

胶西北金矿的控矿因素及与成矿的关系

王炳成

(山东省地质科学研究所)

提要 太古代胶东群变质岩、燕山期交代—重熔花岗岩、新华夏系断裂和黄铁绢英岩化与胶西北金矿关系密切。胶东群是矿源层。花岗岩不仅使金活化转移,而且也是第二矿源层。新华系夏断裂为导矿构造和容矿构造。黄铁绢英岩化为金的沉淀富集提供了适宜的物理化学环境。它们既是本区金矿的控矿因素,也是四位一体的找矿标志。

一、矿床基本特征

胶西北金矿位于沂沭断裂带以东,胶北隆起区西北部栖霞复背斜的轴部和两翼。主要集中在招远、莱州的北部,东迄玲珑,西至渤海之滨的三山岛,为一近东西向的金矿带。无论在储量,还是产量上,都是我国最重要的黄金产区。本区金矿主要为破碎带蚀变岩型,其次为含金石英脉型。后者主要产于矿床的上部(约在海平面、即标高零米以上),主要分布于玲珑矿田(故又称玲珑式金矿),向深部延伸,含金石英脉矿体逐渐变为蚀变岩型金矿(又称焦家式金矿)。石英脉型矿体形态较复杂,呈脉状、透镜状、囊状、串珠状等。规模相对较小,一般长数十米,个别达数百米,倾斜延深一般不超过500米。蚀变岩型矿体较为简单,多呈宽大的脉体和透镜体。规模较大,一般长百余米至上千米,倾斜延深可超过1300米。金的独立矿物为自然金和银金矿。伴生的金属矿物主要为黄铁矿,其次为黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿,少量为斑铜矿、辉铜矿、斜方辉铅铋矿等。脉石矿物有石英、绢云母、钾长石、斜长石、方解石等。金矿物主要呈裂隙金、晶隙金和包体金赋存于石英、黄铁矿等。成矿过程主要分为含金石英黄铁矿、含金石英多金属硫化物和石英碳酸盐三个阶段。金主要富集于第二成矿阶段。成矿温度主要为200—300°C(据矿物包裹体均一法测定温度)。

本区金矿严格受太古代胶东群地层、中生代燕山期花岗岩、东西向构造与北东向断裂及黄铁绢英岩化为主的围岩蚀变的控制制约,也就是说这四者是本区金矿的主要控制因素。

二、胶东群

(一)基本特征

本文1989年12月收到,1990年2月改回

太古代胶东群是本区发育最广的地层,大致呈东西向展布。由下而上分为蓬乔组、民山组和富阳组(原山东八〇五队,1968)或唐家庄组、英庄组、齐山组和林家寨组(第四地质队林润生,1988)。总厚度为 1.7 万余米,为一套中—高级区域变质岩,变质相主要为角闪岩相和角闪麻粒岩相,普遍发育混合岩化(主要呈脉状、条带状局部混合岩化形式出现)。主要岩石类型为黑云变粒岩、斜长角闪岩、斜长片麻岩与黑云片岩(占总厚度的 98.3%),少量为大理岩、磁铁石英岩和含砾石英长石岩。其中黑云变粒岩最厚,其次是斜长角闪岩和斜长片麻岩(表 1)。胶东群的形成时代据近期区调队的数据为 2407—2858Ma,多数为 2510—2628Ma,应属晚太古代。原岩建造为优地槽型基性—中酸性火山岩夹部分粘土、泥砂质、碳酸盐建造(图 1、2)。由表(表 1)可知,胶东群地层由下而上斜长角闪岩逐渐减少,变粒岩与片麻岩逐渐增多,表明早期以基性火山岩为主,而后基性火山活动逐渐减弱,中酸性火山活动逐渐增强,晚期以中酸性火山活动为主,间或出现陆源和浅海相的沉积。据 49 个岩石化学元素分析数据(表 2),本区胶东群地层高于地壳丰度值的元素有 Au、Cu、Pb、Zn、Cr、Ni 和 Sr 等,低于地壳丰度值的元素有 Ag、Mn、Ti、Ba、Zr、Ga 等。需要特别指出的是金的含量较地壳丰度值明显地高,是地壳丰度值的 5 倍多,且金在地层中的分布很不均一,变化很大(为 0—75PPb),在不同类型的岩石中含量也有差异,其中变粒岩最高,片麻岩、斜长角闪岩次之,片岩最低,但无论那种岩类,其金的含量皆高于地壳的丰度值 4—8 倍,(表 3)。

表 1 胶东群各地层、各岩类的综合厚度

地 层		岩 石 类 型		
组 别	厚 度 (m)	岩 类	厚 度 (m)	占该地层总厚(%)
富 阳 组	2702.5	黑云变粒岩	835.5	30.91
		斜长角闪岩	197.5	7.31
		斜长片麻岩	1622.5	60.04
		黑云片岩		
民 山 组	6270.8	黑云变粒岩	3713.7	59.22
		斜长角闪岩	1730.1	27.59
		斜长片麻岩	624.0	9.95
		黑云片岩	1.2	0.02
蓬 乔 组	8509.7	黑云变粒岩	3524.8	41.41
		斜长角闪岩	3494.9	41.07
		斜长片麻岩	1187.9	13.96
		黑云片岩	255.3	3.00
胶 东 群	17483.0	黑云变粒岩	8074.0	46.18
		斜长角闪岩	5422.5	31.02
		斜长片麻岩	3434.4	19.64
		黑云片岩	356.5	1.47

(二)与金矿的关系

1. 空间上,许多金矿直接产于胶东群地层或地层与燕山期玲珑—郭家岭花岗岩的接触带,前者如栖霞马家寨、盘子涧金矿等,后者如三山岛、仓上、焦家、大尹格庄、夏甸金矿等。

