

The Discussion on the Quaternary Mineralization Geological Background of Jiaodong Gold Area

Hongkui Li^{1,2,3}, Guodong Chen^{1,2,3}, Ke Geng^{1,2,3}, Dapeng Li^{1,2,3}, Wei Shan^{1,2,3}

¹Shandong Geological Sciences Institute, Jinan Shandong

²Key Laboratory of Gold Mineralization Processes and Resources Utilization Subordinated to the Ministry of Land and Resources, Jinan Shandong

³Shandong Key Laboratory of Geological Processes and Resource Utilization in Metallic Minerals, Jinan Shandong

Email: lhklhk126@126.com

Received: Apr. 9th, 2017; accepted: Apr. 27th, 2017; published: Apr. 30th, 2017

Abstract

Basal geological tectonic evolution of Jiaodong area has experienced three main development stages, Continental nuclei formation stage, hyperplasia of continental crust and aggregate shape. The formation of the paleoproterozoic cratonization gathering collision makes the original greenstone belt source rock series of activation modification. Triassic continental collision between north China plate and the Yangtze plate formed Jiaonan-Weihai orogenic belt in eastern Shandong province. And the collision orogeny contributed to the reactivation of craton land body. The fusion distribution of material compositions in two plates controlled the gold elements transfer and enrichment. Oceanic crust subduction from ocean-land Pacific plate to Eurasian plate subduction during Jurassic and Cretaceous, forms the continental arc granite in active continental margin subduction orogenic belt (includes Linglong series, Guojialing series, Weideshan series, and Lao-shan series granite). These strong magmatic activities providing a thermally driven gold metallogenic element migration. The main faults is Tanlu faults zone and its huge left-handed strike-slip system and the secondary pinnate faults system. They provide the deep source channel and the precipitation in the right place for the migration enrichment of gold elements. This special "quaternary" metallogenic geological background and their interaction process influence the jiaodong metallogenic environment, and the characteristics are rather unique and unrepeatabe.

Keywords

Metallogenic Background, Gold Mine, Tectonic Events, Quaternary, Shandong Jiaodong

山东胶东金矿四位一体成矿地质背景初探

李洪奎^{1,2,3}, 陈国栋^{1,2,3}, 耿科^{1,2,3}, 李大鹏^{1,2,3}, 单伟^{1,2,3}

¹山东省地质科学研究所, 山东 济南

²国土资源部金矿成矿地质过程与资源利用重点实验室, 山东 济南

³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

Email: lhklhk126@126.com

收稿日期: 2017年4月9日; 录用日期: 2017年4月27日; 发布日期: 2017年4月30日

摘要

胶东地区的基底地质构造演化经历了陆核形成期、陆壳增生期和汇聚定型期三个主要阶段, 古元古代克拉通化汇聚碰撞作用的形成使得原始的绿岩带矿源岩系活化改造; 三叠纪华北板块与扬子板块间陆陆碰撞形成了山东东部的胶南-威海造山带, 碰撞造山作用使克拉通地体再活化, 二大板块的物质成分在区内重新熔合分配并促使金元素转移富集; 侏罗-白垩纪时期太平洋板块对欧亚板块的强烈洋陆俯冲作用, 形成了活动大陆边缘俯冲造山带的大陆弧花岗岩, 包括玲珑序列二长花岗岩组合、郭家岭序列花岗闪长岩组合、伟德山序列花岗岩组合和崂山序列A型碱性花岗岩组合, 这些花岗岩的强烈岩浆活动为金元素迁移成矿提供了热驱动; 巨型走滑系统即郯庐断裂带及其巨大的左型走滑系统及其所形成的次级羽状断裂系统为区内金质的运移富集提供了深源通道和合适的沉淀场所。这一特殊的“四位一体”成矿地质背景以及它们的相互作用过程决定并影响着胶东的成矿环境, 而这一特征具有唯一性和不可复制性。

关键词

成矿背景, 金矿, 构造事件, 四位一体, 山东胶东

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

金矿是山东省的优势矿产资源, 以资源丰富、开发历史悠久及产量大而为世人瞩目。山东胶东地区面积不足全国大陆的0.2%, 而黄金储量占全国的四分之一, 是我国最大的黄金矿集区。目前胶东地区已探明三个超千吨的世界级金矿田, 它们是三山岛金矿田、焦家金矿田和玲珑金矿田。焦家金矿田已探明资源储量1260吨, 三山岛金矿田已探明资源储量累计达1100吨, 玲珑金矿田已探明资源量亦达到1057吨。区内有超大型、大型、中型金矿床30多处以及上百个小型金矿床。胶东金矿集中区是区域尺度地质成矿作用的综合产物, 其形成演化受地壳的演化所制约[1] [2] [3]。山东是由古老的微陆块或地块经多期增生碰撞而形成的复合块体, 在其漫长的构造演化中, 几经镶嵌、叠覆、剥蚀改造但又保存了几乎所有地质时期形成的地质记录的复合体, 具有丰富多彩的大地构造组合和样式[4] [5] [6] [7]。近几年山东在成矿地质背景研究和胶东地区金矿成矿规律研究上取得了新的认识与进展, 并改变着对胶东地区金矿成矿过程的认知[4] [5] [7] [8]。山东地处特提斯、古亚洲洋和太平洋三大构造域的结合部位, 它们的相互作用过程决定并影响着胶东金矿的形成环境。胶东金矿区东邻太平洋, 西靠郯庐断裂带, 南部为苏鲁超高压变质带, 在整个地质历史时期, 受到过多次构造-热事件影响。从早前寒武纪不成熟陆壳向成熟陆壳转化和陆块碰撞拼合, 到中-新元古代大陆裂解与聚合, 从古生代的海陆变迁, 到中生代构造体制转折和岩

