

山东招莱地区金矿床矿石物质组成 及金的伴生矿物标型特征

郑若惠

(山东省地质矿产局实验室)

提要 本文对招莱地区的三山岛、焦家、马塘、玲珑等几个主要金矿区及各个矿化阶段的矿石物质组成及化学元素组合特征进行了较系统的分析;对与金矿伴生的闪锌矿、黄铜矿、方铅矿、毒砂、菱铁矿等矿物的矿物特征、化学成分、晶胞参数、热电系数等物理、化学性质及金的赋存状态等进行了较详细的阐述。

一、地质概述

三山岛金矿、焦家金矿、马塘金矿均属破碎带蚀变岩型金矿床。位于招远的西部,分布在三山岛、黄(城)—莱(州)断裂带中部焦家断裂带及其次级断裂内,东部招平断裂带内也有分布。该类型矿床具有规模大,矿体形态简单,厚度大,矿化连续稳定等特点。矿体多赋存在断裂带主裂面的下盘,产状变化稳定,与主裂面产状大体一致。

玲珑金矿位于招远的东北部,招远—平度S型断裂的北东端,受主干断裂派生的帚状构造控制。自西向东由欧家乔、108、玲珑、大开头、九曲、东风等矿床组成含金石英脉型金矿床。矿体形态复杂,呈小脉状、透镜状、束状、串珠状及不规则状。矿化不均匀,品位变化较大。矿体主要由含金石英脉或含金多金属硫化物脉构成。含金岩石有浸染状黄铁绢英岩、绢英岩质碎裂岩、蚀变花岗质碎裂带、多金属硫化物石英脉等。这种在多种地质作用下形成的多种含金岩石,表现出区内金矿床矿石中矿物种类较多,组成较复杂。

二、矿石的物质组成

(一)矿石的矿物成分

主要矿物有:自然金、含银自然金、银金矿、金银矿、自然银、碲银矿、银黝铜矿、辉碲矿、自然碲、硫铜银矿、辉银矿、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、锌黝铜矿、毒砂、磁黄铁矿、斜方辉铅碲矿、斑铜矿、方黄铜矿、铜蓝、自然铜、褐铁矿、孔雀石、石英、绢云母、方

本文1991年7月收到,1992年6月改回。

解石、铁白云石、菱铁矿、重晶石、萤石、绿泥石及钾长石、斜长石、角闪石、黑云母、白云母、绿帘石、辉石、石榴石、榍石、锆石、刚玉、碳砂石、金红石、磷灰石、锐钛矿、磷钇矿、石墨等。

典型矿区矿石的主要矿物、含金量、金的成色等见表1。从表1可以看出,金银矿物与金属硫化物紧密共生。碲铋矿物的出现影响着金品位的高低。仅以马塘矿区为例对各矿化阶段的矿物组合特征作以简要说明。

第一矿化阶段:为自然金—银金矿—石英—黄铁矿阶段。该阶段除自然金、银金矿、石英、黄铁矿外,尚有少量的毒砂、方铅矿、闪锌矿等,矿物组合简单。此阶段为早期矿化阶段,含金量低。

表1 典型矿区矿石矿物成分

矿床类型	矿床名称	矿物成分	金平均品位 ($\times 10^{-6}$)	金平均成色 ($\times 10^{-3}$)
破碎带蚀变岩型金矿	三山岛金矿床	自然金 银金矿 自然银 银黝铜矿 黄铁矿 黄铜矿 方铅矿 闪锌矿 毒砂 磁黄铁矿 斑铜矿 白铁矿 硫铜银矿 石英 绢云母	5.72—11.24	718
	焦家金矿床	银金矿 金银矿 自然金 自然银 黄铁矿 黄铜矿 方铅矿 闪锌矿 石英 绢云母 方解石 菱铁矿	8.17—12.28	675.5
	新城金矿床	银金矿 自然金 黄铁矿 黄铜矿 方铅矿 闪锌矿 磁黄铁矿 黝铜矿 石英 绢云母 方解石 菱铁矿	5.88—8.82	687.1
	马塘金矿床	银金矿 自然金 金银矿 黄铁矿 黄铜矿 方铅矿 闪锌矿 磁黄铁矿 自然铋 辉碲铋矿 碲银矿 石英 绢云母 方解石 菱铁矿	9.35	685.8
石英脉型金矿	玲珑金矿床	银金矿 自然金 黄铁矿 黄铜矿 磁黄铁矿 方铅矿 闪锌矿 斑铜矿 辉铜矿 斜方辉铅铋矿 自然铋 石英 绢云母 方解石 菱铁矿	9.36—27.44	709.3

