

识别分散矿化的地球化学勘查方法探讨 —以内蒙古垦山试验区为例

马生明¹, 朱立新², 席明杰¹, 胡树起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] 分散矿化的识别对提高地质找矿工作效率、适量控制资金投入具有重要意义, 但是有关这方面的试验研究工作很不系统。文章以内蒙古垦山地区经钻孔验证未见矿的多元素组合异常为例, 通过原生异常特征、矿石矿物化学计量关系、贫化元素指示作用等方面的综合分析, 对识别分散矿化的地球化学勘查方法进行了探讨。结果表明, 原生异常分带及元素组合特征是区分矿致异常与分散矿化的有效手段之一, 矿化过程中发生贫化元素的含量或异常状况, 可以从与元素富集相对应的方面为判断异常成矿与否提供依据。

[关键词] 分散矿化 地球化学勘查方法 原生异常 贫化元素

[中图分类号] P632+.2 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2011)06-1124-9

Ma Sheng-ming, Zhu Li-xin, Xi Ming-jie, Hu Shu-qi. A tentative discussion of geochemical exploration methods for discrimination of dispersive mineralization [J]. *Geology and Exploration*, 2011, 47 (6): 1124-1132.

0 引言

在矿产勘查中, 如何有效识别分散矿化是亟待解决的重大技术难题之一, 因为它直接影响着勘查工作的进程、效果、效率以及资金投入。

分散矿化是由于成矿流体对围岩的作用, 在其范围内造成该类型矿化指示元素浓度高于背景, 但又不含经过富集且规模足够在当时经济技术条件下可以投入工业开发的矿化。如所周知, 因为分散矿化普遍存在而在矿产勘查工作中经常遇到, 可以这样说, 地质矿产勘查的主要目的之一就是为众多的分散矿化中识别出具有工业价值的矿化。分散矿化在有利于工业矿化聚集的地质环境中出现几率更高, 有时会严重干扰或误导地质工作者, 甚至可能依据分散矿化引起的异常而在分散矿化地段部署勘查工作。在盲矿地球化学勘查中分散矿化更为有带的额尔古纳地块(万天丰等, 2004)。区内元古界

害, 因为盲矿的最重要地球化学指示标志—矿上地球化学异常与分散矿化带相像, 在元素含量、指示元素的浓集水平等特征上几乎没有差别(吴传璧等译, 1988)。为此, 根据具有工业意义矿化与分散矿化各自的固有规律, 发现两者在地球化学特征上的差异, 制定识别分散矿化的准则和方法, 对指导矿产勘查具有重大意义。

本文以垦山异常区实际勘查、勘探资料为基础, 结合相关试验研究成果, 对分散矿化识别的地球化学方法进行了探讨, 其结果对其它地区矿产勘查工作具有借鉴意义。

1 试验区地质概况

1.1 地质概况

垦山试验区位于满洲里市南部(图1), 其构造单元属于西伯利亚板块和中朝板块之间的中亚造山和下寒武统组成了古老的褶皱基底, 在加里东早期

[收稿日期] 2011-1-4; [修订日期] 2011-07-06; [责任编辑] 郝情情。

[基金项目] 国家科技支撑计划课题(编号: 2006BAB01A10)资助。

[第一作者] 马生明(1963年-), 男, 2003年毕业于中国地质大学(北京), 获博士学位, 教授级高工, 现主要从事矿产勘查地球化学方法技术研究工作。E-mail: msmigge@163.com。

