

成矿概率面金属量法在 东天山铜镍矿预测中的应用

娄德波 肖克炎 孙 艳 李 楠

(中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘要:地球化学方法被普遍应用于矿产资源定量预测,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,结果使估算的资源量不能够很好符合客观实际。在充分研究地质因素的基础上,认为物质基础和富集强度是矿床形成的重要条件,并据此对传统面金属量法进行了修正,建立了成矿概率面金属量法。该法可在一定程度上屏蔽虚假资源量。笔者采用成矿概率面金属量法对东天山地区铜镍矿的铜资源量进行了定量评价,效果较好。预测结果表明,东天山地区该类型铜矿资源潜力较大。

关键词:资源量估算;成矿概率;面金属量;东天山;铜镍矿

中图分类号:P624.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2010)01-0183-08

资源量估算是矿产资源潜力评价(矿产预测)的重要内容之一,作为矿产资源勘查的一项战略性和前瞻性工作,它不仅可以直接用于找矿工作的合理规划和科学部署,也可以为研究制定国家矿产资源战略和国民经济中长期规划提供科学依据^[1]。在过去三十多年预测工作实践中,国内外学者已经总结出多种用于资源量估算的方法。这些方法大体上可分为 2 类:一类是地质环境统计类比法,即通过分析各类控矿因素和找矿标志与资源量的关系,由外推而最终达到预测的目的,如逻辑信息法、数量化理论 I 和品位-吨位模型法等;另一类是确定性因素类比法,主要是通过分析计算含矿地质体的体积或金属量与储量的关系,用类比达到预测的目的,如物探体积法、体积法、面金属量法。这些方法要么过重依赖于统计分析,要么过重依赖于单一控矿因素,从而使估算的资源量不能够很好与客观实际符合。笔者认为资源量估算的思路不能脱离矿床形成的过程,即其能够充分反映矿床的成因机制。众所周知,矿床的形成应当具备 2 个必要的条件:一个是物质

条件,即矿床的形成应当有充分的物质基础或矿源^[2],且该矿源是可利用的^[2],否则成矿将无从谈起;另一个是富集条件,即当具备物质条件时,也还不一定能成矿,因为很多成矿物质在没有富集之前,往往是较均匀分布或呈类质同相存在而低于边界品位,还必须经过一定的活化、分异等富集过程才能成矿。基于以上考虑,在充分遵循客观成矿规律而又尽量发挥统计学优良特性的前提下,笔者提出了成矿概率面金属量法,该方法是对传统面金属量法的改进,它可以在很大程度上充分反映矿床的形成机制,又可充分发挥统计预测的优势。本文以东天山铜镍硫化物矿床预测为例,来详细探讨成矿概率面金属量法的原理及应用。

1 成矿概率面金属量法的原理

1.1 传统面金属量法

迄今为止,已有许多地球化学方法用于定量评价^[2,4-5],其中面金属量法是前苏联学者^[6]提出的一种地球化学异常评价的方法,其原理是利用次生晕和

收稿日期:2009-06-05;改回日期:2009-08-30

基金项目:中央公益性科研院所基本科研业务费专项“东天山铜镍硫化物矿产资源潜力评价方法研究”(K0908)资助。

作者简介:娄德波,男,1979 年生,博士,主要从事矿产资源评价研究;E-mail:lldbb_e@126.com。

分散流资料对矿体进行定量评价;以晕的扩散模式为依据,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在同一水平上的矿体中所包含金属量之间的对应关系,并籍此进行资源量估算。

面金属量(单位: $\text{m}^2 \cdot \%$)是沿平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按面积的积分。

次生晕的面金属量的计算公式如下:

$$P = \Delta S \left(\sum_{x=1}^n C_x - C_\phi \right)$$

其中, P 为成矿元素的次生晕的面金属量, ΔS 为普查网的方格的面积(m^2), C_x 为取样点上测得的金属元素的浓度, C_ϕ 为地区性的地球化学次生晕背景值。

