

doi:10.3799/dqkx.2011.075

辽东地区硼找矿概率—地球化学块体资源评价

周永恒, 张璟, 徐山, 李守义*

吉林大学地球科学学院, 吉林长春 130061

摘要: 利用地球化学块体理论进行矿产资源评价的资源量预测工作中, 大多是基于地球化学数据本身, 虽考虑了除成矿物质源之外的如地层、构造等地质背景因素的影响, 但仅限于定性阶段, 多用于地球化学块体含矿性的分析及远景区的分级。在充分研究地质背景因素的基础上, 认为如地层、构造等富集因素与成矿物质基础是矿床形成的2个必要条件, 因此, 在资源量计算的工作中, 还应考虑富集因素的影响, 据此建立了找矿概率—地球化学块体法, 并将其应用于辽东硼资源量的定量评价中。结果表明, 辽东地区硼矿资源潜力较大并符合客观实际。

关键词: 地球化学块体; 含矿性评价; 矿产资源; 硼矿床。

中图分类号: P628.1

文章编号: 1000-2383(2011)04-0747-08

收稿日期: 2010-10-11

The Resource Evaluation to Boron Element in Eastern Liaoning by the Method of Ore Prospecting Probability-Geochemical Block

ZHOU Yong-heng, ZHANG Jing, XU Shan, LI Shou-yi*

College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China

Abstract: At present, researchers use the geochemical block theory to predict amount of mineral resources based on the geochemical data. Although they take the influences of formation and structure besides the ore material source into account, the application remains in qualitative stage, such as the analysis of the ore potentiality of geochemical block and the classification to prospective area. On the foundation of geological background researches we come to the conclusion that the enrichment factors, namely formation and structure are two necessary conditions for the ore-forming material base. So in the course of calculation of resource extent, we should take their influences into consideration. Finally, we set up the ore prospecting probability-geochemical block ore prospecting method, and use it to quantitatively assess the amount of boron ore in eastern Liaoning. Results show that the eastern Liaoning is of great potential in boron ore, which accords with the facts.

Key words: geochemical block; assessment of ore potentiality; mineral resources; boron deposit.

0 引言

地球化学块体理论是1995年由谢学锦院士提出的新的矿产勘查与资源评价思想, 其含义为, 具有某种或某些元素高含量的大岩块, 能够为矿床的形成提供物源(Deo, 1991), 通过地球化学块体分析矿床形成的物质来源及其浓集轨迹, 确定矿床的聚集地点(远景区), 并对地球化学块体内的潜在资源量进行预测。

众所周知, 矿床的形成应当具备2个必要条件: 一个是物质条件, 即矿床的形成应当具有充分的物质来源(翟裕生, 2003); 另一个是富集条件, 是指在具备物质条件的基础上, 经过一定的活化、分异等富集过程达到或超过边界品位才能成矿(姜德波等, 2010)。目前, 在应用地球化学块体理论进行矿产资源评价工作中, 满足物质条件这一要求, 但对于富集条件, 虽考虑了成矿物质来源之外的诸如构造、地层的地质环境的影响, 但仅限于定性阶段, 多用于块体含矿性的分析及远景区的分级等。基于以上考虑, 笔

基金项目: 中国地质调查局项目(No. 1212010881611)。

作者简介: 周永恒(1980—), 男, 博士研究生, 主要从事成矿规律与成矿预测研究。E-mail: nweiwei2003@yahoo.com.cn.

* **通讯作者:** 李守义, E-mail: Lishouyi126@126.com

者提出了找矿概率—地球化学块体资源评价法,它在一定程度上反映了矿床的形成机制,并定量的分析富集条件对地球化学块体内的潜在资源量的影响. 本文以辽东硼矿资源预测为例,探讨找矿概率—地球化学块体法的原理与应用.

1 辽东硼成矿带区域地质背景

1.1 地层

区内出露的地层主要为辽河群地层. 其中,里尔峪组自辽东至吉南呈东西向分布于辽吉裂谷内,其底部发育有条痕状花岗岩,高家峪组和大石桥组,盖县组广泛发育于辽吉裂谷区内,以分布广、厚度大为特征. 吕梁运动致使辽吉裂谷闭合,使辽河群地层发生褶皱,岩石普遍遭受绿片岩相—角闪岩相的区域变质作用(贺高品和叶慧文,1998)和强烈的混合岩化(张秋生,1988)作用. 区内硼矿严格受里尔峪组地层控制.