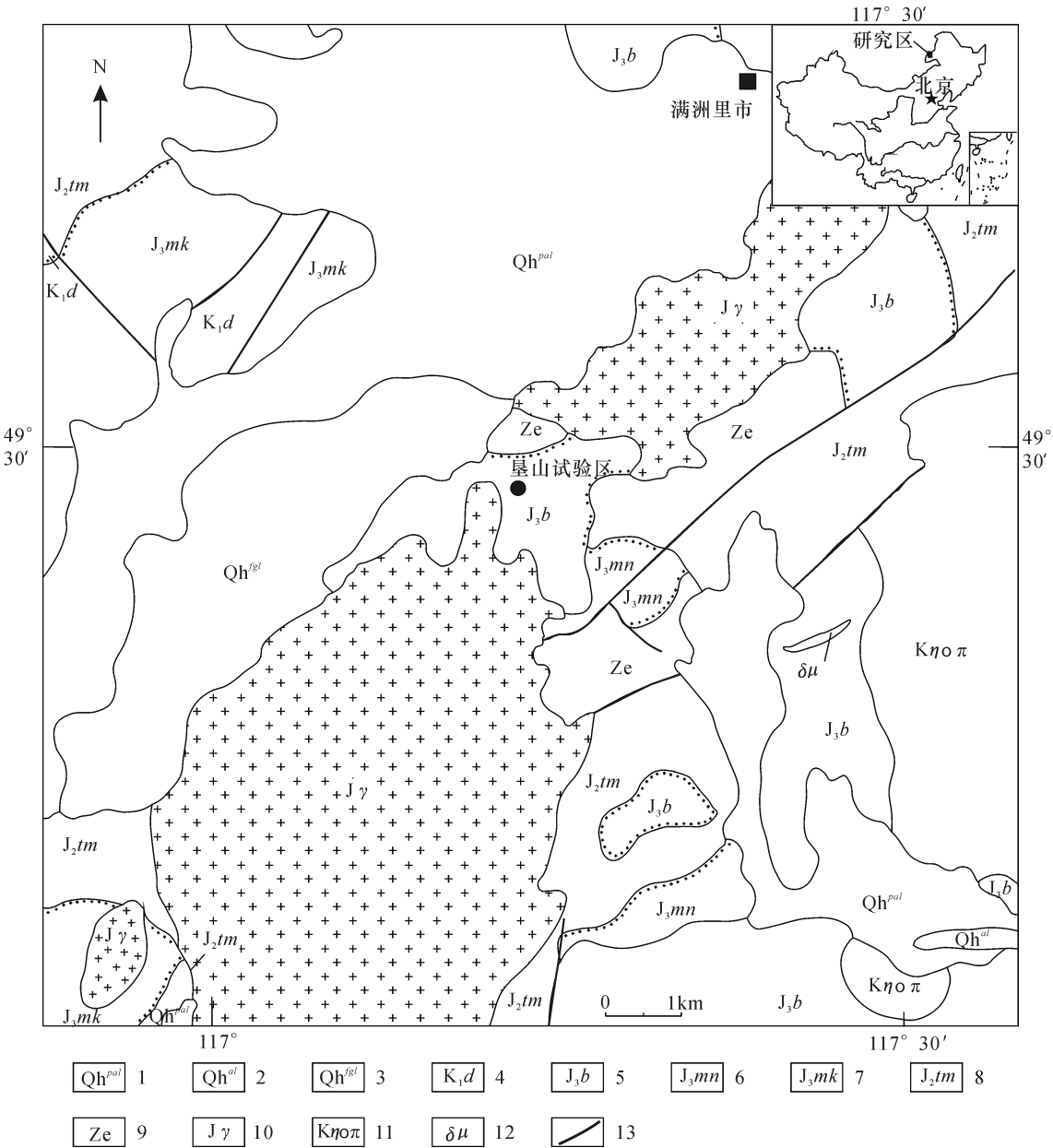


图 1 满洲里市南部地质图(据内蒙古自治区地质调查局,2002)

Fig.1 Geological map of the southern Manzhouli City (fattev Geological Survey Institute of Inner Mongolia,2002)

1-第四系冲洪积砂砾、亚砂土、粉砂 (Qh^{pal});2-第四系冲积粉砂、砂砾 (Qh^{al});3-第四系冰水堆积泥、砂砾粘土 (Qp^{gl});4-上白垩统大磨拐河组砂岩、粉砂岩;5-下侏罗统白音高老组凝灰岩、流纹岩;6-下侏罗统玛尼吐组安山岩;7-下侏罗统满克头鄂博组凝灰熔岩;8-中侏罗统塔木兰沟组安山岩、玄武岩;9-震旦系额尔古纳河组白云岩、大理岩;10-侏罗纪花岗岩 (J γ);11-白垩纪石英花岗岩 (K $\eta\sigma\pi$);12-闪长玢岩脉 ($\delta\mu$);13-断层

1- alluvial-diluvial gravel, sandy loam and silty sand of Quaternary;2- silty and gravel of Quaternary;3- Quaternary Ice-water accumulation mud and gravel-clay of Quaternary;4- sandstone and siltstone of Upper Cretaceous Damoguaihe Group;5- tuff and rhyolite of Lower Jurassic Baiyingaolao Group;6- andesite of Lower Jurassic Manitu Group;7- tuff lava of Lower Jurassic Manketouebo Group;8- andesite and basalt of Middle Jurassic Tamulangou Group;9- dolomite and marble of Sinian Eergunahe Group;10- Jurassic granite;11- Cretaceous quartz-bearing granite;12- Dioritic porphyrite;13- Fault

造山作用之后发生裂解,晚古生代发育有泥盆纪至石炭-二叠纪地槽型沉积建造,与临区蒙古及俄罗斯资料对比,应归属外贝加尔褶皱带范围,与我国大

兴安岭褶皱带以额尔古纳-呼伦深断裂带为界。额尔古纳-呼伦深断裂带南延与中蒙古深断裂相接,北延并入鄂霍茨克深断裂,这一断裂带在区域构造

发展过程中对中生代以来的地层、构造、岩浆活动及几个大型矿床的形成起到很重要的控制作用。本区处于滨太平洋成矿域(叠加在古亚洲成矿域之上)大兴安岭成矿省新巴尔虎右旗-根河 Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au-萤石-煤等Ⅲ级成矿带、额尔古纳 Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au-萤石成矿亚带,主要受德尔布干深大断裂控制(徐志刚等,2008)。

垦山试验区位于乌奴格吐山铜钼矿床东北约 10 km 处,位于德尔布干深大断裂西北侧的满洲里复背斜轴部,满洲里-朱温得山断裂从附近经过。区内地层出露比较单一,有下石炭统莫尔根河组和上侏罗统龙江组。莫尔根河组为一套经历了变质改造作用的地层体,岩性主要为砂卡岩化灰岩和砂岩等。龙江组在区内分布较广,根据其岩性可进一步分为上下两个岩性段,下段岩性以安山岩、安山质角砾凝灰岩为主,局部地段夹粗安质或英安质岩层,不整合于莫尔根河组之上;上段岩性以流纹质角砾凝灰

熔岩为主,局部地段夹流纹岩或流纹质凝灰岩层。

1.2 垦山组合异常特征

垦山试验区组合异常是通过土壤测量发现的。根据异常元素组合规律及空间展布形态可以划分为三组,编号为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ。

Ⅰ号异常位于测区 1~13 勘查线之间,集中在 5 勘查线,元素组合为 Cu、Pb、Zn、Ag、Cd、Bi、W、S 等,浓集中心和浓度分带明显,异常呈规则的长方形, Cu、Pb、Ag 综合异常面积大于 0.2 km²,而且在该试验区内 Cu 和 S 异常套合非常好(如图 2);Ⅱ号异常位于测区 17~45 勘查线之间,元素组合主要为 Cu、Pb、Zn、Ag、Cd、Bi、W 等,异常空间套合较好,呈长轴状跨越 F₁ 和 F₄ 断裂,与 F₁ 断裂西侧出露的潜流纹岩脉相衔接,推测 Cu 矿化主要受 F₁ 和 F₄ 断裂控制,潜流纹岩脉的侵入可能提供了重要热源。Ⅲ号异常受 F₇ 断裂控制,贯穿测区,呈串珠状近零距离分布,异常元素组合为 Au、As、Sb、Ti 等。

