

斑岩型铜矿床地球化学勘查中岩石化学指标

弓秋丽¹, 朱立新², 马生明¹, 席明杰¹

(1. 中国地质科学院 地球物理地球化学勘查研究所, 河北 廊坊 065000; 2. 中国地质科学院, 北京 100037)

摘要:依据江西城门山和内蒙古乌努格吐山2个斑岩型铜矿床试验资料, 探讨了用于斑岩型铜矿床勘查的岩石化学指标。结果表明, 常量化学组分 MgO、CaO 和 Na₂O 等在斑岩型矿化体中的含量显著低于其在中酸性岩中的丰度值 $w(\text{Na}_2\text{O})/w(\text{K}_2\text{O})$ 、 $w(\text{CaO})/w(\text{MgO})$ 值随 Cu 矿化强度增强有规律地变化, 可以有效指示斑岩型矿化体的存在及其矿化强度。此项成果丰富了地球化学勘查指标。

关键词:斑岩型铜矿床; 地球化学勘查; 岩石化学指标

中图分类号: P632

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2009)01-0031-04

地球化学异常是靠地球化学指标展示的, 地球化学指标是一切能提供找矿信息或一般地质信息的、能直接或间接测定的地球化学变量^[1]。随着地质找矿工作的深入和找矿难度的加大, 对地球化学指标提出了更高要求, 研究提取地球化学勘查新指标对提高找矿成功率意义重大。作为地球化学勘查指标的一种, 岩石化学指标在矿床勘查中的作用不仅仅表现为地球化学异常, 更重要的是可以反映总体成矿地球化学环境, 为解释矿致异常结构规律提供依据, 理应受到足够重视和充分实践。

笔者以城门山和乌努格吐山试验区试验研究结果为基础, 探讨了岩石化学指标在斑岩型铜矿床勘查中的作用。结果表明, 岩石化学指标在2个斑岩型铜矿床中表现出基本一致的变化规律, 并且均很好地指示了斑岩型铜矿化作用及矿化强度。

1 试验方法

城门山斑岩型铜矿位于江西九江—瑞昌成矿带上, 成矿受长江断裂带与北西及东北断裂带的控制, 矿床与中酸性浅成斑岩体有关, 属深源浅成铜矿床^①。试验研究样品在矿床露天采坑中沿剖面按不同标高采集, 共采集岩石样品39件。

乌努格吐山斑岩型铜矿位于满洲里—达赉北东向压扭性断裂与次级横向张性断裂交叉部位, 得尔布干深断裂带的次级北西向哈泥沟断裂带通过矿区。矿床主要受中心式火山机构控制的燕山晚期

以花岗闪长斑岩为主的杂岩体控制。试验研究样品分别采自4个钻孔岩芯。样品采用连续检块法采集, 采样间距视矿化程度而定, 平均5~7 m。共采集钻孔岩芯样品170件, 每件样品分析测试60项指标。常量化学组分分析方法、检出限如表1所示。分析质量监控采用一级标准物质和重复分析方法, 合格率100%(表1)。

表1 样品分析及质量监控结果

分析项目	分析方法	检出限	一级标准物质合格率	重复样合格率
SiO ₂	XRF	0.1	100	100
Al ₂ O ₃	XRF	0.1	100	100
Fe ₂ O ₃	XRF	0.1	100	100
MgO	ICP-OES	0.05	100	100
CaO	XRF	0.05	100	100
Na ₂ O	ICP-OES	0.05	100	100
K ₂ O	XRF	0.05	100	100

注: XRF 为压片法 X-射线荧光光谱分析; ICP-OES 等离子体光谱。样品测试单位为中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所。

探讨常量化学组分含量特征的目的是为了解斑岩型铜矿床形成过程中, 常量化学组分随着铜矿化程度不同的富集和分散规律, 为筛选提取岩石化学指标奠定基础。

试验中首先按 Cu 含量升序(或降序)方式将2个试验区常量化学组分含量分别进行排序, 然后将城门山试验区 Cu 含量划分为 <100g、100~500、500~1 000、1 000~2 000、>2 000 μg/g 五个含量段, 乌努格吐山试验区 Cu 含量划分为 <100、100~200、

① 黄恩邦, 孟良义, 张乃堂, 等. 城门山火山铜矿地质. 江西省地质矿产局赣西北大队, 1990.