1.2 构造

辽东硼成矿带位于中朝板块华北古陆之辽东古元古代裂谷内(王翠芝等,2008a,2008b). 区内具有独特的构造发育演化特征. 吕梁期,裂谷发生强烈的褶皱和抬升,形成了以东西向紧密线型褶皱构造为主的构造形迹,由北向南依次为英落—草河口—太平哨复向斜、虎皮峪—唐碧山—老红顶—红石砬子复背斜、盖县—古楼子复向斜(王慧媛和彭晓蕾,2008)(图 1). 硼矿主要分布在虎皮峪—红石砬子复

背斜构造区,复背斜构造区的次级背(向)斜构造控制着硼矿体的分布. 中生代以来,亚洲大陆板块在西太平洋板块的俯冲作用下,裂谷进入活化期,产生以 NE 向断裂为主的构造活动,切割了辽河群地层,代表性的断裂有太平哨断裂、鸭绿江断裂等,同时伴随着中酸性火山岩和花岗岩的侵入. 虎皮峪—红石砬子复背斜构造区被元古代及燕山期花岗岩分割成 4 个主要地段,分别为虎皮峪—哈达碑复式背斜区、五道岭子—砖庙—杨木杆子—永甸隆褶带、翁泉沟、弟兄山—教家隆褶带和大房身—黑沟岭—鸡冠山复式背斜区. 区内褶皱构造对地层的展布、分布及硼矿具有间接或直接的控制作用.

1.3 岩浆岩

区内岩浆活动强烈,岩石类型复杂,岩浆活动明显受断裂构造控制. 元古代岩浆岩大多呈东西向展布且普遍遭受区域变质,规模小,数量多. 中生代早期岩浆岩侵入作用强烈,岩体广泛发育且规模大,多为斑状二长花岗岩. 中生代晚期侵入岩以花岗岩类岩体为主,次为闪长岩,多呈北东向展布. 其中,硼矿与古元古代的条痕状花岗岩的关系最为密切(夏学惠等,2006),目前已发现的 100 余处硼矿,距离古元古代的条痕状花岗岩均不超过 200 m.

2 辽东硼成矿带地球化学特征

2.1 岩石硼元素含量特征及地球化学块体物源确定

岩石元素丰度可以揭示水系沉积物地球化学块体形成的原因及主要物质来源,为地球化学块体的划分和推断解释提供更合理的依据(迟清华,2003). 通过前人的研究发现:在地壳中硼元素的克拉克值为 13×10^{-6} ,辽东裂谷中硼元素岩石元素丰度为 68.98×10^{-6} ,辽东裂谷中下元古界硼元素岩石元素丰度为 288.19×10^{-6} ,其中里尔峪组硼元素岩石元素丰度为 $2\,873 \times 10^{-6}$,这表明硼元素在辽东裂谷里尔峪组强烈富集,其富集系数高达到 221 倍(张秋生,1988). 通过分析里尔峪组各岩层硼元素含量(表 1),可以看出主要的含硼岩石层位也是含矿层位其硼含量均高达 $1\,000 \times 10^{-6}$ 以上. 由此可知,里尔峪组不仅是区内硼矿床的物源层和赋矿层位,同时也是形成区内硼地球化学块体的主要物质来源.

另外,区内燕山期中酸性岩硼含量为 7.720×10^{-6} ,条痕状花岗岩的硼含量为 $1\,049 \times 10^{-6}$,可见条痕状花岗岩也是区内地球化学块体形成的原因及物质来源之一.

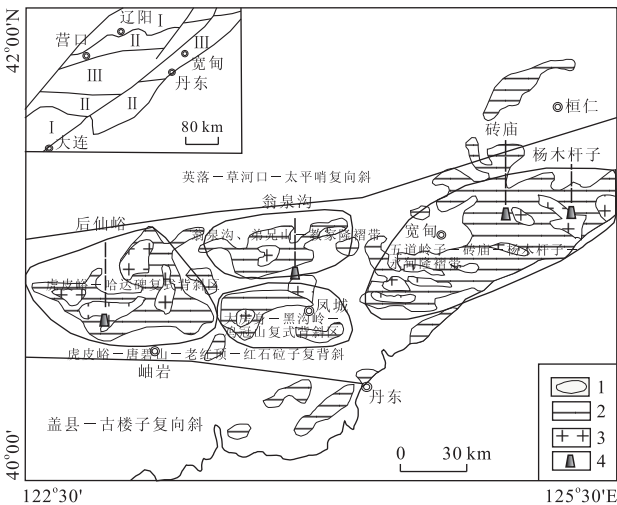


图 1 辽东地区区域地质略图

Fig. 1 Geological sketch map in eastern Liaoning
I. 太古宙陆核; II. 裂谷斜坡区; III. 裂谷中央凹陷区; 1. 构造区带范围; 2. 早元古代里尔峪组; 3. 条痕状花岗岩 4. 主要硼矿床

表 1 含硼岩系硼元素含量及富集系数

Table 1 Composition and concentration coefficients of boron element in boron-bearing rocks

岩石名称	硼矿层位	硼含量(10^{-6})	富集系数
斜长角闪岩	含矿层	843	84.3
黑云变粒岩		507	50.7
浅粒岩		1 769	176.9
电气变粒岩		5 065	506.5
条痕状花岗岩		1 049	104.9

注:辽东裂谷含硼岩系硼元素含量由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所分析. 硼富集系数=里尔峪组各岩层中硼含量/华北地台地壳硼元素丰度(10×10^{-6} ;迟清华,2003).

