

要素类比趋同法在新疆东天山铁矿定量预测中的应用研究

冯京^{1,2}, 徐仕琪³, 田江涛⁴, 杨在峰⁵, 高永峰⁶

(1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083; 2. 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局, 乌鲁木齐 830000; 3. 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第一区域地质调查大队, 乌鲁木齐 830000; 4. 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第六地质大队, 哈密 839000; 5. 新疆地质地质调查院, 乌鲁木齐 830000; 6. 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第九地质大队, 乌鲁木齐 830000)

[摘 要] 在新疆东天山阿齐山-雅满苏-沙泉子一带海相火山岩型铁矿带进行资源量预测和定量计算过程中, 尝试性的建立了海相火山岩型、海相沉积型和岩浆热液型三种铁矿类型的区域预测概念模型, 提出采用“区域成矿要素类比趋同法”求取预测区和模型区之间的相似系数, 对体积法估算的资源量进行校正, 在东天山铁矿资源量估算中取得了较为满意的结果。本文着重阐述了“体积法”在实际工作中的应用, 同时使用其他三种不同的预测方法, 进行对比研究, 得出体积法在矿产预测中为一简便快捷、估算结果准确、易于推广的结论。

[关键词] 区域成矿预测 概念模型 要素类比趋同法 相似系数 资源量估算 东天山

[中图分类号] P628 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2009)06-0722-07

Feng Jing, Xu Shi-qi, Tian Jiang-tao, Yang Zai-feng, Gao Yong-feng. Study on metallogenic elements analogy and convergence method in application of quantitative prediction of iron ore: A case of eastern Tianshan, Xinjiang[J]. Geology and Exploration, 2009, 45(6): 722-728.

0 引言

近20年来, 矿产统计预测领域涌现了大量预测方法(数学模型)^[1], 总的来看, 从70年代及以前基于客观或主观概念模型和多元统计的方法^[2-4], 到之后的逻辑信息系列方法及模糊集方法^[5,6], 再到最近几年的人工神经网络^[7]和地理信息系统应用^[8,9], 其基本思路不外乎由已知到未知的类比。在找矿过程中, 地质人员运用类比法选择矿床类型和重点普查区或找矿靶区, 并常常获得成功^[10]。然而在资源量估算过程中, 以体积法为代表, 往往忽略了模型区与预测区的类比, 估算结果往往带有较大偏差, 本文就是在地质类比理论的基础上, 通过对模型区的深入研究, 建立区域预测概念模型, 以区域预测概念模型为主导, 尝试性的提出了“区域成矿要素类比趋同法”求取相似系数, 对体积法估算的资

源量进行校正, 通过与其他不同方法估算的资源量对比, 证明其结果更为可靠, 方法可行, 取得了良好的应用效果。

1 区域预测概念模型的建立

笔者通过对研究区雅满苏式海相火山岩型铁矿床(4个)、库姆塔格式海相火山沉积型铁矿床(1个)、铁岭式岩浆热液型铁矿床(1个)等六个典型矿床的研究, 及六个典型矿床所在模型区的研究, 建立起区内三种矿产类型的区域预测概念模型。所选模型区为六个典型矿床的所在区域, 六个典型矿床查明资源量均已达到中型规模, 并且矿区资料详实可靠, 研究程度高, 便于对比研究。

