用的综合产物,其形成演化受大陆岩石圈和深断裂控制,与太平洋板块俯冲和地球动力学体制转换有关<sup>[7]</sup>。

笔者在承担全国矿产资源潜力评价项目之山东省成矿地质背景研究时,通过全面收集研究山东已完成的1:5万、1:20万和1:25万区域地质资料,编

制完成了1:50万山东省大地构造相图,同时对所有侵入岩重新进行干化学成分体系下的各种图解编制。大地构造相编图是研究山东大陆块体离散、会聚、碰撞、造山的大陆动力学过程的主要载体和具体表达形式<sup>[8-10]</sup>,通过编制沉积岩区、侵入岩区、火山岩区、变质岩区和大型变形构造区工作底图,进而上升为3个构造层即前南华纪、南华-前三叠纪和中-新生代大地构造相图,编写了山东省大地构造相研究报告。总结发现:胶东地区中生代有2次重要的造山事件,即印支和燕山造山作用。

## 1 中生代重大地质事件及其时空制约

### 1.1 基础地质事实

中国东部是由一系列不同起源且经历了不同演化的微大陆(克拉通)及地块经多期增生和碰撞而形

\* 收稿日期:2011-06-15;修订日期:2011-08-30;编辑:王秀元

资料来源:全国矿产资源潜力评价项目之山东省成矿地质背景研究(1212010813014-01)成果

作者简介:李洪奎(1962—),男,山东昌乐人,研究员,主要从事地质调查、矿产资源勘查研究工作;E-mail:lhklhk126@126.com。

成的复合大陆,其漫长的板块构造演化明显具有阶段性,侏罗纪是该区板块构造演化史上的一个重要转换期。这种变化集中表现在中国及邻区构造演化由原来的南、北分异转变为东、西分异,西部以构造的继承性为特色<sup>[11-13]</sup>,东部则新生构造起了主要作用。而中生代构造体制转折,总体表现为:陆内伸展和与地幔隆起相伴的大规模岩石圈减薄,及由 EW 向到 NNE 向的盆岭格局重组。对华北东部中生代构造格局研究表明,从岩石圈深部物质上涌开始到地壳浅表层响应为止,都记录了华北早中生代所经历的构造体制转折的重大变革。而胶东地区处于中国东部叠加造山-裂谷系之陆缘岩浆弧构造带中,中生代岩石圈减薄和重大构造事件在胶东地区表现的尤为明显,其主要地质证据包括:

(1)大规模强烈的岩浆活动。胶东地区中生代发育有 40 余个花岗质侵入岩体,岩浆岩出露总面积占胶东地区陆域面积的 1/3 以上。岩浆岩如此大面积出露和广泛分布,标志着该区发生了大规模强烈的岩浆作用。从而说明中生代胶东地区地幔处于明显上隆状态,并使古老的结晶基底变质岩系在一定深度内被迅速加热,发生部分熔融而形成大量花岗质岩浆。大规模的岩浆作用产物是记录软流圈抬升、岩石圈减薄及地壳伸展的最有力证据。

(2)大范围断陷盆地的形成。胶莱盆地是位于苏鲁折返带和胶北隆起之间的中生代盆地,其分布面积占胶东地区总面积的近 1/2,被白垩纪河湖相碎屑沉积和火山物质所充填,沉积最厚达万米。盆地夹持于沂沭断裂带和诸城-青岛-即墨-牟平断裂带之间,是在 NE—NNE 向断裂控制下形成的断陷盆地。根据均衡补偿原理,断陷盆地的发育和广泛的火山喷发作用,必然是地幔上隆和岩石圈减薄作用的结果。

(3)地壳隆升。胶东白垩纪莱阳群直接不整合覆盖于基底变质岩系之上,说明自三叠纪苏鲁造山带形成以来该区一直处于隆升状态,由于强烈隆升,使巨厚的古生代沉积物完全被剥蚀,并且缺失了三叠纪和侏罗纪沉积。地壳隆升的峰期形成中国东部燕山期古高原。早白垩纪晚期,出现岩石圈伸展减薄,形成盆地和广泛的岩浆活动。因此,可以说该区前期地壳隆升为后期岩石圈减薄奠定了基础。

(4)幔源岩浆证据。对胶莱盆地晚白垩世玄武岩中幔源包体的研究表明,该区晚白垩世时岩石圈

厚度大约为 60~70 km,岩石圈地幔具有新生性质,而现在岩石圈厚度大约 33 km。上述幔源岩石学研究证明,胶东地区岩石圈经历了明显的由增厚至减薄的转化过程。

## 1.2 重大地质事件及其时空制约

胶东地区中生代发生了 2 次重大的地质事件,一是印支造山事件,二是燕山造山事件。印支造山作用主要表现为扬子板块向华北板块俯冲,形成苏鲁高压-超高压变质带及同造山花岗岩及后造山高碱正长岩;燕山造山作用的大陆动力学环境起源于中亚-特提斯构造域向滨太平洋构造域转化和太平洋板块的俯冲,在胶东地区表现为 3 次造山和 3 次伸展。中生代重大地质事件及其时空结构如图 1 所示。

