

文章编号 0258-7106(2007)02-0230-07

区域资源定量评价中面金属量法的应用*

——以东天山为例

丁建华¹, 肖克炎¹, 刘锐¹, 薛顺荣^{1,2}, 程勳³

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 云南省地质调查院, 云南 昆明 650051;
3 吉林大学, 吉林 长春 130626)

摘要 地球化学方法被普遍应用于矿产资源评价,但多数方法都只是基于地球化学数据本身而进行的,较少考虑除成矿物质来源之外的诸如构造、地层等地质环境的影响。文章运用面金属量法,在充分研究地质因素的基础上,确定了预测单元及地球化学背景值,在一定程度上屏蔽了虚假资源量,对东天山地区铜的资源量进行了定量评价。预测认为,东天山地区铜的资源潜力巨大。

关键词 地球化学; 定量评价; 面金属量; 资源潜力; 东天山

中图分类号: P632

文献标识码: A

Application of areal productivity to quantification of regional resources: A case study of East Tianshan Mountains

DING JianHua¹, XIAO KeYan¹, LIU Rui¹, XUE ShunRong^{1,2} and CHENG Xu³

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 Yunnan Geological Survey, Kunming 650051, Yunnan, China; 3 Jilin University, Changchun 130626, Jilin, China)

Abstract

Geochemical methods have been commonly used in mineral resource assessment. Most of them, however, were based merely on geochemical data, with less attention paid to geological factors such as tectonics and strata. This paper estimated the copper potential reserves in the East Tianshan Mountains by using the areal productivity method. The authors proposed prediction cells and geochemical background to calculate copper potential reserves. It is shown that the potential copper resource in the East Tianshan Mountains is abundant.

Key words: geochemistry, quantitative assessment, areal productivity, resource potentiality, East Tianshan Mountains

中国目前用于潜力预测的地球化学方法主要为谢学锦院士提出的地球化学块体法(谢学锦, 1995; 刘大文, 2002)。该方法通过地球表面某些元素的分布特征圈出地球化学块体,根据地球化学块体中该元素的含量分布,计算得出此地球化学块体内对应

该元素的金属量,然后依据所确定的地球化学块体成矿率来估算该元素的资源量。但实际上,并不是所有的成矿元素含量相对富集的地球化学块体都有大矿床产出,为此,王学求(2003)提出了“成矿可利用金属”的概念,通过区分活动态、易被流体萃取并

* 本文得到国家科技攻关项目(2003BA612A-01)的资助

第一作者简介 丁建华,女,1969年生,在读博士研究生,矿产普查与勘探专业,研究方向为矿产资源评价。E-mail: dingzhanzhan@163.com

收稿日期 2006-06-02; 改回日期 2006-11-20。许德焕、李岩编辑。

携带的金属量, 来提高预测的可靠性。然而, 矿床的形成, 不仅取决于成矿物质来源, 还取决于成矿物质迁移、富集的地质过程, 也就是说, 还应同时研究构造的叠加和破坏、地层的有利度以及矿床的剥蚀等各种影响因素。上述方法中, 估算的资料依据主要是地球化学分析数据, 而对成矿影响较大的地质环境因素则考虑得较少, 因此, 必将影响预测结果的准确性。

本文以东天山为例, 运用面金属量法对东天山地区斑岩铜的潜在资源量进行了估算, 讨论了在运用地球化学方法进行资源评价时, 成矿地质环境各类因素的加入的必要性。

1 面金属量法

1.1 面金属量法的原理

面金属量法是前苏联学者索洛沃夫(1957)提出的一种地球化学异常评价方法。该方法的原理是利用次生晕和分散流资料对矿体进行定量评价: 以晕的扩散模式为依据, 在使用分析结果并结合地质资料圈定次生分散晕的条件下, 研究某一水平截面(或平行于斜坡的截面)上所含的成矿元素的金属量与同一水平上的矿体中的金属量之间的对应关系, 并藉此进行资源估算。