石圈减薄，一直到新生代地壳的差异性升降运动，无不体现着地壳演化的神奇[4] [5]。其中新太古代 - 古元古代、三叠纪、侏罗 - 白垩纪三次构造 - 热事件以及白垩纪以来郯庐断裂带的大规模走滑平移对该地区的构造 - 岩浆事件和成矿作用起着主要的制约与控制作用。这一特殊的“四位一体”成矿地质背景以及它们的相互作用过程决定并影响着胶东的成矿环境，而这一特征具有唯一性和不可复制性[5] [8]。

2. 大地构造背景

山东胶东地处中国东部沿海，在大地构造位置上地跨华北板块和秦祁昆造山系二个 I 级大地构造单元(图 1(a))的叠置区域，又是中国中生代东部岩浆弧的重要组成部分。胶东地区在构造上位于郯庐断裂以东，由胶北隆起、胶莱盆地和胶南 - 威海高压 - 超高压带组成，胶北隆起区构成了胶东金矿集中区(图 1(b))。

胶东地区出露地层主要包括新太古代胶东岩群、古元古代荆山群和粉子山群、新元古代蓬莱群、中生代莱阳群、青山群和王氏群及新生代地层。胶东岩群为一套斜长角闪岩 - 黑云变粒岩 - 磁铁石英岩

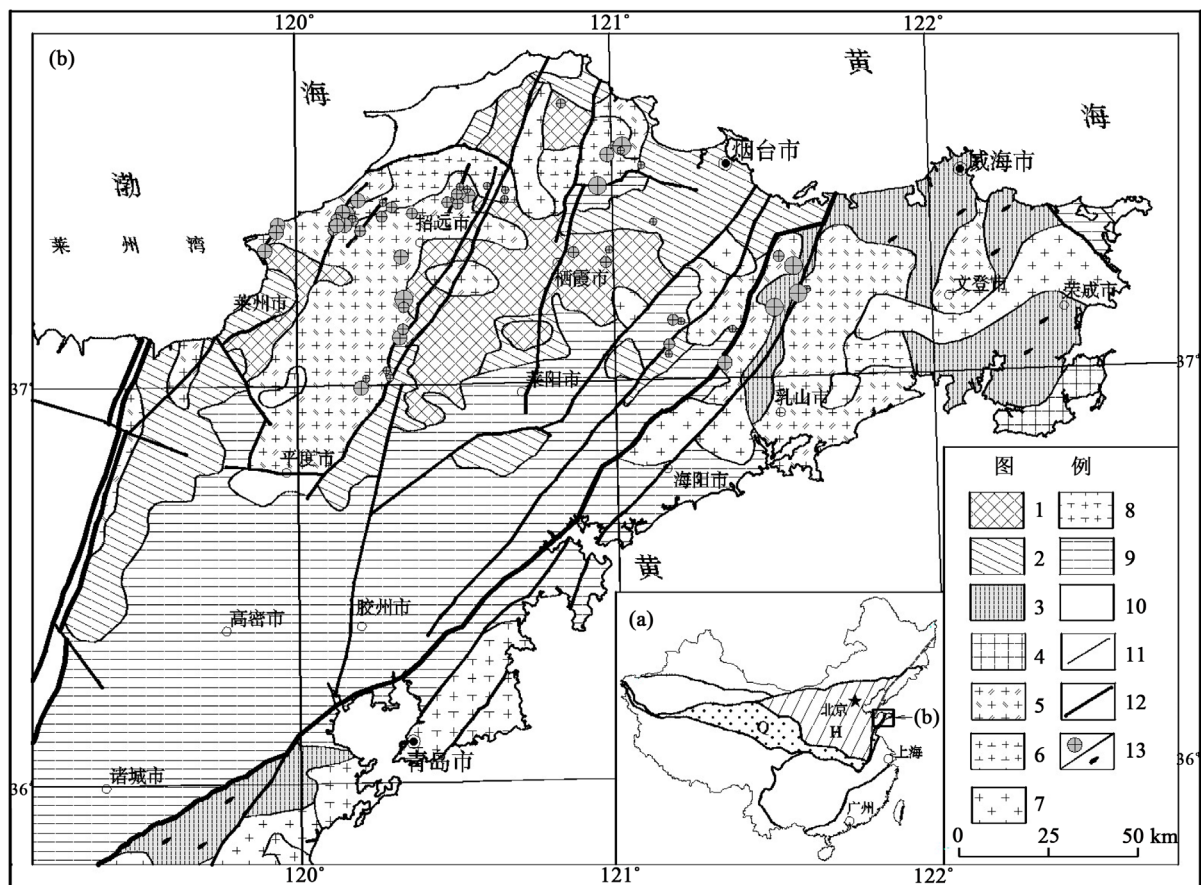


Figure 1. The tectonic location sketch map of Jiudian Gold Deposit in Shandong Province. (a) Q: Qinling-Qilianshan-Kunlunshan orogenic system; H: North China Block; (b) 1: Archean TTG and supracrustal rocks; 2: Proterozoic supracrustal rocks; 3: The high pressure and ultrahigh pressure metamorphic belt; 4: Triassic igneous complex; 5: Jurassic Linglong orogenic intrusions; 6: Early Cretaceous Guojialing orogenic intrusions; 7: Early Cretaceous Weideshan orogenic intrusions; 8: Early Cretaceous Laoshan orogenic intrusions; 9: Cretaceous sedimentary and volcano-sedimentary rocks; 10: Cenozoic sedimentary and volcano-sedimentary rocks; 11: main geological boundaries; 12: main faults; 13: gold deposits/eclogites

