

矿产资源评价系统及其在东昆仑的应用

董英君 张德全 徐文艺 余宏全

中国地质科学院矿产资源研究所 北京 100037

摘要 多元信息成矿预测是一种高效、高质量的找矿勘查方法,代表了当今找矿评价工作中的主流发展趋势,该方法是以成矿地质理论为指导、以地物化遥异常理论为依托、借助数学方法和计算机技术对地物化遥异常中的各种与矿床有关的信息进行量化分析,从而进行成矿预测的一种找矿勘查技术方法。本研究的重点是应用矿产资源评价系统,分析和运用研究区的地质、地球化学和地球物理信息,构造预测变量,将各种有利于矿床形成的变量进行成矿有利度得分和多源信息综合定量分析,在此基础上,综合分析东昆仑地区地质、矿产、地球物理和地球化学信息,根据已知矿床反映出的成矿规律、控矿条件及找矿标志建立找矿模型,对东昆仑地区进行了1:50万综合成矿预测,获得 Sedex 型矿床在东昆仑地区的成矿有利度分布,并圈定出找矿远景区。为东昆仑地区找矿预测提供了重要依据。

关键词 资源评价 多元信息 变量 东昆仑

Studies on Geophysical Properties and Distribution of Mineral Resources in East Kunlun

DONG Yingjun ZHANG Dequan XU Wenyi SHE Hongquan

Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing, 100037

Abstract Multi-info metallogenic prognosis, as an efficient tool for ore prospecting, represents a modern trend in deposit assessment worldwide. The system, aiming at metallogenic prognosis, is directed by metallogenic principle, supported by geological, geochemical and remote sensing principles on the corresponding anomalies, by mathematical measures and computing techniques to quantitatively analyse all data relevant to ore deposit from all concerning anomalies. The key of the study lies on the analysis on and utilization of geological, geochemical, geophysical data and tectonic prognosis variables in the area of interest, using the Mineral Resources Assessing System (MRAS), to rank the metallogenic favorableness of the potential variables for the formation of ore deposits. A prospecting model is set up based on the analysis in various kinds of data in the area, and on the metallogenic laws drawn from the existing deposit, its controlling factors and indicators for deposit. The metallogenic prognosis for East Kunlun region is integratedly conducted at a scale of 1:500 000, and the metallogenic favorableness distribution pattern is derived for Sedex-style deposit, with the outline of targeting areas, thus offering valuable clues for deposit prospecting in the region.

Key words resource assessment multi-info variable East Kunlun

多元信息成矿预测是以成矿地质理论为指导、以地物化遥异常理论为依托、借助数学方法和计算机技术对地物化遥异常中的各种与矿床有关的信息进行量化分析,从而进行成矿预测的一种找矿勘查技术方法,是当前找矿勘查方法研究中的重要前沿领域(赵鹏大等,1991;王世称等,1995;朱裕生等,1995)。基于GIS的多元信息成矿预测以GIS技术为支撑,充分发挥GIS技术强大的数据管理、空间信息分析和成果表达功能,避免不必要的人为因素干扰,将人们从传统成矿预测的复杂繁重工作中解放出来,是一种高效、高质量的找矿勘查方法,代表

了当今找矿评价工作中的主流发展趋势。笔者在东昆仑地区进行多元信息成矿预测即采用中国地质科学院成矿区划研究室开发的MRAS软件(肖克炎等,2000)。由于东昆仑地区工作程度较低,主要是运用其中的特征分析定量综合预测模型进行矿床定位预测,即综合分析东昆仑地区地质、矿产、地球物理和地球化学信息,根据已知矿床反映出的成矿规律、控矿条件及找矿标志建立找矿模型,经过定量类比分析,获得 Sedex 型矿床在东昆仑地区的成矿有利度分布,最后圈出不同类别的预测靶区,为制订最佳找矿方案提供依据。

1 多元信息成矿预测方法

基于 GIS 矿床定量综合预测模型是矿床统计预测中最为成熟的方法,包括变量构置、选择、单元划分、模型选择、定位和资源量预测等一系列较为复杂的工作。该模型是通过已知矿床建立区域矿产资源评价的定量模型。也就是说,必须以已知控制模型区为基础,研究和构造预测标志组合,并定量给出各标志因素的权重。该方法不仅能够进行定位预测,而且还能进行资源量评价。系统的工作程序如图 1。