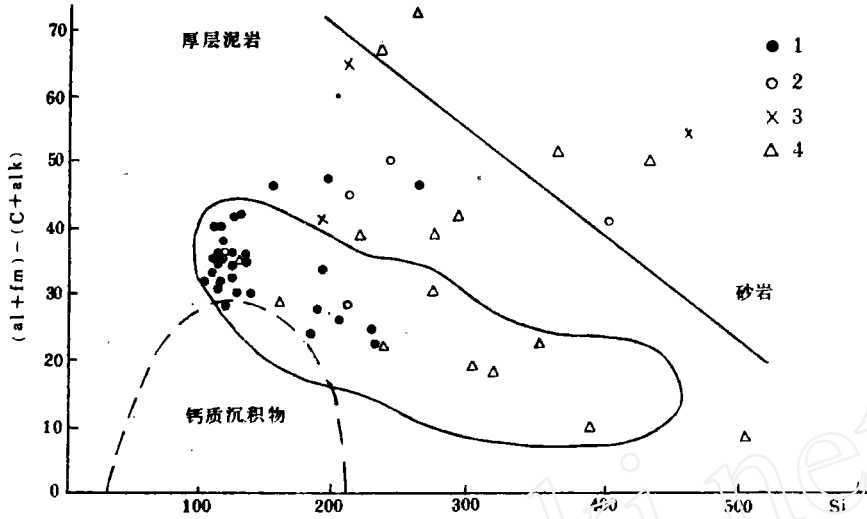


图1 胶东群原岩恢复(al+fm)-(C+alk)-Si图解(47个样品)

1.斜长角闪岩;2.片麻岩;3.片岩;4.变粒岩

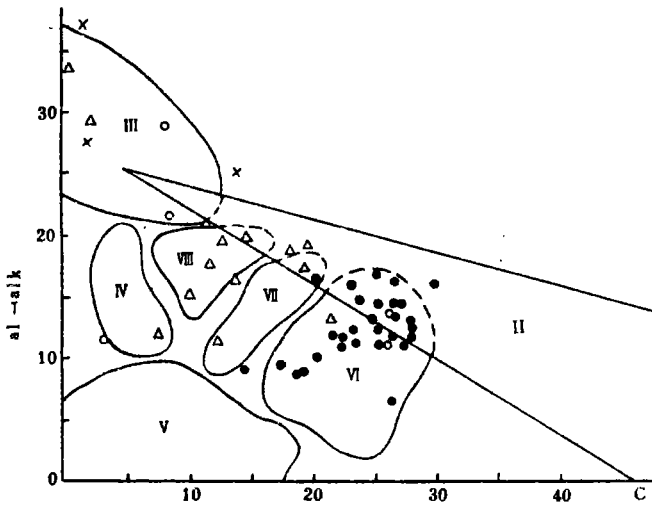


图2 胶东群原岩恢复(al-alk)-c图解(47个样品)

I.白云质泥灰岩区;II.粘土岩区;III.富钾中酸性凝灰岩区;IV.玄武岩区;
V.二长安山质凝灰岩区;VI.安山质凝灰岩区

表 2 胶东群微量元素的平均含量 (ppm, Au 为 ppb)

含 量 \ 元 素	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Ba	Sr	Ga	Mn	Cr	Ti	Ni	Zr
平均含量	22.91	21.22	136	24	104	327	824	10	516	168	2337	93	73
富集系数	5.8	0.3	2.2	2.0	1.1	0.8	2.1	0.6	0.4	1.5	0.5	1.0	0.6
地壳*	4	80	63	12	94	390	400	18	1300	110	4600	89	130

* 据黎彤(1976), 样品数为 49(Au 为 64)

表 3 胶东群各岩类、地层金的平均含量 (ppb)

含 量 \ 岩类、地层	变粒岩	斜长角闪岩	片麻岩	片岩	富阳组	民山组	蓬莱组	胶东群
样品数	48	34	14	5	19	17	28	64
变化范围	0—75	3—53	0—53	6—33				
平均含量	33.4	23.26	26.14	15.60	35.26	23.47	14.18	22.91
富集系数*	8.4	5.1	6.5	4.2	8.82	5.87	3.55	5.37

* 与地壳金的丰度值(4ppb)比较。

2. 本区金矿床的铅同位素组成, 除个别数据外变化不大, 其中 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 17 ± 0.5 , $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15 ± 0.5 , $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 37 ± 0.5 (表 4), μ 值为 8.5 ± 0.5 。表明本区金矿床铅同位素相对较稳定, 属正常铅, 反映本区成矿物质具有相同的物质来源。铅同位素的模式年龄多数在 6 亿年以上(相当于晚元古代)。显然矿床中的铅来源于古老的胶东群地层, 至于铅模式年龄偏年轻, 可能是受胶东地区晚元古界蓬莱群地层形成前的热事件(即所谓蓬莱运动)影响有关。目前, 有资料认为矿石的铅同位素组成, 不仅取决于生成年龄, 还取决于地质环境^[5]。因此使用模式年龄也不能简单化, 绝对化。

3. 本区金矿床的硫同位素组成平均值为 7.9($\delta\text{S}^{34}\%$), 变化范围 3.9—12.6, 多数在 7—10。与胶东群地层的硫同位素组成(平均 7.4, 变化范围 7.0—7.8)极为相似(表 5)。反映本区金矿床与胶东群地层之间存在成因上的联系。

4. 胶东群高背景含量的 Au, 使其有可能为本区金矿床的形成提供物质来源。分析数据表明, 胶东群不仅含金高, 且金在各岩层中的分布很不均一(图 3), 经验证明, 地层中成矿元素呈多峰分布(不均一的表现)是含矿建造的主要特点之一(刘英俊等, 1982)。