图 1. 山东胶东金矿区大地构造位置图。(a) Q: 秦祁昆造山系; H: 华北陆块; (b) 1: 太古宙 TTG+表壳岩; 2: 元古宙变质表壳岩; 3: 高压 - 超高压变质带; 4: 三叠纪岩浆杂岩; 5: 侏罗纪玲珑侵入岩; 6: 早白垩世郭家岭侵入岩; 7: 早白垩世伟德山侵入岩; 8: 早白垩世崂山侵入岩; 9: 白垩纪沉积: 火山沉积岩系; 10: 新生代沉积: 火山沉积岩系; 11: 主要地质界线; 12: 主要断裂; 13: 金矿/榴辉岩

建造组合。区内古元古代变质岩系称之为荆山群和粉子山群,二者岩性组合和形成时代均较相近,同位素年龄数据集中于 2484 Ma~2019 Ma [9]。荆山群主要为一套高铝片岩、变粒岩、大理岩、含石墨岩系、片麻岩、透辉岩等为主的变质岩,变质程度达到角闪岩相-麻粒岩相,并在其中发现了高压泥质麻粒岩[10] [11];粉子山群为一套含磁铁岩系、变粒岩、高铝片岩、长石石英岩、大理岩、含石墨岩系、透闪岩等并夹菱镁矿层的复杂变质岩,变质程度为绿片岩相-角闪岩相。蓬莱群的主要组成为灰岩、大理岩、页岩和硅质岩。中生代莱阳群为砂砾岩、砾岩、砂岩夹页及灰质页岩组合,青山群为火山沉积岩系的玄武岩、安山岩、流纹岩及火山碎屑岩,王氏群为紫红色砂砾岩、细砂岩。区内侵入岩有新太古代 TTG 岩系、古元古代基性侵入岩、新元古代片麻状花岗岩,中生代花岗岩侵入体(玲珑花岗岩、郭家岭花岗闪长岩、伟德山花岗岩、崂山花岗岩等)大面积侵位于上述老地层或岩体中[12]。

3. 克拉通化汇聚碰撞作用与金质的富集

华北在太古宙尚未形成统一的陆块,发育洋盆及岛弧是其重要特点[13]。胶东地区的太古宇-古元古界隶属华北陆块区,反映了区内太古宙-古元古代(1800 Ma 以前习称早前寒武纪)的地质记录。胶东地区的基底地质构造演化经历了:①陆核形成期,②陆壳增生期和③汇聚定型期三个主要阶段[4]。在古元古代初期(2400 Ma),继承了新太古代末期陆缘海、洋盆、岛弧和火山弧的构造环境,至 1800 Ma 是古元古代多种类型构造盆地形成和最终汇聚期,也是真正的华北陆块的最终汇聚形成期[4],在陆块与陆块之间不同程度保留了俯冲-碰撞的地质记录残留,深俯冲形成的高压麻粒岩带是其佐证[10] [14] [15]。胶东古元古代构造带是古造山带的地质记录,也是华北陆块区最终统一的“会聚带”[4]。

如果我们把胶东地区早前寒武纪花岗岩类岩石组合类型与其形成的构造环境、陆壳成熟度相对应的结合起来便可知,新太古代 T₁T₂G₁ 组合,形成于岛弧环境,为新生的初始不成熟陆壳,是俯冲洋壳熔融形成 T₁T₂G₁ 组合[16]。古元古代早期的大陆碰撞时期,洋壳俯冲作用已停止,则形成更多的 G₂ 组合,陆壳最终形成,达成熟程度。据研究岛弧-岛弧碰撞产生的变质事件,使 T₁T₂G₁ 组合形成事件的结束,导致面积和体积较大的初始大陆块体的形成,从原来的岛弧环境转变为大陆边缘弧的环境。进入陆-陆碰撞造山,形成古元古代早期的 G₂ 组合,标志着更大面积和体积的大陆地壳块体的最终形成,陆壳达成熟程度[16]。

荆山群、粉子山群形成的构造环境应是古弧盆相中陆缘裂谷盆地的组成部分,相当于弧后盆地靠近大陆边缘一侧的构造背景,在古元古代晚期的造山过程中,粉子山群和荆山群等岩石地层单位均卷入了造山作用,其中荆山群发生了深俯冲作用,发生了高压麻粒岩相变质[10] [11]。

胶东地区金矿是受前寒武纪变质结晶基底的控制,几乎所有的金矿都产在前寒武纪变质基底中的中生代花岗岩出露的地区或边缘,或者虽然没有花岗岩出露地表,但是有很强的中生代构造变形和小岩脉侵入。胶东地区的大型-超大型金矿床虽然主要产在花岗岩中,但其产出的构造背景为太古宙-元古宙基底岩系和基底构造(图 2),在矿区附近总可以见到胶东岩群变镁铁质火山岩-斜长角闪(片麻)岩的“身影”。如焦家、三山岛、大尹格庄矿床,在矿体上盘常见胶东岩群或太古宙 TTG 岩系或斜长角闪质岩石,说明胶东地区金矿床的成矿物质部分或大部分来自以胶东岩群绿岩-TTG 岩系为主体的太古宙结晶基底,这种分布特征反映基底岩系对金矿的控制作用,也说明了金矿在形成过程中的继承与再生特征[4] [17] [18]。

胶北隆起区出露一条长约 150 km 的麻粒岩带,大致沿平度-莱西-莱阳-栖霞一线分布,呈一 NEE 向带状展布,其中基性麻粒岩主要分布于前寒武纪表壳岩与变质基性-超基性侵入岩体中,泥质麻粒岩主要赋存于古元古代荆山群孔兹岩系中。胶东地区高压麻粒岩带的发现,暗示着该区在古元古代曾经遭受过深俯冲造山作用。图 3 显示了胶东地区高压麻粒岩相带与金矿空间关系,而这条高压麻粒岩相带也是胶东地区构造热背斜的部位,两侧则依次为高角闪岩相带、低角闪岩相带和绿片岩相带,金矿则产在低角闪岩相带和绿片岩相带中,它符合 R.W. Boele 的变质过程中金质的迁移规律[19],似乎暗示了胶东

