

107-119

## 胶东西北部金矿的控制因素

p618.5/0.2

林文蔚 赵一鸣 赵国红 彭 聪

赵维刚

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京)

(山东地质矿产局第四地质队, 山东高密)

**提 要:** 胶东西北部是我国重要的金矿产区, 其金矿化具有东西成带、北东成列及北强南弱的空间分布特点。作者借助 16 条重磁剖面的反演及岩体形成温压条件的计算, 确定了玲珑花岗杂岩的岩源及空间形态, 并建立了重熔岩浆及其流体的模拟数学模型, 指出太古宙基底建造、变质相带、北东及东西向构造、玲珑花岗杂岩的空间形态、岩源、重熔机制、形成的物化条件, 以及燕山期热事件的强度, 综合制约着胶东西北部金矿的区域分布, 认为上述条件的差异, 是控制各构造-岩区金成矿特征和成矿潜能差异的因素。

**主题词:** 金矿床 玲珑花岗杂岩 重熔作用 矿床模型 胶东

胶东西北部是我国金矿的重要产区, 然而, 在区内金矿化强度、矿床分布特征和成矿潜能都有所不同, 数以百计的各种规模的金矿床分布于程廓-观里店构造带与黄山馆-大辛店构造带之间, 沿三山岛-福山构造带展布(图 1)。胶东西北部 90% 以上的金储量集中在一个东西长 60 km, 南北宽 15 km 的近东西向的构造带内, 而与之毗邻的南部地区金矿化强度减弱, 在程廓-观里店构造线之南, 金矿主要集中在呈北东向展布的几个大型断裂带内, 而在旧店-河头店构造线之南只有规模不大的中、小型矿床。全区由北向南金矿化由强而弱的分布格局, 深刻反映出胶东西北部北、南两段金成矿背景、金成矿潜能的不同。本文对本区金矿控制因素进行解析, 提出太古宙绿岩建造中与重熔岩浆作用有关的再生金矿的成矿模型。

## 1 基底建造对金矿化的控制作用

### 1.1 胶东岩群<sup>[1]</sup>及原岩建造对金矿化的控制

胶东岩群的划分经历了长期沿革的历史, 1970 年 805 地质队建立了胶东岩群的蓬乔组、民山组、富阳组的三分方案, 1986 年胶东岩群现场讨论会推出了由下而上的五分方案, 即唐家庄组、英庄乔组、齐山组、林家寨组及小庄组。新建的胶东岩群在总体上只相当于原胶东岩群的蓬乔组和民山组第一岩段, 而将其上部层位划归荆山群。

胶东岩群之原岩属优地槽中基性火山岩夹部分粘土岩、泥砂质岩及碳酸盐岩的火山-沉积建造。在整体上显示出太古宙绿岩建造的性质。胶东西北部大部分金矿赋存于胶东岩群或胶东岩群与玲珑花岗杂岩接触带附近, 金矿床的分布与胶东岩群间具有密切的空间关系(表 1)。胶东大、中型矿床主要集中在胶东岩群分布区, 占矿床总数的 77% 以上, 占已探明储量的

