

文章编号: 1006-6616 (2016) 03-778-16

玲珑金矿田黑云母二长岩的发现 及其 Ar-Ar 热年代学意义

申玉科¹, 郭 涛¹, 杨玉泉², 陈正乐¹, 韦昌山¹, 孙华山³

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

2. 山东招金集团公司, 山东 招远 265400;

3. 中国地质大学, 武汉 430074)

摘要: 胶东玲珑金矿田地表以下 2070 m 处发现黑云母二长岩, 不仅可以探索该区金矿成矿物质的来源, 而且对研究矿床成因提供了新的证据。黑云母二长岩在胶东金矿集中区地表及其他钻孔岩芯中尚未见报道, 通过显微镜下观察、鉴定, 具有典型的二长结构。非金属矿物主要有斜长石、正长石、石英、黑云母和角闪石; 含有较多的金属矿物, 主要为原生的黄铁矿和磁铁矿等。黑云母的⁴⁰Ar-³⁹Ar 热年代学研究表明, 黑云母二长岩的成岩年龄为 123.7 ± 1.5 Ma, 晚于玲珑花岗岩、溧家河花岗岩和郭家岭花岗岩, 与玲珑金矿的形成年龄非常接近。尽管玲珑金矿矿体中的金属矿物并不一定直接来源于黑云母二长岩, 但从形成时间分析, 二者具有成因联系。黑云母二长岩在侵入过程中可能为金矿的形成提供成矿物质、成矿流体, 而且为成矿物质和成矿流体的运移提供能量及驱动力。因而可以推断, 黑云母二长岩的侵入与玲珑金矿成矿作用关系密切。

关键词: 玲珑金矿田; 黑云母二长岩; 成矿年龄; Ar-Ar 热年代学; 成矿物质来源
中图分类号: P597; P612 **文献标识码:** A

胶东金矿集区世界闻名, 在该区已发现金矿床 150 余处, 累计探明黄金资源储量约 4000 t^[1]。然而, 对该区金矿成矿物质来源, 经过几十年乃至上百年的不断研究与探索^[1-4], 仍未形成统一的结论。随着开采程度与钻探技术水平的提高, 招平、焦家、三山岛等三大成矿带深部找矿工作得以顺利开展^[5], 深部的一些地质现象不断被揭示出来, 为该区的地质科研提供了诸多便利条件。玲珑作为胶东地区的典型金矿田, 其深部找矿工作取得较大进展, 尤其是黑云母二长岩的发现, 为探索该区成矿物质的来源提供了新的证据。本文在编录部分钻孔岩芯的过程中, 在地表以下 2070 m 处发现了黑云母二长岩, 并采集了新鲜的黑云母二长岩样品进行显微镜下观察、鉴定, 确定了黑云母二长岩的结构构造与矿物组合特征, 利用岩石中黑云母进行⁴⁰Ar-³⁹Ar 阶段升温测年分析, 讨论了玲珑金矿田的成矿年龄与黑云母二长岩之间的关系, 初步探讨了玲珑金矿田及胶东其他金矿床的成矿物质来源问题。

收稿日期: 2016-06-16

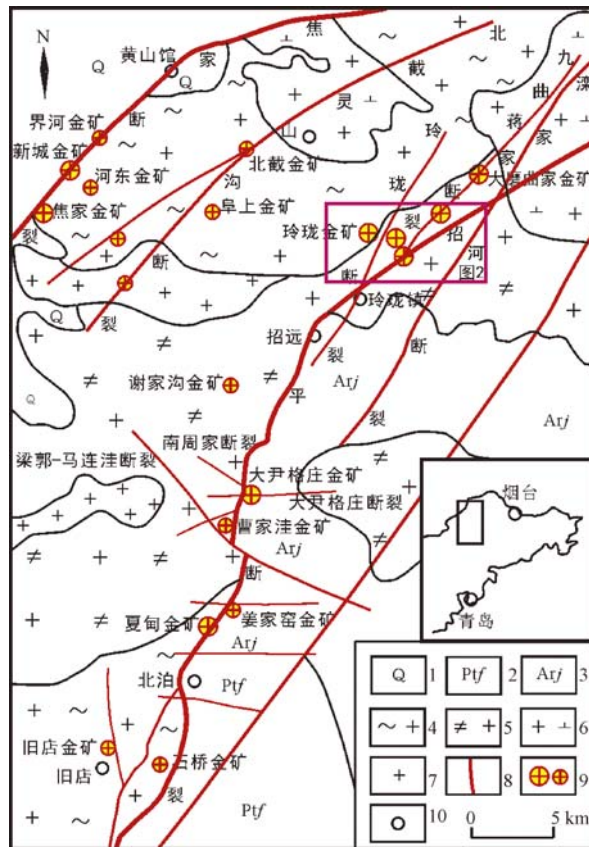
基金项目: 中国地质调查局地质调查工作项目 (12120113096300)

作者简介: 申玉科 (1966-), 男, 博士, 高级工程师, 从事矿田构造学研究。E-mail: shenyuke@126.com

1 矿田地质特征

玲珑金矿田位于胶东西北部金矿集中区招平断裂带的北段, 由玲珑西山、玲珑东山、九曲一大开头、岭南、罗山、阜山、东风等矿段或矿床组成^[6-8], 矿体产于玲珑花岗岩和滦家河花岗岩岩体内^[9]。已探明大小金矿脉超过 500 条^[10]。区内既发育黄铁矿蚀变岩型矿化, 也发育黄铁矿石英脉型矿化^[11-16]。矿化受北东—北北东向断裂控制^[1], 金矿体多呈脉状或透镜体状, 以雁列式排列^[6,17]。粗略估计, 已采出的金金属量及目前保有储量总和接近 1000 t, 属世界级特大型金矿田。

区域范围内出露的基岩主要为中生代岩浆岩, 大致划分为三大类^[13-15,18]: 玲珑似片麻状黑云母花岗岩 (164 ~ 156 Ma)^[19-20]、滦家河中粗粒黑云母二长花岗岩 (153 ~ 150 Ma)^[21] 和郭家岭似斑状花岗岩闪长岩 (130 ~ 126 Ma)^[7,19,22-23]。除第四纪河流相沉积及胶东群斜角闪岩外, 其他的地层基本没有出露 (见图 1)。



1—第四系; 2—元古代地层; 3—太古代地层; 4—玲珑黑云母花岗岩; 5—滦家河二长花岗岩;
6—郭家岭花岗岩闪长岩; 7—艾山花岗岩; 8—断裂; 9—金矿床; 10—地名

图 1 招平断裂带、焦家断裂带主要金矿床分布图

Fig. 1 Location of the major gold deposits in Zhaoping fault and Jiaojia fault

玲珑金矿田范围内中基性和中酸性岩脉发育, 已发现各种大小岩脉 300 余条, 平均密度达到 10 条/km²^[43], 其走向大都为北东—北北东向, 由张扭性断裂构造控制, 最宽的闪长岩

脉超过 20 m, 剖面上表现为分支复合现象。玲珑矿田及其外围发育的岩脉类型多、成分杂, 主要有云煌岩、拉辉煌斑岩、闪斜煌斑岩、云斜煌斑岩、辉绿岩、闪长岩、闪长玢岩、花岗岩、花岗斑岩、细晶岩和伟晶岩等^[8~9,14,18,22,24], 多期、多类型中基性和中酸性脉岩的强烈频繁活动^[24]是深部岩浆活动与构造作用在浅表的表现形式。

玲珑金矿田范围内发育 3 条较大断裂构造, 一是破头青断裂^[14], 即招平断裂带的北段, 另外两条为玲珑断裂和九曲蒋家断裂^[7~8,17]。招平断裂为成矿前或成矿期形成的北东向、北北东向控矿断裂构造带 (见图 1), 在矿田范围内呈北东—北北东向, 是主要的控矿断裂带^[1,18]; 后两者则为成矿后形成的北北东向断裂构造带, 错断矿体或矿脉^[7,14]。破头青断裂的次级构造主要为张性、张扭性断裂, 部分控制脉岩的发育与延伸, 另一部分则控制矿体的就位与分布^[1]。

玲珑金矿田的控矿构造大致可划分为两大类, 即破头青断裂及其下盘的次一级的张性、张扭性断裂构造^[6,15] (见图 2)。由于断裂构造的规模和力学性质不同, 形成不同规模和不同类型的控矿空间^[16]。破头青断裂属压扭性结构面, 赋存黄铁矿碎裂蚀变岩型金矿体, 其下盘的多条次级断裂构造属张性、张扭性结构面, 富集黄铁石英脉型金矿体^[11]。平面上, 两类矿体走向大致平行; 剖面上, 倾向相反或相近。黄铁石英脉型矿体大多数发育于破头青断裂带的下盘。近年来, 通过钻探工程揭示, 在破头青断裂带的上盘也发现少量的黄铁石英脉型金矿体。虽然黄铁石英脉型金矿体与蚀变岩型矿体在产状、矿石的结构与构造等外在形式上有所差别, 但它们的围岩条件、围岩蚀变特征、矿石的矿物组成、成矿温度、成矿流体的来源^[25]、矿体的形成时代等方面都是相同或相近的, 是同一次成矿作用过程中, 成矿物质填充于不同构造空间的结果^[16~17]。