收稿日期: 2008-10-12

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2006BAB01A10)和中国地质调查局地质大调查项目(1212010660404)联合资助

表 2 城门山试验区常量化学组分含量随 Cu 含量变化规律统计

Cu ¹⁾			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
含量段	平均含量值n/件 ²⁾								
<100	96	2	71.89	17.98	1.51	0.24	0.14	0.09	3.05
100~500	320	15	69.71	9.93	5.86	0.17	0.11	0.10	2.12
500~1000	635	14	71.49	11.64	6.11	0.24	0.13	0.12	2.85
1000~2000	1558	4	64.36	5.00	12.53	0.20	0.07	0.07	2.08
>2000	6798	4	59.01	12.77	12.70	0.35	0.13	0.07	2.15
中酸性岩中丰度值 ³⁾			65.98	15.60	2.25	1.12	2.11	3.75	3.50

注:中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所测试样品。(1)Cu 含量单位为 $\mu\text{g/g}$,常量化学组分含量单位为%;(2)n 为参加统计样品数;(3)据鄯明才等,1997。下表同。

表 3 乌努格吐山试验区常量化学组分含量随 Cu 含量变化规律统计

Cu			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
含量段	平均含量值 n/件								
<100	57	11	72.08	13.17	1.27	0.22	0.09	0.50	5.97
100~200	145	21	72.10	13.12	1.22	0.22	0.08	0.47	6.31
200~500	338	30	71.70	14.38	2.09	0.26	0.07	0.31	5.67
500~1000	724	31	70.47	15.06	2.93	0.35	0.06	0.26	5.14
1000~2000	1433	33	70.83	15.37	2.52	0.32	0.05	0.26	5.09
>2000	4458	44	69.65	15.54	2.98	0.35	0.05	0.23	4.90
中酸性岩中丰度值			65.98	15.60	2.25	1.12	2.11	3.75	3.50

200~500、500~1 000、1 000~2 000、>2 000 $\mu\text{g/g}$ 六个含量段,统计各含量段对应常量化学组分含量平均值,结果见表 2、表 3。

2 常量化学组分含量特征

在城门山试验区(表 2),随着 Cu 含量增高,Fe₂O₃ 含量依次增高,而且增高幅度很大,SiO₂、Al₂O₃ 含量总体呈降低趋势,MgO、CaO、Na₂O、K₂O 含量没有明显的规律性变化。在乌努格吐山试验区(表 3),随着 Cu 含量增高,Fe₂O₃、Al₂O₃、MgO 含量依次增高,但增高幅度不大,SiO₂、CaO、Na₂O、K₂O 含量总体呈降低趋势。

在两个试验区内,常量化学组分含量最显著特

点是与中酸性岩中相应组分丰度值相比,MgO、CaO 和 Na₂O 含量大幅度降低。城门山试验区 MgO、CaO 和 Na₂O 含量平均值的最高值不到丰度值的 1/3、1/15 和 1/31,最低值不到丰度值的 1/6、1/30 和 1/53。乌努格吐山试验区 MgO、CaO 和 Na₂O 含量平均值的最高值不到丰度值的 1/3、1/23 和 1/7,最低值不到丰度值的 1/5、1/42 和 1/16。

MgO、CaO 和 Na₂O 随 Cu 含量变化而变化的规律在两个试验区内基本一致,均表现为随着 Cu 含量增高,MgO 含量略有增高,CaO、Na₂O 含量降低。这一规律在乌努格吐山不同钻孔中仍然存在,随着钻孔中总体 Cu 矿化程度加强,MgO 含量增加,CaO、Na₂O 含量降低(表 4)。

表 4 乌努格吐山试验区钻孔中常量化学组分含量随 Cu 含量变化规律统计

Cu			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	$\frac{w(\text{Na}_2\text{O})}{w(\text{K}_2\text{O})}$	$\frac{w(\text{CaO})}{w(\text{MgO})}$
钻孔编号	平均含量	n/件									
ZK655	359	38	73.09	12.18	0.62	0.16	0.08	0.49	6.95	0.071	0.500
ZK691	1120	40	70.77	15.27	3.23	0.24	0.05	0.28	4.62	0.061	0.208
ZK694	1857	49	69.69	15.29	2.93	0.33	0.06	0.21	4.91	0.043	0.182
ZK657	3030	43	68.73	16.52	2.35	0.55	0.05	0.27	5.40	0.050	0.091
中酸性岩中丰度值			65.98	15.60	2.25	1.12	2.11	3.75	3.50	1.071	1.884

3 岩石化学指标

严格意义上的岩石化学指标是在岩石组分全分析数据基础上获取的,其作用是可以了解岩石内部化学组分的含量变化、元素在地壳内的迁移情况和变化规律、岩浆来源及可能出现的矿物组合,解决矿体和岩相分带,研究岩石成因等问题^[2]。笔者只是借鉴岩石化学指标研究思路和方法,利用地球化学