具体步骤为:

(1) 构造综合评价预测工程:根据矿床模型研究和区域评价资料水平,将相关信息资料以专题形式添加到预测工程中去。

(2) 进行预测单元划分:MRAS 提供两种单元划分方法,即网格法与地质单元法。

(3) 用户根据已知矿床模型,进行地质标志因素的选择和预测变量的初次预置。

(4) 进行建模模型单元的选择:使用方法是:①用户直接通过交互视屏人工选取;②根据数量化理论 W,定量选择模型区。

(5) 预测变量选择:根据模型单元,定量选择那些与矿床最密切的地质找矿信息标志。对定位预测变量,选择的方法有平方和法、秩相关系数法;对定量预测变量的选择,有变异序列法和秩相关系数法。

(6) 变量的转换:对特征分析和逻辑信息法,都需要进行定量变量向定性变量转换,采用的方法是频数统计法。

(7) 特征分析定位预测及聚类分析、数量化理论 III、IV 等。

(8) 预测成果检验及图形表达:检测有色块图、等值线、预测数据表等多种表达方式。

结合东昆仑地区地质、地球化学和地球物理信息与成矿理论,研究探讨预测单元划分、预测变量选择、模型单元选择、变量的二值化和特征分析定位预测。

1.1 模型单元的选取

单元划分是矿床统计预测的一项基础性工作。其预测的结果皆建立在一定单元划分基础之上。单元不仅作为统计样品,而且作为资源的载体是矿产资源定量预测中统计模型与地质模型有机关联的关键环节。因此,在矿床统计预测中,单元划分是一项十分重要的研究内容,其划分的正确与否直接关系到预测的精度及效果。

矿产资源统计预测中普遍采用的统计单元可概括为两类:“网格单元”和“地质体单元”。

单元的选取:特征分析使用的单元,可以用某种方法划分的网格,也可以是地质体,在具体应用中,根据研究地区的工作程度和资料来确定。在本研究中采用的是“网格单元”。

“网格单元”划分的关键问题是选择单元的大小,统计预测中单元的大小反映不同的抽样观测条件,条件不同会影响统计分析结果,因而统计预测中研究单元的划分是一项十分重要的内容。统计预测比例尺的大小与预测区的地质研究程度及预测地区范围大小有关,一般中小比例尺的统计预测多采用等面积网格单元划分法,但单元面积大小的确定,目前尚缺乏明确准则。有人据研究区内矿点数及预测范围大小,提出经验性的最优单元面积为用 2 乘以总面积/矿点总数。也有人根据地质图比例尺大小提出划分单元大小的参考性数据区间,即据相应比例尺的地质图用 $1 \sim 4 \text{ cm}^2$ 的面积做为基本单元的大小,如对于 1:50 万地质图,单元大小为 $2.5 \sim 20 \text{ km}^2$ 的面积(赵鹏大等,1994)。在本研究中采用了后一种划分方法。

1.2 预测变量因素的选取

经过地质、地球物理、地球化学和遥感等成矿信息的提取和分析,产生大量的、具有预测意义的找矿标志信息。根据综合信息找矿模型,定量选择与矿床最密切的地质找矿信息标志。

1.2.1 矿点因素专题的变量选取 由于已知矿床(点)是指示矿床存在的最直接标志,由单元内存在矿点,可以预测其临近单元中存在矿点的可能性,因此,研究区矿点的矿床规模、矿种、成因类型等属性均可以作为预测的统计变量。此外矿点分布密度亦可作为变量因素。

1.2.2 重力异常因素专题的变量选取 在区域成矿预测中,布格重力异常在分析中可利用其异常特

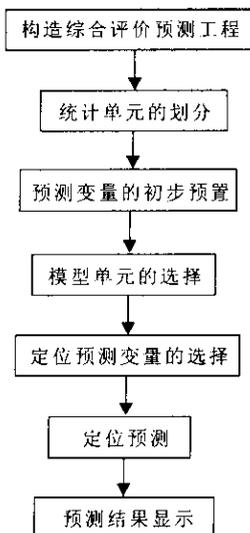


图 1 多元信息预测工作流程图

征线到单元的距离作为变量选取;因明显的线状重力梯级带、不同特征的重力场的边界线和异常形态的明显线状扭曲或位移,往往是断裂或断裂带、物质密度变化的反映,与矿化密切相关。