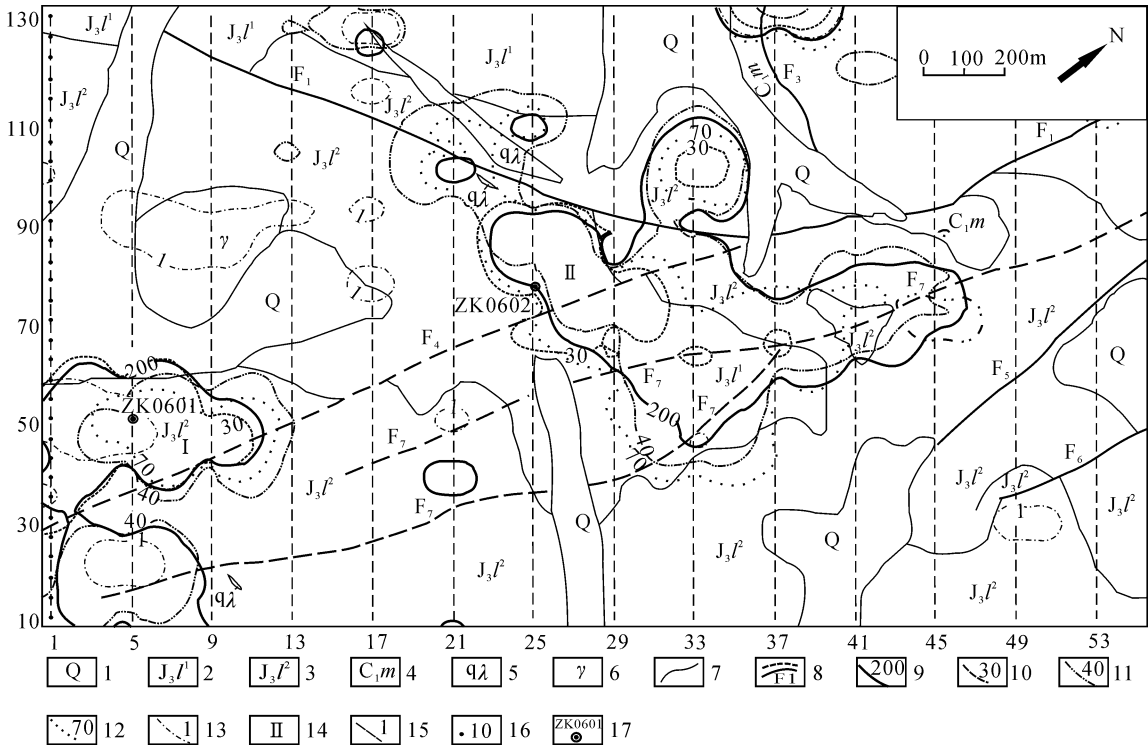


图2 垦山试验区土壤测量 Cu 等综合异常图

Fig. 2 Map showing anomalies of Cu and other elements from soil measurements in the Kenshan test region 1-第四系;2-上侏罗统龙江组;3-上侏罗统龙江组;4-下石炭统莫尔根河组;5-潜流纹岩脉;6-细粒花岗岩;7-地质界限;8-断层和推测断层;9-Ag (ng/g) 异常;10- Cu (μg/g) 异常;11- Pb (μg/g) 异常;12- Zn (μg/g) 异常;13-Mo (μg/g) 异常;14-异常编号;15-勘查线;16-采样点编号;17-钻孔编号

1-Quaternary;2- Upper Jurassic Longjiang Group;3-Upper Jurassic Longjiang Group;4-Lower Carboniferous Moergenge Group;5-Rhyolite vein;6- Granule granite;7-Geologic boundary;8- Fault and inferred fault;9-Ag geochemical anomaly;10-Cu geochemical anomaly;11- Pb geochemical anomaly;12- Zn geochemical anomaly;13-Mo geochemical anomaly;14-Number of geochemical anomalies;15-Exploratory line;16-Number of sample;17-Number of drill

上述土壤综合异常与物探时间域中梯激发极化测量结果吻合,推测该异常具有较好的成矿前景。为此,在 I 号、II 号异常地段布置了两个钻孔对异常的成矿前景进行了验证。

2 钻孔中矿化及元素含量特征

验证钻孔编号分别是 ZK0601、ZK0602, 钻孔位置见图 2。验证结果表明,在垦山综合异常区布置的两个钻孔岩心中,岩性多为凝灰质熔岩、流纹质凝灰熔岩、英安质晶屑凝灰熔岩等酸性喷出岩(图 3)。钻孔岩心中黄铁矿化比较普遍,基本上是从开孔到终孔均可以看到呈星点状或细脉状产出的黄铁矿化,局部区段还见有黄铜矿化等,分析地表出现的 Cu 等多元素综合异常与深部的黄体矿化、黄铜矿化有关。

在两个验证钻孔中系统采集了原生异常研究和化学分析样品。每个钻孔中原生异常研究样品采样间距 3~5 m,样品采集采用连续捡块的方式;化学样样长 2 m,采用矿化明显地段劈心采样的方式,具体采样位置如图 3 所示。在 ZK0601 钻孔中采集原

生异常研究样品 76 件,化学样 76 件。ZK0602 钻孔中采集原生异常研究样品 72 件,化学样 64 件。原生异常研究样品中成矿及其伴生元素含量按岩性统计结果见表 1。

从表 1 中可见,与火山碎屑岩中元素平均化学组成相比,钻孔中成矿元素 Ag、Cu、Zn 含量明显增高。ZK0601 钻孔中 Ag、Cu、Zn 平均含量分别为各自丰度的 28、25 和 8 倍,ZK0602 钻孔中 Ag、Cu、Zn 平均含量分别为各自丰度的 25、32 和 3 倍,表明在垦山试验区内确实发生了成矿元素 Ag、Cu、Zn 等的富集。在 ZK0601 钻孔中,As、Sb、Bi、Cd 等伴生元素也有较大幅度的富集,分别是其丰度值的 33、6、25 和 37 倍。化学样分析结果与上述岩心样品结果总体相同,更证实了异常的存在。有研究资料表明,该区异常的形成与热液活动有关(席明杰等,2009)。从表 1 中还可以看到,成矿及其伴生元素的富集在残坡积层、流纹质晶屑凝灰熔岩、英安质晶屑凝灰熔岩中都存在,说明这些元素的富集与岩性没有直接关系,即元素的富集在岩性上没有专属性。