分散流的面金属量的计算公式如下:

$$P' = \sum_{i=1}^m P'_i = \sum_{i=1}^m (C_x' - C_\phi') S$$

其中, P' 为成矿元素的面金属量, S 为汇水盆地面积(m^2), C_x' 为取样点上测得的金属元素的浓度, C_ϕ' 为水系中金属元素背景值。

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 亦存在如下关系:

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

式中, K 、 K' 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,对于在风化带中较稳定的原生和次生矿物的元素来说,在潮湿气候下, $K(K') > 1.0$,在干旱气候中, $K(K') < 1.0$;对于相对较不稳定的矿物来说,在潮湿气候下 $K(K') < 1.0$,在干旱气候下, $K(K') > 1.0$ 。

于是,深部矿体的金属储量可用下式计算:

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

其中, 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,将岩石的密度以 2.5 t/m^3 计时,则得到 $1/40$ 这个换算常数,同时将计算结果储量单位换算为 t 。

1.2 成矿概率面金属量法

如前所述,资源量的估计不仅取决于物质条件还取决于富集条件,因此在资源量估算过程中,只有对每个预测区的物质条件和富集条件区别对待,具体分析,才能得到符合实际的资源量。在传统的面金属量计算中,往往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^[7],采用了单一的富集系数,从而使预测的资源量严重偏离实际。本次采用改进的成矿概率面金属量法进行估算,在相当大的程度上提高了预测结果的可靠性。对每个预测区富集系数的确定,是在原有模型区富集系数的基础上,通过对预测区优选中的成矿概率进行修正,从而给每个预测区给出一个合理的富集系数。这一成矿概率可以是多种优选方法的归一化结果,如特征分析的成矿有利度^[8-9],也可以是(模糊)证据权法的后验概率^[10-13]。之所以使用成矿概率进行修正,是因为成矿概率本身就是区别不同预测区成矿有利程度的重要综合标志,从而使模型区富集系数外推时更加贴合实际。成矿概率面金属量法估算资源量的公式如下所示:

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

$$Q = \alpha \cdot \frac{1}{40} \cdot \frac{P'}{KK'} \cdot H \cdot \beta$$

式中 β 为成矿概率,其表达形式为:

$$\beta = \frac{\xi - \xi_{\min}}{\xi_{\max} - \xi_{\min}}$$

其中 ξ 为成矿有利度或后验概率。

2 东天山铜镍矿铜潜在资源量估算实例

2.1 东天山区域地质概况

天山山脉西起中亚诸国,东达中蒙边界,沿东西走向绵延约 3000 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 $91^\circ \sim 96^\circ$,北纬 $40^\circ 20' \sim 42^\circ 20'$,如图 1 所示。

