

银的矿物学研究及其在金属提取中的意义

C. 加斯帕里尼

象其它的金属一样,影响银冶炼的矿物学因素如下:含银矿物特征、含银矿物的粒度、它们的基质矿物特征、含银矿物与其它矿物共生特点。在这些因素中,含银矿物特征常常是影响元素回收过程的主要因素。这恰好与冶金中回收金的情况相反,基质矿物及其粒度是影响金的回收过程的主要因素。由于银可呈主要的或次要的元素,以不同的数量存在于200多种矿物之中,因此,银的矿物学问题十分复杂,这也是出现上述情况的主要原因。

象周期表中1—B族的任何一个元素一样,银与同族的另两个元素铜和金形成广泛的固溶体。银以共价键与硫、硒、碲化合,以离子键与氯、溴、碘化合。在液体混合物结晶过程中所允许的温度和压力条件下,在许多情况下,银也可以硫化物、硫酸盐和自然元素的形式作为一个次要元素与砷、锑、铅、铋、锡、汞、铟、铊和锗化合。银所能取代的阳离子范围比铜和金小,这些阳离子是铁、锰、锌,可能还有镍和钴。

虽然,大量的含银矿物在许多文献中都有较详细的描述,然而,有少部分含银矿物报导得不十分准确。作者的实践,主要是利用矿石显微镜、电子探针、电子显微镜完成的,银是以固溶体的形式取代硫化物和硫酸盐矿物中的铜,以及取代碲和硒矿物中的铜、金或者某些铂族元素。银一般很少以固溶体形式存在于闪锌矿、辉钼矿、黄铁矿和方铅矿之中;其总量至少在电子探针(0.005—0.01%)或其它常规分析仪器的检测极限内。银与一些矿物共生,而不呈固溶体状态时,大部分银,甚至全部银都存在于在平均放大100—200倍的显微镜下难以观察到的细粒分散组分中。

研究方法

测定含银矿样中的银时,需要特别细致,并应注意影响准确性的一些因素:1).由于银容易进入许多金属矿物的晶格,因此,甚至在同一光片上,通常都可以看到银以不同数量存在于一种以上的矿物中;2).对特殊的矿石,银可能存在于一些矿物中,但通常不包括次生矿物,例如次生铜矿物,象斑铜矿、辉铜矿和铜兰;3).普通的含银矿物,象黝铜矿,在这种矿石中,甚至于矿层中都不一定含有银;4).对含量低的矿物中的银,用传统的方法——矿石显微镜或X—射线衍射法都不容易检测出来。

在近10—15年,使用电子探针和电子显微镜对上述问题进行了探讨,但是仍然还有些问题没有解决。

银矿石中的矿物学研究包括以下内容：

1) .矿石光片详细的显微镜鉴定，以寻找一些具有含银矿物光学特性的矿物颗粒；

2) .用电子探针和电子显微镜鉴定这些矿物。

3) .由于定形仪器的检测极限很低，当处理银含量低的样品时，不用电子显微镜。而用电子探针就可以定量测定银的含量。对在 $\text{AgL}\alpha$ 波长范围内所研究的矿粒辐射计数与在同样情况下组分已知的含银标准辐射计数进行比较，这是传统的作法。用电子探针测定少量的银（在1%以下），当涉及到平均原子序数大的矿物（方铅矿、铅和铋的碳酸盐类）时，这是一种特别准确的作法，原因如下：

1) .对波长范围较小的衍射晶体或其它晶体在 $\text{AgL}\alpha$ 波长内的光谱形状，用数据处理机处理时，需要在峰值两端测定本底；如果测定得不准确，很可能将这些测定错误的数值作为峰值计数。

2) .由于元素（铅、铋）产生矩阵效应，使得平均原子序数大的银矿物的本底值一般较高。同时，可将这些值作为峰值计数。在上述情况下，通过汇集未知矿物中银的峰值计数，可获得大多数有效的银的测定值。例如，方铅矿，在不调正光谱仪方位的情况下，可利用无银方铅矿的辐射计数作为本底。

银的矿物学及银的分布

含银矿物列于表1、2和3。某些极普通的含银矿物——螺状硫银矿、辉银矿、银金矿、浓红银矿，在这些矿物中银的含量不定，有的可高达34.8%。次生铜矿物，象斑铜矿、辉铜矿、铜兰含银量较少，可达5%。Riley (1974) 和Knights (1982) 曾报导澳大利亚某地的矿石以及Ilkka Tuokko (1982) 曾报导芬兰的矿石中被污染的含银黄铜矿。然而，Chen (1980) 曾报导，一般情况下，只有在邻近的自然银或其它银矿物分散时，才能在含银黄铜矿的表面形成硫化银。他们推测，上面的硫化银是在磨矿、抛光之后二次加工过程中产生的。矿物表面的硫化银复盖层，起因于磨矿后的表面扩散和变

表 1 银为主要元素的含银矿物 (* 常见矿物)

*螺状硫银矿 Ag_2S	银镍黄铁矿 $(\text{Fe}, \text{Ni})_8\text{AgS}_8$
辉硒银矿 Ag_4SeS	辉银矿 Ag_2S
杂硫银铋矿 $\text{Pb}(\text{Ag}, \text{Cu})_2\text{Bi}_4\text{S}_8$	银铁矾 $\text{AgFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$
六方铋银矿 Ag_8Sb	阿硫铁银矿 AgFe_2S_3
硫铋银铅矿 $\text{PbAgSb}_3\text{S}_8$	硫银锗矿 Ag_8GeS_6
铋银矿 (Ag, Sb)	中银黄铁矿 $\text{Ag}_3\text{Fe}_7\text{S}_{11}$
硫铋银矿 $\text{Ag}(\text{Bi}, \text{Sb})\text{S}_2$	黑银锰矿 $(\text{Ag}, \text{Ba}, \text{Ca}, \text{Mn}\cdots)\text{Mn}_3\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
硫铋铜银矿 $\text{Ag}_6\text{CuBiS}_4$	硫汞银铜矿 $\text{Cu}_9\text{Ag}_5\text{HgS}_9$
银铅铁矾 $(\text{Pb}, \text{Ag})\text{Fe}_{3-8}(\text{SO}_4)_{2-4}(\text{OH})_{8-12}$	本硫铋银矿 $\text{Pb}_2(\text{Ag}, \text{Cu})_2\text{Bi}_4\text{S}_9$