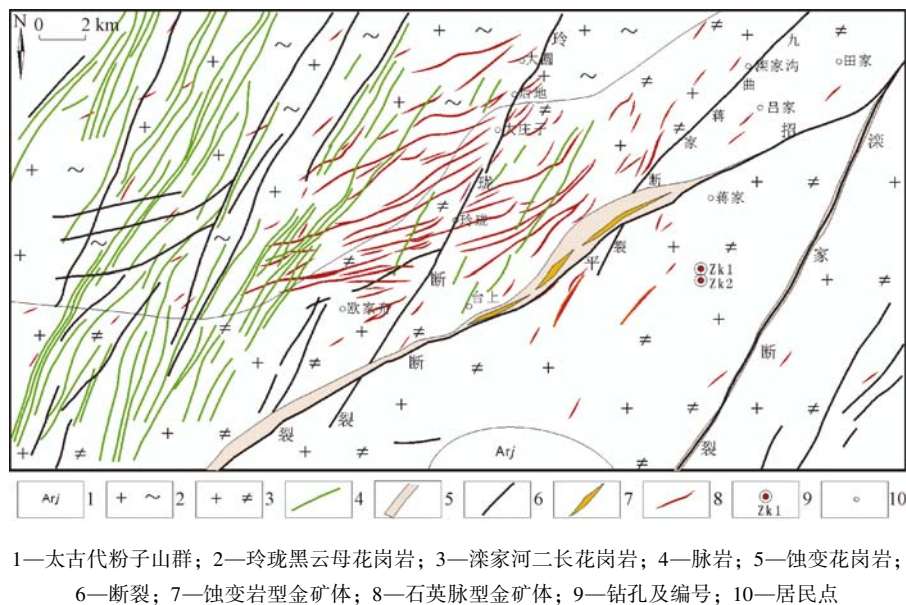


图 2 玲珑金矿田构造地质图

Fig. 2 Sketch map of structures and geology in Linglong Gold Field

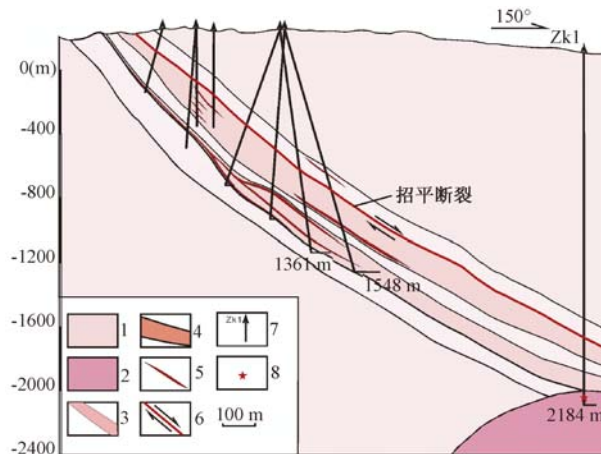
玲珑金矿田与胶东地区大部分金矿床 (田) 在矿物组成方面很相似^[16], 金属矿物以黄铁矿为主, 少量黄铜矿、方铅矿和闪锌矿^[1,9,15,17], 脉石矿物主要为石英、长石、绢云母、方解石等^[6,22]。金元素的富集程度与黄铁矿、黄铜矿及新生石英的关系密切^[7,22,26], 金品位

较高的部位, 黄铁矿、黄铜矿相对含量较高^[27], 硅化蚀变强度大。

2 样品采集及定年结果

2.1 黑云母二长岩的发现

笔者在编录玲珑矿田的一个约 2194 m 深的钻孔时, 在地表以下 2070 m 深处发现了黑云母二长岩 (见图 3), 黑云母二长岩岩芯长度 120 余米, 未见底; 同样, 在另一个与之水平相距约 360 m、深约 2374 m 的钻孔岩芯中也发现黑云母二长岩 (见图 2)。初步判断为侵入岩体, 其与上部的滦家河二长花岗岩之间为侵入接触关系。



1—玲珑黑云母花岗岩; 2—推测黑云母二长岩; 3—钾化花岗岩; 4—绢云母化-硅化花岗岩;
5—金矿体; 6—主断裂面及两盘运动方向; 7—钻孔及编号; 8—取样位置

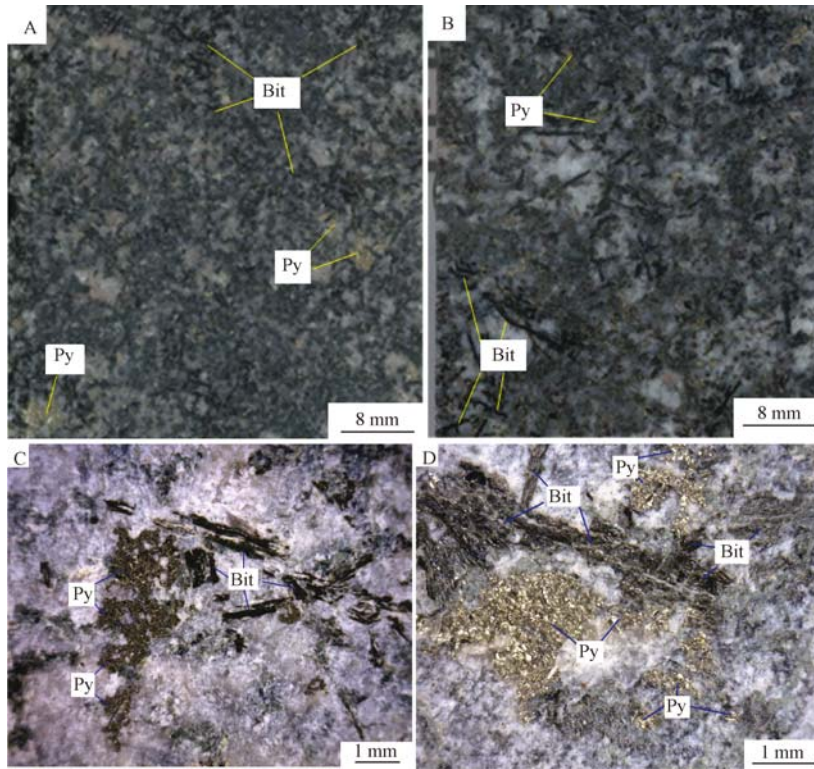
图 3 玲珑金矿田 72 线剖面及样品采集位置

Fig. 3 Section of the Line 72 in Linglong Gold Field and sample location

新鲜的黑云母二长岩呈深灰色—浅灰绿色, 中细粒结构, 块状构造; 肉眼观察, 主要矿物为长石、石英、黑云母及少量的黄铁矿等 (见图 4), 放大镜下可见黄铁矿呈丛聚状分布, 颗粒较小; 既与胶东西北部金矿集中区出露的三大类岩浆岩 (玲珑花岗岩、滦家河花岗岩及郭家岭花岗岩) 不同, 又与一些中酸性脉岩 (如闪长岩脉、煌斑岩脉、伟晶岩脉及闪长玢岩脉等) 有区别。笔者在野外命名其为黑云母细粒花岗岩, 后经显微镜下观察, 未蚀变或蚀变较弱的黑云母二长岩石英含量不超过 5%, 定名为黑云母二长岩。而通过岩石化学分析 (见表 1) 进行岩性投图, 落在石英二长岩的区域内 (见图 5)。从岩性投图的结果来看, 与二长岩有一定的差别, 这可能与所分析的样品成岩过程中发生弱的硅化和绢云母化蚀变有关。综合考虑显微镜下观察到的矿物组成与岩石化学分析结果, 原岩定名为黑云母二长岩比较合适。至今, 黑云母二长岩在胶东金矿集中区地表及其他钻孔岩芯中尚未见报道。

2.2 黑云母二长岩的结构构造及矿物组成

在玲珑金矿田发现的黑云母二长岩, 原岩呈深灰色—浅灰绿色, 致密块状构造, 中细粒结构, 矿物颗粒一般为 0.1 ~ 1.0 mm, 黑云母呈片状, 最大可达 5 mm (见图 4)。主要矿物为长石、黑云母, 次要矿物为石英、角闪石; 金属矿物为黄铁矿、磁铁矿等。显微镜下, 可观察到典型的二长结构 (见图 6A、6B), 石英含量小于 5%, 斜长石约 20% ~ 25%, 正长