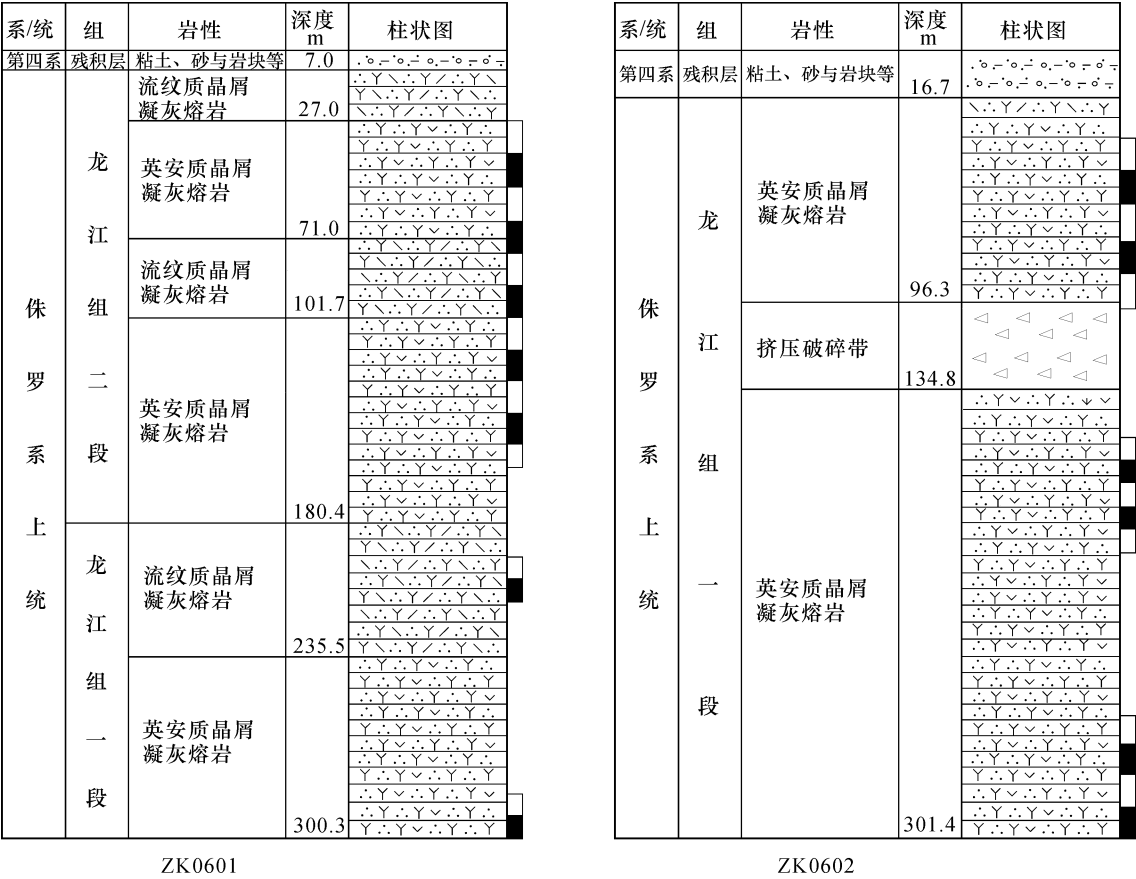


图 3 垦山试验区钻孔示意柱状图

Fig. 3 Borehole columnar section of the Kenshan test region

表 1 垦山试验区钻孔中按岩性元素含量统计表

Table 1 Element contents of rocks from boreholes in the Kenshan test region (By lithology)

钻孔编号	进尺深度 (m)	岩性及样品数	Ag	Cu	Zn	As	Sb	Bi	Cd	S
ZK0601	-7	残坡积层(2)	1526	421	95	93	0.65	2.1	859	5307
	-27	流纹质晶屑凝灰熔岩(5)	2259	434	181	113	1.12	8.0	975	5730
	-70.9	英安质晶屑凝灰熔岩(11)	1704	320	667	105	1.61	5.7	4806	3927
	-101.7	流纹质晶屑凝灰熔岩(7)	2267	191	847	221	4.28	8.1	5169	2925
	-180.4	英安质晶屑凝灰熔岩(24)	1444	121	397	183	2.86	3.3	2352	4022
	-235.5	流纹质晶屑凝灰熔岩(13)	1390	66	586	163	4.49	2.2	3668	2781
	-300.3	英安质晶屑凝灰熔岩(14)	1440	47	355	106	2.30	2.5	1935	3440
		平均值(76)	1603	162	480	150	2.81	4.0	2985	3734
	-16.7	残坡积层(5)	1095	83	209	15	0.64	1.1	834	201
	-96.3	英安质晶屑凝灰熔岩(17)	1062	242	174	20	0.55	3.2	635	8144
ZK0602	-134.8	挤压破碎带(11)	3821	351	263	27	1.77	2.3	1345	7623
	-263.8	英安质含砾晶屑凝灰熔岩(32)	1021	169	229	12	0.38	1.2	1055	4136
	-301.35	英安质晶屑凝灰熔岩(7)	670	162	191	13	0.64	1.4	882	4554
		总平均(72)	1425	207	216	17	0.68	1.8	966	5389
		火山碎屑岩中元素丰度	58	6.4	62	4.5	0.48	0.2	80	170

1、表中元素单位:Ag、Cd- $\times 10^{-9}$,其余元素- $\times 10^{-6}$;2、(2):括号内数字为参加统计样品数;3、火山碎屑岩中元素丰度据鄯明才等,1997。

钻探验证结果证实了多元素综合异常的存在,但是在钻孔控制范围内没有发现具有工业价值的矿化体,因而导致该试验区进一步的勘查勘探工作陷入困境。实际上,这也是矿床勘查工作中常见的一种情况,即钻探验证结果证实有矿化迹象或成矿元素异常存在,但是未发现具有工业意义的矿体,这时对这种矿化迹象或异常如何认识就成为下一步工作布置的关键,因为无论是加大验证工程量或验证深度,还是放弃勘查,都需要有相应的试验证据做支撑。在这种情况下,如何判断矿化迹象或异常的成矿前景,即如何区分矿化与分散矿化就显得迫切和必要,而地球化学方法在此时可以发挥独到作用。

