

# 基于地球化学块体概念的中国锡资源潜力评价

刘大文<sup>1,2</sup> 谢学锦<sup>3</sup>

(1. 中国地质大学, 北京, 100083; 2. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037;  
3. 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 河北 廊坊 065000)

**摘要:** 本文详细介绍了根据地球化学块体的概念、利用中国区域化探扫面的成果对中国锡资源潜力评价的方法技术; 给出了金属供应量、地球化学块体成矿率、资源量和潜在资源量的计算公式, 并引入了校正系数来修正根据水系沉积物计算的地球化学块体中的金属供应量; 描述了中国锡地球化学块体的空间分布特征, 分析了这些地球化学块体与地质体和已知锡矿床的空间对应关系; 确定了中国锡在  $8\mu\text{g/g}$ 、 $10\mu\text{g/g}$  含量级次的地球化学块体成矿率为 0.205% 和 0.208%。同时根据在中国大陆所圈定的锡地球化学块体的分布及其特征计算出中国锡的潜在资源量为 1 609 万 t 和 1406 万 t。

**关键词:** 地球化学块体; 资源潜力评价; 全国区域化探扫面计划; 水系沉积物

**中图分类号:** P596 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2005)01-0025-08

在 21 世纪, 中国矿产资源供需方面将迎来更为严峻的形势。比如中国的优势矿产资源锡, 2000 年年产量为 11 万 t, 即使年平均增长率为 0, 10 年内锡的累计产量为 110 万 t, 按 62% 的回收率计, 10 年需要采掉的锡矿山储量为 177 万 t, 而 1998 年底中国锡的保有储量为 179.7 万 t(A+B+C+D), 那么按 2000 年的年产量计, 中国锡基础储量的保证年限为 10 年左右, 10 年以后将丧失它的优势地位, 而变成紧缺矿种<sup>①</sup>。面临这种状况, 必须采取多种措施, 以缓解所面临的矿产资源危机。

如何应对这样的形势呢? 有关部门制订了“立足国内、走出去、引进来”的战略思路。以谢学锦等<sup>[1-9]</sup>为首的研究小组根据中国区域化探扫面计划 24 年来取得的覆盖中国陆地 2/3 的面积 39 种元素数以万计的高质量数据, 提出了地球化学块体的概念, 并以此概念发展了一套新战略和方法技术尝试解决这样的问题<sup>[3-9]</sup>: (1) 对一个大的研究目标域(如一个省或一个国家)某个金属元素的资源潜力进行评价; (2) 对(1)的资源潜力指出最有远景的大型矿(矿集区)的靶区; (3) 对(2)的远景区结合地质地球物理遥感资料能够做到初步的远景区缩小优选。

笔者将就如何根据地球化学块体概念及其方法技术、利用化探扫面资料的成果对以整个中国为研究目标域内的锡

资源潜力进行评价进行介绍。

地球化学块体是指地球表面存在的某些元素高含量的巨大岩块, 这样可以根据块体范围内该元素的含量分布, 计算出这个地球化学块体中蕴涵该元素的所有金属量, 然后根据所确定的地球化学块体成矿率, 来评价该地球化学块体的资源量。所以, 对中国的锡资源潜力评价来说, 首先是确定这些地球化学块体的分布特征。

## 1 中国锡地球化学块体的分布特征

首先在研究目标域内根据已有资料(利用全国化探原始资料, 按 1:2.5 万图幅内分布数据进行平均, 获得新的数据集, 大致相当 1 样/100 km<sup>2</sup>)圈定地球化学块体, 原则上地球化学块体下限采用大于累积频率 85% 处的含量的数值, 具体的地球化学块体下限和块体分级的确定如下: 笔者利用全国或中国某大区块的全部数据集的数据进行统计计算, 迭代剔除 3 倍标准差以外的离群点, 求得数据集的平均值和标准差, 然后利用平均值加 1 倍或 2 倍的标准差作为该元素的块体下限, 用  $0.11\text{ g } X$  ( $X$  为含量值, 单位为  $\mu\text{g/g}$  或  $\text{ng/g}$ ) 间隔值作为逐步提高的块体分级值, 一般分 6 个级次, 并勾绘出地球化学块体的分布图(表 1, 图 1)。

收稿日期: 2004-09-05; 改回日期: 2004-11-12

基金项目: 国家重点基础研究项目(G1999043215)和中国地质调查局地质大调查项目(1212010330206)资助。

作者简介: 刘大文, 男, 1968 年生, 博士, 高级工程师, 主要从事勘查地球化学领域方面的研究; E-mail: dawen@heinfo.net。

① 王安建, 王高尚, 陈毓川, 等. 全球矿产资源战略研究, 2002.

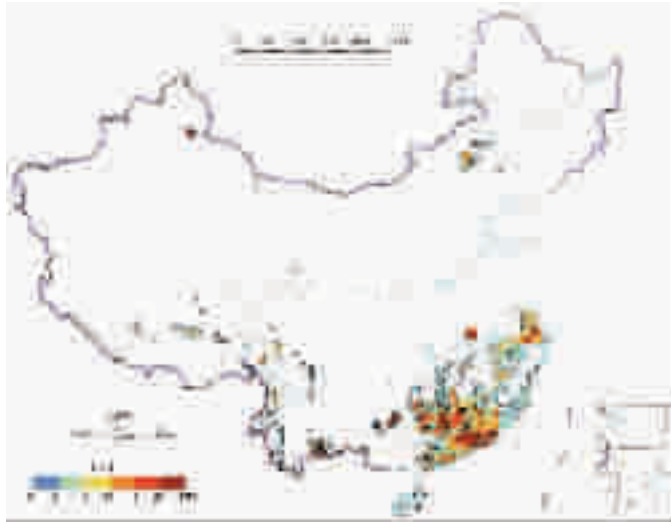


图 1 中国 Sn 地球化学块体分布图  
(根据 1:2.5 万图幅平均值数据集绘制)

