

# 江西赣西地区钴矿工艺矿物开发利用前景分析

李凡顺 裴阳

江西省地质局第一地质大队

DOI:10.12238/gmsm.v7i8.1918

**[摘要]** 江西赣西地区钴矿具有丰富的原矿物质成分,主要包括斜方砷钴矿、钴-红砷镍矿、毒砂、黄铁矿、赤铁矿、褐铁矿、高岭土及钙菱锰矿等。钴和铁在该矿石中以不同状态赋存。矿石结构构造复杂,矿物嵌布粒度多样,且主要矿物具有特定的物化性质和嵌布状态。然而,这些矿物因素也对钴矿的开发利用产生了影响。综合考量这些因素,江西赣西地区钴矿的工艺矿物开发利用前景需进一步评估与优化,以实现资源的高效利用。

**[关键词]** 江西赣西钴矿; 开发利用; 前景分析

中图分类号: F301.24 文献标识码: A

## Analysis of the development and utilization of cobalt mineral process in western Jiangxi province

Fanshun Li Yang Pei

The first geological Brigade of Jiangxi Geological Bureau

**[Abstract]** Cobalt ore in western Jiangxi is rich in raw mineral components, including trapeeared arsenic-cobalt ore, cobalt-red arsenic-nickel ore, poison sand, pyrite, hemite, limonite, kaolin and calderite, etc. Cobalt and iron occur in different states in this ore. The ore structure is complex, the mineral embedding grain size is diverse, and the main minerals have specific physical and chemical properties and embedding state. However, these mineral factors also have an impact on the development and utilization of cobalt ore. Considering these factors comprehensively, the process mineral development and utilization prospect of cobalt ore in western Jiangxi province needs to be further evaluated and optimized to realize the efficient utilization of resources.

**[Key words]** Jiangxi West Jiangxi cobalt mine; development and utilization; prospect analysis

本次对赣西地区钴矿开展工艺矿物学研究。查明该钴矿石的矿物组成和含量,特别关注钴矿物种类和铁锰等载钴矿物,钴矿物的嵌布状态、结构特征,查明钴在矿石中的赋存形式和赋存状态,为下步钴矿可选性实验研究提供依据。

工艺矿物学研究结果表明:该矿石经过一定程度的蚀变和重结晶作用,碳酸盐化、硅化及赤铁矿和高岭石重结晶作用,原生钴镍矿物(钴-斜方砷镍矿、钴-红砷镍矿)、含钴的毒砂和黄铁矿被溶蚀和钙菱锰矿、硅质等交代分散于碎屑岩的胶结物和次生矿物中,包括赤铁矿、褐铁矿、高岭石和次生的钙菱锰矿中,钴以分散形式存在,影响钴的选矿富集回收。

### 1 原矿物质成分

#### 1.1 原矿化学成分

将上述配矿样品作为该钴矿原矿进行化学成分分析,该原矿X射线荧光谱半定量分析结果见表1,多元素化学分析结果见表2。从表中看出,该矿中主要有价元素为钴和铁,伴生镍,以低

硫、砷、磷和富氧化铁为特征。

表1 原矿XRF分析结果

元素	Co	Ni	Cu	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	As	Zn	SO <sub>3</sub>
含量/%	0.077	0.097	0.007	25.5	0.035	0.13	0.06
元素	MgO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cl	K <sub>2</sub> O
含量/%	0.35	0.35	10.63	61.04	0.19	0.03	0.15
元素	CaO	Ti	Cr	Mn	V	Sr	Y
含量/%	1.03	0.09	0.014	0.52	0.013	0.012	0.019

#### 1.2 样品矿物组成及含量

采用X射线衍射分析方法,定性检测原矿矿物组成,图谱见图2,从图谱分析表明,该矿中主要矿物为赤铁矿、褐铁矿、石英、高岭土。

表2 原矿多元素化学分析结果

元素	Co	Fe	Ni	Zn	Cu	As
含量/%	0.051	19.47	0.062	0.18	0.0068	0.018
元素	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	S	P
含量/%	0.071	0.013	0.71	0.17	0.026	0.032
元素	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Mn	烧失量	
含量/%	8.3	67.82	0.11	0.55	5.3	

