

青海东昆仑成矿带综合选区研究

丁清峰¹ 孙丰月¹ 李钟山²

(1. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061; 2. 中国地质大学, 北京 100083)

摘要:笔者通过改进先前提出的基于专家证据权重法的成矿远景区划与评价方法的不足之处,重新对青海东昆仑地区 Au、Cu 和 Co 3 矿种进行成矿远景区划与评价,将各矿种的远景区按成矿潜力大小划分为 A、B、C 三级。在此基础上,提出了将多个单矿种远景区合成综合成矿远景区的评价方法和手段,最终圈定出青海东昆仑的综合远景区 25 个,并对它们也按成矿潜力大小划分为 A、B、C 三级。从青海东昆仑地区已知 Au、Cu、Co 矿床(点)在各综合远景区内的数量和规模分布情况来看,结果令人满意。青海东昆仑地区的综合选区研究成果可望为该区进一步找矿工作部署提供部分科学依据。

关 键 词:青海东昆仑成矿带;专家证据权重法;选区研究

中图分类号:P618.51;P618.41;P618.62

文献标志码:A

文章编号:1000-3657(2007)06-1101-08

青海东昆仑成矿带是中国地质研究程度低且分布不均匀的一个重要成矿带,现有资料已经显示出较好的找矿潜力,但具体的找矿远景区等仍需进一步指明。笔者在对东昆仑地区进行基于 GIS 的成矿远景区划与评价(选区研究)过程当中,陆续提出了专家证据权重法^[1]以及基于此的成矿远景区划与评价方法^[2],并采用上述方法和手段,实现了对青海东昆仑地区金矿的成矿远景区划与评价,获得了较为理想的结果。在此基础上,笔者准备采取基于专家证据权重法的成矿远景区划与评价方法,对东昆仑地区另外两个主要矿种 Cu 和 Co 也进行成矿远景区划。在实践过程中,针对先前提出的基于专家证据权重法的成矿远景区划与评价方法的不足之处提出了改进方案。随后通过系统研究,笔者提出了将多个单矿种远景区合成综合远景区的评价方法和手段,可将多个单矿种远景区合成综合远景区。最后,利用此方法成功地实现了对青海东昆仑地区的综合选区研究工作,划分了成矿远景区并对其级别进行了评价,该成果可望为中国地质调查局在该区进一步工作部署提供科学依据。

1 再论基于专家证据权重法的成矿远景区划与评价方法

1.1 证据权重法的研究和应用现状

Agterberg 等^[3-4]和 Bonham Carter 等^[5-7]提出的证据权重

法(Weights of Evidence),是基于 GIS 的矿产资源评价的主要方法之一,目前在世界各国都得到了广泛的应用^[8-11]。相对于其他方法而言,证据因子权重的解释通俗易懂,计算结果后验概率即为成矿概率,直观明了,显示出实用、易用等优势。不过该方法属于数据驱动法(data-driven modeling)^[9],要求研究区研究程度较高,有大量的已知矿床(点)或远景区。如果要对研究程度低的地区进行基于 GIS 的矿产资源评价工作,则需采用知识驱动法(knowledge-driven modeling),如 index overlays^[12], analytical hierarchy process (AHP)^[13] and fuzzy logic^[14]等,这些方法依赖于地质专家的主观认识来定义各数据层(证据层)的重要性,最终实现对研究区的矿产资源评价,但这些方法并不是对证据权重法的改进,也有它们本身的局限性,在此不做讨论。后来,Cheng 等^[15]提出的模糊证据权重法则是对证据权重法的改进,是基于模糊集或模糊概率的新证据权重法,可客观地(数据驱动)或部分主观地(知识驱动)实现基于证据权重法的矿产资源评价工作,属数据驱动和理论驱动的混合方法,但该方法仍然不能应用于研究程度低的地区。

笔者提出的专家证据权重法则是完全基于知识驱动的证据权重法,实现软件是免费的 Kemp 等^[16]提供的 Arcview3.x 平台下的空间数据分析扩展模块 Arc-WofE,该模块有一“Expert Weights”选项,可不需已知矿床(点),而仅依据地质

收稿日期:2007-03-16;改回日期:2007-05-23

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(200310200012)和吉林大学青年教师科研启动基金项目(419080101422)资助。

作者简介:丁清峰,男,1976 年生,博士,讲师,从事热液矿床成矿理论及预测方面的科研和教学工作;E-mail: dqfmailbox@sina.com。

专家的认识主观地为各证据因子赋权重值,该方法实质上是一个知识驱动模型法,目前未见有其他学者采用此方法进行过矿产资源评价工作,笔者称之为“专家证据权重法”^[1-3]。

