安徽省金寨县迎风崖铅锌铜多金属矿床物质组分及赋存状态研究

李磊，魏旭，阳珊，张青，遇祯，袁晓玲

（安徽省地质实验研究所，安徽　合肥　230000）

摘要：通过镜下大量的光片、薄片鉴定，大量的矿物粒径、含量测量统计，主要有用矿物的单矿物提纯，X 射线分析、化学多元素分析等综合研究手段，针对迎峰崖铅锌矿床开展细致的矿物学、矿相学和矿床地质学等多方面研究，重点查明本矿床的矿物组成、嵌布特征、矿石化学组成等，确定矿床中有益、有害组分及其赋存状态。

关键词：金寨县迎风崖；铅锌铜多金属矿床；物质组分；赋存状态

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2022.03.035

中图分类号：TD952　**文献标志码：**A　**文章编号：**1000-6532（2022）03-0198-04

1　地质特征

矿区所处的大地构造位置在北淮阳构造带东段，地处泗河断裂与桐柏-磨子潭断裂交汇部位的东侧。受构造作用的影响，矿区内中生代岩浆活动强烈，原始地层均被大面积侵入体破坏和吞蚀，仅有少量残留体呈透镜状或不规则状零星分布，且遭受强烈的蚀变。

矿区发育有三组断层：（1）北东向断层：该断层派生的次一级羽状裂隙，裂隙走向45～85°左右，裂隙面倾向北西，倾角较陡，一般在 65～80°，局部近似直立。(2) 近东西向断层：裂隙走向 75～125°，与北东向断层呈锐角相交，裂隙倾向北及北东，倾角较陡，一般在 45～80°之间，裂隙性质以张性为主，受后期构造变动影响走向局部扭曲，呈断续沿伸。(3) 北西向断层：该组裂隙极不发育，与北西向断层基本平行。裂隙走向 320°左右，多被脉岩充填。

矿区包括邻近矿区的大部分铅锌矿脉多赋存于近东西向和北东向裂隙中，从而说明矿化与东西向及北东向构造关系密切。

2　矿石的矿物组成

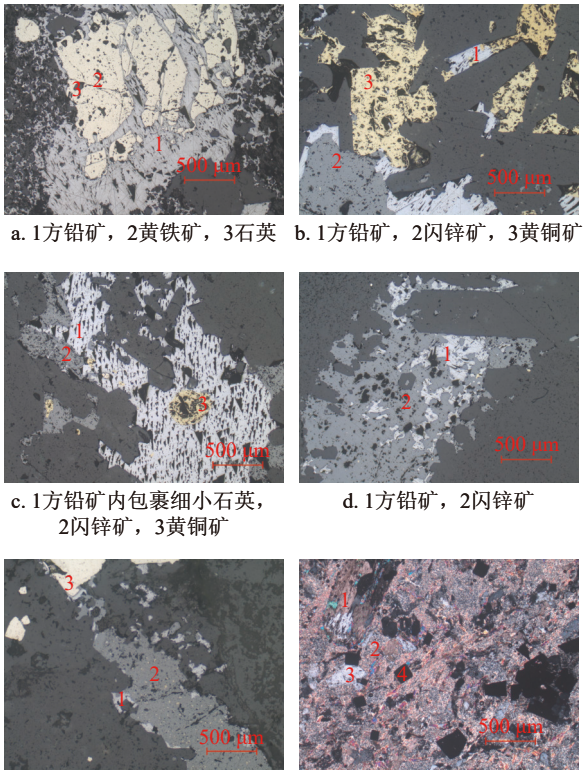
矿石的矿物组合简单，金属矿物主要有方铅矿、闪锌矿，次为黄铁矿，少量黄铜矿，微量赤铁矿、褐铁矿；脉石矿物主要有石英、绢云母，少量白云石、方解石、白云母、绿泥石、粘土矿物，微量重晶石、磷灰石、金红石等。

