

文章编号:1007-3701(2004)01-0001-06

三山岛金矿床载金硫化物特征及其地质意义

徐九华¹, 谢玉玲¹, 韩屹², 李前懋¹

(1. 北京科技大学资源工程系, 北京 100083; 2. 山东三山岛金矿, 山东 莱州 261442)

摘要:三山岛金矿床和焦家金矿床虽然均为“焦家式金矿”的典型代表,但两者的矿物共生组合、载金硫化物矿物成分特点、金矿物的成色,以及围岩蚀变类型、强度,矿化阶段的发育情况等都有明显的差异。三山岛金矿床的毒砂、砷黝铜矿含量较高,黄铜矿的 Cu/Fe、方铅矿的 Pb/S 也较高。这些特征与三山岛金矿的多金属硫化物阶段更发育的事实一致,反映了该矿床可能在矿床(或矿体)分带方面表现了比焦家金矿较浅部较外围的特征,这对深部远景具有指示意义。

关键词:三山岛金矿;硫化物;电子探针

中图分类号:P575.1;P618.51

文献标识码:A

三山岛金矿床是“焦家式金矿”的典型代表之一,即为与太古宙胶东群和郭家岭花岗岩闪长岩有关的破碎带蚀变岩型金矿床^[1,2]。矿床位于山东省胶东半岛西北部招(远)一掖(县)金矿带西部,受邻近渤海的 NE 向三山岛主断裂控制。矿体呈扁豆状及不规则的条带状赋存于花岗岩经过热液蚀变形成的黄铁矿化、绢云母化及硅化组成的破碎蚀变带内(图 1)。主矿体走向为 NNE-SSW 向,控制长度近 1 000 m,平均厚度 18 m 左右。矿化岩石有黄铁绢英岩、黄铁绢英岩质碎裂岩、黄铁绢英岩化花岗岩等。最近通过 250 余件矿石和部分围岩光片的系统鉴定研究,发现三山岛金矿的矿石矿物共生组合特征与焦家金矿有较大的差别,这种差别可能对深部找矿具有示踪意义。

1 主要载金矿物特征

矿石中原生金属矿物主要有银金矿、自然金、黄铁矿、毒砂、磁黄铁矿、砷黝铜矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等,非金属矿物主要有钾长石、斜长石、石英、绢云母、方解石等。主要载金矿物为黄铁矿、毒砂和石英。据矿石标本、光片观察结果并结合前人

资料,成矿时间可分为 4 个阶段:Ⅰ.黄铁矿—绢英岩阶段;Ⅱ.金—石英—黄铁矿阶段;Ⅲ.金—黄铁矿—毒砂阶段;Ⅳ.金—黄铁矿—多金属硫化物

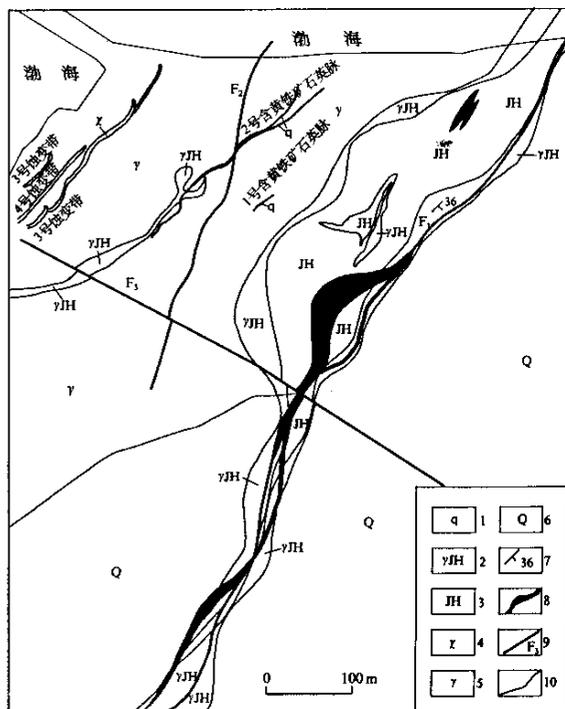


图 1 三山岛金矿地质略图(据韩屹等修编,2002)
Fig. 1 Sketch map of Sanshandao gold deposit (modified from Han et al., 2002)

