

胶东招莱地区大一超大型金矿床形成的几个关键因素

罗镇宽, 关 康, 余和勇, 李永明

(天津地质研究院, 天津 300061)

摘 要: 胶东招莱地区之所以能集中丰富的金矿资源是以下关键地质因素偶合的结果: 成矿地质背景是处在新太古代花岗-绿岩地体和后碰撞弧的构造环境下; 控矿断裂经历了多次韧-脆、剪切-拉张的复杂变形过程, 形成了宽大的构造岩带, 有利于赋存大规模矿体; 控矿断裂是复合-叠加在花岗岩的侵入接触带上, 有利于矿液的活动; 根据硫、铅同位素特征及产出地质背景, 推断成矿物质主要来自以新太古代绿岩为主的结晶基底; 根据氢氧同位素特征, 成矿流体为大气水和岩浆水的混合流体, 有利于搬运大量成矿物质; 矿床与岩脉(特别是煌斑岩脉)有密切的时间和空间关系, 表明矿区是构造和岩浆活动的中心, 有利于金矿床的形成; 成矿时代为燕山晚期。

关键词: 大一超大型金矿床; 关键因素; 偶合; 招莱地区; 山东省

中图分类号: P611; P618.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2003)02-0095-08

胶东地区是中国金矿床主要产地, 金矿储量和黄金产量均占全国的四分之一, 也是世界重要产地之一。胶东地区的金矿床又集中产在招(远)—莱(州)地区, 有玲珑、焦新超大型金矿床^[1], 大尹格庄、三山岛、仓上特大型金矿床和众多的大型金矿床。究竟是什么原因致使招莱地区集中如此多的大型—超大型金矿床? 作者据多年在胶东地区研究所得, 谈几点粗浅认识。

1 金矿床产于胶北绿岩地体和后碰撞弧构造背景下

胶东地区位于华北克拉通东缘, 传统构造将其划为胶辽台隆的一部分^[2], 板块-地体构造研究认为该区属胶北地体^[3,4]。胶北地体的西界是郯庐断裂, 该断裂是东亚最大的左行平移断裂系统的主干断裂^[5], 它经历了韧-脆性和剪切-拉张多次变形叠加的复杂变形过程, 控制了中生代以来东亚环太平洋带的构造演化。它可能是由秦岭—大别山古大洋的转

换断层演变而成。胶北地体的东南界为五莲—荣成断裂带, 该断裂带伴生有高压变质带、铁镁质岩带、榴辉岩带、糜棱岩带。断裂南北两侧具有不同的地层系统, 推测它是古生代华北克拉通南部边缘活动带^[6], 或秦岭—大别山造山带的古缝合线^[7]。晚古生代末, 胶北地体位于现在的蚌埠—五河地区的东延部位, 是郯庐断裂带巨大的左行平移将其推移到现在的位置^[5], 并沿五莲—荣成断裂发生陆内俯冲, 形成了玲珑等黑云母花岗岩类^[8]。根据以上论述, 可知中生代的胶北地体是处于华南、华北克拉通后碰撞弧(postcollision arc)构造环境。这就是胶东地区金矿床如此丰富的一个关键因素。世界有许多超大型金、铜矿床也是产在后碰撞弧环境^[9]。

2 控矿构造是经历了复杂变形的大规模构造岩带

招莱地区所有大一超大型金矿床几乎都产在招平(招远—平度)、焦新(焦家—新城)和三仓(三山岛

收稿日期: 2002-10-21; 修订日期: 2003-03-10;

