

白云鄂博主矿岩、矿石中 F 与 S 元素分布特征研究

王 云¹, 苑星宇¹, 田 琦¹, 张 丽¹, 严 钊², 孟文祥²

- 包钢(集团)公司白云鄂博铁矿, 内蒙古 包头 014010;
- 包钢集团矿山研究院(有限公司), 内蒙古 包头 014030)

摘 要:文章基于近年白云鄂博主矿生产的穿孔数据,按铁品位将岩、矿石划分为 3 个大类、5 个亚类,总结了各个类型岩、矿石中 F 与 S 含量分布规律及其空间耦合特征。研究表明,白云鄂博主矿 F 元素的主要赋存矿物为萤石和氟碳铈矿,S 元素的主要赋存矿物为黄铁矿、磁黄铁矿和方铅矿。在 F 与 S 元素含量分布方面,随着矿石铁品位升高,F 与 S 含量总体呈先上升后下降的变化规律;在空间分布方面,F 与 S 元素与铁矿石在空间上关系最密切,随着 F 与 S 含量升高,F 与 S 元素在空间分布范围逐渐变小,叠合区也逐渐减小且分离,呈异体相间分带的分布特征。

关键词:白云鄂博主矿;岩、矿石;F;S;空间分布

中图分类号:P618.31

文献标识码:B

文章编号:1009-5438(2025)03-0009-05

Research on Distribution Characteristics of Elements F and S in Rock and Ore of Main Mine of Bayan Obo

Wang Yun¹, Yuan Xingyu¹, Tian Qi¹, Zhang Li¹, Yan Zhao², Meng Wenxiang²

- Bayan Obo Mine of Baotou Iron & Steel (Group) Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China;
- Baotou Steel Group Mining Research Institute (Co., Ltd.), Baotou 014030, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: In the paper, the rock and ore are divided into three main classes and five subclasses based on iron grade and data of perforating for production in Main Mine of Bayan Obo in recent years as well as distribution rules and space coupling characteristics of contents of F and S in various types of rock and ore are summarized. The research results showed that the main occurrence minerals of element F in Main Mine of Bayan Obo were fluorite and bastnaesite as well as main occurrence minerals of element S were pyrite, pyrrhotite and galena. In terms of distribution of contents of elements F and S, it generally shows the change rule of “increasing first and then decreasing” with the increase of iron grade of ore; in terms of space distribution, elements F and S are most closely related to iron ore, space distribution range of elements F and S is gradually decreased as well as overlapping area is gradually decreased and separated, which shows the distribution characteristic of “alternate zoning with variants” with the increase of contents of F and S.

Key words: Main Mine of Bayan Obo; rock and ore; F; S; space distribution

白云鄂博矿为铁、稀土、铌、萤石等多种矿物共生矿床,其矿石具有“多(有价元素多)、杂(矿石类型杂)、细(矿物粒度细)、贫(矿石品位贫)”的特点。在地质方面,金海龙等对白云鄂博矿不同类型混合原矿中 F 与 S 的化学成分、矿物组成、元素分布率以及矿物嵌布特征等进行了研究^[1-2]。在选矿方面,孙平等考察了 S 在白云鄂博矿选别流程的分布和选铁过程中 S 的走向,进行了系列降 S 试验^[3-5]。在冶金方面,由于稀土精矿中伴生 F、P 等杂质,在浓硫酸高温焙烧白云鄂博稀土精矿过程中,F 对生产及产品有着恶劣的影响^[6]。

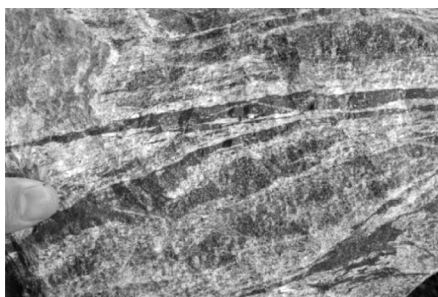
本文基于近年的生产资料,通过野外地质调查和综合归纳分析,梳理了 F 与 S 元素的主要赋存状态,并对不同品位铁矿石中 F 与 S 元素含量分布和空间分布特征进行了刻画,多维度地对 F 与 S 元素特征进行剖析,支撑后续铁、稀土资源分类、高效开发利用。

