

吕古贤,杨立强,焦建刚,等.胶东金矿成矿花岗岩:“小岩体成大矿”理论的启示[J].地球科学与环境学报,2023,45(5):1026-1035.  
LYU Gu-xian, YANG Li-qiang, JIAO Jian-gang, et al. Ore-related Granites in Jiaodong Gold Deposits, China: Implications for the Theory of Small Intrusion Forming Large Deposit[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2023, 45(5): 1026-1035.

DOI:10.19814/j.jese.2023.08031

· 庆贺汤中立院士从事地质工作七十周年专辑 ·

# 胶东金矿成矿花岗岩:“小岩体成大矿”理论的启示

吕古贤<sup>1</sup>, 杨立强<sup>2</sup>, 焦建刚<sup>3</sup>, 张宝林<sup>4</sup>, 丁正江<sup>5</sup>,  
周明岭<sup>5</sup>, 张亮亮<sup>5</sup>, 吕承训<sup>6</sup>

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 2. 中国地质大学(北京)地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083; 3. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054; 4. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 5. 山东省地质矿产勘查开发局第六地质大队, 山东 威海 264209; 6. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037)

**摘要:**胶东金矿集中区金成矿与中—酸性花岗岩类密切相关。剪切相的玲珑型似片麻状黑云母花岗岩(年龄为160~153 Ma)是面积达3 500 km<sup>2</sup>的大规模岩基;引张相的滦家河型等粒粗粒二长花岗岩(年龄为154~152 Ma)侵位于玲珑型似片麻状黑云母花岗岩内,单个岩体面积为100 km<sup>2</sup>至数百平方千米。但与金成矿关系最密切的是挤压相的郭家岭型似斑状花岗闪长岩(年龄为131~126 Ma),多数呈岩株状出露(面积为2~90 km<sup>2</sup>),超大型金矿床往往发育于距其5 km范围内。但是,当郭家岭型似斑状花岗闪长岩岩体规模很大(如蓬莱地区的郭家岭花岗闪长岩体面积为270 km<sup>2</sup>)时,则与金成矿几乎无关。胶东中—酸性花岗岩“小岩体成大矿”的新认识对于中—酸性岩浆相关热液矿床的成矿规律研究和预测勘查均具有重大的理论意义和应用价值,但受限于相关资料缺乏广泛研究,其形成机制尚需深入探讨。

**关键词:**成矿花岗岩;小岩体成大矿;构造岩相;岩基;岩株;胶东金矿

**中图分类号:**P618.51 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-6561(2023)05-1026-10

## Ore-related Granites in Jiaodong Gold Deposits, China: Implications for the Theory of Small Intrusion Forming Large Deposit

LYU Gu-xian<sup>1</sup>, YANG Li-qiang<sup>2</sup>, JIAO Jian-gang<sup>3</sup>, ZHANG Bao-lin<sup>4</sup>, DING Zheng-jiang<sup>5</sup>,  
ZHOU Ming-ling<sup>5</sup>, ZHANG Liang-liang<sup>5</sup>, LYU Cheng-xun<sup>6</sup>

(1. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China; 2. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 4. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 5. No. 6 Geological Team of Shandong Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, Weihai 264209, Shandong, China; 6. Development and Research Center, China Geological Survey, Beijing 100037, China)

**Abstract:** The Jiaodong gold mineralization is closely related to intermediate-felsic granitoids. The Linglong-type gneissic biotite granite (the age is 160—153 Ma) being shear facies is a large batholith with an area of 3 500 km<sup>2</sup>. The Luanjiahe-type equite-grained and coarse-grained

monzogranite (the age is 154—152 Ma) being extension facies intrudes into the Linglong-type gneissic biotite granite, with a single area of 100 km<sup>2</sup> to hundreds square kilometer. But the most closely related to gold mineralization is the Guojialing-type porphyritic granodiorite (the age is 131—126 Ma) with compression facies, and it mainly exposes as stocks (the area is 2—90 km<sup>2</sup>), which are close to giant gold deposits within 5 km. However, when the Guojialing-type porphyritic granodiorite has a large outcrop (such as the Guojialing granodiorite pluton in Penglai having an outcrop of 270 km<sup>2</sup>), it is almost irrelevant to gold mineralization. The new cognition from the “small intrusion forming large deposit” of Jiaodong intermediate-felsic granite has great research significance and application value for the study on metallogenic regularity and mineral prospecting of intermediate-felsic magma-related hydrothermal deposits. But the relevant data still need to be extensively studied, and its genetic mechanism is being deeply explored.

**Key words:** ore-related granite; small intrusion forming large deposit; tectonic lithofacies; batholith; stock; Jiaodong gold deposit

## 0 引言

胶东地区是我国著名的金矿产地,不仅产量在全国领先,资源与前景居于首位,而且储量规模达到全球第三大金矿区<sup>[1]</sup>。胶东金矿床,特别是构造蚀变岩型金矿床独具特色<sup>[2-4]</sup>,是全球与中生代花岗岩有关的大型金矿床类型中的典型实例<sup>[5]</sup>。胶东金矿分布于太古宙—元古宙变质岩之中,属于活化花岗岩—绿岩带相关的矿床<sup>[6]</sup>。中—新生代构造岩浆活动背景产生的花岗岩类是主要的成矿岩体<sup>[7-8]</sup>,是断裂构造控制下的中温热液交代蚀变岩型脉状金矿床<sup>[9-11]</sup>。金矿化形式明显受构造控制,表现为“入”字型挤压—引张构造控制的“焦家—玲珑式:细脉浸染状黄铁绢英质蚀变岩—大脉+细脉+网脉状黄铁矿—石英脉金矿”<sup>[12]</sup>。

胶东地区西北部赋存了胶东地区主要的金矿储量<sup>[13-14]</sup>,目前研究已证实大型金矿普遍发育有金矿“深部第二富集带”。由国家计划委员会青年找矿项目组、山东省地质矿产勘查开发局第六地质大队和山东黄金矿山产学研联合攻关,应用成矿深度构造校正测算和构造变形岩相填图新方法,提出玲珑矿田和焦家金矿深部存在金矿“深部第二富集带”的预测<sup>[15-16]</sup>,结合地质、物探和化探信息圈定靶区。验证钻孔率先在焦家金矿得到验证,在无矿带之下的600~700 m深度段4个钻孔见矿。这是胶东地区首次依据“深部第二富集带”理论揭露的隐伏矿脉,推动了胶东金矿广泛的深部勘查活动<sup>[17-19]</sup>。

花岗岩与金矿的关系一直是研究胶东金矿成矿的重要问题,出现过玲珑型似片麻状黑云母花岗岩、滦家河型等粒粗粒二长花岗岩或郭家岭型似斑状花

岗闪长岩是主要成矿岩体的认识,争论至今。本文研究受到汤中立院士“小岩体成大矿”理论观点<sup>[20]</sup>的启示,揭示胶东金矿集中区的郭家岭型似斑状花岗闪长岩以小岩体或岩枝出现时是主要的成矿花岗岩。