勘查样品常量化学组分定量分析数据,来探讨岩石化学指标在地球化学勘查阶段的指示作用。

上述常量化学组分含量特征及其随着 Cu 矿化程度变化而变化的规律,对探讨岩石化学指标在地球化学勘查阶段的指示作用具有重要意义。在以往地球化学勘查中,常用的指标与主成矿元素间通常是“水涨船高”式的共消长关系,就是随着主成矿元素含量增高或矿化程度增强这些指标含量也增高,

因此利用这些指标可以有效发现与矿化有关的“异常”,指示矿化作用或矿化体的存在,但是却不能利用这些指标判断“异常”与“矿”的关系,确切地说,就是不知道这些指标的异常强到什么程度时预示着可以成矿。

在斑岩型矿床地球化学勘查阶段, MgO 、 CaO 、 Na_2O 等指标的优势在于与其丰度值相比含量显著降低,尤其是 CaO 、 Na_2O 两项指标,含量降低幅度越大, Cu 矿化越强。斑岩型铜矿化体中常量化学组分含量特征及其变化规律势必引起相关岩石化学指标的有规律变化,而岩石化学指标的规律性变化就可以为地球化学勘查提供有价值的信息。

3.1 $w(\text{Na}_2\text{O})/w(\text{K}_2\text{O})$ 值及其意义

从前述试验结果中可以看到,在斑岩型铜矿化体中,随着 Cu 含量增加(矿化增强),碱质组分($w(\text{Na}_2\text{O})/w(\text{K}_2\text{O})$)总体含量呈现降低的趋势,而且 Na_2O 含量远远低于 K_2O 含量。

在乌努格吐山试验区 4 个钻孔中(表 4), ZK655 孔中采集 38 件样品, Cu 含量大于 $100 \mu\text{g/g}$ 的有 33 件,异常明显,但最高含量只有 $1\,016 \mu\text{g/g}$, 该孔中 $w(\text{Na}_2\text{O})/w(\text{K}_2\text{O})$ 值却最大,为 0.071, 比值变化范围 0.050 ~ 0.089。ZK691 孔中采集 40 件样品, Cu 含量大于 $100 \mu\text{g/g}$ 的样品有 37 件,大于 $2\,000 \mu\text{g/g}$ 的样品 5 件,该孔中 $w(\text{Na}_2\text{O})/w(\text{K}_2\text{O})$ 值为 0.061, 比值变化范围 0.036 ~ 0.245。ZK694 孔中采集 49 件样品, Cu 含量大于 $100 \mu\text{g/g}$ 的样品 47 件,大于 $2\,000 \mu\text{g/g}$ 的样品 16 件,该孔中 $w(\text{Na}_2\text{O})/w(\text{K}_2\text{O})$ 值为 0.043, 比值变化范围 0.013 ~ 0.088。ZK657 孔中采集 43 件样品, Cu 含量均大于 $100 \mu\text{g/g}$, 大于 $2\,000 \mu\text{g/g}$ 的样品多达 23 件,该孔中 $w(\text{Na}_2\text{O})/w(\text{K}_2\text{O})$ 值为 0.050, 比值变化范围 0.032 ~ 0.160。由此不难看出,在斑岩型 Cu 矿化体中, Na_2O 与 K_2O 间的比值随着 Cu 矿化强度增大而减小。

除少数情况之外,每个钻孔中 $w(\text{Na}_2\text{O})/w(\text{K}_2\text{O})$ 值相对稳定,变化范围较小,比值大小只与整个钻孔中 Cu 含量或矿化强度有关,而与具体每件样品中 Cu 含量没有明显相关性,这就为利用这项指标判断某个钻孔总体成矿前景提供了可能。综合利用 Na_2O 含量、碱质组分($w(\text{Na}_2\text{O}) + w(\text{K}_2\text{O})$)含量及 $w(\text{Na}_2\text{O})/w(\text{K}_2\text{O})$ 值,可以有效判断斑岩型铜矿化强度,评价 Cu 异常成矿前景。

3.2 $w(\text{CaO})/w(\text{MgO})$ 值及其意义

在斑岩型铜矿化体中, MgO 、 CaO 含量总体变化趋势是负相关关系,具体表现为随着 Cu 含量增加, MgO 含量略有增加, CaO 含量略有降低。由此容易

理解,随着 Cu 矿化强度增大, $w(\text{CaO})/w(\text{MgO})$ 值势必减小,乌努格吐山试验区钻孔中 $w(\text{CaO})/w(\text{MgO})$ 值的变化规律证实了这一点。

