doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2013.02.019

辽宁省草河掌一桓仁地区铜矿资源量 地球化学定量预测

李玉超1,张 苏2,张钰莹3,乌爱军1

(1. 辽宁省地质矿产调查院,沈阳 110031;2. 中国航天建设集团有限公司,北京 100071;3. 北京大学地球与空间科学学院,北京 100871)

摘要: 矿产资源地球化学模型建立与定量预测研究以成矿成晕地质、地球化学理论为指导,以各 尺度勘查地球化学数据为基础,以现代 GIS 信息技术为手段,通过研究总结典型矿田(矿集区)、矿 床的异常特征,建立成矿带内典型矿床地球化学找矿模型,为预测区的地球化学定量预测提供类 比依据,从而进行资源量预测。在资源量预测过程中加入了相似度、剥蚀程度、衬值等要素,有效 地加大了预测靶区遴选的可信度,通过类比法与面金属量法两种预测方法的加权平均,使预测资 源量合理。文章对草河掌一桓仁地区铜矿资源量进行了估算,共新增预测铜资源量 21 812.9 t。 关键词: 铜矿;地球化学;定量预测;资源量估算;辽宁省

中图分类号: P612;P618.41 文献标识码: A 文章编号: 1001-1412(2013)02-0289-08

0 引言

矿产资源地球化学模型建立与定量预测研究 (简称地球化学定量预测)是近年来矿产资源潜力评 价中一种新的资源量预测方法,包括两个核心内容, 即地球化学模型和定量预测研究。地球化学模型实 质上由两个方面组成,成矿地质特征和地球化学特 征;而定量预测研究是在建模的基础上,根据预测区 的矿床类型,选择相应的地球化学定量预测计算方 法进行资源量估算。

地球化学定量预测在辽宁省内属首次应用。本 次预测数据主要基于1:200000万水系沉积物测 量数据,预测矿种主要针对铜矿。具体工作流程包 括①搜集资料:搜集各尺度勘查地球化学数据、地质 矿产图(1/50000)、主要铜矿床勘查储量报告;②建 立预测模型:主要建立成矿物源、时空分布规律、成 矿模式、主控矿因素、关键地球化学异常指标;③圈 定预测靶区:依据圈定要素(相似度、剥蚀程度),根据靶区评价准则,将遴选出的靶区进行评价(分成 A,B,C类异常);④预测资源量:依据矿床类型、预 测尺度,选择地球化学预测方法进行储量计算^[1]。

本文选择草河掌一桓仁铜矿矿集区进行地球化 学定量预测,并对预测区内的铜资源量进行估算。

1 预测区成矿地质概述

草河掌一桓仁铜矿矿集区位于辽宁省本溪县、 桓仁县和宽甸县一带,矿集区呈 EW 向,面积约为 12 124 km²。

本区地跨中朝准地岩胶辽台隆的太子河-浑江 台陷和营口-宽甸台拱两个三级构造单元^[2]。属于 华北成矿省辽东成矿带的太子河-浑江铜铅锌金铀 石膏成矿亚带(Ⅲ-56-2)^[3]的部分区域(图 1)。

区内地层主要分布古元古界辽河群大石桥组大 理岩、盖县组片岩;新元古界青白口系南芬组页岩、

收稿日期: 2012-12-27; 责任编辑: 王传泰

基金项目: 中国地质调查局矿产资源潜力评价项目"辽宁省矿产资源潜力评价化探信息研究"(编号:1212020881611)资助。

作者简介: 李玉超(1987-),男,助理工程师,从事地球化学研究及区域地质调查、矿产调查工作。通信地址:沈阳市皇姑区宁山中路 42 号羽丰大厦 25-11 室;邮政编码:110031;E-mail:lyccug@163.com





泥灰岩,桥头组石英砂岩夹页岩及砂质页岩;寒武-奥陶系碳酸盐岩系;石炭系月门沟群本溪组、太原 组、山西组海陆交互相含煤岩系;侏罗系三个岭组砾 岩、砂岩、粉砂岩,大堡组长石砂岩、页岩、粉砂岩夹 煤层,转山子组砂岩、页岩、粉砂岩夹煤层,长梁子组 页岩夹粉砂岩、砂岩夹煤层,小东沟组砾岩、砂岩、粉 砂岩或页岩,小岭子组中酸性溶岩、火山碎屑岩。

