

莱州新城蚀变岩型金矿—145米中段选矿工艺矿物学研究

杜心君执笔*

(山东省地质矿产局实验室)

提要 本文论述了新城金矿—145米中段金的选矿工艺矿物学特征。通过大量统计工作,查明了金的赋存状态,金矿物的成色、粒度、形态及嵌连关系等。采用物相分析了解金的解离情况,最后对影响金回收率的因素进行了分析,指出由于该区金矿物粒度细小、嵌连关系复杂,需提高磨矿细度才能提高金的回收率。

前 言

工艺矿物学是一门年轻的应用科学,与选矿有关的工艺矿物学更具实用价值,因为选矿流程的确定是以工艺矿物学的研究内容为主要依据的,它在选矿过程中起了“眼睛”的作用。

当前被开采的金矿床星罗棋布,如何配合金矿选矿进行工艺矿物研究,这篇文章愿起抛砖引玉之作用。

新城金矿是蚀变岩型金矿类型中的一个特大型金矿床,已开采多年,但开采至—145米中段时,采用原有的选矿流程,金的回收率出现降低现象,急需对矿石的工艺矿物特征进行观察研究,以便选用合理选矿工艺流程,从而提高金的回收率,为此开展了本次研究工作。

一、矿石的物质组成及矿石类型

(一) 矿石的矿物成分:

采取有代表性样品,通过各种测试方法,确定了该区的矿石矿物有以下几种:

贵金属:以银金矿为主,少量含银自然金及自然金。

金属硫化物:以黄铁矿为主,黄铜矿、方铅矿、闪锌矿次之,黝铜矿、磁黄铁矿极少量。

金属氧化物:只有极少量的褐铁矿、针铁矿、软锰矿等。磁铁矿是作为岩石中的付矿物混入的。

脉石矿物:主要是石英和绢云母,方解石、重晶石少量。斜长石、钾长石是作为围岩花岗岩的成分混入的,另外还有锆石、帘石、石榴子石、磷灰石、榍石等是围岩的付

*参加该项工作的还有金隆裕、郑若惠、刘光鉴、李玉山、徐元敬等同志。

矿物出现在矿石围岩中。

(二) 矿物的百分含量计算:

准确测定矿物的含量非常重要。我们是选用破碎混匀后的选矿大样, 按规范缩分至500克左右, 并按六个粒级进行筛分, 然后将不同粒级的样品制成砂光片和砂薄片, 分别在偏光和反光显微镜下用六轴求积仪测出体积百分比, 为准确起见, 再以体积百分数乘以各矿物之比重, 然后再以样品重量加权计算, 结果见表1

表1 新城金矿地质组合富样矿物重量百分比(%)

粒 径 (mm)	金 属 矿 物						非 金 属 矿 物						总 计
	黄铁矿	黄铜矿	方铅矿	闪锌矿	褐铁矿	黝铜矿	石英	绢云母	硫酸盐	斜长石	钾长石	黑云母	
>0.154	10.27	0.25	0.10	0.02	0.01	0.02	46.75	38.56	1.43	2.22	0.31	0.00	100.00
0.154~0.10	12.67	0.38	0.41	0.05	0.03	0.00	22.37	61.40	0.26	2.12	0.27	0.04	100.00
0.10~0.076	17.49	0.46	0.85	0.07	0.00	0.00	19.17	50.69	0.94	0.96	0.57	0.00	100.00
0.076~0.054	19.28	0.85	0.12	0.24	0.19	0.08	10.90	63.84	1.07	2.82	0.61	0.00	100.00
0.054~0.038	17.97	0.87	0.35	0.09	0.10	0.00	7.70	71.94	0.23	0.57	0.18	0.00	100.00
<0.038	14.33	0.03	0.48	0.00	0.00	0.00	11.90	72.14	0.00	0.13	0.00	0.00	100.01
平 均	12.37	0.39	0.19	0.05	0.05	0.01	38.15	45.35	1.18	1.96	0.30	0.007	100.00

测量者: 山东地矿局实验室金隆裕

(三) 矿石的化学成分:

矿石化学多项分析结果见表 2

表2 矿石样品化学多项分析结果

元素	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	TFe ₂ O ₃	TiO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO
含量(%)	69.28	1.08	0.72	12.18	7.46	0.13	4.47	0.60	0.62
元素	P ₂ O ₅	Cu	Zn	Pb	Ni	Co	Ga	S	Te
含量(%)	0.12	0.072	0.050	0.06	0.001	0.0009	0.002	4.22	0.0001
元素	Se	Au	Ag	Hg	Sb	As	Bi		
含量	0.00	11.16g/T	14.0g/T	<5ppb	4.44ppm	30.57ppm	11.23ppm		