• “八五”地质矿产部定向基金项目(G35)资助

林文蔚, 男, 1941 年生, 副研究员, 从事矿床地球化学研究。邮政编码: 100037

1996-08-19 收稿, 1996-12-23 修改回

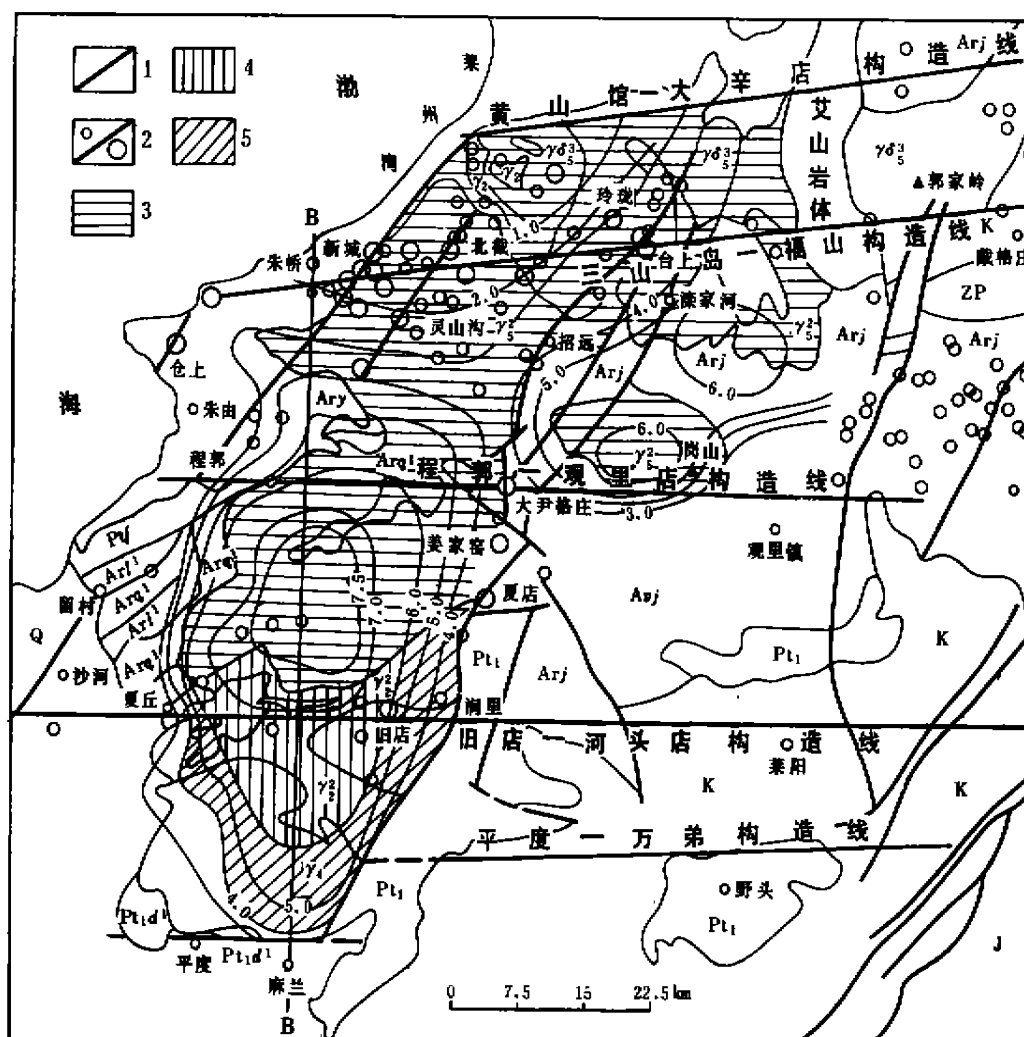


图1 胶东西北部地区地质略图

Q—第四系, K—白垩系, ZP—元古宇蓬莱群, Pt<sub>1</sub>f—元古宇粉子山群, Pt<sub>1</sub>—下元古界荆山群, Pt<sub>1</sub>d—荆山群陡崖组, Arj—太古宇胶东岩群, Ar<sub>1</sub>—胶东岩群林家寨组, Ar<sub>q</sub>—胶东岩群齐山组, Ar<sub>y</sub>—胶东岩群英庄组, Ar<sub>z</sub>—胶东岩群唐家庄组,  $\gamma$ —花岗岩,  $\gamma\delta$ —花岗闪长岩, 1—断裂、构造带(线), 2—金矿床、矿点, 3—花岗岩熔融底界面为胶东岩群下部唐家庄组, 4—花岗岩熔融底界面为齐山组, 5—花岗岩熔融底界面为胶东岩群上部(林家寨组)。图中等值线表示岩体厚度

Fig. 1. Geological sketch map of northwestern Jiaodong area.

Q—Quaternary, K—Cretaceous, ZP—Proterozoic Penglai Group, Pt<sub>1</sub>f—Proterozoic Fenzishan Group, Pt<sub>1</sub>—Lower Proterozoic Jingshan Group, Pt<sub>1</sub>d—Douya Formation of Jingshan Group, Ar<sub>j</sub>—Archean Jiaodong Group, Ar<sub>1</sub>—Linjiazhai Formation of Jiaodong Group, Ar<sub>q</sub>—Qishan Formation of Jiaodong Group, Ar<sub>y</sub>—Yingzhuangkuang Formation of Jiaodong Group, Ar<sub>z</sub>—Tangjiazhuang Formation of Jiaodong Group,  $\gamma$ —Granite,  $\gamma\delta$ —Granodiorite, 1—Fault, structural zone (line), 2—Gold deposit, ore spot, 3—Lower interface of granite located in Tangjiazhuang Formation of Lower Jiaodong Group, 4—Lower interface of granite located in Qishan Formation, 5—Lower interface of granite located in Upper Jiaodong Group (Linjiazhai Formation). Contour lines on the map indicate thickness of the rock body.

表 1 招-掖-平地区金矿床在各组地层中的分布

Table 1. Distribution of gold deposits in various stratigraphic formations of Zhaoyuan-Yexian-Pingdu area

地 层	蓬乔组	民山组	富阳组	裸格庄组	野头组	陡崖组	其它	无层状岩石区
各组地层中金矿床数所占的比例(%)	26.42	43.40	7.55	1.89	5.70	1.00	3.80	9.40
已探明储量在各组地层中的分布(%)	19.31	74.14	0.21		0.13			6.21
金矿床在主要类型的围岩中的分布(%)	角闪质岩石			片麻岩类		其它岩类及无层状岩石区		
	51.00			33.40		15.60		
已探明储量在各种含矿围岩中的分布(%)	93.00			2.00~3.00		5.00		

93%,这不仅喻示出胶东岩群对本区金矿有重要的控制意义,而且也说明非胶东岩群中的金矿小且分散。在岩性上,金矿主要集中在角闪质岩石分布区,在已探明的储量中,出现角闪石的围岩占 93%~94%,角闪质岩石与斜长片麻岩的组合是本区大、中型金矿的有利围岩,这种组合主要见于胶东岩群的中、下部层位。

荆山群是以陆源碎屑沉积、海相碳酸盐沉积为主体,其中夹基性、酸性火山岩的变质岩系,表现出冒地槽沉积特点。荆山群无论在原岩建造、形成环境、金丰度等诸多方面与胶东岩群不同,其成矿潜能逊于胶东岩群。

## 1.2 胶东岩群中的金丰度

不少学者曾报道胶东岩群金的测试结果,朱奉山(1979)、张耀璞(1983)、杨士望<sup>[2]</sup>、王鹤年等<sup>[3]</sup>、袁有守等<sup>[4]</sup>、王炳成<sup>[5]</sup>认为胶东岩群是一个富金地质体(表 2),在斜长角闪岩、变

表 2 胶东岩群中金含量

Table 2. Gold content of various formations of Jiaodong Group

地层或岩性	样品数	Au 平均含量 ( $10^{-9}$ )	样品数	Au 平均含量 ( $10^{-9}$ )	样品数	Au 平均含量 ( $10^{-9}$ )
胶东岩群	97	19.51	64	22.91	60	12.20 <sup>①</sup>
富 阳 组	15	9.77	19	35.26	14	6.00
民 山 组	45	13.69	17	23.47	21	7.00
蓬 乔 组	37	30.52	28	14.18	25	20.00
斜长角闪岩	30	24.45	34	20.26	26	15.00
变 粒 岩	14	37.30	48	33.40	86	18.50
片 麻 岩	17	13.27	14	26.14		
片 岩	14	7.56	5	16.60	3	7.00
资料来源	[3]		[5]		[4]	

①按地层厚度加权平均值

粒岩等正变质岩系中有较高的金含量,而在片麻岩,特别是片岩中金含量较低。王鹤年等<sup>[3]</sup>考察了胶东岩群各组地层中金分布特征,并识别出从富阳组至民山组、蓬乔组依次出现单峰、双峰、三峰对数正态分布,反映出金的分布经历了多次迁移富集的历史,多峰分布是鉴别含矿建造的重要标志。变粒岩及斜长角闪岩有较高金丰度,而且变粒岩熔融温度相对较低,这就促使在其熔融过程中金的大量释放,形成富金流体相。

近年来对胶东岩群的测定结果表明金的含量大为降低,各组平均值低于  $2 \times 10^{-9}$ ,荆山群、粉子山群金含量也在  $1.92 \times 10^{-9} \sim 2.67 \times 10^{-9}$  之间。面对胶东岩群金丰度两种不同的测定