2.2 区域硼元素地球化学特征

辽吉裂谷的硼元素地球化学场呈 EW 向高低相间的规律性分布,结合区域地质背景分析可明显发现,硼元素高背景区与虎皮峪—红石砬子复背斜构造区的 4 个次级构造区相对应,而硼元素低背景区则与分割 4 个次级构造区的吕梁期及燕山期花岗岩分布区大致吻合.

3 辽东硼矿矿床特征及找矿标志

辽东地区硼矿床均为沉积变质型硼矿床,硼矿床赋存于古元古代里尔峪组的一套含硼变粒岩系中. 根据矿石矿物特征可将本区硼矿床分为 3 类:一为硼镁石—透闪石型硼矿床,代表矿床为后仙峪;二为磁铁矿—硼镁石型硼矿床,代表矿床为高台沟;三为硼镁铁矿硼矿床,代表矿床为翁泉沟.

3.1 辽东地区硼矿矿床特征

辽东地区的硼矿严格受下元古界辽河群里尔峪组控制,硼矿赋存于里尔峪组一段变粒岩的镁质碳酸盐岩夹层中,通过区域矿床的统计分析发现,含矿岩层的厚度在一定程度上决定了硼矿的存在及规模. 硼矿层在遭受区域变质的同时,发生强烈褶皱变形和变质热液的交代作用. 从已知的硼矿体赋存部位看,大多数矿体位于褶皱变形的转折端及其两翼,特别是背斜构造的核部. 硼矿床呈层状、似层状顺层产出,存在分支、复合现象.

硼矿与古元古代的条痕状花岗岩的关系最为密切,辽东地区的条痕状花岗岩位于含矿地层的底部,为变质成矿作用提供热源,目前已知的硼矿床距离条痕状花岗岩均不超过 200 m. 辽东硼矿床的矿石结构主要为变晶结构和交代结构,矿石构造以条带状构造、块状构造和斑杂状构造为主. 围岩蚀变主要为蛇纹石化、金云母化、透闪石化和电气石化. 其中

蛇纹石化与硼矿的关系最为密切.

3.2 辽东地区硼矿找矿标志

辽东地区的硼矿均不同程度地含有硼镁铁矿、磁铁矿,这就为磁法找矿提供了有利条件,一般在一定磁场背景条件下的低缓异常或在中等强磁场的一侧或两侧的弱磁异常中可能赋存硼矿.

辽河群各岩组的密度较低,而里尔峪组密度较高,因此可以利用重力作为间接找矿标志. 辽东的大中型硼矿均位于东西向大型重力高的线性梯度带上,这与里尔峪组的分布一致,成矿有利部位多与东西向、北东向断裂有关,重力表现为在重力梯级带扭曲和舌状突出处.

通过区内硼矿床与硼元素异常对比分析发现,区内大中型硼矿均对应硼元素异常,且硼异常大小、峰值大小与矿床规模呈正比. 硼矿以赋存于镁质碳酸盐岩中为特征,因此在次生晕中的钙/镁比可以作为硼矿的指示标志. 经统计分析, $\text{CaO}/\text{MgO}<0.5$,基本控制了区内大部分硼矿床,因此 $\text{CaO}/\text{MgO}<0.5$ 可以作为辽东地区找寻硼矿的指示标志.

4 找矿概率—地球化学块体资源评价工作方法

4.1 地球化学块体资源评价工作方法

依据谢学锦院士提出的“地球化学块体成矿理论模式谱系”,对研究区内的 1:20 万区域化探硼原始数据进行处理,利用 $4\text{ km}\times4\text{ km}$ 窗口数据进行地球化学块体圈定和内部结构剖分,开展辽东地区硼地球化学块体的系统研究工作.

通过分析,辽东地区硼地球化学块体下限确定为 57×10^{-6} ,选取的是元素分布直方图中累积频率在 85%处的数值,大致等于平均值加 1.5 倍标准差(刘大文等,2002). 为了更清楚地追踪辽东地区硼地球化学块体的浓集特征,结合辽宁省硼元素的分布特征,以 80×10^{-6} 、 119×10^{-6} 、 170×10^{-6} 、 243×10^{-6} 、 330×10^{-6} 为分级标准,顺次制定为 1、2、3、4、5、6 级子块体并逐级进行内部结构剖分.