第二矿化阶段:为金—石英—多金属硫化物阶段,是金的主要矿化期。矿物主要有石英、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿,少量的毒砂、磁黄铁矿、锌砷黝铜矿及微量的自然铋,有较多银金矿。其含金 38.4×10^{-6} , 含银 47.07×10^{-6} 。

矿物粒度细小,包体较多,特别是石英呈灰色,矿物组合较复杂。

第三矿化阶段:为银、金—方铅矿—闪锌矿—石英阶段,该阶段也是金、银主要沉淀期。矿物种类较多,主要有方铅矿、石英、黄铁矿、闪锌矿,有少量的黄铜矿、辉碲铋矿,见到自然银、金银矿、银金矿、碲银矿、硫银铋矿等,其含金 27.76×10^{-6} , 含银 220×10^{-6} 。方铅矿晶体大,数量多。

第四矿化阶段:黄铁矿—石英—方解石阶段,该阶段为矿化晚期。矿物组合简单,主要有黄铁矿、石英、方解石,少量的方铅矿、闪锌矿、黄铜矿。其含金 0.63×10^{-6} , 含银 1.51×10^{-6} , 矿物晶体粗大。

表2 招莱地区蚀变岩型及石英脉型金矿矿石化学成分

矿床类型	蚀 变 岩 型						石 英 脉 型		
	马 塘		新 城		三 山 岛		焦 家	玲 珑	
SiO ₂	—	71.68	43.67	68.90	60.39	74.21	71.09	76.34	38.80
CaO	—	1.02	1.26	0.64	0.54	0.24	2.07	3.79	0.39
MgO	—	1.14	0.72	0.38	1.75	0.46	0.63	0.38	0.46
TiO ₂	—	0.14	0.12	0.22	0.17	0.21	0.29	0.05	0.09
Al ₂ O ₃	—	11.48	6.67	11.41	7.91	10.65	11.14	0.73	2.94
Na ₂ O	—	0.10	0.08	0.05	0.06	0.10	0.88	0.05	0.51
K ₂ O	—	3.64	2.64	3.99	2.04	3.41	4.22	0.18	0.94
FeO	—	3.03	—	1.67	—	—	1.43	—	—
Fe ₂ O ₃	—	2.47	—	6.30	—	—	3.33	—	—
MnO	—	0.15	0.05	0.88	0.08	0.04	0.12	0.06	0.05
Co	0.0032	—	0.0005	—	0.0007	0.002	0.001	0.0067	—
Ni	0.0275	—	0.0425	—	0.045	—	—	0.044	—
Cu	0.09	0.05	0.06	0.06	0.04	0.02	0.02	0.05	—
Pb	0.48	0.09	0.08	0.03	1.22	0.38	0.02	0.01	0.04
Zn	0.23	0.12	0.02	0.01	1.99	0.05	0.05	0.01	0.05
Se	—	—	<0.0001	—	<0.0001	—	—	<0.0001	0.00005
Te	—	0.00005	0.00027	0.00002	—	—	—	0.00014	0.0062
S	5.65	1.94	22.12	4.06	11.03	3.34	4.05	7.49	21.20
TFe	6.84	—	19.84	—	9.63	—	—	17.28	—
P ₂ O ₅	—	0.05	0.04	—	0.82	—	—	0.03	0.16
CO ₂	—	2.16	0.75	—	0.71	—	—	2.84	—
H ₂ O	—	1.60	—	—	—	—	—	—	—
Hg ^①	—	—	13	—	121.67	—	—	37.67	—
As ^②	38.42	21.30	290.90	—	13967.3	—	—	90.77	—
Sb ^②	3.35	0.70	5.97	—	104.47	—	—	0.70	—
Bi ^②	19.97	2.60	16.35	—	2.81	—	—	2.53	—
Au ^②	38.53	7.10	9.71	8.16	2.39	6.22	10.60	10.59	—
Ag ^②	68.16	7.80	13.04	11.49	27.61	11.46	10.05	7.31	—

注:①为 $\times 10^{-9}$;②为 $\times 10^{-6}$ 。

表3 各矿化阶段矿石化学成分($\times 10^{-2}$)

