

山东牟平邓格庄金矿的地球化学特征及成因^{*}

张德全 徐洪林 孙桂英

(中国地质科学院地质研究所, 北京)

提 要: 邓格庄大型石英脉型金矿, 分布于燕山期昆崙山花岗岩体内金牛山断裂带次级断裂中。成矿年龄 118×10^6 a, 它比容矿岩体冷凝至 350°C 时还晚 12×10^6 a。成矿深度小于 1 km (约 0.75 km), 而容矿岩体的定位深度大于 13 km, 它们的定位深度差大于 12 km。成矿流体来自地壳深部, 通过水-岩反应又从容矿岩体中萃取一部分金。故此金矿不是传统意义的岩浆期后热液矿床。

主题词: 金矿 地球化学 成因 山东邓格庄

邓格庄金矿及其容矿岩体已有许多文献论述^[1~15]。其时代和成因众说纷纭, 争议较大。笔者根据新的测年资料认为金矿定位年龄为 118×10^6 a, 容矿岩体 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄为 130.68×10^6 a (封闭温度 350°C)。详细论述请参阅文献 [16]。本文侧重金矿地球化学及成因方面的论述。

1 矿区及矿床地质简介

邓格庄金矿, 位于山东牟平县城南约 22 km, 距水道镇北约 2 km, 为一大型石英脉型金矿床。金矿脉分布于昆崙山复式岩体内金牛山—玉林店断裂带的次级断裂中, 已控制的工业矿脉共 4 条 (图 1)。目前正在开采 1 号和 2 号脉。脉长 1000 m, 脉宽 0.2~3 m, 平均 1 m。控制延深约 450 m, 矿脉倾向 $\text{NW}275^\circ \sim 285^\circ$, 倾角陡, 多数大于 75° (图 2)。主要矿石矿物为含金黄铁矿、金银矿, 次为黄铜矿、磁黄铁矿、磁铁矿及微量毒砂、方铅矿、胶黄铁矿等。脉石矿物为石英、绢云母、方解石、菱铁矿、铁白云石、长石、绿泥石及微量重晶石等。矿石平均品位 5~10 g/t。成矿热液期可分 4 个阶段: I. 石英-黄铁矿; II. 黄铁矿-磁黄铁矿; III. 金、铜、铅、锌硫化物; IV. 碳酸盐。成矿温度 $150 \sim 350^\circ\text{C}$, 成矿压力约 $400 \times 10^5 \text{Pa}$, pH 值 4.7~5.5。常见煌斑岩脉平行于矿脉分布, 并遭受热液蚀变 (退色)。含金石英脉旁的二长花岗岩蚀变成红化岩 (绢云母化)、绢英岩或黄铁绢云母石英岩 (硅化岩)。成矿流体的氢、氧同位素组成: δD 为 -89% , $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 $+2.0\%$ (据李嘉, 5 个样) 或 δD 为 -77% , $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 $+3.2\%$ (2 个样)^[4]。它与该矿区花岗岩中石英 δD (-72.5%) 和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ ($+8\% \sim +7.61\%$)^[4] 有一定差异。邓格庄金矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 为 $5.6\% \sim 8.9\%$ (18 个样), 平均 7.41% 。昆崙山花岗岩的 $\delta^{34}\text{S}$ 为 $3.8\% \sim 8.5\%$ (5 个样), 平为 6.5% 。花岗岩中黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 为 $3.97\% \sim 8.78\%$ (5 个样), 平均为 6.2% ^①。石英包裹体的气、液相成分分析 (表 1) 表明: 热液主

* 本文系地矿部“八五”科技攻关项目——“中国花岗岩-绿岩地体金矿地质特征、矿床模式及远景预测”专题研究部分成果 (课题编号: 90051-01-1-7)

张德全, 男, 64 岁, 研究员, 长期从事火山岩教学与科研工作。邮政编码: 100037

1996-05-30 收稿, 1997-04-29 修改回

① 中国地质大学 (北京)

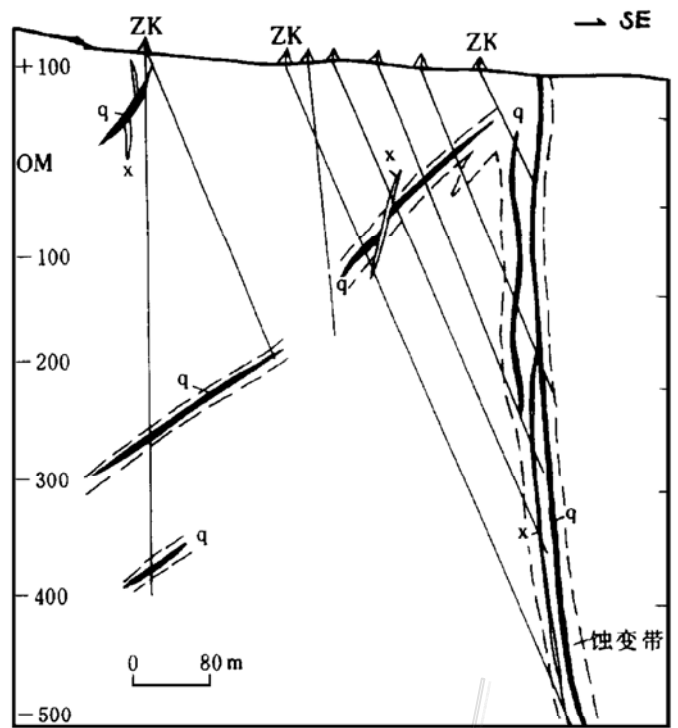
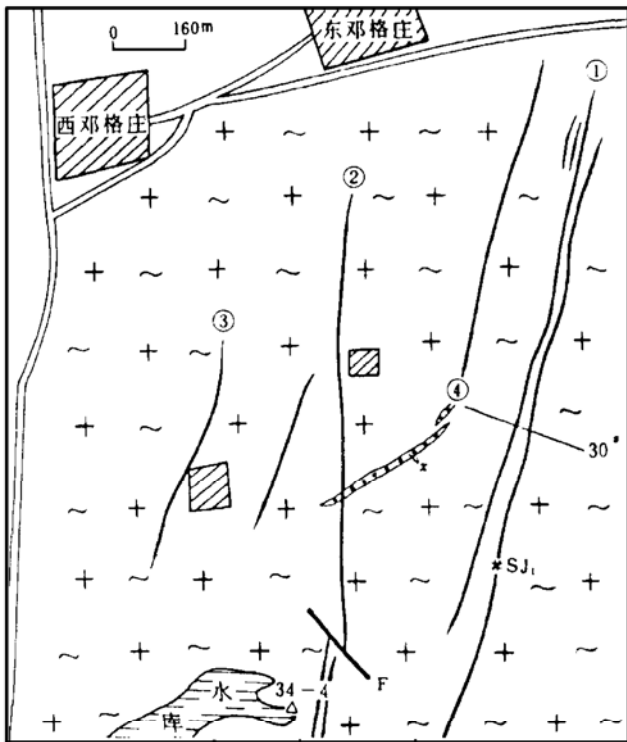