东天山地区地处几大构造单元的交汇部位,在

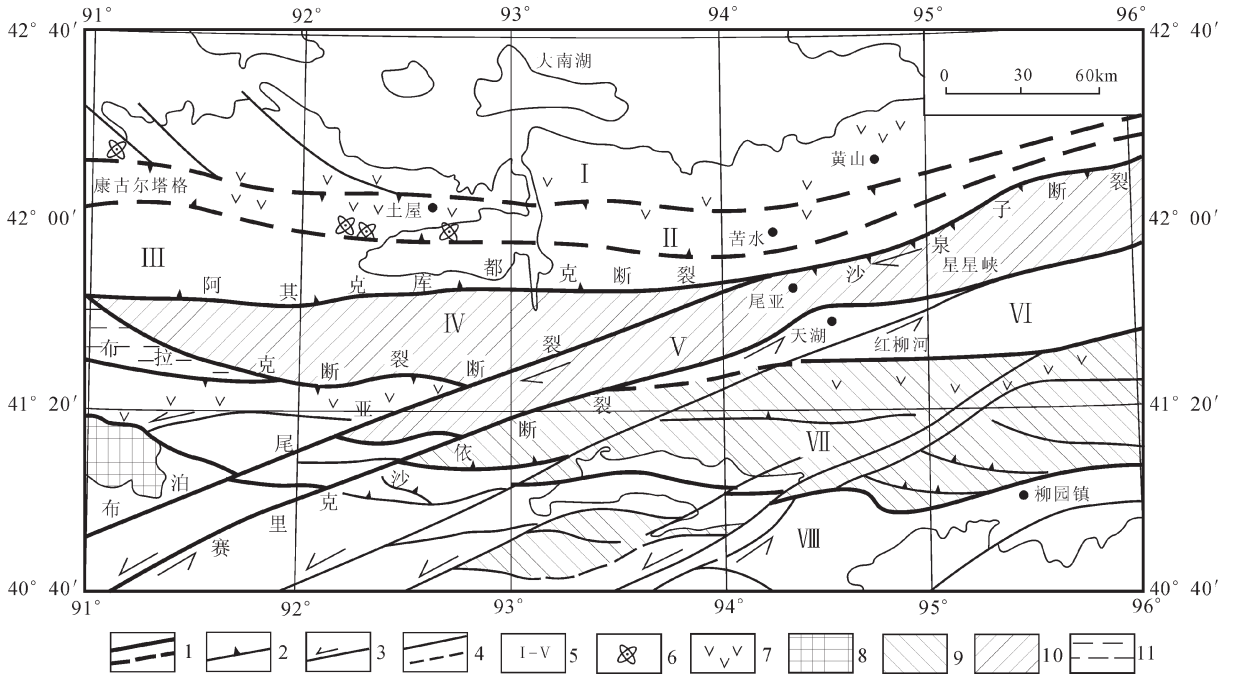


图 1 东天山区域构造简图^[14]

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—线性的地质体;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—红柳河—玉山山碰撞带;VII—马鬃山地块;VIII—柳园碰撞带

Fig.1 Regional tectonic map of East Tianshan Mountains^[14]

1- Boundary of tectonic unit; 2-Subduction zone; 3-Strike-slip fault; 4-Measured and deduced fault; 5-Serial number of tectonic unit; 6-Pillow basalt; 7-Island arc volcanic rock; 8-Kuluketage block; 9-Neopaleozoic geological body; 10-Metamorphic complex; 11-Linear geological body; I-Tuha terrane; II-Qiugemingtashi-Yamansu collision belt; III-Kuluketage terrane; IV-Kelatage terrane; V-Xingxingxia terrane; VI-Hongliuhe-Yushishan collision belt; VII-Mazongshan terrane; VIII -Liuyuan collision belt

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锌矿床,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 圈定最小预测区

圈定最小预测区通常包括网格法和地质体单元法 2 种方法。在地质体边界较好确定的情况下,一般使用地质体法,否则用网格法。由于铜镍硫化物矿床均赋存在深大断裂及其次生断裂中的基性、超基性岩体内,地质边界明确,同时圈定最小预测区是一个求同的过程,因此采用 MRAS 中要素叠加法来实现,圈定最小预测区的叠加方式如图 2,圈定结果如图 3 所示,笔者共圈定铜镍矿最小预测区 119 个,其中也包括重磁推断的深大断裂和基性超基性岩体。

2.3 预测区优选及成矿概率计算

在以上最小预测区圈定的基础上采用特征分析的方法计算成矿有利度及成矿概率,计算成矿有利度的公式以及选择的预测要素(表 1)如下:

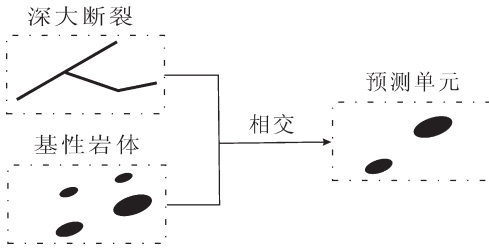


图 2 要素叠加方式
Fig.2 Overlay scheme of prediction factors

$$\xi = a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_kX_k + \dots + a_nX_n$$

