

# 内蒙古地质地球化学分区及地球化学成矿预测

兰强<sup>1</sup>, 赵元淦<sup>1</sup>, 冷福荣<sup>2</sup>

(1. 内蒙古第一水文地质工程地质勘察院, 内蒙古 呼和浩特 010020; 2. 内蒙古自治区地质调查院, 内蒙古 呼和浩特 010020)

**摘要:** 通过内蒙古表生环境中元素相容性排序检验, 认为 1: 20 区域化探普查成果能提供原生环境中各类地质信息, 尤其是普查找矿信息。区域化探元素测试结果存在系统误差, 通过数据调平处理, 保证了化探数据的质量。 $\ln(w_{Cr} \times w_{Ni} \times w_{Co})$  等图件提供的信息, 可作为划分地质地球化学分区的主要依据之一, 对基础地质研究有参考价值。在此基础上初步圈定了元素地球化学成矿预测区, 为内蒙古自治区提供了有价值的普查找矿信息。

**关键词:** 地球化学勘查; 表生环境和原生环境; 元素相容性; 数据调平处理; 成矿预测区

**中图分类号:** P632      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-8918(2012)01-0039-06

内蒙古自治区 1: 20 万区域化探扫面工作基本完成, 采用以水系沉积物测量为主的化探方法, 其成果代表了各类景观区表生环境下 39 种化学指标的分布特征。普查工作不仅取得了许多重要成果, 也为基础地质研究和成矿预测提供了有价值的信息。

## 1 表生环境中化探样品元素组成及意义

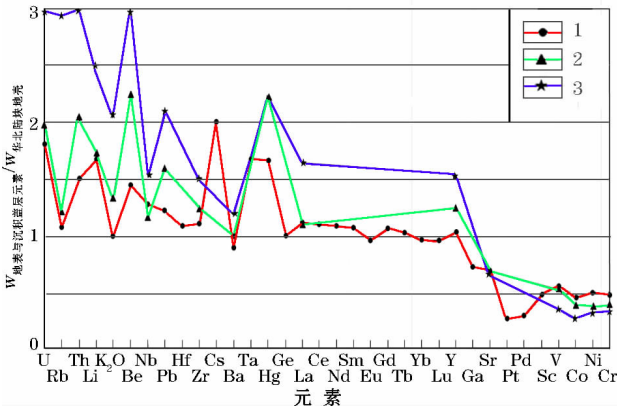
表生环境下化学元素的组成特征能否反映原生环境的信息, 一直是人们研究的重要课题。由于壳幔分异和地壳内部调整, 造成了岩石圈不同结构层之间化学组成具有系统性的差异, 如相对于岩石圈地幔, 地壳富集 Cs、Rb、U、Th、K 等不相容元素。原生环境是封闭的非开放系统, 不存在明显的物质消失或增生, 不同结构层之间具有化学演化的成生关系<sup>[1]</sup>; 表生环境是富氧的、物理化学条件复杂的开放系统, 某些化学元素会发生较明显的分散与富集。1: 20 万区域化探普查面的 39 种化学指标中, 大多数指标(如  $SiO_2$ 、 $Al_2O_3$ 、 $Na_2O$ 、 $K_2O$ 、Li、Be、Rb、Ba、Sr、B、U、Th、Nb、La、Y 等)的二维空间平面分布与中酸性(碱性岩)侵入岩类、火山岩类和砂岩及其变质岩系等出露范围相一致;  $Fe_2O_3$ 、CaO、MgO、Mn、P、Ti、V、Cr、Ni、Co、Zr、F 等的二维空间平面分布, 与各类中基性(超基性岩)侵入岩类、火山岩类、杂色板岩及绿泥石英片岩等变质岩系出露范围相一致。由此可见, 1: 20 万区域化探普查资料中, 大多数不相容元素和相容元素继承了原生环境的各种地质信息, 基本上较客观地表述了各种地质体的存在。

