

胶东中生代花岗岩与金矿关系及成矿期划分

于晓卫¹⁾, 王来明^{* 1)}, 刘汉栋¹⁾, 张文¹⁾, 郭瑞朋¹⁾, 任天龙¹⁾, 侯建华¹⁾, 杨振毅¹⁾, 王立功¹⁾, 梁太涛²⁾

1) 山东省地质调查院, 山东济南, 250014; 2) 山东省地质科学研究院, 山东济南, 250013

内容提要:胶东金矿集区是世界著名的黄金资源基地, 截止 2020 年底, 累计查明金矿资源量已达 5400 余吨。胶东地区中生代花岗岩分布广泛, 岩石类型多, 并与金矿关系极为密切。本文按时代+岩浆事件+岩性的划分方法, 将胶东区域性广泛分布的中生代花岗岩划分为晚侏罗世玲珑期、早白垩世早期郭家岭期、早白垩世晚期伟德山期和崂山期, 对上述四期花岗岩与金矿的空间展布、成矿物质来源、形成时代等关系进行了研究。金矿石硫同位素组成特征与玲珑期花岗岩、郭家岭期花岗岩的相近, 特别是与玲珑期花岗岩范围重叠, 金矿石铅主要为再活化的下地壳铅, 即前寒武纪结晶基底铅, 有幔源铅加入。金矿石的 Sr-Nd 同位素数据大部分与前寒武纪变质基底、玲珑期花岗岩、郭家岭期花岗岩及中生代脉岩的重叠, 暗示 Sr、Nd 主要来自地壳源区。同位素测试结果说明胶东金矿床 Au 元素可能来源于胶东岩群、新太古代 TTG 岩、玲珑期花岗岩和郭家岭期花岗岩, 主要来源于下地壳(初始为华北板块和扬子板块前寒武纪结晶基底), 有壳幔相互作用的地幔物质加入。空间上, 88% 的金资源量赋存在玲珑期花岗岩中, 7% 的金资源量赋存于郭家岭期花岗岩中, 伟德山期和崂山期花岗岩中金资源量仅占 0.1%。时间上, 晚侏罗世玲珑期、早白垩世早期郭家岭期、早白垩世晚期伟德山期和崂山期花岗岩形成时间分别为 166~146 Ma、135~123 Ma、123~110 Ma、118~108 Ma, 金矿成矿年龄有 162~146 Ma、133~120 Ma、120~105 Ma、110~105 Ma 四个区间范围, 这四个金矿成矿年龄区间与四期花岗岩年龄具有较好的对应关系, 成矿事件一般同步或略滞后于同源岩浆活动, 即 162~146 Ma 成矿期对应玲珑期重熔花岗岩的侵位事件, 133~120 Ma 成矿期对应郭家岭期花岗岩的侵位事件, 120~105 Ma 的成矿期对应伟德山期和 110~105 Ma 矿化期对应崂山期花岗岩侵位事件, 据此将胶东金矿成矿期划分为玲珑金成矿期、郭家岭金成矿期、伟德山金及多金属成矿期和崂山钼矿化蚀变期。

关键词:中生代花岗岩; 金矿; 成矿期次; 胶东地区

胶东金矿集区是世界著名的黄金资源基地, 截止 2020 年底, 累计查明金矿资源量已达 5400 余吨, 属世界第三大金矿区。区内广泛分布的中生代花岗岩与金矿有着密切的关系, 主要有晚侏罗世玲珑期花岗岩、早白垩世早期郭家岭期花岗闪长岩—二长花岗岩、早白垩世晚期伟德山期闪长岩—石英二长岩—花岗闪长岩—二长花岗岩和崂山期二长花岗岩—正长花岗岩—碱长花岗岩。出露面积最大的为玲珑期花岗岩, 包括玲珑岩体、毕郭岩体、昆嵛山岩体、鹊山岩体、磁山等岩体。其次为郭家岭期花岗岩, 包括郭家岭岩体、丛家岩体、七甲岩体(曲家)、范家店

岩体、三山岛岩体、上庄岩体、北截等岩体。再次为伟德山期花岗岩, 包括伟德山岩体、艾山岩体、牙山岩体、院格庄岩体、海阳岩体、南宿岩体、周官岩体、北峰顶等岩体, 崂山期花岗岩包括崂山岩体、招虎山岩体、大柱山等岩体(王来明等, 2021)。

近年来, 不同学者对胶东金矿与中生代花岗岩关系进行了研究。李士先等(2007)认为胶东 75% 以上的金矿床分布于早白垩世郭家岭期花岗闪长岩岩体与晚侏罗纪玲珑期花岗岩岩体接触带 1~3 km 内, 以胶西北最为明显, 胶东地区的金矿与玲珑期、郭家岭期花岗岩关系密切, 郭家岭期花岗岩尤为突

注: 本文为山东地勘基金项目(编号鲁勘字(2018)19号, 鲁勘字(2021)18号, 鲁勘字(2014)7号)、山东矿保资金项目(编号鲁矿保(2020)1号)和山东自然科学基金项目(编号 ZR2020MD033)联合资助的成果。

收稿日期: 2021-09-07; 改回日期: 2021-10-29; 网络发表日期: 2023-03-08; 责任编委: 范宏瑞; 责任编辑: 蔡志慧。

作者简介: 于晓卫, 男, 1982 年生。高级工程师, 矿产普查与勘探专业。E-mail: 412102439@qq.com。

* 通讯作者: 王来明, 男 1952 年生。教授级高级工程师, 主要从事区域地质调工作。E-mail: wanglm1952@163.com。

引用本文: 于晓卫, 王来明, 刘汉栋, 张文, 郭瑞朋, 任天龙, 侯建华, 杨振毅, 王立功, 梁太涛. 2023. 胶东中生代花岗岩与金矿关系及成矿期划分. 地质学报, 97(6): 1848~1873, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2023121.

Yu Xiaowei, Wang Laiming, Liu Handong, Zhang Wen, Guo Ruipeng, Ren Tianlong, Hou Jianhua, Yang Zhenyi, Wang Ligong, Liang Taitao. 2023. The relationship between Mesozoic granite, gold deposits and the division of metallogenetic period in eastern Shandong. Acta Geologica Sinica, 97(6): 1848~1873.

出。宋明春等(2013a)认为,白垩纪中国东部地幔隆起,在胶东产生壳幔同熔型花岗岩(伟德山花岗岩),诱发成矿流体活动,同时形成花岗岩穹隆—伸展构造,产生了大规模金矿。叶天竺等(2014)根据金矿体与不同时代地质体的时空关系,将与金成矿密切相关的地质体分为含矿地质体和成矿地质体,认为栾家河及玲珑岩体都是成矿的先期围岩,为含矿地质体,郭家岭岩体是成矿地质体。

不同学者对胶东金矿床的形成年龄进行了详细的研究(杨进辉等,2000;陈衍景等,2004;翟明国等,2004;范宏瑞等,2005;杨立强等,2006;宋雪龙等,2014;Song Mingchun et al., 2015),部分研究者认为金矿主要形成于早白垩世(120 ± 5 Ma),也有研究者认为,胶东金矿成矿划分为晚侏罗世早期成矿事件、早白垩世早期主成矿事件及早白垩世晚期叠加成矿事件(于学峰等,2012;李洪奎等,2013;李逸凡等,2019)。丁正江(2015)等,将胶东金及多金属成矿作用划分为, ~ 205 Ma、 $160 \sim 155$ Ma、 $135 \sim 125$ Ma、 $125 \sim 115$ Ma、 $115 \sim 100$ Ma、 $100 \sim 90$ Ma等六个时期。

鉴于以上,我们进行了胶东地区中生代花岗岩和金矿关系调查研究,通过调查测试分析等手段,开展花岗岩与金矿空间展布、形成时代、物质来源等方面相关性对比研究,探讨中生代花岗岩与金矿的关系及花岗岩形成演化对金矿成矿的贡献程度,划分成矿期次,以期为胶东地区金矿找矿提供依据。

1 地质背景

胶东地区,即胶莱河以东陆域地区(大胶东),行政区划隶属烟台市、威海市及青岛市。隶属于华北板块(I 级)之胶辽隆起区(Ⅱ 级)和秦岭-大别-苏鲁造山带(I 级)之胶南-威海隆起区(Ⅲ 级)。

地层发育有新太古界胶东岩群,古元古界荆山群、粉子山群以及胶南威海造山带变质表壳岩组合,新元古界震旦系蓬莱群。中生代断陷盆地内有白垩系莱阳群、青山群、王氏群分布。新生代盆地(龙口盆地)内则发育古近系五图群,另外在栖霞地区零星发育新近系临朐群基性—超基性火山岩,蓬莱地区发育第四系史家沟组火山岩,在沿河流、沟谷、滨海岸带及平原地区则分布有大面积的第四系松散堆积物(图 1)。

侵入岩十分发育,发育新太古代 TTG 岩、南华纪片麻状二长花岗岩、中生代花岗岩,以广泛和大面积中生代花岗岩为特征。主要有新太古代栖霞序列

TTG 岩,南华纪荣成序列片麻岩,晚三叠世宁津所正长岩和槎山正长花岗岩,晚侏罗世玲珑期花岗岩、垛崮山绿帘石花岗闪长岩、文登二长花岗岩,早白垩世早期郭家岭期花岗闪长岩—二长花岗岩,早白垩世晚期伟德山期闪长岩—石英二长岩—花岗闪长岩—二长花岗岩和崂山期二长花岗岩—正长花岗岩—碱长花岗岩。此外,胶东地区脉岩极为发育,岩性包括煌斑岩、辉绿岩、闪长(玢)岩、花岗斑岩、伟晶岩等,多为北东、北北东向成群、成带分布。空间上与矿体关系密切,成岩时代贯穿侏罗纪和白垩纪。

胶东地区包括胶辽隆起区和胶南-威海隆起区两个二级大地构造单元,二者以牟平-即墨-五莲断裂带为界。三级构造单元则为胶北隆起、胶莱盆地和威海隆起。研究区内韧性和脆性构造均十分发育。韧性构造主要发育在前寒武纪结晶基底和片麻岩穹隆构造内。断裂广泛发育,以北东、北北东向为主,其次为东西向和北西向断裂,北东向和北北东向断裂与金矿成矿关系最为密切,如三山岛断裂、焦家断裂、招远-平度断裂、郭城断裂、牟平-乳山断裂,金矿床(点)都与其有关,主要分布于断裂成矿带及其之间的区域,著名的三山岛、焦家、新城、台上、大尹格庄、夏甸、邓格庄、金青顶等大型、超大型金矿床均分布其中。

2 中生代花岗岩

胶东中生代花岗岩具有区域性广泛分布的特点,这些花岗岩是同一期区域性岩浆活动事件的产物,对其按时代+岩浆事件+岩性的划分方法进行划分,将胶东区域性广泛分布的岩性相同、形成时代相近的花岗岩划分归并为期,是时代“纪”内的岩浆事件单位,划分为晚侏罗世玲珑期、早白垩世早期郭家岭期、早白垩世晚期伟德山期和崂山期(王来明等,2021)。

2.1 晚侏罗世玲珑期花岗岩

是指形成时代为晚侏罗世,形成年龄为 $166 \sim 146$ Ma 的一期岩浆活动事件的产物,其岩性主要由细粒混合花岗岩—细粒二长花岗岩—中粒二长花岗岩—中粗粒二长花岗岩组成,是由地壳(主要是中新太古代变质地层和 TTG 岩以及部分古元古代变质地层)重熔作用形成的花岗岩(苗来成等,1998;罗镇宽,2002;田杰鹏等,2016),是胶东地区具有典型性和代表性的地壳重熔型花岗岩。与金矿在空间上关系极为密切。

玲珑期花岗岩广泛分布于招远、平度、莱州、牟

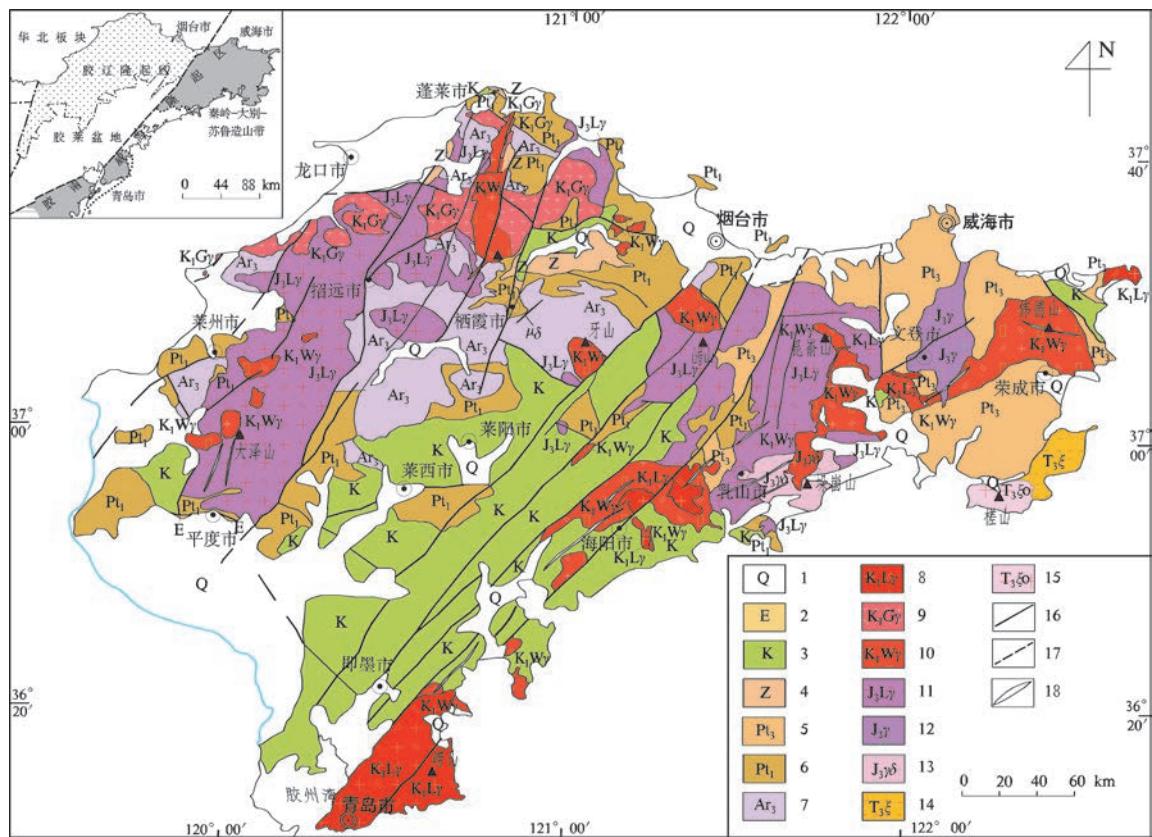


图 1 胶东地区区域地质图

Fig. 1 Regional geological map of Jiaodong area

1—第四系;2—古近系;3—白垩系;4—震旦系;5—新元古界;6—古元古界;7—新太古界;8—崂山期花岗岩;9—郭家岭期花岗岩;10—伟德山期花岗岩;11—玲珑期花岗岩;12—晚侏罗世花岗岩;13—晚侏罗世花岗闪长岩;14—晚三叠世正长岩;15—晚三叠世石英正长岩;16—断裂;17—推测断裂;18—脉岩

1—Quaternary; 2—Paleogene; 3—Cretaceous; 4—Sinian; 5—Neoproterozoic; 6—Paleoproterozoic; 7—Neoarchean; 8—Laoshan granite; 9—Guojialing granite; 10—Weidshan granite; 11—Linglong granite; 12—Late Jurassic granite; 13—Late Jurassic granodiorite; 14—Late Triassic syenite; 15—Late Triassic quartz syenite; 16—fault; 17—concealed fault; 18—vein

平和乳山地区，总体上呈近东西向展布，主要岩体有玲珑岩体、毕郭岩体、昆嵛山岩体、鹊山岩体、磁山岩体等，以玲珑岩体最具代表性。

2.2 早白垩世(早期)郭家岭期花岗岩

指形成时代为早白垩世早期,形成年龄为 135~123 Ma 的一期岩浆活动事件的产物,岩性主要由中粒二长闪长岩—斑状石英二长岩—斑状花岗闪长岩—斑状二长花岗岩组成。该期花岗岩是由于构造体制转换阶段,岩石圈开始减薄(初期),地幔岩浆上涌,壳幔混合岩浆上侵而形成,是胶东地区具有典型性和代表性的壳幔混合型花岗岩(关康等,1997;罗镇宽,2002;杨进辉等,2003)。与金矿在空间上和时间上关系密切

郭家岭期花岗岩广泛分布于莱州、招远、栖霞和蓬莱地区，总体上呈东西向展布，主要岩体有郭家岭岩体、三山岛岩体、上庄岩体、北戴岩体、从家

岩体、七甲岩体、范家店岩体，以郭家岭岩体最具代表性。

2.3 早白垩世(晚期)伟德山期花岗岩

指形成时代为早白垩世晚期,形成年龄为 123~110 Ma 的一期岩浆活动的产物,岩性主要由细粒角闪闪长岩—中粒二长闪长岩—斑状石英二长岩—斑状二长花岗岩组成。该期花岗岩是地壳减薄强烈期,地幔岩浆大规模上涌,壳幔混合岩浆上侵而形成(刘春华等,1997),是胶东地区以及胶南地区具有典型性和代表性的壳幔混合型花岗岩,与铜、铅锌、银、钼矿关系密切(宋明春等,2003,2015)。

伟德山期花岗岩广泛分布于蓬莱、栖霞、牟平、海阳、荣成地区，主要岩体有伟德山岩体、艾山岩体、南宿岩体、牙山岩体、院格庄岩体、海阳岩体，以伟德山岩体最具代表性，该期花岗岩在胶南地区也广泛分布。

2.4 早白垩世(晚期)崂山期花岗岩

指形成时代为早白垩世晚期,形成年龄为 118~108 Ma 的一期岩浆活动的产物,岩性主要由晶洞二长花岗岩—晶洞正长花岗岩—晶洞碱长花岗岩组成,为高分异花岗岩。该期花岗岩形成于区域隆升伸展环境,地壳深部岩浆沿北东向断裂上侵就位,是典型的裂解型花岗岩——A 型花岗岩(赵广涛等,1997)。野外调查发现该期花岗岩晶洞内有辉钼矿化,说明该期花岗岩与钼矿化关系密切。

崂山期花岗岩广泛分布于崂山、平度、蓬莱、海阳和荣成地区,总体呈北东向展布,明显受北东向断裂控制,主要岩体有崂山岩体、北峰顶岩体、天崮山-大柱山岩体、招虎山岩体、成山头岩体,以崂山岩体最具代表性,该期花岗岩在胶南地区也广泛分布。

3 胶东金矿概况

胶东金矿成矿类型的认识一直处于不断研究和发展过程中。早期的研究者将胶东金矿划为绿岩带型金矿(杨敏之等,1996),认为胶东金矿的形成与新太古代的胶东花岗-绿岩带有关。20世纪初,部分研究者提出胶东金矿应属造山型金矿(Goldfarb et al., 2001; Qiu Yumin et al., 2002; 陈衍景等,2004),认为导致胶东矿集区形成的主导因素是中生代华北板块与扬子板块的碰撞造山运动,在碰撞造山过程的挤压向伸展转变期发生了强烈的成矿作用。近年来,许多研究者认为胶东金矿是与国际上已知金矿不同的成矿类型,分别提出了克拉通破坏型金矿(Zhu Rixiang et al., 2015)、胶东型金矿(杨立强等,2014; 宋明春等,2014; 李洪奎等,2017)、热隆-伸展成矿(宋明春等,2013a)等认识。

胶东地区金矿床产于不同类型围岩、不同性质构造中,表现为不同的矿化蚀变特征,矿床(化)类型非常复杂,前人将其划分了若干矿化类型,建立了较多的矿床模式。破碎带蚀变岩型金矿和石英脉型金矿是胶东地区 2 种最主要类型,二者累计资源储量占胶东金资源总量的 94%,其中破碎蚀变岩型金矿有三山岛、焦家、大尹格庄、南墅等矿床;石英脉型金矿有玲珑金矿田、台上、旧店、黑岚沟等矿床。金矿化类型还包括硫化物石英脉型,典型金矿床有金牛山、邓格庄、金青顶金矿床;破碎带石英网脉带型,典型矿床河西金矿床;层间滑动构造带型,典型金矿床杜家崖金矿床;盆缘断裂角砾岩型,典型矿床有蓬家夼、宋家沟金矿床;黄铁矿碳酸盐脉型,典型矿床有辽上、郭城金矿床(李国华等,2016; 李洪奎等,

2017)。

胶东地区金矿床主要分布在中生代晚侏罗世玲珑期花岗岩和早白垩世郭家岭期花岗闪长岩中,少数分布在新太古代—古元古代变质岩中以及中生代早白垩世地层中,并严格受断裂构造控制。

胶东地区已探明资源储量的金矿床主要分布于烟台市的莱州、招远、蓬莱、栖霞、福山、牟平等市县(区),青岛市的平度、莱西市和威海市的乳山、文登市也有分布,可划分为胶西北(莱州—招远)、栖蓬福(栖霞—蓬莱—福山)、牟乳(牟平—乳山)3 个成矿小区,三山岛、焦家、招远—平度、栖霞—大柳行、牧牛山、牟平—乳山 6 条成矿带,三山岛、焦家、灵北、鞍石、大庄子、玲珑、大尹格庄、旧店、栖霞、大柳行、莱山、蓬家夼、邓格庄 13 处金矿田(宋明春等,2014)(图 2)。

本次对已探明的金矿床进行统计,矿床数量共计 247 处(岩金矿床),超大型金矿床 14 处,大型金矿床 36 处,中型金矿床 71 处,小型金矿床 126 处。截止到 2020 年累计查明金资源量 5400 余吨。目前,胶东地区最深的金矿勘探研究钻孔深度达 4006.17 m。近年来深部找矿取得重大突破,探明深部超大型金矿床 10 处、大型金矿床 8 处,尤其是莱州市境内探明了三山岛北部海域、西岭、纱岭等 3 个资源储量分别为 470.47 t、580 t 和 309.93 t 的超大型金矿。