图 1 牟平邓格庄金矿区地质简图
(据山东地矿局地质三队资料)

①~④—金矿脉；x—煌斑岩；SJ₁—采矿竖井；F—断裂

Fig. 1. Geological sketch map of the Denggezhuang gold ore district in Mouping County, Shaodong Province.

①~④—Ore vein；x—Lamprophyre；SJ₁—Mining shaft；F—Fault.

图 2 牟平邓格庄金矿脉 (1 号脉) 剖面图
(据山东地矿局地质三队资料)

q—金矿脉；x—煌斑岩

Fig. 2. Geological section of No. 1 gold vein in the Denggezhuang gold ore district.

q—Gold ore vein；x—Lamprophyre.

表 1 牟平邓格庄金矿石英包裹体液相和气相成分表

Table 1. Gaseous—liquid composition of fluid inclusions in quartz from the Denggezhuang gold deposit, Mouping County

样号 (样数)	单位		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻		资料来源
36-7	μg/g	液相成分	2.94	0.86	0.00	0.02	0.00	4.74	0.84	290 °C	本文
(4)			3.68	5.07	0.75	0.31	1.17	10.71	3.44	240~320 °C	[4]
(2)			2.34	4.68	0.83	0.33	0.89	4.65	4.19		徐景奎 ^①
样号 (样数)	单位		CO ₂	H ₂ O	H ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	CO	CO ₂ /H ₂ O	资料来源
36-7	μg/g	气相成分	7.337	46.79	0.095	0.191	0.67	3.34	0.50	0.157	本文
(4)	μmol/g		1.978	46.8	0.301			0.147		0.42	[4]

① 中国地质大学 (北京) 徐景奎博士论文, 1991

要成分为 H_2O^+ 、 CO_2 、 CH_4 ，并富含 Na、K、Cl 等离子。

邓格庄金矿石中黄铁矿比蚀变岩中黄铁矿含 S 略低：前者为 52.09% (2 个样，本文) 或 52.44% (桂志利)^①；后者为 52.97% (3 个样，本文)。黄铁矿的 Co/Ni 比差异较大，可分两类：一类 $Co/Ni < 1$ (0.429)；另一类 $Co/Ni > 1$ (3.35)。热电性类型可分 P 型和 N 型。有人^②曾对牟平金矿作过统计：P 型占 77.3% (3871 粒)，N 型为 22.7% (1136 粒)。亦有人认为，金在黄铁矿中富集与黄铁矿的热电性有关。即含金黄铁矿多为空穴型 (P 型)，不含金黄铁矿多属于电子型 (N 型)^[17]。亦有人认为黄铁矿热电性具有分带性。矿体上部多为空穴型，矿体根部则为电子型^[18]。表 2 资料亦说明有的黄铁矿含金，有的不含。这是否与热电性有关，值得进一步研究。总之，本区黄铁矿的类型并不单一。

表 2 牟平邓格庄金矿区黄铁矿的电子探针分析 (%)

Table 2. Electron microprobe analyses of pyrite from the Denggezhuang gold deposit, Mouping County

样号	36-3	36-2	36-1	37-4	37-5	平均	8 个样 ^①	7 个样 ^②
赋存岩石	金矿石	金矿石	绢英岩	绢英岩	红化花岗石	(5)	金矿石	金矿石
S	52.56	51.56	53.01	52.72	53.19	52.62	52.44	
Fe	47.68	45.89	46.94	46.42	46.73	46.72	45.56	
Au	0.00	0.00	0.00	0.71	1.04		7.37	8.1
Ag	0.05	0.25	0.27	0.09	0.21		28.1	25.5
Cu	0.03	0.00	0.03	0.14	0.00			150
Zn	0.23	0.31	0.40	0.00	0.59			157
Se	0.06	0.20	0.00	0.04	0.00			
Te	0.23	0.00	0.00	0.00	0.08			
Co	0.00	0.21	0.00	0.37	0.00		53.4	95.6
Ni	0.00	0.03	0.03	0.00	0.00		124.4	28.5
As	0.00	1.21	0.08	0.06	0.00			1163
Cr	0.03	0.09	0.00	0.00	0.00		0.429 (Co/Ni)	3.35 (Co/Ni)
总计	100.87	99.75	100.76	100.55	101.84			

