

多元素组合异常向 R 型因子分析因子矿化类型转化的分析应用

时建民¹,石绍山¹,李 飞²,江 山¹,时 哲³

1. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心(沈阳地质矿产研究所),辽宁 沈阳 110034;

2. 浙江省临安市国土资源局,浙江 临安 311300; 3. 黑龙江省第四地质勘察院,黑龙江 哈尔滨 150036

摘 要: 利用多元素组合异常指示元素平均值与大兴安岭森林沼泽区水系沉积物地球化学元素丰度值的差,以及与其所在地球化学子区元素变化系数的乘积关系,度量多元素组合异常指示元素在成矿地质作用中的聚集变化强度;计算多元素组合异常元素变化强度的和,对多元素组合异常进行元素变化强度和的评序,遴选主要组合异常. 利用多元素组合异常指示元素蕴涵 R 型因子分析因子结构组合元素矿化类型的意义,判别多元素组合异常因子矿化类型. 依据主要组合异常分布、因子矿化类型以及与测区物探、遥感解译线性、环形构造的关系,建立测区主要组合异常聚集带、聚集区. 依照主攻矿种元素、相应主要组合异常因子矿化类型信息和相关成矿地质理论,开展测区多元素组合异常优中选优的找矿验证工作.

关键词: 多元素组合异常;因子分析;因子矿化类型;瓦拉干;大兴安岭地区

DOI:10.13686/j.cnki.dzyzy.2017.01.007

STUDY AND APPLICATION OF THE TRANSFORMATION FROM MULTI-ELEMENT ASSEMBLAGE ANOMALIES TO MINERALIZATION TYPES FOR R-FACTOR ANALYSIS

SHI Jian-min¹, SHI Shao-shan¹, LI Fei², JIANG Shan¹, SHI Zhe²

1. Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, CGS, Shenyang 110034, China; 2. Lin'an Bureau of Land and Resources, Lin'an 311300, Zhejiang Province, China; 3. No. 4 Institute of Geological Exploration of Heilongjiang Province, Harbin 150036, China

Abstract: In the stream sediment geochemical survey in the forest-swamp area of Daxinganling Mountains, the authors adopt the mean values, abundances and variation coefficients of elements to measure the concentration and variance intensity of the indicator elements for multi-element assemblage in the ore-forming geological processes. By calculating and sorting for the sum of the variance intensity of elements, the significant assemblage anomalies are selected. The factors of mineralization types are decided by R-factor analysis of multi-element assemblage anomalies of indicator elements. Basis on the distribution of assemblage anomalies, factors of mineralization types, geophysical exploration and remote sensing interpreted linear and circular structures, then, the concentration belts and areas of multi-element assemblage anomalies are delineated. Finally, the optimization and verification are carried out according to the target minerals, factors of mineralization types of main multi-element assemblage anomalies as well as related metallogenic geological theory.

Key words: multi-elements assemblage anomalies; factor analysis; factor of mineralization type; Walagan; Daxinganling Mountains

收稿日期:2016-04-19;修回日期:2016-08-13. 编辑:张哲.

基金项目:中国地质调查局项目“黑龙江瓦拉干车站-塔丰农场地区矿产地质调查”(编号 12120113055000).

作者简介:时建民(1963—),男,教授级高级工程师,从事区域地质调查与矿产普查工作,通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号,E-mail//38650957@qq.com

0 引言

笔者在整理黑龙江瓦拉干车站-塔丰农场地区矿产地质调查1:5万水系沉积物测量成果资料过程中,采用多元素组合异常(以下简称组合异常)指示元素平均值、R型因子分析因子矿化类型^[1]和森林沼泽区水系沉积物地球化学元素丰度^[2]以及测区地球化学子区元素变化系数等数据,对测区133个组合异常进行了异常元素聚集变化程度的计算和因子矿化类型的判别。遴选出具有主成矿元素聚集强度及其因子矿化类型意义的、且不同于指示元素异常规模和(ΣP_s)评序结果的重点异常调查区,为准确开展异常验证工作,提高找矿成效起到了探索和引导作用。

1 水系沉积物测量样品分析结果特征

1:5万水系沉积物测量工作区包括八里湾幅、二十站幅、瓦拉干车站幅、依沙溪河幅、塔河区幅和塔丰农场幅。共采集水系沉积物样品7247件。2015年底完成Au、Ag、Cu、Pb、Zn、W、Sn、Bi、Mo、As、Sb、Hg等12种指示元素的测试分析、数据调平、计算处理,编制完成了单元素异常图和组合异常图(成图数据7254个,含少量地球化学测量土壤样品分析结果),对组合异常进行了异常规模和评序,总结了1:5万水系沉积物测量地球化学元素特征^[3]。

1.1 元素异常特征

依据测区地质体分布特征,划分出6个地球化学子区,统计各子区的平均值、均方差和变化系数,统计结果如表1^①。根据不同子区的异常下限(T),确定元素异常外带($T, 2T$)、中带($2T, 4T$)和内带($\geq 4T$)界限,共圈定出单元素异常797个。其中Au异常75个,Ag异常105个,Cu异常49个,Pb异常83个,Zn异常41个,W异常50个,Sn异常60个,Mo异常80个,As异常68个,Sb异常72个,Bi异常70个,Hg异常49个。依据单元素异常相互叠加情况,圈定多元素组合异常133处。前20个组合异常如表2^①。

1.2 R型因子分析

经统计,测区样品数据R型因子分析特征为:当累计方差贡献为72.95%时,可将测区12种指示元素划分成6种组合(因子),分别以 $F_1 \sim F_6$ 表示(如表3)^①。

按照元素地球化学理论和测区水系沉积物测量报

告的分析结论,6个因子与矿化类型存在以下关系,即: F_1 [Mo、Ag、Pb、Bi、(Zn、Cu)]——多金属矿化(床)元素组合,可作为寻找多金属矿床的指示元素组合; F_2 [As、Sb、(W)]——低温矿化(床)元素组合,可作为寻找矿床的远程指示元素组合; F_3 [Sn、W、Bi]——高温矿化(床)元素组合,可作为寻找W、Sn矿床的指示元素组合,或指示矿化的中心位置; F_4 [Au]——金矿化(床)元素组合,可作为寻找金矿床的指示元素组合; F_5 [Hg]——可作为寻找矿床的远程指示元素; F_6 [Cu、Zn、(W、Bi、Pb)]——多金属矿化(床)元素组合,可作为寻找铜、锌多金属矿床的指示元素组合^①。

2 组合异常向R型因子分析因子矿化类型转化

2.1 转化依据和目的

根据1:5万水系沉积物测量样品分析数据的统计分析结果,组合异常指示元素包含了R型因子分析因子结构组合元素的统计学规律和意义。因此可以按照组合异常指示元素与R型因子分析得出的因子结构元素(即: F_1 [Mo、Ag、Pb、Bi、(Zn、Cu)], F_2 [As、Sb、(W)], F_3 [Sn、W、Bi], F_4 [Au], F_5 [Hg], F_6 [Cu、Zn、(W、Bi、Pb)])搭建组合异常向因子矿化类型转化的框架,并依据因子矿化类型的意义进行转化。即通过因子结构元素将组合异常与因子矿化类型联系起来,达到用具有矿化类型意义的因子元素组合表述组合异常矿化类型的目的,深化对组合异常地质成矿作用含义的理解和认识,提高应用地质成矿理论指导矿产地质调查的工作水平。

2.2 引入异常指示元素变化强度

在组合异常向R型因子分析因子矿化类型转化的工作中,为了表述组合异常指示元素在地质作用中的富集特点,笔者采用组合异常指示元素平均值与大兴安岭森林沼泽区水系沉积物地球化学元素丰度值的差(高出地球化学丰度值部分)与组合异常所在地球化学子区元素变化系数的乘积,来度量指示元素对成矿地质作用的贡献。通过对组合异常指示元素量纲归一化处理,计算组合异常元素变化强度和,进而对测区组合异常进行元素变化强度和的排序,指导异常验证选区的工作。

2.3 搭建转化平台

笔者使用Microsoft Office Excel软件,搭建组合异

①石绍山,等.黑龙江瓦拉干车站-塔丰农场地区矿产地质调查成果报告.沈阳地质调查中心,2016.