1 F 与 S 元素赋存状态

白云鄂博铁矿石具有“多、杂、细、贫”的特点,且存在多种赋存状态,见表 1。在野外地质调查工作中,肉眼可见的含 F 矿物有萤石、氟碳酸盐稀土矿物(氟碳铈矿、黄河矿、氟碳铈钽矿、氟碳钽铈矿等)、磷灰石等,这些矿物主要存在于条带状萤石型铁、稀土、铌矿石和霓石型铁、稀土、铌矿石之中,见图 1。肉眼可见的含 S 矿物主要有硫化物和硫酸盐矿物,硫化物主要为黄铁矿、磁黄铁矿、方铅矿、辉钼矿等,硫酸盐矿物以重晶石为主,以及少量的石膏,其中硫化物主要存在于霓石型、闪石型铁、稀土、铌矿石中,重晶石主要分布在霓石型铁、稀土、铌矿石中,见图 2。在显微镜下,除了以上肉眼可见的矿物之外,含 F 矿物还包括烧绿石、金云母、氟镁石钽、铁钛石、钽铁钛石等,含 S 矿物还包括闪锌矿、黄铜矿、毒砂等,见图 3。

表 1 白云鄂博主矿含 F 与含 S 矿物简表

矿物类型	肉眼可见	显微镜下可见	主要矿物
含 F 矿物	萤石、氟碳酸盐稀土矿物(氟碳铈矿、黄河矿、氟碳铈钽矿、氟碳钽铈矿等)、磷灰石等	烧绿石、金云母、氟镁石钽、铁钛石、钽铁钛石等	萤石、氟碳铈矿
含 S 矿物	硫化物:黄铁矿、磁黄铁矿、方铅矿、辉钼矿等; 硫酸盐:硫酸盐矿物以重晶石为主,少量的石膏	闪锌矿、黄铜矿、毒砂等	黄铁矿、磁黄铁矿、方铅矿



