

doi: 10.11720/wtyht.2014.6.03
臧金生,王东晓,赵瑞强.化探异常定量评价[J].物探与化探,2014,38(6):1114-1118.http://doi.org/10.11720/wtyht.2014.6.03
Zang J S, Wang D X, Zhao R Q.Quantitative evaluation of geochemical anomalies[J].Geophysical and Geochemical Exploration,2014,38(6):1114-1118.http://doi.org/10.11720/wtyht.2014.6.03

化探异常定量评价

臧金生,王东晓,赵瑞强

(河南省地质矿产勘查开发局 第三地质矿产调查院,河南 信阳 464000)

摘 要:通过对地球化学特征参数、地球化学异常特征值和综合地球化学异常指标的计算,得出了 6 个地球化学参数:剔除比率、变异系数、浓集比率、富集系数、矿化系数、单元素地球化学异常指标及综合地球化学异常指标,用于定量评价化探异常,以供探讨。

关键词:化探异常评价;地球化学特征参数;地球化学异常特征值;综合地球化学异常指标;地质背景

中图分类号: P632 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2014)06-1114-05

20 世纪 90 年代以来,我国的勘查地球化学以全国多目标区域地球化学调查为主要标志,立足于地球化学填图及其与矿产勘查的一体化。目前主要采用地质、物探、化探、遥感等综合方法进行区域地质矿产调查及矿区找矿。近 30 多年来,地质化探找矿实践证明,化探先行,具有缩小靶区、节省时间、效率高等特点,化探成果用于下步找矿效果显著。化探异常评价是化探工作的重点之一,异常评价着重于三个方面:地球化学异常特征、地质背景、异常查证程度。笔者根据近几年化探工作实践,得出化探异常定量评价的方法,以供探讨。

1 化探异常评价方法

1.1 定性评价

利用工作区内地球化学测量基本样品分析结果(不含重复样品),统计计算各元素未剔除高含量($>\bar{X}+3S$)的基本样品数(M)、算术平均值($\bar{X}$)、标准离差(S)、变异系数(C_v),同时统计计算各元素逐步剔除高含量($>\bar{X}+3S$)后的样品数(N)、算术背景值(C_0)、标准离差(S_0)、异常下限(T_0),并与对数背景值($\lg C$)、对数标准离差(δ)、异常下限真值(T_g)进行对比。结合地质图和初步得出的元素地球化学异常图,证实工作区地球化学综合异常图结构合理,且能反映区内地质矿化特征或规律,此时便可确定实用异常下限(T)。按 $a^n T$ ($a=2, n=0, 1, 2$) 划分原

则,即按实用异常下限(T)的 1、2、4 倍划分异常的外、中、内带,编制单元素地球化学异常图。矿区内构造岩石测量或原生晕研究中,浓度梯度较大时, a 取 3 或 4 以上;区域面积性地球化学测量,异常强度较高时, n 取 3 或 4 以上。

定性评价首先要确定主元素,即成矿元素或强异常元素。通常情况下,逐步剔除的高含量样品数愈多,剔除比率较大的元素为主元素。某元素剔除比率(R_e)的计算公式为

$$R_e(\%) = \{(M - N) / M\} \times 100,$$

式中: N 为剔除高含量后的样品数; M 为基本样品数。

一般地,某元素剔除比率 $R_e \geq 5\%$,且变异系数 $C_v \geq 1$,多为成矿元素或强异常元素。若某工作区成矿元素和强异常元素总数少(≤ 6 个元素),则反映该区地质地球化学背景较为不利或不利成矿;成矿元素和强异常元素总数多(≥ 7 个元素),则反映地质地球化学背景极为有利或有利成矿。

其次,对单元素地球化学异常进行经验初评(直观初评)。直接利用单元素地球化学图、地球化学异常图,或多元素异常图及综合异常图。根据经验对地球化学异常进行经验初评,将异常分为 A1、A2、A3 三组。A1 组异常规模较大,有明显浓集中心,元素组合及分带性均可与区内已知矿床异常特征对比,且处于有利成矿的地质环境中的异常数量

较少,可直接部署物化探详查。A2 组异常规模中等或较小,或虽然规模较大但不完全具备 A1 组异常的特征和条件,数量较多。可将 A2 组异常排序(A1 组异常参加对比),统计计算单元素异常特征值,包括异常点数、异常面积、异常强度(异常最大值、异常平均值)、衬度、规格化面金属量值和浓度分带值等,根据规格化面金属量值的大小排序,选出可供进一步详细检查或踏勘检查的异常。A3 组异常是规模小、强度低的异常,无找矿意义,不参加统计计算、排序和检查。