4 中生代花岗岩与金矿关系研究

4.1 空间展布关系

4.1.1 玲珑期花岗岩

胶东金矿床主要分布在玲珑期花岗岩边缘、内部及与前寒武纪变质岩接触带上,在玲珑岩本中有焦家-新城超大型金矿床、岭南-水旺庄超大型金矿床、大尹格庄、夏甸超大型金矿床、玲珑大型金矿床等。在鹊山岩体中分布的金矿床有郭城、辽上、西涝口等大型金矿床,蓬家夼等中型矿床等。在昆嵛山岩体中有邓格庄、金青顶大型金矿床,西直格庄、金牛山等中型金矿床。

玲珑期花岗岩中赋存超大型金矿床 14 处,大型金矿床 30 处,中型金矿床 45 处,小型金矿床 56 处,共计 145 处。金矿数量占整个胶东金矿数量 59%,而资源量占 88%。根据金矿赋存围岩岩性统计结果,玲珑岩体中金矿主要赋存在中粒二长花岗岩和中粗粒二长花岗岩中,含石榴子石细中粒二长花岗岩和斑状中粗粒二长花岗岩及混合花岗岩中有少量

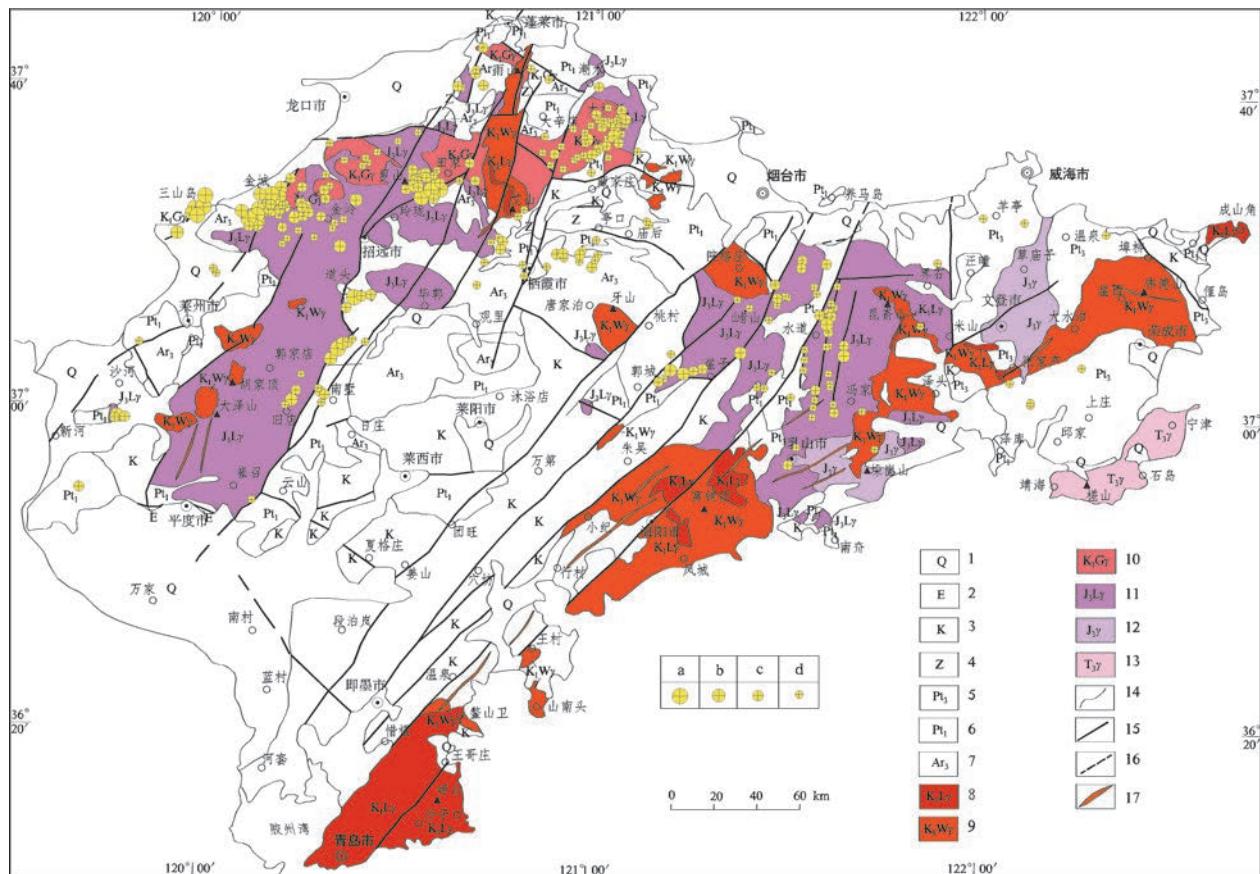


图 2 胶东中生代花岗岩与金矿地质图

Fig. 2 Geological map of Mesozoic granite and gold deposit in Jiaodong

a—超大型金矿；b—大型金矿；c—中型金矿；d—小型金矿；1—第四系；2—古近系；3—白垩系；4—震旦系；5—新元古界；6—古元古界；7—新太古界；8—崂山期花岗岩；9—伟德山期花岗岩；10—郭家岭期花岗岩；11—玲珑期花岗岩；12—晚侏罗世花岗岩；13—晚三叠世花岗岩；14—地质界线；15—断层；16—推测断层；17—脉岩

a—super-large gold deposit; b—large gold deposit; c—medium gold deposit; d—small gold deposit; 1—Quaternary system; 2—Paleogene; 3—Cretaceous; 4—Sinian; 5—Neoproterozoic; 6—Paleoproterozoic; 7—Neoarchean; 8—Laoshan granite; 9—Weideshan granite; 10—Guojialing granite; 11—Linglong granite; 12—Late Jurassic granite; 13—Late Triassic granite; 14—geological boundary; 15—fault; 16—concealed fault; 17—vein

金矿分布。昆嵛山岩体中金矿主要赋存在中粒二长花岗岩中，中粗粒二长花岗岩及中细粒二长花岗岩中有少量分布。磁山岩体中金矿赋存于斑状中粗粒二长花岗岩中。鹊山岩体中金矿赋存于中粒二长花岗岩。金矿分布数量及规模见表 1。

4.1.2 郭家岭期花岗岩

郭家岭期花岗岩与胶东地区金矿的关系十分密切。从空间上看，金矿与郭家岭期花岗岩紧邻。但数量和资源量上远不及玲珑期花岗岩。上庄岩体(巨斑状中粒花岗闪长岩)中发育大型金矿床 2 处，中型金矿床 1 处，小型金矿床 1 处，如上庄、河东大型金矿床。北截岩体(斑状粗中粒含角闪花岗闪长岩)中发育中型金矿 1 处，小型金矿 1 处。丛家岩体(斑状粗中粒含角闪花岗闪长岩)中发育小型金矿床

6 处。七甲岩体(斑状中粒角闪石英二长岩)中发育中型金矿 2 处，小型金矿 1 处。范家店岩体(斑状中细粒花岗闪长岩)中发育中型金矿 1 处。郭家岭岩体(斑状中细粒含黑云二长花岗岩)中分布的金矿床则更为发育，其中大型金矿床 2 处，中型金矿床 12 处，小型金矿床 15 处，如黑岚沟、燕山-上岚子大型金矿床。

郭家岭期花岗岩赋存大型金矿床 4 处，中型金矿床 17 处，小型金矿床 24 处，金矿床总计 45 处。金矿床数量占整个胶东金矿数量 18%，而资源量占 7%。

4.1.3 伟德山期与崂山期花岗岩

伟德山期花岗岩中金矿分布很少，仅在泽头岩体中发育小型矿床 3 处，总资源量 4.3 t，资源量占

表 1 胶东地区各地质体中金矿分布数量表

Table 1 Gold deposit distribution in various geological bodies Jiaodong area

期	岩体/地层	岩性	超大型 (>100 t) 矿床数量	大型 (20~100 t) 矿床数量	中型 (5~20 t) 矿床数量	小型 (<5 t) 矿床数量	合计	矿床数 占比(%)	资源量 (t)	资源量 占比(%)
玲珑	玲珑	中粒二长花岗岩	11	18	22	19	70	28.34	3514.33	64.43
	玲珑	中粗粒二长花岗岩	3	2		1	6	2.43	630.93	11.57
	玲珑	含石榴细中粒花岗岩			2	4	6	2.43	34.25	0.63
	玲珑	斑状中粗粒二长花岗岩		2	3	1	6	2.43	136.51	2.50
	玲珑	混合花岗岩		2	4	1	7	2.83	85.19	1.56
	磁山	含斑中粗粒二长花岗岩		1	1	2	4	1.62	49.5	0.91
	鹊山	中粒二长花岗岩		1	7	10	18	7.29	132.4	2.43
	昆嵛山	中粒二长花岗岩		3	3	14	20	8.10	137.03	2.51
	昆嵛山	中粗粒二长花岗岩		1	2	1	4	1.62	51.16	0.94
	昆嵛山	中细粒二长花岗岩			1	3	4	1.62	9.45	0.17
	小计		14	30	45	56	145	58.70	4780.75	87.65
郭家岭	上庄	巨斑状中粒花岗闪长岩		2	1	1	4	1.62	123.26	2.26
	北截	斑状粗中粒含角闪花岗闪长岩			1	1	2	0.81	9.4	0.17
	丛家	斑状粗中粒含角闪花岗闪长岩				6	6	2.43	16.08	0.29
	七甲	斑状中粒角闪石英二长岩			2	1	3	1.21	27.64	0.51
	郭家岭	斑状中细粒含黑云二长花岗岩		2	12	15	29	11.74	212.7	3.90
	范家店	斑状中细粒花岗闪长岩			1		1	0.40	6.4	0.12
	小计			4	17	24	45	18.22	395.48	7.25
伟德山	泽头	粗中粒二长花岗岩				3	3	1.21	4.3	0.08
	莱阳群	林寺山组砾岩		1			1	0.40	24.01	0.44
元古宙地层及片麻岩	新太古代 TTG 岩	荆山群、公子山群、蓬莱群、荣成花岗质片麻岩		1	3	18	22	8.91	109.12	2.00
					9	22	31	12.55	140.53	2.58
				3	13	40	53	21.46	249.65	4.58
合计			14	36	74	123	247	100	5454.19	100

比不及 0.1%。其他岩体均没有金矿赋存。崂山期花岗岩中没有金矿产出,在空间上其与金矿接触关系不明显。

4.1.4 其他地质体

中生界莱阳群林寺山组砾岩中发育 1 处大型金矿床,即宋家沟金矿。元古宙地层及花岗岩质片麻岩也有金矿产出,共发育大型金矿床 1 处,中型金矿床 3 处,小型金矿床 18 处,合计 22 处;矿床数量占胶东金矿数量的 9%,资源量占 2%。新太古代 TTG 岩,产于新太古代 TTG 中的金矿床主要在栖霞地区,发育中型 9 处,小型 22 处,合计 31 处,矿床数量占胶东金矿数量的 3%,资源量占 3%。

5 成矿物质来源

胶东金矿床成矿物质的来源分歧较大 (Qiu Yumin et al., 2002; Chen Yanjing et al., 2005),绝大多数学者强调了其多元性和复杂性。这可能主要是由于成矿过程的长期性和成矿作用的复杂性,导致同一样品中通常存在多期和多元信息的叠加;

另外部分研究在数据获取、成果表达和地质意义的解释上还存在一些问题,也导致对一些关键性问题认识的不一致。通过不同地质体成矿元素丰度及 S、Pb、Sr-Nd 同位素探讨成矿物质来源。

5.1 不同地质体金丰度

本次工作对胶东地区出露的主要地质体进行了系统的岩石地球化学取样,样品主要在地质剖面上按一定间距采取,基本代表了各地质体的元素丰度(表 2)。

晚侏罗世玲珑期花岗岩体北部的 Au 含量为 $0.1 \times 10^{-9} \sim 29.22 \times 10^{-9}$, 平均 0.52×10^{-9} ; 玲珑重熔型花岗岩体南部的 Au 含量为 $0.1 \times 10^{-9} \sim 30.15 \times 10^{-9}$, 平均 0.51×10^{-9} 。早白垩世早期郭家岭期郭家岭岩体的 Au 含量为 $0.1 \times 10^{-9} \sim 6.86 \times 10^{-9}$, 平均 0.45×10^{-9} 。胶北隆起早白垩世晚期伟德山期艾山-南宿-周官-北峰顶岩体的 Au 含量为 $0.1 \times 10^{-9} \sim 1.44 \times 10^{-9}$, 平均 0.26×10^{-9} ; 威海隆起早白垩世晚期伟德山岩体 Au 含量 $0.1 \times 10^{-9} \sim 1.77 \times 10^{-9}$, 平均 0.27×10^{-9} 。中基性脉岩(煌斑

表 2 胶东主要地质体主要元素地球化学参数一览表

Table 2 Major geochemical data of major geological bodies in the Jiaodong region

地质体 元素		胶东岩 群(78)	新太古代 TTG 岩(46)	荆山群 (66)	玲珑北 部(479)	玲珑南 部(289)	郭家岭 岩体(355)	艾山等 岩体(201)	伟德山 岩体(85)	华北地台 结晶基底	中朝准地 台花岗岩
Au	X'	0.94	0.63	0.41	0.53	0.51	0.45	0.26	0.27	0.63	0.30
	S	1.40	1.35	0.37	1.50	1.81	0.67	0.26	0.27		
	Cv	1.48	2.14	0.90	2.88	3.55	1.49	1.00	0.99		
	极差	7.22	7.35	1.70	29.15	30.05	6.76	1.34	1.67		
Ag	X'	64.76	72.83	48.52	35.97	28.59	37.92	37.51	51.59	55	51
	S	47.60	37.21	33.19	36.28	11.04	58.27	39.32	49.60		
	Cv	0.73	0.51	0.68	1.01	0.39	1.54	1.05	0.96		
	极差	268.6	177.3	205.5	413.4	120.00	1056.00	397.1	292.4		
Sn	X'	1.69	1.47	2.57	1.12	1.54	1.30	1.34	1.21	1.3	1.2
	S	0.90	0.53	2.41	0.41	1.22	0.57	0.39	0.20		
	Cv	0.53	0.36	0.94	0.36	0.79	0.44	0.29	0.16		
	极差	6.17	2.66	15.18	2.70	12.60	8.90	2.60	1.02		
Cu	X'	33.44	18.57	23.16	4.33	5.46	7.67	8.45	12.20	16	4.7
	S	37.31	17.34	18.20	5.67	4.13	23.56	13.71	21.57		
	Cv	0.95	0.93	0.79	1.31	0.76	3.07	1.62	1.77		
	极差	223.70	94.10	97.20	57.80	44.60	407.60	110.50	121.20		
Pb	X'	13.46	13.07	21.88	30.17	30.33	37.18	26.33	37.59	18	23
	S	6.14	7.23	9.91	11.02	8.61	8.44	14.08	29.40		
	Cv	0.46	0.55	0.45	0.37	0.28	0.23	0.53	0.78		
	极差	30.80	34.40	40.50	145.50	73.60	81.00	140.80	256.30		
Zn	X'	110.66	73.77	115.42	38.05	41.26	58.29	30.35	44.62	55	38
	S	54.66	37.78	90.40	28.87	19.02	20.40	30.67	48.20		
	Cv	0.49	0.51	0.78	0.76	0.46	0.35	1.01	1.08		
	极差	310.40	261.70	672.10	320.50	177.00	143.90	344.20	437.60		
W	X'	0.37	0.35	0.67	0.30	0.27	0.20	1.65	1.05	0.53	0.30
	S	0.38	0.47	0.86	0.60	0.49	0.39	8.72	2.04		
	Cv	1.02	1.35	1.29	0.60	1.81	1.95	5.29	1.94		
	极差	2.62	2.28	4.58	9.38	4.93	6.62	118.65	12.68		
Mo	X'	0.32	0.35	0.51	0.23	0.20	0.29	0.41	0.92	0.46	0.39
	S	0.26	0.28	0.80	0.29	0.27	0.15	0.53	2.98		
	Cv	0.83	1.16	1.59	1.25	1.35	0.52	1.29	3.24		
	极差	1.01	1.28	4.40	3.82	3.44	1.57	5.03	26.42		
As	X'	0.49	0.53	0.44	0.60	0.45	0.71	0.48	0.30	1.2	0.6
	S	0.51	0.86	0.67	0.46	0.45	1.20	0.40	0.18		
	Cv	1.04	1.65	1.51	0.77	0.70	1.69	0.82	0.61		
	极差	3.28	4.83	5.25	4.86	2.22	20.62	2.52	0.77		
Sb	X'	0.10	0.09	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.14	0.11
	S	0.03	0.03	0.03	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03		
	Cv	0.29	0.28	0.31	0.42	0.40	0.40	0.34	0.29		
	极差	0.23	0.20	0.22	0.34	0.25	0.23	0.22	0.17		
Bi	X'	0.11	0.09	0.09	0.07	0.10	0.06	0.14	0.15	0.12	0.10
	S	0.05	0.05	0.14	0.36	0.85	0.07	0.55	0.36		
	Cv	0.43	0.56	1.60	5.14	8.50	1.17	3.89	2.39		
	极差	0.28	0.35	1.09	7.48	14.08	1.07	7.27	3.04		

代号:胶东岩群(78), 78 表示参与统计样品数量; X'—平均值; S—标准差($S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (xi - x)^2}$); Cv—变异系数($= S/X'$)。

岩、闪长玢岩、辉绿玢岩等)Au 含量为 $0.1 \times 10^{-9} \sim 1.77 \times 10^{-9}$, 平均 0.33×10^{-9} ; 酸性脉岩 Au 含量为 $0.1 \times 10^{-9} \sim 1.10 \times 10^{-9}$, 平均 0.38×10^{-9} 。

变异系数体现元素在某一地区或某种地质体中的分布、分配不均匀, 离散程度大, 分异性强, 易于活

动迁移形成矿化体或强异常, 通常使用成矿元素或伴生元素或指示元素计算变异系数。表 2 显示, 变异系数大于 1 的有胶东岩群 Au、As, 新太古代 TTG 岩 Au、W、Mo、As, 荆山群 W、Mo、As、Bi, 玲珑岩体北部 Au、Ag、Cu、Mo、Bi, 玲珑岩体南部 W、

Mo、Bi, 郭家岭岩体 Au、Ag、Cu、W、As、Bi, 艾山、南宿、周官等岩体 Ag、Cu、Zn、W、Mo、Bi, 德山岩体 Cu、Zn、W、Mo、Bi 等。Au 元素变异系数大于 1 的地质体包括胶东岩群、新太古代 TTG 岩、玲珑岩体、郭家岭岩体, 说明其在上述地质体中分布不均匀, 离散程度大, 分异性强, 易于活化迁移富集。

金是亲地核和下地幔的元素, 而胶东岩群具有这种来源, 由于胶东岩群(中基性—中酸性火山建造)具有初始金的富集, 在成矿作用过程中可能贡献部分金质。胶东金矿床(点)附近常有胶东岩群分布的事实, 说明胶东岩群具有提供金等成矿元素的可能。胶东岩群、新太古代 TTG 岩、玲珑花岗岩体北部和郭家岭岩体变异系数均大于 1, Au 元素有来源于胶东岩群、新太古代 TTG 岩、玲珑期花岗岩、郭家岭期花岗岩的可能。

5.2 硫同位素

在热液矿床中, 硫源主要有 3 类:① 地幔硫:接近于陨石的硫同位素组成, 其 $\delta^{34}\text{S}$ 值接近 0, 并且变化范围小;② 地壳硫:在沉积、变质和岩浆作用过程中, 地壳物质的硫同位素发生了很大的变化, 各类地壳岩石的硫同位素组成变化很大, 其中海水或海相硫酸盐的硫以富 ^{34}S 为特征, 生物成因硫则以贫 ^{34}S 为特征;③ 混合硫:成矿流体在上升迁移过程中混染了地壳物质, 硫同位素组成变化也较大。

胶东主要地质体 $\delta^{34}\text{S}$ 为: 胶东岩群(广义) $-0.1\text{\%}\sim7.8\text{\%}$, 平均 4.6\% , 极差为 7.9\% (黄德业, 1994; 杨忠芳等, 1998; 高太忠等, 2001; 王义文等, 2002; 毛景文等 2005; 王中亮, 2012; 张潮等, 2014; Yuan Zhongzheng et al., 2019), 变化较大, 主要集中在 $0\sim5\text{\%}$ 、 $6\text{\%}\sim7\text{\%}$ 两组, 说明硫同位素组成远未达到均一化, 在区域变质过程中未达到熔融状态(黄德业, 1994; 王义文等, 2002); 荆山群 $5.6\text{\%}\sim10.74\text{\%}$, 平均 9.15\% , 极差为 5.14\% (高太忠等, 2001; 夏林, 2003; 毛景文等, 2005; 张竹如等, 1999); 粉子山群 $7.0\text{\%}\sim10.2\text{\%}$, 平均 9.3\% , 极差 3.2\% (严育通等, 2011; 姜晓辉等, 2011a), 古元古代变质地层以富集重硫为特征; 晚侏罗世昆嵛山花岗岩 $3.97\text{\%}\sim15.1\text{\%}$, 极差为 11.3\% (杨忠芳等, 1998; 高太忠等 2001); 玲珑花岗岩 $4.2\text{\%}\sim14.9\text{\%}$, (黄德业, 1994; 杨忠芳等, 1998; Mao Jingwen et al., 2008), 晚侏罗世花岗岩硫同位素变化较大, 不同研究者统计的 $\delta^{34}\text{S}$ 平均值介于 $7.3\text{\%}\sim9.5\text{\%}$ 之间, 总体以富集重硫为特征; 早白垩世早期郭家岭花岗岩 $2.7\text{\%}\sim10.0\text{\%}$, 平均 6.7\% 、 7.33\% , (李兆龙等,

