

# 湘东北地区井冲钴铜矿床中辉砷钴矿的发现、成因及开发利用价值

陕亮<sup>1</sup>, 黄啸坤<sup>1</sup>, 王川<sup>2</sup>, 鲍波<sup>1</sup>, 张赬<sup>1</sup>, 李艳军<sup>2</sup>

(1. 中国地质调查局武汉地质调查中心, 湖北 武汉 430205; 2. 中国地质大学(武汉)资源学院, 湖北 武汉 430074)

**Discovery of cobaltite in the Jingchong Co-Cu deposit, Northeastern Hunan province, South China: Implications for ore genesis and exploration**

SHAN Liang<sup>1</sup>, HUANG Xiaokun<sup>1</sup>, WANG Chuan<sup>2</sup>, BAO Bo<sup>1</sup>, ZHANG Kun<sup>1</sup>, LI Yanjun<sup>2</sup>

(1. Wuhan center, China Geological Survey, Wuhan 430205, Hubei, China; 2. School of Earth Resources, China University of Geosciences Wuhan 430074, Hubei, China)

## 1 研究目的(Objective)

湘东北地区井冲矿床(Co资源量 3283 t, 平均品位 0.022%)是中国为数不多的富钴岩浆热液脉型钴铜矿床之一。前人认为钴主体以类质同象或纳米微粒形式分布在黄铁矿中。本文以该钴铜矿床为研究对象, 围绕新发现的辉砷钴矿颗粒开展系统的微观矿物学研究, 确定了钴的赋存状态, 该成果对矿床成因及开发利用研究具有重要意义。

## 2 研究方法(Methods)

对井冲钴铜矿床富钴矿石开展显微镜下观察, 并采用 TESCAN 全自动矿物分析(TIMA)、背散射电子成像(BSE)、能谱仪(EDS)、电子探针分析(EPMA)等原位微观测试技术方法, 系统研究钴的赋存状态。

## 3 研究结果(Results)

井冲钴铜矿床主要产于湘东北地区 NNE-NE 长沙—平江断裂带中。矿体主要以脉状、透镜状或似层状赋存在 F<sub>2</sub> 断裂带下盘构造热液蚀变带中。矿石矿物主要为黄铜矿、闪锌矿、方铅矿, 少量为斑铜矿、

辉铜矿、自然铜等。成矿过程经历了石英-粗粒黄铁矿(PyI)-毒砂、石英-铜钴硫化物和石英-碳酸盐 3 个阶段。钴主要与黄铁矿(PyII)+黄铜矿(CcpI)+闪锌矿(Sp)等硫化物组合密切相关。手标本上辉砷钴矿呈浅蓝色, 主要形成于黄铁矿-黄铜矿聚集区域(图 1 a-c)。矿相学、TIMA 扫面及 BSE 图像分析显示, 辉砷钴矿主要与黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿等密切共生(图 1 d-i), 粒径为 5~30 μm。EDS 分析显示辉砷钴矿主要为 Co、As 和 S 组成(图 1 j, k)。

为进一步确定钴的赋存状态, 对辉砷钴矿、不同阶段黄铁矿、毒砂、黄铜矿和闪锌矿等硫化物进行了电子探针分析。发现辉砷钴矿主要由 As、Co、Fe 和 S 等元素组成, Co 含量为 28.37%~34.83%、As 含量为 38.92%~44.03%、S 含量为 20.83%~23.29%, 此外含少量 Fe(1.07%~4.84%)、Ni(0.00%~1.23%) 和 Cu(0.00%~0.25%)(表 1), 化学式为 Co<sub>0.48-0.59</sub>Fe<sub>0.02-0.09</sub>As<sub>0.52-0.59</sub>S<sub>0.65-0.68</sub>。电子探针(EPMA)扫面分析显示, 部分辉砷钴矿与黄铁矿、黄铜矿等矿物共生且内部具有不平衡结构(图 1 l-u)。

大量细粒或微粒状辉砷钴矿的发现显示井冲

作者简介: 陕亮, 男, 1984 年生, 博士, 高级工程师, 主要从事矿产调查评价与区域成矿规律研究; E-mail: shanlianggongzuo@126.com。

通讯作者: 李艳军, 男, 1982 年生, 博士, 副教授, 主要从事矿床地球化学、成矿规律与成矿预测等教学和研究工作; E-mail: lijy@cug.edu.cn。