Bit—黑云母; Py—黄铁矿

图4 黑云母二长岩手标本照片

Fig. 4 Photographs of hand specimen of biotite monzonite

表1 胶东黑云母二长岩、二长花岗岩及花岗细晶岩脉岩石化学成分 (%)

Table 1 Chemical composition of biotite monzonite, monzonite granite in Jiaodong

样品编号	ZK1-16	1015-1	1015-2	1012-5	1012-11
岩石名称	黑云母二长岩	滦家河花岗岩	滦家河花岗岩	滦家河花岗岩	细晶岩脉
SiO ₂	55.95	72.71	72.52	70.06	69.3
Al ₂ O ₃	17.54	14.54	14.26	15.15	16.05
TiO ₂	0.78	0.06	0.12	0.36	0.37
Fe ₂ O ₃	3.14	0.22	1.36	2.42	2.55
FeO	3.22	1.75	1.40	1.63	1.19
CaO	5.74	0.52	0.53	0.78	0.46
MgO	2.41	0.17	0.15	0.37	0.41
K ₂ O	2.99	5.25	4.53	2.19	3.10
Na ₂ O	3.49	3.92	4.08	4.74	3.93
MnO	0.06	0.03	0.03	0.06	0.05
P ₂ O ₅	0.40	0.02	0.02	0.15	0.13
H ₂ O ⁺	1.80	0.27	0.61	1.58	1.99
H ₂ O ⁻	0.09	0.12	0.19	0.37	0.39
灼失量	3.85	0.48	0.69	1.76	2.07
总和	99.59	99.68	99.68	99.68	99.62

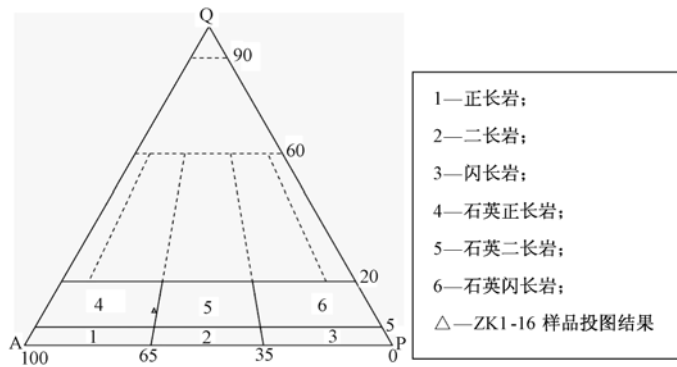
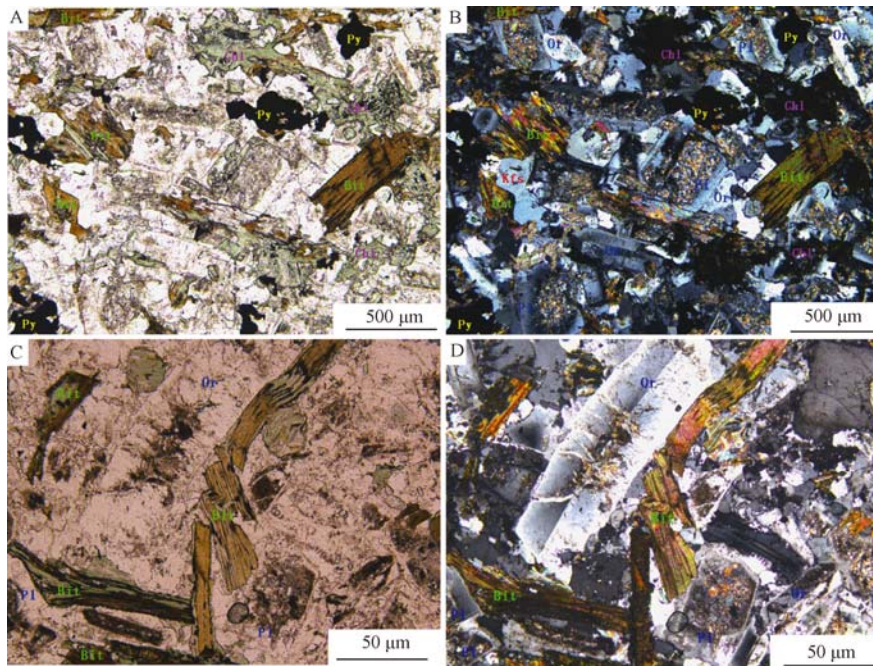


图5 黑云母二长岩岩性投图

Fig. 5 Lithologic figure of biotite monzonite

石约 35% ~40%，二者总量约占 60%。在部分大颗粒的斜长石与碱性长石内可见黏土矿物、绢云母、绿泥石等蚀变矿物（见图 7）。黑云母二长岩中的暗色矿物主要为黑云母（见图 6），少量角闪石，黑云母结晶程度较高，部分黑云母等暗色矿物发生绿泥石化。该黑云母二长岩中较显著的特征是含有较多的不透明矿物，反射镜下观察，多为黄铁矿和磁铁矿（见图 7），另有少量的黄铜矿。金属矿物呈星点状、团块状分布，黄铁矿晶形较差。

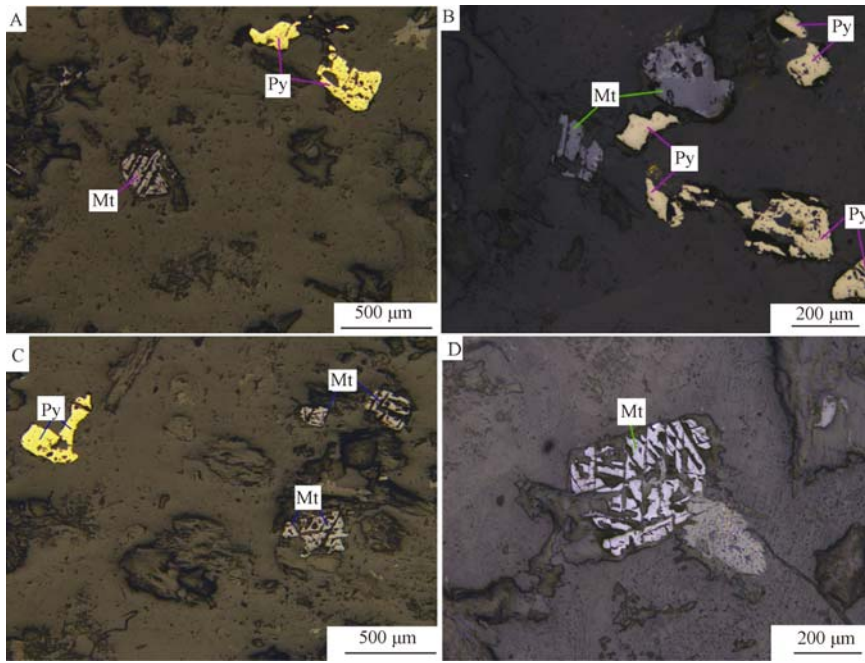


A, C—单偏镜下黑云母二长岩的二长结构; B, D—正交镜下黑云母二长岩的二长结构;
Pl—斜长石; Bit—黑云母; Or—正长石; Qz—石英; Chl—绿泥石; Py—黄铁矿

图6 黑云母二长岩显微结构照片

Fig. 6 Microphotograph of the minerals and texture of biotite monzonite

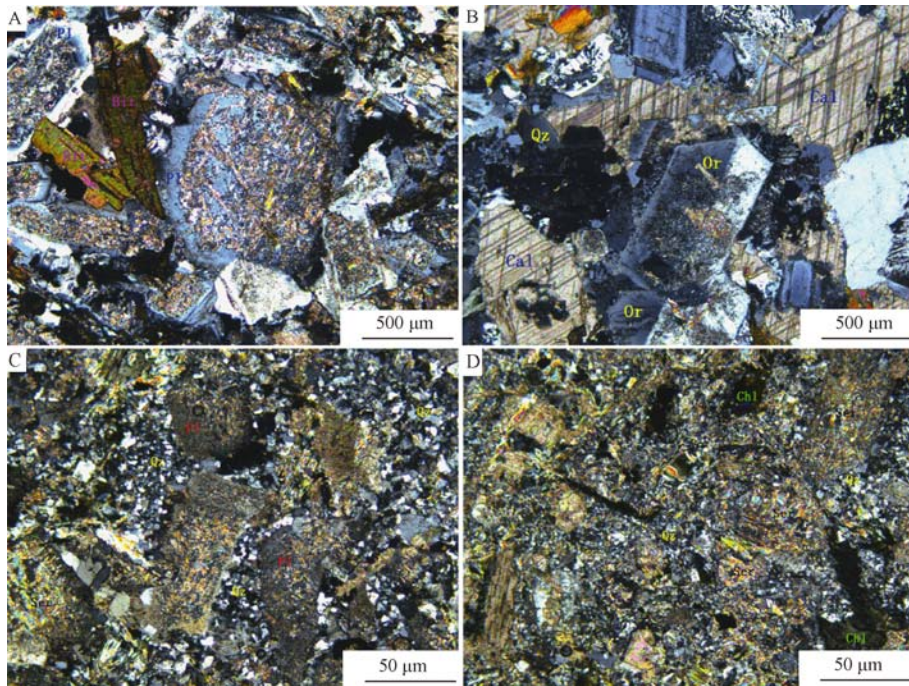
在黑云母二长岩与滦家河二长花岗岩接触界线部位，黑云母二长岩中发生硅化、绢云母化、高岭土化（见图 8A、8C、8D），另有方解石发育（见图 8B）。随深度的增加，硅化、