其中, a_k 是变量 x_k 的权重, 使用平方和法计算, $k=1, 2, 3, \dots, n$ 。

经计算, 东天山铜镍硫化物矿床最小预测区优选分布图(包括筛选掉的预测区)以及成矿概率如图 4 和表 4 所示。

2.4 预测区铜资源量估算

根据地层建造分区统计各区 1:20 万铜地球化学元素特征及异常下限如表 2。

以黄山、香山、黄山东铜镍矿所在预测区为模型区(土墩铜镍矿所在预测区内地球化学分析数据均小于所在区异常下限, 面金属量计算结果为 0, 因此不能作为模型区), 根据公式计算工作区成矿富集系数, 式中 H 取 1000 m, 从 MRAS 软件面金属量计算结果读出各模型区 P 值, 最终求得该区的平均成矿富集系数 K 的计算结果为 2.6842; 具体结果如表 3

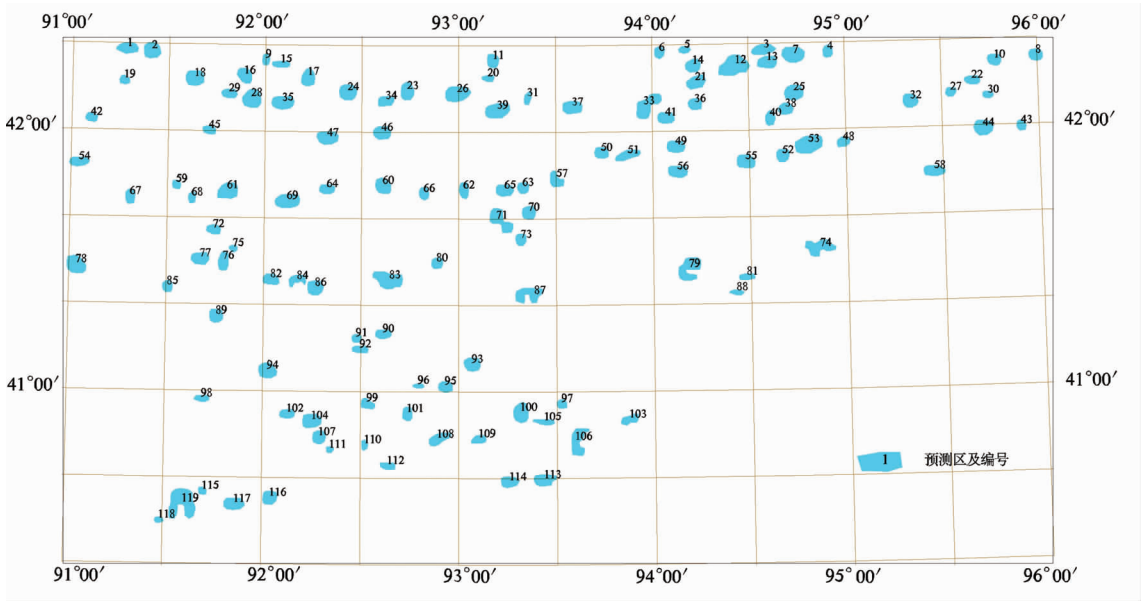


图 3 东天山铜镍矿预测区
Fig.3 Tract of copper-nickel sulfide deposits in East Tianshan Mountains

表 1 预测区优选要素组合

Table 1 Factor association of optimally selecting tracts

要素类别	要素名称	空间属性
侵入岩浆构造	区域性地质深大断裂	线元
岩浆建造	基性、超基性杂岩体	面元
	热液蚀变(绿泥石化+碳酸盐化+蛇纹石化+角岩化+滑石化+次闪石化)	面元
航磁资料	中等规模磁异常	面元
	航磁解译深大断裂	线元
重力资料	区域局部重力解译深大断裂	线元
化探异常	远景区内 Cu、Ni、Co、Cr、Cd、Fe ₂ O ₃ 、Mn、P ₂ O ₅ 、Sr、V 化探数据最大值	点元
	远景区内 Cr、Ni、Co、Ti、V 的累乘数据最大值	点元
遥感资料	遥感解译线性、环型构造的密度	线元
矿化线索	矿点、矿化点	点元

