

新疆蒙西铜矿床原生地球化学异常分带研究

唐世新¹, 马生明¹, 吴慧平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. 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第一地质大队, 新疆 昌吉 838800)

摘要:新疆蒙西铜矿床具有良好的成矿前景, 被视为准葛尔盆地东部最有前景的铜矿床之一。通过对矿区内岩石中元素富集贫化规律及原生异常分带的研究发现, 蒙西铜矿床中存在着多属性地球化学异常, 既有成矿元素、成矿伴生元素及矿化剂元素形成的正异常, 又有稀有元素等发生贫化形成的负异常, 成矿信息极其丰富。贫化元素形成的负异常比富集元素形成的正异常空间展布范围更大, 矿床整体产于贫化元素形成的负异常中。富集元素形成的正异常不仅表现出十分明显的元素浓度分带现象, 同时具有较为显著的元素组分分带特征, 建立了蒙西铜矿床原生异常分带序列: $[(Au), Bi, Cd] - [Sb, Ag, Hg] - S - [Mo, Cu, (Au)]$, 为矿区深部及外围找矿工作提供了依据。

关键词:地球化学; 铜矿; 原生异常; 分带序列; 新疆蒙西

中图分类号: P618.41

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2015)03-0325-10

Primary Geochemical Anomaly Zoning Characteristics of Mengxi Copper Deposit in Xinjiang

TANG Shixin¹, MA Shengming¹, WU Huiping²

(1. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang 065000, Hebei, China; 2. No. 1 Geological Team of Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Changji 838800, Xinjiang, China)

Abstract: Mengxi copper deposit is regarded as one of the best metallogenic prospects copper deposits in Xinjiang east junggar. In this paper, element enrichment and depletion regularity and primary anomaly zoning sequence were studied. The results show that there exist positive anomalies of ore-forming and associated elements and mineralizer elements and negative anomalies of Nb in the ore deposit. The space distribution range of negative anomaly formed by depleted elements than the positive anomaly formed by enriched elements is bigger, and the whole deposit occurs in a depletion halo formed by the negative anomalies. The major indicator elements of the Mengxi copper deposit not only have obvious elements concentration zoning, but also have element zoning

收稿日期: 2015-03-15; **修回日期:** 2015-05-19

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2014BAB05B00)、中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所基本科研业务费专项资金项目(AS2012P07)

作者简介: 唐世新(1985-), 女, 黑龙江省勃利县人, 工程师, 硕士, 主要从事矿产勘查地球化学方法技术研究工作。E-mail: tangshixin@igge.cn

characteristics. Primary anomaly zoning sequence is established: $[(Au), Bi, Cd] - [Sb, Ag, Hg] - S - [Mo, Cu, (Au)]$. The result obtained by the authors provides a basis for the prospecting work in the depth and the periphery of the ore district.

Key words: geochemistry; copper deposit; primary anomaly; zoning sequence; Mengxi of Xinjiang

深部矿体勘查一直是矿产勘查界公认的难题(施俊法, 2005), 出于寻找隐伏矿的现实需求, 依据地球化学勘查资料如何判断已知浅部矿体的深部是否还有具工业价值的矿体、如何推测已知矿区外围找矿前景等问题相继被提出, 迫切需要解决。

在矿床尺度深部地球化学勘查研究领域, 考虑到所有应用原生异常定性和定量判断矿体埋深、矿床侵蚀面深度、矿床成分类型等的找矿评价方法, 均是以原生异常的分带规律为基础, 笔者认为深入研究原生异常分带有望解决上述问题。实践证明, 只有对原生异常的分带性作出合理的解释, 才能有效地利用它寻找深部矿床, 研究原生异常也必然集中在原生异常分带规律这个关键问题上。

由于热液矿床原生异常(即原生晕方法)研究工作的进展, 许多肉眼未能识别的矿化分带现象, 通过地球化学分析, 以元素组分分带和浓度分带的形式被揭示出来, 并用以指导实践找矿, 取得了良好的效果。掌握矿床元素组分分带和浓度分带规律是指导找矿的有效途径之一(邵跃等, 1997; Wang et al., 2013)。