在研究区中, 将收集到的物探(重力、航磁)、化探、遥感、自然重砂等综合信息进行深入研究, 并进行分析和解译, 如通过重力解译出中基性岩体、中酸

[收稿日期] 2009-04-30; [修订日期] 2009-11-05; [责任编辑] 孙 赫。

[基金项目] 国家科技支撑计划(2006BAB01A01)和新疆矿产资源潜力评价项目(1212010813030)的联合资助。

[第一作者简介] 冯京(1962—), 男, 1983年毕业于西安地质学院, 在读博士生, 教授级高级工程师, 从事地质矿产勘查、科研和技术管理工作。

性岩体,利用遥感推断环形构造等等,将从物、化、遥、自然重砂等资料中提取出的多种信息叠加到区域成矿要素图上,通过对同类型不同模型区内多重信息进行对比研究,分析出最能反映各矿床式的成矿要素,同时结合典型矿床研究成果,根据各要素在成矿过程中作用的大小,依次划分出必要要素、重要要素和次要要素,为了便于应用到模型区以外各预测区中,对各要素进行二值化处理,有则为1,无则为0,对各要素赋予分值,这样便建立起研究区的区域预测概念模型。对各要素赋值“1”或“0”实质上是判断各要素的有无、要素的计数累加的过程。根据全国矿产资源潜力评价技术方案要求,将成矿要素划分为三类:必要的、重要的、次要的。必要要素是确定矿床的定位要素,是指某一种矿床类型在预测工作中必不可少的要素,如果此矿床类型缺少了其中一项,则未知区不存在预测对象。重要要素在

预测工作中可以据此确定预测区(或预测单元)的具体空间范围、矿床数及其规模、预测资源量,但并不决定预测远景区是否存在。次要要素对划分预测区类别有一定作用,能增加预测区可信度,但不能据此确定矿床空间范围、估算资源量、矿床数及其规模。

在研究区中雅满苏式海相火山岩型铁矿是在雅满苏铁矿、白山泉铁矿、白灵山铁矿、红云滩铁矿四个典型矿床综合的基础上建立概念模型,共筛选出11个成矿要素,其中必要要素4个,重要要素4个,次要要素3个;库姆塔格式海相沉积型铁矿是在库姆塔格铁矿的基础上建立的概念模型,共筛选出9个成矿要素,其中必要要素3个,重要要素3个,次要要素3个;铁岭式岩浆热液型铁矿是在铁岭一号铁矿的基础上建立的概念模型,共筛选出成矿要素7个,其中必要要素2个,重要要素2个,次要要素3个,各要素详见表1。

表1 阿齐山-雅满苏-沙泉子火山岩区铁矿带典型铁矿床区域预测概念模型

Table 1 Regional prediction concept model of typical iron deposit of volcanic iron ore belt of Aqishan-Yamansu-Shaquanzi

矿产类型	矿产预测类型	预测要素类型										要素值合计
		必要要素				重要要素				次要要素		
火山岩型海相	雅满苏式	中基性火山碎屑岩建造	成矿时代 C ₁ 或 C ₂	火山沉积盆地	推测古火山口	东西向与北西向构造交汇处	大于 200nT 磁异常	甲或乙类磁异常点	铁锰累加异常	磁铁矿或褐铁矿重砂异常	航磁推断环形构造	11
要素赋值		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
沉积型海相	库姆塔格式	含矿建造 C _{1y} 或 C _{2lg}	成矿时代 C ₁ 或 C ₂	火山沉积盆地	——	铁锰累加异常	东西向与北东向构造交汇处	甲、乙类磁异常点	——	褐铁矿重砂异常	重力推断酸性岩体附近	
要素赋值		1	1	1	——	1	1	1	——	1	1	
岩浆热液型	铁岭式	花岗岩	成矿时代 (C _{2-p})	——	——	磁异常	甲乙类磁异常点	——	——	铁锰累加异常	重力推断酸性岩体	
要素赋值		1	1	——	——	1	1	——	——	1	1	

2 区域要素类比趋同法的提出

地质类比是地质研究尤其是地质找矿工作中最常用,最基本的方法^[11-12,14-15]。类比是根据两对象间相同或相似的方面来推断它们在其它方面也有相同或相似的一种推理形式。有许多重要矿床就是受到地质类比的启迪而被发现和进行评价的,但是并非所有的地质类比研究都能取得令人满意的结果。这除了类比法本身的局限性外,成矿作用本身也是随时间、地域、成因、条件等因素的变化而变化

的^[13],通过研究,笔者发现在应用地质类比法时,往往没有考虑要素之间的相似性,而一味单纯的用要素的“有”“无”去类比,所以,在此基础上,笔者提出了要素类比趋同法的概念。

本文提出的要素类比趋同法的概念是指,在对区域成矿规律和典型矿床模型区深入研究的基础上,从众多与成矿相关的信息中提取出若干区域预测要素,根据各要素在成矿过程中作用的大小以及这些要素与特定矿床类型的相关程度,划分为必要要素、重要要素和次要要素三大类,建立预测概念模

