

刁泉银铜矿床 金银赋存状态的研究

李喜荣 刘新江 王培英

(冶金部第三勘查局地勘院, 忻州, 034000)

摘要 刁泉银铜矿是一个伴生金的大型次火山岩型矿床。矿石中的金银主要以金银的独立矿物形式存在, 少数以类质同象赋存于黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、黄铁矿和方铅矿的晶格中。金银独立矿物的种数多达11种以上, 并以铜的硫化物为其主要载体, 因而在选矿时金银大部分进入铜精矿中, 其回收率均在85%以上。

关键词 刁泉银铜矿床, 金银, 赋存状态

1 矿床地质简述

矿床位于华北断块燕山断块广灵-蔚县块拗的南部, 南与涞源块隆、西与五台山断褶带相接壤, 属于不同大地构造单元之间的过渡型活动带, 为区域上的多金属成矿远景区。

矿区出露地层主要为寒武—奥陶系灰岩、页岩及侏罗系火山岩。其中寒武系是矿区分布面积最广, 与成矿关系最密切的地层。矿区断裂构造发育, 以北东向和北西向两组断裂为主, 次为北北东及近南北向的断裂。刁泉岩体是由黑云母花岗岩、花岗斑岩、石英斑岩等组成的复式岩株, 在北东向与北西向两组断裂交汇处, 沿先有的火山通道侵位, 呈近椭圆状分布, 面积约0.7 km²。

矿体主要分布在刁泉岩体与寒武系中、上统灰岩相接触处的砂卡岩带内, 少量分布于中寒武统下部角页岩的层间破碎带中, 全区共有11个矿体。矿体形态较复杂, 在平面上以脉条状、透镜状、囊状为主; 在剖面上以弯月状、勾状为主, 常具分枝复合、尖灭再现现象。勘探工作表明, 该矿床为伴生金的大型银铜矿床。

2 金银的赋存状态

收稿日期 1999-01-22 改回日期 1999-03-05

第一作者简介: 李喜荣, 男, 1965年生。1987年毕业于山西矿业学院, 工程师, 主要从事找矿工作。

2.1 矿石的物质组成

矿石的化学分析表明(表1)有用组份主要为Ag、Cu、Au、S,并伴生有较高的Fe。为了研究元素之间的相关性,对37件样品进行了分析,得出19个元素变量的相关矩阵(表2),从中可以看出:Ag与Cu呈正相关,且相关程度较高,相关系数0.847。

表1 组合矿石大样多元素分析结果

Table 1 Chemical compositions of composite sample for beneficiation

分析项目	Cu	$w(\text{Ag})/10^{-6}$	$w(\text{Au})/10^{-6}$	TFe	S	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO
$w(\text{Ag})_B/\%$	1.57	170.62	0.36	13.80	1.72	33.45	7.91	28.28
分析项目	MgO	TiO ₂	MnO	Bi	Pb	Zn	Mo	As
$w(\text{Ag})_B/\%$	1.90	0.53	0.49	0.012	0.045	0.073	< 0.005	0.012

矿石矿物种类繁多,常见的矿物约20余种,主要者及其体积分数 $_B\%$ 如下:孔雀石(1.18%)、辉铜矿-蓝辉铜矿(0.47%)、黄铜矿(0.78%)、斑铜矿(0.33%)、黄铁矿(2.47%)、方铅矿(0.05%)、闪锌矿(0.11%)、磁铁矿(3.73%)、褐铁矿(3.78%)、硬锰矿(0.80%)等。银矿物有11种之多,其中主要为辉银矿、自然银及硫碲铜银矿,次为金银矿、硒银矿、辉铜银矿、银黝铜矿,偶见铅铋银矿、硫铜银矿等。