## 1 赋矿花岗岩构造岩相特征

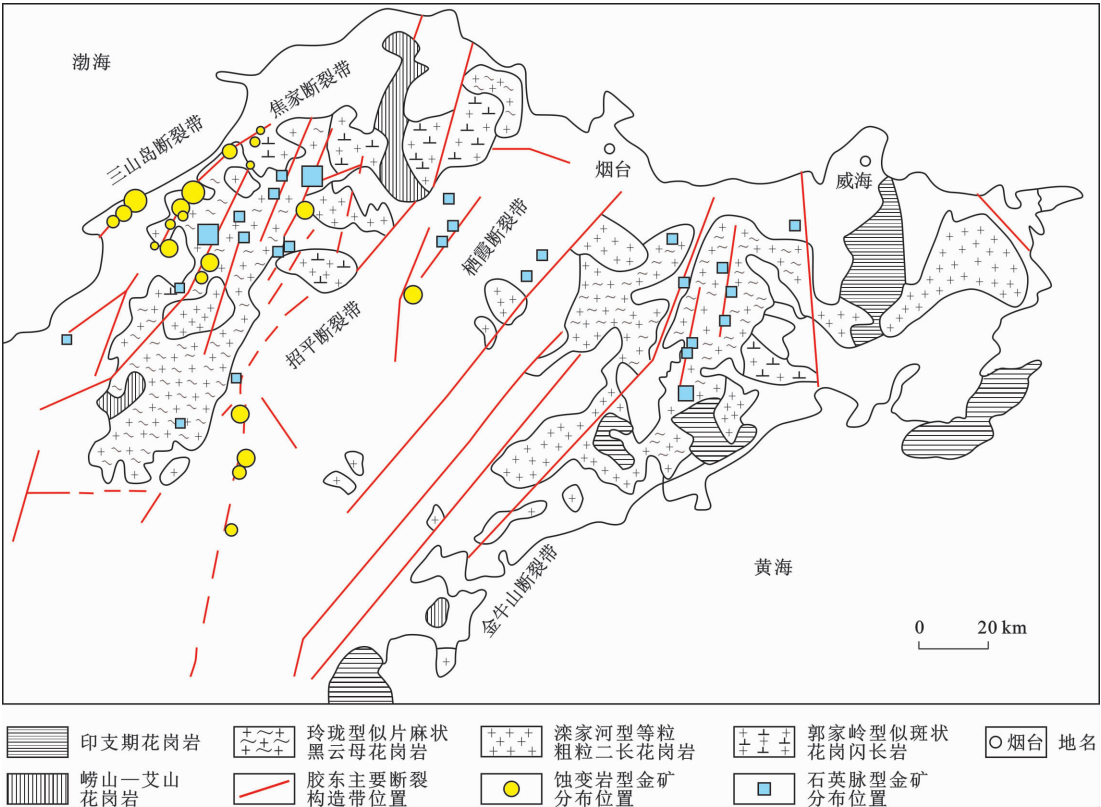
### 1.1 花岗岩的岩石、矿物和地球化学特征

胶东金矿成矿花岗岩以中酸性侵入岩为主。胶东地区西北部花岗岩根据构造岩石类型可分为3类:玲珑型似片麻状黑云母花岗岩、滦家河型等粒粗粒二长花岗岩和郭家岭型似斑状花岗闪长岩(图1)。在Q-A-P图解中,上述3类岩石分别位于花岗闪长岩、二长花岗岩和石英二长闪长岩岩石范围内(图2)。

3种花岗岩类的矿物组成在投影上有连续过渡和部分重叠的特征,从玲珑型似片麻状黑云母花岗岩、滦家河型等粒粗粒二长花岗岩到郭家岭型似斑状花岗闪长岩(从早到晚的顺序),具有从酸性到碱性,再到偏基性的变化<sup>[21]</sup>。岩石学研究表明,从剪切到引张岩相,再到挤压岩相,随着岩石结构和组成有规律的变化,矿物的结构和成分也表现出相应的改变,而这些变化反映岩石形成时的构造物理化学条件,如长石成分和结构状态能够正确反映深熔作用成因花岗岩体形成时的物理化学条件<sup>[22-23]</sup>。

### 1.2 花岗岩构造岩相的划分

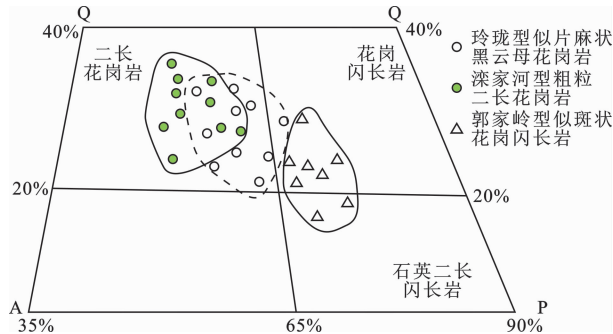
本文以花岗岩结晶构造岩相为主要研究对象,依据花岗岩类别、构造与结构特征和应力分析研究,开展花岗岩的分类和分布研究。按照3类花岗岩的岩石学和结构特征(图2),其可以分为剪切相的玲



图件引自文献[24]

图 1 胶东地区中—新生代花岗岩及金矿分布地质简图

Fig. 1 Geological Sketch Map of Distributions of Mesozoic-Cenozoic Granites and Gold Deposits in Jiaodong Area



图件引自文献[8]

图 2 胶东金矿成矿花岗岩 Q-A-P 图解

Fig. 2 Diagram of Q-A-P for Ore-related Granites in Jiaodong Gold Deposit

玲珑型似片麻状黑云母花岗岩、引张相的滦家河型等粒粗粒二长花岗岩和挤压相的郭家岭型似斑状花岗闪长岩。

1.2.1 剪切相的玲珑型似片麻状黑云母花岗岩

玲珑型似片麻状黑云母花岗岩基本属于交代重熔型的花岗杂岩体,在花岗岩分类图解中,投影于二长花岗岩接近花岗闪长岩的区域,主要包括细—中粒片麻状花岗岩、细粒片麻状花岗岩和细—中粒弱片麻状花岗岩。

玲珑型似片麻状黑云母花岗岩主要由石英、斜长石、钾长石、黑云母组成[图 3(a)]。副矿物为磁铁矿、石榴石、褐帘石、钛铁矿、磷灰石、锆石、独居石和黄铁矿。石英体积分数为 26%左右,颗粒多为他形中细粒;斜长石体积分数为 30%左右,主要为钠更长石,An 牌号为 8~30,平均值为 20.43;钾长石体积分数为 40%左右,主要为微斜长石、条纹长石;黑云母主要为鳞片状,呈自形定向或半自形定向排列。

