维普资讯 http://www.cqvip.com

23－27 TD 91

吉林四平山门银矿工艺矿物学

张丽彦 汤集刚
（北京矿冶研究总院·100044）

A

运用综合方法对四平山门银矿进行了工艺矿物学研究，查明了矿石的物质成分、矿物种类、银矿物的嵌布特征以及银在各类矿物中的分配，并在此基础上阐明了影响选矿工艺的矿物学因素，为选矿流程结构的确立、产品方案的选择以及精矿品位的提高和有害杂质砷对质量影响程度的估计都起到了有效的指导作用。

关键词 银矿床，工艺矿物学，选矿

四平山门银矿是“八五”期间建成的银矿山。为初步设计提供依据的选矿试验是由我院完成的，相应进行了较详细的工艺矿物学研究。不仅为当时在短期内（3 个月）完成选矿试验并获得良好效果提供了切实的指导作用；而且还充实了已有的矿床矿物学的研究成果，是工艺矿物学研究的成功事例。现将主要研究结果报道于下。

1 矿石化学组成及矿物组成

本次试验所用矿样采自主矿体卧龙矿段。凡供鉴定用的样品皆为采自一、二中段各穿脉的典型块状标本，供定量分析用的样品则为按试验要求采取的综合大样。样品包括了矿区内各矿石类型，矿石性质及含银品位基本上与今后选厂所用矿石一致。对原矿进行了主要元素的化学定量分析，并运用综合手段对矿石中出现的各类矿物，进行了详细鉴定；在此基础上对银的物相和裸露情况做了分析，结果分别见表 1、2、3、4。

从以上各表数据可以看出：

（1）该矿石属低硫化物型银矿石，除达到综合利用指标的 Ag 和 Au 外，尚含有少量的 Zn、Pb、Cu。

（2）物相分析结果表明，银主要以硫化物形式存在，其次是自然银（包括少量金银矿及银金矿），脉石中含银极低；Zn、Pb 多呈硫化物相存在。

表 1 原矿主要化学组分分析结果

成分	Cu	Pb	Zn	Sb	Ag*	Au*	S	P	As
含量%	0.026	0.11	0.23	0.0042	146	0.63	1.01	0.03	0.0035
成分	C**	K_2O	Na_2O	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe	
含量%	3.02	0.86	0.032	64.81	4.25	13.43	0.52	2.32	

*，Ag、Au 含量单位为 g/t；**，其中包括有机碳 0.15%。

表 2 原矿中主要矿物组成及相对含量

矿物	黄铁矿	闪锌矿	黄铜矿	方铅矿	银矿物*	金
含量%	1.48	0.27	<0.1	0.10	0.1±	微量
矿物	石英	碳酸盐	绢云母	金红石	有机碳	其它**
含量%	60.30	24.00	10.00	0.15	0.15	余量

*银矿物计有银黝铜矿、含砷的银黝铜矿、辉铜银矿、硫锑铜银矿、砷硫锑铜银矿、砷硫铜银矿、硫铜银矿、辉银矿、自然银、金银矿、银金矿、汞金银膏、角银矿等，以银的硫盐矿物为主。

**包括长石、黑云母、绿泥石、重晶石、白铅矿和褐铁矿等。

本文于 1996 年收到，张启芳编辑。

维普资讯 http://www.cqvip.com

表 3 原矿中铅的化学物相分析结果

相 别	氧化铅	硫化铅	总 铅
含 量(%)	0.02	0.49	0.11
占有率(%)	18.18	81.82	100.00

表 4 原矿中锌的化学物相分析结果

相 别	氧化铅	硫化铅	总 铅
含量(%)	0.03	0.18	0.21
占有率(%)	14.29	85.71	100.00

表 5 原矿中银的物相及裸露情况分析结果*

矿物相	单体及裸露自然银中银	单体及裸露硫化物中银	综合硫化物包裹的银**	脉石英包裹的银
Ag(g/t)	11.00	130.00	4.00	0.50
占有率(%)	7.56	89.35	2.75	0.34

* 原矿磨碎至 90%(−325 目)作为分析样品。

** 包括方铅矿、闪锌矿、黄铁矿和黄铜矿中包裹的细粒硫化银及自然银。

(3)虽然矿石中常见有碳质,但有机碳含量并不高,矿石中碳主要是以无机碳即碳酸钙的方式存在。

考虑到金属矿物总量很少(表 2),且碳质多呈鳞片状与脉石连生,所以当进一步提高精矿品位时,易浮的碳质及由此而将部分连生脉石带入精矿的问题应予重视。

2 金银赋存状况及分配

对该类型的矿石而言,工艺矿物学研究的重点应放在各类银矿物的嵌布特征及银在各类矿物中的赋存情况和分配考查上面。

大量的显微镜和扫描电镜观察证明,各类银矿物很少有在脉石中呈单独的粒状嵌布的,而主要是以大小不等的粒状与其主硫化物(黄铁矿、方铅矿、闪锌矿为主)连生。换言之,在一定磨矿细度条件下,贱金属硫化物可以成为银矿物的主要载体。因此,在查明各类矿物中银(包括金,下同)含量基础上计算可得到对选矿极为有指导意义的数据。