1.2 专家证据权重法的基本原理和方法

专家证据权重法的原理和传统的证据权重法的一样,即以证据权重模型^[3-7]为基础,但二者之间又有本质的区别:传统的证据权重法建立模型的证据因子需满足条件独立性检验,且其权重是根据已知矿床(点)统计出来的,只能用于研究程度高的地区,属数据驱动法;而专家证据权重法建立模型的证据因子权重是由地质专家根据主观认识人为设定的,且无须对证据因子进行条件独立性检验,可用于研究程度低的地区,属知识驱动法。

专家证据权重法的具体实施方法简述如下:首先是建立区域找矿模型和 GIS 空间数据库,然后根据区域找矿模型从数据库中选择证据层,随后根据地质专家的认识,对各证据层(因子)进行权重设定,最后利用 WofE 模块对研究区进行后验概率计算。

1.3 再论基于专家证据权重法的成矿远景区划与评价方法

笔者提出的基于专家证据权重法的成矿远景区划和评价方法主要是在研究区详尽的基础地质、区域成矿规律和典型矿床研究等方面系统研究基础上,利用专家证据权重法计算研究区成矿概率(后验概率),采用成矿远景区内的预测含矿单元后验概率的二重积分来表示远景区的成矿潜力大小,将成矿远景区进行分级排队,由高到低划分为 A、B、C 三级^[4]。

在总结前人基于证据权重法的成矿远景区划与评价基础上,笔者提出的基于专家证据权重法的成矿远景区划与评价主要原则有两条:一是采用一个下限值,将后验概率大于

此下限值的区域标示出来,理论上来说后验概率大于先验概率的区域均可划分为远景区;二是认为远景区内预测含矿区域(所有后验概率大于先验概率的单元格)后验概率二重积分大小能代表远景区的成矿潜力级别。但是在利用基于专家证据权重法的成矿远景区划与评价方法过程中发现了一个新问题,即如果仅采用稍大于先验概率的后验概率数值作为下限值,圈定的远景区范围均较大,这就失去了圈定远景区的意义,为此,笔者采取提高圈定远景区下限值(后验概率)的方法来重新圈定远景区,下限值的确定采用多次试验方法逐步提高,然后将各个不同级别下限值圈定的成矿远景区交给地质专家判断,择优选取某一下限值圈定的成矿远景区;此后,再计算远景区内预测含矿单元(后验概率大于下限值)二重积分大小后验概率,最后据此将其划分为可代表找矿潜力级别的 A、B、C 三级。

2 青海东昆仑 Au、Cu、Co 3 矿种成矿远景区划与评价

据已有研究成果显示^[4],青海东昆仑的主攻矿种是 Au、Cu 和 Co,由此,笔者仅选择此 3 种矿种进行单矿种的成矿远景区划与评价工作。根据上述改进的基于专家证据权重法的成矿远景区划与评价方法,笔者重新对青海东昆仑地区的金矿进行了成矿远景区划与评价,将计算出的后验概率下限值逐步提高,交由地质专家择优选取出某一下限值圈定金矿的成矿远景区,并对它们进行了分级排队。在此基础上,笔者对青海东昆仑地区的铜、钴两矿种也进行成矿远景评价与区划,对这两矿种笔者^[4]也是利用专家证据权重法计算出的后验概率值进行成矿远景区划与评价。