Fig. 1 Distribution of Sn geochemical blocks in China

表 1 全国锡元素的地球化学数据统计特征

Table 1 Statistics of Sn data set in China

有关参数	<i>N</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>	25%	<i>Md</i>	75%	85%	<i>C<sub>m</sub></i>	<i>C<sub>v</sub></i>	<i>C<sub>b</sub></i>	<i>C<sub>v</sub>'</i>
1:2.5 图幅数据集	41386	2176.72	0.04	2.38	3.03	4.00	5.03	4.25	15.76	3.03	1.09

注:*N* 为数据统计个数;*Min*、*Max* 为最小值最大值;25%、*Md*、75%、85%分别为累积频率 25%、中位数、75%、85%的数据值;*C<sub>m</sub>*、*C<sub>v</sub>* 为原始数据平均值和标准差;*C<sub>b</sub>*、*C<sub>v</sub>'* 为原始数据迭代剔除 3 倍离差后的平均值和标准差;数据单位为:μg/g。

从表 1 可以看到, 如果以 1:2.5 万图幅平均值数据集的 *C<sub>b</sub>* 看作全国 Sn 的背景值大致为 3.6 μg/g, 用背景值加上 2 倍的标准离差 *C<sub>v</sub>'* 作为全国锡地球化学块体的下限, 即约为 6.0 μg/g。按 0.1log*X* 间隔作为块体的分级, 则为 6、8、10、13、16、20 μg/g, 这些含量间隔所占的累积频率分别为 89.5%、93.8%、95.21%、97.44%、98.2%、98.8%。根据这些参数可以制作 Sn 的全国地球化学块体分布图 (图 1)。图 1 利用向运川等研制的 GeoMDIS2000 系统绘制, 数据成图前进行网格化, 搜索半径为 25km, 网格插值的数学模型采用“指数加权”算法。

共圈出地球化学块体、区域异常和局部异常 225 个, 大于 1000 km<sup>2</sup> 的地球化学块体 51 个, 其中地球化学域<sup>[5]</sup>1 个, 地球化学巨省<sup>[5]</sup>3 个, 地球化学省<sup>[5]</sup>47 个, 其中, 最大的 1 个是华南 Sn 地球化学域, 面积达近 30 万 km<sup>2</sup>。这些 Sn 的地球化学块体主要分布于中国华南(广东、广西、湖南、江西、福建和浙江)一带, 此外分布于西南(云南、西藏、四川)、内蒙和新疆等, 与中国的主要 Sn 矿产地吻合。

图 2 为已知 Sn 矿床和 Sn 地球化学块体与中国大陆地质体的空间对应关系。可以看出与 Sn 矿床相关的地质体主要是中酸性岩浆岩和古生代及中生代地层, 其中主要是燕山

期和印支期的中酸性岩浆岩。Sn 矿床和中酸性岩浆岩、古生代及中生代碳酸盐岩地层有良好的对应关系是由于 Sn 矿床的成因所致<sup>[6]</sup>。通过对 Sn 地球化学块体的空间分布情况, 对比中国地质体的空间分布情况, 得出 Sn 地球化学块体与不同地质体空间对应的关系, 发现在所有与 Sn 地球化学块体对应的地质体中, 多达 24.9% 的地质体为中酸性岩浆岩体, 其中主要为燕山期中酸性岩浆岩(占整个花岗岩的 76%)(图 3); 另外还有 9.3% 的侏罗纪地层、8.7% 的泥盆纪地层、7.8% 的寒武纪地层、6.7% 的震旦纪地层、6.6% 的石炭纪地层、6.2% 的白垩纪地层和 6.1% 的三叠纪地层。由此可见, 中国 Sn 的地球化学块体可以很好地反映 Sn 矿床和与生成 Sn 矿床密切相关的岩浆岩和接触地层, 因此, Sn 地球化学块体的分布特征能够很好地指示找寻 Sn 矿床的远景区。

表 2 为已知的 317 个 Sn 矿床与地球化学块体的对应关系, 82.6% 的 Sn 矿床落在 Sn 地球化学块体内, 其中大型矿床对应的比例是 92%, 中型矿床的比例是 83.1%, 小型矿床的比例是 81.4%。如此之高的 Sn 矿床和 Sn 地球化学块体的空间对应关系能够为我们根据 Sn 地球化学块体来预测大型巨型 Sn 矿床的远景区, 以及预测潜在的资源量提供很好的实际资料的支持: 用地球化学块体预测不漏掉 Sn 矿床的概率在 82% 以上, 而预测大型 Sn 矿床的概率在 92% 以上。

通过以上讨论, 可以看出 Sn 的地球化学块体很好地吻合了 Sn 矿床和有利于 Sn 矿床形成的地质要素的空间分布, 正如翟裕生等<sup>[6]</sup>论述的那样, 一个矿床形成并保存到现在必须具备“源、运、储、变”4 个环节, 而这 4 个环节中, “源”即成矿物质供应是排在第一位的, 那么地球化学块体所把握的正