1. 含黄铁矿石英脉; 2. 黄铁绢英岩化花岗岩; 3. 黄铁绢英岩; 4. 煌斑岩; 5. 斑状黑云母花岗岩; 6. 第四系; 7. 产状; 8. 矿体; 9. 实测及推测断层与编号; 10. 实测及推测地质界线

收稿日期:2003-12-09

基金项目:教育部博士点基金(20030008018);中国科学院知识创新工程领域项目(ZCX1-07)。

作者简介:徐九华(1951—),男,博士生导师,矿床学专业。

阶段。黄铁矿中的晶隙金和包体金主要在Ⅱ阶段形成；黄铁矿中的裂隙金为Ⅲ阶段和Ⅳ阶段形成；脉石中裂隙金多形成于Ⅱ阶段。

1.1 黄铁矿

黄铁矿是三山岛金矿床矿石中最主要的硫化物，多为半自形晶粒状、自形晶粒状和不规则粒状，并呈浸染状分布于脉石中或呈脉状充填于裂隙中，少数呈致密块状，主要粒径0.01~2.0 mm。一般富含细粒黄铁矿的部位，金品位较高。黄铁矿的产出有不同世代。早期黄铁矿呈不规则粒状，少量呈立方体自形晶分布于石英、绢云母等脉石矿物中。由于后期热液改造作用，常为晚期细粒黄铁矿和毒砂等矿物交代，或被晚世代黄铁矿充填，呈压碎结构。粗粒黄铁矿中常包含黄铜矿、磁黄铁矿等矿物，或被金—石英—多金属硫化物阶段的方铅矿、黄铜矿细脉穿插。黄铁矿单矿物的微量元素测定表明Au含量为 108.4×10^{-6} ，Ag为 60.8×10^{-6} ，Cu为 572×10^{-6} ，Pb为 427×10^{-6} ，Zn为 365×10^{-6} 。晚期细粒黄铁矿也与黄铜矿、方铅矿、砷黝铜矿等呈细脉状、网脉状分布于石英和早期黄铁矿中。金在黄铁矿中以银金矿为主。黄铁矿电子探针分析表

明，其中的杂质元素较少，可含少量As、Sb和Te（表1），Fe/S比值为0.851~0.912，比焦家金矿比值（0.862~0.883）^①变化大。

1.2 毒砂

毒砂为含量仅次于黄铁矿的金属硫化物，在不同地段含量差别较大。一般呈自形晶粒状、半自形晶粒状分布于脉石间或早期黄铁矿中，常见菱形切面。主要粒径0.005~1.0 mm。毒砂多呈细脉状穿插于绢英岩或黄铁矿—石英脉中，并交代早世代黄铁矿，其内部亦常包含黄铜矿、磁黄铁矿和方铅矿等矿物，有时还有闪锌矿包体。电子探针结果（表1）表明，毒砂中S含量为19.93%~21.86%，As为43.25%~46.42%，Fe为32.69%~34.04%，Ni、Sb和Te等元素含量甚微，均有Au测出。

1.3 磁黄铁矿

磁黄铁矿主要以细小颗粒分布于黄铁矿中，呈包体产出，有时见于毒砂中。少量单独出现，有时与黄铜矿连生分布于黄铁矿或脉石矿物中。粒径多在0.005~0.2 mm。电子探针分析（表1）表明，磁黄铁矿的S含量为35.13%~38.87%，Fe为54.4%~60.67%，并含少量As、Se、Te和Sb等杂质元

表1 三山岛金矿床黄铁矿、毒砂、磁黄铁矿电子探针分析结果

Table 1 Electron microprobe analysis of pyrite, arsenopyrite and pyrrhotite in Sanshandaogold deposit $w_B/\%$