由上可见, 胶东群地层不仅是本区金矿床赋存的围岩, 而且由铅、硫同位素组成特征反映出金矿床与胶东群地层间存在的亲缘关系, 加上高出地壳丰度值数倍的金含量, 足以表明胶东群地层在本区金矿成矿作用中起着原始矿源层的作用, 为金矿的形成提供金的物质来源。

表4 胶西北金矿铅同位素组成

矿区	样品数	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$		$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$		模式年龄 Ma	
		范围	平均	范围	平均	范围	平均	范围	平均
三山岛	5	17.191—17.464	17.293	15.40—15.766	15.478	37.74—38.072	37.942	654—1000	810
玲珑	7	15.55—17.482	16.910	14.01—15.488	15.045	34.80—37.986	36.98	250—785	555
辛庄	2	17.251—17.266	17.256	15.485—15.499	15.497	38.032—38.885	38.459	871—898	885
焦家	2	17.21—17.370	17.290	15.428—15.34	15.384	37.828—37.89	37.859	700—730	715
新城	2	16.49—17.075	16.783	14.56—15.369	14.965	37.580—39.120	38.350	290—872	581
丛家	1		17.207		15.406		37.915		826
灵山沟	1		17.214		15.435		37.729		800
马家窑	4	16.582—17.309	17.014	15.259—15.691	15.388	36.991—37.935	37.478	756—1117	926
盘子洞	1		16.173		15.159		36.826		1300
马坊	2	17.176—17.36	17.106	15.430—15.680	15.555	37.692—38.380	38.036	965—1094	1030
玲珑花岗岩	8	16.91—17.45	17.18	15.28—15.66	15.44	37.33—38.62	37.82	650—1100	892
郭家岭花岗岩	1		16.85		15.40		37.52		1053

注:部分矿区数据引自姚凤良等,部分花岗岩数据引自徐金方等。

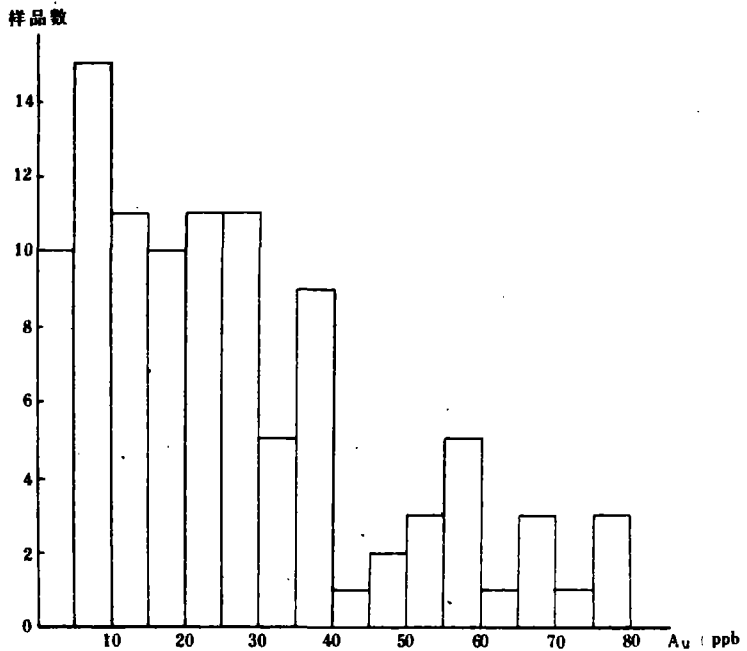


图3 胶东群地层金含量的直方图(101个样品)

表 5 胶西北金矿的硫同位素组成

矿 区	样 品 数	$\delta S^{34}(\%)$		
		平 均 值	范 围	极 差
三 山 岛	3	12.4	12.1—12.6	0.5
新 城	3	10.4	10.1—10.7	0.6
灵 山 沟	8	7.4	7.0—8.8	1.8
玲 珑	16	6.0	3.9—9.8	5.9
大尹格庄	9	6.9	6.3—8.4	2.1
台 上	9	8.0	7.3—8.4	1.1
焦 家	5	10.2	9.1—11.8	2.7
上 庄	4	10.0	9.14—10.5	1.4
马 坊	5	9.6	7.51—10.7	3.2
马 家 窑	2	5.6	4.1—7.1	3.0
本 区	64	7.9	3.9—12.6	8.7
花 岗 岩	9	8.0	4.2—10.2	5.0
胶 东 群	5	7.4	7.0—7.8	0.8

* 部分数据引自朱奉三。

三、燕山期花岗岩

(一)基本特征

本区与金矿有关的花岗岩是太古代胶东群地层交代—重熔而成的玲珑、郭家岭花岗岩类。岩石类型为钾长花岗岩、正长花岗岩、二长花岗岩、花岗闪长岩等,从岩石的结构构造特征上分,主要有玲珑片麻状花岗岩、玲珑中粗粒花岗岩和郭家岭斑状花岗岩。片麻状花岗岩和斑状花岗岩具有原地半原地交代花岗岩的特征,中粗粒花岗岩具有重熔花岗岩的特征。燕山期花岗岩与胶东群地层具有渐变和突变两种接触关系。岩体内(尤其是片麻状花岗岩)发育大量的胶东群地层的残留体或残影体,岩石广泛发育交代结构和交代残余结构。造岩矿物主要为石英、微斜长石和更长岩,其次为黑云母、普通角闪石(主要分布在斑状花岗岩)或白云母(主要分布在中粗粒花岗岩)。长石类的有序度较高(多 >0.9)。副矿物主要为磁铁矿、榍石、磷灰石、褐帘石、石榴石(主要见于片麻状花岗岩)。岩体中矿物的成分、含量和粒度很不均一,变化较大,尤其是片麻状花岗岩和斑状花岗岩更为明显。岩