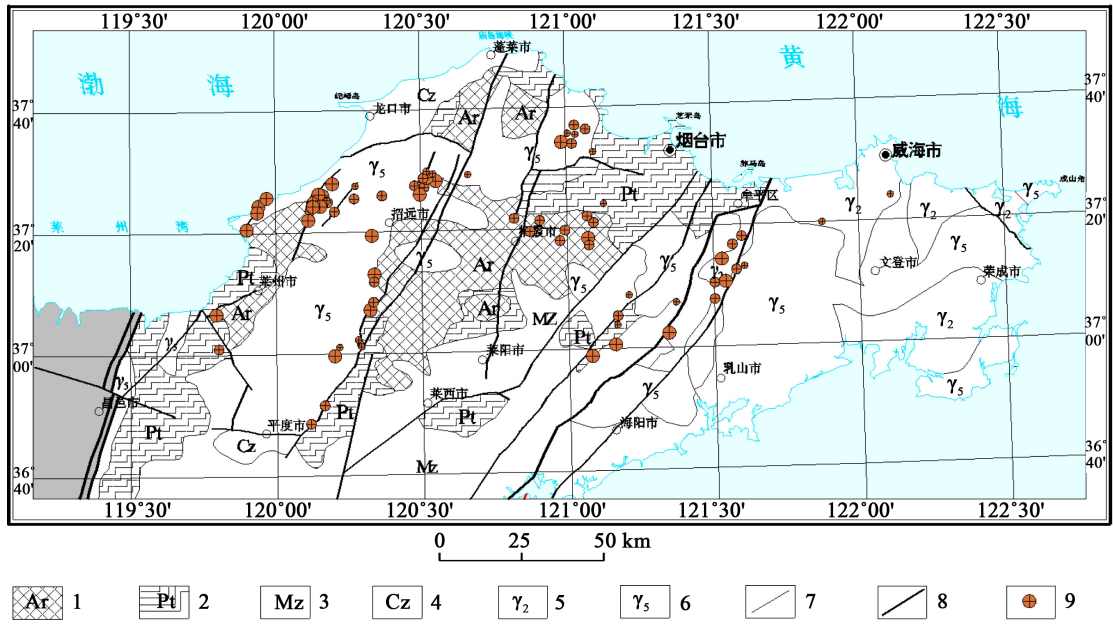


Figure 2. The space distribution of the basement rock series and the gold deposits in Jiaodong area. 1: Archean TTG + supracrustal rocks; 2: Archean metamorphic supracrustal rocks; 3: Mesozoic sedimentary-volcanic sedimentary rock series; 4: Cenozoic sedimentary-volcanic sedimentary rock series; 5: Archean granite; 6: Mesozoic granite; 7: geological boundary; 8: faults; 9: gold deposits

图 2. 胶东地区基底岩系与金矿空间关系分布图。1: 太古宙 TTG+表壳岩; 2: 元古宙变质表壳岩; 3: 中生代沉积: 火山沉积岩系; 4: 新生代沉积: 火山沉积岩系; 5: 元古宙花岗岩; 6: 中生代花岗岩; 7: 地质界线; 8: 断裂; 9: 金矿床

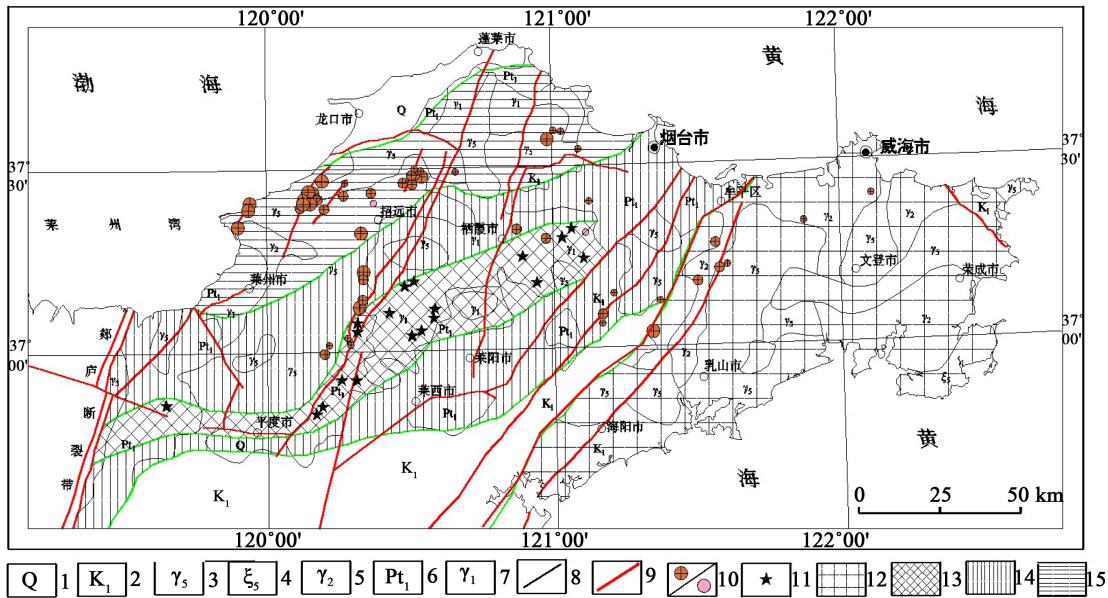


Figure 3. The distribution of the metamorphic facies belt and the gold deposits in Jiaodong area. 1: Quaternary; 2: Cretaceous; 3: Jurassic and Cretaceous intrusive rocks; 4: Triassic intrusive rocks; 5: Archean intrusive rocks; 6: Archean supracrustal rocks; 7: Archean TTG+ supracrustal rocks; 8: major geological boundary; 9: the main faults; 10: gold/silver deposits; 11: granulite; 12: the high pressure and ultrahigh pressure metamorphic belt; 13: granulite facies; 14: the high amphibolite facies; 15: low amphibolite facies-green schist facies