方铅矿（PbS）[1-2]：方铅矿为该矿床主要有用金属矿物之一，平均含量 2.45%。铅灰色，强金属光泽，硬度低；集合体呈脉状、斑点状、斑团状、浸染状分布于矿石中。显微镜下反射色呈纯白色，反射率较高，均质性，硬度低，三角孔构造发育（图 1a、b、c）；主要呈他形粒状、不规则粒状分布在脉石矿物间（图 1a、c）。方铅矿与闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿、赤铁矿、石英共生关系密切，常呈不规则状粒状、脉状分布在闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿边部，有的嵌布在这些矿物的裂隙内和晶粒间（图 1a、d）；粒径大于 0.3 mm 的方铅矿与其他矿物多以平直或舒缓波状界面毗连镶嵌（图 1b、c），极少量呈包裹镶嵌；粒径小于 0.2 mm 方铅矿多呈细小粒状、不规则粒状、脉状、网脉状分布于粗颗粒附近的脉石矿物晶粒

收稿日期：2020-04-27
作者简介：李磊（1988-），女，工程师。

间或解理中（图 1a），小颗粒方铅矿与其他矿物间多以复杂齿状界面镶嵌，少量沿闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿边部、内部交代分布（图 1e），部分大颗粒内包裹小颗粒闪锌矿（图 1c）、黄铁矿、石英等。经光片粒度测量统计，矿床中方铅矿粒径粗大，以大于 2 mm 粒径的粗颗粒为主，> 2 mm 粒级 64.22%，>0.074 mm 粒级 95.04%（见表 1）。

闪锌矿（ZnS）[1-2]：闪锌矿为该矿床主要有用金属矿物之一，平均含量 1.19%。锌黑色-绿棕色，半金属光泽，硬度中等，多呈斑点状分布于矿石中。显微镜下反射色呈灰色，均质性；主要呈他形粒状分布于石英晶粒间，与方铅矿、黄铜矿共生关系密切，且其与粗颗粒的方铅矿、黄铜矿多以平直或舒缓波状界面毗连镶嵌，在磨矿过程中易于解离；但大部分闪锌矿内分布少量细小乳浊状黄铜矿（图 1e），有的闪锌矿内分布有交代形成的细粒不规则状方铅矿（图 1d），这部分闪锌矿与黄铜矿、方铅矿难于解离。经光片粒度测量统计，矿石中闪锌矿粒径总体较粗，>0.074 mm 粒级 91.23%（见表 1），闪锌矿在碎磨矿过程中易于解离呈单体闪锌矿。



a. 1方铅矿，2黄铁矿，3石英　b. 1方铅矿，2闪锌矿，3黄铜矿

c. 1方铅矿内包裹细小石英，2闪锌矿，3黄铜矿　d. 1方铅矿，2闪锌矿

e.1方铅矿，2含乳浊状黄铜矿的闪锌矿，3黄铁矿　f. 1白云母，2绢云母，3石英，4黄铁矿

图 1　矿物光、薄片镜下鉴定特征

Fig.1　Identification characteristics of minerals under light and thin section microscope

表 1　方铅矿、闪锌矿粒度[3-5] 测量统计

Table 1　Particle size measurement statistics of galena and sphalerite

方铅矿			闪锌矿		
粒级/mm	占有率/%	累计/%	粒级/mm	占有率/%	累计 /%
+2	64.22	64.22	+2	19.87	19.87
-2+1.651	2.65	66.87	-2+1.651	0	19.87
-1.651+1.168	5.29	72.16	-1.651+1.168	9.73	29.6
-1.168+0.833	2.94	75.1	-1.168+0.833	11.78	41.38
-0.833+0.589	6.94	82.04	-0.833+0.589	5.96	47.34
-0.589+0.417	2.1	84.14	-0.589+0.417	11.36	58.7
-0.417+0.295	3.58	87.72	-0.417+0.295	8.74	67.44
-0.295+0.208	1.38	89.1	-0.295+0.208	7.5	74.94
-0.208+0.147	2.32	91.42	-0.208+0.147	7.05	81.99
-0.147+0.104	1.8	93.22	-0.147+0.104	4.85	86.84
-0.104+0.074	1.82	95.04	-0.104+0.074	4.39	91.23
-0.074+0.043	2.11	97.15	-0.074+0.043	4.33	95.56
-0.043+0.02	2.39	99.54	-0.043+0.02	4.04	99.6
-0.02	0.46	100.00	-0.02	0.41	100.00
合计	100.00	/	合计	100.00	/