型,在预测区研究中,依照各要素进行相似“类比”,计算各要素的权重值,从预测概念上使其趋同或接近于模型区,最后求得预测区“类比”于模型区的相似系数。这样就避免了以往地质类比过程中,简单的两对比对象之间“有”或“无”的简单类比。

要素类比趋同法的主旨是求取对比要素或对象之间的趋同性,而非“相等”或“不相等”的二值化表达。该方法同时也体现了,一种成矿现象的出现或一个矿床的形成是多种地质因素在一定的时间、空间和条件下互相作用的结果,当我们从已知推测未知时,必须考虑这些因素的作用时机和程度以及作用的方式和强度,不但会因时因地因条件的变化而变化,而且这些因素本身也并不是以“有”或“无”的简单的二值化形式存在着。所以,区域要素类比趋同法的提出是完全符合实际成矿作用机理的。

3 体积法估算资源量

体积法是矿产预测中比较简便实用的估算方法,它是将控制区内有代表性的单位体积内矿产资源平均含量的估计值,外推到评价区的体积范围,估计评价区的矿产资源量^[14-16]。首先研究区内资料,确定模型区,圈出预测区,分别求其含矿率,确定预测区含矿建造的体积,然后利用体积法计算公式估算预测区的矿产资源量^[16,17],其计算公式如下:

预测矿石量 = 含矿建造体积 × 含矿率 × 相似系数 × 修正系数

含矿率 = 已知模型区探求矿石体积 ÷ 含矿建造体积,

其中含矿载体体积推算深度为模型区最大控制深度;相似系数表示模型区与预测区关联程度的数值,一般情况下大于 0,小于 1,模型区相似系数为 1;修正系数为预测区赋存矿石量的可靠程度。由于各预测区资源量具有可加性,所以各预测区简单求和即可求的研究区矿产资源总量的估计值。

应用条件 体积法属外推法,它是建立在类比理论基础上的矿产资源评价方法。它的应用必须建立在一定原则的基础上。

① 地质建造中赋存的某种矿产的资源潜力与该建造的体积或面积成正比例;

② 地质环境类似的地质建造中,赋存同样的矿产资源潜力,实质是将某种矿产的平均含量的估计值外推到预测区的体积上。

结合本地的实际情况,本次的预测类型均受一定的含矿建造控制,其产出特点符合上述两个条件,

因此可以利用体积法对预测区进行定量预测。

3.1 估算过程及结果

根据研究区的具体情况,体积法在实际应用中分为绝对体积法和相对体积法。模型区研究程度高,有成型的矿床,并具有一定的规模,而预测概念模型是在总结提取已知矿床的关键预测要素的基础上建立起来的,因此,模型区所在的预测区资源量估算可以直接采用绝对体积法。找矿目标预测区是采用已建立区域预测概念模型进行相似类比而圈定的,其或多或少与预测概念模型有所差别,估算预测区资源量时,必须求出各预测区与预测概念模型的相似程度,选用相对体积法估算资源量更为客观实际。绝对体积法和相对体积法计算公式如下:

绝对体积法计算公式:

$$Q = S_1 \times H \times K_1 \times D_1 \times P \quad (1)$$

相对体积法计算公式:

$$Q = S \times H \times K \times D \times F \times P \quad (2)$$

其中: Q 为预测区总资源量; S_1 为模型区含矿建造面积; S 为预测区含矿建造面积; H 为推算深度; K_1 为模型区含矿率; K 为预测区含矿率; D_1 为模型区矿石体重; D 为预测区矿石体重; P 为置信度。

本文以新疆东天山阿齐山—雅满苏—沙泉子一带海相火山岩型铁矿带铁矿资源量估算为例,在实际操作中其估算过程如下: (1) 圈出预测区确定预测类型: 采用综合信息法,依据一定的地质规律,确定各预测类型模型区,圈出预测区,综合各典型矿床建立比例尺对等的概念模型(见表 1),根据不同预测类型的概念模型,确定各预测区的预测类型。 (2) 求体重: 计算模型区、预测区的体重 D_1 和 D ,其中 D_1 为各模型区的平均体重, D 有各典型矿床的平均体重预期探明资源量加权求的(见表 2)。其计算公式如下:

$$D = \sum (Q_2 D_1) \div \sum Q_2 \quad (3)$$

其中 Q_2 为模型区探求资源量

计算含矿率 计算模型区、预测区的含矿率 K_1 和 K ,其中 K_1 和 K 分别有下列公式求的:

$$K_1 = (V_1 \div V) \times 100$$

V_1 为模型区矿石体积 $V_1 = Q_2 \div D_1$;

