

乌努格吐山斑岩型铜钼矿床地球化学异常结构研究

梁胜跃¹, 马生明¹, 朱立新², 刘崇民¹, 陈晓锋²

(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: 以乌努格吐山试验区钻孔岩芯中 MgO、CaO、Na₂O 贫化现象为切入点, 结合乌努格吐山斑岩铜钼矿床蚀变分带明显和矿化特征, 发现钻孔中 CaO、MgO、Na₂O 等组分相对各自丰度明显贫化的信息可以反映到地表岩石上来。讨论了这种贫化信息与成矿元素 Cu、Mo 在钻孔岩芯和地表岩石中的关系, 并对该试验区 47 种元素的地球化学特征进行研究, 讨论了这些元素的富集贫化特征与成矿元素和 CaO、MgO、Na₂O 等组分构成的整体元素地球化学特征。根据该矿床的富集与贫化两类元素所表现的地球化学特征, 建立该矿床地球化学异常结构。此项成果对斑岩型铜钼矿床地球化学勘查方法与理论的完善具有重要意义。

关键词: 异常结构; 斑岩型铜钼矿床; 成矿环境; 乌努格吐山

中图分类号: P632

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2010)02-0127-07

乌努格吐山大型斑岩型铜钼矿床的蚀变分带明显, 有研究表明^[1], 取自该矿床的钻孔岩芯样品, 与中酸性岩丰度相比, 其常量化学组分 MgO、CaO 和 Na₂O 含量显著贫化, 这些组分含量的贫化程度与钻孔中 Cu 矿化强度没有明显的相关性, 只与是否存在具有工业价值的矿化体有关。可以预见, 钻孔中 MgO、CaO、Na₂O 的这种贫化现象对开展地球化学勘查, 特别是针对隐伏斑岩型矿床的地球化学勘查具有重要指示意义。但是, 钻孔中这些组分的贫化现象在地表矿化蚀变带岩石中是否还存在? 与成矿元素、其他矿化指示元素构成的结构规律如何? 这些问题对制定斑岩型铜钼矿床地球化学勘查方法极为重要。为此, 在原有试验研究结果基础上, 利用乌努格吐山试验区 4 个钻孔原生晕资料和 2 条地表岩石剖面资料, 进一步探讨了钻孔中 Cu 矿化强度与常量化学组分 MgO、CaO、Na₂O 分布特征的关系, 以及地表各蚀变带岩石中常量化学组分富集贫化规律及其与成矿元素、矿化指示元素构成的异常结构特征, 为斑岩型铜钼矿床地球化学勘查提供了新的思路和方法。

1 地质概况

乌努格吐山斑岩型铜钼矿床位于额尔古纳加里东褶皱系东缘中生代火山盆地边部的相对隆起区, 著名的 NE 向德尔布干深断裂从矿区东侧约 50 km

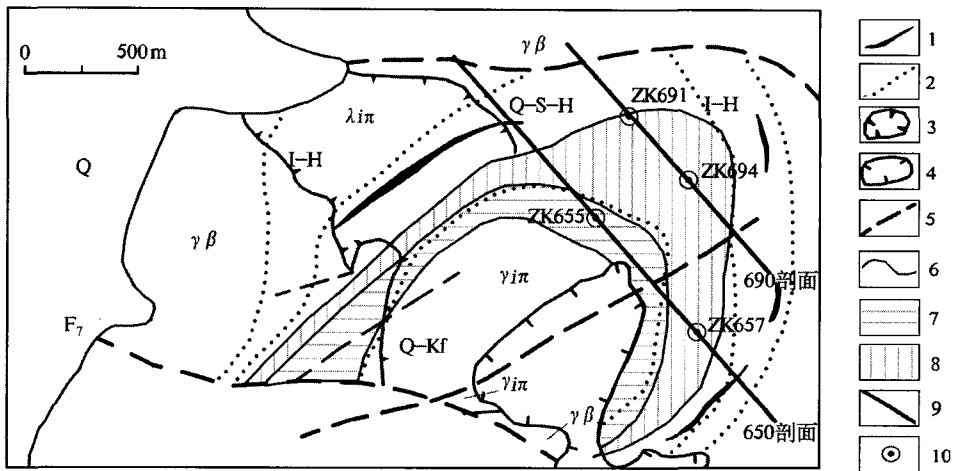
处通过^[2]。

试验区内地层比较复杂, 上元古界佳疙疸群为一套片岩类岩石; 泥盆系中统乌奴尔组为变质较深的碎屑岩、火山岩及碳酸岩; 二叠系上统老龙头组为浅变质中酸性火山岩及变质砂砾岩; 侏罗系中统南平组为陆相粗—细碎屑岩含凝灰质岩; 侏罗系上统包括塔木兰沟组、木瑞组和上库力组, 主要为中酸性火山岩及次火山岩; 白垩系伊列克得组和大磨拐河组岩性为陆相碎屑岩及中基性—中性—酸性钙碱系列火山岩和碱性玄武岩。

矿床的近矿围岩为黑云母花岗岩, 成矿母岩为二长花岗斑岩^[2]。矿床蚀变分带明显, 可划分为内—中—外 3 个带^[3] (图 1)。内带为石英—钾长石化带, 主要发育于二长花岗斑岩中, 部分在黑云母花岗岩中, 中心为硅化强烈的无矿核心, 外部为钼矿体主要赋存部位。中带为石英—绢云母化带, 发育于黑云母花岗岩和流纹质凝灰熔岩及二长花岗斑岩的小岩枝中, 该带内部为铜矿体主要赋存部位。外带为水白云母化带, 发育在黑云母花岗岩流纹质晶屑凝灰熔岩中。与典型斑岩型铜钼矿床蚀变带相比, 该矿床绿泥石化带不发育^[4-5]。