黄铁矿（FeS_2）[1-2]：黄铁矿为该矿床中主要金属硫化物，矿体、围岩中广泛分布，综合样中平均含量为 1.49%。浅铜黄色，强金属光泽；镜下反射色呈浅铜黄色，反射率较高，均质性；呈不等粒半自形-自形粒状分布于石英等脉石矿物间（图 1f），极少量包于方铅矿、闪锌矿内

（图 1a），与方铅矿、闪锌矿、石英等矿物间多以平直界面毗连镶嵌，极少量呈包裹镶嵌，粒径 0.01～1 mm 不等，多集中粒径 0.05～0.5 mm 间。黄铁矿在磨矿过程中易于与其他矿物解离。

黄铜矿（$CuFeS_2$）[1-2]：黄铜矿为该矿床唯一的铜矿物，综合样中平均含量为 0.14%。铜黄色，强金属光泽；镜下反射色呈铜黄色，反射率中等，弱非均质性；呈不规则状分布于石英等脉石矿物间，与方铅矿、闪锌矿、石英共生密切，多以平直或舒缓波状界面与方铅矿、闪锌矿等毗连嵌镶（图 1b），极少量包于方铅矿、闪锌矿内（图 1c），或呈微细乳浊状分布于闪锌矿内（图 1e）；粒径 0.002～2 mm 不等。

石英（SiO_2）[6]：石英为矿床中主要脉石矿物。按形成先后将石英分早、中、晚三期，早期石英由绢英岩化作用形成，呈他形粒状镶嵌或散布于绢云母中（图 1f），粒径较细；晚期石英由硅化作用形成，呈他形-半自形板柱状镶嵌，有的包于方铅矿、闪锌矿内（图 1c），石英粒级粗细不等，粗颗粒多具粒波状消光，该期石英与成矿作用关系密切；晚期石英呈细脉状，多与白云石、方解石共生。

3　矿石化学成分分析

3.1　矿石多元素分析结果

原矿多元素化学化学分析结果见表 2，其中 Pb 2.09%、Zn 0.81%。根据多元素化学分析结果，比对《矿产资源工业要求手册》[7] 中铅锌矿床地质勘查工业指标（行业标准 DZ/T 0214-2002），及铅锌矿床伴生有益组分评价指标（国家标准 GB/T 25283-2010），铅锌硫化矿石的边界品位是：Pb 0.3%～0.5%、Zn 0.5%～1%，最低工业品位是 Pb 0.7%～1%、Zn 1%～2%。该矿床 Pb 2.09%、Zn 0.81%，说明 Pb 含量已超过工业品位指标，Zn 已超过边界品位指标。此外矿石中 Ag 28.7 g/t，已达铅锌矿床伴生有益组分指标。

表 2　原矿多元素化学分析/%

Table 2　Multi element chemical analysis of raw ore

Pb	Zn	Cu	Au*	Ag*	SiO_2	Al_2O_3
2.09	0.81	0.057	0.095	28.7	71.14	5.64

*单位为：g/t。

3.2　矿石中铅、锌的化学物相[8] 分析结果

根据化学物相分析结果，原矿石中铅、锌主要呈硫化物的形式存在。硫化铅（方铅矿）占 Pb 元素总量的 96.94%，硫化锌占 Zn 元素总量的 97.55% (表 3、 4)；光片显微镜下观察含 Pb、Zn 的矿物也仅见硫化物方铅矿、闪锌矿，未见明显的铅、锌氧化矿物或其他铅、锌化合物。