	黄 铁 矿				毒 砂			磁 黄 铁 矿			
	E-16(1)2	I-5(1)2	F-1(1)4	H-19(1)2	I-3(2)3	F-22-3	H-8(2)1	I-3(2)2	I-5(1)1	I-5(1)3	C-48(1)1
S	53.26	53.35	49.07	53.33	19.93	21.86	20.85	37.97	38.43	38.87	35.13
Fe	45.92	46.10	44.76	45.41	32.69	34.04	33.83	60.67	60.39	60.48	54.40
Co	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
Ni	0.00	0.00	0.01	0.18	0.09	0.24	0.02	0.11	0.00	0.00	0.00
Cu	0.00	0.00	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00
Zn	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.44	0.77	0.00	0.00
As		0.00	4.74		46.42	43.25	45.13	0.19	0.27	0.30	9.16
Sb	0.35	0.00	0.33	0.29	0.53	0.04	0.16	0.22	0.00	0.00	0.86
Se		0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.07	0.14	0.27	0.00
Te	0.24	0.00	0.03	0.23	0.12	0.21	0.00	0.22	0.00	0.00	0.35
Au	0.00	0.00	0.00	0.23	0.22	0.15	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.00	0.37	0.00	0.03	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
Pt	0.02	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00
Pd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
合计	100.00	100.00	98.94	100.01	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

注：由中国地质大学（北京）电子探针室测试。仪器：JCSA-733电子探针和Link 860-2能谱仪；加速电压15kV，探针电流 2×10^{-8} ，激发束斑直径0.5 μm；误差小于1%。

素,未测出 Au。C-48(1)1 测点 As 高,可能受到周围毒砂的影响。

1.4 方铅矿

方铅矿是金—石英—多金属硫化物阶段的常见金属硫化物矿物。主要粒径 0.005~0.3 mm。常呈细脉状、浸染状产于黄铁矿或脉石矿物中,或交代黄铁矿和砷黝铜矿。也见方铅矿呈它形晶单独或与砷黝铜矿、黄铜矿连生脉状分布于脉石中。常见方铅矿与银金矿共生,并呈脉状分布于黄铁矿的裂隙中。电子探针分析结果(表 2)表明,Pb 含量

85.13%~86.95%,S 为 12.23%~13.23%,Pb/S 比值为 6.43~7.11,比焦家金矿 Pb/S(6.11~6.58)大。含微量 Fe,Co,Ni,Zn 和 Ag 等。

1.5 闪锌矿

闪锌矿在三山岛金矿不常见,但在个别样品中产出较多,主要呈它形晶产于脉石中,也产于黄铁矿和毒砂中,常包含有乳滴状黄铜矿。有时产在脉石矿物间。闪锌矿的电子探针分析结果(表 3)表明,Zn 为 61.2%,S 为 30.99%,Fe 为 5.22%。杂质微量元素有 Co,Ni,Pt,Se,Au 和 As 等。

表 2 三山岛金矿床方铅矿电子探针分析结果

Table 2 Electron microprobe analysis of galena in Sanshandao gold deposit

$w_B/\%$

样号	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sb	Se	Te	Au	Ag	Pb	合计
A-2(1)3	13.11	0.01	0.03	0.00	0.00	0.71	0.10	0.00	0.27	0.14	0.00	0.17	85.46	100.01
C-26(1)2	13.18	0.01	0.14	0.08	0.00	0.22	0.08	0.00	0.10	0.00	0.00	0.05	86.17	100.02
C-45(1)1	12.23	0.05	0.28	0.45	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	86.95	100.02
F-1(7)5	13.23	0.19	0.00	0.22	0.07	0.00	0.00	0.22	0.15	0.62	0.19	0.00	85.13	100.02

注:同表 1。

1.6 黄铜矿

黄铜矿也是金—石英—多金属硫化物阶段常见的硫化物,常呈它形粒状、不规则状包裹于黄铁矿中,或呈脉状、网脉状充填在黄铁矿裂隙或脉石裂隙中,或与方铅矿共生。有时单独呈粒状浸染分

