



某多金属硫化矿石的工艺矿物学研究

杨磊, 刘厚明, 刘飞燕, 梁友伟

(中国地质科学院矿产综合利用研究所, 四川 成都 610041)

摘要:某多金属硫化矿石中含铜0.16%、含铅0.86%、含锌2.92%、含铁12.05%,其中铜铅锌以硫化物为主。黄铜矿中铜占总铜的70.5%,方铅矿中铅占总铅的84.9%,闪锌矿中锌占总锌的90.4%,磁铁矿、磁赤铁矿中铁占总铁的49.5%。矿石中未见磁黄铁矿。磁铁矿、磁赤铁矿粒度略粗于闪锌矿、方铅矿、黄铜矿。根据该矿石性质,若采用优先浮选铜铅锌、浮选尾矿磁选综合回收铁的工艺流程,仅增加少量投资,即可较大幅度地提高矿山企业的经济效益,充分利用矿产资源。

关键词:多金属硫化矿石; 磁铁矿; 磁赤铁矿

中图分类号:P616.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-6532(2008)06-0030-04

矿产资源不可再生的特点,使得可供人类工业利用的资源日趋减少。特别是近代大工业的建立,世界各国正以前所未有的规模和速度消耗着地下资源,资源危机已成为当今世界一个普遍性的社会问题。充分合理地利用有限的矿产资源,加强资源综合利用,高效合理回收矿石中有益组分,是应对这一问题的有效途径。某多金属硫化矿石中含铜0.16%、含铅0.86%、含锌2.92%、含铁12.05%,其中铜铅锌以硫化物为主,铁有近一半为易于选别的磁性铁。在充分回收铜铅锌的前提下,若综合回收矿石中的铁资源,仅增加少量投资,即可较大幅度地提高矿山企业的经济效益,既充分利用了矿产资源,也

有利于环境保护。为此,本文从工艺矿物学研究的角度,探讨了高效合理综合利用矿石中铜铅锌铁的途径。

1 矿石基本性质

1.1 矿石的化学成分

1.1.1 矿石的多元素分析

矿石的多元素分析结果见表1。由表1可知,矿石中主要有益组分为锌、铅,可供综合利用的为铜,硫目前不具有工业利用价值,铁的综合利用则应以铁的矿物成分来决定。

1.1.2 矿石中铜铅锌铁的化学物相分析

表1 矿石的多元素化学分析结果/%

Cu	Pb	Zn	Fe	S	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
0.16	0.86	2.92	12.05	1.96	26.78	2.16	0.71	23.67

process of non-standard grinding, especially high fineness grinding, the distribution of tasks between the first section and second section is more difficult, and in the production practice there have not a reference to this process. In light of this situation, the laboratory research and industrial test on the precious loading technology of media suited to such non-standard two-stage grinding flowsheet were carried out. Test results showed that the processing capacity of mill is increased by 17%, and the fineness of ground products is increased by more than 10%.

Key words: Non-standard; High fineness; Grinding process; Processing capacity

收稿日期:2008-08-04; 改回日期:2008-09-06

作者简介:杨磊(1964-),男,高级工程师,主要从事工艺矿物学研究工作。

矿石中铜铅锌铁的化学物相分析结果见表2~5。由表2~5可知,该矿石中铜铅锌均以硫化物为主,铁以磁性铁含量较高,占总铁的49.5%。

表2 铜的化学物相分析结果/%

相别	原生硫化铜	次生硫化铜	自由氧化铜	结合氧化铜	总铜
含量	0.11	0.031	0.004	0.011	0.156
占有率	70.5	19.9	2.6	7.0	100.0

表3 铅的化学物相分析结果/%

相别	硫化铅	碳酸铅	硫酸铅	其他铅	总铅
含量	0.73	0.035	0.050	0.045	0.86
占有率	84.9	4.1	5.8	5.2	100.0

表4 锌的化学物相分析结果/%

相别	硫化锌	氧化物中锌	其他锌	总锌
含量	2.64	0.15	0.13	2.92
占有率	90.4	5.1	4.5	100.0

表5 铁的化学物相分析结果/%

相别	磁性铁	硫化铁	赤铁矿、褐铁矿中铁	碳酸铁	硅酸铁	总铁
含量	5.97	1.86	2.19	0.55	1.48	12.05
占有率	49.5	15.4	18.2	4.6	12.3	100.0