前已述及,乌努格吐山试验区 4 个钻孔中,从 ZK655、ZK691、ZK694 到 ZK657, Cu 矿化强度依次增大,与此相反, $w(\text{CaO})/w(\text{MgO})$ 值却依次减小,分别是 0.500、0.208、0.182 和 0.091,而且均显著小于中酸性岩中 $w(\text{CaO})/w(\text{MgO})$ 值,其变化趋势甚至比 $w(\text{Na}_2\text{O})/w(\text{K}_2\text{O})$ 值更为明显。在 Cu 平均含量相对较低或 Cu 矿化强度相对较弱的 ZK655 钻孔中, $w(\text{CaO})/w(\text{MgO})$ 值为 0.500,即 MgO 含量为 CaO 含量的 2 倍。在 Cu 平均含量最高而且有一半以上样品中 Cu 含量超过 $2\,000 \mu\text{g/g}$ 的 ZK657 钻孔中, $w(\text{CaO})/w(\text{MgO})$ 值只有 0.091,即 MgO 含量为 CaO 含量的 10 倍以上。由此认为,利用 $w(\text{CaO})/w(\text{MgO})$ 值,配合其他指标,诸如 $w(\text{Na}_2\text{O})/w(\text{K}_2\text{O})$ 值等,可以对斑岩型 Cu 矿化强度进行更加准确判断和评价。

3.3 其他指标

借鉴常规岩石化学指标研究方法,对其他常量化学组分的组合指标对矿化作用的指示意义进行了探讨,结果见表 5。从中可见,与中酸性岩中相应指标比较, $w(\text{CaO})/[w(\text{Na}_2\text{O}) + w(\text{K}_2\text{O})]$ (I) 显著减小, $100 \times w(\text{K}_2\text{O})/[w(\text{Na}_2\text{O}) + w(\text{K}_2\text{O})]$ (III)、 $100 \times w(\text{Fe}_2\text{O}_3)/[w(\text{Fe}_2\text{O}_3) + w(\text{MgO})]$ (IV)、 $100 \times [w(\text{Na}_2\text{O}) + w(\text{K}_2\text{O})]/[w(\text{CaO}) + w(\text{Na}_2\text{O}) + w(\text{K}_2\text{O})]$ (V) 则不同程度的增大,同一试验区内具体指标数值基本一致而且与 Cu 含量变化关系不大。城门山试验区 $100 \times [w(\text{Na}_2\text{O}) + w(\text{K}_2\text{O})]/[w$

表 5 常量化学组分组合指标统计

试验区	$w(\text{Cu})/(\mu\text{g/g})$		I	II	III	IV	V
	含量段	平均含量					
城门山	<100	96	0.045	179	97	86	96
	100 ~ 500	320	0.050	37	95	97	95
	500 ~ 1000	635	0.044	47	96	96	96
	1000 ~ 2000	1558	0.033	17	97	98	97
	>2000	6798	0.059	17	97	97	94
乌努格吐山	<100	57	0.015	436	92	85	99
	100 ~ 200	145	0.012	472	93	85	99
	200 ~ 500	338	0.012	210	95	90	99
	500 ~ 1000	724	0.011	207	95	88	99
	1000 ~ 2000	1433	0.008	161	95	89	99
	>2000	4458	0.009	180	96	86	99
中酸性岩			0.291	215	48	67	77

注: I— $w(\text{CaO})/[w(\text{Fe}_2\text{O}_3) + w(\text{MgO})]$; II— $100 \times [w(\text{Na}_2\text{O}) + w(\text{K}_2\text{O})]/[w(\text{Fe}_2\text{O}_3) + w(\text{MgO})]$; III— $100 \times w(\text{K}_2\text{O})/[w(\text{Na}_2\text{O}) + w(\text{K}_2\text{O})]$; IV— $100 \times w(\text{Fe}_2\text{O}_3)/[w(\text{Fe}_2\text{O}_3) + w(\text{MgO})]$; V— $[w(\text{Na}_2\text{O}) + w(\text{K}_2\text{O})]/[w(\text{CaO}) + w(\text{Na}_2\text{O}) + w(\text{K}_2\text{O})]$ 。