1.2.3 磁力异常因素专题的变量选取 1:50 万的航磁异常提供了丰富的信息,磁异常的线性异常带、线性排列的串珠状异常带、磁异常带水平位移、线状异常带的明显错断或扭曲、不同形状特征的磁场分界线、线状异常带的交叉和切割等变化与断裂和磁性变化密切相关。本研究取磁特征线密度为变量因素。

1.2.4 构造线专题的变量选取 深大断裂不仅是不同构造单元的界限,而且具有长期活动性和继承性,控制着不同时代地层、侵入岩和火山岩的分布。如发育在深大断裂与次级断裂交汇部位附近的韧性剪切带和构造破碎带往往是金矿成矿的有利部位。因此,通过计算深大断裂到预测单元的中心距离,来获得深大断裂对研究区的影响力。

另外,断裂的密集和走向多变亦说明构造的复杂,因此,断层密度分布也可作为变量因素。

1.2.5 化探异常因素专题的变量选取 化探信息是一种直接找矿信息,是找矿预测中的重要变量。

单因素化探等值线异常通过获取落在预测单元中的等值线,并计算等值线的属性数据的平均值或极大值,得到等值线数据的变量信息,生成变量因素。区域化探异常是通过面积、峰值、均值、衬度,计算各单元变量信息,生成 4 个变量因素。还可以生成组合变量,如由均值和面积的乘积作为强度变量。

1.2.6 地质图因素专题的变量选取 一些矿床,如金矿床与地区的地质作用过程的复杂性相关,一个地区的地质单元越复杂,对成矿越有利。数学上衡量复杂度可以用熵分析来解决。因此,各单元中所含地质信息的熵值作为变量,它反映了该单元地质信息复杂的程度。

地质图还包含了成矿的地层及侵入岩体等重要信息均可作为变量因素。

1.3 模型单元的选择

特征分析的实质是通过对有矿单元变量之间相互关系的研究,综合出矿床的共同规律,即所谓典型特征。此次研究的目的是,这个规律或特征应当是矿化的表现,因此要选用有矿单元建立模型,而且要有足够的数量以保证模型的代表性。

与其他方法对单元的要求一样,模型单元和预测单元应有相同的定义。建立模型所用的单元,可以在研究区内选择,也可以由研究区外地质条件相似的地区选出,不论使用哪种方法,其前提条件必须保证模型与预测对象具有可类比性。

在工作程度较低、已知矿床很少的地区,使用一

些与已知矿床地质条件相似的未知单元与矿床一起建立模型也是可行的方法。这时建立的模型实际是矿床模型的推广。

1.4 变量因素的数据变换和筛选

数据的变换在矿产资源评价中,是指将原始资料信息转换为矿产资源评价方法模型能够接受、理解的数据模型,常用方法有人工赋值和定量数据标准化等。

定位预测要求变量的数据为二值化的数据。由人工输入合适的变换区间进行变量的二值化。变量的二值化重点是找矿有利数值区间的选择,不同的选择将得到不同的预测结果,因此常常需要根据有关标准和丰富的经验多次选择才能得出切合实际满意的结果。区间确定后,在此区间内的单元该变量取值为 1,否则为 0。然后生成二值化的定位预测转换数据专题。

1.5 定位预测

特征分析预测法是一种多元统计方法。它通过对研究区内已知单元的研究,查明地质变量之间的内在联系并确定它们的找矿意义,从而建立起特定类型矿床的定量模式。预测时将预测对象的地质特征与模型对比,用它们的相似程度表示预测对象的成矿可能性,据此圈定出有利成矿的各级远景区。主要有两个方面的研究内容:

(1)首先,从研究已知的有矿单元的主要特征标志(包括地质、地球化学、地球物理和遥感等变量提供的矿化信息)出发,通过考查标志(变量)间的匹配关系,研究变量之间的相关性,从而筛选出对成矿有指示意义的重要控矿因素和找矿标志 x_i ($i = 1, 2, \dots, p$),并按其对找矿作用的大小,对变量赋予不同的权 b_i ($i = 1, 2, \dots, p$),从而建立起某种矿床类型的定量化模型,该模型示于公式(1):

$$y = \sum_{i=1}^p b_i x_i \quad (1)$$

式中: y 为关联度或关联指数; x_i 为特征标志(变量),即控矿地质因素和找矿标志; b_i 为各特征标志(变量)的权系数。

所以,该模型的实质是一组特征标志的加权线性组合。建立模型的关键是求解变量(x_i)的权系数(b_i)。

(2)考查评价区未知单元的一组特征标志和矿床模型的该组特征标志的关联程度,即将评价区未知单元的 x_i ($i = 1, 2, \dots, p$) 值代入(1)式得关联度值 y , y 值的大小表示了未知单元找矿有利程度。显然 y 值越大,说明该单元的地质特征愈接近已知模型矿床的地质特征,越利于找矿,从而圈定出有利找矿远景区。

2 矿产资源评价系统在东昆仑的应用

根据研究区典型矿床的基本特征,对东昆仑地区进行了1:50万综合成矿预测,应用Sedex型找矿模型进行定位预测。

2.1 Sedex型找矿模型建立

含矿岩系选择昆仑山中、北部及柴达木盆地北缘地区的中元古界狼牙山组砂岩及碳酸盐岩、滩间山群下部黑色岩系及碳酸盐岩和中吾农山群上部细碎屑岩及碳酸盐岩,昆仑山南部万保沟群碎屑岩及碳酸盐岩,鄂拉山地区甘家组和隆务和群碎屑岩及碳酸盐岩。矿体呈似层状体,主要产于细碎屑岩或黑色岩系与碳酸盐岩界面附近的碳酸盐岩中。

成矿元素 Pb、Zn、Cu,伴生 Ag、Au、Co。

成矿背景:裂隙槽中强烈沉降的大型盆地中的

次级盆地,沿同生断裂分布的海底热水系统。

地球化学 Pb、Zn、Cu、Ag、As、Sb、Sn、Au、Mn 等元素异常。

航磁异常:区域性弱磁性的平稳磁场中,低缓磁异常或磁性跳跃地段。

模型矿床:树基沟 Pb-Zn 矿化点、锡铁山 Pb-Zn 矿床、蓄积山 Pb-Zn 矿床、迎庆沟 Pb-Zn 矿点、赤台 Cu-Au-Ag 矿点、铜峪沟 Cu-Au-Ag 矿床、赛什塘 Cu-Pb-Zn 矿床等。