V 为模型区含矿建造体积 $V = S_1 \times H_1$;

$$K = \sum (Q_2 K_1) \div \sum Q_2$$

其中 H_1 为模型区矿体控制最大垂深。根据示范区的实际地形情况,地势平坦,相对高差不大,因此计算中涉及的深度均为地表至地下的直接垂深。

表2 矿石体重计算表
Table 2 Ore density calculate table

矿产类型	矿产预测类型	典型矿床	矿种	查明矿石资源储量	矿石体重	预测区平均体重D
				Q_2 (wt)	D_1 (t/m^3)	
火山岩型海相	雅满苏式	雅满苏铁矿 红云滩铁矿 百灵山铁矿 白山泉铁矿 赤龙峰铁矿	磁铁矿	3579.0	4.075	3.714
				3229.5	3.870	
				1306.5	4.390	
				4406.4	3.050	
				1275.4	3.910	
沉积型海相	库姆塔格式	库姆塔格铁矿	菱铁矿	2068.0	3.141	3.141
岩浆热液型	铁岭式	铁岭一号铁矿	磁铁矿	1535.4	3.850	3.850
备注				$D = \sum(Q_2 D_1) \div \sum Q_2$		

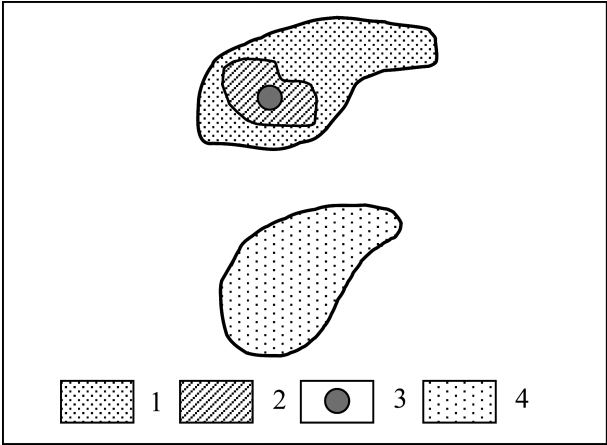


图1 模型区与预测区分类示意图
Fig.1 Classification diagram of model area and prediction area.

1—模型区所在的预测区;2—典型矿床模型区;3—典型矿床;
4—找矿目标预测区
1—moedl area in prediction zone; 2—moedl area of typical deposit;
3—typical deposits;4—prospecting target area

估算资源量 :由于模型区所在预测区和找矿目标预测区分别采用两种不同的计算方法,因此二者将分开计算。模型区所在预测区和找矿目标预测区二者的关系如图1所示。将上面求出的数据分别带入绝对体积法和相对体积法计算公式,对模型区所在预测区、找矿目标预测区矿产资源进行定量预测。模型区所在预测区采用绝对体积法计算,找矿目标预测区采用相对体积法计算,并将各预测类型资源量相加汇总即为整个研究区预测资源量。

3.2 预测区级别划分

根据东天山研究区铁矿成矿特点、有无已知矿床(点)、磁法和化探异常以及估算资源量大小将预测区划分为A、B、C三类。

A级:在有利的含矿建造内,已发现有小型以上规模铁矿床,磁法和化探异常明显,估算资源量在大型以上(对于铁矿而言在1亿吨以上),优选结果为1级(优选中的A级);

B级:在有利的含矿建造内,已发现有铁矿点或铁矿化点,磁法和化探异常明显,估算资源量在中型(对铁矿而言在0.1亿吨以上,1亿吨以下),优选结果为1级(优选中的A级)或2级(优选中的B级);

C级:在有利的含矿建造内,仅有单一的弱磁异常或铁锰累加异常显示,估算资源量为小型及以下,优选结果1级(优选中的A级)、2级(优选中的B级)或3级(优选中的C级)。

