

西北地区矿产资源潜力地球化学评价中 成矿元素异常的圈定方法

李宝强, 张 晶, 孟广路, 王 斌, 曹积飞

LI Bao-qiang, ZHANG Jing, MENG Guang-lu, WANG Bin, CAO Ji-fei

中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054

Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China

摘要:地球化学方法是矿产资源潜力评价的重要手段,特别是在资源潜力预测评价的潜力区优选中尤为重要。但在工作实践中发现,用统一的异常下限圈定异常,常常会出现“有矿无异常或有异常无矿”的信息错位,给资源潜力地球化学评价工作中的异常定位造成困惑。经过对比分析认为:应用经滑动平均处理得到的滑动平均衬值数据绘制等量线图和相应的异常图,是解决区域性地球化学评价工作中异常信息错位的有效手段。在西北地区(包括各省区),滑动平均窗口大小选择 49km×49km 为宜。经过这种数据处理后圈定的异常图可以有效地解决异常信息错位现象,明显压制高背景异常,突出低背景区的弱小异常,同时也很好地显示了区域异常带的展布规律,间接地反映了区域构造和控矿构造的空间特征。

关键词:中国西北地区;地球化学;潜力评价;异常圈定

中图分类号:P612

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2010)11-1685-11

Li B Q, Zhang J, Meng G L, Wang B, Cao J F. Delineation method of metallogenetic element anomaly in mineral resources potential geochemical evaluation, northwestern China. *Geological Bulletin of China*, 2010, 29(11):1685-1695

Abstract: Geochemical survey is an important method of mineral potential evaluation, especially important to preferential selection in mineral prospective area. But in practice if using the same anomaly threshold to outline all anomaly, locations of mineral occurrence are usually different from boundary of anomaly. Based on comparative analysis, we found that it's an effective way using window moving average data to draw geochemical isoline map and corresponding anomaly map. In northwestern China (including five provinces), the applicable length of moving average window is 49km×49km. The problem of anomaly dislocated can be solved by this way. High background values are obviously weakened and low background values are heightened in this way. At the same time, the distribution of regional anomaly belt is illustrated well and the spatial features of regional structure and ore-controlling structure are reflected indirectly.

Key words: northwestern area of China; geochemistry; mineral potential evaluation; anomaly outlining

矿产资源潜力地球化学预测评价是利用地球化学方法,探讨资源潜力预测评价中元素异常的基本问题,回答在评价区内找什么矿,到哪里去找,以及可能的资源前景的问题。“到哪里去找矿”要靠科学

合理的地球化学异常圈定和评价来解决。在工作实践中应用常规的原始数据集,用统一异常下限圈定异常,常常会出现“有矿无异常或有异常无矿”的信息错位,这是区域地球化学评价工作中经常遇到的

收稿日期:2010-03-04;修订日期:2010-08-31

科技项目:科技部“十一五”国家科技支撑计划项目《中西部大型矿产基地综合勘查技术与示范》的《中国与周边国家毗邻地区重点成矿带成矿规律对比研究》课题(编号:2006BAB01A03)资助

作者简介:李宝强(1955-),男,硕士,教授级高级工程师,从事中国西部邻国跨境成矿带成矿规律对比研究及编图工作

E-mail: xalbaoqiang@163.com

现象。本文将就这一现象产生的原因和问题解决的方法进行探讨,同时,通过类比选用更为科学的方法对区内成矿元素地球化学异常进行优化圈定与评价。

1 常规区域地球化学异常信息提取存在的问题及影响因素

在应用常规异常信息提取方法所圈定的异常图上,常会出现“有矿无异常或有异常无矿”的信息错位现象,造成这种现象的主要原因是,在较大的区域范围(大的成矿区带、一个省区或一个地区)内,元素的地球化学背景往往存在着很大的起伏。采用原始数据全区统一下限圈定异常的方法将会导致:①在背景高而无明显分异作用的地区,圈出大面积、无明显浓集中心、找矿意义不明显的异常;②在正常背景区则会漏掉一些对隐伏矿有指示意义的低缓异常;③损失了低背景区元素分异富集作用明显的异常甚至矿床(点)的信息。因此,在较大区域内进行地球化

学找矿异常信息提取,就会出现上述偏差^[1]。
造成元素背景值明显差异的主要原因有以下几个方面。

(1)地球化学景观条件的影响

在不同的地球化学景观条件下,元素的表生分散富集规律不同,导致不同地球化学景观下元素背景丰度的明显差异。表 1 是中国西北部 4 种典型的景观图(图 1)^①中部分元素的背景含量浓集比率及元素背景起伏倍率一览表,可以看出,其元素背景起伏倍率最小 1.55,一般为 2 倍左右,最大可达 4 倍(Hg 元素)。

(2)采样粒级及样品密度的影响

一般情况下在同一工作图幅内,地球化学勘查的方法技术参数(采样介质、采样密度、样品粒级)基本一致,而在较大的区域范围内,由于各种原因,某些图幅之间经常存在着样品粒级和采样密度的明显差异。由图 2^②可以看出,在同一景观条件下同一点

表 1 西北地区已开展地球化学勘查景观区的地球化学背景
Table 1 Geochemical background of geochemical landscape area, northwestern China

元素	背 景 值					浓 集 比 率				元素背景起伏倍率
	西北 全区	高寒 山区	高寒丘 陵湖沼	内陆低 山丘陵	干旱 荒漠	高寒 山区	高寒丘 陵湖沼	内陆低 山丘陵	干旱 荒漠	
Ag	64.06	62.95	54.54	91.46	57.81	0.98	0.85	1.43	0.90	1.68
As	9.14	10.38	14.35	9.62	5.87	1.13	1.57	1.05	0.64	1.64
Au	1.18	1.15	1.20	1.62	1.04	0.97	1.01	1.37	0.88	1.55
Bi	0.27	0.27	0.22	0.37	0.22	0.99	0.82	1.37	0.81	1.69
Co	10.78	10.42	9.25	14.49	9.24	0.97	0.86	1.34	0.86	1.56
Cr	49.04	48.46	38.55	68.89	36.81	0.99	0.79	1.40	0.75	1.87
Cu	22.26	21.24	17.64	27.74	21.15	0.95	0.79	1.25	0.95	1.58
Hg	16.83	16.53	17.33	45.80	11.31	0.98	1.03	2.72	0.67	4.00
Mo	0.71	0.69	0.59	0.46	0.81	0.98	0.84	0.65	1.15	1.77
Ni	22.75	22.01	19.50	33.05	16.99	0.97	0.86	1.45	0.75	1.93
Pb	18.71	19.04	17.60	31.89	14.39	1.02	0.94	1.70	0.77	2.21
Sb	0.66	0.68	0.76	0.99	0.42	1.03	1.15	1.50	0.64	2.34
Sn	2.24	2.33	1.85	2.81	1.17	1.04	0.82	1.25	0.52	2.40
W	1.42	1.45	1.00	2.16	0.97	1.02	0.70	1.52	0.68	2.24
Zn	63.08	59.80	54.95	92.47	54.32	0.95	0.87	1.47	0.86	1.71