图 3. 胶东地区变质相带与金矿空间关系分布图。1: 第四系; 2: 白垩系; 3: 侏罗纪: 白垩纪侵入岩; 4: 三叠纪侵入岩; 5: 元古宙侵入岩; 6: 元古宙表壳岩; 7: 太古宙 TTG+表壳岩; 8: 主要地质界线; 9: 主要断裂; 10: 金矿/银矿; 11: 麻粒岩; 12: 高压 - 超高压变质带; 13: 麻粒岩相带; 14: 高角闪岩相带; 15: 低角闪岩相: 绿片岩相带

金矿与古元古代末期克拉通化过程中陆块与陆块之间强烈碰撞作用造成的花岗-绿岩地体中金质的重新聚集与分配。范宏瑞[20]经过高温高压下金的浸滤实验表明,在一定物理化学条件下,金能够以络合物的形式被活化迁移出来。造山作用引发的高级变质作用而产生的变质流体使得区内绿岩带内的原始矿源岩系发生活化改造,为金矿的形成提供了先决条件。而胶东大型金矿床的产出地质部位显示了与胶东岩群或结晶基底构成的低角闪岩相区,也说明了基底构造对金矿定位的制约,即古元古代末期克拉通化汇聚碰撞作用与金矿的亲缘关系。

4. 陆陆碰撞对金矿形成的贡献

胶南-威海高压-超高压变质带分布于山东东南沿海,呈NE向展布、出露宽20~100 km、断续长约450 km,是扬子板块和华北板块陆-陆碰撞造山后形成的一条高压-超高压变质带,是秦岭-大别碰撞带的东延部分,属秦祁昆造山系的不同级别的低序次构造单元(图1)。对秦岭-大别碰撞带的研究结果表明: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海完全消失,大量的同碰撞期变质和岩浆作用的年龄数据,均为240 Ma~205 Ma [21] [22] [23] [24] [25],显示了三叠纪晚期完成拼合。代表晚古生代-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-大别带最后完成碰撞、拼合的主要表现[2] [3] [8] [17]。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。

胶南-威海印支期陆-陆碰撞造山形成的高压-超高压变质带,其演化与发展史大致经历了强烈碰撞、俯冲和折返三个阶段,其时限主要在250 Ma~205 Ma,约45 Ma [3] [8] [17] [25],属三叠纪构造事件。主要造山作用为:(1) 250 Ma~230 Ma,华北板块与扬子板块俯冲、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。(2) 230 Ma~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,在日照市官山闪长玢岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 201 ± 20 Ma [26],在荣成邢家岩体变辉长岩的 SHRIMP U-Pb 年龄 213 ± 5 Ma、 211 ± 5 Ma [27],红门石岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 215 ± 5 Ma [27]。(3) 210 Ma~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。(4) 210~205 Ma,进入后造山拉张阶段,形成榭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 ± 1.4 Ma、 211.9 ± 1.5 Ma [27],代表了陆-陆碰撞造山阶段的结束,同时证明三叠纪末期已经完成南北板块的拼合,到侏罗-白垩纪时期主构造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[4]。

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。

大量的来自玲珑序列、郭家岭序列的 SHRIMP 锆石 U-Pb 同位素年代学微区测定结果显示了胶东结晶基底、玲珑花岗岩和郭家岭花岗闪长岩形成的年代学信息,揭示了它们之间复杂的继承性和再生性[4] [5],即S型玲珑花岗岩是交代重熔新太古代胶东岩群、TTG岩系和古元古代荆山群、粉子山群等胶东基底岩系而成;具壳幔混合成因的郭家岭花岗岩在形成与侵位过程中重熔交代了部分玲珑花岗岩物质并侵位于玲珑花岗岩中。胶东地区的金矿床主要产于由华北与扬子二大板块碰撞融合后形成的玲珑花岗岩及其周围,暗示了金矿形成与地质作用的共伴性和承继性特征,而二种不同性质、不同类型的物质成分的融合则更有利于新生物质的重新组合,同时也有利于金质的迁移和再富集作用的发生。

5. 侏罗-白垩纪洋陆俯冲和金矿耦合

中生代中晚期以来,中国东部大陆边缘动力学体系发生了根本的变化,晚侏罗世-早白垩世库拉板

块向北移动和向亚洲东北部俯冲、微地块拼贴[4] [5]。针对中国东部宽广区域的岩浆作用, 很多学者认为认为中国东部东侧太平洋板块, 或侏罗-白垩纪时的伊佐奈岐板块的俯冲是导致该区中生代岩石圈减薄的首要构造控制因素[28]。富含水及挥发分的大洋地壳俯冲至大陆地壳之下时, 释放出的大量水和挥发分促使其上部的地幔楔发生熔融, 进而产生大量岩浆。但不同学者认识的细节不尽相同。吴福元等[29]认为, 中生代时太平洋板块向欧亚大陆下的俯冲可分为侏罗纪的俯冲和白垩纪的拉张两个阶段。正是侏罗纪时的大规模俯冲, 使中国东部形成类似安第斯山的活动大陆边缘, 并发生岩石圈的增厚, 而此增厚的岩石圈在白垩纪发生了拆沉。吴利仁等[30]则认为, 太平洋板块的俯冲产生弧后扩张, 扩张区软流圈不断地对上部岩石圈地幔进行侵蚀。特别是沿郯庐断裂等深大断裂软流圈上涌最强烈, 相应的热侵蚀作用也最为活跃, 从而造成岩石圈的减薄。