采用MLA并结合显微镜检测原矿物组成和含量,结果见表5,从表中可见,主要矿物为赤铁矿、褐铁矿、石英、高岭石。该矿中未见独立钴矿物,进一步的检测表明,钴的载体矿物有斜方砷镍矿、红砷镍矿、黄铁矿、毒砂,以及赤铁矿、褐铁矿、钙菱锰矿、高岭土等。

### 1.3 矿石结构构造

本矿石为一套硅质、铁质沉积岩,岩性为灰白色厚层状燧石砾岩、石英燧石砾岩、灰黑色薄层状细至中粒石英砂岩、灰黑色粉砂岩、砂质页岩夹碳质页岩,局部地段底部见有杂色砾岩。

岩石呈砾状、砂状碎屑结构,砾石或砂粒内部由隐晶质玉髓、石英等组成,呈隐晶质结构。胶结物为硅质、铁质,胶结物中赤铁矿呈显微晶质结构,浸染状构造,团块状构造。

## 2 主要矿物嵌布粒度

从来样中选取代表性块矿,磨制矿石光片后,在显微镜下测定主要矿物的嵌布粒度。从测定结果来看,硫化物和砷化物的嵌布粒度极为微细,基本上小于0.045mm,且小于0.01mm的颗粒占50%左右;赤铁矿和褐铁矿的嵌布粒度粗细均有,呈不等粒嵌布,碳酸盐矿物—菱锰矿和锰方解石的嵌布粒度略粗。

## 3 主要矿物物化性质和嵌布状态

### 3.1 斜方砷钴矿-斜方砷镍矿 (Ni, Co, Fe)As<sub>2</sub>

该矿物中,钴与镍类质同象,并有少量铁和铜类质同象代替镍和钴,采用能谱测定其化学成分,结果见表6,含Co 5.90~20.99%, Ni 9.98~30.01%,平均含Co 12.22%, Ni 16.10%,含少量铜和铁。斜方晶系,白铁矿型结构。锡白色,粒状,金属光泽,不透明,硬度5~6,密度6.9~7.2克/厘米<sup>3</sup>。反射光下白色,弱双反射,强非均质。

### 3.2 钴-红砷镍矿 (Ni, Co, Fe)As

该矿物与斜方砷镍矿类似,钴与镍类质同象,并有少量铁和铜类质同象代替镍和钴,含Co 2.10~24.48%, Ni 18.66~39.63%,平均含Co 6.24%, Ni 38.37%含少量铜和铁。六方晶系,红砷镍矿型结构。淡铜红色,粒状,金属光泽,不透明,硬度5~5.5,密度7.6~7.8克/厘米<sup>3</sup>。反射光下玫瑰色带浅乳白色,双反射明显,强非均质。

### 3.3 毒砂 FeAsS

本矿石中含数量极少的毒砂,含Co 0.44~1.20%, Ni 0~0.17%,平均含Co 0.79%, Ni 0.10%。单斜晶系。锡白至钢灰色,柱状晶,

金属光泽,不透明,硬度5.5~6,密度5.9~6.29克/厘米<sup>3</sup>。反射光下白色,微具乳黄色调,双反射弱,非均质明显。

### 3.4 黄铁矿 FeS<sub>2</sub>

本矿石中含数量极少的黄铁矿,少量钴类质同象代替铁,不含镍,含Co 0.42~0.74%,平均含Co 0.61%。等轴晶系,黄铁矿型晶体结构。浅黄铜黄色,立方体和五角十二面体,金属光泽,不透明,硬度6~6.5,密度4.9~5.2克/厘米<sup>3</sup>。反射光下黄白色,均质。

### 3.5 赤铁矿 α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

赤铁矿为本矿石中主要铁矿物,也是钴的主要载体之一。含钴、镍、锌、砷、锰、硅、铝等杂质,平均含Co 0.07% (Co 0.05%), Ni 0.15% (Ni 0.12%), Zn 0.29% (Zn 0.23%), Fe 20393.73% (Fe 65.61%)。采用电子探针对富集的赤铁矿精矿样品进行电子探针波谱多点测定,从测定结果来看,赤铁矿中钴、镍、铜含量有一定变化,Co 0.015~0.114%, Ni 0.013~0.088%, Cu 0~0.084%,平均值: Co 0.058%, Ni 0.056%, Cu 0.012%。赤铁矿单矿物分析: Fe 59.85%, Co 0.056%,单矿物分析含钴量与电子探针测定结果基本吻合。