根据上述铁矿预测区级别划分原则,研究区共划分出66个铁矿预测区,包括海相火山岩型、海相沉积型和岩浆热液型三大类。其中海相火山岩型划分A类预测区17个,B类预测区7个,C类预测区20个;海相沉积型划分A类预测区3个,B类预测区7个,C类预测区4个;岩浆热液型划分A类预测区3个,B类预测区3个,C类预测区2个。

4 相似系数计算

根据要素类比趋同法的思想,我们对采用一般体积法计算的资源量进行改进,最关键的就是进行相似系数的计算。

相似系数表示模型区与预测区关联程度的数值,一般情况下大于0,小于1,模型区相似系数为1,预测区介于0~1之间。采用要素相似类比趋同法,对比各预测区与相应概念模型的相似程度,求相似系数。利用已知矿床(点)与概念模型各要素的对应关系,计算其权重,采用二态取值,各要素与矿床(点)对应情况用1和0表示,1表示矿床(点)存在要素,0表示矿床(点)与要素不对应。然后将预测区与综合概念模型类比,与矿床成因相关的各要素与预测区的对应情况,并赋予每个要素一个权重值,计算预测区与概念模型的相似程度,求的相似系数。权重与相关系数计算公式为:

权重=矿床(点)要素总得分÷矿床(点)总数
 $T = (\text{要素1} \times \text{权重1} + \text{要素2} \times \text{权重2} + \dots + \text{要素n} \times \text{权重n})$
 $F = T \div T_{\max}$

其中 T 为预测区有利度; F 为相似系数; $T_{\max}$ 为典型矿床概念模型得分。

置信度通常按 90%、50% 和 10% 来考虑,即估算资源量置信度分别为:A 类预测区 90%、B 类预测区 50%、C 类预测区 10%。限于篇幅,本文仅列举研究区内部分海相火山岩型铁矿的权重计算表(表 3)。

表 3 研究区海相火山岩型铁矿权重计算表(部分)

Table 3 Weights calculate table of marine volcanic-type of iron ore of study area (partial)

顺序 号	矿床 (点) 编号	矿产地名 称	必要要素				重要要素				次要要素		
			含矿建造 C_{1y} 或 C_{2tg}	成矿时代 C_1 或 C_2	火山 盆地	古火 山口	东西向与 北西向构 造交汇处	磁异常	甲或乙类 磁异常点	铁锰累加 异常	重砂 异常	航磁推断 环形构造	重力推 断中基性 岩体
1	16	白山泉铁矿	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
2	53	雅满苏铁矿区	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
3	58	沙泉子铜铁矿	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0
4	64	坡子泉铁矿	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
...			...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
46	113	彩虹山铁矿点	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0
矿床(点)数量			46	41	46	44	14	18	20	28	22	3	35
要素权重			0.89	1.00	0.96	0.30	0.39	0.43	0.61	0.48	0.07	0.76	0.22

5 结果对比

本文根据建立预测区海相火山岩型、海相沉积型和岩浆热液型三种铁矿类型的区域预测概念模型,采用“区域成矿要素类比趋同法”求取相似系数,最后用体积法求得研究区预测资源量。根据 1984 年《新疆铁矿资源总量预测》查阅,已知东天山雅满苏铁矿带火山岩型铁矿资源量 57079.25wt,预测深度 400 ~ 500m,本次研究中预测深度均为 1000m,是原预测深度的 2 倍,估算资源量也恰好接近原资源量的 2 倍。故采用“区域成矿要素类比趋同法”求取相似系数对体积法估算资源量进行校正,其结果与该研究区内已知查明资源量非常接近,证明该方法估算结果较为可靠。

为证实该方法的可行性以及估算资源量的准确性,在本次资源量定量预测研究中,又采用另外三种方法进行估算,品位-吨位模型法^[18]、模糊证据权法^[19]和德尔菲法^[20]。品位-吨位模型法完全采用 MARS 软件进行估算,模糊证据权法采用成秋明教授的 GeoDAS 软件进行估算。具体估算方法及过程在本文中暂不提及,将在后续文章中陆续发表。三种方法对研究区进行了资源量的估算,对比结果见表 4、5 所示。表 4 是直接利用体积法计算求得的预测资源量之间的对比,表 5 是利用相似系数法后研究区估算资源量的对比。

表 4 未采用相似系数法三种方法估算资源量汇总对比表

Table 4 Comparison of calculate resources among three methods before analogy coefficient method