1.2.2 引张相的滦家河型等粒粗粒二长花岗岩

滦家河型花岗岩包括滦家河等粒中粗粒二长花岗岩体、毕郭等粒中粗粒二长花岗岩体、郭家店等粒中粗粒二长花岗岩体。主要矿物组成为石英、斜长石、钾长石、黑云母、白云母[图 3(c)],副矿物主要有磁铁矿、钛铁矿、磷灰石、褐帘石、氟碳铈矿、独居石、锆石、榍石。其中,石英体积分数约为 30%;斜长石体积分数为 30%,以更长石为主(An 牌号为 10~22,平均值为 16.19);钾长石体积分数为 30%;黑云母体积分数为 3%;白云母体积分数为 1%~3%。与玲珑型似片麻状黑云母花岗岩相比,其矿物的交代现象较少。

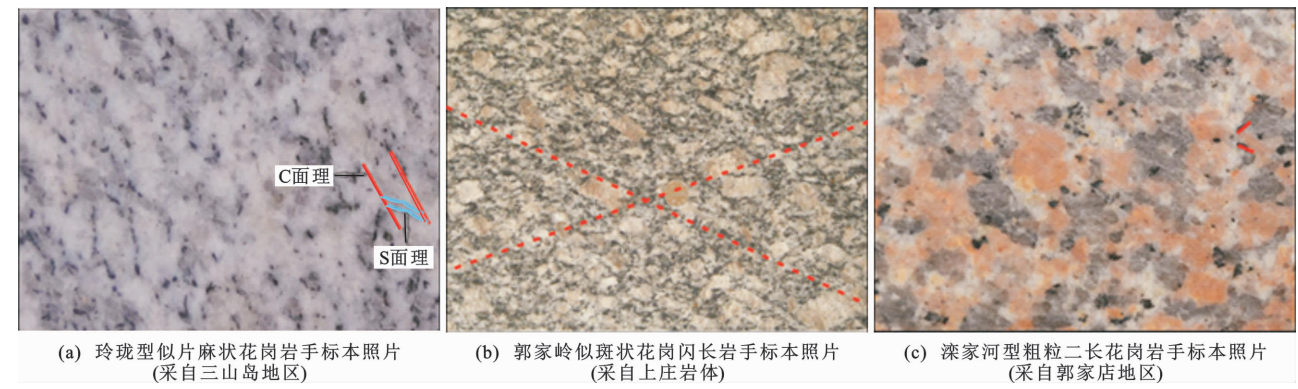


图3 中生代典型花岗岩岩相特征

Fig. 3 Typical Petrographic Features of Mesozoic Granites

### 1.2.3 挤压相的郭家岭型似斑状花岗闪长岩

郭家岭型似斑状花岗闪长岩主要岩性为花岗闪长岩和石英二长闪长岩,以发育钾长石斑晶为特征,矿物主要由石英、斜长石、钾长石、角闪石和黑云母组成[图3(b)]。斑晶主要为钾长石,斑晶内广泛发育包裹矿物,如角闪石、石英和斜长石等,大多分布于长石环带之间。副矿物主要有榍石、磁铁矿、磷灰石、钛铁矿、锆石和褐帘石。石英体积分数为10%~30%,斜长石为30%~40%,钾长石为30%~40%,黑云母为3%~10%,角闪石为3%~9%。石英多呈他形粒状,部分以包体形式赋存于长石颗粒中;斜长石以更长石为主(An牌号为25.7),呈自形一半自形板状,聚片双晶发育;钾长石主要为微斜长石和条纹长石,以基质和斑晶两种形式出现,镜下可见交代残留结构、蠕英结构、净边结构、条纹结构及文象结构等。

### 1.3 花岗岩的区域构造岩相分布

根据胶东地区花岗岩构造位置、岩石类型等特点,杨敏之等将其分为3个系列:①太古宙—元古宙英云闪长岩系列;②中生代强烈改造绿岩带型壳源深熔花岗岩系列;③壳幔型同熔花岗岩系列<sup>[6]</sup>。在这3个系列中,与金矿成矿密切相关的是中生代交代重熔—深熔花岗岩<sup>[8,13,22,25-27]</sup>,主要包括玲珑型似片麻状黑云母花岗岩、滦家河型粗粒二长花岗岩和郭家岭型似斑状花岗闪长岩。

## 2 成矿特征

### 2.1 赋矿花岗岩的规模与成矿

本文主要针对花岗岩构造岩相类型开展了系统研究,结合前人研究可知胶东金矿区存在3期不同规模的岩浆活动<sup>[6,28]</sup>。第1期形成剪切相的玲珑型似片麻状黑云母花岗岩。它位于招远—莱州—平度

一带,面积达3500 km<sup>2</sup>,可达大型岩基规模,包括双顶岩体、云山岩体、罗山岩体和崔召岩体。第2期为引张相的滦家河型等粒粗粒二长花岗岩,侵入到玲珑型似片麻状黑云母花岗岩岩基内和边缘老地层,如郭家店岩体面积达500 km<sup>2</sup>,毕郭岩体面积为150 km<sup>2</sup>。滦家河岩体分布于滦家河和欧家乔一带。第3期为挤压相的郭家岭型似斑状花岗闪长岩,该类岩石分东、西两部分。东部为郭家岭岩体,位于蓬莱大辛庄一带,该岩体与金矿相关关系不明显;西部主要是岩株状岩体,从西到东依次为三山岛岩体、上庄岩体、北截岩体、丛家岩体,它们总体上侵入到玲珑型似片麻状黑云母花岗岩和滦家河型等粒粗粒二长花岗岩之中。

胶东郭家岭型似斑状花岗闪长岩主要发育岩株状岩体,出露总面积约514 km<sup>2</sup>。其具体从西到东分别为三山岛岩体(出露面积为2 km<sup>2</sup>)、上庄岩体(9 km<sup>2</sup>)、北截岩体(14 km<sup>2</sup>)、丛家岩体(90 km<sup>2</sup>)、曲家岩体(129 km<sup>2</sup>)、郭家岭岩体(270 km<sup>2</sup>),另外在东部威海市文登区泽头出露的东郭家岭型岩体出露面积为22.7 km<sup>2</sup>。

郭家岭型花岗闪长岩岩体地表出露面积为2~90 km<sup>2</sup>,与成矿关系密切。通常岩枝深部变大,控制了金矿集中区矿床的形成<sup>[29-30]</sup>。但是,即使该岩体属于郭家岭型似斑状花岗闪长岩,如果为大规模岩体,则与金成矿关系不大,如玲珑矿田东部的郭家岭岩体面积为270 km<sup>2</sup>,其内部和周边没有规模性金矿出现。

