

胶北隆起硅化蚀变岩型金矿床的^① 发现及其意义

孙树浩

(冶金工业部天津地质研究院, 天津, 300061)

提 要 硅化蚀变岩型金矿发现于胶北隆起招掖成矿带, 矿体产于韧性剪切带, 其产状与本区其他类型金矿不同。金矿石为含金长英质糜棱岩, 硅化发育。主要金属矿物是, 黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、自然金、银金矿、硫碲铋矿。与黄铁绢英岩化蚀变岩型金矿相比, 微量元素 Co、Ni 含量明显偏高, 而 Cu、Pb、Zn、Hg 含量明显偏低。其成因类型为大气降水变质水热液型金矿。其成矿深度大, 是胶北地区深部找矿的重要新类型。

关键词 硅化蚀变岩型金矿 韧性剪切带 新类型

1 前 言

胶北隆起是我国重要的产金地区。目前一般将本区金矿划分为 7 种类型。

(1) 产于壳源深熔花岗岩内的石英脉型金矿。

(2) 产于壳源深熔花岗岩内的碎裂蚀变岩型金矿床(焦家新城的碎裂-黄铁绢英岩型和乳山河南村、东西马台子的碎裂-黄铁矿-钠长石型)。

(3) 产于变质岩内的黄铁矿-菱铁矿-石英脉型(栖霞马家窑)。

(4) 产于变质岩内的多金属-石英脉型。

(5) 产于粉子山群碎屑岩内的层控-热液叠加型金矿床。

(6) 产于胶东群钠长变粒岩内的层控-构造-热液叠加型金矿床。

(7) 产于角砾英安斑岩、流纹英安斑岩、花岗闪长斑岩内的含金多金属矿床。

笔者于 1992 年, 在胶北隆起招掖成矿带, 黄埠岭金矿区, 首次发现并厘定了硅化蚀变岩型金矿床。在产状、蚀变、矿物成分、微量元素地球化学、成矿物理化学条件等多方面, 硅化蚀变岩型金矿与上述 7 种类型金矿, 具有显著的不同特征。

① 收稿日期 1995. 3. 1 改回日期 1995. 3. 20

2 区域地质概况

2.1 地层

- (1) 太古一元古宙胶东群(Ar—Pt₁jd)
- (2) 下元古宙粉子山群(Pt₁fz)。
- (3) 上元古宙蓬莱群(Pt₂pl)。
- (4) 中生界侏罗系(J)。主要分布在胶莱坳陷内,为一套页岩、砂岩、砾岩。
- (5) 中生界白垩系(K)。主要分布在诸城、胶州、即墨、莱西、莱阳等地,为一套中酸性火山岩系及火山碎屑岩。
- (6) 新生界第三系。分布在局部盆地。
- (7) 新生界第四系。

2.2 构造

按传统“槽台说”,招掖金矿带位于华北地台胶辽地盾胶西北隆起。胡受奚等,按“板块构造”学说,将“胶东地块”划分为胶北地体、胶南地体、胶东南-苏东北-黄海地体。胶北地体为晚前寒武纪以来长期强烈上升的剥蚀区。

按李四光教授关于构造体系的划分,招掖金矿带位于旋扭构造胶西北“S”型构造带,自西而东有三山岛断裂、龙口-莱州断裂、招远-平度断裂、西林-陡崖断裂。

2.3 岩浆岩

2.3.1 桃科期岩浆岩 胶北桃科期侵入岩主要是超基性岩类。侵入胶东群的岩浆岩类归属桃科早期,而侵入于粉子山群或五莲群的岩浆岩类归属桃科晚期。同位素年龄值大于1700Ma,小于2500Ma。属晚太古代—早元古代。

2.3.2 中生代燕山早期侵入岩 该期侵入岩甚为发育,均为花岗岩类,划分为二个侵入次。第一次侵入形成的岩体($\gamma_5^{(1)}$)有玲珑岩体、磁山岩体、鹤山岩体和文登岩体。诸岩体的地质特征、成岩系列和成矿作用都相近,属同一类型花岗岩类。玲珑花岗岩属壳源改造型花岗岩。

第二次侵入形成的岩体($\gamma_5^{(2)}$)有郭家岭岩体和孟家岩体。郭家岭花岗岩属幔源物质为主的同熔型花岗岩。

2.3.3 中生代燕山晚期侵入岩 燕山晚期侵入岩主要为中酸性-酸性岩类,如艾山似斑状中粗粒二长花岗岩($\eta\gamma_5^{(1)b}$),属壳源物质为主的重熔型花岗岩。

2.3.4 喜马拉雅期侵入岩 侵入岩主要表现为脉状产出的超基性岩和基性岩,并主要分布于沂沭断裂带东侧的胶南。另外发育第三纪和第四纪的火山岩。

3 硅化蚀变岩型金矿的地质特征

作者于1992年在山东省招远市黄埠岭金矿的工作中,首次发现并厘定了硅化蚀变岩型金

矿。

按传统“槽台说”,黄埠岭金矿区位于华北地台胶辽地盾,胶西北隆起招掖金矿带。按李四光教授关于构造体系的划分,黄埠岭金矿区位于山东东部栖霞东西向构造带与旋扭构造胶西北“S”型构造带的交汇部位。金矿床产于龙口-莱州断裂和招远-平度断裂间的次级断裂灵山沟-北截断裂东南侧。矿区主要出露燕山早期玲珑壳源改造型花岗岩($\gamma_2^{(1)}$)。零星分布太古一元古宙斜长角闪岩和黑云母斜长片麻岩残留体。见闪长玢岩和煌斑岩岩脉。矿区主要控矿断裂呈北东走向($NE30^\circ\sim55^\circ$),倾向SE,倾角 $55^\circ\sim80^\circ$ 。区内发现14条次级断裂破碎带。现在7号、10号、11号、4号断裂带内发现了具有工业意义的金矿体。10号断裂蚀变带2B线以东赋存10-3号金矿体,为含金黄铁石英脉型金矿。10号和11号断裂2B线以西,赋存10-1、10-2号金矿体,为黄铁绢英岩化蚀变岩型金矿。7号断裂蚀变带赋存7-1号金矿体, -95m标高以上为含金黄铁石英脉型金矿, -95m标高以下为碎裂含金黄铁石英脉型金矿。硅化蚀变岩型金矿发现于7号断裂破碎带下盘, -35m标高以下,与7号断裂斜交的次级韧性剪切断裂中,产状为 $NW320^\circ\angle54^\circ\sim60^\circ$,矿体编号为7-3号。详见图1,招远市黄埠岭金矿区地质图和图2黄埠岭金矿区第7勘探线剖面图。