分析单位: 山东地矿局实验室一分室

表 2 中数据显示出含有较富的 Au, 另外还伴生有 Ag、Cu、Pb、Zn 等有益元素, 它们可在冶炼中回收, 有害元素 As、Sb、Bi 含量甚微, 危害不大。

(四) 矿石的自然类型:

根据矿石结构、构造及矿物共生组合特征划分出矿石自然类型有以下几种:

- 浸染状含矿绢英岩;
- 细脉状含矿绢英岩;
- 细脉浸染状含矿绢英岩;
- 网脉状蚀变矿化碎裂花岗岩等

(五) 矿石的工业类型:

根据矿石化学成分含硫低的特点确定矿石工业类型为低硫型金矿石。

二、金的赋存状态

自然界金的赋存状态有三种形式: 1) 形成金矿物(或化合物); 2) 呈胶体粒状分散在其它介质中(金粒大小为 0.1~0.000144 微米); 3) 固溶体分散金, 即金以原子形式作为其它矿物的固溶体混入物。作为开发利用目前主要是金矿物中的金^[1]。为查明金的赋存状态开展了以下工作:

(一) 人工重砂、挑选和 x 射线定性:

将人工重砂中发现的金粒用 x 射线验证, 鉴定结果为自然金。分析数据见表 3

表3 金粒 x 射线分析数据表

衍射强度 (I/I ₀)	10	7	8	9	5	鉴定结果
d 值 (Å)	2.344	2.036	1.443	1.228	1.173	自然金

山东地矿局实验室 x 光组

(二) 矿相研究及电子探针微区成分分析

在反光镜下发现光片中有许多颜色不同的金粒，他们以不同状态和黄铁矿、黄铜矿、方铅矿嵌连；包在五角十二面体黄铁矿中的金呈浓黄色；分布在黄铁矿裂隙中者呈金黄色；而和方铅矿连生的则呈黄白色。经电子探针微区成分分析证实它们为成色不同的银金类质同像系列矿物—自然金、含银自然金及银金矿等（见表5）。

(三) 化学物相方法：

用分别溶解的方法，使矿石中的金全部溶解出来，然后根据沉降公式计算出超显微金留在溶液中所需的时间，使显微金和超显微金分开，测定结果见表4

表4 化学物相分析结果表

类型	显微金	其他形式金	合计
重量(g/T)	4.585	0.435	5.020
百分比(%)	91.344	8.656	100.00

分析者：山东地矿局实验室王淑华、李谋

表中结果说明显微金占总金量的91.3%，而其他形式金（主要是超显微金）含量为8.7%，这一信息说明该区金的粒度有一部分非常细小，在碎样过程中不易解离，给选矿工艺造成困难，是影响金回收率的重要因素之一。

三、金矿物的工艺特征

(一) 金矿物的成色与种类

金矿物的成色是指金在1000重量单位天然合金中的含量（R.W.博依尔）^[2]。本文是根据电子探针分析结果确定的（见表5）。金矿物种类是根据金银含量采用六分原则定名的。

表5 新城金矿金粒电子探针分析结果

元素 含量 编号	元素					成色 (%)	银金矿物 种类
	Au	Ag	Cu	Fe	Co		
新2-2	96.99		1.21	1.01	0.74	969.9	自然金
新6-1	81.46	16.35	0.80	0.91	0.45	814.6	含银自然金
新8-2	72.04	27.94				720.4	银金矿
"	65.06	34.12	0.70			650.6	"
"	56.60	43.37				566.0	"
"	57.80	42.18				578.0	"
新19-2	81.20	18.52				812.0	含银自然金

“	76.33	23.65				763.3	银金矿
“	56.46	43.52				564.6	“
“	65.04	34.95				650.4	“

分析者：地矿部矿床所探室陈克糖

(二) 金矿物的形态

金矿物的形态具有多样性和复杂性，有三度空间和二度空间两种描述方法，本文是利用反光显微镜在光片中统计的。光片中见到的金粒是其形态在二度空间的反映，表现形态有一定局限性，但大量的统计数字仍能获得满意的结果。根据金的工艺矿物学研究规范制定的原则^{*}，将本区54个光片中发现的605个金粒的形态统计列于表6中。