2.1 综合脉石中银金含量

取试验入选粒度条件下所选得的尾矿作为代表性综合脉石进行氰化浸出以除去一切裸露的银金矿物后分析得到:Au 0.026g/t;Ag1.5g/t。

2.2 黄铁矿中银金含量

自综合样中提取的黄铁矿分析表明,它含有显著数量的银、金(表 6)。为进一步查明银金状态,对该样进行了细磨—氰化浸出的试验以确定氰化浸出后银金含量是否会随粒度的提高而不断降低,据此了解银金在其中的状态和大致确定某一磨矿细度条件下黄铁矿载银金的最低量,所得结果见表 7。从中可以看出,一般磨矿细度条件下(如 70%,−0.074mm)黄铁矿都含有显著数量的 Ag、Au。

表 6 黄铁矿中的金银分析结果

编号	Au (g/t)	Ag (g/t)	提 取 方 法
PY1	0.58	220	从标本中提取粗粒黄铁矿,不经处理直接分析
PY2	17.5	1517	用原矿综合样 0.28～0.45mm 级别经系统分离得黄铁矿,再用化学处理方法除去脉石、其它硫化物及裸露的银和金后分析。
PY3	未分析	2166.66	样品同 PY2,从重砂中用显微镜提取而不经化学处理。

表 7 不同粒度黄铁矿经氰化处理后银金含量

编号	氰化粒度(mm)	氰化渣含量(g/t)	
		Au	Ag
PY2	(0.28～0.45)	17.5	1517
PY4	70%(−0.074)	14.2	690
PY5	100%(−0.074)	12.3	310

2.3 方铅矿及闪锌矿含银量

由于不可能提取足够量的方铅矿和闪锌矿供金分析,所以只对其含银量进行了考查(表 8)。

表 8 方铅矿、闪锌矿含银量

项 目	载银总量 (g/t)	可氰化除去银量(g/t)	实际残银量 (g/t)
方铅矿	3171.00	3132.32	38.68
闪锌矿	1362.60	1135.50	227.10

维普资讯 http://www.cqvip.com

2.4 银金在矿石各主要矿物类中的分配

据矿物定量及各主要矿物类别中金银含量的分析结果，按不同目的可将银金在矿石中的分配情况表示于表 9、10。

表 9 银在矿石中的分配

矿物种类	矿物含量（%）	载银品位（g/t）	含银量（g/t）	分配（%）
黄铁矿	1.48	690	10.212	7.00
闪锌矿	0.27	227.10	0.613	0.42
方铅矿	0.11	38.68	0.043	0.03
综合脉石	97.95	1.50	1.469	1.01
综合银矿物	余量按原矿品位差减		133.663	91.54

表 10 金在矿石中的分配

矿物种类	矿物含量（%）	载银品位（g/t）	金属量（g/t）	分配（%）
黄铁矿	1.48	14.20	0.21016	33.36
综合脉石	97.95	0.029	0.02840	4.51
银矿物及Cu、Pb、Zn的硫化物	按原矿品位差减		0.39144	62.13

上述结果与表 5 银的物相分析结果对比存在一些差异，表现在物相分析所得到的单体和裸露的自然银及硫化银总量要比本平衡计算所得结果高而黄铁矿及铅锌硫化物所包裹的银要低。这是由于供物相分析的物料粒度很细（−200 目占 90%以上），因而各独立银矿物得以充分裸露和解离。就对工艺的指导而言，表 5 数据证明了矿石中绝大部分的银均以自然银和银的硫化物状态存在，而表 9 由于用了接近工艺磨矿细度条件下的载银数据，故可以说明一般入选粒度条件下银在各矿物中的包裹情况。若完全不考虑各主要硫化物中裸露银的问题，即采用未氰化除去裸露银的分析数据则可以反映入选粒度条件下各主要硫化物的载银情况，更有利于对浮选过程中银的行为及其对浮选指标的影响作出估计，结果见表 11，金的结果列于表 12。