2 试验方法

试验样品分为钻孔岩芯样品和地表岩石样品。岩芯样品取自 4 个钻孔 (见图 1), 采用连续捡块采



1—流纹斑岩;2—蚀变带界线;3—火山管道构造;4—爆发角砾岩筒;5—断层;6—地质界线;7—铅矿化;8—铜矿化;9—岩石测量剖面线;10—钻孔;Q—第四系; γin —二长花岗斑岩; λin —流纹质屑凝灰熔岩; $\gamma\beta$ —黑云母花岗岩;I-H—水白云母化带;Q-S-H—石英-绢云母化带;Q-Kf—石英-钾长石化带

图1 乌努格吐山试验区北矿段地质略图(据黑龙江有色地质勘查706队资料修编)

集方法,采样间距视矿化程度而定,一般为5~7 m,共采集钻孔岩芯样品170件。地表岩石样品采自650、690勘探线剖面(见图1),采样间距一般为40 m,蚀变带外围采样间距放稀至100 m,在每个采样点上采集2~3个样组合为一件样品。所有钻孔和地表样品由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所中心试验室分析,每件样品分析测试指标47项,各项指标分析方法及分析质量监控结果见表1。

3 钻孔中CaO、Na₂O、MgO贫化与Cu、Mo矿化的关系

弓秋丽等将乌努格吐山试验区钻孔岩芯样品中常量化学组分含量按Cu的不同含量段进行了统计(表2)^[1],从中可以看出,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,对比中酸性岩丰度可以发现,钻孔岩芯中常量化学组分变化最显著的有CaO、Na₂O、MgO、K₂O等4种组分,其中CaO、Na₂O、MgO显著贫化,而K₂O则明显富集。钻孔岩芯中常量化学组分这种富集贫化特征,特别是贫化特征对矿床地球化学勘查方法具有重要作用,

表1 样品分析方法及质量监控结果

分析项目	分析方法	检出限	分析项目	分析方法	检出限
MgO, Na ₂ O	ICP-OES	0.05	Zn, Zr	XRF	2
SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	XRF	0.1	Cs, Cu, Co, Y, Sc	ICP-MS	1
CaO, K ₂ O	XRF	0.05	Au	AAN	0.2
Nb, Ni, Pb	ICP-MS	2	Ba, Cr	XRF	5
Ag	ES	20	Li	ICP-OES	1
As	AFS	1	Mn	XRF	10
B	ES	2	Mo	ICP-MS	0.3
Be	ICP-MS	0.5	Rb	XRF	5
Bi	ICP-MS	0.05	S	XRF	50
Cd	ICP-MS	30	Sb	AFS	0.05
In	ICP-MS	0.02	Se	AFS	0.01
F	ICP-MS	100	Sn	ES	1
Ga	XRF	1	Sr	XRF	5
Ce	AFS	0.1	Te	ICP-MS	0.01
Hf	ICP-MS	0.2	Ta, Ti	ICP-MS	0.1
Hg	AFS	2	Ti	XRF	10
I	COL	1	W	ICP-MS	0.3

注:氧化物含量单位为%, Au、Ag、Hg含量单位为ng/g,其余元素含量单位为μg/g。

有必要进行深入探讨。

表2中所列举的CaO、Na₂O、MgO等的贫化现象是试验区内1个钻孔的总体统计结果,钻孔原生

表2 乌努格吐山试验区常量化学组分含量随Cu含量变化规律^[1]

$w(\text{Cu})/(\mu\text{g/g})$			$w(\text{SiO}_2)$	$w(\text{Al}_2\text{O}_3)$	$w(\text{Fe}_2\text{O}_3)$	$w(\text{MgO})$	$w(\text{CaO})$	$w(\text{Na}_2\text{O})$	$w(\text{K}_2\text{O})$
含量段	平均含量	样品数	%	%	%	%	%	%	%
<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
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			70.85	14.20	1.22	0.94	1.83	3.52	4.00

晕样品分析结果显示,4 个钻孔中矿化类型及强度存在一定差异。ZK655 中 Mo 含量较高,在该钻孔的 38 件样品中,有 15 件含量达到 200 mg/kg 以上。ZK657、ZK694 中 Cu 含量较高,在 ZK657 的 43 件样品中含量超过 2 000 mg/kg 的有 23 件,最高达到 9 087.91 mg/kg, ZK694 的 49 件样品中含量超过 2 000 mg/kg 的有 16 件,最高为 6 652 mg/kg。与上述 3 个钻孔相比,ZK691 中 Cu、Mo 含量均较低,但是与各自的酸性岩丰度相比,异常明显。试验中首先探讨了钻孔中矿化类型及矿化强度与 CaO、Na₂O、MgO 等常量化学组分贫化的关系,结果见图 2、表 3。