1.2 定量评价

化探异常定量评价,一是计算地球化学特征参

数,以研究工作区内元素的地球化学分布、富集特征、分异特征及地质找矿意义;二是统计计算地球化学异常特征值,对单元素异常进行排序评价,对综合异常元素组合、强度、规模进行对比等;三是计算综合地球化学异常指标,以便对综合异常进行排序评价。

1.2.1 地球化学特征参数

地球化学特征参数通常包括工作区样品数和元素最大值、最小值、平均值、标准离差、变异系数、浓集比率、富集系数、矿化系数等。

笔者以桐柏某工作区为例,对其水系沉积物中元素地球化学特征值(表 1)分别进行讨论。

表 1 桐柏某工作区水系沉积物中元素地球化学特征值

元素	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb
样品数	1933	1933	1933	1933	1933	1933	1933
最大值	200.00	13.30	4103.0	4794.0	7943.0	86.46	21.67
最小值	0.30	0.03	2.4	1.9	15.6	0.88	0.10
平均值	2.53	0.19	38.6	37.1	100.8	7.97	0.87
标准离差	9.62	0.77	95.11	150.63	248.01	4.67	1.08
变异系数	3.80	4.05	2.46	4.07	2.46	0.59	1.24
区域平均值	1.92	0.07	25.43	21.40	68.52	8.38	0.69
浓集比率	1.32	2.71	1.52	1.73	1.47	0.95	1.26
岩石平均值	3.31	0.18	33.8	21.3	75.7	2.12	0.47
富集系数	0.76	1.06	1.14	1.74	1.33	3.76	1.85
边界品位	1000	40	2000	3000	5000	30000	7000
矿化系数/%	20	33	205	160	159	0.3	0.3

元素	Bi	Mo	Sn	W	Ni	Co	Mn
样品数	1933	1933	1933	1933	1933	1933	1933
最大值	23.82	21.05	91.2	37.41	1983.0	147.0	6484
最小值	0.05	0.30	1.0	0.30	3.5	2.5	143
平均值	0.37	0.80	3.4	2.27	42.4	20.7	979
标准离差	0.96	0.92	3.36	3.09	67.67	9.89	406.17
变异系数	2.59	1.15	1.00	1.36	1.60	0.48	0.41
区域平均值	0.37	0.83	2.83	2.00	28.57	15.61	831
浓集比率	1.00	0.96	1.20	1.14	1.48	1.33	1.18
岩石平均值	0.11	0.78	1.9	1.57	67.9	23.6	935
富集系数	3.36	1.03	1.81	1.45	0.62	0.88	1.05
边界品位	5000	300	1000	1000	5000	200	100000
矿化系数/%	0.5	7	9	4	40	74	6

注:Au 含量单位为 10⁻⁹,其余元素含量单位为 10⁻⁶;变异系数=标准离差/平均值;浓集比率=平均值/区域平均值,区域平均值为 1:20 万水系沉积物元素平均值;富集系数=平均值/岩石平均值;矿化系数=最大值/边界品位×100。

1.2.1.1 变异系数

变异系数主要描述元素分异特征。变异系数 $C_v \geq 1$,表明元素在某一地区或某种地质体中的分布、分配不均匀,离散程度大,分异性强,易于活动迁移形成矿(化)体或强异常,多为成矿元素或强异常元素,找矿意义大;变异系数 $C_v < 1$,元素分布、分配较均匀,离散程度小,分异性弱,则形成弱异常、背景或低背景,一般仅具有某种地质意义,元素本身找矿意义不大。

桐柏某工作区水系沉积物中元素分异特征为:Pb、Ag、Au、Bi、Cu、Zn 变异系数 $C_v > 2$,在水系沉积物中的分布、分配极不均衡,离散程度很大,分异性极强,极易于富集形成矿异常及强异常,主要反映了已知的矿床、矿点或矿化点。Ni、W、Sb、Mo、Sn 变异系数 $C_v = 1.6 \sim 1$,在水系沉积物中的分布、分配不均衡,离散程度大,分异性强,能富集形成矿异常及强异常,反映了已知的矿床、矿点或矿化点,或反映了地层、岩体的某些地质特征。As、Co、Mn 变异系数