表 3　原矿铅物相分析

Table 3　Lead phase analysis of the raw ore

矿物名称	铅矾中Pb	白铅矿中Pb	方铅矿中Pb	磷（砷矾）氯铅矿	其他形态难溶铅矿中Pb	合计
含量/%	0.0078	0.04	2.03	0.0097	0.0066	2.0941
分布率/%	0.37	1.91	96.94	0.46	0.32	100.00

表 4　原矿锌物相分析

Table 4　Phase analysis of the raw zinc

矿物名称	锌氧化物总量	硫酸锌	硫化锌	其他形态锌矿物	合计
含量/%	0.015	0.0004	0.77	0.0039	0.7893
分布率/%	1.90	0.05	97.55	0.5	100.00

3.3　方铅矿、闪锌矿单矿物化学分析结果

单矿物化学分析结果（见表 5）显示，方铅矿中含 Ag 271.1 g/t，另含微量 Bi、Sb 、Se、Tl、Te 等组分。闪锌矿中含 Ag 60.02 g/t、Cd 2716 g/t，另含微量的 Te、Tl、Mn、Ga、Ge 等元素。

表 5　方铅矿、闪锌矿单矿物化学分析结果/%

Table 5　Chemical analysis results of galena and sphalerite

元素	Au*	Ag*	Se*	Te*	Bi*	Cd*	Sb*	Ga*	Tl*	In*	Ge*	S	Pb	Zn	Fe	Mn
方铅矿	<1	271.05	0.02	-	6.13	-	12.2	-	0.159	0.31	-	12.65	85.16	-	0.35	-
闪锌矿	<1	60.02	-	17.62	-	2716	-	0.054	0.044	-	0.76	30.05	-	59.51	2.69	0.088

*单位为：g/t。

4　有益有害组分赋存状态

4.1　有益组分的赋存状态

根据矿石多元素分析结果，矿石中已达工业品位的主要有益组分为 Pb、Zn，达综合利用的伴生组分为 Ag（见表 1），因此该矿床中有益元素为 Pb、Zn、Ag。再由矿石矿物组成分析判断，矿石中含 Pb 的矿物仅为方铅矿，含 Zn 的矿物仅为闪锌矿，所以 Pb 元素以硫化物方铅矿的形式存在于矿石中；Zn 元素以硫化物闪锌矿的形式存在于矿石中；S 主要存在于黄铁矿中，部分存在于方铅

矿、闪锌矿、黄铜矿中。光片显微镜下鉴定未见独立的银矿物，方铅矿中单矿物分析结果（表 5）发现含 Ag 271.05 g/kg、Bi 6.13 g/t、Sb 12.2 g/t，由此推断 Ag 主要以超显微银矿物—自然银、辉银矿、硫银铋矿、辉锑银矿等形式赋存在方铅矿中。

4.2　有害组分的赋存状态

相关行业标准中未注明铅锌矿体原矿石的有害组分，行业标准 YS/T319-2007 列出了铅精矿、锌精矿的杂质为 SiO_2、MgO、Al_2O_3、CaO 、Cu、Fe、S、As 等组分。SiO_2 在原矿石中以石英及绢云母、白云母、粘土矿物、绿泥石等矿物形式存在；MgO、Al_2O_3 主要以绢云母、白云母、粘土矿物、绿泥石等矿物形式存在；另一部分 MgO 与 CaO 以碳酸盐矿物形式出现在矿石中；Cu 以黄铜矿存在矿石中，当其达到一定品位时则为有用组分；Fe、S、 As 则主要存在黄铁矿中。这些矿物经选矿后，进入铅精矿、锌精矿的含量容易降低到行业标准允许范围以下。经选矿后得到的铅精矿、锌精矿产品经化学多元素分析发现，铅精矿、锌精矿中的杂质（有害组分）含量都已降到行业标准（YS/T 319-2007）以下（表 6）。