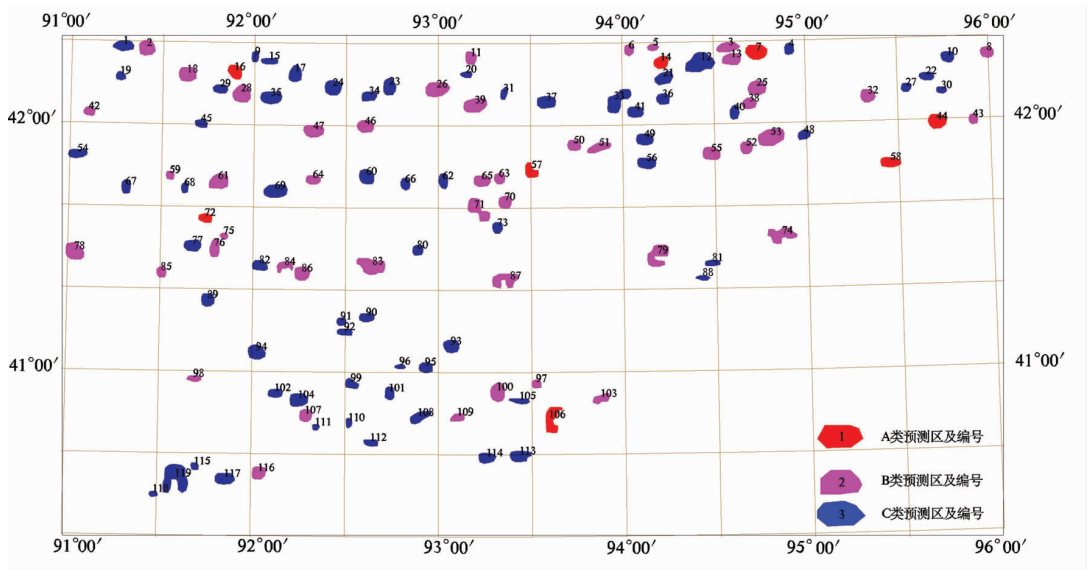


图 4 预测区优选结果
Fig.4 Results of optimally selecting tracts

表 2 各块体铜元素异常下限值^[7]

Table 2 Geochemical threshold of Cu element in all the blocks^[7]

块体名称	异常下限 (10 ⁻⁶)	块体名称	异常下限 (10 ⁻⁶)	块体名称	异常下限 (10 ⁻⁶)
大南湖岛弧带	28.45	星星峡地块	26.67	北山裂谷	19.43
康古尔塔格碰撞带	20.39	库鲁克塔格地块	15.14	柳园—马鬃山地块	40.37
喀拉塔格地块	42.52				

表 3 东天山已知铜镍矿床模型区铜的 K 值计算表

Table 3 Schedule of Cu K-values of known Cu-Ni deposits in the models of East Tianshan aera

矿床名称	已查明储量 (万 t)	面金属量 (m ² · %)	计算深度 (m)	成矿富集系数 K
香山	3.26	13154	1000	
黄山	20.8333	20372.92	1000	2.6842
黄山东	19.12	27320.92	1000	

表 4 东天山铜镍矿预测区成果

Table 4 Result of the tract of copper and nickel sulfide deposits in East Tianshan Mountains