### 1.2.1 印支造山作用

印支造山作用主要表现为扬子板块向华北板块俯冲,形成苏鲁高压-超高压变质带及同造山花岗岩及后造山高碱正长岩。

苏鲁高压-超高压变质带是秦-祁-昆造山系的东延部分,为郯庐断裂带大错距(约 300 km)的强烈左行平移<sup>[7,14]</sup>。对秦岭-大别碰撞带的研究表明:秦岭-大别碰撞带在三叠纪晚期最后完成碰撞、拼合,碰撞带内及其两侧的边缘残余骸完全消失,大量的同碰撞期变质和岩浆作用的年龄数据,均为 240~210 Ma<sup>[15-19]</sup>,显示了三叠纪晚期完成拼合。代表晚古生代一早三叠世残余洋壳的、勉略-湖北随州花山一带蛇绿岩套,在中三叠世末期受到挤压、碰撞,这是秦岭-大别碰撞带最后完成碰撞、拼合的主要表现<sup>[20]</sup>。上述认识与地质方面的证据相吻合,已经被多数地球科学工作者所接受。

胶东地区的印支造山作用大致经历了 50 Ma 强烈碰撞、俯冲和折返的 3 个阶段,其时限主要在 250~200 Ma,主要造山作用为 250~230 Ma,华北板块与扬子板块发生碰撞,扬子板块俯冲华北板块之下,在俯冲带的前部和后部分别发生超高压变质和高压变质事件,叠加到前造山的角闪岩相变质事件之上。230~210 Ma,扬子板块向华北板块推挤、逆冲,榴辉岩向地表回归,造山带近邻扬子板块一侧变形强烈。同时形成柳林庄-宁津所同造山角闪石岩-闪长岩-石英二长岩组合,在荣成邢家岩体变辉长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为(213±5)Ma,