1993; 王义文, 2002; 张潮等, 2014); 早白垩世晚期艾山花岗闪长岩 $3.9\text{\%}\sim9.9\text{\%}$, 平均 6.6\% , 极差 6.0\% (黄德业, 1994); 中生代长英质脉岩 $0.8\text{\%}\sim8.5\text{\%}$ (张潮等, 2014); 中基性脉岩 $-1.8\text{\%}\sim6.3\text{\%}$, 平均 2.96\% , 极差 8.1\% (黄德业, 1994)。重熔型的玲珑和昆嵛山花岗岩富集重硫可能是继承前寒武纪变质基底富集重硫并在部分熔融过程中进一步富集的结果; 而郭家岭和艾山岩体属壳幔混合花岗岩, 地幔物质的加入导致其 $\delta^{34}\text{S}$ 值降低。中基性脉岩主要来自富集地幔, 混入了少量壳源物质, 其 $\delta^{34}\text{S}$ 值接近并略大于地幔值。

金矿床硫同位素以富含重硫为特征, 组成范围集中在 $6\text{\%}\sim12\text{\%}$ 之间, 不同矿床类型、不同成矿区带甚至不同成矿阶段 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化不大, 呈现明显的塔式分布(图 3a)。金矿床中黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、磁黄铁矿和闪锌矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值的变化具有相似的特征, 说明其具有相同的硫源, 没有引起硫同位素的强烈分馏, 保持着均一的特征, 与胶东主要地质体 $\delta^{34}\text{S}$ 分布范围对比, 矿石硫与胶东岩群(含太古宙 TTG)、荆山群—粉子山群、玲珑期花岗岩、郭家岭期花岗岩及中生代中基性脉岩范围相近, 特别是与玲珑期花岗岩范围重叠, 具有岩浆热液硫同位素变化小的特点, 玲珑期花岗岩、前寒武纪变质地层、白垩纪早期郭家岭花岗岩、中生代脉岩对硫源有所贡献, 金矿矿石硫与围岩硫有继承关系(杨立强等, 2014)。 $\delta^{34}\text{S}$ 值虽然普遍较高, 但还有少量样品的值位于幔源硫附近, 说明了硫源中有幔源硫的贡献。胶东地区蚀变岩型金矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 值较石英脉型要大(图 3b), 可能与赋矿构造性质有关, 蚀变岩型金矿床主要赋存于区域性大而连通的弥散空间中, 构造相对封闭, 含矿流体在构造中流动性较慢, 降温减压迟缓, 与围岩长时间进行水岩交换, 混入更多的围岩硫; 而石英脉型金矿主要赋存于区域性断裂的次级或低序次的引张扩容空间中, 构造相对开放, 含矿热液活动性大, 在构造中存留时间短, 迅速降温减压, 与围岩水岩交换弱, 可能更能接近原始成矿流体的硫源。蚀变岩型金矿床自西至东 $\delta^{34}\text{S}$ 值逐渐降低, 可能与西部更靠近渤海, 含矿断裂直接与海水沟通、海水加入成矿流体有关。范家埠金矿床的硫同位素组成($\delta^{34}\text{S} = -9.1\text{\%}\sim-5.5\text{\%}$)与胶东其他金矿床及前寒武纪变质地层、中生代花岗岩、中基性脉岩等的硫同位素组成有明显差异, 普遍为负值, 成矿环境可能为富含有机质的还原条件, 有生物成因硫的加入(李建威等, 2010)。

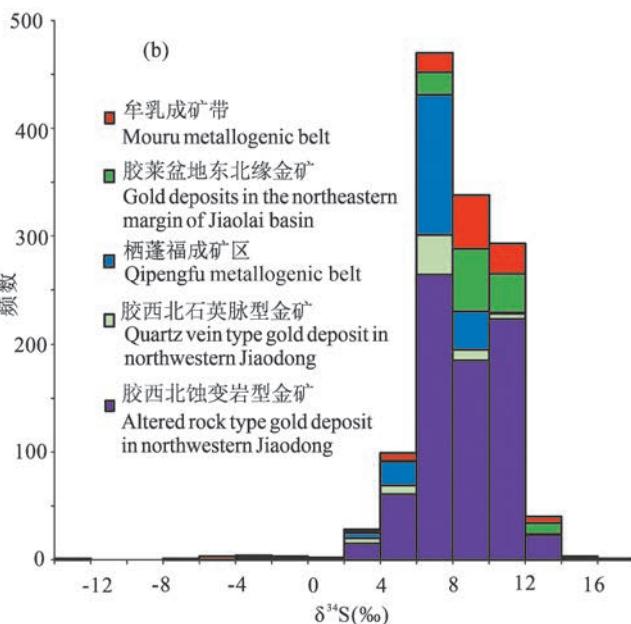
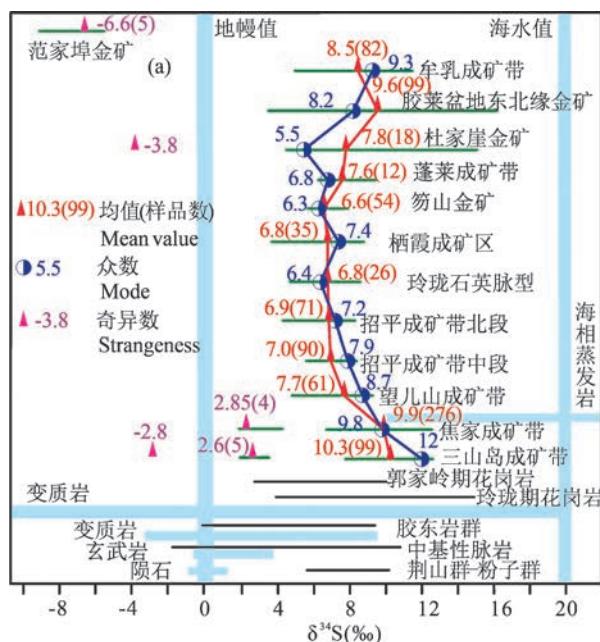


图 3 胶东金矿床硫同位素组成分布图(a)及直方图(b)

Fig. 3 Distribution features (a) and histogram (b) of the sulfur isotopic composition of the Jiaodong gold deposits

数据来源:黄德业,1994;杨忠芳等,1998;张竹如等,1999;高太忠等,2001;王义文等,2002;徐贵忠等,2002;夏林,2003;张群喜等,2003;侯明兰等,2004,2006;宋玉财等,2004;庞绪成,2005;王君亭等,2005;李士先等,2007;Mao Jingwen et al.,2008;郭春影,2009;陈海燕,2010;蓝廷广等,2010;李红梅等,2010;李建威等,2010;周起风,2010;蔡亚春等,2011;姜晓辉等,2011a;李旭芬,2011;陆丽娜等,2011;戴雪灵,2012;李建中,2012;王枫,2012;张佳楠,2012;宋明春等,2013b;孙兴丽,2013;王佳良等,2013;Deng Jun,2014;桂飞,2014;Tan Jun et al.,2014;张潮等,2014;陈昌昕,2015;陈扬,2015;丁正江等,2015;姜盛洪等,2015;Li Yujie et al.,2015;Mills et al.,2015;孙丽伟,2015;卫清等,2015;陈玉民等,2016;郭林楠,2016;Wen Baojie et al.,2016;Yang Liqiang et al.,2016a;张瑞忠等,2016;陈炳翰,2017;Feng Kai et al.,2017,2019;Yang Kuifeng et al.,2017;Zhu Zhiyong et al.,2017;Cai Yachun et al.,2018;薛建玲等,2018,2019;张义东,2018;杜佛光,2019;税棚,2019;Yuan Zhongzheng et al.,2019;张铭等,2019;王金辉等,2020;王来明等,2020^①

Data source: Huang Deye, 1994; Yang Zhongfang et al., 1998; Zhang Zhuru et al., 1999; Gao Taizhong et al., 2001; Wang Yiwen et al., 2002; Xu Guizhong et al., 2002; Zhang Lianchang et al., 2002; Xia Lin, 2003; Zhang Qunxi et al., 2003; Hou Minglan et al., 2004, 2006; Song Yucai et al., 2004; Pang Xucheng, 2005; Wang Junting et al., 2005; Li Shixian et al., 2007; Mao Jingwen et al., 2008; Guo Chunying, 2009; Chen Haiyan, 2010; Lan Tingguang et al., 2010; Li Hongmei et al., 2010; Li Jianwei et al., 2010; Zhou Qifeng, 2010; Cai Yachun et al., 2011; Jiang Xiaohui et al., 2011b; Li Xufen, 2011; Lu Linan et al., 2011; Dai Xueling, 2012; Li Jianzhong, 2012; Wang Feng, 2012; Zhang Guinan, 2012; Song Mingchun et al., 2013b; Sun Xingli, 2013; Wang Jialiang et al., 2013; Zhang Chao et al., 2014; Deng Jun, 2014; Gui fei, 2014; Tan J et al., 2014; Wen Baojie et al., 2014; Chen Changxin, 2015; Chen Yang, 2015; Ding Zhengjiang et al., 2015; Jiang Shenghong et al., 2015; Li Yujie et al., 2015; Mills et al., 2015; Sun Liwei, 2015; Wei Qing et al., 2015; Chen Yumin et al., 2016; Guo Linnan, 2016; Wen Baojie et al., 2016; Yang Liqiang et al., 2016a; Zhang Ruizhong et al., 2016; Chen Binghan, 2017; Feng Kai et al., 2017, 2019; Yang Kuifeng et al., 2017; Zhu Zhiyong et al., 2017; Cai Yachun et al., 2018; Xuan Jianling et al., 2018, 2019; Zhang Yidong, 2018; Du Foguang, 2019; Shui Peng, 2019; Yuan Zhongzheng et al., 2019; Zhang Ming et al., 2019; Wang Jinhui et al., 2020; Wang Laiming et al., 2020^①

总之,胶东地区金矿床的硫源是多来源的,主要来源于前寒武纪变质基底硫源和其重熔或同熔形成的花岗岩硫,有幔源硫和生物硫加入。

5.3 铅同位素

铅元素不仅从矿源岩中浸取时不会产生同位素分馏,而且在转移进入成矿热液并随之迁移的过程中,即使成矿热液的物理化学条件发生变化,同位素组成一般也不会发生变化(沈渭洲,1987)。矿石铅是指在各种热液环境中沉淀出的一些金属矿物(矿石矿物),如方铅矿、闪锌矿、黄铁矿等硫化物中的

铅,由于矿物中不含 U、Th 或含量极低,与矿物中铅的质量分数相比可忽略不计,且矿物形成后不再有放射性成因铅的明显加入,可以反映原始热液中金属物质来源区的 U-Th-Pb 体系及其初始铅同位素组成特征(魏菊英等,1988;张理刚,1988)。因此,通过对矿石铅同位素组成的分析可以逆推源区的 U-Th-Pb 体系特征,从而获得有关成矿物质来源的信息(张建芳等,2009)。胶东地区不同位置、不同类型的金矿床铅同位素比值没有明显差别,显示其铅源的统一性,即不同地区和类型金矿床的成矿物质

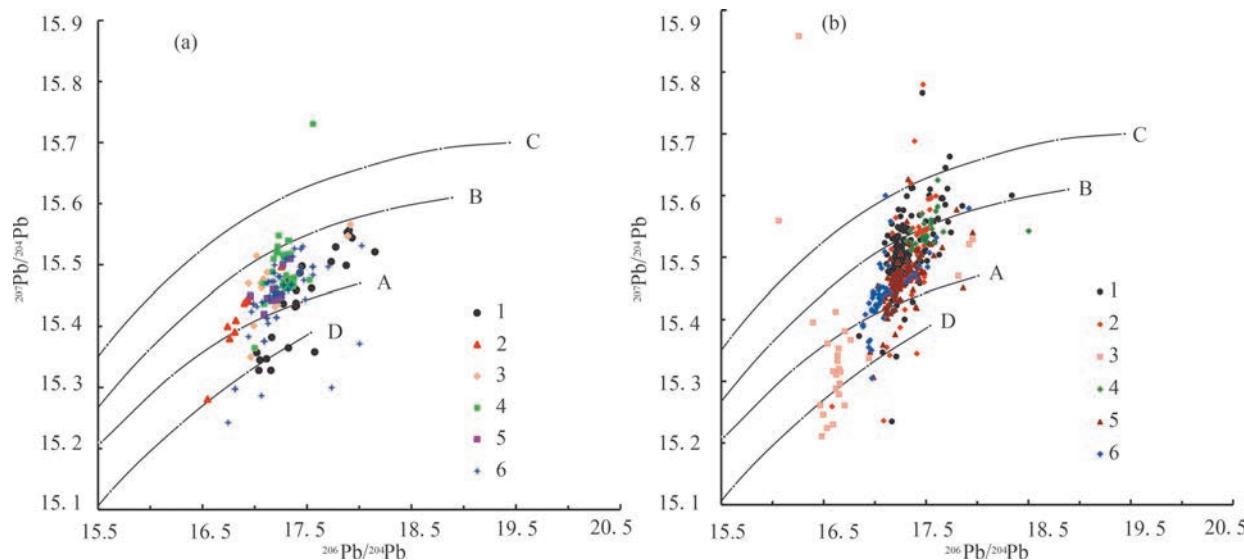


图 4 胶东主要地质体(a)与金矿床(b)的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解(底图据 Zartman and Doe, 1981)

Fig. 4 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ diagram (after Zartman and Doe, 1981) of major geological bodies

(a) and gold deposits (b) in Jiaodong region

A—地幔; B—造山带; C—上地壳; D—下地壳; (a)中数字含义: 1—胶东岩群, 2—昆嵛山岩体, 3—玲珑岩体, 4—郭家岭岩体, 5—伟德山岩体, 6—中基性脉岩; (b)中数字含义: 1—胶西北蚀变岩型金矿, 2—玲珑—旧店石英脉型金矿, 3—栖霞石英脉型金矿, 4—蓬莱石英脉型金矿, 5—胶莱盆地东北缘金矿, 6—牟乳成矿带石英脉型金矿; 数据来源: 杨士望等, 1986; 陈光远等, 1993; 李兆龙等, 1993; 杨敏之, 1996; 关康等, 1997; 林文蔚等, 1999; Yang Jinhui et al., 2001; 曾庆栋等, 2002; 周新华等, 2002; 侯明兰等, 2004, 2006; 宋玉财等, 2004; Yang Jinhui et al., 2004; 庞绪成, 2005; 辛洪波, 2005; 郑培玺等, 2006; 胡芳芳等, 2007; 李士先等, 2007; 谭俊, 2009; 陈海燕, 2010; 李红梅等, 2010; 吕文杰, 2010; 周起凤, 2010; 李旭芬, 2011; 罗贤冬, 2012; 马广刚, 2011; 严育通等, 2011; 刘砍芬, 2012; 王枫, 2012; 张旭, 2012; Cai Yachun et al., 2013; 孙兴丽, 2013; 王佳良等, 2013; Tan Jun et al., 2014; 张良等, 2014; 姜盛洪等, 2015; 李太兵等, 2015; 郭林楠, 2016; 刘跃, 2015; Yang Liqiang et al., 2016a; 赵睿, 2016; 刘晓阳等, 2018; 张然, 2018; Chai Peng et al., 2019; 杜佛光, 2019; Yuan Zhongzheng et al., 2019; 张铭等, 2019; 王来明等, 2020^①

A—mantle; B—orogenic belt; C—upper crust; D—lower crust; numbers in (a): 1—Jiaodong Group, 2—Kunyushan pluton, 3—Linglong pluton, 4—Guojialing pluton, 5—Weideshan pluton, 6—intermediate-basic dikes; numbers in (b): 1—altered rock type gold deposit in northwestern Jiaodong, 2—Linglong-Jiudian quartz vein type gold deposit, 3—Qixia quartz vein type gold deposit, 4—Penglai quartz vein type gold deposit, 5—gold deposits in the northeastern margin of Jiaolai basin, 6—Quartz vein type gold deposit in Mouru metallogenic belt; data source: Yang Shiwang et al., 1986; Chen Guangyuan et al., 1993; Li Zhaolong et al., 1993; Yang Minzhi, 1996; Guan Kang et al., 1997; Lin Wenwei et al., 1999; Yang Jinhui et al., 2001; Zeng Qingdong et al., 2002; Zhang Lianchang et al., 2002; Zhou Xinhua et al., 2002; Hou Minglan et al., 2004, 2006; Yang Jinhui et al., 2004; Pang Xucheng, 2005; Xin Hongbo, 2005; Zheng Peixi et al., 2006; Hu Fangfang et al., 2007; Li Shixian et al., 2007; Tan Jun, 2009; Chen Haiyan, 2010; Li Hongmei et al., 2010; Lv Wenjie, 2010; Zhou Qifeng, 2010; Li Xufen, 2011; Ma Guanggang, 2011; Yan Yutong et al., 2011; Li Xiandong, 2012; Liu Jiufang, 2012; Wang Feng, 2012; Yan Yutong, 2012; Zhang Xu, 2012; Cai Yachun et al., 2013; Sun Xingli, 2013; Wang Jialiang et al., 2013; Zhang Liang et al., 2014; Song Yucai et al., 2004; Tan Jun et al., 2014; Jiang Shenghong et al., 2015; Li Taibing et al., 2015; Liu Xiangdong, 2015; Liu Yue, 2015; Guo Linnan, 2016; Zhao Rui, 2016; Yang Liqiang et al., 2016a; Liu Xiaoyang et al., 2018; Zhang Ran, 2018; Chai Peng et al., 2019; Du Foguang, 2019; Yuan Zhongzheng et al., 2019; Zhang Ming et al., 2019; Wang Laiming et al., 2020^①

来源大体一致。在 Zartman et al. (1981) 的增长曲线图解中, 胶东岩群变质岩、玲珑花岗岩、昆嵛山花岗岩、郭家岭花岗岩、艾山花岗岩、中生代脉岩与金矿床的铅同位素数据点主要位于造山带铅和地幔铅演化线之间, 投点位置一致, 大范围重叠, 矿石 Pb 同位素总体略显分散、主体相对集中, 相较胶东主要地质体, 矿石 Pb 投点更为分散, 除落在造山带铅和地幔铅演化线之外, 还有部分落在造山带与上地壳、地幔与下地壳之间(图 4), 说明了金矿相较主要地质体物质来源更为复杂; 区域各地质体和矿石铅

主要为壳、幔混合源铅; 在构造环境图解中, 各地质体和金矿床投点主要位于下地壳铅范围, 部分靠近造山带或落入造山带范围(图 5); 在朱炳泉(1998)矿石铅同位素的 $\Delta\gamma-\Delta\beta$ 成因分类图解中(图 6; $\Delta\beta$ 、 $\Delta\gamma$ 为同时代原始地幔 Pb 同位素相对偏差值), 胶东主要地质体投点集中落在地幔源铅区域, 少量落入造山带铅和壳幔混合俯冲带铅范围, 而矿石铅投点更为分散, 更多投点落入了壳幔混合铅和造山带铅区域, 说明了矿石铅源的多源性, 既有壳源又有幔源, 矿石铅可能主要来源于富含上地幔物质

的古老结晶基底岩石，并混入了上地壳和地幔物质。玲珑花岗岩和昆嵛山花岗岩主要是由前寒武纪变质基底岩石部分熔融形成，而郭家岭岩体和艾山岩体是壳幔同熔形成的，可以认为玲珑和昆嵛山花岗岩中的铅来自前寒武纪结晶基底岩石；而郭家岭和艾山花岗岩铅源来自于前寒武纪结晶基底岩石和壳幔相互作用背景下幔源铅的混合。在太平洋板块俯冲释放流体交代岩石圈地幔的强烈的壳幔相互作用背景下，大规模成矿才能具备充分有利条件。因此，胶东金矿床矿石铅既有再活化的下地壳铅，又有壳幔相互作用的幔源铅加入。

5.4 锶-钕同位素

通常认为锶、钕等放射性同位素在地质地球化学过程中不会发生显著的同位素分馏，特别是在热液活动过程中没有显著的钕同位素交换(De Paolo et al., 1996)，从而为地球化学源区研究提供了良好的示踪剂(刘建明等, 2003)； $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 是判断成岩成矿物质来源的重要指标，一般认为， $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值小于 0.705 代表地幔特征，大于 0.709 为地壳物质，介于 0.705~0.709 之间为壳幔混源(王德滋等, 2002)，因此，在矿床地质研究中常利用其来示踪成矿物质来源、岩浆流体、深源流体的壳幔混染作用。

玲珑期花岗岩 Sr-Nd 同位素组成上相对均一，($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)，介于 0.7080~0.7141，集中在 0.7090~0.7125，平均 0.7113，众数 0.7113，属壳源花岗岩

范围； $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = -23.92 \sim -16.77$ ，平均 -20.25 ，众数 -20.68 ，变化范围小；具有高的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 和低的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 特征。岩浆源区主要为扬子板块和华北板块物质的混合，反映了古老地壳基底的特征(周新华等, 2002)。郭家岭期花岗岩的 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)，介于 0.70938~0.71263 之间，平均 0.7112，众数 0.71073，变化范围较大，但仍属于壳源花岗岩范畴； $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = -22.02 \sim -11.29$ ，平均 -16.106 ，众数 -11.89 ，组成范围较大，相较玲珑期花岗岩，具有相似的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 、高的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值，由于胶东地区晚中生代岩石圈地幔主要为富集的岩石圈地幔，具有高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 、低 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值，表明幔源物质参与成岩作用，在岩浆上升或形成过程中受到中、上地壳物质的混染(杨进辉等, 2003)；伟德山期花岗岩的 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)，介于 0.70629~0.71207 之间，平均 0.7096； $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = -20.44 \sim -14.67$ ，平均 -17.36 ，众数 -16.75 ，总体上较郭家岭期花岗岩 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值更低， $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值变化不大，显示了物源的壳幔混源成因。中基性脉岩的 Sr、Nd 同位素组成和 Sr-Nd 同位素相关图解显示，形成于 120 Ma 左右的中基性脉岩源区主要受太平洋板块俯冲释放流体交代富集的大陆岩石圈地幔影响(玲珑期花岗岩、郭家岭期花岗岩和伟德山期花岗岩 Sr-Nd 同位素衰变后的值均按照 $t=120$ Ma 来推算)。