2.2 网格单元的划分

按每个单元 15 km²大小,将研究区分为 1 403 个网格单元(图 2)。

2.3 变量选择与赋值

根据综合信息找矿模型,选择如下预测变量:①地质体焓(反映地质作用复杂程度);②存在 Sedex

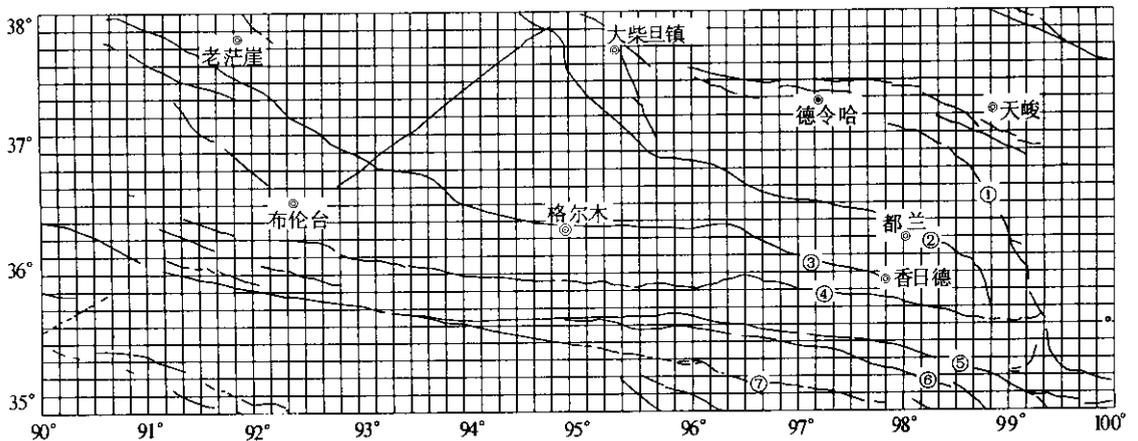


图 2 研究区网格单元划分图

Fig.2 The studied area in grid chart unit

- ①-哇洪山-鄂拉山断裂带;②-柴北缘断裂带;③-柴南缘断裂带;④-昆中断裂带;⑤-昆南断裂带;⑥-阿尼玛卿断裂带;
- ⑦-扎陵湖-鄂陵湖北断裂带

- ①-Wahongshan-Elashan fault;②-Chaibeiyuan fault;③-North Kunlun fault;④-Central Kunkun fault;⑤-South Kunlun fault;
- ⑥-Anymaqin fault;⑦-North Baryan Har fault

型矿床;③存在万保沟群或狼牙山组或滩间山群或中吾农山群或隆务河群或甘家组地层;④磁异常特征线密度;⑤Pb元素地球化学测量值;⑥Zn元素地球化学测量值;⑦Cu元素地球化学测量值;⑧Ag元素地球化学测量值;⑨Au元素地球化学测量值;⑩Sb元素地球化学测量值;⑪Sn元素地球化学测量值;⑫Pb地球化学异常衬度;⑬Pb地球化学异常浓度分带;⑭Zn地球化学异常衬度;⑮Zn地球化学异常浓度分带。

上述各预测变量取值及经过统计计算后各变量权系数列于表 1。

2.4 定位预测结果

根据预测结果(图 3),共圈出 Sedex 型矿床找矿靶区 14 个(图 4)。在 14 个靶区中,除 Sdx1 和

Sdx2 目前虽未见矿化,但有 Pb-Zn-Au-Ag-Sn 组合异常显示外,其余靶区均有多金属矿点存在,其中 Sdx3 和 Sdx5 有已知的 Sedex 型矿床或矿点存在。这些靶区主要集中分布于昆北带西段、东昆仑中段(昆南带为主)和柴北缘南段——鄂拉山地区,构成 3 个重要 Sedex 型矿床找矿远景区段。其中 Sdx1 至 Sdx4 靶区构成昆北带西段,寻找中元古代和奥陶—志留纪以 Pb-Zn 为主的 Sedex 型矿床,由 Sdx5 至 Sdx8 靶区构成的昆南带万保沟-驼路沟地区,寻找震旦—寒武纪 Sedex 型 Cu-Co 矿床,以及由 Sdx9 至 Sdx14 靶区构成的鄂拉山地区,寻找二叠纪—早三叠世 Sedex 型铜多金属矿床最有远景。

矿产资源的评价系统是对地质勘查所积累的地质、地球化学、地球物理和遥感等数字化信息进行综

表 1 Sedex 型矿床预测变量表

Table 1 Allocation of quantified values of geo-variables about Sedex-style deposit

| 序号 | 变量名称 | 有利找矿数值区间或存在信息 | 权系数 | 变量定义或说明 (长度指 1:50 万图上长度, 单位为 mm) |
|----|--------------|---------------------------------|----------|-------------------------------------|
| 1 | 地质体熵值 | 70~100 | 0.334141 | |
| 2 | 存在重要含矿地层 | 1 | 0.415127 | 单元内含万保沟群、滩间山群、狼牙山组、隆务河群、甘家组、中吾农山群 |
| 3 | 存在 Sedex 型矿床 | 1 | 0.451535 | |
| 4 | Au 元素地球化学测量值 | $(2.0 \sim 100) \times 10^{-9}$ | 0.225767 | |
| 5 | Ag 元素地球化学测量值 | $(80 \sim 845) \times 10^{-9}$ | 0.209020 | |
| 6 | Cu 元素地球化学测量值 | $(40 \sim 240) \times 10^{-6}$ | 0.130347 | |
| 7 | Pb 元素地球化学测量值 | $30 \sim 1016 \times 10^{-6}$ | 0.120678 | |
| 8 | Zn 元素地球化学测量值 | $70 \sim 400 \times 10^{-6}$ | 0.307669 | |
| 9 | Sb 元素地球化学测量值 | $1.8 \sim 105 \times 10^{-6}$ | 0.225767 | |
| 10 | Sn 元素地球化学测量值 | $4.0 \sim 44.2 \times 10^{-6}$ | 0.214748 | |
| 11 | 磁力特征线密度 | 0.1~0.2443 | 0.000000 | 为单元内磁力特征线长度之和 |
| 12 | Pb 区域化探浓度分带 | 两带以上为 1 | 0.155794 | 单元内异常浓度分带 |
| 13 | Pb 区域化探衬度 | 1.79~25.77 | 0.155794 | 单元内异常衬度 |
| 14 | Zn 区域化探浓度分带 | 两带以上为 1 | 0.155794 | 单元内异常浓度分带 |
| 15 | Zn 区域化探衬度 | 1.4~17 | 0.155794 | 单元内异常衬度 |