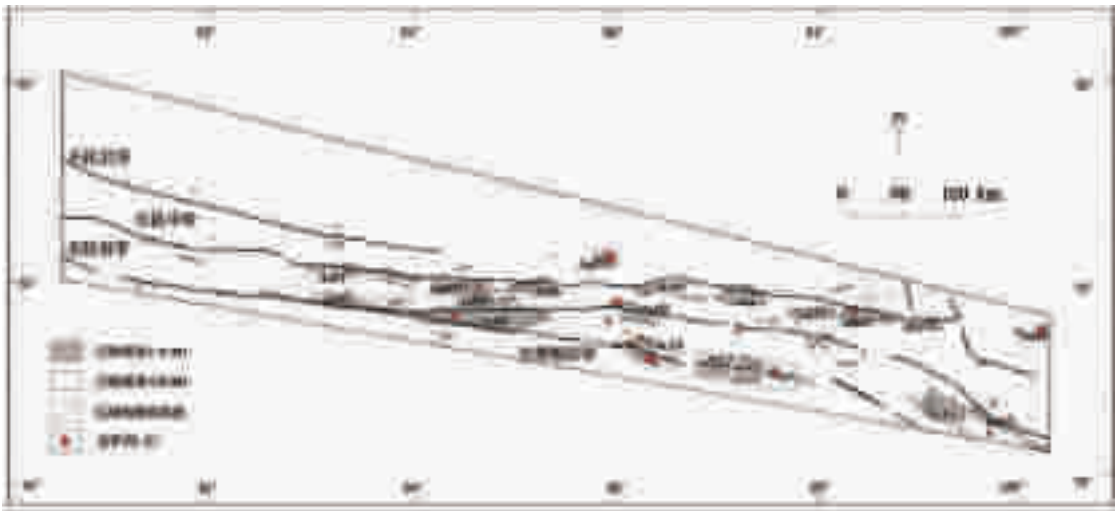


图 1 青海东昆仑金矿成矿远景区和已知矿床(点)分布图
Fig.1 Distribution of gold ore prospect areas and known ore deposits (occurrences) in the East Kunlun metallogenic belt, Qinghai

2.1 金矿远景区及分级排队

根据青海东昆仑金矿后验概率计算结果^[1-2,17],通过应用上述远景区划方法,笔者经多次试验后决定采用 0.003 为下限值圈定远景区,共划分出 18 个远景区(图 1)。随后对每个

远景区的面积及其内预测含矿单元的后验概率进行了统计(表 1),最后根据后验概率二重积分大小对各远景区按 A、B 和 C 进行了分级排队,级别判定的依据是后验概率二重积分<6 为 C 级,6~13.5 为 B 级,>13.5 为 A 级,6 和 13.5 这两

表 1 青海东昆仑金矿成矿远景区特征

Table 1 Characteristics of gold prospect areas in the East Kunlun metallogenic belt, Qinghai

远景区参数				远景区内预测含矿单元后验概率参数			
编号	名称	面积(km ²)	级别	最小值	最大值	均值	总和
Au01	黑海	754	C	0.003	0.035	0.009	2.356
Au02	黑海南	1053	B	0.003	0.300	0.023	13.197
Au03	万保沟	712	A	0.003	0.682	0.065	32.935
Au04	驼路沟	371	B	0.003	0.348	0.030	8.929
Au05	东大滩	1730	A	0.003	0.199	0.013	19.608
Au06	大干沟	329	C	0.003	0.040	0.012	2.300
Au07	五龙沟	280	B	0.003	0.636	0.081	13.188
Au08	哈拉郭勒东	216	C	0.003	0.025	0.011	1.775
Au09	开荒北	296	C	0.003	0.076	0.019	4.206
Au10	大场-加给龙	993	A	0.003	0.253	0.029	13.856
Au11	清水河上游	379	C	0.003	0.048	0.014	3.378
Au12	错尼	2144	B	0.003	0.085	0.008	6.296
Au13	哈图南	414	C	0.003	0.063	0.015	2.310
Au14	果洛龙洼	655	A	0.003	0.883	0.090	43.890
Au15	温泉-苦海	295	C	0.003	0.034	0.006	0.623
Au16	花石峡南	841	C	0.003	0.055	0.010	4.370
Au17	雪山乡	439	B	0.003	0.378	0.055	13.081
Au18	显龙沟	164	C	0.003	0.159	0.015	1.288