表6统计数字说明本区金粒的形态有角粒状、长角粒状、浑园粒状、麦粒状、板片状、叶片状、针线状、枝叉状等。从金粒个数看是以长角粒状、浑园粒状及麦粒状为主。从金粒大小统计则以枝叉状、长角粒状、麦粒状为主，尤其是枝叉状金占金总量的30%。单就形态讲，园粒、麦粒、板片、叶片金容易解离，而形态复杂的枝叉状金不易分开。但结合金粒的嵌连关系，园粒、麦粒金呈包体状态者居多，因而又不易解离，而枝叉、板片、角粒金多以晶隙、裂隙嵌连关系存在而有利于解离。

(三) 金矿物的粒度

粒度是确定矿石处理工艺的重要依据之一。金的粒度分级在“规范”中分类较宽，结合本区金粒度细的特点，将细粒以下的金粒又分为四个粒级，以便提供金粒度更为详细的统计资料。统计结果见表7。表中数据说明该区金的粒度较细，大部分金集中在37—10、和10—5微米两个粒级中，但5微米以下的金仍占一部分，结合物相分析中有超显微金存在，因此应注意这些细微粒金的回收。

(四) 金矿物的嵌连关系

金矿物的嵌连关系是指它的空间位置，以它和其他矿物的相互关系作为表征。一般分为裂隙金、晶隙金和包体金三种。该区金粒嵌连关系统计结果见表8

表8结果表明：本区金矿物的嵌连关系晶隙金为主，包体金次之，裂隙金少量。包体金粒度细小个数最多，接近金粒总数的一半，主要包在黄铁矿、黄铜矿和石英中，石英硬度大不易破碎，其中的金也难以解离。晶隙金更为复杂，嵌连关系不仅种类多，而且出现金和黄铜矿—黄铁矿、金和方铅矿—黄铁矿的嵌连关系明显增多的现象，这种关系要比金分布在黄铁矿晶隙中难以解离。从矿物共生上分析，金不仅分布在黄铁矿的晶隙、裂隙中，而且有相当一部分金是以金—黄铜矿细脉、金—方铅矿细脉穿在黄铁矿的裂隙和晶隙中。

四、主要载金矿物的特征

要制定合理的选矿工艺流程，还必需了解和金有关的共生矿物的特征，本矿区和金有密切关系的矿物是黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、石英和绢云母等，它们的特点分述如下：

^{*}首届全国金银选矿学术会议论文集(1983)

表6 反光显微镜下金粒形态统计表

形态	金粒个数(个)						金粒个数分布率(%)						金粒面积数(μm^2)						金粒面积数分布率(%)										
	裂隙金	晶隙金	包体金	总计		包体金	晶隙金	包体金	晶隙金	总计	包体金	晶隙金	包体金	晶隙金	包体金	晶隙金	总计	包体金	晶隙金	包体金	晶隙金	总计	包体金	晶隙金	包体金	晶隙金	总计		
				个数	百分数																							面积数	百分数
角粒状	5	47	35	87	14.4	5.7	54.1	40.2	100.0	230	5423	3004	8477	9.3	2.8	61.8	35.4	100.0											
长角粒状	18	54	47	119	19.7	15.1	45.4	39.5	100.0	1566	11883	6512	19961	21.9	7.9	59.5	32.6	100.0											
浑圆粒状	1	37	77	115	19.0	0.9	32.2	66.9	100.0	121	2948	2962	6031	6.6	2.0	48.5	49.1	100.0											
菱粒状	3	31	64	98	16.2	3.1	31.6	65.3	100.0	1350	2996	8221	13267	14.6	10.2	22.6	67.2	100.0											
板片状	9	16	8	33	5.5	27.3	48.5	24.2	100.0	1076	2678	1026	4780	5.3	22.5	56.0	21.5	100.0											
叶片状		16	11	27	4.4		59.3	40.7	100.0		2590	2347	4937	5.4		52.5	49.5	100.0											
针线状	19	15	12	46	7.6	41.3	32.6	26.1	100.0	2572	2641	784	5397	6.6	42.9	44.0	13.1	100.0											
枝叉状	14	38	28	80	13.2	17.5	47.5	35.0	100.0	4428	15934	7161	27523	30.3	16.1	57.9	26.0	100.0											
总计	69	254	282	605	100	11.4	42.0	46.6	100.0	11343	46913	32717	99973	100	12.5	51.0	35.9	100.0											