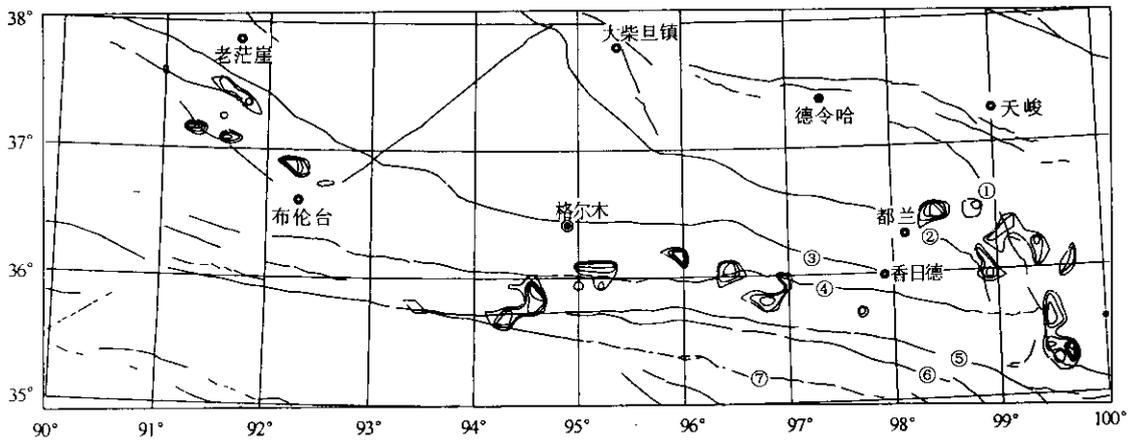


图 3 东昆仑地区 Sedex 型矿床成矿有利度得分高值区空间分布

Fig.3 Spatial distribution of metallogenetic favorableness high of the Sedsx-style deposit in east Kunlun area

- ①-哇洪山-鄂拉山断裂带; ②-柴北缘断裂带; ③-昆北断裂带; ④-昆中断裂带; ⑤-昆南断裂带; ⑥-阿尼玛卿断裂带; ⑦-北巴颜喀拉断裂带
 ①-Wahongshan-Elashan fault; ②-Chaibeiyuan fault; ③-North Kunlun fault; ④-Central Kunkun fault; ⑤-South Kunlun fault;
 ⑥-Anymaqin fault; ⑦-North Baryan Har fault