注:远景区级别的划分标准:后验概率积分<6 为 C 级;6~13.5 为 B 级;>13.5 为 A 级。

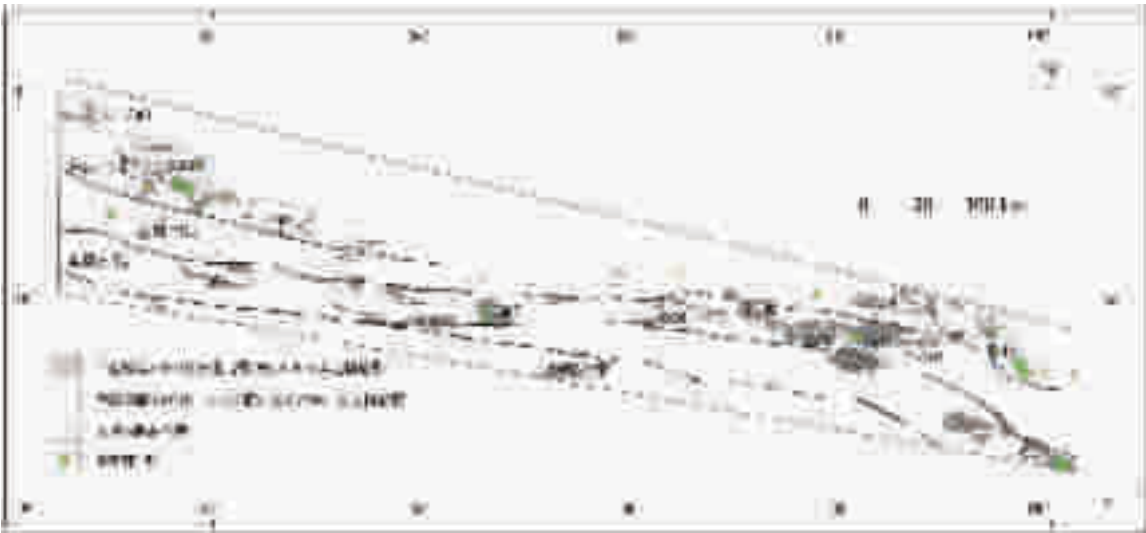


图 2 青海东昆仑铜矿成矿远景区与已知矿床(点)分布
Fig.2 Distribution of copper ore prospect areas and known ore deposits (occurrences)
in the East Kunlun metallogenic belt, Qinghai

个阈值是通过对比远景区内的地质及成矿特征进行检验后确定的,其他矿种的也是这样。其中 A 级远景区 4 个,B 级远景区 5 个,C 级远景区 9 个。

2.2 铜矿远景区及分级排队

根据青海东昆仑铜矿后验概率计算结果^[7],通过应用上述远景区划方法,笔者经多次试验后,发现由于 Cu 的水系沉

积物测量数据在东昆北和其他成矿带内存在很大的背景差异,所以在划分 Cu 远景区时,如果采用统一下限值,将导致东昆北成矿带内圈定的远景区范围和其他成矿带内的比起来相差较大,经多次对比试验后,决定在东昆北成矿带内采用的下限值是 0.001(后验概率),而在其他成矿带内,采用的下限值是 0.004,最终共划分出 17 个远景区(图 2)。随后又对

表 2 青海东昆仑铜矿成矿远景区特征
Table 2 Characteristics of copper ore prospect areas in the East Kunlun metallogenic belt, Qinghai

远景区参数				远景区内预测含矿单元后验概率参数			
编号	名称	面积(km ²)	级别	最小值	最大值	均值	总和
Cu01	滩北雪峰	1040	C	0.001	0.025	0.003	0.546
Cu02	乌兰乌珠尔	1887	C	0.001	0.051	0.010	2.963
Cu03	肯德可克-野马	6174	B	0.001	0.423	0.012	13.890
Cu04	雪山峰	1441	C	0.004	0.028	0.010	4.662
Cu05	黑海	789	C	0.004	0.043	0.013	3.437
Cu06	黑海南	640	C	0.004	0.056	0.014	3.646
Cu07	驮路沟	472	B	0.004	0.427	0.034	12.290
Cu08	哈拉郭勒东	600	C	0.004	0.068	0.011	2.753
Cu09	清水河上游	506	B	0.004	0.379	0.048	17.446
Cu10	哈图南	976	B	0.004	0.480	0.027	16.587
Cu11	龙门沟	1005	C	0.004	0.025	0.009	2.478
Cu12	督冷沟-果洛龙	816	A	0.004	0.672	0.109	80.009
Cu13	牧羊山	746	A	0.004	0.633	0.048	28.360
Cu14	温泉-苦海	1024	C	0.004	0.208	0.014	4.595
Cu15	索拉沟-日龙沟	991	B	0.004	0.082	0.032	7.018
Cu16	花石峡南	816	C	0.004	0.227	0.017	8.646
Cu17	德尔尼	499	B	0.004	0.218	0.047	13.817