从图 2、表 3 中可以看到,无论钻孔中矿化类型是以 Cu 为主(ZK657、ZK694),还是以 Mo 为主(ZK655),其中 CaO、Na₂O 的含量均较酸性岩中 CaO、Na₂O 的丰度显著贫化。MgO 在以 Cu 和 Mo 为主的矿化钻孔中贫化现象均较明显,但是相比较而言,在 Mo 矿化钻孔中贫化更加显著,在 Cu 矿化钻孔中贫化相对较弱,而且 Cu 矿化越强,MgO 的贫化

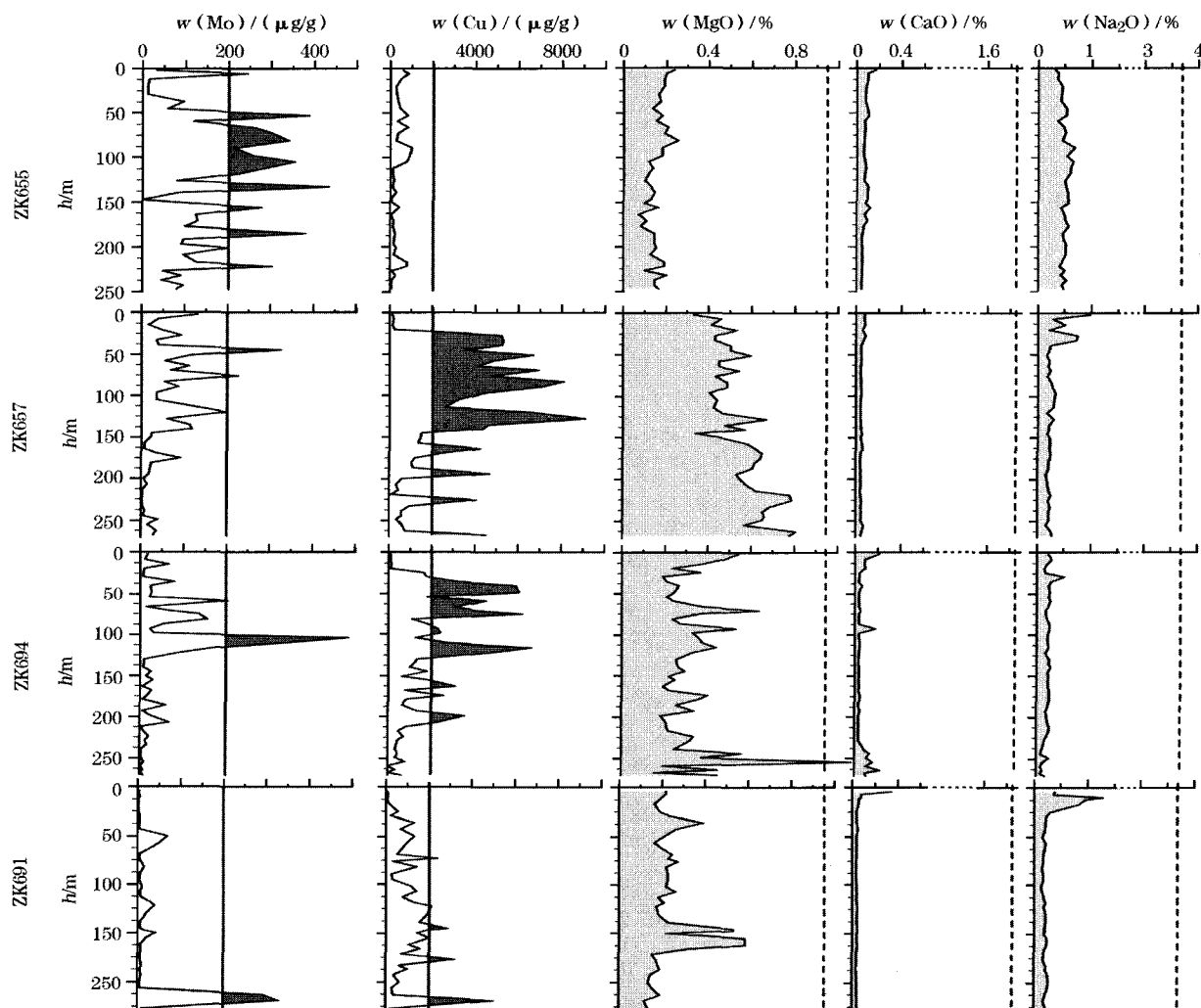
表 3 不同钻孔 CaO、Na₂O、MgO 与 Cu、Mo 的关系

项目	ZK655	ZK657	ZK694	ZK691
钻孔矿体类型	Mo	Cu	Cu	未达工业品位
样品数/个	38	43	49	40
$\bar{w}(\text{Cu})/(\mu\text{g/g})$	248	3030	1857	1120
$w(\text{Cu})_{\text{max}}/(\mu\text{g/g})$	1016	9087	6652	5013
$w(\text{Cu})_{\text{min}}/(\mu\text{g/g})$	58	95	6	58
样品数(Cu2000)/个	0	23	16	5
$\bar{w}(\text{Mo})/(\mu\text{g/g})$	164	58	50	26
$w(\text{Mo})_{\text{max}}/(\mu\text{g/g})$	434	323	335	327
$w(\text{Mo})_{\text{min}}/(\mu\text{g/g})$	12	0.64	1	1.6
样品数(Mo200)/个	15	2	2	2
$\bar{w}(\text{CaO})/\%$	0.076	0.0497	0.06	0.05
$\bar{w}(\text{Na}_2\text{O})/\%$	0.491	0.273	0.21	0.28
$\bar{w}(\text{MgO})/\%$	0.156	0.548	0.33	0.24