Py—黄铁矿；Mt—磁铁矿

图7 黑云母二长岩中金属矿物显微照片

Fig. 7 Microphotograph of pyrite and magnetite in biotite monzonite



A—绢云母化黑云母二长岩；B—黑云母二长岩中大理岩化；C、D—硅化绢云母化黑云母二长岩；Pl—斜长石；Bit—黑云母；Or—正长石；Qz—石英；Chl—绿泥石；Ser—绢云母；Cal—方解石

图8 蚀变黑云母二长岩显微照片

Fig. 8 Microphotograph of alteration biotite monzonite

绢云母化、高岭土化程度逐渐减弱, 蚀变渐渐过度为以绿泥石化和绿帘石化为主; 显微镜下观察, 绿泥石及绿帘石是由黑云母或角闪石发生蚀变而形成的新矿物; 而岩石的结构与构造基本没有发生变化; 再向下部岩石蚀变变弱, 长石内表现为弱的绢云母化、高岭土化, 黑云母蚀变较弱, 甚至未发生绿泥石化蚀变。从蚀变特征分析, 黑云母二长岩发生的蚀变是岩浆的侵入与就位过程中岩石发生的自蚀变的结果。

值得说明的是, 该黑云母二长岩中发育的黄铁矿与磁铁矿颗粒细小, 大都只有 0.1 ~ 0.5 mm 大小, 为星点状、团块状; 而且从上到下 120 余米长的黑云母二长岩岩芯中, 黄铁矿与磁铁矿分布较均匀, 显示黑云母二长岩中的黄铁矿、磁铁矿属原生矿物的特点。钻探工程揭示的地质现象显示, 赋存蚀变型金矿体的招平断裂带延深到黑云母二长岩岩体 (脉)。金矿脉 (体) 中较多的黄铁矿等金属矿物可能来自该黑云母二长岩岩浆侵入过程中分异出来的成矿流体与成矿物质, 通过断裂构造运移, 在适当的构造部位沉淀富集而形成的。

2.3 样品采集与分析

笔者在岩芯中采集新鲜的、没有风化或蚀变较弱、裂隙不发育、基本没有受到后期地质事件及区域热事件影响的黑云母二长岩样品; 破碎岩石样品前进行清洗, 除去表面和缝隙中的杂质; 将样品破碎到 (177 ~ 250 μm) 60 ~ 80 目, 淘洗风干。用磁选、重液选等常规选矿手段选出质量大于 0.5 g 的黑云母, 进行 Ar-Ar 法测年。

选纯的黑云母 (纯度大于 99%) 用超声波清洗。清洗后的样品被封进石英瓶中送核反应堆中接受中子照射。照射工作在中国原子能科学研究所的“游泳池堆”中进行, 使用 B4 孔道, 中子流密度约为 $2.65 \times 10^{13} \text{ ncm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 照射总时间为 1448 分钟, 积分中子通量为 $2.30 \times 10^{18} \text{ ncm}^{-2}$; 同期接受中子照射的还有用做监控样的标准样 (ZBH-25 黑云母标样), 其标准年龄为 $132.7 \pm 1.2 \text{ Ma}$, K 含量为 7.6%。样品的阶段升温加热使用石墨炉, 每一个阶段加热 30 分钟, 净化 30 分钟。质谱分析在多接收稀有气体质谱仪 Helix MC 上进行, 每个峰值均采集 20 组数据。所有的数据在回归到时间零点值后再进行质量歧视校正、大气氩校正、空白校正和干扰元素同位素校正。中子照射过程中所产生的干扰同位素校正系数通过分析照射过的 K_2SO_4 和 CaF_2 获得, 其值为: $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar}_o)_{\text{Ca}} = 0.0002389$, $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.004782$, $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar}_o)_{\text{Ca}} = 0.000806$ 。 ^{37}Ar 经过放射性衰变校正; ^{40}K 衰变常数 λ 值为 $5.543 \times 10^{-10} \text{ 年}^{-1}$ 。用 ISOPLOT 程序 (Ludwig, v2.49, 2001) 计算坪年龄及正、反等时线, 坪年龄误差以 2σ 给出。表 2 为黑云母二长岩样品的阶段升温测年数据, 相应的年龄谱和等时线见图 9。

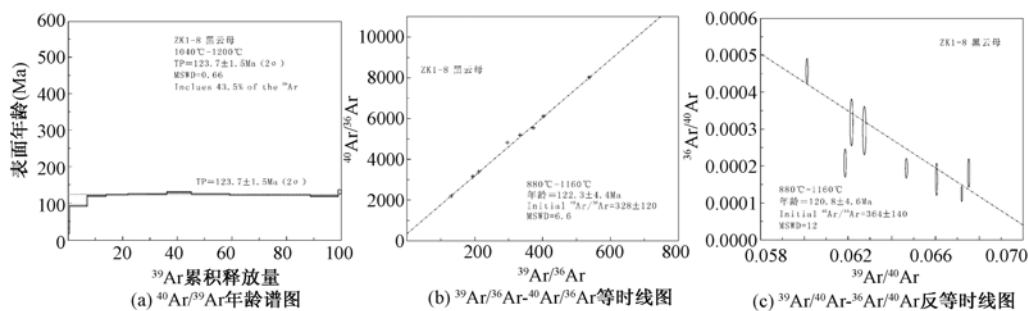


图 9 黑云母二长岩中黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄谱图和等时线图

Fig. 9 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age spectra and $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ vs. $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ inverse isochron diagram of biotite from the biotite in biotite monzonite

表2 黑云母二长岩中黑云母阶段升温测年数据

Table 2 The results of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ stepwise heating dating for biotite in biotite monzonite

$T/$ ($^{\circ}\text{C}$)	$\left(\frac{^{40}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}}\right)_m$	$\left(\frac{^{36}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}}\right)_m$	$\left(\frac{^{37}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}}\right)_m$	$\left(\frac{^{38}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}}\right)_m$	$^{40}\text{Ar}/\%$	F	$^{39}\text{Ar}/$ ($\times 10^{-14}\text{mol}$)	^{39}Ar (Cum) / %	Age/ Ma	$\pm 1\sigma/$ Ma
700	96.5965	0.3180	0.4972	0.0885	2.76	2.6687	0.12	0.50	23.5	7.4
800	55.8444	0.1529	0.2025	0.0519	19.12	10.6804	1.49	6.98	92.4	1.4
840	19.0382	0.0171	0.0989	0.0258	73.44	13.9828	1.61	13.96	120.0	1.4
880	16.6376	0.0076	0.0352	0.0231	86.45	14.3830	1.83	21.91	123.3	1.3
920	15.9413	0.0047	0.0468	0.0226	91.21	14.5412	1.67	29.19	124.6	1.6
960	16.0929	0.0051	0.0398	0.0224	90.57	14.5756	1.60	36.13	124.9	1.6
1000	16.1686	0.0034	0.0000	0.0214	93.82	15.1695	2.07	45.11	129.8	1.4
1040	15.4683	0.0030	0.0309	0.0222	94.25	14.5795	3.22	59.08	124.9	1.3
1080	15.1447	0.0025	0.0196	0.0218	95.13	14.4072	3.14	72.71	123.5	1.4
1120	14.8859	0.0019	0.0179	0.0222	96.28	14.3318	3.67	88.63	122.9	1.2
1160	14.8145	0.0027	0.0985	0.0231	94.63	14.0193	2.36	98.88	120.3	1.3
1200	18.1637	0.0093	0.0815	0.0241	84.87	15.4159	0.25	99.96	131.9	5.9
1400	172.8819	0.4922	0.0000	0.0285	15.87	27.4429	0.01	100.00	228	273

总气体年龄 = 121.4 Ma

注: 表中下标 m 代表样品中测定的同位素比值; $F = ^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$, 指放射成因 ^{40}Ar 与 K 生成 ^{39}Ar 的比值; 测试由中国地质科学院地质研究所完成