注:远景区级别的划分标准:后验概率积分<7 为 C 级;7~18 为 B 级;>18 为 A 级。

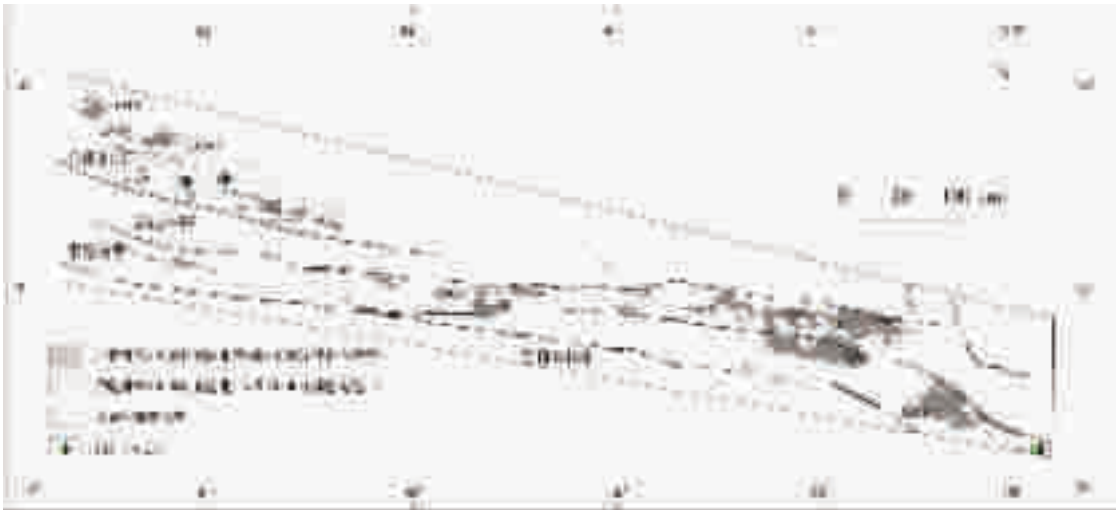


图 3 青海东昆仑钴矿成矿远景区与已知矿床(点)分布
Fig.3 Distribution of cobalt ore prospect areas and known ore deposits (occurrences) in the East Kunlun metallogenic belt, Qinghai

表 3 青海东昆仑钴矿成矿远景区特征

Table 3 Characteristics of cobalt ore prospect areas in the East Kunlun metallogenic belt, Qinghai

远景区参数				远景区内预测含矿单元后验概率参数			
编号	名称	面积(km ²)	级别	最小值	最大值	均值	总和
Co01	滩北雪峰	435	C	0.001	0.012	0.003	0.640
Co02	乌兰乌珠尔	2207	C	0.001	0.010	0.002	1.752
Co03	肯德可克-野马泉	6156	B	0.001	0.018	0.002	3.088
Co04	驮路沟	1003	A	0.003	0.309	0.017	9.105
Co05	清水河	539	C	0.003	0.015	0.007	2.276
Co06	哈图南	902	C	0.003	0.011	0.005	2.568
Co07	督冷沟-果洛龙洼	1479	A	0.003	0.248	0.022	19.621
Co08	牧羊山	1558	A	0.003	0.281	0.020	23.508
Co09	花石峡南	1428	B	0.003	0.032	0.010	11.571

注:远景区级别的划分标准:后验概率积分<3 为 C 级;3~9 为 B 级;>9 为 A 级。

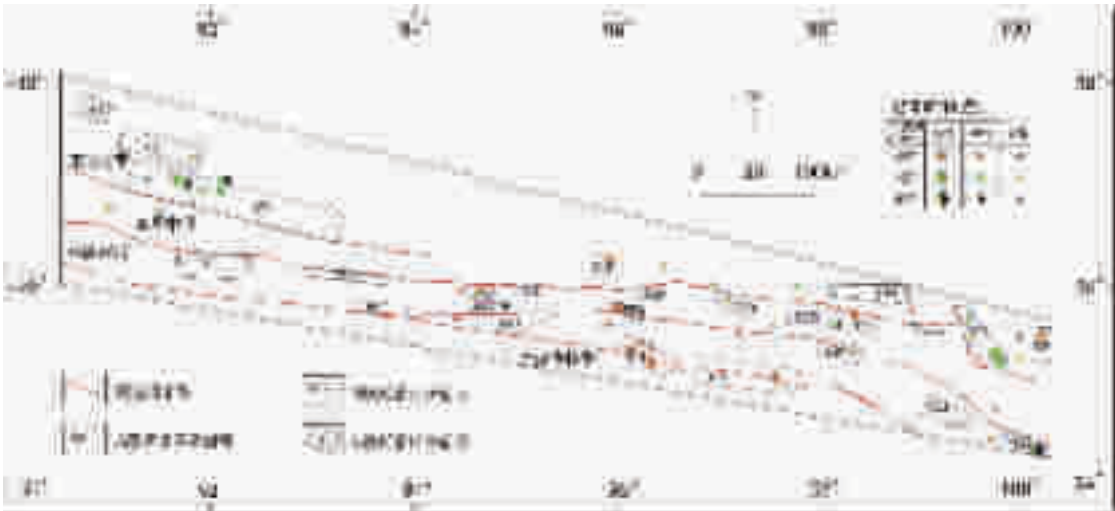


图 4 青海东昆仑综合成矿远景区与已知矿床(点)分布

Fig. 4 Distribution of composite ore prospect areas and known ore deposits (occurrences) in the East Kunlun metallogenic of Qinghai