中国东部中生代岩浆岩分布宽度巨大(超过 1000 km), 是许多学者质疑太平洋俯冲背景的主要方面。近年来的研究得出, 随着大洋板块俯冲的进行, 其俯冲角度会逐渐变小[28], 并且可以俯冲到深度 660 km 的地幔过渡带。板片脱水可以降低地幔熔点, 使之部分熔融成为火山弧、弧后岩浆活动的重要源区[28]。从中侏罗世开始, 太平洋板块开始进行俯冲, 洋壳脱水形成的流体降低岩石圈地幔熔点, 促使其部分熔融并形成幔源基性岩浆, 并且发生底侵形成新生镁铁质地壳。进入早白垩世早期(135~125 Ma), 俯冲造成的地壳伸展和岩石圈减薄使得软流圈地幔岩浆大量底侵, 巨量的热能促使具有幔源特征的下地壳物质部分熔融形成大量的花岗质岩浆侵位, 所带来的金质沿活化的 NNE 向断裂沉淀形成胶东金矿集中区[5]。

山东晚侏罗世 - 白垩纪大地构造受制于太平洋伊佐奈岐板块的影响和郯庐断裂带的走滑平移的作用, 胶东地区表现为强烈的 NE-NEE 向构造岩浆岩带, 构造应力特点是挤压与伸展间互交替进行, 但总体构造背景是在挤压环境下的局部伸展与引张。

侏罗纪时, 胶东地区一方面受到华北与扬子板块后碰撞的挤压作用, 另一方面受太平洋伊佐奈岐板块向 NW 方向运移的影响, 呈现隆起剥蚀状态。同时, 这种双重大地构造背景形成了具有碰撞后的抬升和大陆弧特点的高锆花岗岩。晚侏罗世玲珑序列二长花岗岩强力侵位, 该岩性为过铝质花岗岩和钾质花岗岩, 以具较明显的负锶异常和铝含量较低区别于埃达克岩[31], 是陆壳重熔型花岗岩[4] [5] [9]。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。

在早白垩世, 胶东地区发育了与岩石圈减薄有关的大规模岩浆作用、大范围盆地断陷、高强度金矿成矿爆发、高速度地壳隆升、多期次幔源岩浆活动和多式样脆性断裂切割等地质构造事件。研究表明: 白垩纪时期胶东地区造山挤压和伸展事件频发, 主成矿事件与挤压向拉张作用转换有关。130~126 Ma 郭家岭序列花岗闪长岩在挤压作用下强力定位, 并伴有快速隆升, 之后转入拉张, 金矿在这一时期沿构造有利部位定位。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, 在 120 Ma 左右胶东地区发生了大规模金矿成矿作用, 形成的金矿床具有区域集中、规模大、富集强度高和成矿期短的特点, 这与区内基础地质事件相吻合[5]。早白垩世晚期, 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 NWW 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。118~111 Ma 时, 伟德山序列闪长岩 - 花岗闪长岩 - 花岗岩组合定位, 也是区内金矿的叠加成矿期及多金属矿的主成矿期。110~95 Ma 时, 出现后造山 A 型崂山晶洞过碱性碱长花岗岩 - 正长花岗岩组合侵入活动, 代表了大规模的伸展作用[32], 标志着燕山造山过程的结束。

6. 巨型走滑成矿系统

中国东部发生在早侏罗世时期的重大地质事件是郯庐断裂带(山东称为沂沭断裂带)大规模的左行走滑平移, 这也是改变山东地质构造格局并导致成矿作用发生的重要构造事件。郯庐断裂构造系统是古亚

洲-特提斯构造域转向滨太平洋构造域过程中的重要组成部分,是太平洋板块与欧亚板块及扬子板块相互作用的结果,它经历了大规模的左行平移、伸展、拉张及挤压作用的复杂过程。山东的沂沭断裂带形成了以带内坳垒构造、主干断裂构造系统、断裂带两侧的盆岭构造、羽状构造系统及大陆弧花岗岩系,这种羽状系统对金矿定位起了制约作用。

沂沭断裂带是中国东部地区岩浆活动与成矿活动的重要通道,近年来越来越多的学者也逐渐认同胶西北地区 NNE 向的断裂为郯庐断裂带的次级断裂,沂沭断裂带巨型左行走滑系统及其次级断裂系统为区内金成矿提供了深源通道和合适的沉淀场所(图 4)。中生代时期,中国东部开始了由古亚洲-特提斯构造域向滨太平洋构造域转化阶段,中生代是我国滨太平洋构造体系强烈活动阶段,致使中国东部发生地幔置换作用与中生代岩石圈减薄。同时华北板块与扬子板块夹持下的秦-祁-昆洋盆消亡碰撞造山,使沂沭断裂带发生强烈的构造活化并发生大规模的左行平移,以及其后的推覆、右行平移及张裂作用。在这一大的构造背景下,沂沭断裂带对该地区的构造格局、沉积作用、岩浆活动以及矿产的形成与分布等产生了重要影响。由于太平洋板块不断俯冲,沂沭断裂带处在大陆活动边缘裂谷中,上地幔深熔岩浆不断由该带涌出,为成矿送来矿源和热源。而在它的东侧由于板块热作用,地壳物质重熔形成大量的多期的花岗岩质岩石,成为胶东金矿成矿的重要母体,与之左行走滑剪切形成的一系列次级羽状断裂,为胶东地区金矿最终定位提供了容矿空间。