(a) 条带状萤石型矿石

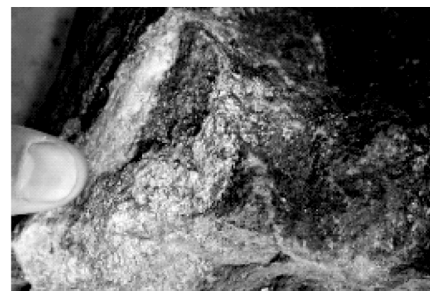


(b) 氟碳酸盐稀土矿物

图 1 白云鄂博主矿主要含 F 矿物

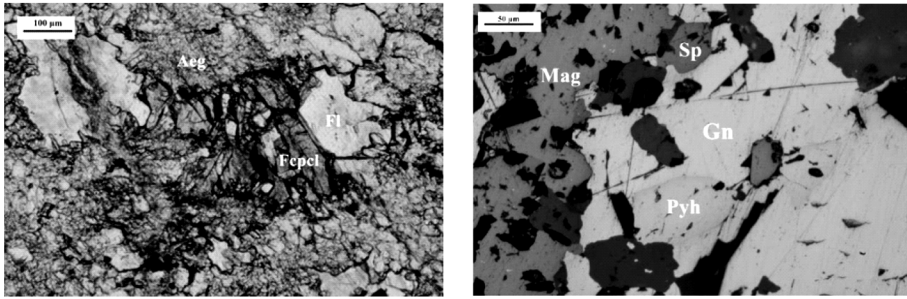


(a) 磁黄铁矿



(b) 辉钼矿

图 2 白云鄂博主矿主要含 S 矿物



(a) 萤石 (Fl) 间分布的烧绿石 (Fcpcl) (b) 磁黄铁矿 (Pyh)、方铅矿 (Sp)、闪锌矿 (Gn) 共生

图3 白云鄂博主矿显微镜下含F与含S矿物

2 F与S元素含量分布特征

基于近年白云鄂博主矿生产的穿孔数据,取得铁品位、F和S含量配套测试的样品951件,见图4。按照铁矿伴生、边界品位、工业品位,将岩、矿石划分

出3个大类和5个亚类,亚类分别为极富铁矿石、富铁矿石、贫铁矿石、含铁岩、岩石,并且对不同亚类的岩、矿石类型中的F与S元素含量分布特征进行综合统计分析,见表2。

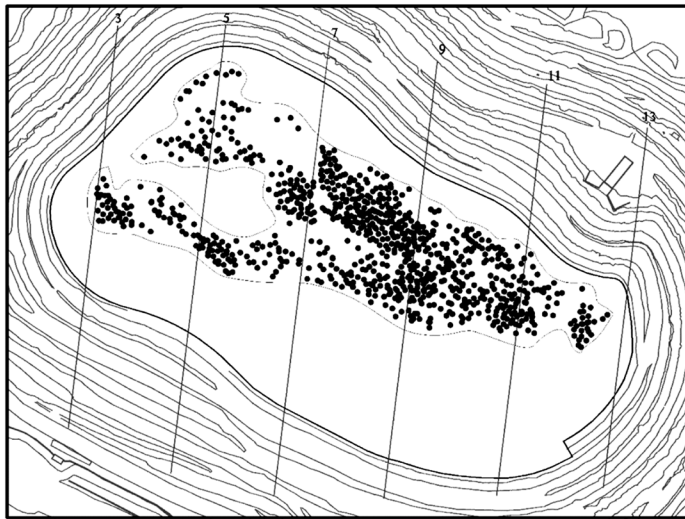


图4 白云鄂博主矿穿孔空间分布图

表2 白云鄂博主矿F与S元素含量分布

序号	岩、矿石			样品数	平均含量/%		标准差 σ /%	
	大类	亚类	品位		F	S	F	S
1		极富铁矿石	$45\% \leq TFe$	86	4.80	0.75	2.08	0.65
2	铁矿石	富铁矿石	$30\% \leq TFe < 45\%$	258	7.13	1.16	3.65	0.75
3		贫铁矿石	$20\% \leq TFe < 30\%$	344	7.85	1.62	3.86	0.70
4		含铁岩	$15\% \leq TFe < 20\%$	181	6.98	1.54	4.61	0.76
5		岩石	$0 < TFe < 15\%$	82	4.06	1.17	2.61	0.69

在这 951 件样品中,不同岩、矿石亚类的样本量介于 86 ~ 344 件之间,保证了各个亚类样本具有代表性。通过分析表 2 数据可知,随着铁品位的升高,F 与 S 平均含量呈现先上升后下降的规律,且在贫铁类铁矿石中,F 与 S 平均含量最大;相较于其他几种岩、矿石类型,极富铁矿石的 F 与 S 平均含量呈较低水平富集;矿区岩石的 F 与 S 含量,相较于地壳丰度(S 丰度为 0.026%,F 丰度为 0.062 5%)而言,表现为较强富集的特征。根据各个亚类样本 F 与 S 元素含量标准差的变化情况,可见在不同岩、矿石类型中,S 元素含量变化较小,F 元素含量变化较大。

为了更精细刻化不同岩、矿石中 F 与 S 平均含量的变化特征,本文按照一定的梯度,分别总结了 F 与 S 平均含量变化情况,见图 5。其特征与上述不同岩、矿石亚类特征相近,铁品位在 20% ~ 30% 之间时候,F 与 S 平均含量达到最高。