1.2 面金属量法计算公式

线金属量(单位: $m \cdot \%$)和面金属量(单位: $m^2 \cdot \%$)分别是沿测线和平面(或沿剖面)在地球化学异常范围内研究超出背景值的金属量。在数学意义上相当于沿直线(或按面积)的积分。

次生晕的面金属量的计算公式如下:

$$P = \Delta S (\sum_{x=1}^n C_X - C_0)$$

P : 成矿元素次生晕的面金属量;

ΔS : 普查网方格的面积(m^2);

C_X : 取样点上测得的金属元素的浓度;

C_0 : 地区性地球化学次生晕的背景值。

分散流的面金属量的计算公式如下:

$$P' = \sum_{i=1}^m P'_i = (C_X' - C_0') S$$

P' : 成矿元素分散流的面金属量;

S : 汇水盆地的面积(m^2);

C_X' : 取样点上测得的金属元素浓度;

$C_0'S$: 水系中金属元素的背景值。

一般情况下, 矿体的面金属量 P_u 和次生晕的面金属量 P 之间存在如下比例关系:

$$P = KP_u$$

同样, 分散流的面金属量 P' 与该地次生晕的面金属量 P 之间存在如下比例关系:

$$P' = K'P = K'KP_u$$

式中, K 、 K' 被称为富集系数, 由成矿环境和成矿元素的地球化学性质所决定, 一般情况下, 对风化带中较稳定的原生和次生矿物中的元素来说, 在潮湿气候下, $K(K') > 1.0$, 在干旱气候下, $K(K') < 1.0$; 对相对不稳定的矿物来说, 潮湿气候下的 $K(K') < 1.0$, 而干旱气候下的 $K(K') > 1.0$ 。

于是, 深部矿体的金属储量可用下式计算。

$$Q = \alpha \cdot \frac{1}{40} \cdot \frac{P}{K} \cdot H \text{ 或 } Q = \alpha \cdot \frac{1}{40} \cdot \frac{P'}{KK'} \cdot H$$

式中, P 为次生晕的面金属量, P' 为分散流的面金属量, H 是适当的计算深度(单位为 m), α 是统计的表外矿在总量中所占的比例系数(为小于 1 的常数), 在岩石密度以 $2.5 t/m^3$ 计的条件下, 得到 $1/40$ 这个换算常数, 可将计算结果的单位换算为 t 。

2 东天山地区斑岩铜矿潜在资源量估算实例

2.1 东天山地区地质概况

天山山脉西起中亚诸国, 东达中蒙边界, 沿东西走向绵延约 3 000 km。在中国境内, 它位于塔里木地块北缘, 准噶尔地块南缘。本次工作对东天山的范围界定为: 东经 $91 \sim 96^\circ$ 、北纬 $40^\circ 20' \sim 42^\circ 20'$ (图 1)。

东天山地区地处几大构造单元的交汇部位, 在长期的地质演化过程中, 经历了多次裂解、闭合、碰撞, 形成了复杂的地质背景。工作区内, 地层发育齐全, 从太古宇到第四系都有出露, 断裂构造发育, 展布方向以近 EW 向和 NE 向为主, NW 向次之, 其中一些大型断裂被普遍作为不同构造单元之间的分界线, 如康古尔塔格—黄山强烈构造变形带、阿其克库都克断裂等, 岩浆岩以燕山期为主, 岩性从超基性岩到酸性岩均有发育。