基金项目: 国家攀登计划预选项目(95-预-25)资助。

作者简介: 罗镇宽(1937-), 男, 湖南浏阳人, 教授级高级工程师, 1965年毕业于北京地质学院, 长期从事金矿地质研究工作。

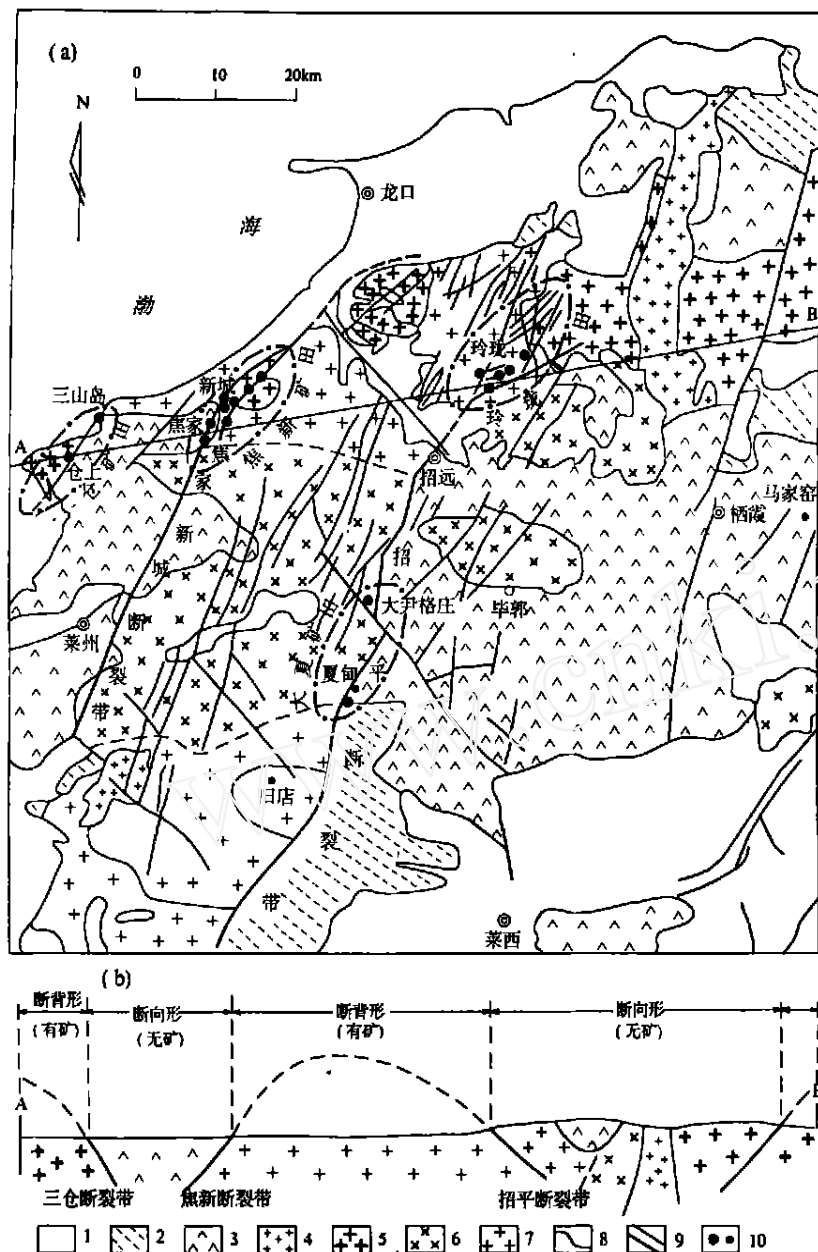


图 1 招莱地区金矿地质简图

Fig 1 Geological sketch of Au deposits in Zhao lai area

a 平面图 b 剖面图

1. 中生界 2. 元古宇 3. 太古宇胶东岩群 4. 艾山斑状花岗岩 5. 郭家岭斑状花岗岩
6. 滦家河花岗岩 7. 玲珑花岗岩 8. 地质界线 9. 主要和次要断裂 10. 金矿床

岛—仓上) 3 条主控矿断裂带上(图 1a), 这 3 条断裂带有以下主要特征:

(1) 断裂的总体走向为 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$; 断裂倾角为 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 。有的地段走向偏北, 为 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$; 如招平断裂带招远以南到夏甸一带; 有的地段偏东, 为 $50^{\circ} \sim 80^{\circ}$; 如招平断裂带招远以东的破头青断裂、焦新断裂带黄山馆以东地段和三仓断裂带的仓上矿区段。这类 NEE 走向的地段可能是改造了早期近 EW 向

基底断裂的结果。

(2) 断裂都经历了早期韧性剪切变形(D₂), 早中期(成矿前)的脆性剪切变形(D₃), 中晚期(成矿期)的拉张性剪切变形(D₄), 晚期(成矿后)再次受到压扭性剪切变形(D₅), 形成几十米到几百米, 甚至上千米宽的构造岩带, 包括糜棱岩、碎粉岩、碎粒岩、角砾岩、碎裂岩等, 这些构造岩是蚀变岩型矿体的主要赋存部位。

(3) 每条断裂都具有呈舒缓波状的主断裂面, 主断裂面上有 15 ~ 50 cm 厚的灰白色至灰黑色的断层泥。断层泥可划分出未固结、半固结、固结 3 种, 显示其多次压扭性剪切变形的特征。断层泥多为不透水层, 对矿液有隔挡作用, 因此绝大多数矿体产在主断面下盘的构造岩中。

(4) 断裂带长达几十公里至百余公里, 沿断裂带分布有大量的煌斑岩及其他脉岩, 表明断裂切割深度达上地幔。断裂带不仅为岩浆和成矿流体提供了通道, 也是矿体的主要赋存部位。因此它们可能既是导矿断裂, 又是容矿断裂。

(5) 3 条断裂带的不同之处是: 相邻两断裂的倾向相反, 形成“断背形”和“断向形”(图 1b)。推测早期断裂面可能是花岗岩的侵入不整合面, 后经挤压、上隆, 侵入不整合面被改造为断裂面, 形成“断背形”和“断向形”。有研究者认为它们是一组剖面上的 X 断裂^[10]不无道理。从全区讲, 矿床都分布在两

条断裂带构成的“断背形”中(图 2b), 即相邻两断裂的下盘花岗岩中。主要由胶东岩群组成的“断向形”范围内, 几乎没有金矿床。从单个矿床讲, 矿体主要产在断裂下盘, 仅少数矿体产在上盘。

上述控矿断裂的变形过程复杂, 规模大, 切割深, 是导致本区形成多个大—超大型金矿床的关键因素之一^[11]。

3 大—超大型金矿床(体)主要产在断裂复合-叠加花岗岩接触带

上述 3 条主要控矿断裂大部分地段复合-叠加在花岗岩接触带上。因此金矿床也主要产在复合-叠加的接触带附近。如玲珑(含台上、阜山)金矿产于玲珑花岗岩与滦家河型花岗岩的接触带附近; 大尹格庄、夏甸金矿床产在郭家店花岗岩与胶东岩群的接触带附近; 三山岛、仓上、焦家金矿床产在玲珑型花岗岩(包括部分郭家岭型花岗岩)与胶东岩群的接触带上; 新城、河东、上庄等金矿床则产在玲珑型花岗岩与郭家岭型花岗岩的接触带上。正如上文所述, 这些断裂原本是花岗岩的侵入接触带, 是后来的挤压、抬升, 使这些侵入接触带被改造为现在的断裂, 这些断裂复合-叠加接触带是岩浆和流体最活跃的地段^[12], 是形成大规模金矿床的又一重要因素。