布于脉石中。另外,常见黄铜矿呈乳滴状出溶于闪锌矿中。黄铜矿的电子探针分析结果(表 3)表明,Cu 含量 33.16%~35.62%,Fe 为 27.88%~31.14%,S 为 33.54%~34.27%,Cu/Fe 平均比值为 1.17,高于焦家金矿比值(1.13),说明三山岛

表 3 三山岛金矿床黄铜矿、闪锌矿等电子探针分析结果

Table 3 Electron microprobe analysis of chalcopyrite and sphalerite in Sanshandao gold deposit

$w_B/\%$

砷黝铜矿	银黝铜矿	黄铜矿							闪锌矿
C-26(1)-1	C39(1)1	C39(1)2	C-43(1)1	C-43(1)2	C-48(1)2	E-6(1)1	F-1(7)4	I-3(2)1	
S	27.09	24.81	34.27	34.10	33.87	33.96	33.77	33.54	30.99
Fe	2.83	9.12	28.94	29.24	27.88	30.29	31.14	29.48	5.22
Co	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.32
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.17
Cu	42.68	30.82	35.15	35.62	33.37	34.14	33.16	35.48	0.00
Zn	5.32	4.10	0.37	0.00	0.20	0.00	0.78	0.03	61.20
As	20.17	4.17	0.74	0.81	0.76	0.69	0.75	0.01	0.59
Sb	0.31	18.54	0.15	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00
Se	0.11	0.30	0.12	0.23	0.27	0.05	0.12	0.22	1.01
Te	0.00	0.48	0.16	0.00	0.00	0.23	0.00	0.02	0.00
Au	0.25	0.11	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.47	0.25
Ag	1.03	7.52	0.05	0.00	0.00	0.00	0.26	0.68	0.00
Pt	0.20	0.00	0.05	0.00	0.23	0.00	0.00	0.07	0.26
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
合计	100.00	99.98	100.00	100.00	96.57	100.02	100.02	100.02	100.01

注:同表 1。

金矿的成矿流体富铜,因此常见富铜贫铁的砷黝铜矿和银黝铜矿。As, Zn 和 Se 等元素微量。另外,一些测点含微量 Au。

1.7 砷黝铜矿和银黝铜矿

三山岛金矿的 As 含量远高于招掖金矿带的其他矿床,因此矿石中不仅存在大量毒砂,而且还有其他含 As 硫化物出现。

砷黝铜矿是其中较常见的含 As 矿物,常与方铅矿伴生。从矿物间相互关系来看,砷黝铜矿是多金属硫化物阶段较早世代的矿物,方铅矿常围绕其边缘呈交代关系。镜下两者反射色相似,但方铅矿反射率高于砷黝铜矿,且硬度比砷黝铜矿低,因此镜下显得较为粗糙些,而砷黝铜矿显得较平坦。电子探针分析结果为: S 27.09%, As 20.17%, Cu 42.68%, 含少量 Fe (2.83%)、Zn (5.32%), 含银高达 1.03%。

银黝铜矿被发现于脉石微裂隙中,与黄铜矿共生,因此也是多金属硫化物阶段的金属矿物。电子探针分析结果为: S 24.81%, Fe 9.12%, Cu 30.82%, Ag 7.52%, Sb 18.54。还有 4.10% 的 Zn 和 4.17% 的 As。

2 矿石化学成分及微量元素特征

三山岛金矿的矿石类型主要为蚀变岩型,其岩性为黄铁绢英岩。对采自不同深度的代表性矿石样品进行岩石化学全分析及微量元素分析(表 4)。

岩石化学全分析结果表明,除了 SSD-336 号样品外, SiO₂ 含量均较高(61.73%~75.59%),与其他地区黄铁绢英岩的成分特征一致。Fe₂O₃ 比 FeO 含量高,是由于样品粉碎之后经历较长时间才进行分析,使部分黄铁矿氧化造成的。因此, Fe₂O₃ + FeO 含量较高,这并不是由于铁镁矿物含量高所致,而是矿石中黄铁矿等的含量所造成的。Fe₂O₃ + FeO 与 S 呈非常明显的正相关(图 2), 相关系数 R = 0.9662 (R² = 9336), 说明全岩化学成分中 Fe₂O₃ + FeO 含量主要与黄铁矿有关。K₂O 也较高,是绢云母含量高所引起的。