表2 刁泉银铜矿床元素相关矩阵

Table 2 The correlation matrix of elements in Diaquan Ag-Cu deposit

	Ni	V	W	Ti	Cd	Cr	Sr	Ba	F	Au	Ag	As	Sb	Cu	Pb	Zn	Mo	Mn	Co
Ni	1.00																		
V	0.412	1.00																	
W	-0.509	0.263	1.000																
Ti	0.386	0.790	-0.015	1.000															
Cd	0.112	0.084	-0.233	0.048	1.000														
Cr	0.413	0.0634	0.005	0.675	-0.142	1.000													
Sr	-0.318	-0.020	0.421	0.253	0.144	-0.111	1.000												
Ba	-0.422	-0.298	0.750	-0.068	0.024	-0.100	0.595	1.000											
F	0.416	0.068	-0.564	0.026	0.252	-0.130	-0.281	0.416	1.000										
Au	0.375	0.195	-0.298	0.201	-0.249	0.306	0.373	0.341	0.145	1.000									
Ag	0.418	0.60	-0.483	-0.049	0.427	-0.106	-0.259	-0.367	0.496	-0.013	1.000								
As	0.258	0.204	-0.421	0.222	0.137	-0.056	-0.248	-0.357	0.292	0.206	0.326	1.000							
Sb	0.121	0.285	-0.113	-0.032	0.019	0.094	-0.058	0.090	-0.136	-0.157	0.091	0.049	1.000						
Cu	0.532	0.153	-0.612	0.002	0.483	-0.081	-0.327	-0.477	0.660	0.046	0.847	0.430	0.008	1.000					
Pb	-0.128	0.096	0.146	0.048	0.197	0.388	-0.055	0.057	-0.094	-0.086	-0.059	-0.263	0.045	-1.21	1.000				
Zn	0.528	0.065	-0.518	0.058	0.347	-0.095	-0.262	-0.398	0.456	0.041	0.586	0.457	-0.138	0.741	-0.342	1.000			
Mo	-0.046	0.296	0.175	0.305	-0.292	0.289	-0.078	-0.042	-0.184	0.146	-0.220	-0.257	-0.046	-0.286	0.158	-0.255	1.000		
Mn	0.537	0.457	-0.781	0.267	0.224	0.407	-0.423	-0.701	0.422	0.302	0.503	0.352	0.116	0.585	0.034	0.514	0.070	1.000	
Co	0.705	0.080	-0.569	0.057	0.310	-0.048	-0.277	-0.400	0.422	0.137	0.694	0.402	-0.018	0.808	-0.297	0.883	-0.265	0.546	1.000

2.2 主要金属矿物及金银矿物的工艺矿物学特征

2.2.1 黄铜矿 黄铜矿是矿石中主要的原生铜矿物,呈不规则状嵌布于脉石中。与斑铜矿、蓝辉铜矿关系密切,常与前者形成叶片状、格状固熔体分离结构;与后者形成镶边结构。在黄铜矿

中常见银黝铜矿、金银矿、自然银等包体。说明黄铜矿与银矿物关系密切。其微量元素含量见表 3。

表 3 刁泉银铜矿主要金属矿物微量元素含量

Table 3 Microelement content in major metallic minerals in Diaquan Ag-Cu ore deposit

w_p/%

矿物名称	Ag	Au	Bi	Ga	Ge	Fe	Zn	Cu	Te	Ni	Cd	Mn	Co
黄铜矿	0.07		0.035	0.0002	0.0004		0.90		0.015	0.0012	0.001		
斑铜矿	0.32		0.17	0.0003	0.0004		0.36		0.007	0.0007	< 0.001		
黄铁矿	0.003	0.003	0.025										0.0083
闪锌矿		0.0005		0.002		13.63		1.65	0.0008	0.0023	0.46	1.00	0.016
方铅矿	1.07	0.0003	2.32	0.0002	0.0004	0.44	0.23	0.15	0.029		0.011	0.023	

据三局地研所

2.2.2 斑铜矿 斑铜矿也是矿石中重要的铜矿物,主要呈不规则状嵌布于脉石矿物之中,有原生和次生之分,原生斑铜矿与黄铜矿密切相关;次生斑铜矿,常交代黄铜矿并被辉铜矿、蓝辉铜矿、铜蓝及褐铁矿交代,形成交代环带状结构。在斑铜矿中常见有辉银矿、碲银矿、自然银和金银矿,其微量元素含量见表 3,探针分析结果见表 4。