4 成矿物质主要来自以胶东岩群为主的太古宙结晶基底

招莱地区大—超大型金矿床虽然主要是产在花岗岩中, 但它们产出的背景环境是新太古代花岗-绿岩地体。在矿区附近总可以见到胶东岩群斜长角闪(

片麻)岩类, 即绿岩的“身影”。如焦家、三山岛、仓上、大尹格庄矿床, 控矿断裂带上盘往常出现胶东岩群的斜长角闪岩, 即使是产在花岗岩体中的金矿床, 矿区岩体中的斜长角闪岩残留体或捕掳体也很常见, 表明矿区附近原本分布有角闪质变质岩类。

据前人^[13, 14]研究, 金矿床的矿石、围岩花岗岩类和胶东岩群的硫同位素组成基本一致(表 1, 表 2, 图 2), 它们都具有正向偏离陨石值、分布相对集中的共同特征, 说明它们具有一致的硫源, 这个硫源就是太古宙结晶基底。

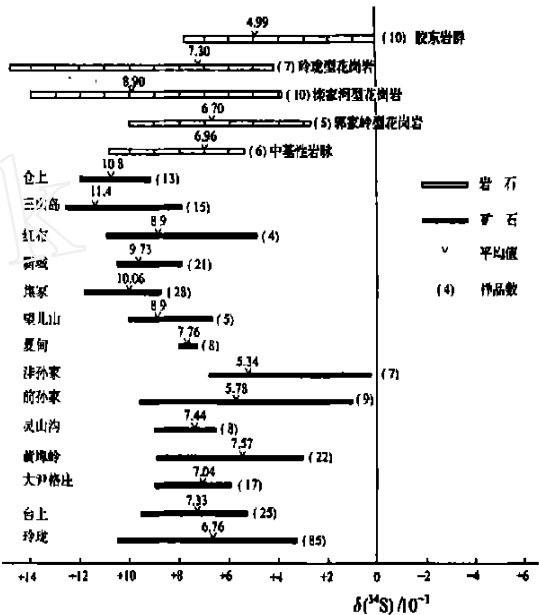


图 2 招莱地区胶东群、花岗岩类和金矿床硫同素组成特征

Fig 2 Features of S isotope composition for Jiaodong group, granites and Au deposits in Zhao lai area

表 1 招莱地区金矿床硫同位素组成

Table 1 S isotope composition of Au deposits in Zhao lai area

矿床(田)名称	样品数	δ(³⁴S) 均值/10 ⁻³	δ(³⁴S) 范围/10 ⁻³	δ(³⁴S) 极差/10 ⁻³	均方差	测定矿物
玲珑金矿田	85	6.76	3.3~ 10.4	7.1	1.08	Py+ Pyr
台上金矿床	25	7.33	5.3~ 9.5	4.2	1.19	Py+ Pyr
大尹格庄金矿床	17	7.04	5.9~ 8.9	3.0	0.68	Py+ Gn+ Sep+ Pyr
黄埠岭金矿床	22	7.57	3.0~ 8.8	5.8	1.12	Py+ Cpy
灵山沟金矿床	8	7.44	6.4~ 8.8	2.4	0.78	Py+ Cpy
前孙家金矿床	9	5.78	1.0~ 9.6	8.6	2.50	Py+ Cpy
津孙家金矿床	7	5.34	0.2~ 6.8	6.6	2.72	Py+ Cpy+ Gn
夏甸金矿床	8	7.76	7.4~ 8.0	0.6	0.27	Py
望儿山金矿床	5	8.9	6.7~ 10.0	3.3	1.56	Py
焦家金矿床	28	10.06	8.7~ 11.8	3.1	0.75	Py+ Cpy
新城金矿床	21	9.73	7.9~ 10.5	2.6	1.24	Py+ Cpy
红布金矿床	4	8.9	4.8~ 10.9	6.1	2.78	Py+ Cpy
三山岛金矿床	15	11.4	7.9~ 12.6	4.7	1.46	Py+ Cpy+ Sep+ Gn
仓上金矿床	13	10.8	9.23~ 12.0	2.77	0.82	Py+ Gn+ Sep

矿物代号: Py= 黄铁矿; Pyr= 磁黄铁矿; Gn= 方铅矿; Sep= 闪锌矿

资料来源: 王义文(1989), 王炳成等(1992), 李兆龙等(1993), 黄德业等(1995)

表 2 招莱地区主要岩石类型的硫同位素组成

Table 2 S isotope composition of major rock types in Zhaolai area

岩石类型	测定对象(样品数)	$\delta(^{34}\text{S})$ 范围及极差/ 10^{-3}	$\delta(^{34}\text{S})$ 均值/ 10^{-3}	资料来源
胶东岩群变质岩	黄铁矿(10)	0.00~7.8(7.8)	4.99	冶勘3队和黄德业(1994)
玲珑型花岗岩	黄铁矿(7)	4.2~14.9(10.7)	7.30	黄德业(1994)
滦家河型花岗岩	黄铁矿(10)	3.9~14.0(10.1)	8.90	黄德业(1994)
郭家岭型花岗岩	黄铁矿(5)	2.7~10.0(7.3)	6.70	王义文(1989)

本文收集了招莱地区 16 个金矿床共 128 个矿石铅同位素分析结果^[15], 并按单个矿床求出了平均值, 计算了单阶段模式年龄值(表 3)。现将其特征概括如下:

(1) 各矿床的铅同位素组成虽然存在一定的差别, 但总体上是比较一致的。单个矿床的 $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 的平均值稳定在 17.00~18.00, $w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 的平均值多稳定在 15.00~16.00, $w(^{208}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 稳定在 37.00~38.00, 只有少数矿床低于或高于这一范围(表 3)。