ID	成矿概率	Cu面金属量 (t)	估算资源量 (t)	备注	ID	成矿概率	Cu面金属量 (t)	估算资源量 (t)	备注
1	0.198	97840.000	90101		61	0.335	15138.480	23605	
2	0.533	44740.000	110962		62	0.335	18032.600	28117	
3	0.533	13154.800	32626		63	0.533	4544.200	11270	
4	0.335	790.960	1233		64	0.335	11016.800	17178	
5	0.335	0.000	0	*	65	0.533	38976.600	96668	
6	0.335	446.960	697		66	0.335	0.000	0	*
7	1.000	27320.720	127227		67	0.335	4023.080	6273	
8	0.335	0.000	0	*	68	0.335	0.000	0	*
9	0.198	41458.960	38179		69	0.335	14328.000	22341	

续表 4

10	0.335	5300.880	8265		70	0.533	0.000	0
11	0.335	3092.680	4822		71	0.533	19136.800	47462
12	0.335	36878.640	57503		72	0.533	7212.320	17888
13	0.926	20372.880	87837		73	0.000	0.000	0
14	0.533	0.000	0	*	74	1.000	36982.560	172221
15	0.198	18465.280	17005		75	0.335	623.080	972
16	0.533	75740.000	187846		76	0.533	0.000	0
17	0.198	58356.880	53741		77	0.198	0.000	0
18	0.533	99480.000	246725		78	0.533	22060.960	54714
19	0.335	15572.000	24281		79	0.335	89524.320	139590
20	0.000	3678.040	0	*	80	0.198	105.600	97
21	0.335	18739.840	29220		81	0.000	40321.280	0
22	0.461	0.000	0	*	82	0.335	0.000	0
23	0.198	11579.600	10664		83	0.533	27368.000	67877
24	0.461	93343.200	200247		84	0.198	8982.400	8272
25	0.335	17052.880	26590		85	0.533	10030.160	24876
26	0.533	31409.280	77900		86	0.533	1797.600	4458
27	0.000	0.000	0	*	87	0.335	20021.800	31219
28	0.533	179760.000	445831		88	0.000	0.000	0
29	0.198	61700.000	56819		89	0.198	10402.240	9579
30	0.335	0.000	0	*	90	0.198	45826.720	42202
31	0.335	196.680	307		91	0.198	12563.840	11570
32	0.533	0.000	0	*	92	0.335	4169.920	6502
33	0.569	71779.680	190042		93	0.000	12148.640	0
34	0.321	49632.240	74273		94	0.198	29588.640	27248
35	0.198	118755.840	109362		95	0.198	20839.680	19191
36	0.198	1110.960	1023		96	0.000	18514.880	0
37	0.335	39650.120	61824		97	0.335	14359.480	22390
38	0.461	0.000	0	*	98	0.335	15682.240	24452
39	0.335	29853.440	46549		99	0.198	22404.800	20633
40	0.000	0.000	0	*	100	0.335	10335.480	16116
41	0.000	25132.880	0	*	101	0.000	30669.760	0
42	0.335	65076.000	101470		102	0.198	6979.840	6428
43	0.335	0.000	0	*	103	0.335	12522.320	19525
44	0.766	0.000	0	*	104	0.198	20189.760	18593
45	0.198	8758.160	8065		105	0.198	261.160	241
46	0.335	10310.960	16077		106	0.533	7983.480	19800
47	0.335	12590.400	19632		107	0.533	20619.840	51140
48	0.198	9781.760	9008		108	0.198	49886.720	45941
49	0.335	0.000	0	*	109	0.335	0.000	0
50	0.533	0.000	0	*	110	0.198	2929.920	2698
51	0.000	0.000	0	*	111	0.000	0.000	0
52	0.533	13373.760	33169		112	0.335	2608.960	4068
53	0.533	11757.760	29161		113	0.198	1794.440	1652
54	0.198	0.000	0	*	114	0.198	194.440	179
55	0.335	51953.280	81008		115	0.198	28074.400	25854
56	0.335	20459.520	31901		116	0.335	51721.280	80646
57	0.656	0.000	0	*	117	0.198	53786.000	49531
58	0.533	27788.480	68919		118	0.198	6637.200	6112
59	0.335	0.000	0	*	119	0.429	142119.400	284063
60	0.335	6131.200	9560		---	---	---	---