Ag、Au、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Hg、Bi、Mo(Sn、W)等亲硫元素, 在开放的表生环境下, 由于物理化学条件的差异和自然景观条件的不同, 或多或少发生了分散与富集, 与原生环境之间有差异, 然而这些元素圈定的次生地球化学异常大多又是原生矿及其异常的客观反映, 因此, 内蒙古 1: 20 万区域化探普查的 39 种化学指标资料, 总体上能提供原生环境的各种地质和成矿信息。这种认识也被全国其他地区 1: 20 万区域化探普查成果所证实。

影响北方表生环境下元素分散与富集的因素有表生环境的物理化学条件、化学组成、自然景观和地质条件。北方以物理风化作用为主, 化学风化次之, 土壤一般呈弱碱性和碱性, 使得部分元素淋失, 如 U、Mo、Ag(Au)等能在碱性条件下的中-新生代盆地中形成异常, 尤其是铀能形成砂岩型铀矿。Cu、Pb、Zn 等亲硫元素主要以硫化物相存在, 其次为碳酸盐相和铁锰氧化物相等, 它们能在表生环境中迁移。Au 以自然金相为主, 其次以水溶相及有机相等形式存在并迁移<sup>[2-3]</sup>。在相同的干旱条件下, 地形、地貌、植被等景观因素和矿床类型、矿石组分等地质因素对元素的分散与富集影响较大。北方和西北地区 1: 20 万区域化探扫面时, 为消除风成沙对化探异常的稀释作用, 野外取样时普遍采集 -5 ~ +20 目以岩屑为主的样品, 与岩石测量所采介质大致相近, 保证测试分析获取的各种化学元素信息基本与岩石测量成果相一致。

Hoffmann<sup>[1]</sup>提出, 由于大陆地壳是原始地幔部

分熔融产生的,大陆地壳的元素丰度经原始地幔标准化后的值,可以定量衡量元素相容性大小,并据此得出了37种指标的相容性顺序<sup>[4]</sup>。鉴于上述认识,分别将华北陆块沉积盖层的元素丰度<sup>[5]</sup>和内蒙古表生环境中表生介质化学元素平均含量进行华北陆块总地壳<sup>[5]</sup>标准化,按元素相容性的大小顺序排列,作出曲线图(图1),前者代表原生环境中元素相容性特征,后者代表次生环境中元素相容性特征。



1— $w(\text{华北陆块沉积盖层元素})/w(\text{华北陆块总地壳元素})$ ; 2— $w(\text{内蒙古地壳表生环境元素})/w(\text{华北陆块总地壳元素})$ ; 3— $w(\text{内蒙古地壳表生环境元素})/w(\text{华北陆块下地壳元素})$ 。其中, U、Rb、Th、Li、 $\text{K}_2\text{O}$ 、Be、Nb、Pb、Zr、Ba、Hg、La、Y、Sr、V、Co、Ni、Cr 是 1: 20 万区域地球化学调查中包含的元素。

图1 内蒙古地壳表生环境和华北陆块沉积盖层化学指标标准化曲线

由图1可见,原生环境和次生环境元素相容性蛛网图的曲线形态大致相同,均表现出强不相容元素 U、Th、Be、Hg、Li、Pb、Zr、La 明显富集,相容元素 V、Co、Ni、Cr 等相对亏损。元素相容性显示出 U—Th—Be—Hg—Li—Pb—Zr—La—Nb—Ba—K—Y—Sr—V—Co—Ni—Cr 等由小到大的规律,只是次生环境中多数不相容元素相对富集,如 U、Rb、Th、 $\text{K}_2\text{O}$ 、Be、Pb、Hg 等,相容元素相对亏损,如 Co、Ni、Cr,表明内蒙古地壳表生环境的化学元素组成总体上能够反映地壳原生环境的化学元素组成。因此,在普查找矿时,讨论内蒙古地壳横向空间上化学元素分布的不均一性等地质问题,可采用 1: 20 万区域地球化学扫面取得的 39 个化学指标的测试结果。

内蒙古地壳表生环境中 U、Th、Rb、Be 等含量相对于华北陆块下地壳富集了 3 倍左右, Li、Hg、Pb、Zr、La、 $\text{K}_2\text{O}$  富集了 1.7~2.5 倍,同时 V、Co、Ni、Cr 等含量相对于华北陆块下地壳亏损了 0.2~0.3 倍,强相容元素与强不相容元素之间的分异程度达到了 15 倍左右。3 条曲线形态起伏基本一致,但内蒙古地壳表生环境中的化学元素标准化曲线,更明显地