(2) 采用 H. H 法计算的单阶段模式年龄一般在 600~800Ma, 多数集中在 700Ma 左右(表 3)。这个年龄既不代表胶东岩群的年龄, 也不反映花岗岩类侵入体年龄, 更不是矿化年龄。表明矿石铅不属于单

阶段演化普通铅, 模式年龄不具有计时意义。

(3) 根据模式年龄计算 μ 值一般为 8.0~9.0(表 3), 只有极个别的矿床超出这一范围, 显示出招莱地区结晶基底铀亏损的特征。

(4) 胶东地区金矿床的矿石铅、花岗岩类的长石铅和胶东岩群的全岩铅的同位素组成是基本一致的(表 4), 将它们投影在图 3 中, 三者都落在克拉通化地壳区, 说明它们的铅源是一致的, 表明胶东地区金矿床的铅源主要是太古宙结晶基底, 显生宙以来地幔铅的加入微不足道。

根据金矿床的产出地质环境和硫、铅同位素特征, 推测成矿物质主要是来自太古宙结晶基底, 特别是其中的新太古代绿岩^[16, 17]。

表 3 招莱地区金矿床矿石铅同位素组成

Table 3 Pb isotope composition of Au deposits in Zhaolai area

矿床名称	$w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$	$w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$	$w(^{208}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$	μ 值	模式年龄(Ma)	样数	分析矿物
玲珑	17.286	15.441	37.984	8.89	633	58	Gn+ Py+ Sep+ Pyr
台上	17.512	15.471	37.934	8.92	501	20	Py+ Gn
东风	17.596	15.559	38.050	9.08	542	2	Py+ Gn
金翅岭	17.194	15.407	37.759	8.84	662	2	Gn
灵山沟	17.176	15.441	37.824	8.90	710	2	Gn
十里铺	17.134	15.441	37.739	8.93	753	7	Gn
望儿山	17.157	15.440	37.660	8.92	733	1	Py
马塘	17.268	15.555	38.036	9.14	784	2	Gn
焦家	17.272	15.477	37.758	8.97	686	10	Gn+ Py
新城	16.951	15.214	38.086	8.50	620	4	Gn+ Py
仓上	17.244	15.558	38.109	9.14	798	2	Gn
三山岛	17.222	15.460	37.840	8.95	710	14	Gn+ Py+ Sep
大尹格庄	17.132	15.421	37.636	8.88	729	2	Py
旧店	18.156	16.150	39.315	10.18	793	2	Gn

注: 计算参数数据 G. L. Cumming 和 J. R. Richards, 1975。

矿物代号: Py= 黄铁矿, Pyr= 磁黄铁矿, Gn= 方铅矿, Sep= 闪锌矿。

资料来源: 姚凤良等(1983), 王义文(1988), 李兆龙等(1993), 张理刚, 王炳成等(1994)。

表 4 招莱地区各地质体铅同位素组成

Table 4 Pb isotope composition of geological bodies in Zhao lai area

	$w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$	$w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$	$w(^{208}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$	μ 值	模式年龄(Ma)
胶东岩群	17.304	15.399	37.382	8.81	570
玲珑型花岗岩	17.166	15.441	37.733	8.92	725
滦家河型花岗岩	17.140	15.439	37.718	8.92	741
郭家岭型花岗岩	17.232	15.471	37.813	8.97	710

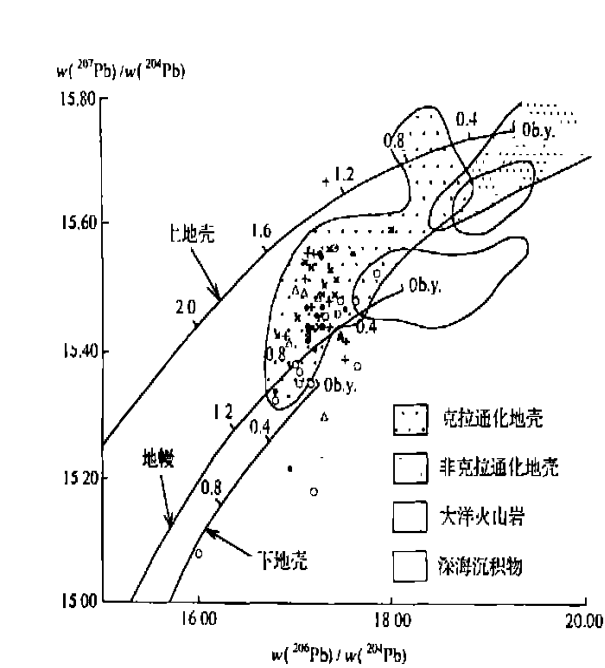


图 3 招莱地区金矿床铅同位素组成特征

Fig. 3 Pb isotope composition features of Au deposits in Zhao lai area

×. 郭家岭型花岗岩 滦家河花岗岩 +. 玲珑型花岗岩
 . 胶东岩群斜长角闪岩 . 金矿床

4 成矿流体的性质

前人通过实测($\delta(\text{D}_{\text{H}_2\text{O}})$)和计算($\delta(^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}})$)获得胶东地区金矿床成矿流体的氢氧同位素的大量数据(表 5)。 $\delta(\text{D}_{\text{H}_2\text{O}})$ 是直接测定石英流体包裹体获得的; $\delta(^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}})$ 是采用石英-水氧同位素方程和平衡温度计算获得的。下面分矿田(区)讨论成矿流体的性质和来源。