每个远景区的面积及其内预测含矿单元的后验概率进行了统计(表 2),最后根据后验概率二重积分大小对各远景区按 A、B 和 C 进行了分级排队,级别判定的依据是后验概率二重积分<7 为 C 级,7~18 为 B 级,>18 为 A 级。其中 A 级远景区 2 个,B 级远景区 6 个,C 级远景区 9 个。

2.3 钴矿远景区及分级排队

根据青海东昆仑钴矿后验概率计算结果^[17],通过应用上述远景区划方法,笔者经多次试验后,发现由于 Co 的水系沉积物测量数据在东昆北缺失,所以在划分 Co 远景区时,如果采用统一下限值,将导致东昆北成矿带内圈定的远景区范围和其他成矿带内的比起来相差较大,因此在东昆北成矿带内采用的下限值是 0.001(后验概率),而在其他成矿带内,采用

的下限值是 0.003,最终共划分出 9 个远景区(图 3)。随后笔者对每个远景区的面积及其内预测含矿单元的后验概率进行了统计(表 3),最后根据后验概率二重积分大小对各远景区按 A、B 和 C 进行了分级排队,级别判定的依据是后验概率二重积分<3 为 C 级,3~10 为 B 级,>10 为 A 级。其中 A 级远景区 3 个,B 级远景区 2 个,C 级远景区 4 个。

2.4 分矿种成矿远景区划与评价结果评述

从图 1~3 可以看出,大部分已知的 Au、Cu 和 Co 矿床(点)分别落入了圈定的各自矿种的远景区内,大部分圈定的 A 级远景区内都有矿床(点)落入,部分 B 级远景区内有矿床(点)落入,大部分 C 级远景区没有矿点落入。另外,从矿床规模角度考虑,规模大的矿床也主要分布于 A 级远景区中。从上

表 4 青海东昆仑综合成矿远景区特征

Table 4 Characteristics of composite ore prospect areas in the East Kunlun metallogenic belt Qinghai

综合远景区				分矿种远景区级别		
编号	名称	级别	矿种	Au	Cu	Co
Y1	滩北雪峰	C	Cu-Co	-	C	C
Y2	乌兰乌珠尔	C	Cu-Co	-	C	C
Y3	肯德可克-野马泉	B	Cu-Co	-	B	B
Y4	雪山峰	C	Cu	-	C	-
Y5	黑海	C	Au-Cu	C	C	-
Y6	黑海南	B	Au-Cu	B	C	-
Y7	万保沟	A	Au-Cu-Co	A	B	B
Y8	驼路沟	A	Au-Cu-Co	B	B	A
Y9	大干沟	B	Au-Co	C	-	B
Y10	东大滩	A	Au	A	-	-
Y11	五龙沟	A	Au	A	-	-
Y12	哈拉郭勒东	C	Au-Cu	C	C	-
Y13	开荒北	C	Au	C	-	-
Y14	大场-加给龙洼	A	Au	A	-	-
Y15	清水河上游	B	Au-Cu-Co	C	B	C
Y16	错尼	A	Au	A	-	-
Y17	哈图南	B	Au-Cu-Co	C	B	C
Y18	龙门沟	C	Cu	-	C	-
Y19	督冷沟-果洛龙洼	A	Au-Cu-Co	A	A	A
Y20	牧羊山	A	Cu-Co	-	A	A
Y21	温泉-苦海	C	Au-Cu	C	C	-
Y22	索拉沟-日龙沟	B	Cu	-	B	-
Y23	花石峡南	B	Au-Cu-Co	C	C	B
Y24	显龙沟	C	Au	C	-	-
Y25	德尔尼	A	Cu	-	A	-

述事实可以看出,笔者改进基于专家证据权重法的成矿远景区划与评价方法后,所圈定的各单矿种远景区还是比较合理。

3 青海东昆仑综合选区研究

3.1 选区研究方法

根据完成的 Au、Cu、Co 3 矿种远景区圈定和分级排队结果,将它们综合考虑,根据各单矿种远景区的重叠情况,圈定青海东昆仑综合远景区,并依据它们分矿种远景区对应的级别也按 A、B、C 三级进行分级排队。级别的判断标准是按照单矿种远景区级别的顺序排序,并以排首位的矿种远景区级别作为该综合远景区的级别,例如:某综合远景区中存在 Au、Co 远景区,其中 Au 为 B 级,Co 为 C 级,那么该综合远景区就是一 B 级的 Au-Co 远景区,其他情况依次类推。

3.2 选区研究结果

根据完成的 Au、Cu、Co 3 矿种远景区圈定和分级排队结果,将它们综合考虑,根据各单矿种远景区的重叠情况,圈定出青海东昆仑综合远景区 25 个(图 4),并依据上述选区研