①据桂志利硕士论文；②据申志军硕士论文，引用中国地质大学（北京）地化教研室数据（引用 Au、Ag、Co、Ni 数据的单位为 10^{-6} ）

可能表明其成因和来源比较复杂。一般认为 $Co/Ni < 1$ 的黄铁矿多为外生成因。这为邓格庄金矿大气降水（或地下水）成因提供论据。

2 水-岩反应（蚀变作用）及其成矿意义

含金石英脉旁的蚀变岩，常见为绢英岩、黄铁绢英岩或黄铁绢云母石英岩（硅化岩）。远离矿脉则为绢云母化花岗岩（或称红化岩）。矿物成分变化很大（表 3）。主要特点是随着绢英岩化增强，花岗岩中长石和黑云母消失而被石英、绢云母、黄铁矿等取代，即黄铁绢英岩化。

① 中国地质大学（北京）桂志利硕士论文，1992

② 徐景奎，1991，博士论文

表 3 邓格庄矿区 1 号脉蚀变岩矿物含量表 (%)

Table 3. Mineral contents of altered rocks in No. 1 vein of the Denggezhuang ore district

样号	采样地点	Pl	Kf	Q	不透明矿物	绢云母	黑云母	岩石名称
34-4	地表水库旁	37.09	20.40	38.71	(0.32) ^①		3.17	二长花岗岩
36-6	一中段	46.00	28.81	20.54	0.62		3.40	二长花岗岩
37-5	二中段	44.66	2.45	27.00	1.70	21.31	(2.80) ^②	绢云母化花岗岩
37-4	二中段			52.71		47.29		绢英岩
36-1	一中段	10.18		40.42	2.55	46.87		绢英岩
36-2	一中段			77.60	6.38	16.03		黄铁绢云母石英岩
36-3	一中段			37.18	62.82			矿石

①绿帘石；②白云母

蚀变岩的化学成分变化很大(表 4)。这主要取决于矿物含量的变化。例如当石英增多时, SiO_2 可达 85%, Al_2O_3 则降至 4.03%。当绢云母多时, 则 SiO_2 (69.38%~70.59%) 与未蚀变的花岗岩 (SiO_2 70.17%~70.87%) 十分接近。 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ 和 MgO 蚀变早期略有降低, 分别由 2.96% 和 0.40% 降至 0.96% 和 0.26%。随着蚀变作用增强, 岩石中黄铁矿和其它金属矿物增加, 则可增至 4.74% 和 0.53%。 CO_2 和 H_2O^+ 总是比未蚀变的花岗岩高, 由 0.16% 和 0.46% 分别增至 1.98% 和 1.22%。增加 10 倍和 2 倍以上。 Au 含量 (10^{-9}) 由 8—3.5—8.9—43—1690, 总的趋势是增高(图 3)。但亦有某些蚀变岩的 Au 含量比未蚀变的花岗岩低。这主要取决于黄铁矿等硫化物含量的高低有关。各类蚀变岩的 Au 与 S 含量呈正相关就验证了上述推论。其相关方程为: $\text{Au} = 4.857836 + 227.396 (\text{S}\%)$ 。相关系数 (r) 为 0.99992, 样品数 (n) 为 8 (包括蚀变煌斑岩 2 个样)。

表 4 牟平邓格庄金矿蚀变岩化学成分表 (%)

Table 4. Chemical composition of altered rocks from the Denggezhuang gold deposit

样号	36-6	39-3A	39-3B	36-1	38-4	36-3	无号
岩石名称	黑云母 二长花岗岩	绢英岩化花岗 岩(弱红化)	强绢英岩化花 岗岩(强红化)	绢英岩	黄铁绢云母石 英岩(硅化岩)	含金石英脉 (贫矿石)	含金石英脉 (矿石)
SiO_2	70.87	69.21	70.59	69.38	85.35	75.38	52.92
TiO_2	0.24	0.24	0.24	0.23	0.06	<0.01	0.13
Al_2O_3	15.69	15.54	14.99	14.85	4.03	0.46	12.19
Fe_2O_3	0.25	0.14	0.02	0.30	2.60		24.64
FeO	1.71	1.44	1.06	0.66	2.14	14.80	5.47
MnO	0.03	0.03	0.04	0.04	0.02	0.025	
MgO	0.40	0.40	0.34	0.26	0.53	0.068	0.53
CaO	2.01	1.89	2.35	2.16	0.68	0.093	0.81
Na_2O	4.88	4.56	5.61	3.82	0.16	<0.05	0.43
K_2O	3.85	4.20	2.83	5.14	1.35	<0.1	1.6
P_2O_5	0.06	0.06	0.06	0.06	0.02		
H_2O^+	0.46	0.78	0.88	1.02	1.22		
CO_2	0.16	0.82	1.04	1.77	1.98		1.4
合计	100.61	99.31	100.05	99.69	100.14		
$\text{Au} (10^{-9})$	8	3.5	8.9	43	1690	2920	10500