(1) 玲珑矿田的 23 件分析结果 $\delta(^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}) = 8.4 \times 10^{-3} \sim 1.88 \times 10^{-3}$, 平均为 5.78×10^{-3} ; $\delta(\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}) = -53.5 \times 10^{-3} \sim -93.00 \times 10^{-3}$, 平均为 -68.27×10^{-3} 。将其投影到 $\delta(\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}) - \delta(^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}})$ 图解中(图 4),

有 13 件样品落在 300 °C 岩浆水演化线之右侧, 有 6 件样品落在 300 °C 大气水演化线之左侧。显示成矿流体是大气水和岩浆水的混合流体。多数投影点落在 300 °C 岩浆水演化线右侧, 显示以岩浆水为主。

(2) 大尹格庄金矿床是招平断裂带南段的特大型金矿床, 有 3 件分析结果的 $\delta(^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}) = 1.4 \times 10^{-3} \sim -0.7 \times 10^{-3}$, 平均为 0.5×10^{-3} ; $\delta(\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}) = -81.00 \times 10^{-3} \sim -75.00 \times 10^{-3}$, 平均为 -77.7×10^{-3} , 是招莱地区 $\delta(^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}})$ 值和 $\delta(\text{D}_{\text{H}_2\text{O}})$ 值最低的金矿床。投影点落在 300 °C 大气水演化线左侧(图 4), 表明该矿床成矿流体也是大气水和岩浆水的混合流体, 但大气水占了主导地位。

(3) 三仓金矿田样品 6 个分析, 其 $\delta(^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}) = 4.41 \times 10^{-3} \sim 0.96 \times 10^{-3}$, 平均为 2.67×10^{-3} ; $\delta(\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}) = -60.58 \times 10^{-3} \sim -92.00 \times 10^{-3}$, 平均值为 -74.46×10^{-3} 。在图 4 中, 全部投点均落在 300 °C 大气水演化线左侧, 同样也显示出成矿流体以大气水为主的特征。

(4) 焦新矿田 3 个矿床的 9 件分析结果中, $\delta(^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}) = 6.69 \times 10^{-3} \sim 3.90 \times 10^{-3}$, 平均为 5.46×10^{-3} ; $\delta(\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}) = -60.07 \times 10^{-3} \sim -95.80 \times 10^{-3}$, 平均为 -79.76×10^{-3} 。投影到图 4 中, 投影点分散在 300 °C 大气水演化线交接的区域, 显示大气水和岩浆水所占比例相当。

综上所述, 招莱地区金矿床成矿流体为大气水和岩浆水的混合流体^[18]。但蚀变岩型和石英脉型之间还存在差别, 蚀变岩型金矿床(大尹格庄、三仓矿田、焦新矿田)的成矿流体以大气水为主, 这是因为蚀变岩型矿床控矿断裂规模大、切割深, 岩石破碎程度高, 有利于大气水的下渗、加热和循环, 演化为成矿流体; 而玲珑矿田石英脉型矿床的成矿流体以岩浆水为主, 则是因为含金石英脉与煌斑岩脉空间和时间关系密切, 表明控矿断裂直接或间接与上地幔是连通的, 可能会给成矿流体带来更多的与煌斑岩浆有关的岩浆水成分。

表 5 招莱地区金矿床矿石石英包裹体流体氢氧同位素组成

Table 5 H, O isotope composition of fluid inclusion from Au ores in Zhao lai area

序号	样号	矿床	采样位置及产状	测定对象	$\delta(^{18}\text{O}_{\text{石英}})/10^{-3}$	平衡温度()	$\delta(^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}})/10^{-3}$	$\delta(\text{D}_{\text{H}_2\text{O}})/10^{-3}$
1	260	玲珑	西山 230m 伟晶岩	石英	11. 1	350	5. 3	
2	309	玲珑	108 号乳白色石英脉	石英	14. 1	320	7. 4	- 83. 5
3	331	玲珑	108 号乳白色石英脉	石英	13. 1	320	6. 4	- 75. 2
4	249	玲珑	108 号含矿石英脉	石英	14. 1	323	7. 8	- 85. 2
5	308	玲珑	52 号含矿石英脉	石英	13. 8	340	7. 7	- 75. 2
6	333	玲珑	52 号含矿石英脉	石英	13. 0	312	6. 0	- 82. 5
7	261	玲珑	108 号石英方解石脉	石英	15. 0	280	6. 9	- 68. 7
8	262	玲珑	108 富硫化物石英脉	石英	15. 8	300	8. 4	- 73. 2
9	LD1	玲珑	51 号石英脉	石英	13. 6	250	4. 2	- 77. 7
10	04	玲珑	53 号石英脉	石英	14. 1	235	4. 0	- 85. 0
11	08- 2	玲珑	含金紫色石英脉	石英	12. 2	340	6. 1	- 76. 0
12	03- 2	玲珑	含金紫色石英脉	石英	10. 7	340	4. 6	- 64. 0
13	09	玲珑	含金硫化物石英脉	石英	16. 6	250	7. 2	- 54. 0
14	10	玲珑	含金硫化物石英脉	石英	15. 0	290	7. 2	- 58. 0
15		玲珑	含矿白色石英脉	石英	12. 3	330	6. 43	- 71. 3
16		玲珑	石英多金属脉	石英	10. 8	250	1. 88	- 73. 3
17		玲珑	白色石英脉	石英	12. 1	330	6. 17	- 65. 0
18		玲珑	灰色石英脉	石英	14. 2	270	5. 21	- 64. 2
19		玲珑	含金石英脉	石英	13. 8	300	6. 89	- 53. 5
20		玲珑	石英方解石脉	石英	13. 9	270	5. 79	- 53. 7
21	Q 19	玲珑	52 号石英脉	石英	12. 6	250	3. 2	- 93. 0
22	Q 48	玲珑	55 号石英脉	石英	13. 7	250	4. 3	- 76. 0
23	Q 145	玲珑	108 号石英脉	石英	13. 2	250	3. 8	- 62. 0
24		尹格庄	- 140m 含矿石英脉	石英	9. 1	/	- 0. 7	- 81. 0
25		尹格庄	- 140m 含矿石英脉	石英	11. 2	/	1. 4	- 75. 0
26		尹格庄	- 175m 伟晶岩	石英	9. 6	/	0. 7	- 77. 0
27	140- 1	仓上	- 50m 白色石英脉	石英	12. 6	250	3. 2	- 76. 7
28	140- 2	仓上	- 50m 灰色石英脉	石英	14. 1	250	2. 3	- 82. 0
29		三山岛	黄铁石英英脉	石英	/	/	4. 41	- 60. 6
30		三山岛	石英方解石脉	石英	12. 5	/	0. 96	- 92. 0
31		三山岛	石英重晶石脉	石英	12. 8	/	1. 26	- 72. 0
32		新城	- 70m 黄铁石英英脉	石英	13. 5	/	5. 40	- 91. 0
33		新城	- 70m 黄铁石英英脉	石英	14. 7	/	6. 60	- 81. 0
34		新城	- 70m 黄铁石英英脉	石英	13. 9	/	5. 70	- 89. 0
35		焦家	黄铁石英英脉	石英	/	/	5. 79	- 60. 1
36		焦家	黄铁石英英脉	石英	/	/	6. 69	- 60. 1
37		马塘	含矿石英脉	石英	10. 0	/	3. 90	- 75. 4
38		马塘	含矿石英脉	石英	13. 6	/	4. 60	- 88. 9
39		马塘	含矿石英脉	石英	13. 5	/	5. 50	- 95. 8
40		马塘	含矿石英脉	石英	14. 0	/	5. 00	- 76. 6