注:浓集比率又叫富集系数,是元素在不同景观的背景值与西北全区背景值的比值;元素背景起伏倍率是元素在各景观区中最大的浓集比率除其最小的浓集比率;表中数据为剔除极值(平均值加 3 倍的标准离差)后的统计结果;Ag、Au、Hg 的质量分数为 10⁻⁹,其他元素为 10⁻⁶

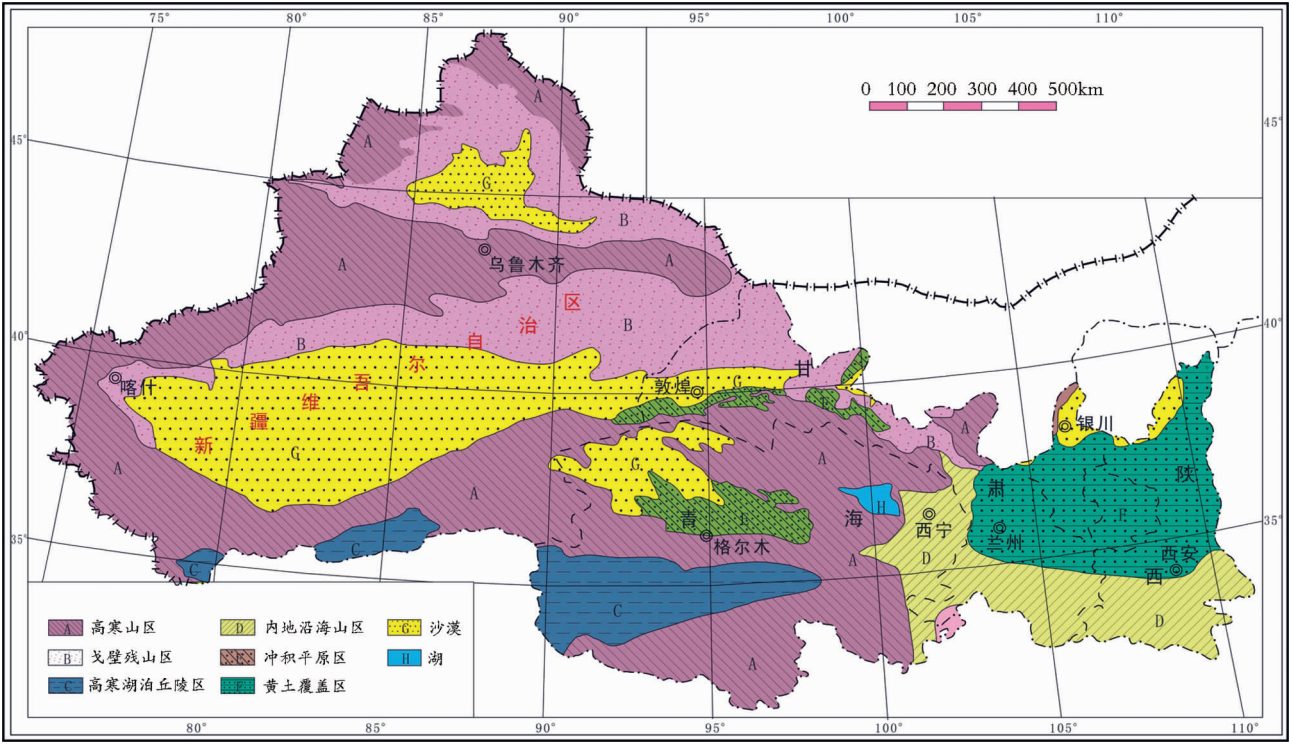


图 1 西北地区地球化学景观图(据参考文献①修编)

Fig. 1 Map of geochemical landscape, northwestern China

位上,不同粒级(3.5~160 目/时)样品元素的含量值有着明显的差异。由图 2 也可以看出,随着距离铬矿点距离的变化,样品中各元素含量值的差异更加明显,也就是说对于同一异常源体,用不同的采样密度圈定,其异常强度会有明显的差异。显然,采样粒级及样品密度的差异也是造成元素背景含量明显差异的原因。

(3)地质背景条件的影响^③

不同的地质构造单元元素丰度存在着一定的差异。表 2 是西北地区几个主要地质构造单元元素背景丰度的对比情况,可以看出多数元素在不同单元背景丰度有着明显的差异。同一元素在不同景观的背景值差异最小的是 1.4 倍,如 Co 元素阿尔泰成矿带的背景值与天山北山成矿带的背景值比值为 1.4 倍。元素在不同成矿带背景值差异最大的是天山北山成矿带与阿尔金成矿带的 W 元素,前者是后者的 12 倍还多。

(4)其他因素的影响

不同图幅在勘查过程中由于采样季节、测试单位和测试方法的不同而产生的系统误差,也会引起

元素背景丰度的差异。

上述诸多原因引起元素在不同区域背景值的明显差异,正是这种差异导致了在区域性地球化学异常信息提取时的异常偏差。

2 解决区域地球化学异常信息提取中异常偏差问题的几种思路

消除各种因素引起的背景影响,解决区域地球化学异常信息提取中异常偏差问题一般采取的方法有:地球化学数据误差校正、按照地质构造单元分别统计异常下限等。

2.1 地球化学数据误差校正^①

在区域地球化学勘查中,采样介质,分析和地球化学景观环境而造成的系统误差,影响大范围数据处理和图形图像处理的效果,地球化学数据误差校正就是为了减小这些影响而采取的手段。误差校正的方法要点是:在用原始数据绘制的地球化学图上识别出正常和存在误差的区块,以正常区块作为参考,选择适度的校正系数、校正方法(线性方式或正态分布方式)对误差区块(点)进行校正。