3 原生异常特征及其判别意义

因为试验区内两个普查钻孔分布在两条勘探线上,两者之间构不成勘探剖面,因此无法以剖面的形式绘制异常图,而只能是按照单个钻孔进行原生异常特征研究。参照以往类似情况的处理方法,试验中按照钻孔每 50 m 进尺为一个统计单元,统计矿化及其指示元素在每个单元上的总体异常情况及其异常空间分布特征。元素的异常强度用富集系数来表示,富集系数定义为:每件样品中元素含量/火山碎

屑岩中该元素丰度。将每 50 m 统计单元内所有样品富集系数进行算术平均,结果见表 2。

从表 2 中可以看到,在 ZK0601 钻孔中,金属成矿元素 Ag、Cu、Zn、Pb 等的富集系数分别是 28、25、8 和 4.4,ZK0602 钻孔中分别是 25、32、3.5 和 2.1,也就是说,与元素在火山碎屑岩中的丰度相比,富集程度最大的元素是 Cu 和 Ag,由此判断试验区内最有可能成矿的元素是 Cu 和 Ag。如果以富集系数 10 为异常下限,以富集系数 20、40 为异常等值线将异常划分为Ⅰ级(富集系数 10~20)、Ⅱ级(富集系数 20~40)、Ⅲ级(富集系数>40)的话,那么在 ZK0601 钻孔中,Ag 全孔均出现了Ⅱ级-Ⅲ级异常,Cu 在 0~-50 m、-50~-100 m 深度段出现了Ⅲ级异常,在-100~-150 m 深度段出现Ⅱ级异常,在-150~-200 m、-200~-250 m 深度段出现Ⅰ级异常,而在-250~-300 m 深度段没有出现异常,Cu 随深度加大而富集程度减弱的趋势比较明显,即 Cu 异常浓集中心出现在钻孔的上部近地表地段。Ag 的情况与 Cu 不同,除在-150~-200 m 深度段为Ⅰ级异常以外,其余各深度段均为Ⅱ级异常,即在全孔范围内没有出现明显的异常浓集中心。

表 2 垦山试验区钻孔岩石中元素富集系数统计表

Table 2 Element enrichment coefficients of rocks from boreholes in the Kenshan test region

钻孔编号	统计单元 (m)	Ag	Cu	Zn	Pb	As	Sb	Cd	F	W	Sn	Bi
ZK0601	0 ~ -50(13)	31	57	4.8	2.8	20	2.2	29	1.5	36	2.1	38
	-50 ~ -100(12)	37	41	14.1	3.1	42	7.1	68	1.7	24	1.9	44
	-100 ~ -150(13)	31	22	8.0	3.3	47	7.4	39	2.0	14	1.7	30
	-150 ~ -200(14)	18	14	4.6	2.2	32	4.5	19	1.5	11	1.7	11
	-200 ~ -250(13)	23	10	9.0	5.8	41	10.1	43	1.4	11	1.6	12
	-250 ~ -300(11)	27	7	6.5	10.4	17	3.8	28	2.0	7	2.5	19
ZK0602	0 ~ -50(13)	17	20	2.6	1.7	3.69	1.1	7	1.2	9.1	1.3	15
	-50 ~ -100(10)	21	48	3.5	1.7	4.75	1.3	10	1.8	6.8	1.5	20
	-100 ~ -150(14)	57	46	4.6	3.3	5.43	3.0	18	1.7	6.6	1.8	14
	-150 ~ -200(12)	19	23	3.2	1.8	2.20	0.7	10	1.1	5.0	2.0	6
	-200 ~ -250(11)	14	23	3.4	1.7	2.75	0.8	12	1.5	6.1	1.8	6
	-250 ~ -300(12)	14	24	3.5	2.3	3.22	1.2	12	1.1	6.3	1.6	8

1、富集系数:元素含量/丰度;2、括号内数字为参加统计样品数;3、元素丰度据鄯明才等,1997。

在 ZK0602 钻孔中 Ag 均出现了异常,Ⅲ级异常出现在-100 ~ -150 m 深度段,该深度段的上下分别为 Ag 的Ⅱ级异常,再向外围为Ⅰ级异常。Cu 异常均在Ⅱ级以上,其中Ⅲ级异常出现在-50 ~ -100 m、-100 ~ -150 m 两个深度段上,这两个深度段外围为Ⅱ级异常。

上述 Ag、Cu 异常特征表明,在垦山试验区内,主成矿元素异常明显,并有一定浓度的浓度分带,但是在目前钻孔控制范围内,矿化程度还达不到工业矿体的要求。钻孔中其他矿化伴生元素数量比较多,不过虽然异常明显但是分带现象却不明显,表现为在任何一个统计单元内都存在着典型热液矿化前缘指示元素 As、Sb、Cd、F 等的异常与尾部指示元素 W、Sn、Bi 等的异常,而且这些指示元素没有出现明显的轴向分带和横向分带。钻孔中成矿元素和成矿伴生元素异常的这些特征似乎与分散矿化更为相似,而与矿致异常中元素表现出的分带特征相去甚远(邵跃,1984;王文华,1987;黄转莹等,2003)。

4 贫化指标判别依据

有研究者指出(季克俭等,1992;马东升等,1991;孙承轅等,1993;史长义等,1995;Shi *et al*, 1995;GOLDBERG I S *et al*,2003),元素贫化及由此形成的负异常是矿化系统固有特征之一,对矿产勘