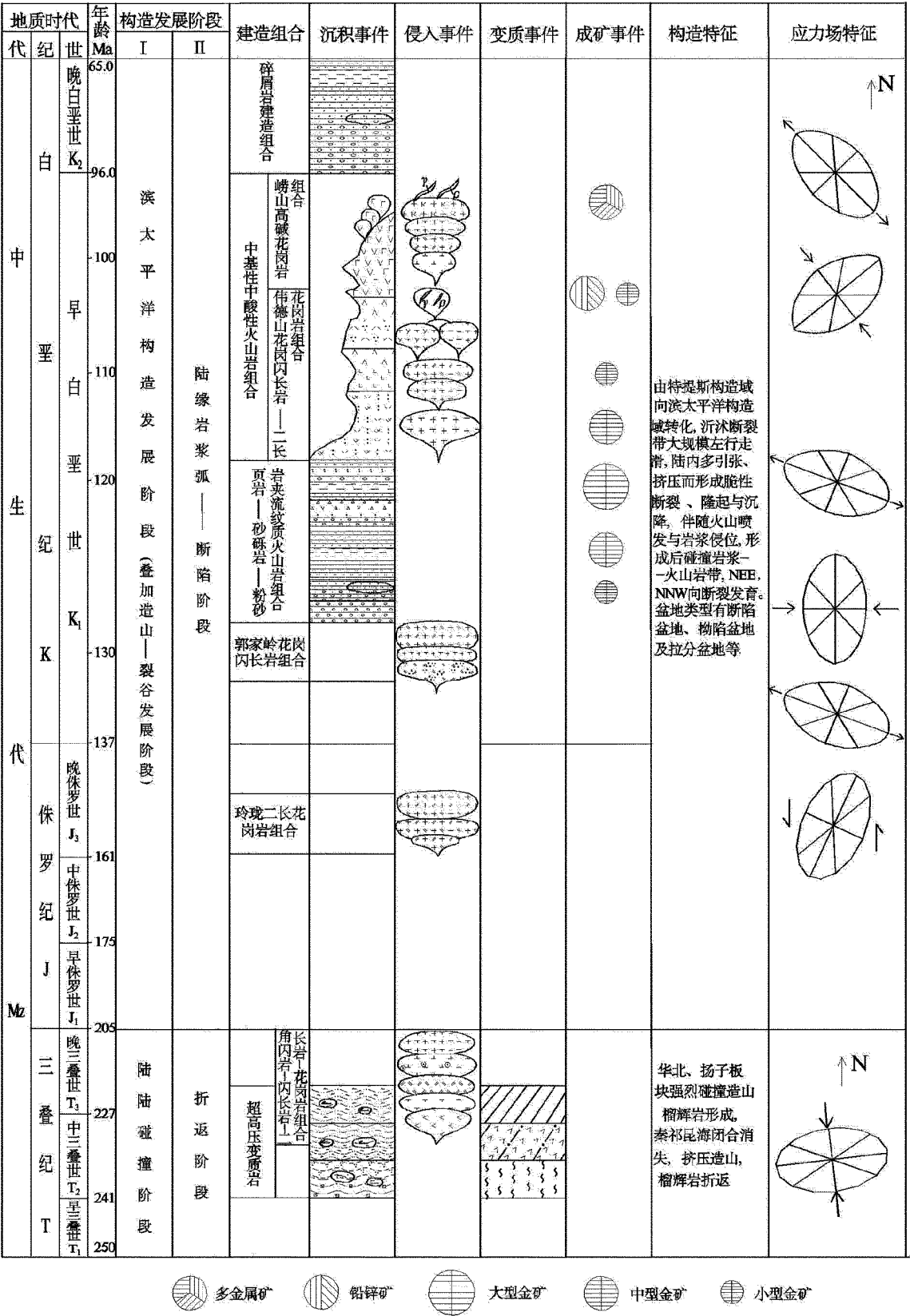


图 1 胶东地区中生代重大地质事件及其时空结构图

( $211 \pm 5$ ) Ma<sup>[20]</sup>, 红门石岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 ( $215 \pm 5$ ) Ma<sup>[20]</sup>。210~200 Ma, 扬子板块向华北板块大规模斜向逆冲推覆, 深部榴辉岩同步向地表回归, 造山带结构分带进一步明显化。210~200 Ma, 进入后造山拉张阶段, 形成崅山后造山高碱正长岩组合, 在葛箕岩体含斑中细粒正长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 ( $205.7 \pm 1.4$ ) Ma, ( $211.9 \pm 1.5$ ) Ma<sup>[20]</sup>, 代表印支造山阶段的结束, 同时证明三叠纪末期已经完成南北板块的拼合, 到侏罗—白垩纪时期应力场与三叠纪已经完全不同, 进而转入燕山造山作用阶段。

### 1.2.2 燕山造山作用

华北板块与扬子板块碰撞造山之后<sup>[21]</sup>, 胶东地区大陆动力学条件发生了根本变化。有资料表明, 印支运动和燕山运动在胶东表现为 2 个截然不同的构造体系域的特征, 燕山造山作用的大陆动力学环境起源于中亚—特提斯构造域向滨太平洋构造域转化和太平洋板块的俯冲<sup>[22]</sup>, 在胶东地区表现为 3 次造山和 3 次伸展。

#### (1) 170~150 Ma 时期

太平洋板块俯冲开始, 进入燕山造山幕初始阶段, 与金矿有关的玲珑—昆嵛山造山早期片麻状花岗岩组合(J<sub>3</sub>)对金矿形成初期富集, 160~150 Ma 年龄段与玲珑花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄值相吻合。玲珑花岗岩为基底岩系交代重熔的具继承性演化的复式岩体, 其形成时代可以代表胶东构造体制转变的起始时代, 是胶东侏罗—白垩纪大规模岩浆活动最早期形成的花岗岩体, 标志着构造体制转变的开始, 这与中国东部统一的以挤压为主的动力学背景相一致。

玲珑花岗岩组合, 是一个成分变化不大、以结构演化为主的二长花岗岩侵入岩系列, 为过铝质花岗岩类。自早到晚岩浆演化的总趋势是: 矿物成分中斜长石与钾长石有互为消长关系, 化学成分 SiO<sub>2</sub> 含量总体递减, 而 K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O 则呈递增趋势, 岩石结构由细粒—中细粒—中粒—中粗粒—伟晶结构变化。

玲珑岩体的 8 个锶同位素样品测定的<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 比值在 0.710~0.718 之间, 位于地壳部分熔融花岗岩范畴; 石英的  $\delta^{18}\text{O}$  值为 +7.47, +8.71, +9.21, +10.43, 多属正常  $\delta^{18}\text{O}$  范围, 指示岩浆为地壳熔融产物, 玲珑花岗岩系陆壳重熔型花岗岩<sup>[23]</sup>。

其后的伸展主要表现为玲珑岩体内呈 NNE 向分布的闪长岩、闪长玢岩、石英闪长玢岩、花岗闪长斑岩、花岗斑岩、正长斑岩、石英正长斑岩等岩脉群。

#### (2) 130~125 Ma 时期

与金矿有关的燕山早—晚期郭家岭造山中期弱片麻状花岗岩闪长岩—花岗岩组合, 是胶东金矿的主成矿期。

郭家岭花岗岩不连续分布, 从西向东具一定规模的岩体有: 仓上岩体、上庄岩体、北截岩体、丛家岩体、曲家岩体、郭家岭岩体、范家店岩体及泽头岩体。郭家岭岩体 11 个岩浆锆石 SHRIMP U-Pb 年龄集中在 130~126 Ma, 为早白垩世早期。郭家岭花岗岩的 Sr 同位素组成变化范围较大, <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 比值介于 0.7028~0.7160 之间, 表明岩浆不可能来自统一的源区;  $\delta^{18}\text{O}$  值为 (+9.4~+11.5) × 10<sup>-3</sup>, 多为高  $\delta^{18}\text{O}$  花岗岩类, 反映其源岩中有较多壳源物质。郭家岭花岗岩与典型的埃达克岩相比 K<sub>2</sub>O 明显偏高, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO 偏低, 反应了它们之间的成因机制不同。花岗岩中含有较多的暗色闪长质包体, 这些包体的岩石学、地球化学及副矿物组合表明幔源物质参与成岩作用。地幔物质直接或间接参与花岗岩成岩作用有 2 种可能机制, 即幔源岩浆和壳源岩浆的混合或者早期幔源岩浆底侵形成的新生镁铁质下地壳。郭家岭花岗岩中有较多幔源闪长质包体, 因此认为郭家岭花岗岩是由壳幔混合岩浆经历结晶分异形成<sup>[23]</sup>。