资源量估算方法	与均值的差值 $\Delta d = d_i - \bar{x}$	误差率(%) $(\rho = \Delta d / \bar{x})$	方差 D	标准差 σ	3 倍标准差 3σ
体积法(V)	3.094	18.669			
品位-吨位法(T)	0.842	5.078			
模糊证据权法(F)	-0.098	-0.591	6.256	2.501	7.504
德尔菲法(D)	-3.838	-23.156			

从表 4 可以得出,体积法求得的资源量与均值的差值较大,误差率也较大,四个数据的方差为 6.256,标准差为 2.501。从表 5 可以得出,对体积法经过“要素趋同类比”求取相似系数校正后得出的资源量,与均值的差值最小,误差率也最低,此时,四个数据的方差为 3.195,标准差为 1.787。从对比结果中我们可以发现,未采用相似系数利用体积法求得的资源量,其均值差值、误差率、方差及标准差均大于采用相似系数法求得的资源量。采用相似系数后,数据间的方差明显缩小,接近一半,而方差及标准差越小,说明数据波动越小,数据间可比性较好,可信度较高;反之波动则大,可比性差,可信度低。显然,采用相似系数校正后,体积法估算的资源量数

据质量明显要高,结果更为可靠。

表 5 采用相似系数法后三种方法估算资源量汇总对比表
Table 5 Comparison of calculate resources among three methods after analogy coefficient method

资源量估算方法	与均值的差值 $\Delta d = d_i - \bar{x}$	误差率(%) $(\rho = \Delta d / \bar{x})$	方差 D	标准差 σ	3 倍标准差 3σ
体积法(V)	-0.625	-4.077			
品位-吨位法(T)	2.081	13.573			
模糊证据权法(F)	1.142	7.446	3.195	1.787	5.362
德尔菲法(D)	-2.59	-16.943			

6 结论

地质类比是地质研究尤其是地质找矿工作中最常用,最基本的方法。有许多重要矿床就是受到地质类比的启迪而被发现和进行评价的。但是并非所有的地质类比研究都能取得令人满意的结果。这除了类比法本身的局限性外,成矿作用本身也是随时间、地域、成因、条件等因素的变化而变化的。要想通过地质类比法在地质研究或地质找矿中取得好的效果,除了考虑类比法本身的局限性外,必须考虑在具体运用过程中是否得当的问题,只要这样才能有助于减少地质类比研究的片面性,提高有效性。

本文就是在地质类比理论的基础上,以区域预测概念模型为主导,深入研究和总结区域成矿模式,紧密结合研究区资源量估算的实际问题,尝试性的提出使用“区域成矿要素类比趋同法”来求取相似系数,对体积法估算的资源量进行修正。通过对比发现,无论与该研究区已查明不同深度预测资源量相比,还是与其他两种不同方法估算的资源量相比,采用相似系数校正后的体积法估算的资源量,估算结果都较为准确,数据可靠。由此可知,体积法经过“要素类比趋同法”求取相似系数,能提高估算资源量的可靠程度,说明本文建立海相火山岩型、海相沉积型和岩浆热液型三种铁矿类型的区域预测概念模型准确可靠,区域成矿要素类比趋同法在估算资源量过程中切实可行,并能进一步提高估算结果的准确度和可靠性,在铁矿定量预测研究中取得了良好的效果。

[参考文献]
[1] 张述清,高志武,韦明体. 数字矿床及其应用实例[J]. 地质与

勘探, 2007, 43(6):103-106.

Zhang Shu-qing, Gao Zhi-wu, Wei Ming-ti. Digital mineral deposit and living application example [J]. Geology and prospecting, 2007, 43(6):103-106.

[2] 朱裕生. 成矿预测方法[M]. 北京:地质出版社,1997:1-52.

Zhu Yu-sheng. Metallogenic prediction method? [M]. Beijing: Geol. Pub. House, 1997:1-52.

[3] 肖克炎. 应用综合信息法研究成矿规律及成矿预测的新进展[J]. 地球科学进展, 1994, 9(2):18-23.

Xiao Ke-yan. The new development of minerogenetic regulation and prediction-the comprehensive information methods [J]. Advance In Earth Sciences, 1994, 9(2):18-23.