板硫铋铜铅矿 $\text{Pb}_2(\text{Cu}, \text{Ag})_3\text{Bi}_5\text{S}_{11}$	林根巴矿 $\text{Pb}_6(\text{Ag}, \text{Cu})_2\text{As}_4\text{S}_{13}$
别捷赫琴矿 $(\text{Cu}, \text{Fe})_{11}(\text{Pb}, \text{Ag})\text{S}_7$	硫砷银铅矿 PbAgAsS_3
银氯铅矿 $\text{Pb}_2\text{AgCl}_3(\text{F}, \text{OH})_2$	硫铋银矿 AgBiS_2
硫锑银矿 $\text{Ag}_7(\text{As}, \text{Sb})\text{S}_6$	麦金斯特里矿 $\text{Cu}_{8+x}\text{Ag}_{1.2-x}\text{S}$
氯铜银铅矿 $\text{Pb}(\text{Cu}, \text{Ag})\text{Cl}_2(\text{OH})_2\text{H}_2\text{O}$	辉锑银矿 AgSbS_2
溴银矿 AgBr	黄碘银矿 $(\text{Ag}, \text{Cu})\text{I}$
硫银锡矿 $\text{Ag}_8(\text{Se}, \text{Ge})\text{S}_6$	银汞矿 Ag_2Hg_3
*角银矿 AgCl	杂碲金银矿 $(\text{Ag}, \text{Au})\text{Te}$
杂银铜矿(含银铋矿物)	自然银 Ag
杂硫银铜矿 Cu_4AgS	硒银矿 AgSe
硒铊银铜矿 $(\text{Cu}, \text{Tl}, \text{Ag})_2\text{Se}$	针硫铋铜铅矿 $\text{Pb}_7(\text{Cu}, \text{Ag})_2\text{Bi}_6\text{S}_{17}$
辉锑银铅矿 $\text{Ag}_3\text{Pb}_2\text{Sb}_3\text{S}_8$	砷铜银矿 $(\text{Cu}, \text{Ag})_4\text{As}_3$
锑银矿 Ag_3Sb	角银矿 AgCl
*银金矿 (Au, Ag)	硫铋银矿 $\text{Ag}_{12.5}\text{Pb}_{15}\text{Bi}_{20.5}\text{S}_{52}$
氯溴银矿 $\text{Ag}(\text{Br}, \text{Cl})$	银毛矿 $\text{Pb}_5\text{Ag}_2\text{Sb}_6\text{S}_{16}$
粒碲银矿 AgTe	斜方汞银矿 Ag_3Hg_2
埃硫铋银矿 $\text{Ag}_{1.75}\text{Pb}_{1.75}\text{Bi}_{3.75}\text{S}_9$	块硫铋银矿 AgSb_3S_5
硒铜银矿 AgCuSe	硫砷铜银矿 $(\text{Ag}, \text{Cu})_{16}\text{As}_2\text{S}_{11}$
硒金银矿 Ag_3AuSe_2	碲金银矿 Ag_3AuTe_2
辉锑银铅矿 $\text{Ag}_2\text{Pb}_5\text{Sb}_6\text{S}_{13}$	杂方辉锑银矿 $\text{Ag}_{24}\text{Sb}_2\text{S}_{16}$
银黝铜矿 $\text{Cu}_3(\text{Ag}, \text{Sb})\text{S}_3$	硫锑铜银矿 $(\text{Ag}, \text{Cu})_{16}\text{Sb}_2\text{S}_{11}$
柱硫锑银矿 $\text{Ag}_5\text{Pb}_3\text{Sb}_5\text{S}_{12}$	淡红银矿 Ag_3AsS_3
富硫银铁矿 $\text{Fe}, \text{Ag}, \text{S}$	浓红银矿 Ag_3SbS_3
辉铋银铅矿 $\text{Bi}_{11}\text{Pb}_5\text{Ag}_3\text{S}_{24}$	火红银矿 Ag_3SbS_3
碲银矿 Ag_2Te	辉锑银铅矿 $\text{Ag}_2\text{Pb}_3\text{Sb}_6\text{S}_{13}$
银黄锡矿 $\text{Ag}_2\text{SnFeS}_4$	拉硫砷铅矿-I $(\text{Pb}, \text{Tl})_3\text{As}_4(\text{As}, \text{Ag})\text{S}_{10}$
银钠盐 $(\text{Na}, \text{Ag})\text{Cl}$	铟黄锡矿 $(\text{Cu}, \text{Ag})_2(\text{In}, \text{Sn})(\text{Zn}, \text{Fe})\text{S}_4$
硫砷铊铅矿 $(\text{Pb}, \text{Tl})(\text{Cu}, \text{Ag})\text{As}_5\text{S}_{10}$	硫锑锰银矿 $\text{Ag}_4\text{MnSb}_2\text{S}_6$
因卡矿 $(\text{Pb}, \text{Ag})_4\text{FeSn}_4\text{Sb}_2\text{S}_{13}$	六方汞银矿 $\text{Ag}_{1.1}\text{Hg}_{0.9}$
碘银矿 AgI	针硫铋银矿 AgBiS_2
辉铜银矿 Ag_3CuS_2	块辉铋银矿 $\text{PbAg}_4\text{Bi}_4\text{S}_9$
斜方碲金矿 AuAgTe_4	汞黝铜矿
基特利矿 $\text{Hg}, \text{Ag}, \text{S}, \text{Cu}, \text{Se}$	银汞矿 (Ag, Hg)
方砷铜银矿 Cu_2AgAs	银黄钾铁矾 $\text{Ag}_2\text{Fe}_5(\text{OH})_{12}(\text{SO}_4)_4$
硫砷汞银矿 AgHgAsS_3	斜硫砷银矿 AgAsS_2
拉罗矿 $(\text{Cu}, \text{Ag})_{21}(\text{Pb}, \text{Bi})_2\text{S}_{13}$	黄锡矿 III $\text{CuAgSn}_2\text{S}_4$

黄锡矿Ⅳ (含Sn—Ag—Zn的黝铜矿)

脆银矿 Ag_5SbS_4

水铋银矿 $\text{Ag} \cdot \text{CuO} \cdot \text{FeO} \cdot \text{Sb}_2\text{O}_5 \cdot \text{S}$

银铁黝铜矿 $(\text{Ag}, \text{Cu}, \text{Fe})_3\text{SbS}_3$

六方硒银矿 $\text{Ag}_{5-x}\text{Te}_3$

硫铁银矿 AgFe_2S_3

黝铜矿 $(\text{Cu}, \text{Ag}, \text{Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$

三方硫砷银矿 AgAsS_2

硫金银矿 Ag_3AuS_2

维硫铋铅银矿 $\text{Ag}_{1.25}\text{Pb}_2\text{Bi}_{3.25}\text{S}_{7.5}$

沃伦斯基矿 $\text{AgBi}_{1.6}\text{Te}_2$

黄银矿 Ag_3AsS_3

硫铜银矿 $\text{Cu}_{1+x}\text{Ag}_{1-x}\text{S}$

针硒金银矿 $(\text{Au}, \text{Ag})\text{Te}_4$

硒银钯矿 $(\text{Pd}, \text{Ag}, \text{Pb}, \text{Bi})_{4+x}(\text{Te}, \text{Se})$

砷黝铜矿 $(\text{Cu}, \text{Ag}, \text{Fe})_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$