依据谢学锦(1995)地球化学理论,可将区内面积大于 $1\,000\text{ km}^2$ 的硼地球化学区域定义为硼地球化学块体,面积小于 $1\,000\text{ km}^2$ 而大于 100 km^2 的硼地球化学区域定义为硼地球化学异常. 区内可划分硼地球化学块体 3 个、硼地球化学异常 2 个,其中地球化学块体用 I、II、III 表示,地球化学异常用 1、2

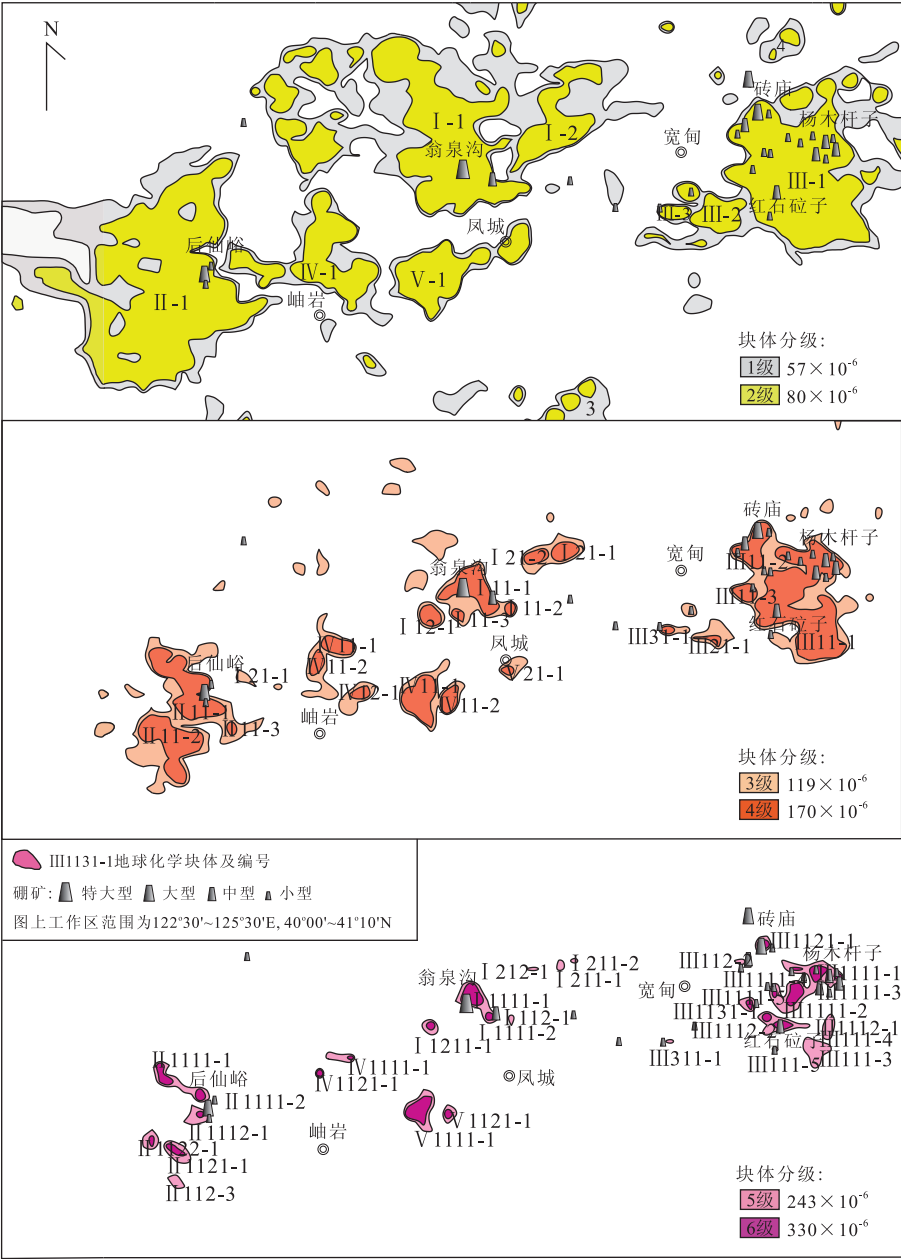


图 2 辽东裂谷硼元素地球化学块体地球化学结构套合

Fig. 2 The internal structure of boron geochemical block in in eastern Liaoning

来编写. 如图 2 所示. 为追索区内硼地球化学块体浓集的趋势, 依据前人的编码系统(刘大文等, 2002), 对各级块体进行编码. 例如砖庙矿区位于编号为Ⅲ 1121-1 的子块体上, 从图 2 看出, 它是由Ⅲ、Ⅲ-1、Ⅲ 1-1、Ⅲ 11-2、Ⅲ 112-1、Ⅲ 1121-1 共 6 级子块体逐步浓集而成的.

通过建立地球化学谱系图, 研究地球化学块体的内部结构, 追索块体内元素浓集的趋势, 追踪特定子块体, 分析其物质来源和块体的成矿率.