[4] 叶天竺,肖克炎,严光生. 矿床模型综合地质信息预测技术研究[J]. 地学前缘, 2007, 14(5):11-19.

Ye Tian-zhu, Xiao Ke-yan, Yan Guang-sheng. Methodology of deposit modeling and mineral resource potential assessment using integrated geological information [J]. Earth Science Frontiers. 2007, 11(5):11-19.

[5] 赵鹏大,池顺都,李志德. 矿产勘查理论方法[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2001:1-245.

Zhao Peng-da, Chi Shun-du, Li Zhi-de. Theoretical and approaches of mineral exploration[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2001:1-245.

[6] 成秋明,陈志军, Ali Khaled. 模糊证据权方法在镇沅(老王寨)地区金矿资源评价中的应用[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2007, 32(2):175-184.

Cheng Qiu-ming, Chen Zhi-jun, Ali Khaled. Application of Fuzzy Weights of Evidence Method in Mineral Resource Assessment for Gold in Zhenyuan District, Yunnan Province, China [J]. Earth Science- Journal of China University of Geoscience, 2007, 32(2):175-184.

[7] 李双成,郑高. 人工神经网络在地学研究中的应用进展[J]. 地球科学进展, 2003, 18(1):68-75.

Li Shuang-cheng, Zheng Gao. Applications of artificial neural networks to geosciences: review and prospect [J]. Advance in Earth Sciences, 2003, 18(1):68-75.

[8] 王世称,陈永良,夏立显. 综合信息矿产预测理论方法[M]. 北京:科学出版社,2000:65-180.

Wang Shi-cheng, Chen Yong-liang, Xia Li-xian. Theory and method of mineral prediction using integrated information [M]. Beijing: Science Press, 2000:65-180.

[9] 肖克炎,张晓华,李景朝,杨毅衡,陈建平,丁建华,姜德波,王保良,叶天竺,张立新. 全国重要矿产总量预测方法[J]. 地学前缘, 2007, 14(5):20-26.

Xiao Ke-yan, Zhang Xiao-hua, Li Jing-chao, Yang Yi-heng, Chen Jian-ping, Ding Jian-hua, Lou De-bo, Wang Bao-liang, Ye Tian-zhu, Zhang Li-xin. Quantitative assessment method for national mineral resources progenosis [J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(5):20-26.

[10] 莫柱孙,赖应钱. 地质类比与普查找矿[J]. 广东地质, 1990, 5(4):73-78.