总之,玲珑型似片麻状黑云母花岗岩的岩体面积达到3900 km<sup>2</sup>,赋存大量金矿,但是缺乏与金矿成矿作用的相关性。滦家河型等粒粗粒二长花岗岩的大岩体出露面积为几百平方千米,最大达500 km<sup>2</sup>,一般在接触带以外发育矿化现象。郭家岭型



似斑状花岗闪长岩的单个岩体出露面积为几平方千米至几十平方千米,岩体明显与成矿作用密切相关,可称为直接成矿岩体。综上所述,胶东金矿集中区具有“小岩体成大矿”的明显特点。

## 2.2 花岗岩年龄与成矿

分析 3 类花岗岩已有的锆石 SHRIMP 定年结果(表 1)可知,玲珑型似片麻状黑云母花岗岩形成于 160~153 Ma,滦家河型等粒粗粒二长花岗岩形成于 154~152 Ma,郭家岭型似斑状花岗闪长岩形成于 131~126 Ma。由此可见,花岗岩主要形成于 160~152 Ma 和 131~126 Ma 两个阶段。郭家岭型似斑状花岗闪长岩与蚀变岩型金矿化的年龄最接近,或部分重叠。

表 1 中生代花岗岩锆石 SHRIMP 年龄

Table 1 Zircon SHRIMP Ages of Mesozoic Granite

花岗岩	主年龄/ Ma	测点 数	继承锆石 年龄/Ma	文献 来源
玲珑型	153±4	19	300~200	[31]
	157±4	11	3 400、300~200	
	160±3	23	300~200	
	158±3	7	300~180	
	159±1	18		[32]
	160±1	18	2 459、1 040	[33]
滦家河型	154±4	9	400~180	[31]
	152±10	5	240~180	
郭家岭型	128±2	19	2 700~1 900、155±3	[31]
	126±2	19	2 500、300~200	
	130±3	14	1 860、230	
	129±3	5	1 555	
	128±1	16		[34]
	132±1	15	2 163、1 470	[33]

胶东金矿成矿年龄为 130~115 Ma<sup>[14]</sup>,且金矿化作用与郭家岭型似斑状花岗闪长岩形成时间(131~126 Ma)重叠(表 1),代表蚀变-成矿作用发育在岩体形成以后,是小岩体成矿的实例(图 4)。

## 2.3 热液蚀变与成矿

胶东金矿区的蚀变成矿年龄揭示,蚀变成矿主要有 3 个峰期(图 5)。由此可见,与玲珑型似片麻状黑云母花岗岩和滦家河型等粒粗粒二长花岗岩相关的蚀变作用强度不大,而与最晚期的郭家岭型似斑状花岗闪长岩关系最密切<sup>[35-36]</sup>。对蚀变岩开展广泛深入的蚀变岩岩石、矿物和地球化学等研究揭示,郭家岭型似斑状花岗闪长岩的小岩体蚀变成矿作用最重要<sup>[29-30]</sup>。

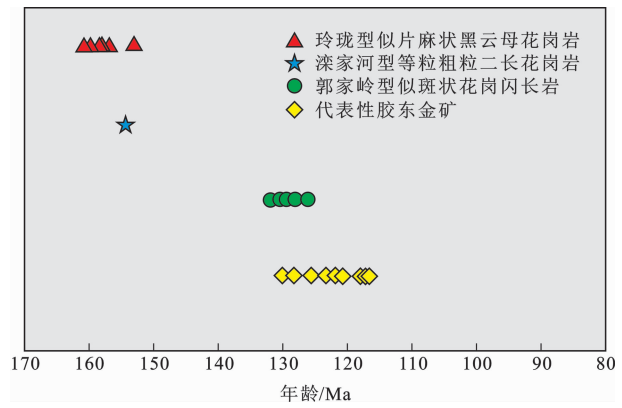
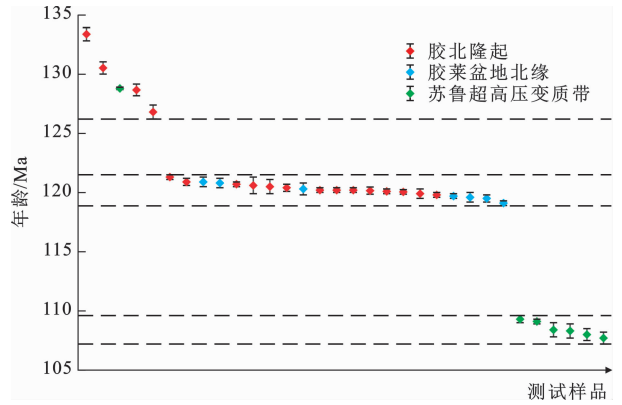


图 4 成矿花岗岩和矿化年龄对比

Fig. 4 Comparison of Ages Between Ore-related Granites and Gold Mineralization



图件引自文献[36]

图 5 胶东金矿成矿年代学分布

Fig. 5 Geochronological Distribution of Jiaodong Gold Deposits

## 3 成矿模式

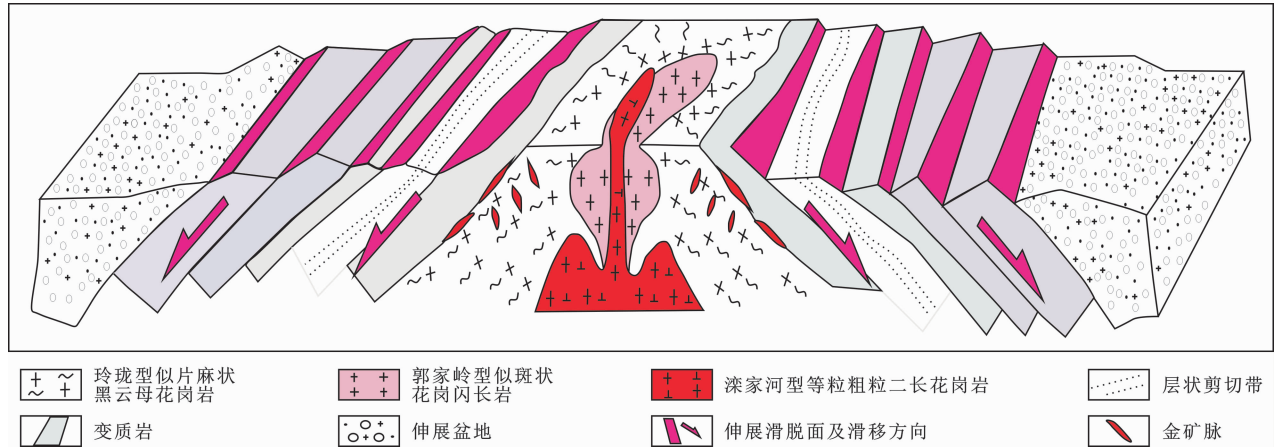
板块边界的构造驱动常引起地幔隆起和凹陷,而地幔隆起导致岩浆上侵,在上地壳形成规模巨大的岩浆房,经交代重熔作用形成玲珑型似片麻状黑云母花岗岩大型岩基(面积达 3 500 km<sup>2</sup>);在张裂带和背斜隆起部位形成气球状的滦家河型等粒粗粒二长花岗岩,发育数百平方千米的大型岩体;晚期在强烈挤压构造条件下,结晶形成郭家岭型似斑状花岗闪长岩,为几平方千米至几十平方千米的岩株或小岩体。