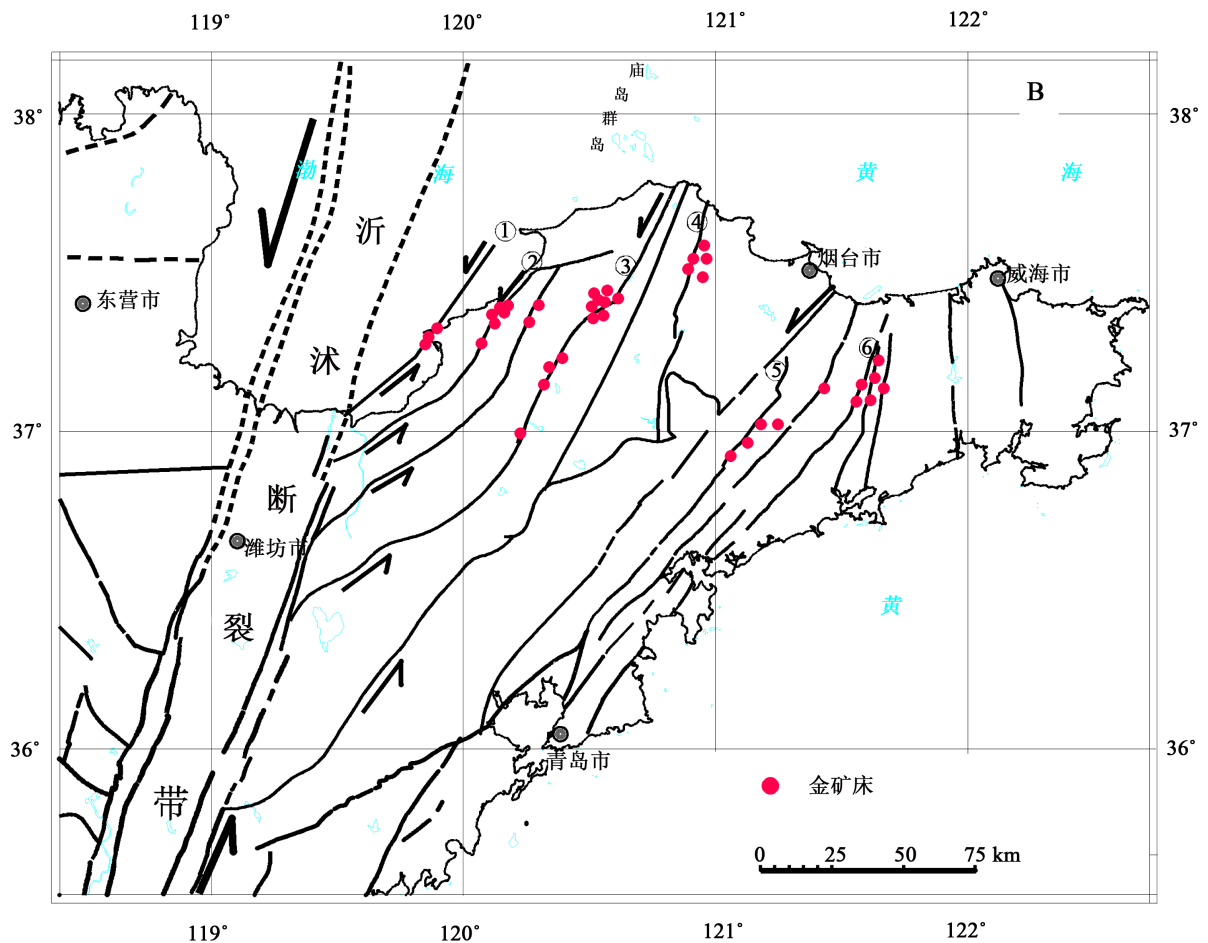


Figure 4. The pinniform ore-controlling and ore-hosting structure in Yishu faults
图 4. 沂沭断裂带羽状控容矿构造系统图

7. 结论

胶东地区地质发展演化史可划分为前南华纪演化阶段(820 Ma 以前)、南华纪 - 中三叠世演化阶段、晚三叠世 - 第四纪阶段三大构造阶段, 记录了古元古代高压麻粒岩的形成、三叠纪华北与扬子板块碰撞、侏罗 - 白垩纪太平洋板块俯冲三次造山事件以及晚侏罗世以来郯庐断裂带的大规模左行走滑, 这种“四位一体”式的地质背景对胶东地区的构造 - 岩浆事件、沉积环境和成矿作用起着主要的制约与控制作用, 也决定了“胶东”式金矿在国内甚至全球的独特性。古元古代造山作用的形成使得原始的绿岩带矿源岩系活化改造, 再活化克拉通地体间碰撞造山带——三叠纪华北板块与扬子板块间陆陆碰撞使得二大板块的物质成分在区内重新熔合分配并促使金元素转移富集, 活动大陆边缘俯冲造山带作用形成的大陆弧花岗岩——侏罗 - 白垩纪的洋陆俯冲产生的强烈岩浆活动为金元素迁移成矿提供了热驱动, 巨型走滑系统即郯庐断裂带及其巨大的左型走滑系统及其所形成的次级断裂系统为区内金质的成矿提供了深源通道和合适的沉淀场所。这一特殊的“四位一体”成矿地质背景以及它们的相互作用过程决定并影响着胶东的成矿环境, 而这一特征具有唯一性和不可复制性。

基金项目

本文为国家自然科学基金项目山东招远 - 平度断裂带夏甸金矿深部成矿特征研究(41572068)、国家公益性专项胶东招平断裂带深部特征与金矿成矿过程研究(201511029)、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)、山东地质勘查基金项目(2012028, 2012032)和山东省泰山学者建设工程专项联合资助。