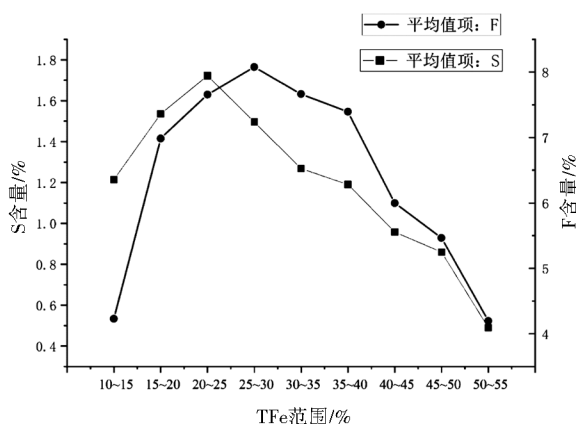


图 5 不同铁品位岩、矿石中 F、S 元素含量变化

3 F 与 S 元素空间分布特征

为了直观表示 F 与 S 元素在空间上与岩、矿石的关系,依据全部样品的 F 与 S 平均含量和标准差,

确定了 F 与 S 的三级分级指标,见表 3。结合分级指标,划分 3 个不同的矿化分级,分别为平均以上水平、中高以上水平和高等以上水平。结合不同岩、矿石类型,分别对各个矿化分级的 F 与 S 元素空间分布范围进行圈定与叠加,反映不同岩、矿石类型中 F 与 S 元素在空间上的分布特征,见图 6、图 7、图 8。

由图 6 可见,白云鄂博主矿不同岩、矿石类型中,平均以上水平富集的 F 与 S 元素在空间上具有以下特征:F 与 S 元素与铁矿石关系密切,绝大多数的 F 与 S 元素在铁矿石中富集,岩石中有小范围的分布;F 与 S 元素在空间上可以同体共生,也可以异体共生,绝大多数为同体共生关系;在贫铁类矿石中,F 与 S 元素在空间上表现为密切同体共生关系;在矿区东北角,在不同岩、矿石中,呈富 S 贫 F 特征;在矿区西北角,在不同岩、矿石中,呈富 F 贫 S 特征。

由图 7 可见,白云鄂博主矿不同岩、矿石类型中,中高以上水平富集的 F 与 S 元素在空间上具有以下特征:相较于平均以上水平,F 与 S 元素空间分布范围明显变小;中高以上水平的 F 与 S 元素大部分完全产于铁矿石范围内,仅极少部分在含铁岩范围内,而在岩石范围内,没有中高以上水平的 F 与 S 元素富集;F 与 S 元素在空间上关系密切,但并不完全同体共生,即 S 富集范围及其周边,F 也较富集;矿区中北部和西南角的贫铁矿石中,存在较大范围的 F 与 S 元素富集带;在极富铁矿石中,没有中高以上水平的 F 与 S 元素富集。

由图 8 可见,白云鄂博主矿不同岩、矿石类型中,高等以上水平富集的 F 与 S 元素在空间上具有以下特征:高等以上水平的 F 与 S 元素在空间上呈星点状、条带状小规模分布;F 与 S 元素富集区相对独立,在空间上没有叠合区,呈完全不同体产出;F 与 S 元素富集区绝大多数位于贫铁矿石中,少部分位于富铁矿石中;由南向北,F 与 S 富集区在空间上总体呈带状相间分布。

表 3 白云鄂博主矿 F 与 S 元素分级指标简表

元素	标准差 σ /%	分级指标/%			矿化分级		
		AV	AV + σ	AV + 2 σ	平均以上水平	中高以上水平	高等以上水平
F	3.93	6.89	10.82	14.75	$\omega(F) > 6.89\%$	$\omega(F) > 10.82\%$	$\omega(F) > 14.75\%$
S	0.77	1.36	2.13	2.90	$\omega(S) > 1.36\%$	$\omega(S) > 2.13\%$	$\omega(S) > 2.90\%$