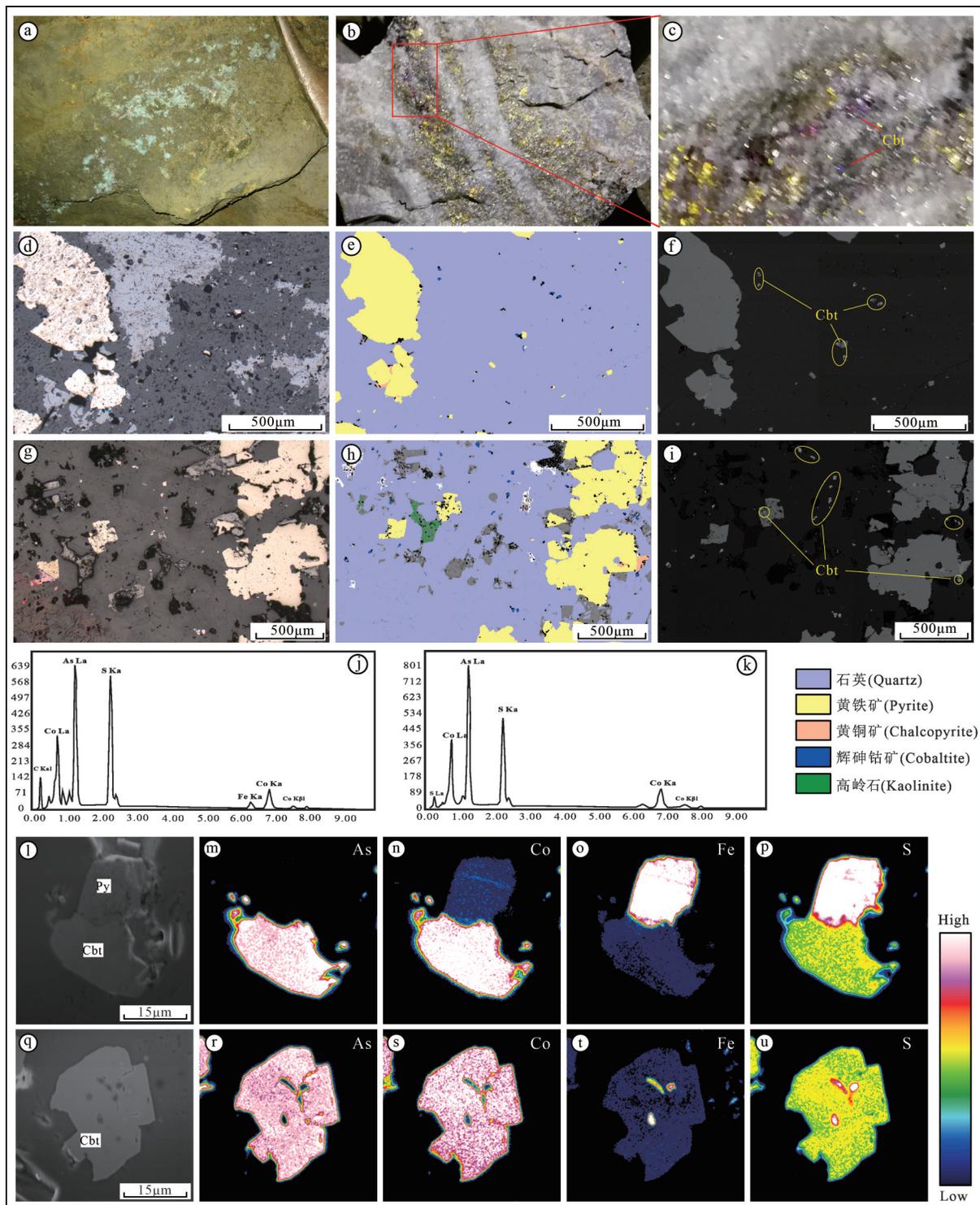


图1 井冲钴铜矿床富钴矿石照片及辉砷钴矿微观特征图

a—坑道中富钴矿石照片；b, c—富钴矿石手标本照片；d, g—反射光照片；e, h—TIMA 扫描分析图像；f, i—BSE 图像；j, k—辉砷钴矿能谱特征；l-u—辉砷钴矿 As、Co、Fe 和 S 元素 EPMA 扫描特征；Cbt—辉砷钴矿；Py—黄铁矿