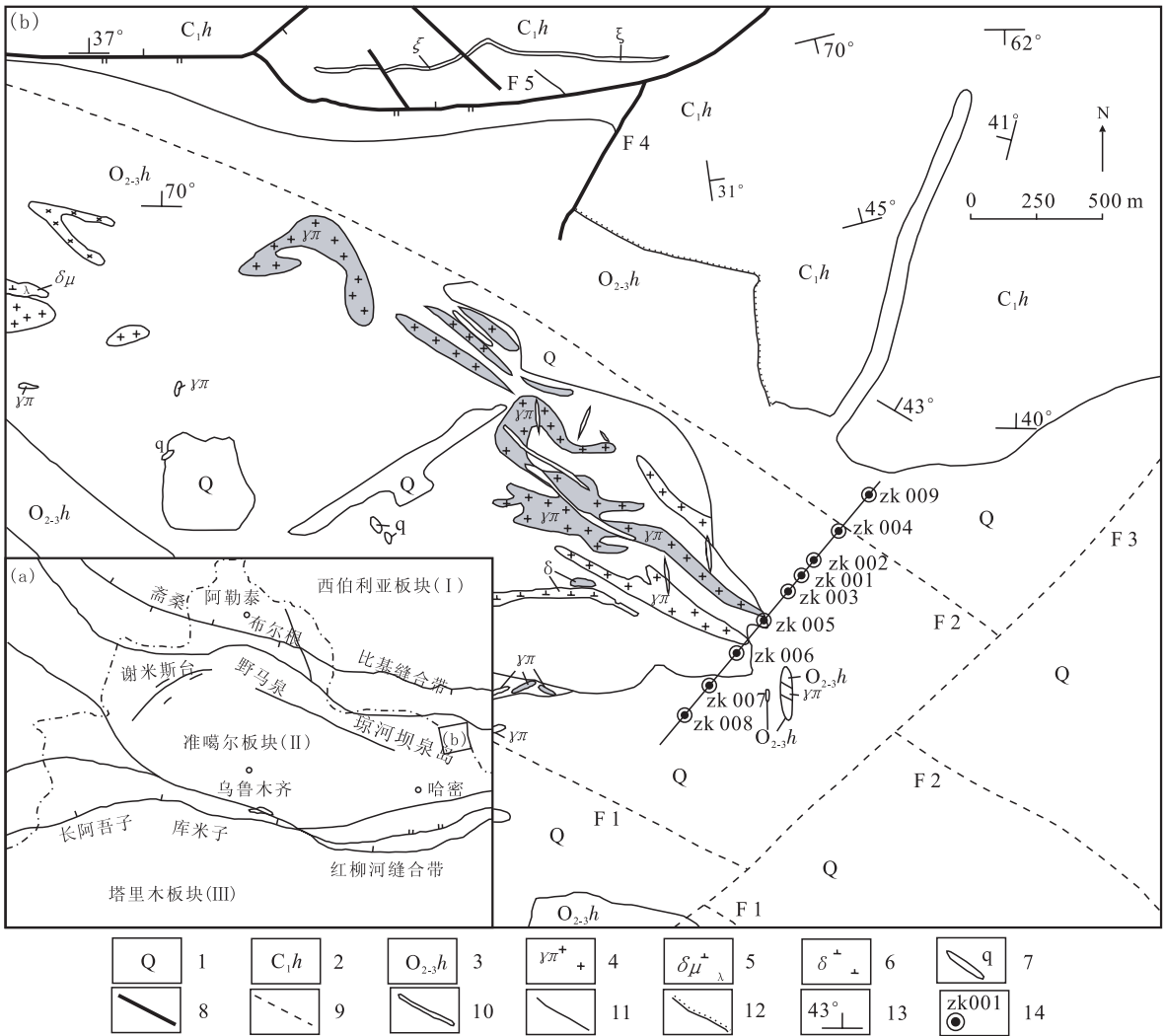
深入开展特定矿床原生异常分带特征研究, 既能为探讨矿床形成过程中元素的地球化学行为提供基础地球化学信息, 又可以在此基础上提出区域上类似矿床勘查中合理的地球化学方法程序与技术、以及有效的勘查地球化学指标。

东准噶尔地区属哈萨克斯坦-伊犁成矿亚域准噶尔成矿区, 是新疆北部重要的铜金铁多金属成矿区带(张栋, 2011), 其中琼河坝铜金成矿带是区内矿化最为密集地段, 也是中亚地区很重要的斑岩型矿床成矿带之一(王瑞美, 2012)。在琼河坝成矿带内, 新发现的蒙西铜矿经评价显示良好的成矿前景, 被视为准葛尔盆地东部最有前景的铜矿床之一。近些年来, 有关学者(王晓地等, 2006; 王军, 2010; 聂凤军, 2004; 叶锡芳, 2014)对蒙西铜矿床的地质特征、地质地球化学特征、蚀变系统的厘定及矿床形成机

理等方面做了大量研究, 而有关该矿床的原生异常分带规律则鲜有报道, 在一定程度上限制了对已知矿床的认知水平, 使得矿床深部及外围地质找矿工作缺乏直接证据。因此, 笔者选择蒙西铜矿床为研究对象, 以钻孔岩石测量分析数据为基础, 对其原生异常分带特征进行研究, 为该区隐伏铜矿找矿勘查提供地球化学线索, 为区域上同类矿床深部或外围矿体预测评价提供合理的地球化学方法程序及可供参考的勘查地球化学指标。

1 矿区地质概况

蒙西铜矿床位于新疆维吾尔自治区伊吾县淖毛湖镇北东 60km, 距中蒙边境仅 3km, 大地构造上处于西伯利亚板块和哈萨克斯坦—准噶尔板块的接壤部位(图 1a)。矿区地表出露的地层主要为中—上奥陶统荒草坡群($O_{2-3}h$), 下石炭统黑山头组(C_1h)和第四系(Q)(图 1b)。其中, 矿床的含矿地层为中—上奥陶统荒草坡群($O_{2-3}h$), 该套地层由于受岩体侵蚀、断裂破坏和第四系覆盖, 出露不全, 呈断块产出。原岩受强烈的接触变质作用, 岩性主要为灰绿色—暗灰绿色变质晶屑凝灰岩、变质粉砂岩、变质粉砂质泥岩、石英片岩、变安山岩、长英质角岩等。该套地层为近东西走向, 北倾, 倾角 $60^{\circ} \sim 75^{\circ}$ 。下石炭统黑山头组(C_1h)出露在矿区北部, 岩性主要是暗红色含砾岩屑长石中粗粒砂岩和灰绿色岩屑长石凝灰岩, 地层北倾, 倾角 $40^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 。下石炭统与下覆中奥陶统之间为不整合与断层接触。含矿岩体为中晚志留世侵入岩, 由 6 个大致平行而形态不规则的岩枝组成, 总体呈北西走向, 长约 2.85km, 宽约 600m, 总面积约 1.7km^2 。侵入于中—上奥陶统荒草坡群($O_{2-3}h$)中, 又被晚石炭世细粒黑云花岗闪长岩侵入。岩性主要为中细粒闪长花岗岩、花岗斑岩和中细粒钾化英云闪长岩, 属钙碱性岩浆系列。



1. 第四系;2. 石炭系灰色凝灰岩;3. 中上奥陶统荒草坡群变质凝灰岩;4. 花岗斑岩;5. 闪长玢岩;6. 闪长岩;7. 石英脉;
8. 实测断层;9. 推测断层;10. 铜矿体;11. 地质界线;12. 不整合线;13. 地层产状;14. 钻孔位置及编号

图 1 蒙西铜矿大地构造位置与矿区地质图(据叶锡芳 2014 修改)

Fig.1 Tectonic map and geological map of Mengxi copper deposit, Xinjiang(AfterYe et al,2014)