对采集自钻孔 ZK1 的黑云母二长岩样品中的黑云母进行 Ar-Ar 阶段升温测年分析 (见表 2, 图 9), 总气体年龄为 121.4 Ma。其中 880 ~ 1160 $^{\circ}\text{C}$ 的 8 个中—高温阶段组成了一个年龄坪, 坪年龄 $\text{TP} = 123.7 \pm 1.5 \text{ Ma}$, 对应了 43.5% 的 ^{39}Ar 释放量 (见图 9a)。 $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}-^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 等时线年龄为 $122.3 \pm 4.4 \text{ Ma}$, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始比值为 328 ± 120 (MSWD = 6.6) (见图 9b)。相应的 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}-^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 反等时线年龄 $\text{TP} = 120.8 \pm 4.6 \text{ Ma}$, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始比值为 364 ± 140 (MSWD = 12) (见图 9c)。123.7 $\pm 1.5 \text{ Ma}$ 的坪年龄与成矿年龄相近, 黑云母二长岩的侵位时代与金矿成矿时代吻合, 表明二者可能是同期岩浆活动的产物。

3 讨论

3.1 黑云母二长岩的侵位时代与金矿成矿时代吻合

几十年来, 胶东地区积累了大量的金矿床成矿年龄数据, 包括蚀变矿物的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 和 K-Ar 年龄^[28]、黄铁矿的 Rb-Sr 年龄^[29]、石英的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄^[30]、矿石矿物 Rb-Sr 年龄^[31] 和热液锆石 U-Pb 年龄^[32]。这些测年数据显示, 胶东大多数金矿床, 包括以焦家、新城为代表的蚀变岩型金矿床, 以玲珑为代表的石英脉型金矿床, 以望儿山为代表的蚀变岩-石英脉复合型金矿床和以蓬家乔为代表的蚀变角砾岩型金矿床, 形成于 $120 \pm 5 \text{ Ma}$ ^[1,23,33]。成矿时代主要集中在 122 ~ 119 Ma^[15,28~29,34]。

而玲珑金矿田及其外围发育的岩石主要为玲珑花岗岩、滦家河花岗岩和郭家岭花岗岩。玲珑花岗岩和滦家河花岗岩主要由黑云母二长花岗岩、二长闪长岩、石英闪长岩和花岗闪长岩组成, 其侵位年龄数据主要集中于 165 ~ 150 Ma 之间^[15,21,35~36]。郭家岭似斑状花岗闪长

岩侵位晚于玲珑花岗岩和滦家河花岗岩, 年龄为 132 ~ 123 Ma^[4,24,35]。中基性脉岩的形成年龄为早白垩世晚期, 主要为碱性花岗岩和高钾中性-铁镁质岩脉, 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 125 ~ 90 Ma^[36], 属多期、多阶段岩浆活动的结果。

玲珑花岗岩与滦家河花岗岩的侵位较早, 是构成金矿体的主要围岩。郭家岭花岗岩虽然形成略早于成矿年龄^[37], 但据焦家金矿、新城金矿、三山岛金矿井下及野外观测, 成矿作用是在郭家岭花岗岩固结成矿后形成的。在成矿作用过程中, 矿体下盘的郭家岭花岗岩发生强烈的蚀变作用, 钾长石斑晶呈现韧性变形特征, 说明在成矿之前郭家岭花岗岩已固结成岩, 同样是金矿体的围岩之一。多期中基性脉岩的侵入, 虽与成矿时间相近^[38], 或早于或晚于成矿时间, 但从野外现象分析, 脉岩中的金属矿物含量极少, 而且其与围岩接触界面清晰, 基本没有发生蚀变或只有弱的热蚀变, 因而很难认定成矿物质来源于脉岩。本文测定黑云母二长岩的形成年龄为 123.7 ± 1.5 Ma,⁴⁰Ar-³⁹Ar 法具有测定精度高、可以判定热扰动对定年的影响、数据的多解性较少的优点^[1,39]。而玲珑金矿田主成矿期成矿时代为 $(122.7 \pm 3.3) \sim (123.0 \pm 4.2)$ Ma^[30,32,34,40~41], 考虑岩浆侵入与金矿成矿时间之间的关系, 黑云母二长岩侵入过程中, 由于大量岩浆流体及金属矿物的含量, 应该与成矿作用比较吻合。

3.2 矿床形成的主导因素

胶东地区如此巨大的金矿集中区的形成, 归纳起来主要有 2 个重要因素: 一是有利的断裂构造体系, 二是大规模成矿物质来源。胶东地区出露及隐伏的大面积花岗杂岩体是控矿断裂构造形成的基础, 该岩性特征利于控矿构造的发育。发育于花岗岩杂岩体中的断裂构造具有延伸稳定、联通性好的特点, 是良好的导矿与贮矿构造。成矿物质与成矿流体通过断裂构造可以进行远距离、大规模运移; 成矿物质与成矿流体在运移的过程中, 与围岩之间充分发生水岩反应, 形成典型的钾长石化、绢云母化、硅化和黄铁矿化等蚀变^[6~7,11~12,23,42]。大规模的成矿物质来源为成矿作用提供大量的成矿物质、成矿流体^[16]、成矿能量和成矿动力, 没有这个因素, 胶东地区大规模的成矿作用不可能发生, 也不会形成世界级的金矿集中区。

关于玲珑金矿田成矿物质的来源及成矿作用有多种认识。吕古贤^[43]认为胶东大规模成矿作用并非受中生代构造岩浆或层位等单一因素控制, 而是在前中生代有利成矿地质、地球化学环境基础上, 经中生代叠加和改造的复杂过程而成生发展起来的。部分学者在研究玲珑矿田发育的岩脉与含金石英脉时空关系的基础上, 认为中基性岩脉与含金石英脉有同源、同时、同构造空间的三同关系^[24,44~45], 脉岩的活动覆盖了整个金矿化期, 二者存在成因关系。地质流体淬取花岗岩等围岩中的金元素对胶东金矿的形成也具有重要作用^[3,16]。另外, 胶东地区大规模金矿成矿作用是地幔岩浆活动产物^[46~47]。

中生代, 胶东地区岩浆活动频繁, 玲珑花岗岩、滦家河花岗岩和郭家岭花岗岩等大规模岩浆活动后, 石英二长斑岩、正长斑岩、花岗斑岩、闪长岩脉、煌斑岩脉、辉长岩脉, 辉绿岩脉都有发育^[38,48]。这些不同类型、不同期次岩浆活动及岩脉侵入或多或少都与断裂、蚀变、成矿作用有关系, 但仍没有充分的证据证明它们是引起胶东地区大规模金矿成矿作用发生的主要因素。

针对胶东地区发育的金矿, 可以这样认为, 其成矿物质主要包括 Au、Fe、Pb、Zn、Cu、Si、S、Ca 等金属和非金属元素, 其来源可能是复杂的, 有沉积来源、变质来源、岩浆来源; 但总起来看, 还是有一个主要的控制因素, 就是岩浆侵入与成矿流体的分异, 即主要还应该是来源于一次岩浆活动或岩浆侵入成岩过程中分异出来的成矿流体和成矿物质。黑云母二长岩的发现对探索玲珑金矿田及胶东地区其他金矿的成矿作用及成矿物质来源问题具有

一定的参考价值。

3.3 黑云母二长岩与矿床成因

3.3.1 矿物组成与金矿成因

在研究区的某个钻孔中,有 110 m 左右的岩芯为黑云母二长岩(见图 4),与胶东地区其他类型的岩浆岩相比,具有典型的中细粒二长结构(见图 5B、5D);暗色矿物的含量达 20%~30%,矿物结晶程度较高。黑云母二长岩中,除斜长石、正长石、石英、黑云母及角闪石外,金属矿物含量较高,尤其是黄铁矿和磁铁矿,同时含少量黄铜矿,在岩石内均匀分布。黄铁矿在岩石内呈集合体状、浸染状,结晶程度低,晶形不完整(见图 6)。黑云母二长岩在其与玲珑花岗岩接触带附近发育硅化、绢云母化、高岭土化、绿泥石、绿帘石化和大理岩化。

从胶东金矿主成矿期 4 个成矿阶段^[16,49]来看,最后一个阶段为石英-碳酸盐阶段^[1,9,16,27,50],碳同位素数据表明,与金成矿有关的流体主要是岩浆来源,混有大气降水^[14]。考虑到黑云母二长岩发育部位恰好在成矿范围的下方,因此,成矿作用过程中,组成碳酸盐的物质成分也可能与黑云母二长岩岩浆侵入分异出部分钙质有一定关系(见图 7B)。