成矿率的确定一般选择区内研究程度最高的块

体或区域异常, 假定该区内的所有矿产都已勘探, 那么这种矿产的已有探明储量与区块金属供应量之比即为该重金属的成矿率. 对于筛选出的有远景的靶区, 可利用成矿率(M_c)来大致定量计算预测靶区内的远景储量. 计算模型如下:

$$M_c = R/T,$$

其中: R 为子块体中已探明的硼矿储量, T 为该子块体内总的硼元素供应量. 区域内块体或子块体的硼元素供应量用如下公式计算:

$$T = S \times L \times \rho \times C_{bt},$$

式中: S 为地球化学块体面积; ρ 为区内岩石的密度(本文采用 $2.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$); C_{bt} 为区域内块体或子块体内的硼元素含量均值; L 为区内矿床的勘探深度. 本文采用 1 000 m 厚度来计算地球化学块体的硼供应量(区内部分硼矿床勘探深度已近千米).

4.2 找矿概率—地球化学块体资源评价工作方法

如前所述,应用地球化学块体法获得的资源量仅仅考虑了物质条件,从物源的角度估计的资源量,只是基于地球化学数据本身而进行的,较少考虑成矿物质来源之外的诸如构造、地层等地质背景环境的影响. 实际上,资源量的估算不仅取决于物质条件还取决于富集条件,通过对每个远景区的富集条件进行具体分析、量化,确定富集程度,对每个远景区应用地球化学法获得的资源量进行修正,这样在相当大的程度上提高了预测结果的可信度,得到相对符合实际的资源量. 本次采用找矿概率—地球化学块体法进行资源量估算,是在原有的地球化学块体成矿率的基础上,通过一个基于成矿富集条件分析得到的找矿概率进行修正,在找矿概率的计算中,将控矿因素和找矿标志都作为富集因素考虑进来,是因为控矿因素本身就是成矿的富集因素. 本次采用特征分析的找矿概率作为找矿概率—地球化学块体法的找矿概率.

找矿概率—地球化学块体法资源量估算的公式如下:

$$T = \alpha \times S \times L \times \rho \times C_{bt},$$

式中 α 为找矿概率; S 为地球化学块体面积; ρ 为区内岩石的密度; C_{bt} 为区域内块体或子块体内的硼元素含量均值; L 为区内矿床的勘探深度.

根据辽东硼矿资源现状,通过特征分析方法确定找矿概率 α ,其原理如下:通过对工作区内的各个模型区按照选取的富集因素构置变量表,其中令 X_{ij} 为第 j 个模型区第 i 个变量(富集因素)值. 对上述变量表使用乘积矩阵矢量长度法求得 a_i , a_i 是变量 x_i 的权重. 令:

$$Y_j = a_1x_{1j} + a_2x_{2j} + \cdots + a_nx_{nj},$$

则 Y_j 为第 j 个模型区的成矿关联度,将其推广到预测区,得到各个预测区的成矿关联度 Y_j ,其含义为各预测区成矿富集条件的好坏. 由于 Y_j 的数值变化较大,为便于应用,需要将其变换到 $[0,1]$ 之间,即找矿概率. 本文通过构置函数(令 Y 值最大时 α 为 1, Y 值最小时 α 为 0,解得 a 、 b):

$$\alpha_j = a + b \times Y_j,$$

进行成矿关联度与找矿概率的转换.

5 辽东地区硼地球化学块体特征

辽东地区所含硼地球化学块体(图 2)共有 3 个,其编号为:Ⅰ号、Ⅱ号、Ⅲ号. 现对 3 个硼地球化学块体分别论述如下:

Ⅰ号地球化学块体. Ⅰ号地球化学块体位于翁泉沟—弟兄山—教家隆褶带,块体呈 EW 向分布,Ⅰ号地球化学块体是区内最大的地球化学块体,块体面积达 3 846. 13 km²,具有 6 层块体结构,通过分析该块体结构及硼元素的浓集特征,得出块体的浓集中心主要为翁泉沟大型浓集中心及若干离散的小浓集中心. 块体内已知的矿床主要有翁泉沟特大型硼矿、弟兄山—四门子中型矿和 3 处矿化点.

块体内广泛出露元古代辽河群地层,块体北部见有新太古代齐大山片麻杂岩、白垩系小岭组火山岩等地层. 古元古代条痕状花岗岩呈 EW 走向分布于块体南部,燕山期花岗岩呈 NE 向从块体东部边缘通过.

该块体的形成与区内含硼岩系、硼矿的分布和条痕状花岗岩有密切关系. 区内断裂构造多为 NW 向及 NE 向小断裂.

Ⅱ号地球化学块体. Ⅱ号地球化学块体位于虎皮峪—哈达碑复式背斜区,呈 NW 走向的不规则状,面积为 3 176. 53 km²,具有 6 层套合结构,且硼元素浓集中心明显,具有 5 个浓集中心. 该地球化学块体已知有后仙峪大型矿床 1 处,冯家堡子、张虎沟小型矿床 2 处及若干矿点,位于虎皮峪—哈达碑复式背斜南翼的次级背斜构造中.