矿区断裂构造发育,主要断裂有 5 条,其中矿区 F1 与 F2 其控制了区内斑岩体的产出,是区内的控岩控矿断裂,断裂性质为压扭性,被北东向断裂 F3 错开。F4 位于矿区中部为走滑断裂。矿区北侧的 F5 断裂为成矿后断裂、为高角度正断层(叶锡芳,2014)。矿区地表共圈出铜矿体 3 个,铜矿化体 9 个;地表矿体呈脉状,产于花岗斑岩体及接触带中。矿区主矿体为隐伏矿体,呈向北缓倾的不规则透镜状产出。

2 样品采集与实验测试

本次研究以已有钻孔岩心样品为研究对象,

选择蒙西铜矿 0 号勘探线上 ZK001~ZK009 等 9 个钻孔作为典型剖面(图 1b),以连续捡块的方式进行样品采样,采样间距控制在 3~8m,样品原始重量大于 300g,每个样品岩性一致,共采集岩心样品 1 188 件,用以开展钻孔岩石测量及原生异常分带研究。通过对蒙西矿区 0 号勘探线剖面 9 个钻孔岩心的系统编录得知,0 号勘探线剖面钻孔岩心岩性以灰绿色变质凝灰岩、花岗斑岩为主(图 2)。

所有岩心样品先用无污染的粗、中破碎机破碎至 1~2mm 粒度,再用无沾污细碎机加工至 200 目以下,测试分析由中国地质科学院地球物

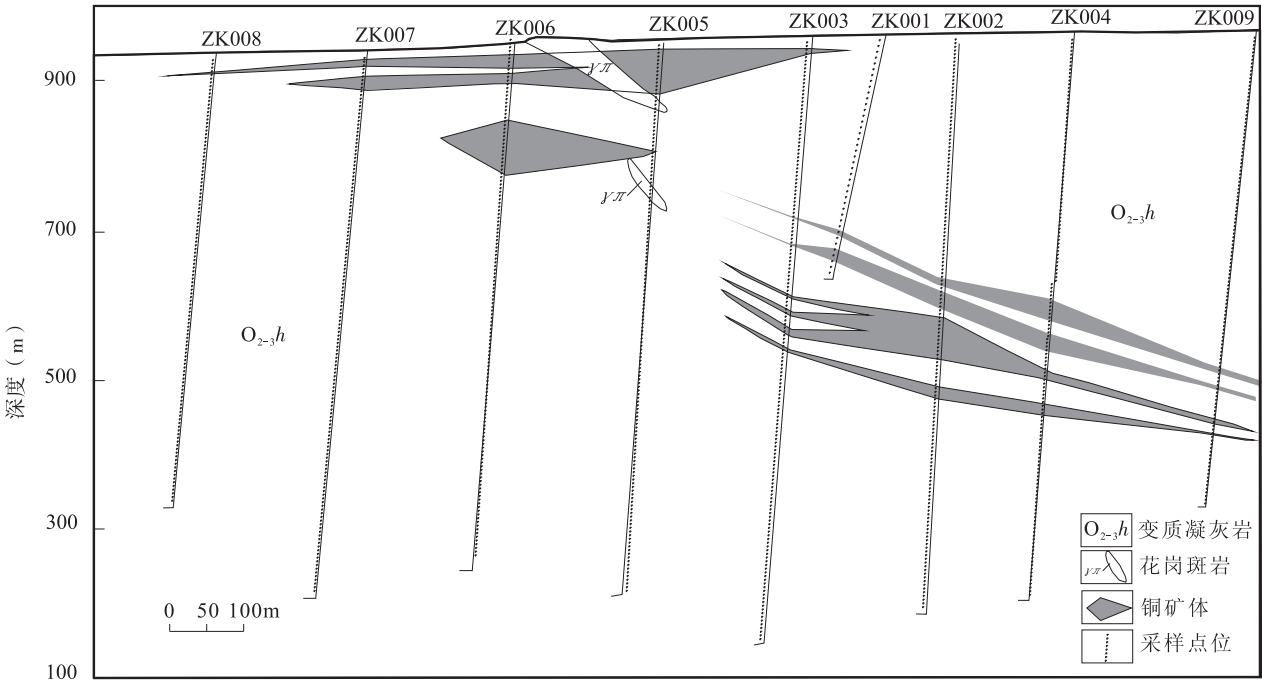


图 2 新疆东准蒙西铜矿试验区 0 号勘探线剖面及采样点位示意图

Fig. 2 Map of geology and sampling points of No. 0 profile of Mengxi copper deposit, Xinjiang

理地球化学勘查研究所中心实验室完成。根据试验研究需要,同时为尽可能详尽地提取有效地球化学指标,每件样品分析测试了 Cu、Mo、Ag、Au、S 等 40 余个元素。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%,表明样品分析质量满足研究要求。

3 元素富集贫化规律

蒙西铜矿试验区内钻孔岩心岩性主要为变质凝灰岩,试验中按主成矿元素 Cu 含量升序方式将其他元素含量进行排序,然后依据 Cu 含量将试验区 Cu 含量划分为 $<200 \times 10^{-6}$ 、 $200 \times 10^{-6} \sim 500 \times 10^{-6}$ 、 $500 \times 10^{-6} \sim 1\,000 \times 10^{-6}$ 、 $1\,000 \times 10^{-6} \sim 2\,000 \times 10^{-6}$ 、 $>2\,000 \times 10^{-6}$ 等依次递增的 5 个含量段,用来表示 Cu 矿化增强。计算上述 Cu 含量段内对应的其他元素含量平均值。为了便于归纳研究同类元素富集贫化规律,笔者将微量元素划分为亲铜元素、钨钼族元素、亲石分散元素、矿化剂元素、铁族元素以及稀有元素 6 类。根据元素富集系数(k)将元素划分为富集、贫化和惰性三种情况,并利用富集系数(k)将富集、贫化程度详细分为以下 3 个等级。

(1)富集元素。I.弱富集: $2 < k < 5$;II.中等富集: $5 < k < 10$;III.富集: $10 < k < 20$;IV.明显富集: $20 < k < 40$;V.显著富集: $k > 40$ 。