资料来源: 1~ 8 和 26~ 31 据王炳成等(1993); 9~ 14 和 33~ 35 据张理刚(1989); 15~ 20 和 40 据杜心君(1988); 24~ 25 和 36~ 37 据李兆龙等(1993); 30~ 31 据李晓明(1988); 21~ 23 据韩世珍(1986)。

据流体包裹体的研究结果,招莱地区金矿床的成矿温度为 200~ 350 ,属于中低温的范围;成矿压力范围为 30~ 50 MPa,相对较低,显示成矿深度不大;成矿流体的盐度 $w(\text{NaCl}) = 6\% \sim 14\%$,属中等

或低盐度^[16, 17]。与西澳耶尔岗地块的绿岩型金矿床相比,成矿温度和压力要低,而成矿流体的盐度明显偏高^[29, 30],显然两者成因是不同的。从上述特征看胶东招莱地区金矿床与环太平洋的浅成低温热液金矿

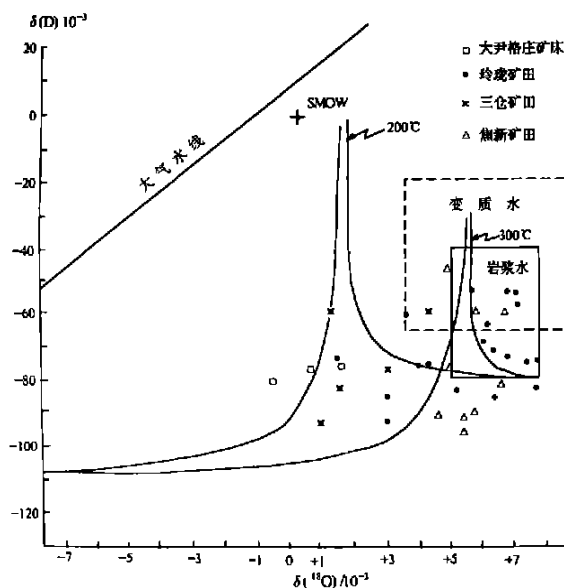


图 4 招莱地区金矿床 $\delta(^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}) - \delta(\text{D}_{\text{H}_2\text{O}})$ 图解

(据王炳成等(1993), 本文有修改)

Fig. 4 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} - \delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ Plot for Au deposits in Zhaolai area

床^[31]有着更多的相似性。

5 金矿与岩脉时间、空间关系密切

胶东招莱地区大—超大型金矿床与岩脉有密切的空间、时间关系, 尤其是玲珑金矿田, 岩脉的期次多, 成分复杂, 密度大, 达 10 条/km²^[19]。刘辅臣^[20]对玲珑矿田岩脉与含金石英脉进行研究后认为, 区内的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, 强调金矿床与岩脉存在成因关系。世界许多前寒武纪地质区金矿床与煌斑岩为主的中基性岩脉也存在这种伴生关系, Rorck 等写过一系列的论文, 强调金矿床与煌斑岩存在成因联系^[21, 22]。虽然这一认识后来受到 Tabor 等的批评^[23], 但作者认为, 在一个地区多成分、多期次脉岩的存在, 表明该地区既是构造活动的中心, 也是岩浆活动的中心, 只有这两者结合在一起, 才能形成金矿床成矿的有利条件, 与金矿脉时空关系最密切的是煌斑岩脉, 两者同构造空间, 形成的时差最小。同时也表明容矿断裂是直接或间接与上地幔连通的, 因此煌斑岩浆即使不是金的提供者, 也不能排除与煌斑岩浆同源或有关的深源流体参与成矿作用的可能。