石化学为铝过饱和—正常类型,属钙碱性岩类,富碱并相对富含钠质, $Al/Na+K+\frac{1}{2}Ca > 1.1$, $Fe^{3+}/Fe^{3+}+Fe^{2+}(\%) < 30$ 。岩石的稀土元素配分标准模式表现为右倾较平滑的曲线, Eu 不表现为负异常。岩体内 Au、Ag、Cu、Pb、Sb、Ba、Sr 等元素的含量较高,而 W、Mo、Be、Nb、Ta 等元素的含量较低。由斑状花岗岩、片麻状花岗岩向中粗粒花岗岩。岩石的稀土元素含量降低、轻重稀土比值 LREE/HREE 减少,岩石酸度、碱度上升,钾质变富,分异程度增高,在 Ab—Or—Q—H₂O 四面体相图上的投影由低温槽外向低温槽、低共熔区靠近,反映了交代改造,即花岗岩化作用的演化进变过程^[3]。

关于本区与金矿有关的花岗岩的形成时代问题争论较大。我们用锆石经核工业部北京三所铀—铅法测定为:玲珑中粗粒花岗岩 1.60 亿年;玲珑片麻状花岗岩 1.18 亿年;郭家岭斑状花岗岩闪长岩 0.93 亿年。用与锆石同一样品中的黑云母钾—氩法测定为:玲珑中粗粒花岗岩 1.24 亿年;玲珑片麻状花岗岩 1.32 亿年;郭家岭斑状花岗岩闪长岩 1.35 亿年。玲珑花岗岩斜长石铷—锶法年龄为 2.05 亿年。过去所测定的年龄(钾氩法)基本上都是较年青的(0.85—1.87 亿年,多为 1.30 亿年左右),近年陆续出现较老的数据(王鹤年、余汉茂、徐金方等),甚至出现 20 亿年左右早元古代的年龄。笔者认为在由太古代胶东群改造而成的玲珑花岗岩中存在大量的、广泛的围岩残留体和未改造彻底的围岩残影体(在显微镜下才能见到),而这些残留体、残影体的时代信息必然要反映到岩体上来,故应慎重对待。

(二)与金矿的关系

1. 本区金矿床空间上多与燕山期交代重熔的花岗岩有关,除赋存在靠近胶东群地层接触带的花岗岩外,很多金矿床产于玲珑片麻状花岗岩与郭家岭斑状花岗岩的接触带(如新城、河东、上庄、北截金矿等)或花岗岩岩体内(如玲珑片麻状花岗岩内的玲珑、台上、灵山沟金矿等)。

2. 燕山期交代重熔花岗岩与金矿的稀土元素组成特征和配分模式具有明显的相似性。皆表现为右倾,轻稀土部分较平缓,重稀土略陡并跳跃,两者呈现较为和谐的变化,反映出同源演化产物的特征。^①

3. 燕山期花岗岩的硫同位素组成表现为富 S³⁴,正向偏离陨石,变化范围较窄,极差不大等特点,这与本区金矿床的硫同位素组成特点较为近似(表 5),显示了本区金矿床与燕山期花岗岩间成因上的联系。

4. 燕山期花岗岩的铅同位素组成为:²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 为 16.85—17.45, ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb 为 15.28—15.66, ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb 为 37.33—38.62。与本区金矿床的铅同位素组成十分相似(表 4),计算所得的模式年龄为 650—1100Ma,亦与金矿床相当,表明燕山期花岗岩与本区金矿床具有同源演化的特征。

5. 玲珑、郭家岭花岗岩的地质年龄 1.60—0.93 亿年,而本区金矿床水云母 Rb—Sr 法和 Ar 同位素稀释法测得的成矿地质年龄为 115±3.7Ma(玲珑西山石英脉型金矿)、115±5Ma(灵山沟金矿)、105±7Ma 和 88.1±0.1Ma(焦家金矿)(据骆万成等,1987)。可见,成

① 刘连登等,1983,脉岩在热液矿床成因研究中的意义,长春地质学院成矿理论和矿床地质论文集。

岩成矿的时代较为接近,这不能不说明本区金矿床与燕山期花岗岩在成因上是密切相关的。

6. 燕山期花岗岩的含金性较高,其中郭家岭斑状花岗岩为 49PPb(19 个样品),玲珑片麻状花岗岩为 19PPb(22 个样品),玲珑中粗粒花岗岩为 7PPb(12 个样品),都明显高于世界平均花岗岩的含金性(4.5PPb,维氏,1962)。同时原地半原地交代而成的片麻状花岗岩和斑状花岗岩的含金性又明显高于重熔而成的中粗粒花岗岩。显然前者金的高含量是由于花岗岩化的不彻底而从胶东群地层(22PPb)继承下来的,后者含金性低则表明在花岗岩化进变过程中金被活化、浸出和转移了。据布良克和博依尔等计算表明,如果原岩和花岗岩的含金量相差 0.001PPb,则在花岗岩化过程中,1km³ 的围岩可释放出金 2.5 吨。可想而知,本区燕山期花岗岩在形成过程中所释放出的金是十分可观的,不仅足以形成目前本区所发现的金矿床,而且还可以发现更多的金矿床。

上述充分表明,燕山期花岗岩不仅是本区金矿床赋存的围岩,而且在稀土元素及硫、铅同位素等方面所表现出来的相似性,加上成岩成矿时代又比较接近,一方面反映了金矿床与燕山期花岗岩间的成因联系,另一方面又显示了它们同源演化的特征。结合花岗岩、金矿与胶东群之间存在的密切联系,说明燕山期花岗岩和金矿床在成因上都与胶东群地层有关,其物质来源皆来自胶东群地层。燕山期花岗岩在本区金矿床的成矿作用中主要表现在两个方面,一方面提供能源(热能、动能等),使金从含金建造中活化、浸出和转移出来;另一方面提供金的物质来源,起第二矿源层的作用。