矿床类型	矿区名称	矿化阶段	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	CO ₂	S	TFe	Co
蚀变岩型	三山岛	一	76.20	0.22	0.58	5.92	0.06	0.00	1.83	0.05	0.13	0.84	5.89	6.75	0.00014
		二	61.98	0.81	1.43	13.28	0.40	0.88	2.93	0.08	0.07	0.67	6.87	6.47	0.0015
		三	42.98	0.59	3.24	4.53	0.05	1.58	1.35	0.05	0.04	0.63	20.34	15.67	0.00039
		平均	60.39	0.54	1.75	7.91	0.17	0.82	2.04	0.06	0.08	0.71	11.03	9.63	0.00068
	新城	一	22.50	2.36	0.69	5.18	0.10	0.02	2.00	0.10	0.09	1.51	33.68	29.48	0.0004
		二	64.83	0.15	0.74	8.16	0.14	0.05	2.90	0.07	0.01	0.01	10.57	10.20	0.00051
		平均	43.67	1.26	0.72	6.67	0.12	0.04	2.46	0.08	0.05	0.75	22.12	19.84	0.00046
	马塘	一	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10.84	11.10	0.0032
		二	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7.04	8.14	0.0026
		三	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.25	0.89	<0.001
		四	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.34	3.69	0.0012
		平均	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4.87	5.96	0.002
石英脉型	玲珑	一	87.67	0.44	0.35	0.10	0.03	0.03	0.02	0.07	0.01	0.20	5.24	5.21	0.002
		二	81.96	0.37	0.32	1.92	0.09	0.06	0.48	0.04	0.03	0.10	6.39	6.86	0.006
		四	59.38	10.56	0.48	0.18	0.02	0.00	0.03	0.05	0.16	8.21	10.84	9.78	0.012
		平均	76.34	3.79	0.38	0.73	0.05	0.03	0.18	0.05	0.06	2.84	7.49	7.28	0.007
矿床类型	矿区名称	矿化阶段	Ni	Cu	Pb	Zn	Se	Te	Hg ^①	As ^②	Sb ^②	Bi ^②	Au ^②	Ag ^②	
蚀变岩型	三山岛	一	0.042	0.01	0.06	0.19	<0.0001	0.00000	70	368.5	10.9	0.58	0.39	4.7	
		二	0.042	0.02	0.59	0.80	<0.0001	0.00002	70	14940	46.8	3.58	2.86	11.88	
		三	0.051	0.08	3.00	4.80	<0.0001	0.00003	225	26593.4	255.7	4.26	3.93	66.25	
		平均	0.045	0.04	1.22	1.99	<0.0001	0.000017	121.67	13967.3	104.47	2.807	2.393	27.16	
	新城	一	0.040	0.01	0.11	0.01	<0.0001	0.00033	15	408.4	3.67	10.90	2.60	6.00	
		二	0.045	0.11	0.04	0.02	<0.0001	0.0002	11	173.4	8.27	21.80	16.82	20.07	
		平均	0.043	0.06	0.08	0.02	<0.0001	0.00027	13	290.9	5.97	16.35	9.71	13.035	
	马塘	一	0.018	0.06	0.66	0.12	—	—	—	66.9	2.41	16	80.13	98.25	
		二	0.0087	0.30	0.86	0.79	—	—	—	54.47	3.39	11.11	38.37	47.07	
		三	0.001	0.002	0.57	0.02	—	—	—	4.66	13.13	108.32	27.76	220	
		四	0.051	0.020	0.02	0.04	—	—	—	10.50	1.01	0.40	0.63	1.51	
		平均	0.016	0.100	0.53	0.24	—	—	—	34.13	4.99	33.96	36.72	91.71	
石英脉型	玲珑	一	0.044	0.08	0.00	0.01	<0.0001	0.00005	55	85.70	0.62	0.95	12	6.18	
		二	0.047	0.05	0.02	0.01	<0.0001	0.0002	23	100.90	0.985	5.60	18.87	15.24	
		四	0.042	0.01	0.00	0.01	<0.0001	0.00017	35	85.70	0.48	1.05	0.91	0.50	
		平均	0.044	0.05	0.01	0.01	<0.0001	0.00014	37.67	90.77	0.695	2.53	10.59	7.31	