表 11 各类矿物载银情况

矿物名称	矿物含量（%）	载银品位（g/t）	金属量（g/t）	分配（%）
黄铁矿	1.48	1517*	22.452	15.38
方铅矿	0.11	3171	3.488	2.39
闪锌矿	0.27	1362.6	3.679	2.52
综合脉石	97.95	1.5	1.4693	1.01
综合银矿及其它硫化物	余量按原矿品位差减		114.9117	78.70

* 采用 0.28～0.45mm 粒度条件下的载银数据，已除去该粒度条件下的裸露银，但仍载有进一步细磨、无法解离的细包裹态的银矿物。

表 12 各类矿物载金情况

矿物名称	矿物含量（%）	载银品位（g/t）	金属量（g/t）	分配（%）
黄铁矿	1.48	17.5*	0.2590	41.11
综合脉石	97.95	0.029	0.02840	4.51
银矿物及其它硫化物	余量按差额计算		0.3426	54.38

* 采用 0.28～0.45mm 级别除去了裸露金的黄铁矿分析数据，但仍有细包裹金。

这些结果表明：

（1）只有同时回收银的独立矿物和各种载银硫化物方能得到高的银金回收率。

（2）由于黄铁矿、方铅矿和闪锌矿载银量都低于 5000g/t，而它们（尤其是黄铁矿）在金属矿物中所占比例又大，所以进一步提高精矿中金银的品位时将会受到一定限制。

（3）如果抑制黄铁矿将造成改对金的回收率影响比对银的影响大得多。

3 选矿工艺过程的产品

3.1 主要矿物的解离情况

对磨矿细度为 0.074mm 各占 60%、65%、70%的三组磨矿产品进行了主要矿物的解离度测定。结果表明，银矿物的解离度较低，但若按单体加上它与其它硫化物的连生体一起计算，则可达 90%左右。因此，应注意对载银矿物（即贱金属硫化物）的回收

维普资讯 http://www.cqvip.com

方可得到较佳的银的回收率。现列出磨矿细度为－0.074mm 占 70%的解离度测定结果以说明该问题(表 13)。

表 13 原矿各筛级矿物解离度(%)

粒度(mm)	黄铁矿			方铅矿			闪锌矿			银矿物		
	单体	A	B	单体	A	B	单体	A	B	单体	C	A
>0.102	72.31	25.76	1.93	57.23	32.75	10.02	77.10	17.23	5.67	51.82	30.86	17.32
0.074～0.102	74.22	21.54	4.24	65.11	26.64	8.25	80.43	16.72	2.85	63.31	23.05	13.64
0.046～0.074	91.80	7.53	0.67	82.30	15.05	2.65	94.23	4.12	1.65	71.02	18.75	10.23
0.026～0.046	98.31	1.07	0.08	93.85	3.44	2.71	97.82	1.72	0.46	84.38	8.27	7.35
0.008～0.026	99.30	0.62	/	97.20	2.09	0.71	99.03	0.90	0.07	92.30	4.47	3.23
<0.008	99.50	0.50		99.51	0.49	/	99.75	0.25	/	97.21	1.79	1.00
总解离度	89.34			82.16			91.58			90.87		

注:A－与脉石的连生体;B－为脉石所包裹;C－与硫化物连生。

3.2 影响精矿质量的因素

对本次试验的基本要求是选出含银超过了 5000g/t 的精矿。原矿组成研究及平衡计算表明,要取得较高的银和金的回收率,必须同时回收银、金矿物及其载体矿物如黄铁矿、闪锌矿、方铅矿等。排除全部脉石影响后的各种银矿物及其它硫化物的银金含量,可视为混合浮选选出银精矿所能达到的最高的银金品位。

本工作可通过两个途径来进行。

第一种途径是利用原矿和定量脉石银金含量来推算。结果为:Ag＝7050g/t,Au＝29.35g/t。就是说从原矿的银金含量中减去脉石所占有的少量银金后所余部分视为银金矿物和金属硫化物所含的金银量,除以产率即得。

第二种途径是通过对精矿组成的定量求得。对含 Ag5517.97g/t 和含 Au26.24g/t 的精矿进行脉石矿物定量,脉石总量约 25%。据此可求得排除脉石影响后"纯净"的混合精矿含 Ag 约 7357g/t,Au 约 35g/t。