四、构造

(一)基本特征

本区基底构造为东西向的栖霞复背斜及其相伴生的一系列走向与轴向一致的压性、压扭性断裂。上复构造主要是燕山早期新华夏系沂沭断带左行扭动派生的“S”型构造,主要为三山岛断裂、黄县—掖县(现黄县—莱州,下同)断裂和招远—平度断裂。其主导断裂主要发生在燕山期花岗岩与胶东群地层或不同花岗岩类岩性的接触带上,上下盘相对位移较大。如三山岛断裂发育在花岗岩靠近胶东群的接触带,黄县—莱州断裂南段发育在胶东群中、北段发育在玲珑片麻状花岗岩和郭家岭斑状花岗岩的接触带,招—平断裂沿花岗岩和胶东群接触带发育,北段(即破头青断裂)切割玲珑片麻状花岗岩。这些 NEE/NE(NEE)—NNE 向断裂构造特征相似,呈明显的压扭性,沿断层主裂面常有几 cm—几 m 厚的断层泥,向两侧同时发育厚度不等的糜棱岩、角(磨)砾岩、碎裂岩和碎裂状花岗岩,呈对称分布,但通常下盘较上盘发育。

这些断裂的派生构造主要是帚状构造(如焦家、玲珑、郭家寨等帚状构造)及断裂之间的 NE 向压扭性、NNW 向张扭性断裂(如灵山沟—北截、川里林家—原疃—驿道、旧店断裂等)。这些次级伴生派生断裂多发育在燕山期花岗岩内,上下盘位移相对较小,并常与主断裂呈“入”字型构造。

除上述 NE 向新华夏系构造外,本区还发育 NW 向断裂,是新华夏系断裂后的产物。

(二)构造与金矿的关系

本区构造与金矿的关系可归纳为以下几个方面：

1. 新华夏系 NE 向断裂与近东西的基底构造的复合部位对本区金矿的形成具有重要的控制作用,近东西向构造控制金矿带,新华夏系断裂控制金矿床或金矿体。本区金矿主要沿栖霞复背斜的轴向分布而呈近东西向成矿带,各个金矿床或矿体则分布于 NE 向断裂及其伴生派生的次级构造内。如三山岛、苍上金矿分布于三山岛断裂,焦家、新城、马坊、望儿山、河东、河西等金矿分布于黄县—掖县断裂,旧店、夏甸、姜家窑、曹家洼、大尹格庄、台上、玲珑等、金矿分布于招远—平度断裂及其派生构造(见图 4)。

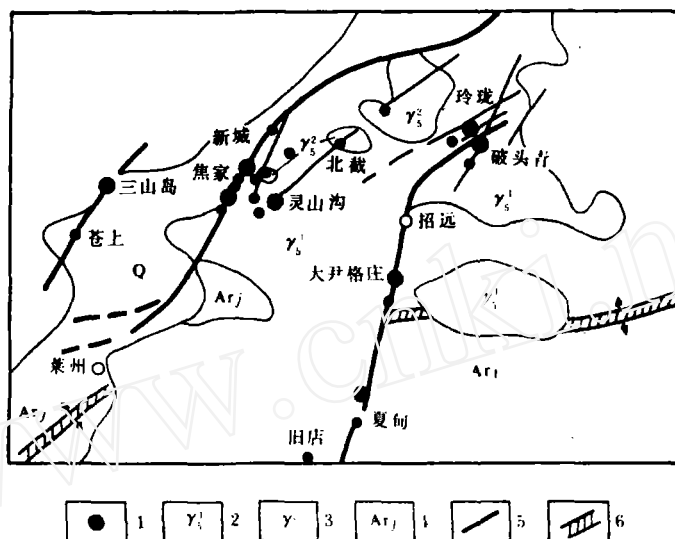


图 4 胶西北金矿受构造控制示意图

(1: 1000000)

1. 矿床; 2. 玲珑花岗岩; 3. 郭家岭斑状花岗岩; 4. 太古界胶东群; 5. 断裂构造; 6. 栖霞复背斜轴

2. 相对位移较大的主导断裂(压扭性为主), 主要控制蚀变岩型金矿, 矿床(矿体)常赋存在断裂构造的转弯部分。而派生的相对位移较小的断裂(张扭性为主), 主要控制石英脉型金矿, 这在招平断裂带表现尤为明显。

3. “入”字型构造紧密发育地段, 矿体厚度增大, 金品位增高。反之, 矿体厚度变小, 金品位变低或形成无矿间隔。

4. 工业矿体大多赋存于断层的下盘, 断层面(断层泥)对矿液的运移富集起构造封闭作用。

可见, 构造特别是新华夏系 NE 向断裂对本区金矿床的形成关系密切, 在金矿成矿过程中起导矿和容矿的作用, 为矿液运移提供通道, 为矿质的沉淀富集提供空间。与东西向构造交汇的主导断裂主要起导矿作用, 断裂的转弯部位、与次级断裂的交接部位、倾向上由陡变缓部位等, 是金矿富集储容的构造有利地段。