该地球化学块体内广泛出露下元古界辽河群地层,其中硼矿的主要矿源层是里尔峪组,吕梁运动的东西向褶皱作用,产生了混合岩化作用和区域变质,矿源层的硼使进一步活化,所形成的含矿热液于塑变条件下,在褶皱构造的有利部位富集. 通过矿床的分布情况看,区内硼矿严格受里尔峪组地层控制且

表 2 远景区优选要素组合

Table 2 Factor association of optimally selecting tracts	
要素类别	要素说明
地层	处于里尔峪组且厚度大于 50 m
构造	褶皱变形的转折端及两翼,背斜构造的核部
岩浆岩	条痕状花岗岩及附近
航磁	中等强度磁异常或一定磁场强度背景下的低缓异常
重力	重力高的线性梯度带或重力梯级带扭曲和舌状突出处
化探	远景区内 B 元素异常极值点, CaO/MgO<0. 5
矿化	矿点、矿化点

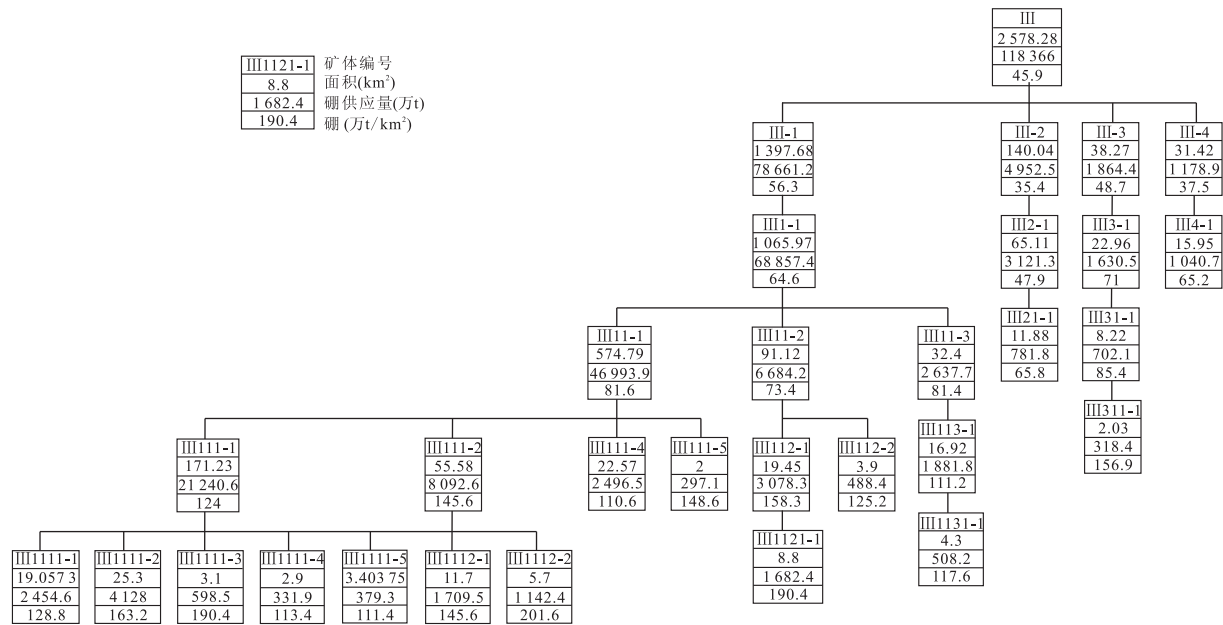


图 3 III号硼地球化学块体谱系

Fig. 3 The family tree of No. 3 boron geochemical block in the eastern Liaoning

表 3 辽东硼地球化学块体 5 级子块体特征

Table 3 Characteristics of geochemical 5 sub-blocks in eastern Liaoning

块体编号	块体面积(km ²)	金属量(万 t)	矿产地	找矿概率	成矿率	预测资源量(万 t)	远景区分级
I 111-1	77.3	9 459.04	1 特大 1 中型	1.000			
I 112-1	3.68	472.48		0.707		20.034	II
I 121-1	17.87	2 565.53		0.587		90.303	III
I 211-1	6.22	602.62		0.278		10.049	
I 211-2	2.34	236.19		0.278		3.938	
I 212-1	2.77	282.22		0.707		11.966	
II 111-1	67.5	8 552.98	1 大型 2 小型	1.000		513.179	I
II 111-2	30.6	3 230.75		1.000		193.845	
II 112-1	38.45	3 704.27		0.000		0.000	
II 112-2	22.56	2 306.13		0.000		0.000	
II 112-3	13.86	1 390.32		0.000		0.000	
III 111-1	171.23	21 240.55	4 中型 8 小型	1.000		1 274.433	I
III 111-2	55.58	8 092.58		1.000		485.555	I
III 111-4	22.57	2 496.47	3 小型	0.869		130.128	II
III 111-5	2	297.1	1 小型	0.718		12.797	
III 112-1	19.45	3 078.28	3 大型	1.000	0.06		
III 112-2	3.9	488.38	1 中型 1 小型	0.867		25.392	
III 113-1	16.92	1 881.8	1 小型	0.869		98.088	II
III 311-1	2.03	318.43	1 小型	0.853		16.304	
1111-1	19.03	3019.83		0.705		127.686	III
2111-1	77.06	10 789.07		0.722		467.438	III
2112-1	16.87	2 574.74		0.853		131.828	II