东天山区内已发现铁、锰、铜、铅、锌、镍、金、银等 50 余种矿产, 以铁和有色金属矿的意义较大。在 20 世纪 70 年代, 该区曾是中国铁矿找矿的重点地

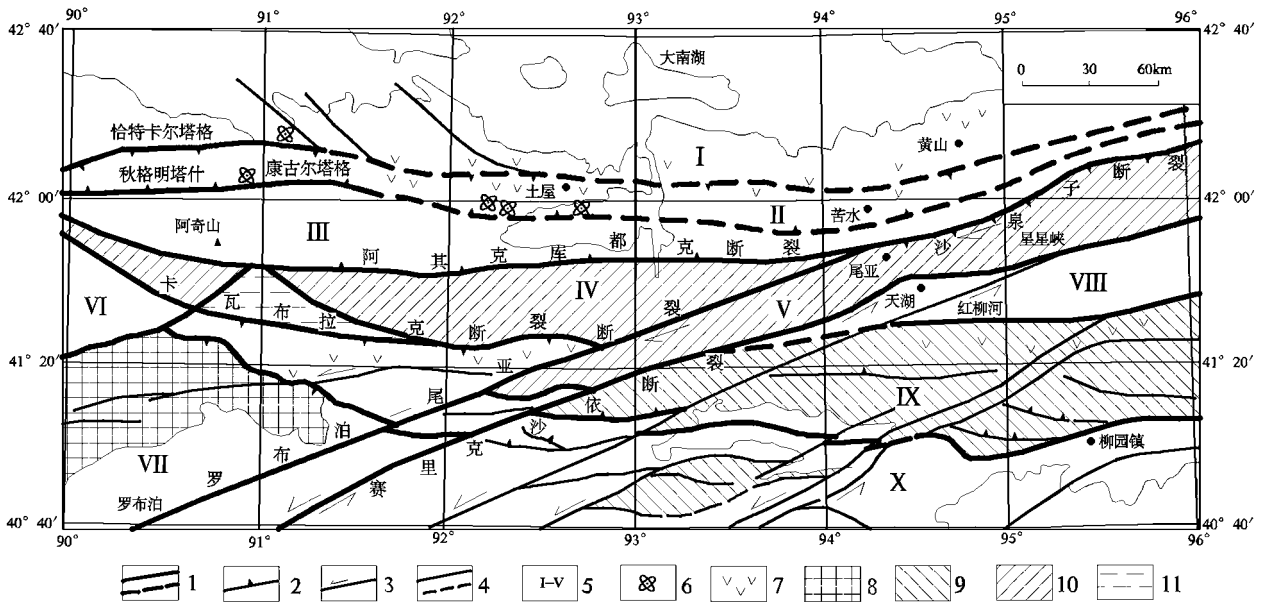


图 1 东天山区域构造简图(据李锦轶 2002)

1—构造单元边界 2—俯冲带 3—走滑断层 4—实测及推测性质不明断层 5—构造单元编号 6—枕状玄武岩 7—岛弧型火山岩 8—库鲁克塔格地块 9—晚古生代地质体 10—变质深成杂岩体 11—线性地质体。I—吐哈地块;II—秋格明塔什—雅满苏碰撞带;III—阿齐山地块;IV—喀拉塔格地块;V—星星峡地块;VI—库米什碰撞带;VII—库鲁克塔格地块;VIII—红柳河—玉石山碰撞带;IX—马鬃山地块;X—柳园碰撞带

Fig. 1 Regional structure map of Dongtianshan (By Li, 2002)

1—Boundary of tectonic unit; 2—Benioff zone; 3—Strike-slip fault; 4—Measured and inferred fault; 5—Serial number of tectonic unit; 6—Ellipsoidal basalt; 7—Island arc volcanic rock; 8—Kuluketage massif; 9—Neopaleozoic body; 10—Metamorphic complex rock; 11—Linear geologic body. I—Tuha massif; II—Qiugemingtashi-Yamansu collision belt; III—Aqishan massif; IV—Kelatage massif; V—Xingxingxia massif; VI—Kumishi collision belt; VII—Kuluketage massif; VIII—Hongliuhe-Yushishan collision belt; IX—Mazongshan massif; X—Liuyuan collision belt

区 20 世纪 80 年代,在该区发现了黄山等铜镍矿床和小热泉子铜矿床,90 年代又发现了土屋、延东等斑岩型铜矿床,形成新崛起的铜铅和铜镍矿床勘查区。

2.2 数据分析及整理

东天山地区铜地球化学数据为 1:20 万水系沉积物的原始数据,由多个图幅的数据拼接而成。工作区内数据统计分析特征如表 1 所示。

由表 1 可见,各图幅地球化学元素存在明显的系统误差,如红柳河幅的铜平均值达 71×10^{-6} ,大大高于其他图幅,为了进行成图和对比,笔者使用 MRAS 软件(肖克炎等 2003)进行了图幅台阶校正。其原理是相邻地区的地球化学场有连续性,因此可以选择相邻样本进行统计对比,然后进行拼接。