反映了强相容元素和强不相容元素之间的分异程度,在表生环境条件下强不相容元素富集更突出,强相容元素亏损更明显。

2 1: 20 万区域化探数据质量评述及处理

编制内蒙古全区地球化学图件时,发现 39 种化学指标中的部分元素,在 1: 20 万图幅与周围图幅之间,或者 1: 20 万图幅内存在系统误差,数据间出现了明显的台阶,其原因为:①不同工作年度间,不同的测试单位,造成不同年度图幅的差异,这是系统误差的主要来源;②同一年度,不同分析批次间存在误差,特别是 Au、Hg、Ag、Sn 等误差较明显;③同一项目有多个单位参与,野外工作方法不统一,元素的测试方法也不一致,造成测试成果有差异,使系统误差更加明显。为此,笔者进行了数据处理,方法如下。

2.1 离散数据网格化

通过试验认为,本次研究采用网格间距  $4\text{ km} \times 4\text{ km}$ ,搜索半径 10 km,计算模型为指数加权的网格化方法,既可以在一定程度上减小误差,又不丢失异常本身的细节变化。

2.2 系统误差调平处理

在 GeoIPAS 地学信息处理研究应用系统下,采用网格化数据进行系统误差动态调平,将具有明显系统误差的 1: 20 万图幅乘以或加上某个系数,使其与周围图幅的异常在同一个水平,并分别保存每个元素的调平文件。利用每个元素的调平文件,将全区数据进行调平处理,计算出调平后的数据。

2.3 元素组成平面图的编制

利用 GeoEXPL 多元地学空间数据管理与分析系统,编制全区单元素(氧化物)及元素比值平面图,采用累积频率( $f$ )法成图,分级标准为: $f < 1.5\%$  为极低值区,  $1.5\% \leq f < 15\%$  为低值区,  $15\% \leq f < 25\%$  为低背景区,  $25\% \leq f < 75\%$  为背景区,  $75\% \leq f < 85\%$  为高背景区,  $85\% \leq f < 95\%$  为异常区,  $95\% \leq f \leq 98.5\%$  为强异常区,  $f > 98.5\%$  为高强异常区。

2.4 区域化探资料整理说明

以 1: 20 万区域化探扫面的 39 种化学指标数据为基础,采用 GeoEXPL 多元地学空间数据管理与分析系统编制全区的地球化学图,包括 Ag、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、As、Au、B、Ba、Be、Bi、CaO、Cd、Co、Cr、Cu、F、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、Hg、 $\text{K}_2\text{O}$ 、La、Li、MgO、Mn、Mo、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、Nb、Ni、P、Pb、Sb、 $\text{SiO}_2$ 、Sr、Sn、Th、Ti、U、V、W、Y、Zn、Zr。

此外,还编制了  $\ln(w_{\text{Cr}} \times w_{\text{Ni}} \times w_{\text{Co}})$ 、 $w_{\text{Ni}}/w_{\text{Co}}$ 、 $w_{\text{Ba}}/w_{\text{Sr}}$ 、 $w_{\text{Ba}}/w_{\text{La}}$ 、 $w_{\text{Nb}}/w_{\text{La}}$ 、 $w_{\text{Th}}/w_{\text{La}}$  等地球化学图件。

3 地质—地球化学分区

在  $\ln(w_{Cr} \times w_{Ni} \times w_{Co})$  平面图上有几处特高值区,如红格尔北和锡林浩特附近的第四系更新统玄

武岩分布区、丰镇北和翁牛特旗东新近系汉诺坝组玄武岩分布区、阿荣旗下白垩统金家窑子组玄武岩分布区及准索伦超基性岩分布区(图 2)。这是由于壳幔物质不断发生交换和相互作用,使地