1.2 矿石的矿物成分

通过详细的显微镜下研究,查明矿石中金属矿物以磁铁矿、闪锌矿、黄铁矿为主,其次有赤铁矿、磁赤铁矿、褐铁矿、菱铁矿、方铅矿、黄铜矿、菱锌矿、铅矾、白铅矿、铜蓝等。非金属矿物以方解石、石英为主,其次有白云石、石榴子石、角闪石、尖晶石、白云母、高岭石等。矿石中矿物含量见表6。

表6 矿物含量表/%

矿物名称	含量	矿物名称	含量
闪锌矿	4.0	磁铁矿、磁赤铁矿	9.5
方铅矿	0.8	赤铁矿、褐铁矿、菱铁矿	3.6
菱锌矿	0.3	方解石、白云石	52.5
白铅矿、铅矾	0.1	石英	23.4
黄铜矿	0.3	石榴子石、角闪石、尖晶石及其他矿物	2.5
黄铁矿	3.0		

1.3 矿石的结构构造

矿石的结构主要有他形粒状结构、半自形粒状结构、自形晶结构、斑状变晶结构、文象结构、包含结

构、固溶体分离结构等。矿石的构造主要有斑状构造、脉状—网脉状构造、条带状构造、纹层状构造等。

2 主要矿物的嵌布特征及粒度特性

矿石中闪锌矿、磁铁矿、方铅矿、黄铜矿等矿物3~0mm综合样粒度测定结果见表7。

表7 3~0mm综合样主要矿物粒度测定结果/%

粒径/mm	>0.104	0.104~0.074	0.074~0.043	0.043~0.010	<0.010
闪锌矿	28.4	11.9	28.3	25.8	5.6
磁铁矿、磁赤铁矿	19.7	8.7	41.2	25.6	4.8
方铅矿	19.6	7.0	21.1	43.6	8.7
黄铜矿	18.8	11.6	22.6	37.7	9.3
黄铁矿	14.9	20.4	24.1	36.3	4.3
赤铁矿、褐铁矿	7.4	11.5	25.8	39.6	15.7
方解石	38.5	19.8	22.6	15.6	3.5
石英	27.6	22.4	25.7	22.0	2.3

注:闪锌矿中细小星点黄铜矿状包裹体被忽略,仍视作单一的闪锌矿。

1. 闪锌矿(ZnS)

闪锌矿为本矿石中锌的主要载体矿物,占矿石中矿物总量的4%,主要以他形粒状集合体嵌布于脉石中,与磁铁矿、方铅矿、黄铜矿、黄铁矿密切共生。

闪锌矿他形粒状集合体中常见脉石矿物、磁铁矿、黄铜矿、方铅矿、黄铁矿包裹体,包裹体粒径一般小于0.03mm,充分分离较困难;部分闪锌矿集合体与磁铁矿、方铅矿集合体、黄铜矿集合体毗邻相嵌;少量闪锌矿集合体中有星点状、乳滴状黄铜矿固溶体嵌布。这种现象势必造成少量黄铜矿及方铅矿、磁铁矿进入锌精矿,既造成铜铅铁的损失,又影响锌精矿的品级。

部分闪锌矿呈脉状、网脉状嵌布于磁铁矿集合体粒间、裂隙或脉石矿物裂隙中,脉宽一般在0.01~0.05mm之间,内部纯净,边界清楚、规则,较易分选。

少量闪锌矿呈细小粒状、不规则状嵌布于脉石中,粒径一般小于0.02mm,充分分离较困难,会有部分损失于尾矿中,但由于含量少,对锌的回收率不会造成大的影响。

2. 磁铁矿(Fe₃O₄)

磁铁矿是本矿石中含量最大的金属矿物,约占

矿石中矿物总量的 8.3%，主要以半自形粒状、他形粒状、他形粒状集合体嵌布于脉石中；此外有部分磁铁矿由赤铁矿变化而来，仍保留赤铁矿的板状晶形；少量磁铁矿呈细小粒状散染于脉石中。

他形粒状磁铁矿往往以浑圆粒状、不规则状嵌布于脉石中；部分他形粒状磁铁矿与闪锌矿紧密连生，其周围时有闪锌矿毗连相嵌，偶尔可见周围有方铅矿、黄铜矿毗连相嵌；少量磁铁矿以浑圆粒状、他形粒状嵌布于闪锌矿集合体中。磁铁矿他形粒状集合体粒间、裂隙中常有脉石矿物及少量闪锌矿、方铅矿、黄铜矿嵌布，应注意他们之间的解离问题。