注:样品数(Cu2000)表示 $w(\text{Cu}) > 2000 \mu\text{g/g}$ 的样品数量,样品数(Mo200)表示 $w(\text{Mo}) > 200 \mu\text{g/g}$ 的样品数量

越弱。

从图 2 中可以看到,即便是在以 Cu 或 Mo 矿化为主的钻孔中,成矿元素 Cu 或 Mo 的含量在钻孔不同深度上也并不一致。对比每个钻孔中 Cu 或 Mo

图 2 4 个钻孔中成矿元素与 MgO、CaO、Na₂O 的分布特征

与 MgO 、 CaO 、 Na_2O 的含量变化不难发现, Cu 或 Mo 与 MgO 、 CaO 、 Na_2O 含量之间基本不存在相关性, 也就是 MgO 、 CaO 、 Na_2O 的含量与 Cu 或 Mo 的含量(矿化强度)没有相关性。结合 MgO 、 CaO 、 Na_2O 显著贫化的含量水平可以得出这样的认识, 在钻孔中, 即在矿化体埋藏深度上, MgO 、 CaO 、 Na_2O 的贫化与 Cu 或 Mo 矿化强度没有直接关系, 而只与是否存在矿化体有关, 即 MgO 、 CaO 、 Na_2O 的贫化不受 Cu 或 Mo 矿化强度的影响, 而是受是否存在 Cu 或 Mo 矿化体控制。也就是说, 在斑岩型铜钼矿床中, MgO 、 CaO 、 Na_2O 的贫化及其贫化程度反映的是斑岩型矿

床成矿地球化学环境信息, 是指示深部是否存在 Cu 或 Mo 矿化体的有效地球化学指标。如果这种信息能够反映到地表, 与其他地球化学指标有机结合, 构成斑岩型矿床地球化学异常结构, 无疑对此类矿床的地球化学勘查将具有重大意义。

4 矿化蚀变带岩石中常量化学组分及微量元素含量特征

为了探讨乌努格吐山试验区地表岩石中常量化学组分、微量元素含量特征, 将采自 650、690 勘探线剖面上的 53 件岩石样品, 按照各自所处的蚀变带分

表 4 乌努格吐山试验区矿化蚀变带内岩石中元素平均含量 $\bar{x}$ 与浓集系数 (K_K) 统计

	元素	丰度	石英-钾长石化带 ($n=8$)		石英-绢云母化带 ($n=31$)		水白云母化带 ($n=14$)	
			$\bar{x}$	K_K	$\bar{x}$	K_K	$\bar{x}$	K_K
常量化学组分	MgO	0.94	0.29	0.31	0.39	0.42	0.42	0.45
	CaO	1.83	0.17	0.10	0.20	0.11	0.47	0.26
	Na_2O	3.52	0.38	0.11	0.27	0.08	0.96	0.27
	K_2O	4.00	5.91	1.48	4.62	1.15	4.81	1.20
	Fe_2O_3	1.22	0.68	0.56	2.31	1.89	3.12	2.55
	SiO_2	70.85	73.38	1.04	72.40	1.02	70.11	0.99
	Al_2O_3	14.20	13.72	0.97	14.19	1.00	14.08	0.99
在矿化蚀变带内发生富集的元素	Cu	8	615	76.95	116	14.54	104	13.12
	Mo	0.70	64.03	91.47	59.45	84.93	7.71	11.01
	As	1.70	66	39.20	96	56.79	107	63.27
	Sb	0.16	2.06	12.85	2.87	17.92	3.73	23.33
	Au	0.53	1.26	2.38	2.35	4.43	12.14	22.90
	Ag	60.00	404.70	6.75	457.78	7.63	918.45	15.31
	Hg	6.60	15.62	2.37	86.13	13.05	77.24	11.70
	Se	0.03	0.15	4.47	1.71	51.72	0.71	21.40
	In	0.05	0.06	1.18	0.07	1.44	0.18	3.54
	Sn	2.00	5.42	2.71	6.85	3.43	4.01	2.00
	W	0.85	7.93	9.32	9.49	11.17	8.04	9.46
	Te	5.00	60	10	260	50	920	180
	Ge	1.15	2.70	2.34	2.22	1.93	1.96	1.71
	B	6.20	11.43	1.84	15.53	2.50	20.25	3.27
	F	490.00	894.17	1.82	1448.15	2.96	989.91	2.02
在矿化蚀变带内发生贫化的元素	I	0.05	0.30	6.08	0.44	8.76	0.57	11.49
	Ba	700	570	0.81	523	0.75	585	0.84
	Sr	250	80	0.32	61	0.25	108	0.43
	Cs	3.50	0.97	0.28	1.19	0.34	2.98	0.85
	Ti	1770	671	0.38	878	0.50	1243	0.70
	Ni	7.7	3.5	0.45	3.7	0.48	4.3	0.55
	Co	4.8	0.92	0.19	1.14	0.24	1.39	0.29
	Zr	160	91	0.57	102	0.64	109	0.68
	Li	19	11	0.59	10	0.51	10	0.55
	Sc	5.30	2.46	0.46	3.08	0.58	3.36	0.63
	Be	2.70	1.14	0.42	1.97	0.73	2.16	0.80
	Hf	5.00	3.17	0.63	4.05	0.81	3.96	0.79
	Nb	15	7	0.44	7	0.48	8	0.53
	Ta	1.20	0.69	0.58	0.79	0.65	0.84	0.70
	Zn	45	8	0.19	10	0.22	29	0.64
从内带向外带含量增高元素	Pb	24	15	0.63	12	0.5	75	3.13
	Bi	0.24	0.08	0.35	0.31	1.31	0.83	3.45
	Rb	140	63	0.66	88	0.93	134	1.41
	Mn	380	263	0.69	352	0.93	384	1.01
	Cr	12	10	0.86	10.98	0.92	12.56	1.05
	S	120	121	1.01	1232	10.27	1544	12.87
	Tl	0.73	0.60	0.82	0.70	0.96	1.09	1.49