本文收集胶东金矿床 89 件样品的 Sr-Nd 同位素

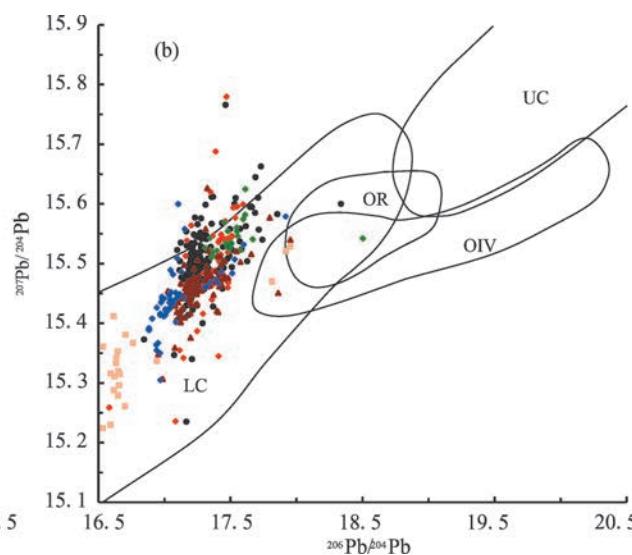
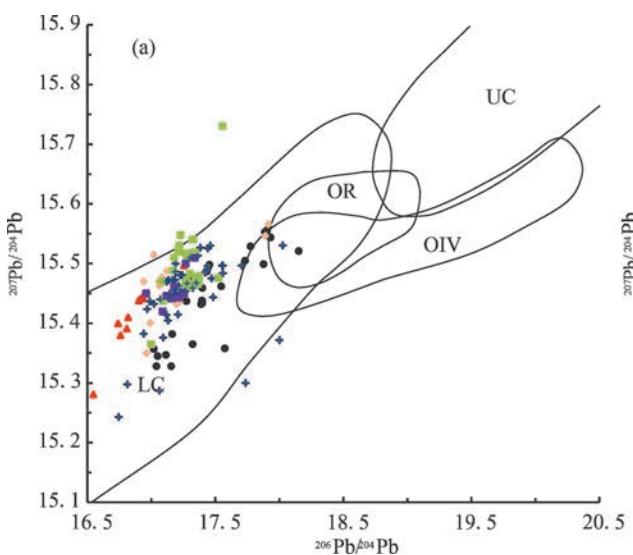


图 5 胶东主要地质体(a)与金矿床(b)的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 构造环境判别图解(底图据 Zartman and Doe, 1981)

Fig. 5 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ tectonic discrimination diagram (after Zartman and Doe, 1981)

for the major geological bodies (a) and gold deposits (b) in Jiaodong area

LC—下地壳；UC—上地壳；OIV—洋岛火山岩；OR—造山带；数据来源同图 4

LC—lower crust; UC—upper crust; OIV—ocean island volcanic rock; Or—orogenic belt; data source same as Fig. 4

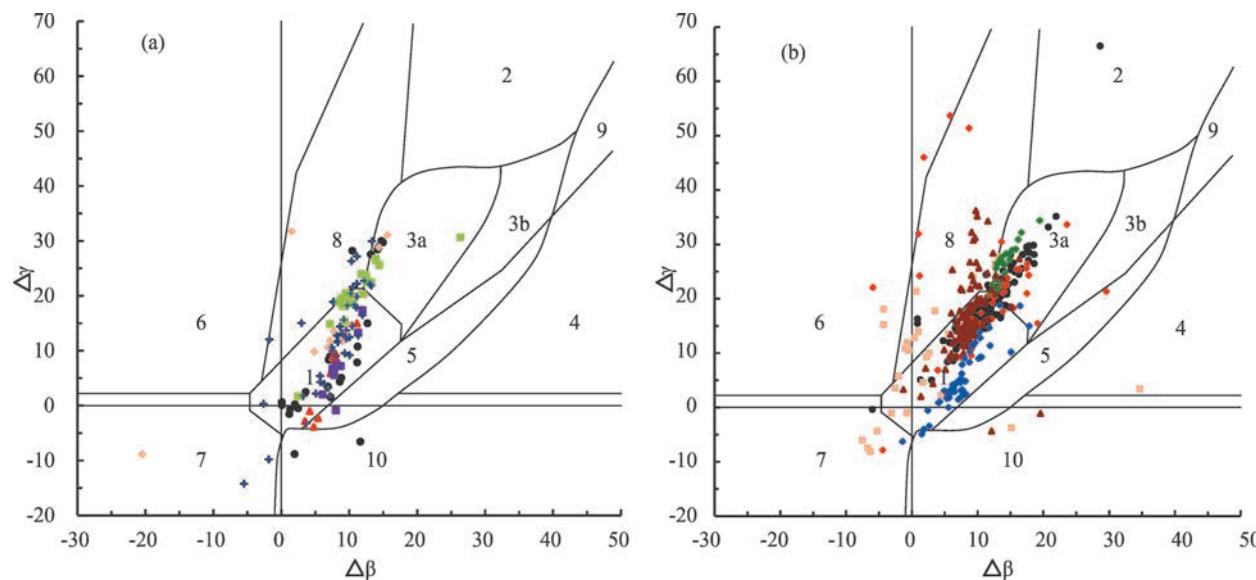


图 6 胶东金矿床(a)与主要地质体(b)铅 $\Delta\gamma$ - $\Delta\beta$ 成因判别图解(底图据朱炳泉,1998)

Fig. 6 Lead $\Delta\gamma$ - $\Delta\beta$ genetic discrimination diagram of Jiaodong gold deposit and main geological bodies
(according to Zhu Bingquan, 1998)

1—地幔源铅;2—上地壳铅;3—上地壳与地幔混合的俯冲带铅(3a—岩浆作用;3b—沉积作用);4—化学沉积型铅;5—海底热水作用铅;6—中深变质作用铅;7—深变质下地壳铅;8—造山带铅;9—古老页岩上地壳铅;10—退变质铅;数据来源同图4

1—mantle derived lead; 2—upper crust derived lead; 3—lead derived from subduction zone mixed with upper crust and mantle (3a—magmatism; 3b—sedimentation); 4—chemical sedimentary derived lead; 5—submarine hydrothermal derived lead; 6—medium-high grade metamorphism derived lead; 7—high grade metamorphic lower crust derived lead; 8—orogenic lead; 9—ancient shale derived lead; 10—degenerative lead; data source same as Fig. 4

素数据。测试矿物包括全岩、热液钾长石、绢云母、方解石、白云石、菱铁矿、黄铁矿等,胶东金矿的主成矿期在 120 Ma 左右,按 120 Ma 时 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位素初始值介于 0.70669~0.73629,平均 0.7133,众数 0.71074,主要高于 0.709,来源于大陆地壳(王德滋等,2002),分布于前寒武纪变质岩系范围,大部分与玲珑期花岗岩、郭家岭期花岗岩、中生代中基性脉岩的 I_{Sr} 初始值高值区一致,也有部分与新元古代荣成序列花岗片麻岩范围一致,表明成矿物质来源的复杂性,很可能与变质基底岩系、玲珑花岗岩、郭家岭花岗岩以及中生代脉岩源区物质组分有关。 $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = -36.42 \sim -7.4$,平均 -19.75 ,Nd 同位素组成不均一,变化较大,但范围总体上与前寒武纪变质基底、玲珑期花岗岩、郭家岭期花岗岩及中生代脉岩重叠。不同成矿区带 Sr-Nd 同位素组成特征类似,并没有明显差异(图 7)。但也有样品的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值明显偏大或偏小,暗示 Sr、Nd 等溶解金属组分主要来自地壳源区(刘建明等,2003)。

综上同位素示踪显示,胶东金矿床的成矿物质来源既有来自于下地壳(初始为华北板块和扬子板块前寒武纪结晶基底),又有壳幔相互作用的地幔物

质加入。

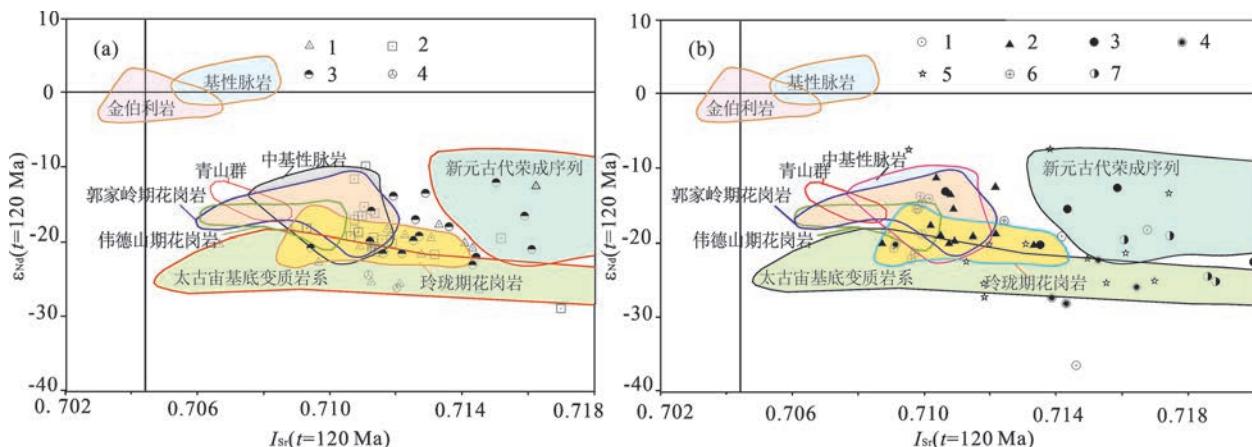
6 形成时代

6.1 花岗岩形成时代

对近 20 年来获得的单颗粒锆石 SHRIMP U-Pb 及 LA-ICPMS U-Pb 年龄数据进行统计(图 8),玲珑期花岗岩年龄范围 166~146 Ma,峰值 160~159 Ma,郭家岭期花岗岩年龄范围 135~123 Ma,峰值 133~125 Ma,伟德山期花岗岩范围 123~110 Ma,峰值 119~118 Ma,崂山期花岗岩范围 118~108 Ma。

6.2 金矿形成时代

通过分析了 K-Ar、 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 、Rb-Sr、Re-Os 和 U-Pb 等放射性同位素测年方法在各种矿物上的应用,认为矿石全岩和钾长石 Rb-Sr、K-Ar 年龄为“混合”年龄、热液石英和黄铁矿含有大量次生流体包裹体而不适合 Rb-Sr 年龄测定、辉钼矿与金矿化的成因关系不确定导致 Re-Os 定年不能用于确定金矿化年龄、黄铁矿 Re-Os 定年尚未获得高精度的年龄,而与金同时形成绢云母的高精度 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄以及热液独居石和锆石的 U-Pb 年龄是胶东金矿床

图 7 胶东金矿床 $I_{\text{Sr}}-\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 图解Fig. 7 $I_{\text{Sr}}-\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ diagram of Jiaodong gold deposit

(a)一胶北蚀变岩型金矿床, 1—三山岛金矿, 2—焦家金矿, 3—大尹格庄-夏甸金矿, 4—台上金矿; (b)一石英脉型和胶莱盆地东北缘金矿, 1—旧店金矿, 2—玲珑金矿, 3—黑岚沟-大柳行金矿, 4—栖霞金矿, 5—胶莱盆地东北缘金矿, 6—牟乳成矿带金矿, 7—上口王李金矿; 金矿数据来源: 郑建平等, 1996; Yang Jinhui et al., 2001; 周新华等, 2002; 刘建明等, 2003; Li Xiaochun et al., 2013; 程韩宇, 2019; 杜佛光等, 2019; 王来明等, 2020^a; 底图数据来源: 周新华等, 2002; 刘建明等, 2003; 杨进辉等, 2003; 唐俊, 2004, 2005; Yang Jinhui et al., 2004; 闫峻等, 2007; Zhang Juan et al., 2010; Li Xiaochun et al., 2012; 罗贤冬, 2012; Yang Kuifeng et al., 2012; Jiang Neng et al., 2012; Cai Yachun et al., 2013; Ma Liang et al., 2013; 王朝, 2013; 阳琼艳, 2013; 王中亮等, 2014; 刘跃, 2015; 刘晓阳等, 2018; 杜佛光等, 2019; Li Xinghui et al., 2019
(a)—Jiaobei altered rock type, 1—Sanshandao gold deposit, 2—Jiaoja gold deposit, 3—Dayingezhuang Xiadian gold deposit, 4—Taishang gold deposit; (b)—quartz vein type and gold deposit in the northeast margin of Jiaolai basin, 1—Jiudian gold deposit, 2—Linglong gold deposit, 3—Heilangou Daluhang gold deposit, 4—Qixia gold deposit, 5—gold deposits in the northeastern margin of Jiaolai basin, 6—gold deposit in Mouru metallogenic belt, 7—Shangkou Wangli gold deposit. Data source of gold deposits: Zheng Jianping et al., 1996; Gold mine: Yang Jinhui et al., 2001; Zhou Xinhua et al., 2002; Liu Jianming et al., 2003; Yan Jun et al., 2007; Li Xiaochun et al., 2013; Cheng Hanyu, 2019; Du Foguang et al., 2019; Wang Laiming et al., 2020^a. Data source represented by shade area: Zhou Xinhua et al., 2002; Yang Jinhui et al., 2003; Liu Jianming et al., 2003; Tang Jun, 2004, 2005; Yang Jinhui et al., 2004; Zhang Juan et al., 2010; Li Xiaochun et al., 2012; Luo Xiandong, 2012; Yang Kuifeng et al., 2012; Jiang Neng et al., 2012; Cai Yachun et al., 2013; Ma Liang et al., 2013; Wang Zhao, 2013; Yang Qiongyan, 2013; Wang Zhongliang et al., 2014; Liu Yue, 2015; Liu Xiaoyang et al., 2018; Du Foguang et al., 2019; Li Xinghui et al., 2019

可靠的年龄数据(Zhang Liang et al., 2020)。

为此,本文收集了近年报道和本次测试(王来明等, 2020^a)的 86 个金矿石白云母⁴⁰Ar/³⁹Ar、白云母Rb-Sr、黄铁矿Rb-Sr、独居石等热液蚀变矿物的U-Pb年龄数据(表 3),利用这些年龄数据制作年龄分布直方图(图 8),对于研究程度较高有多个年龄数据的金矿床统计其众数或中位数参与直方图制作(有争议的数据不在统计范围内),从图 8 看出,胶东金矿床成矿年龄范围大致有 162~146 Ma、133~120 Ma、120~105 Ma、110~105 Ma 四组年龄数据,分别对应玲珑期花岗岩、郭家岭期花岗岩、伟德山期花岗岩和崂山期花岗岩。主要集中在 127~116 Ma 区间,峰值在 120 Ma。

6.3 成岩成矿关系

同源岩浆成因金矿的成岩成矿时差是确定矿床与岩浆岩成因关系的重要基础。通过统计分析国内一些典型金矿的成矿和相关同源岩浆岩的同位素测

年数据,结果显示,成矿事件一般同步或略滞后于同源岩浆活动,成岩成矿时差在 95% 置信度下服从正态分布,介于 16.0~0 Ma,均值约为 7.0 Ma。若金矿成岩成矿存在着≤16.0 Ma 的时差,二者之间具有同源成因联系(谭俊等, 2006 年)。

姜晓辉等(2011a, 2011b)报道了留村金矿强蚀变黄铁绢英岩中单颗粒黄铁矿 Rb-Sr 等时线年龄 151.0 ± 2.7 Ma,认为存在着 150 Ma 左右的小规模金矿化事件,与东部玲珑岩体的侵位有关;张良(2016)获得了平里店金矿石英白云母黄铁矿矿石中的白云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 坪年龄 162.5 ± 0.8 Ma,认为是蚀变矿化的时间,认为是晚侏罗纪金成矿事件;丁正江等(2012)测得邢家山钼钨矿床中透辉石榴矽卡岩中的辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 158.70 ± 2.06 Ma。该期铜钼多金属矿化与区内地壳重熔型花岗岩具有密切的时间和成因关系。上述数据说明胶东地区存在 162~146 Ma 的金及多金属矿成矿

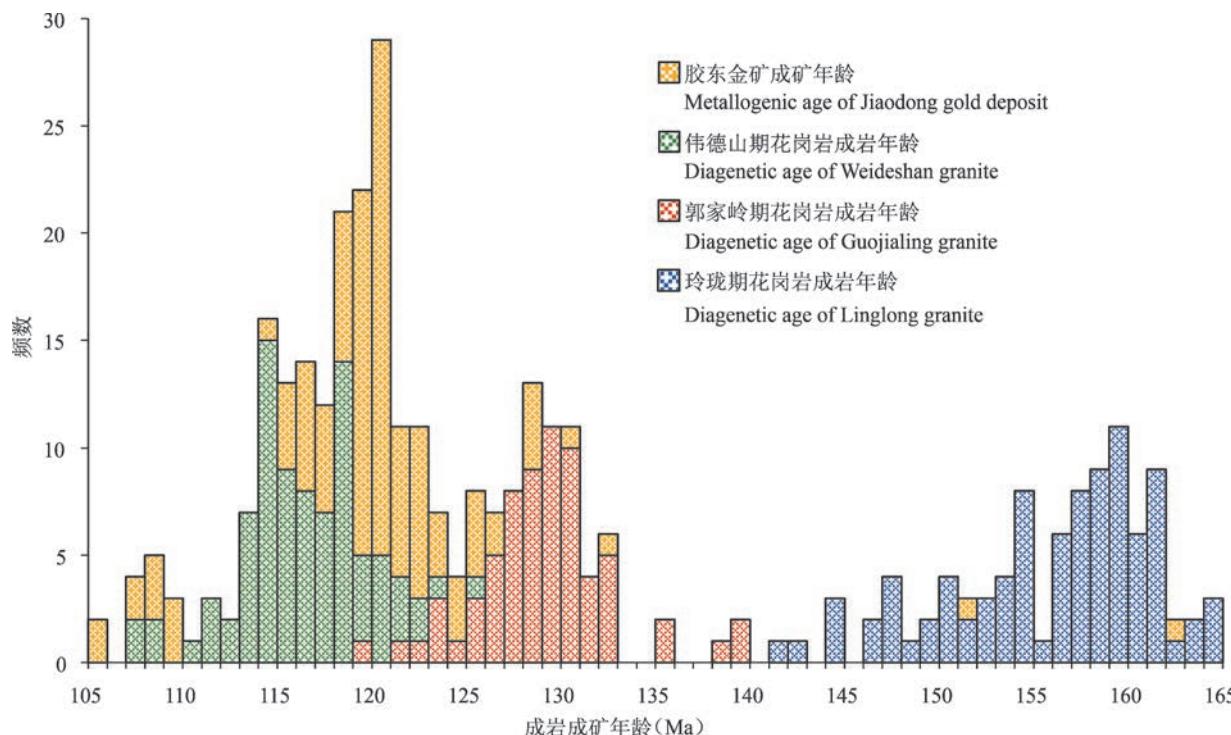


图 8 胶东金矿床成矿年龄和中生代花岗岩成岩年龄直方图

Fig. 8 Histogram of Jiaodong gold deposit metallogenetic age and Mesozoic granite age

事件(丁正江等,2015;李洪奎等,2017),该成矿期对应于玲珑期重熔型花岗岩岩浆活动事件,该期重熔岩浆活动持续时间较长,可达 20 Ma 左右,岩浆重熔作用使金元素充分活化、迁移和富集,在成矿有利部位成矿。目前该期成矿事件年龄数据较少,其原因可能是由于之后发生多期构造岩浆事件,将其原始成矿矿物改造而只保存了部分痕迹的结果。

Yang Liqiang et al. (2014) 报道了大尹格庄金矿热液白云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄 132.74~126.8 Ma,认为是一次重要的金成矿事件,但 Zhang Liang et al. (2020) 认为该年龄为成矿前韧性变形引起的成矿前蚀变年龄; Yang Kuifeng et al. (2017) 报道了 2 件栖霞笏山金矿热液独居石 U-Pb 年龄,分别是 128.2±2.7 Ma、120.0±3.1 Ma,认为 128.2±2.7 Ma 为早期成矿阶段的年龄,120.0±3.1 Ma 是主成矿阶段年龄;胡芳芳等(2006)报道了乳山(金青顶)金矿强蚀变绢英岩的热液白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄 128.8±0.1 Ma,认为是成矿早期热液蚀变时间;蔡亚春等(2011)报道了乳山胡八庄金矿黄铁绢英岩中绢云母单颗粒的 Rb-Sr 等时线年龄 126.5±5.6 Ma, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始比值为 0.7108±0.0014(MSWD=1.6),该年龄值为金成矿时代;王来明等(2020)^① 在望儿山金矿等获得的白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为

125.02±1.52 Ma,在焦家金矿等获得的白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 125.37±1.43 Ma,认为该成矿期对应于郭家岭期花岗岩岩浆事件,一般晚于郭家岭期花岗岩 5 Ma 左右。

付超等(2019)^② 获得土堆金矿黄铁矿 Rb-Sr 等时线年龄 107.1±5 Ma、辽上金矿黄铁矿 Rb-Sr 等时线年龄 105.5±9 Ma,认为是该矿床成矿年龄;Li Jianwei et al. (2006) 获得乳山(金青顶)金矿白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄 109.3~108.0 Ma。王来明等(2020)^③ 在三山岛、寺庄、玲珑、大尹格庄金矿获得的白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄 118.81±1.25~115.60±1.16 Ma,认为该成矿期对应于伟德山期花岗岩岩浆事件,一般晚于伟德山期花岗岩 5~2 Ma。

根据金矿年龄数据综合分析,认为胶东地区金成矿至少有 3 个成矿期,即 162~146 Ma、133~120 Ma、120~105 Ma。162~146 Ma 成矿事件对应于玲珑期重熔花岗岩的侵位,可能是玲珑期花岗岩重熔作用使得胶东地区前寒武纪变质基底金等成矿元素活化、迁移和较大规模的“预富集”,并在局部构造有利部位形成金矿;133~120 Ma 的成矿事件对应于郭家岭期岩体的侵位和莱阳群火山岩喷发时间 131.1±1.7 Ma(张志刚等,2020),郭家岭期花岗岩的侵位和火山喷发,带来了幔源的成矿物质和流体,