岩浆期和后期的挥发份以不混溶相形成低盐度气相和高盐度液相的流体系统,且相关成矿金属元素分布于流体相中。大岩体的矿化元素富集程度偏低,而小岩体、特别是晚期的岩枝在岩浆房的顶部汇聚并上侵到浅部空间成岩成矿,并在这些斑岩、小岩体和前锋式小岩体发生成矿作用。胶东金矿的特点

是在断裂带和岩浆岩内接触带发育大规模黄铁绢英岩化的热液交代和蚀变作用,在围岩蚀变带基础上形成脉状—细脉浸染状、微细脉状石英-硫化物脉矿床。成矿作用与郭家岭型似斑状花岗闪长岩小岩体在空间和时间上紧密相关,发育了大型金矿床。

花岗岩构造岩相划分出 4 个成岩-成矿期次(图 6):第一期,发育以剪切相玲珑型似片麻状黑云母花岗岩为代表的岩基,出露面积超过 3 900 km<sup>2</sup>;第二期,引张相的滦家河型等粒粗粒二长花岗岩侵入于近同期的玲珑型似片麻状黑云母花岗岩中<sup>[37]</sup>,分布

面积达 100 km<sup>2</sup> 至几百平方千米;第三期,郭家岭型似斑状花岗闪长岩在挤压环境下,呈岩柱状侵位于玲珑型和滦家河型花岗岩体及上部胶东群变质岩中,该期岩浆岩尽管深部侵位,但是地表出露仅几平方千米,呈现岩枝状的岩浆岩体,大的岩枝面积不超过 10 km<sup>2</sup>;第四期,随着郭家岭型似斑状花岗闪长岩底辟、侵入和隆起结束,该岩浆核杂岩进入构造应力场松弛阶段,岩浆核杂岩隆起的边部构造由前期压扭性转变为 NW—SE 向伸展滑脱构造,伴随大规模热液活动,受到构造控制,并形成金矿<sup>[6]</sup>。



图件引自文献<sup>[38]</sup>

图 6 胶东地区西北部成岩成矿模型示意图

Fig. 6 Schematic View of Diagenetic and Metallogenic Model in the Northwestern Jiaodong Area

岩浆核杂岩在 SE—NW 向挤压作用下挤压隆起,形成一系列倾角较缓的破裂面。该期由 SE 向挤压转变为 NE 向挤压,控矿构造从压扭性转变为张扭性作用,断层发生拆离滑脱,为大规模的应力转折成矿期<sup>[38]</sup>。

## 4 “小岩体成大矿”理论的启示

2006 年,汤中立等提出“小岩体成大矿”的理论观点,展示了基性—超基性岩小岩体成大矿的主要特征、机制和类型,对岩浆矿床勘查具有重要的指导意义<sup>[20]</sup>。此外,该理论提出中—酸性侵入岩同样具有小岩体成大矿的特点,主要表现为岩体头部气、液、矿质聚集的矿化形式<sup>[20]</sup>。

胶东金矿成矿花岗岩杂岩体隆起的成矿过程发育小岩体成大矿特征<sup>[21,38]</sup>。岩浆在构造和深部热动力驱动下上侵,在地下数千米的深部形成早期数千平方千米的玲珑型似片麻状黑云母花岗岩岩基;滦家河型等粒粗粒二长花岗岩发育在张性断裂带和褶皱隆起的核部,形成几百平方千米的侵入岩体;晚期郭家岭型似斑状花岗闪长岩在挤压环境下,呈岩

枝侵位于玲珑型和滦家河型花岗岩体及上部的变质岩,在地表出露仅几平方千米至几十平方千米,是金矿的直接成矿岩体(图 7)。

玲珑型似片麻状黑云母花岗岩岩体面积达到 3 900 km<sup>2</sup>,可以赋存金矿体,但是与成矿关系不大。滦家河型等粒粗粒二长花岗岩大岩体出露面积较大,最大达 500 km<sup>2</sup>,但是这两类花岗岩都发育在成矿之前。而郭家岭型似斑状花岗闪长岩的单个岩体出露面积为几平方千米至几十平方千米,这些小岩体或岩株与金矿成矿直接有关。

郭家岭型似斑状花岗闪长岩在接触带和断裂带发育几百米至几千米宽的蚀变岩带,形成玲珑—焦家式金矿。这些小岩体和小岩株比大规模岩浆具有更大的活度,它们可向热液系统输送大量成矿金属,在合适的构造条件下形成大范围的围岩蚀变和各种脉状、细脉浸染状和微细脉状等类型的矿石、矿体,空间上与小岩体紧密相关,表现出小岩体成大矿的特征。

温度、压力下降和挥发份的出溶以及不混溶相分离作用,可形成流体相。这种流体相可能包含一

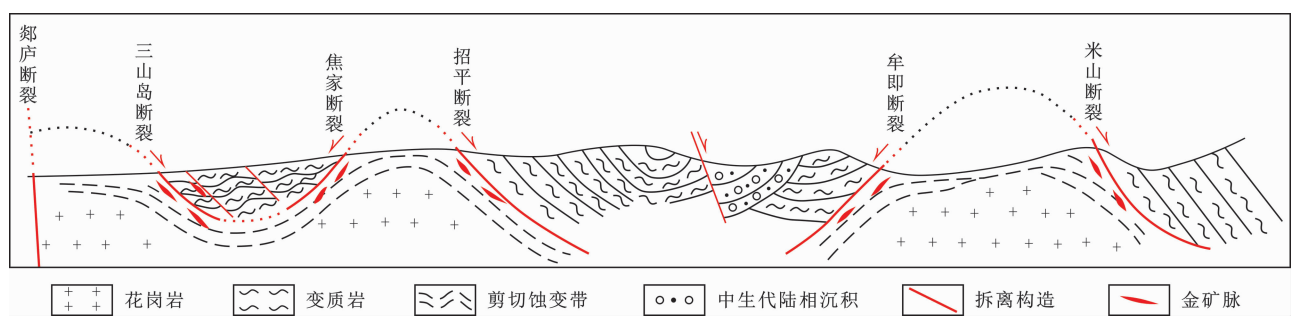


图 7 胶东岩浆核杂岩隆起-拆离构造成矿模式

Fig. 7 Minerlization Model of Uplift and Detachment for the Magmatic Core Complex in Jiaodong