硅化蚀变岩型金矿的主要地质特征为:

(1)硅化蚀变岩型金矿受韧性剪切断裂控制,产状与同一矿区的黄铁绢英岩化蚀变岩型金矿不同。黄铁绢英岩化蚀变岩型金矿控矿断裂的性质是,先韧性,以后叠加了脆性。

(2)在某些硅化蚀变岩型金矿体的顶、底板围岩花岗岩中,发育厚0.5~2.8m的网脉状黄铁矿化花岗质碎裂岩。

(3)硅化蚀变岩型金矿体(7-3号)分布于7号断裂蚀变带下盘, -35m标高以下,7线至17线,产状为 $NW320^\circ\angle54^\circ\sim60^\circ$,其倾向与主断裂蚀变带7-1号金矿体相反。4中段(-35m),金矿体长275m,厚0.6~1.0m,金平均品位 $4.28W(B)10^{-6}$ 。5中段(-65m),金矿体长275m,厚0.6~1.0m,金平均品位 $6.09W(B)10^{-6}$ 。6中段(-95m),金矿体长250m,厚0.6~1.0m,金平均品位 $8.09W(B)10^{-6}$ 。

(4)硅化蚀变岩型金矿石为含金长英质糜棱岩。呈黑绿色,致密坚实,肉眼无法辨认其颗粒。块状构造。残斑为花岗岩和石英。花岗岩残斑粒径1.9mm至 $50\times10\text{cm}$ (图3),棱角发育,斜长石发育绢云母化,聚片双晶有扭曲现象。石英残斑粒径0.6mm,波状消光。斜长石残斑粒径0.4mm。基质呈暗绿色,微细至显微晶质结构,主要矿物成分是石英(粒径0.03mm)、斜长石碎屑(粒径0.05mm)、鳞片状绢云母,石英颗粒由许多边界成细锯齿状的亚晶粒及新生的重结晶颗粒所组成。并见核幔构造。热液蚀变硅化发育,而绢云母化和方解石化不发育,分布不均匀且两者分布区域不重叠。黄铁矿呈浸染状分布在基质中,主要晶形为五角十二面体,粒径0.034至0.61mm。

4 硅化蚀变岩型金矿的地球化学特征

4.1 矿物组成

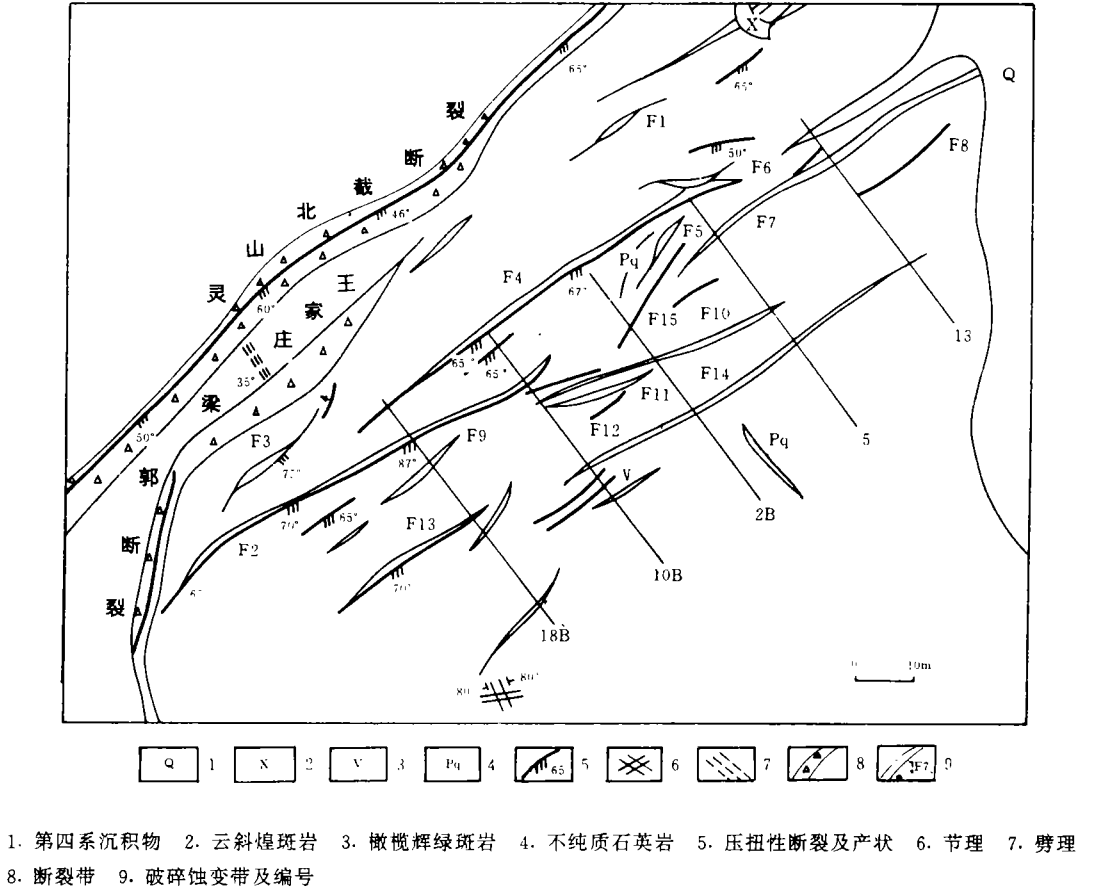


图 1 招远市黄埠岭金矿区地质图

Fig.1 Geological map for Huangpuling Au Mine,Zhaoyuan County

组成金矿石的金属和非金属矿物 15 种,常见金属矿物是黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、自然金和银金矿、硫碲铋矿。脉石矿物主要是石英、斜长石、正长石、显微条纹长石、绢云母、方解石。方铅矿充填在黄铁矿裂隙中或独立分布。见闪锌矿包含少量黄铁矿碎屑。硫碲铋矿呈板状晶体,分布于其他矿物颗粒间,反射色为白色带黄色色调,空气中呈亮玫瑰色到暗褐灰色。电子探针分析结果见表 1。