表1 测区地球化学子区元素含量一般特征表
Table 1 Features of elements in geochemical sub-areas

元素	地质体	平均值	均方差	变化系数	元素	地质体	平均值	均方差	变化系数
Au	K _{lg}	0.69	0.52	0.75	Sn	K _{lg}	2.30	0.40	0.18
	K _{lby}	0.60	0.66	1.11		K _{lby}	2.57	0.50	0.19
	J _z	0.61	0.39	0.64		J _z	2.30	0.42	0.18
	J _{zx} , J _{zer}	0.62	0.46	0.74		J _{zx} , J _{zer}	2.56	0.46	0.18
	kγ _{ε₃O₁}	0.60	0.99	1.66		kγ _{ε₃O₁}	2.93	1.10	0.38
	ηγ _{ε₃O₁} , ηο _{ε₃O₁}	0.97	10.6	11.03		ηγ _{ε₃O₁} , ηο _{ε₃O₁}	2.35	0.56	0.24
Ag	K _{lg}	0.142	0.182	1.28	Mo	K _{lg}	1.50	1.04	0.69
	K _{lby}	0.106	0.136	0.29		K _{lby}	1.29	0.89	0.69
	J _z	0.084	0.037	0.44		J _z	1.00	0.38	0.38
	J _{zx} , J _{zer}	0.089	0.061	0.69		J _{zx} , J _{zer}	1.12	0.69	0.62
	kγ _{ε₃O₁}	0.088	0.054	0.61		kγ _{ε₃O₁}	1.22	0.70	0.57
	ηγ _{ε₃O₁} , ηο _{ε₃O₁}	0.075	0.033	0.44		ηγ _{ε₃O₁} , ηο _{ε₃O₁}	1.05	0.50	0.47
Cu	K _{lg}	21.0	9.25	0.44	As	K _{lg}	8.84	5.18	0.59
	K _{lby}	15.7	7.39	0.47		K _{lby}	6.01	3.50	0.58
	J _z	16.9	5.86	0.35		J _z	8.22	11.9	1.44
	J _{zx} , J _{zer}	12.8	5.92	0.46		J _{zx} , J _{zer}	13.3	11.8	0.89
	kγ _{ε₃O₁}	12.0	5.96	0.50		kγ _{ε₃O₁}	5.37	2.14	0.40
	ηγ _{ε₃O₁} , ηο _{ε₃O₁}	13.6	5.22	0.38		ηγ _{ε₃O₁} , ηο _{ε₃O₁}	5.54	2.24	0.40
Pb	K _{lg}	34.2	23.8	0.70	Sb	K _{lg}	0.50	0.22	0.45
	K _{lby}	27.9	18.1	0.65		K _{lby}	0.47	0.18	0.38
	J _z	25.5	5.31	0.21		J _z	0.49	0.19	0.38
	J _{zx} , J _{zer}	25.9	11.2	0.43		J _{zx} , J _{zer}	0.58	0.33	0.57
	kγ _{ε₃O₁}	27.3	9.33	0.34		kγ _{ε₃O₁}	0.42	0.22	0.52
	ηγ _{ε₃O₁} , ηο _{ε₃O₁}	24.3	4.29	0.18		ηγ _{ε₃O₁} , ηο _{ε₃O₁}	0.41	0.10	0.24
Zn	K _{lg}	100	55.9	0.56	Bi	K _{lg}	0.26	0.13	0.51
	K _{lby}	79.4	30.3	0.38		K _{lby}	0.25	0.18	0.74
	J _z	82.2	22.4	0.27		J _z	0.21	0.065	0.31
	J _{zx} , J _{zer}	59.5	29.0	0.49		J _{zx} , J _{zer}	0.25	0.13	0.53
	kγ _{ε₃O₁}	73.3	32.1	0.44		kγ _{ε₃O₁}	0.22	0.16	0.72
	ηγ _{ε₃O₁} , ηο _{ε₃O₁}	76.3	26.4	0.35		ηγ _{ε₃O₁} , ηο _{ε₃O₁}	0.18	0.11	0.62
W	K _{lg}	1.47	0.37	0.25	Hg	K _{lg}	0.025	0.018	0.69
	K _{lby}	1.67	0.45	0.27		K _{lby}	0.023	0.025	1.12
	J _z	1.37	0.40	0.29		J _z	0.024	0.011	0.48
	J _{zx} , J _{zer}	1.42	0.46	0.32		J _{zx} , J _{zer}	0.023	0.048	2.05
	kγ _{ε₃O₁}	1.29	0.57	0.44		kγ _{ε₃O₁}	0.020	0.009	0.45
	ηγ _{ε₃O₁} , ηο _{ε₃O₁}	1.11	0.38	0.34		ηγ _{ε₃O₁} , ηο _{ε₃O₁}	0.019	0.008	0.41

含量单位: Au 为 10^{-9} , 其他元素为 10^{-6} . 1~6 各子区的样品数分别为 186、1073、841、2949、1541 和 662.

常向因子矿化类型转化的关联平台(如表4). 表4中, 将组合异常按 ΣP_s 排序设置为列; 以 R 型因子分析获得的 6 个因子按高温组合元素、多金属组合元素、低温组合元素次序设置为行. 表4第1~5 栏数值引自组合异常 ΣP_s 评序统计结果, 第6 栏数值引用大兴安岭地区森林沼泽区水系沉积物地球化学元素丰度值^[2], 第7 栏数值采用测区 1:5 万水系沉积物测地球化学元素图

编图数据统计结果(表5), 第8 栏数据引用组合异常所在地球化学子区异常元素变化系数(表1), 第9 栏数值(元素变化强度)是 $(5-6)/7 \times 8$ (栏) $\times 100$ 的计算结果, 第10~26 栏数值是组合异常指示元素在 R 型因子分析因子结构元素中有、无信息的判读结果(有计为 1, 无计为 0), 它是判定组合异常因子矿化类型(第27 栏)的基本依据.

表 2 水系沉积物测量主要多元素组合异常特征表

Table 2 Characteristics of main multi-element assemblage anomalies by stream sediment survey

序号	异常编号	异常面积/km ²	异常元素组合	最高浓度分带	规模和($\sum P_s$)
1	Hs-103	22.5011	Mo-Ag-Pb-Zn-Bi-Cu-Hg-Au-Sb-Sn-W	内带	118.648
2	Hs-19	15.4257	Pb-Bi-Ag-Mo-Zn-W-Sn-Sb	内带	70.114
3	Hs-120	19.4087	Au-Sb-Ag-Hg-As-Bi-Pb-Zn	内带	65.205
4	Hs-24	16.8229	Sb-Hg-As-Au-Mo-W-Pb	内带	49.813
5	Hs-45	11.3240	Mo-As-W-Pb-Ag-Sb-Zn-Sn	中带	23.656
6	Hs-95	8.6260	Bi-Sn-W-Mo-Pb-Zn-Au-Ag	内带	23.308
7	Hs-2	5.5779	Sb-As-W-Pb-Ag-Au	内带	19.670
8	Hs-59	5.8276	Bi-Cu-Hg-Pb-Ag-Zn-Mo-As	中带	17.287
9	Hs-9	3.8962	As-Sb-Ag-Zn-Pb-Bi	内带	15.092
10	Hs-94	6.0119	Bi-Ag-Sn-Mo-W-Sb	中带	13.601
11	Hs-106	4.8854	Pb-Ag-Mo-Zn-Bi	中带	13.269
12	Hs-66	4.8797	Sn-Bi-Ag-Cu-Au-As-Hg-Mo-Pb-Zn-W	外带	13.086
13	Hs-69	3.8279	Sb-As-Au-Hg-Mo-Cu	中带	12.317
14	Hs-125	6.8766	As-Sb-W-Pb	中带	10.893
15	Hs-15	3.3821	Mo-Ag-Au-Sb-Pb-As	中带	10.341
16	Hs-16	2.7268	Sb-Ag-Pb-As-Hg	内带	10.136
17	Hs-53	2.7541	Au-Mo-Bi-As-Sb-Ag	中带	10.113
18	Hs-44	3.5122	Sb-Mo-Sn-Pb-Bi	内带	9.310
19	Hs-82	3.8036	Mo-Ag-Hg-As	内带	7.828
20	Hs-111	2.4933	Pb-Au-Zn-Cu-Sn	内带	7.387