表 2 含银矿物中除银外还含有其它主要元素的矿物

高Pb—Bi—As—Sb含银矿物

硫铋银铅矿 $\text{PbAgSb}_3\text{S}_6$

硫铋铋银矿 $\text{Ag}(\text{Bi}, \text{Sb})\text{S}_2$

辉铋铅银矿 $\text{Ag}_3\text{Pb}_2\text{Sb}_3\text{S}_8$

辉铋银铅矿 $\text{Ag}_3\text{Pb}_5\text{Sb}_8\text{S}_{13}$

柱硫铋银矿 $\text{Ag}_5\text{Pb}_3\text{Sb}_5\text{S}_{12}$

硫砷铋银矿 $(\text{Pb}, \text{Ti})(\text{Cu}, \text{Ag})\text{AsS}_{10}$

因卡矿 $(\text{Pb}, \text{Ag})_4\text{FeSn}_4\text{Sb}_2\text{S}_{13}$

辉砷银铅矿 $\text{Pb}_6(\text{Ag}, \text{Cu})_2\text{As}_4\text{S}_{13}$

硫砷银铅矿 PbAgAsS_3

银毛矿 $\text{Pb}_5\text{Ag}_2\text{Sb}_6\text{S}_{15}$

辉铋银铅矿 $\text{Ag}_2\text{Pb}_3\text{Sb}_6\text{S}_{13}$

拉硫砷银矿 $(\text{Pb}, \text{Ti})_3\text{As}_4(\text{As}, \text{Ag})\text{S}_{10}$

高As—Sb含银矿物

六方铋银矿 Ag_6Sb

铋银矿 (Ag, Sb)

硫铋砷银矿 $\text{Ag}_7(\text{As}, \text{Sb})\text{S}_6$

铋银矿 Ag_3Sb

银黝铜矿 $\text{Cu}_3(\text{Ag}, \text{Sb})\text{S}_3$

硫砷汞银矿 AgHgAsS_3

辉铋银矿 AgSbS_2

砷铜银矿 $(\text{Cu}, \text{Ag})_4\text{As}_3$

块硫铋银矿 AgAb_3S_5

硫铋铜银矿 $(\text{Ag}, \text{Cu})_{16}\text{Sb}_2\text{S}_{11}$

硫砷铜银矿 $(\text{Ag}, \text{Cu})_{16}\text{As}_2\text{S}_{11}$

杂方辉铋银矿 $\text{Ag}_{24}\text{Sb}_2\text{S}_5$

浓红银矿 Ag_3SbS_3

火红银矿 Ag_3SbS_3

淡红银矿 Ag_3AsS_3

硫铋锰银矿 $\text{Ag}_4\text{MnSb}_2\text{S}_6$

斜硫砷银矿 AgAsS_2

脆银矿 Ag_5SbS_4

水铋银矿 $\text{Ag} \cdot \text{CuO} \cdot \text{FeO} \cdot \text{Sb}_2\text{O}_5 \cdot \text{S}$

银铁黝铜矿 $(\text{Ag}, \text{Cu}, \text{Fe})_3\text{SbS}_3$

硫砷铜矿 $(\text{Cu}, \text{Ag}, \text{Fe})_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$

黝铜矿 $(\text{Cu}, \text{Ag}, \text{Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$

三方硫砷银矿 AgAsS_2

黄银矿 Ag_3AsS_3

高Pb—Bi含银矿物

硫铋铜银矿 $\text{Ag}_8\text{CuBiS}_4$

杂硫银铋矿 $\text{Pb}(\text{Ag}, \text{Cu})_2\text{Bi}_4\text{S}_8$

银铅铁矾 $(\text{Pb}, \text{Ag})\text{Fe}_{3-6}(\text{SO}_4)_{2-4}$
 $(\text{OH})_{6-12}$

本硫铋银矿 $\text{Pb}_2(\text{Ag}, \text{Cu})_2\text{Bi}_4\text{S}_9$

板硫铋铜银矿 $\text{Pb}_2(\text{Ag}, \text{Cu})_3\text{Bi}_5\text{S}_{11}$

别捷赫 琴矿 $(\text{Cu}, \text{Fe})_{11}(\text{Pb}, \text{Ag})\text{S}_7$

银氯铅矿 $\text{Pb}_2\text{AgCl}_3(\text{F}, \text{OH})_2$

氯铜银铅矿 $\text{Pb}(\text{Cu}, \text{Ag})\text{Cl}_2(\text{OH})_2 \cdot$

H_2O

杂银铜矿 (铋的含银矿物)

埃硫铋银矿 $\text{Ag}_{1.75}\text{Pb}_{2.5}\text{Bi}_{2.75}\text{S}_9$

辉铋银铅矿 $\text{Bi}_{11}\text{Pb}_5\text{Ag}_3\text{S}_{24}$

拉罗矿 $(\text{Cu}, \text{Ag})_{21}(\text{Pb}, \text{Bi})_2\text{S}_{13}$

硫铋银矿 AgBiS_2

针硫铋铜铅矿 $\text{Pb}_7(\text{Cu}, \text{Ag})_2\text{Bi}_6\text{S}_{17}$

硫铋铅银矿 $\text{Ag}_{12.5}\text{Pb}_{15}\text{Bi}_{20.5}\text{S}_{52}$

针硫铋银矿 AgBiS_2

块辉铋铅银矿 $\text{PbAg}_4\text{Bi}_4\text{S}_9$

硒银钯矿 $(\text{Pd}, \text{Ag}, \text{Pb}, \text{Bi})_{4+x}(\text{Te}, \text{Se})$

维硫铋铅银矿 $\text{Ag}_{1.25}\text{Pb}_2\text{Bi}_{3.25}\text{S}_{7.5}$

沃伦斯基矿 $\text{AgBi}_{1.6}\text{Te}_2$

高Mn含银矿物

黑银锰矿 $(\text{Ag}, \text{Ba}, \text{Ca}, \text{Mn}\cdots\cdots) \cdot$

$\text{Mn}_3\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

硫铋锰银矿 $\text{Ag}_4\text{MnSb}_2\text{S}_6$

高Fe含银矿物

银镍黄铁矿 $(\text{Fe}, \text{Ni})_8\text{AgS}_8$

银铁矾 $\text{AgFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$

阿硫铁银矿 AgFe_2S_3

中银黄铁矿 $\text{Ag}_3\text{Fe}_7\text{S}_{11}$

别捷赫矿 $(\text{Cu}, \text{Fe})_{11}(\text{Ag}, \text{Pb})\text{S}_7$

富硫银铁矿 $(\text{Fe}, \text{Ag}, \text{S矿物})$

银黄锡矿 $\text{Ag}_2\text{SnFeS}_4$

因卡矿 $(\text{Pb}, \text{Ag})_4\text{FeSn}_4\text{Sb}_2\text{S}_{13}$

铜黄锡矿 $(\text{Cu}, \text{Ag})_2(\text{In}, \text{Sn})(\text{Zn}, \text{Fe})\text{S}_4$

银黄钾铁矾 $\text{Ag}_2\text{Fe}_5(\text{OH})_{12}(\text{SO}_4)_4$

硫铁银矿 AgFe_2S_3

水铋银矿 $\text{Ag} \cdot \text{CuO} \cdot \text{FeO} \cdot \text{Sb}_2\text{O}_5 \cdot \text{S}$