$(\text{Fe}_2\text{O}_3) + w(\text{MgO})](\text{II})$ 低于中酸性岩中相应指标值,乌努格吐山试验区当 Cu 含量小于 $200 \mu\text{g/g}$ 时, $100 \times [w(\text{Na}_2\text{O}) + w(\text{K}_2\text{O})]/(w(\text{Fe}_2\text{O}_3) + w(\text{MgO}))(\text{II})$ 高于中酸性岩中相应指标值,当 Cu 含量大于 $200 \mu\text{g/g}$ 时 $100 \times [w(\text{Na}_2\text{O}) + w(\text{K}_2\text{O})]/[w(\text{Fe}_2\text{O}_3) + w(\text{MgO})](\text{II})$ 低于中酸性岩中相应指标值,2 个试验区 $100 \times [w(\text{Na}_2\text{O}) + w(\text{K}_2\text{O})]/[w(\text{Fe}_2\text{O}_3) + w(\text{MgO})](\text{II})$ 指标的共同点是均随着 Cu 含量的增加而降低。上述各项指标出现这种变化规律,是由矿化体中 Fe_2O_3 、 MgO 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O 的含量及其随 Cu 含量变化而变化的规律来决定,也是在斑岩型矿化过程中,常量化学组分随矿化程度不同分布分配特征的客观反映。

4 结论

笔者以城门山、乌努格吐山斑岩型铜矿为例,从常量化学组分含量随 Cu 含量变化规律研究入手,发现了 Na_2O 、 CaO 、 MgO 等组分含量对判断斑岩型 Cu 矿化的指示作用;以乌努格吐山实际钻孔资料为基础,探讨了 $w(\text{Na}_2\text{O})/w(\text{K}_2\text{O})$ 值、 $w(\text{CaO})/w(\text{MgO})$ 值等在判断 Cu 矿化强度上的实际作用。结果表明,随着钻孔中 Cu 矿化强度整体增强, $w(\text{Na}_2\text{O})/w(\text{K}_2\text{O})$ 值、 $w(\text{CaO})/w(\text{MgO})$ 值降低,矿化强度越大,比值降低幅度越大,但是在同一个钻孔中比值的变化与 Cu 含量关系不甚密切。这一发现在斑岩型铜矿床地球化学勘查中,对判断地球化学

异常成矿前景具有重要实际意义,与其他地球化学勘查指标配合使用,将提高地球化学异常评价水平,取得事半功倍的找矿效果。

斑岩型铜矿床中, Na_2O 、 CaO 、 MgO 及其他常量化学组分含量特征是矿床形成过程中元素分布分配规律的体现, MgO 、 CaO 、 Na_2O 等常量化学组分含量偏低特征在以往研究成果中已有提及^[4-5],但是利用这些组分含量的特点开展地球化学勘查,其理论依据和方法技术尚需要系统研究和深化。通过对这种分布分配规律的系统研究,总结归纳出斑岩型铜矿床成矿地球化学环境和矿致异常结构规律,为解释微量元素地球化学异常提供基础资料,为勘探工程布置提供翔实地球化学信息。

参考文献:

- [1] 阮天健,朱有光.地球化学找矿[M].北京:地质出版社,1985.
- [2] 江晓波,谭光国.岩石化学数据应用手册[M].天津:天津科学技术出版社,1993.
- [3] 朱炳球,徐外生,吴承烈.斑岩(铜)矿床原生地球化学异常[C]//张本仁.勘查地球物理地球化学文集第二集.北京:地质出版社,1985.
- [4] 赵仑山,陈德兴,陈守全.白乃庙斑岩铜矿田地质地球化学特征及化探找矿研究[C]//张本仁.勘查地球物理地球化学文集.北京:地质出版社,1985.
- [5] Govett J S. Rock Geochemistry in Mineral Exploration[M]. New York:Elsevier Scientific Publishing Company, 1983.

PETROCHEMICAL INDICES IN GEOCHEMICAL EXPLORATION OF PORPHYRY TYPE COPPER DEPOSITS

GONG Qiu-li¹, ZHU Li-xin², MA Sheng-ming¹, XI Ming-jie¹

(1. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang 065000, China; 2. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: Based on data obtained from the Chengmenshan porphyry copper deposit in Jiangxi and the Wunugetushan porphyry copper deposit in Inner Mongolia, the authors investigated the petrochemical indices for the exploration of porphyry copper deposits. It is shown that the contents of such common chemical components as MgO , CaO and Na_2O are obviously lower than their abundances in immediate-acid rocks, whereas $w(\text{Na}_2\text{O})/w(\text{K}_2\text{O})$ and $w(\text{CaO})/w(\text{MgO})$ ratios vary regularly with the increasing Cu mineralization intensity. These results can effectively indicate the existence of porphyry mineralized bodies and their mineralization intensity and greatly enrich the geochemical exploration indices.

Key words: porphyry copper deposit; geochemical exploration; petrochemical index

作者简介:弓秋丽(1983-),女,中国地质科学院在读硕士研究生,地球化学专业。