注: 常量化学组分含量单位为%; Ag 、 Au 、 Hg 、 Te 含量单位为 ng/g ; 其他元素含量单位为 $\mu\text{g/g}$

别统计了平均值 $\bar{x}$, 并将平均值与酸性岩丰度^[6] 相比, 计算了每个元素的浓集系数 (K_K), 结果如表 4 所示。为了更加准确描述各蚀变带岩石中元素的富集、贫化特征, 按浓集系数大小将元素的富集、贫化程度划分为以下几类: 强富集元素 ($K_K \geq 10$); 中等富集元素 ($5 \leq K_K < 10$); 弱富集元素 ($1.2 \leq K_K < 5$); 弱贫化元素 ($0.5 \leq K_K < 0.8$); 强贫化元素 ($K_K < 0.5$); 将 K_K 在 0.8 ~ 1.2 之间的元素视为惰性。

4.1 常量化学组分含量特征

从表 4 中可以看到, 在地表石英—钾长石化、石英—绢云母化和水白云母化带的岩石中, MgO 、 CaO 、 Na_2O 这几种在钻孔岩芯中发生显著贫化的常量化学组分对应地均出现了显著贫化, 按照文中对元素富集贫化程度的划分, 这 3 种组分的贫化都达到了强贫化的程度 ($K_K < 0.5$), 属强贫化组分。其中, CaO 、 Na_2O 的贫化程度较 MgO 更强, 总体趋势是由斑岩型矿化蚀变的内带向外带贫化程度减弱, 在石英—钾长石化带、石英—绢云母化带中, CaO 、 Na_2O 的浓集系数只有 0.1 左右, 而在水白云母化带中浓集系数增大到 0.3 左右。

石英—钾长石化带中, K_2O 平均含量 5.91%, 浓集系数为 1.48, 表现为弱富集特点。石英—绢云母化带和水白云母化带中, K_2O 平均含量分别为 4.62 和 4.81, 浓集系数分别为 1.15 和 1.20, 表明在这 2 个蚀变带内, K_2O 基本表现为惰性, 没有发生明显的富集或贫化作用。 K_2O 的这种分布特征与朱炳球等^[7] 对国内几个典型斑岩型铜钼矿床以及宋国利^[8-9] 等对乌努格吐山斑岩型铜钼矿床各蚀变带内二长花岗岩的研究结果基本一致。

用浓集系数指标来衡量, SiO_2 、 Al_2O_3 两种组分在地表矿化蚀变带岩石中均表现为惰性, 既没有发生明显富集, 也没有发生明显贫化, 表明这两种组分含量受斑岩型铜钼矿化作用的影响不大。

对比地表蚀变带岩石与钻孔岩芯中 MgO 、 CaO 、 Na_2O 含量可以看出, MgO 和 CaO 在地表蚀变带岩石中的含量比钻孔岩芯中的含量稍有增高, 而 Na_2O 的含量基本保持一致, 也就是说, 在钻孔岩芯中贫化的 MgO 、 CaO 、 Na_2O 等组分在地表矿化蚀变带岩石中同样贫化, 表明钻孔岩芯中 MgO 、 CaO 、 Na_2O 的贫化信息可以在地表矿化蚀变带岩石中反映出来。 MgO 、 CaO 、 Na_2O 化学组分的强烈贫化, 将导致岩石中微量元素分布分配状况和含量特征的变化, 也将引起微量元素发生相应的贫化或富集。

4.2 在矿化蚀变带内发生富集的元素

从表 4 中可以看到, 在 3 个矿化蚀变带内均发

生富集的微量元素有 Cu 、 Mo 、 Pb 、 Te 、 As 、 Sb 、 Au 、 Ag 、 Hg 、 Sn 、 W 、 Se 、 In 、 Ge 、 B 、 F 、 I 等。成矿元素 Cu 、 Mo 在整个矿化蚀变带岩石中均表现出富集的特点, 但是含量由内带向外带依次降低, 浓集系数减小亲铜元素 As 、 Sb 、 Au 、 Ag 、 Hg 在 3 个矿化蚀变带内也都发生了富集, 但是富集趋势恰好与 Cu 、 Mo 的富集趋势相反, 从石英—钾长石化带、石英—绢云母化带到水白云母化带, 这几个元素含量逐次增加, 浓集系数增大。在最外围的白云母化带内, 这几个元素的浓集系数都超过 10, 最为明显的有 As 、 Te , 浓集系数分别达到 63 和 180 以上。有研究表明, 乌努格吐山矿床黄铁矿中 As 含量很高^[5], 结合本次研究中常量化学组分 Fe_2O_3 在蚀变带内的含量分布特征, 推测 As 在蚀变带内的含量变化与黄铁矿关系密切。