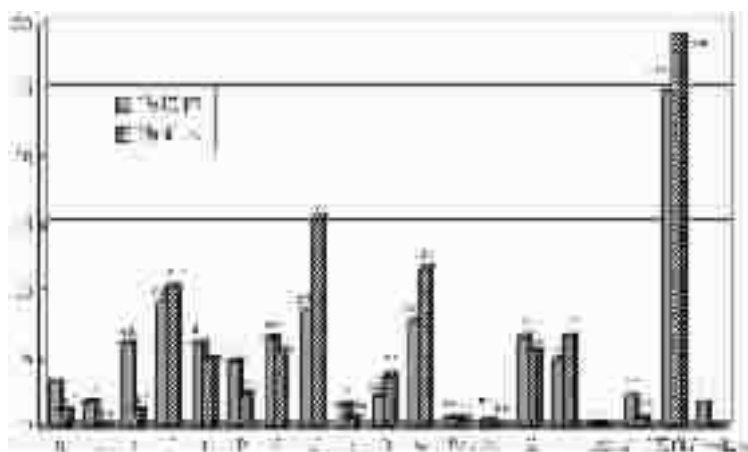


图 2 已知 Sn 矿床和 Sn 地球化学块体与中国大陆地质体的空间对应关系

Fig. 2 Spatial relationships of China's known Sn deposits and Sn geochemical blocks to geological bodies of the continent of China

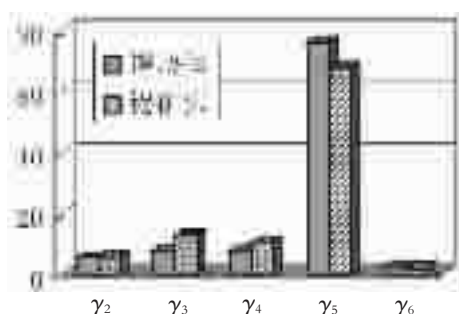


图 3 与 Sn 地球化学块体相关的不同时代花岗岩所占的比例

Fig. 3 Percentages of granites of different ages related to Sn geochemical blocks

是这种具有巨大物质供应的广大地段,能够为大型矿(矿集区)提供巨量的成矿物质供应,那么这些地段的资源潜力在量上有多大呢?

## 2 地球化学块体内资源量预测公式的设计

### 2.2 根据水系沉积物中元素含量来估算块体内资源量的思路

地球表层人类所利用的所有矿产资源都是元素富集到当前人类经济技术条件下能开采和利用的地质体,是这些元素从地球原始形成和演化到现在的总的结果。所以,早在 1960 年,原美国地质调查所所长 V. R. McKelvey 建立了美国矿产储量  $R$  与元素的地壳丰度  $A$  的线性关系:

$$R=A(10^{-6})\times 10^6(\text{单位为短吨}, 1 \text{短吨}=0.91\text{t})$$

1973 年 R. L. Erickson<sup>[9]</sup>在 McKelvey 公式的基础上根据黎彤<sup>[13]</sup>发表的地壳元素丰度估算了世界和美国 31 种元素的资源潜力:

表 2 已知 Sn 矿床与地球化学块体的空间对应关系  
Table 2 Spatial relationships of known Sn deposits with Sn geochemical blocks in China

	矿床数	分布于块体内的矿床数	块体内矿床所占的百分比 (%)
小型矿	221	180	81.4
中型矿	71	59	83.1
大型矿	25	23	92.0
总矿床数	317	262	82.7

$$R=2.45\times A(10^{-6})\times 10^6\times 17.3$$

其中:17.3 表示世界陆地面积是美国陆地面积的倍数;以 Pb 为基础,其可采矿石的储量大于 McKelvey 公式计算值的 2.45 倍,故修正系数为 2.45;计算时所取地壳深度为 1 km。1990 年黎彤<sup>[13]</sup>根据地壳元素丰度资料给出了资源潜力预测的公式:

$$R_3=M\times A\times F/h-(R_1+R_2)$$

其中: $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  分别为某元素已经开采储量、目前保有储量和资源潜力; $M$  为地壳质量; $A$  为元素丰度; $h$  为计算所取的陆壳丰度; $F$  为元素成矿率。

所有上述学者资源量预测的基础都是元素地壳丰度,无一例外在进行预测时假设所预测厚度(如 1 000 m 厚)内的陆壳中元素的含量是均匀分布的,那么所预测出的资源量是蕴涵在这样一个巨大的预测范围内的,具体元素在什么局部地段富集是无法回答的,这样的预测结果更多的是理论意义上。事实上,元素在地壳的分布是极不均匀的,矿产或矿床是元素局部富集地段的反映,因为没有掌握全面、系统、大面积的数据(中国的区域化探扫面数据),给出这些的预测结果也属难能可贵了。

中国陆壳表面所进行的区域化探扫面计划已经持续 20 多年,所获得的系统的高质量的数据覆盖 600 多万  $\text{km}^2$  的陆

地面积,以获得这样精细的、来自实测的、大面积的元素分布数据为基础进行的中国陆地矿产资源潜力预测,应该能够比单用地壳元素丰度计算的资源量更为可靠。因为水系沉积物样品具有很好表示其所控制的汇水面积上元素的平均值<sup>[10-12]</sup>,并且根据水系沉积物测量所获得的地球化学异常是矿体或其周围原生次生晕的有效反映,而大多数情况下,这些矿体和其周围成矿元素含量偏高的晕来源一致、成因相同<sup>[14]</sup>。所以,可以根据这样的相关性,用化探扫面的结果来预测要寻找的矿体的量及其大致的空间位置。