注:①为 $\times 10^{-9}$,②为 $\times 10^{-6}$ 。

综上所述, 矿物颗粒细小的多金属硫化物组合、多金属硫化物加之碲铋矿物组合是寻找富金银矿段的标志。

(二) 矿石的化学成分

在矿石中与金银关系密切的元素有: Si、Al、S、Fe、Mn、Ca、Mg、K、Na、Cu、Pb、Zn、As、Bi、Sb、Co、Ni、Se、Te 等。详见表 2、表 3。

1. 矿石中 S、Fe 含量特征

从表 2、表 3 分析数据看, S 的含量多数在 10×10^{-2} 以下, 石英脉型金矿平均含 S: 7.488×10^{-2} 、蚀变岩型金矿平均含 S: 5.708×10^{-2} , 石英脉型略高于蚀变岩型, 均属低硫型金矿。全铁(TFe)含量多数在 10×10^{-2} 以下, 石英脉型金矿全铁(TFe)含量: 7.283×10^{-2} 、蚀变岩型金矿全铁(TFe)含量: 7.185×10^{-2} 。在所研究的四个金矿床中 S 和 Fe 是 Au、Ag 的主要伴生元素, 普遍含有黄铁矿, 说明成矿溶液中 Fe^{2+} , $[\text{S}_2]^{2-}$ 的浓度较稳定, 这些低价离子的存在证明当时介质是处于还原环境, 有利于金的沉淀。

2. 矿石中微量元素特征

As、Sb、Bi、Cu、Pb、Zn、Co、Ni、Se、Te、Hg 等微量元素的原子构型相似, 常与 S、Fe 形成硫化物、砷化物、硫砷化合物或进入硫酸盐中, 构成金矿床的常见矿物, 尤其 Fe、Co、Ni、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi 很容易失去外层电子形成硫化物。

(1) As、Sb、Bi 含量与 Au、Ag 关系(表 4)。

表 4 锑、铋与金、银关系表

矿区名称	元素含量($\times 10^{-6}$)		矿区名称	元素含量($\times 10^{-6}$)				
	Sb+Bi	Au+Ag		Sb+Bi	Au+Ag			
马塘金矿	121.45	247.76	新城金矿	30.07	36.89			
	23.32	106.69		玲玳金矿	22.32	22.74		
	14.50	85.44			玲玳金矿	14.57	8.60	
	3.30	14.90				玲玳金矿	6.58	34.11
	1.41	2.14					玲玳金矿	3.23
8.41	178.38	玲玳金矿	1.53	1.41				
三山岛金矿	259.96	70.18	玲玳金矿	1.57	18.18			
	107.28	30.00						
	50.38	14.74						
	11.48	5.09						

在此地区金矿中微量元素 As、Sb、Bi 的含量较高, 它们与 Au、Ag 关系密切, 都是亲铜元素与 Au、Ag 处于同周期或相邻周期的位置, 同属重元素。从表 4 分析的 17 个数据看, 除有 2 个特殊外, 其余 Sb、Bi 与 Au、Ag 含量都成正比关系。As 也是 Au、Ag 的伴生元素, 而且其含量在有的矿床很高。总之这些微量元素是该地区金的主要伴生元素及矿化的指示元素。

(2) Cu、Pb、Zn 及 Co、Ni 含量特征

Cu、Pb、Zn 是该地区金矿的成矿元素,含量较高,见表 5。这些亲硫元素,在矿石中以大量硫化物形式存在,当碱性溶液遇到硫化物时,可向酸性转化,有利金的沉淀。

Co、Ni 在各金矿区含量有些差异,Ni 含量多于 Co,见表 5。在地壳中 Ni 的丰度为 89×10^{-6} 、Co 为 25×10^{-6} ,Ni 为 Co 的 3—4 倍,在一般地质体中 Ni 的含量应大于 Co。此地区蚀变岩型金矿床 Co/Ni 比值为 0.1038—0.0200、石英脉型金矿床 Co/Ni 比值为 0.1516。

表 5 微量元素含量

矿区类型	矿区名称	元素含量 ($\times 10^{-2}$)					
		Cu	Pb	Zn	Co	Ni	Co/Ni
蚀变岩型	马塘	0.0882(6)	0.4455(6)	0.2187(6)	0.0022(5)	0.0212(5)	0.1038
	新城	0.0600(4)	0.0638(4)	0.0138(4)	0.0005(3)	0.0425(3)	0.0118
	三山岛	0.0334(5)	1.0494(5)	1.5660(5)	0.0009(5)	0.0450(4)	0.0200
石英脉型	玲珑	0.0467(4)	0.0203(4)	0.0180(4)	0.0067(4)	0.0442(4)	0.1516