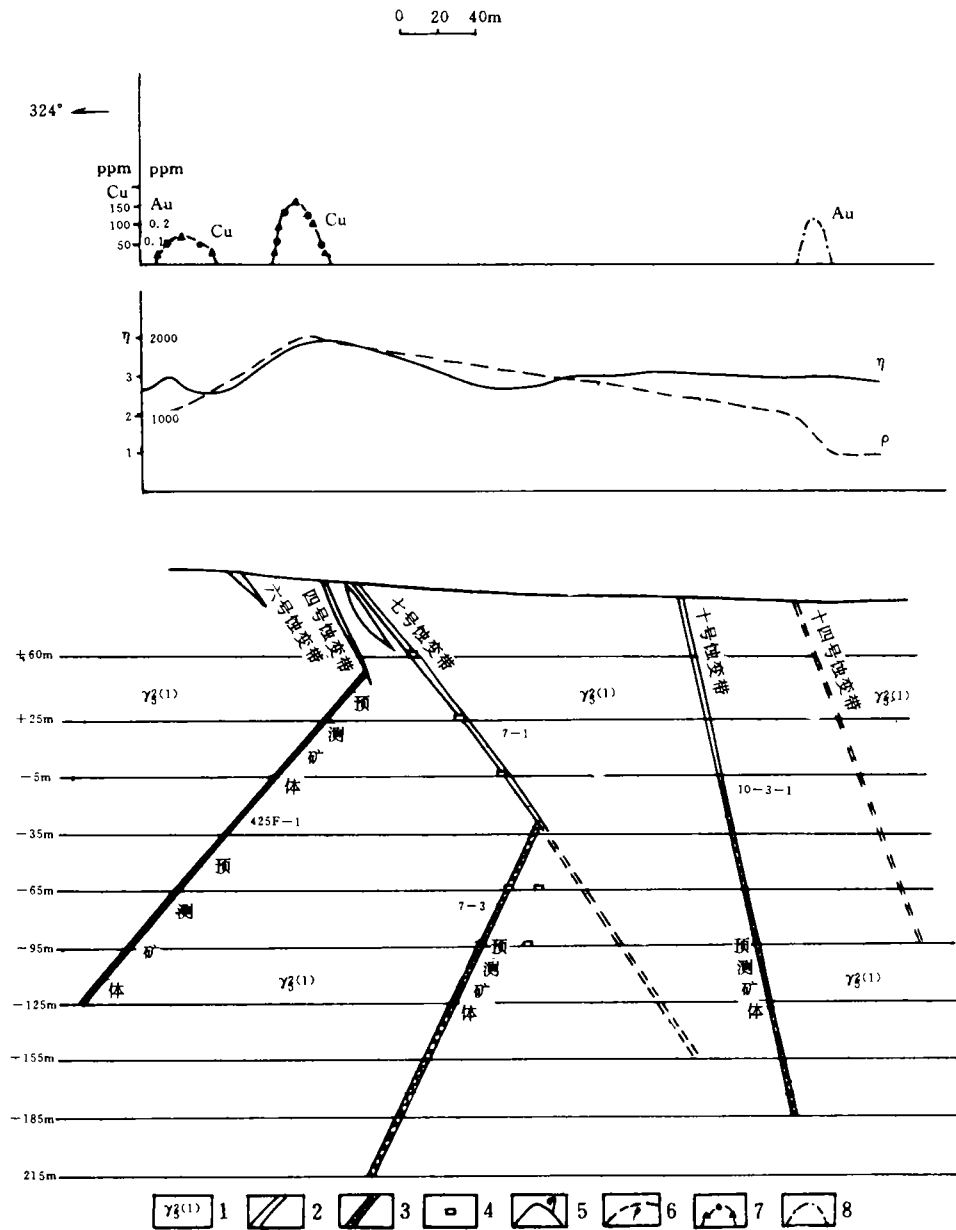
表 1 硫碲铋矿电子探针分析结果

Table 1 Electronic probe analysis of joseite

Table 1

样号	矿体名称	S wt%	Bi wt%	Te wt%	化学式
HB46	7—3 号 硅化蚀变岩型金矿	11.34	51.12	37.54	$\text{Bi}_{1-x}\text{Te}_{1-x}\text{S}_2^{(10)}$

X=0~0.3,可含少量 Se 及 Pb



1. 玲珑花岗岩 2. 破碎蚀变带 3. 金矿体 4. 坑道工程 5. 极化率异常 6. 电阻率异常 7. 铜原生晕异常 8. 金原生晕异常

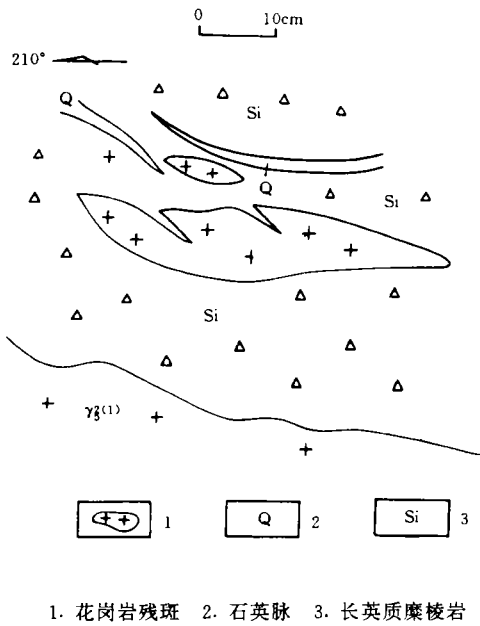
图2 黄埠岭金矿区第7勘探线剖面图

Fig. 2 Section of the seventh Line in Huangpuling Au Mine

裂隙金分布于黄铁矿的裂隙中,成群出现,或呈网脉状分布。粒径 0.03mm,为细粒金,L/W=3,呈枝叉状。某些颗粒自然金与方铅矿呈联生体。包裹金包裹于黄铁矿中,L/W=2~3,麦粒状或哑铃状,粒径 0.02~0.08mm,为中粒金。晶隙金分布于黄铁矿的边部,粒径 0.05mm,为中粒金。自然金和银金矿的电子探针分析结果见表 2。