银铁黝铜矿 $(\text{Ag}, \text{Cu}, \text{Fe})_3\text{SbS}_3$

高Cu含银矿物

杂硫银铋矿 $\text{Pb}(\text{Ag}, \text{Cu})_2\text{Bi}_4\text{S}_8$

硫铋铜银矿 $\text{Ag}_6\text{CuBiS}_4$

硫汞铜银矿 $\text{Cu}_6\text{Ag}_5\text{HgS}_9$

本硫铋银矿 $\text{Pb}_2(\text{Ag}, \text{Cu})_2\text{Bi}_4\text{S}_9$

板硫铋铜铅矿 $\text{Pb}_2(\text{Cu}, \text{Ag})_3\text{Bi}_5\text{S}_{11}$

别捷赫矿 $(\text{Cu}, \text{Fe})_{11}(\text{Ag}, \text{Pb})\text{S}_7$

杂硫银铜矿 Cu_4AgS

硒铋银铜矿 $(\text{Cu}, \text{Ti}, \text{Ag})_2\text{Se}$

硒铜银矿 AgCuSe

银黝铜矿 $\text{Cu}_3(\text{Ag}, \text{Sb})\text{S}_3$

硫铋铋铅矿 $(\text{Pb}, \text{Ti})(\text{Cu}, \text{Ag})\text{As}_5\text{S}_{10}$

辉铜银矿 Ag_3CuS_2

基特利矿 $(\text{Hg}, \text{Ag}, \text{S}, \text{Cu}, \text{Se矿物})$

方砷铜银矿 Cu_2AgAs

拉罗矿 $(\text{Cu}, \text{Ag})_{21}(\text{Pb}, \text{Bi})_2\text{S}_{13}$

林根巴矿 $\text{Pb}_6(\text{Ag}, \text{Cu})_2\text{As}_4\text{S}_{13}$

麦金斯特里矿 $\text{Cu}_{0.3+x}\text{Ag}_{1.2-x}\text{S}$

针硫铋铜铅矿 $\text{Pb}_7(\text{Cu}, \text{Ag})_2\text{Bi}_6\text{S}_{17}$

砷铜银矿 $(\text{Cu}, \text{Ag})_4\text{As}_3$

硫砷铜银矿 $(\text{Ag}, \text{Cu})_{16}\text{As}_2\text{S}_{11}$

硫铋铜银矿 $(\text{Ag}, \text{Cu})_{16}\text{Sb}_2\text{S}_{11}$

铜黄锡矿 $(\text{Cu}, \text{Ag})_2(\text{In}, \text{Sn})(\text{Zn}, \text{Fe})\text{S}_4$

汞黝铜矿

黄锡矿Ⅲ $\text{CuAgSn}_2\text{S}_4$

黄锡矿Ⅳ $(\text{Sn}-\text{Ag}-\text{Zn黝铜矿})$

水铋银矿 $\text{Ag} \cdot \text{CuO} \cdot \text{FeO} \cdot \text{Sb}_2\text{O}_5 \cdot \text{S}$

银铁黝铜矿 $(\text{Ag}, \text{Cu}, \text{Fe})_3\text{SbS}_3$

硫铜银矿 $\text{Cu}_{1+x}\text{Ag}_{1-x}\text{S}$

砷黝铜矿 $(\text{Cu}, \text{Ag}, \text{Fe})_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$

黝铜矿 $(\text{Cu}, \text{Ag}, \text{Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$

高Sn含银矿物

硫银锡矿 $\text{Ag}_8(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_6$

银黄锡矿 $\text{Ag}_2\text{SnFeS}_4$

因卡矿 $(\text{Pb}, \text{Ag})_4\text{FeSn}_4\text{Sb}_2\text{S}_{13}$

铜黄锡矿 $(\text{Cu}, \text{Ag})_2(\text{In}, \text{Sn})(\text{Zn}, \text{Fe})\text{S}_4$

黄锡矿—Ⅲ $\text{CuAgSn}_2\text{S}_4$

黄锡矿—Ⅳ $\text{Sn}-\text{Ag}-\text{Zn黝铜矿}$

高Ge含银矿物

硫银锗矿 $4\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{GeS}_2$

硫银锡矿 $\text{Ag}_8(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_6$

高Hg含银矿物

硫汞银铜矿 $\text{Cu}_9\text{Ag}_5\text{HgS}_9$
基特利矿 Hg, Ag, S, Cu, Se 矿物
硫砷汞银矿 AgHgAsS_3
银汞矿 Ag_2Hg_3
斜方银汞矿 Ag_3Hg_2
六方汞银矿 $\text{Ag}_{1.1}\text{Hg}_{0.9}$
银汞矿 (Ag, Hg)
汞黝铜矿

高Tl或高In含银矿物

硒铊银铜矿 $(\text{Cu, Tl, Ag})_2\text{Se}$
硒铊银铅矿 $(\text{Pb, Tl})(\text{Cu, Ag})\text{As}_5\text{S}_{10}$
拉硫铊银矿— $\text{I}(\text{Pb, Tl})_3\text{As}_4(\text{As, Ag})\text{S}_{10}$
铟黄锡矿 $(\text{Cu, Ag})_2(\text{In, Sn})(\text{Zn, Fe})\text{S}_4$

高S含银矿物

螺旋状硫银矿 Ag_2S
银镍黄铁矿 $(\text{Fe, Ni})_8\text{AgS}_8$
辉银矿 Ag_2S
阿硫铁银矿 AgFe_2S_3
中银黄铁矿 $\text{Ag}_3\text{Fe}_7\text{S}_{11}$
杂硫银铜矿 Cu_4AgS
富硫银铁矿 (Fe, Ag, S 矿物)
辉铜银矿 $(\text{Ag}_3\text{CuS}_2)$
麦金斯特里矿 $\text{Cu}_{0.8+x}\text{Ag}_{1.2-x}\text{S}$
硫铁银矿 AgFe_2S_3
硫铜银矿 $\text{Cu}_{1+x}\text{Ag}_{1-x}\text{S}$
硫金银矿 Ag_3AuS_2

高Te含银矿物

粒碲银矿 AgTe
碲银矿 Ag_2Te

斜方碲金矿 AuAgTe_4
杂碲金银矿 $(\text{Au, Ag})\text{Te}$
碲金银矿 Ag_3AuTe_2
六方碲银矿 $\text{Ag}_{5-x}\text{Te}_3$
针碲金银矿 AuAgTe_2
碲银钯矿 $(\text{Pd, Ag, Pb, Bi})_{4-x}(\text{Te, Se})$
沃伦斯基矿 $\text{AgBi}_{1.6}\text{Te}_2$

高Se含银矿物

辉硒银矿 Ag_4SeS
硒铊银铜矿 $(\text{Cu, Tl, Ag})_2\text{Se}$
硒铜银矿 AgCuSe
硒金银矿 Ag_3AuSe_2
基特利矿 (Hg, AgS, Cu, Se 矿物)
硒银矿 Ag_2Se
碲银钯矿 $(\text{Pd, Ag, Pb, Bi})_{4+x}(\text{TeSe})$

高Cl—Br—I—F—OH的含银矿物

银铅铁矾 $(\text{Pb, Ag})\text{Fe}_{3-6}(\text{SO}_4)_{2-4}(\text{OH})_{8-12}$
银铁矾 $\text{AgFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$
黑银锰矿 $(\text{Ag, Ba, Ca, Mn} \cdots) \text{Mn}_3\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
银氯铅矿 $\text{Pb}_2\text{AgCl}_3(\text{F, OH})_2$
氯铜银铅矿 $\text{Pb}(\text{Cu, Ag})\text{Cl}_2(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
溴银矿 AgBr
角银矿 AgCl
氯溴银矿 $\text{Ag}(\text{Br, Cl})$
银钠盐 $(\text{Na, Ag})\text{Cl}$
碘银矿 AgI
黄碘银矿 $(\text{Ag, Cu})\text{I}$
银黄钾铁矾 $\text{Ag}_2\text{Fe}_5(\text{OH})_{12}(\text{SO}_4)_4$