究方法对各综合远景区也根据成矿潜力大小按 A、B、C 三级进行分级排队(表 4),其中 A 级远景区共 9 个,B 级远景区 7 个,C 级远景区 9 个。按综合远景区的矿种来看,Au-Cu-Co 远景区为 6 个,Au-Cu 远景区 4 个,Au-Co 远景区仅 1 个,Cu-Co 远景区为 4 个,纯 Au 远景区 6 个,纯 Cu 远景区 4 个。

3.3 选区研究结果评述

从图 4 可以看出,大部分已知的 Au、Cu 和 Co 矿床(点)均落入圈定的综合远景区内,基本上所圈定的 A 级远景区内都有矿点落入,大部分 B 级远景区内也有矿点落入,仅 Y6、Y9 和 Y17 没有矿点落入,大部分 C 级远景区则几乎都没有矿点落入;另外,从矿床规模角度考虑,规模大的矿床也主要分布于 A 级远景区中。从上述事实可以看出,选区研究结果比较令人满意,事实上,对于像东昆仑这样研究程度低的造山带成矿远景区划工作,均可考虑采用笔者提供的上述方法。前人^[8]对研究程度同样极低的西昆仑造山带进行成矿远景区划时采用的多是传统的成矿地质条件分析方法,对地质专家要求高,周期长,而如果采用我们提出的基于专家证据权重法的成矿远景区划与评价方法则有可能快速有效地对它进行选区研究工作,这个工作笔者正在进行。

4 结 论

通过采用改进的基于专家证据权重法的成矿远景区划与评价方法,对东昆仑地区进行了综合选区研究,主要结论如下:

(1)笔者之前提出的基于专家证据权重法的成矿远景区划与评价方法^[9]圈定成矿远景区时往往范围过大,针对此不足之处,提出了改进办法,即采取提高圈定远景区下限值(后验概率)的方法来重新圈定远景区,下限值的确定采用多次试验方法逐步提高,然后将各个不同级别下限值圈定的成矿远景区交给地质专家判断,最后择优选取某一下限值圈定的成矿远景区。

(2)采取改进的基于专家证据权重法的成矿远景区划与评价方法,重新对青海东昆仑地区金矿进行了成矿远景区划与评价,同时对铜和钴两矿种也进行成矿远景区划与评价,并根据各矿种远景区后验概率二重积分大小分级排队为 A、B、C 三级。从已知矿床(点)在划分的各级远景区的数量和规模分布情况看,所圈定的各单矿种远景区还是比较合理。

(3)提出了将多个单矿种远景区合成综合远景区的评价方法和手段,根据完成的 Au、Cu、Co 3 矿种远景区划与评价结果,圈定出青海东昆仑综合远景区 25 个,并按成矿潜力大小将它们按 A、B、C 三级进行分级排队。从已知 Au、Cu、Co 矿床(点)在划分的各级综合远景区内的数量和规模分布情况看,所圈定的综合远景区结果较令人满意,有望为中国地质调查局在该区进一步工作部署提供科学依据。

参考文献(References):

[1] 丁清峰,孙丰月.专家证据权重法及其在东昆仑地区的应用[J].