注:括号内数字为样品数。

3. 矿石中 Au、Ag 含量及 Au、Ag 比值特征(见表 6)。

表 6 金银含量($\times 10^{-6}$)及金银比值

含 量 元 素	矿 区	马塘	新城	三山岛	焦家	平均	玲珑
Au		32.9829(7)	9.3225(4)	3.1586(5)	10.6	14.0160	10.5913(4)
Ag		69.9786(7)	12.6488(4)	24.3800(5)	10.05	29.2644	7.3068(4)
Au/Ag		0.4713	0.7370	0.1296	1.0547	0.4789	1.4495

注:有的样品按矿化阶段取的样,重量小代表性差,不做品位依据。

从表 6 可知:

(1) 含金最高是马塘矿区,其次是焦家、新城及三山岛金矿区;含银最高也是马塘矿区,其次是三山岛、新城、焦家。四个矿区金品位平均值为 14.016×10^{-6} 、银平均值为 29.2644×10^{-6} 。玲珑金矿金品位平均为 10.5913×10^{-6} 、银平均值为 7.3068×10^{-6} 。从本次取样可看出蚀变岩型金矿中银的含量绝大多数高于金的含量,石英脉型金矿(玲珑)则相反。

(2)金银比值以焦家金矿区为最大,三山岛矿区比值最小。蚀变岩型金矿床金银比值为 0.4789,石英脉型为 1.4495,可见后者金成色高于前者。另外从金成色分析数据看,蚀变岩型金矿金的成色平均值为 685.30($n=85$),石英脉型金矿金成色平均值为 731.09($n=46$),同样后者高于前者。

三、金矿伴生矿物标型特征

(一)闪锌矿特征

闪锌矿是该区金矿床中主要伴生矿物之一,它与黄铁矿、方铅矿、黄铜矿紧密共生,构成多金属硫化物组合,出现在金银矿的主要形成阶段。

1. 物理性质:自形程度差,一般为他形晶体,最大粒径 0.81—0.94mm,性脆,黑褐色及黄褐色两种,树脂光泽。比重 4.0695—4.0803,维克硬度值为 188—199.5kg/mm²,平均值为 194.0kg/mm²,晶胞参数 $a_0=5.4194-5.4210\text{Å}$ 。反射率:19.5(404λ)、18.4(438λ)、17.7(498λ)、17.4(548λ)、17.2(588λ)、17.1(624λ)、16.9(641λ)。

2. 化学性质:纯净的闪锌矿含 Zn 为 67.1×10^{-2} 、S 为 32.9×10^{-2} ,而该区闪锌矿除含有 Zn、S 外,还含有相当高的 Fe、Au、Ag、Cu、Pb、As、Sb、Bi、Cd、Co、Ni,见表 7。

表 7 闪 锌 矿 化 学 成 分

矿区名称	元 素 含 量 ($\times 10^{-6}$)												
	Zn	S	Fe	Cu	Pb	Au	Ag	As	Sb	Bi	Cd	Co	Ni
三山岛	56.95	32.06	9.91	0.12	—	—	—	—	—	—	—	—	—
三山岛	55.57	33.08	11.14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
三山岛	51.90	33.04	10.06	0.29	0.13	27.40	73	760.9	46.8	18.0	3875	—	—
三山岛	59.90	32.21	2.66	2.84	2.50	—	530	—	540	1411	—	70	—
马 塘	66.33	31.09	0.58	0.10	—	5480	300	—	520	2150	—	—	350
平 均	58.17	32.3	6.87	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
玲 珑	60.78	31.69	6.00	—	—	7000	—	8100	—	—	—	—	—
玲 珑	54.30	32.48	5.24	0.78	1.44	2.9	81	50.9	8.2	26.3	2250	—	—
平 均	57.54	32.09	5.62	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注:Zn、S、Fe、Pb、Cu 含量单位为 $\times 10^{-2}$

(1)蚀变岩型金矿中的闪锌矿含 Fe 平均为 6.87×10^{-2} 、石英脉型金矿的闪锌矿含 Fe 平均为 5.62×10^{-2} ,前者略高于后者,都属含铁较低的闪锌矿。一般 Fe 含量与形成温度高