注：无号为引自山东地质三队资料，其余为笔者采样，地矿部测试所分析

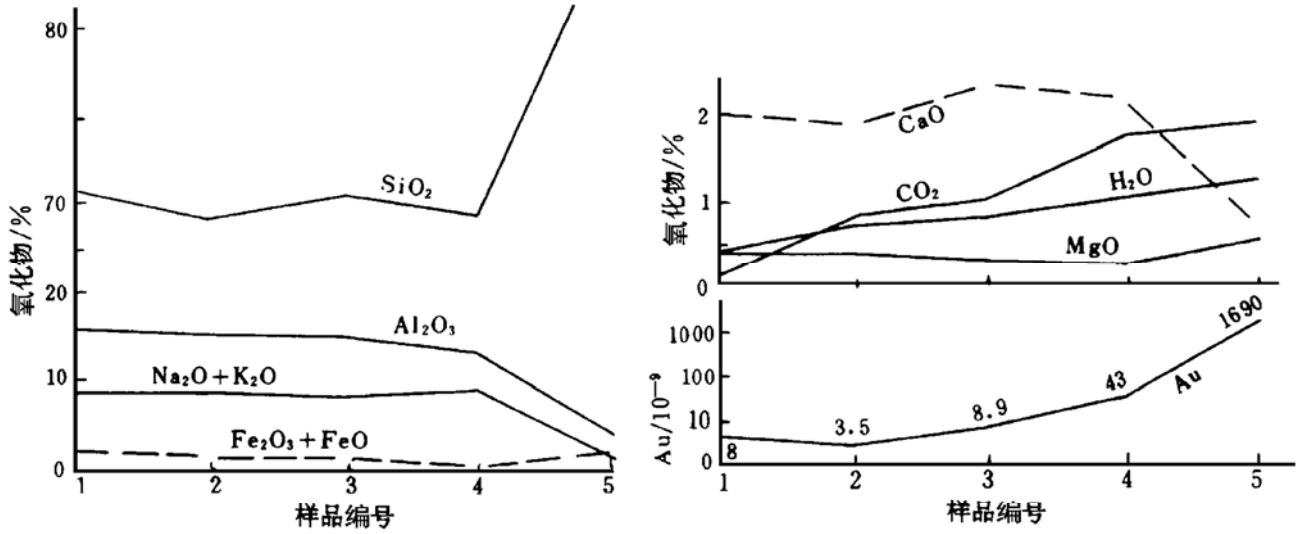


图3 牟平邓格庄金矿蚀变岩化学成分变异图

1—36-6号黑云母二长花岗岩；2—39-3A号弱绢云母化二长花岗岩；3—39-3B号强绢云母化二长花岗岩；4—36-1号绢英岩；5—38-4号黄铁绢云母石英岩

Fig. 3. Variation in chemical composition of altered rocks from the Denggezhuang gold deposit, Mouping County.

1—36-6 biotite adamellite; 2—29-3A weakly sericitized adamellite; 3—39-3B strongly sericitized adamellite; 4—36-1 phyllic rock; 5—38-4 pyrite-sericite quartzite.

蚀变作用过程中稀土元素变化不大，稀土总量 (La-Lu 不包括 Y) 由 170.17×10^{-6} 降至 160.13×10^{-6} ， $\Sigma LREE/\Sigma HREE$ 变化于 30.57~20.24 之间。Sm/Nd 0.14~0.15， δEu 0.96~1.24，与未蚀变的花岗岩十分接近。值得特别指出的是：含金石英脉 (36\|3) 的稀土元素总量很低 (11.467×10^{-6})、 $\Sigma LREE/\Sigma HREE$ 亦很低 (4.078)，Sm/Nd 值高 (0.31)；接近地幔岩的 Sm/Nd 平均值 (0.32)。但 δEu 值 (0.57) 比花岗岩和其蚀变岩都低。这可能说明含 Au 热液来源的复杂性，即有深源和浅源两种来源，也可能仅与矿物成分变化有关。有关稀土元素详细资料列于表 5。蚀变岩 (36-1) 与未蚀变花岗岩 (36-6) 的矿物化学成分相比较：钾长石成分 (Or 88, Ab 11.5, An 0.5) 变化不大 (原岩钾长石为 Or 87.3, Ab 12.3, An 0.4)。斜长石则 Ab 值增加。由原来的 Ab 79.1% (36-6) 变为 99.8% (36-1)。石英有两种：大粒原生石英含 Au 高 (AuO 可高达 1.02%)；而重结晶的微粒石英 (呈锯齿状接触) 则含 Au 低 (AuO 为 0%~0.44%) (表 5)。黑云母蚀变形成退色黑云母、白云母或绢云母。主要化学成分变化是 SiO₂、Al₂O₃ 剧增，而 FeO 和 AuO 降低 (图 4，表 6、7)。

水-岩反应 (蚀变作用) 对 Au 的迁移富集起了重要作用。本区未蚀变花岗岩中黑云母含 Au 平均值 0.407 g/t (5 个样，化学定量分析)，变化范围 0.23~0.55 g/t，伟晶岩中黑云母 Au 平均值 0.475 g/t (4 个样，变化范围 0.19~0.73 g/t)。比火成岩中黑云母 Au 的平均值 6.0×10^{-9} (175 个样)^[18] 高 50~78 倍，比乌拉尔地区含矿 (Au) 岩体中黑云母的 Au (0.016 g/t) 高 24~28 倍。蚀变作用使黑云母分解，最终产物为白云母或绢云母，中间状态为退色黑云母。后两者的 Au 含量显著降低。据电子探针分析：未蚀变原生黑云母 (36-6) 的 AuO 为

表 5 牟平邓格庄金矿蚀变岩与未蚀变花岗岩稀土元素含量 (10⁻⁶)

Table 5. REE contents of altered rocks and unaltered granite in the Denggezhuang gold deposit, Mouping County