表 6　精矿产品化学多元素分析

Table 6　Chemical multi element analysis of concentrate products

名称	Pb	Zn	Cu	Au*	Ag*	S	Al_2O_3	SiO_2
铅精矿	67.62	0.54	1.63	0.6	856	14.30	0.034	-
锌精矿	0.32	55.20	0.21	0.81	26.9	28.60	-	7.68

*单位为：g/t。

5　结　论

（1）查明了本矿床矿石的矿物组成，金属矿物主要有方铅矿、闪锌矿，次为黄铁矿，少量黄铜矿，微量赤铁矿、褐铁矿；脉石矿物主要有石英，次为云母，少量白云石、方解石、绿泥石、粘土矿物，微量重晶石、磷灰石、金红石等。

（2）查明了本矿床主要有益组分铅、锌、银、硫的赋存状态：矿石中已达工业品位的主要有益组分为 Pb、Zn，达综合利用的伴生组分为 Ag，Pb 主要以方铅矿形式存在；Zn 主要以闪锌矿的形式存在；S 主要以黄铁矿的形式存在；Ag 主要以超显微银矿物—自然银、辉银矿、硫银铋矿、辉锑银矿等形式赋存在方铅矿中。

（3）铅精矿、锌精矿中的有害组分为 SiO_2、MgO、Al_2O_3、CaO 、Cu、Fe、S、 As 等，SiO_2 在原矿石中以石英及绢云母、白云母、粘土矿物、绿泥石等矿物形式存在；MgO、Al_2O_3 主要以绢云母、白云母、粘土矿物、绿泥石等矿物形式存在；另一部分 MgO 与 CaO 以碳酸盐矿物形式出现在矿石中；Cu 以黄铜矿存在矿石中，当其达到一定品位时则为有用组分；Fe、S、 As 则主要存在黄铁矿中。经选矿后，容易降低到行业标准允许范围以下。

参考文献：

[1] 矿产资源工业要求手册编委会. 矿产资源工业要求手册 [M]. 北京: 地质出版社, 2012.
Editorial Board of Mineral Resources Industry Requirement Manual. Mineral resources industry requirement manual [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2012.
[2] 陈攀, 熊馨, 应永鹏, 等.工艺矿物学研究在青海某铅锌矿应用 [J]. 矿产综合利用. 2019(1): 98-102.
CHEN P, XIONG X, YING Y P, et al. Application of process mineralogy research in a lead-zinc mine in Qinghai Province [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources. 2019(1): 98-102.
[3] 卢静文, 彭晓雷. 金属矿物显微镜鉴定手册 [M]. 北京: 地质出版社, 2010.
LU J W, PENG X L. Handbook of microscopic identification of metallic minerals [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010.
[4] 蒋琳, 李阿俊.内蒙古某含银铅锌矿工艺矿物学 [J]. 矿产综合利用, 2019(1): 94-97.
JIANG L, LI A J. Process mineralogy of a silver-bearing lead-zinc ore in Inner Mongolia [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(1): 94-97.
[5] 王濮, 潘兆橹, 翁玲宝. 系统矿物学 [M]. 北京: 地质出版社, 1987.
WANG P, PAN Z L, WENG L B. Systematic mineralogy [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987.
[6] 常丽华, 陈曼云, 等. 透明矿物薄片鉴定手册 [M]. 北京: 地质出版社, 2006.
CHANG L H, CHEN M Y, et al. Handbook for the identification of transparent mineral flakes [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006. .
[7] 惠博, 王越, 陈伟, 等. 贵州某铅锌矿工艺矿物学研究[J]. 矿产综合利用, 2019(10):103-106.
HUI B, WANG Y, CHEN W, et al. Study on process mineralogy of a lead-zinc ore in Guizhou[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(10):103-106.
[8] 邱柱国. 矿相学 [M]. 北京: 地质出版社, 1982.
QIU Z G. Mineralogy [M]. Beijing: Geological Publishing House. 1982.

(下转第 206 页)