(2)贫化元素。I.弱贫化: $0.9 > k > 0.7$;II.中等贫化: $0.7 > k > 0.5$;III.贫化: $0.5 > k > 0.3$;IV.明显贫化: $0.3 > k > 0.1$;V.显著贫化: $k < 0.1$ 。

(3)惰性元素: $0.9 < k < 2$ 。

依据各类元素含量平均值随 Cu 含量增高的变化趋势,研究蒙西铜矿床试验区主要赋矿岩石——中上奥陶统荒草坡群变质凝灰岩中元素富集贫化规律及其与 Cu 成矿作用、矿化强度的关系,结果见表 1、表 2。

从表 1 可以看出,随着主成矿元素 Cu 含量依次增高,亲铜元素 Ag、Cu、Hg、Sb、Cd、Se 等元素发生了富集,并且富集系数逐步升高的规律性显著,说明这些元素不仅与主成矿元素 Cu 成矿作用有关,还与 Cu 矿化强度有关。当 Cu 含量达到成矿程度时,Cu、Sb 达到显著富集;Ag 为明显富集。另外,亲铜元素 Au 在 Cu 含量小于 200×10^{-6} 时富集系数最大,在 50 以上,达到显著富集程度,而在 Cu 含量为 $200 \times 10^{-6} \sim 500 \times 10^{-6}$ 至大于 $2\,000 \times 10^{-6}$ 时,Au 的富集系数随 Cu 含量的增加呈现出逐步升高的规律,说明 Au 活动性较为复杂。

表 1 新疆蒙西试验区元素含量平均值随 Cu 含量变化统计表
Tab. 1 Elements average content changing with Cu content of Mengxi deposit, Xinjiang

元素分类	元素	Cu 含 量 段										$\bar{X}$
		<200		200~500		500~1 000		1 000~2 000		>2 000		
		$(n=57)$		$(n=251)$		$(n=455)$		$(n=228)$		$(n=88)$		
		C	k	C	k	C	k	C	k	C	k	
亲铜元素	Au	47	53	11	12	12	14	18	20	23	26	0.9
	Ag	232	3.6	186	2.9	257	4.0	407	6.4	1 624	25	64
	As	36	8.3	19	4.3	8.6	2.0	11	2.5	23	5.3	4.3
	Cu	118	2.4	362	7.4	744	15.2	1 343	27.4	2 872	59	49
	Hg	25	4.0	27	4.4	28	4.5	38	6.0	115	18	6.3
	Pb	4.4	0.5	4.9	0.5	4.7	0.5	7.9	0.9	61	6.8	9
	Sb	2.2	7.7	2.9	10.1	2.8	9.5	4.8	16.6	27	94	0.29
	Zn	144	1.8	95	1.2	82	1.0	94	1.2	155	2.0	79
	Cd	439	4.8	271	3.0	338	3.7	449	4.9	974	11	91
	Ga	20	1.2	21	1.2	21	1.2	21	1.2	21	1.2	17.1
	Ge	1.7	1.4	1.8	1.5	1.9	1.6	1.9	1.6	1.9	1.6	1.2
	Se	0.85	4.3	1.63	8.2	2.02	10.1	2.63	13.1	3.39	17	0.2
	Tl	0.19	1.3	0.23	1.5	0.23	1.5	0.24	1.6	0.24	1.6	0.15
钨钼族元素	Mo	7.9	3.3	33	14	62	26	80	33	112	47	2.4
	Sn	1.4	1.1	1.6	1.2	1.7	1.3	1.8	1.4	2.0	1.5	1.3
	W	2.4	3.4	3.4	4.9	4.0	5.7	4.7	6.7	5.1	7.2	0.7
	Bi	0.53	5.3	0.31	3.1	0.32	3.2	0.30	3.0	0.90	9.0	0.1
亲石分散元素	Ba	358	0.9	310	0.7	282	0.7	277	0.7	271	0.6	420
	Be	1.4	1.1	1.6	1.4	1.7	1.4	1.7	1.4	1.7	1.4	1.2
	Cs	1.4	1.2	2.1	1.8	2.5	2.1	2.8	2.3	2.6	2.2	1.2
	Rb	44	1.4	57	1.8	60	1.9	63	2.0	63	2.0	32
	Sr	403	1.1	336	0.9	272	0.7	247	0.7	280	0.8	367
矿化剂元素	S	5 162	19	7 582	29	8 376	31	8 999	34	10 995	41	266
铁族元素	Cr	17	1.5	20	1.9	20	1.9	20	1.9	22	2.0	11
	Co	16	0.4	19	0.5	19	0.5	21	0.5	25	0.6	39
	Ni	11	0.6	13	0.7	13	0.8	13	0.8	14	0.8	17.2
稀有元素	Hf	4.8	1.2	4.0	1.0	3.9	1.0	3.8	0.9	3.6	0.9	4.1
	Li	18	1.0	23	1.3	24	1.3	23	1.3	22	1.2	18
	Nb	7.4	0.8	5.6	0.6	4.7	0.5	4.1	0.4	4.1	0.4	9.3
	Sc	21	1.3	23	1.4	22	1.3	22	1.3	22	1.3	16.8
	Ta	0.54	1.3	0.38	0.9	0.32	0.8	0.28	0.7	0.30	0.7	0.42
	Th	3.6	0.9	3.0	0.7	3.0	0.7	3.0	0.7	2.9	0.7	4.1
	U	1.5	1.0	1.4	1.0	1.4	1.0	1.5	1.1	1.5	1.1	1.4
	V	123	1.2	143	1.4	137	1.3	139	1.4	151	1.5	102
	Zr	172	1.2	149	1.0	149	1.0	146	1.0	136	0.9	147

注: n 为参加统计样品数, C 为元素平均含量, $\bar{X}$ 为元素背景含量, k 为富集系数。Au、Ag、Cd含量为 10^{-9} ,其余为 10^{-6} 。