个低盐度气相和一个高盐度液相,相关成矿金属可以高度富集于这些流体相中。含矿流体从岩浆中分离出来向小岩体附近汇聚并和岩浆房顶部的岩浆一起,上侵到高位浅部构造空间成矿<sup>[39-41]</sup>。

胶东金矿成矿过程中,早期在构造和深部地壳热力上隆作用下,形成顺层交代重熔的几千平方千米玲珑型似片麻状黑云母花岗岩岩基,稍后滦家河型等粒粗粒二长花岗岩侵入到玲珑型似片麻状黑云母花岗岩之中,形成 100 km<sup>2</sup> 至几百平方千米的大岩体。这两期岩浆作用也形成热液蚀变,但是达不到成矿作用的规模。胶西北地区郭家岭型似斑状花岗闪长岩呈下大上小的岩株或小岩体,不过在浅部形成了宽大蚀变岩带,在挤压构造部位形成焦家式金矿,在引张断裂裂隙带形成充填硫化物-石英脉型金矿<sup>[23,42-46]</sup>(图 7)。

5 结 语

- (1)胶东地区花岗岩类主要形成于 160~152 Ma 和 131~126 Ma,郭家岭型似斑状花岗闪长岩与成矿蚀变金矿化的年龄最接近。
- (2)在胶东金矿集中区,郭家岭型似斑状花岗闪长岩以小岩体或岩枝出现时,是主要的成矿花岗岩。
- (3)“小岩体成大矿”的成矿规律对中—酸性岩浆相关矿床的成矿规律研究和预测勘查具有重大意义。

谨以拙作祝贺汤中立院士九十华诞暨从事地质工作七十周年!在科研工作中,汤院士给予我大量支持、帮助和指教,特别是金川野外实地调查以及“小岩体成大矿”学术理论的指引,启发我提出了胶东金矿成矿花岗岩“小岩体成大矿”新认识!汤院士曾指出,胶东金矿深部发育“第二富集带”这一观点的首次提出和钻孔验证具有重要意义,这一观点最早回答了金矿深部无矿带之下到底有没有矿的战略难题,比其他类似地质勘查工作早了近十年,非常值

得肯定!汤先生的肺腑之言,给予我的学术历程关键性的评价和鼎力支持!再次祝汤先生和师母身体健康,生活愉快!此外,杨立强教授一直在胶东金矿区开展成矿理论与深部找矿,提供了郭家岭型似斑状花岗闪长岩岩体的出露面积;焦建刚教授、张宝林研究员协助我指导 6 位研究生完成学业,研究生的工作也是围绕胶东成矿花岗岩的构造填图和流变结晶结构展开的;我还与山东地质矿产勘查开发局第六地质大队的地质工作者共同完成了“胶东金矿集中区控矿构造及成矿作用研究”的项目,这一项目支持了本文的新认识,在此一并表示衷心的感谢!

参 考 文 献 :

References :

[1] DENG J, YANG L Q, GROVES D I, et al. An Integrated Mineral System Model for the Gold Deposits of the Giant Jiaodong Province, Eastern China[J]. Earth-science Reviews, 2020, 108: 103274.

[2] 山东省地质矿产勘查开发局第六地质大队. 山东焦家式破碎带热液蚀变岩型金矿地质特征[R]. 威海: 山东省地质矿产勘查开发局第六地质大队, 1977.

No. 6 Geological Team of Shandong Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources. Geological Characteristics of the Jiaojia Type Fractured Zone Hydrothermal Altered Rock Type Gold Deposit in Shandong [R]. Weihai: No. 6 Geological Team of Shandong Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, 1977.

[3] 李宏骧. 浅谈焦家式金矿及其找矿方法[C]//关广岳. 国际金矿地质与勘探学术会议论文集. 沈阳: 东北工学院出版社, 1989: 591-597.

LI Hong-ji. Discussion on Jiaojia Type Gold Deposits and Their Prospecting Methods[C]//GUAN Guang-yue. Proceedings of the International Conference on Gold Geology and Exploration. Shenyang: Northeast Institute of Technology Press, 1989: 591-597.