结果,如何估计胶东岩群初始金含量问题应考虑下述因素:胶东岩群中不同岩石类型、不同地区金分布的不均匀性;多次热事件促成了金的再分配;金在成矿过程中的富集和外围地区的广泛贫化。因此,刘英俊等建议在厘定金矿源的金丰度时,应考虑到已经转移到矿床中金的数量。笔者对荆山群,特别是野头组进行了系统测定,野头组平均金含量为  $8.6 \times 10^{-9}$ , 金的最大富集地段是发生在中基性火山岩与沉积岩频繁交互成层或其过渡部位,特别是进入火山活动和由火山活动转出阶段。有鉴于此,对胶东岩群含金性的厘定,也应以胶东岩群形成的构造、建造、相环境和地层结构为基础,考虑到它所经历的热历史和金多次迁移活化等因素。目前所获得的两组数据无论从样品数量上和样品分布上均不能确切反映出胶东岩群的实际情况。但是考虑到我国太古宙绿岩金矿(辽吉、豫西、冀东、小秦岭等)分布区丰度较高,特别是本区在宽 15 km 长 60 km 的狭长太古宇分布地段内就集中数百吨金的事实,有理由推测太古宇初始金含量较高。以杨士望<sup>[2]</sup>的分析结果为基础,做出金含量对数分布曲线图(图 2),在该曲线上确定其众数为  $6 \times 10^{-9}$ , 由图 2 可见它低于其平均值,以离散数据仿真方法模拟取样,做出抽样曲线(图 3)。该曲线充分反映出金分布的不均匀性,但抽样在 1500 次以上时,曲线趋于平缓,经一万次抽样得到金平均含量为  $12.09 \times 10^{-9}$ , 按这一模式得到胶东岩群金的平均含量应在  $6 \times 10^{-9} \sim 12 \times 10^{-9}$  左右,是一个相对富金地质体,胶东岩群的存在是本区金矿找矿的重要条件。

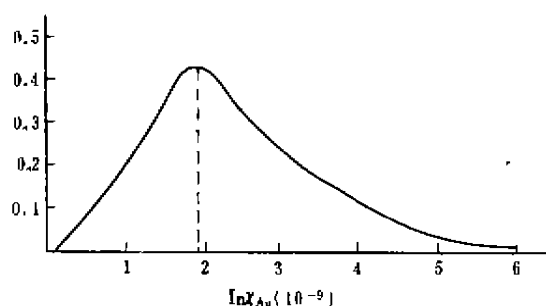


图 2 胶东岩群金含量对数分布曲线图

Fig. 2. Logarithmic distribution curve of gold content of Jiaodong Group.

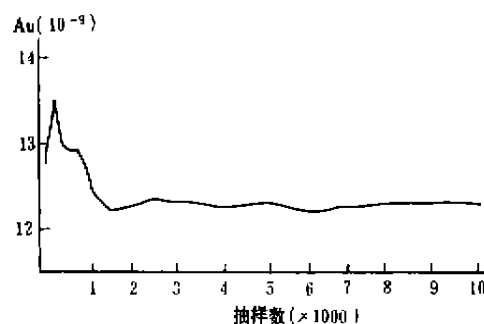


图 3 胶东岩群金含量与抽样次数曲线图

Fig. 3. Relationship between average gold content of Jiaodong Group and number of sampling times.

### 1.3 变质作用、混合岩化和金的富集

依据区域变质岩石组合将胶东地区变质岩划分为三个变质相,即麻粒岩相、高角闪岩相和低角闪岩相(表 3),各相带金矿化强度有很大不同。由表 3 可见,胶东西北部地区变质作用中明显存在地热梯度,莱西—平度—安丘一带构成高温地热背斜,在此地热背斜中仅存在中、小型金矿化,向南北两侧依次展布有高角闪岩相和低角闪岩相,变质温度由高于  $700^{\circ}\text{C}$  降至  $500^{\circ}\text{C}$  以下。在这种地热场的驱动下,岩石中挥发组分及金属元素向低级变质带迁移,形成金分布的空间梯度。因而,本区大、中型金矿主要集中在低角闪岩相中,在高角闪岩相中,亦有为数不多的金矿床,被局限在呈北东展布的大型断裂内。而在麻粒岩相中金矿储量很少。杨士望<sup>[2]</sup>基于对胶东岩群系统剖面的研究指出,在角闪二辉麻粒岩相的岩石中金的平均含量为

表 3 胶东西北部变质相及与金矿化强度的关系  
Table 3. Relationship between metamorphic facies and gold mineralization intensity  
in northwestern Jiaodong

变质相	地理分布	地层、岩性	变质作用物化条件		金矿化强度
			典型矿物组合或 边界反应	温压条件	
麻粒岩相(角闪 麻粒岩相及二 辉麻粒岩相)	分布于河头店、唐家庄、 南墅、明村等地。南北宽 10~18 km	唐家庄组、英庄 组、齐山组下段及 下元古界荆山群	$\text{Opx} + \text{Cpx} \pm \text{Hb} + \text{Pl}$	$t = 770 \sim 830^\circ\text{C}$ $p = 636 \sim 645\text{MPa}$	较弱,赋存有旧店、南 墅、平度上庄-下庄等 中、小型矿床数处
高角闪岩相	分布于麻粒岩相南北两 侧,北自大柳家经西留、 齐山、神堂达粉子山。南 侧分布于莱西至平度一 带	英庄组、齐山 组、林家寨组下段	紫苏辉石消失,存在矽 线石。边界反应: $\text{MuS} + \text{Qz} \rightarrow \text{K-fp} + \text{Sil} +$ $\text{H}_2\text{O}$ ( $200 \sim 350\text{MPa}$ , $620 \sim$ $680^\circ\text{C}$ )	$t = 660 \sim 700^\circ\text{C}$ $p = 400 \sim 600\text{MPa}$	较强,有大尹格庄、曹家 洼、夏店、姜家窑等大、 中型矿床,主要分布在 北东向大型断裂带及其 两侧
低角闪岩相	分布于栖霞背斜南北两 翼,以北翼最发育	唐家庄组、齐山 组、英庄组	边界反应: $\text{Chl} + \text{Mus} \rightarrow \text{St} + \text{Bi} +$ $\text{Qz} + \text{H}_2\text{O}$ $\text{Chl} + \text{Mus} + \text{Qz} \rightarrow \text{Cor} +$ $\text{Bi} + \text{Al}_2\text{SiO}_5 + \text{H}_2\text{O}$ ( $465 \sim 565^\circ\text{C}$ , $p = 50 \sim$ $400\text{MPa}$ )	$t = 580^\circ\text{C}$ $p = 300\text{MPa}$	本带金矿储量约占全区 储量的 90%,大、中型矿 床星罗棋布