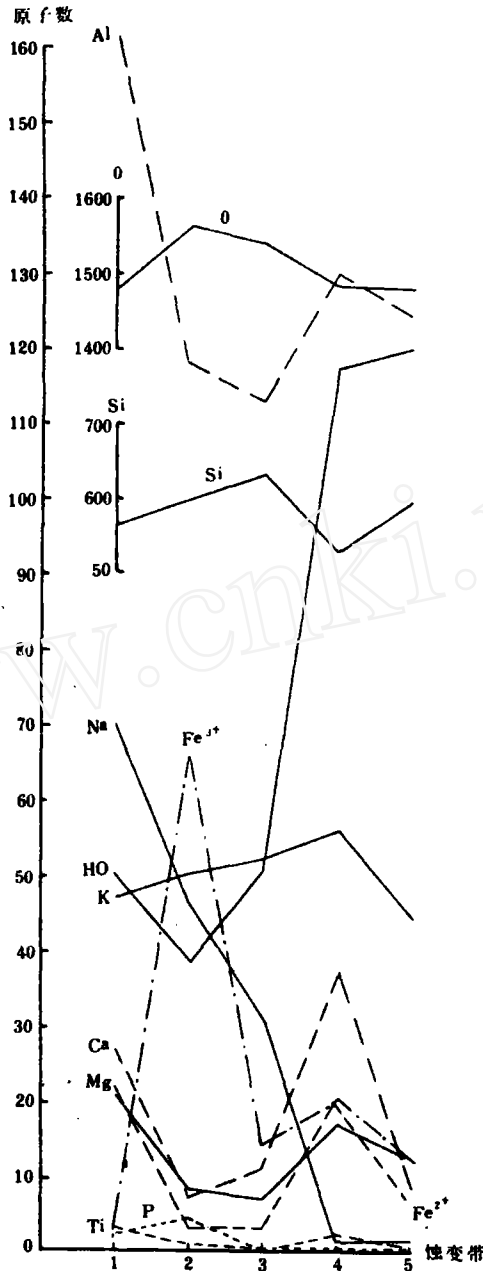


图 5 花岗岩热液蚀变后化学成分变化图(按 T、F、W、巴尔特法计算)

1. 花岗岩; 2. 红化黄铁绢英岩化碎裂状花岗岩; 3. 黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩;
4. 黄铁绢英质碎裂岩; 5. 黄铁绢英岩;

五、围岩蚀变

(一)基本特征

1. 本区金矿床的围岩蚀变主要为红化、黄铁绢英岩化、硅化,其次是碳酸盐化,局部还有绿泥石化、高岭土化等。

红化:是指发育在矿体与围岩花岗岩之间花岗质碎裂岩和碎裂状花岗岩普遍呈现红色的蚀变现象。造成这种红化现象的可能有三种作用:(1)钾长石化:多呈局部的团块状、脉状、多伴随伟晶岩化;(2)造岩矿物中的二价铁 Fe^{2+} 被氧化成三价铁 Fe^{3+} , 散染在矿物的裂隙、晶隙、晶面所致;(3)由岩石裂隙循环水带入部分 Fe^{3+} 。由于后二个作用,导致红化后的岩石中的 Fe^{2+} 明显降低(巴尔特标准岩胞阳离子原子数由 21 变为 8),而 Fe^{3+} 显著升高(原子数由 4 变为 66)(图 5)。

黄铁绢英岩化:是绢云母化、硅化和黄铁矿化热液蚀变互相迭加,紧密共生,多次作用的产物。可分为交代型和充填型两种类型。后者分布于充填石英脉的两侧,蚀变范围狭窄,一般为数厘米至 1~2 米,形成时间稍晚一些,属于脉旁热液蚀变。交代型黄铁绢英岩化则蚀变范围广、延深大,是蚀变岩型金矿的主要热液蚀变。

硅化:主要以充填方式形成的硅化石英脉,呈脉状、细脉状及网脉状,多期多阶段出现,早期为致密块状,晚期则多为梳状、晶洞状。常穿插在黄铁绢英岩内,有时还包含绢英岩碎块角砾。

黄铁绢英岩化和硅化是本区与金矿关系最为密切的热液蚀变,都伴生有金、银和多金属硫化物。

碳酸盐化是本区最晚的热液蚀变,多为方解石,也有菱铁矿,主要呈细脉状出现,有时还伴有石英、重晶石或少量硫化物。

2. 本区热液蚀变作用,时间上既有先后,也有交错。空间上既有重叠,也有分带现象。在水平方向上,蚀变岩型金矿以黄铁绢英岩(多为富石英绢英岩)为中心,向两侧依次为黄铁绢英岩化碎裂岩—黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩—红化黄铁绢英岩化碎裂状花岗岩—花岗岩。在垂直方向上,充填式石英脉主要分布在矿床的上部,黄铁绢英岩化由上而下蚀变范围由窄小变宽大(见图 7)。

3. 在热液蚀变过程中,花岗岩的岩石化学成分发生了很大变化,有的组份带入,有的组份带出。由图(图 5)可见,花岗岩经过以黄铁绢英岩化为主的热液蚀变后,Na、Al、Ca、Mg、 Fe^{2+} 、Ti、P 等元素降低了,而 Si、K、 Fe^{3+} 、OH 等组份增加了。另外,毫无疑问,Au、Ag、Cu、Pb、Zn、S 等矿化元素亦随之带入增加了。

(二)与金矿的关系

1. 焦家式金矿主要与黄铁绢英岩化有关,黄铁绢英岩化发育的地段就是具有工业品位的矿体。根据蚀变强度可分为黄铁绢英岩、黄铁绢英碎裂岩和黄铁绢英岩化花岗岩型金矿等类型。但其金品位的高低,主要取决于黄铁绢英岩中含多金属硫化物石英脉的多少,石英脉愈多金品位就愈高,无石英脉的黄铁绢英岩金的品位比较稳定(图 6)。

玲珑式金矿主要与充填式石英脉有关。分为含金石英脉和含金石英黄铁矿脉两类。有

时脉旁黄铁绢英岩化蚀变岩(较狭窄,多宽 0.2—2m)也构成矿体,但金品位较低(Au 为 7.03g/t,据 2 个样品)。含金石英黄铁矿脉含金品位最高(Au 为 20.13g/t,据 7 个样品),其次是含金石英脉型(Au 为 11.65g/t,4 个样品)。