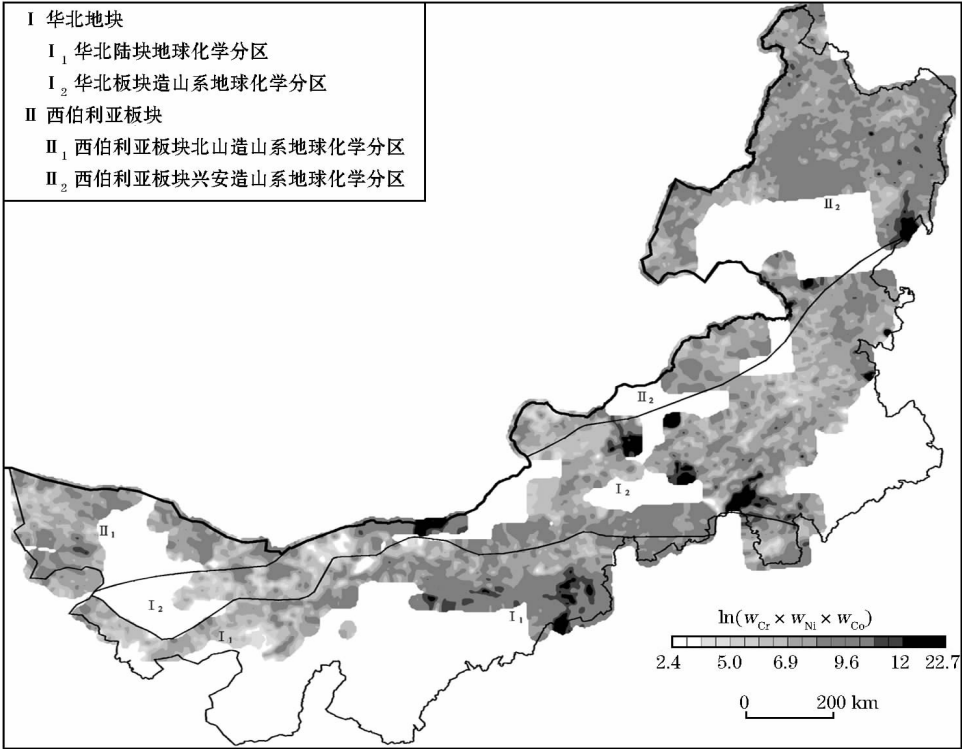


图 2 内蒙古  $\ln(w_{Cr} \times w_{Ni} \times w_{Co})$  平面示意

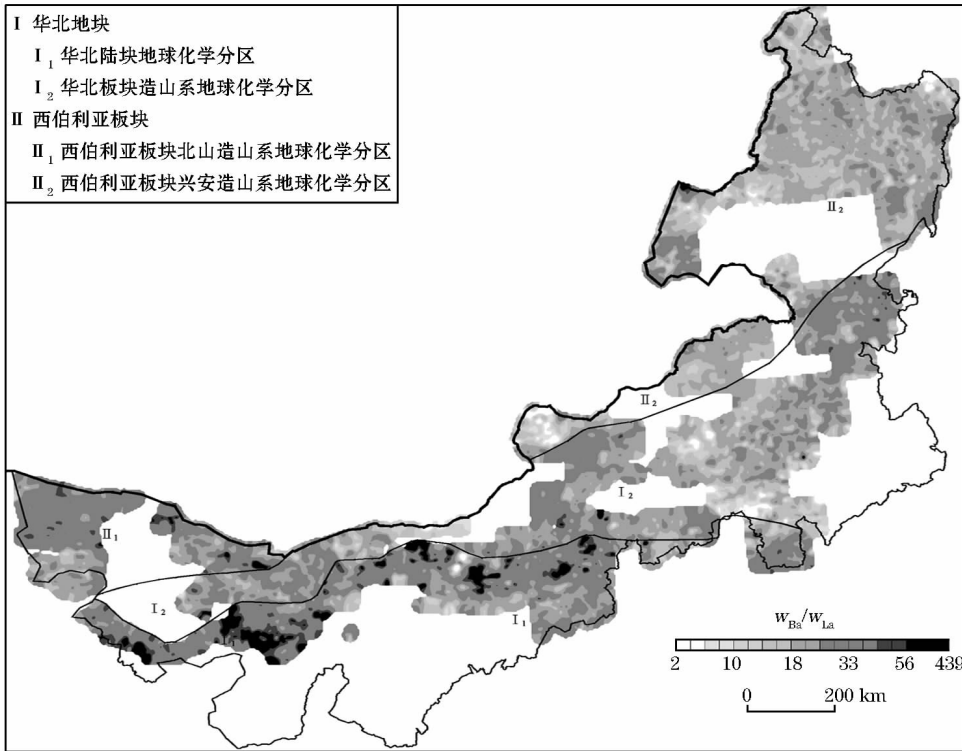


图 3 内蒙古  $w_{Ba}/w_{La}$  平面示意



和其他有色金属矿的有效指示元素组合。同时应注意下白垩统苏红图组中稀有、稀土元素异常,是否具有寻找稀有、稀土元素矿的意义。

朱拉扎嘎 Au、Cu(Pt)、Pb、Zn 成矿预测区(5):化探异常元素组合有 Cu-Au-Mo-Zn(Pt)、Cu-Au-Bi、Au-Sn、Au-Ag 等,是寻找层控型金矿和含铁建造型金矿、岩浆型铜镍(铂)矿的成矿预测区。

霍各乞—甲生盘 Cu、Pb、Zn、Au(Pt) 成矿预测区(6):化探异常元素组合为 Cu-Zn-Pb-Au(Pt)、Pb-Ag-Zn(Au)等,是寻找层控型铜铁多金属矿、铜多金属(金铂)矿和多金属硫铁矿的成矿预测区。

老羊壕—三合明 Au、(Fe) 成矿预测区(7):化探异常元素组合为 Au-Cu、Au-Pb-Ag-Bi、Au-W-Pb 等,是寻找含铁建造型和绿岩建造型金矿以及岩浆热液型金铜矿、金钨矿的成矿预测区。