表7 反光显微镜下金粒度统计表

粒级 (μm)	裂隙金				晶隙金				包体金				总计			
	个数 (个)	个数比率 (%)	面积数 (μm^2)	面积数比率 (%)	个数 (个)	个数比率 (%)	面积数 (μm^2)	面积数比率 (%)	个数 (个)	个数比率 (%)	面积数 (μm^2)	面积数比率 (%)	个数 (个)	个数比率 (%)	面积数 (μm^2)	面积数比率 (%)
74—37	1	1.4	492	4.3	2	0.8	7168	15.3	3	1.1	5174	15.8	6	1.0	12834	14.1
37—10	16	23.2	6023	53.1	83	32.7	26132	55.7	51	18.1	15344	46.9	150	24.8	47499	52.3
10—5	25	36.2	3573	31.5	111	43.7	12114	25.8	126	44.7	10638	32.5	262	43.3	26325	28.9
5—0.5	27	39.2	1255	11.1	58	22.8	1499	3.2	102	36.2	1561	4.8	187	30.9	4315	4.7
合计	69	100.0	11343	100.0	254	100.0	46913	100.0	282	100.1	32717	100.0	605	100.0	90973	100.0
平均粒径 (μm)	524/69=7.6				2238/254=8.8				1964.5/282=7.0				4726.5/605=7.8			

表3 反光显微镜下金粒嵌连关系统计表

类型	嵌连矿物	金粒个数(个)		金粒个数分布率(%)		金粒面积数(μm^2)		金粒面积分布率(%)	
		各类型个数	各类型总个数	各类型分布率	各类型总分布率	各类型面积数	各类型总面积数	各类型分布率	各类型总分布率
晶	黄铁矿-黄铜矿	113		18.7		15648		17.2	
	黄铁矿-黄铁矿	51		8.4		11347		12.5	
	黄铁矿-石英	48		7.9		5432		6.0	
隙	方铅矿-黄铁矿	38	254	6.3	42.0	14083	46913	15.5	51.6
	黄铁矿-闪锌矿	1		0.2		72		0.08	
	方铅矿-黄铜矿	1		0.2		12		0.01	
金	石英-绢云母	2		0.3		319		0.4	
	黄铁矿	211		34.8		29204		32.1	
	黄铜矿	44		7.3		2783		3.0	
包	方铅矿	11	282	1.8	46.6	148	32717	0.2	35.9
	石英	15		2.5		555		0.6	
	绢云母	1		0.2		27		0.03	
裂隙金	黄铁矿	69	69	11.4	11.4	11343	11343	12.5	12.5
总计		605	605	100.0	100.0	90973	90973	100.02	100.0

注：因石英中金不易抛光，所以在嵌连关系中石英和金的统计数字可能偏低。

(一) 黄铁矿

在反光镜下黄铁矿呈自形、半自形和他形粒状, 反射色为淡黄色、反射率较高。单晶的形态有五角十二面体、立方体和不规则状, 单晶大小一般在0.1~2毫米之间, 细小的只有几个微米。黄铁矿多集合成群出现, 集合体的大小一般为1~10毫米, 呈浸染状、细脉状、网脉状分布在脉石中。黄铁矿和金的关系最为密切, 特别是粒径为0.1~1毫米有裂隙的黄铁矿, 含金量最高。金矿物包在黄铁矿中, 或分布于其裂隙、晶隙中; 或是和黄铜矿、方铅矿、石英组成细脉穿在黄铁矿中间, 总之都和黄铁矿有关, 从表8金粒嵌连关系统计有88.7%的金和黄铁矿有关, 因此黄铁矿是主要的载金矿物, 选矿中富集了黄铁矿就富集了绝大部分金。

(二) 黄铜矿

反光镜下为铜黄色, 反射率中等、多呈他形粒状、不规则状, 集合体大小最大为1~几个毫米, 一般为0.1~0.4毫米, 细小的为几微米。黄铜矿一般呈细脉状、浸染状分布在矿石中, 而在脉石中分布的黄铜矿很少含金, 只有在黄铁矿裂隙、晶隙中穿插的黄铜矿细脉常见金伴生。

(三) 方铅矿

多呈他形粒状, 集合体呈细脉、网脉、浸染状分布在矿石中。单晶粒度细小, 一般为0.06~0.6毫米。有趣的是和黄铜矿一样, 只有在黄铁矿裂隙、晶隙中穿插的方铅矿才常与金共生。