6 成矿时代为燕山晚期

前人采用 K-Ar 法和 Rb-Sr 等时线法测定与成矿有关的蚀变绢云母或钾长石的同位素年龄, 将胶东金矿床的主要成矿年龄限定 105~135 Ma^[24, 25]。杨进辉等测得载金黄铁矿的 Rb-Sr 等时线年龄为 121.6~122.7 Ma^[26]。作者采用先进的 SHRIMP 测年方法测得玲珑型黑云母花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为 160~150 Ma, 郭家岭型花岗闪长岩的年龄为 130~126 Ma, 成矿后的花岗斑岩脉的年龄为 120 Ma。由于玲珑花岗岩和郭家岭花岗闪长岩被矿化, 金矿化年龄就被限制在 126~120 Ma^[27, 28], 与前人的结果一致, 属中生代燕山晚期。

大规模的成矿事件常常发生在一次大规模岩浆事件之后或其晚期, 燕山期是中国东部中生代强烈的岩浆活动期, 燕山晚期是最有利于形成大规模热液矿床的时期。

7 结论

综上所述, 胶东招莱地区的大—超大型金矿床形成于华南-华北克拉通后碰撞弧 (Postcollisional arc) 的构造环境; 受控于经历了韧-脆性、挤压-拉张复杂变形叠加的大型构造岩带; 根据矿床产出的地质环境和铅、硫同位素组成特征, 表明成矿物质主要来自以绿岩为主的太古宙结晶基底; 成矿流体为大气水和岩浆水的混合流体; 成矿深度不大; 成矿温度为中低温; 成矿时代为中生代燕山晚期, 与碰撞后的活动弧构造环境下的岩浆活动有成因联系, 属环太平洋成矿带的中-低温岩浆热液金矿床, 但成矿物质主要是来自以胶东岩群为主的太古宙结晶基底, 属太古宙结晶基底的矿源, 中生代构造-岩浆活动改造成矿。是上述有利成矿的因素偶合在一起, 使胶东地区形成如此多的大—超大型金矿床。

参考文献

- [1] 涂光炽. 中国超大型矿床 (I) [M]. 北京: 科学出版社, 2000. 1-7, 91-94.
- [2] 任纪舜, 姜春发, 张正坤, 等. 中国大地构造及其演化——

- 1 400万中国大地构造图简要说明[M]. 北京: 科学出版社, 1980. 29-33
- [3] 贾东, 何永明, 施央申. 鲁东联合地体的形成及其构造演化[J]. 南京大学学报(地球科学), 1989, (1): 34-42
- [4] 曹国权. 试论胶南地体[J]. 山东地质, 1990, 6(2): 1-9
- [5] 徐嘉伟. 郯庐断裂带研究的十年回顾[J]. 地质论评, 1992, 38(4): 316-325
- [6] 曹国权, 王致本, 张成基. 山东胶南地体及其边界断层五莲-荣成断裂的构造意义[J]. 山东地质, 1990, 6(1): 1-14
- [7] 王清晨, 从柏林, 赵中岩. 鲁南—苏北榴辉岩的大地构造意义[A]. 岩石圈构造演化开放实验室年报(1989~1990)[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1991
- [8] 罗镇宽, 关康, 苗来成, 等. 胶东招掖地区与金矿化有关花岗岩继承锆石年龄及其意义[J]. 地球学报, 1997, 18(增刊): 138-141
- [9] M ¨ller D, Groves D I. Potassic igneous rocks and associated gold-copper mineralization[J]. Springer London, 1997, (7): 85-133
- [10] 谢行义. 山东招远—掖县金矿控矿应力场初探[J]. 山东地质, 1986, 2(1).
- [11] 翟裕生, 张湖, 宋鸿林, 等. 大型构造和超大型矿床[A]. 见: 涂光炽. 中国超大型矿床(1)[C]. 北京: 科学出版社, 2000. 136-152
- [12] 孙希贤, 易顺华. 断裂叠加接触带及其对充填热液矿床成矿的控制作用[J]. 中国区域地质, 1986, (3): 249-255
- [13] 姚凤良, 刘连登, 孔庆存, 等. 招掖金矿带的稳定同位素地质及金矿床成因[J]. 长春地质学院学报, 1983, (4): 7-18
- [14] 黄德业. 胶东金矿成矿系列硫同位素研究[J]. 矿床地质, 1994, 13(1): 75-87
- [15] 王义文. 胶东西北部地区金矿床铅同位素特征及其地质意义[J]. 长春地质学院学报, 1988, 18(3): 277-286
- [16] 杨敏之, 吕古贤. 胶东绿岩带金矿地质地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1996
- [17] 李兆龙, 杨敏之. 胶东金矿地质地球化学特征[M]. 天津: 天津科学技术出版, 1993
- [18] 张理刚, 王炳成. 焦家式金矿水-岩交换作用[J]. 矿床地质, 1994, 13(3): 193-200
- [19] 刘辅臣. 玲珑金矿中基性岩脉与矿化关系的探讨[J]. 地球科学, 1984, (4): 37-46
- [20] 刘连登, 姚凤良, 孔庆存, 等. 岩脉在热液矿床成因中的意义——以胶东西北部金矿床为例[J]. 长春地质学院学报, 1984(4): 13-28
- [21] Rock N M S, Groves D I. Do lamprophyres Carry gold as well as diamonds[J]. Nature, 1988, 332: 253-255
- [22] Rock N M S, Groves D I. Can lamprophyres resolve the genetic controversy over mesothermal gold deposits[J]. Geology, 1988, 16: 538-541
- [23] Taylor W R, Rock N M S, Groves D I. Geochemistry of Archean shoshonitic lamprophyres from the Yilgarn Block, Western Australia: Au abundance and association with gold mineralization[J]. Applied geochemistry, 1993, 9: 197-222
- [24] 骆万成, 伍勤生. 应用蚀变矿物测定胶东金矿的成矿年龄[J]. 科学通报, 1987, 33(6): 1245-1248
- [25] 张振海, 张景鑫, 叶素芝. 胶东金矿同位素年龄厘定[M]. 北京: 地震出版社, 1994
- [26] 翟明国, 杨进辉, 刘文军. 胶东大型金矿集中区及大规模成矿作用[J]. 中国科学(D 辑), 2001, 31(7): 545-552
- [27] 罗镇宽, 关康, 苗来成, 等. 胶东招掖地区与金矿化有关花岗岩类继承锆石年龄及其意义[J]. 地球学报, 1997, 18(增刊): 138-141
- [28] 苗来成, 罗镇宽, 黄佳展, 等. 山东招掖金矿带内花岗岩类侵入体锆石 SHR MP 研究及其意义[J]. 中国科学(D 辑), 1997, 27(3): 207-213
- [29] Groves D I, Ho S E, McNaughton N J, *et al*. Genetic models for Archean lode-gold deposits in Western Australia[A]. In: Ho S E, Groves D I. Advances in Understanding Precambrian Gold Deposits, Volume II. Univ. of Western Australia[C]. Geology Dept. Univ. Ext. Publ. 12, 1-22
- [30] Groves D I, Ridley J R, Bloem E T M, *et al*. Lode-gold deposits of the Yilgarn Block: products of late-Archean crustal-scale over pressured hydrothermal systems[A]. In: Coward M P, Ries A C. Early Precambrian Processes[C]. J. Geol. Soc. London Spec. Publ. 1995, 95: 155-172
- [31] Sillitoe R H. characteristics and controls of the largest porphyry Cu-Au and epithermal Au deposits in the Circum-pacific region, Australian Journal of Earth Science, 1997, 44: 373-388