3.3.2 流体含量与成矿

经硅酸岩分析,岩石的灼失量大,说明样品在加热过程中分离出较多的流体组分。从矿物组成方面来看,黑云母二长岩中黄铁矿等金属矿物含量较多,这些矿物在加热的过程中可以分解出 S、CO₂ 等组分,而且水的含量达到 1% 以上。这表明岩浆在侵入成岩过程中富含较多的液态或气态等与成矿有关的流体组分,部分流体被成岩矿物捕获,形成结晶水或流体包裹体^[16],另一部分流体可能从岩浆中分离出来,组成成矿流体,沿断裂构造及裂隙向上部及外围运移。H、O、C 同位素分析表明,深源流体参与了成矿作用^[51]。地质流体在运移的过程中,不断与所流经的围岩进行水岩反应^[16,52],发生物质交换,形成大规模的热液交代蚀变岩石;同时围岩中的部分金元素也可能进入到流体中,在适合的部位沉淀、富集与成矿。胶东金矿氢、氧、碳、硫等稳定同位素数据表明,初始成矿流体主要来源于深源岩浆水^[16,46,53~54]。因而,不论从矿物组成还是从物质成分组成等方面分析,该黑云母二长岩的侵入与玲珑金矿成矿作用关系密切。

4 结论

综合胶东金矿集中区成岩与成矿年龄之间的关系,结合野外地质体之间的接触关系及蚀变矿化特点,黑云母二长岩的侵位时间与玲珑金矿的成矿时间接近;岩体的侵位时间为 123.7 ± 1.5 Ma,金矿的形成时间为 $(122.7 \pm 3.3) \sim (123.0 \pm 4.2)$ Ma。

黑云母二长岩中含较多的黄铁矿及其他金属矿物,而且分布较均匀,应属原生矿物,与玲珑金矿矿石中的黄铁矿等金属硫化物有关。

尽管玲珑金矿中的金属矿物并不一定直接来源于黑云母二长岩,但从二者的时空特征方面分析,黑云母二长岩在侵入过程中具有为金矿形成提供成矿物质、成矿流体的可能性,而且为成矿物质和成矿流体的运移提供能量及驱动力。

可以确定,黑云母二长岩的侵入与玲珑金矿成矿作用关系密切,黑云母二长岩岩浆侵入及成岩过程中分异出来的有用组分可能成为玲珑金矿田及其外围金矿的成矿物质来源。胶东地区大量金矿田(床、点)的形成可能与该类型岩体的侵入有关,成矿物质、成矿流体、

成矿能量大都来源于该类型岩浆岩,只是在其他部位目前的钻孔还没有揭示下部的黑云母二长岩岩体;而且部分控矿构造的形成与演化可能与该类型岩浆侵入有关。

致谢 论文的完成得益于与韦昌山研究员、陈柏林研究员、江万研究员的探讨;野外工作得到山东黄金集团股份有限公司、山东招金集团公司及胶东各金矿科技工作人员的大力支持及帮助;测试数据由中国地质科学院地质研究所实验室及中国原子能科学研究院相关工作人员完成;两位审稿专家对本文提出极有价值的修改意见,在此一并表示诚挚感谢。

参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] WWANG H N, CHEN J, WANG Y, et al. 1989. Geochemical Studies of Au-bearing Formation in Jiaodong Peninsula, Shandong Province [J]. Chinese Journal of Geochemistry, 8 (3): 213 ~ 227.
- [3] Zhai M G, Yang J H, Liu W J. Large clusters of gold deposits and large-scale metallogenesis in the Jiaodong Peninsula, Eastern China [J]. Science in China: Series D, 2001, 44 (8): 758 ~ 768.
- [4] Qiu Y M, Groves D I, McNaughton N J, et al. Nature, age and tectonic setting of granitoid-hosted orogenic golddeposits of the Jiaodong Peninsula, eastern North China craton, China [J]. Mineralium Deposit, 2002, 37 (3/4): 283 ~ 305.
- [5] 宋明春,张军进,张丕建,等. 胶东三山岛北部海域超大型金矿床的发现及其构造-岩浆背景 [J]. 地质学报, 2015, 89 (2): 365 ~ 383.
SONG Ming-chun, ZHANG Jin-jun, ZHANG Pi-jian, et al. Discovery and tectonic-magmatic background of superlarge gold deposit in offshore of northern Sanshandao Shandong Peninsula, China [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2015, 89 (2): 365 ~ 383.
- [6] 孙国胜,刘颖,李绪俊,等. 玲珑金矿田不同级别构造控矿特征 [J]. 地质地球化学, 2003, 31 (2): 18 ~ 24.
SUN Guo-sheng, LIU Ying, LI Xu-jun, et al. Studies on different types of fracture structures controlling gold orebodies in Linglong gold orefield [J]. Geology-Geochemistry, 2003, 31 (2): 18 ~ 24.
- [7] 吕古贤,郭涛,刘杜鹃. 玲珑-焦家式金矿构造地质特征及成矿构造物理化学参量因子分析——以阜山金矿区为例 [J]. 地球学报, 2002, 23 (5): 409 ~ 416.
LÜ Gu-xian, GUO Tao, LIU Du-juan. Geological and structural characteristics of the Linglong-Jiaojia type gold deposits and factor analysis of their metallogenic tectonic physicochemical parameters—exemplified by the Fushan gold deposit [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2002, 23 (5): 409 ~ 416.
- [8] 杜松金,李洪喜,张庆龙,等. 山东招远玲珑金矿田控矿构造及其形成机制 [J]. 高校地质学报, 2003, 9 (3): 420 ~ 426.
DU Song-jin, LI Hong-xi, ZHANG Qing-long, et al. Relationship between ore-control fracture and gold deposits in Linglong Goldfield, Zhaoyuan, Shandong [J]. Geological Journal of China Universities, 2003, 9 (3): 420 ~ 426.
- [9] 张炳林,杨立强,黄锁英,等. 胶东焦家金矿床热液蚀变作用 [J]. 岩石学报, 2014, 30 (9): 2533 ~ 2545.
ZHANG Bing-lin, YANG Li-qiang, HUANG Suo-ying, et al. Hydrothermal alteration in the Jiaojia gold deposit, Jiaodong, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30 (9): 2533 ~ 2545.
- [10] 孙国胜,姚凤良,胡瑞忠,等. 玲珑金矿田矿体富集规律及其控制因素 [J]. 大地构造与成矿学, 2001, 25 (4): 464 ~ 470.
SUN Guo-sheng, YAO Feng-liang, HU Rui-zhong, et al. Enriched laws and controlling factors of ore bodies in the Linglong gold deposit [J]. Geotectonic et Metallogenia, 2001, 25 (4): 464 ~ 470.
- [11] 吕古贤,邓军,郭涛,等. 玲珑-焦家式金矿构造变形岩相形迹大比例尺填图与构造成矿研究 [J]. 地球学报, 1998, 19 (2): 177 ~ 186.
LÜ Gu-xian, DENG Jun, GUO Tao, et al. Large scale geological mapping of tectono deformation facies features and research of tectonic metallogenesis for the Linglong-Jiaojia type gold deposits [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1998, 19