4.2 常量元素地球化学

$\gamma_5^{(1)}$ 玲珑花岗岩中的韧性断裂破碎带,在主要经过硅化热液蚀变后,形成硅化蚀变岩型金矿。在成矿过程中,带进常量元素为:SiO₂、Fe₂O₃、MnO、K₂O、H₂O⁺、CO₂。主要反映了硅化和轻微发育的绢云母化和碳酸盐化。带出常量元素为:TiO₂、FeO、CaO、Na₂O,显示了一种去钙、钠现象。详见表 3。



1. 花岗岩残斑 2. 石英脉 3. 长英质糜棱岩

图 3 7-3 金矿体 629-9 素描

Fig. 3 Sketch of Au ore body 629-9

表 2 金矿物电子探针分析结果

Table 2 Electronic probe analysis of Au ores

样号	矿体名称	Au wt%	Ag wt%	矿物名称	成色	资料来源
HB—9	7—3 号 硅化蚀变岩型金矿	85.52	14.48	自然金	855.2	本文
HB—33	425F—1 硅化蚀变岩型金矿	78.83	21.17	银金矿	788.3	本文

表 3 常量元素对比表

Table 3 Comparison of common elements

含量% 样品名称	成分	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Feo	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁻	P ₂ O ₅	CO ₂	资料来源
$\gamma_5^{(1)}$ 玲珑花岗岩		70.60	0.20	14.78	0.36	1.67	0.031	0.41	1.99	4.30	3.46	0.56	0.037		据参考文献[1]
HH—5 黄铁绢英岩化蚀变岩型金矿		66.30	0.07	16.69	3.07	1.43	0.055	0.37	0.06	3.12	4.57	2.22	0.017	1.06	本文
HH—34 硅化蚀变岩型金矿		72.28	0.09	14.58	0.80	0.91	0.068	0.41	1.73	1.68	4.92	1.33	0.030	1.77	本文

4.3 微量元素地球化学

(1)微量元素特征为:Co、Ni 含量显著高于黄铁绢英岩化蚀变岩型金矿;Cu、Pb、Zn、Hg 含

量明显低于黄铁绢英岩化蚀变岩型金矿(表 4)。

(2)与金显著相关的元素为 Ag、Sr。而黄铁绢英岩化蚀变岩型金矿与金显著相关的元素是:Ag、Mo、Ni、F。含金黄铁石英脉型金矿与金相关的元素为 Zn、Mo。详见表 5。

(3)元素垂向分带序列为

4 中段(−35m 标高):F

5 中段(−65m 标高):Au、Sr、Mn、Cu、Mo

6 中段(−95m 标高):Pb、Cl、Bi、Zn、Ni、Co、Ag、As、Cd、Sb、Hg

与黄铁绢英岩化蚀变岩型金矿和含金黄铁石英脉型金矿,元素垂向分带序列对此见表 6。

表 4 微量元素数据 W(B)10^{−6}
Table 4 Micro—element analysis

矿床类型		Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Bi	As	Sb	F	Cl	Cd	Mo	Mn	Sr	Co	Ni	Hg
硅化蚀变岩型金矿 (样品 17 件)	平均值	5.78	13.06	37.35	219.19	63.12	55.89	4.75	0.40	554.12	133.82	21.88	16.06	449.94	166.76	18.12	24.76	0.0008
	标准差	7.90	14.93	40.25	201.73	132.39	59.34	3.18	0.36	348.12	145.32	20.49	22.29	17.68	142.32	9.18	26.49	0.022
黄铁绢英岩化蚀 变岩型金矿 (样品 7 件)	平均值	15.70	23.79	221.63	1004.13	361.13	12.71	3.19	0.19	980.0	100.00	2.04	13.36	648.43	286.14	5.14	5.71	0.24
	标准差	25.14	16.56	289.70	432.59	528.30	6.70	3.66	0.07	234.95	58.09	2.35	21.83	382.86	268.60	6.72	5.06	0.34
含金黄铁石英脉型 金矿(样品 8 件)	平均值	17.01	38.55	140.25	881.13	59.63	20.40	13.61	0.35	940.0	287.33	1.75	20.42	2979.38	91.75	18.75	23.13	0.01
	标准差	29.55	39.53	2415.61	837.56	43.46	27.26	25.88	0.30	502.81	480.61	0.71	28.79	6721.04	71.29	13.46	17.25	0.02

测试单位:冶金部天津地质研究院测试中心

4.4 黄铁矿成分标型特征

硅化蚀变岩型金矿和黄铁绢英岩化蚀变岩型金矿、含金黄铁石英脉型金矿的黄铁矿, Co、Ni、As 分析结果见表 7。按黄绍峰(1987 年)黄铁矿的 Co、Ni、As 三角图解(图 4)。7-1 号含金黄铁石英脉型金矿划为岩浆热液成因,10-3 号含金黄铁石英脉型金矿划为地下热卤水溶液成因,10-2 号黄铁绢英岩化蚀变岩型金矿和 7-3 号硅化蚀变岩型金矿划为变质热液成因。

表 5 金与其他元素相关系数表
Table 5 Correlation coefficient of Au to other elements

矿床类型	硅化蚀变岩型金矿	黄铁绢英岩化蚀变岩型金矿	含金黄铁石英脉型金矿
1	2	3	4
相关系数检验值	样品为 17 件 $\alpha=5\%, r >0.482$ 相关系数有意义	样品为 8 件 $\alpha=5\%, r >0.707$ 相关系数有意义	样品为 9 件 $\alpha=5\%, r >0.666$ 相关系数有意义
元素	Au	Au	Au
Ag	0.5123	0.7126	0.4665