表 2 新疆蒙西试验区指示元素异常下限统计表

Tab. 2 Major indicator elements anomaly threshold of Mengxi deposit, Xinjiang

指标类型	元素	外带	中带	内带
富集	Cu	1 000	2 000	3 000
	Mo	80	120	160
	Au	12	24	48
	Ag	300	600	900
	Bi	0. 4	0. 8	1. 6
	Cd	300	600	900
	S	7 500	15 000	30 000
	Sb	2	4	8
	Hg	20	40	60
贫化	Nb	4	6	—

注：Au、Ag、Cd 含量为 10^{-9} ；其他元素含量为 10^{-6} 。

钨钼族元素中成矿元 Mo 含量增高的规律性明显,富集系数从 3. 3、14、26、33 增大到 47,表明 Mo 与 Cu 有较好的伴生关系;Bi、W 随着主成矿元素 Cu 含量的增高表现出明显的富集,从弱富集逐步增强到中等富集程度。

亲石分散元素 Ba、Sr 在 Cu 含量为 $200\times10^{-6}\sim500\times10^{-6}$ 时均表现出惰性特征,随着 Cu 含量的升高,二者表现出贫化的特征,但是 Sr 的贫化与 Cu 含量变化间没有规律性,无论 Cu 含量是介于 $200\times10^{-6}\sim500\times10^{-6}$ 之间,还是大于 $2\,000\times10^{-6}$,Sr 基本均保持在弱贫化的程度,表明 Sr 的贫化指示与 Cu 成矿作用有关,反映的是成矿地球化学环境,而与 Cu 矿化强度没有直接关系;而元素 Ba 在 Cu 含量介于 $200\times10^{-6}\sim500\times10^{-6}$ 和 $1\,000\times10^{-6}\sim2\,000\times10^{-6}$ 之间时,表现出弱贫化特征,在 Cu 含量达到成矿程度时,表现出中等贫化,贫化程度增强。在 Cu 的 5 个含量段内,Be、Cs、Rb3 个亲石分散元素基本表现出稳定的惰性,这恰好是这 3 个元素规律性的真实反映。

随着 Cu 含量增高,矿化剂元素 S 含量增高的规律性明显,富集系数从 19、29、31、34 增大到 41,充分展示 S 的富集不仅与 Cu 成矿作用有关,还是总体矿化强度的标志。

铁族元素 Co、Ni 均表现出贫化的特征,但是 Co、Ni 的贫化与 Cu 含量变化间呈反向规律性,即

Cu 含量在小于 200×10^{-6} 时,二者的富集系数最小,表明 Co、Ni 的贫化指示反映的是成矿地球化学环境。

稀有元素 Nb 贫化程度随着 Cu 含量增高而增大的规律性明显,表明该元素的贫化不仅与 Cu 成矿作用有关,还与 Cu 矿化强度有关。Hf、Li、Sc、U、V、Zr 等稀有元素基本表现出惰性特征,其含量与成矿作用和矿化强度无关。

从上述元素富集贫化规律的讨论中得知,随着矿化强度的增强,富集程度也随之增强的元素有 Au、Ag、Cu、Hg、Sb、Cd、Se、Mo、W、Bi、S,这些元素可以考虑作为矿床地球化学勘查的地球化学指标。除上述常用地球化学指示元素外,在蒙西铜矿床试验区还发现了 Ba、Sr、Cr、Ni、Nb 等贫化元素,有研究表明,这类贫化元素在确定矿床或矿田尺度成矿系统边界研究中有一定指示作用(马生明,2015)。

在综合考虑蒙西试验区元素富集贫化规律的基础上,对蒙西铜矿床试验区 0 号剖面进行元素地球化学异常的试圈,最终从发生富集的元素中,筛选出 Au、Ag、Cu、Hg、Sb、Cd、Mo、Bi、S 等 9 个元素,用以研究蒙西铜矿床的原生异常分带特征。以稀有元素 Nb 为代表,展示贫化元素形成的负异常与矿体的空间联系。

4 元素空间分布特征

根据蒙西铜矿床 0 号勘探线剖面上 9 个钻孔岩心样品测量地球化学分析数据,先用箱式法舍去异常值,然后统计背景平均值与标准离差,再按照平均值加上 1. 65 倍标准离差求得各富集元素的异常下限。确定异常下限后,浓度分带的选择参照倍数递增或等差数列原则,先进行试圈异常,再根据统计和作图结果,结合矿区各类地质体的特点,元素的浓度梯度,分析方法的灵敏度,最终正式确定试验区各指示元素的异常下限及异常外、中、内带异常含量值(表 2)。根据所确定的异常下限和异常的浓度分带值,对 0 号勘探线剖面进行元素异常圈定,编制了蒙西矿床中 Au、Ag、Cu、Hg、Sb、Cd、Se、Mo、W、Bi、S、Nb 等元素异常图(图 3)。

从图 3 中看到,蒙西铜矿床 0 号勘探线剖面上

富集元素的异常特征总体表现为向北缓倾。其中主成矿元素 Cu 呈现向北倾的带状分布于中上部,异常形态和展布方向明显地受矿体控制,且具有较明显的浓度梯度变化。而仅从异常浓集中心看,异常又分为靠近地表的近直立与下部北缓倾 2 个异常带,分别与中-上层、下层矿体对应。以 $1\,000\times 10^{-6}$ 圈定的异常外带将上、中、下三层矿体圈在一起,以 $2\,000\times 10^{-6}$ 圈定的异常中带基本反映了矿体的位置,异常内带与高品位工业矿体赋存部位相当。

Mo 元素与 Cu 异常形态相似,总体呈现向北倾的带状分布于剖面的中上部,受矿体控制明显,具有一定的浓度梯度变化。异常浓集中心总体表现为北缓倾与近直立 2 个异常带,上部近直立的异常与花岗斑岩有关,下部北缓倾异常带的中带与矿体位置基本对应。