## 2.2 资源量的计算公式

根据水系沉积物样品所获得的元素含量值与取样处局部陆壳岩石中元素含量值是正相关的<sup>[15]</sup>,但不是完全相同的,所以在估算陆壳表层岩石中所蕴涵的某金属总量时,需要给出一个校正系数(correction coefficient),即把根据水系沉积物测量所获得的元素含量还原成岩石中的元素含量。但有些情况,这种校正在进行资源量预测时是可以不予考虑的,下面将予以证明。

### 2.2.1 块体内金属供应量(Metal Endowment, $Me$ )的计算

地球化学块体理论中的核心部分是对成矿物质上的把握,即金属供应量的估算,这种金属供应量是指某种金属元素赋存在某个地球化学块体内(呈活动态的或陷在晶格中)的总量,这是一种估算值。

假设所预测的某元素某个地球化学块体的面积为  $S_a$ ,块体范围内的元素平均含量  $C_m$ 、岩块密度  $\sigma$ 、块体厚度  $D_h$ ,则金属供应量  $Me$  计算公式为:

$$Me = C_m \times (S_a \times D_h \times \sigma) \quad (1)$$

实际上  $Ca$  = 块体范围内所有化探分析值的平均含量,而这些分析值为  $4 \text{ km}^2$  一个分布点。

考虑岩石中元素的含量在转化成水系沉积物过程中的

变化,需要有一个校正系数来还原。关于这个校正系数值的确定,可以根据同范围的出露岩石地壳元素含量值与水系沉积物含量值的比值获得,不同的大地构造单元和不同气候、景观分区由于元素含量和物化条件的差异,同一元素的校正系数或许有些微差异,但由于一些元素(除去低温类元素,如 Hg、Sb 等受温度影响大些)在地质体中矿物赋存相的一致性,这种差异应该不会很大。表 3 是一些元素在不同大地构造水系沉积物与出露岩石地壳中的含量比值<sup>[15]</sup>:

从表 3 可以看出,不同的大地构造单元其比值是有一些差异的,所以在进行块体内金属量的计算时,对于不同的大地构造单元应该采用不同校正系数,但对于差异较小的元素如 Pb、Cr、U、Zn、Ag、Sn、Cu 等在进行预测时也可以考虑使用相同的比值。

设定校正系数为  $C_c$ ,则根据表 3 数据可以得到中国的 Sn 水系沉积物含量校正到岩石含量的系数为: $C_c = 1/1.66 = 0.6024$ ,则块体内金属供应量公式 1 修正为:

$$Me = C_m \times (S_a \times D_h \times \sigma) \times C_c \quad (2)$$

### 2.2.2 地球化学块体成矿率(Mineralization Coefficients, $Mc$ )的确定

地球化学块体成矿率是指地球化学块体内已探明的矿床总储量与块体内可供应金属量的比值。这里所说的成矿率是一个不同于矿床学(或经济矿床学)研究中所提出的成矿率,只是一个预测某个战略选区中的找矿资源潜力的参照系数;某种金属元素成矿率具体的确定方法是在整个研究区域中,选择某一个研究程度较高的块体,矿产的研究和开发程度比较高,假定在当前该区域内所有矿产都已经勘探,那么这种矿产的所有探明储量与金属供应量的比值即为该种金属的成矿率(Mineralization Coefficients,  $Mc$ ),

$$Mc = R / Me \quad (3)$$

其中: $R$  为该子块体某种金属的所有探明储量; $Me$  为子块体中该金属的总金属供应量。

需要特别说明的是,该成矿率必须与计算某个级别的地球化学块体的分级值相对应,因为不同分级值的地球化学块体其中计算所得的金属供应量是不同的,因而,其成矿率也是不同的。所以,说明成矿率时必须说明是在那一个分级次的成矿率。

此外,不同地质条件、不同矿床类型的成矿率应该是不同的,所以,确定某种金属的成矿率是一个复杂的判断和计算过程,需要综合考虑许多影响因素,力求达到与自然界实际情况相符。

### 2.2.3 资源量(Assessed Resource, $Ar$ )的计算

资源量是指根据某地球化学块体内某种成矿金属的成矿率估算的矿产资源量,计算公式为

$$Ar = Me \times Mc \quad (4)$$

该参数是衡量地球化学块体成矿潜力大小的量化指标。

如果不考虑大地构造单元和景观的影响,认为研究目标域中的所有地球化学块体都用同一个校正系数,并且用同样

表 3 不同大地构造单元金属元素在水系沉积物与出露岩石地壳中丰度的比值<sup>[15]</sup>

Table 3 Crustal abundances of metals in stream sediments and exposed rocks in different tectonic units of, eastern China

	内蒙— 吉黑	华北 地台	秦岭— 大别	扬子 地台	华 南 褶皱系	平均值	方 差	中国东部
Hg	2.7	3	1.4	3.6	13.6	4.86	24.52	4
Sb	1.3	2.6	2	2	3.4	2.26	0.618	2.4
Co	1.5	1	1.2	1.6	1.8	1.42	0.102	1.4
Au	1.3	1.9	1.4	2	1.5	1.62	0.097	1.8
W	2.4	2.1	1.7	1.8	1.7	1.94	0.093	2.2
Mo	1.8	1.5	1.2	1.2	1.5	1.44	0.063	1.6
Ni	0.8	1.1	1.3	1.2	1.4	1.16	0.053	1.1
Cu	1.4	1.4	1	1.3	1.6	1.34	0.048	1.5
Sn	1.4	1.9	1.7	1.8	1.5	1.66	0.043	1.7
Ag	1.5	1.5	1.3	1.4	1.5	1.44	0.008	1.4
Zn	1.1	1.1	1.2	1.3	1.1	1.16	0.008	1.2
U	1.2	1.3	1.2	1.1	1.1	1.18	0.007	1.2
Cr	1.5	1.4	1.4	1.4	1.5	1.44	0.003	1.5
Pb	1.3	1.4	1.3	1.4	1.3	1.34	0.003	1.4