续表 5

1	2	3	4
Cu	—0.3834	0.1334	0.2508
Pb	0.3205	0.1016	0.5305
Zn	0.1204	—0.2383	0.7100
Bi	—0.4359	0.5793	—0.0004
As	—0.1578	0.1696	—0.2729
Sb	—0.2049	0.093	—0.1372
F	0.2523	0.8103	—0.3564
Cl	—0.095	0.2286	—0.0009
Cd	0.091	—0.1652	—0.4529
Mo	—0.3069	0.9587	0.8501
Mn	0.0027	0.1633	0.0035
Sr	0.4675	—0.3953	—0.0258
Co	—0.2610	0.2728	—0.1453
Ni	—0.3711	0.9699	—0.2497
Hg	—0.2186	—0.4032	—0.2225

表 6 黄埠岭矿区各类型金矿元素垂向分带序列对比

Table 6 Vertical zonation of elements in Au ores of Huangpuling Au Mine

中段(标高)	硅化蚀变岩型金矿	黄铁绢英岩化蚀变岩型金矿	含金黄铁矿石英脉型金矿
4 中段 (—35m)	F	Au、Ag、Ni、Cu、As、Bi、 Co、F、Sb、Mn	Ni、Hg、As、F、Co、Cd、 Sb、Zn、Mn、Cu
5 中段 (—65m)	Au、Sr、Mn、Cu、Mo	Cl、Cd、Sr、Zn、Hg	Mn、Cu
6 中段 (—95m)	Pb、Cl、Bi、Zn、Ni、Co Ag、As、Cd、Sb、Hg	Pb	Sr、Cl、Pb、Au、Mo、Bi、Ag

表 7 黄铁矿的 Co、Ni、As 含量

Table 7 Co、Ni and As content in pyrite for different ores

样号	矿体编号	矿体名称	含量 W(B)10 ⁻⁶			Co/Ni
			Co	Ni	As	
1	2	3	4	5	6	7
HH4—17	10—1	黄铁绢英岩化蚀变岩型金矿	2	12	58	0.17

续表 7

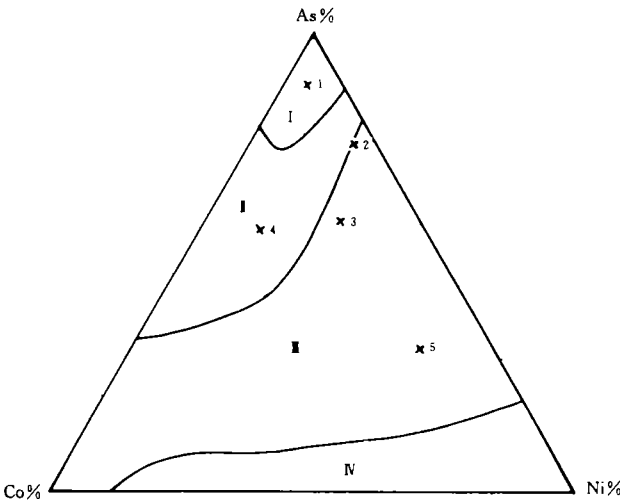
1	2	3	4	5	6	7
HB6—14	10—2	黄铁绢英岩化蚀变岩型金矿	4	10	31	0.40
HH5—13—1	7—3	硅化蚀变岩型金矿	15	62	44	0.24
HB4—14	7—1	含金黄铁铁矿石英脉型金矿	43	17	98	2.53
HB4—11	10—3	含金黄铁铁矿石英脉型金矿	40	54	892	0.74

表 8 氢氧同位素数据

Table 8 H₂O isotope analysis

样号	矿体编号	矿物名称	温度 ℃	δ ¹⁸ O(‰) SMOW	δD(‰) SMOW	δ ¹⁸ O _{H₂O} (‰)	资料来源
HH5—12	7—3	石英	215	9.90	-71.2	-2.43	本文
HH6—15	7—1	石英	242	10.79	-72.1	0.16	本文
HH4—15	7—1	石英	242	11.15	-72.5	0.32	本文
HH5—13	10—3	石英	277	11.31	-66.60	2.18	本文

测试单位:地矿部宜昌地矿所



- I. 地下热(卤)水溶液金矿床

II. 岩浆热液金矿床

III. 变质热液金矿床

IV. 火山次火山热液金矿床
1. HB4—11, 10—3 金矿体

2. HH4—17, 10—1 金矿体

3. HB6—14, 10—2 金矿体

4. HB4—14, 7—1 金矿体

5. HH5—13—1, 7—3 金矿体

图 4 黄铁矿中 Co、Ni、As(原子百分数)三角图解
(据黄绍峰 1987)

Fig. 4 Co, Ni, As plot for pyrite in different ores

4.5 同位素地球化学

硅化蚀变岩型金矿(7-3)和含金黄铁铁矿石英脉型金矿(7-1和 10-3)氢氧同位素数据列在表 8。 将以上数据投在杨忠芳^[7]等的招-掖成矿带大气降水热液矿床成矿流体 δD-δ¹⁸O_水 演化关系图中。根据我们对黄埠岭金矿成矿流体 δD 和 δ¹⁸O_水 演化的解释,将该图改为招-掖成矿带大气降水变质水热液型矿床成矿流体 δD-δ¹⁸O_水 演化关系图(图 5)。从该图中可以看出,新城金矿成矿流体的 δD 和 δ¹⁸O_水 分布范围和变化趋势与 300℃, W/R 为(0.5~1)%时的大气降水演化曲线吻合。玲珑金矿具有多阶段演化的特点,早期阶段的流体 δD 和 δ¹⁸O_水 位于 250℃大气降水演化曲