注:由于Ⅰ111-1远景区已知矿床为翁泉沟硼铁矿,具有特殊性,故选用Ⅲ112-1远景区作为模型区计算成矿率,并未计算Ⅲ112-1及Ⅰ111-1两个远景区资源量。

距离条痕状花岗岩不超过 200 m, 该块体内断裂构造不发育, 在块体南北两侧见有受断裂控制的呈 NE 走向燕山期花岗岩.

Ⅲ号地球化学块体,Ⅲ号地球化学块体位于五道岭子—砖庙—杨木杆子—永甸隆褶带,呈一整体,具有 NE 走向、局部又具 NW 走向的不规则状,是

由于中生代以来,亚洲大陆板块在西太平洋板块的俯冲作用下,对基底 EW 向构造形迹的强烈改造而形成的。Ⅲ号地球化学块体面积为 2 578. 28 km²,具六层套合结构,是工作区内块体结构最复杂、浓集中心最多的地球化学块体。Ⅲ号地球化学块体内已知有砖庙、花园沟、五道岭等大型矿产地 4 处、中小型矿 16 处、矿点数十处,主要分布于块体内的砖庙—杨木杆子复式背斜区。

该块体内出露地层基本为古元古代地层及古元古代条痕状花岗岩。古元古代条痕状花岗岩多呈 NW 向分布于区内褶皱构造的核部,区内硼矿受古元古代条痕状花岗岩外侧的里尔峪组地层严格控制。燕山期花岗岩呈 NE 向沿太平哨断裂和鸭绿江断裂分布,位于块体 ES 和 WN 两侧边缘。块体内构造以褶皱为主,主要有泡子沿—杨木杆子背斜、砖庙沟背斜、小荒沟背斜、杨木杆子—和平向斜、白菜地背斜及大西岔向斜等。区内背(向)斜构造是硼矿赋存的有利部位。

6 找矿概率—地球化学块体资源评价

6.1 远景区的圈定

通过对已知的大中小矿床与各级硼地球化学块体的对应关系分析可以知道,5 级地球化学块体已经控制了已知的 35 处大中小矿床中的 29 处(1 处大型 5 处小型除外),可见 5 级地球化学块体已经基本控制了硼矿的分布,故选用 5 级地球化学块体作为预测远景区进行资源量的估算。

6.2 远景区的优选及找矿概率的计算

在圈定远景区的基础上采用特征分析的方法来计算成矿关联度及找矿概率,计算成矿关联度选择的预测要素如表 2 所示。

直接用全部的 5 级地球化学块体进行资源量估算显然是不科学的,由本文 2.1 节可知,并不是所有的地球化学块体均为矿致成因的,它还可能是里尔峪组地层或条痕状花岗岩成因的。因此,需要对远景区进行筛选和分级,本文通过分析成矿物质来源、成矿有利的控矿与富集条件两方面,对远景区进行筛选和分级。

利用地球化学谱系图(图 3)结合地球化学套合图(图 2),分析主成矿路径的同时追踪特定子块体,分析其物质来源,从物质来源方面来确定区域找矿方向。

利用找矿概率确定远景区内对成矿有利的控矿

与富集条件的好坏,并根据成矿概率的大小结合远景区的找矿潜力对远景区进行分级。

结合上述两种方法对远景区进行分级及筛选,共圈定 9 个含矿远景区,分为 I、II、III 共 3 级,根据找矿概率—地球化学块体资源量估算公式,计算辽东地区硼矿资源量,如表 3 所示。

7 结论

通过在辽东硼矿矿产资源评价工作中使用找矿概率—地球化学块体法,可以看出:(1)在地球化学块体法评价资源量的基础上,考虑了各种富集因素的影响,使估算的资源量较好地符合了客观实际,具有更高的可信度。(2)通过对辽东硼矿的预测评价,共估算辽东地区硼资源量 2 913 万 t(扣除已探明资源量),说明该地区找矿潜力依然巨大。

References

Chi, Q. H. , 2003. The significance of element abundances of rocks in the study of geochemical blocks. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 27 (6): 428 — 430 (in Chinese with English abstract).

Deo, B. R. , 1991. Source rocks and the genesis of metallic mineral deposits. *Global Tectonics and metallogeny*, 4 (1—2): 13—19.