- 地质与勘探, 2005, 41(4):88-94.
- Ding Qingfeng, Sun Fengyue. Expert evidence of method of weights and its application in the Eastern Kunlun Mountain [J]. *Geology and Prospecting*, 2005, 41 (4):88-94 (in Chinese with English abstract).
- [2] 丁清峰, 孙丰月. 基于专家证据权重法的成矿远景区划与评价——以东昆仑地区金矿为例 [J]. *地质科技情报*, 2006, 25(1): 41-46.
- Ding Qingfeng, Sun Fengyue. Delineation and assessment of deposit prospect based on Expert Weights of Evidence: An example from gold deposits in eastern Kunlun Mountain area [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2006, 25 (1):41-46 (in Chinese with English abstract).
- [3] Agterberg F P. Computer programs for mineral exploration [J]. *Science*, 1989, 245:76-81.
- [4] Agterberg F P, Bonham-Carter G F, Wright D F. Statistical pattern integration for mineral exploration [C]//Gaal G, Merriam D F (eds.). *Computer Applications in Resource Exploration and Assessment for Minerals and Petroleum*. Pergamon, Oxford, 1990.
- [5] Bonham-Carter G F, Agterberg F P, Wright D F. Integration of geological datasets for gold exploration in Nova Scotia [J]. *Photogrammetry and Remote Sensing*, 1988, 54:1585-1592.
- [6] Bonham-Carter G F, Agterberg F P, Wright D F. Weights of evidence modelling: a new approach to mapping mineral potential [C]//Bonham-Carter G F, Agterberg F P (eds.). *Statistical Applications in the Earth Sciences*. Geological Survey of Canada, Paper 80-9, 1989:171-183.
- [7] Bonham-Carter G F. *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS* [M]. Pergamon Oxford, 1994.
- [8] Raines G L. Evaluation of Weights of Evidence to predict epithermal-gold deposits in the Great Basin of the western United States [J]. *Natural Resources Research*, 1999, 8(4):257-276.
- [9] Harris J R, Wilkinson L, Heather K, et al. Application of GIS processing techniques for producing mineral prospectivity maps—A case study: mesothermal Au in the Swayze greenstone belt, Ontario, Canada [J]. *Natural Resources Research*, 2001, 10(2):91-124.
- [10] Boleneus D E, Raines G L, Causey J D, et al. Assessment method for epithermal gold deposits in northeast Washington State using weights-of-evidence GIS modeling [J]. *Open-File Report 01-501*, USGS, 2001.
- [11] Carranza E G M, Hale M. Where are porphyry copper deposits spatially localized? A case study in Benguet Province, Philippines [J]. *Natural Resources Research*, 2002, 11(1):45-59.
- [12] Harris J R. Data integration for gold exploration in eastern Nova Scotia using a GIS [C]//Proc. *Remote Sensing for Exploration Geology* (Calgary, Alberta), 1989:233-249.
- [13] Harris J R, Wilkinson L, Broome J. Mineral exploration using GIS-based favourability analysis, Swayze Greenstone Belt, northern Ontario [C]//Proc. *Can. Geomatics Conf. (CD-ROM)*, National Defense, 1995.
- [14] An P, Moon W M, Bonham-Carter G F. On a knowledge-based approach of integrating remote sensing, geophysical and geological information [C]//Proc. *IGARSS'92* (Houston, Texas), 1992: 34-38.
- [15] Cheng Q M, Agterberg F P. Fuzzy Weights of Evidence method and its application in mineral potential mapping [J]. *Natural Resources Research*, 1999, 8(1):27-35.
- [16] Kemp L D, Bonham-Carter G F, Raines G L. Arc-W of E: Arc view extension for weights of evidence mapping [OL]. 1999. <http://gis.nrcan.gc.ca/software/arcview/wofe>.
- [17] 丁清峰. 东昆仑造山带区域成矿作用与矿产资源评价 [D]. 长春: 吉林大学博士论文, 2004.
- Ding Qingfeng. *Metallogenesis and Mineral Resources Assessment in Eastern Kunlun Orogenic Belt* [D]. Changchun: Doctoral Dissertation of Jilin University, 2004.
- [18] 董永观, 郭坤一, 肖惠良, 等. 西昆仑地区成矿远景 [J]. *中国地质*, 2003, 30(2):173-178.
- Dong Yongguan, Guo Kunyi, Xiao Huiliang, et al. Ore prospects of the West Kunlun area [J]. *Geology in China*, 2003, 30(2):173-178 (in China with English abstract).

Composite ore prospect areas in the East Kunlun metallogenic belt, Qinghai

DING Qing-feng¹, SUN Feng-yue¹, LI Zhong-shan²

(1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China;

2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The authors amended the ore prospect regionalization and evaluation method based on the Expert Weights of Evidence that were proposed previously by the author and re-delineated and re-evaluated Au, Cu and Co ore prospect areas in the East Kunlun region, Qinghai. According to their potentials, the prospect areas of these metals were divided into classes A, B and C, and on that basis, the authors proposed the methods for combining several single-metal prospect areas into composite ore prospect areas and evaluating these composite prospects. A total of 25 composite prospect areas were finally delineated in the East Kunlun metallogenic belt of Qinghai, and they were also classified into classes A, B and C based on their ore potentials. The results are thought to be satisfying according to the numbers, sizes and distributions of the known Au, Cu and Co deposits (occurrences) in various composite ore prospect areas in the East Kunlun region, Qinghai. The delineation and assessments of composite ore prospect areas in the East Kunlun metallogenic belt, Qinghai, may provide a scientific basis for further arrangement of mineral prospecting work.

Key words: East Kunlun metallogenic belt of Qinghai; Expert Weights of Evidence; study of selected ore prospect areas

About the first author: DING Qing-feng, male, born in 1976, doctor and lecturer, engages in the study and teaching of the metallogenic theory and prognosis of hydrothermal deposits; E-mail: dqfmailbox@sina.com.