亲铜分散元素 Se 、 In 在各蚀变带内均表现出一定的富集特点, 其中 Se 的富集趋势非常明显, 尤其在石英—绢云母化带内浓集系数达到 50 以上。 In 的最大富集则出现在水白云母化带内, 但是总体富集水平在弱富集元素之列。

在其他发生富集的微量元素中, 以 W 、 I 的富集程度最大。各蚀变带内 W 的浓集系数均在 10 左右, 达到中等富集水平。 I 的富集趋势与亲铜元素类似, 从石英—钾长石化带、石英—绢云母化带到水白云母化带, 富集程度依次增大。其余元素, 如 Sn 、 Ge 、 B 、 F 等, 浓集系数都小于 5, 而且在各蚀变带内含量及浓集系数变化幅度不大。

上述元素的富集特征与典型斑岩型铜钼矿床元素含量特征基本一致^[10-13], 所不同的是该矿床各个蚀变带内 As 、 Sb 含量都很高, 特别是 As 的含量非常高, 并且这两个元素由内部蚀变带向外部蚀变带含量变化均为明显升高, 统计结果显示, As 、 Sb 相关系数达到了 0.86 ($n=53$), 含量变化曲线形态几乎一样, 说明这两个元素的关系非常密切, 可能与黝铜矿、砷黝铜矿^[14-15] 和黄铁矿^[5] 有关。

4.3 在矿化蚀变带内发生贫化的元素

在 3 个矿化蚀变带内均发生贫化的元素有 Ba 、 Sr 、 Cs 、 Ti 、 Ni 、 Co 、 Zr 、 Li 、 Sc 、 Hf 、 Nb 、 Ta 、 Be 、 Zn 。矿化蚀变带中, 亲石分散元素 Ba 、 Sr 、 Cs 等的贫化与元素的地球化学性质有关。在 3 个亲石分散元素中, Sr 、 Cs 的贫化程度较 Ba 大, 尤其是在石英—钾长石化带和石英—绢云母化带中贫化程度更大, 由此可见, Cu 、 Mo 矿化程度越强, Sr 、 Cs 等的贫化越明显。

铁族元素 Ti 、 Ni 、 Co 在钾长石化、绢云母化、水白云母化 3 个蚀变带中均表现为贫化, 相比较而言, Co 的贫化程度最高。从内蚀变带到外蚀变带, Ti 、

Ni、Co 的贫化程度略有减弱,这种含量变化趋势与 Fe_2O_3 相似,但是程度上存在差异,在石英—绢云母化带和水白云母化带内, Fe_2O_3 表现为富集。

Zr、Li、Be、Sc、Hf、Nb、Ta 等稀有元素在斑岩型矿化蚀变带中表现出一致的贫化特征,浓集系数多数介于 0.5~0.8 之间,基本为弱贫化元素。

Zn 是乌努格吐山斑岩型铜钼矿化蚀变带内唯一出现贫化的亲铜元素,但是在各蚀变带内贫化程度存在差异,总体趋势是从内蚀变带到外蚀变带,贫化程度减弱,含量小幅度增加。Zn 在乌努格吐山斑岩型铜钼矿化蚀变带中发生贫化这种现象在其他同类型矿床中尚未发现,其原因有待深入探讨。

4.4 从内带向外带含量增高的元素

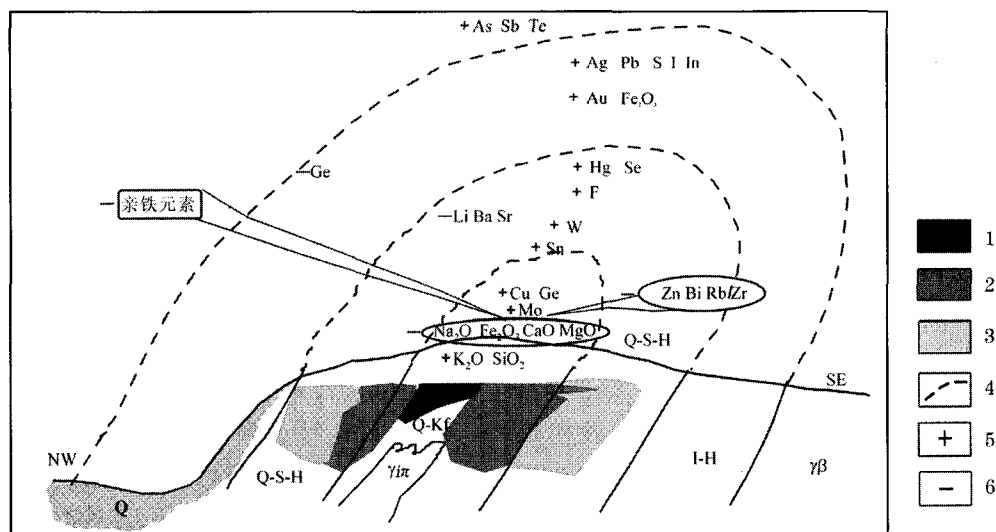
除了在矿化蚀变带中发生富集和贫化的两类元素,还有一类在石英—钾长石化带或在石英—钾长石化带和石英—绢云母化带中贫化,而在石英—绢云母化带和水白云母化带或在水白云母化带中富集的元素,这类元素包括亲铜元素 Pb、Bi,亲石分散元素 Rb,铁族元素 Mn、Cr,矿化剂元素 S 以及亲铜分散元素 Tl。Mn、Cr 含量的上述分布特征与 Fe_2O_3 类似,铁族元素这种分布特征与 I. S. Goldberg^[16] 等的研究结果相近。