表 3 胶东主要金矿床成矿年龄测定结果表

Table 3 Determination results of metallogenic age of main gold deposits in Jiaodong

矿床	样号	矿物	岩性	年龄(Ma)	来源	方法
仓上	CD8-2	白云母		121.3±0.2	Zhang Xiaoou et al., 2003	Ar-Ar 坪
三山岛	390mTW1	白云母	黄铁绢英岩	118.35±1.21	杨振毅等, 2020	Ar-Ar 坪
	390mTW2	白云母	黄铁绢英岩	118.37±1.29	王来明等, 2020 ^①	Ar-Ar 坪
新城	1833-01/X2	白云母		120.16±0.3	Li Jianwei et al., 2003	Ar-Ar 坪
	1833-02/X2	白云母		120.9±0.3	Li Jianwei et al., 2003	Ar-Ar 坪
	1833-03/X2	白云母		120.7±0.2	Li Jianwei et al., 2003	Ar-Ar 坪
新城	XC10D210	白云母	黄铁绢英岩	119.78±0.9	张良, 2016	Ar-Ar 坪
焦家	1715-01/J2	白云母		120.5±0.6	Li Jianwei et al., 2003	Ar-Ar 坪
	1715-02/J2	白云母		120.05±0.19	Li Jianwei et al., 2003	Ar-Ar 坪
	1715-03/J2	白云母		120.2±0.2	Li Jianwei et al., 2003	Ar-Ar 坪
焦家	JTW1	白云母	黄铁绢英岩石英脉	125.37±1.43	王来明等, 2020 ^①	Ar-Ar 坪
焦家 3 矿体	JJ1	白云母		121.0±0.6	Zhang Liang et al., 2020	Ar-Ar 坪
	JJ3	白云母		120.4±0.7	Zhang Liang et al., 2020	Ar-Ar 坪
寺庄	STW5	白云母	黄铁绢英岩	124.44±1.22	王来明等, 2020 ^①	Ar-Ar 坪
	STW8	白云母	黄铁绢英岩	118.81±1.25	王来明等, 2020 ^①	Ar-Ar 坪
	STW13	白云母	黄铁绢英岩	122.78±1.24	王来明等, 2020 ^①	Ar-Ar 坪
寺庄	SZ14Z013	白云母		121.5±0.9	Zhang Liang et al., 2020	Ar-Ar 坪
	SZ14Z015	白云母		120.1±0.9		Ar-Ar 坪
界河	JH01-01	白云母		118.8±0.7	Bi Shijian et al., 2017	Ar-Ar 坪
	JH01-02	白云母		119.2±0.6	Bi Shijian et al., 2017	Ar-Ar 坪
	JH02-01	白云母		119.7±0.8	Bi Shijian et al., 2017	Ar-Ar 坪
	JH02-02	白云母		118.9±0.8	Bi Shijian et al., 2017	Ar-Ar 坪
	JH03-01	白云母		115.9±1.0	Bi Shijian et al., 2017	Ar-Ar 坪
	JH03-02	白云母		115.1±0.9	Bi Shijian et al., 2017	Ar-Ar 坪
	JH04-01	白云母		120.7±0.8	Bi Shijian et al., 2017	Ar-Ar 坪
	JH04-02	白云母		119.4±0.7	Bi Shijian et al., 2017	Ar-Ar 坪
	JH05-01	白云母		114.4±0.8	Bi Shijian et al., 2017	Ar-Ar 坪
	JH05-02	白云母		122.5±0.9	Bi Shijian et al., 2017	Ar-Ar 坪
望儿山	WTW1	白云母	黄铁绢英岩	122.92±1.33	王来明等, 2020 ^①	Ar-Ar 坪
	WTW2	白云母	黄铁绢英岩	125.02±1.52	王来明等, 2020 ^①	Ar-Ar 坪
	WES10D219	白云母	黄铁绢英岩	119.2±0.5	Yang Liqiang et al., 2016b	Ar-Ar 坪
	WES10D240	白云母	黄铁绢英岩	120.7±0.6	Yang Liqiang et al., 2016b	Ar-Ar 坪
	1827/W2	白云母		119.8±0.2	Li Jianwei et al., 2003	Ar-Ar 坪
	1827-02/W2	白云母		120.2±0.2	Li Jianwei et al., 2003	Ar-Ar 坪
	1827-03/W2	白云母		119.9±0.4	Li Jianwei et al., 2003	Ar-Ar 坪
	1829-01/W3	白云母		120.6±0.7	Li Jianwei et al., 2003	Ar-Ar 坪
	1829-02/W3	白云母		120.2±0.2	Li Jianwei et al., 2003	Ar-Ar 坪
	1829-03/W3	白云母		120.3±0.3	Li Jianwei et al., 2003	Ar-Ar 坪
大郎家 金岭 灵山沟	JL22D01	白云母	黄铁矿石英脉	120.28±1.21	王来明等, 2020 ^①	Ar-Ar 坪
	618b	独居石	浸染状矿石	122±6.3	王力, 2011	SHRIMP
	618a	独居石	V 矿体网脉状矿石	118±11	王力, 2011	SHRIMP
玲珑	LL76	白云母	方铅矿黄铁绢英岩	117.98±1.20	王来明等, 2020 ^①	Ar-Ar 坪
	LLB	白云母	石英脉	119.40±1.24	王来明等, 2020 ^①	Ar-Ar 坪
	LL81D01	白云母	石英脉	121.79±2.64	王来明等, 2020 ^①	Ar-Ar 坪
阜山	FS1-1	白云母		121.1±0.3	Zhang Liang et al., 2020	Ar-Ar 坪
	FS1-2	白云母		120.5±0.2	Zhang Liang et al., 2020	Ar-Ar 坪
	FS2	白云母		119.8±0.2	Zhang Liang et al., 2020	Ar-Ar 坪
罗山 大尹格庄	LS8	白云母	黄铁绢英岩	120.8±0.7	Zhang Liang et al., 2020	Ar-Ar 坪
	DYG-36	白云母	黄铁绢英岩	119.1±1.2	Yuan Zhongzheng et al., 2019	Ar-Ar 坪
大尹格庄	DYD03	白云母	黄铁绢英岩	115.60±1.16	王来明等, 2020 ^①	Ar-Ar 坪
	DYD06	白云母	黄铁绢英岩	118.54±1.20	王来明等, 2020 ^①	Ar-Ar 坪
大尹格庄	Y745380	白云母		130.71±0.70	Yang Liqiang et al., 2014	Ar-Ar 坪
	Y745380	白云母		128.38±0.69	Yang Liqiang et al., 2014	Ar-Ar 坪
	Y725245	白云母		132.74±0.83	Yang Liqiang et al., 2014	Ar-Ar 坪

续表 3

矿床	样号	矿物	岩性	年龄(Ma)	来源	方法
大尹格庄 夏甸	Y61250	白云母 独居石		126.80±0.59	Yang Liqiang et al., 2014	Ar-Ar 坪
				120.0±1.4	Ma Weidong et al., 2017	LA-MC-ICP-MS
夏甸	XD1306 XD1305	白云母 白云母		120.5±0.2	Zhang Liang et al., 2020	Ar-Ar 坪
				118.8±0.2	Zhang Liang et al., 2020	Ar-Ar 坪
大柳行 庄子 笏山 笏山	15HS02 15HS05	独居石 独居石 独居石 独居石	大柳行金矿 蓬莱庄子金矿 栖霞笏山金矿 栖霞笏山金矿	120.5±1.7	Feng Kai et al., 2019	独居石 U-Pb
				119.0±3.1	Li Xinghui et al., 2018	LA-ICPMS
				128.2±2.7	Yang Kuifeng et al., 2017	LA-MC-ICP-MS
				120.0±3.1	Yang Kuifeng et al., 2017	LA-MC-ICP-MS
蓬家夼	PJK1-1	白云母		119.5±0.3	Li Jianwei et al., 2006	Ar-Ar 坪
	PJK1-2	白云母		119.7±0.2	Li Jianwei et al., 2006	Ar-Ar 坪
	PJK1-3	白云母		119.1±0.2	Li Jianwei et al., 2006	Ar-Ar 坪
	PJK2-1	白云母		119.6±0.4	Li Jianwei et al., 2006	Ar-Ar 坪
	PJK2-2	白云母		120.8±0.4	Li Jianwei et al., 2006	Ar-Ar 坪
	PJK3-1	白云母		120.3±0.5	Li Jianwei et al., 2006	Ar-Ar 坪
	PJK3-2	白云母		120.9±0.4	Li Jianwei et al., 2006	Ar-Ar 坪
西涝口	B42	白云母	石英硫化物脉 石英硫化物脉 多金属硫化物脉	116.5±0.61	孙兴丽, 2013	Ar-Ar 坪
英格庄	16D36	白云母		120.02±0.38	陈炳涵, 2017	Ar-Ar 坪
三甲	16D37	白云母		116.51±0.47	陈炳涵, 2017	Ar-Ar 坪
西泊	16D37	白云母		121.65±0.48	陈炳涵, 2017	Ar-Ar 坪
金青顶	JQD1	白云母		121.4±0.1	Zhang Liang et al., 2020	Ar-Ar 坪
金青顶	03R106	白云母		128.8±0.1	胡芳芳等, 2006	Ar-Ar 坪
金青顶	03R102	锆石	强蚀变绢英岩	117±3	胡芳芳等, 2006	SHRIMP
乳山 (金青顶)	RS4-1	白云母		109.1±0.2	Li Jianwei et al., 2006	Ar-Ar 坪
	RS4-2	白云母		107.7±0.5	Li Jianwei et al., 2006	Ar-Ar 坪
	RS4-3	白云母		109.3±0.3	Li Jianwei et al., 2006	Ar-Ar 坪
	RS10-1	白云母		108.0±0.5	Li Jianwei et al., 2006	Ar-Ar 坪
	RS10-2	白云母		108.4±0.6	Li Jianwei et al., 2006	Ar-Ar 坪
	RS10-3	白云母		108.3±0.6	Li Jianwei et al., 2006	Ar-Ar 坪
范家埠	FJB19/20	锆石	含金石英脉	123±11	李建威等, 2010	LA-ICP-MS
平里店	PLD15D015	白云母	石英白云母黄铁矿脉	162.5±0.8	张良, 2016	Ar-Ar 坪
留村		黄铁矿	黄铁绢英岩	151.0±2.7	姜晓辉等, 2011a, 2011b	Rb-Sr 等时线
胡八庄		白云母	黄铁绢英岩	126.5±5.6	蔡亚春等, 2011	Rb-Sr 等时线

并进一步活化、叠加了早期已富集的 Au 成矿物质, 在局部构造有利部位富集形成金矿; 120~105 Ma 是胶东地区金及多金属成矿期矿, 也是青山群大规模双峰式火山岩喷发的时间, 其对应于华北克拉通东部构造体制转折、岩石圈减薄的峰期(翟明国等, 2003; 李洪奎等, 2013), 120~105 Ma 对应于伟德山期花岗岩的侵位, 伟德山期大规模岩浆活动, 金及多金属热液加热和叠加了赋存金元素的花岗岩以及金矿化体, 使部分地段的金元素进一步富集, 形成金及多金属矿, 该期金矿化同时也是胶东重要的铜钼多金属矿化时间。

7 成矿作用(成矿过程)及成矿期探讨

(1) 中—新太古代胶-辽陆块形成, 形成了一套近陆缘的浅海相环境下形成的以基性—中性火山岩为主并伴有碎屑沉积和硅铁建造, 基性—中性火山岩中有多层富含金元素, 现表现为成层性明显、韵律

性清楚的一套黑云变粒岩和斜长角闪岩组合, 为胶东金矿的主矿源层(岩)(图 9)。

(2) 由于地壳范围扩大, 其能量得到进一步的聚集, 形成新的地幔柱, 引发原始地壳和新形成的中基性火山沉积建造(绿岩带)下部发生重熔, 形成 TTG 岩, 富含金元素的黑云变粒岩和斜长角闪岩-矿源层(岩)中的金元素活化, 并进入 TTG 岩中。

(3) 古元古代由于地幔上隆作用, 在地表形成近东西向的拗拉槽, 伴随着中基性火山活动和海相碎屑沉积, 形成一套碎屑沉积岩和中基性火山岩建造, 其中底部古风化壳和中基性火山岩含有较富的金元素, 现表现为一套黑云片岩和黑云变粒岩组合, 为胶东金矿的次矿源层(岩)(图 9)。

(4) 古元古代末期(1867 Ma)在近南北向挤压应力作用下, 盆地闭合, 随后发生了陆陆碰撞, 陆壳加厚, 发生强烈的变质作用, 古元古代形成的一套碎屑沉积岩和中基性火山岩建造发生强烈变质, 并形

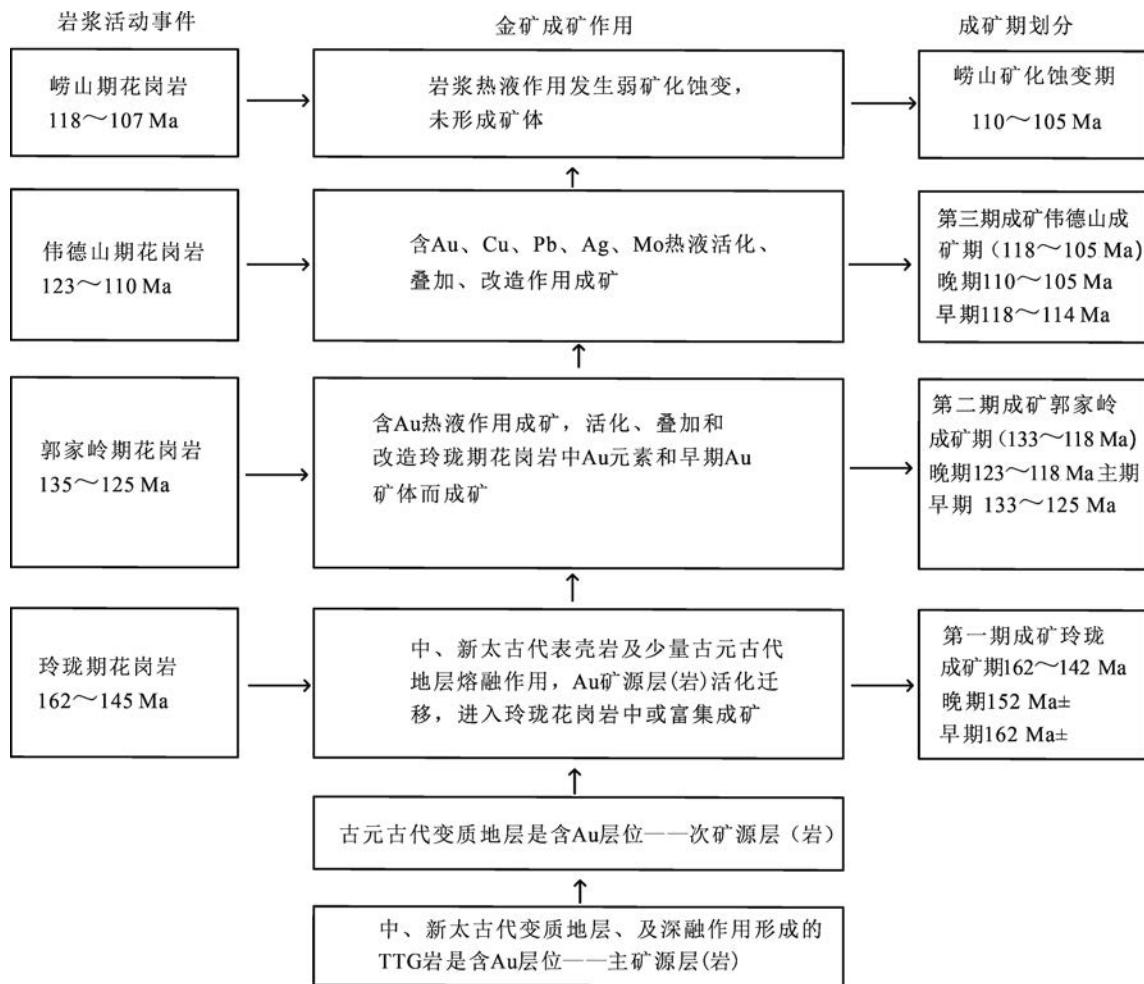


图 9 中生代花岗岩与金矿成矿作用关系

Fig. 9 Relationship between Mesozoic granite and gold mineralization

成了平度-莱西-栖霞高压麻粒岩带(栖霞热背斜)。

(5)三叠纪—侏罗纪(220~145 Ma), 220 Ma左右, 扬子板块与华北板块碰撞造山, 碰撞之后扬子板块俯冲到华北板块之下, 随着板块的继续挤压俯冲作用, 在166~152 Ma造成胶北隆起地壳加厚而发生重熔, 或扬子板块向下俯冲到一定深度发生垮塌重熔作用而上涌, 熔融了华北板块胶北隆起的中—新太古代变质地层和TTG岩以及古元古界荆山群底部岩层, 形成了晚侏罗世玲珑期原地一半原地重熔型花岗岩, 在重熔作用过程中金元素发生了极大地活化迁移, 熔融作用内部强烈、温度高, 金元素便向外迁移, 在其外部带富集或岩体与变质基底接触带富集成矿, 产生了第一期成矿作用——玲珑成矿期(约162~142 Ma), 可分为二期: 早期162 Ma, 晚期152 Ma(图9)。

(6)早白垩世早期(133~125 Ma), 郭家岭期岩浆活动, 这期岩浆热液本身富含金、铜等成矿元素,

岩浆活动中在成矿有利条件下可以富集成矿, 同时, 岩浆上侵活动可活化、叠加和改造玲珑期花岗岩中的金元素或玲珑成矿期形成的金矿体而成矿, 形成第二期成矿作用—郭家岭成矿期(133~125 Ma), 是胶东金矿主要的成矿时期。该期成矿作用可分为2期: 早期为133~125 Ma, 是郭家岭期花岗岩的同岩浆期成矿作用, 该期矿化作用相对较弱, 或者成矿作用痕迹被后期成矿作用叠加; 晚期为123~120 Ma, 为郭家岭岩浆期后热液成矿作用(成矿时间晚于成岩时间5 Ma), 是主要成矿期, 成矿高峰期(图9)。

(7)早白垩世晚期(123~110 Ma), 伟德山期岩浆大规模和持续的活动, 其岩浆活动热液作用强烈, 岩浆中主要含铜、铅、钼、银及少量金成矿元素, 长时间持续的热液活动可以活化玲珑期花岗岩和郭家岭期花岗岩中的金元素, 使其迁移到成矿有利部位富集成矿, 也可叠加和改造早期金矿体而形成新的矿

体,为第三期成矿作用——伟德山成矿期(120~105 Ma),可分为二期:早期 120~114 Ma,晚期 110~105 Ma,主要为金及多金属矿成矿期(图 9)。

(8)早白垩世晚期(118~110 Ma),崂山期岩浆活动,因其沿构造侵位,冷却较快,岩浆热液作用较弱,仅形成一些钼、黄铁矿化蚀变,目前未发现形成的矿体(图 9)。

根据以上分析研究,胶东地区广泛发育的玲珑期、郭家岭期、伟德山期和崂山期花岗岩的岩浆活动时间都与金矿形成时间相对应或略晚,一般情况下同源岩浆成岩成矿时间差在 5~10 Ma,既成矿时间可晚于成岩时间 5~10 Ma。通过大量的同位素年龄数据分析研究,将胶东地区的金矿划分为三个成矿期和一个矿化蚀变期,并与胶东地区区域性岩浆活动相对应,初步提出建立了玲珑成矿期、郭家岭成矿期、伟德山成矿期和崂山矿化蚀变期。

玲珑成矿期,是玲珑期岩浆活动所形成的金矿,其成矿时间为晚侏罗世 162~146 Ma,该成矿期形成的金矿主要为含金石英脉型金矿床,代表性金矿有平里店金矿,玲珑、大尹格庄、金青顶、留村金矿均有该成矿期年龄的痕迹。该期金矿形成之后,经历了后期强烈的构造岩浆事件叠加和改造作用,造成玲珑期金成矿年龄数据偏少。

郭家岭成矿期,是郭家岭期岩浆活动所形成的金矿,其成矿时间为早白垩世早期 133~120 Ma,可以分为早期:133~125 Ma,晚期:123~120 Ma。该成矿期形成的金矿主要为含金石英脉型和蚀变岩金矿床,胶东地区多数金矿是该成矿期形成的,该期成矿是胶东地区主成矿期,代表性金矿为望儿山、焦家、玲珑、大尹格庄-夏甸等金矿。

伟德山成矿期,是伟德山期岩浆活动所形成的金及多金属矿,其成矿时间为早白垩世晚期 120~105 Ma,可以分为早期:120~114 Ma,晚期:110~105 Ma。该成矿期形成的金矿主要为多含金多金属硫化物石英脉型和蚀变岩金矿床,代表性金矿为土堆、辽上、金青顶等金矿。

崂山矿化蚀变期,是崂山期岩浆活动所形成的矿化蚀变,主要为黄铁矿化、辉钼矿化,目前尚未发现矿床。

8 结论

(1)胶东玲珑期花岗岩中赋存金矿 146 处,数量占整个胶东金矿数量 57%,而资源量占 88%。郭家岭期花岗岩赋存金矿 45 处,数量占整个胶东金矿数

量 18%,而资源量占 7%。

(2)通过对不同地质体和金矿测试分析,认为胶东金矿床 Au 元素可能来源于胶东岩群、栖霞 TTG 岩、玲珑期花岗岩、郭家岭期花岗岩,主要来源于下地壳(初始为华北板块和扬子板块前寒武纪结晶基底),有壳幔相互作用地幔物质加入。

(3)通过对中生代花岗岩与金矿在空间展布、成矿物质来源、形成时代对比研究,认为胶东地区金成矿至少有 3 个成矿期,即 162~146 Ma、133~120 Ma、120~105 Ma,与胶东地区区域性岩浆活动相对应,既玲珑成矿期、郭家岭成矿期、伟德山成矿期,以及崂山矿化蚀变期(110~105 Ma)。

致谢:本次获取的锆石 HRIMP U-Pb 及 LA-ICP-MS U-Pb 年龄数据分别在北京离子探针中心和武汉上谱分析科技有限责任公司完成;硫、铅、锶、钕同位素测试在核工业北京地质研究院完成;白云母 Ar-Ar 定年在中国地质科学院地质研究所完成;岩石化探样品测试在山东省地质矿产勘查开发局第四地质大队完成。在此,对上述单位实验室工作人员表示感谢,对本文提出宝贵意见、建议的审稿专家表示感谢。

注 释

- 王来明. 2020. 胶东地区中生代花岗岩调查及与金矿关系研究. 济南: 山东省地质调查院.
- 付超. 2019. 山东 1:5 万栖霞县幅、桃村幅、山前店幅矿产地质调查报告. 天津: 中国地质调查局天津地质调查中心.