Mo Zhu-sun, Lai Ying- Jian. Geological Analogy and search for

- mineral deposits[J]. *Guang Dong Geology*, 1990, 5(4): 73-78.
- [11] 王登红, 应立娟, 王成辉, 陈郑辉, 许建祥, 曾载淋, 陈毓川, 徐钰, 白鸽. 中国贵金属矿床的基本成矿规律与找矿方向[J]. *地质前沿*, 2007, 14(5): 71-81.
- Wang Deng-hong, Ying Li-juan, Wang Cheng-hui, Chen Zheng-hui, Xu Jian-xiang, Zeng Zai-lin, Chen Yu-chan, Xu Jue, Bai Ge. Basic patterns of metallogenesis of precious metal deposits in China and vectors for prospecting[J]. *Earth Science Frontiers*, 2007, 14(5): 71-81.
- [12] 朱裕生. 建立成矿模式的内容及工作方法[J]. *中国地质*, 1992, 16(2): 22-24.
- Zhu Yu-sheng. Main content and method of building metallogenic mode[J]. *Gleology in China*, 1992, 16(2): 22-24.
- [13] 徐涛, 张桂林, 张峰. “有利因素相关”法在哀牢山成矿带南段金矿成矿预测中的应用[J]. *地质与勘探*, 2007, 43(6): 86-91.
- Xu Tao, Zhang Gui-lin, Zhang Feng. Application of favorable factor correlation method for targeting gold deposits in the southern Ailaoshan mineralizing belt[J]. *Geology and prospecting*, 2007, 43(6): 86-91.
- [14] 张述清, 高志武, 韦明体. 数字矿床及其应用实例[J]. *地质与勘探*, 2007, 43(6): 103-106.
- Zhang Shu-qing, Gao Zhi-wu, Wei Ming-ti. Digital Mineral deposit and living application example[J]. *Geology and prospecting*, 2007, 43(6): 103-106.
- [15] 朱建东, 池顺都. 新疆阿合勒铜矿 GIS 预测时的找矿有利度和空间相关性分析[J]. *地质与勘探*, 2006, 42(2): 60-64.
- Zhu Jian-dong, Chi Shun-du. Beneficial degree and spatial correlation analysis for prediction based on GIS in Ashele copper deposit, Xinjiang[J]. *Geology and prospecting*, 2006, 42(2): 60-64.
- [16] 徐国端, 杨自安. 新疆东天山沙泉子地区化探遥感综合找矿信息与金矿成矿预测[J]. *地质与勘探*, 2003, 39(6): 21-24.
- Xu Guo-rui, Yang Zi-an. Geochemical and remote sensing integrated prospecting information and metallogenic prognosis of gold in the Shaquanzi area of eastern Tianshan mountains, Xinjiang[J]. *Geology and prospecting*, 2003, 39(6): 21-24.
- [17] 徐善法, 陈建平, 叶继华. 证据权法在三江北段铜金矿床成矿预测中的应用研究[J]. *地质与勘探*, 2006, 42(2): 54-59.
- Xu Shan-fa, Chen Jian-ping, Ye Ji-hua. Application of evidence weight Method in the copper-gold mineral resources prediction in the North section of the Sanjiang Region[J]. *Geology and prospecting*, 2006, 42(2): 54-59.
- [18] 肖克炎, 王勇毅, 陈郑辉, 薛群威, 黄文斌, 朱裕生, 杨永华, 张寿庭, 杨毅恒, 张晓华, 刘锐. 中国矿产资源评价新技术新模型[M]. 北京: 地质出版社, 2006: 1-275.
- Xiao Ke-yan, Wang Yong-yi, Chen Zheng-hui, Xue Qun-wei, Huang Wen-bing, Zhu Yu-sheng, Yang Yong-hua, Zhang Shou-ting, Yang Heng-yi, Zhang Xiao-hua, Liu Rui. New techniques and models of mineral resources assessment in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006: 1-275.
- [19] 翟裕生, 彭润民, 向运川. 区域成矿研究法[M]. 北京: 中国大地出版社, 2004: 1-256.
- Zhai Yu-sheng, Peng Run-min, Xiang Yun-chuan. Method of regional metallogenic[M]. Beijing: China Land Press, 2004: 1-256.
- [20] 赵鹏大. 成矿定量预测与深部找矿[J]. *地质前缘*, 2007, 14(5): 1-10.
- Zhao Peng-da. Quantitative mineral prediction and deep mineral exploration[J]. *Earth Science Frontiers*, 2007, 14(5): 1-10.

Study on Metallogenic Elements Analogy and Convergence Method in Application of Quantitative Prediction of Iron Ore: A case of eastern Tianshan, Xinjiang

FENG Jing^{1,2}, XU Shi-qu³, TIAN Jiang-tao⁴, YANG Zai-feng⁵, GAO Yong-feng⁶

- (1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083; 2. Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Urumqi 830000; 3. First Regional Geology Survey Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Urumqi 830000; 4. No. 6 Geology Survey Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Hami 839000; 5. Geological Survey Academe of Xinjiang, Urumqi 830000; 6. No. 9 Geology Survey Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Urumqi 839000)

Abstract: According to the process of resource prediction and quantitative calculation of marine volcanic-type of iron ore in area of Aqishan-Yaman-su-Shaquanzi in Xinjiang, this paper makes an attempt to put forward a regional prediction concept model of marine volcanic type, marine sedimental type and magmatic hydrothermal type by using "Metallogenic Elements Analogy and Convergence Method" to evaluate the analogy coefficient, and apply it in computing resource and delineating prediction zone. The current paper takes "Volume" as main methods and, according to other three kinds of different prediction methods, computes the potential resource of the study area. Different methods provide mutual authentication make the compute results much more credible and dependent. All of these work shows that the methods can be applied more conveniently and effectively and also popularize for resource quantitative prediction.

Key words: regional prediction concept model, convergence method of metallogenic elements, analogy coefficient, resource calculate, East Tianshan