线附近, W/R 约为 $(0.5 \sim 1)\%$; 而晚期成矿阶段 δD 和 $\delta^{18}O_K$ 大致位于 $300^\circ C$, W/R 为 $(0.1 \sim 0.5)\%$ 大气降水演化线附近。十里铺银金矿成矿流体 δD 和 $\delta^{18}O_K$ 分布范围更接近克雷格线, 其变化趋势与较低温度 ($125^\circ C$) 和较大 W/R 比 ($5 \sim 1$)% 条件下的大气降水演化线一致^[7]。而硅化蚀变岩型金矿 (7-3 号) 的 δD 和 $\delta^{18}O_K$ 分布范围和变化趋势, 位于 $125^\circ C$ 大气降水演化曲线, W/R 约为 $(5 \sim 1)\%$, 与十里铺银金矿成矿流体 δD 和 $\delta^{18}O_K$ 分布范围接近。而 10-3 号含金黄铁石英脉型金矿成矿流体的 δD 和 $\delta^{18}O_K$ 分布范围和变化趋势, 与玲珑金矿早期阶段的 $250^\circ C$ 大气降水演化曲线邻近。7-1 号含金黄铁石英脉型金矿成矿流体的 δD 和 $\delta^{18}O_K$ 分布范围和变化趋势界于大气降水 $250^\circ C$ 和 $125^\circ C$ 演化曲线之间。

结合硅化蚀变岩型金矿黄铁矿成分标型特征, 硅化蚀变岩型金矿成因类型当属大气降水变质水热液型金矿。

4.6 流体包裹体

硅化蚀变岩型金矿与同一矿区黄铁绢英岩化蚀变岩型金矿和含金黄铁石英脉型金矿, 流体包裹体特征对比见表 9。

硅化蚀变岩型金矿流体包裹体特点为:

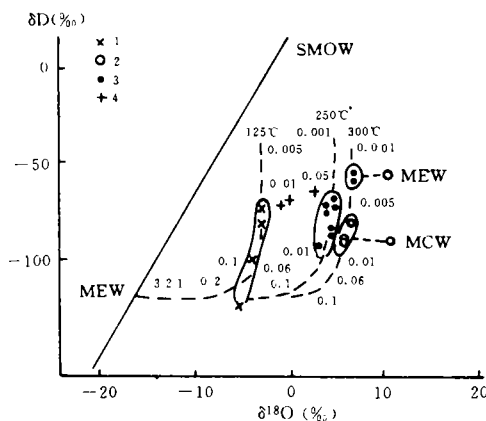
(1) 原生包体为 CO_2 包体, 随机分布。较黄铁绢英岩化蚀变岩型金矿原生 CO_2 包体的气液比高, 均一温度也偏高。而且硅化蚀变岩型金矿的方解石中没有原生包体。较含金黄铁石英脉型金矿, 原生 CO_2 包体气液比偏高。

(2) 硅化蚀变岩型金矿的石英无次生液体包体, 而含次生气液包体和次生 CO_2 包体, 并定向分布在基质中, 反映了矿液的统一迁移方向。

(3) 硅化蚀变岩型金矿石英中次生包体均一温度低于石英中原生包体。且石英次生包体均一温度变化区间较大, 反映生成次生包体的矿液, 从较高温度到较低温度, 有一个较长时间的演化过程

4.7 流体包裹体的成分

硅化蚀变岩型金矿与黄埠岭含金黄铁石英脉型金矿石英包体成分见表 10, 成矿物理化学参数见表 11。硅化蚀变岩型金矿包体成分特点为:



1. 十里铺银金矿 2. 新城金矿 3. 玲珑金矿 4. 黄埠岭金矿 MEW 变质水 MCW 初始岩浆水

图 5 招-掖成矿带大气降水变质水热液矿床成矿流体 δD - $\delta^{18}O$ 关系图

(据杨忠芳等 1991)

Fig. 5 δD - $\delta^{18}O$ plot of ore fluid for meteoric water and metamorphic fluid genetic Au deposits in Zhao-Ye Au ore belt

表 9 硅化蚀变岩型金矿与黄埠岭金矿区其他类型金矿包体特征对比

Table 9 Inclusion character comparison of silicified alteration rock type Au ore to those of other Au ores in Huangpuling Mine

	硅化蚀变岩型金矿	黄铁绢英岩化蚀变岩型金矿	含金黄铁矿石英脉型金矿
原生包体	石英 CO ₂ 包体,形态为椭圆形,大小为 6~20μm,随机分布于石英残斑中,气液比为 70%,均一温度 345~351℃	石英 CO ₂ 包体,形态为椭圆形,大小为 6~12μm,随机分布于碎斑中或角砾中,气液比为 20%~30%,均一温度 290~313℃。方解石为 CO ₂ 包体,形态为负晶形,大小为 6~10μm,随机分布于碎斑中或角砾中,气液比 25%~30%,均一温度 295~310℃	石英 CO ₂ 包体,形态为椭圆形,大小为 6~12μm,气液比 30%,随机分布于早世代石英中,均一温度为 335~365℃
次生包体	石英气液包体,形态为椭圆形,大小为 3~8μm,定向分布于基质中,气液比为 10%~15%,均一温度 190~280℃ 石英 CO ₂ 包体,形态为椭圆形,大小为 6~10μm,定向分布于基质中,气液比 20%,均一温度 292℃~320℃	石英气液包体,气液比<10%,椭圆形,定向分布于胶结物中,大小为 5~8μm,均一温度 110~270℃ 石英 CO ₂ 包体,椭圆形,气液比 20%,定向分布于胶结物中,大小为 6~14μm,均一温度 218℃	石英 CO ₂ 包体,形态为不规则状,大小为 10~45μm,气液比 15%~20%,定向分布,均一温度 280~352℃。气液包体,形态为椭圆形,大小为 4~12μm,气液比 15%,定向分布,均一温度为 255~295℃ 石英液体包体,形态为不规则状,大小为 2~10μm,气液比<10%,定向分布,均一温度 120~190℃

表 10 石英包裹体组分

Table 10 Composition of inclusion in quartz

矿床类型	W(B)10 ⁻⁶								g/L							资料
	H ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂	H ₂ O	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	
黄埠岭硅化蚀变岩型金矿	0.01	0	1.08	0	0	0	46.71	673.02	2.06	14.10	12.30	12.40	11.50	121.0	1.86	本文
黄埠岭含金黄铁矿石英脉型金矿	0.01	0	0.18	0	0	0	60.25	808.25	7.74	8.24	9.61	14.88	8.76	39.97	1.73	本文