- (2): 177 ~ 186.
- [12] 吕古贤, 郭涛, 舒斌, 等. 构造变形岩相形迹的大比例尺填图及其对隐伏矿床地质预测以胶东玲珑-焦家式金矿为例 [J]. 中国区域地质, 2001, 20 (3): 313 ~ 322.
LÜ Gu-xian, GUO Tao, SHU Bin, et al. Large-scale mapping of tectonic deformation and facies features and their implications for the prediction of hidden deposits: A case study of the Linglong-Jiaojia style gold deposit, Jiaodong [J]. Regional Geology of China, 2001, 20 (3): 313 ~ 322.
- [13] 吕古贤. 构造岩浆活化区金矿源岩系的矿化趋势度概念与研究性填图方法—以胶东玲珑-焦家式金矿为例 [J]. 地球学报, 2002, 23 (2): 107 ~ 114.
LÜ Gu-xian. The Concept of Mineralization Trending Degree and the Method for the Mapping of Gold Source Rocks in Structure-Magmatic Mobilized Area—Taking the Linglong-Jiaojia Type Gold Deposits as an Example [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2002, 23 (2): 107 ~ 114.
- [14] 卢焕章, Guha J, 方根保. 山东玲珑金矿的成矿流体特征 [J]. 地球化学, 1999, 28 (5): 421 ~ 437.
LU Huan-zhang, Guha J, FANG Gen-bao. Characteristics of ore-forming fluid in Linglong Gold Mine, Shandong, China [J]. Geochimica, 1999, 28 (5): 421 ~ 437.
- [15] 卢焕章, 袁万春, 张国平, 等. 玲珑-焦家地区主要金矿床稳定同位素及同位素年代学 [J]. 桂林工学院学报, 1999, 19 (1): 1 ~ 8.
LU Huan-zhang, YUAN Wan-chun, ZHANG Guo-ping, et al. Stable isotopes studies and age dating of gold deposits and Linglong granites in Linglong-Jiaojia area, Shandong, China [J]. Journal of Guilin Institute of Technology, 1999, 19 (1): 1 ~ 8.
- [16] 范宏瑞, 胡芳芳, 杨进辉, 等. 胶东中生代构造体制转折过程中流体演化和金的大规模成矿 [J]. 岩石学报, 2005, 21 (5): 1317 ~ 1328.
FAN Hong-ru, HU Fang-fang, YANG Jin-hui, et al. Fluid evolution and large-scale gold metallogeny during Mesozoic tectonic transition in the eastern Shandong province [J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21 (5): 1317 ~ 1328.
- [17] 申玉科, 徐增田, 左文喆. 山东玲珑矿田九曲矿段地质特征及找矿预测 [J]. 黄金地质, 2003, 9 (1): 16 ~ 19.
SHEN Yu-ke, XU Zeng-tian, ZUO Wen-zhe. Geology character and prospecting forecast in Jiuqu section of Linglong gold minefield, Shandong [J]. Gold Geology, 2003, 9 (1): 16 ~ 19.
- [18] 李德江, 宋泉吾, 张勇, 等. 玲珑金矿田 175 支脉地质综合研究与成矿预测 [J]. 黄金, 2003, 24 (7): 15 ~ 18.
LI De-jiang, SONG Quan-wu, ZHANG Yong, et al. The comprehensive geological study and mineralizing prognosis of 175th branch vein of Linglong gold field [J]. Gold, 2003, 24 (7): 15 ~ 18.
- [19] 杨进辉, 周新华, 陈立辉. 胶东地区破碎带蚀变岩型金矿时代的测定及其地质意义 [J]. 岩石学报, 2000, 16 (3): 454 ~ 458.
YANG Jin-hui, ZHOU Xin-hua, CHEN Li-hui. Dating of gold mineralization for super-large altered tectonite-type gold deposits in Northwestern Jiaodong Peninsula and its implications for gold metallogeny [J]. Acta Petrologica Sinica, 2000, 16 (3): 454 ~ 458.
- [20] 黄涛, 杨立强, 刘向东, 等. 胶北地体地壳演化: 玲珑黑云母花岗岩继承锆石 U-Pb 年龄、微量元素和 Hf 同位素证据 [J]. 岩石学报, 2014, 30 (9): 2574 ~ 2594.
HUANG Tao, YANG Li-qiang, LIU Xiang-dong, et al. Crustal evolution of the Jiaobeiterrane: Evidence from U-Pb ages, trace element compositions and Hf isotopes of inherited zircons of the Linglong biotite granite [J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30 (9): 2574 ~ 2594.
- [21] 林文蔚, 赵一鸣, 赵国红, 等. 玲珑花岗质杂岩的时代、空间形态、源岩及其数学模拟 [J]. 岩石矿物杂志, 1997, 16 (2): 97 ~ 111.
LIN Wen-wei, ZHAO Yi-ming, ZHAO Guo-hong, et al. Ages, Spatial Forms, Source Rocks and Mathematical Modeling of Linglong Granitic Complex [J]. Acta Petrologica ET Mineralogica, 1997, 16 (2): 97 ~ 111.
- [22] 王安平, 于洪林, 姚杰. 山东招远玲珑金矿田黄铜矿特征研究 [J]. 黄金, 2002, 23 (12): 10 ~ 11.
WANG An-ping, YU Hong-lin, YAO Jie. The characteristics of chalcopyrite in Linglong Goldfield, Zhaoyuan, Shandong Province [J]. Gold, 2002, 23 (12): 10 ~ 11.
- [23] Yang L Q, Deng J, Richard J G, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronological constraints on the formation of the Dayingezhuang gold

- deposit: New implications for timing and duration of hydrothermal activity in the Jiaodong gold province, China [J]. *Gondwana Research*, 2014, 25: 1469 ~ 1483.
- [24] 罗镇宽, 关康, 苗来成. 胶东玲珑金矿田煌斑岩脉与成矿关系的讨论 [J]. *黄金地质*, 2001, 7 (4): 15 ~ 21.
LUO Zhen-kuan, GUAN Kang, MIAO Lai-cheng. Discussion on relationship between lamprophyre veins and mineralization in the Linglong gold field, eastern Shandong [J]. *Gold Geology*, 2001, 7 (4): 15 ~ 21.
- [25] 卫清, 范宏瑞, 蓝廷广, 等. 胶东寺庄金矿床成因: 流体包裹体与石英溶解度证据 [J]. *岩石学报*, 2015, 31 (4): 1049 ~ 1062.
WEI Q, FAN HR, LAN TG, et al. Genesis of Sizhuang gold deposit, Jiaodong Peninsula: Evidences from fluid inclusion and quartz solubility modeling [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2015, 31 (4): 1049 ~ 1062.
- [26] Xue J L, Li S R, Sun W Y, et al. Characteristics of the genetic mineralogy of pyrite and its significance for prospecting in the Dengezhuang gold deposit, Jiaodong Peninsula, China [J]. *Science in China: Earth Sciences*, 2014, 57 (4): 644 ~ 661.
- [27] 王安平, 姚杰. 玲珑金矿矿物表面电子显微结构的特征 [J]. *黄金*, 2000, 21 (2): 13 ~ 15.
WANG An-ping, YAO Jie. The electron microstructural feature of the surface of the gold minerals of Linglong Gold Mine [J]. *Gold*, 2000, 21 (2): 13 ~ 15.
- [28] Li J W, Vasconcelos P M, Zhang J, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ constraints on a temporal link between gold mineralization, magmatism, and continental margin transtension in the Jiaodong gold province, eastern China [J]. *Journal of Geology*, 2003, 111 (6): 741 ~ 751.
- [29] Yang J H, Zhou X H. Rb-Sr, Sm-Nd and Pb isotope systematics of pyrite: Implications for the age and genesis of lode gold deposits [J]. *Geology*, 2001, 29 (8): 711 ~ 714.
- [30] 李厚民, 毛景文, 沈远超, 等. 胶西北东季金矿床钾长石和石英的 Ar-Ar 年龄及其意义 [J]. *矿床地质*, 2003, 22 (1): 72 ~ 77.
LI Hou-min, MAO Jing-wen, SHEN Yuan-chao, et al. Ar-Ar ages of K-feldspar and quartz from Dongji Gold Deposit, Northwest Jiaodong, and their significance [J]. *Mineral deposits*, 2003, 22 (1): 72 ~ 77.
- [31] Li Q L, Chen F K, Yang J H. Single grain pyrite Rb-Sr dating of the Linglong gold deposit, eastern China [J]. *Ore Geology Reviews*, 2008, 34 (3): 263 ~ 270.
- [32] Hu F F, Fan H R, Yang J H, et al. Mineralizing age of the Rushan lode gold deposit in the Jiaodong Peninsula: SHRIMP U-Pb dating on hydrothermal zircon [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49 (15): 1629 ~ 1636.
- [33] 胡芳芳, 范宏瑞, 杨进辉, 等. 胶东乳山金矿蚀变岩中绢云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其对金成矿事件的制约 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2006, 25 (2): 109 ~ 114.
HU Fang-fang, FAN Hong-rui, YANG Jin-hui, et al. The $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Ar dating age of sericite from altered rocks in the Rushan lode gold deposit, Jiaodong Peninsula and its constraints on the gold mineralization [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2006, 25 (2): 109 ~ 114.
- [34] Zhang L C, Shen Y C, Liu T B, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and Rb-Sr isochron dating of the gold deposits in northern margin of the Jiaolai Basin, Shandong, China [J]. *Science in China: Series D*, 2003, 46 (7): 708 ~ 718.
- [35] Wang L G, Qiu Y M, McNaughton N J, et al. Constraints on crustal evolution and gold metallogeny in the northwestern Jiaodong Peninsula, China, from SHRIMP U-Pb zircon studies of granitoids [J]. *Ore Geology Reviews*, 1998, 13 (1): 275 ~ 291.
- [36] 张田, 张岳桥. 胶东半岛中生代侵入岩浆活动序列及其构造制约 [J]. *高校地质学报*, 2007, 13 (2): 323 ~ 336.
ZHANG Tian, ZHANG Yue-qiao. Geochronological sequence of mesozoic Intrusive magmatism in Jiaodong peninsula and its tectonic constraints [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2007, 13 (2): 323 ~ 336.
- [37] 陆丽娜, 范宏瑞, 胡芳芳, 等. 胶西北郭家岭花岗闪长岩侵入深度: 来自角闪石温压计和流体包裹体的证据 [J]. *岩石学报*, 2011, 27 (5): 1521 ~ 1532.
LU Li-na, FAN Hong-rui, HU Fang-fang, et al. Emplacement depth of the Guojialing granodiorites from the northwestern Jiaodong Peninsula, eastern China: Evidences from hornblende thermobarometry and fluid inclusions [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27 (5): 1521 ~ 1532.
- [38] 梁亚运, 刘学飞, 李龚健, 等. 胶东地区脉岩成因与金成矿关系的研究: 年代学及 Sr-Nd-Pb 同位素的约束 [J]. *地质科技情报*, 2014, 33 (3): 10 ~ 24.