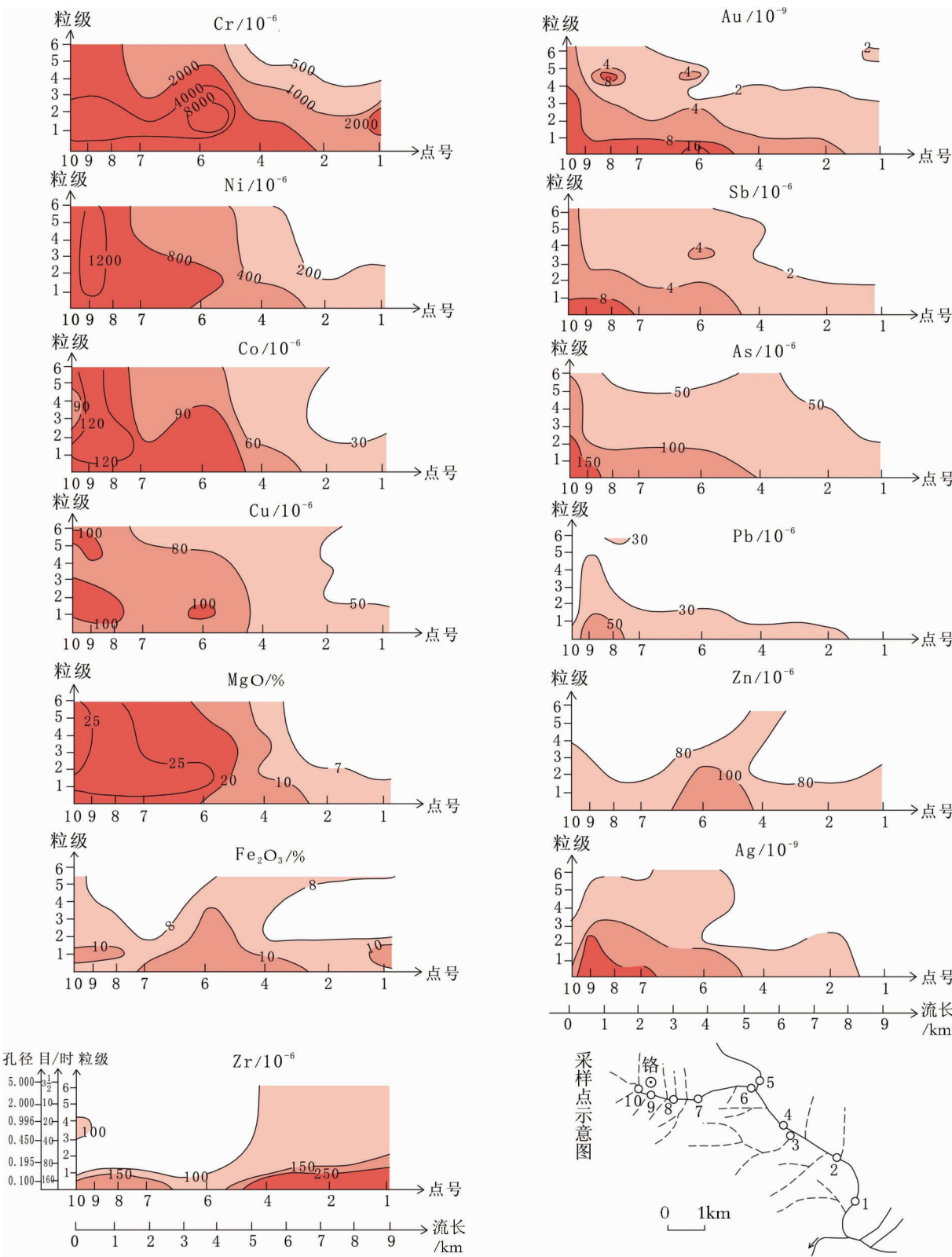


图2 某铬铁矿床水系沉积物异常与粒度、流长的关系

Fig. 2 Relationship of stream sediment anomaly, grain size grade and stream lengths of chromite deposit

表 2 西北地区主要成矿带地球化学丰度对比

Table 2 Correlation of elements abundance in major metallogenetic belts, northwestern China

元素		Ag	As	Au	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Pb	Sb	Sn	W	Zn
平均值 $\bar{X}$	全西北	66.7	11.9	1.7	11.2	56.7	23.9	39.8	2.2	23.6	1.6	2.5	4.3	66.3
	阿尔泰	74.4	5.8	1.7	13.0	65.8	26.7	16.5	0.8	18.1	0.5	2.8	2.8	72.4
	准噶尔	64.7	10.8	1.7	11.8	46.8	31.9	21.6	1.2	13.6	0.5	2.0	1.1	70.2
	天山北山	64.7	9.6	1.6	9.4	40.5	20.7	48.9	8.2	17.2	4.4	2.3	16.3	55.2
	阿尔金	46.2	5.8	1.7	9.7	49.7	17.8	10.4	0.7	15.7	0.5	2.2	1.3	45.2
	龙首山	53.2	15.0	1.9	9.8	55.5	21.0	20.1	0.7	76.8	0.8	2.5	1.6	53.9
	祁连山	49.8	11.1	1.7	12.0	77.2	24.3	21.6	0.8	20.2	0.9	2.6	1.7	61.4
	秦岭	93.8	12.8	2.4	13.4	70.7	26.0	82.0	1.0	29.9	1.4	2.9	2.2	85.7
	东西昆仑	63.4	11.4	1.3	10.0	52.2	20.7	22.3	0.8	20.3	0.8	2.6	1.7	58.6
	特提斯	68.3	18.6	1.2	10.0	45.6	20.7	35.7	0.8	23.3	1.0	2.3	1.5	65.0
富集系数 K	阿尔泰	1.1	0.5	1.0	1.2	1.2	1.1	0.4	0.4	0.8	0.3	1.1	0.6	1.1
	准噶尔	1.0	0.9	1.0	1.1	0.8	1.3	0.5	0.5	0.6	0.3	0.8	0.3	1.1
	天山北山	1.0	0.8	0.9	0.8	0.7	0.9	1.2	3.7	0.7	2.8	0.9	3.8	0.8
	阿尔金	0.7	0.5	1.0	0.9	0.9	0.7	0.3	0.3	0.7	0.3	0.9	0.3	0.7
	龙首山	0.8	1.3	1.1	0.9	1.0	0.9	0.5	0.3	3.3	0.5	1.0	0.4	0.8
	祁连山	0.8	0.9	1.0	1.1	1.4	1.0	0.5	0.4	0.9	0.6	1.0	0.4	0.9
	秦岭	1.4	1.1	1.4	1.2	1.3	1.1	2.1	0.5	1.3	0.9	1.2	0.5	1.3
	东西昆仑	1.0	1.0	0.8	0.9	0.9	0.9	0.6	0.4	0.9	0.5	1.1	0.4	0.9
	特提斯	1.0	1.6	0.7	0.9	0.8	0.9	0.9	0.4	1.0	0.6	0.9	0.4	1.0
单元间最大起伏倍率		2.0	3.3	2.0	1.4	1.9	1.8	7.9	12.4	5.7	9.2	1.5	12.5	1.9