对微量元素分析结果(表 4)进行相关分析可知, Au 与 Ag 存在着对数正相关关系(图 3), 相关系数 R = 0.7971 (R² = 0.6354), 这与矿石中金银矿物主要为银金矿的情况符合。Au/Ag 与 As/Sb

表 4 蚀变岩型矿石化学成分及微量元素分析结果

Table 4 Chemical composition and trace element contents of the altered rock type ores

样品号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	CO ₂	S	总和
	w _B / %														
SSD-283	78.87	0.19	10.53	0.98	0.43	4.21	0.92	0.06	3.93	0.08	0.13	2.6	1.22	2.62	100.77
SSD-331	75.59	0.09	11.55	0.09	0.37	2.36	1.17	0.07	3.93	0.08	0.02	2.46	0.53	1.51	99.82
SSD-336	54.82	0.13	14.66	0.08	0.53	13.81	0.68	0.02	5.14	0.08	0.03	2.9	0.88	9.35	103.11
SSD-371	69.86	0.1	11.58	0.08	0.46	6.11	1.11	0.08	4.05	0.06	0.02	3.38	0.53	4.18	101.6
SSD-372	68.05	0.07	7.91	1.13	0.25	9.25	1.2	0.1	2.9	0.1	0.02	3.6	1.67	5.79	102.04
SSD-338	61.73	0.16	12.12	0.25	0.68	7.71	4.08	0.39	4.36	0.08	0.04	2.5	1.75	5.48	101.33
样品号	Au	Ag	As	Sb	Bi	Cu	Pb	Zn	Co	Ni	Cr	V	Ti	Mn	Mo
	w _B / 10 ⁻⁶														
SSD-283	2.21	8.2	155	0.5	7.1	403	506	325	45.5	142	364	60.1	1585	1596	3.66
SSD-331	2.92	28.9	994	20.6	2.4	396	5000	86.7	1.9	17	43	10.8	895	3589	2.17
SSD-336	5.45	25.3	201	1.4	19.6	32	1155	44.6	58.7	16.6	42.1	12.7	518	932	2.47
SSD-371	6.64	23.2	335	3.5	2.6	418	4594	48.8	11.7	15.2	55.9	24.1	741	1186	2.64
SSD-372	2.05	21.3	969	13.6	0.5	242	5000	59	61	14.9	52.2	5.8	467	1178	2.43
SSD-338	0.66	0.39	125	0.3	0.7	19.3	68.6	19	9.5	13.6	47.2	29.8	1352	2512	2.37
检出限/10 ⁻⁶	0.003	0.05	0.5	0.3	0.3	5	5	10	1	5	10	10	50	30	0.5

注: 1. 全岩定量数据由国家地质实验测试中心测定, 检测方法代码: JY/T 015-1996; 2. 微量元素分析由原冶金工业部地球物理勘查院物化探研究所测试, Au、Ag 为原子吸收光谱; As、Sb、Bi 为原子荧光; 其他元素为发射光谱定量。

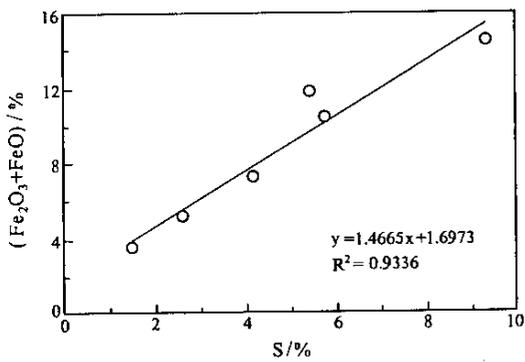


图 2 矿石化学成分 Fe_2O_3+FeO 和 S 的线性相关特征
 Fig. 2 Linear correlation between Fe_2O_3+FeO and S of chemical composition in ores