样号	34-4	36-6	36-1	39-3A	39-3B	36-3
La	44.2	46.6	43.4	45.8	41.8	2.37
Ce	76.9	80.3	74.4	80.2	73.8	4.11
Pr	7.78	7.26	6.96	7.64	6.57	0.449
Nd	27.30	27.50	25.4	28.2	25.8	1.46
Sm	3.83	3.78	3.76	4.16	3.82	0.453
Eu	0.94	1.16	1.10	1.16	1.03	0.187
Gd	2.68	1.83	1.72	3.18	2.65	0.688
Tb	0.48	<0.30	<0.30	0.34	0.36	0.124
Dy	1.65	1.42	1.35	1.95	1.69	0.696
Ho	0.37	0.27	0.28	0.42	0.37	0.154
Er	0.84	0.74	0.70	1.04	1.00	0.268
Tm	0.15	0.11	0.11	0.16	0.14	0.014
Yb	0.90	0.63	0.68	1.03	0.90	0.253
Lu	0.27	0.15	0.10	0.14	0.17	0.034
Y	8.31	6.23	6.01	9.82	8.35	3.42
ΣLa-lu	168.29	172.05	160.26	175.42	160.1	11.467
ΣLREE	160.95	166.6	155.02	167.16	152.82	9.209
ΣHREE (不包括 Y)	7.34	5.45	5.24	8.26	7.28	2.258
ΣREE/ΣHREE	21.93	30.57	29.58	20.24	20.99	4.078
Sm/Nd	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15	0.31
La/Yb	49.11	73.97	63.82	44.47	46.44	9.37
δEu	0.93	1.28	1.24	0.96	1.20	0.57

注：34-4 黑云母二长花岗岩，其余样号岩石名称见表 4

表 6 牟平邓格庄金矿蚀变岩矿物的电子探针分析表 (%)

Table 6. Electron microprobe analyses of minerals from altered rocks in the Denggezhuang gold deposit, Mouping County

样号	36-6	36-6	36-1	36-1	36-1	37-1	37-1	36-6	36-6	36-2	36-1	36-1	37-4	37-4	36-3	36-3		37-1	37-2
矿物	斜长石	钾长石	斜长石	钾长石	钾长石	斜长石	钾长石	石英	重结晶石英	石英	石英	石英	石英	重结晶石英	微粒石英	石英		铁白云石	铁白云石
SiO ₂	62.99	63.80	68.70	63.07	63.63	60.62	67.16	100.10	99.35	100.35	98.35	99.14	98.91	99.08	100.03	98.72		0.54	0.18
TiO ₂	0.00	0.45	0.00	0.40	0.30	0.10	0.27	0.01			0.00	0.14	0.02			0.01			0.06
Al ₂ O ₂	22.38	18.27	18.80	17.94	17.82	23.31	18.58	0.11	0.12	0.04	0.00	0.00	0.45	0.27	0.19				0.01
FeO	0.20	0.17	0.01	0.10	0.00	0.48	0.31				0.00	0.00		0.04	0.31	0.29		5.37	6.55
MnO	0.00	0.00	0.05	0.00	0.21	0.03	0.00	0.02	0.11	0.02	0.00	0.06	0.00		0.09	0.17		0.67	0.16
Cr ₂ O ₃	0.34	0.00	0.00	0.05	0.00	0.47	0.15		0.18	0.04	0.00	0.35	0.02	0.03					0.12
MgO	0.25	0.15	0.27	0.12	0.19	0.43	0.17		0.04		0.00	0.03	0.00	0.00	0.05			19.01	17.20
CaO	4.12	0.08	0.00	0.07	0.09	6.54	0.25			0.02	0.00							32.01	30.55
Na ₂ O	9.12	1.40	11.80	1.25	1.29	5.77	1.01		0.02	0.16	0.00	0.18	0.15	0.07	0.03	0.07		0.39	0.26
K ₂ O	0.20	15.15	0.04	14.79	14.94	0.84	12.23				0.04								
AuO	0.90	0.00	1.05	0.55	0.00	2.38	0.00	1.02	0.44	0.00	1.43	0.00	0.52	0.59		0.53			
Ag ₂ O	0.00	0.28	0.04	0.14	0.17	0.01	0.06			0.11	0.04	0.16	0.07	0.00		0.02			
NiO	0.03	0.00	0.01	0.02	0.18	0.00	0.25	0.08		0.06	0.17	0.20	0.09					0.17	
合计	100.53	99.75	100.77	98.50	98.82	100.98	100.44	101.34	100.44	100.80	100.03	100.26	100.23	100.08	100.70	99.81		58.16	55.09
Ab	0.791	0.123	0.998	0.113	0.115	0.580	0.110	0.998 ^①	0.996	0.998	0.999	0.994	0.994	0.997	0.996	0.997	Mg	0.41	0.40
An	0.197	0.004	0.00	0.004	0.005	0.365	0.015	0.001 ^②	0.005	0.003	0.004	0.003	0.008	0.004	0.003	0.001	Ca	0.51	0.51
Or	0.011	0.873	0.002	0.883	0.880	0.055	0.875	0.001 ^③	0.002	0.001	0.001	0.006	0.001	0.0006	0.004	0.004	Fe	0.07	0.08
																	Mn	0.01	0.01

注：37-1 弱蚀变煌斑岩；37-2 强蚀变煌斑岩；其余见表 2~4。①Si；②Al+K+Na；③Fe+Mg+Ca+Cr

表7 牟平邓格庄金矿蚀变岩矿物的电子探针分析(%)

Table 7. Electron microprobe analyses of minerals from altered rocks in the Denggezhuang gold deposit, Mouping County