表 4 刁泉银铜矿床金属矿物探针分析结果

Table 4 Electron microprob analysis result on metal minerals in Diaquan Ag-Cu deposit

w_p/%

矿物名称	样号	Au	Ag	As	Sb	Bi	Cu	Pb	Zn	Fe	S	Te	
闪锌矿	D-59-1	0	0.21	0	0	0.21	3.49	0	59.21	4.09	31.96	0	(Zn 0.91, Fe 0.07, Cu 0.05) 1.03, S 1.00
方铅矿	D-117-2	0.13	0.35	0	0.03	0.66	0.34	84.74	0	0.03	13.31	0.10	Pb 0.41, S 0.42
	D-103	0	1.15	0	0	0.32	0.29	85.99	0	0.27	12.22	0.05	Pb 0.41, S 0.36
	D-77	0	0.77	0	0	0.18	1.02	85.11	0	0.15	12.43	0	Pb 0.41, S 0.39
	DZ-3-2	0.05	0.29	0	0	0.26	3.06	81.6		0.33	12.82		
斑铜矿	DZ-3-1	0	1.14	0	0.04	0.09	64.16	0		10.45	25.03		
自然银	D3-2-1	0.21	99.96	0	0	0.09	1.27	0	0	0.19	0.20		
碲碲铜银矿	D77-2	0.13	44.44	0	0	0	19.50	0	0	3.41	7.46	24.69	
含银辉铜矿	D3-2-3	0.02	3.16	0	0	0.02	75.56	0		0.02	19.94		
	D-60	0	1.13	0	0	0	74.93	0	0	1.43	20.85	0.06	(Cu 1.18, Fe 0.03, Ag 0.01) 1.22, S 0.65
	D59-2	0.09	1.14	0	0.06	0.05	76.86	0	0	0.01	20.05	0.04	(Cu 1.21, Ag 0.01) 1.22, S 0.63
碲碲铜银矿	D77-2	0	3.99	0	0.08	39.74	35.62	0.09	0	0.40	18.39	0	Cu 0.56, Bi 0.19, S 0.57
	D115	0	3.57	0	0	40.53	35.37	0	0	0.72	18.38	0.02	Cu 0.56, Bi 0.19, S 0.57
	D103-1	0	2.89	0	0.09	34.65	39.40	0.63	0.01	0.97	19.35	0	Cu 0.62, Bi 0.17, S 0.60
	D3-2-2	0	0.26	0	0.01	41.80	38.52	0.05		0.12	19.66		
碲碲银矿	D110	0.01	62.92	0	0	0.01	0.43	0	0	0.13	0.43	36.86	Ag 0.58, Te 0.29
银铜金矿	D59-3	72.95	17.02	0.05	0	0	7.14	0	0	0.08	0.76	0.05	
针碲碲银矿	D114-2	0	0.20	0	0	36.41	10.97	36.23	0	0.07	15.41	0	2PbS · Cu ₂ S ₃
金银矿	D114-3	67.91	30.42	0.32	0	0	0.08	0	0	0.10	0.16	0	Au 0.34, Ag 0.28
	D58-1	66.04	29.80	0.85	0	0	0.68	0	0.03	0.56	0.32	0.13	Au 0.33, Ag 0.28
	233	72.60	25.35										
含铜辉银矿	Z-2		80.56				6.37				14.98		

天津地质研究院探针组测试

2.2.3 辉铜矿 辉铜矿与斑铜矿共生,也有原生次生两种。原生辉铜矿呈不规则粒状,分布在

磁铁矿和闪锌矿间,并与银铜金矿共生呈细脉状。次生辉铜矿多在斑铜矿边部呈交代结构。探针分析(表4)得知,辉铜矿含银较高, $w(\text{Ag})(\text{Ag})$ 常在1.13%~3.16%间,并含有少量金。

2.2.4 黄铁矿 黄铁矿为重要的矿石矿物之一,多呈自形晶和它形粒状集合体,呈浸染状、脉状、团块状产出,多被晚期黄铜矿、方铅矿交代熔蚀。其单矿物微量元素分析(表3)表明,仅含微量银、金等。