查具有重要作用。近年来试验结果表明(弓秋丽等,2009;马生明等,2009;梁胜跃等,2010),在斑岩型、热液型铜多金属矿床中,元素贫化是一个普遍存在的现象,而且发生贫化元素的种类有一定规律,其中微量元素以亲石分散元素和稀土元素为代表,常量化学组分中,除 Fe₂O₃ 以外,其它组分均有贫化现象出现。尽管具体发生贫化的元素因矿化类型及矿化围岩蚀变类型等的不同而存在差异,以常量化学组分为例,如果矿化围岩蚀变出现硅化、钠化或钾长石化时,Al₂O₃、MgO、CaO 等将出现贫化,如果矿化类型是矽卡岩型时,Al₂O₃、Na₂O 等将出现贫化,但是在同一个矿床中肯定有发生贫化的元素出现,也就是说,可以将元素的贫化作为判别矿化与分散矿化的标志。

垦山试验区亲石分散元素、常量化学组分及稀土元素含量统计结果见表 3、表 4、表 5。从中可见,与试验区广泛出现的流纹质晶屑凝灰熔岩、英安质晶屑凝灰熔岩中相应元素丰度相比,如果以富集系数小于 0.9 为标准(矿床中发生贫化元素的富集系数通常小于 0.5),那么在亲石分散元素、常量化学组分和稀土元素中,几乎没有出现贫化现象的元素,由此证实在垦山试验区发生元素富集过程中,没有出现元素的贫化,表现出与成矿作用过程中元素富集贫化规律不一致的特性。

表 3 垦山试验区钻孔岩石中分散元素含量统计表

Table 3 Dispersive element contents of rocks from boreholes in the Kenshan test region													
钻孔编号	进尺深度(m)	岩性	Ba	Be	Cs	Hf	Nb	Rb	Sr	Ta	Ti	Zr	
ZK0601	-7	残坡积层(2)	919	1.9	6.9	5.6	11	105	336	1.0	4571	1.7	214
	-27	流纹质晶屑凝灰熔岩(5)	690	2.0	7.6	5.5	10	100	282	0.9	4280	1.4	209
	-70.9	英安质晶屑凝灰熔岩(11)	719	2.7	7.1	7.7	13	125	169	1.1	3326	1.7	272
	-101.7	流纹质晶屑凝灰熔岩(7)	725	2.5	6.6	7.6	12	136	68	1.1	1986	2.1	265
	-180.4	英安质晶屑凝灰熔岩(24)	677	2.9	8.9	7.8	12	138	169	1.1	3861	2.2	271
	-235.5	流纹质晶屑凝灰熔岩(13)	651	3.0	6.4	8.2	15	150	128	1.4	1840	3.7	266
	-300.3	英安质晶屑凝灰熔岩(14)	685	3.3	9.3	8.2	14	137	196	1.3	2469	1.6	278
	平均值(76)		692	2.8	7.9	7.7	13	135	169	1.2	3055	2.2	265
ZK0602	-16.7	残坡积层(5)	753	2.0	5.6	5.8	11	127	270	0.97	4134	1.3	197
	-96.3	英安质晶屑凝灰熔岩(17)	633	1.9	8.0	4.9	9	111	349	0.78	4859	1.1	169
	-134.8	挤压破碎带(11)	809	2.3	8.1	6.3	10	130	229	0.86	4516	1.2	221
	-263.8	英安质含砾晶屑 凝灰熔岩(32)	729	2.5	7.7	6.7	11	115	230	0.95	3143	1.0	231
	-301.35	英安质晶屑凝灰熔岩(7)	875	2.2	4.5	7.5	8	95	251	0.76	2257	0.9	246
	平均值(72)		736	2.3	7.3	6.3	10	115	263	0.88	3728	1.1	214
	丰 度		730	1.9	5.4	6.0	16	133	170	1.0	2280	0.8	210

1、表中元素单位:×10⁻⁶;2、括号内数字为参加统计样品数;3、元素丰度据鄢明才等,1997。

表 4 垦山试验区钻孔岩石中常量组分含量统计表

Table 5 Major elements contents rocks from boreholes in the Kenshan test region									
钻孔编号	进尺深度(m)	岩性	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
ZK0601	-7	残坡积层(2)	65.62	16.22	3.62	1.11	1.65	3.95	3.22
	-27	流纹质晶屑凝灰熔岩(5)	64.02	15.90	5.24	0.98	1.12	3.84	2.71
	-70.9	英安质晶屑凝灰熔岩(11)	67.41	15.71	3.55	0.85	1.81	2.48	3.44
	-101.7	流纹质晶屑凝灰熔岩(7)	71.88	14.21	2.40	0.59	1.48	0.63	3.77
	-180.4	英安质晶屑凝灰熔岩(24)	66.11	16.75	3.97	0.84	1.53	2.44	3.53
	-235.5	流纹质晶屑凝灰熔岩(13)	71.87	13.91	2.56	0.66	0.82	2.46	4.24
	-300.3	英安质晶屑凝灰熔岩(14)	64.80	14.27	3.34	1.53	3.16	2.42	3.88
	平均值(76)		67.43	15.35	3.48	0.93	1.72	2.41	3.66
ZK0602	-16.7	残坡积层(5)	68.61	14.88	3.53	0.56	1.45	3.50	3.78
	-96.3	英安质晶屑凝灰熔岩(17)	61.39	15.19	6.33	1.90	3.49	2.99	2.85
	-134.8	挤压破碎带(11)	63.15	15.92	5.15	1.47	2.54	2.32	3.58
	-263.8	英安质含砾晶屑凝灰熔岩(32)	64.40	14.94	4.14	1.17	3.09	2.61	3.36
	-301.35	英安质晶屑凝灰熔岩(7)	66.89	15.57	3.78	0.85	2.20	3.74	3.45
	平均值(72)		64.07	15.21	4.73	1.31	2.89	2.84	3.31
丰 度		70.66	13.86	2.08	0.89	1.25	2.70	4.02	