矿物	36-6 黑云母二长花岗岩					36-1	36-2	37-5	37-4	37-1	37-1	37-2	37-2
	黑云母	黑云母 (退色)	黑云母 (退色)	钠绢 云母	绿泥石	白云母	绢云母	白云母	白云母	黑云母	绿泥石	绢云母	绢云母
SiO ₂	35.13	45.56	45.60	55.49	26.41	47.15	47.89	51.36	50.12	37.39	33.94	52.51	53.17
TiO ₂	1.58	0.52	0.48	0.03	0.12	0.19	0.07	0.05	0.07	2.85	0.08	0.04	0.00
Al ₂ O ₃	15.19	27.97	28.85	27.61	17.12	30.83	32.66	34.24	33.04	14.13	15.47	28.78	29.40
FeO	22.61	5.31	5.38	0.41	31.37	5.12	0.86	0.95	1.05	14.31	13.42	2.74	1.82
MnO	0.61	0.00	0.02	0.16	0.75	0.00	0.00	0.17	0.00	0.19	0.04	0.16	0.00
Cr ₂ O ₃	0.25	0.15	0.04	0.25	0.15	0.12	0.13	0.05	0.09	0.28	0.27	0.37	0.27
MgO	7.66	1.61	1.72	0.40	11.58	2.04	1.27	1.15	1.37	16.47	21.06	2.43	2.47
CaO	0.07	0.08	0.13	1.17	0.07	0.00	0.19	0.13	0.08	0.18	1.14	0.59	0.35
Na ₂ O	0.72	0.32	0.31	5.40	0.80	0.44	0.40	0.21	0.04	0.96	0.60	0.17	0.40
K ₂ O	9.41	11.04	11.17	5.59	0.01	8.59	10.82	7.15	7.45	7.81	0.13	4.72	5.48
AuO	2.16	0.29	0.33	1.33	0.33	0.74	0.19	0.00	0.99	0.00	0.00	0.22	0.00
Ag ₂ O	0.04	0.17	0.28	0.12	0.00	0.00	0.22	0.00	0.06	0.02	0.07	0.28	0.00
合计	95.43	93.02	94.31	97.96	88.71	95.22	94.68	95.46	94.36	94.59	86.22	93.01	93.36
Si	2.811	3.215	3.181	3.562		3.190	3.210	3.304	3.304	2.795		3.473	3.477
Al ^{IV}	1.189	0.785	0.819	0.438		0.810	0.790	0.696	0.696	1.205		0.527	0.523
Al ^{VI}	0.244	1.542	1.553	1.651		1.643	1.789	1.900	1.873	0.040		1.717	1.743
M' (%)	23.99	8.2	8.6	2.2		9.5	6.5	5.3	6.5	31.59		11.2	11.4
F (%)	62.3	64.9	63.6	36.7		58.1	26.0	31.6	30.0	30.5		38.6	29.4
Al' (%)	21.0	38.3	38.9	36.4		39.8	43.1	42.8	42.3	17.9		36.5	37.1
O=11													

注：岩石名称见表2~表6

2.16%，退色黑云母的AuO降低至0.17%~0.28%，而绢云母或白云母(36-1、36-2、37-4)AuO为0%~0.99%。表明水-岩反应结果使黑云母中一部分Au转入热液而迁移。从全岩Au含量变化情况分析亦十分有趣。昆嵛山花岗岩金的平均值，文献资料虽不尽相同，由 1.9×10^{-9} (30个样，山东地质三队)^[4]至 7.03×10^{-9} (53个样，据裘有守等)^[8]。但总比更晚期的三佛山和院格庄花岗岩侵入体金的平均值高。三佛山岩体为 0.54×10^{-9} (12个样，山东地质三队)，院格庄岩体为 1.27×10^{-9} (20个样，山东地质三队)。据我们最新的定量分析，昆嵛山花岗岩Au的平均值为 3.66×10^{-9} (7个样)。亦比前述两个晚期侵入体的平均值高。经红化或绢英岩化后，蚀变岩的Au含量变化范围大，由 3.5×10^{-9} ~ 1690×10^{-9} 。多数情况是Au含量猛增。这表明热液携带大量的Au。水-岩反应不仅从花岗岩中萃取金，环流于岩石中的热液亦沿破碎带来大量Au。然而，值得特别指出的是：弱红化花岗岩(39-3A)的Au含量为 3.5×10^{-9} ，比未蚀变花岗岩的平均值低。这意味着蚀变岩分布区可能有Au负异常带的存在。限于经费等各种客观条件，我们无法系统验证这一推断。

实验表明热水溶液对变质岩和火成岩中Au的浸取率随温度升高而增高。当压力50 MPa，温度400℃时浸取率为13.9% (林尔为等，1992)^[19]。因此有人曾计算过，如果Au来自围岩，则 3.7 km^3 的源岩(含Au 10×10^{-9})，设浸出率为10%，则可形成10 t金矿(陈丰，1991)^[20]。根据本区实际资料分析，成矿元素Au，至少有一部分来自昆嵛山花岗岩原生矿物

的分解。即由热水溶液对花岗岩的萃取。特别是含 Au 高的黑云母蚀变成绢云母能使 Au 活化转移。前述资料（绢云母比黑云母的 Au 含量低）已得到充分证明。另一方面，本区金矿床和矿点分布均与断裂蚀变密切相关。而断裂蚀变带极不发育的五爪山花岗岩（分布于帽山、泰薄顶、晒字等地区），则未发现有工业价值的金矿床。矿化现象亦极少见。这一情况表明，热水溶液沿断裂带循环引起花岗岩蚀变，促使 Au 转移至有利地段沉淀而成矿。在无矿化地段蚀变岩的 Au 贫化。例如乳山万户村一断裂带花岗质糜棱岩（绢英岩，样号 8-2），Au 含量 1.2×10^{-9} ，比未蚀变新鲜花岗岩 Au 的平均值 3.66×10^{-9} 低得多，该糜棱岩（绢英岩）中黑云母全部消失，由绢云母、石英及部分残留长石组成，亦未见黄铁矿。这说明，当黑云母转变为绢云母时，如溶液中 S 低，Au 则被溶液带走。