软件拼接过程是自动的,其结果是形成 MRAS 点文件。图 2 为上述图幅拼接后的点位图及稳健统计学异常点位图。

2.3 预测单元的划分

应用谢学锦院士(1995)提出的地球化学块体法

进行资源潜力定量预测时,对预测单元的划分主要是依据化学元素的分布特征,这种划分方法在一定程度上忽视了成矿地质环境各类因素的影响作用。东天山地区经历了多次板块碰撞,构造作用复杂,成矿作用延续时间长,致使多种成矿作用、多种成矿类型叠加在一起。以土屋、延东斑岩型铜矿床为例,矿床并非位于铜的高异常区内,而是位于其边缘(图 3)。在土屋西北侧出现铜的高异常区,野外已查证,该异常与地表大面积分布的玄武岩有关。在此运用单一的地球化学元素作为预测单元块体划分的依据,其结果必将产生偏差。

为减少与成矿地质环境有关的地质因素对铜元素富集(或分散)的影响,笔者运用了多元信息矿产资源评价方法。在地质先验前提下,在遵循各个学科的基本理论和方法的基础上,对各种物探、化探、重砂和遥感等资料进行综合地质解译,通过对各种综合信息解译结果的关联分析,建立了土屋斑岩型铜矿床的综合信息找矿模型。根据该找矿模型,在

表 1 东天山地区部分图幅铜地球化学元素统计表

Table 1 Geochemical element statistic characteristics of several map sheets in East Tianshan Mountains

图幅	样本点/个	铜元素均值/ 10^{-6}	最小值/ 10^{-6}	最大值/ 10^{-6}	铜元素峰度*	铜元素偏度**
1136 高地	766	27.4	1.1	891.0	384.28	17.10
大南湖	596	18.4	2.6	63.8	2.38	1.13
圪塔井	596	19.6	3.9	112.0	12.09	2.40
梧桐窝子	575	11.4	1.7	67.0	19.18	2.95
马头滩	1 581	18.2	0.9	227.5	76.00	5.58
裤子山	1 554	18.2	4.3	62.4	2.71	1.18
红柳河	1 549	71.3	30.0	420.0	35.00	4.20