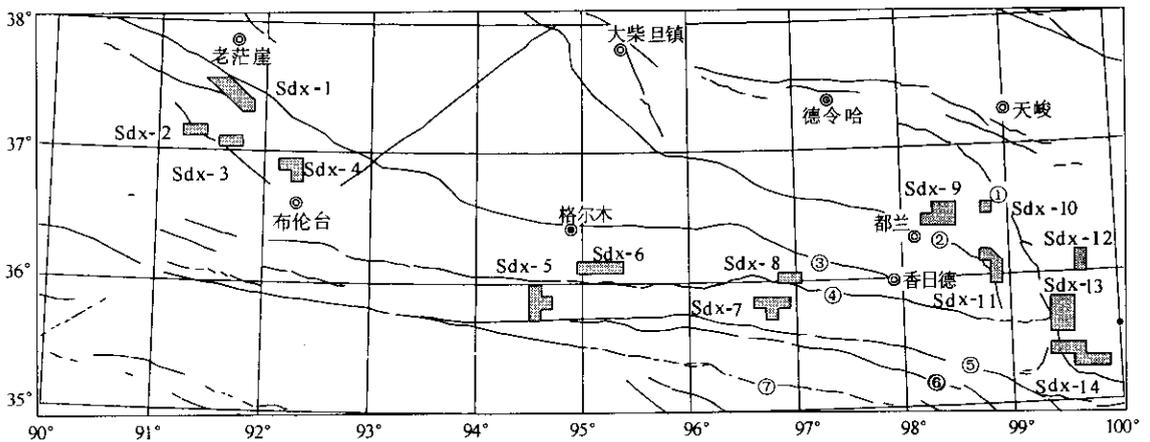


图 4 东昆仑地区 Sedex 型矿床找矿靶区分布图

Fig. 4 Distribution of targets for Sedex-style deposit in east Kunlun area

- ①-哇洪山-鄂拉山断裂带; ②-柴北缘断裂带; ③-昆北断裂带; ④-昆中断裂带; ⑤-昆南断裂带; ⑥-阿尼玛卿断裂带; ⑦-北巴颜喀拉断裂带
 ①-Wahongshan-Elashan fault; ②-Chaibeiyuan fault; ③-North Kunlun fault; ④-Central Kunkun fault; ⑤-South Kunlun fault;
 ⑥-Anymaqin fault; ⑦-North Baryan Har fault

合分析,它将成矿理论、矿产资源评价数值计算与 GIS 可视化结合起来,该方法强调对各种找矿信息的充分挖掘与综合,使得科学找矿的各种勘探手段所获得的成矿信息都得到最大程度的利用。通过研究区域成矿规律,对研究区的矿产资源存在的可能性、资源数量、质量及经济价值进行科学的预测与评价。这一方法将提高成矿预测的精度,缩短矿产勘探周期,为成矿预测开辟了一片广阔天地。对东昆仑地区的矿产资源的预测,为在该地区找矿工作部署提供了重要依据。

参考文献

王世称,范继璋,杨永华. 1990. 矿产资源评价. 长春:吉林科学技术出版社.
肖克炎,张晓华,王四龙等. 2000. 矿产资源 GIS 评价系统. 北京:

地质出版社.

赵鹏大,胡旺亮,李紫金. 1994. 矿床统计预测. 北京:地质出版社.
朱裕生,梅燕雄. 1995. 成矿模式研究的几个问题. 地球学报, 16(2): 182~188.

References

Wang Shicheng, Fan Jizhang, Yang Shuihua. 1990. Evaluation on mineral resources. Changchun: Jilin Science and Technology Publishing House (in Chinese).
Xiao Keyan, Zhang Xiaohua, Wang Silong et al. 2000. A GIS evaluation system for mineral and resources. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
Zhao Pengda, Hu Wangliang, Li Zijin. 1994. Deposit statistical prognosis. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
Zhu Yusheng, Mei Yanxiong. 1995. Issues of the study on metallogenic modeling. Acta Geoscientica Sinica, 16(2): 182~188 (in Chinese with English abstract).

《地球学报》特设鼓励资助的通知

《地球学报》是中国地质科学院主办的地球科学综合学术期刊,是全国中文核心期刊、美国《CA》收录期刊、中国科学引文来源期刊、中国学术期刊综合评价数据库来源期刊。在 2003 年度《中国科技期刊引证报告——地球科学类》中排名第 8 名,影响因子在 1576 种中国科技论文统计源期刊中列第 60 位。现已成为全国地学界具有重要影响的期刊之一。

自 2001 年改版以来,蒙广大作、读者的厚爱,投稿量不断增加,论文质量和出版水平不断提高。《地球学报》对广大作、读者的大力支持表示诚挚的感谢!

为尽快地推出我国地学界一流的研究水平,使具有创新性、先进性的论文更快地面世,《地球学报》特设鼓励资助:

1. 对具有重大发现、重要研究成果、新方法的论文免收版面费。
 2. 对具有重大发现、重要研究成果的论文免收彩色图版(2 个)的版面费 2 000 元(限每期 2 版)。
- 欢迎广大从事地质科学研究、地质调查研究的科研人员和地质院校的广大师生踊跃投稿。