低有关,表8中Fe含量最高 11.14×10^{-2} ,最低含Fe 0.58×10^{-2} ,说明闪锌矿形成于不同温度(各矿化阶段均有闪锌矿出现)。

表8 闪锌矿中金的含量多点分析结果

分析样号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
样品重量(mg)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
金含量($\times 10^{-6}$)	32	18	176	31	49	71	68	64	168	68	37	51	128	29	55	57	48	38	39	82

(2)闪锌矿中Au、Ag含量较高,最高含金 5480 及 7000×10^{-6} ,最低 2.9×10^{-6} ,含银 530 及 300×10^{-6} 。Au含量高低,主要与金在闪锌矿中的赋存状态有关。将纯闪锌矿每 10mg 做为一个分析点,共分析金 20 个点,见表8。含金最高为 176×10^{-6} ,最低为 18×10^{-6} ,含金普遍说明闪锌矿与金关系密切,而金在闪锌矿中分布又不均匀,说明闪锌矿中的金是微细的包体金。

(3)在三山岛金矿的闪锌矿中含Cd为 3875×10^{-6} ,玲珑金矿的闪锌矿含Cd 2250×10^{-6} 。Cd是亲硫元素,主要赋存在中低温度热液矿床的闪锌矿中。其它微量元素蚀变岩型以Bi、Sb、As含量较高,石英脉型以As、Bi为高。

(二)黄铜矿特征

在招莱地区黄铜矿是寻找富金地段的标志矿物,凡是金银含量高的矿石黄铜矿含量相对增多,它是主要载金矿物之一。

1. 物理性质:在显微镜下呈黄铜色并具有各种锃的晕色,条痕绿黑色,呈暗淡金属光泽,硬度中等,性脆,多呈他形粒状集合体,少数见到单体。最大粒度 $0.938-0.63\text{mm}$,多数粒度小于 0.05mm 。它常与闪锌矿、方铅矿及细粒黄铁矿构成多金属硫化物富金银矿段。比重 $4.1825-4.2085$,维克硬度 $172-193\text{kg/mm}^2$,平均 183kg/mm^2 。

2. 黄铜矿热电系数 $\alpha = -461.4 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$,属电子导型高负值,与有关金矿床中黄铜矿的热电系数值特征相符。

3. 黄铜矿晶胞参数 $a_0 = 5.2888 \text{ \AA}$, $c_0 = 10.4206 \text{ \AA}$ 与标准值 $a_0 = 5.280 \text{ \AA}$, $c_0 = 10.409 \text{ \AA}$ 比较,该黄铜矿的晶胞值高于标准值,特别是C.更高。

4. 黄铜矿化学成分

标准黄铜矿的主要成分Cu: 34.57×10^{-2} ,Fe: 30.54×10^{-2} ,S: 34.9×10^{-2} 。此地区黄铜矿的主要成分为Cu、Fe、S其含量低于标准值,尚含有Au、Ag、As、Sb、Bi、Zn及少量Pb、Co。蚀变岩型金矿床中黄铜矿的Au、Ag、As、Sb、Bi、Zn等元素,特别是Bi和As的含量,均比黄铁矿中为高,其以Bi、As、Sb、Au、Ag含量高为特征。石英脉型金矿床中黄铜矿的Au、Ag、Zn等元素的含量比蚀变岩型金矿中的黄铜矿含量高,比黄铁矿中的含Au也高(见表9)。

表9 黄铜矿化学成分

矿床类型	矿区名称	元素含量 ($\times 10^{-2}$)										
		Cu	Fe	S	Au*	Ag*	As	Sb	Bi	Pb	Zn	Co
蚀变岩型	马	33.326	30.191	33.186	420	0	0.338	0	1.736	0.085	0.010	—
	塘	34.318	29.735	36.632	590	0	0.254	0.039	0.136	—	0.82	—
	三山岛	33.214	29.475	33.070	0	620	0.510	0.020	0.102	—	0.52	0.039
	平均	33.62	29.8	34.3	336.67	206.67	0.367	0.0197	0.658	—	—	—
石英脉型	玲	34.25	30.52	33.10	1500	—	—	—	—	—	—	—
	珑	34.83	29.83	33.60	6800	3400	—	—	—	—	0.44	—
	平均	34.54	30.18	33.35	4150	1700	—	—	—	—	—	—