$C_v < 1$, 在水系沉积物中的分布、分配较均衡, 离散程度不大, 分异性较弱, 可富集形成异常, 多无找矿意义, 部分反映地质体的地质特征。

1.2.1.2 浓集比率、富集系数、矿化系数

浓集比率、富集系数、矿化系数一般用来描述元素丰度特征。浓集比率 $K_1 \geq 1$, 表明元素在某一地区或某种地质体中集中; 浓集比率 $K_1 < 1$, 元素相对分散。富集系数 $q \geq 1$, 表明元素在某一地区次生富集或平衡; 富集系数 $q < 1$, 元素次生贫化。矿化系数 $K_2 \geq 10\%$, 表明元素含量已达到矿化含量, 具有重要指示找矿意义, 或在地表已有矿(化)体出露; 矿化系数 $K_2 < 10\%$, 元素在地表不具矿化或区内无矿化。

桐柏某工作区水系沉积物元素丰度特征为: 全区水系沉积物中 Ag 浓集比率最大, 为 3.17, 呈强集中; Ni、Cu、Pb、Au、Zn、Co、Sb、Mn、W、Sn、Bi、Mo、As 介于 1.74~1.06, 集中或相对集中。As、Bi 富集系数 $q > 2$, 在水系沉积物中明显次生富集; Sb、Sn、Pb、W、Zn、Cu、Ag、Mn、Mo 富集系数介于 1.85~1.02, 次生富集或稍有次生富集; Co、Au、Ni 富集系数 $q < 1$, 明显次生贫化。Cu、Pb、Zn、Co、Ni、Ag、Au 的矿化系数

$K_2 > 20\%$, 7 种元素与区内地表出露的已知矿(化)体及深部已查明的矿种元素 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、(Cr)、Ni 基本一致, 反映了区内的地质矿化特征。

1.2.2 地球化学异常特征值

地球化学勘查规范中, 地球化学异常特征值包括异常点数(n)、异常面积(S_a)、异常强度(I_a)、异常最高值(C_{max})、异常平均值($\overline{X_a}$)、异常衬度($C_a = \overline{X_a}/T$)、规格化面金属量($P_{n,a} = C_a \times S_a$)等, 其中异常浓度分带(外带、中带、内带)未量化。

通过近几年化探工作实践, 分析研究出浓度分带值量化计算公式: $Z_c = C_{max}/2T$ 。浓度分带值量化, 非常有利于单元素多级异常浓度分带的计算, 即 $0.5 \leq Z_c < 1$ 为外带、 $1 \leq Z_c < 2$ 为中带、 $2 \leq Z_c < 4$ 为内带、 $4 \leq Z_c < 8$ 为四级异常浓度带, 等等, 且浓度分带值量化更有利于不同元素间的异常强度(最高值)对比, 进一步应用于单元素地球化学异常指标和综合地球化学异常指标的计算, 更加科学合理地定量化排序、评价化探异常。

桐柏某工作区水系沉积物 1-甲 2-1 综合地球化学异常特征值列于表 2。

表 2 桐柏某工作区水系沉积物 1-甲 2-1 综合地球化学异常特征值

单元素异常号	形状	面积 km ²	异常点数	最高值	平均值	衬度	$P_{n,a}$	浓度分带值	异常下限	B_c	$B_c/P_{n,a}$	备注
Au2	不规则	6.297	22	107.25	16.97	5.66	35.64	17.88	3	264.52	7.42	矿元素
Pb9	面状	1.015	3	377	223	4.46	4.53	3.77	50	13.9	3.07	
Pb10	面状	0.868	2	365.9	245.65	4.91	4.26	3.66	50	11.29	2.65	
Pb3	带状	1.864	7	155.1	83.04	1.66	3.09	1.55	50	11.04	3.57	
Ag3	面状	0.358	1	1.32	1.32	5.28	1.89	2.64	0.25	4.62	2.44	
As11	面状	0.496	1	36.23	36.23	2.42	1.2	1.21	15	2.61	2.18	
Zn10	面状	0.614	3	193	188.67	1.57	0.96	0.8	120	3.06	3.19	
Ag4	面状	0.396	3	0.77	0.54	2.16	0.86	1.54	0.25	3.96	4.6	
Zn11	面状	0.218	1	234	234	1.95	0.43	0.98	120	1.29	3.01	
Zn6	面状	0.237	2	178	150.5	1.25	0.3	0.74	120	1.37	4.57	
W2	面状	0.188	1	5.52	5.52	1.38	0.26	0.69	4	0.85	3.29	
Ag5	面状	0.026	1	0.31	0.31	1.24	0.03	0.62	0.25	0.47	15.54	