$5.38 \times 10^{-9}$ , 高角闪岩相为  $6.6 \times 10^{-9}$ , 低角闪岩相为  $19.3 \times 10^{-9} \sim 52.6 \times 10^{-9}$ 。上述数据说明在变质作用中金由高级变质带向低级变质带发生了显著迁移。

变质作用后期地壳隆升,在绝热环境下造成广泛的区域混合岩化,在富水地壳中,金与相关元素 Cu、Pb、Zn、Ba 等向混合岩化前峰迁移,形成金的二次富集带,如在乳山地区,在混合岩化前峰中金的含量是混合岩化中心的 6.6 倍(徐景奎, 1991)。

#### 1.4 矿质来源的铅同位素判据

59 件铅同位素组成特征表示出本区铅不是在一个封闭系统中演化的正常铅。其中 23 件样品显示出两阶段铅演化特征(图 4),其线性回归方程截距为 11.5488,斜率  $b=0.22274 \pm$

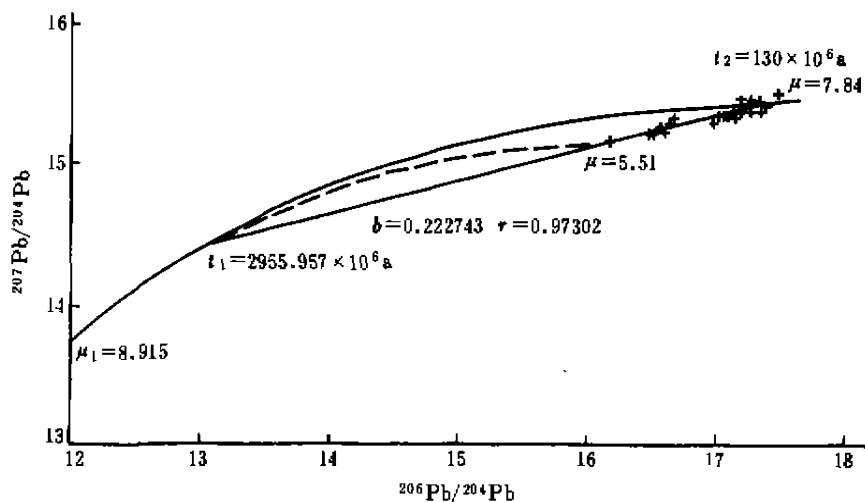


图 4 胶东西北部地区两阶段铅同位素图解

Fig. 4. Two-stage lead isotopic model of northwestern Jiaodong.

0.00145, 相关系数  $r=0.97302$ , 经 F 检验, 相关显著。以燕山期热事件为  $t_2$  值 ( $t_2=130 \times 10^6$  a), 则  $t_1=2955.96 \times 10^6$  a,  $\mu_1=8.915$ 。这一  $\mu$  值与多伊推荐的地幔  $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$  值 8.92 十分接近, 说明这簇铅来自于地幔, 计算出各样品的  $\mu$  值, 其值介于 5.506~7.838 之间, 它位于下部地壳与幔源铅同位素组成范围, 由此可见在大约 29 亿年前, 地幔铅向上部运移进入下地壳环境, 形成具有不同  $\mu$  值但总体上具有下壳铅特征的同位素体系, 这就说明胶东西北部金矿源形成于太古宙, 导源于地幔, 而金的大规模富集发生在燕山期。

## 2 构造控岩控矿作用

### 2.1 东西向构造控制着招-掖-平地区基底岩系的分布、岩浆岩的空间展布、形态、岩源和成矿潜能

总体上呈东西向展布的栖霞背斜及由北而南排布的黄山馆-大辛店构造带、三山岛-福山构造带、程廓-观里店构造带、旧店-河头店构造带、平度-万第构造带, 共同控制着基底岩系的分布、花岗岩空间形态、岩源和金矿的区域分布 (表 4)。表 4 示出东西向构造带在总体上使两断裂间的断块由北而南依次抬升, 使区内出露的地层由北向南变新。在区域北部花岗闪长岩、二长花岗岩均很发育, 重熔作用强度大, 温压较高, 在区域中部缺乏郭家岭型岩体。只见二长花岗岩, 区域南部燕山期热事件减弱, 以出露元古宙混合花岗岩及岩株状海西期二长

表 4 东西向构造控岩、控矿作用一览表

Table 4. Rock-controlling and ore-controlling roles of EW-trending structures

“断块”	位 置	地 层	花岗岩岩体				燕山期热事件强度	矿床(点)分布及其特点	矿床规模、成矿潜能
			岩体	岩体下底界	岩体厚度	岩源			
1. (1-1, 1-2)	北抵黄山馆-大辛店构造带, 南至程廓-观里店构造带, 以三山岛-福山构造带为中心, 分北南两小区 I-1, I-2, (合上-招远之南)	胶东群, 唐家庄组, 大抵山组, 向西向地层变新	该部郭家岭型、二长花岗岩, 向南部消失	唐家庄组 (莲沓组)	此区岩体厚 1~6 km, 北部小区 1~3 km, 南部 3~6 km	由唐家庄组、家英组、齐山组组成	强烈	囊括本区绝大多数特大、大型、中型矿床。小型矿床星罗棋布, 蚀变岩型、石英脉型矿床均发育, 由北向南矿床数减少, 向大型断裂中集中	矿床规模大, 是本区最重要成矿带
I	北抵程廓-观里店构造带, 南达旧店-河头店构造带	招平断为裂陷带, 唐家庄组、家英组、齐山组下断, 裂陷带以西为林家寨组, 反映招平逆冲性质	仅见郭家岭型、二长花岗岩, 不见云、山、岩体	唐家庄组, 南部界林家寨组	3.5~7 km	由唐家庄组、家英组、齐山组组成, 比 I 增多	强烈	玲珑岩体内部矿床少, 有经济价值的大中矿床, 特别是招平断裂中	中、大型矿床均产于裂陷带中, 由北向南矿化程度减少, 成矿条件趋于不利
II	位于旧店-河头店构造带与平度-万第构造带之间	荆山群及粉子山群	元古宙混合花岗岩, 古花、海、岩体	林家寨组	4~7 km	胶东群, 荆山群, 粉子山群	弱, 未形成完整山位, 期热事件显示	沿招平断裂及程廓-观里店构造带分布, 其断带中也有金矿化显示, 工业矿化集中在 I-II 段的交接区	除旧店外, 小型成矿点, 成矿条件中、北