注:单元间最大起伏倍率指各元素平均值差异最大的 2 个地质单元的富集系数的比值;Ag、Au、Hg 含量的单位为 10^{-9} ,其他元素为 10^{-6} ;表中数据用西北地区化探数据统计而来

中国地质调查局发展研究中心应用的“多元地质数据管理与分析系统”中具有地球化学数据误差校正功能。应用这一功能可以很方便地进行误差校正,但用于实际工作中还存在以下问题:

(1)方法适用于因采样介质、分析和地球化学景观环境而造成的系统误差的校正,需要校正的范围靠人工确定,因而要求需要校正的误差区域必须明显,易于识别。

(2)该方法把有系统误差的数据校正到正常范围的校正幅度(校正参数)和校正函数要靠操作人员选择,人为因素影响大,对操作人员的经验和技术水平要求较高。

由于上述原因,该方法多适用于正式的区域性地球化学编图,不太适用于一般地质技术人员用于找矿地球化学信息提取。

2.2 地质背景衬值异常圈定^[2]

其方法的要点是:在研究区内依据地质背景(岩

性或构造单元)划分若干统计单元,分别统计各单元平均值($\bar{X}_j$),再将区内各点数据(X_{ji})除以其所在统计单元的平均值($\bar{X}_j$),就得到了该元素的背景衬值数据图。然后再在这张背景衬值数据图上求得异常下限,圈定异常,就得到了地质背景衬值异常图。其异常下限是一组高低不平的阶梯。

地质背景衬值异常分析方法的优点是:能充分体现不同地质体之间的差异性,能很好地弥补采用单一异常下限使得面积强度中等和较弱的异常,特别是在低背景区异常往往被削弱或掩盖,导致部分地质异常信息丢失。同时这种方法在进行地球化学背景和异常分析时考虑了地质背景因素,易于被地质工作者理解和接受。

地质背景衬值异常分析方法的局限性是:

(1)背景单元的划分往往受研究人员认识水平、所持观点、工作区研究程度等因素的影响而形成多种划分方案,导致异常下限可变和异常的不

确定。

(2)大的地质构造单元多以断层为界,这些断层带往往是地球化学作用较强的部位,划归被它分割的 2 个构造单元的哪一个都欠合理,这就增加了数据处理具体操作上的困难。

(3)这种方法确定的背景是一些规模小于全区的平面组成的阶梯。

3 滑动平均衬值数值法在地球化学找矿信息提取中的应用

上述方法在应用中要有这样或那样的附加条件,处理环节比较繁琐,同时处理结果也因人而异。

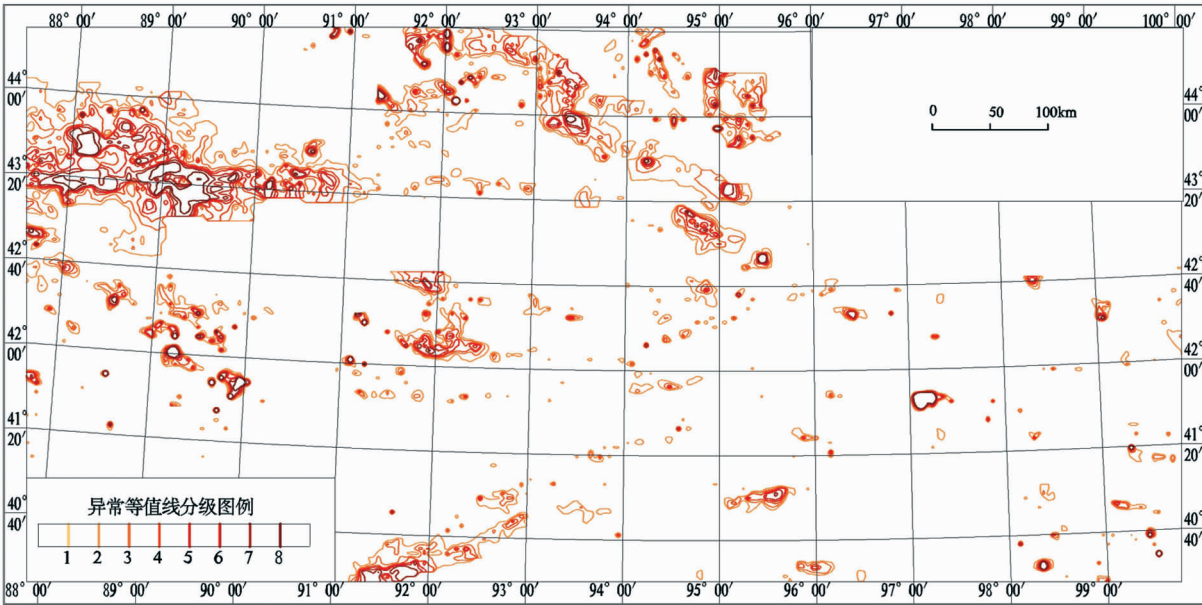


图 3 Cu 原始数据异常图

Fig. 3 Copper geochemical anomaly map using original data

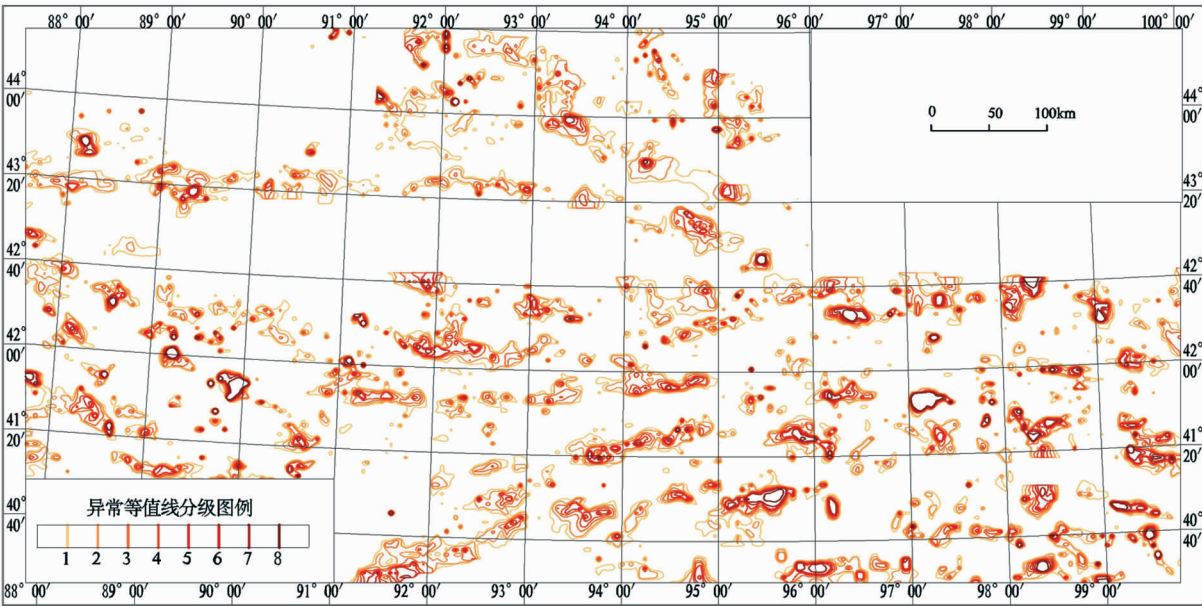


图 4 Cu 滑动平均衬值数据异常图

Fig. 4 Copper geochemical anomaly map using data handling by method of moving average

笔者在工作实践中通过总结学习、对比选择,认为“滑动平均衬值数值法”在解决区域地球化学异常信息提取中异常偏差时较其他方法有较大的优越性,下边介绍该方法。

3.1 滑动平均衬值数值法的特点

滑动平均衬值数值法的核心是:分别以区内各点为中心选一适当大小的数据窗口(圆形或矩形),统计该窗口内数据的平均值,再以该中心点的数据与该数据块平均值的商替代该中心点的原始数据,以同样大小的数据窗逐点进行这种替换,就得到了一张滑动平均衬值数据图。然后再在这张滑动平均衬值数据图上求得异常下限,圈定异常,就得到了相应的滑动平均衬值数据异常图。图 3 和图 4 分别是 Cu 元素原始数据异常图和滑动平均衬值异常图。

这一方法实际上就是滑动平均方法与衬值法的融合。经过该方法处理后的数据都是以各点为中心的一定大小窗口内所有数据平均值的倍数,所处区域背景值高时,所在窗口的平均值则相应提高,反之则降低。因而经过这种方法处理的数据有效地消除了各种原因造成的背景起伏的影响。事实上,较大范围的区域化探数据通过这种处理不仅消除了一个元素的背景影响,同时也消除了不同元素之间的丰度

台阶,形成一套(无量纲的)新数据集,可以直接进行相互比较,做累加、累乘等各种处理。相应地把应用这种数据进行地球化学信息提取的方法叫做“滑动平均衬值数值法”,以此方法圈定的异常相应的叫做“滑动平均衬值异常”。

滑动平均衬值数值法与上述 2 种异常评价方法(统一异常下限和分地质单元统计异常下限)的根本差异在于,该方法所采用的异常下限不是一个定值的平面,也不是存在多个突变台阶的阶梯面,而是一个随背景起伏而变化的连续曲面。滑动平均衬值异常分析方法的不足是,它没有直接体现不同地质体之间的差异性,不易被地质工作者理解和接受。但该方法不受人为因素、工作区研究程度等因素的影响,特别适合西部工作程度较低的地区应用。

3.2 滑动平均衬值数值法的优点

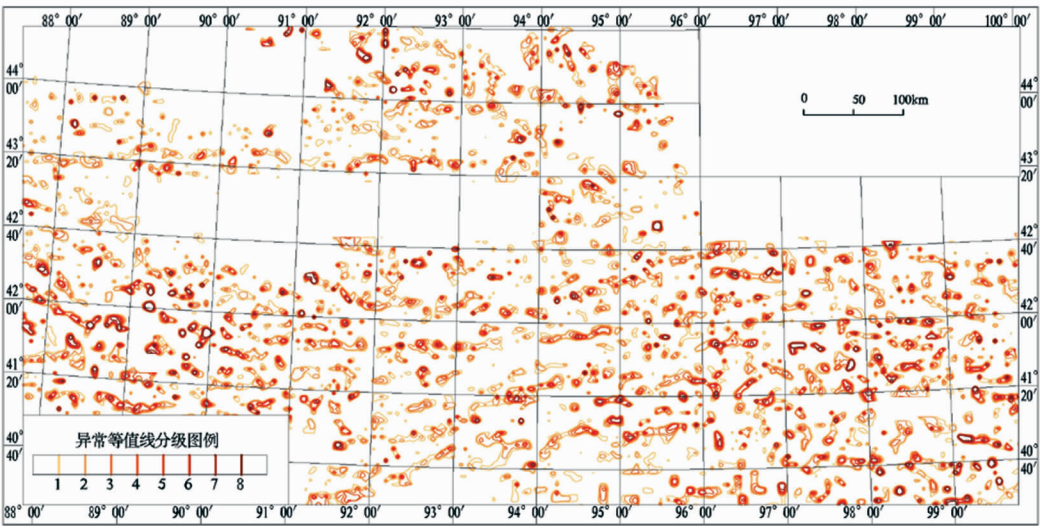
(1)方法适应性强。既适合于由于采样介质、分析方法和景观环境产生的系统误差而引起的背景差异,又适合于因构造单元不同而产生的背景差异。