风化作用与成矿：化学风化亦是一种水-岩反应。随着风化作用进行，一些元素在原地富集，另一些元素被带走。这里，引用中国地质大学研究生的资料（表 8）。其结论：硅酸盐类岩石在风化过程中 Au 总是贫化（比未风化岩低），这表明：地表水或地下水与岩石（花岗岩、变质岩）反应，伴随原生矿物分解形成粘土矿物的同时，一部分 Au 被土壤吸附，另一部分 Au 被溶液带走。假如一部分地表水沿岩石裂隙转入地下，那么地下水的 Au 含量会逐渐增多。目前在深部坑道壁上所见垂直裂隙旁红化现象（薄片岩相学鉴定为绢云母化），黑云母完全消失，裂隙中心部分充填次生碳酸盐矿物。这种现象十分普遍。它说明低温的地表水（或地下水）长期与花岗岩或变质岩的溶解作用，也能萃取岩石中的 Au。

表 8 硅酸盐类结晶岩及其风化岩 Au (10^{-9}) 含量表

Table 8. Gold content of crystalline silicate rocks and their weathered rocks

类型	样数	Au	样数	Au	样数	Au	样数	Au	
土壤	5	3.37	4	1.56	2	11.82	2	367.20	铁帽
强风化岩	11	0.96	5	0.54	2	0.65	3	923.50	强氧化带
弱风化岩	10	0.71	5	0.58	2	0.52	2	670.00	弱氧化带
新鲜未风化岩	5	1.28	5	0.75	4	3.03	21	830.05	原生矿
		牟乳花岗岩类		片麻岩类		斜长角闪岩类		含 Au 石英脉（邓格庄）	

注：据方勤方，1992，山东省牟乳金矿带风化岩石剖面微量元素地球化学（硕士论文）资料

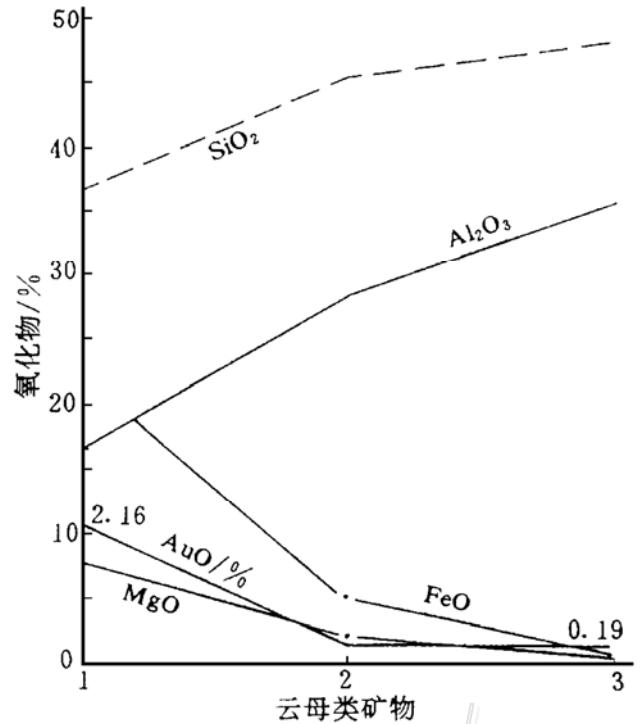


图 4 牟平邓格庄金矿云母类矿物的化学成分变异图
1—花岗岩（36-6）中未蚀变黑云母；2—36-6 号样中退色黑云母；3—绢英岩（36-1）中白云母

Fig. 4. Variation in chemical composition of mica group minerals from the Denggezhuang gold deposit. Mouping County.

1—Unaltered biotite in granite (No. 36-6); 2—Faded biotite in No. 36-6 sample; 3—Muscovite in phyllic rock (No. 36-1).

3 成因

综上所述，赋存于昆嵛山花岗岩断裂带内的石英脉型和蚀变岩型金矿，不能用传统岩浆热液或混合岩化热液来解释。它是深源含金热液与加热地下水的混合，并萃取花岗岩，变质岩系及煌斑岩中部分金等成矿元素和矿化剂元素，由于抬升、减压，大约在0.7~1km深处于断裂带有利部位富集成矿。

深源含金热液与地下水混合热液的主要证据：①含金石英脉的形成与岩体定位的时差较大；②存在大量水-岩反应使金从岩石中转移的证据，特别是地下水淋滤而产生的红化现象至今仍在进行。原生矿物分解，使风化岩石比未风化岩石的含金量低。未矿化区蚀变岩（绢英岩）比未蚀变花岗岩含金量低；③氢氧同位素数据在 $\delta^{18}\text{O}-\delta\text{D}$ 变异图（图5）上偏离传统岩浆水的分布范围，而介于岩浆水和大气水之间；④矿脉中的 $\text{Co}/\text{Ni}<1$ 与 >1 的黄铁矿并存；⑤煌斑岩与花岗岩（指未蚀变的）含金量并不高，但蚀变后金含量大幅度增加，证明热液携带一部分金；⑥实验证实从岩石中萃取金能形成大型金矿。

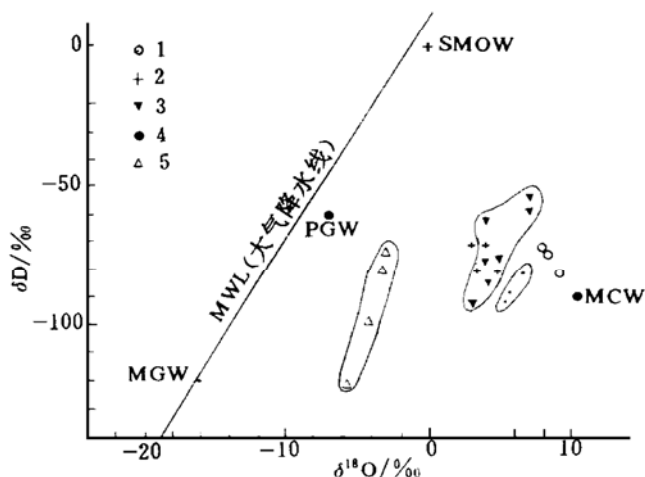


图5 牟平邓格庄金矿 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 变异图

(据文献 [2] [4] [21] 资料编绘)

SMOW—海水；MGW—中生代大气降水；PGW—现代局部大气降水；MCW—初始岩浆水；1—昆嵛山花岗岩；2~5—石英金矿脉；2—邓格庄；3—玲珑；4—新城；5—十里铺

Fig. 5. δD versus $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ diagram of the

Denggezhuang gold deposit, Mouping County.