花岗岩为特征。花岗岩之源岩由北部地区胶东岩群中、下部层位向南过渡为荆山群乃至粉子山群。燕山期热事件由北至南减弱。

## 2.2 北东向构造对金矿的控制作用

(1) 本区主要分布三条北东向的主干断裂,由西向东分别为三山岛-石埠断裂、黄县-掖县断裂和招远-平度断裂。它们分别控制着三山岛、仓上;新城、焦家;阜山、玲珑、台上、大尹格庄、夏店等矿床。这些矿床沿构造带呈线形展布。

(2) 北东向构造当其跨越东西向构造带时,它所控制的含矿建造、矿床分布及产状特征均呈现规律性的变化,在区域北部金矿星罗棋布,不同规模的北东向断裂中均有金矿产出,向南“面上”的金矿减少,大、中型矿床只局限在规模较大的断裂中,如大尹格庄、夏店等矿床,再向南矿化规模减小,只有中、小型矿床产出。

(3) 北东向构造由南向北其力学性质、构造带中岩脉的发育程度、构造岩类型、围岩蚀变特征、金矿化强度均有不同。如招平断裂南段以塑性变形为主,广泛发育糜棱岩化。断裂带内岩脉不发育,蚀变以硅化、钾化为主,而断裂北段以脆性变形为主,碎裂岩发育,断裂带及其旁侧有大量中、基性脉岩,黄铁绢英岩、绢英岩等蚀变显著,金矿化强烈。

(4) 主干断裂主要赋存有蚀变岩型金矿化,而派生低序次断裂中主要控制石英脉型金矿化。压扭性断裂中蚀变岩型矿化发育,张扭性构造中则多见石英脉型矿化。

## 3 玲珑花岗质杂岩对金矿化的控制作用

### 3.1 玲珑花岗质杂岩的基本特征

玲珑花岗杂岩是多阶段多期次形成的复式岩体,主要由云山、崔召、旧店、郭家店、滦家河、玲珑片麻状花岗岩、郭家岭等诸岩体构成,各岩体间接触关系复杂,包括侵入接触,渐变过渡,构造接触等各种形式。

云山岩体分布于云山一带,以片麻状细粒黑云二长花岗岩为主体,岩体及岩石组构极不均一,内部有大量与区域构造线方向近于一致的荆山群、粉子山群残留体,岩体与围岩包体存在渐变过渡关系。显示其混合交代成因。Rb-Sr 等时线年龄为  $996 \times 10^6$  a (安郁宏, 1988)。岩体中晚期脉状铁质黑云母的  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  坪年龄为  $126.40 \times 10^6$  a (本文),说明云山岩体曾受到燕山期热事件的扰动。

崔召及旧店岩体为中细粒黑云二长花岗岩,侵入于云山岩体中,其 Rb-Sr 等时线年龄为  $285 \times 10^6$  a (林润生, 1987)、 $294.32 \times 10^6$  a<sup>[6]</sup>。

片麻状玲珑花岗岩分布于灵山一招远以北,以片麻状黑云二长花岗岩为主体,内部有大量胶东岩群的残留体或残影体。胡世玲<sup>[7]</sup>测定该岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  坪年龄为  $(164.2 \pm 0.69) \times 10^6$  a, 热扰动年龄为  $(134.9 \pm 3.9) \times 10^6$  a。

郭家店、滦家河、岗山等岩体为中粗粒二长花岗岩(统称郭家店岩体),多处见到与胶东岩群呈侵入接触。迄今所获得的 K-Ar、Rb-Sr、 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 、U-Th-Pb 等同位素年龄都说明它是燕山期的产物。其  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  坪年龄为  $(165.12 \pm 0.69) \times 10^6$  a (本文)、 $(155.9 \pm 20) \times 10^6$  a<sup>[8]</sup>, Rb-Sr 等时线年龄  $(155.9 \pm 11.86) \times 10^6$  a,  $I_{\text{sr}} = 0.7096$ 。岩体受到燕山晚期热事件扰动, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年龄为  $(124.8 \pm 2.1) \times 10^6$  a。

郭家岭斑状花岗闪长岩体由郭家岭、南围山、上庄、丛家、三山岛等岩体组成,岩石以相对富含黑云母、角闪石为特征,岩体 K-Ar 年龄为  $102.5 \times 10^6 \sim 133.8 \times 10^6$  a,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  坪年龄为  $136.8 \times 10^6$  a (黑云母) 及  $118.9 \times 10^6$  a (角闪石)<sup>[6]</sup>、 $134.8 \times 10^6$  a (角闪石)<sup>[7]</sup>, Rb-Sr 等时线年龄  $131.9 \times 10^6$  a<sup>[6]</sup>。

### 3.2 玲珑花岗杂岩形成的物理化学条件

玲珑花岗杂岩主要岩体形成的物理化学条件见表 5。通过它与胶东岩群的变质条件及本

表 5 玲珑花岗杂岩体形成的物理化学条件

Table 5. Physicochemical conditions for the formation of Linglong granitic complex

岩体名称	温度 (°C)	$\lg f_{\text{O}_2}$ (MPa)	$f_{\text{H}_2\text{O}}$ (MPa)	$p_{\text{H}_2\text{O}}$ (MPa)	$p_{\text{H}_2\text{O}}$ ( $10^6$ Pa)	$p_t$ (MPa)	熔浆中含水量 (%)
云山	636±	-1.500	140.97	252.35	0.168	252.37	7.32
崔召	655±	-1.417	114.47	185.88	0.119	185.89	6.32
郭家店	700±	-1.346	157.65	243.66	0.297	243.69	7.10
玲珑	680±	-1.379	129.31	203.42	0.198	204.34	6.50
郭家岭	737±	-1.100	343.26	465.94	0.083	465.94	9.38

区深源岩脉(招风顶岩脉群)形成条件的对比,可以得出下述认识:

(1) 玲珑花岗杂岩既不是区域变质产物,也不是深源型侵入岩体。玲珑花岗杂岩形成于 150~360 MPa 的压力环境,具有较高的地温场,本区变质岩系形成于 300~660 MPa 的压力条件下,具有较低的地热梯度。玲珑花岗杂岩中深源中、基性脉岩可形成高于 700°C,压力大于 600 MPa 的条件下。