注:为了便于说明问题,筛选后,仍然保留被筛选掉的预测区。

所示。

根据上述成矿概率面金属量法估算资源量的公式,计算东天山地区铜镍硫化物矿床铜资源量分布表 4。

从表 4 资源量估算的结果可以看出,东天山地区铜镍硫化物矿床铜矿预测总资源量为 442 万 t(包括已经探明的储量),与专家得出的认识基本一致。

从表中每个预测区估算的资源量与成矿概率以及面金属量的关系来看,资源量的大小是由成矿概率、面金属量以及模型区的成矿富集系数共同决定的,成矿概率大的地方,如果面金属量过小,估算的资源量未必很大,反之亦然。此外,此次资源量估算过程中,并没有考虑剥蚀深度这一重要因素,其主要原因是还没有在区域上找到计算剥蚀深度的明确指标,而作为“源、运、储、变、保”矿床研究的 5 个阶段^[15-16]之中的保存因素未能考虑,必然影响预测的结果,因此,剥蚀程度因素的分析,必将使该方法在此基础上预测出更为合理的结果。

3 结 论

通过采用以上成矿概率面金属量法对东天山地区铜镍硫化物矿床铜资源量进行估算和分析,可以看出:

(1) 矿床的形成必须具备 2 个条件,即物质条件和富集条件,二者缺一不可。

(2) 在矿产资源潜力评价过程中,资源潜力的评价过程不能脱离矿床的形成机制,否则,预测结果将有可能严重偏离实际。

(3) 控矿因素与找矿标志的剥离问题仍未解决。有些要素并非是成矿的富集因素,而是一种找矿标志,如何将富集因素从所使用的预测要素中剥离出来,还是一个非常值得研究的问题。

(4) 在采用该方法进行资源量估算时,未考虑矿床的剥蚀程度,这在一定程度上影响了结果的准确性,因此还需进一步改进。

(5) 通过对东天山铜镍硫化物矿床的预测评价,共估算本地区铜资源量 442 万 t(包括已经探明的储量),证明该区找矿潜力较大。

参考文献 (references):

[1] 娄德波,宋国玺,李楠,等.磁法在我国矿产预测中的应用[J].地球物理学进展,2008,23(1):249-256.

Lou Debo, Song Guoxi, Li Nan, et al. The application of magnetic method in national mineral prediction [J]. Progress in Geophysics, 2008, 23(1):249-256 (in Chinese with English abstract).

[2] 王学求.大型矿床地球化学定量评价模型和方法[J].地学前缘,2003,10(1):257-261.

Wang Xueqiu. A geochemical quantitative assessment model and approach for large ore deposits[J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(1):257-261 (in Chinese with English abstract).

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

Zhai Yusheng. Regional structure and regional geochemistry and metallogeny [J]. Geological Survey and Research, 2003, 26(1):1-7 (in Chinese with English abstract).

[4] 刘大文,谢学锦.基于地球化学块体概念的中国锡资源潜力评价[J].中国地质,2005,32(1):25-32.

Liu Dawei, Xie Xuejin. Evaluation of China's tin resources potential based on the geochemical block concept [J]. Geology in China, 2005, 32(1):25-32(in Chinese with English abstract).

[5] 谢学锦,刘大文,向运川,等.地球化学块体——概念和方法学的发展[J].中国地质,2002,29(3):225-233.

Xie Xuejin, Liu Dawei, Xiang Yunchuan, et al. Geochemical blocks: development of concept and methodology [J]. Geology in China, 2002, 29(3):225-233 (in Chinese with English abstract).

[6] 索洛沃夫 A Л. 金属量测量的理论和实践基础[M].北京:中国工业出版社,1957:46-121.

Соловов А Л. Theory and practice foundation of metallometric survey[M]. Beijing: China Industry Press, 1957:46-121 (in Chinese with English abstract).