(2)该方法所确定的背景场是一个连续的曲面,可以有效地消除背景影响,除了能够发现和捕捉到一般方法不易识别的弱异常外,还能突出低背景场上的强富集异常。在反映正异常的同时,突出有重要

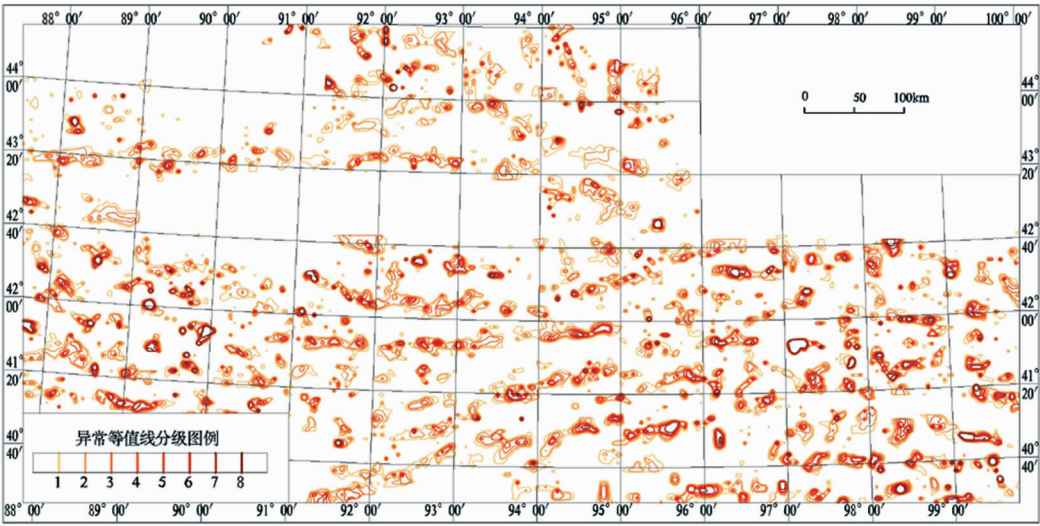


图 5 GeoExpl2009 单变量数据分析窗口

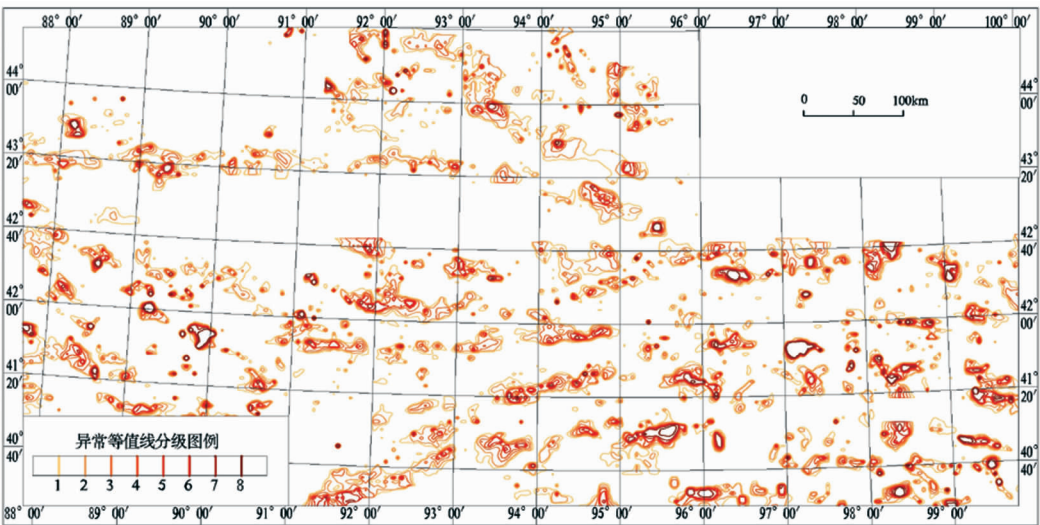
Fig. 5 Window of univariate analysis by software GeoExpl 2009