注:异常元素组合的元素顺序按单元元素异常规模(P_s)从大到小排列。

表 3 水系沉积物样品 R 型因子分析正交旋转因子载荷表

Table 3 The orthogonal rotation factor loadings of R-factor analysis for stream sediment samples

元素	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆
Au	0.006	0.013	-0.005	0.999	0.001	0.004
Ag	0.719	0.011	0.051	0.031	0.044	0.159
Cu	0.210	0.069	-0.017	0.005	0.117	0.854
Pb	0.714	0.059	0.037	-0.008	-0.077	0.246
Zn	0.305	-0.160	0.173	-0.001	-0.013	0.759
W	0.053	0.219	0.696	-0.002	-0.022	0.352
Sn	0.176	-0.081	0.838	-0.006	0.029	-0.131
Mo	0.732	0.086	0.151	-0.016	0.054	0.041
As	0.102	0.886	-0.011	0.001	0.032	-0.048
Sb	0.054	0.881	0.100	0.015	0.029	0.014
Bi	0.504	0.106	0.430	-0.003	0.096	0.297
Hg	0.038	0.054	0.027	0.002	0.986	0.086
累计方差贡献/%	26.25	39.97	49.30	57.63	65.88	72.95

3 对组合异常矿化类型转化结果的分析与应用

3.1 对组合异常指示元素变化强度和的分析与应用

3.1.1 组合异常指示元素变化强度排序

依据表 4 第 5、6、7、8 栏数值,采用(5-6)/7×8(栏)×100 算式计算组合异常单元素变化强度(第 9 栏数值,对元素变化强度放大 100 倍便于成图和分析变化趋势),累加组合异常单元素变化强度获得该组合异常元素变化强度和(组合异常合计项)。依据组合异常元素变化强度和对测区组合异常进行元素变化强度排序,从而获知测区组合异常指示元素聚集能力的优劣次序(如表 6)。也就是说,在这种排序下,排序在前的组合异常较其后的组合异常,异常指示元素在地质作用中具有较强的聚集(或活动)能力,具有较大的成矿可能性。因此,该排序结果可作为选择异常验证区的基本依据。

3.1.2 筛选主要元素变化强度组合异常

按照组合异常指示元素变化强度和对组合异常重

表 4 测区组合异常向 R 型因子分析因子矿化类型转化平台一览表(示例)
Table 4 Transformation of multi-element anomalies to R-factor analysis (Example)

化探 ΣP _s 排序	异常 编号	异常 类别	异常特征										地质因子特征										地质因子 矿化类型 名称							
			异常 元素	平均 值	丰度 值	测区 元素 最大值	变化 系数	量纲归 一化元素 变化强度	高温矿化元素 组合异常内带			多金属矿化元素组合						低温矿化 元素组合		异常 外带										
									F ₃			F ₁		F ₆₋₁		F ₆₋₂		F ₂₋₁	F ₂₋₂		F ₅									
									Sn	W	Bi	Mo	Ag	Pb	Bi	Cu	Zn	W	Bi			Pb		As	Sb	Hg				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27				
			Sn25	3.79	2.6	12.8	0.18	1.6734	1																					
			Bi29,30	0.52	0.28	5.27	0.53	2.4137			1										1									
			Ag37,40	0.19	0.094	2.640	0.69	2.5091		1																				
			Cu21	28.3	17.0	66.1	0.46	7.8638									1													
			Au33	1.69	1.02	274.00	0.74	0.1809				1																		
12	Hs-66	丙	As51	34.2	9.1	306	0.89	7.3003																						
			Hg24	0.068	0.036	2.490	2.05	2.6345																						
			Mo35	2.62	1.41	15	0.62	5.0013																						
			Pb32	42.9	23.0	474.0	0.43	1.8053																						
			Zn17	141	77	486	0.49	6.4527									1													
			W32	2.22	1.90	11.30	0.32	0.9062	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
			合计					38.7413																						
			Sb46	1.16	0.44	8.08	0.45	4.0099																						
			As50	18.5	9.1	306	0.59	1.8124																						
			Au35	3.06	1.02	274.00	0.75	0.5584																						
13	Hs-69	丙	Hg23	0.062	0.036	2.490	0.69	0.7205																						
			Mo33	2.6	1.41	15	0.69	5.4740																						
			Cu20	29.9	17.0	66.1	0.44	8.5870									1													
			合计					21.1622	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1		
			As68	16	9.1	306	1.44	3.2471																						
			Sb69,71,72	0.77	0.44	8.08	0.38	1.5520																						
14	Hs-125	丙	W47,48	2.89	1.90	11.30	0.29	2.5407																						
			Pb81	37.2	23.0	474.0	0.21	0.6291									1													
			合计					7.9689	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0		

高温
(低温)金
-铜-钼
-钨多金
属异常

低温金
-钼(1)
-铜多金
属异常

(高温)
低温钼
(1)-钨
(2)多金
属异常

表 5 测区水系沉积物测量 12 种地球化学元素最大含量统计表

Table 5 Statistics of the maximum contents of 12 elements by stream sediment survey

元素	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	W	Sn	Bi	Mo	As	Sb	Hg	成图数据/个
含量	274	2.64	66.1	474	486	11.3	12.8	5.27	15	306	8.08	2.49	7254

含量单位: Au 为 10^{-4} , 其他元素为 10^{-6} .

表 6 组合异常指示元素变化强度和排序及异常因子矿化类型一览表

Table 6 Order of variance intensity sum of indicator elements for multi-element assemblage anomalies and mineralization types of abnormal factors