* 峰度为数据分布扁平程度的测度；** 偏度为分布偏离正态分布的程度。

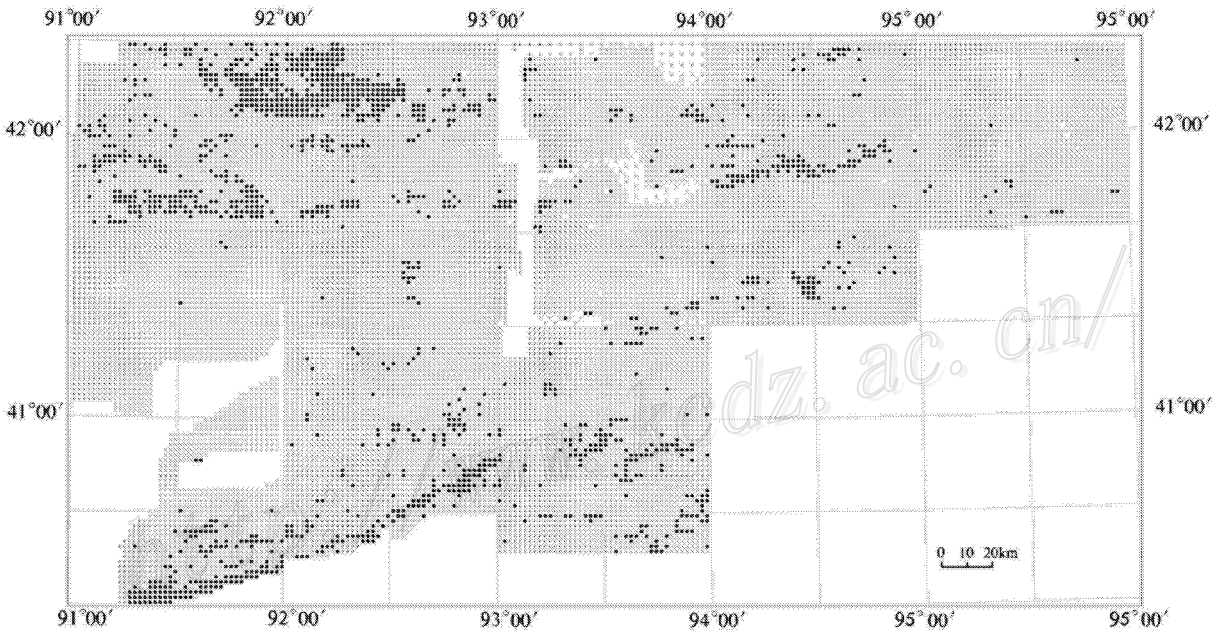


图 2 东天山地区地球化学铜异常点位图

Fig. 2 Geochemical Cu anomalies in East Tianshan Mountains

GIS上建立和提取了如下预测图层：

- (1) 石炭系企鹅山群中基性火山岩；
- (2) 石炭纪中酸性岩浆岩；
- (3) 区域性深大断裂；
- (4) 区域局部重力低异常；
- (5) 局部重力解译区域深大断裂；
- (6) 航磁解译构造及密度；
- (7) 航磁解译深部构造；
- (8) 区域 Cu、Mo、Zn、Cd 地球化学综合异常；
- (9) Cu、Zn、Au、Ni、Pb、Ag、Sr、P、Fe、Co、Cr、Cd 等元素在预测区内的最大值；
- (11) 遥感解译环形及线性构造；
- (12) 遥蚀蚀变解译结果。

由于研究区模型只有 3 个已知矿床，即土屋、延东和赤湖，因此，预测时使用 MRAS 软件中的非线性 Kohonen 网络来进行精细分类。经过训练 50 000 次后，使用三级输出神经元得出优选的预测区，其结果如图 4 所示。

定量预测将只针对图 4 中所优选出的预测区进行计算，所有预测区资源量的累加即为工作区的资源总量。

2.4 预测区地球化学背景值的确定

本研究在进行地球化学背景值的确定时，因考虑到元素地球化学分布的不均匀性，故未统一进行统计计算，而是根据东天山地区综合研究得出的岩性建造分区图，将工作区分为 7 个岩性建造分区（图