(2) 玲珑花岗杂岩是一个富水的岩浆体系,郭家店与郭家岭花岗岩熔浆中的水高达 7.10%~9.38%,这有利于形成大量的富金流体。熔浆中含水性是检验其成矿潜能的重要标志。

### 3.3 玲珑花岗杂岩的空间形态、岩源及成矿控制

在 1:20 万布格重力值  $\Delta G$  等值线平面图上,显示出玲珑花岗岩是一个低值区,幅值在 -6~26 mgI,并表现为平静的弱磁场。因此依据花岗岩与周边变质岩的磁性、密度差异,可以概略圈定玲珑花岗岩三度空间边界轮廓、推断岩体的重熔中心、下底界的位置。依据本区各类岩石的物性测定结果,获知花岗岩与胶东岩群、荆山群间存在 0.16~0.12 g/cm<sup>3</sup> 的密度差,我们以 0.15 g/cm<sup>3</sup> 的密度差计算了花岗岩下底界的熔融深度,在此基础上又计算了磁性体的埋深,整个计算采用矿床地质研究所开发的 IGGM 人机交互重磁图形编辑、重磁剖面反演系统。对 16 条重磁剖面进行反演,绘制玲珑花岗杂岩下底界等深线图(图 1),根据各岩体不同地段变质岩残留体的分布和隶属层位及各组段地层厚度综合确定各岩体的岩源(图 5)。由图 1 可见,玲珑花岗质杂岩在总体上呈北东向延伸,在朱桥、招远、寺口一带岩体等厚线渐变为东西向,说明玲珑花岗岩的形成是受北东及东西向构造的双重控制。岩体的重熔中心现存厚度约 7.5 km,向南、北两方向超覆,特别是向北超覆甚为明显。本区产于接触带、岩体超覆区、缓倾区的矿床占矿床总数的 76%,85.7% 的金矿产于岩体厚度①小于 4 km 的地段

① 见图 1,用地球物理方法圈定



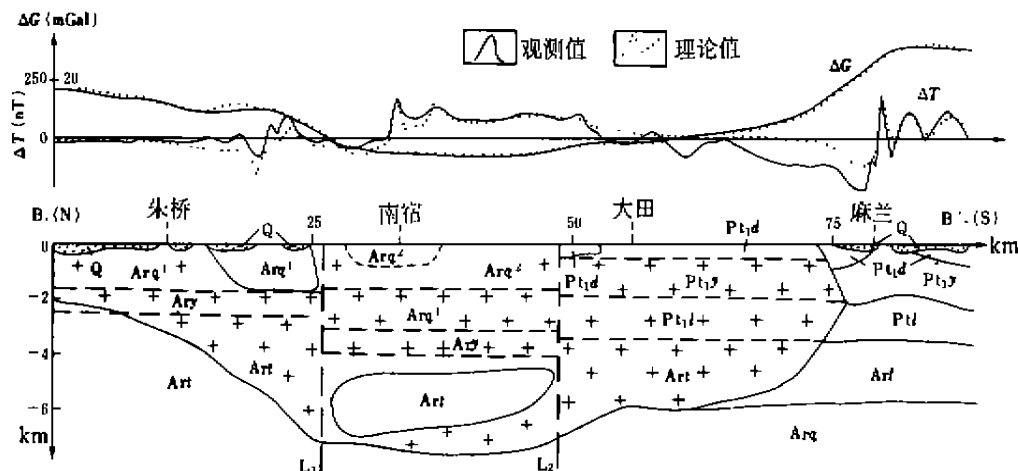


图5 朱桥-麻兰地质、地球物理综合剖面图

图中L<sub>1</sub>示程廓-观里店构造带; L<sub>2</sub>示旧店-河头店构造带

Fig. 5. Composite geological-geophysical section along Zhuqiao-Malan line.

L<sub>1</sub> and L<sub>2</sub> represent Chengkuo-Guanliidian structural zone and Jiudian-Hetoudian structural zone respectively.

中。依据岩体产状、岩石类别、厚度与围岩接触关系,把招-掖-平地区划分三个构造-岩浆岩亚区:北部地区包括牟上-招远以北,在此区形成由北东-南西转向东西的“S”形岩体等厚线带,并被4 km等厚线所圈闭。此区花岗质岩石之岩源主要为胶东岩群的下部层位。花岗质岩体的恒久热源促成热流体的广泛循环,岩体厚度薄,沿岩体与围岩间缓倾界面的流体循环、淋滤使金大量转入流体相中。燕山期热事件广泛强烈,形成大规模的含金蚀变带。此区是矿源、水源、热源极为优越的地段,具有极大的成矿潜能。中部地区位于朱由-岗山之南,旧店-河头店以北,花岗质岩源中胶东岩群上部地层比率增高,花岗质岩石为二长花岗岩,不见郭家岭型岩体,金矿化一般只局限于大型断裂中。南部地区位于旧店以南,花岗质岩石之岩源以荆山群为主体,矿化集中在岩体重熔底界面为齐山组以下地段,如旧店矿区,在主要由荆山群、粉子山群变来的岩体中,只有零星矿化。

### 3.4 玲珑花岗质杂岩形成作用与金富集的数学模拟<sup>①</sup>

按质量作用定律,在花岗质岩石形成过程中,重熔物质的质量应等于重熔物质结晶后各种产物质量之和。设花岗质熔浆的形成是由  $n$  种岩石  $S_1, S_2, \dots, S_n$  经不同量比的重熔而成,每种岩石包含  $m$  种元素(本次模拟以氧化物为单位),设第  $j$  种岩源中第  $i$  种组分的含量为  $S_{ij}$  ( $i=1, m; j=1, n$ ),每一种岩源的熔融分数为  $Y_j$ 。由岩源熔融形成  $p$  种产物,每一种产物由  $m$  种组分构成,其含量为  $a_{ik}$  ( $i=1, m; k=1, p$ ),设第  $k$  种产物的量比为  $X_k$ ,依据质量守恒原理有:

$$\sum_{j=1}^n S_{ij} Y_j = \sum_{k=1}^p a_{ik} X_k \quad (i=1, m)$$

① 详述于另文

这是一个常数项 ( $\sum_{j=1}^n S_j Y_j$ ) 未知, 在给定的约束条件下, 求目标函数  $S = \sum_{k=1}^p X_k$  的极大值

问题, 这一问题在数学上称为满足 ( $AX=b, X \geq 0$ ) 求  $\text{Max} = \sum_{k=1}^p X_k$  的线性规划。由于常数