考虑到统计及分析误差,银精矿理想状态的最佳品位为 Ag7000～7300g/t,Au30～35g/t。

矿石中有脉石混入。因此,提高精矿品位的途径在于加强对脉石的抑制试验。据定量资料将脉石排除量与银精矿品位的提高的关系见图 1。

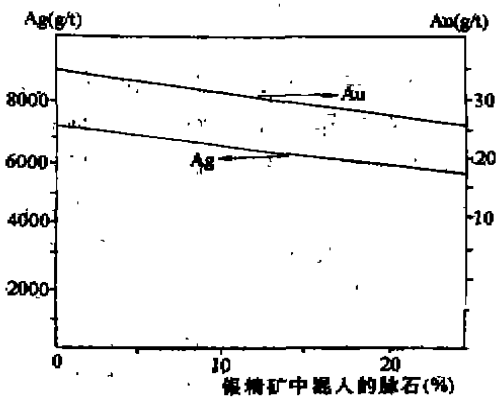

图 1 银精矿中脉石含量与 Au、Ag 品位关系

由于金属矿物中含 Ag 较低的黄铁矿含量多,所以当需要进一步提高精矿的含银量时,只有通过抑制黄铁矿才能实现。例如前述含 Ag 量 5517.97g/t 精矿中,黄铁矿约占 50%,若能将其大部分与银的硫化物分开,则精矿含银量可大幅度提高。由于黄铁矿含一定量的银和金,为保证总的回收

维普资讯 http://www.cqvip.com

率，它是不允许丢弃的。

为此，选矿进行了分步浮选试验，即利用银矿物与载银矿物浮选特性的不同，采用选择性好的捕收剂和分步浮选的方法，将含银高的单体选出，然后再用混合捕收剂浮选含银较低的黄铁矿、闪锌矿等矿物，获得两种产品，第一种产品含银可超过 10000g/t，第二种精矿含银约 3000g/t，总回收率不变。

3.3 有害杂质砷的影响评价

考查表明，矿石中的砷多与银矿物有关，其中最主要的是银黝铜矿和低银黝铜矿，此外有砷硫锑铜银矿、砷硫铜银矿；非银矿物中只有硫砷铜矿，量很少。

由于砷与银的关系密切，所以矿石中的砷将大部分进入银精矿，这是无疑的，需要对其影响程度作出估计。

最简便的方法是据元素状态研究结果从量上确认砷与银的密切相关性。对此，通过对比原矿及精矿中的 As/Ag 值就可以得到证明。

原矿中 As/Ag＝0.0027/0.0146≈0.240

精矿中 As/Ag＝0.09/0.5117≈0.176

平均值 0.208

数据表明，原矿和精矿中 As/Ag 值是比较接近的，就是说，浮选过程中砷与银将保持相对固定的比例进入精矿。这种关系为推算银精矿中银品位与含砷量之间的关系提供了基础。结果见图 2。

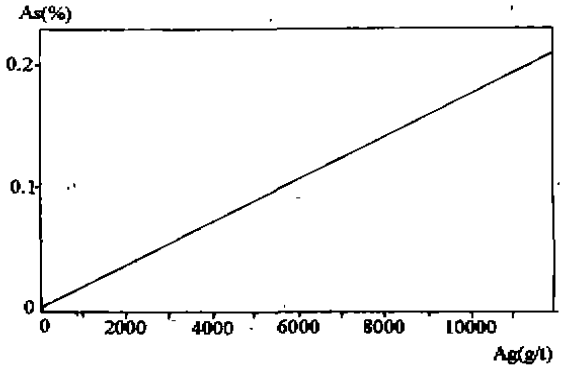

图 2 银精矿中 Ag 品位与 As 含量的关系

从中可以看出，通过混合浮选得到的银精矿含 As 约 0.12%；若采用分步浮选先选出部分含 Ag 达 10000～12000g/t 的精矿时，精矿含 As 可以达到 0.2%左右（由于矿物构成将发生变化，所以不可能估计出确切数字）。显然，银精矿含 As 问题不足考虑。

4 结论

紧密围绕选矿工艺研究中最为关注的问题来开展工作，可以得到对确定流程结构和最佳工艺条件极为有指导价值的一系列工艺矿物学参数，从而可以加快试验进程，并对一些重要问题做出予测，避免工艺试验中的盲目摸索。本工作结果不仅对当时的试验到了指导作用，而且对将来的矿业生产也有参考价值。

TECHNICAL MINERALOGY OF SHANMEN SILVER DEPOSIT, JILIN

Zhang Liyan, Tang Jigang

Based on technical mineralogy study of Shanmen silver deposit in Jilin province by using comprehensive methods, material composition and mineral kinds of ore, distributive features and quantity of silver in the various mineral were made. The factors effecting mineral dressing technique were expounded, and it is effective guide for determining flow-sheet of mineral dressing, selecting product scheme, raising concentrate grade and estimating affect degree of harmful material arsenic.

Key Words: silver deposit, technical mineralogy, mineral dressing