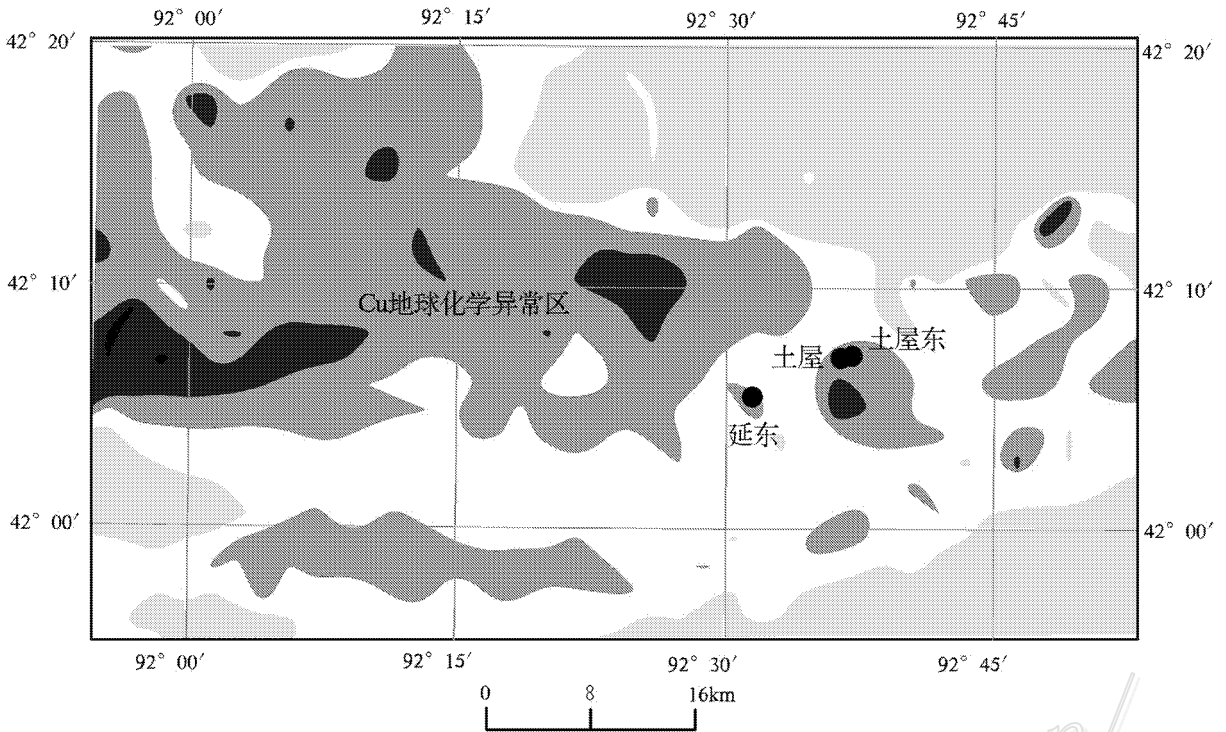


图3 土屋、延东斑岩型铜矿床与铜地球化学异常分布

Fig. 3 Distribution of Tuwu and Yandong porphyry copper deposits and copper geochemical anomalies

5)。通过GIS软件对各分区进行空间分析运算,将工作区内分析结果失真最大的第四系剔除,然后,使用MRAS软件,对每个区的铜元素测量值进行稳健统计处理。在迭代剔除2倍方差以外的离群数据后,再进行统计分析,得到各区的均值和均方差,以均值加两倍方差作为各块体铜元素的地球化学背景值,其结果见表2。

2.5 元素成矿富集系数K的确定

富集系数是在地壳单位体积内,某元素成矿部分占该元素总量的比例。它反映了元素在一定地质环境中富集成矿的能力。在此,富集系数可以通过选择资源量已知的矿床所在的模型区反推得到。

$$\text{根据: } Q = \alpha \cdot \frac{1}{40} \cdot \frac{P}{K} \cdot H$$

$$\text{推算出: } K = \alpha \cdot \frac{1}{Q} \cdot \frac{1}{40} \cdot H \cdot P$$

在预测区资料较丰富的情况下,可以选择多个模型区,以面积作为权来计算元素成矿富集系数的加权平均值,将有助于减小预测结果的误差。

本次研究只获得了土屋铜矿床的储量数据,因此,选择其所在区为预测模型区来进行计算。取 α 为0.5, H 为地表以下1 km,已知土屋铜矿床的资源

量为260万吨,由此计算得工作区内铜元素的富集系数为0.597。

3 预测结果及讨论

计算结果见表3。由该表可知,东天山工作区的铜资源量为3067.6289万吨,减去260万吨的已知资源量,其铜的潜在资源量为2807.6289万吨。

矿床的形成主要取决于成矿物质来源及有利的成矿地质环境,有了较丰富的成矿物质来源,并不说明资源量一定就多。因此,一定要基于预测矿床的类型,综合研究预测区的地质环境,从而划分出成矿可能性高的预测区,在预测区内进行资源量的定量评价。与单一运用地球化学元素指标确定地球化学块体,从而进行资源量估算的方法相比较,上述方法更多地考虑了地质因素,定量评价的结果将有效地减少虚假资源量,效果较好。

该方法是在充分利用现有资料的基础上优选得出的,还存在许多有待改进之处。比如,元素成矿富集系数的确定,只是将一个模型区的平均水平一成不变地外推到其他预测区,而实际上,东天山地区经