Fig.1 Photographs of Co ores and micro-graphs of cobaltite in the Jingchong cobalt-copper deposit

a—Photograph of Co ores in tunnel; b, c—Photographs showing cobaltite in ores; d, g—Micrographs under reflected light; e, h—TIMA images; f, i—BSE images; j, k—EDS analysis of cobaltite; l-u—EPMA mapping of As, Co, Fe and S elements in cobaltite; Cbt—Cobaltite; Py—Pyrite

表1 辉砷钴矿电子探针分析结果(%)

Table1 Electron microprobe analyses results (%) of cobaltite										
样品号	S	Fe	Co	Ni	Cu	As	Mo	Sb	Total	化学式
B3122-e-gla01	22.48	4.68	32.10	-	-	42.61	0.24	-	102.11	Co <sub>0.54</sub> Fe <sub>0.08</sub> As <sub>0.57</sub> S <sub>0.70</sub>
B3122-e-gla02	23.10	2.15	34.82	0.01	-	40.90	0.18	-	101.15	Co <sub>0.59</sub> Fe <sub>0.04</sub> As <sub>0.55</sub> S <sub>0.72</sub>
B3122-e-gla03	22.83	2.46	34.10	-	-	40.81	1.08	0.03	101.30	Co <sub>0.58</sub> Fe <sub>0.04</sub> As <sub>0.54</sub> S <sub>0.71</sub>
B3122-e-gla06	22.52	3.32	31.98	0.11	-	41.30	0.19	0.02	99.43	Co <sub>0.54</sub> Fe <sub>0.06</sub> As <sub>0.54</sub> S <sub>0.70</sub>
B3122-e-gla09	20.83	3.30	30.70	0.35	-	41.67	0.19	-	97.04	Co <sub>0.52</sub> Fe <sub>0.06</sub> Ni <sub>0.01</sub> As <sub>0.56</sub> S <sub>0.65</sub>
B3122-e-gla14	22.45	2.63	32.94	0.21	-	41.20	0.21	-	99.63	Co <sub>0.53</sub> Fe <sub>0.05</sub> As <sub>0.55</sub> S <sub>0.70</sub>
B3122-e-gla15	22.37	2.83	34.31	0.06	-	41.08	0.12	-	100.78	Co <sub>0.58</sub> Fe <sub>0.05</sub> As <sub>0.55</sub> S <sub>0.7</sub>
B3122-e-gla17	22.96	3.62	32.76	-	-	41.12	0.23	-	100.69	Co <sub>0.56</sub> Fe <sub>0.06</sub> As <sub>0.55</sub> S <sub>0.70</sub>
B8505-b-gla01	21.17	2.60	31.01	0.26	-	40.59	0.18	-	95.81	Co <sub>0.53</sub> Fe <sub>0.05</sub> As <sub>0.54</sub> S <sub>0.66</sub>
B8505-b-gla06	22.11	2.25	33.95	0.37	-	43.36	0.18	-	102.21	Co <sub>0.58</sub> Fe <sub>0.06</sub> Ni <sub>0.0104</sub> As <sub>0.63</sub> S <sub>0.69</sub>
B8505-b-gla08	20.89	2.03	33.09	0.90	-	42.16	0.22	0.05	99.35	Co <sub>0.56</sub> Fe <sub>0.04</sub> Ni <sub>0.02</sub> As <sub>0.56</sub> S <sub>0.65</sub>
B8505-b-gla09	21.73	2.47	32.32	0.65	-	42.74	0.16	0.01	100.09	Co <sub>0.55</sub> Fe <sub>0.04</sub> Ni <sub>0.01</sub> As <sub>0.57</sub> S <sub>0.68</sub>
B8505-b-gla13	22.65	3.80	28.37	0.71	-	39.98	0.23	-	95.73	Co <sub>0.48</sub> Fe <sub>0.07</sub> Ni <sub>0.01</sub> As <sub>0.53</sub> S <sub>0.71</sub>
B8505-b-gla14	22.54	3.85	32.66	0.15	0.09	42.27	0.21	0.03	101.80	Co <sub>0.55</sub> Fe <sub>0.07</sub> As <sub>0.56</sub> S <sub>0.70</sub>
B8505-b-gla16	22.37	2.45	33.03	0.47	-	42.25	0.16	0.02	100.75	Co <sub>0.56</sub> Fe <sub>0.04</sub> Ni <sub>0.01</sub> As <sub>0.56</sub> S <sub>0.70</sub>
B8505-b-gla17	22.32	3.99	31.09	0.81	-	43.30	0.12	0.03	101.66	Co <sub>0.53</sub> Fe <sub>0.07</sub> Ni <sub>0.01</sub> As <sub>0.58</sub> S <sub>0.70</sub>
B8505-b-gla18	20.95	3.13	32.43	0.66	-	38.92	0.20	0.04	96.34	Co <sub>0.55</sub> Fe <sub>0.06</sub> Ni <sub>0.01</sub> As <sub>0.52</sub> S <sub>0.65</sub>
B8505-b-gla26	21.84	3.30	32.08	0.80	0.25	44.03	-	0.01	102.31	Co <sub>0.54</sub> Fe <sub>0.06</sub> Ni <sub>0.01</sub> As <sub>0.59</sub> S <sub>0.68</sub>
B8505-b-gla28	21.61	1.07	33.68	1.23	-	42.52	0.22	0.05	100.39	Co <sub>0.57</sub> Fe <sub>0.02</sub> Ni <sub>0.02</sub> As <sub>0.57</sub> S <sub>0.67</sub>
B8505-b-gla29	21.80	3.37	32.54	0.37	-	39.51	0.25	0.01	97.84	Co <sub>0.55</sub> Fe <sub>0.06</sub> Ni <sub>0.0102</sub> As <sub>0.53</sub> S <sub>0.68</sub>
B701-gla01	22.55	1.14	34.62	0.31	-	41.85	0.27	0.05	100.79	Co <sub>0.59</sub> Fe <sub>0.02</sub> Ni <sub>0.01</sub> As <sub>0.56</sub> S <sub>0.70</sub>
B8503-gla1	23.29	2.16	34.38	0.05	-	41.07	0.19	0.08	101.22	Co <sub>0.58</sub> Fe <sub>0.04</sub> As <sub>0.55</sub> S <sub>0.73</sub>
B703-a-gla01	22.33	2.11	34.83	0.94	-	41.25	0.16	0.04	101.66	Co <sub>0.59</sub> Fe <sub>0.02</sub> Ni <sub>0.02</sub> As <sub>0.55</sub> S <sub>0.70</sub>
B703-c-gla2	21.33	4.84	30.74	0.07	-	43.43	0.18	-	100.58	Co <sub>0.52</sub> Fe <sub>0.09</sub> As <sub>0.58</sub> S <sub>0.67</sub>