SMOW—Seawater; MGW—Mesozoic meteoric water; PGW—Modern local meteoric water; MCW—Initial magmatic water; 1—Kunyushan granite; 2~5—Quartz gold ore veins; 2—Denggezhuang; 3—Linglong; 4—Xincheng; 5—Shilipu.

参 考 文 献

- 1 山东地质矿产局. 山东地质志. 北京: 地质出版社, 1990, 274
- 2 徐金方, 沈步云, 牛良柱等. 胶北地块与金矿有关的花岗岩类的研究. 山东地质, 1989, 5 (2): 24~27
- 3 穆克敏, 林景仟, 邹祖荣等. 华北地台区花岗质岩石的成因. 长春: 吉林科学技术出版社, 1989, 172~183
- 4 安家桐, 于东斌, 沈昆等. 山东牟平—乳山地区金矿控矿条件的研究. 见: 沈阳地质矿产所编. 中国金矿主要类型区域成矿条件文集 (5). 北京: 地质出版社, 1988, 1~38
- 5 王德滋, 王锡银, 于津海. 昆嵛山混合杂岩体的地质特征及成因. 南京大学学报, 1989, 25 (4): 679~688
- 6 于津海. 胶东东部昆嵛山混合杂岩体的形成时代及成因. 地质论评, 1989, 35 (4): 285~296
- 7 徐景奎, 杨忠芳, 赵伦山等. 胶东昆嵛山复式花岗岩体的地质地球化学研究. 长春地质学院学报, 1991, 21 (2): 167~174
- 8 裘有守, 王孔海, 杨广华等. 山东牟平—乳山地区变质岩和花岗岩含金性及与金矿关系. 见: 沈阳地质矿产所编. 中国金矿主要类型区域成矿条件文集 (5). 北京: 地质出版社, 1988, 120~164
- 9 汤立成. 山东东部花岗岩特征和成因的几点认识. 山东地质, 1989, 5 (1): 55~62

- 10 张起诚. 胶东牟平—乳山地区花岗岩副矿物特征及其成因. 山东地质, 1991, 7 (2): 60~75
- 11 杨敏之, 李治平. 胶东东部金青顶金矿床围岩蚀变的地球化学、形成机理及找矿方向的研究. 地质找矿论丛, 1989, 4 (2): 1~17
- 12 裘有守, 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, 135~140
- 13 李治平. 胶东乳山金矿成因. 矿床地质, 1992, 11 (2): 163~178
- 14 杨忠芳, 徐景奎, 赵伦山. 胶东两大成因系列金矿床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, 11 (4): 363~369
- 15 林景仔, 谭东娟. 山东半岛中生代多系列花岗质岩浆的起源. 地质学报, 1990, (4): 309~321
- 16 张德全, 徐洪林, 孙桂英. 山东邓格庄金矿与昆崙山花岗岩的定位时代及其地质意义. 地质论评, 1995, 41 (5): 415~425
- 17 赵亨达, 邢玉屏. 黄铁矿热电性与矿石含 Au 量初步探讨. 矿物学报, 1988, 8 (1): 43~45
- 18 刘英俊. 金的地球化学. 北京: 科学出版社, 1991, 183
- 19 林尔为, 贾叶飞, 卢民杰. 岩石中金和铅在热液流体中的浸出实验研究. 长春地质学院学报, 1992, 22 (1): 51~58
- 20 陈丰. 热液矿床中金的地球化学. 地质地球化学, 1991, (3): 3~4
- 21 张理刚. 成岩成矿理论与找矿——中国主要类型矿床及花岗岩类岩石的稳定同位素地质学. 北京: 工业大学出版社, 1989, 35

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND GENESIS OF THE DENGGEZHUANG GOLD DEPOSIT IN MOUPING, SHANDONG

Zhang Dequan, Xu Honglin and Sun Guiying

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

Key words: gold deposit, geochemistry, genesis, Shandong, Denggezhuang

Abstract

The Denggezhuang large-size quartz vein type gold deposit lies in the second-order faults of the Jinniushan shear zone within the Yanshanian Kunyushan granite. The ore-forming fluids are characterized by $\delta D -77\% \sim -89\%$, and $\delta^{18}O_{H_2O} +2\% \sim +3.2\%$; the ore-forming temperature and pressure are $150 \sim 350\text{ }^\circ\text{C}$ and $400 \times 10^5\text{ Pa}$ respectively. The emplacement age of the gold deposit has been determined to be $118 \times 10^6\text{ a}$. The time interval between the formation of the gold deposit and the cooling of the host rock to $350\text{ }^\circ\text{C}$ is about $12 \times 10^6\text{ a}$. The emplacement of the gold deposit occurred less than 1km (about 0.75 km) in depth, but the emplacement of their host rock took place at a depth of over 13 km, suggesting a depth difference of $>12\text{ km}$. The ore-forming fluids came from the depth of the crust and then extracted some gold from the host rocks through water-rock reaction. It is thus concluded that the deposit is of the traditional postmagmatic type.