#### (3) 125~110 Ma 时期

造山后强烈伸展阶段。由于太平洋板块的俯冲和郯庐断裂的走滑作用, 胶莱拉分盆地形成并接受沉积。随着盆地的进一步演化, 其性质由拗陷盆地向断陷盆地演化, 边界断裂沟通上地幔而导致青山期大规模火山喷发, 同时伴有同火山期的伟德山、招虎山岩体侵位, 形成胶东地区醒目近于平行的火山—岩浆岩带。

① 早白垩世莱阳群沉积阶段。表现为早期粗碎屑的重力流沉积, 中、晚期的粗碎屑、细碎屑的陆相沉积, 发育有海阳和诸城 2 个沉降中心, 各沉降中心内的沉积层序具有相似性。

② 早白垩世晚期青山群火山阶段。随着地壳拉张伸展, 断裂活动增强, 沿近 EW 向和 NNE 向断裂交会处爆发大规模的火山活动, 形成莱阳、即墨、胶州、诸城等几个火山活动中心, 火山喷发以中心式和

裂隙式为主,形成中基性(八亩地组、方戈庄组)、中酸性(后乔组、石前庄组)火山喷发物质,出现双峰式火山岩组合,并有正常碎屑岩夹层沉积。

③118~105 Ma 时,伟德山造山晚期闪长岩-花岗闪长岩-花岗岩组合沿 NE 向构造侵位,伴随火山岩形成浅成—超浅成石英闪长玢岩-花岗闪长斑岩-石英二长玢岩组合,与铜、铅、锌、钼矿有关,也是区内金矿的叠加成矿期及多金属矿的主成矿期。

地球化学特征指示伟德山花岗岩具有幔源和壳源成因双重特点。花岗岩中含有大量微粒闪长质包体,这些包体不仅具有明显的岩浆结构,而且包体内部出现与围岩性质相同的斑点状酸性花岗质成分以及钾长石斑晶,从包体形态及与寄主岩边界关系看

有机械和化学混合过程的存在。寄主岩矿物特征方面:长石发育环带,而边缘环带有黑云母呈环带分布,显示出岩浆有过化学成分混合的过程。包体矿物特征方面:斜长石多出现暗化边为特点的环带结构,以及磷灰石呈细长的针状显示出有岩浆过冷却和岩浆混合的痕迹。这些特征均说明岩体具岩浆混合成因特点,即伟德山花岗岩是由壳源酸性岩浆与幔源基性岩浆混合形成。

(4)110~90 Ma 时期

出现后造山 A 型崂山后造山晶洞过碱性碱长花岗岩-正长花岗岩组合侵入活动,标志着燕山造山过程的结束。上述主要造山作用阶段的动力学特征可用模式图 2 简要表述。

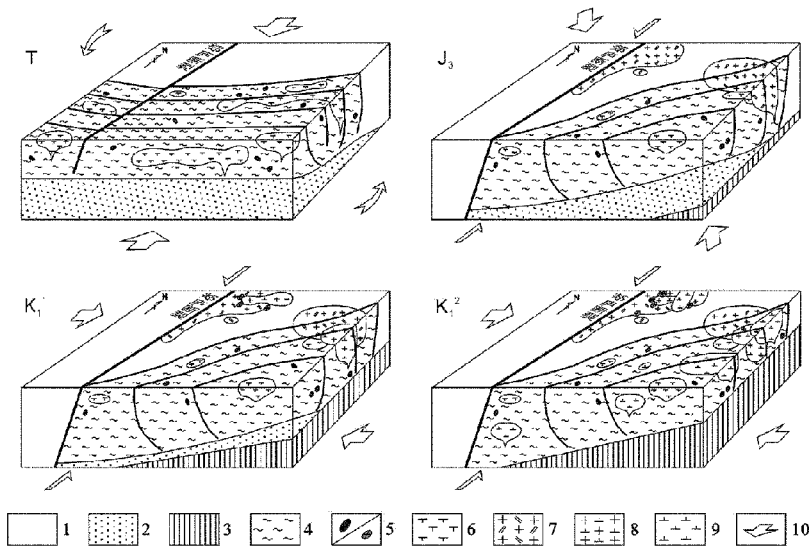


图 2 胶东地区中生代主要造山作用阶段演化模式图

1—华北板块;2—扬子板块;3—伊佐奈岐板块;4—新元古代片麻状花岗岩;5—榴辉岩/金矿;6—宁津所同造山角闪闪岩-闪长岩-石英二长岩组合;7—玲珑-昆崙山造山早期片麻状花岗岩组合;8—郭家岭造山中后期片麻状花岗岩闪长岩-花岗岩组合;9—伟德山造山晚期闪长岩-花岗闪长岩-花岗岩组合;10—主应力方向

2 构造环境判别

胶东地区岩浆活动具有多旋回性和多成因性,岩浆岩的时空分布及其形成演化和大陆构造过程息息相关。胶东地区中生代的深成岩浆活动划分为 3 个显著不同的演化阶段:晚三叠世侵入岩、晚侏罗世侵入岩和早白垩世侵入岩。不同演化阶段形成的侵入岩岩石构造组合反应与其相关的构造环境。