组合异常归一化元素变化强度和排序	异常编号	异常类别	组合异常指示元素量归一化元素变化强度和	地质背景	地质因子矿化类型名称	化探排序
1	Hs-103	甲 3-1	73.9574	$K_1by+K_{1g}+F_{101}+\gamma\pi+H+h$	高温(低温)金-钼-铅多金属异常	1
2	Hs-80	丙	53.7574	$J_2x+K_1by+F_{SN}+F_{NW}+F_{102}+h$	低温钼(1)多金属异常	31
3	Hs-9	丙	44.5911	$J_{2er}+F_{101}+F_{NW}+F_{SN}$	(高温)低温钼(3)-铜-铅(3)多金属异常	9
4	Hs-95	丙	44.1230	$K_{1g}+F_{105}+F_{NW}+F_{EW}$	高温金-钼-铅-铜(1)多金属异常	6
5	Hs-19	乙 3	40.9032	$J_{2x}+\lambda K_1by+F_{101}+F_{NEE}+F_{NW}+h$	高温(低温)钼-铅-(铜)多金属异常	2
6	Hs-111	丙	40.5959	$K_1by+F_{105}+F_{NW}+H+h$	高温金-铜-钼(1)-铅(1)多金属异常	20
7	Hs-66	丙	38.7413	$J_{2x}+J_{2er}+\gamma\pi+F_{101}+F_{NW}+H+h$	高温(低温)金-铜-钼-铅多金属异常	12
8	Hs-59	丙	36.4644	$J_{2x}+J_{2er}+\gamma\pi+F_{101}+F_{NW}+H+h$	高温低温钼-铜-铅(2)多金属异常	8
9	Hs-100	丙	36.4168	$k\gamma \epsilon_3O_1+K_1by+F_{105}+F_{NW}+h$	高温金-铅-钼(3)-铜多金属异常	26
10	Hs-101	丙	35.0177	$k\gamma \epsilon_3O_1+F_{105}+F_{NW}+F_{EW}+h$	(高温)低温金-铅-钼(3)多金属异常	29
11	Hs-53	丙	34.7742	$J_{2er}+F_{107}+F_{NW}+h$	低温金-钼(3)-铅(1)多金属异常	17
12	Hs-2	丙	33.3513	$J_{2er}+F_{102}+F_{NW}+h$	(高温)低温金-钼(2)-铅(2)多金属异常	7
13	Hs-92	丙	32.6976	$k\gamma \epsilon_3O_1+F_{105}+F_{NW}+h$	低温金-钼(2)-铅(1)多金属异常	25
14	Hs-73	丙	31.6912	$J_{2er}+\gamma\pi+F_{101}+F_{SN}+F_{NW}+H+h$	高温铜-钼(2)-铅(1)多金属异常	35
15	Hs-45	丙	31.3090	$K_{1g}+J_{2x}+F_{101}+F_{NWW}+h$	(高温)低温钼(3)-铜-铅(2)多金属异常	5
16	Hs-24	丙	28.8232	$J_{2er}+F_{105}+F_{EW}+H+h$	(高温)低温金-钼(2)-铅(2)多金属异常	4
17	Hs-16	丙	24.4409	$J_{2er}+F_{EW}+F_{NWW}+h$	低温钼(2)-铅(1)多金属异常	16
18	Hs-106	丙	24.2869	$k\gamma \epsilon_3O_1+\gamma\pi+F_{105}+F_{NWW}+h$	高温低温钼-铜-铅(2)多金属异常	11
19	Hs-94	丙	24.2770	$k\gamma \epsilon_3O_1+F_{105}+F_{SN}+F_{EW}+h$	高温(低温)钼(3)-铅(2)多金属异常	10
20	Hs-51	丙	24.0404	$J_{2x}+F_{NW}+F_{NE}+F_{NWW}+h$	高温低温钼(2)-铜-铅(1)多金属异常	28
21	Hs-41	丙	23.5728	$J_{2x}+F_{107}+F_{NW}+F_{EW}+h$	高温钼(2)-铜-铅(2)多金属异常	32
22	Hs-43	丙	22.5776	$J_{2x}+F_{105}+F_{SN}+F_{NW}+h$	低温高温钼(2)-铅(2)多金属异常	66

新排序之后, 排在前的组合异常理应是主要的且需要进行验证的组合异常. 对于区域矿产地质调查工作来说, 验证多少个异常、验证哪些异常、验证异常的数量是否满足技术要求, 还需要对拟开展验证工作的组合异常进行厘定. 对此, 作者利用 Microsoft Office Excel 制图功能对测区 133 个组合异常按组合异常元

素变化强度和做折线图(图 1), 筛选出满足技术要求的组合异常数量, 来解决这个问题.

从图 1 中看出, 测区组合异常指示元素变化强度和曲线为一右倾曲线, 曲率变化明显. 按曲率变化特征可将其划分为 2 个线段, 即由 $L_{1-1}+L_{1-2}$ 构成的曲线部分和 $L_{1-3}+L_2$ 构成的直线部分. L_{1-1} 线段由元素变化

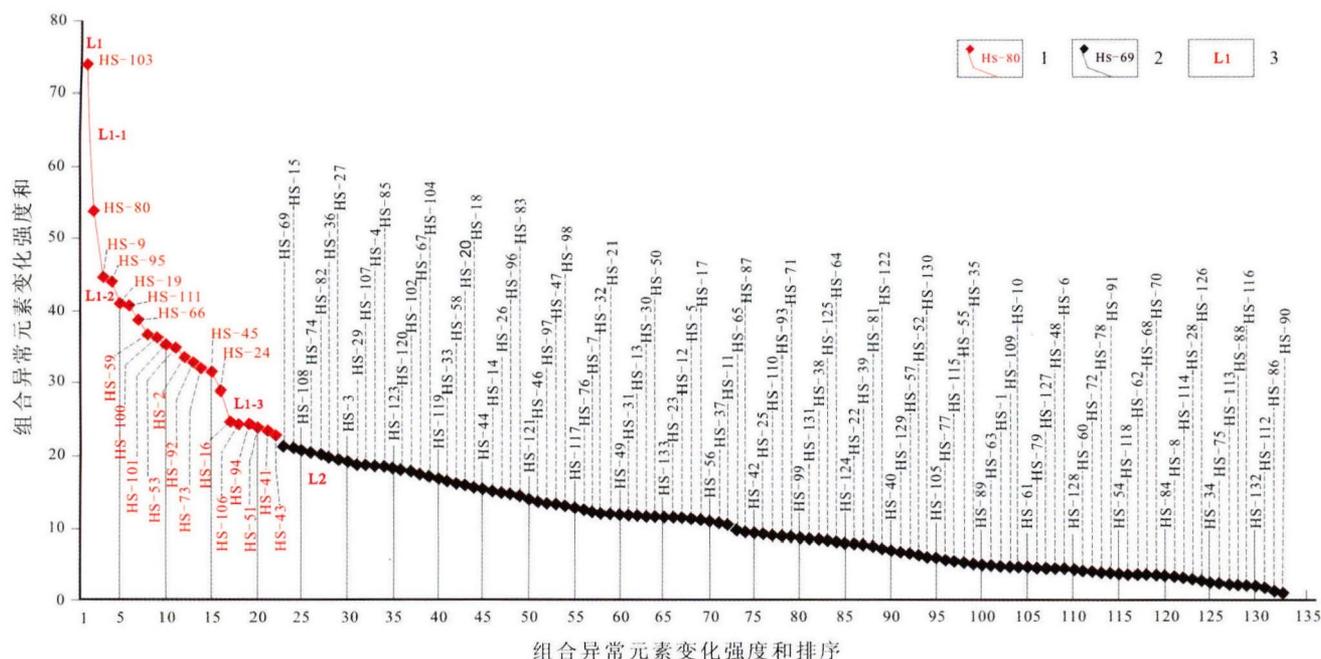


图 1 多元素组合异常指示元素变化强度折线图

Fig. 1 Curve of variance intensity of indicator elements for multi-element assemblage anomalies

1—L1 线段曲线、点位及异常编号(L1 curve, anomaly point and number); 2—L2 线段曲线、点位及异常编号(L2 curve, anomaly point and number); 3—曲线编号(curve number)

强度和位次第 1、第 2 的 HS-103 和 HS-80 组成, 线段陡峻, 强度大于 53.75. L_{1-2} 由元素变化强度和位次第 3 的 HS-9 到第 16 位的 HS-24 组成, 形似“S”型, 为曲线特征, 包括了 14 个组合异常, 元素变化强度介于 44.39~28.82 之间, 线段斜率较陡. 以上 16 个组合异常 (L_{1-1} 与 L_{1-2}) 构成了测区元素变化强度和曲线最为陡峻的部分, 可选作测区的主要组合异常, 需要进行调查验证. 为了满足异常验证工作的需要 (测区异常总数 15%, 约 20 个), 作者按测区组合异常元素变化强度依次向下进行选取. L_{1-3} 与 L_2 近乎成为一条直线, 只是在位次第 22 位的 HS-43 与第 23 位的 HS-69 元素变化强度略有差距而成为微观上的 2 条直线. L_{1-3} 由第 17 位次的 HS-16 到第 22 位次的 HS-43 组成, 包括 6 个组合异常, 元素变化强度曲线 (线段) 平缓, 强度介于 24.44~22.58 之间 (第 23 位次的 HS-69 元素变化强度为 21.16). 以上 22 个元素变化强度和高的组合异常即是测区选择拟开展异常验证工作的主要组合异常, 如表 6 所示. 相对而言, 其余的 111 个组合异常 (L_2 部分, 元素变化强度介于 21.16~0.67) 元素变化强度很低, 构成的直线斜率也平缓, 不作为异常验证的选择对象.