上述乌努格吐山斑岩型铜钼矿化蚀变带岩石中化学元素的富集、贫化规律,应该是斑岩型矿床成矿地球化学环境的反映。研究总结由上述富集、贫化等元素构成的异常结构规律,对斑岩型铜钼矿床的地球化学勘查具有重大的现实意义和理论价值。

5 异常结构特征

在乌努格吐山矿床蚀变带中,Cu、Mo 两个成矿元素在石英—钾长石化带、石英—绢云母化带、水白云母化带中均表现为明显的富集,其中在石英—钾长石化带中平均含量最高,浓集系数最大,在水白云母化带中含量最低,浓集系数最小,反映出成矿元素在矿化蚀变带中的分布特征。受其影响,矿化指示元素 As、Sb、Au、Ag、Hg、Te、Se、In 等在 3 个蚀变带中也发生明显的富集,但是富集程度的变化趋势与 Cu、Mo 恰好相反,即在石英—钾长石化带中平均含量最低,浓集系数最小,在水白云母化带中含量最高,浓集系数最大。综合分析后发现,斑岩型矿床由矿体引起的成矿元素 Cu、Mo 异常应该位于 As、Sb、Au、Ag、Hg、Te、Se、In 等元素异常的内部,即出现在 As、Sb、Au、Ag、Hg、Te、Se、In 等元素异常中相对弱异常部位,从而构成内部为 Cu、Mo,外部为 As、Sb、Au、Ag、Hg、Te、Se、In 等的矿致异常结构。这一异常结构特征实际上是斑岩型矿床“原生晕”在元素分带上的反映。在由发生富集作用的元素构成的异常结构中,与 As、Sb 等元素异常同时出现的可能还有 I、Mn、Cr、S、Tl、Pb、Bi 等元素异常以及 Fe_2O_3 异常,而在整个异常地段,可能还会出现 Sn、W、Ge、F、B 等元素的异常。

试验结果表明,在斑岩型铜钼矿化蚀变带中,除了成矿元素及其伴生元素富集外,还有常量化学组分及亲石分散元素等的贫化,这些组分或元素的贫化与成矿元素及其伴生元素的富集相伴出现,是构



1—钼矿化;2—铜钼矿化;3—铜矿化;4—推测蚀变带界线;5—代表富集;6—代表贫化;其他图例同图1。

图3 乌努格吐山斑岩型铜钼矿床地球化学异常结构模型示意

成斑岩型铜钼矿化异常结构的重要组成部分。

在乌努格吐山斑岩型铜钼矿床围岩蚀变带岩石中,贫化最强烈的是常量化学组分 CaO 、 Na_2O 和 MgO 。即使是在贫化最弱的水白云母化带内,这些组分的浓集系数也都小于 0.5,按照本文的划分标准,属强贫化组分。其他发生贫化的元素有铁族元素 Ti 、 Ni 、 Co 和稀有元素 Zr 、 Li 、 Be 、 Sc 、 Hf 、 Nb 、 Ta 等,但是这些元素的贫化程度都小于 CaO 、 Na_2O 等常量化学组分,基本上属于弱贫化元素。据此试验结果认为,在乌努格吐山斑岩型铜钼矿床矿化蚀变带范围内,由 Cu 、 Mo 、 As 、 Sb 等富集而形成的“正异常”与由 CaO 、 Na_2O 、 Ti 、 Zr 、 Li 等贫化而形成的“负异常”均是成矿地球化学环境的客观反映,两者共同构成乌努格吐山斑岩型铜钼矿床完整的地球化学异常结构。

根据以上总结分析得到乌努格吐山斑岩型铜钼矿床异常结构模型(图 3)。

6 结论

成矿过程中化学元素的富集和贫化是一个事物的两个方面,都是矿化过程中元素分布分配规律的客观反映,对地球化学勘查而言具有同等重要的作用。然而在以往的找矿实践中,对化学元素的贫化及由此形成的“负异常”重视不够。以乌努格吐山斑岩型铜钼矿床为例,以钻孔岩芯中 MgO 、 CaO 、 Na_2O 的贫化现象为切入点,系统探讨了地表矿化蚀变带岩石中常量化学组分以及微量元素的富集贫化规律,并据此建立了包括“正异常”和“负异常”在内的异常结构模型,为斑岩型铜钼矿床地球化学勘查提供了方法,同时也为其他类型矿床的地球化学勘查提供了思路。通过对矿化过程中发生富集和贫化作用两类元素的系统研究,发现两者间的内在有机联系,总结归纳元素的富集、贫化特征与矿化强度、矿化规模、矿体埋藏深度等的关系,进而提出地球化学勘查指标,将对矿床地球化学勘查,特别是隐伏矿地球化学勘查产生重要而深远的影响。

文中发现的斑岩型铜钼矿化蚀变带中常量化学

组分和微量元素的贫化特征虽然对地球化学勘查具有重要意义,但是目前对其成因机理尚不明确,有待深入探讨,以便为地球化学“负异常”及其与“正异常”构成的异常结构模型的广泛应用奠定理论基础。

参考文献:

- [1] 弓秋丽,朱立新,马生明,等.斑岩型铜矿床地球化学勘查中岩石化学指标[J].物探与化探,2009,33(1).
- [2] 王之田,秦克章.乌努格吐山下壳源斑岩铜钼矿床地质地球化学特征与成矿物质来源[J].矿床地质,1988,7(4).
- [3] 王荣全,宋雷鹰,曹书武,等.乌努格吐山斑岩铜钼矿床地球化学特征及评价标志[J].矿产与地质,2007,21(5).
- [4] 金力夫,孙凤兴.内蒙乌努格吐山斑岩铜钼矿床地质及深部预测[J].长春地质学院学报,1990,20(1).
- [5] 陈殿芬,艾永德,李荫清.乌努格吐山斑岩铜钼矿床中金属矿物的特征[J].岩石矿物学杂志,1996,15(4).
- [6] 鄢明才,迟清华.中国东部地壳与岩石的化学组成[M].北京:科学出版社,1997.
- [7] 朱炳球,徐外生.斑岩 CuMo 矿成矿作用的地球化学特征[J].地球化学,1984(2).
- [8] 宋国利,刘钊.内蒙乌努格吐山斑岩铜钼矿床围岩蚀变机理分析[J].哈尔滨师范大学自然科学学报,1985(4).
- [9] 宋国利.内蒙古乌努格吐山斑岩铜钼矿床地质特征[J].河北地质学院学报,1985(3).
- [10] 朱训,黄崇轲,芮宗瑶,等.德兴斑岩铜矿[M].北京:地质出版社,1983.
- [11] Govett G J S. Rock Geochemistry in Mineral Exploration[J]. Elsevier Scientific Publishing company,1983(3):184.
- [12] 朱炳球,徐外生,吴承烈.斑岩铜钼矿床原生地球化学异常[C]//勘查地球物理地球化学文集(第二集).北京:地质出版社,1985.
- [13] 阳宗圻,李惠,刘汉忠.典型有色金属矿床地球化学异常模式[M].北京:科学出版社,1988.
- [14] 王濮.系统矿物学[M].北京:地质出版社,1982.
- [15] Sack R O, Loucks R R. Thermodynamic properties of tetrahedrite-tennantites; constraints on the interdependence of the $\text{Ag} \leftrightarrow \text{Cu}$, $\text{Fe} \leftrightarrow \text{Zn}$, and $\text{As} \leftrightarrow \text{Sb}$ exchange reactions[M]. Am Min, 1985;70.
- [16] Goldberg I S, Abramson G Y. Depletion and enrichment of primary haloes: their importance in the genesis of and exploration for mineral deposits[J]. Geochemistry, 2003, 3(3).

GEOCHEMICAL ANOMALY STRUCTURE OF THE WUNUGETUDHAN PORPHYRY COPPER AND MOLYBDENUM DEPOSIT

LIANG Sheng-yue¹, MA Sheng-ming¹, ZHU Li-xin², LIU Chongin¹, CHEN Xiao-feng²

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

THE APPLICATION OF THE GRAVITY AND MAGNETIC METHOD TO THE EXPLORATION OF THE EASTWARD EXTENDING M-15 ANOMALY OF THE JINCHUAN COPPER-NICKEL DEPOSIT

ZHANG Xiang, ZHAO Xiao-ping, XIE Zhi-feng

(No. 2 Institute of Geological Exploration for Mineral Resources, Gansu Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Lanzhou 730020, China)

Abstract: The M-15 magnetic anomaly (Dongwan anomaly) is a key prognostic area for copper and nickel deposits, to which geologists both in China and abroad have paid close attention. As this anomaly lies in a fully covered area, previous researchers considered it to be caused by an ultrabasic body. Using the gravity and magnetic method to compare it with the magnetic anomaly related to the known Baijiazui ultrabasic body, the authors have reached the following conclusions: The M-15 anomaly is a noncognate gravity and magnetic anomaly characterized by combinational magnetic high and gravity low and a rather large buried depth; the magnetic anomaly might result from the ultrabasic rock below 1 200 m in depth, whereas the gravity low anomaly is probably caused by the Longshoushan Proterozoic basement depression with a buried depth of 1 000 m or so. These findings are of active significance in expanding copper and nickel resources.

Key words: M-15 magnetic anomaly; gravity survey; magnetic survey; gravity and magnetic anomaly inversion; copper-nickel deposit

作者简介: 张翔(1965 -),男,教授级高级工程师,1988年毕业于西安地质学院,现从事地质调查与矿产勘查评价工作,曾公开发表学术论文数篇。

上接 133 页

Abstract: In view of the remarkable depletion of such major components as CaO, MgO and Na₂O in the drill holes, in combination with the obvious alteration zoning and the mineralization characteristics of the Wunugetushan porphyry Cu-Mo deposit, the authors have found that the information of the depletion of CaO, MgO and Na₂O in the drill holes has reflection at surface. In this paper geochemical characteristics of 47 kinds of elements in this ore deposit were studied. The enrichment and depletion characteristics of these elements as well as the overall element geochemical features comprising metallogenic elements and such components as CaO, MgO and Na₂O are discussed in detail. In addition, a model for geochemical anomaly structure of the Wunugetushan porphyry Cu-Mo deposit is put forward. The results obtained by the authors are of great significance in improving and perfecting the geochemical exploration method and theory for Cu-Mo porphyry deposits.

Key words: geochemical anomaly structure; porphyry Cu-Mo deposit; metallogenic environment; Wunugetushan

作者简介: 梁胜跃(1983 -),男,中国地质科学院地球化学专业硕士研究生。