注: Au 含量单位为 10^{-9} , 其余元素含量单位为 10^{-6} 。

一般地, 面状异常反映地质体面状的矿化蚀变或岩石, 线状(带状)异常反映线状构造、脉体的矿化蚀变或岩石。成矿元素异常相对规整, 非成矿元素异常不规整。异常面积较大($S_a \geq 1 \text{ km}^2$), 异常点数较多($n \geq$ 平均采样密度)的元素, 多为成矿元素或强异常元素、岩性异常元素。异常最高值达到矿化含量, 具有内带, 异常规模较大($P_{n,a} \geq 1$)的元素, 多为成矿元素或强异常元素、岩性异常元素。异常元素组合与地质成矿专属性元素组合基本吻合, 多为矿异常或推断矿异常, 具有找矿意义。成矿元素异常多与伴生元素异常相互套合, 或叠合或重合, 局

部浓集中心相互吻合。

1-甲 2-1 综合地球化学异常元素组合为 Au、Pb、Ag、Zn、As、W, 其中 Au 为主元素。Au2 异常形状不规则, 异常面积 6.297 km^2 , 最高值 107.25×10^{-9} , 规格化面金属量值 35.64; 伴生矿化或强异常元素有 Pb、Ag、(Zn)、As; 异常元素组合 Au、Pb、Ag、(Zn)、As 与金银多金属矿元素组合基本吻合; Au、Pb、Ag、(Zn) 异常相互套合程度高, 局部浓集中心相互吻合; 反映了已知中型金矿床。

1.2.3 综合地球化学异常指标

综合地球化学异常指标是建立在单元素地球化

学异常指标的基础之上。单元素地球化学异常指标 (B_c) 的计算公式为

$$B_c = [(n/D_c) + S_a] \times (C_a + Z_c)$$

式中: B_c 为单元素地球化学异常指标; n 为异常点数; D_c 为平均采样密度; S_a 为异常面积; C_a 为衬度; Z_c 为浓度分带值。

综合地球化学异常指标,即某综合异常的单元素地球化学异常指标累加值 (ΣB_c),用于量化排序、评价综合地球化学异常。单元素地球化学异常指标,用于单元素异常的排序、评价。

桐柏某工作区水系沉积物 1-甲 2-1 综合地球化学异常指标见表 2。区内 1 : 5 万水系沉积物测量平均采样密度 (D_c) 为 4.45 个 / km^2 。表中列出了规格化面金属量值 $P_{n,a}$ 与地球化学异常指标 B_c 对比。 B_c 高出 $P_{n,a}$ 值均在 2 倍以上,表明增加异常点数和浓度分带值参与计算,反映出的综合地球化学信息更强,更加科学合理。

一般情况下,单元素地球化学异常指标、综合地球化学异常指标愈大,排序位于前列,可评价该单元素异常、综合异常为已知矿异常或推断矿异常,具有较大找矿意义。否则,排序靠后的异常,评价其找矿意义小,或无找矿意义。

2 地质背景

地质背景是化探异常评价的基础。地质背景处于某种构造级别的贵金属、多金属或非金属成矿区(带)上,成矿地质条件有利。地质背景成矿一般具有三个成矿地质条件:一是具有矿源层,即成矿物质来源为某地层或岩体(脉),其中成矿及伴生元素背景含量高;二是具有控矿构造,如深大断裂的次级构造及由于岩浆侵入形成的接触构造(如层间剥离构造和破碎带)、褶皱的轴部倾伏端及两翼;三是具有热源,即各种岩浆热液、变质热液、海底喷气(流)等。地质背景满足以上三个成矿地质条件,其地球化学异常找矿意义大;满足其中两个或一个成矿地质条件,其地球化学异常找矿意义较小,或无找矿意义,只具有地质意义。

桐柏某工作区是我国重要的矿化集中分布区之一,位于河南省成矿区(带)划分的多个 V 级成矿区(带)上。区内水系沉积物 1-甲 2-1 综合地球化学异常位于 V-3 条山多金属成矿带与 V-4 围山城金银多金属成矿带之间,地质背景成矿条件极为有利。区域上已发现贵金属、非金属等矿种 40 余种,大、中、小型矿床和矿(化)点几百处。

3 异常查证程度

具有进一步找矿意义的化探异常,需进行三级异常查证。异常检查的目的是:肯定异常是否存在;进一步圈定异常的范围及浓集中心;追踪异常源;进一步查明异常赋存的地质环境和表生环境,对找矿远景作出初步评价,提出下一步的工作建议。异常查证程度分为三级:踏勘检查(三级查证)、详细检查(二级查证)、工程验证(一级查证)。异常检查的原则一般是踏勘检查—详细检查—工程验证。但对于规模较大,找矿前景较好的解释推断矿致异常,结合地质背景、物探异常、遥感找矿信息,可直接进行详细检查或工程验证。异常检查时,野外要实地认真观察、记录,素描或摄像各种地质现象,采集岩石样,尤其应注意细小的构造、蚀变或退色岩石及各种矿化。