乌拉山—大青山 Au、Ag、Mo(Cu、Fe) 成矿预测区(8):化探异常元素组合有 Au-Cu-Zn 和铁族元素异常(与绿岩有关的异常),Au-Pb-Bi-Ag-As 异常(与花岗岩有关的异常),Au-As-Sb(与硅质岩有关的异常)。本区是寻找多种类型金矿的成矿预测区,也是寻找与老变质岩系中基性火山岩有关的铜金矿的预测区,尤其要注意在二道洼群中寻找这类铜金矿。在乌拉山华力西期花岗岩与乌拉山群北接触带上发现沙德盖中型钼矿,因此要重视在华力西期花岗岩及其接触带上寻找钼矿。

凉城—丰镇 Au、Ag、Pb、Zn 成矿预测区(9个):化探综合异常由3个块体(异常)组成,异常元素组合有单 Au 及 Au-Ag-Pb-Zn 等,是寻找石英脉型金矿和热液型金银铅锌矿的成矿预测区。

白云鄂博—商都 Au(Pt)、Cu、Nb、REE(Fe) 成矿预测区(10):化探异常元素组合为 Pb-Au、Au-Pb-Ag-As、Nb-La 等,是寻找石英脉型金矿、层控型金银矿和铈稀土矿的成矿预测区。

太仆寺旗—多伦 Sn、Ag、Pb、U 成矿预测区(12):化探异常元素组合有 Ag-Pb-Zn、Au-Sn-Ag、Sn-Pb-U 等,是寻找次火山岩型和热液型银锡多金属矿、银金铀矿的成矿远景区。

红花沟—金厂沟梁 Au、Mo、(Fe) 成矿预测区(15):化探异常元素组合有 Au-Cu、Au-Ag-Pb-W、Au-Ag-Cu-Pb 等,是寻找石英脉型、蚀变岩型和火山岩型金矿的成矿预测区。

## 4.2 华北板块造山系地球化学分区

白乃庙—别鲁乌图 Cu、Au、Mo 成矿预测区(11):化探异常元素组合有 Au、Cu-Au-Mo-Ag、Au-Cu-Pb-Zn-Ag 等,是寻找斑岩型、次火山岩型和热液