2.1 QAP 图解判别

将胶东地区侵入岩实测矿物含量投入到 QAP 图解(图 3)中,崂山晶洞过碱性碱长花岗岩-正长花

岗岩组合投点于大陆造陆隆升花岗岩(CEUG)及与大陆裂谷有关的花岗岩(RRG)之间和造山晚期与非造山期花岗岩界限附近;文登闪长岩-花岗岩组合投点于大陆弧花岗岩(CAG)类附近和大陆碰撞花岗岩(CCG);郭家岭弱片麻状花岗闪长岩-花岗岩组合和伟德山闪长岩-花岗闪长岩-花岗岩组合主要投点于大陆弧花岗岩(CAG)与大陆裂谷花岗岩(RRG)之间及大陆造陆隆升花岗岩(CEUG)范围中;玲珑-昆崙山片麻状花岗岩组合和垛崙山花岗闪长岩组合均投点于大陆弧花岗岩(CAG);榭山正长花岗岩组合投点于后造山花岗岩(POG)和裂谷型花岗岩(CEUG)附近。

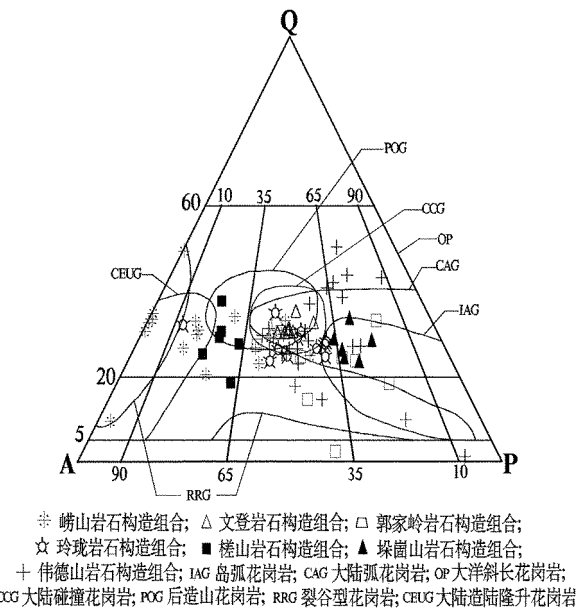


图 3 胶东中生代侵入岩 QAP 图解

2.2 R<sub>1</sub> - R<sub>2</sub> 图解判别

将胶东地区侵入岩实测矿物含量投入到 R<sub>1</sub> - R<sub>2</sub> 图解(图 4)中,柳林庄石英二长岩-闪长岩组合主要投点于碰撞后的抬升区;崂山晶洞过碱性碱长花岗岩-正长花岗岩组合投点于造山晚期与非造山期;文登闪长岩-花岗岩组合投点于同碰撞和造山晚期;郭家岭片麻状弱片麻状花岗闪长岩-花岗岩组合和伟德山闪长岩-花岗闪长岩-花岗岩组合主要投点于造山晚期和碰撞后的抬升区;玲珑-昆嵛山片麻状花岗岩组合投点于同碰撞期和造山晚期;垛崮山花岗闪长岩组合投点于板块碰撞前区;宁津所正长岩组合和榭山正长花岗岩组合投点于造山晚期区。

2.3 山德指数图解判别

应用花岗岩的山德指数图解(图 5)对胶东地区花岗岩的构造环境进行判别:垛崮山花岗闪长岩组合投点于大陆弧花岗岩(CAG);郭家岭弱片麻状花岗闪长岩-花岗岩组合主要投点于大陆弧花岗岩(CAG);崂山晶洞过碱性碱长花岗岩-正长花岗岩组合投点于大陆造陆隆升花岗岩(CEUG)与后造山花岗岩(POG);玲珑-昆嵛山片麻状花岗岩组合投点于大陆弧花岗岩(CAG);伟德山闪长岩-花岗闪长岩-花岗岩组合主要投点于大陆弧花岗岩(CAG);文登闪长岩-花岗岩组合投点于大陆弧花岗岩(CAG)类附近;榭山正长花岗岩组合投点于后造山花岗岩(POG)。

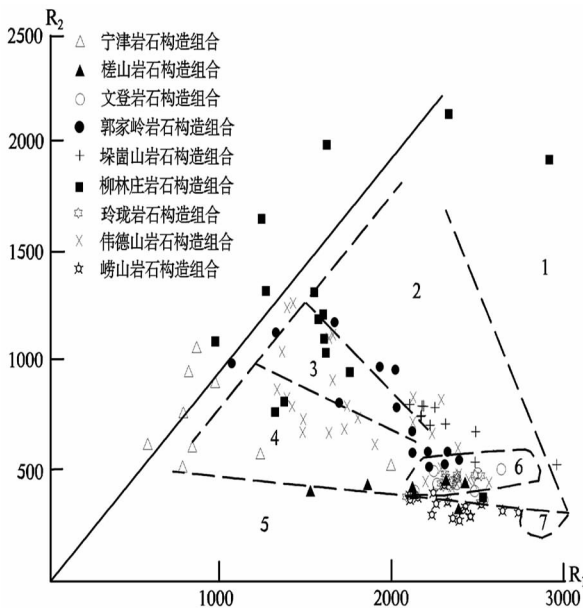


图 4 胶东中生代侵入岩 R<sub>1</sub> - R<sub>2</sub> 图解

2.4 其他图解判别

将胶东地区花岗岩组合中的稀土元素 La, Yb 和 Y 以及微量元素 Sr 投入到 LaN/YbN - YbN 图解和 Sr/Y - Y 图解(图 6)中,投点于图解右下方,接近岛弧区。