窗口大小:1km×1km



窗口大小:2.1km×2.1km



窗口大小:49km×49km

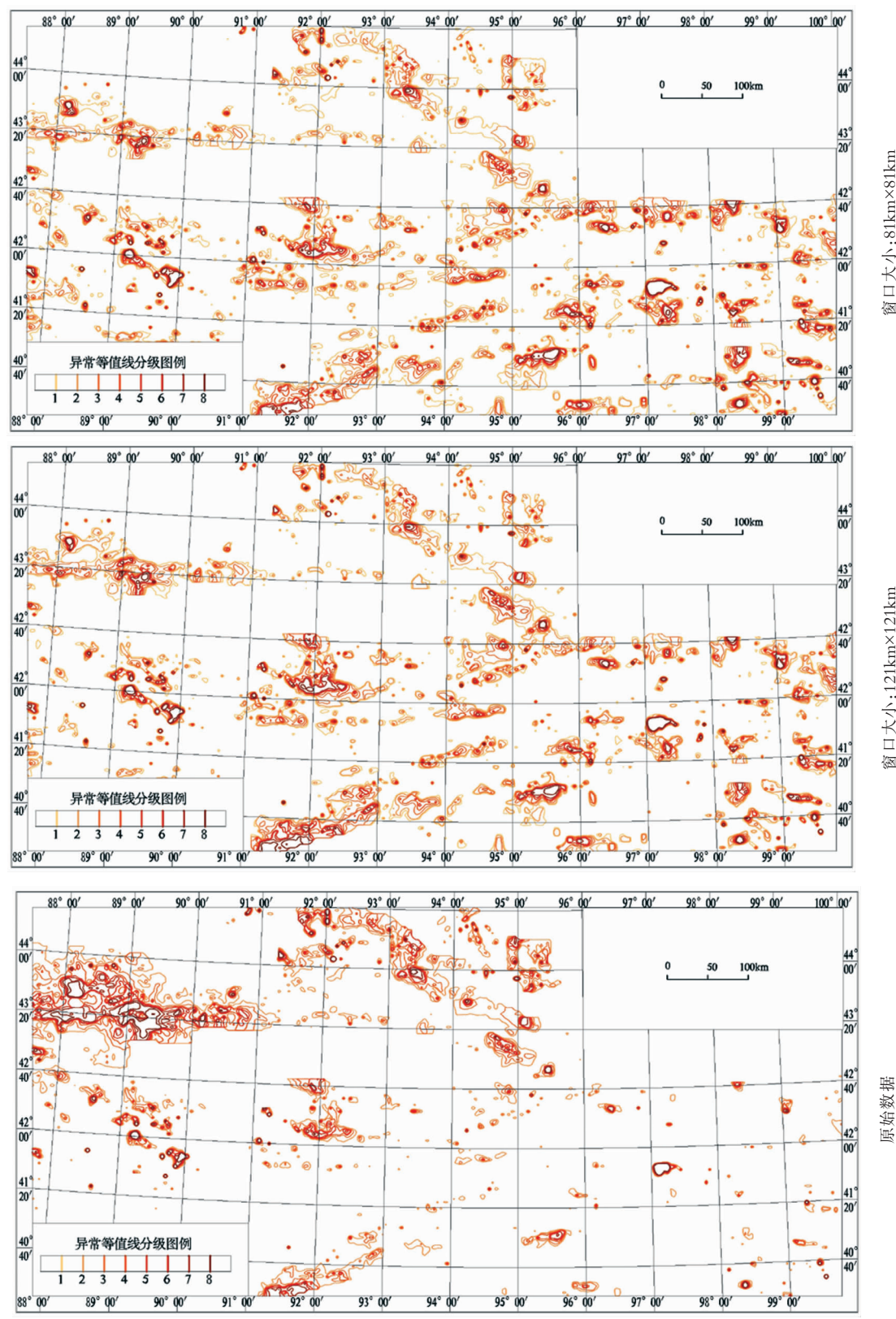


图 6 不同窗口大小异常图效果比较

Fig. 6 Comparison of anomaly map handling by different windows using method of moving average

找矿指示意义的负异常。还能反映不同构造区的界线、断层等线性要素地质信息。如图 3 和图 4 所示,后者明显地压制了高背景异常,突出了低背景区的弱小异常。

(3)经过衬值处理后的数据,各点上值的大小代表该点的原始数据对应于其所在窗口数据平均值的倍数,是一个无量纲值,因而可以用于不同元素之间的晕累加、累乘、求比值等信息强化处理,为强化弱异常创造了条件。另外,按元素组合采用多元素累乘值圈定综合异常,能筛选掉一些元素组分简单的点和单点局部异常,突出多元素套合的组合异常(包括弱异常的强化),从而能有效地缩小异常覆盖面积,区分不同矿化类型的异常。

(4)该方法不需要考虑地质构造单元界线,因而极适合于地质构造单元界线有争议或工作程度极低的地区的区域地球化学异常快速筛选和评价。

(5)受人为因素影响小,便于操作。窗口大小确定后,处理结果不会因人而异,异常圈定一致性好。

(6)各元素参数基本可以对比,在编制地球化学图或异常图时可以使用统一的等量线参数,统一色区,既方便编图,又有利于不同元素之间的异常对比。

该方法的不足之处是,窗口大小的选择要有一定的经验或需经过窗口选择试验。

3.3 方法要点

(1)数据处理方法:滑动网格衬值数据处理,可以通过 GeoExpl(2009 区域地球化学数据库管理系统)多元地学数据管理与分析系统中的数据分析子系统顺利实现。

图 5 是 GeoExpl 单变量数据分析子系统操作界面,操作时的具体过程包括,①选择处理方法:衬值分析;②确定待处理元素;③选择合适的坐标系统:工作横坐标和工作纵坐标;④给定“处理结果数据表”的名称;⑤窗口形状和窗口大小选择,窗口形状可选圆形或矩形。

(2)窗口选择:该方法的技术关键是数据窗口大小的选择,窗口大小对处理结果影响很大。如果窗口太大,如趋向全区面积,则难以消除背景影响;如果窗口太小,如向单点面积靠近,则其平均值向单点值靠近,结果是各点的衬度值向 1 靠近,缩小了各点的元素含量差异,压制了异常之间的差别,使得异常变得非常细碎,损失了真正的找矿信息。图 6 给出了经

过不同大小的窗口滑动平均处理的数据所圈定的异常效果对比。

3.4 应用实例分析

应用滑动平均衬值数据圈定的地球化学异常与未经处理的原始数据圈定的地球化学异常相比,前者与已知矿产地的对应情况明显好于后者。

图 7、图 8 分别反映的是未经处理的原始数据圈定的地球化学异常和利用滑动平均衬值数据圈定的地球化学异常与已知矿产地的对应情况。可以看出:未经处理的原始数据圈定的地球化学异常图对区内 18 个与 Cu 元素有关的小型以上矿床,有 9 个没有异常显示,北纬 $43^{\circ}20'$ 线以北的大面积异常只对应一个小型铜矿,而在北纬 $42^{\circ}00'$ 与 $42^{\circ}40'$ 两线之间的铜(铜钼及铜镍)矿带上仅有零星的 Cu 异常,对铜镍矿反映更差,见图 7。滑动平均衬值数据圈定的地球化学异常,不仅与几乎所有的铜矿有明显的对应关系,而且明显消除了高背景区出现的大面积异常,同时很好地显示出异常的区域分带及其与成矿带相关的定向展布特征,见图 8。

显然,滑动平均数据化探处理方法是解决区域性地球化学评价工作中异常信息错位的有效手段。

4 结论及建议

经过上述对比分析笔者认为:应用经滑动平均处理得到的滑动平均衬值数据绘制等量线图 and 相应的异常图是解决区域性地球化学评价中异常信息错位现象的有效手段。

通过对处理效果的对比,认为西北地区(包括各省区)滑动平均窗口大小选择为 $49\text{km}\times 49\text{km}$ 为宜。利用这种方法处理的数据圈定的异常图,既可以有效地解决异常信息错位的现象,明显压制高背景异常,突出低背景区的弱小异常,同时也很好地显示了区域异常带的展布规律,间接地反映了区域构造和控矿构造的空间特征。显然,这种方法是一种有效而实用的化探数据处理方法。

致谢:本文的基本思想是在西北地区几个主要成矿带区域地球化学信息提取工作实践中形成完善的,在此过程中,得到了中国地质调查局基础部原副主任奚小环教授级高级工程师,地科院物化探研究所张华教授级高工的指导,得到了新疆维吾尔自治区地质调查院副总工程师杨万志等专家的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