(四) 石英

从薄片观察, 矿石中有两种石英, 一种为花岗岩中残留的石英, 这种石英经受了强烈的受力作用表现出破碎、波状消光、颗粒化等现象; 另一种为硅化脉石英, 自形程度好, 呈脉状穿插在矿石中, 脉宽窄不等, 从几~几十毫米不等, 石英单晶一般为0.05~0.1毫米。和金有关的是硅化石英, 也是在黄铁矿裂隙中穿插的石英常有金共生。石英是矿石的主要组成矿物, 含量高达38.15%, 因此也是和金关系密切的矿物之一。

(五) 绢云母

呈鳞片~片状晶体, 聚集成群分布, 是绢英岩型矿石的主要组成矿物, 占矿石总量的45.35%, 尤其集中分布在细粒级样品中, 矿石破碎过程中容易泥化而影响选矿效果。它和金的直接关系不大, 本次统计的605粒金中, 只有3粒和绢云母有关。

五、金矿物解理度的测定

由于矿石中金的含量很低, 采用砂光片统计法难以满足解理度测定统计数量的要求。本次工作是采用物相方法测定的。五种全部通过100目的样品解离情况见表9

从表9中数据看出各种样品中均有不等数量的包体金, 特别是精矿和氰渣中含量更高, 氰渣中金主要包在硫化物和硅酸盐中, 说明样品破碎粒度较粗, 尚有一部分金未解离, 致使部分金没有氰化回收。

表9 金的物相分析结果

产 品	金的分布状态	游离金	裸体连 生体金	金属硫化 物中金	碳酸盐 中金	硅酸盐 中金	合 计
原 矿	Au含量(g/T)	3.59	4.36	0.38	0.06	0.06	8.45
	分布率(%)	42.48	51.60	4.50	0.71	0.71	100.00
精 矿	Au含量(g/T)	16.85	55.44	14.38	0.37	2.04	89.08
	分布率(%)	18.92	62.24	16.14	0.41	2.29	100.00
尾 矿	Au含量(g/T)	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.25
	分布率(%)	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	
氰 渣	Au含量(g/T)	< 0.05	0.05	0.42	< 0.05	0.26	< 0.93
	分布率(%)	< 5.83	5.38	45.16	< 5.38	38.70	100.00
地质组 合富样	Au含量(g/T)	7.02	3.40	0.51	< 0.05	< 0.05	11.03
	分布率(%)	63.64	30.83	4.62	< 0.45	< 0.45	

分析者：山东地矿局实验室王淑华等

六、影响金选矿回收率因素的分析

通过以上工作，分析影响金回收率的原因主要有以下几方面：

1. 该区金以独立矿物存在，其粒度细小，大部分集中在37~5微米之间，10~0.5微米的金粒高达33.6%，物相分析表明超显微金为8.7%，以上数据都说明该区金的粒度非常细小，应注意这部分细微粒金回收，否则将影响金的回收率。

2. 从金的解离情况可知样品中有部分金尚未解离，特别是精矿和氰渣提供的解离情况更说明金的解离度低，必须提高磨矿细度使包体金解离出来，才能提交金的回收率。

3. 本区金矿物的形态复杂，包体金占三分之一以上，矿物共生出现新的组合特征等都可能影响金的回收率。

参 考 文 献

- 〔1〕 姚敬勉，1982，地质与勘探 第8期
〔2〕 R.W.博依尔，1979，金的地球化学和金矿床，地质出版社

STUDY ON THE TECHNOLOGICAL MINERALOGY
OF THE ORES FROM THE—145 LEVEL GOLD
DEPOSIT OF ALTERED—ROCK TYPE IN
XINCHENG, LAIZHOU CITY

Du Xinjun

(*the Laboratories, Shandong Bureau of Geology
and Mineral Resources*)

Abstract

In this paper, the author discusses the mineralogical characteristics in terms of ore-dressing technology for the gold ores in the-145 level of the Xincheng gold deposit in Laozhou. A great amount of statistic work has revealed the mode of occurrence of the gold, its fineness, grain-size, forms and contact relationship with other minerals. Phase analysis was employed to determine the possibility of liberation of gold minerals. Finally, the author analyses the factors that would affect the recovery of gold, and points out that the gold recovery can be improved by increasing the fineness of grinding of the gold ores, owing to the small grain size of gold minerals and their complex contact relationship with other minerals.