3.2 对组合异常因子矿化类型的分析与应用

3.2.1 对组合异常因子矿化类型的判别分析

在完成了对测区组合异常元素变化强度和排序之后, 按排序进行组合异常因子矿化类型判别工作^[4], 这项工作表 4 第 10~27 栏中进行. 表中第 10~26 栏的数据是依据 R 型因子分析因子结构元素对应于组合异常指示元素的有或无进行判别认定, 笔者依据有因子结构元素矿化类型信息时, 按照温度 (F_3 因子、 F_2 因子)-金 (F_4 因子)-钼 (F_1 因子)-铜、铅 (F_{6-1} 因子、 F_{6-2} 因子) 顺序对组合异常进行因子矿化类型判定. 判定结果如表 6. 如第 80 号组合异常 (Hs-80) 的矿化类型为低温钼 (1) 多金属异常 (括号中数字表示获得因子结构元素信息的因子元素数), 第 103 号组合异常 (Hs-103) 的矿化类型为高温 (低温) 金-钼-铅多金属异常, 等等.

3.2.2 对组合异常因子矿化类型判定结果的应用

对组合异常因子矿化类型判定结果的应用, 应在考虑组合异常元素变化强度和排序、组合异常分布特征的前提下, 结合地质背景 (特别是断裂构造和岩株地质体)、遥感解译成果 (线性和环形构造)、物探测量解

译成果(线性构造)综合使用,方可取得较好的效果. 笔者结合工作归纳以下.

1)了解特征因子矿化类型主要组合异常的分布特征

将经过组合异常元素变化强度和排序选定的主要组合异常、组合异常因子矿化类型标绘于图纸上,即获得了不仅具有成矿(化)作用强度意义的,且同时具备因子矿化类型特征的主要组合异常分布图(如图 2).

22 个主要组合异常主要分布于测区中北部,出现在中生代火山碎屑岩区和晚寒武世一早奥陶世侵入岩边界附近和北部. 组合异常的展布方向主要为北东向、北东东向、东西向、北西向和南北向. 分布特征一目了然,易于总体掌握.

2)划分测区主要组合异常聚集带(预期成矿带)

根据主要组合异常空间上的分布状态,结合地质背景(岩层、侵入岩、火山岩、断裂构造等)以及物探、遥

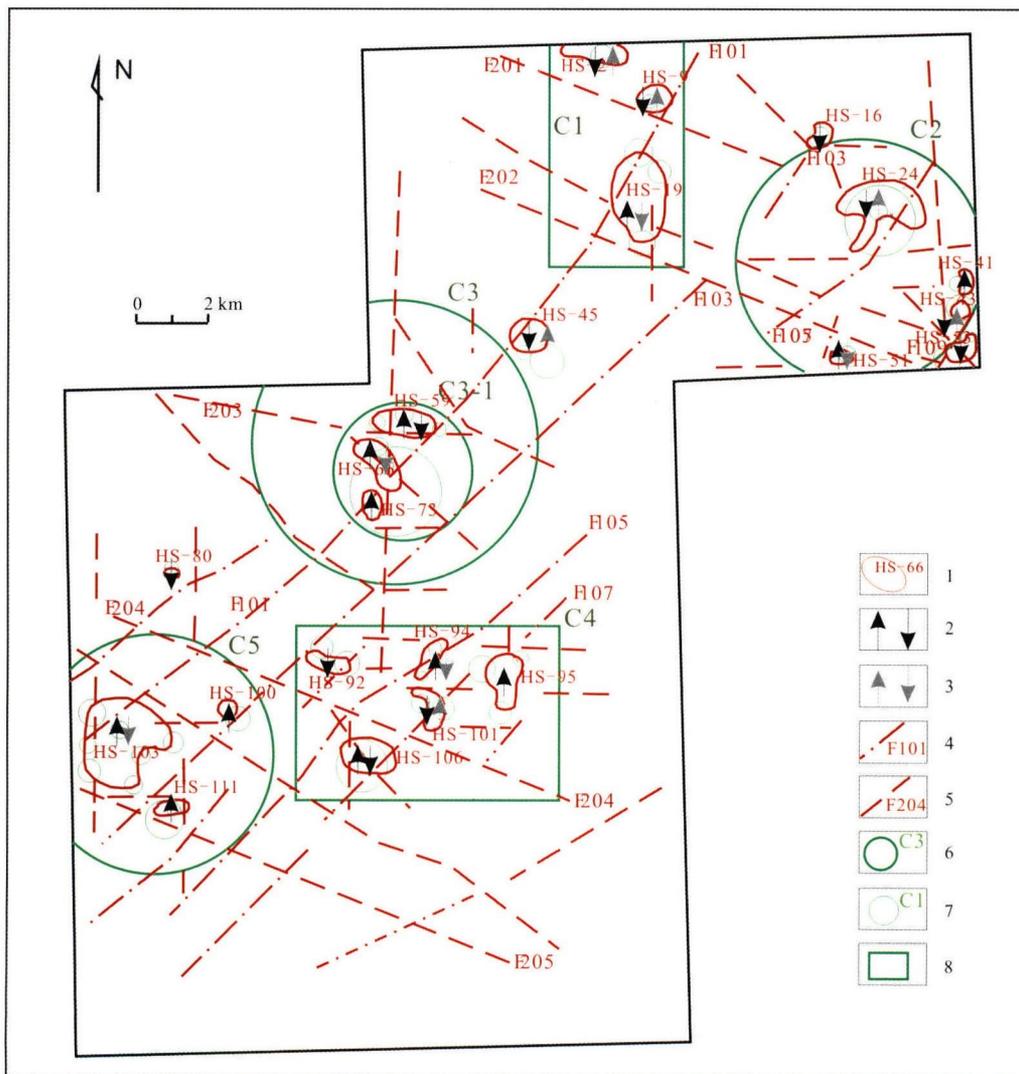


图 2 测区主要组合异常聚集带、聚集区划分图

Fig. 2 Division of the concentration belts and areas of main multi-element assemblage anomalies

- 1—组合异常及编号 (assemblage anomaly and number);
- 2—温度因子元素齐全的高温、低温组合异常 (high/low temperature anomaly with complete temperature factors);
- 3—温度因子元素不齐全的高温、低温组合异常 (high/low temperature anomaly with incomplete temperature factors);
- 4—主要北东向线性构造及编号 (NE-trending major structure and number);
- 5—次要线性构造及编号 (minor linear structure and number);
- 6—主要组合异常环形构造聚集区及编号 (circular concentration area of main assemblage anomalies and number);
- 7—遥感解译环形构造 (remote sensing interpreted circular structure);
- 8—主要组合异常聚集区及编号 (concentration area of main assemblage anomalies and number)

感解译的线性构造,依据与成矿作用有关的构造-岩浆活动痕迹对主要组合异常进行聚集带内的划分(如图2),预期测区内可能存在的矿化(成矿)带,提高对组合异常矿化作用的理性认识.笔者将测区22个主要组合异常划归7个聚集带(预期成矿带),分别是北东向的 F_{101} 、 F_{103} 、 F_{105} 、 F_{107} 、 F_{109} 和南北向、北西向聚集带,划分结果如表7.