- LIANG Ya-yun, LIU Xue-fei, LI Gong-jian, et al. Petrogenesis and Connection with Gold Deposits of Dikes in Jiaodong Peninsula, Eastern of North China Craton: Constraint on Geochronology and Sr-Nd-Pb Isotope [J]. Geological Science and Technology Information, 2014, 33 (3): 10~24.
- [39] 陈文, 万渝生, 李华芹, 等. 同位素地质年龄测定技术及应用 [J]. 地质学报, 2011, 85 (11): 1917~1947.
CHEN Wen, WAN Yu-sheng, LI Hua-qin, et al. Isotope Geochronology: Technique and Application [J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 85 (11): 1917~1947.
- [40] 张连昌, 沈远超, 曾庆栋, 等. 山东中生代胶莱盆地北缘金矿床硫铅同位素地球化学 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2001, 20 (4): 380~384.
ZHANG Lian-chang, SHEN Yuan-chao, ZENG Qing-dong, et al. Sulfur and lead isotopic geochemistry of gold deposits at the Northern margin of Jiaolai Basin, East Shandong [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2001, 20 (4): 380~384.
- [41] Zhang X O, Cawood P A, Wilde S A, et al. Geology and timing of mineralization at the Cangshang gold deposit, northwestern Jiaodong Peninsula, China [J]. Mineralium Deposita, 2003, 38: 141~153.
- [42] Qian J P, Chen H Y, Meng Y. Geological characteristics of the Sizhuang gold deposit in the region of Jiaodong, Shandong Province: A study on tectono-geochemical ore prospecting of ore deposits [J]. Chinese Journal of Geochemistry, 2011, 30: 539~553.
- [43] 吕古贤. 胶东玲珑-焦家式金矿床矿源岩系(序)列研究 [J]. 地质地球化学, 2001, 29 (3): 140~143.
LÜ Gu-xian. Research on ore source series of the Linglong-Jiaojia-type gold deposits [J]. Geology-Geochemistry, 2001, 29 (3): 140~143.
- [44] 刘辅臣, 卢作祥, 范永香, 等. 玲珑金矿中基性岩脉与矿化的关系探讨 [J]. 地球科学: 武汉地质学院学报, 1984, 27 (4): 37~46.
LIU Fu-chen, LU Zuo-xiang, FAN Yong-xiang, et al. On the relation between inter mediate basic dykes and mineralization in Lingling Gold orefield [J]. Earth Science: Journal of Wuhan College of Geology, 1984, 27 (4): 37~46.
- [45] 刘连登, 姚凤良, 孔庆存, 等. 岩脉在热液矿床成因研究中的意义——以胶东西北部金矿床为例 [J]. 长春地质学院学报, 1984, (4): 13~28.
LIU Lian-deng, YAO Feng-liang, KONG Qing-cun, et al. The significance about the vein in studying the genesis of hydrothermal ore deposits [J]. Journal of Changchun University of Earth Science, 1984, (4): 13~28.
- [46] 毛景文, 赫英, 丁梯平. 胶东金矿形成期间地幔流体参与成矿过程的碳氧氢同位素证据 [J]. 矿床地质, 2002, 21 (2): 121~128.
MAO Jing-wen, HE Ying, DING Ti-ping. Mantle fluids Involved in metallogenesis of Jiaodong (East Shandong) Gold District: Evidence of C, O and H isotopes [J]. Mineral Deposits, 2002, 21 (2): 121~128.
- [47] Deng J, Liu W, Sun Z S, et al. Evidence of mantle-rooted fluids and multi-level circulation ore-forming dynamics: A case study from the Xiadian gold deposit, Shandong Province, China [J]. Science in China: Series D, 2003, 46 (Sup.): 123~134.
- [48] 张群喜, 王生龙. 山东谢家沟金矿脉岩特征及其与金矿成矿关系 [J]. 安徽地质, 2007, 17 (1): 24~27, 36.
ZHANG Qun-xi, WANG Sheng-long. Characteristics of vein rocks and their relationship with gold metallogenesis in the Xiejiagou gold mine, Shandong province [J]. Geology of Anhui, 2007, 17 (1): 24~27, 36.
- [49] 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): 244~250.
DENG Jun, LÜ Gu-xian, YANG Li-qiang, et al. The transformation of tectonic stress field and interfacial metallogenesis [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1998, 19 (3): 244~250.
- [50] 陆丽娜, 范宏瑞, 胡芳芳, 等. 胶西北新城金矿成矿流体与矿床成因 [J]. 矿床地质, 2011, 30 (3): 522~532.
LU Li-na, Fan Hong-rui, HU Fang-fang, et al. Ore-forming fluids and genesis of Xincheng altered rock gold deposit in northwestern Jiaodong Peninsula [J]. Mineral Deposits, 2011, 30 (3): 522~532.
- [51] 姜晓辉, 范宏瑞, 胡芳芳, 等. 胶东三山岛金矿中深部成矿流体对比及矿床成因 [J]. 岩石学报, 2011, 27 (5): 1327~1340.
JIANG Xiao-hui, FAN Hong-rui, HU Fang-fang, et al. Comparative studies on fluid inclusion indifferent depths and ore genesis of the Sanshandao gold deposit, Jiaodong Peninsula [J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27 (5): 1327~1340.

- [52] 胡芳芳, 范宏瑞, 沈昆, 等. 胶东乳山脉状金矿床成矿流体性质与演化 [J]. 岩石学报, 2005, 21 (5): 1329 ~ 1338.
HU Fang-fang, FAN Hong-rui, SHEN Kun, et al. Nature and evolution of ore-forming fluids in the Rushanlode gold deposit, Jiaodong Peninsula of eastern China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21 (5): 1329 ~ 1338.
- [53] 徐九华, 谢玉玲, 申世亮. 小秦岭与胶东金矿床的成矿流体特征对比 [J]. 矿床地质, 1997, 16 (2): 151 ~ 162.
XU Jiu-hua, XIE Yu-ling, SHEN Shi-liang. A comparison of ore-forming fluids between gold deposits in Xiaoqinling Mountains and those in Jiaodong Peninsula [J]. Mineral deposits, 1997, 16 (2): 151 ~ 162.
- [54] 林文蔚, 殷秀兰. 胶东金矿成矿流体同位素的地质特征 [J]. 岩石矿物学杂志, 1998, 17 (3): 249 ~ 259.
LIN Wen-wei, YIN Xiu-lan. Isotope geological characteristics of mineralizing fluids of gold deposits in Jiaodong area and a discussion on the application conditions of H. P. Taylor's Equation [J]. Acta Petrologica Et Mineralogica, 1998, 17 (3): 249 ~ 259.

DISCOVERY OF BIOTITE MONZOLITE AND Ar-Ar THERMOCHRONOLOGY SIGNIFICANCE IN LINGLONG GOLD FIELD

SHEN Yu-ke¹, GUO Tao¹, YANG Yu-quan², CHEN Zheng-le¹,
WEI Chang-shan¹, SUN Hua-shan³

(1. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;

2. Shandong Zhaojin Group Co., Ltd., Zhaoyuan 265400, Shandong, China;

3. China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: The biotite monzolute that was discovered at 2170 meters below the surface in Linglong Gold Field in Jiaodong is not only used to find out the source of ore-forming material, but also is used to furnish new evidence for study the cause of mineralization of gold deposit. As the new rock types that was discovered in this area, Biotite monzonitichas the typical monzonitic texture under microscope. The non-metallic minerals composed the rock mainly are plagioclase, sodium feldspar, quartz, biotite and hornblende. It contains more metal minerals that mainly are pyrite and magnetitethan the other magmatic rocks in Northwest of Jiaodong. The biotite ⁴⁰Ar-³⁹Ar thermochronology indicate that the age of the formation of biotite monzonite is 123.7 ± 1.5 Ma which was later than the time of formation of Linglong granite, Luanjiahe granite and Guojialing granites, and is very close with the age of the formation of Linglong Gold Deposit. Although it is not sure that the metal minerals in the gold ore bodies in Linglong gold field directly come from biotite monzonite, the result of analysis of the characteristics of their generation time demonstrate that the metal minerals and biotite monzonite form in the same period and come from the same originate. In the process of invasion of the Biotite monzonite magma, it supply ore-forming materials for the formation of gold mine, and provides energy and driving force for ore-forming elements and ore-forming fluid migration. It can be deduced that the gold mineralization is closely related with the intrusion of biotite monzonite

Key words: Linglong gold field; biotite monzolute; age of mineralization; Ar-Ar thermochronology; source of ore-forming material