测试单位:有色总公司北京矿产地质所

- (1)富含 Ca²⁺、Na⁺、SO₄²⁻、Cl⁻、F⁻,并且 SO₄²⁻>Cl⁻>F⁻,Ca²⁺>K⁺>Na⁺。与变生热液型金矿^[7]相似。反映了变质水掺入了成矿溶液。
- (2)Na⁺/K⁺=1.57,Na⁺/(Ca²⁺+Mg²⁺)=0.16,这些比值既反映天水的掺入,也反映变质水的掺入。
- (3)硅化蚀变岩型金矿成矿流体属 Ca²⁺、K⁺、Na⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、F⁻型,而黄埠岭金矿区含金黄铁矿石英脉型金矿成矿流体属 Ca²⁺、K⁺、Na⁺、F⁻、Cl⁻、SO₄²⁻型。

(4)与胶北隆起三山岛黄铁绢英岩化蚀变岩型金矿比较,硅化蚀变岩型金矿成矿流体盐度和矿化度偏低,pH 值偏高,呈弱碱性,氧逸度偏高,还原参数偏低,为氧化环境,氧化性更强。

与黄埠岭金矿区含金黄铁矿石英脉型金矿相比,硅化蚀变岩型金矿成矿流体盐度和矿化度偏高,pH 值偏低,呈弱碱性,氧逸度偏高,还原参数偏低,为氧化环境,氧化性更强。 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 比值偏高。

表 11 成矿物理化学参数

Table 11 Physio-chemical parameters for Au metallogeny

矿床类型	温度 C	成矿压 力 MPa	盐度 wt%	矿化度 g/L	pH	Eh V	logf H ₂	logf CH ₄	logf CO	logf CO ₂	logf O ₂	Na ⁺ /K ⁺	Na ⁺ /(Ca ²⁺ +Mg ²⁺)	F ⁻ /Cl ⁻	CO ₂ /H ₂ O	还原 参数 R	资料 来源
黄埠岭硅化蚀 变岩型金矿	215	87.14	3.34	175.22	8.52	-0.76	-0.9	-2.81	-3.06	1.32	-3.16	1.57	0.16	0.27	0.03	0.005	本文
黄埠岭含金黄铁矿 石英脉型金矿	242~ 277	20.27~ 70.93	1.8	90.93	8.81	-0.83	-1.13	-3.14	-3.39	1.03	-3.49	1.19	0.44	1.79	0.03	0.01	本文
三山岛黄铁绢英岩 化蚀变岩型金矿	265~ 355	8.11~ 18.0	8.5~ 9.2	257.92	6.19	-0.91	-0.47	1.28	-3.21	1.01	-30.15	0.16	0.13	4.01	0.04	0.03	参考文 献[8]
三山岛黄铁矿石英 脉型金矿	285~ 330	7.00~ 11.10	7.0~ 8.4	50.13	5.69	-0.90	-0.59	-1.02	-3.20	0.71	-30.78	1.25	2.18	0.06	0.017	0.06	参考文 献[8]
马家窑多金属硫化 物石英脉型金矿	260~ 280	14.39~ 15.49	12~ 12.4	55.92	5.12	-0.60	-2.17	-1.31	-3.33	0.58	-33.2	8.18	1.54	0.02	0.02	0.01	参考文 献[8]

测试单位:有色总公司北京矿产地质所

4.8 成矿压力和成矿深度

表 12 列出成矿压力和成矿深度的数据。假设成矿作用发生在封闭体系中,则流体的压力近似地等于上覆岩石的静压力。按 0.101325MPa/3.5m 的压力递增率,计算出成矿深度。根据表 12 的数据,进行如下讨论。

(1)7 号断裂中,7-3 硅化蚀变岩型金矿,石英残斑中的原生包体,成矿深度为 6.9km;而其次生包体,成矿深度为 3.0km。说明硅化蚀变岩型金矿成矿深度最大,是胶北地区深部找矿的重要新类型。从原生包体生成到次生包体生成,硅化蚀变岩型金矿体至少上升 3.9km。而同一条断裂带中的 7-1 号含金黄铁矿石英脉型金矿,成矿深度为 2.5km。

(2)10 号断裂带的 10-3 号含金黄铁矿石英脉型金矿次生包体,成矿深度 0.7km。而同一条断裂带中的 10-1 号黄铁绢英岩化蚀变岩型金矿体中,原生包体,成矿深度为 2.1km。说明在成矿期中,10 号断裂带有上隆作用。从原生包体生成到次生包体生成,至少上升 1.4km。

(3)本区金矿最新的围岩为燕山晚期艾山岩体,K-Ar 法同位素年龄为 112~158Ma。所以成矿时代为中晚白垩纪。

燕山期,胶北地体存在上隆作用。同一矿体在成矿过程中,控矿断裂带曾发生上隆作用。

表 12 成矿压力和成矿深度

Table 12 Ore-forming pressure and depth for different ores

样号	矿体名称	测定 矿物	包体 类型	温度 (℃)	成矿压力 MPa(大气压)	成矿深度 km	备 注
HB—14	7—3 号硅化蚀变岩型 金矿	石英	残斑中的 原生包体	345~351	200.0	6.9	CO ₂ 密度法实测
HH5—12	7—3 号硅化蚀变岩型 金矿	石英	次生包体	215	87.14	3.0	据包体成分计算
HB—4	10—1 号黄铁绢英岩化 蚀变岩型金矿	石英	原生包体	290—313	60.01	2.1	CO ₂ 密度法实测
HH5—13	10—3 号含金黄铁矿石 英脉型金矿	石英	次生包体	277.6	20.27	0.7	据包体成分计算
HH4—15	7—1 号含金黄铁矿石 英脉型金矿	石英	次生包体	242	70.93	2.5	CO ₂ 密度法实测
HH6—15	7—1 号含金黄铁矿石 英脉型金矿	石英	次生包体	242	70.93	2.5	据包体成分计算

测试单位:中科院北京地质研究所和中国地质大学(北京)

5 成矿模式

按“板块构造说”,胡受奚等^[9]将“胶东地块”划分为胶北地体、胶南地体、胶东南-苏东北-黄海地体。胶北地体为晚前寒武以来长期强烈上升的剥蚀区。而胶南地体为中生代(J, K₁, K₂)厚大(达万米)的火山-沉积岩系所复盖的拗陷区。