型铜金钼矿、金矿的成矿预测区。

红格尔—锡林浩特 Cu、Au(Fe) 成矿预测区(13):化探异常元素组合有 Cu-Au-Zn-Ag、Cu-Au、Sn-Ag 等,是寻找火山岩型铜矿、铁矿和热液型铜金矿的成矿预测区。

翁牛特旗 Pb、Zn、Ag、Mo、U 成矿预测区(16):区化探异常元素组合有 Mo-U、Pb-Zn-Ag-Mo 等,是寻找斑岩型和热液型铅锌银矿、钼铀矿的成矿预测区。

黄岗梁—白音诺—大石寨 Sn、(Fe)、Pb、Zn、Cu、Bi、Au、W、U 成矿预测区(17):化探异常元素组合有 Sn-Ag-Pb-Zn-Bi-W、Ag-Pb-Zn-Cu-Cu-Zn-Ag、Pb-Zn-Sn-W-U 等,是寻找矽卡岩型、斑岩型、火山岩型和热液型铁锡矿、铜多金属矿、铜金矿、铅锌矿和铀矿的成矿预测区。该区面积 6 万余 km<sup>2</sup>,元素异常强度高,异常浓集中心明显,元素组合好,成矿地质条件好,是寻找有色金属矿、银矿和铀矿等矿产资源重要的成矿预测区,尤其在黄岗—甘珠尔庙一带,推测岩浆房周边地区找矿前景更好,在已知矿的周边和深部均有进一步找矿的前景。

西乌旗—花敖包特 Sn、Cu、Ag 多金属矿和铀矿成矿预测区(18):化探异常元素组合有 Sn-Cu-Ag-Zn、Ag-Pb-Zn、Cu-W-Bi、Au-Zn-Bi-U 等,是寻找火山岩型和热液型铜锡矿、银多金属矿、铜矿和铀矿的成矿预测区。

## 4.3 西伯利亚板块北山造山系地球化学分区

甜水井—珠斯楞 Cu、Mo、Au(Ni) 成矿预测区(1):化探异常元素组合为 Cu-Au-Bi、Cu-Mo-Au、Cu-Zn-Au-Ag(Ni)等,是寻找斑岩型(次火山岩型)、矽卡岩型铜钼金矿、铜金矿、铜锌金银矿和岩浆岩型铜镍矿的成矿预测区。

黑鹰山—下勒淘来 Au 成矿预测区(2):化探异常元素组合为 W-Mo-Au 或单 Au,是寻找构造蚀变岩型金矿、热液型钨、钼、金矿和火山岩型铁矿的成矿预测区。

红柳大泉—老硐沟 Au、Sb、W、Cu 成矿预测区(3):化探异常元素组合为 Cu-Au、Cu-Zn、W-Mo-Bi-Au-Sb-As 等,是寻找蚀变岩型、矽卡岩型铜金矿和锑矿、钨金锑砷矿和钨钼矿的成矿预测区。

## 4.4 西伯利亚板块兴蒙造山系地球化学分区

达来庙—东乌旗 Cu、Ag、Mo、W、多金属矿和铀矿成矿预测区(14):化探异常元素组合有 Cu-Ag-Au-Mo-Zn、Cu-Ag-Pb-Zn、W-Cu、Zn-Bi-As、U-Mo 及稀有、稀土元素,是寻找斑岩型、热液型和矽卡岩型钼锡矿、铜银金锡矿、银铜矿以及砂岩型铀矿的成矿预

测区。

额仁陶勒盖—满州里 Pb、Zn、Ag、Cu、Mo 成矿预测区(19):化探异常元素组合有 Pb-Zn-Ag、Ag-Mn、Cu-Mo-Pb-Ag 等,是寻找斑岩型和火山岩型铜钼矿、银多金属矿和银矿的成矿预测区。

八大关—莫尔道嘎 Au、Pb、Zn、Ag、Cu、Mo 成矿预测区(20):化探异常元素组合有 Au-W、Pb-Zn-Ag、Au-Cu-Zn、Cu-Mo-Bi-W-Ag 等,是寻找斑岩型和火山岩型铜钼矿、银多金属矿的成矿预测区。