项未知, 不能用一般的线性规划方法求解, 引入补充约束  $S_1 = \sum_{i=1}^m a_{i1}$ , 它限定在地层重熔过

程中最大限度地生成最主要的熔融产物 (这里指花岗质岩体), 以动态寻优编制程序, 得出玲珑花岗杂岩的数学模拟结果 (表 6)。程序同时求解各岩体重熔源岩的组成, 各熔融产物含量。花岗质岩石的重熔源岩采用本区分布最广的四种岩类: 二长变粒岩、黑云变粒岩、斜长角闪

表 5 玲珑花岗质杂岩数学模拟结果

Table 6. Results of mathematical modelling of Linglong granitic complex

类别	岩石及生成物名称	玲珑片麻状花岗岩 模拟方案				郭家店、滦家河岩体 模拟方案				郭家岭岩体 模拟方案			
		I		I ①		I		I ②		I		I ②	
		组成	Au 分配	组成	Au 分配	组成	Au 分配	组成	Au 分配	组成	Au 分配	组成	Au 分配
源岩	(二长)变粒岩			73		40		27		73		68	
	黑云变粒岩		20 ( $10^{-9}$ )	2	20 ( $10^{-9}$ )	2	20 ( $10^{-9}$ )	2	20 ( $10^{-9}$ )	2	20 ( $10^{-9}$ )	12	20 ( $10^{-9}$ )
	斜长角闪岩			9		2		8		11		18	
	斜长片麻岩	100		16		56		63		14		2	
熔融产物	主岩体	81.35	3.257	74.48	3.045	81.93	4.708	74.54	4.235	81.745	4.768	78.107	4.464
	辉绿岩					0.63	0.219						
	辉绿玢岩			7.05	2.483	1.87	0.650	7.78	2.673				
	辉石闪长岩							4.53	0.658				
	黑云母	0.89	0.043	2.85	0.141	1.17	0.057			0.0617	0.003	0.409	0.019
	角闪石												
	闪长质暗色包体中角闪石	4.55	1.533			5.78	1.962						
	胶东群残留体			1.25	0.430			5.40	1.812			7.10	2.329
	磁铁矿	2.09	0.635			0.78	0.239	1.305	0.395	0.612	0.185	0.229	0.068
	斜长石			2.38	0.128					1.375	0.072	0.007	0.0004
	石英	3.55	0.0045	4.72	0.061					7.976	0.10	6.60	0.081
	其它	3.80	0.738	1.50	0.298	2.73 $\text{Al}_2\text{O}_3$	0.535	2.429	0.470	2.06 $\text{Al}_2\text{O}_3$	0.398	3.325	0.629
	合计	96.23	6.210	94.23	6.586	94.89	8.37	95.984	10.243	93.83	5.526	95.78	7.59
流体中金	熔浆中水含量(%)	6.50		6.50		7.10		7.10		9.38		9.38	
	残余流体量(%) 及金含量( $10^{-9}$ )	5.74	13.79	5.50	13.414	6.27	11.63	5.99	9.757	8.71	14.47	8.61	12.41
	流体中金“浓度” ( $10^{-9}$ )		240.24		243.89		185.49		162.89		166.13		144.13
	流体中金的富集系数 (流体中金/原岩中金)		12.01		12.19		9.27		8.14		8.31		7.21

①见正文

岩、斜长片麻岩。熔融产物为花岗质岩石、与之伴生的脉岩、角闪质、黑云母析离体、残留体、铁镁质暗色矿物、较基性斜长石、含金流体及其它组分。表中对每一岩体列出两种方案

的计算结果(模拟方案Ⅰ及Ⅱ),玲珑片麻状花岗岩、郭家店岩体的第Ⅰ方案是以胶东岩群残留体的角闪石做为组成矿物计算的,郭家岭岩体第二模拟方案是按郭家岭岩体35个样品的平均值计算的;第一方案取自上庄岩体的总平均值。由模拟结果可以看出:

(1) 玲珑片麻状花岗岩及郭家店、滦家河等岩体之源岩主要为变粒岩及片麻岩,并有少量较基性组分加入,郭家岭花岗岩之源岩以变粒岩为主,并有较多的斜长角闪岩的熔融。这反映出随熔融环境由低温到高温的变化,源岩组成也由酸性向基性方向过渡,终至形成胶东西北部由酸性向基性演化的花岗质岩石系列。

(2) 在熔融产物中,玲珑片麻状花岗岩以形成黑云母、角闪石析离体或残留体为主,郭家店型岩体的生成可伴有各种中基性脉岩和热液交代作用,促成了金的淀积,随重熔作用的增强,形成基性程度较高的郭家岭型岩体,这一过程中多余的 $\text{SiO}_2$ 转入溶液,形成广泛的含金绢英岩带。这就在总体上构成了中基性脉岩-含金石英脉-含金硫化物矿体的时间序列,造成了金矿脉与中基性脉岩间复杂的穿切关系和不同类型金矿脉在空间上的叠加。

(3) 在重熔花岗岩熔浆形成过程中,源岩中1/2以上的金转移到流体相中,特别是在形成郭家岭花岗岩时,流体相中的金占源岩中的金的62%~72%,流体相中金“浓度”(流体中金量/流体重量)约在 $100 \times 10^{-9} \sim 200 \times 10^{-9}$ ,金的富集系数高达7~12。因此在重熔花岗岩形成过程中,金在流体相中的大规模富集是本区金矿化得以发育的根本原因。