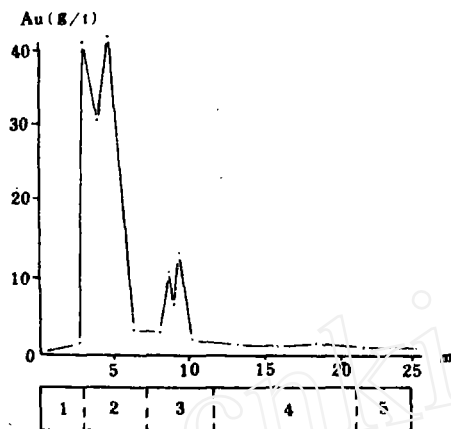


图 6 蚀变岩型金矿金品位与含金硫化物石英脉的关系

1. 黄铁绢英岩; 2. 有含金硫化物石英脉分布的黄铁绢英岩; 3. 有少量含金硫化物石英脉分布的黄铁绢英岩化碎裂岩; 4. 黄铁绢英岩化花岗碎裂岩; 5. 红化绢英岩化碎裂状花岗岩

蚀变岩型金矿与石英脉型金矿的矿化特征基本相同,仅仅是产出的空间位置不同而已。石英脉型金矿主要在上部,蚀变岩型金矿主要在下部,例如玲珑矿田,石英脉型金矿在 400 米以下就逐渐变为蚀变岩型金矿(望儿山金矿亦有类似情况)。新城、焦家、三山岛等蚀变岩型金矿都在标高 300 米以下。

2. 金矿物主要与热液蚀变中的金属硫化物紧密共生,多以自然金、银金矿的包体、裂隙金、晶隙金存在于黄铁矿、黄铜矿等硫化物内。其中黄铁矿含金 25.93—306.53g/t(7 个样品)、黄铜矿含金 85.71—390.87g/t(2 个样品)、磁黄铁矿含金 2g/t(1 个样品)。石英、绢云母等蚀变矿物含金较低(1g/t±)。这显然是,一方面由于金的亲硫性决定了它与 Fe、Cu、Pb、Zn 等硫化物有相似的迁移形式和沉淀条件,另一方面又由于金与硫较难结合并难以进入硫化物晶格,因此呈细分散胶体质点为硫化物所捕获。加上黄铁矿等矿物分子晶格常具构造缺陷(黄铁矿分子变动于 $\text{Fe}_{1.03}\text{S}_2$ — $\text{Fe}_{0.984}\text{S}_2$),金原子容易进入而构成固溶体或间隙式固溶体。石英则由于其中的 Si^{4+} 可以被 Al^{3+} 替代,同时以相应的碱性元素及金等其他元素来补偿,故部分金也进入石英晶格的构造槽中。

由上不难看出,在本区金矿成矿作用中,热液蚀变为金的沉淀富集提供了适宜的物理化学环境。

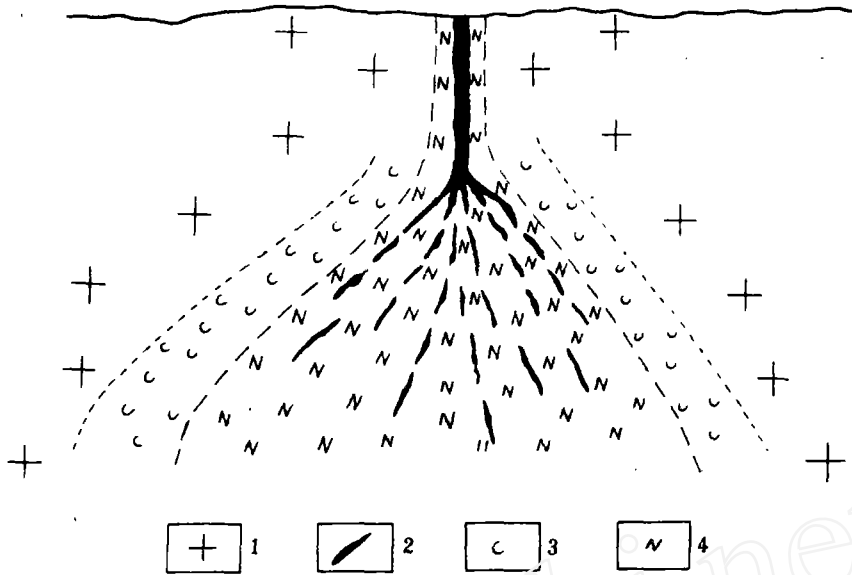


图7 胶西北金矿围岩蚀变空间分布示意图

1. 花岗岩; 2. 充填石英脉; 3. 红化; 4. 黄铁绢英岩

六、讨 论

(一)本区金矿床的形成与太古代胶东群、燕山期交代—重熔花岗岩、新华夏系 NE 向断裂构造及以黄铁绢英岩化为主的热液蚀变密切相关。它们在金的成矿过程中分别起以下作用;矿源层;使金活化、浸出、转移和第二矿源层;为成矿热液提供导矿的通道和容矿的空间部位;给金的沉淀富集提供适宜的物理化学环境。

(二)本区金的成矿作用大致可分为四个时期

1. 26 亿年前后,本区处于优地槽环境,早期以基性火山活动为主,形成大量玄武岩类,以后逐渐以中酸性火山岩活动为主,并间或出现粘土、泥砂质等陆源碎屑和浅海相碳酸盐等沉积。至 17 亿年左右,本区发生褶皱运动(王鹤年称之为“栖霞运动”,1985),使本区褶皱隆起,并发生了大规模的区域变质作用(后期出现小规模混合岩化),形成了以胶东群为主的一套中高级角闪岩相和角闪麻粒岩相变质岩及脉状、条带状混合岩化,构成了本区金的原始矿源层。伴随区域变质和混合岩作用,使金发生初步的活化转移,导致变质岩中金的局部相对富集和贫化。