2.2.5 方铅矿 方铅矿为它形粒状,常与闪锌矿黄铜矿呈细脉穿切交代黄铁矿,多在银黝铜矿、斑铜矿边部分布。其微量元素含量见表3、表4,可见其银含量较高,并微含金。

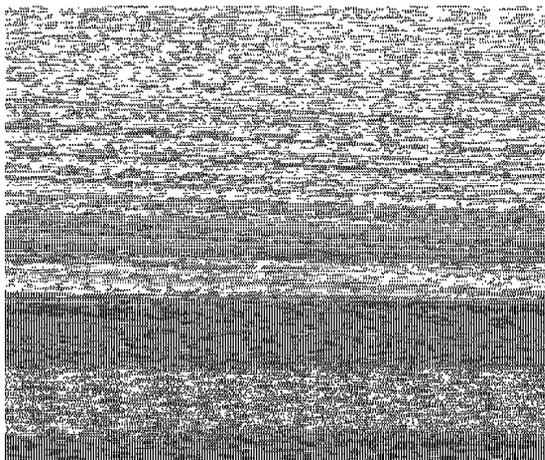
2.2.6 自然银 自然银是矿石中重要银矿物之一,主要呈不规则状嵌布于脉石之中,这部分粒度较粗,有利回收;还有一部分呈包体嵌布于辉铜矿及黄铜矿中,虽然粒度细,但易与铜矿物一起进入铜精矿。其扫描电镜能谱分析见表5

表5 银矿物扫描电镜能谱分析结果

Table 5 Energy spectrum analysis results on silver minerals by scanning electron microscope $w_B/\%$

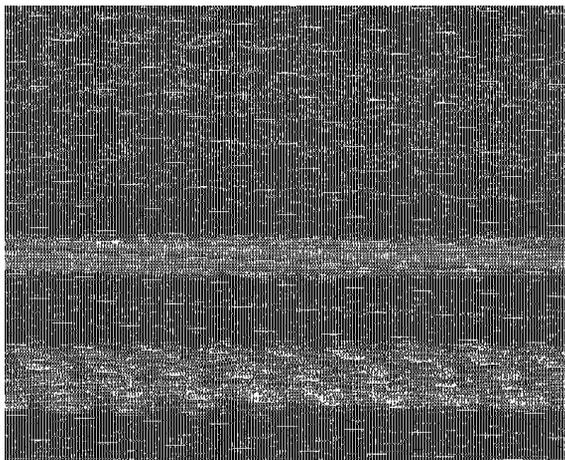
测试矿物	测点	Ag	Au	S	Te	Se	Cu	Sb	Fe	Zn
辉银矿	1	86.95		13.05						
	2	88.07		11.42			0.51			
	3	87.49		12.51						
	4	87.53		12.47						
	5	87.01		11.43			1.56			
	平均	87.41		12.18			0.41			
硫碲铜银矿 (暂定名)	1	61.35		5.14	21.12		11.39			
	2	61.23		5.23	21.02		12.52			
	3	62.61		5.26	22.17		9.96			
	4	63.40		5.60	20.87		10.12			
	5	62.03		5.25	20.36		12.36			
	6	60.80		5.58	22.50		11.13			
	7	62.50		5.45	23.34		8.71			
	平均	61.99		5.36	21.62		10.88			
自然银	1	100.00								
	2	99.14					0.86			
	3	99.01					0.92			
	平均	99.38					0.59			
金银矿	1	62.08	37.92							
	2	62.35	37.65							
	3	61.43	38.57							
	4	61.91	38.09							
	平均	61.94	38.06							
硒银矿	1	74.93				25.07				
	2	74.31				25.69				
	平均	74.62				25.38				
银黝铜矿	1	25.13		24.51			21.05	25.01	1.14	1.16
	2	24.01		23.42			22.17	24.56	2.56	2.19
	平均	24.62		23.96			21.61	24.78	1.85	1.68
辉铜矿		71.71		14.37			12.20		0.30	

2.2.7 金银矿 金银矿主要呈不规则状、粒状、浑圆状嵌布于辉铜矿中(照1、2), 其次是嵌布于脉石矿物裂隙中。嵌布粒度一般较细, 在 0.002~0.011 mm。