赤铁矿为三方晶系,刚玉型晶体结构。本矿石中主要为隐晶质或粉末状赤铁矿,呈暗红色至鲜红色,樱桃红或红棕色条痕,金属至半金属光泽,硬度5~6,密度5~5.3克/厘米<sup>3</sup>。反射光下白色~带浅蓝的灰白色,非均质。

### 3.6 褐铁矿 FeO(OH)·nH<sub>2</sub>O

褐铁矿为本矿石中次要铁矿物,也是钴的主要载体之一。含钴、镍、锌、镁、锰、硅、铝、氯等杂质,平均含Co 0.16%, Ni 0.16%, Zn 0.58%, Fe 53.67%。采用电子探针对富集的褐铁矿精矿样品进行电子探针波谱多点测定,从测定结果来看,褐铁矿含钴量变化较大,Co 0.028~0.396%, Ni 0.006~0.345%, Cu 0~0.077%,平均值: Co 0.111%, Ni 0.106%, Cu 0.033%。赤铁矿单矿物分析: Fe 50.68%, Co 0.11%。

褐铁矿为斜方晶系,颜色为褐、暗褐、褐黄色,条痕黄褐,暗淡光泽。硬度4~5.5,密度2.7~4.3克/厘米<sup>3</sup>。

### 3.7 高岭土 Al<sub>2</sub>[Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>](OH)

高岭石属于粘土类矿物,晶体呈假六方片状、鳞片状,颜色白色,铁染后红色。硬度2~2.5,密度2.63克/厘米<sup>3</sup>。采用能谱微区测定高岭石化学成分显示,含镍、锌、钛、铁等杂质,含钴较低,能谱未能测出。然而,大多数高岭石与微细粒赤铁矿密切共生,含铁高岭土单矿物分析: Fe 20.08%, Co 0.065%。表明高岭石也是钴的载体之一。

### 3.8 钙菱锰矿 (Ca, Mg, Co, Zn, Mn)CO<sub>3</sub>

钙菱锰矿也是本矿石中钴的重要载体矿物,采用能谱微区测定菱锰矿化学成分显示,含钙较高,故属于钙菱锰矿。钙菱锰矿中除了钙类质同象代替锰之外,同时还有钴、镍、锌、镁、铁等类质同象代替锰,菱锰矿的含钴量高于氧化铁矿物,从测定结果可见,含Co 0.24~0.69%,平均Co 0.37% (Co 0.29%)。钙菱锰矿呈粒状、球状,硬度3.5~4,密度3.7克/厘米<sup>3</sup>。

## 4 钴和铁在矿石中的赋存状态

## 4.1 铁在矿石中的赋存状态

根据原矿物组成和各矿物含铁量,计算出铁在各矿物中的平衡分配如表3,从表中可见,铁主要以赤铁矿和褐铁矿形式存在,此外,以微细粒赤铁矿混杂于粘土中的铁约占29%。从该矿石中分选赤铁矿,理论品位约60%,理论回收率47%。

表3 铁在各矿物中平衡分配

矿物种类	矿物含量/%	矿物含Fe量/%	Fe分配率/%
钴-斜方砷镍矿	0.0035	0.27	0.00
钴-红砷镍矿	0.0004	0.15	0.00
黄铁矿	0.0013	44.51	0.00
毒砂	0.0043	32.90	0.01
方铅矿	0.0001		0.00
白钨矿	0.0002		0.00
赤铁矿	16.1841	59.85	47.42
褐铁矿	8.8595	50.68	21.98
钙菱锰矿	1.4197	0.71	0.05
粘土	29.7187	20.08	29.22
石英等脉石	43.4795	0.62	1.32
其他	0.3287		
合计	100.0000	20.43	100.00

## 4.2 钴在矿石中的赋存状态

根据原矿物组成和各矿物含钴量,计算出钴在各矿物中的平衡分配如表4,从表中可见,以镍钴砷化物中钴仅占原矿总钴的0.94%,赋存于毒砂和黄铁矿中的钴占原矿总钴的0.09%,以分散形式存在于赤铁矿、褐铁矿、钙菱锰矿、粘土和石英等脉石中的钴,分别占原矿总钴18.90%、20.32%、8.59%、40.28%和10.88%。