Ag 元素异常特征总体表现为 2 个独立的异常带,空间展布表现为上部近直立、中下部北缓倾。上部异常对应中上层 Cu 矿体,具有一定的浓度分带,异常浓集中心近地表,与斑岩位置相对应,中下部向北缓倾异常呈带状产出,对应下部第三层矿体。

Au 元素异常分为上中下三条带,其中处于中间的异常范围最大,与矿体对应最好,上下两个异常带空间展布范围较小,具有一定的异常分带明显。

Bi 和 Cd 2 个元素异常分布较为相似,异常分布形态、空间展布范围基本一致,在上部矿体部位异常显示较好,具有较为明显的浓度梯度变化,且元素高含量值处于矿体的头部,而在下部矿体赋存部位并未出现 Cd、Bi 元素异常,可见它们前缘元素特征明显。

Hg 元素异常呈带状产出,规模相对较小,浓度梯度较发育,浓集中心明显,异常偏上部产出,产出部位基本反映了中上部矿体的产出部位;Sb 元素异常同样呈带状产出,分布范围较 Hg 异常更大,基本反映了上中下三层矿体的产出部位,浓度梯度发育,见明显的浓集中心。Hg、Sb 元素异常都主要出现在矿体的中、前缘。

矿化剂元素 S 含量非常高,相比于东准地区平均背景含量值(266×10^{-6})富集了数十倍至上百倍,富集现象十分显著。剖面异常浓度梯度发育,以 $7\,500\times 10^{-6}$ 、 $15\,000\times 10^{-6}$ 、 $30\,000\times$

10^{-6} 含量值圈定的异常外带、中带及内带,其总体异常形态基本围绕矿体呈半环状分布。异常外带范围较大,空间展布为半环状,连接了部分深部隐伏矿体与地表浅部矿体,中带围绕矿体两侧出现,侧翼方面上展布范围较主成矿元素更大。

从上述指示元素异常分布形态、空间展布范围情况来看,中上部矿体与深部隐伏矿体异常组合、强度及分布存在一定差异,推测可能与它们成因机制不同有关,这一点从剖面中上部发育的中高温元素 Cu-Mo 异常与中低温元素 Ag-Au 异常叠合特征上也能得到部分证实。而 Cu、Mo 异常浓集中心分布在剖面近地表部位,说明蒙西铜矿床的剥蚀程度很强,另外浓集中心与地表出露的花岗斑岩岩体位置也较为吻合,且与地表矿体分布范围一致,说明上部矿体的形成与花岗斑岩有关,而深部隐伏矿体的形成推测与地表花岗斑岩关系不密切。

另外,蒙西铜矿床试验区发生了强烈带出作用,从图 3 中 Nb 元素异常中可以看到,贫化元素 Nb 形成的负异常外带明显比富集元素形成的正异常空间展布范围更大,异常内带与矿体赋存位置吻合较好。矿床整体产于贫化元素形成的负异常中。有研究表明,可以利用负异常确定热液成矿边界,从蒙西试验区贫化元素的异常分布来看,成矿边界尚在深部,特别是 ZK005 钻孔深部可能存在隐伏矿体(或岩体),并与“第三层”已知隐伏矿体关系密切。

5 异常分带特征

从元素浓集中心看,蒙西铜矿床钻孔剖面原生异常,存在一定的分带性。针对蒙西铜矿床试验区 0 号勘探线剖面原生异常分带,选择形成正异常的 Au、Ag、Cu、Hg、Sb、Cd、Mo、Bi、S 等 9 个富集元素,采用分带指数法确定其分带结构与元素组合。以 900m、700m、500m、300m 水平标高为界限,将 0 号勘探线剖面分为四部分,根据格里戈良分别计算不同中段各元素分带指数,最后确定元素分带特征,各元素分带指数计算结果如表 3。