侵入岩主要有古元古代桓仁斑状二长花岗岩; 白垩纪流纹斑岩、石英二长岩、中粒二长花岗岩,四 方顶子钾长花岗岩;早白垩世连江辉石闪长岩、凤凰 花岗岩、石柱子花岗闪长岩,晚侏罗世二长花岗岩; 晚三叠世赛马碱性杂岩。

本区的成矿地质条件良好。区内矿产资源丰 富,有铅、锌、铜、铁等矿产,以铜矿为主。在草河掌 一桓仁铜矿预测工作区内有3个典型矿床:桓仁县 二棚甸子铅锌矿、宽甸县万宝铜矿、本溪县黄柏峪铜 矿。铜铅锌矿主要为夕卡岩型矿床,成矿与燕山花 岗岩、寒武-奥陶纪碳酸盐岩系有密切关系;铅锌矿 为中低温热液矿床,大多数为夕卡岩型;铜矿为中温 热液矿床多产于岩体内部^[2]。

2 成矿地球化学信息及提 取

2.1 地球化学指标

铜矿地球化学定量预测靶区遴 选与矿床剥蚀程度评价的地球化学 指标可以通过相似度、衬值、矿集区 剥蚀程度等表示。

(1)剥蚀程度。矿体的剥蚀程度 是指成矿作用发生的深度到目前保 存的完整程度,剥蚀程度的确定是利 用原生晕分带的理论(图 2),对典型 矿床进行研究,总结主要成矿元素及 伴生元素在矿体、围岩中的空间分布 规律(元素组合)进行判断,即矿头晕 在地表占优势,则对应未-浅剥蚀;矿 中晕异常强、面积大,则对应中等剥 蚀;矿尾晕发育,则对应于深-较深剥 蚀。在原生晕分带研究的基础上,应 用继承性的原理,利用次生晕对应的 元素组合来判别未知矿床剥蚀程度。

(2)相似度。相似度是指地球化学相似系数或 相近系数。从元素组合的角度,通过构建"标准样 本"的元素组合,利用距离公式定量判断未知成矿元 素组合与已知区成矿元素组合之间的相似程度或相 近程度的参数。它是判别未知矿化与已知矿化关系 的重要参数。

(3)衬值。大量研究从理论和实践两方面证明: 利用空间滤波元素衬值可以很好地圈定符合客观实际的异常信息,不仅克服了传统单一异常下限的局限性,而且能有效识别弱小和低缓异常。衬值异常 计算方法原理是:以计算点为中心,按给定半径搜索 数据计算平均值,计算点值与平均值之比。

2.2 地球化学信息提取

2.2.1 已知矿床主成矿元素与主要伴生元素

矿床的主成矿元素与主要伴生元素在1:20万 水系沉积物中会有所反映,因此可以根据他们的地球 化学特征去判别矿床的主成矿元素和伴生元素。

首先统计1:20万水系沉积物中各矿床的地 球化学参数,包括各元素的内、中、外带异常的面积、 异常平均含量、面金属量、衬度异常量(衬度异常量 =面金属量/桓仁接触交代(夕卡岩)型铜铅锌预测 工作区背景值),结果见表1。



从表1可见:

(1)成矿元素的异常含量、异常规模及组分分带 的清晰程度与万宝、黄柏峪、二棚甸子等铜矿床地表 矿化的规模有关。

(2)具有内、中、外带(未列表)的元素与矿床的 主成矿元素及主要伴生元素相对应。

(3)衬度异常值高的元素为矿床的主成矿元素: 万宝为 Cu, Mo, Au; 黄柏峪为 Cu, Mo, Au; 二棚甸 子为 Mo, Pb, Zn(二棚甸子铜矿为共生, 可能是铜异 常较小的主要因素)。