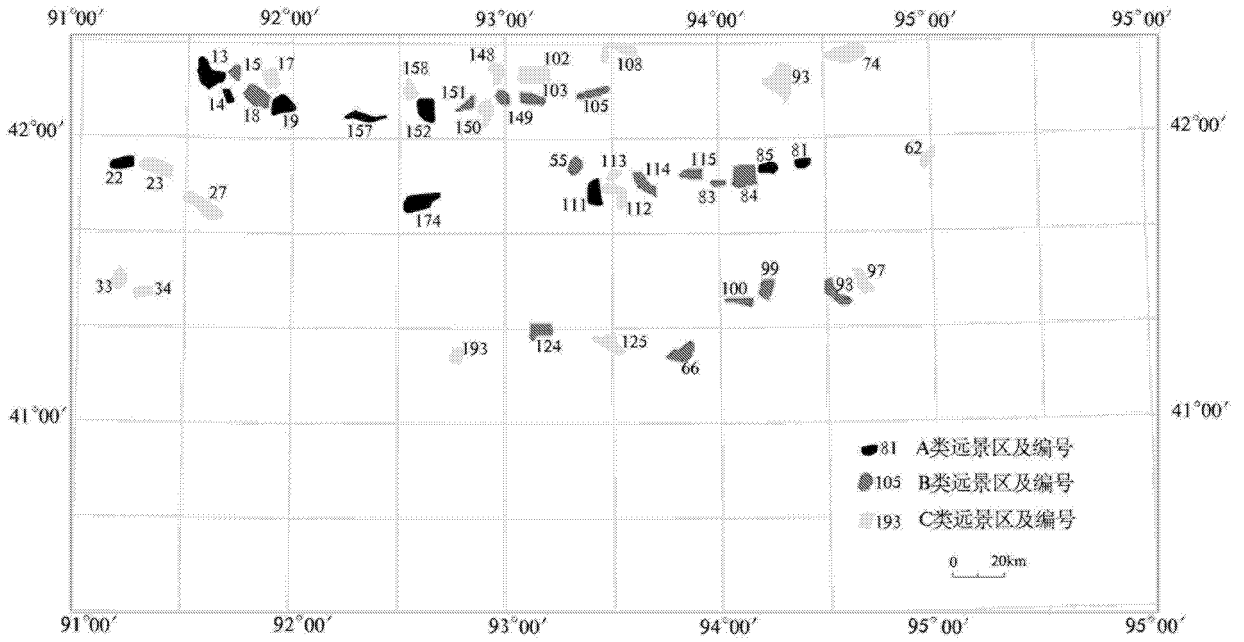


图 4 东天山地区预测区优选图

Fig. 4 Optimized prognostic tracts of East Tianshan Mountains

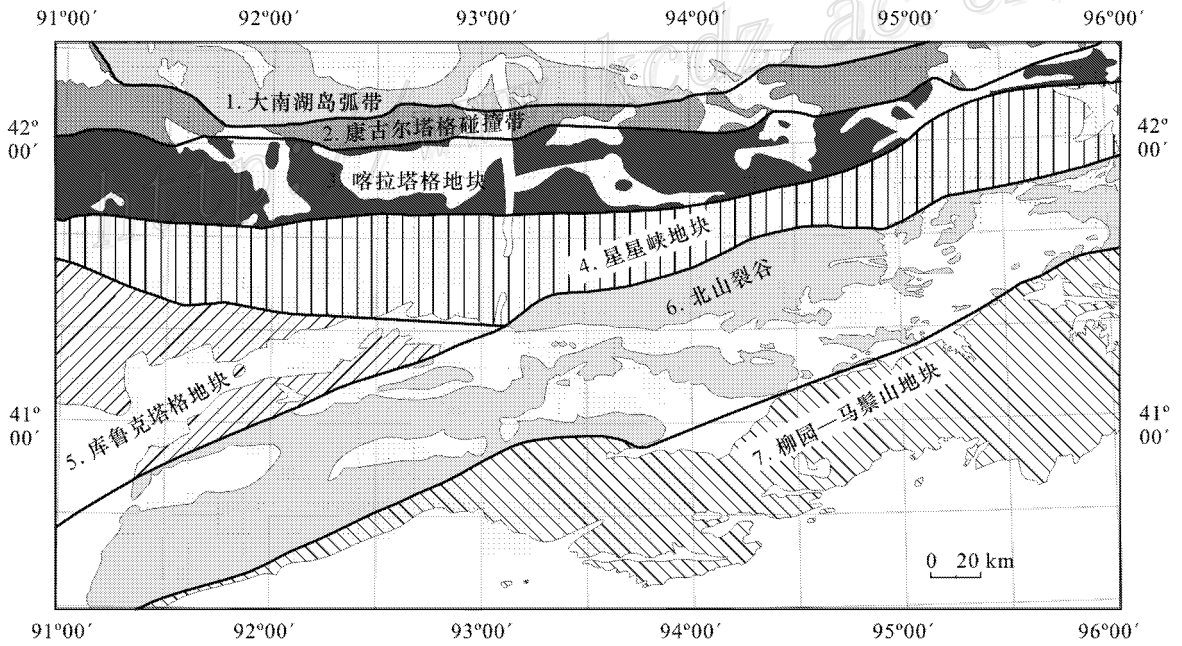


图 5 东天山地区岩性建造块体划分图

Fig. 5 Lithology-formation massifs of East Tianshan Mountains

表2 东天山地区各块体异常下限值

Table 2 Threshold values of massifs in East Tianshan Mountains

块体名称	均值 / 10 ⁻⁶	标准差	异常下限/10 ⁻⁶	块体名称	均值/10 ⁻⁶	标准差	异常下限/10 ⁻⁶
大南湖岛弧带	24.89	1.78	28.45	库鲁克塔格地块	11.9	1.6	15.1
康古尔塔格碰撞带	16.71	1.84	20.39	北山裂谷	18.04	1.56	21.16
喀拉塔格地块	22.76	9.88	42.52	柳园-马鬃山地块	24.07	8.15	40.37
星星峡地块	14.0	6.35	26.7				

表3 东天山各预测区资源量定量预测结果

Table 3 Quantitative assessment results of prognostic tracts

序号	预测区 IP 号	预测区面积/m ²	Cu 面金属量/m·%	定量资源/t
1	13	1957.379	128480.00	2689067.404
2	14	433.232	68240.00	1428253.111
3	15	575.084	36200.00	757660.648
4	17	949.336	95780.00	2004661.239
5	18	1691.379	213980.00	4478569.763
6	19	1395.277	265372.64	5554210.120
7	22	991.321	1406.16	29430.721
8	23	1667.141	3483.08	72900.349
9	27	1935.012	31141.56	651788.247
10	33	901.916	8375.40	175295.884