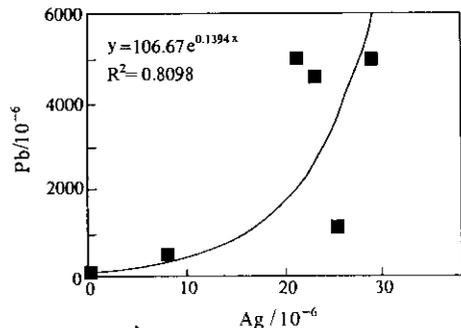
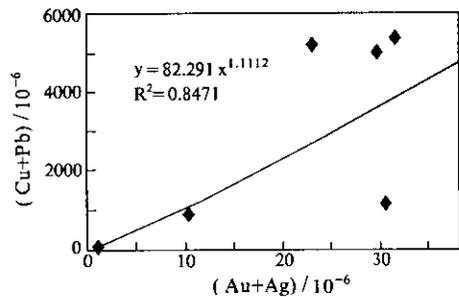
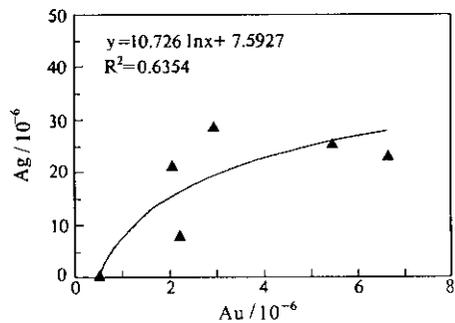
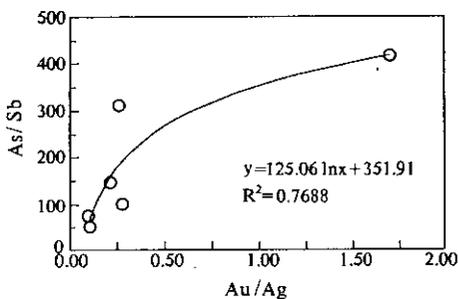


图 3 矿石微量元素之间的一些相关情况
 Fig. 3 Relations among minor elements in ores

存在一定的区别。两个矿床 NE 向的控矿断裂虽然平行分布,但三山岛断裂倾向 SE,倾角中等,而焦家断裂倾向 NW,倾角缓。三山岛金矿的黄铁绢英岩化比焦家金矿更发育,而钾质蚀变却相对不发育。

根据对三山岛金矿和焦家金矿 100 粒金银矿物电子探针分析结果,三山岛金矿的金成色较低,金成色 800 以上的自然金只测得 3 粒,均为黄铁矿中的晶隙金。金成色在 500 至 800 之间的银金矿共测得 45 粒,其金成色最高为 767,最低为 530。90% 金粒的金成色在 500~800 之间,其众值为 650 左

也呈对数正相关, $R=0.8768 (R^2=0.7688)$,反映了毒砂等含 As 矿物与金矿物有一定关系; $Au+Ag$ 与 $Cu+Pb$ 也显示一定的相关性, $R=0.9204 (R^2=0.8471)$,可能反映了金银矿物 $Au+Ag$ 与多金属硫化物阶段黄铜矿、方铅矿 ($Cu+Pb$) 等的联系。Ag 与 Pb 的相关还反映了方铅矿中有少量的 Ag。