表 3 银的含量在5%—电子探针可测下限(约0.01%)的矿物

碲铅矿 PbTe	硒铜矿 Cu_2Se
褐硫砷铅矿 $\text{Pb}_{12}\text{As}_{16}\text{S}_{36}$	辉铋矿 Bi_2S_3

斑铜矿 Cu_5FeS_4	斜方辉铋铅矿 $\text{CuPb}_{18}\text{Sb}_7\text{S}_{24}$
硫锑铅矿 $\text{Pb}_{2-5}\text{Sb}_{2-4}\text{S}_{5-11}$	亮碲金矿 Au_2Te_3
车轮矿 PbCuSbS_3	叶碲金矿 $\text{Pb}_5\text{Au}(\text{Te}, \text{Sb})_4\text{S}_{5-8}$
碲金矿 AuTe_2	自然铋 Bi
辉铜矿 Cu_2S	自然铜 Cu
硫铜铁矿 CuFeS_2	金然金 Au
硫铜锑矿 CuSbS_2	自然碲 Te
辰砂 HgS	硒铜镍矿 $(\text{Ni}, \text{Cu}, \text{Pb})\text{Se}_2$
硒铅矿 PbSe	斜硫锑铅矿 $\text{Pb}_5\text{Sb}_8\text{S}_{17}$
硫铂矿 PtS	铅钯矿 Pd_3Pb_2
斜方辉铋铅矿 $\text{Pb}_2\text{Bi}_2\text{S}_5$	钯铜金矿 $(\text{Cu}, \text{Pd})_3\text{Au}_2$
铜兰 CuS	硒斜方辉铅铋矿 $\text{Pb}_2\text{Bi}_2(\text{S}, \text{Se})_5$
辉铋铜矿 $\text{CuBiS}_2(?)$	硒硫铋锑铅矿 $\text{Pb}_2(\text{Bi}, \text{Sb})_2(\text{S}, \text{Se})_5$
园柱锡矿 $\text{Pb}_3\text{Sn}_4\text{Sb}_2\text{S}_{14}$	板硫锑铅矿 $\text{Pb}_9\text{Sb}_8\text{S}_{21}$
兰辉铜矿 Cu_{2-x}S	黄锡矿 $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$
硫砷铜矿 Cu_3AsS_4	辉锑矿 Sb_2S_3
块硫锑铜矿 $\text{Cu}_3(\text{Sb}, \text{As})\text{S}_4$	硫锡铅矿 PbSnS_2
辉锑锡铅矿 $\text{Pb}_5\text{Sn}_3\text{Sb}_2\text{S}_{14}$	碲银钯矿 $(\text{Pd}, \text{Ag}, \text{Pb}, \text{Bi})_{4+x}(\text{Te}, \text{Se})$
方铅矿 PbS	砷黝铜矿 $(\text{Cu}, \text{Fe})_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$
硫砷锑铅矿 $\text{Pb}_5(\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_8$	黝铜矿 $(\text{Cu}, \text{Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$
硫锑铋铅矿 $\text{Pb}_2(\text{Bi}, \text{Sb})_2\text{S}_5$	红硒铜矿 Cu_3Se_2
斜方碲金矿 AuTe_2	叶碲铋矿 $\text{Bi}_{2+x}\text{Te}_{3-x} (?)$
硒铜兰 CuSe	硫铋铜矿 Cu_3BiS_3
脆硫锑铅矿 $\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$	硫硒铅铋矿 $\text{Bi}_6\text{Pb}_5(\text{Se}, \text{S})_{14}$
辉砷铜矿 CuAsS	辉锑铅矿 $\text{Pb}_6\text{Sb}_{14}\text{S}_{27}$
碲镍矿 NiTe_2	

化, 这种复盖层将影响银的提取, 对这个问题, 在银的冶金学中进行了详细地讨论。

表4 概括了银的矿床、银矿物共生体及其产地、基质矿物、一般矿物、典型元素和提取的元素。

按照Boyle (1968) 的意见, 深成网状与层状矿脉中银最集中, 显然, 由于浅层的氧化作用次生银的富集体可能出现在这些矿脉的表层。银也往往存在于含金砂矿、含金矿脉中。

银有时局部富集在一定类型的含铜页岩及某些含铜—铅砂岩中。在这种情况下, 银多半与高含量的铜—铅伴生, 由于银与铀具有相似的溶解度, 因此, 偶尔银也与铀伴生。银有时也存在于铜—镍矿床中, 与镁铁质岩石伴生, 有时也可能存在于砂卡岩型矿床中。伟晶岩中通常含有少量的银, 只要银存在于伟晶岩中, 就是与矿体中几种分

表 4

银矿床及其矿物学和地球化学
(根据Boyle1968年的资料编制)

矿床类型	产 地	分布普遍的 银矿物	基质矿物及其 它一般矿物	典型元素	提取的金属
沉积岩中的后 生矿床(深成 矿脉、网状脉、 层状矿体)	Kongsberg (加拿大的挪 威豪斯) Hartz Moun- tains and Freiberg (德国) Jachymov (捷克斯洛伐 克) Lurion(希腊) Broken Hill and Mt Isa (澳大利亚) Santa Eulalia and Chihua- hua(墨西哥) Coer dAlene (美国爱达荷 州) Thunder Bay (加拿大安大 略) Ainsworth and Sullivan Mines(英国) Keno Hill and Galena Hill (育空区)	黝铜矿 砷黝铜矿 辉银矿—螺状 硫银矿 浓红银矿 淡红银矿 有时为自然银 还有:银金矿 自然金	黄铁矿、闪锌矿 黄铜矿、Ni—Co 砷化物、辉铋矿、 自然铋; 有时为沥青铀矿, 锡石和黑钨矿少 见,菱铁矿、方解石 白云石、石英、重 晶石; 有时为萤石和电气 石	Pb、Zn、Cd、 Cu、Ag、Fe In、Mn、Mg Sb、As、S 其次: Ba、F、Sn、 Au、Co、Ni Bi、Se、Te 较少的 U、W	Ag、Pb、Zn、 有时也提取 Au
与火山流砂共 生的Ag—Au 矿脉	Transylvania (罗马尼亚) Kalgoorlie (澳大利亚) Hawaki (新锡兰) El Oro and Guanajuato (墨西哥) Black Moun- tains (美国亚利桑 那州) De Lamar (美国爱达荷 州)	螺状硫银矿 还有: 淡红银矿 浓红银矿 辉铋银矿 脆银矿 硫铋铜银矿 黝铜矿 砷化物 自然银(蚀变 产物)	黄铁矿、砷黄铁矿、 方铅矿、闪锌矿、 黄铜矿 有时还有: 磁黄铁矿、硫锰矿、 辉钼矿、白钨矿 石英、方解石、白 云石、铁白云石、 重晶石、有时还有 萤石、菱锰矿和蔷薇 辉石 绿泥石、绢云母	Ag、Au、Te Sb、As、Cu Pb、Zn、Co Mg、Fe、Mn K、SO ₂ 、Co ₂ S 不常见的: Mo、W、Se、 Ba、F	Ag、Au