11	34	631.926	3700.32	77447.151
12	62	704.354	10413.76	217958.457
13	74	2070.376	59769.44	1250965.542
14	84	1966.412	20459.52	428214.729
15	97	1044.609	37319.04	781081.990
16	98	1318.283	36201.92	757700.833
17	99	980.782	47821.92	1000905.715
18	100	742.472	30406.40	636401.456
19	102	1858.183	18168.76	380269.461
20	103	1105.086	3212.68	67240.917
21	105	1036.571	212.68	4451.361
22	108	1183.537	1932.68	40450.707
23	115	910.604	11344.20	237432.429
24	125	1295.812	1037.16	21707.605
25	66	1445.620	1837.16	38451.487
26	149	715.571	30198.96	632059.768
27	150	990.678	42341.92	886210.125
28	151	677.469	41738.56	873581.890
29	152	1410.507	124224.48	2600000.000
30	157	989.533	55252.88	1156434.609
31	158	738.441	21624.24	452592.146
32	174	1908.623	3131.20	128325.110
33	193	682.192	7862.88	164568.916
合计				30676289.890

注 图3中,IP号为55、81、83、85、93、111、112、113、114、124、148的选区计算结果为0。

历过多次构造运动,地质条件非常复杂,元素成矿富集系数的变化当然会比较大;再如,构造建造分区的划分,多年来一直就很有争议,笔者只剔除了第四系的影响,并未考虑诸如玄武岩区的假异常的影响等;

还有,王学求(2003)提出的“成矿可利用金属”的概念,也可以在此得到借鉴,等等。虽说该方法存在诸多不足,但现已开始了有益的尝试。

(下转 203 页)