References

- Bi Shijian, Zhao Xinfu. 2017. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the Jiehe gold deposit in the Jiaodong Peninsula, eastern North China Craton: Implications for regional gold metallogeny. Ore Geology Reviews, 86: 639~651.
- Cai Yachun, Fan Hongrui, Santosh M, Liu Xuan, Hu Fangfang, Yang Kuifeng, Lan Tingguang, Yang Yueheng, Liu Yongsheng. 2013. Evolution of the lithospheric mantle beneath the southeastern North China Craton: Constraints from mafic dikes in the Jiaobei terrain. Gondwana Research, 24: 601~621 (in Chinese with English abstract).
- Cai Yachun, Fan Hongrui, Santosh M, Hu Fangfang. 2018. Decratonic gold mineralization: Evidence from the Shangzhuang gold deposit, eastern North China Craton. Gondwana Research, 54: 1~22.
- Chai Peng, Hou Zengqian, Zhang Hongrui, Dong Leilei. 2019. Geology, fluid inclusion, and H-O-S-Pb isotope constraints on the mineralization of the Xiejagou gold deposit in the Jiaodong Peninsula. Geofluids, (6): 1~23.
- Chen Binghan. 2017. Mineralization geochemistry of Mouru gold belt. Doctoral dissertation of China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese with English abstract).
- Chen Changxin. 2015. Study on geological characteristics and genesis of Tudui Shawang gold deposit in Guocheng, Shandong Province. Master's thesis of Jilin University (in Chinese with English abstract).
- Chen Haiyan. 2010. Study on genetic mineralogy and deep prospect

- of Jinqingding gold deposit in Jiaodong. Master's thesis of China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese with English abstract).
- Chen Yanjing, Piraino F, Lai Yong, Li Chao. 2004. Metallogenic time and tectonic setting of the Jiaodong gold province, eastern China. *Acta Petrologica Sinica*, 20(4): 907~922 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yanjing, Pirajno F, Qi Jinping. 2005. Origin of gold metallogeny and sources of ore-forming fluids, Jiaodong Province, eastern China. *International Geology Review*, 47(5): 530~549.
- Chen Yang. 2015. Study on geological characteristics and genesis of Songjiagou gold deposit in Mouping, Shandong Province. Master's thesis of Jilin University (in Chinese with English abstract).
- Cheng Hanyu. 2019. Geochemical comparative study of Linglong gold deposit and Jiaoja gold deposit in Jiaodong. Master's thesis of China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese with English abstract).
- Dai Xueling. 2012. Study on diagenetic and metallogenic mechanism of Dayingezhuang gold deposit in Zhaoyuan, Shandong Province. Doctoral dissertation of Central South University (in Chinese with English abstract).
- De Paolo D J, Getty SR. 1996. Models of isotopic exchange in reactive fluid-rock systems: Implications for geochronology in metamorphic rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60: 3933~3947.
- Deng Jun, Liu Xuefen, Wang Qingfei, Pan Ruiguang. 2014. Origin of the Jiaodong-type Xinli gold deposit, Jiaodong Peninsula, China: Constraints from fluid inclusion and C-D-O-S-Sr isotope compositions. *Ore Geology Reviews*, (65): 674~686.
- Ding Zhengjiang, Sun Fengyue, Liu Jianhui, Liu Dianhao, Li Bile, Zhang Peijian, Qian Ye, Li Jie. 2012. Re-Os dating of molybdenites from the Xingjishan molybdenum-tungsten deposit in Jiaodong Peninsula, China and its geological significance. *Acta Petrologica Sinica*, 28(9): 2721~2732 (in Chinese with English abstract).
- Du Foguang, Jiang Yaohui, Qing Long, Ni Chunyu. 2019. H-O He-Ar and Sr-Nd-Pb isotopic constraints on the sources of ore-forming fluids and ore-forming materials in the Xiadian gold deposit, Jiaodong. *Geological Journal of China Universities*, 25(5): 686~696 (in Chinese with English abstract).
- Fan Hongrui, Hu Fangfang, Yang Jinhui, Shen Kui, Zhai Mingguo. 2005. Fluid evolution and large-scale gold metallogeny during Mesozoic tectonic transition in the eastern Shandong Province. *Acta Petrologica Sinica*, 21(5): 1317~1328 (in Chinese with English abstract).
- Feng Kai, Fan Hongrui, Hu Fangfang, Yang Kuifeng, Liu Xuan, Shangguan Yining, Cai Yachun, Jiang Peng. 2017. Involvement of anomalously As-Au-rich fluids in the mineralization of the Heilan'gou gold deposit, Jiaodong, China: Evidence from trace element mapping and *in-situ* sulfur isotope composition. *Journal of Asian Earth Sciences*, 160: 304~321.
- Feng Kai, Fan Hongrui, Groves D I, Yang Kuifeng. 2019. Geochronological and sulfur isotopic evidence for the genesis of the post-magmatic, deeply sourced, and anomalously gold-rich Daliuhang orogenic deposit, Jiaodong, China. *Mineralium Deposita*, 55(2): 293~308.
- Gao Taizhong, Zhao Lunshan, Yang Minzhi. 2001. Gold mineralization and its evolution in the Mouping-Rushan gold ore belt, Shandong province, China. *Geotectonica et Metallogenesis*, 25(2): 155~160 (in Chinese with English abstract).
- Goldfarb, R J, Groves, D I, Gardoll, S. 2001. Orogenic gold and geologic time: A global synthesis. *Ore Geology Reviews*, 18(1-2): 1~75.
- Guan Kang, Luo Zhenkuan, Miao Laicheng, Huang Jiazhan. 1997. Petrochemical and geochemical characteristics of Guojialing suite granite in Zhaoye District and the genetic relation of gold mineralization to the granite. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 12(4): 1~8 (in Chinese with English abstract).
- Gui Fei. 2014. Discussion on mineralization enrichment law and genesis of Sanshandao gold deposit in Laizhou, Shandong Province. Master's thesis of Jilin University (in Chinese with English abstract).
- Guo Chunying. 2009. Tectonic magmatic fluid gold metallogenic system of Sanshandao Cangshang Gold Belt in Jiaodong. Doctoral dissertation of China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese with English abstract).
- Guo Linnan. 2016. Metallogenic mechanism of Jiaodong type gold deposit. Doctoral dissertation of China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese with English abstract).
- Hu Fangfang. 2006. Magmatism, ore-forming fluid evolution and gold deposit genesis during the transition period of Mesozoic tectonic system in Kunyushan area, Eastern Shandong. Doctoral dissertation of Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences (in Chinese with English abstract).
- Hu Fangfang, Fan Hongrui, Yang Kuifeng, Shen Kui, Zhai Mingguo, Jin Chengwei. 2007. Fluid inclusions in the Denggezhuang lode gold deposit at Mouping, Jiaodong Peninsula. *Acta Petrologica Sinica*, 23(9): 2155~2164 (in Chinese with English abstract).
- Huang Deye. 1994. Sulfur isotope studies of the metallogenic series of gold deposits in Jiaodong (eastern Shandong) area. *Mineral Deposits*, 13(1): 75~87 (in Chinese with English abstract).
- Hou Minglan, Ding Xin, Jiang Shaoyong. 2004. S-Pb isotope geochemistry of the Hexi gold deposit in Penglai, eastern Shandong. *Acta Geoscientia Sinica*, 25(2): 145~150 (in Chinese with English abstract).
- Hou Minglan, Jiang Shaoyong, Jiang Yaohui, Ling Hongfei. 2006. S-Pb isotope geochemistry and Rb-Sr geochronology of the Penglai gold field in the eastern Shandong Province. *Acta Petrologica Sinica*, 22(10): 2525~2533 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Neng, Chen Jingzhi, Guo Jinghui, Chang Guohu. 2012. *In situ* zircon U-Pb, oxygen and hafnium isotopic compositions of Jurassic granites from the North China craton: Evidence for Triassic subduction of continental crust and subsequent metamorphism-related ¹⁸O depletion. *Lithos*, 142-143: 84~94.
- Jiang Shenghong, Wang Changming, Zhao Hai, He Xinyu, Xia Rui, Guo Chunying, Lai Xiangru, Ouyang Xuecai. 2015. Geochemical characteristics of stable isotopes and metallogenic material source in the Xincheng gold deposit. *Geology and Exploration*, 51(1): 68~78 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Xiaohui, Fan Hongrui, Hu Fangfang, Yang Kuifeng, Sun Zongfeng, Sun Zhifu. 2011b. Ore-forming fluids and genesis of Liucun gold deposit in northwestern Jiaodong Peninsula. *Mineral Deposits*, 30(3): 511~521 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Xiaohui, Fan Hongrui, Hu Fangfang, Lan Tingguang, Zheng Xiaoli, Jin Nianxian. 2011a. Characteristics of ore-forming fluids and ore genesis in the Shicheng gold deposit, Jiaodong Peninsula of eastern China. *Acta Petrologica Sinica*, 27(5): 1327~1340 (in Chinese with English abstract).
- Lan Tingguang, Fan Hongrui, Hu Fangfang, Yang Kuifeng, Liu Xuan, Liu Zhenhao, Song Yubo, Yu Hu. 2010. Characteristics of ore-forming fluids and ore genesis in the Shicheng gold deposit, Jiaodong Peninsula of eastern China. *Acta Petrologica Sinica*, 26(5): 1512~1522.
- Li Guohua, Ding Zhengjiang, Ji Pan, Li Yong, Tang Junzhi, Liu Lisha. 2016. Features and prospecting direction of the gold deposits in the northeastern margin of the Jiaolai basin. *Geology and Exploration*, 52(6): 1029~1036 (in Chinese with English abstract).
- Li Hongkui, Shi Wenge, Li Yifan, Li Luyi, Han Daicheng, Cao Lili, Liu Jimei. 2013. Study on gold mineralization ages in Jiaodong area, Shandong Province. *Gold Science and*

- Technology, 21(3): 1~9(in Chinese with English abstract).
- Li Hongkui, Li Yifan, Liang Taitao, Li Dapeng, Gao Chuanyuan, Geng Ke. 2017. The Concept and Characteristics of Jiaodong type gold deposits, Shandong Province. Gold Science and Technology, 25(1): 1~8(in Chinese with English abstract).
- Li Hongmei, Wei Junhao, Wang Qi, Yu Haitao, Liu Guochun, Huang Xiangzhi. 2010. Isotopic composition features and ore-forming mechanism of the Tudui-Shawang gold deposit in Shandong Province. Acta Geoscientica Sinica, 31(6): 791~802 (in Chinese with English abstract).
- Li Jianwei, Vasconcelos P M, Zhang Jun, Zhou Meifu. 2003. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Constraints on a temporal link between gold mineralization, magmatism, and continental margin transtension in the Jiaodong Gold Province, Eastern China. The Journal of Geology, 111(6): 741~751.
- Li Jianwei, Vasconcelos P M, Zhou Meifu, Zhao Xinfu, Ma Changqian. 2006. Geochronology of the Pengjiakuang and Rushan gold deposits, eastern Jiaodong Gold Province, Northeastern China: Implications for regional mineralization and geodynamic setting. Economic Geology, 32(9): 1023~1038.
- Li Jianwei, Bi Shijian, Vasconcelos P. 2010. Mineralization and genesis of the Fanjiabu gold deposit in the Sulu ultrahigh pressure metamorphic terrane, with a comparison to the gold mineralization in the Jiaobei terrane. Geological Journal of China Universities, 16(2): 125~142(in Chinese with English abstract).
- Li Jianzhong. 2012. Metallogenetic geochemical model and metallogenic prediction of Xiadian Daobeizhuangzi gold deposit, Shandong Province. Master's thesis of Guilin University of Technology(in Chinese with English abstract).
- Li Taibing, Li Yongguang, Wang Xianlin, Song Genghai. 2015. Metallogenetic fluid characteristics and mineralization of Jinshan gold deposit in Shandong Province. Gold Science and Technology, 23(6): 10~16(in Chinese with English abstract).
- Li Xiaochun, Fan Hongrui, Santosh M, Hu Fangfang, Yang Kuifeng, Lan Tingguang, Liu Yongsheng, Yang Yueheng. 2012. An evolving magma chamber within extending lithosphere: An integrated geochemical, isotopic and zircon U-Pb geochronological study of the Gushan granite, eastern North China Craton. Journal of Asian Earth Sciences, 50: 27~43.
- Li Xiaochun, Fan Hongrui, Santosh M, Hu Fangfang, Yang Kuifeng, Lan Tingguang. 2013. Hydrothermal alteration associated with Mesozoic granite-hosted gold mineralization at the Sanshandao deposit, Jiaodong gold province, China. Ore Geology Reviews, 53: 403~421.
- Li Xufen. 2011. Study on genesis and prospecting direction of Jinqingdinggold deposit in Mouping Rushan Gold Belt, Jiaodong. Doctoral dissertation of Chang'an University (in Chinese with English abstract).
- Li Yifan, Li Hongkui, Chen Guodong, Geng Ke, Cao Lili, Liang Taitao. 2019. Study on compression-extensional tectonic environment formed by Jiaodong gold deposit in Shandong Province. Geotectonica et Metallogenica, 43(6): 1117~1132(in Chinese with English abstract).
- Li Yujie, Li Shengrong, Santosh M, Liu Shengao, Zhang Long, Li Wentao, Song Yingxin, Wang Bixue. 2015. Zircon geochronology, geochemistry and stable isotopes of the Wang'ershan gold deposit, Jiaodong Peninsula, China. Journal of Asian Earth Sciences, 113(): 695~710.
- Li Xinghui, Fan Hongrui, Yang Kuifeng, Hollings P, Liu Xuan, Hu Fangfang, Cai Yachun. 2018. Pyrite textures and compositions from the Zhuangzi Au deposit, southeastern North China Craton: Implication for ore-forming processes. Contributions to Mineralogy and Petrology, 173(9): 1.
- Li Xinghui, Fan Hongrui, Hu Fangfang, Hollings P, Liu Xuan. 2019. Linking lithospheric thinning and magmatic evolution of late Jurassic to early Cretaceous granitoids in the Jiaobei Terrane, southeastern North China Craton. Lithos, 324-325: 280~296.
- Lin Wenwei, Zhao Yiming, Zhao Guohong. 1999. The characteristics of Pb isotope of Jiaodong area and discussion of minogenetic epoch. Journal of Changchun University of Science and Technology, 29(2): 116~121 (in Chinese with English abstract).
- Liu Chunhua, Sun Jinggui, Zheng Changqing. 1997. Petrographical sign of mingling of magma of Weideshan rock body. Liao Ning Geology, (2): 46~52(in Chinese with English abstract).
- Liu Jianming, Ye Jie, Xu Juhua, Sun Jinggui, Shen Kun. 2003. C-O and Sr-Nd isotopic geochemistry of carbonate minerals from gold deposits in East Shandong, China. Acta Petrologica Sinica, 19(4): 775~784(in Chinese with English abstract).
- Liu Jiufen. 2012. Study on processing and testing of gold samples in Jiaodongxilaokou mining area and its significance. Master's thesis of Chang'an University (in Chinese with English abstract).
- Liu Xiaoyang, Tan Jun, Wang Huaihong, Wang Yongjun, Gan Jinrong, Wang Zihua, Zhang Ming. 2018. Petrogenesis and tectonic setting of the Late Jurassic low-Mg adakitic granites in the Fanjiazhuang area, Jiaodong Peninsula. Earth Science, 45(2): 451~466(in Chinese with English abstract).
- Liu Yue. 2015. Genesis and Metallogenetic Contribution of the Early Cretaceous Xincheng Granite in Jiaodong Beijing: China University of Geosciences (Beijing)
- Lu Lina, Fan Hongrui, Hu Fangfang, Yang Kuifeng, Zheng Xiaoli, Zhao Hai. 2011. Ore-forming fluids and genesis of Xincheng altered rock gold deposit in northwestern Jiaodong Peninsula. Mineral Deposits, 30(3): 522~532 (in Chinese with English abstract).
- Luo Xiandong. 2012. Study on petrology and geochemistry of intrusive rocks related to gold deposits in Jiaobei block. Master's thesis of University of science and technology of China (in Chinese with English abstract).
- Lv Wenjie. 2010. Genesis, mineralogy and prospecting of Dujiaya gold deposit, Fushan district, Yantai City, Jiaodong. Doctoral dissertation of China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese with English abstract).
- Ma Guanggang. 2011. Study on genetic mineralogy and deep prospect of Linglong gold deposit in Jiaodong. Master's thesis of China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese with English abstract).
- Ma Liang, Jiang Shaoyong, Dai Baozhang, Jiang Yaohui, Hou Minglan, Pu Wei, Xu Bin. 2013. Multiple sources for the origin of Late Jurassic Linglong adakitic granite in the Shandong Peninsula, eastern China: Zircon U-Pb geochronological, geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic evidence. Lithos, 162-163: 251~263.
- Ma Weidong, Fan Hongrui, Liu Xuan, Pirajno F, Hu Fangfang, Yang Kuifeng, Yang Yueheng, Xu Wengang, Jiang Peng. 2017. Geochronological framework of the Xiadian gold deposit in the Jiaodong Province, China: Implications for the timing of gold mineralization. Ore Geology Reviews, 86(1): 196~211.
- Mao Jingwen, Wang Yitian, Li Houmin, Franco. 2008. The relationship of mantle-derived fluids to gold metallogenesis in the Jiaodong Peninsula: Evidence from D-O-C-S isotope systematics. Ore Geology Reviews, 33(3): 361~381.
- Miao Laicheng, Luo Zhenkuan, Guan Kang and Huang Jiazhan. 1998. The implication of the SHRIMP U-Pb age in zircon to the petrogenesis of the Linglong granite, East Shandong Province. Acta Petrologica Sinica, 14 (2): 198 ~ 206 (in Chinese with English abstract).
- Mills S E, Tomkins A G, Weinberg R F, Fan Hongrui. 2015. Implications of pyrite geochemistry for gold mineralisation and remobilisation in the Jiaodong gold district, northeast China. Ore Geology Reviews, 71: 150~168.
- Pang Xucheng. 2005. Study on geochemical characteristics and deep ore body prediction of Jiaojia gold deposit in Shandong Province. Doctoral dissertation of Chengdu University of Technology (in