表 4 续 1

矿床类型	产 地	分布普遍的 银矿物	基质矿物及其 它一般矿物	典型元素	提取的金属
	Rawhide and Comstock Lode (美国内华达州) Yellowknife (加拿大) Red Lake Porcupine Kirkland Lake (加拿大安大略)				
主要含有 Fe—Cu—Pb— Zn 硫化物的脉状 多金属矿床	广泛地分布于 世界各地	黝铜矿 还有: Ag 的硫化物 硫酸盐及自然 银	黄铁矿、黄铜矿、 方铅矿、闪锌矿	Fe、Cu、Pb、 Zn	在制取其 它 金属时 提取 Cu、Pb、Zn、 Ag
沉积岩、火山 岩、火成岩或 花岗岩 (Ag 存在于复杂的 地质环境中)	Potosi (玻利维亚)	自然银、角银 矿、辉银矿、 浓红银矿—淡 红银矿	砷 钴 矿—复 砷 镍 矿、斜方砷铁矿、 斜方砷钴矿、斜方 砷镍矿、方钴矿、 砷黄铁矿	Ag、Sn	Ag、Sn
	Cobalt (加拿大安大 略省)	自然银 辉 银 矿、黝 铜矿、脆银矿、 浓红银矿—淡 红银矿、硫铜 银矿、硫锑铜 银矿	辉砷镍矿、辉砷钴 矿、钴硫砷铁矿、 红砷镍矿、锡石、 黄铁矿、黄铜矿、 闪锌矿、方铅矿、 自然铋、镍黄铁矿、 辉铋矿	Co、Ni、Cu、 Zn、Pb、Bi、 As、S	Ag、Co、Cu、 Ni、As、Bi
	Great Bear Lake (加拿大)	自然银	钴 华、方 铅 矿、 镍华、臭葱石、 Mn 的氧化物、黄 铜矿、褐铁矿、石 英、赤铁矿、方解 石、辉钼矿、次生 铀矿、兰铜矿、微 闪长石	Ni、Co、As、 S、Bi、Cu、 Zn、Pb	Ag、U

表 4 续 2

矿床类型	产 地	分布普遍的 银矿物	基质矿物及其 它一般矿物	典型元素	提取的金属
产于硫酸岩中的 Pb—Zn 矿床	美国的派因—波因特密西西比谷地	含有方铅矿和闪锌矿、黝铜矿	方铅矿、闪锌矿	Pb、Zn、Ag	Pb、Zn、(Ag)
玄武岩、砾岩、砂岩等中的自然铜矿床	美国密执安州	自然银、自然铜	自然铜	Cu、Ag	Cu、Ag
斑岩铜矿床	Butte (美国蒙大拿州) Bingham (美国犹他州) Ely (美国内华达州) Ajo, San Manuel and Ray (美国亚利桑那州)	黝铜矿—砷黝铜矿、硫铜银矿、次生铜矿物、硫砷铜矿	黄铜矿、斑铜矿、铜兰、硫砷铜矿	Cu、Ag	Cu、Ag
金矿床和砂、矿 (都含有 Ag)	各个金矿床产地	自然金、银金矿	独居石、钛铁矿、金红石、锆石、石英、其它硅酸盐、赤铁矿—磁铁矿	Au、Ag、RE Ti、Fe	Au、Ag、RE
红层砂岩矿床	1) Cu—Ag 砂矿加拿大新斯科舍和新布伦瑞克炭质砂岩中的 Cu 矿床 Corocoro (玻利维亚) Kazakhstan (苏联) 2) U—Cu—V 砂矿 美国西南部的 U—V 矿床 3) Pb—Zn 砂矿 Laisvall area (瑞典)	螺状硫银矿、黝铜矿—砷黝铜矿、硫铜银矿、自然银、别捷赫琴矿、淡红银矿—浓红银矿、次生铜矿物 角银矿 + 1) 中列举矿物 黝铜矿	黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、砷铜矿、自然铜、兰铜矿、孔雀石 晶质铀矿、钒钾铀矿、钒铅矿 + 1) 中列举矿物 方铅矿、闪锌矿、白铅矿、磷氯铅矿、硫酸铅矿。重晶石、方解石。萤石、石膏、石英、黄铁矿、菱铁矿、白铁矿天青石在三种矿床中都可以存在	Cu、Ag、Pb、Zn、Cd、Fe、Mn、Co、Ni、Cr、P、Mo、RE、Bi、As、Se、S、Ba、Cl、F U、V + 1) 中列举元素 Pb、Zn	Cu、Ag U、V、Cu Ag Pb、Zn, 有时提取 Ag

表 4 续 3

矿床类型	产 地	分布普遍的 银矿物	基质矿物及其 它一般矿物	典型元素	提取的金属
页岩矿床	Kupferschiefer (德国—波兰) 赞比亚的铜带 El Boleo (墨西哥) White Pine (密执安州) Creta Area (俄克拉何马州) Redstone River (加拿大)	自然银、辉银矿—螺状硫银矿、黝铜矿、次生铜矿物 角银矿	黄铁矿、黄铜矿、辉锑铋矿、辉铜矿、方铅矿、闪锌矿、自然铜、辉钼矿 重晶石、方解石、次生石英、长石	Cu、Pb、Zn、Ag、Cd、Mo、Co、Ni、Fe、Mn、As、Sb、S 在El Boleo Cl高度富集	Cu,有时提取Ag、Pb和Zn
含银矽卡岩矿床	Ammeberg (瑞典) Chihuahua和Zacatecas (墨西哥) 美国西部Tetereault (魁北克)	黝铜矿、辉银矿—螺状硫银矿、硫锑铜银矿、银金矿	黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、辉锑铋矿、辉钼矿 赤铁矿—磁铁矿 方解石、长石、透闪石、石榴石、绿帘石、符山石、透辉石、方柱石、白云石	Pb、Zn、Cu、Ag、Fe	Pb、Zn,有时提取Ag
在相应的矿化区形成的残积和冲积矿床	Guadalcazar (墨西哥)	Ag的氧化产物	方铅矿、硫酸铅矿、水锑铅矿、锡石、辰砂	Pb、Ag、Au、Sn、Hg	Pb、Ag、Au Sn,将来还要提取Hg
萨德里帕型矿床	Sudbury (安大略)	Ag—镍黄铁矿	黄铁矿、黄铜矿、镍黄铁矿、针镍矿、黄镍铁矿	Cu、Ni	Ni、Cu、Ag
Fe—Cu—Pb—Zn块状硫化物矿床	Rammelsberg (德国) Cerro de Pasco (秘鲁) Noranda (魁北克) Flin Flon (加拿大马尼托巴) Geco Willroy (安大略) Bathurst (新布伦瑞克)	黝铜矿、辉银矿—螺状硫银矿、自然银、银金矿、自然金、针碲金银矿、碲铅矿、黄碲矿、硫锑铜银矿、 浅层银、次生铜矿物、角银矿、银铁矾	黄铜矿、黄铁矿、硫砷铜矿、方铅矿、白铁矿、毒砂、车轮矿、细硫砷铜矿、硫铜铋矿、辉铋矿、雄黄 绢云母、粘土矿物、石英、重晶石、钠明矾石	Cu、Pb、Zn、Ag、Au、Fe、As、Bi、Te	Cu、Pb、Zn Ag