照片1 金银矿(白)嵌布于辉铜矿(灰)中
扫描电镜 BS1700×

Photo 1 Kustelite (white) were inlaid in the chalcocite (grey) SEM BS1700×



照片2 对应照片1, 金银矿中银的面分布
图像扫描电镜 1700×

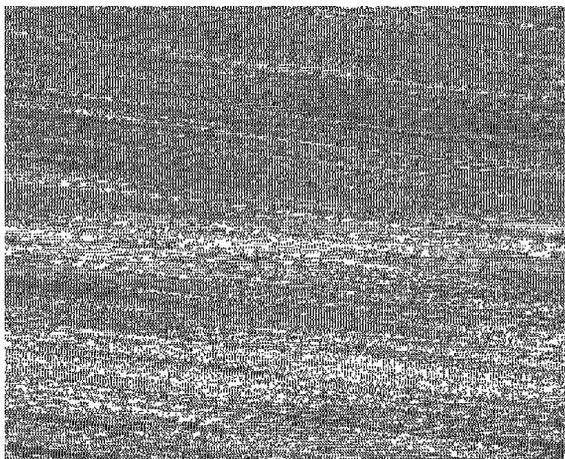
Photo 2 Corresponding to photo 1, plane distributing picture of silver in the kustelite SEM 1700×

2.2.8 辉银矿 辉银矿是矿石中重要的银矿物之一。主要以不规则状产出, 辉银矿与黄铜矿、自然银关系密切, 常以不规则状嵌布于黄铜矿裂隙中(照3、4), 其次是在黄铜矿中作为包体存在, 也有以集合体的形式嵌布于脉石矿物中的。辉银矿能谱分析结果(表5) $w(\text{Ag})$ 为 87.41%, $w(\text{S})$ 为 12.18%, 含微量式铜 0.41%。



照片3 辉银矿(白)嵌布于黄铜矿(灰白)裂隙
中扫描电镜 BS 1160×

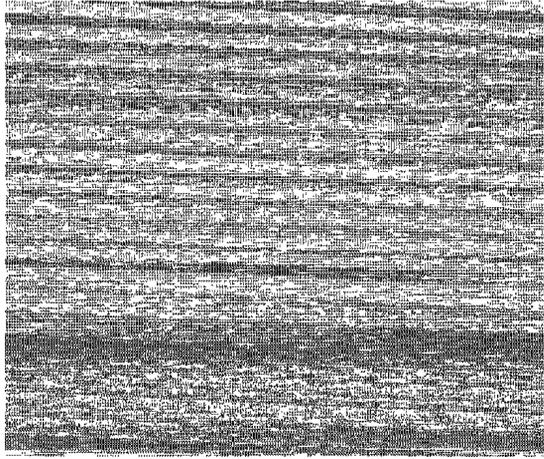
Photo 3 Argentite (white) was inlaid in the fissure of chalcopyrite (grey-white) SEM BS1160×



照片4 对应照片3, 辉银矿中银的面分布
图像扫描电镜 1160×

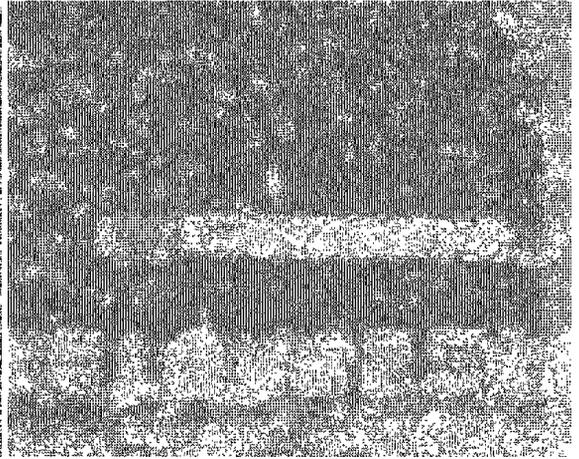
Photo 4 Corresponding to photo 3, plane distributing picture of silver in the argentite SEM 1160×