2. 1.7—1.5 亿年前后,由于太平洋板块向大陆板块的碰撞挤压,本区构造活化,由上地幔的去气、去硅去碱作用及深部变质分异作用所形成的具有高度化学活动性和渗透力的、富含水、钾、钠及二氧化硅的溶液(岩汁),沿岩隙、晶隙对胶东群地层进行交代改造,形成玲珑片麻状花岗岩和郭家岭斑状花岗岩,局部熔融形成了玲珑中粗粒花岗岩。在花岗岩化过程中,胶东群含金建造中的金一方面被活化、浸出和转移出来,另一方面由于交代改造不彻底而继承下来使花岗岩本身又构成第二矿源层。

3. 燕山期花岗岩形成的后期或期后, 由于沂沭断裂带的左行扭动派生出 NE 向招平断裂、黄掖断裂和三山岛断裂以及伴生的“入字”型构造、帚状构造和次级断裂。花岗岩波及之处, 发生了强烈的碎裂化, 局部地段的糜棱岩化。构造活动为成矿溶液的活动提供了动力, 为矿液的运移提供了导矿通道, 为矿液的富集沉淀提供了容矿空间部位。

4. 经过花岗岩化以后热水溶液富集了来自胶东群和花岗岩本身的金, 形成了含有 Au、Ag、Cu、Pb、Zn 等矿化元素以及 K、Na、Ca、Mg、Fe 和 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 F^- 、 HCO_3^- 等组份的成矿热液。在构造活动的驱动下, 矿液向破碎带运移。开始, 在热峰的影响下, 围岩中的长英质等矿物中的 Fe^{2+} 被氧化为 Fe^{3+} , 出现早期的红化蚀变。随后含矿热液与围岩进行交代作用, 使长石首先发生绢云母化, 继而整个岩石被黄铁绢英岩化。以后, 断裂张开, 发生石英脉充填, 同时, 伴随多金属硫化物的沉淀。由于断裂构造多次活动, 导致矿液多次活动, 造成多阶段成矿。但由于金的亲硫性和金与铜、铅、锌等亲硫元素具有相似的迁移和沉淀条件, 因此金矿物主要集中于石英—多金属硫化物阶段。金在热液中主要以氯络合物—— $[\text{AuCl}_2]^-$ 、 $[\text{AuCl}_4]^-$ 和复硫络合物—— $[\text{Au}(\text{HS})]^\ominus$ 、 $[\text{Au}(\text{SH})_2]^-$ 、 $[\text{AuS}]^-$ 、 $[\text{AuS}_2]^-$ 、 $[\text{AuS}_3]^{3-}$ 等形式迁移, 高温时氯络合物对金的迁移影响较大, 而中低温有利于金的复硫络合物形式迁移。本区金矿床主要形成于中低温条件, 矿体石英包裹体中 SO_4^{2-} 与 Cl^- 的含量明显高于 F^- 、 HCO_3^- 等络离子。可以表明本区含矿热液中金主要以复硫络合物进行迁移, 当黄铁矿等硫化物沉淀富集时, 亦是金沉淀富集的适宜的物理化学环境, 因而在有利的构造部位形成了目前胶西北众多的蚀变岩型与石英脉型金矿床。

(三) 太古代胶东群地层、燕山期交代—重熔花岗岩、新华夏系 NE 向断裂和黄铁绢英岩化既是本区金矿床的四大控制因素, 也是寻找蚀变岩型与石英脉型金矿四位一体的找矿标志。如果是寻找盲矿体则还需结合地球化学原生晕异常(金矿的前缘指示元素为 As、Ag、Sb, 近矿指示元素为 Au、Cu、Pb、Zn、Bi、Te, 矿体尾部指示元素为 Mo、Mn) 和地球物理异常(如低值航磁正异常、低值航磁(或 VZ) 正异常的梯度带、负异常等)。综合利用四位一体的地质标志与物化探异常, 对发现更多的焦家式与玲珑式金矿定会取得较为理想的找矿效果。胶东东部地区具有胶西北地区类似的金矿成矿地质条件, 是寻找焦家式、玲珑式金矿的远景地区, 加强有关的地质和物化探工作, 相信会取得重大的突破。

本文蒙曹国权高级工程师审阅指导, 文中许多资料来自笔者与张镭璞、文子中、李福堂等人共同完成的科研成果, 并引用了有关文献, 在此深表谢忱。

参 考 文 献

- (1) 王鹤年, 1988, 胶东金矿含金建造的地球化学。地球化学, 第 4 期。
- (2) 姚凤良等, 1983, 招掖金矿带的稳定同位素地质及金矿成因。长春地质学院学报, 第四期。
- (3) 王炳成, 1989, 山东招掖地区郭家岭斑状花岗岩的地质地球化学特征及其成因探讨。山东地质, 第四卷, 第 1 期。
- (4) 刘英俊等, 1984, 元素地球化学。科学出版社。
- (5) 张理刚, 1989, 成岩成矿理论与找矿。北京工业大学出版社。

THE METALLOGENIC FACTORS OF GOLD DEPOSITS IN THE N-W JIAODONG PENINSULA AND INTERRELATION WITH THE GOLD MINERALIZATION

Wang Bingchehg

(*Shandong Institute of Geological Sciences*)

Abstract

The Archaean Jiaodong group metamorphic rocks, the Yanshanian metasomatic-anatectic granites, the Neocathaysian fault system and beresitization are closely related to the gold ore deposits in the N-W Jiaodong Peninsula. The Jiaodong group is considered to be the source bed. The granites not only caused the remobilization of gold but also serve as the secondary source bed. The Neocathaysian faults are the structures as pathway for ore fluids and the host structures for gold ores. Beresitization furnishes the adequate physical and chemical environment for gold precipitation. Therefore, they are metallogenic factors of gold deposits and comprehensive indicators(criteria) for gold prospecting in the area.