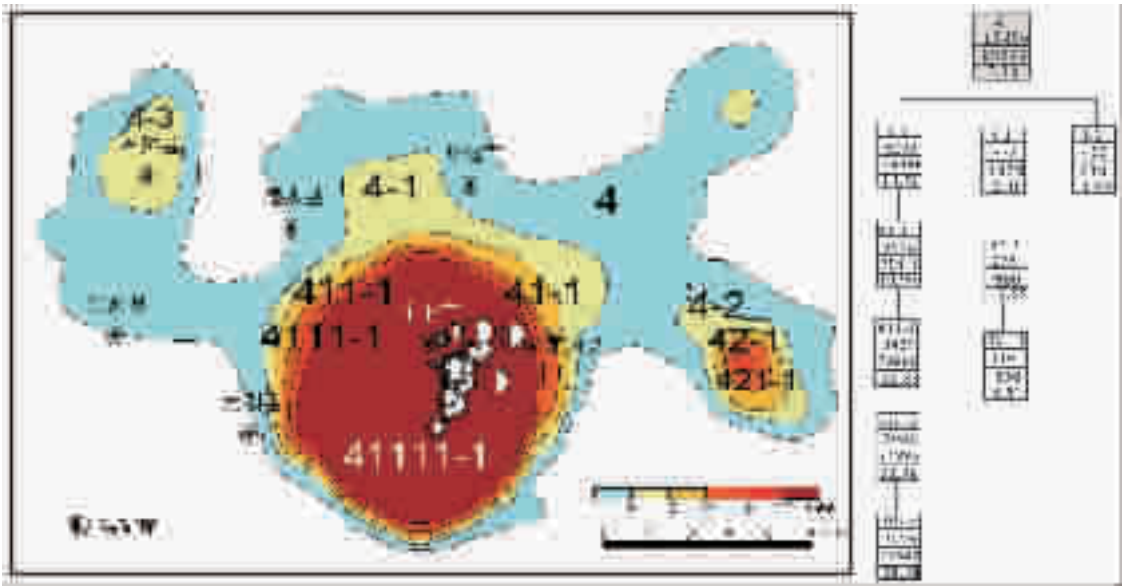


图 4 云南个旧 Sn 地球化学块体及谱系树图

Fig. 4 Gejiu Sn geochemical block, Yunnan, and its hierarchical tree

的预测深度  $D_h$ ,同时认为块体或岩块的密度  $\sigma$  一致,那么将公式 2、公式 3 代入公式 4 得:

$$A_r = [C_m \times (S_a \times D_h \times \sigma) \times C_c] \times R / [C_{m1} \times (S_{a1} \times D_h \times \sigma) \times C_{c1}]$$

$$= (C_m \times S_a) \times R / (C_{m1} \times S_{a1}) \quad (5)$$

上式中,  $C_m$ 、 $S_a$  为预测块体元素的平均含量和块体面积;  $C_{m1}$ 、 $S_{a1}$  为研究程度和矿产探明程度较高块体元素的平均含量和块体面积,是选择用来确定地球化学块体成矿率的地球化学块体的参数,  $R$  为该块体内预测金属元素的所有探明储量。

从公式 5 可以看出, 预测资源量是块体的面积和块体范围内元素的含量及其参照块体的面积、元素含量和探明储量的函数, 而与校正系数和预测深度及其岩块密度无关。这其实是相当于矿产资源潜力评价中“相似类比方法”<sup>[16]</sup>的应用, 即对比参照块体的参数来确定预测块体内的资源量。

当然,公式 5 是一种简单化的模式,实际运用过程中为了使预测的结果更贴近真实, 可能要引入许多的修正因素, 不同景观区运用不同的校正系数、选择几个研究程度比较高的块体来用平均值确定地球化学块体成矿率等。

#### 2.2.4 潜在资源量 (Potential Assessed Resource, $P_{ar}$ )

潜在资源量是指地球化学块体内除已探明的资源量之外, 还有多少潜在的未探明的资源量。其大小等于预测资源量与已探明储量之差:  $P_{ar} = A_r - R$ 。该参数是某元素地球化学块体找矿潜力量化的标志。

### 3 中国锡资源潜力预测

#### 3.1 Sn 地球化学块体成矿率的确定

前文论及,成矿率的确定是一个假设逼近的数值,它的逼近自然界真实的程度与所选择的研究区的研究程度、矿产探明情况、矿产的类型以及根据地表地球化学信息所估算的金属供应量的可靠程度有关系。Sn 矿床属于气成-热液矿床,认为成矿物质、成矿溶液以及矿化剂等都来源于原始岩浆。矿床划分为:(1)深成热液矿床——锡石脉;(2)高温交代矿床——接触变质锡石矿床;(3)伟晶岩墙矿床——含锡石伟晶岩脉。艾孟斯<sup>[17]</sup>的金属矿床带状分布理论是以侵入体为中心,将属于各种岩浆体的矿床类型列入一个顺序系列。Sn 矿床被概念化地归纳在高温成矿的范畴,一般大型 Sn 矿床成因多与酸性花岗岩密切相关。对于锡矿床成矿率的估算笔者不作详细的区分,作简单化处理,即按高温成矿系列,统一用一个成矿率来进行预测。选择用来计算全国 Sn 地球化学块体成矿率的典型地球化学块体有:南丹大厂锡矿集区、云南个旧锡矿集区、宝坛—融水矿集区和华南锡地球化学域中的广西恭城地球化学子块体、湖南常宁地球化学子块体。下面以云南个旧地球化学块体为例来说明地球化学块体成矿率的确定方法。