印支期是古太平洋板块与欧亚板块碰撞挤压的最主要时期的开始。胡受奚等认为,根据高压矿物柯石英较普遍的存在,可以认为其俯冲深度达 95km 以上。如果胶东南-苏东北-黄海地体以 45°角向胶北地体俯冲,则其水平距离至少可达 130km,而胶南地体也有可能向胶北地体俯冲水平距离 100km 左右。

俯冲带,在高压高温条件下,在强烈的挤压、缩短作用下,往往伴随着板片和地体下行逆冲、滑脱。随着深度的增加,以及温度、压力升高,这些下行或俯冲的板片和地体发生变质,形成辉长岩、角闪岩、榴辉岩,部分熔融,含水矿物脱水、部分形成钙碱性岩浆。使金等成矿元素和活动的造岩组分硅、钾、钠等发生活化转移。沿着俯冲带下渗的大气降水温度升高,并且由于一定数量硫化物加入,便这些水溶液处于还原环境。因此,下渗大气降水汲取俯冲地体和上覆地体中(包括胶东群)的 SiO₂、K₂O、Na₂O 等成岩物质,汲取 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Te、Bi 等成矿物质,与变质水混合形成成矿溶液。

强烈的温度差和压力差促使溶液产生流动。断裂破碎带是岩层中的高渗透带,因此,无疑是深部承压流体向上运移的最集中地带,是成岩成矿溶液运移的主要通道。

处于岩石圈下层的塑性流动带,在长期剪切变形的过程中,因摩擦热效应而趋于弱化,主要表现为带内介质的粘性和强度降低(流动性增大)以及密度减小。在塑性流动弱化带的诱导下,地幔物质因重力均衡效应而进行调整,从而使上地壳上隆。在塑性流动带剪切运动的控制下,地壳内因破裂而形成的通道,为地幔物质的继续上涌创造条件,从而引起岩浆和火山的活动。

在花岗岩形成并固结之后,约 100Ma(中晚白垩纪),沿着地壳中花岗岩侵位的通道,由于多次构造复活,富含 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Te、Bi 等元素的成矿溶液,从岩石圈下部上升侵位,形成胶北地体中的金矿床。

6 结 论

(1)硅化蚀变岩型金矿成因类型为大气降水变质水热液型金矿。容矿岩石为壳源改造型玲珑花岗岩 $\gamma_5^{(1)}$ 。成矿时代为中晚白垩纪。

(2)硅化蚀变岩型金矿主要特征为

a. 金矿体分布于韧性剪切断裂中。金矿石为含金长英质糜棱岩。

b. 在某些硅化蚀变岩型金矿顶、底板围岩花岗岩中,发育厚 0.5~2.8m 的网脉状黄铁矿化花岗质碎裂岩,红化发育。

c. 金属矿物组合,与其他类型的差别是出现较多硫碲铋矿。

d. 微量元素组成,与黄铁绢英岩化蚀变岩型金矿相比,硅化蚀变岩型金矿 Co、Ni 含量显著偏高,而 Cu、Pb、Zn 含量明显偏低。微量元素垂直带序列有明显差别。

e. 与三山岛黄铁绢英岩化蚀变岩型金矿比较,黄埠岭硅化蚀变岩型金矿成矿流体盐度和矿化度偏低,pH 值偏高,呈弱碱性,氧逸度偏高,为氧化环境,并氧化性更强。成矿温度 190℃~280℃。

f. 硅化蚀变岩型金矿,石英残斑生成深度为 6.9km,基质的显微晶质石英,形成深度为 3.0km。从原生包体生成到次生包体生成,硅化蚀变岩型金矿体上升 3.9km。硅化蚀变岩型金矿形成深度大,是胶北地区深部找矿的重要新类型。

参考文献

- 1 山东省冶金地质勘探公司第三地质队. 山东省招远县黄埠岭矿区金矿评价地质报告. 1979(内部)
- 2 山东省地质矿产局. 山东省区域地质志. 地质出版社,1991
- 3 张均,沈镭,王世平. 山东省黄埠岭金矿构造控矿特征及找矿远景预测. 矿山地质,1991,12(2)
- 4 特纳 F J,韦斯 L E. 变质构造岩的构造分析. 地质出版社. 1978
- 5 孙树浩,等. 四川平武-南坪地区微细浸染型金矿成矿条件和矿床预测研究. 1992(内部)

- 6 Chil-Supso and Seong-Taek Yun. Geochemistry and Genesis of Hydrothermal Au-Ag-Pb-Zn Deposits in the Hwanggan-gri mineralized District, Republic of Korea. *Economic Geology*, 1992, 87(8)
- 7 杨忠芳, 徐景奎, 赵伦山, 吴悦斌, 沈镛立. 胶东两大成因系列金矿石英包裹体氢氧同位素及成矿流体组分地球化学研究. *矿物学报*, 1991, 8(4)
- 8 杨敏之, 李兆龙, 等. 胶北隆起金矿床类型、找矿标志及找矿方向研究. 1990, (内部)
- 9 胡受奚, 等. 胶北地体金矿富集的构造环境. *地质找矿论丛*, 1993, 8(1)
- 10 Uytendogaardt W and Burke E A J. Tables for microscopic identification of minerals. second revised edition Elsevier publishing company, Amsterdam, London, New York, 1971

DISCOVERY OF SILICIFICATION ALTERED ROCK TYPE Au ORE IN JIAOBEI UPWARP AND ITS SIGNIFICANCE

Shu Shuhao

(Tianjin Geological Academy MMI)

Abstract

Silicification altered rock type Au ore is discovered in ductile shear zones in Zhao—Ye Au ore belt in Jiaobei Upwarp. The ore is composed of Au felsic mylonite. Silicification is developed. Pyrite, galena, sphalerite, native gold, electrum and jositite are the main ore minerals. Compared to pyritization sericitization altered quartzite rock type Au ore micro—elements of Co, Ni are higher and Cu, Pb, Zn Hg, lower. It is of meteoric water and metamorphic water genetic ore with bigger ore—forming depth. Therefore, such kind of ore is the prospecting targets at depth in Jiaobei Aea.