He, G. P. , Ye, H. W. , 1998. Two types of Early Proterozoic metamorphism and its tectonic significance in eastern Liaoning and southern Jilin areas. *Acta Petrologica Sinica*, 14(2): 152—162 (in Chinese with English abstract).

Liu, D. W. , Xie, X. J. , Yan, G. S. , et al. , 2002. The application of geochemical block methods to gold resources assessment in Shandong Province. *Acta Geoscientia Sinica*, 23 (2): 169 — 174 (in Chinese with English abstract).

Lou, D. B. , Xiao, K. Y. , Sun, Y. , et al. , 2010. The application of areal productivity based on the probability of mineral occurrence: a case study of copper-nickel sulfide deposits in the East Tianshan Mountains. *Geology in China*, 37(1): 183—190 (in Chinese with English abstract).

Wang, C. Z. , Xiao, R. G. , Liu, J. D. , 2008a. Ore-controlling factors and metallogenesis of borate deposits in eastern Liaoning and southern Jilin. *Mineral Deposits*, 27 (6): 727—741 (in Chinese with English abstract).

Wang, C. Z. , Xiao, R. G. , Liu, J. D. , 2008b. Ore-forming genesis and model of eastern Liaoning borate deposits. *Earth Science—Journal of China University of Geo-*

sciences, 33(6): 813—824 (in Chinese with English abstract).

Wang, H. Y., Peng, X. L., 2008. Genesis of magnetite of the Wengquangou vonsenite deposit, Fengcheng county, Liaoning Province. *Geology in China*, 35 (6): 1299 — 1306 (in Chinese with English abstract).

Xia, X. H., Yan, F., Zhao, Y. H., et al., 2006. Geological features and ore-forming process of uranium-bearing vonsenite deposit in Liaodong rift, eastern Liaoning Province, China. *Mineral Deposits*, 25 (1): 83 — 88 (in Chinese with English abstract).

Xie, X. J., 1995. With new ideas and new technology to find giant deposits. *Scientific Chinese*, 3 (5): 14 — 16 (in Chinese).

Zhai, Y. S., 2003. Resional structure and regional geochemistry and metallogeny. *Geological Survey and Research*, 26(1): 1—7 (in Chinese with English abstract).

Zhang, Q. S., 1988. The early crust and deposits of East Liaoning Peninsula. Geological Publishing House, Beijing.

附中文参考文献

迟清华, 2003. 岩石化学元素丰度在地球化学块体研究中的

意义. 物探与化探, 27(6): 428—430.

贺高品, 叶慧文, 1998. 辽东—吉南地区早元古代两种类型变质作用及其构造意义. 岩石学报, 14(2): 152—162.

刘大文, 谢学锦, 严光生, 等, 2002. 地球化学块体的方法技术在山东金矿资源潜力预测中的应用. 地球学报, 23(2): 169—174.

娄德波, 肖克炎, 孙艳, 等, 2010. 成矿概率面金属量法在东天山铜镍矿预测中的应用. 中国地质, 37(1): 183—190.

王翠芝, 肖荣阁, 刘敬党, 2008a. 辽东—吉南硼矿的控矿因素及成矿作用研究. 矿床地质, 27(6): 727—741.

王翠芝, 肖荣阁, 刘敬党, 2008b. 辽东硼矿的成矿机制及成矿模式. 地球科学——中国地质大学学报, 33(6): 813—824.

王慧媛, 彭晓蕾, 2008. 辽宁凤城翁泉沟硼铁矿床磁铁矿的成因研究. 中国地质, 35(6): 1299—1306.

夏学惠, 阎飞, 赵玉海, 等, 2006. 辽东裂谷硼铁矿床地质及成矿作用. 矿床地质, 25(1): 83—88.

谢学锦, 1995. 用新观念与新技术寻找巨型矿床. 科学中国人, 3(5): 14—16.

翟裕生, 2003. 区域构造、地球化学与成矿. 地质调查与研究, 26(1): 1—7.

张秋生, 1988. 辽东半岛早期地壳与矿床. 北京: 地质出版社.

《地球科学——中国地质大学学报》
2011 年 第 36 卷 第 5 期 要目预告

南沙海区曾母盆地地层系统	周 蒂等
南沙海域盆地的地层系统与沉积结构	孙 珍等
南沙西南海域新生代构造活动特征与盆地演化	孙金龙等
琼东南盆地裂后期 S40 界面特征及其地质意义	苏 明等
南海北部深水区白云凹陷地温—地压系统特征及其石油地质意义	郭志峰等
万安盆地新生代层序地层格架与岩性地层圈闭	杨楚鹏等
南沙海域构造沉降特征	张云帆等
南海共轭大陆边缘地壳结构及其类型特征	夏少红等
南沙海槽前陆盆地热流变结构	马 辉等
南沙海区万安盆地中新世碳酸盐台地的地震响应与沉积特征	吕彩丽等