参考文献 (References)

- [1] 李洪奎, 耿科, 嵇传源. 山东胶东碰撞造山型金矿形成的动力学背景[J]. 地球科学与环境, 2010, 32(增刊): 13-14.
- [2] 李洪奎, 李逸凡, 耿科, 等. 山东鲁东碰撞造山型金矿成矿作用探讨[J]. 大地构造与成矿学, 2011, 35(4): 533-542.
- [3] 于学峰, 李洪奎, 单伟. 山东胶东矿集区燕山期构造热事件与金矿成矿耦合探讨[J]. 地质学报, 2012, 86(12): 1946-1956.
- [4] 李洪奎, 于学峰, 等. 山东省大地构造相研究[M]. 北京: 地质出版社, 2012: 305-314.
- [5] 李洪奎, 耿科, 嵇传源, 梁太涛, 等. 胶东金矿构造环境与成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 2016: 338-383.
- [6] 李洪奎, 杨永波, 张作礼. 山东大地构造主要阶段划分与成矿作用[J]. 山东国土资源, 2009, 25(7): 20-24.
- [7] 李洪奎, 杨永波, 耿科, 曹丽丽. 山东重大基础地质问题研究进展[J]. 岩石学报, 2013, 29(2): 594-606.
- [8] 李洪奎, 李逸凡, 耿科, 嵇传源. 山东鲁东地区中生代构造-岩浆事件与金矿成矿作用[J]. 地球科学前沿, 2013, 3(3): 141-154.
- [9] 宋明春, 王沛成, 主编. 山东省区域地质[M]. 济南: 山东省地图出版社, 2003: 36-51.
- [10] 周喜文, 魏春景, 耿元生. 胶北地区高压与低压泥质麻粒岩的相平衡关系与 P-T 演化轨迹[J]. 地学前缘, 2007, 14(1): 135-143.
- [11] 周喜文, 魏春景, 耿元生, 张立飞. 胶北栖霞地区泥质高压麻粒岩的发现及其地质意义[J]. 科学通报, 2004, 49(14): 1424-1430.
- [12] 李洪奎, 李逸凡, 耿科, 嵇传源, 等. 鲁东地区古元古界形成的大地构造环境探讨[J]. 地质调查与研究, 2013, 36(2): 114-122.
- [13] 陆松年, 于海峰, 李怀坤, 等. 中国前寒武纪重大地质问题研究[M]. 北京: 地质出版社, 2006: 5-122.
- [14] 李旭平, 郭敬辉, 赵国春, 李洪奎, 宋召军. 胶北地块古元古代钙硅酸盐岩与高压基性麻粒岩成因及其地质意义[J]. 岩石学报, 2011, 27(4): 961-968.
- [15] 赵国春. 华北克拉通基底主要构造单元变质作用演化及其若干问题讨论[J]. 岩石学报, 2009, 25(8): 1772-1792.
- [16] 李洪奎, 耿科, 嵇传源, 梁太涛, 陈莉. 鲁东地区早前寒武纪花岗岩类演化及大陆地壳生长[J]. 山东国土资源, 2011, 27(4): 961-968.

- 2012, 28(4): 8-14.
- [17] 李洪奎, 李大鹏, 耿科, 郭宝奎, 糕传源, 梁太涛. 胶东地区燕山期岩浆活动及其构造环境——来自单颗锆石 SHRIMP 年代学的记录[J]. 地质学报, 2017, 91(1): 163-179.
- [18] 李洪奎, 卜文峰, 糕传源, 耿科, 梁太涛. 山东胶东矿集区中生代构造事件与金矿成矿作用[J]. 山东国土资源, 2017, 33(1): 1-9.
- [19] 博伊尔, 著. 金的地球化学与金矿床[M]. 马万钧, 王立文, 等, 译. 北京: 地质出版社, 1984: 560-572.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 李曙光, 刘德良, 陈移之, 葛宁洁, 张宗清, 叶笑江. 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.
- [23] 李曙光, 刘德良, 陈移之, 王松山, 裘冀, 胡世玲, 桑海清. 中国中部蓝片岩的形成时代[J]. 地质科学, 1993, 28(1): 21-27.
- [24] 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.
- [25] 刘福来, 许志琴, 宋彪. 苏鲁地体超高压和退变质时代的厘定: 来自片麻岩锆石微区 SHRIMP U-Pb 定年的证据[J]. 地质学报, 2003, 77(2): 229-237.
- [26] 宋明春, 赵庆龄. 山东省日照市官山闪长玢岩锆石 SHRIMP 年龄: 印支期岩浆热事件及其对超高压变质岩折返历史的限定[J]. 地质通报, 2004, 23(12): 1254-1258.
- [27] 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.
- [28] 邓晋福, 罗照华, 苏尚国, 莫宣学, 于炳松, 赖兴运, 谌宏伟. 岩石成因、构造环境与成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 2004: 1-381.
- [29] 吴福元, 孙德有. 中国东部中生代岩浆作用与岩石圈减薄[J]. 长春科技大学学报, 1999, 29(4): 313-318.
- [30] 吴利仁. 中国东部中生代花岗岩类[J]. 岩石学报, 1985, 1(1): 5-14.
- [31] 张旗, 王焰, 王元龙. 燕山期中国东部高原下地壳组成初探: 埃达克质岩 Sr、Nd 同位素制约[J]. 岩石学报, 2001, 17(4): 505-513.
- [32] 洪大卫, 王涛, 童英. 中国花岗岩概述[J]. 地质论评, 2007, 53(b08): 9-16.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ag@hanspub.org