该地球化学块体面积在全国排在第 4 位,具有一个强烈的浓集中心,该浓集中心位于云南个旧市(图 4),该区的主要矿集区位于子块体 41111-1 上。

表4 云南个旧 Sn 地球化学块体参数特征及各级次成矿率 预测深度  $D_h=1\ 000\ m$ )  
 Table 4 Characters of parameters of the Gejiu Sn geochemical block and its sub-blocks,  
 Yunnan, and their mineralization coefficients (predicted depth  $D_h=1\ 000\ m$ )

分级级次 ( $\mu\text{g/g}$ )	块体 编号	面积 ( $\text{km}^2$ )	平均值 ( $\mu\text{g/g}$ )	金属供应量 (万 t)	单位体积金 属供应量 ( $\text{万 t/km}^3$ )	落在块体中 的矿床数	矿床中的金 属量 (t)	成矿率 (%)
6	4	12486	44.01	89383	7.16	28	1635078	0.183
8	4-1	5203	89.2	75485	14.51	26	1571598	0.208
8	4-2	572	14.8	1379	2.41			
8	4-3	422	10.3	710	1.68			
10	41-1	3976	122.3	79111	19.90	26	1571598	0.199
10	42-1	279	21.8	990	3.55			
13	411-1	3429	134.2	74860	21.83	26	1571598	0.210
13	421-1	110	29.7	530	4.81			
16	4111-1	3082	143.6	71995	23.36	26	1571598	0.218
20	41111-1	2775	174	78542	28.30	26	1571598	0.200

注:表中金属供应量的计算采用 Sn 的校正系数  $C_c=0.6024$ 。

成矿率含砂锡矿的金属量表中,由于子块体 4-1 的浓集中心面积、强度比较大(图 4),所以各级次的成矿率相差不大。如果按  $8\ \mu\text{g/g}$  水平的成矿率 0.208% 来预测子块体 4-2 和 4-3 的资源潜力,则分别为 15 565 t 和 8 017 t。类似的方法可以确定其他几个地球化学块体的成矿率(表 5)。下面将以 0.205%( $8\ \mu\text{g/g}$  级次)、0.208%( $10\ \mu\text{g/g}$  级次)的成矿率对全国的锡资源潜力进行计算。

### 3.2 中国锡潜在资源量的计算

前面曾经讨论过,以  $6\ \mu\text{g/g}$  的块体下限在全国范围圈出 51 个地球化学块体,那么在这 51 个地球化学块体中,在  $8\ \mu\text{g/g}$  级次圈出了 92 个地球化学子块体,所有这些子块体的面积总和大约为  $339\ 638\ \text{km}^2$ , $1\ 000\ m$  岩块中 Sn 总的金属供应量为 102 0271 万 t。其中落在这一级子块体中 Sn 矿床数为 242 个,其中 Sn 总的金属储量为 4 774 368 t;在  $10\ \mu\text{g/g}$  级次圈出了 90 个地球化学子块体,所有这些子块体的面积总和大约为  $238\ 550\ \text{km}^2$ , $1\ 000\ m$  岩块中 Sn 总的金属供应量为 897 522 万 t。其中落在这一级子块体中 Sn 矿床数为 229 个,其中 Sn 总的金属量为 4 628 560 t;两个级次预测的中国 Sn 资源潜力结果见表 6。

根据上述的讨论,笔者对全国的 Sn 矿资源潜力情况有一个初步结论,可以知道在  $1\ 000\ m$  勘探深度内,预测 Sn 潜在资源量在 1 402~1 609 万 t 是目前已探明储量的 3~4 倍。

表5 不同地区不同级次 Sn 成矿率 (%)

Table 5 Mineralization coefficients (%) of Sn geochemical blocks of different orders in different areas

块体编号	$6\ \mu\text{g/g}$	$8\ \mu\text{g/g}$	$10\ \mu\text{g/g}$	$13\ \mu\text{g/g}$	$16\ \mu\text{g/g}$	$20\ \mu\text{g/g}$
n (南丹)	3.154	3.818	3.884			
4 (个旧)	0.183	0.208	0.199	0.209	0.219	0.201
10 (宝坛)	0.037	0.038	0.040	0.042	0.038	0.038
1-5 (恭城)	0.020	0.319	0.318	0.247		
1-9 (常宁)	0.020	0.254	0.274	0.279	0.077	0.096
平均	0.065	0.205	0.208	0.194	0.111	0.112

注:表中的平均值为去掉一个最高值之后的平均值,按  $D_h=1\ 000\ m$  厚度计。

## 4 结论与讨论

### 4.1 讨论

因为几乎可以用概率这个词来描述所有的自然或社会现象,也同样适用于成矿现象和矿产资源潜力评价,笔者所介绍的矿产资源潜力评价的方法也不例外。以  $6\ \mu\text{g/g}$  含量圈定的 Sn 地球化学块体其面积占整个剖面计划覆盖面积的 10%,而在  $8\ \mu\text{g/g}$  级次、 $10\ \mu\text{g/g}$  级次所圈出的 Sn 地球化学子块体占的比率在 7% 和 5%,也就是说这样的子块体出现的机会只有 7% 和 5%;对于利用  $8\ \mu\text{g/g}$ 、 $10\ \mu\text{g/g}$  含量级次 Sn 地球化学成矿率 0.205% 和 0.208% 所预测的中国锡的资源潜力,换成概率的话只有  $7\% \times 0.205\% = 0.001435\%$  和  $5\% \times 0.208\% = 0.00104\%$ 。可见,对于 Sn 资源潜力计算来讲,这种成矿事件发生的机会只有万分之 0.1435 和万分之 0.104,这样的小概率事件发生了,故应该是值得特别注意的。而  $10\ \mu\text{g/g}$  水平时比  $8\ \mu\text{g/g}$  水平时发生的机会更小,那么其可信度也更高,其预测值也更可靠些。