[7] 丁建华,肖克炎,刘锐,等.区域资源定量评价中面金属量法的应用——以东天山为例[J].矿床地质,2007,26(2):230-236.

Ding Jianhua, Xiao Keyan, Liu Rui, et al. Application of areal productivity to quantification of regional resources: a case study of East Tianshan Mountains[J]. Mineral Deposits, 2007, 26(2):230-236 (in Chinese with English abstract).

[8] MacCommon R B, Botbol J M, Sinding-Larsen R, et al. Characteristic analysis—1981: Final program and a possible discovery [J]. Mathematical Geology, 1983, 15(1):59-83.

[9] 雷祖志,姜明辉.特征分析法简介及其初步应用[J].地质与勘探,1983,(11):32-37.

Lei Zuzhi, Jiang Minghui. Basic introduction and application of characteristic analysis [J]. Geology and Exploration, 1983, (11):32-37 (in Chinese with English abstract).

[10] Bonham-Cater G F, Agterberg F P, Wright D F. Weights of evidence modelling: a new approach to mapping mineral potential [C]//Agterberg F P, Bonham-Carter, G F (eds.). Statistical Applications in the Earth Sciences. Geology Survey Canada, 1989, (9):171-183.

[11] Agterberg F P, Bonham-Carter G F, Cheng Q M, et al. Weights of evidence modeling and weighted logistic regression for mineral potential mapping [C]//Davis J C, Herzfeld U C (eds.). Computers

- in Geology. Oxford University Press, New York, 1993:13-32.
- [12] Bonham -Cater G P. Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS [M]. Oxford: Pergamon Press, 1994:398.
- [13] Cheng Qiuming, Agterberg F P. Fuzzy weights of evidence method and its application in mineral potential mapping[J]. Natural Resources Research, 1999, 8(1):27-35.
- [14] 李锦轶, 王克卓, 李文铅, 等. 东天山晚古生代以来大地构造与矿产勘查[J]. 新疆地质, 2002, 20(4):295-301.
Li Jinyi, Wang Kezhuo, Li Wenqian, et al. Tectonic evaluation since the late paleozoic and prospecting in Eastern Tianshan mountains, NW China[J]. Xinjiang Geology, 2002, 20(4):295-301 (in Chinese with English abstract).
- [15] 翟裕生, 邓军, 彭润民. 矿床变化与保存的研究内容和研究方法[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(4):340-345.
Zhai Yusheng, Deng Jun, Peng Runming. Research contents and methods for post-ore changes, modifications and preservation[J]. Earth Science——Journal of China University of Geosciences, 2000, 25(4):340-345 (in Chinese with English abstract).
- [16] 翟裕生. 地球系统、成矿系统到勘查系统[J]. 地学前缘, 2007, 14(1):172-181.
Zhai Yusheng. Earth system, metallogenic system to exploration system [J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14 (1):172-181 (in Chinese with English abstract).

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

LOU De-bo, XIAO Ke-yan, SUN Yan, LI Nan

(Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China)

Abstract: Geochemical methods have been commonly used in the quantification of mineral resources. Most of these methods, however, are based merely on geochemical data, with less attention paid to geological factors such as tectonics and strata. In consequence, the estimation of mineral resources frequently fails to conform to the reality. Based on a study of geological factors, the authors consider material basis and enrichment intensity as important metallogenic conditions and have thus established a new areal productivity based on the probability of mineral occurrence by modifying the traditional areal productivity. To some extent, this method wipes off pseudo-estimation. The authors calculated the copper potential resources of copper-nickel sulfide deposits in East Tianshan Mountains and obtained satisfactory result. It is shown that the potential of copper resources in the East Tianshan Mountains is very great.

Key words: estimation of resources; probability of mineral occurrence; areal productivity; East Tianshan Mountains; copper-nickel sulfide

About the first author: LOU De-bo, male, born in 1979, doctor, engages in mineral resource assessment; E-mail: llddb_e@126.com.