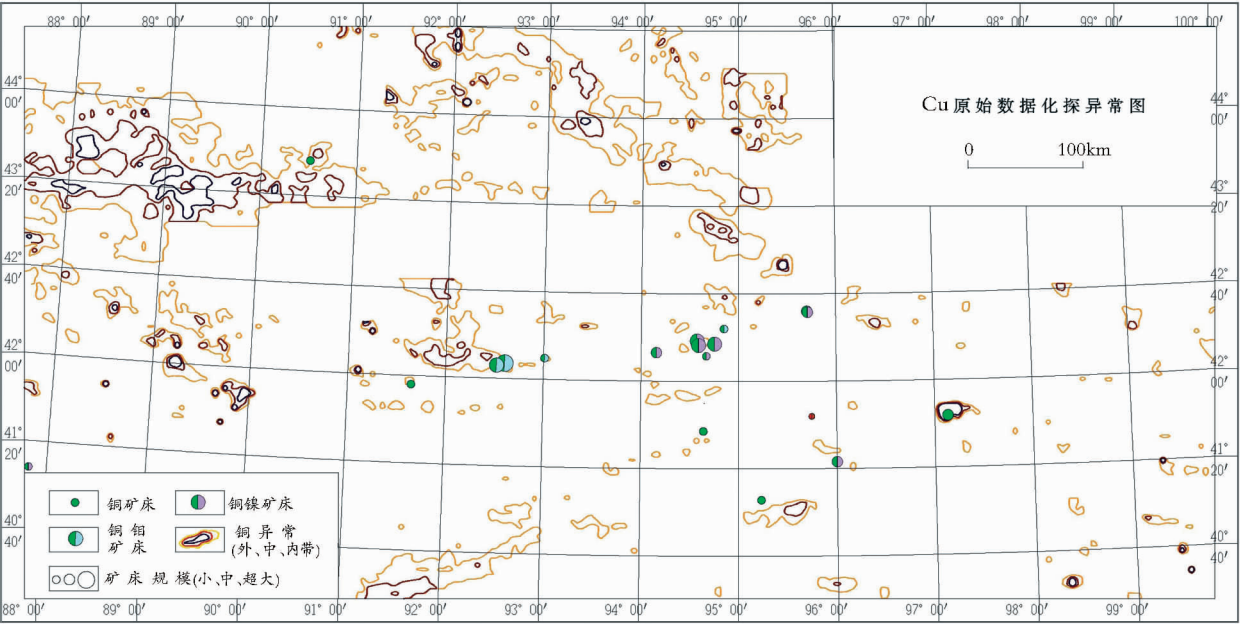


图 7 Cu 原始数据化探异常图

Fig. 7 Map of copper geochemical anomaly using regional data

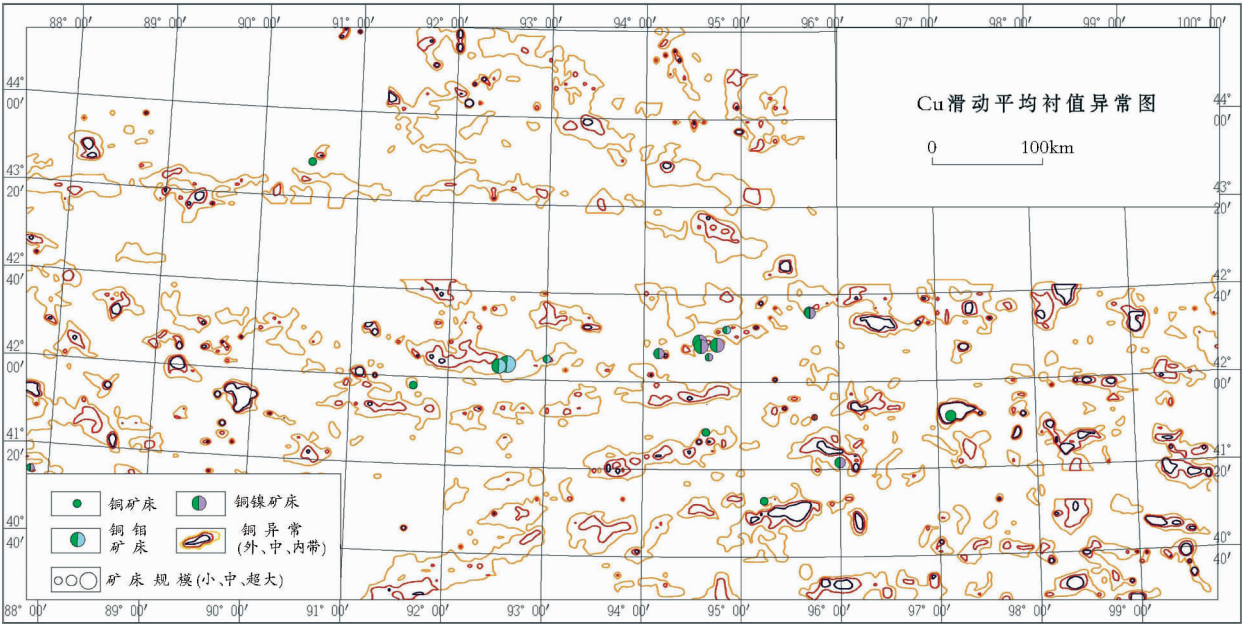


图 8 Cu 滑动平均衬值数据化探异常图

Fig. 8 Map of copper geochemical anomaly using data by method of moving average

参考文献

[1]李宝强,孙泽坤.区域地球化学异常信息提取方法研讨[J].西北地质, 2004,37(1):102-108.

[2]李宝强,冯治汉.西北地区区域地球化学特征及其找矿指示意义 [C]//西北矿产资源找矿潜力.北京:地质出版社,2004:30-41.

① 张华.全国地球化学景观图.中国地质科学院廊坊物化探研究所, 2008.

② 张珍林,等.青海 1:20 万硫磺山、哈拉湖、瓦乌斯多索卡幅地球化学图说明书.青海省地质调查院,2002.

③ 向运川,任天祥,牟绪赞,等.全国矿产资源潜力评价项目化探资料应用技术要求.中国地质调查局发展研究中心,2007:17-23.