本文的预测方法是一种简便的模式,如果更精确的话,需要针对每一个所圈定的地球化学块体进行解剖,对比参照地球化学块体的性质的差异,来计算每一个地球化学块体的潜在资源量,然后累加在一起。这里或许用到不同的校正系数、岩块密度,考虑矿床成因的不同用不同的地球化学块体成矿率等。

地球化学块体理论与方法技术应用于矿产资源勘查也是首先从形成矿藏的成矿物质供应着手的,它的基础资料是区域化探扫面的数据,这些数据受一些条件的限制有时不能揭示勘查点的实际情况,如弱化或掩蔽。因此,以此为基础圈出的地球化学块体也有些是弱化或掩蔽的,即地球化学块体有些是半出露的,只有出露地表的一部分被圈出,块体在地表表现的规模被缩小弱化,只表现出区域性异常或地球化学省,那么对这类地球化学块体内所蕴藏的金属量及资源潜力可能会被低估;有些则是隐伏在地表之下,其上方为厚层运

表 6 中国锡矿资源潜力预测 预测深度  $D_h=1\ 000\ m$ )Table 6 Prediction of tin mineral resource potential in China (predicted depth  $D_h=1\ 000\ m$ )

含量 级次	子块 体数	总面积 $km^2$	总金属供应量 (万 t)	已知块体内 矿床数	已知金属储量 (t)	预测资源量 (万 t)	潜在资源量 (万 t)
8 $\mu\ g/g$	92	339638	1020271	242	4774368	2087	1609
10 $\mu\ g/g$	90	238550	897522	229	4628560	1865	1402

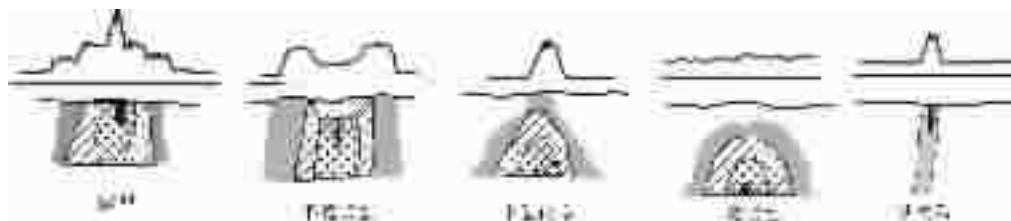
图 5 地球化学块体的地表表现形式<sup>[18]</sup>

Fig. 5 Surface expressions of geochemical blocks

积物、成矿后的火山岩或沉积岩所覆盖,过去的水系沉积物测量难以发现;或者大型或巨型矿床的物质直接来源于深部下地壳或上地幔(图 5)<sup>[18]</sup>;还有些可能是剥蚀到了尾部,可能不利于找矿,这些问题本文没有加以讨论,或许可以利用诸如前苏联学者总结的分带系数<sup>[14]</sup>来进一步分析地球化学块体找矿潜力的大小。

## 4.2 结 论

地球化学块体是建立在整个地球演化历史时期的一个新的概念,是地球不均一性的地表物质显示。笔者基于这样的概念,利用区域化探多年来积累的成果对中国 Sn 资源潜力进行了估算,不仅确定了 Sn 成矿物质可能富集成矿的各个区域地段(地球化学块体),而且定量地估算了这些区域地段内可能形成的 Sn 矿床的潜在资源量的大小。这种评价方法不仅可用于全国性的战略预测,从量上说明中国某种金属矿产的资源潜力情况、确定某种矿产是以国内为主还是应该走出去及指出找矿的远景战略选区等,同样也能够适用于大比例尺的资源潜力预测。

## 参考文献 (References):

- [1] 谢学锦.用新观念与新技术寻找巨型矿床 [J]. 科学中国人, 1995, (5):14~16.  
Xie Xuejing. New concept and new technique in searching for giant ore deposits [J]. Scientific Chinese, 1995, (5):14~16 (in Chinese).
- [2] Xie Xuejing. Surficial geochemical expressions of giant ore deposits [A]. In: Clark A H (ed.). Giant Ore Deposits II [C]. Queen's University, Kingston, Canada, 1995. 475~485.
- [3] 谢学锦, 向运川. 巨型矿床的地球化学预测方法 [A]. 见: 谢学锦, 等. 进入 21 世纪的勘查地球化学 [C]. 北京: 地质出版社, 1999. 61~91.  
Xie Xuejing, Xiang Yunchuan. The geochemical prediction methodology of giant ore deposits [A]. In: Xie Xuejing, et al. The Explo-

ration Geochemistry into 21st Century [C]. Beijing: Geological Publishing House, 1999. 61~91 (in Chinese).