注:AV 为平均含量, σ 为标准差。

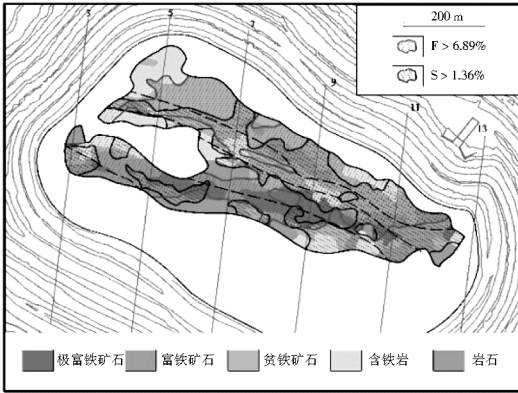


图6 不同岩、矿石类型中F与S元素平均以上水平(AV)分布

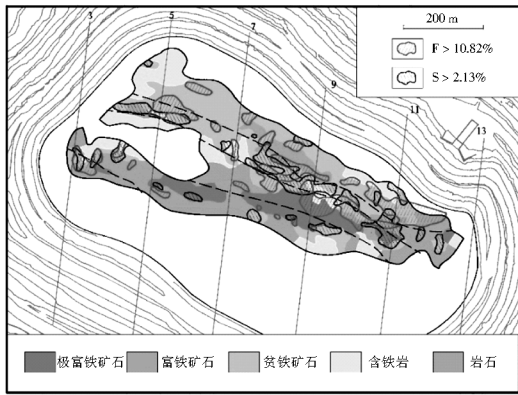


图7 不同岩、矿石类型中F与S元素中高以上水平(AV + σ)分布

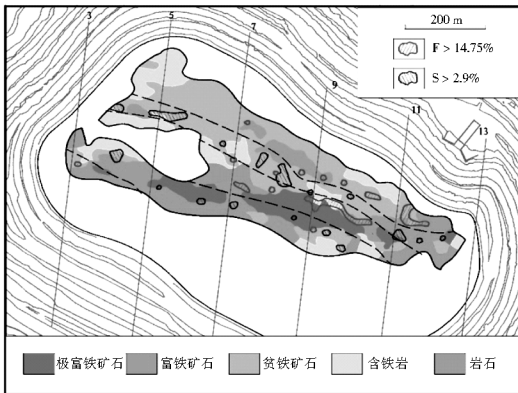


图8 不同岩、矿石类型中F与S元素高等以上水平(AV + 2σ)分布

综上所述,白云鄂博主矿不同岩、矿石类型中F与S元素与铁矿石在空间上关系最密切,在含铁岩中,在中等、中高等水平有所富集,在岩石中,F与S

元素只在平均水平的较小范围富集。除此之外,在铁矿石中,平均以上水平的F与S元素关系密切,在空间上有较大范围的叠合,随着F与S元素的富集水平逐渐升高,F与S元素富集区逐渐分离,在高等以上水平的F与S元素富集区,几乎呈异体相间分带分布。

4 结论

(1)白云鄂博主矿F与S元素存在于多种矿物之中,其中F元素主要赋存矿物为萤石、氟碳铈矿,S元素的主要赋存矿物为黄铁矿、磁黄铁矿、方铅矿。

(2)随着矿石铁品位的升高,F与S元素平均含量呈现先上升后下降规律,且在贫铁类铁矿石中,F与S元素平均含量最大。

(3)F与S元素与铁矿石在空间上关系最密切,尤其在贫铁类铁矿石中。在含铁岩中,F与S元素在中等、中高等水平有所富集;在岩石中,F与S元素只在平均水平的较小范围富集。

(4)随着F与S元素的富集水平逐渐升高,F与S元素在空间分布范围逐渐变小,叠合区也逐渐减小且分离,在高等以上水平富集时,呈异体相间分带分布特征。

参考文献

- [1] 金海龙,李娜,魏威,等.白云鄂博混合原矿中有害元素的赋存状态研究[J].矿产综合利用,2020(6):201-205.
- [2] 陈林,郝美珍,马文亮.白云鄂博矿主东矿体中段S元素分布规律研究[J].包钢科技,2015,41(4):45-47.
- [3] 孙平,樊丽琴,贾艳.白云鄂博矿硫的分布特性及降硫的研究进展[J].包钢科技,2014,40(1):22-26.
- [4] 沈茂森,孟文祥.白云鄂博磁铁矿石选铁过程中硫走向分析[J].现代矿业,2019,35(6):175-176,184.
- [5] 闫常陆.白云西矿高硫混合矿的生产现状及降硫新工艺[J].包钢科技,2014,40(6):28-31.
- [6] 姜晓丽,彭婧,张俊龙,等.浓硫酸高温焙烧白云鄂博稀土精矿过程中氟的行为研究[J].稀土,2022,43(6):135-142.