综上所述,晚三叠世侵入岩的形成很可能与晚三叠世华北地块与扬子地块碰撞和深俯冲大陆地壳的拆沉有关。晚侏罗世侵入岩形成于中国东部构造体制转换的重要时期,该期侵入岩是区域构造挤压导致地壳增厚引起地壳重熔的产物,代表了大陆弧花岗岩特征。早白垩世侵入岩形成的构造背景是中国东部增厚的岩石圈发生巨量的减薄,构造应力体制由挤压为主向伸展为主转换,代表了造山期和造山晚期大陆弧花岗岩的特点。

3 胶东金矿动力学机制探讨

山东陆块区是一个镶嵌、叠覆、年轻但又保存了几乎所有地质时期形成的地质记录的块体,其形成演化涉及多个动力学体制,具有独特的地球动力学背景,因而具有丰富多彩的大地构造组合和叠覆。山东是一系列不同起源且经历了不同演化的微大陆及地块经多期增生和碰撞而形成的复合大陆<sup>[7,22]</sup>,其漫长的板块构造演化明显具有阶段性,侏罗纪是该区板块构造演化史上的一个重要转换期<sup>[23]</sup>。这

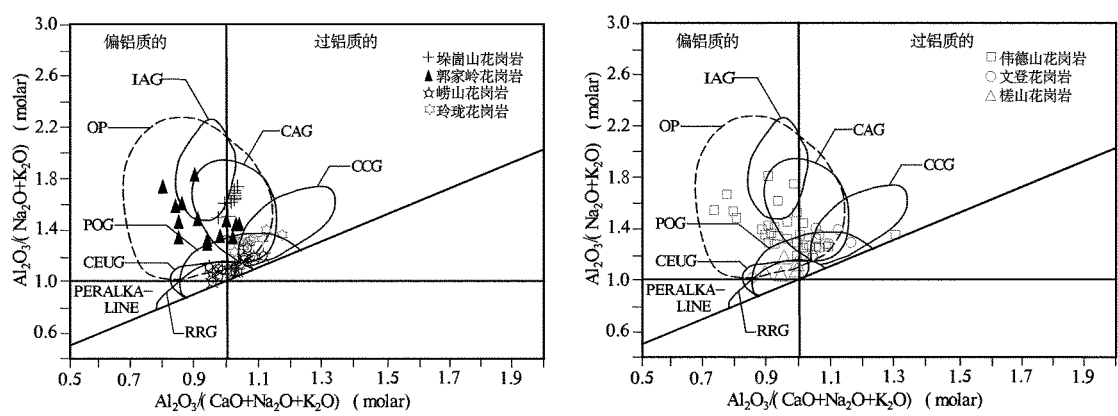


图 5 胶东地区花岗岩山德指数图解

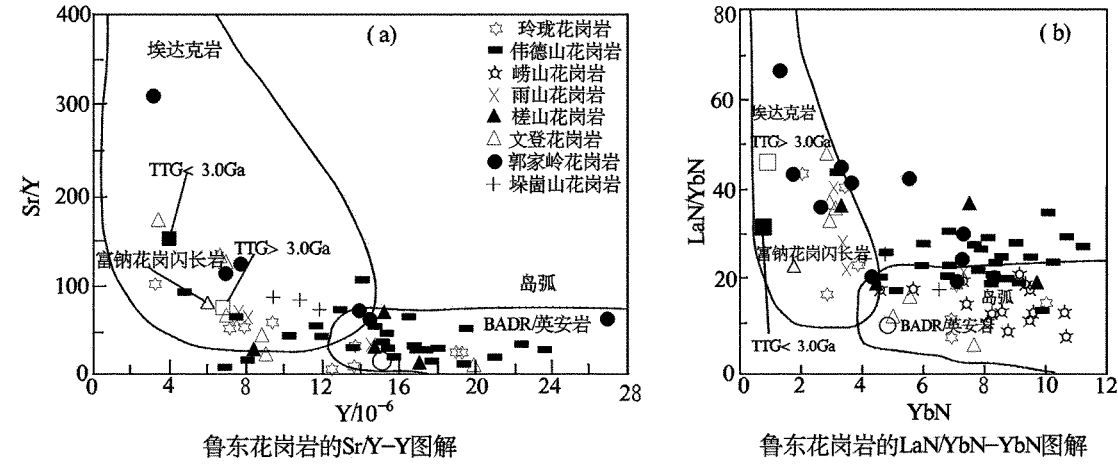


图 6 胶东地区花岗岩的  $Sr/Y - Y(a)$  和  $La/YbN - YbN(b)$  图解

种变化集中表现在中国及邻区构造演化由原来的南、北分异,转变为东、西分异,西部以构造的继承性为特色,东部则新生构造起了主要作用。就其内部关系而言,胶东地区是一个复杂的开放系统,具有壳幔组合的三维极不均一性、地壳运动的多旋回性、构造格局立交桥式的叠层性、多阶段岩浆活动的旋进性和多期成矿过程的继承性。而中生代构造体制转折,总体表现为陆内伸展和与地幔隆起相伴的大规模岩石圈减薄及由 EW 向到 NNE 向的盆岭格局重组。对华北东部中生代构造格局研究表明,从岩石圈深部物质上涌开始到地壳浅表层响应为止,都记录了华北早中生代所经历的构造体制转折的重大变革,中生代岩石圈减薄在胶东地区表现的尤为明显。