2.2.9 碲银矿、硒银矿 以粒状嵌布于黄铜矿、斑铜矿及辉铜矿中(照 5、6), 其粒度较细, 可与铜一起在铜精矿中回收。



照片 5 碲银矿(白)嵌布于辉铜矿(灰)中
扫描电镜 BS1212 ×

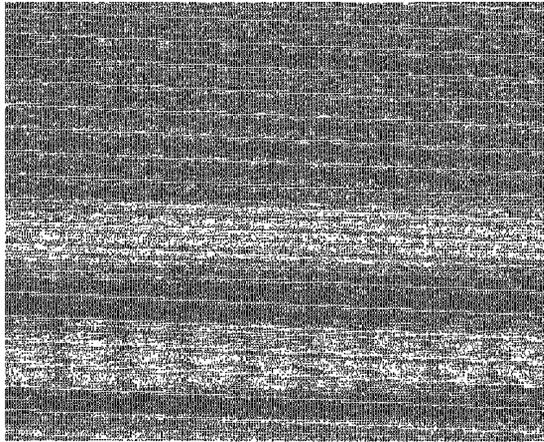
Photo 5 Naumannite (white) was inlaid in the chalcocite (grey) SEM BS 1212 ×



照片 6 对应照片 5, 碲银矿中银的面分布
图像扫描电镜 1212 ×

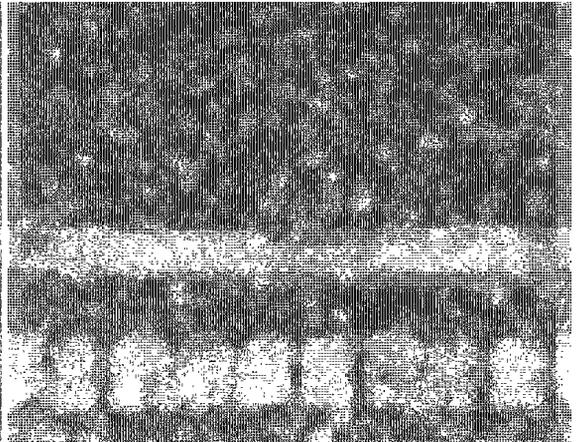
Photo 2 Corresponding to photo 5, plane distributing picture of silver in the Naumannite SEM 1212 ×

2.2.10 银黝铜矿 银黝铜矿在矿石中含量很少, 主要以不规则状嵌布于黄铜矿裂隙中或斑铜矿与方铅矿矿物颗粒之间(照 7、8)。其次以包体形式赋存在黄铜矿、辉铜矿中, 矿物粒度细, 一般为 0.003 ~ 0.011 mm。可与铜矿物一起进入精矿中。



照片 7 银黝铜矿(灰白)嵌布在黄铜矿(白)裂隙中
扫描电镜 BS852 ×

Photo 7 Freibergite (grey-white) was inlaid in the fissure of chalcopyrite (white) SEM BS 850 ×



照片 8 对应照片 7, 银黝铜矿中银的面分布
图像扫描电镜 852 ×

Photo 8 Corresponding to photo 7, plane distributing picture of silver in the Freibergite SEM 850 ×

其次尚见有硫碲铜银矿、辉铜银矿、银铜金矿等。

2.3 金银的赋存状态

根据矿石矿物特征的研究, 可见金银主要以独立矿物形式存在。少数以类质同象存在于黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿和方铅矿中(见表 3)。主要银矿物或含银矿物为自然银、金银矿、辉银矿、含银辉铜矿、含铜辉银矿、银黝铜矿, 其次为银铜金矿、硫碲铜银矿、碲银矿、硒银矿、辉铜银矿, 偶见块铅铋银矿、硫铜银矿。独立银矿物在嵌存上多与硫化物关系密切, 与其密切共生或呈包体嵌布其中, 即铜的硫化物为银(金)的主要载体矿物。并且从大量电子探针和扫描电镜能谱分析研究表明, 独立银矿物中银及其它各元素的含量都是比较稳定的。其次, 呈类质同象产出的银可以从单矿物微量元素分析(表 3)中反映出来。对于这种次要的产出形式, 由于其特殊的结构类型, 很容易在选矿过程中进入铜精矿加以回收。