4 异常评价、检查注意事项

(1)异常介质:岩石异常无位移,但有时地表贫化明显或局部出现富集;土壤异常可能有次生富集或贫化,位移影响较大;水系沉积物异常亦有次生富集或贫化,位移很大。

(2)不同比例尺的地球化学背景:1 : 20 万区域地球化学高背景(异常)区(带)上,某元素小异常可能找到大矿,或为高背景未出现异常,但可能成矿;1 : 5 万地球化学高值区(异常)上,元素出现较强的异常可能成矿,无异常找矿希望小;1 : 1 万地球化学异常,元素异常强度较高、面积较大才可能成矿。

(3)高含量单点分析样点的位置及所处地形:高含量单点分析样点位于山顶或山脊之上,元素异常无位移或位移较小;样点位于山坡或冲沟,位移影响大。特别注意,组合分析样或网格化数据,位移影响更大,不可直接用于野外异常检查。

(4)样品成因及污染情况等:土壤(岩屑)样品成因为残积、残坡积时,对异常评价影响小,为冲积、风成、湖积等,则影响很大;水系沉积物样品成因为坡冲积(1 级水系)时,对异常评价影响较小,为冲积或洪冲积(2 级、3 级以上水系)时,则影响较大。若样品在采集、加工或分析过程中受污染或错样,对异常评价影响特别大。

(5)综合评价:要结合物探异常、遥感找矿信息及其他化探成果,给予综合评价。

5 结论

定量评价化探异常的地球化学参数主要有 6

个。

(1)剔除比率 $R_e \geq 5\%$, 多为主元素, 即成矿元素或强异常元素。

(2)变异系数 $C_v \geq 1$, 找矿意义大; 变异系数 $C_v < 1$, 一般仅具有某种地质意义, 元素本身找矿意义不大。

(3)浓集比率 $K_1 \geq 1$, 元素趋于集中; 浓集比率 $K_1 < 1$, 元素相对分散。

(4)富集系数 $q \geq 1$, 元素次生富集或平衡; 富集系数 $q < 1$, 元素次生贫化。

(5)矿化系数 $K_2 \geq 10\%$, 元素具有重要指示找矿意义, 或在地表已有矿(化)体出露; 矿化系数 $K_2 < 10\%$, 元素在地表不具有矿化或区内无矿化。

(6)单元素地球化学异常指标 (B_e)、综合地球化学异常指标 (ΣB_e) 愈大, 该单元素异常、综合异常找矿意义愈大, 否则找矿意义较小或无找矿意义。

参考文献:

[1] GB/T 14496-93 地球化学勘查术语[S].
[2] GB/T 14839-93 地球化学勘查技术符号[S].
[3] DZ/T 0011-91 地球化学普查规范(比例尺 1 : 50 000)[S].
[4] DZ/T 0145-94 土壤地球化学测量规范[S].
[5] DZ/T 0167-95 区域地球化学普查规范(比例尺 1 : 200 000)[S].
[6] 阮天健,朱有光.地球化学找矿[M].北京:地质出版社,1985.
[7] 蒋敬业,程建萍,祁士华,等.应用地球化学[M].武汉:中国地质大学出版社,2006.
[8] 施俊法,唐金荣,周平,等.世界找矿模型与矿产勘查[M].北京:地质出版社,2010.
[9] 臧金生,刘喜.内蒙古苏尼特左旗巴彦洪格尔一带综合方法找矿化探工作总结[R].河南省地质矿产勘查开发局第三地质调查队,2010.
[10] 臧金生,王功晓,李诗言,等.河南省 1 : 5 万马道幅化探工作总结[R].河南省地质矿产勘查开发局第三地质矿产调查院,2013.

Quantitative evaluation of geochemical anomalies

ZANG Jin-Sheng , WANG Dong-Xiao, ZHAO Rui-Qiang

(No. 3 Geological Survey Institute, Henan Bureau of Geo-exploration and Mineral Development, Xinyang 464000, China)

Abstract: Based on calculation of geochemical characteristic parameters, geochemical anomaly characteristic values and integrated geochemical anomaly indexes, the authors obtained six geochemical parameters: rejection ratio, variation coefficient, concentration ratio, enrichment coefficient, mineralization coefficient, single element geochemical anomaly index and composite geochemical anomaly index, which can be used to conduct quantitative evaluation of geochemical anomalies.

Key words: geochemical anomaly evaluation; geochemical characteristic parameters; geochemical anomaly characteristic value; integrated geochemical anomaly index; geological background

作者简介: 臧金生(1957-),男,1980年毕业于郑州地质学校地质调查及找矿专业,化探工程师,长期从事地质化探工作。