胶东金成矿系统的形成和演化有着深部壳幔结构原因,中生代板块俯冲挤压,地幔上隆,并导致莫霍面呈波状起伏,其实质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他地段。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。

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。

总之,胶东大规模成矿时代为中生代,控矿围岩为胶东克拉通基底岩系,控矿热力学条件是中生代岩浆岩,成矿的动力学过程受华北东部中生代构造体制制约<sup>[24,25]</sup>。应该强调的是,中国大陆处于特提斯、古亚洲洋和太平洋三大构造域的结合部位,它们的相互作用及陆内过程,都影响着中国东部大陆,而胶东地区构造-岩浆事件也受控于该动力学机制<sup>[26]</sup>。中生代是胶东金矿最重要的构造成岩成矿期,其金矿主成矿期为 120 Ma<sup>[7]</sup>,金矿形成与基底岩系活化改造、同造山期花岗岩的形成关系密切。

## 4 结语

(1)大地构造相研究显示,胶东微地块是经多期增生和碰撞而形成的,其漫长的板块构造演化明显具有阶段性。侏罗纪是该区板块构造演化史上的一个重要转换期,构造演化由原来的南、北分异转变为东、西分异,胶东地区 NE 向新生构造起了主要作用。

(2)胶东地区中生代构造体制转折,总体表现为陆内伸展和与地幔隆起相伴的大规模岩石圈减薄,及由 EW 向到 NNE 向的盆岭格局重组,是胶东金矿形成的动力学背景。胶东地区中生代有 2 次重大的碰撞造山事件,一是印支造山事件,二是燕山造山事件。印支造山作用主要表现为扬子板块向华北板块俯冲,形成苏鲁高压-超高压变质带及同造山花岗岩及后造山高碱正长岩;燕山造山作用的大陆动力

学环境起源于中亚-特提斯构造域向滨太平洋构造域转化和太平洋板块的俯冲,在胶东地区表现为 3 次造山和 3 次伸展。

(3)胶东主要的 3 期花岗岩形成的构造环境相似但有差别,晚侏罗世造山早期玲珑片麻状花岗岩组合是区域构造挤压导致地壳增厚引起地壳重熔的产物,代表了大陆弧花岗岩特征;早白垩世造山中后期郭家岭花岗闪长岩-花岗岩组合形成的构造背景是岩石圈发生巨量的减薄,构造应力体制由挤压为主向伸展为主转换,代表了造山期大陆弧花岗岩的特点;造山晚期伟德山闪长岩-花岗闪长岩-花岗岩组合表现为大陆弧花岗岩,后造山 A 型崂山晶洞过碱性碱长花岗岩-正长花岗岩组合为大陆造陆隆升花岗岩与后造山花岗岩,代表燕山构造的结束。

(4)胶东地区构造-岩浆事件和金矿成矿作用受控于特提斯、古亚洲洋和太平洋三大构造域的相互作用,是导致区内大规模成矿的动力学条件。

## 参考文献:

- [1] 地球科学大辞典编委会.地球科学大辞典(应用学科卷)[M].北京:地质出版社,2006.
- [2] 翟明国,范宏瑞,杨进辉.非造山带型金矿——胶东型金矿的陆内成矿作用[J].地学前缘,2004,11(4):85-94.
- [3] 陈衍景,郭光军,李欣.华北克拉通花岗绿岩地体中金矿床的成矿时间、空间和地球动力学背景[J].中国科学(D辑),1998,28(1):35-40.
- [4] 陈衍景.影响碰撞造山成岩成矿模式的因素及其机制[J].地学前缘,1998,5(增刊):109-118.
- [5] 陈衍景,杨泽军.碰撞造山成岩成矿模式的运用方法[J].矿床地质,1998,17(增刊):83-86.
- [6] 毛景文,张作衡,余立金,等.华北及邻区中生代大规模成矿的地球动力学背景:从金属矿床年龄精测得到启示[J].中国科学(D辑),2003,33(4):289-299.
- [7] 李洪奎,杨永波,杨锋杰.山东郯庐断裂带构造演化与成矿作用[M].北京:地质出版社,2009:164-170.
- [8] 潘桂棠,肖庆辉,陆松年,等.大地构造相的定义、划分、特征及鉴别标志[J].地质通报,2008,27,(10):33-57.
- [9] Margaret G,Robert M J,Carol L W. Glossary of geology[M]. Washington D C; American Geological Institute,1973:500.
- [10] Groves D I,Goldfarb R J,Robert,et al. Gold deposits in metamorphic belts: Overview of understanding and outstanding problems, future research, and exploration significance[J]. Economic Geology,2003,(98):1-29.
- [11] 邓军,翟裕生,杨立强.构造演化与成矿系统动力学——以胶东金矿集中区为例[J].地学前缘,1999,6(2):315-323.
- [12] 邓军,王庆飞,杨立强.胶西北金矿集区成矿作用发生的地质