-: 低于检出限。

矿床中钴可能主要以独立矿物的形式存在,这对成矿作用分析和钴矿开发利用具有重要意义。(1)Co硫化物和砷化物中的As和S含量可以反映成矿流体的硫逸度,从早阶段的毒砂到主成矿阶段辉砷钴矿、黄铜矿和闪锌矿等矿物共生,表明硫逸度增强。(2)辉砷钴矿等钴矿物形成于高温环境(>300℃)。井冲钴铜矿床不发育中低温特征的“五元素”(Bi-Co-Ni-Fe-As)矿化,辉砷钴矿颗粒的大量发现表明成矿温度较高。(3)辉砷钴矿多与黄铁矿、黄铜矿等矿物共生且具不平衡结构,表明可能存在硫化物溶解-再沉淀过程。原有溶蚀硫化物中的元素进入流体,在新矿物的内部或边部富集沉淀形成富钴矿体。(4)钴矿开发利用方面,考虑到辉砷钴矿粒度仅为5~30 μm,建议选矿过程中将矿石先粉碎至5~30 μm,再考虑辉砷钴矿特征及含量适当优化后续流程,进一步提高钴回收率。

## 4 结论(Conclusions)

(1)TIMA、BSE、EDS和EPMA等研究确定井冲钴铜矿床中众多辉砷钴矿颗粒的存在,为钴元素最重要的赋存矿物。

(2)辉砷钴矿的存在表明井冲矿床形成于高温条件,成矿过程中硫逸度增强,硫化物溶解-再沉淀过程中钴元素释放-二次沉淀富集成矿。

(3)辉砷钴矿粒度为细粒或微粒,建议选矿时先将矿石粉碎至5~30 μm再考虑辉砷钴矿特征及含量适当优化后续流程,以实现钴的高效利用。

## 5 基金项目(Fund support)

本文为湖北省自然科学基金项目(2020CFB725)和中央高校基本科研业务费项目(CUGCJ1817)资助的成果。