[4] 李士先, 刘长春, 安郁宏, 等. 胶东金矿地质[M]. 北

- 京:地质出版社,2007.
- LI Shi-xian, LIU Chang-chun, AN Yu-hong, et al. Geology of Gold Deposits in Shandong Peninsula[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007.
- [5] ZHANG L, WEINBERG R F, YANG L Q, et al. Mesozoic Orogenic Gold Mineralization in the Jiaodong Peninsula, China: A Focused Event at  $120 \pm 2$  Ma During Cooling of Pregold Granite Intrusions[J]. *Economic Geology*, 2020, 115(2): 415-441.
- [6] 杨敏之, 吕古贤. 胶东绿岩带金矿地质地球化学[M]. 北京:地质出版社, 1996.
- YANG Min-zhi, LYU Gu-xian. The Geology and Geochemistry of Gold Deposit in Greenstone Belt of East Shandong Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996.
- [7] 郭文魁. 山东招远玲珑金矿区岩石及构造之生成(节要)[J]. *地质论评*, 1951, 16(1): 64-65.
- GUO Wen-kui. The Formation of Rocks and Structures in the Linglong Gold Mine Area of Zhaoyuan, Shandong Province (Summary) [J]. *Geological Review*, 1951, 16(1): 64-65.
- [8] 吕古贤, 孔庆存. 胶东玲珑—焦家式金矿地质[M]. 北京:科学出版社, 1993.
- LYU Gu-xian, KONG Qing-cun. Geology of Linglong-Jiaojia Type Gold Deposits in East Shandong[M]. Beijing: Science Press, 1993.
- [9] 邓 军, 吕古贤, 杨立强, 等. 构造应力场转换与界面成矿[J]. *地球学报*, 1998, 19(3): 21-27.
- DENG Jun, LYU Gu-xian, YANG Li-qiang, et al. The Transformation of Tectonic Stress Field and Interfacial Metallogenesis[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 1998, 19(3): 21-27.
- [10] 邓 军, 翟裕生, 杨立强, 等. 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): 122-130.
- DENG Jun, ZHAI Yu-sheng, YANG Li-qiang, et al. Tectonic Evolution and Dynamics of Metallogenic System: An Example from the Gold Ore Deposits-concentrated Area in Jiaodong, Shandong, China [J]. *Earth Science Frontiers*, 1999, 6(2): 122-130.
- [11] 李士先, 刘连生. 山东胶西北S型构造及其对金矿的控制作用[C]//中国地质科学院地质力学研究所. 地质力学文集第五卷. 北京:地质出版社, 1981: 110-116.
- LI Shi-xian, LIU Lian-sheng. Northwestern S-type Structures and Their Control on Gold Deposits in Northwest Shandong[C]// Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences. Volume 5 of the Geological Mechanics Collection. Beijing: Geological Publishing House, 1981: 110-116.
- [12] 吕古贤, 林文蔚, 罗元华, 等. 构造物理化学与金矿成矿预测[M]. 北京:地质出版社, 1999.
- LYU Gu-xian, LIN Wen-wei, LUO Yuan-hua, et al. Tectonophysicochemistry and Gold Metallogenic Prognosis[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999.
- [13] 李士先, 刘长春, 安郁宏, 等. 胶东金矿地质[M]. 北京:地质出版社, 2007.
- LI Shi-xian, LIU Chang-chun, AN Yu-hong, et al. Geology of Gold Deposits in Shandong Peninsula[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007.
- [14] 吕古贤, 武际春, 崔书学, 等. 胶东玲珑金矿田地质[M]. 北京:科学出版社, 2013.
- LYU Gu-xian, WU Ji-chun, CUI Shu-xue, et al. Geology of Linglong Gold Field in Jiaodong[M]. Beijing: Science Press, 2013.
- [15] 吕古贤. 胶东半岛构造-岩相形式及玲珑—焦家式金矿的构造动力成岩成矿地质特征研究[J]. *地球学报*, 1991, 12(2): 23-42.
- LYU Gu-xian. On the Tectono-petrofacies Forms and Linglong-Jiaojia-type Gold Deposits in the Jiaodong Peninsula, China[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 1991, 12(2): 23-42.
- [16] 吕古贤, 武际春, 郑小礼, 等. 山东省玲珑金矿田深部资源第二富集带的研究和预测[J]. *矿床地质*, 2006, 25(增1): 435-438.
- LYU Gu-xian, WU Ji-chun, ZHENG Xiao-li, et al. A Study and Prognosis of Deep Resources Along the Second Enrichment Belt of the Linglong Gold Ore-field, Shandong Province[J]. *Mineral Deposits*, 2006, 25(S1): 435-438.
- [17] 吕古贤. 山东省焦家金矿隐伏矿床构造物化探及构造物理化学研究[R]. 济南:山东黄金集团有限公司, 1997.
- LYU Gu-xian. Geological Review on the Structural Physicochemical Exploration and Tectonophysicochemical Research of the Hidden Deposit of Jiaojia Gold Mine in Shandong Province[R]. Jinan: Shandong Gold Group Co., Ltd., 1997.
- [18] 山东省地质矿产勘查开发局第六地质大队. 山东省莱州市焦家金矿床深部普查地质报告[R]. 威海:山东省地质矿产勘查开发局第六地质大队, 1998.
- No. 6 Geological Team of Shandong Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources. Geological Survey Report on the Deep Exploration of Jiaojia Gold Deposit in Laizhou City, Shandong Province[R]. Weihai: No. 6 Geological Team of Shandong Provincial Bureau



- of Geology and Mineral Resources, 1998.
- [19] 吕古贤, 张宝林, 胡宝群, 等. 构造物理化学的研究与进展[J]. 地学前缘, 2021, DOI: 10. 13745/j. esf. sf. 2021. 11. 36.  
LYU Gu-xian, ZHANG Bao-lin, HU Bao-qun, et al. Research Status and Progress of Tectonic Physico-chemistry[J]. Earth Science Frontiers, 2021, DOI: 10. 13745/j. esf. sf. 2021. 11. 36.
- [20] 汤中立, 钱壮志, 姜常义, 等. 中国矿产地志: 小岩体成(大)矿理论体系[M]. 北京: 地质出版社, 2021.  
TANG Zhong-li, QIAN Zhuang-zhi, JIANG Chang-yi, et al. Mineral Geology in China: Theoretical System for (Large) Deposit Formed by Smaller Intrusion [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2021.
- [21] 吕古贤. 胶东半岛构造-岩相形式及玲珑—焦家式金矿的构造动力成岩成矿地质特征研究[D]. 北京: 中国地质科学院研究生院, 1989.  
LYU Gu-xian. On the Tectono-petrofacies Form and Linglong-Jiaojia-type Gold Deposits in the Jiaodong Peninsula, China [D]. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Geological Sciences, 1989.
- [22] 毛建仁. 胶东玲珑—滦家河花岗岩体岩石学特征及形成条件[J]. 长春地质学院学报, 1983(3): 33-46.  
MAO Jian-ren. The Characteristics of the Petrology of the Linglong-Luanjiahe Granite in Jiaodong and the Conditions of Its Formation[J]. Journal of Changchun University of Earth Sciences, 1983(3): 33-46.
- [23] 许亚青. 胶东构造花岗岩相分布与夏甸金矿深部成矿规律研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2014.  
XU Ya-qing. The Study of Jiaodong Tectonic Granite Rocks Phase Distribution and Deep Gold Metallogenic Regularity of Xiadian Gold Deposit[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2014.
- [24] 吕承训. 胶东金矿区域构造蚀变岩带地质特征与流体成矿规律研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2012.  
LYU Cheng-xun. The Study of Geologic Characteristics of Regional Tectonic Altered Rock Belt and Regulation of Fluid Mineralization in Jiaodong Peninsula [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2012.
- [25] 宋明春, 崔书学, 周明岭, 等. 山东省焦家矿区深部超大型金矿床及其对“焦家式”金矿的启示[J]. 地质学报, 2010, 84(9): 1349-1358.  
SONG Ming-chun, CUI Shu-xue, ZHOU Ming-ling, et al. The Deep Oversize Gold Deposit in the Jiaojia Field, Shandong Province and Its Enlightenment for the Jiaojia-type Gold Deposits[J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(9): 1349-1358.
- [26] 李洪奎, 嵯传源, 耿 科, 等. 胶东地区郭家岭岩体岩石构造组合特征及地质意义[J]. 山东国土资源, 2011, 27(10): 1-6.  
LI Hong-kui, ZHUO Chuan-yuan, GENG Ke, et al. Assemblage Characteristics and Geological Significance of Rock Structures in Guojialing Group in Jiaodong Area[J]. Shandong Land and Resources, 2011, 27(10): 1-6.
- [27] 王宗永. 胶东西北部花岗岩构造地质特征与大尹格庄金矿成矿规律研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2017.  
WANG Zong-yong. A Study of Structural Geology Characteristics of Granite and Dayingezhuang Gold Mineralization Laws in the Northwestern Jiaodong Region[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2017.
- [28] 任纪舜, 牛宝贵, 和政军, 等. 中国东部的构造格局和动力演化[C]//中国地质科学院地质研究所. 中国地质科学院地质研究所文集(29-30). 北京: 地质出版社, 1997: 61-73.  
REN Ji-shun, NIU Bao-gui, HE Zheng-jun, et al. Tectonic Framework and Geodynamic Evolution of Eastern China[C]//Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences. Collected Works of the Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences(29-30). Beijing: Geological Publishing House, 1997: 61-73.
- [29] 陈光远, 邵 伟. 胶东金矿成因矿物学与找矿[M]. 重庆: 重庆出版社, 1989.  
CHEN Guang-yuan, SHAO Wei. Genetic Mineralogy and Prospecting of Jiaodong Gold Deposit [M]. Chongqing: Chongqing Publishing House, 1989.
- [30] 陈光远, 孙岱生, 邵 伟, 等. 胶东郭家岭花岗岩闪长岩成因矿物学与金矿化[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993.  
CHEN Guang-yuan, SUN Dai-sheng, SHAO Wei, et al. Genetic Mineralogy and Gold Mineralization of Guojialing Granodiorite in Jiaodong Region[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1993.
- [31] 罗镇宽, 苗来成. 胶东招徕地区花岗岩和金矿床[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002.  
LUO Zhen-kuan, MIAO Lai-cheng. Granites and Gold Deposits in Zhaoyuan-Laizhou Area, Jiaodong [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2002.
- [32] 林博磊, 李碧乐. 胶东玲珑花岗岩的地球化学、U-Pb 年代学、Lu-Hf 同位素及地质意义[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2013, 40(2): 147-160.  
LIN Bo-lei, LI Bi-le. Geochemistry, U-Pb Dating, Lu-Hf Isotopic Analysis and Geological Significance of Linglong Granite in Jiaodong Peninsula[J]. Journal of