板状磁铁矿主要以两种形式嵌布：一种为板状晶体定向排列，其间夹杂有少量脉石矿物；另一种为杂乱排列，构成各种不规则格架，格架间为脉石矿物及少量闪锌矿、方铅矿、黄铜矿充填。

细粒磁铁矿指粒径小于 0.01mm 的他形粒状磁铁矿，往往在小范围内局部集中，多呈浑圆粒状、星点状散染于脉石中，显微镜下如满天星斗。

3. 磁赤铁矿 ($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$)

磁赤铁矿主要为赤铁矿磁铁矿化的残余部分，与板状磁铁矿紧密连生，有利于铁的回收；少量呈根瘤状嵌布于褐铁矿中，解离较难。与磁铁矿连生的磁赤铁矿将进入铁精矿，与褐铁矿连生的磁赤铁矿，将有部分携带褐铁矿一起进入铁精矿。

4. 黄铁矿 (FeS_2)

黄铁矿为矿石中主要铁的硫化矿物，占矿石中矿物总量的 3.0%，主要以他形—半自形粒状、粒状集合体嵌布于脉石中，粒径大小不一，大者可达 0.2mm；少量黄铁矿以细小粒状嵌布于闪锌矿、磁铁矿中，粒度普遍细小，多小于 0.02mm，这种形式嵌布的黄铁矿单体解离困难，将有部分随闪锌矿、磁铁矿一起进入锌精矿、铁精矿中，将对锌精矿，特别是铁精矿品级造成一定的影响。

5. 方铅矿 (PbS)

方铅矿为本矿石中主要铅矿物，占矿石中矿物总量的 0.8%，常呈半自形粒状集合体与闪锌矿粒状集合体密切共生；部分呈不规则状嵌布于脉石中；少量呈不规则状、细小粒状嵌布于闪锌矿粒间以及磁铁矿集合体粒间、裂隙中。

6. 黄铜矿 (CuFeS_2)

黄铜矿为矿石中主要铜矿物，含量较少，占矿石中矿物总量的 0.3%。

黄铜矿主要以半自形粒状、他形粒状、他形粒状集合体嵌布于脉石中，粒度大小不一，常与闪锌矿、方铅矿毗连连生，一般边界清楚平滑，但多不规则；部分黄铜矿以不规则状、短脉状嵌布于磁铁矿粒间或呈各种不规则状嵌布于闪锌矿、方铅矿集合体中，粒度一般大于 0.01mm，通过细磨大部分可以解离；少量黄铜矿以星点状、乳滴状、串珠状包裹体包裹于闪锌矿中，一般认为无法解离，将随闪锌矿一起进入到锌精矿中，既造成铜的损失，又会对锌精矿品级造成一定影响。

7. 脉石矿物

方解石为矿石中含量最大的脉石矿物，约占矿物总量的 46% 左右，广泛分布于各种类型矿石中，局部富集成条带状、团块状嵌布，亦常见呈脉状、网脉状沿矿石裂隙嵌布，粒度粗大，结晶完好，很少与闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、磁铁矿、磁赤铁矿连生。白云石含量明显较方解石少，与方解石紧密共生，嵌布特征与方解石相似。

石英为矿石中分布最为广泛的脉石矿物，主要呈他形粒状、他形粒状集合体广泛分布于各种类型矿石中，石英粒状及粒状集合体裂隙较发育，偶有闪锌矿、方铅矿、黄铜矿嵌布于裂隙中。

3 影响铜、铅、锌、铁回收的矿物学因素

1. 锌的回收：矿石中锌矿物主要为闪锌矿，闪锌矿中锌占总锌的 90% 左右，其次有少量菱锌矿。闪锌矿粒度较粗，闪锌矿集合体中常有黄铜矿、方铅矿、磁铁矿包裹体，这些包裹体的存在既影响锌精矿的品级，又造成铜铅铁的损失。矿石中菱锌矿回收困难，对锌回收率的影响在所难免。