1、表中元素单位:%;2、括号内数字为参加统计样品数;3、元素丰度据鄢明才等,1997。

表 5 垦山试验区钻孔岩石中稀土元素含量表

Table 5 REE contents of rocks from boreholes in the Kenshan test region

样号编号	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
ZK0601-21	流纹质晶屑凝灰熔岩	36	70	8.8	34	6.9	1.7	6.5	1.2	6.9	1.5	4.2	0.68	4.7	0.69	41
ZK0601-64	英安质晶屑凝灰熔岩	36	69	8.0	29	5.4	0.7	5.0	0.9	5.6	1.2	3.7	0.67	4.6	0.69	36
ZK0602-19	流纹质晶屑凝灰熔岩	26	55	7.2	30	6.4	1.7	6.3	1.1	6.5	1.4	3.7	0.57	3.8	0.52	36
ZK0602-32	挤压破碎带	20	43	5.3	22	4.8	1.3	4.5	0.8	5.1	1.1	2.9	0.44	2.9	0.40	30
ZK0602-51	英安质含砾晶屑凝灰熔岩	37	75	9.4	36	7.2	1.3	6.8	1.2	7.4	1.6	4.6	0.78	5.3	0.76	44
	丰 度	29	63	6.4	27	5.3	1.1	4.5	0.8	4.2	0.9	3.2	0.53	2.9	0.48	19

1、表中元素单位:×10⁻⁶;2、元素丰度据鄢明才等,1997。

5 结 论

识别分散矿化是矿产勘查中重要的工作环节和重大的技术难题,加上成矿地质条件、矿床类型(成因类型、矿种类型)的不同无疑导致识别分散矿化的难度更大。垦山试验区试验结果表明,综合利用具有工业价值矿化与分散矿化在成矿元素浓度分带、元素组分分带等原生异常特征上的差异以及元素贫化现象存在与否等信息,可以有效识别具有工业价值的矿化与分散矿化。此项研究成果为分散矿化的识别提供了研究案例,但系统的方法技术研究有待加强。深入的方法技术研究需要与成矿地质条件紧密结合,因为已有成功找矿案例证实(宋明春等,2008;钱建平等,2010;许荣科等,2010),勘查区成矿地质、构造条件分析是判断识别矿化与分散矿化的根本前提,在此基础上将有利成矿的地质条件及环境条件转化为可以量化的地球化学勘查指标,是提高地球化学勘查方法识别分散矿化有效性拓展其适用性的必由之路。

分散矿化的识别是以某次成矿作用或某个成矿系统形成的矿化为研究对象,如果存在成矿作用或成矿系统的叠加等情况,那么分散矿化的识别将更加复杂,方法技术需持续探讨、深化和完善。因此,这里提出的有关分散矿化识别方法,仅针对某次成矿作用或某个成矿系统是有效的。

[注释]

① 内蒙古自治区地质调查局. 2002. 满洲里市幅地质图(1:200000)[R].

[References]

Goldberg I S, Abramson G Y, Los V L. 2003. Depletion and enrichment of primary haloes: their importance in the genesis of and exploration for mineral deposits[J]. Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, 3: 281-293

Gong Qiu-li, Zhu Li-xin, Ma Sheng-ming, Xi Ming-jie. 2009. Petro-

chemical indices in geochemical exploration of porphyry type deposits [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 33 (1): 31-34 (in Chinese with English abstract).

Huang Zhuan-ying, Lu Run-an. 2003. Zoning characteristics and index of primary geochemical anomalies in Qiandongshan Pb-Zn deposit, Shanxi province, China[J]. Geology and prospecting, 39(3): 39-44(in Chinese with English abstract)

Ji Ke-jian, Wang Li-ben, Lv Feng-xiang, Wang Wu-yi, Zhang Jian-hua. 1990. The negative haloes and geochemical field system of hydrothermal deposits [J]. Acta Geoscientica Sinica, 66(4): 350-361 (in Chinese with English abstract)

Liang Sheng-yue, Ma Sheng-ming, Zhu Li-xin, Liu Chong-min, Chen Xia-feng. 2010. Geochemical anomaly structure of the wunugetushan porphyry copper and molybdenum deposit[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 34(2): 127-133, 143 (in Chinese with English abstract)

Ma Dong-sheng, Liu Ying-jun. 1991. A study on geochemical characteristics and metallogenesis of stratabound gold deposit in Jiangnan metallogenic belt[J]. Science in China (series B), 10: 424-433 (in Chinese with English abstract)

Ma Sheng-ming, Zhu Li-xin, Liu Chong-min, Chen Xiao-feng, Liang Sheng-yue. 2009. A Study of the enrichment and depletion regularity of trace elements in porphyry Cu (Mo) deposits[J]. Acta geoscientica sinica, 30(6): 821-830 (in Chinese with English abstract)

Qian Jian-ping, Sun Tao, Chen Hong-yi, Wang Zi-guo. 2010. Structural ore-controlling regularity and tectonic geochemical exploration in Qiansunjia gold mine in Zhaoyuan City, Shandong[J]. Geology and Prospecting, 46(1): 10-19 (in Chinese with English abstract)

Shao Yue. 1984. The Appliction of elements zonation wiht primary deposits in geochemical prospecting [J]. Geology and prospecting, 20(2): 47-55 (in chinese with English abstract)

Shi Chang-yi, Wang Cai-fang. 1995. Regional geochemical secondary negative anomalies and their significance [J]. Journal of Geochemical Exploration, 55: 11-23

Shi Chang-yi, Wang Cai-fang. 1995. The regional secondary geochemical negative anomaly model and its significance [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 19(2): 104-113 (in Chinese with English abstract)

Song Ming-chun, Cui Shu-xue, Yang Zhi-li, Jiang Hong-li, Yang Cheng-hai, Jiao Xiu-mei. 2008. Great progress and far-reaching signifi-