3 讨论和结论

三山岛金矿和焦家金矿虽均为焦家式金矿的典型代表,但是从构造—蚀变体系来看,矿化类型

右,略低于杜心君等(1989)的平均值 718(8 个点)^[3~5]。一些金银矿物中含微量的 Ni, Zn, Te, Pt 和 Pd 等元素,个别含 Pt 较高,其中 6 个点大于 0.4%,最高达 2.27%。焦家金矿的金成色比三山岛金矿的高,测得 -230 m 和 -270 m 两个中段金矿物成色的主要分布范围为 750~850,众值在 830 左右。其中金成色在 800 以上的自然金 24 粒,最高值为 873;成色在 700~800 之间的银金矿 21 粒。

三山岛金矿与焦家金矿在金成色方面的差别,与不同成矿阶段的发育程度有关。一般来讲,与单一黄铁矿伴生的金矿物其成色较高,而与多金属硫

化物共生的金矿物则金成色较低^[6]。如小秦岭地区,从杨砦峪、金峒岔到文峪—东闯,方铅矿等硫化物逐渐增多,金的成色逐渐降低。杨砦峪金矿为黄铜矿—黄铁石英脉金矿,Ⅱ阶段的金成色为 869~966(平均 937);而文峪—东闯金矿的多金属硫化物发育,局部构成铅矿体,Ⅱ阶段的平均金成色仅为 818^[7,8]。三山岛金矿多金属硫化物阶段较发育,方铅矿、闪锌矿也较常见,并含有较多的毒砂、砷黝铜矿等含 As 矿物,发育单独的金—黄铁矿—毒砂阶段,从而形成较多的银金矿。

综上所述,从围岩蚀变类型、强度,矿化阶段的发育情况,载金黄铁矿、黄铜矿等矿物共生组合特点,以及金成色等方面来看,三山岛金矿可能在矿床(或矿体)分带方面表现了比焦家金矿较浅部较外围的特征。若果真如此,那么三山岛金矿的深部远景应该是乐观的。

参考文献:

- [1]张福璞,吕以发. 山东掖县北部覆盖地区焦家式金矿成矿地质条件及找矿方向[A]. 中国金矿主要类型区域成矿条件文集(5. 胶东地区)[C]. 北京:地质出版社,1988. 46—84.
- [2]李兆麟,黄兰英. 山东三山岛金矿床形成物理化学条件研究[J]. 矿床地质,1985,4(4):35—46.
- [3]蔡长金,等. 中国金矿物志[M]. 北京:冶金工业出版社,1994.
- [4]杜心君,郑若惠. “焦家式金矿”金矿物的标型特征及其成因意义[J]. 黄金,1989,10(11).
- [5]徐九华,孙之夫,韩屹,等. 胶东破碎带蚀变岩型金矿的金成色及其成因意义[J]. 有色金属工业,2002,(12).
- [6]吴尚全. 自然金化学成分的不均一性及其中杂质元素的研究[J]. 地质论评,1985,31(3):253—260.
- [7]黎世美,翟伦全,苏振邦,等. 小秦岭金矿地质和成矿预测[M]. 北京:地质出版社,1994.
- [8]徐九华,何知礼,谢玉玲. 绿岩型金矿的成矿流体地球化学[M]. 北京:地质出版社,1996.

Characteristics of gold-bearing sulfides and their geological significance in Sanshandao gold deposit, eastern Shandong Province

XU Jiu-hua¹, XIE Yu-ling¹, HAN Yi², LI Qian-mao¹

(1. Department of Resource Engineering, Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083, China;
2. Sanshandao Gold Mine, Laizhou 261442, China)

Abstract: The Sanshandao and the Jiaojia gold deposits are quite different in mineral assemblage, composition of gold-bearing sulfides, purity of gold minerals, types and intension of wallrock alterations as well as mineralization stages. Arsenopyrite and erythroconite are common in Sanshandao deposit. The Cu/Fe ratio of chalcopyrite and Pb/S ratio of galena in the Sanshandao deposit are higher than those in the Jiaojia deposit, being in accordance with the developed polymetallic sulfides in the Sanshandao deposit, and showing superficial zoning of orebodies in peripheral portion related to the Jiaojia deposit. It is very significant for deep prospecting.

Key words: Sanshandao gold deposit; sulfides; electron microprobe