根河—乌尔旗汗 Mo、U、Ag 成矿预测区(21):化探异常元素组合有 Pb-Zn-Ag、Mo-Ag-U-Bi、Zn-Ag-Au 等,是寻找钼(铜)矿、银多金属矿和铀矿的成矿预测区。

鄂伦春—巴林 Cu、Au、Ag、Zn、Pb 成矿预测区(22):化探异常元素组合有 Cu-Au-Ag-W、Au-Ag-Zn、Pb-Zn-Ag-Mo 等,是寻找斑岩型、次火山岩型、热液型铜金矿、银多金属矿成矿预测区。

## 5 结论

(1)不相容元素和相容元素的标准化对比后发现,1:20 万区域化探资料基本上能客观地反映原生环境中多种地质信息,为基础地质、地球化学研究,尤其是地质普查找矿提供有价值的信息资料。

(2)1:20 万区域化探元素测试数据存在系统

误差,在 GeoIPAS 地学信息处理研究应用系统下,采用 4 km×4 km 网格化数据进行系统误差动态调平,使全区区域化探数据调平在同一个平台上,保证了全区地球化学图及其异常图的质量。

(3)利用相容元素  $\ln(w_{Cr} \times w_{Ni} \times w_{Co})$  和不相容元素对  $w_{Ba}/w_{La}$  试作了地球化学分区图,划分了华北板块和西伯利亚板块构造单元,并分别划分了 2 个二级构造单元,其成果可供基础地质研究参考。

(4)依据全区元素的分散、富集特征,共划分了 22 个成矿预测区,为地质普查找矿靶区的筛选提供了重要的找矿信息,也为区域成矿规律研究提供了有价值的地球化学参考资料。

## 参考文献:

- [1] Hofmann W. Chemical differentiation of the earth: The relationship between mantle, continental crust, and oceanic crust[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1988(90):297-314.
- [2] 冷福荣,黄增芳,王忠. 内蒙古 1:20 万区域地球化学调查方法技术综述[R]. 内蒙古自治区地质调查院,2004.
- [3] 尤关进,何进忠. 半干旱草原景观区鹿儿坝金矿的勘查地球化学特征[J]. 物探与化探, 2010, 34(3):298-302.
- [4] 路凤香,张本仁,韩吟文,等. 秦岭—大别—苏鲁地区岩石圈三维化学结构特征[M]. 北京:地质出版社,2006.
- [5] 迟清华,鄯明才. 应用地球化学元素丰度数据手册[M]. 北京:地质出版社,2007.

# GEOLOGICAL-GEOCHEMICAL DIVISION AND GEOCHEMICAL METALLOGENIC PROGNOSIS IN INNER MONGOLIA

LAN Qiang<sup>1</sup>, ZHAO Yuan-hao<sup>1</sup>, LENG Fu-rong<sup>2</sup>

(1. No. 1 Institute of Hydrology and Engineering Geological Prospecting of Inner Mongolia, Hohhot 010020, China; 2. Geological Survey Institute of Inner Mongolia, Hohhot 010020, China)

**Abstract:** A compatibility test of the chemical elements in the surface environment of Inner Mongolia has revealed that the 1:200 000 regional geochemical survey can provide all kinds of geological information in the primary environment, especially the reconnaissance and prospecting information. The geochemical data quality can be ensured through data leveling processing for eliminating the major systematic errors in the test results of regional geochemical elements. Information provided by maps, such as the maps of  $\ln(w_{Cr} \times w_{Ni} \times w_{Co})$ , can be used to make geochemical divisions and also serve as valuable reference for basic geological study. Based on the regional geochemical map, the authors delineated geochemical metallogenic areas of chemical elements in Inner Mongolia, which could provide important information for geochemical metallogenic prognosis.

**Key words:** geochemical exploration; surface environment and primary environment; element compatibility; data leveling processing; geochemical metallogenic prognosis

作者简介: 兰强(1963-),男,工商管理硕士研究生,地质高级工程师,现任内蒙古第一水文地质工程地质勘察院院长。