#### 4 成矿时代及燕山期热事件的强度

骆万成等<sup>[9]</sup>对胶东西北部主要矿床蚀变带绢云母进行测定,获得下述结果:玲珑西山石英脉型金矿 Rb-Sr 等时线年龄为  $(112 \pm 2) \times 10^6 \text{ a}$ , K-Ar 年龄为  $(111 \pm 2) \times 10^6 \text{ a}$ , 焦家金矿有两个重要的矿化期,早期 Rb-Sr 年龄  $(105 \pm 7) \times 10^6 \text{ a}$ , K-Ar 年龄  $(106 \pm 2) \times 10^6 \text{ a}$ , 晚期为  $(88.1 \pm 0.1) \times 10^6 \text{ a}$ , 马家窑金矿 Rb-Sr 等时线年龄为  $(135.1 \pm 5.2) \times 10^6 \text{ a}$ , K-Ar 年龄  $(120 \pm 2) \times 10^6 \text{ a}$ , 灵山沟金矿 Rb-Sr 年龄为  $(115 \pm 5) \times 10^6 \text{ a}$ 。玲珑 108 脉 Rb-Sr 年龄  $(100.28 \pm 3.75) \times 10^6 \text{ a}$ <sup>[9]</sup>。李华芹<sup>[10]</sup>利用流体包裹体同位素测试技术获得玲珑西山 Rb-Sr 等时线年龄  $(126.5 \pm 5.7) \times 10^6 \text{ a}$ ,  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.7111 \pm 2$ , 焦家金矿为  $(134 \pm 8) \times 10^6 \text{ a}$ ,  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.7104 \pm 1$ , 马家窑金矿为  $(137.6 \pm 7.1) \times 10^6 \text{ a}$ ,  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.7163 \pm 1$ 。这些数据说明本区金的成矿作用主要发生在燕山期,特别是流体包裹体中  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$  值与郭家店型及郭家岭型岩体  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$  值(0.7069, 0.7107)十分接近,喻示出这两者同源。郭家岭岩体同位素年龄  $131.9 \times 10^6 \sim 136.8 \times 10^6 \text{ a}$ , 招平断裂白云母<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 坪年龄  $134.26 \times 10^6 \text{ a}$ , 招掖矿带流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为  $126.5 \times 10^6 \sim 137.6 \times 10^6 \text{ a}$ , 都集中反映出燕山晚期热事件对本区成岩成矿的巨大影响。

燕山期热事件的强度是影响本区金矿化的重要因素,大量地质事实佐证了燕山期热事件北强南弱的分布格局,促成了金矿化的强度南弱北强。

#### 5 成矿机理的讨论

大约在 30 亿年前本区形成厚达数千千米的中基性-中酸性火山岩建造,25 亿年前胶东运动

使太古宇褶皱变质。嗣后, 18~23 亿年在陆核边缘裂陷带中形成以碎屑岩为主, 夹中、基性火山岩、碳酸盐岩的类复理石建造, 发生在 18~20 亿年的荆山运动使区内岩层经受了低角闪岩相-麻粒岩相的变质作用, 形成以莱西-平度-安丘为核部的热背斜, 变质温度可高达 770~830℃, 压力 636~645 MPa, 以此热背斜为脊向南北两侧展布  $t$ 、 $p$  梯度场, 促成金在高级变质带活化向低级变质带迁移。荆山运动末期地壳隆升, 促成低熔物质的广泛熔融, 形成区域花岗混合岩, 玲珑花岗杂岩的雏体得以形成。嗣后, 粉子山运动、蓬莱运动、海西运动曾波及本区, 并有相应岩体定位。

燕山期本区发生强烈断块运动, 伴随地幔热流, 发生上部构造层渐进式重熔, 依次形成二长花岗岩-花岗闪长岩的岩石序列, 伴有同源中、基性脉岩和富硅的含金流体, 重熔作用使矿源中大部分金转入溶液, 同时在花岗质岩体的热驱动下, 产生广泛的流体循环和对围岩中金淋滤, H、O 同位素资料表明, 成矿以重熔岩浆水为主, 在其热循环过程中逐渐加入天水, 成矿流体 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>i</sub> 与郭家店、郭家岭岩体 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>i</sub> 的一致性, 佐证了成矿流体导源于重熔岩浆作用。本区成矿作用在燕山晚期达到高潮。

太古宇基底建造、中低变质相带、燕山期定位的岩体及伴生的中基性脉岩、石英脉、广泛强烈燕山期热事件和热液蚀变带是金矿重要的找矿标志, 花岗质岩体的岩源、空间形态、与围岩接触关系、东西向及北东向构造都制约着本区各小区金的成矿潜能 (表 4)。

### 参 考 文 献

- 1 程裕淇主编. 中国区域地质概论. 北京: 地质出版社, 1994, 517
- 2 杨士望. 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. 地质找矿论丛, 1986, 1 (2): 1~12; 1 (3): 39~48
- 3 王鹤年, 陈骏, 汪耀. 胶东金矿含金建造的地球化学研究. 地球化学, 1988, (3): 195~207
- 4 袁有守, 王孔海, 杨广华等. 山东招远-掖县地区金矿区域成矿条件. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1988, 1~254
- 5 王炳成. 胶西北金矿的控矿因素与找矿的关系. 山东地质, 1991, 7 (1): 74~87
- 6 徐金方. 胶北地块与金矿有关的花岗岩类的研究. 山东地质 (专辑), 1989, 5 (2): 125
- 7 胡世玲. 山东玲珑和郭家岭岩体的同位素年龄及其地质意义. 岩石学报, 1987, (3): 83~88
- 8 骆万成, 伍勤生. 应用蚀变矿物测定胶东金矿的成矿年龄. 科学通报, 1987, (16): 1245~1248
- 9 吕古贤, 孔庆存. 胶东玲珑-焦家式金矿地质. 北京: 科学出版社, 1993, 253
- 10 李华芹, 刘家齐, 魏林. 热液矿床流体包裹体年代学研究及其地质应用. 北京: 地质出版社, 1993, 126
- 11 姚凤良, 刘连登, 孔庆存等. 胶东西北部脉状金矿. 长春: 吉林科学技术出版社, 1990, 234

## THE ORE-CONTROL MECHANISM OF GOLD DEPOSITS IN NORTHWESTERN JIAODONG

Lin Wenwei, Zhao Yiming, Zhao Guohong and Peng Cong

(*Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037*)

Zhao Weigang

(*No. 4 Geological Party, Shandong Bureau of Geology and Mineral Resources, Gaomi 261500*)

**Key words:** gold deposit, ore-control factor, remelting, model of ore deposit, Jiaodong

### Abstract

The distribution of most gold deposits in northwestern Jiaodong is controlled by Archean basement formation. The second time concentration occurred during migmatization and metamorphism. Most of the large-size and medium-size gold deposits are located in the amphibolite facies of the low-grade metamorphic zone.

Linglong granitic body is a complex formed through thermal events of many stages. Guojialing and Guojiadian granitic bodies related to large- and medium-size gold deposits were eventually formed in Yanshanian period.

The main problems discussed in this paper include spatial shape and parent rocks of the granitic body, physicochemical conditions for its formation and mathematical simulation model of gold distribution.

The Mechanism governing the distribution of gold deposits in belts in east-west direction and in rows in northeast direction and the variations in mineral potentials of different terrain are discussed. The southern part and the northern part of northwestern Jiaodong exhibit remarkable differences in metallogenic characteristics and ore potential.