表4 钴在各矿物中平衡分配

矿物种类	矿物含量/%	矿物含Co量/%	钴分配率/%
钴-斜方砷镍矿	0.0035	12.22	0.89
钴-红砷镍矿	0.0004	6.26	0.05
黄铁矿	0.0013	0.61	0.02
毒砂	0.0043	0.79	0.07
方铅矿	0.0001		0.00
白钨矿	0.0002		0.00
赤铁矿	16.1841	0.056	18.90
褐铁矿	8.8595	0.11	20.32
钙菱锰矿	1.4197	0.29	8.59
粘土	29.7187	0.065	40.28
脉石	43.4795	0.012	10.88
其他	0.3287		
合计	100.0000	0.048	100.00

## 5 影响该钴矿开发利用的矿物因素

(1)该钴矿赋存于三叠系上统安源组的燧石砾岩、石英燧石砾岩、薄层状细至中粒石英砂岩、灰黑色粉砂岩、砂质页岩夹碳质页岩等岩石中,经过一定程度的蚀变和重结晶作用,可见碳酸盐化、硅化及赤铁矿和高岭石重结晶作用,原生钴镍矿物(钴-斜方砷镍矿、钴-红砷镍矿)、含钴的毒砂和黄铁矿被溶蚀和钙菱锰矿、硅质等交代分散于碎屑岩的胶结物和次生矿物中,包括赤铁矿、褐铁矿、高岭石和次生的钙菱锰矿中,钴以分散形式存在。(2)根据钴的赋存状态查定结果,预计富集钴镍砷化物-硫砷化物,赤铁矿、褐铁矿和钙菱锰矿回收钴,钴的理论品位0.09%,理论回收率约50%;富集赤铁矿、褐铁矿中回收钴,理论品位0.07%,理论回收率40%;富集钴镍砷化物-硫砷化物,褐铁矿和钙菱锰矿回收钴,钴的理论品位0.14%,理论回收率约31%。(3)从该矿石中分选赤铁矿,理论品位约60%,理论回收率47%。但由于该矿中赤铁矿结晶粒度微细,嵌布粒度偏微细,预计铁的回收率较低。

## 6 小结

(1)该矿石中主要有价元素为钴和铁,伴生镍,以低硫、砷、磷和富氧化铁为特征。(2)该矿石主要矿物为赤铁矿、褐铁矿、石英、高岭石。钴的载体矿物有斜方砷镍矿、红砷镍矿、黄铁矿、毒砂,以及赤铁矿、褐铁矿、钙菱锰矿、高岭石等。(3)硫化物和砷化物的嵌布粒度极为微细,基本上小于0.045mm,且小于0.01mm的颗粒占50%左右;赤铁矿和褐铁矿的嵌布粒度粗细均有,呈不等粒嵌布,碳酸盐矿物—菱锰矿和锰方解石的嵌布粒度略粗。(4)铁的赋存状态查定表明,铁主要以赤铁矿和褐铁矿形式存在,此外,以微细粒赤铁矿混杂于粘土中的铁约占29%。从该矿石中分选赤铁矿,理论品位约60%,理论回收率47%。(5)钴的赋存状态查定表明,以镍钴砷化物中钴仅占原矿总钴的0.94%,赋存于毒砂和黄铁矿中的钴占原矿总钴的0.09%,以分散形式存在于赤铁矿、褐铁矿、钙菱锰矿、粘土和石英等脉石中的钴,分别占原矿总钴18.90%、20.32%、8.59%、40.28%和10.88%。

## [基金项目]

江西省地质局青年科学技术带头人培养计划项目(项目编号:2023JXDZKJRC03;下达文号:赣地质字(2023)12号)、江西省。

## [参考文献]

- [1]张慧,唐晖,刘筱舟.湖南省锑矿开发利用产业链现状[J].四川有色金属,2023,(03):5-8+17.  
 [2]张文谱,赵开乐,颜世强.镍钴战略性硫化矿产资源选冶研究现状及展望[J].金属矿山,2023,(05):266-275.  
 [3]罗晶,闫俊丞,刘倩.云南省某伴生放射性矿开发利用企业辐射环境监测与分析[J].辐射防护通讯,2022,42(06):32-37.

## 作者简介:

李凡顺(1990--),男,汉族,江西南昌人,本科,地矿高级工程师,研究方向:地质找矿与矿产勘查。