从图2中可以看出,测区主要组合异常位于航磁、遥感解译线性构造上或几组构造的交汇区域中,为不同方向的线性构造所串联,形成了测区特色的主要组合异常聚集带.主要组合异常与航磁测量成果解译的

线性构造和遥感影像解译的线性构造在图面上的位置重叠特征,预示了主要组合异常与线性构造具有内生成因关系.依表7可知,7个主要组合异常聚集带中,北东向 F_{101} 聚集带的相关指标最为优秀:该聚集带与规模最大的航磁解译线性构造 F_{101} 相吻合(航磁场的分界线,贯通测区);自南向北串联起Hs-103(1)(组合异常元素变化强度和排序,下同)、Hs-73(14)、Hs-66(7)、Hs-59(8)、Hs-45(15)、Hs-19(5)、Hs-9(3)等7个主要组合异常,串联的主要组合异常数量最多;串联起的主要组合异常元素变化强度和为297.6577,居7个主要组合异常聚集带之首.

表7 测区主要组合异常聚集带一览表

Table 7 Significant concentration belts of multi-element assemblage anomalies

序号	组合异常聚集带	异常编号	元素变化强度和排序	组合异常元素变化强度和	同属于组合异常聚集区	交汇构造	地质背景	因子矿化类型名称
1	NE向 F_{101} 聚集带	Hs-103	1	73.9574	C5	$F_{NW}+F_{EW}+F_{SN}$	$K_1by+K_1g+\gamma\pi$	高温(低温)金-钨-钼多金属异常
2		Hs-73	14	31.6912	C3-1		$J_{gr}+\gamma\pi$	高温钨-钼(2)-钼(1)多金属异常
3		Hs-66	7	38.7413	C3-1		$J_{2x}+J_{gr}+\gamma\pi$	高温(低温)金-铜-钨-钼-多金属异常
4		Hs-59	8	36.4644	C3-1	$F_{NW}+F_{EW}+F_{SN}$	$J_{2x}+J_{gr}+\gamma\pi$	高温低温钨-铜-钼(2)多金属异常
5		Hs-45	15	31.3090	C3		K_1g+J_{2x}	(高温)低温-钨(3)-铜-钼(2)多金属异常
6		Hs-19	5	40.9032	C1	$F_{NW}+F_{SN}$	$J_{2x}+\lambda K_1by$	高温(低温)钨-钼-(铜)多金属异常
7		Hs-9	3	44.5911	C1	$F_{NW}+F_{SN}$	J_{gr}	(高温)低温钨(3)-铜-钼(3)多金属异常
		合计		297.6577				
8	NE向 F_{103} 聚集带	Hs-111	6	40.5959	C5	$F_{NW}+F_{EW}+F_{SN}$	K_1by	高温金-铜-钨(1)-钼(1)多金属异常
9		Hs-100	9	36.4168	C5		$k\gamma-\epsilon_3O_1+K_1by$	高温金-钨-钼(3)-铜多金属异常
10		Hs-92	13	32.6976	C4	$F_{NW}+F_{EW}$	$k\gamma-\epsilon_3O_1$	低温金-钨(2)-钼(1)多金属异常
21		Hs-16	17	24.4409	C2	$F_{NW}+F_{EW}$	J_{gr}	低温钨(2)-钼(1)多金属异常
		合计		134.1511				
11	NE向 F_{105} 聚集带	Hs-94	19	24.2770	C4	$F_{EW}+F_{SN}$	$k\gamma-\epsilon_3O_1$	高温(低温)钨(3)-钼(2)多金属异常
12		Hs-24	16	28.8232	C2	$F_{NW}+F_{EW}+F_{SN}$	J_{gr}	(高温)低温金-钨(2)-钼(2)多金属异常
		合计		53.1002				
13	NE向 F_{107} 聚集带	Hs-106	18	24.2869	C4	$F_{NW}+F_{SN}$	$k\gamma-\epsilon_3O_1+\gamma\pi$	高温低温钨-铜-钼(2)多金属异常
14		Hs-101	10	35.0177	C4		$k\gamma-\epsilon_3O_1$	(高温)低温-金-钨-钼(3)多金属异常
15		Hs-95	4	44.1230	C4	$F_{EW}+F_{SN}$	K_1g	高温金-钨-钼-铜(1)多金属异常
		合计		103.4276				
16	NE向 F_{109} 聚集带	Hs-53	11	34.7742	C2		J_{gr}	低温金-钨(3)-钼(1)多金属异常
17		Hs-43	22	22.5776	C2	$F_{NW}+F_{EW}+F_{SN}$	J_{2x}	低温高温钨(2)-钼(2)多金属异常
18		Hs-41	21	23.5728	C2		J_{2x}	高温钨(2)-铜-钼(2)多金属异常
		合计		80.9246				
19	S-N向聚集带	Hs-80	2	53.7574	独立	$F_{NE}+F_{NW}$	$J_{2x}+K_1by$	低温钨(1)多金属异常
20	NW向聚集带	Hs-2	12	33.3513	C1	F_{NE}	J_{gr}	(高温)低温金-钨(2)-钼(2)多金属异常
22		Hs-51	20	24.0404	C2	$F_{NW}+F_{EW}+F_{NEE}$	J_{2x}	高温低温钨(2)-铜-钼(1)多金属异常

根据 F_{101} 聚集带内主要组合异常分布状态和因子矿化类型特点, 可以将其分成 (Hs-103)、(Hs-73)+(Hs-66)+(Hs-59)+(Hs-45) 和 (Hs-19)+(Hs-9) 三个段落. 每个段落中, 组合异常因子矿化特点各具特色: (Hs-103) 段落为高温-(低温) 金-钼-铅多金属异常带; (Hs-66)~(Hs-45) 段落以高温为主兼具低温因素的金-铜-钼-铅多金属异常带, 拥有从南西向北东出现高温铜-钼(2)-铅(1)多金属异常→低温(含高温因子元素)钼(3)-铜铅(2)多金属异常特点, 以铜-钼-铅因子元素为主, 局部出现金; (Hs-19)~(Hs-9) 段落是兼具高温、低温因子元素的钼-铅-铜多金属异常带, 同样具有自南西向北东显现高温向低温变化的特点. 就 F_{101} 聚集带看, 自南西向北东, 温度因子具有 3 个高→低波状周期变化特点, 预示着其上存在着 3 个生成高温因子组合异常的多期成矿(化)活动的中心; 并以 Hs-66 为界, 南西部分为金-钼-铅多金属异常带, 北东部分为铜-钼-铅多金属异常带.

测区北东向主要组合异常聚集带共有 5 个, 从北西向南东为 F_{101} 、 F_{103} 、 F_{105} 、 F_{107} 和 F_{109} 聚集带, 按照组合异常矿化温度因子类型看, F_{103} 、 F_{105} 与 F_{101} 具有相同的向北东方向逐步降低的态势. 如 F_{103} 聚集带(HS-111、HS-100)高温组合异常→低温组合异常(HS-92、HS-16)方向降低; F_{105} 聚集带(HS-94)高温组合异常→低温组合异常(HS-24)方向降低. 温度降低方向相同. F_{107} 聚集带上的(HS-106)、(HS-101)、(HS-95)在南西向北东方向上具有高→低→高的特点; F_{109} 聚集带上的(HS-53)、(HS-43)、(HS-41)在南西向北东方向上却具有由低向高的变化特点. 两者与 $F_{101-105}$ 聚集带的温度变化特点不尽相同, 甚至相反. 由此推断 $F_{101-105}$ 聚集带、 F_{107} 聚集带和 F_{109} 聚集带的矿化作用可能分属于不同构造环境下的成矿作用体系.

按照组合异常多金属因子矿化类型看, $F_{101-105}$ 聚集带、 F_{101} 聚集带的多金属矿化因子类型变化特点前已叙述, 不再重述; $F_{103-105}$ 聚集带的多金属矿化因子类型变化特点, 由表 7 可知: F_{103} 聚集带, 由南西向北东方向, 是由(HS-111)、(HS-100)高温金-铜-钼-铅多金属异常向(HS-92)的低温金-钼-铅多金属异常和(HS-16)的低温钼-铅多金属异常变化; F_{105} 聚集带, 是由(Hs-94)高温(低温)钼-铅多金属异常向(Hs-24)低温(高温)金-钼-铅多金属异常变化. 总体看, 以 $F_{101-105}$

聚集带中南部为界, 自南西向北东方向, $F_{101-105}$ 聚集带具有由高温金-铜多金属异常转变为低温金多金属异常的特征.