2.4 金银矿物的粒度特征与回收率的关系

经扫描电镜和显微镜观察, 金银矿物粒度大于 0.001 mm 的占 90% 以上, 一般均在 0.005 ~ 0.05 mm 之间, 少数粒度较粗; 银矿物粒度变化较大, 金银矿一般为 0.002 ~ 0.011 mm, 银黝铜矿一般为 0.003 ~ 0.011 mm, 自然银一般为 0.006 ~ 0.18 mm, 辉银矿与硫铜银矿一般在 0.01 mm 以下。

从上述粒度特征看, 由于本矿床金银主要与含铜矿物关系密切, 在选矿过程中, 金、银主要进入铜精矿中, 其选矿回收率大于 85% (表 6)。

表 6 刁泉银铜矿 D 样闭路流程试验结果表

Table 6 Test result on sample-D by closure flotation-magnetic circuit for
Diaoquan Ag-Cu deposit

产 品	产率/ %	品 位*				回 收 率/ %			
		Cu	Au	Ag	Fe	Cu	Au	Ag	Fe
银铜精矿	5.42	19.75	4.65	2409.9	21.42	82.15	87.56	86.30	10.57
铁精矿	3.19	0.13	0.045	9.5	64.95	0.27	0.41	0.17	15.94
尾 矿	90.39	0.30	0.045	26.84	10.57	17.57	11.93	15.53	73.49
原 矿	100	1.54	0.34	179.30	13.00	100	100	100	100

* $w(\text{Ag})(\text{Cu}, \text{Fe})/\%$, $w(\text{Ag})(\text{Au}, \text{Ag})/10^{-6}$

3 结 语

(1) 刁泉银铜矿床矿石银品位 $w(\text{Ag}) 153 \times 10^{-6}$, 金为 $w(\text{Au}) 0.64 \times 10^{-6}$, 根据分析研究铜的硫化物是金银的主要载体矿物。

(2) 通过矿石矿物组合研究, 查明了金银的赋存状态。金、银主要呈独立矿物存在, 有 11 种以上金银独立矿物。以类质同象存在于黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、黄铁矿和方铅矿的晶格中, 是金、银赋存状态的次要形式。

(3) 在选矿过程中, 尽管金、银矿物粒度较细, 但由于与铜的硫化物的密切关系, 使得金银矿物在选矿时大部分进入铜精矿, 可达到良好的选矿指标。

A RESEARCH ON OCCURRENCE OF GOLD AND SILVER IN ORE OF DIAOQUAN SILVER-COPPER DEPOSIT

Li Xirong Liu Xinjiang Wang Peiyang
(The 3rd Geological Exploration Bureau MMI, Xinzhou, 034000)

Abstract

Diaoquan silver-copper ore deposit is a large-scale subvolcanic type deposit with gold as by-product. Au and Ag in ore occur mainly in more than 11 Au-Ag minerals; a few in lattice of chalcopyrite, bornite, chalcocite, pyrite and galena in isomorphism. Various Cu sulfides are the main carrier of Au-Ag minerals and therefore Au, Ag are amassed in Cu concentrate and recovery of Au, Ag are more than 85%.

Key words Diaoquan silver-copper ore deposite, Gold and silver, Occurrence

(上接第 7 页)

AN IDEALIZATIONAL DISCUSSION ON THE CONCENTRATION AND DISPERSIVENESS OF METALLOGENIC ELEMENT

Xu Xihua
(Tianjin Geological Academy, Tianjing, 300061)

Abstract

The paper assumes ideal conditions by which non-linear expression of element concentration clarke (K) in connection with thermal dynamics probability (), entropy, information volume (I) and ore-forming energy is derived according to concepts and principles of the rmdynamics and informatios. Relation of element concentration clarke(K) to energy depletion is introduced and discussed. The mentioned above will contribute to establishing models of mineralization and metallogenic information of ore-forming elements to some extent.

Key words concentration clarke, negative entropy, ore-forming energy, average information volume