- Chengdu University of Technology(Science & Technology Edition),2013,40(2):147-160.
- [33] 万 多. 山东胶东地区招平断裂带北段金矿成矿规律与成矿预测[D]. 长春:吉林大学,2014.
- WAN Duo. Study on Metallogenic Regularities and Metallogenic Prognosis of Gold Deposits in Northern Zhaoping Fracture, Jiaodong Area, Shangdong, China [D]. Changchun:Jilin University,2014.
- [34] 陈广俊,孙丰月,李玉春,等. 胶东郭家岭花岗闪长岩 U-Pb 年代学、地球化学特征及地质意义[J]. 世界地质,2014,33(1):39-47.
- CHEN Guang-jun, SUN Feng-yue, LI Yu-chun, et al. U-Pb Dating, Geochemical Characteristics and Geological Significance of Guojialing Grandiorite in Jiaodong Peninsula[J]. Global Geology, 2014, 33(1): 39-47.
- [35] 吕承训,MAEKZ N H,BOYKO K J,等. 胶东区域成矿断裂带蚀变年龄研究及其矿床学意义[J]. 地学前缘,2017,24(2):140-150.
- LYU Cheng-xun, MAEKZ N H, BOYKO K J, et al. The Alteration Age of Fracture Zone and Its Implication for the Formation of Gold Deposits in Jiaodong Area[J]. Earth Science Frontiers, 2017, 24(2): 140-150.
- [36] 杨立强,邓 军,王中亮,等. 胶东中生代金成矿系统[J]. 岩石学报,2014,30(9):2447-2467.
- YANG Li-qiang, DENG Jun, WANG Zhong-liang, et al. Mesozoic Gold Metallogenic System of the Jiaodong Gold Province, Eastern China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(9): 2447-2467.
- [37] 关 康,罗镇宽,苗来成,等. 胶东招掖郭家岭型花岗岩锆石 SHRIMP 年代学研究[J]. 地质科学,1998,33(3):64-74.
- GUAN Kang, LUO Zhen-kuan, MIAO Lai-cheng, et al. SHRIMP Zircon Chronology for Guojialing Suite Granite in Jiaodong Zhaoye District[J]. Scientia Geologica Sinica, 1998, 33(3): 64-74.
- [38] 吕古贤,李洪奎,丁正江,等. 胶东地区“岩浆核杂岩”隆起-拆离带岩浆期后热液蚀变成矿[J]. 现代地质,2016,30(2):247-262.
- LYU Gu-xian, LI Hong-kui, DING Zheng-jiang, et al. Hydrothermal Alteration Metallogenesis in the Detachment Zone of a “Magmatic Core Complex” Upheaval-detachment Structure, Jiaodong[J]. Geoscience, 2016, 30(2): 247-262.
- [39] DONG L L, YANG Z M, LIU Y H, et al. Possible Source of Au in the Jiaodong Area from Lower Crustal Sulfide Cumulates: Evidence from Oxygen States and Chalcophile Elements Contents of Mesozoic Magmatic Suites [J]. Ore Geology Reviews, 2022, 153: 105268.
- [40] LI Z K, LI J W, SUN H S, et al. Gold Mineralized Diorite Beneath the Linglong Ore Field, North China Craton: New Insights into the Origin of Decratonization-related Gold Deposits[J]. Geological Society of America Bulletin, 2023, DOI:10.1130/B36658.1.
- [41] WEI Y J, YANG L Q, QIU K F, et al. Geology, Mineralogy and Pyrite Trace Elements Constraints on Gold Mineralization Mechanism at the Giant Dayingezhuang Gold Deposit, Jiaodong Peninsula, China [J]. Ore Geology Reviews, 2022, 148: 104992.
- [42] 叶广利,杨立强,张 良,等. 胶东夏甸金矿床金红石成因判别与 U-Pb 定年[J]. 岩石学报,2023,39(2):340-356.
- YE Guang-li, YANG Li-qiang, ZHANG Liang, et al. Characteristics and *In-situ* U-Pb Dating of Rutile in Xiadian, Jiaodong Gold Province, Eastern China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2023, 39(2): 340-356.
- [43] DENG J, WANG Q F, LIU X F, et al. The Formation of the Jiaodong Gold Province[J]. Acta Geologica Sinica(English Edition), 2022, 96(6): 1801-1820.
- [44] WANG Q F, YANG L, ZHAO H S, et al. Towards a Universal Model for Orogenic Gold Systems: A Perspective Based on Chinese Examples with Geodynamic, Temporal, and Deposit-scale Structural and Geochemical Diversity[J]. Earth-science Reviews, 2022, 224: 103861.
- [45] YANG L Q, DENG J, GROVES D I, et al. Metallogenic ‘Factories’ and Resultant Highly Anomalous Mineral Endowment on the Craton Margins of China [J]. Geoscience Frontiers, 2022, 13(2): 101339.
- [46] DENG J, WANG Q F, ZHANG L, et al. Metallogenic Model of Jiaodong-type Gold Deposits, Eastern China [J]. Science China: Earth Sciences, 2023, 66(10): 2287-2310.