THE KEY FACTORS FOR FORMATION OF LARGE-SUPERLARGE AU DEPOSITS IN ZHAOLAI AREA, JIAODONG REGION

LUO Zhen-kuan, GUAN Kang, YU He-yong, LI Yong-ming

(Tianjin Geological Academy, Tianjin 300061, China)

Abstract The abundant and concentrated Au mineral resources in Zhaolai area, Jiaodong region is the
(下转第 142 页)

(Changchun institute of technology, Changchun 130021, China)

Abstract Deep mixing method has been used widely in our country as a way of soft-soil treatment, but during the course of construction, the strength of the pile shaft is usually influenced because of the problems such as the mixed material's returning to surface, the homogeneous degree of soil mixing, additives and or soon. So in the course of the construction some way must be done to decrease occurrence of such phenomena

Key words: deep mixing method; the problems of the mixed material's returning to surface; the homogeneous degree of soil mixing additive

(上接第 102 页)

coupling effects of the following factors: the Neoproterozoic granite-greenstone terrane and post collision arc geological background; exposition of ore-controlling fracture to multiple ductile-brittle, shearing-stretching deformation to form wide tectonite zones which are favourable for large scale ore bodies; superimposition of ore-controlling fractures on contact zones of granitic bodies favourable for hydrothermal fluid activity; ore materials supplied by basemental greenstone-dominated rock inferred by S, Pb isotopic feature; incorporation of meteoric water into magmatic water to form large volume flow of ore fluid and transport large volume ore materials inferred by H, O isotope feature; magmatism centered at ore district evidenced by close spatial relation between Au deposit and lamprophyre dykes favourable for formation of Au deposits; the ore-forming period coincided with the late stage of large scale Yanshanian magmatism.

Key words: large-superlarge Au deposit; key factor; coupling; Zhao lai area; Shandong province

欢迎订阅《地质找矿论丛》

《地质找矿论丛》经国家科技部和国家新闻出版总署批准,由天津地质研究院主办的全国性地学科期刊,1986 年创刊,国内外公开发行,现为季刊,每期 72 页,A4 国际开本。中国标准刊号:ISSN 1001-1412,CN 12-1131/P。

《地质找矿论丛》是国际著名检索刊物美国《化学文摘》(CA)和俄罗斯《文摘杂志》的收录期刊,同时作为中国科技论文统计源期刊、《中国科学引文数据库》和《中国地质文摘》来源期刊,期刊全文入编《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》和《万方数据系统科技期刊群》和《中文科技期刊数据库》,以多种形式为读者服务。

《地质找矿论丛》主要报道矿产成矿理论与成矿预测、物质成分及综合利用、水文地质与工程地质、环境地质调查与治理、资源勘查工程、矿产品深加工技术、地质矿产技术经济等方面的科研成果、进展评介、研究简报,并不断开拓报道领域与深度。

《地质找矿论丛》面向从事地质科研、矿产勘查、矿山企业、矿产品开发的科技人员和地学院校师生。热忱欢迎地矿行业、地学院校、文献信息部门的单位和个人踊跃订阅。

《地质找矿论丛》为季刊,每季度末月出版。每期定价 5.00 元,全年共计 20.00 元,订户可向本刊编辑部函索订单订阅,订购款一律邮汇,请在汇款单“附言”栏中写明订阅份数和用途,并将订阅单的第二、三联填写详细,盖章后寄回本刊编辑部。本刊也可通过“全国非邮发报刊联合征订服务部”订阅。

《地质找矿论丛》编辑部地址:天津市河西区友谊路 42 号,天津地质研究院《地质找矿论丛》编辑部;
邮政编码:300061; 联系人:王书辉; 联系电话:022-28367243; E-mail: luncong@yeah.net