散的硫化物矿物共生。

Boyle (1968) 对一些银矿物进行了详细的描述。含银矿物主要呈它形颗粒 (粒度低于100微米) , 并且完全包裹在基质矿物中, 以及在矿物裂隙中, 或沿矿粒边缘分布。银的含量较高, 在百分之零点几和1%—2%之间, 一般与粒度在1毫米以上的矿粒共生。本文作者对大不列颠—哥伦比亚的Sam Goosly银铜矿石样品进行的研究表明, 在细粒矿物含银量很高时, 黝铜矿的粒度与银含量成反比。Boorman (1982) 等人报导了一个恰恰相反的情况, 在新布伦瑞克的铅、锌、铜、银矿石中, 黝铜矿粒度较大, 银的含量也较高。

银似乎普遍与铅、铜和金矿物, 如方铅矿、黄铜矿和次生铜矿物、自然金和银金矿共生; 也有出现在脉石矿物, 如碳酸盐矿物及重晶石中的趋势。含银矿物也可以存在于黄铁矿占优势的矿石中, 但是在这种情况下, 含银矿物的含量很低, 以致于没有经济价值。

银矿物与基质矿物的共生形式是多种多样的, 与方铅矿—黝铜矿的共生具有嵌生与全包裹矿粒的特点。与其它基质矿物共生主要取决于矿石的一般结构特征。例如, 在大量破碎的黄铁矿或黄铜矿中, 银矿物分布在破碎带中; 黄铁矿或黄铜矿与细粒次要矿物包体紧密连生时, 银呈细粒全包裹颗粒。

冶 金

世界上的银产品仅有约10%是来自主要采银的矿床, 如内生的脉状、网状及层状矿床。其余的90%的银都是作为铜、铅、锌和金的采选冶过程中的副产品进行回收。这些过程只在一定程度上受到矿石的矿物学因素的影响, 对于提高作为副产品的银的回收率来说, 矿物学的研究不是很必要的。无论是进行或者不进行浸出, 在矿石中银的含量大到足以使银能够作为主要产品回收的情况下, 直接使用浮选的方法分离银矿物, 这时, 矿物学的研究对于合理地改进分离工艺就变得很重要了。

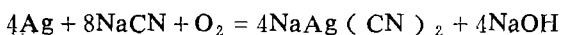
含 银 矿 物

大多数含银矿物, 也象银一样分布在不同的矿相中, 在某些矿石中含银矿物有时多达10种, 这就是难以改进和设计回收银的工艺流程的主要原因。因为同一种浮选剂和浸出剂对不同的矿物往往产生不同的作用。表5和表6概括了对常见的银矿物的较纯样品进行实验室试验时, 获得的浮选及氰化作用结果。表中所包括内容还不够全面。

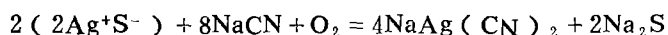
自然银、螺状硫银矿、银金矿和次生铜矿物

在实验室处理这些矿物时, 采用标准的浮选工艺, 几乎可以全部回收这些矿物, 粗矿粒在磨矿时就可以解离。在铜—铅—锌矿石中, 自然银、银金矿和螺状硫银矿, 由于它们的浮选性能相似, 以及由于在细粒未解离颗粒中, 上述银矿物与黄铜矿连生的几率比与方铅矿和闪锌矿连生的几率多, 因此, 这些银矿物往往被选入铜精矿。

如果粒度适宜, 采用类似于回收自然金的浸出工艺或混汞工艺也很容易回收这些银矿物。浸出工艺包括, 在空气中, 矿粒在稀的氰化物溶液中溶解, 按下面反应式进行:

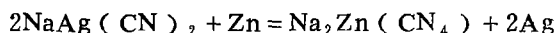


(对自然银和银金矿)



(对螺状硫银矿和次生铜矿物)

锌粉的置换反应按下列反应式进行:



虽然实验室试验表明,用标准的工艺几乎可以回收所有的上述矿物,但是自然银、螺状硫银矿和银金矿的常规处理,往往伴随有不稳定的现象,这主要是由于在加工过程中,矿粒产生溶解与沉淀作用的结果。可将这些过程归结为下面几点:

1. 在银金矿或其它银矿物表面沉淀一层硫化银薄膜。只要薄膜不与细粒级产品混合,就不会影响矿物的浮选和浸出性能。如果浸出该产品,在矿粒表面可形成连续的外膜,这种外膜可阻止银矿物的氰化浸出,并使银矿物免于溶解。

2. 上述矿粒表面硫化银薄膜沉淀与含银矿物不同,例如,方铅矿、闪锌矿和黄铁矿矿粒。在上述情况下,矿粒可获得硫化银的性能,并随银矿物一起浮起。

黝铜矿

从矿石处理的角度来看,黝铜矿是一种复杂的矿物,因为它的粒度及金的含量是变化不定的。在研究富含黝铜矿的银矿石时,作者(Gasparrini, 1980)发现,尽管多数矿物与方铅矿连生,但在磨矿和浮选后,已解离的较粗颗粒都进入了铜精矿,另一方面,与方铅矿连生的细矿粒或被方铅矿包裹的矿粒都进入了铅精矿。还有少量的与黄铁矿共生的细粒矿物丢失在尾矿中。Boormar等人(1982)发现的银含量与其所进入的最终产品之间的关系,以新布伦瑞克矿石为例,进行了报导:银含量较高的(平均为11.37%)矿粒进入铜精矿,含量较低的(平均为5.25%)矿粒进入铅精矿,而含银量最低的矿粒随尾矿丢弃。在黝铜矿是银的主要载体矿物时,用电子探针分析,准确地进行矿物学研究是特别重要的。

银—锰矿物

根据Dorr和Bosqui(1950)的观点,含有大量氧化锰的银的氧化矿通常在冶金处理时都是难熔的。如果采用混汞法,锰会污染汞。如果采用浸出法,形成难熔的锰和银的化合物,可能是不溶于氰化物的水锰矿。围绕这个问题,根据Clevenger和Caron(1917)描述的Caron工艺,提出了一种方法:在还原气氛下,加热含有难熔的锰、银化合物的氧化矿石时,高价氧化锰还原成二价氧化锰,如果冷却,就阻止了氧化作用,而难熔化合物受到氰化。也有人报导过,锰—银矿石一般都产于酸性喷出岩,例如,在晚第三纪的流纹岩和英安岩的氧化带中。由于上述原因,靠近表层的含锰矿石可能是难熔矿石,但是深部的不一定是难熔矿石。