注: * $\times 10^{-6}$

(三)方铅矿特征

该地区方铅矿多数呈小立方体聚形,金属光泽,铅灰色条痕灰黑色,石英脉型金矿中方铅矿比重为 7.7977,蚀变岩型金矿中方铅矿比重为 7.6199,均高于标准值(标准值 7.4—7.6)。维克硬度为 54.8—70.3kg/mm²,平均为 64.6kg/mm²。晶胞参数:石英脉型金矿中方铅矿 $a_0=5.9378 \text{ \AA}$,蚀变岩型金矿中方铅矿 $a_0=5.9391 \text{ \AA}$,均高于标准值($a_0=5.931 \text{ \AA}$)。

表10 方铅矿热电系数测定结果

矿区名称	热电系数 α ($\pm \mu\text{V}/^\circ\text{C}$)			所测颗粒数
	导型: +P型, -N型	取定值	范围值	
马塘—1	-N	-234.6	-397.7~-80.7	5
马塘—2	-N	-384.0	0441.3~-233.7	6
新城—2	-N	-321.7	-434.3~-220	7
三山岛—3	-N	-397.4	-439.9~-366	7
玲珑—3	-N	-445.3	-456.7~-434.4	7

方铅矿的热电系数见表 10。无论蚀变岩型或石英脉型金矿中方铅矿热电系数均属电子导型(n型),其绝对值为负值是含金方铅矿特征。从分析值看最大值为 $-445.3 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$,

最小值为 $-234.6\mu\text{V}/\text{C}$ ，具有明显的阶段性。第一阶段 $\alpha=-234.6\mu\text{V}/\text{C}$ ，第二阶段 $\alpha=-321.7\mu\text{V}/\text{C}$ ，第三阶段 $\alpha=-384.0$ 或 $397.4\mu\text{V}/\text{C}$ 。

方铅矿化学成分见表11。蚀变岩型矿石中方铅矿含有Ag、Bi、Cu、Sb、Au及少量的Cd、Hg；石英脉型矿石中方铅矿含有Ag、Sb、As、Bi及少量的Cd、Hg。两种类型金矿床中方铅矿含银均高，前者含银最高为 19300×10^{-6} ，最低含 210×10^{-6} ，平均 4614.70×10^{-6} ；后者含银 867×10^{-6} ，比其它伴生矿物含银都高。说明方铅矿与银关系密切。

表11 方铅矿化学成分

矿区名称	元素含量 ($\times 10^{-6}$)												
	Pb	S	Cu	Zn	Fe	Au	Ag	As	Sb	Bi	Cd	Hg	Co
马塘	86.712	14.314	0.161	0	0.077	0	830	0	1010	3070	—	—	—
马塘	87.261	13.604	0.084	0.009	0.058	0	1560	0	740	1020	—	—	—
马塘	83.47	13.88	—	—	—	2700	19300	—	—	—	—	—	—
三山岛		13.32	0.006	0.37	0.25	0.023	1173.5	47.0	1107.9	6	58	30	
三山岛	84.833	13.274	0.114	0.173	0.08	—	210	—	470	1780	0	—	0.048
平均	85.88	13.68	0.091	0.184	0.116	540.00	4614.7	—	831.98	1469	—	—	—
玲珑		13.88	0.008	0.08	0.17	0.0112	867	66.5	823.0	20	30	27	

注：Pb、S、Cu、Zn、Fe含量单位为 $\times 10^{-2}$

表12 方铅矿金分析结果

分析号 含量 ($\times 10^{-6}$)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Au	245	116	140	31	145	10	66	62	112	0.4	11	32	2.2	1.0	16	28	11	2.0	1.0	56

金在方铅矿中赋存形式从20个分析数据可以看出，其含量变化较大，见表12，含金最高为 245×10^{-6} ，最低为 0.4×10^{-6} ，含量极不均匀，有局部富集的特点，说明金在方铅矿中呈独立矿物存在。从光片里也常见到金与方铅矿呈细脉穿插在黄铁矿裂隙中。

(四)毒砂特征

毒砂也是该地区金矿床中主要伴生矿物之一，含量最多的矿床为三山岛金矿，该矿中毒砂呈钢灰色及银白色，条痕灰黑色，表面有黄的锈色，金属光泽，相对硬度6，比重5.9459，接近于低标准值(5.9—6.25)。晶体粗大，最大粒度为1.5mm，双锥体最大直径d