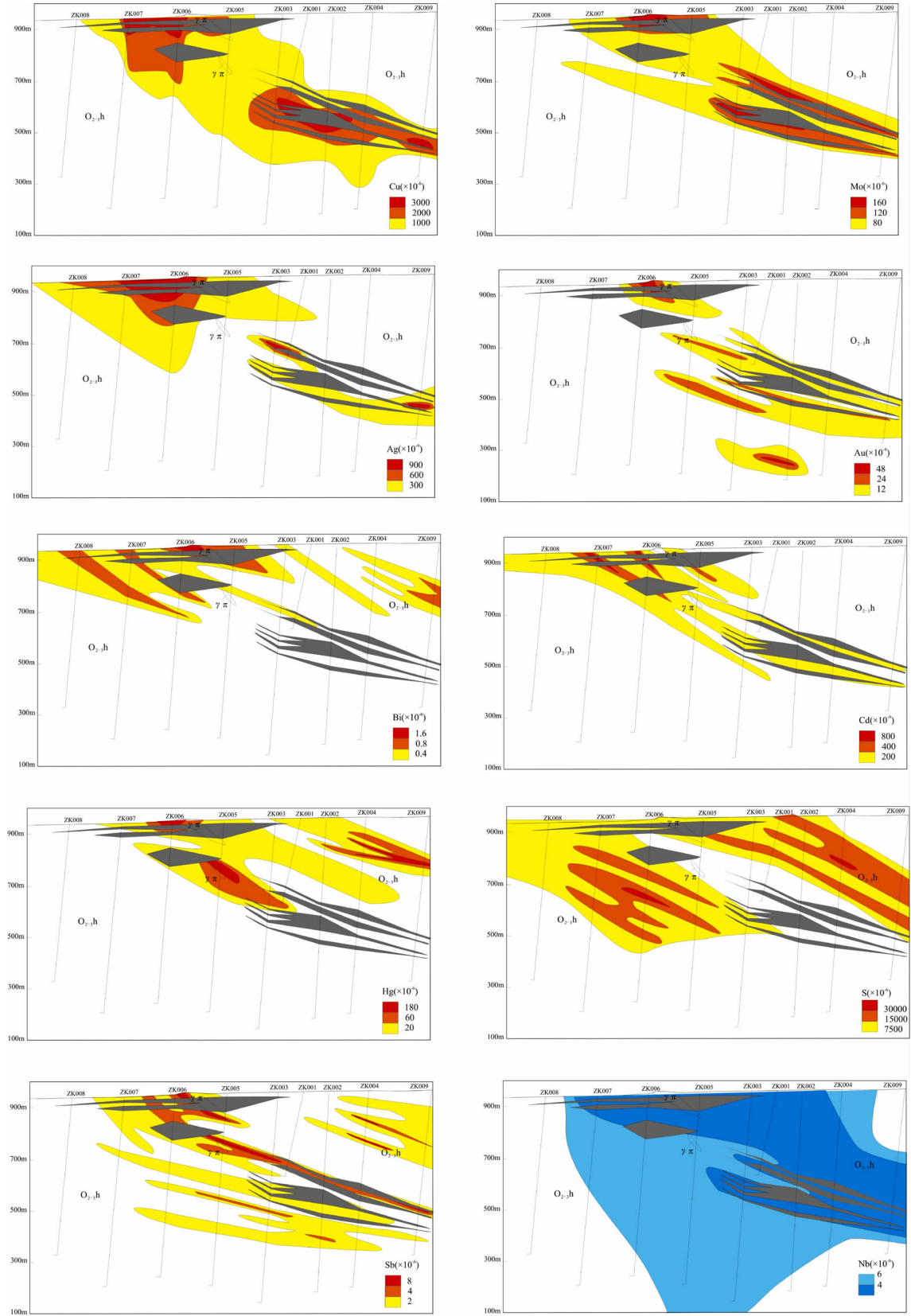


图 3 新疆蒙西铜矿试验区 0 号勘探线元素含量异常图(地质图例同图 2)

Fig. 3 Map of element anomalies of No. 0 profile of Mengxi copper deposit, Xinjiang

表 3 新疆蒙西试验区不同水平中段元素分带指数

Tab. 3 Element zoning index at different elevation level Mengxi deposit, Xinjiang

水平分段(矿体部位)	Au	Ag	Bi	Cd	Cu	Hg	Mo	S	Sb
900~800 m(头部)	0.211	0.060	0.108	0.344	0.058	0.054	0.051	0.028	0.086
800~700 m(中上部)	0.095	0.186	0.075	0.096	0.040	0.228	0.036	0.032	0.212
700~600 m(中下部)	0.066	0.165	0.032	0.171	0.038	0.225	0.055	0.048	0.201
600~500 m(尾部)	0.211	0.147	0.077	0.032	0.069	0.183	0.068	0.031	0.183

因而,从上至下各元素的分带序列应该为:
[Cd,Bi,(Au)]—[Ag,Hg,Sb]—S—[Mo,Cu,(Au)]
经计算各元素的变化系数分别为:
 $G_{Au}=5.4$ 、 $G_{Bi}=6.2$ 、 $G_{Cd}=16.5$;
 $G_{Ag}=5.5$ 、 $G_{Hg}=6.5$ 、 $G_{Sb}=4.7$;
 $G_{Cu}=4.7$ 、 $G_{Mo}=4.5$ 、 $G_{Au}=5.4$;
从而重新确定元素的分带序列为:
[(Au),Bi,Cd]—[Sb,Ag,Hg]—S—[Mo,Cu,(Au)]
可以看出,分带序列与元素空间分布特征相符(图 4)。

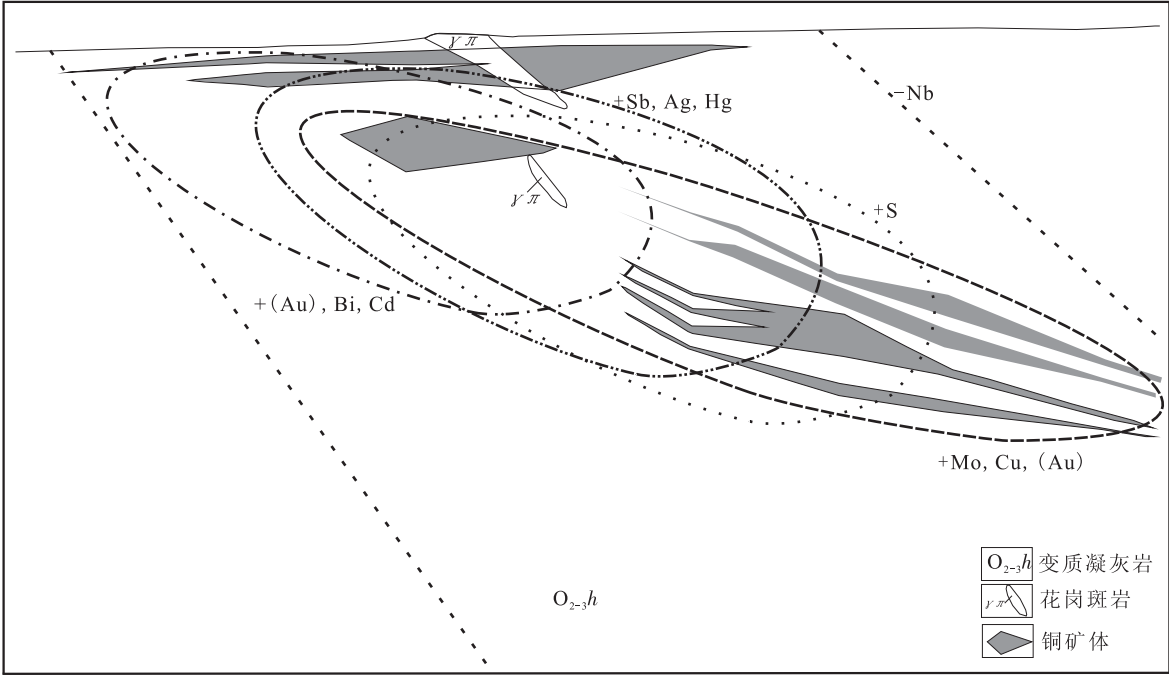


图 4 新疆蒙西铜矿试验区原生异常分带

Fig. 4 Primary anomaly zoning sequence of Mengxi copper deposit, Xinjian

6 结论

(1)通过对蒙西铜矿床试验区元素富集贫化规律的研究发现,随着 Cu 矿化强度的增强,Au、Ag、Cu、Hg、Sb、Cd、Se、Mo、W、Bi、S 等微量元素发生“水涨船高”式的富集,可用来作为矿床地球化学勘