- [4] 刘大文. 地球化学块体的概念及其研究意义 [J]. 地球化学, 2002, 31(6):539~548.  
Liu Dawen. Development and significance of geochemical blocks [J]. Geochimica, 2002, 31(6):539~548 (in Chinese with English abstract).
- [5] 谢学锦, 刘大文. 地球化学块体——概念与方法学的发展 [J]. 中国地质, 2002; 29, (3):226~242.  
Xie Xuejing, Liu Dawen. Geochemical blocks; development of concept and methodology [J]. Geology in China, 2002, 29 (3):226~242 (in Chinese with English abstract).
- [6] 刘大文, 谢学锦, 严光生, 等. 地球化学块体的方法技术在山东金资源潜力预测中的应用 [J]. 地球学报, 2002, 23(2):169~174.  
Liu Dawen, Xie Xuejing, Yan Guangsheng, et al. The application of geochemical block methods to gold resources assessment in Shandong Province [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2002, 23 (2):169~174 (in Chinese with English abstract).
- [7] 赵伦山, 张本仁. 地球化学 [M]. 北京: 地质出版社, 1988.  
Zhao Lunshan, Zhang Benren. Geochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988.
- [8] 翟裕生, 邓军, 李晓波. 区域成矿学 [M]. 北京: 地质出版社, 1999. 1~287.  
Zhai Yusheng, Deng Jun, Li Xiaobo. Essentials of Metallogeny [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999. 1~287 (in Chinese with English abstract).
- [9] Erickson R L. Crustal abundance of elements and mineral reserves and resources [A]. U.S. Geol. Surv. Profess paper 820 [C], 1973, 21~25.
- [10] Meyer W T, Theobald P K, Bloom H. Stream sediment geochemistry [A]. In: Peter J H (ed.). Geophysics and Geochemistry in the Search for Metallic Ores [C]. Proceedings of Exploration 77, Economic Geology Report 31. Geological Survey of Canada, Ottawa, Canada, 1979. 411~434.

- [11] 谢学锦. 区域化探 [M]. 北京:地质出版社, 1979.1~192.  
Xie Xuejing. Regional Geochemical Exploration [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1979. 1~192 (in Chinese).
- [12] Rose A W, Hawkes H E, Webb J S. Geochemistry in Mineral Exploration—2nd ed. [M]. London:Academic Press Inc. LTD. 1979. 1~657.
- [13] 中国科学院地球化学研究所. 高等地球化学[M]. 北京:科学出版社, 2000. 1~491.  
Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. Advanced Geochemistry [M]. Beijing:Science Press,2000. 1~491 (in Chinese).
- [14] A A 斯梅斯洛夫, B A 鲁德尼克, H M 金科夫, 等. 地球化学预测与找矿, 阎立本译 [M]. 北京:地质出版社, 1985. 1~238.  
Smeislov A A, Ludenika B A, Jinkov H M, et al. Geochemical Prospecting and Mineral Exploration [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1985. 1~238 (in Russian,Chinese translated by Yan Liben).
- [15] 刘大文, 向运川, 连长云, 等. 水系沉积物中的金属元素在中国东部不同构造单元的分布特征[J]. 地质与勘探, 2002, 38(增刊): 156~163.  
Liu Dawen, Xiang Yunchuan, Lian Changyun, et al. The distribution of metals in stream sediment in different tectonic zones, Eastern China [J]. Geology and Prospecting, 2002, 38(Supp.):156~163.
- [16] 朱裕生. 矿产资源潜力评价在我国的发展[J]. 中国地质, 1999, 11:31~33.  
Zhu Yusheng. Development of mineral resources assessment in China [J]. Chinese Geology(Geology in China), 1999, 11:31~33 (in Chinese).
- [17] Emmons W H. Hypogene zoning in metalliferous loder [A]. In: Intern. Geol. Congr. Rept. 16th Sess., Vol. I [C].1936, 417~432.
- [18] 谢学锦, 刘大文. 地球化学块体——概念与方法学的发展 [A]. 见:中国地质调查局主编. 矿产资源调查评价理论与方法技术论文集 [C]. 2001. 1~15.  
Xie Xuejing, Liu Dawen. Geochemical blocks— development of concept and methodology [A]. In:China Geological Survey (ed.). Selected Papers of Theory and Methodology in Mineral Resource Survey and Assessment [C]. 2001. 1~15 (in Chinese).

## Evaluation of China's tin resources potential based on the geochemical block concept

LIU Da-wen<sup>1,2</sup>, XIE Xue-jing<sup>3</sup>

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Development and Research Center, China Geological Survey, Beijing 100045, China;

3. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Langfang 065000, Hebei, China)

**Abstract:** This paper introduces in detail the method of assessing China's tin resources potential by using the geochemical block concept and the results of RGNR. It gives the calculation formulas for determination of the metal endowment, geochemical block mineralization coefficient, resource and potential resource. And a correction coefficient is used in calculating the metal endowment in geochemical blocks according to the metal content in stream sediments. The paper also describes the characteristics of the spatial distribution of China's Sn geochemical blocks and analyzes the spatial relationships of these blocks with geological bodies and known Sn deposits. The Sn geochemical block mineralization coefficients at the  $8 \times 10^{-6}$  and  $10 \times 10^{-6}$  concentration levels in China are 0.205% and 0.208% respectively. According to the distribution and features of the Sn geochemical blocks outlined on the continent of China and by using the two mineralization coefficients, China's potential Sn resources are estimated to be about 16.09 million tons and 14.06 million tons respectively.

**Key words:** geochemical block; mineral resources potential assessment; RGNR; stream sediment

**About the first author:** LIU Da-wen, male, born in 1968, doctor, senior geochemist, involved in exploration geochemistry; E-mail: dawen@heinfo.net.