- Chinese with English abstract).
- Qiu Yumin, Groves D I, McNaughton N J, Wang Lianggen. 2002. Age and tectonic setting of granitoid-hosted orogenic gold deposits of the Jiaodong Peninsula, eastern North China craton, China. *Mineralium Deposita*, 37(3): 283~305.
- Shui Peng. 2019. Geological characteristics and genetic mechanism of Guocheng Liaoshang gold deposit in the northeast margin of Jiaolai basin. Master's thesis of China University of Geosciences (Beijing)(in Chinese with English abstract).
- Song Xuelong Li Junjian Li Xiuzhang, Dang Zhicai, Zhao Zelin, Yu Chengkun. 2014. The research progress of ore-forming fluids, stable isotope and mineralizing age in Jiaodong Peninsula of eastern China. *Contributions To Geology and Mineral Resources Research*, 29(1): 13~19(in Chinese with English abstract).
- Song Mingchun. 2014. Jiaodong type gold deposit and its tectonic magmatic setting. *Mineral Deposits*, (S1): 131 ~ 132 (in Chinese with English abstract).
- Song Mingchun, Yi Pihou, Cui Shuxue, Xu Junxiang, Zhou Mingling, Jiang Hongli, Huang Tailing, Jiao Xiumei, Wan Guopu, Cao Chunguo. 2013a. Thermal uplifting-extension ore-forming theory and its prospecting significance in Jiaodong gold deposit. *Shandong Land and Resources*, 29 (7): 1 ~ 12 (in Chinese with English abstract).
- Song Mingchun, Song Yingxin, Shen Kun, Jiang Hongli, Li Shiyong. 2013b. Geochemical features of deeply-seated gold deposit and discussions on some associated problems in Jiaojia gold ore field, Shandong Peninsula, China. *Geochimica*, 42 (3): 274~289(in Chinese with English abstract).
- Song Mingchun, Song Yingxin, Li Jie, Li Shiyong. 2015. Metallogenetic series of gold and nonferrous metal deposits related to Cretaceous granites in Eastern Shandong Peninsula, China. *Geotectonica et Metallogenesis*, 39 (5): 828 ~ 843 (in Chinese with English abstract).
- Song Mingchun, Li Sanzhong, Santosh M, Zhao Shujuan, Yu Shan, Yi Peihou, Cui Shuxue, Lv Guxian, Xu Junxiang, Song Yingxin, Zhou Mingling. 2015. Types, characteristics and metallogenesis of gold deposits in the Jiaodong Peninsula, Eastern North China Craton. *Ore Geology Reviews*, 65: 612~625.
- Song Yucai, Hu Wenxuan, Lian Guojian, Gao Xiaokang. 2004. Trace elemental and Pb-S isotopic geochemistry of the Dazhuangzi gold deposit, East Shandong, China. *Journal of Nanjing University(Natural Sciences)*, 40(6): 659 ~ 673 (in Chinese with English abstract).
- Sun Liwei. 2015. Study on geological characteristics and mineralization enrichment law of Pengjiakuang gold deposit in Rushan, Jiaodong. Master's thesis of Jilin University (in Chinese with English abstract).
- Sun Xingli. 2013. Characteristics and genesis of Xilaokou gold deposit in Jiaolai Basin, Shandong Province. Doctoral dissertation of China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese with English abstract).
- Tan Jun. 2009. Evolution of magmatic veins and their influence on gold mineralization in Jiaocheng. Doctoral dissertation of China University of Geosciences (Wuhan) (in Chinese with English abstract).
- Tan Jun, Wei Junhao, Tan Wenjuan, Guo Dazhao. 2006. Statistic study of diagenesis mineralization time gap for comagmatic gold deposits. *Geological Review*, 52(1): 54 ~ 62 (in Chinese with English abstract).
- Tan Jun, Wei Junhao, Li Yanjun, Fu Lebing, Li Hongmei, Shi Wenjie, Tian Ning. 2014. Origin and geodynamic significance of fault-hosted massive sulfide gold deposits from the Guocheng-Liaoshang metallogenic belt, eastern Jiaodong Peninsula: Rb-Sr dating, and H-O-S-Pb isotopic constraints. *Ore Geology Reviews*, 65(3): 687~700.
- Tang Jun. 2005. Isotopic geochemistry of metamorphic rocks in Jiaodong block. Doctoral dissertation of University of science and technology of China(in Chinese with English abstract).
- Tang Jun, Zheng Yongfei, Wu Yuanbao, Zha Xiangping, Zhou Jianbo. 2004. Zircon U-Pb ages and oxygen isotopes of high-grade metamorphic rocks in the eastern part of the Shandong Peninsula. *Acta Petrologica Sinica*, 20(5): 1039~1062.
- Tian Jiepeng, Tian Jingxiang, Guo Ruipeng, Wei Changshan, Wang Ligong, Yu Xiaowei. 2016. Jiaodong-type gold deposit related to crust source remelting layered granite and crust-mantle mixed granodiorite. *Acta Geologica Sinica*, 90 (5): 987 ~ 996 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zhao. 2013. Structural characteristics of Tanlu fault zone and its control and influence on minerals: Taking Jiaojia fault as an example. Master's thesis of Hefei University of Technology(in Chinese with English abstract).
- Wang Feng. 2012. Study on genetic mineralogy and deep prospect of pyrite in Dayingezhuang gold deposit, Jiaodong. Master's thesis of China University of Geosciences (Beijing)(in Chinese with English abstract).
- Wang Jiali, Sun Fengyue, Wang Li, Ding Zhengjiang, Huang Weiping, Hu Weihua. 2013. Geological characteristics and genesis of Majiayao gold deposit, Qixia City, Shandong Province. *Gold*, 34 (6): 14 ~ 20 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jinhui. 2020. A study of the He-Ar isotopic composition and the source of metallogenic fluid in the gold concentration area of northwestern Jiaodong. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 39 (2): 172~182(in Chinese with English abstract).
- Wang Laiming, Ren Tianlong, Liu Handong, Ning Zhenguo, Yu Xiaowei. 2021. Division of Mesozoic granites in Jiaodong Area. *Shandong Land and Resources*, 37(8): 1~14(in Chinese with English abstract).
- Wang Li. 2011. Study on regional metallogenetic model of vein gold deposits in North China block. Doctoral dissertation of Jilin University(in Chinese with English abstract).
- Wang Yiwen, Zhu Fengsan, Gong Runtan. 2002. Tectonic isotope geochemistry further study on sulphur isotope of Jiaodong gold concentration area. *Gold*, (4): 1~16(in Chinese with English abstract).
- Wang Zhongliang. 2012. Metallogenetic system of Jiaojia gold field. Doctoral dissertation of China University of Geosciences (Beijing)(in Chinese with English abstract).
- Wang Zhongliang, Zhao Rongxin, Zhang Qing, Lu Huiwu, Li Jinglian, Cheng Wei. 2014. Magma mixing for the high Ba-Sr Guojialing-type granitoids in Northwest Jiaodong Peninsula: Constraints from petrogeochemistry and Sr-Nd isotopes. *Acta Petrologica Sinica*, 30(9): 2595~2608.
- Wei Qing, Fan Hongrui, Lan Tingguang, Liu Xuan, Jiang Xiaohui, Wen Bojie. 2015. Genesis of Sizhuang gold deposit, Jiaodong Peninsula: Evidences from fluid inclusion and quartz solubility modeling. *Acta Petrologica Sinica*, 31 (4): 1049 ~ 1062 (in Chinese with English abstract).
- Wen Baojie, Fan Hongrui, Hu Fangfang, Liu Xuan. 2016. Fluid evolution and ore genesis of the giant Sanshandao gold deposit, Jiaodong gold province, China: Constrains from geology, fluid inclusions and H-O-S-He-Ar isotopic compositions. *Journal of Geochemical Exploration*, 171: 96~112.
- Xia Lin. 2003. Tectonic physico-chemical study of regional fluids during the Mesozoic gold mineralization in Jiaodong. Doctoral dissertation of the Chinese Academy of Geological Sciences.
- Xin Hongbo. 2005. Comparison of geological characteristics and genesis between Xiejiagou gold deposit and Jiaojia gold deposit in Jiaodong. Doctoral dissertation of China University of Geosciences (Beijing)(in Chinese with English abstract).
- Xu Guizhong, Ying Hanlong, Zhou Rui, She Hongquan, Yan Zhen, Wang Yifen, Li Bing. 2002. Genesis and dynamic condition of Hexi gold deposit in Northwest Jiaodong Area. *Mineral Deposits*, 21(3): 246~255(in Chinese with English abstract).
- Xue Jianling, Li Shengrong, Pang Zhenshan, Tao Wen, Sun Wenyan, Chen Hui, Zhang Yunqiang. 2018. Ore-forming fluids, sources of materials in the Denggezhuang gold deposit,

- Jiaodong Peninsula and implications for ore genesis. *Acta Petrologica Sinica*, 34(5): 1453~1468(in Chinese with English abstract).
- Xue Jianling, Pang Zhenshan, Li Shengrong, Chen Hui, Sun Wenyan, Tao Wen, Yao Lei, Zhang Yunqiang. 2019. The genesis of Denggezhuang gold deposit in Jiaodong: Constraints from multigeological chronology and isotope system. *Acta Petrologica Sinica*, 35(5): 1532~1550(in Chinese with English abstract).
- Yan Yutong, Li Shengrong. 2011. Pyrite typomorphic characteristics and stable isotope studies of liukou gold deposit in jiaodong, china. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 31(4): 58~66(in Chinese with English abstract).
- Yan Jun, Chen Jiangfeng. 2007. Geochemistry of Qingshan formation volcanic rocks from Jiaolai Basin, eastern Shandong Province; Petrogenesis and geological significance. *Geochimica*, 36(1): 1~10(in Chinese with English abstract).
- Yang Jinhuai, Zhou Xinhua, Chen Lihui. 2000. Dating of gold mineralization for super-large altered tectonite-type gold deposits in Northwestern Jiaodong Peninsula and its implications for gold metallogeny. *Acta Petrologica Sinica*, 16(3): 454~458(in Chinese with English abstract).
- Yang Jinhuai, Zhou Xinhua. 2001. Rb-Sr, Sm-Nd, and Pb isotope systematics of pyrite: Implications for the age and genesis of lode gold deposits. *Geology*, 29(8): 711~714.
- Yang Jinhuai, Chu Meifei, Liu Wei, Zhai Mingguo. 2003. Geochemistry and petrogenesis of Guojialing granodiorites from the northwestern Jiaodong Peninsula, eastern China. *Acta Petrologica Sinica*, 19(4): 692~700(in Chinese with English abstract).
- Yang Jinhuai, Chung Sunlin, Zhai Mingguo, Zhou Xinhua. 2004. Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic compositions of mafic dikes from the Jiaodong Peninsula, China: Evidence for vein-plus-peridotite melting in the lithospheric mantle. *Lithos*, 73: 145~160.
- Yang Kuifeng, Fan Hongrui, Santosh M, Hu Fangfang, Wilde S A, Lan Tingguang, Lu Lina, Liu Yongsheng. 2012. Reactivation of the Archean lower crust: Implications for zircon geochronology, elemental and Sr-Nd-Hf isotopic geochemistry of late Mesozoic granitoids from northwestern Jiaodong Terrane, the North China Craton. *Lithos*, 146-147: 112~127.
- Yang Kuifeng, Jiang Peng, Fan Hongrui, Zuo Yabin. 2017. Tectonic transition from a compressional to extensional metallogenetic environment at ~120 Ma revealed in the Hushan gold deposit, Jiaodong, North China Craton. *Journal of Asian Earth Sciences*, 160: 408~425.
- Yang Liqiang, Deng Jun, Ge Liangsheng, Wang Qingfei, Zhang Jing, Gao Bangfei, Jiang Shaoping, Xu Hao. 2006. Review on metallogenetic age and genesis of Jiaodong gold deposit. *Progress in Natural Science*, 16(7): 797~802(in Chinese with English abstract).
- Yang Liqiang, Deng Jun, Wang Zhongliang, Zhang Liang, Guo Linnan, Song Mingchun, Zheng Xiaoli. 2014. Mesozoic gold metallogenetic system of the Jiaodong gold province, eastern China. *Acta Petrologica Sinica*, 30(9): 2447~2467(in Chinese with English abstract).
- Yang Liqiang, Deng Jun, Goldfarb R J, Zhang Jing, Gao Bangfei, Wang Zhongliang. 2014. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronological constraints on the formation of the Dayegezhuang gold deposit: New implications for timing and duration of hydrothermal activity in the Jiaodong gold province, China. *Gondwana Research*, 25(4): 1469~1483.
- Yang Liqiang, Deng Jun, Guo Linnan, Wang Zhongliang. 2016a. Origin and evolution of ore fluid, and gold-deposition processes at the giant Taishang gold deposit, Jiaodong Peninsula, eastern China. *Ore Geology Reviews*, 72: 585~602.
- Yang Liqiang, Guo Linnan, Wang Zhongliang, Zhao Rongxin, Song Mingchun, Zheng Xiaoli. 2016b. Timing and mechanism of gold mineralization at the Wang'ershan gold deposit, Jiaodong Peninsula, eastern China. *Ore Geology Reviews*, 88: 491~510.
- Yang Qiongyan. 2013. Mesozoic magmatism and gold metallogenetic dynamics of Linglong gold deposit in Jiaodong. Master's thesis of China University of Geosciences (Beijing)(in Chinese with English abstract).
- Yang Shiwang. 1986. On the strata of Jiaodong Group, gold source bed and stratabound properties of gold deposits in the northwest of Jiaodong Peninsula. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 16(7): 39~49(in Chinese with English abstract).
- Yang Zhenyi, Yu Xiaowei, Zhang Wen, Wang Ligong, Wang Qiaoyun, Guo Ruipeng. 2020. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age and its significance of sericite in pyrite sericite in Sanshandao gold deposit in Northwest of Shandong Province. *Shandong Land and Resources*, 36(7): 1~8(in Chinese with English abstract).
- Yu Xuefeng, Li Hongkui, Shan Wei. 2012. Study on coupling between Yanshanian tectonic thermal events and gold mineralization in Jiaodong Ore Concentrating Area in Shandong Province. *Acta Geologica Sinica* 86 (12): 1946 ~ 1956 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Zhongzheng, Li Zhanke, Zhao Xinfu, Sun Huashan, Qiu Huaning, Li Jianwei. 2019. New constraints on the genesis of the giant Dayegezhuang gold (silver) deposit in the Jiaodong district, North China Craton. *Ore Geology Reviews*, 112: 103038.
- Zartman R E, Doe B R. 1981. Lumbo tectonics the model. *Tectonophysics*, 75: 135~162.
- Zeng Qingdong, Shen Yuanchao, Liu Tiebing, Zhang Lianchang. 2002. Sulfur and lead isotope geochemistry of the Fayunkuang gold deposit in the Jiaolai basin. *Deposit Geology*, 21: 759~762
- Zhai Mingguo, Zhu Rixiang, Liu Jianming, Meng Qingren, Hou Quanlin, Hu Shengbiao, Li Zhong, Zhang Hongfu, Liu Wei. 2003. Key time limit of Mesozoic tectonic regime transition in eastern North China. *Science China(Series D)*, 33(10): 913~920(in Chinese with English abstract).
- Zhai Mingguo, Fan Hongrui, Yang Jinhuai, Miao Laicheng. 2004. Large-scale cluster of gold deposits in East Shandong: Anorogenic metallogenesis. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 85~98(in Chinese with English abstract).
- Zhang Chao, Liu Yu, Liu Xiangdong, Feng Jianqiu, Huang Tao, Zhang Qing, Wang Xudong. 2014. Characteristics of sulfur isotope geochemistry of the Xincheng gold deposit, Northwest Jiaodong, China. *Acta Petrologica Sinica*, 30(9): 2495~2506 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jianan. 2012. Discussion on mineralization enrichment law and genesis of Jiaoja gold deposit in Laizhou, Shandong Province. Master's thesis of Jilin University(in Chinese with English abstract).
- Zhang Jianfang, Zhang Gangyang. 2009. A summary of the application of lead isotope to study on ore deposits and ore exploration. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 24(4): 322~328(in Chinese with English abstract).
- Zhang Juan, Zhao Zifu, Zheng Yongfei, Dai Mengning. 2010. Postcollisional magmatism: Geochemical constraints on the petrogenesis of Mesozoic granitoids in the Sulu orogen, China. *Lithos*, 119: 512~536.
- Zhang Liang. 2016. Thermochronology of gold metallogenetic system in northwestern Jiaotong. Doctoral Dissertation of China University of Geosciences (Beijing)(in Chinese with English abstract).
- Zhang Liang, Liu Yue, Li Ruihong, Huang Tao, Zhang Ruizhong, Chen Binghan, Li Jinkui. 2014. Lead isotope geochemistry of dayegezhuang gold deposit, Jiaodong Peninsula, China. *Acta Petrologica Sinica*, 30(9): 2468~2480(in Chinese with English abstract).
- Zhang Liang, Weinberg F R, Yang Liqiang, Groves D I, Sai Shengxun, Matchan E, Phillips D, Kohn B P, Miggins D P,

- Liu Yue, Deng Jun. 2020. Mesozoic orogenic gold mineralization in the Jiaodong Peninsula, China: A focused event at 120 ± 2 Ma during cooling of pregold granite intrusions. *Economic Geology*, 115(2): 415~441.
- Zhang Ligang. 1988. Lead isotopic compositions of feldspar and ore and their geologic significance. *Mineral Deposits*, 7(2): 55~64 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Ming, Tan Jun, Wang Huaihong, Wang Yongjun, Liu Xiaoyang, Gan Jinrong, Wang Zhihua. 2019. Sulfur and lead isotopic compositions of the Fanjiazhuang gold deposit and their implications for sources of ore-forming materials, Shandong Province. *Geological Science and Technology Information*, 38 (4): 124~133 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qunxi, Sun Zhongshi. 2003. Tentative discussion on mantle fluids in the Xiadian gold deposit, Shandong Province. *Acta Geoscientia Sinica*, 24(2): 127~131 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Ruizhong, Wang Zhongliang, Wang Sirui, Liu Yu, Qin Wenkai. 2016. Metallogenic mechanism of Dayingezhuang gold deposit, northwestern Jiaodong Peninsula: Geochemistry constrains from the gold bearing pyrite typomorph and sulfur isotope. *Acta Petrologica Sinica*, 32 (8): 2451~2464 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Xiaouo, Cawood P A, Wilde S A, Liu Ruqi, Song Hailin, Li Wen, Snee L W. 2003. Geology and timing of mineralization at the Cangshang gold deposit, north-western Jiaodong Peninsula, China. *Mineralium Deposita*, 38: 141~153.
- Zhang Zhigang, Ning Zhenguo, Xu Kemin. 2020. Chronological characteristics and geological significance of SHRIMP U-Pb of sedimentary tuff in Yangjiazhuang Formation of Laiyang Group in Jiaolai basin. *Shandong Land and Resources*, 36(6): 9~13.
- Zhang Zhuru, Chen Shijia. 1999. Super large gold deposit exploration perspective in Jiaolai basin of Jiaodong gold metallogenetic domain. *Geochemistry*, 28 (3): 203~212.
- Zhang Yidong. 2018. Study on deep geological characteristics and genetic mechanism of shuiwangzhuang gold deposit in Jiaodong. Master's thesis of Hebei University of Geosciences (in Chinese with English abstract).
- Zhang Xu. 2012. Study on genetic mineralogy and metallogenic model of Jinyiling gold deposit in Zhaoyuan, Shandong Province. Master's thesis of China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese with English abstract).
- Zhao Guangtao, Wang Dezi, Cao Qinchen. 1997. The geochemistry and genesis of the Laoshan granitoids, Shandong Province. *Geological Journal of Universities*, 3(1): 1~15 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Rui. 2016. Tectonic evolution and gold mineralization in Jiaodong Peninsula. Doctoral dissertation of China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese with English abstract).
- Zheng Peixi, Sun Zhongshi, Zhou Yan, Wang Tiefu, Zhang Yanjie. 2006. Lead and sulfur isotope geochemical characteristics of the Lingqueshan gold deposit in Zhaoyuan, Shandong Province. *Jilin Geology*, 25 (1): 12~16 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Jianping, Lu Fengxiang. 1996. Paleomantle fluid and its meaning in the evolution of continental craton mantle. *Earth Science Frontiers*, 3(3-4): 187~194 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Ran. 2018. Study on genetic mineralogy of Liaoshang gold deposit in Shandong Province. Master's thesis of China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese with English abstract).
- Zhou Qifeng. 2010. Study on genetic mineralogy and deep prospect of Yinggezhuang gold deposit in Rushan, Jiaodong. Master's thesis of China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese with English abstract).
- Zhou Xinhua, Yang Jinhui, Zhang Lianchang. 2002. The formation of super large gold deposits in Jiaodong and the deep lithospheric process of North China continent in Mesozoic. *Science China (Series D)*, 32(Supplement): 11~20 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Rixiang, Fan Hongrui, Li Jianwei, Meng Qingren, Li Shengrong, Zeng Qingdong. 2015. Decratonic gold deposits. *Science China Earth Sciences*, 58: 1523~1537.
- Zhu Zhiyong, Jiang Shaoyong, Mathur R, Cook N J, Yang Tao, Wang Meng, Ma Liang, Ciobanu C L. 2017. Iron isotope behavior during fluid/rock interaction in K-feldspar alteration zone—a model for pyrite in gold deposits from the Jiaodong Peninsula, East China. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 222: 94~116.

参 考 文 献

- 蔡亚春, 范宏瑞, 胡芳芳, 杨奎峰, 蓝廷广, 于虎, 柳玉明. 2011. 胶东胡八庄金矿成矿流体-稳定同位素及成矿时代研究. *岩石学报*, 27(5): 1341~1351.
- 陈炳翰. 2017. 牟乳金矿带成矿作用地球化学. 中国地质大学(北京)博士学位论文.
- 陈昌昕. 2015. 山东郭城土堆-沙旺金矿床地质特征及矿床成因研究. 吉林大学硕士学位论文.
- 陈海燕. 2010. 胶东金青顶金矿成因矿物学与深部远景研究. 中国地质大学(北京)硕士学位论文.
- 陈光远, 孙岱生, 邵伟. 1993. 胶东郭家岭花岗闪长岩成因矿物学与金矿化. 武汉: 中国地质大学出版社, 1~242.
- 陈衍景, Pirajno F, 赖勇, 李超. 2004. 胶东矿集区大规模成矿时间和构造环境. *岩石学报*, 20(4): 907~922.
- 陈扬. 2015. 山东牟平宋家沟金矿床地质特征及成因研究. 吉林大学硕士学位论文.
- 陈玉民, 范宏瑞, 崔仑. 2016. 胶西北大规模金成矿作用与成因模型. 北京: 地质出版社, 1~336.
- 程韩宇. 2019. 胶东玲珑金矿和焦家金矿地球化学对比研究. 中国地质大学(北京)硕士学位论文.
- 戴雪灵. 2012. 山东招远大尹格庄金矿成岩成矿机理研究. 中南大学博士学位论文.
- 丁正江, 孙丰月, 刘建辉, 刘殿浩, 李碧乐, 张丕建, 钱烨, 李杰. 2012. 胶东邢家山钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素测年及其地质意义. *岩石学报*, 28(9): 2721~2732.
- 丁正江, 孙丰月, 常洪华. 2015. 胶东中生代贵金属及有色金属矿床成矿规律研究. 北京: 地质出版社, 1~190.
- 杜佛光, 姜耀辉, 青龙, 倪春雨. 2019. 胶东夏甸金矿成矿流体及成矿物质来源: H-O、He-Ar、Sr-Nd-Pb 同位素证据. *高校地质学报*, 25(5): 686~696.
- 范宏瑞, 胡芳芳, 杨进辉, 沈坤, 翟明国. 2005. 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. *岩石学报*, 21(5): 1317~1328.
- 高太忠, 赵伦山, 杨敏之. 2001. 山东牟乳金矿带成矿演化机理探讨. *大地构造与成矿学*, 25(2): 155~160.
- 关康, 罗镇宽, 苗来成, 黄佳展. 1997. 郭家岭型花岗岩地球化学特征与金矿化的关系. *地质找矿论丛*, 12(4): 1~8.
- 胡芳芳. 2006. 胶东昆嵛山地区中生代构造体制转折期岩浆活动、成矿流体演化与金矿床成因. 中国科学院地质与地球物理研究所博士学位论文.
- 胡芳芳, 范宏瑞, 杨奎峰, 沈坤, 翟明国, 金成伟. 2007. 胶东牟平邓格庄金矿床流体包裹体研究. *岩石学报*, 23(9): 2155~2164.
- 黄德业. 1994. 胶东金矿成矿系列硫同位素研究. *矿床地质*, 13 (1): 75~87.
- 侯明兰, 丁昕, 蒋少涌. 2004. 胶东蓬莱河西金矿床铅、硫同位素地球化学特征. *地球学报*, 25(2): 145~150.
- 侯明兰, 蒋少涌, 姜耀辉, 凌洪飞. 2006. 胶东蓬莱金成矿区的 S-Pb 同位素地球化学和 Rb-Sr 同位素年代学研究. *岩石学报*, 22 (10): 2525~2533.
- 桂飞. 2014. 山东莱州三山岛金矿床矿化富集规律及矿床成因探讨. 吉林大学硕士学位论文.
- 郭春影. 2009. 胶东三山岛-仓上金矿带构造-岩浆-流体成矿系