查指标。除此之外,在蒙西试验区,还发现了 Ba、Sr、Cr、Ni、Nb 等微量元素随矿化强度的增强而逐渐发生贫化,贫化元素形成的负异常比富集元素形成的正异常空间展布范围更大,矿床整体产于贫化元素形成的负异常中,认为成矿边界尚在深部,特别是 ZK005 钻孔深部可能存在隐伏矿体或岩体。
(2)在蒙西铜矿床试验区,成矿元素及其伴生元

素等形成的正异常表现出十分明显的元素浓度分带现象, Cu、Mo、Ag 等元素浓集中心与矿体吻合, 矿体两侧元素浓度逐渐降低, 矿化剂元素 S 浓集中心出现在矿体两侧, 浓度分带现象依然存在。

(3)在蒙西铜矿床试验区, 成矿伴生元素形成的正异常具有较为显著的元素组分分带特征, 参考矿床分带计算方法, 分别计算了它们的分带指数及变异性指数, 建立了蒙西铜矿床原生异常分带序列(图4): [(Au), Bi, Cd]—[Sb, Ag, Hg]—S—[Mo, Cu, (Au)]。

参考文献(References):

- 施俊法, 姚华军. 信息找矿战略与勘查百例[M]. 北京: 地质出版社, 2005: 56-78.
- SHI Junfa, YAO Huajun. Information ore-prospecting strategy and exploration cases [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005: 56-78.
- 邵跃. 热液矿床岩石测量(原生晕法)找矿[M]. 北京: 地质出版社, 1997: 42-50.
- SHAO Yue. Hydrothermal deposit rock measurement (primary halos method) prospecting [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997: 42-50.
- 张栋, 路彦明, 潘爱军, 等. 东准噶尔北缘两类钙碱性花岗岩特征及其构造-成矿意义[J]. 西北地质, 2011, 44(2): 51-71.
- ZHANG Dong, LU Yanming, PAN Aijun, et al. Two types of calcium alkaline granite and their tectonic-metallogenic significance in north margin of eastern junggar[J]. Northwestern Geology, 2011, 44(2): 51-71.
- 王瑞美, 刘建朝, 张海东, 等. 新疆琼河坝地区斑岩铜矿成矿潜力探讨[J]. 西北地质, 2012, 45(增刊): 144-146.
- WANG Ruimei, LIU Jianchao, ZHANG Haidong, et al. Discussed on metallogenic potential of porphyry copper in Qionghaba, Xinjiang [J]. Northwestern Geology, 2012, 45 (sup.): 144-146.
- 马生明, 朱立新, 刘崇民, 等. 斑岩型 Cu(Mo)矿床中微量元素贫化规律研究[J]. 地球学报, 2009, 30(6): 821-830.
- MA Shengming, ZHU Lixin, LIU Chongmin, et al. A study of the enrichment and depletion regularity of trace elements in porphyry Cu (Mo) deposits[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2009, 30(6): 821-830.
- 王晓地, 刘德权, 唐延龄. 伊吾县琼河坝地区斑岩铜矿床地质特征及远景评价[J]. 新疆地质, 2006, 24(4): 398-404.
- WANG Xiaodi, LIU Dequan, TANG Yanling. Geological characteristics and metallogenic prospect evaluation of porphyry copper deposit in Qionghaba, Yiwu county [J]. Geology in Xinjiang, 2006, 24(4): 398-404.
- 王军, 聂凤军, 刘勇. 东准噶尔西斑岩型铜钼矿床地质地球化学特征[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 1151-1160.
- WANG Jun, NIE Fengjun, LIU Yong. Geological and geochemical characteristics and geological implications of the Mengxi porphyry copper-molybdenum deposit in East Junggar region[J]. Geology in China, 2010, 37(4): 1151-1160.
- 聂凤军, 江思宏, 张义. 中蒙边境及邻区斑岩型铜矿床地质特征及成因[J]. 矿床地质, 2004, 23(2): 176-189.
- NIE Fengjun, JIANG Sihong, ZHANG Yi. Geological features and origin of porphyry copper deposits in China_Mongolia border region and its neighboring areas[J]. Mineral Deposit, 2004, 23(2): 176-189.
- 叶锡芳, 刘杰, 帕拉提, 等. 东准噶尔西斑岩型铜矿床双矿化蚀变系统的厘定及其找矿意义[J]. 地质与勘探, 2014, 50(2): 257-268.
- YE Xifang, LIU Jie, PALATI Abudukadier, et al. Identification of double alteration-Mineralization system in the Mengxi porphyry copper deposit, east junggar and its signification for prospecting[J]. Geology and Exploration, 2014, 50(2): 257-268.
- 马生明, 朱立新, 席明杰, 等. 安徽马头矿区热液成矿边界的地球化学标志[J]. 地学前缘, 2015, (待刊).
- MA Shengming, ZHU Lixin, XI Mingjie, et al. Geochemical identification marks of hydrothermal metallogenic system boundary of matou mining area, anhui[J]. Geoscience Frontiers, 2015, (waiting to publish).
- WANG Changming, Emmanuel John M. Carranza, ZHANG Shouting, et al. Characterization of primary geochemical haloes for gole exploration at the Huanxiangwa gold deposit, China[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2013, 124: 40-58.
- LIU Chongmin, XU Waisheng. Primary geochemical anomalies in the Caijiaying Pb-Zn-Ag deposits, Heibei, China [J]. Journal of Geochemical Xploration, 1995, 55: 25-32.
- LIU Chongmin, HU Shuqi, MA Shengming, et al. Primary geochemical patterns of Donggua Mountain laminar skarn copper deposit in Anhui, China[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2014, 139: 152-159.