- cance of deep exploration in the Jiaojia metallogenic belt, Shandong province[J]. *Geology and Prospecting*, 44(1): 1-8 (in Chinese with English abstract)
- Sun Cheng-yuan, Zheng Gan. 1993. Negative geochemical anomaly over Mobin Au mining area and their significance to ore exploration[J]. *Geology and prospecting*, 29(3): 47-52 (in Chinese with English abstract)
- Wan Tian-feng. 2004. Outline Tectonic of China[M]. Beijing: Geological publishing house: 251-253 (in Chinese)
- Wang Wen-hua. 1987. Zoning of drill hole primary anomalies by using a joint index[J]. *Geology and prospecting*, 23(6): 51-56 (in Chinese with English abstract)
- Wu Chuan-bi, Qiu Yu-wen, Lin Zhen-tai. 1988. Metal Deposits geochemical prospecting Methods[M]. Beijing: Metallurgical Industry Publishing House: 192-221 (in Chinese)
- Xi Ming-jie, Ma Sheng-ming, Zhu Li-xin, Gong Qiu-li. 2009. The Application of sulfur isotope in the cause of geochemical abnormality[J]. *Acta geologica sinica*, 83(5): 705-718 (in Chinese with English abstract)
- Xu rong-ke, Lu Sheng-zhang, Li Xing-de, Zheng You-ye, Sun Xin-chun, Wei Zhi-jun, Shan Liang, Zhang Yu-lian, Lu Lin, Li Hong-mei, Liu Xin-yang, Liu Jun-an, Liu Yuan-ping. 2010. Metallotectonic anatomy and metallogenic prognosis for ore-concentrated area of Gongpoquan copper deposit from Beishan area of Gansu Province[J]. *Geology and Prospecting*, 46(1): 93-101 (in Chinese with English abstract)
- Xu Zhi-gang, Chen Yu-chuan, Wang Deng-hong, Chen Zheng-hui, Li Hou-min. 2008. Scheme for subdivision of deposit metallogenic districts (belts) in China[M]. Beijing: Geological publishing house: 1-109 (in Chinese)
- Yan Ming-cai, Chi Qing-hua. 1997. The Chemical compositions crust and rocks in the eastern part of China [M]. Beijing: Science publishing house: 73, 101 (in Chinese)
- [附中文参考文献]
- 弓秋丽, 朱立新, 马生明, 席明杰. 2009. 斑岩型铜矿床地球化学勘查中岩石化学指标研究[J]. *物探与化探*, (33) 1: 31-34
- 黄转莹, 路润安. 2003. 陕西省凤县铅铜山大型铅锌矿床原生异常分带及分带指数[J]. *地质与勘探*, 39(3): 39-44
- 季克俭, 王立本, 吕凤翔, 王五一, 张建华. 1992. 热液矿床的负晕和地球化学场系[J]. *地质学报*, 66(4): 350-361
- 梁胜跃, 马生明, 朱立新, 刘崇民, 陈晓锋. 2010. 乌努格吐山斑岩型铜钼矿床地球化学异常结构研究[J]. *物探与化探*, 34(2): 127-133
- 马东升, 刘英俊. 1991. 江南成矿带层控金矿的地球化学特征和成因研究[J]. *中国科学(B辑)*, 10: 424-433
- 马生明, 朱立新, 刘崇民, 陈晓锋, 梁胜跃. 2009. 斑岩型 Cu(Mo) 矿床中微量元素富集贫化规律研究[J]. *地球学报*, 30(6): 821-830
- 钱建平, 孙涛, 陈宏毅, 王自国. 2010. 山东招远市前孙家金矿构造控矿规律和构造地球化学找矿[J]. *地质与勘探*, 46(1): 10-19
- 邵跃. 1984. 矿床原素原生分带的研究及其在地球化学找矿中的应用[J]. *地质与勘探*, 20(2): 47-55
- 史长义, 汪彩芳. 1995. 区域次生地球化学负异常模型及其意义[J]. *物探与化探*, 19(2): 104-113
- 宋明春, 崔书学, 杨之利, 姜洪利, 杨承海, 焦秀美. 2008. 山东焦家金矿带深部找矿的重大突破及其意义[J]. *地质与勘探*, 44(1): 1-8
- 孙承轅, 张干. 1993. 漠滨金矿区外围地层及矿区围岩中金负异常及其地球化学意义[J]. *地质与勘探*, 29(3): 47-52
- 万天丰. 2004. 中国大地构造学纲要[M]. 北京: 地质出版社: 251-253
- 王文华. 1987. 应用联合指标确定钻孔原生异常分带[J]. *地质与勘探*, 23(6): 51-56
- 吴传璧, 邱郁文, 林镇泰译. 1988. 金属矿床地球化学普查方法[M]. 北京: 冶金工业出版社: 192-221
- 席明杰, 马生明, 朱立新, 弓秋丽. 2009. 硫同位素在地球化学异常成因研究中的应用[J]. *地质学报*, 83(5): 705-718
- 徐志刚, 陈毓川, 王登红, 陈郑辉, 李厚民. 2008. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京: 地质出版社: 1-109
- 许荣科, 鲁胜章, 李兴德, 郑有业, 孙新春, 魏志军, 陕亮, 张雨莲, 鲁林, 李红梅, 刘鑫扬, 刘君安, 刘元平. 2010. 甘肃北山公婆泉铜矿矿集区成矿构造剖析及成矿预测[J]. *地质与勘探*, 46(1): 93-101
- 鄢明才, 迟清华. 1997. 中国东部地壳与岩石的化学组成[M]. 北京: 科学出版社: 73, 101

A Tentative Discussion of Geochemical Exploration Methods for Discrimination of Dispersive Mineralization

MA Sheng-ming¹, ZHU Li-xin², XI Ming-jie¹, HU Shu-qi¹

(1. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang, Hebei 065000;

2. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

Abstract: The discrimination of dispersive mineralization is of significance for improving prospecting efficiency and appropriately controlling fund input. The research of this aspect is, however, not systematic or sufficient. In this paper, with the composite anomalies of multi-elements, which present unmineralized validated by drills, in the Kenshan region, Inner Mongolia as an example, we make a tentative discussion of geochemical exploration methods about the discrimination of dispersive mineralization. We conducted a comprehensive analysis of characteristics of primary anomalies, stoichiometric relationship between ore and mineral and indication of depleted elements. The results show that the primary anomaly zoning and the characteristics of composite elements are one of effective methods to discriminate mineralized anomalies and dispersive anomalies. Moreover, the content of depleted elements and the status of anomalies, which correspond to element enrichment, could provide evidence for determining whether the deposit was generated.

Key words: dispersive mineralization, geochemical exploration methods, primary anomaly, depleted elements