为 1.0mm。晶体形态大部分已破碎成不规则棱角状,只有少数能见到比较好的晶体,如假双锥状晶体。晶体主要单形由{130}及{101}组成;板状晶体,主要由{120}及次要单形{101}组成。这两种晶体都沿着 b 轴缩短,沿着 a 轴略延长,这一特点是中温热液金矿床的形态特征,也是三山岛金矿床毒砂形态特征。另外还有一种长柱状晶体,主要单形由{230}及次要单形{101}组成。它沿 C 轴伸长,这种晶体形态属低温热液金矿床。

毒砂晶胞参数: $a_0=5.751 \text{ \AA}$, $b_0=5.674 \text{ \AA}$, $c_0=5.782 \text{ \AA}$, $\beta=112^\circ 04'2''$ 。从这组晶胞参数值看此毒砂属单斜晶系,其中 a_0 值高于标准值,其它均低于标准值(标准值: $a_0=5.744 \text{ \AA}$, $b_0=5.675 \text{ \AA}$, $c_0=5.785 \text{ \AA}$, $\beta=112^\circ 1'$)。这与毒砂形成温度有关。

毒砂化学成分见表 13。从主要成分 Fe、As、S 看,Fe 含量偏高,As 含量偏低,S 的含量偏高,标准值 $\text{Fe}=34.3 \times 10^{-2}$, $\text{As}=46.01 \times 10^{-2}$, $\text{S}=19.69 \times 10^{-2}$ 。毒砂中尚含有 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Sb、Bi、Hg 等,Au 在其中分布不均匀。

表 13 毒砂化学成分 ($\times 10^{-2}$)

Fe	As	S	Cu	Pb	Zn	Co	Au	Ag	Sb	Bi	Hg
31.35	32.55	23.63	0.069	1.27	3.01	—	8	35	1.18	0.88	144
35.789	43.46	19.028	0.064	—	0.063	0.063	—	0	440	740	—
35.21	42.88	19.81	0.02	—	0.18	—	8800	—	—	—	—
34.90	42.83	20.26	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注:Au、Ag、Sb、Bi 含量单位为 $\times 10^{-6}$,Hg 含量单位为 $\times 10^{-9}$ 。

(五)菱铁矿特征

菱铁矿在新城及三山岛金矿区含量最多,晶体呈褐黄色、浅黄棕色的菱面体晶形,结构致密,玻璃光泽,硬度较低,比重平均为 3.8105。

菱铁矿化学成分见表 14。主要成分 FeO 含量较标准值低($\text{FeO}=62.01 \times 10^{-2}$, $\text{CO}_2=37.99 \times 10^{-2}$),但是 MnO 含量较高,说明当时成矿环境是外在还原环境中,对金的沉淀和硫化物的形成有利。

表 14 菱铁矿化学成分 ($\times 10^{-2}$)

矿区 名称	元 素 含 量 ($\times 10^{-2}$)													
	FeO	Fe ₂ O ₃	Cu	Pb	Zn	CaO	MgO	MnO	Au	Ag	As	Sb	Bi	CO ₂
三山岛	48.19	0.57	0.0009	0.013	0.012	0.39	0.64	11.41	0.0085	0.75	17.7	0.13	0.45	38.74
新城	50.47	0.33	0.0007	0.086	0.022	0.69	2.82	4.59	0.025	2.5	9.02	0.18	0.20	37.91

注:Au、Ag、As、Sb、Bi 含量单位为 $\times 10^{-6}$

参 考 文 献

- [1] 中国地质科学院地矿所,1977,重砂矿物鉴定手册,地质出版社。
[2] 陈光远,1989,胶东金矿成因矿物学与找矿,重庆出版社。
[3] 南京大学,1978,结晶学与矿物学,地质出版社。

ORE COMPOSITIONS OF THE GOLD DEPOSITS IN THE ZHAOYUAN—LAIZHOU DISTRICT OF SHANDONG AND THE TYPOMORPHIC FEATURES OF THE GOLD—ASSOCIATED MINERALS

Zheng Ruohui

*(the laboratory of Shandong Bureau of Geology
and Mineral Resources)*

Abstract

In the present study a systematic analysis has been made on the compositions and the features of element associations of ores of individual mineralization stages in several large gold deposits (such as the Sanshandao, Jiaojia, Matang and Linglong gold deposits) in the Zhaoyuan—Laizhou district. In addition the author has elaborated the mineralogical characteristics, physical and chemical properties, such as parameters of crystal cells, thermo—electrical coefficients of gold associated minerals (sphalerite, chalcopyrite, galena, arsenopyrite and siderite) and the mode of occurrence of gold.