- 统. 中国地质大学(北京)博士学位论文.
- 郭林楠. 2016. 胶东型金矿床成矿机理. 中国地质大学(北京)博士学位论文.
- 姜盛洪, 王长明, 赵海, 贺昕宇, 夏锐, 郭春影, 赖相濡, 欧阳学财. 2015. 新城金矿稳定同位素地球化学特征及成矿物质来源探讨. 地质与勘探, 51(1): 68~78.
- 姜晓辉, 范宏瑞, 胡芳芳, 杨奎锋, 蓝廷广, 郑小礼, 金念宪. 2011a. 胶东三山岛金矿中深部成矿流体对比及矿床成因. 岩石学报, 27(5): 1327~1340.
- 姜晓辉, 范宏瑞, 胡芳芳, 杨奎锋, 孙宗锋, 孙之夫. 2011b. 胶西北留村金矿成矿流体特征与矿床成因. 矿床地质, 30(3): 511~521.
- 蓝廷广, 范宏瑞, 胡芳芳, 杨奎锋, 刘玄, 刘振豪, 宋玉波, 于虎. 2010. 胶东石城金矿床成矿流体特征及成矿作用. 岩石学报, 26(5): 1512~1522.
- 李国华, 丁正江, 纪攀, 李勇, 唐俊智, 刘莉莎. 2016. 胶莱盆地东北缘地区金矿特征及找矿方向. 地质与勘探, 52(6): 1029~1036.
- 李洪奎, 时文革, 李逸凡, 李璐邑, 韩代成, 曹丽丽, 刘继梅. 2013. 山东胶东地区金矿成矿时代研究. 黄金科学技术, 21(3): 1~9.
- 李洪奎, 李逸凡, 梁太涛, 李大鹏, 楚传源, 耿科. 2017. 山东胶东型金矿的概念及其特征. 黄金科学技术, 25(1): 1~8.
- 李红梅, 魏俊浩, 王启, 于海涛, 刘国春, 黄祥芝. 2010. 山东土堆沙旺金矿床同位素组成特征及矿床成因讨论. 地球学报, 31(6): 791~802.
- 李建威, 毕诗健, Vasconcelos P. 2010. 胶东苏鲁地体范家埠金矿成矿作用与矿床成因浅析: 兼与胶北地体金矿对比. 高校地质学报, 16(2): 125~142.
- 李建中. 2012. 山东夏甸道北庄子金矿成矿地球化学模型与成矿预测. 桂林理工大学硕士学位论文.
- 李士先, 刘长春, 安郁宏, 王为聪, 黄太岭. 2007. 胶东金矿地质. 北京: 地质出版社, 1~423.
- 李太兵, 李永光, 王先林, 宋耕海. 2015. 山东金山金矿床成矿流体特征和成矿作用. 黄金科学技术, 23(6): 10~16.
- 李旭芬. 2011. 胶东牟平-乳山金矿带金青顶金矿床成因与找矿方向研究. 长安大学博士学位论文.
- 李逸凡, 李洪奎, 陈国栋, 耿科, 曹丽丽, 梁太涛. 2019. 论山东胶东金矿形成的挤压-伸展构造环境. 大地构造与成矿学, 43(6): 1117~1132.
- 李兆龙, 杨敏之. 1993. 胶东金矿床地质地球化学. 天津: 天津科学技术出版社, 1~300.
- 林文蔚, 赵一鸣, 赵国红, 赵维刚. 1999. 胶东金矿铅同位素地质特征及成矿年代讨论. 长春科技大学学报, 29(2): 116~121.
- 刘春华, 孙景贵, 郑常青. 1997. 伟德山岩体岩浆混合作用的岩相学标志. 辽宁地质, (2): 46~52.
- 刘建明, 叶杰, 徐九华, 孙景贵, 沈昆. 2003. 胶东金矿床碳酸盐矿物的碳-氧和锶-钕同位素地球化学研究. 岩石学报, 19(4): 775~784.
- 刘玖芬. 2012. 胶东西涝口矿区金矿样品加工、测试研究及其意义. 长安大学硕士学位论文.
- 刘晓阳, 谭俊, 王怀洪, 王勇军, 甘觐荣, 王治华, 张铭. 2018. 胶东范家庄地区晚侏罗世低镁埃达克质花岗岩成因及构造背景. 地球科学, 45(2): 451~466.
- 刘跃. 2015. 胶东早白垩世早期新城花岗岩成因及其成矿贡献. 中国地质大学(北京)硕士学位论文.
- 陆丽娜, 范宏瑞, 胡芳芳, 杨奎锋, 郑小礼, 赵海. 2011. 胶西北新城金矿成矿流体与矿床成因. 地质与勘探, 30(3): 522~532.
- 罗贤冬. 2012. 胶北地块与金矿有关的侵入岩岩石学及地球化学研究. 中国科学技术大学硕士学位论文.
- 罗镇宽, 苗来成. 2002. 胶东招莱地区花岗岩和金矿床. 北京: 冶金工业出版社, 1~157.
- 吕文杰. 2010. 胶东烟台市福山区杜家崖金矿床成因矿物学与找矿. 中国地质大学(北京)博士学位论文.
- 马广刚. 2011. 胶东玲珑金矿成因矿物学与深部远景研究. 中国地质大学(北京)硕士学位论文.
- 毛景文, 李晓峰, 张荣华. 2005. 深部流体成矿系统. 北京: 地质出版社, 1~365.
- 苗来成, 罗镇宽, 关康, 黄佳展. 1998. 玲珑花岗岩中锆石的离子质谱 U-Pb 年龄及其岩石学意义. 岩石学报, 14(2): 198~206.
- 庞绪成. 2005. 山东焦家金矿床地球化学特征及深部矿体预测研究. 成都理工大学博士学位论文.
- 沈渭洲. 1987. 稳定同位素地质. 北京: 原子能出版社, 1~425.
- 税棚. 2019. 胶莱盆地东北缘郭城-辽上金矿地质特征及成因机制. 中国地质大学(北京)硕士学位论文.
- 宋雪龙, 李俊建, 李秀章, 党智财, 赵泽霖, 于成鵠. 2014. 胶东金矿床成矿流体、稳定同位素及成矿时代研究进展. 地质找矿论丛, 29(1): 13~19.
- 宋明春. 2014. 胶东型金矿及其成矿的构造岩浆背景. 矿床地质, (S1): 131~132.
- 宋明春, 王沛成. 2003. 山东省区域地质. 济南: 山东省地图出版社, 1~970.
- 宋明春, 伊丕厚, 崔书学, 徐军祥, 周明岭, 姜洪利, 黄太岭, 焦秀美, 万国普, 曹春国. 2013a. 胶东金矿“热隆-伸展”成矿理论及其找矿意义. 山东国土资源, 29(7): 1~12.
- 宋明春, 宋英昕, 沈昆, 姜洪利, 李世勇. 2013b. 胶东焦家深部金矿床地球化学特征及有关问题讨论. 地球化学, 42(3): 274~289.
- 宋明春, 宋英昕, 李杰, 李世勇. 2015. 胶东与白垩纪花岗岩有关的金及有色金属矿床成矿系列. 大地构造与成矿学, 39(5): 828~843.
- 宋玉财, 胡文瑄, 连国建, 高小康. 2004. 胶东大庄子金矿微量元素及 Pb-S 同位素地球化学研究. 南京大学学报(自然科学), 40(6): 659~673.
- 孙丽伟. 2015. 胶东乳山蓬家夼金矿床地质特征及矿化富集规律研究. 吉林大学硕士学位论文.
- 孙兴丽. 2013. 山东胶莱盆地西涝口金矿床的特征和成因. 中国地质大学(北京)博士学位论文.
- 谭俊. 2009. 胶东郭城断裂带岩浆演化过程: 对岩石圈演化及金成矿的制约. 中国地质大学(武汉)博士学位论文.
- 谭俊, 魏俊浩, 谭文娟, 郭大招. 2006. 同源岩浆成因金矿成矿时差的统计研究. 地质论评, 52(1): 54~62.
- 唐俊. 2005. 胶东地块变质岩同位素地球化学研究. 中国科学技术大学博士学位论文.
- 唐俊, 郑永飞, 吴元保, 查向平, 周建波. 2004. 胶东地块东部变质岩锆石 U-Pb 定年和氧同位素研究. 岩石学报, 20(5): 1039~1062.
- 田杰鹏, 田京祥, 郭瑞朋, 韦昌山, 王立功, 于晓卫, 李秀章, 黄永波, 张春池, 刘汉栋, 祝培刚. 2016. 胶东型金矿: 与壳源重熔层状花岗岩和壳幔混合花岗闪长岩有关的金矿. 地质学报, 90(5): 987~996.
- 王朝. 2013. 郊庐断裂带构造特征及其对矿产的控制与影响: 以焦家断裂为例. 合肥工业大学硕士学位论文.
- 王德滋, 周新民. 2002. 中国东南部晚中生代花岗岩火山-侵入杂岩成因与地壳演化. 北京: 科学出版社, 1~297.
- 王枫. 2012. 胶东大尹格庄金矿黄铁矿成因矿物学与深部远景研究. 中国地质大学(北京)硕士学位论文.
- 王佳良, 孙丰月, 王力, 丁正江, 黄维平, 胡伟华. 2013. 山东栖霞马家窑金矿床地质特征及成因探讨. 黄金, 34(6): 14~20.
- 王金辉. 2020. 胶西北金成矿区 He、Ar 同位素组成及成矿流体来源研究. 岩石矿物学杂志, 39(2): 172~182.
- 王君亭, 孙宗锋, 朱兆庆. 2005. 山东省莱州市新立金矿床成矿规律研究及成矿预测. 北京: 地质出版社, 1~105.
- 王来明, 任天龙, 刘汉栋, 宁振国, 于晓卫. 2021. 胶东地区中生代花岗岩划分. 山东国土资源, 37(8): 1~14.
- 王力. 2011. 华北地块脉状金矿床区域成矿模式研究. 吉林大学博士学位论文.
- 王义文, 朱奉三, 宫润潭. 2002. 构造同位素地球化学—胶东金矿集中区硫同位素再研究. 黄金, (04): 1~16.
- 王中亮. 2012. 焦家金矿田成矿系统. 中国地质大学(北京)博士学位论文.

- 王中亮, 赵荣新, 张庆, 鲁辉武, 李京濂, 程蔚. 2014. 胶西北高 Ba-Sr 郭家岭型花岗岩浆混合成因: 岩石地球化学与 Sr-Nd 同位素约束. *岩石学报*, 30(9): 2595~2608.
- 魏菊英, 王关玉. 1988. 同位素地球化学. 北京: 地质出版社, 1~166.
- 卫清, 范宏瑞, 蓝廷广, 刘玄, 姜晓辉, 文博杰. 2015. 胶东寺庄金矿床成因: 流体包裹体与石英溶解度证据. *岩石学报*, 31(4): 1049~1062.
- 夏林. 2003. 胶东中生代金成矿期区域流体的构造物理化学研究. 北京: 中国地质科学院博士学位论文.
- 辛洪波. 2005. 胶东谢家沟金矿与焦家金矿地质特征与成因对比. 中国地质大学(北京)博士学位论文.
- 徐贵忠, 应汉龙, 周瑞, 余宏全, 闫臻, 王艺芬, 李兵. 2002. 论胶西北河西金矿床成因及其动力学条件. *矿床地质*, 21(3): 246~255.
- 薛建玲, 李胜荣, 庞振山, 陶文, 孙文燕, 陈辉, 张运强. 2018. 胶东邓格庄金矿成矿流体、成矿物质来源与矿床成因. *岩石学报*, 34(5): 1453~1468.
- 薛建玲, 庞振山, 李胜荣, 陈辉, 孙文燕, 陶文, 姚磊, 张运强. 2019. 胶东邓格庄金矿床成因: 地质年代学和同位素体系制约. *岩石学报*, 35(5): 1532~1550.
- 严育通, 李胜荣. 2011. 胶东流口金矿黄铁矿成因矿物学及稳定同位素研究. *矿物岩石*, 31(4): 58~66.
- 闫峻, 陈江峰. 2007. 鲁东青山组中性火山岩的地球化学特征: 岩石成因和地质意义. *地球化学*, 36(1): 1~10.
- 杨进辉, 周新华, 陈立辉. 2000. 胶东地区破碎带蚀变岩型金矿时代的测定及其他地质意义. *岩石学报*, 16(3): 454~458.
- 杨进辉, 朱美妃, 刘伟, 翟明国. 2003. 胶东地区郭家岭花岗闪长岩的地球化学特征及成因. *岩石学报*, 19(4): 692~700.
- 杨立强, 邓军, 葛良胜, 王庆飞, 张静, 高帮飞, 江少卿, 徐浩. 2006. 胶东金矿成矿时代和矿床成因研究综述. *自然科学发展*, 16(7): 797~802.
- 杨立强, 邓军, 王中亮, 张良, 郭林楠, 宋明春, 郑小礼. 2014. 胶东中生代金成矿系统. *岩石学报*, 30(9): 2447~2467.
- 杨敏之, 吕古贤. 1996. 胶东绿岩带金矿地质地球化学. 北京: 地质出版社, 1~232.
- 阳琼艳. 2013. 胶东玲珑金矿中生代岩浆作用与金成矿动力学研究. 中国地质大学(北京)硕士学位论文.
- 杨士望. 1986. 论胶东半岛西北部胶东群地层、金的矿源层和金矿床的层控性质(续). *地质找矿论丛*, 16(7): 39~49.
- 杨振毅, 尹晓卫, 张文, 王立功, 王巧云, 郭瑞朋. 2020. 胶西北三山岛金矿黄铁绢英岩中绢云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄及其意义. *山东国土资源*, 36(7): 1~8.
- 杨忠芳, 徐景奎, 赵伦山. 1998. 胶东区域地壳演化与金成矿作用地球化学. 北京: 地质出版社, 1~157.
- 叶天竺, 吕志成, 庞振山. 2014. 勘查区找矿预测理论与方法(总论). 北京: 地质出版社, 232~249.
- 于学峰, 李洪奎, 单伟. 2012. 山东胶东矿集区燕山期构造热事件与金矿成矿耦合探讨. *地质学报*, 86(12): 1946~1956.
- 曾庆栋, 沈远超, 刘铁兵, 张连昌. 2002. 胶莱盆地发云夼金矿床硫-铅同位素地球化学. *矿床地质*, 21: 759~762.
- 翟明国, 朱日祥, 刘建明, 孟庆任, 侯泉林, 胡圣标, 李忠, 张宏福, 刘伟. 2003. 华北东部中生代构造体制转折的关键时限. *中国科学(D辑)*, 33(10): 913~920.
- 翟明国, 范宏瑞, 杨进辉, 苗来成. 2004. 非造山带型金矿-胶东型金矿的陆内成矿作用. *地学前缘*, 11(1): 85~98.
- 张潮, 刘育, 刘向东, 冯建秋, 黄涛, 张庆, 王旭东. 2014. 胶西北新城金矿床硫同位素地球化学. *岩石学报*, 30(9): 2495~3006.
- 张佳楠. 2012. 山东莱州焦家金矿床矿化富集规律及矿床成因探讨. 吉林大学硕士学位论文.
- 张建芳, 张刚阳. 2009. 铅同位素在矿床研究和找矿勘探中的应用综述. *地质找矿论丛*, 24(4): 322~328.
- 张理刚. 1988. 长石铅和矿石铅同位素组成及其地质意义. *矿床地质*, 7(2): 55~64.
- 张良. 2016. 胶西北金成矿系统热年代学. 中国地质大学(北京)博士学位论文.
- 张良, 刘跃, 李瑞红, 黄涛, 张瑞忠, 陈炳翰, 李金奎. 2014. 胶东大尹格庄金矿床铅同位素地球化学. *岩石学报*, 30(9): 2468~2480.
- 张铭, 谭俊, 王怀洪, 王勇军, 刘晓阳, 甘觐荣, 王治华. 2019. 山东范家庄金矿床 S-Pb 同位素组成及对成矿物质来源的示踪. *地质科技情报*, 38(4): 124~133.
- 张群喜, 孙忠实. 2003. 山东夏甸金矿幔源流体初探. *地球学报*, 24(2): 127~131.
- 张然. 2018. 山东省辽上金矿成因矿物学研究. 中国地质大学(北京)硕士学位论文.
- 张瑞忠, 王中亮, 王偲瑞, 刘育, 秦文凯. 2016. 胶西北大尹格金矿床成矿机理_载金黄铁矿标型及硫同位素地球化学约束. *岩石学报*, 32(8): 2451~2464.
- 张旭. 2012. 山东招远金翅岭金矿成因矿物学与成矿模式研究. 中国地质大学(北京)硕士学位论文.
- 张义东. 2018. 胶东水旺庄金矿床深部地质特征及成因机制研究. 河北地质大学硕士学位论文.
- 张志刚, 宁振国, 许克民. 2020. 胶莱盆地莱阳群杨家庄组沉凝灰岩 SHRIMP U-Pb 年代学特征及地质意义. *山东国土资源*, 36(6): 9~13.
- 张竹如, 陈世桢. 1999. 胶东金成矿域胶莱盆地中超大型金矿床找矿远景. *地球化学*, 28(3): 203~212.
- 赵广涛, 王德滋, 曹钦臣. 1997. 崂山花岗岩岩石地球化学与成因. *高校地质学报*, 3(1): 1~15.
- 赵睿. 2016. 胶东半岛构造演化及金成矿作用. 中国地质大学(北京)博士学位论文.
- 郑培玺, 孙忠实, 周燕, 王铁夫, 张延洁. 2006. 山东招远灵雀山金矿床铅/硫同位素地球化学特征. *吉林地质*, 25(1): 12~16.
- 郑建平, 路风香. 1996. 古地慢流体及其在大陆克拉通地幔演化中的意义——以华北地台为例. *地学前缘*, 3(3-4): 187~194.
- 周起凤. 2010. 胶东乳山英格庄金矿成因矿物学与深部远景研究. 中国地质大学(北京)硕士学位论文.
- 周新华, 杨进辉, 张连昌. 2002. 胶东超大型金矿的形成与中生代华北大陆岩石圈深部过程. *中国科学(D辑)*, 32(增刊): 11~20.
- 朱炳泉. 1998. 地球科学中同位素体系理论与应用——兼论中国大陆壳幔演化. 北京: 科学出版社, 1~330.

The relationship between Mesozoic granite, gold deposits and the division of metallogenic period in eastern Shandong

YU Xiaowei¹⁾, WANG Laiming^{* 1)}, LIU Handong¹⁾, ZHANG Wen¹⁾, GUO Ruipeng¹⁾, REN Tianlong¹⁾, HOU Jianhua¹⁾, YANG Zhenyi, WANG Ligong¹⁾, LIANG Taitao²⁾

1) Shandong Institute of Geological Survey, Jinan, Shandong 250014, China;

2) Shandong Institute of Geological Sciences, Jinan, Shandong 250013, China

* Corresponding author: wanglm1952@163.com

Abstract

The Jiaodong Gold Mine Cluster is a world-famous gold resource base. By the end of 2020, the total amount of gold resources identified reached 5400 tons. The Mesozoic granites in the Jiaodong area are widely distributed with many rock types and closely related to gold deposits. According to the division method of age + magmatic event + lithology, the Mesozoic granites widely distributed in Jiaodong region are divided into the Late Jurassic Linglong stage, the early Early Cretaceous Guojialing stage, the Late Early Cretaceous Weideshan stage and the Laoshan stage. The relationship between the above four stages of granites and gold deposits, including spatial distribution, source of ore-forming materials, and age of formation are studied. The sulfur isotope of gold ore is similar to the Linglong granite and the Guojialing granite, especially overlapping with the Linglong granite. The lead of gold ore is mainly the reactivated lower crust lead, i. e. the Precambrian crystalline basement lead, with the addition of mantle-derived lead. The data of Sr-Nd allotrope of gold ore mostly overlaps with the Precambrian metamorphic basement, the Linglong granite, the Guojialing granite and the Mesozoic vein rock, suggesting that Sr-Nd mainly comes from the crustal source area. The Au elements of the Jiaodong gold deposit may come from the Jiaodong magmatic rock group, the Neo-Archean TTG rocks, the Linglong granite and the Guojialing granite, mainly from the lower crust (initially the Precambrian crystalline basement of the North China plate and the Yangtze plate), with the addition of crust-mantle interaction mantle materials. Spatially, 88% of the gold resources are hosted in the Linglong granite, 7% in the Guojialing granite, and only 0.1% in the Weideshan and the Laoshan granites. In terms of time, the formation time of granite in Linglong stage of Late Jurassic, Guojialing stage of Early Cretaceous, Weideshan stage and Laoshan stage of Late Cretaceous are 166~146 Ma, 135~123 Ma, 123~110 Ma, 118~108 Ma respectively, and the age of gold deposit is 162~146 Ma, 133~120 Ma, 120~105 Ma, 110~105 Ma, which have good corresponding relationship. The mineralization events are generally synchronous or slightly lagged behind the homologous magmatic activities, i. e. the 162~146 Ma mineralization period corresponds to the emplacement event of the Linglong period remelted granite, the 133~120 Ma mineralization period corresponds to the emplacement event of the Guojialing period granite, the 120~105 Ma mineralization period corresponds to the Weideshan period and the 110~105 Ma mineralization period corresponds to the Laoshan period granite emplacement event. Therefore, the Jiaodong gold mineralization period can be divided into the Linglong gold mineralization period, the Guojialing gold mineralization period, the Weideshan gold and polymetallic mineralization period and the Laoshan molybdenum mineralization alteration period.

Key words: Mesozoic granite; gold mine; metallogenic stage; Jiaodong area