Scheiner等人(1973)改进了从内华达的坎德拉里亚地区和科罗拉多整个山区的含氧化锰和碳酸盐、氧化铁、银的硫化物和银铁矾的矿石中回收银的方法,该方法包括一个硫酸—氯化钠浸出系统。采用这种改进的方法使回收率从9%提高到61%,使银的最终提取率达80—85%。对于其它大部分银矿物的可浮性及浸出性能了解得还很少。

在关于墨西哥银矿山的一部汇编中,Marley和Hagni(1983)报导了银的矿物学及

表 5

常见含银矿物的浮选性能

矿 物	浮 选 性 能	富集比	最高回收率
自然银	正常浮选	—	—
银金矿	正常浮选	—	—
辉银矿—螺状硫银矿	正常浮选, 石灰对浮选的影响不大, 由于氧化铁的存在, 回收率较低。加入淀粉可提高精矿品位。	107.4 : 1	98.5%
Cu矿物	正常浮选	—	—
Ag的卤化物(角银矿、溴银矿、氯溴银矿等)	正常浮选, 石灰对浮选的影响不大。矿泥可使精矿品位降低, 但添加淀粉后可得到改善。	25.5 : 1	98.8%
淡红银矿	石灰是有害的。滑石物料不影响精矿回收率但使品位降低。不能使用淀粉。	12.4 : 1	94.5%
浓红银矿	石灰是有害的。矿泥可使精矿品位及回收率降低, 不能使用淀粉。矿物对浮选条件的变化十分敏感。在各种情况下, 硫化钠都是有害的。	68.7 : 1	97%
脆银矿	石灰是有害的, 滑石泥渣可降低精矿品位, 添加淀粉可提高精矿品位。	87.5 : 1	94.4%
硫锑铜银矿	石灰对浮选影响不大。滑石泥渣可使精矿品位降低, 但为提高精矿品位添加淀粉是有效的。	67.5 : 1	98.7%
黝铜矿—砷黝铜矿	石灰对浮选的影响不大, 滑石泥渣使精矿品位降低, 但不影响回收率。添加淀粉可提高精矿品位, 矿物中银的含量可以改善精矿的回收率。	24.3 : 1	99.1%
包裹细粒银矿物或细粒含银固溶体的Pb—Zn矿物	石灰对浮选影响不大, 滑石泥渣使精矿品位降低, 但不影响其回收率, 添加淀粉可提高精矿品位。	—	—

表 6

常见含银矿物的氰化特征

矿 物	氰 化 特 征	最佳回收率 及溶解时间
自然银 银金矿 辉银矿—螺状硫银矿 Cu矿物 Ag的卤化物(角银矿、溴银矿、氯溴银矿等)	其中所有矿物都易溶于NaCN溶液,特别是在细碎的情况下(-15微米)。粗粒的自然金和银金矿溶解得很慢,以致消耗大量氰化物。如果矿物与不溶基质(黄铁矿、闪锌矿、石英脉石)相混合,在460℃的温度下焙烧1小时,可得到75%的提取率。控制温度也是很重要的(特别是辉银矿—螺状硫银矿);高温(600℃以上)可形成不溶产物。	溶解时间72小时,回收率: 87—99% (对所有矿物)
淡红银矿	这些矿物不太容易溶于NaCN溶液。焙烧可以改善回收率。	在热溶液中溶解72小时,回收率为42.5%。在焙烧和更换溶液之后,回收率达91%。
浓红银矿		在热溶液中溶解72小时,回收率为67%,经过焙烧和更换溶液之后,回收率达88%。
脆银矿		溶解72小时,回收率为90%,焙烧不能改善回收率。
硫锑铜银矿		在热溶液中溶解72小时,回收率为80%,焙烧后,回收率达90%。
黝铜矿—砷黝铜矿	这两种矿物都难溶,其溶解度似乎与银的含量成正比(Boorman等,1982),焙烧后溶解度可得到改善,焙烧后矿石的回收率可由25%提高到70%	随矿物的组成变化。
包裹细粒银矿物及含银固溶体的Pb—Zn矿物	这些矿物很难溶解,银最好是作为溶炼Pb—Zn矿石的副产品回收。	没有测定
Mn—Ag矿物(例如:黑银锰矿和硫锰银矿)	这些矿物很难溶解,在酸溶液中或焙烧还原后,用H ₂ O ₂ 浸出银	没有定量测定

上述多数资料是用较纯样品进行实验室试验所获得的。

其处理方法。

粒度和基质矿物

粒度和基质矿物特征在金的提取中是非常重要的,但是对一些银矿石来说,就不是很重要了,因为银的较低的市场价格决定了所采银矿石应具有较高的银品位,一般粒度也应较粗,这样矿粒容易解离,只有这种矿石才具有开采价值。另外,细粒银矿物往往留在尾矿中,而造成经济损失。当然,也有例外的情况,细粒矿物较多的矿石(例如离析作用),由于其中含银矿物的总量已达到了回收它们在经济上是合理的数量,因此也是有价值的矿石。研究离析作用及鉴定基质矿物对于选择适用于基质矿物的溶剂是很必要的。

通常,经过破碎和磨矿,而不需要细磨就可以使被裹挟的银矿物暴露出来,因此,在浸出时,存在于裂隙中的及沿矿粒边缘分布的银矿物要比完全被包裹的矿物要多些。

结 论

银的冶金是较复杂的,其原因是:1.银的矿物种类繁多;2.银可以代替许多矿物中的铜和其它元素;3)某些银矿物是不稳定的;这些因素都将影响浮选工艺和浸出工艺。由于上述的复杂性,采用了一种不太普遍使用的回收金的方法处理银矿石。如果银不作为副产品回收,而有可能作为一种主元素单独回收,那么在进行冶金试验之前,对于银矿石进行全面的矿物学研究是很必要的。

田淑艳 译自《CIM Bulletin》,1984,№ 6
肖至培 校

(上接第47页)

2.建立经济标准系统,以便评价处理含硫原料的工艺方案,这不仅考虑到直接费用,而且也考虑到所消耗的矿物资源的价值、生态后果和对综合处理产品的需求量;

3.制定物质的供—需平衡、综合回收组份和矿物原料处理工艺流程的最佳方法。

从国民经济观点来看,合理的计算可以确定,硫、硫酸和其它含硫产品生产发展的最佳方向、降低含硫气体排放的方法、含硫原料综合处理的最佳工艺流程。由于冶金企业开始采用现代熔炼方法(首先是熔炼炉熔炼),富集了含硫的气体就成为含硫商品产品的首要来源,天然气、石油、磷石膏、热电站的废气的综合处理的产品是竞争的原料资源。附带回收的组份:黄铁矿中的有色金属和贵金属;铜—镍精矿中的硒和碲;重油中的钒;煤产品中的分散元素等,在国民经济中采用新方法综合利用含硫尾矿已成为赢利的事情。

因生态要求必须回收含硫的排放物,这不仅可以解决利用尾矿满足国民经济对硫酸和其它产品需求量的问题,而且也可找到避免远距离运输的地方补充用户。在这种情况下,生产石膏混凝土、粘合料硫化亚铁添加剂、建筑材料等是合理的和经济的,对于充填矿井中的采空区更是如此。

郑 欣 译自《Комп.испол.минер.сырья》,1984.№ 3
郝 愚 校