3) 划分测区主要组合异常聚集区(矿化集中区)

根据测区主要组合异常分布的相对疏密程度和与遥感影像环形解译构造的包容关系, 对主要组合异常进行聚集区划分, 预期测区的矿化集中区. 划分结果如图 2.

由图 2 得知, 测区主要组合异常可划分出 5 个聚集区, 即 C1~C5, 包括了测区中的 21 个主要组合异常(另 1 个为独立出现), 其中 C2、C3、C5 聚集区是依据遥感解译环形构造圈定, C1 和 C4 是依据主要组合异常分布相对集中分布而圈定^[4]. 聚集区组合异常特征如表 8.

由图 2、表 8 可知:

C1 聚集区出现在测区的北部, 是一个主要组合异常分布相对集中的区域, 由 3 个主要组合异常构成, 总异常元素变化强度 118.85, 位居第 5. 区内主要发育中侏罗统秀峰组(J_{2x})和二十二站组(J_{2er})沉积岩. 自南西向北东, 组合异常因子矿化类型由高温钼铅(铜)多金属异常(HS-19)变化至低温金钼铅多金属异常(HS-2), 金异常远离 F_{101} 线性构造.

C2 聚集区出现在测区的东部, 是被遥感环形构造界定的区域, 由 6 个组合异常构成, 其中 5 个分布于遥感环形构造界线附近, 另 1 个出现在环形构造中心的北东侧, 总异常元素变化强度 158.23, 位居第 2. 区内主要发育中侏罗统秀峰组(J_{2x})和二十二站组(J_{2er})沉积岩. 受北东向 F_{105} 、北西向、北西西向和东西向等 4 组线性构造控制. 相对高温矿化因子组合异常(HS-41、HS-51)分居于聚集区界线的东部和南部, 低温矿化因子组合沿北西向线性构造分布, 高温矿化因子类型为铜钼铅多金属异常, 低温矿化因子类型为金(钼铅)或钼铅多金属异常.

C3 聚集区位于测区中北部, 受多重遥感环形构造界定, 由 4 个主要组合异常构成, 元素变化强度总和 138.21, 位居第 4. 在遥感环形构造中, HS-45(低温矿化因子)居于环形构造的外圈上, 其他 3 个组合异常(高温矿化因子)居于环形构造中的 C3-1 内(测区组合异常分布密度最大地区). 区内主要发育中侏罗统秀峰组(J_{2x})和二十二站组(J_{2er})沉积岩. 受北东向 $F_{101-105}$ 、

表8 测区主要组合异常聚集区一览表

Table 8 Significant concentration areas of multi-element assemblage anomalies

组合异常聚集区	异常编号	元素变化强度和排序	组合异常元素变化强度和	所属组合异常聚集带	线性构造特征	地质背景	因子矿化类型
C1	Hs-2	12	33.3513	NW 向	F_{NE}	J_{2er}	(高温)低温金-钼(2)-铅(2)多金属异常
	Hs-9	3	44.5911	F_{101}	$F_{NW}+F_{SN}$	J_{2er}	(高温)低温-钼(3)-铜-铅(3)多金属异常
	Hs-19	5	40.9032	F_{101}	$F_{NW}+F_{SN}$	$J_{2x}+\lambda K_1by$	高温(低温)钼-铅-(铜)多金属异常
	合计		118.85				
C2	Hs-16	17	24.4409	F_{105}	$F_{NW}+F_{EW}$	J_{2er}	低温钼(2)-铅(1)多金属异常
	Hs-24	16	28.8232	F_{105}	$F_{NW}+F_{EW}+F_{SN}$	J_{2er}	(高温)低温金-钼(2)-铅(2)多金属异常
	Hs-41	21	23.5728	F_{109}	$F_{NW}+F_{EW}+F_{SN}$	J_{2x}	高温钼(2)-铜-铅(2)多金属异常
	Hs-43	22	22.5776	F_{109}	$F_{NW}+F_{EW}+F_{SN}$	J_{2x}	低温高温钼(2)-铅(2)多金属异常
	Hs-53	11	34.7742	F_{109}	$F_{NW}+F_{EW}+F_{SN}$	J_{2er}	低温金-钼(3)-铅(1)多金属异常
	Hs-51	20	24.0404	NW 向	$F_{NW}+F_{EW}+F_{NEE}$	J_{2x}	高温低温钼(2)-铜-铅(1)多金属异常
	合计		158.23				
C3	Hs-45	15	31.3090	F_{101}	$F_{NW}+F_{EW}+F_{SN}$	$K_{1g}+J_{2x}$	(高温)低温钼(3)-铜-铅(2)多金属异常
	Hs-59	8	36.4644	F_{101}	$F_{NW}+F_{EW}+F_{SN}$	$J_{2x}+J_{2er}+\gamma\pi$	高温低温钼-铜-铅(2)多金属异常
	Hs-66	7	38.7413	F_{101}	$F_{NW}+F_{EW}+F_{SN}$	$J_{2x}+J_{2er}+\gamma\pi$	高温(低温)金-铜-钼-铅多金属异常
	Hs-73	14	31.6912	F_{101}	$F_{NW}+F_{EW}+F_{SN}$	$J_{2er}+\gamma\pi$	高温铜-钼(2)-铅(1)多金属异常
	合计		138.21				
C4	Hs-92	13	32.6976	F_{105}	$F_{NW}+F_{EW}$	$k\gamma-\epsilon_3O_1$	低温金-钼(2)-铅(1)多金属异常
	Hs-94	19	24.2770	F_{105}	$F_{EW}+F_{SN}$	$k\gamma-\epsilon_3O_1$	高温(低温)钼(3)-铅(2)多金属异常
	Hs-95	4	44.1230	F_{107}	$F_{EW}+F_{SN}$	K_{1g}	高温金-钼-铅-铜(1)多金属异常
	Hs-101	10	35.0177	F_{107}	$F_{EW}+F_{SN}$	$k\gamma-\epsilon_3O_1$	(高温)低温金-钼-铅(3)多金属异常
	Hs-106	18	24.2869	F_{107}	$F_{NW}+F_{SN}$	$k\gamma-\epsilon_3O_1+\gamma\pi$	高温低温钼-铜-铅(2)多金属异常
合计		160.40					
C5	Hs-100	9	36.4168	F_{105}	$F_{NW}+F_{EW}+F_{SN}$	$k\gamma-\epsilon_3O_1+K_1by$	高温金-钼-钼(3)铜多金属异常
	Hs-103	1	73.9574	F_{101}	$F_{NW}+F_{EW}+F_{SN}$	$K_1by+K_{1g}+\gamma\pi$	高温(低温)金-钼-铅多金属异常
	Hs-111	6	40.5959	F_{105}	$F_{NW}+F_{EW}+F_{SN}$	K_1by	高温金-铜-钼(1)-铅(1)多金属异常
	合计		150.97				
独立	Hs-80	2	53.7574	S-N 向	$F_{NE}+F_{NW}$	$J_{2x}+K_1by$	低温钼(1)多金属异常

北西向、北西西向、东西向和南北向等 5 组线性构造控制。聚集区组合异常矿化因子类型为铜钼铅多金属异常,局部叠加金异常(Hs-66)。

C4 聚集区位于 C3 聚集区的南部,是测区另一个主要组合异常分布相对集中的区域,由 5 个组合异常构造,总异常元素变化强度 160.40,位居第 1。聚集区广泛发育晚寒武世—早奥陶世碱长花岗岩($k\gamma-\epsilon_3O_1$),局部出露花岗斑岩($\gamma\pi$)岩株,主要受北东向 $F_{105-107}$ 、北西向 F_{204} 、东西向和南北向 5 组线性构造复合影响。聚集区组合异常以北西向线性构造为界线,沿北东方向发生温度因子矿化类型变化,自南西向北东表现出高