2. 铅的回收：矿石中铅矿物有方铅矿、铅矾、白铅矿，其中以方铅矿为主，方铅矿中铅约占总铅的 85%。铅矾、白铅矿回收困难，其铅的损失属合理损失。

矿石中方铅矿占矿物总量的 0.8%，含量较少，而且嵌布复杂，粒度偏细，以与闪锌矿紧密连生为主。少量以细小粒状、不规则粒状嵌布于脉石矿物、闪锌矿、磁铁矿集合体中，难以充分解离，将会造成方铅矿损失。

3. 铜的回收：矿石中见到的铜矿物有黄铜矿、铜蓝，其中以黄铜矿为主，黄铜矿中铜占总铜的 70%，其次有少量铜蓝。

黄铜矿占矿物总量的0.3%,含量少,而且嵌布复杂,与闪锌矿、方铅矿密切共生,特别是以细小粒状、乳滴状、星点状嵌布于闪锌矿中的黄铜矿,一般认为是难以解离的,这部分黄铜矿将进入锌精矿,造成铜的损失。由于铜矿物量少,而且嵌布复杂,因此是否单独分离出铜精矿应根据投入产出效率来决定。

4. 铁的回收: 矿石中铁矿物主要有磁铁矿、磁赤铁矿、赤铁矿、褐铁矿、黄铁矿和菱铁矿。由于有易于回收的磁铁矿、磁赤铁矿存在,回收该部分铁具有了矿物学基础。磁铁矿、磁赤铁矿中铁占总铁的49.5%,矿物量占矿物总量的9.5%,以浑圆粒状为主,其次为板条状,粒级分布相对集中。但是磁铁矿、磁赤铁矿边缘,磁铁矿、磁赤铁矿集合体粒间常有闪锌矿、方铅矿、黄铜矿嵌布,因此需要注意磁铁矿、磁赤铁矿与金属硫化物的解离问题。

矿石中未见磁黄铁矿,这是回收矿石中铁的一个有利因素。

4 结 语

1. 矿石为多金属硫化矿石,金属硫化物有闪锌矿、黄铁矿、方铅矿、黄铜矿,未见磁黄铁矿。其中闪

锌矿、方铅矿、黄铜矿密切共生,嵌布复杂。

2. 矿石中铁矿物有磁铁矿、黄铁矿、赤铁矿、磁赤铁矿、褐铁矿、菱铁矿,易于回收的铁矿物为磁铁矿、磁赤铁矿,二者合计占矿物总量的9.5%。磁铁矿、磁赤铁矿以浑圆粒状-粒状集合体、板条状嵌布为主,粒径大于0.010mm的占95%。矿石具有综合回收铁的矿物条件。

3. 综合回收铜铅锌铁需注意的是闪锌矿、方铅矿、黄铜矿之间的解离问题,以及闪锌矿、方铅矿、黄铜矿与磁铁矿、磁赤铁矿的解离问题。选择合适的磨矿细度是保障铜、铅、锌回收率及铁精矿品级的关键。

4. 采用优先浮选铜铅锌、浮选尾矿磁选回收铁的工艺流程,既可综合回收铜铅锌,也可保证铁精矿的品级。

参考文献:

- [1] 中国地质科学院矿产所编著. 金属矿物显微镜鉴定[M]. 北京:地质出版社,1978.
- [2] 王濮,潘兆掄,翁玲宝,等编著. 系统矿物学[M]. 北京:地质出版社,1987.
- [3] 常丽华,陈曼云,等编著. 透明矿物薄片鉴定手册[M]. 北京:地质出版社,2006.

Study on Process Mineralogy of a Polymetallic Sulfide Ore

YANG Lei, LIU Hou-ming, LIU Fei-yan, liang You-we

(Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Chengdu, Sichuan, China)

Abstract: The sample of a polymetallic sulfide ore tested contained 0.16% Cu, 0.86% Pb, 2.92% Zn and 12.05% Fe respectively. Copper, lead and zinc are mainly occurred in sulfides. About 70.5% Cu, 84.9% Pb and 90.4% Zn of the sample are occurred in chalcopyrite, galena and sphalerite, respectively. 49.5% iron is occurred in magnetite and maghemite, of which granularity are coarser than chalcopyrite, galena and sphalerite. In this sample, the pyrrhotite was not determined. If a combined technological flowsheet of "selective flotation of Cu - Pb - Zn sulfides—magnetic separation of the flotation tailings for recovering iron" is adopted, it will enable mining enterprises to greatly increase economic benefits under the condition of additional minor investment cost and make full use of mineral resources.

Key words: Polymetallic sulfide ore; Magnetite; Maghemite

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告