- 背景[J]. 地学前缘, 2004, 11(4): 527 - 533.
- [13] 范宏瑞, 胡芳芳, 杨进辉, 等. 胶东中生代构造体制转折过程中流体演化和金的大规模成矿[J]. 岩石学报, 2005, 21(5): 1317 - 1328.
- [14] 王小凤, 李中坚, 陈柏林, 等. 郯庐断裂带[M]. 北京: 地质出版社, 2005.
- [15] 李曙光, 刘德良, 陈移之. 中国中部蓝片岩的形成时代[J]. 地质科学, 1993, 28(1): 21 - 27.
- [16] 李曙光, 肖益林, 刘德良. 大别山石马地区石榴黑云片麻岩的 Sm - Nd, K - Ar 年龄及冷却速率[J]. 地质科学, 1995, 30(2): 174 - 181.
- [17] 李曙光, 刘德良, 陈移之. 大别山南麓含柯石英榴辉岩的 Sm - Nd 同位素年龄[J]. 科学通报, 1992, 37(4): 346 - 349.
- [18] 李锦轶. 中朝地块与扬子地块碰撞的时限与方式——长江中下游地区震旦纪-侏罗纪沉积环境的演变[J]. 地质学报, 2001, 75(1): 25 - 34.
- [19] 王道轩, 刘因. 大别超高压变质岩折返至地表的时间下限: 大别山北麓晚侏罗世砾岩中发现榴辉岩砾岩[J]. 科学通报, 2001, 46(14): 1216 - 1220.
- [20] 张田, 张岳桥. 胶东半岛中生代侵入岩浆活动序列及其构造制约[J]. 高校地质学报, 2007, 13(2): 323 - 336.
- [21] 李继亮. 现代地质研究文集(上)[M]. 南京: 南京大学出版社, 1992: 9 - 21.
- [22] 李洪奎, 耿科, 嵇传源, 等. 山东省优势大地构造相划分初步方案[J]. 山东国土资源, 2010, 26(6): 5 - 10.
- [23] 宋明春, 徐军祥, 王沛成, 等. 山东省大地构造格局和地质构造演化[M]. 北京: 地质出版社, 2009: 36 - 37.
- [24] 邓晋福, 莫宣学, 赵海玲, 等. 中国东部岩石圈根/去根作用于大陆活化[J]. 现代地质, 1994, 8(3): 349 - 356.
- [25] 邓晋福, 罗照华, 苏尚国, 等. 岩石成因、构造环境与成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 2004: 1 - 381.
- [26] 邱连贵, 任风楼, 曹忠祥, 等. 鲁东地区晚中生代岩浆活动及对大地构造的制约[J]. 大地构造与成矿学, 2008, 32(1): 117 - 123.

## Study on Tectonic Background of Gold Mineralization in Jiaodong Area

LI Hongkui<sup>1,2</sup>, ZHUO Chuanyuan<sup>1,2</sup>, GENG Ke<sup>1,2</sup>, LIANG Taitao<sup>1,2</sup>

(1. Shandong Institute and Laboratory of Geological Sciences, Shandong Jinan 250013, China; 2. Shandong Key Laboratory of Metal Ores Mineralization Processes and Resource Utilization, Shandong Jinan 250013, China)

**Abstract:** On the basis of making "Shandong tectonic phase diagram with the scale of 1 : 500000", through study on tectonic phase, it is showed that Jiaodong block was formed by multi - phase proliferation and collision. Its long plate tectonic evolution had obvious stages. Jurassic plate tectonic evolution in the history in this area was an important transition period. Tectonic evolution changed from north and south differentiation to east and west differentiation. New construction with the trend of NE in Jiaodong area played a major role. There were two important collisional events in Mesozoic period in Jiaodong area. Indosinian orogeny mainly represented in the subduction from Yangtze plate to the North China plate, and formed Sulu high - pressure - ultrahigh - pressure metamorphic belt and syn - orogenic granite and post - orogenic high - alkali syenite rock. Yanshan orogenic continental origin in the dynamic environment was formed in the transformation of Central Asia - Tethyan tectonic domain to the Pacific tectonic domain and the Pacific subduction, which performed as three orogenics and three times extensions in Jiaodong region. Linglong gneissic granite combination in early orogenic period of late Jurassic were the production of regional tectonic compression which led to crustal thickening caused by the product of crustal melting, and represented characteristics of continental arc granites. Peralkaline alkali - feldspar and granite - syenite granite combination in Post - orogenic A type Laoshan miarolitic were continental epeirogenic uplift granitoids and post - orogenic granites, which represented the end of Yanshan orogenic movement. Tectonic - magmatic events and gold mineralization were controlled by the interaction of Tethys, Paleo - Asian ocean and the Pacific ocean. Dynamic background of gold mineralization was the formation of Mesozoic tectonic regime and rock lithospheric thinning. Its origin had close relation with the subduction mechanism of the Pacific plate to North China plate.

**Key words:** Collision orogeny; orogenic granite; gold deposit; tectonic background; dynamic conditions; Jiaodong area