温(包含低温因子成分)钼铜铅多金属异常(Hs-106)→低温(包含高温因子成分)金钼铅多金属异常(Hs-92、Hs-101)→高温(金)钼铅铜多金属异常(Hs-94、Hs-95)。

C5 聚集区为遥感解译环形构造界定,出现在测区的西南部,由 3 个主要组合异常构成,总异常元素变化强度 150.97,位居第 3。聚集区主要发育早白垩世白音高老组(K_1by)火山碎屑岩、甘河组(K_{1g})玄武岩,局部出露花岗斑岩岩株($\gamma\pi$),受北东向、北西向、南北向和东西向 4 组线性构造控制。区内出现测区最大元素变化强度组合异常 HS-103。聚集区以高温因子矿化类

型为主,局部被低温因子元素组合叠加. 具有在 F_{103} 到 F_{101} 方向上, 组合异常由高温金铜铅多金属异常向高温(叠加低温)金铜铅多金属异常的演变特征.

4)依据工作任务目标,选择重要组合异常聚集区,开展找矿验证工作

在经历了组合异常元素变化强度和排序, 遴选主要组合异常, 判别组合异常因子矿化类型, 划分测区主要组合异常聚集带、聚集区, 分析主要组合异常聚集带、聚集区因子矿化类型变化特点、聚集区组合异常与物探、遥感解译构造(线性、环形)、地质背景的关系后,

比较清晰地梳理出测区主要组合异常可能存在的矿化特质, 为选取主要聚集区开展找矿验证工作奠定了良好的基础. 如若寻找斑岩型铜金矿(化)体, 按上述分析理由, 可以建立如表 9 的调查验证(Cu、Au 矿化)工作顺序.

4 结论

1)通过对测区 1:5 万水系沉积物测量组合异常指示元素变化强度的计算, 并对组合异常指示元素变化强度和的统计与排序, 对于认知测区组合异常指示元

表 9 测区主要组合异常聚集区调查验证顺序一览表

Table 9 Verification process for the concentration areas of multi-element assemblage anomalies

调查顺序	组合异常聚集区	异常编号	元素变化强度和排序	组合异常元素变化强度和	组合异常聚集带	线性构造特征	地质背景	因子矿化类型
1	C3	Hs-45	15	31.3090	F_{101}	$F_{NW}+F_{EW}+F_{SN}$	$K_{1g}+J_{2x}$	低温(高温)铜铅多金属异常
		Hs-59	8	36.4644	F_{101}	$F_{NW}+F_{EW}+F_{SN}$	$J_{2x}+J_{2er}+\gamma\pi$	高温低温铜铅多金属异常
		Hs-66	7	38.7413	F_{101}	$F_{NW}+F_{EW}+F_{SN}$	$J_{2x}+J_{2er}+\gamma\pi$	高温(低温)金铜铅多金属异常
		Hs-73	14	31.6912	F_{101}	$F_{NW}+F_{EW}+F_{SN}$	$J_{2er}+\gamma\pi$	高温铜铅多金属异常
				138.21				
2	C1	Hs-2	12	33.3513	NW 向	F_{NE}	J_{2er}	低温(高温)金铜铅多金属异常
		Hs-9	3	44.5911	F_{101}	$F_{NW}+F_{SN}$	J_{2er}	低温(高温)铜铅多金属异常
		Hs-19	5	40.9032	F_{101}	$F_{NW}+F_{SN}$	$J_{2x}+\lambda K_{1by}$	高温(低温)铜铅多金属异常
				118.85				
3	C2	*Hs-16	17	24.4409	F_{103}	$F_{NW}+F_{EW}$	J_{2er}	低温铜铅多金属异常
		Hs-24	16	28.8232	F_{105}	$F_{NW}+F_{EW}+F_{SN}$	J_{2er}	低温(高温)金铜铅多金属异常
		Hs-41	21	23.5728	F_{109}	$F_{NW}+F_{EW}+F_{SN}$	J_{2x}	高温铜铅多金属异常
		*Hs-43	22	22.5776	F_{109}	$F_{NW}+F_{EW}+F_{SN}$	J_{2x}	低温(高温)铜铅多金属异常
		Hs-53	11	34.7742	F_{109}	$F_{NW}+F_{EW}+F_{SN}$	J_{2er}	低温金铜铅多金属异常
		Hs-51	20	24.0404	NW 向	$F_{NW}+F_{EW}+F_{NEE}$	J_{2x}	高温低温铜铅多金属异常
				111.21				
4	C4	Hs-92	13	32.6976	F_{103}	$F_{NW}+F_{EW}$	$k\gamma-\epsilon_3O_1$	低温金铜铅多金属异常
		*Hs-94	19	24.2770	F_{105}	$F_{EW}+F_{SN}$	$k\gamma-\epsilon_3O_1$	高温(低温)铜铅多金属异常
		*Hs-95	4	44.1230	F_{107}	$F_{EW}+F_{SN}$	K_{1g}	高温金铜铅多金属异常
		Hs-101	10	35.0177	F_{107}	$F_{EW}+F_{SN}$	$k\gamma-\epsilon_3O_1$	低温(高温)金铜铅多金属异常
		Hs-106	18	24.2869	F_{107}	$F_{NW}+F_{SN}$	$k\gamma-\epsilon_3O_1+\gamma\pi$	高温低温铜铅多金属异常
				92.00				
5	C5	Hs-100	9	36.4168	F_{103}	$F_{NW}+F_{EW}+F_{SN}$	$k\gamma-\epsilon_3O_1+K_{1by}$	高温金铜铅多金属异常
		*Hs-103	1	73.9574	F_{101}	$F_{NW}+F_{EW}+F_{SN}$	$K_{1by}+K_{1g}+\gamma\pi$	高温(低温)金铜铅多金属异常
		Hs-111	6	40.5959	F_{103}	$F_{NW}+F_{EW}+F_{SN}$	K_{1by}	高温金铜铅多金属异常
				77.01				
6	独立	*Hs-80	2	53.7574	SN 向	$F_{NE}+F_{NW}$	$J_{2t}+K_{1by}$	低温铜多金属异常

注: * 为不调查组合异常.

素在成矿地质作用中相对富集程度有明晰的指示借鉴作用。

2)通过对测区 1:5 万水系沉积物测量组合异常指示元素与 R 型因子分析因子结构组合元素的关联以及向因子矿化类型的转化,使组合异常具备了矿化类型的特质,实现了从组合异常地球化学属性向矿产地质学矿化类型理念的转变,易于被地质专业人员所接受,深化对组合异常矿化内涵的理解。

3)通过划分和建立测区主要组合异常的聚集带、聚集区,分析聚集带、聚集区组合异常矿化因子类型的变化特点,可以掌握测区主要组合异常指示元素的演变规律,推进系统找矿工作的开展。

4)通过将主要组合异常聚集带、聚集区及其矿化

因子类型的变化特点,与物探、遥感解译的线性、环形构造以及地质背景进行综合分析,有助于提高对测区异常聚集区带和地质背景的整体认知,提出系统调查验证组合异常的工作方案,为找寻测区可能存在的成矿作用提供便捷的途径,达到事半功倍的效果。

参考文献:

- [1]韩吟文,马振东.地球化学[M].北京:地质出版社,2003.
- [2]迟清华,酆明才.应用地球化学元素丰度数据手册[M].北京:地质出版社,2007.
- [3]DZ/T0167-2006,中华人民共和国地质矿产行业区域地球化学勘查规范[S].
- [4]时建民,尤洪喜,魏明辉,等.遥感环形构造与化探异常关系在内蒙古扎赉河农场异常区的应用[J].地质与资源,2016,25(4):386-394.