2.2.2 矿集区的主成矿元素

对桓仁接触交代(夕卡岩)型铅锌矿预测工作区 进行衬度异常量的统计表明(表 2),桓仁预测工作 区主成矿元素为 Pb,Zn,Cu,Mo,Au。

3 地球化学模型建立

3.1 矿集区成矿地质特征

桓仁矿集区成矿地质特征见表 3。

本区地处辽东裂谷的凹陷带中,鸭绿江断裂的 北侧。区内沉积了巨厚的辽河群地层,吕梁运动使 本区发生剧烈褶皱、断裂、区域变质、混合岩化及岩 浆侵入作用。此后,本区进入相对稳定的地台阶段, 沉积了中新元古界及下古生界砂页岩、碳酸盐岩地 层;中生代时期,地台活化,燕山运动开始形成 NE 向构造及大规模火山喷发,沉积上侏罗统陆相火山 岩建造,随后 EW 向构造复活,导致一系列基性、中 酸性岩浆侵入,并与上述地台相沉积岩及燕山早期 陆相火山岩发生接触交代形成夕卡岩矿床(图 3)。

3.2 矿集区地球化学特征

桓仁矿集区1:20万水系沉积物地球化学特 (图 4)显示,元素异常呈 NE 向断续带状展布, 元素异常有 Cu, Mo, Au, Ag, Pb, Zn, W, Bi, As 等; 它们为与中酸性侵入岩体有关的夕卡岩型矿床所 致,异常元素的分布与矿床(矿化点)分布位置联系 紧密。Cu, Mo, Ag 元素在矿集区内各矿床(矿化 点)中分带清楚。由南西向北东,元素组合由中高温 组合(Cu, Mo, W, Bi)向中低温组合(Pb, Zn, Ag, Hg)过渡,对应矿床(矿化点)类型由铜、钼矿向铅、



图 3 草河掌一桓仁预测区万宝夕卡岩型铜矿成矿模式

Fig. 3 Metallogenic model of Wanbao skarn Cu deposit in the predicted area

1. 夕卡岩型磁铁矿点,伴生铜、铅锌; 2. 夕卡岩型铜(多金属)矿;

3. 石英脉中热液型钼矿;4. 斑岩型钼矿,伴生铜、银;5. 热液脉型、裂隙充填型铜矿点;6. 热液充填(交代)型铅锌矿 Pt₁/h. 古元古界辽河群;Qn-Z. 青白口系一震旦系; P₂. 寒武一奧陶系;J₃xl. 侏罗系上统小岭组;q. 石英脉 锌矿转变。

桓仁矿集区黄柏峪矿床1:1万水系沉积物地 球化学特征图(图5)显示,由于黄柏峪矿床在水系 沉积物测量范围的下方,水系沉积物元素空间分布 特征为以矿区为中心,Cu和 Mo 居中,而 Au-As-Ag-Sb 元素组合在外围。

桓仁矿集区内与成矿作用更密切的赋矿岩体的 地球化学特征^[6],包括常量元素,微量元素和主要成 矿元素,见表4所述。

3.3 地球化学找矿预测模型

在研究桓仁矿集区的成矿地质特征、地球化学

特征基础上,以万宝铜矿床为例,建立矿集区的成矿 地球化学找矿模型。

(1) 矿集区内1:20万水系沉积物成矿元素 含量、异常规模、组分分带的清晰程度,是评价地表 矿化规模的首选指标;而面金属量与背景值之比(衬 度异常量)的高比值,指示矿化体的主成矿元素(表 1,表 2)。

(2) 寒武系灰岩是万宝夕卡岩型铜矿的有利围 岩,其控矿的具体层位为寒武系徐庄组及张夏组底 部碎屑岩与碳酸盐岩交界部位,而且条带状大理岩 含矿性最好。

矿区	元素	平均值	异常面积/km ²	背景值	面金属量	衬度异常量	元素组合
-	Ag	460	21.20	136.37	6862.25	50.32	
	Au	3.95	50.25	0.57	169.85	297.99	
	Bi	1.88	132.74	0.25	216.38	865.52	
下户	Cu	105.75	108.5	23.33	8942.24	383.29	C:: Ma A:: A a B: W
万玉	Mo	6.195	58.07	1.01	301.08	298.1	Cu, Mo, Au, Ag, Bi, W
	Pb	62.05	20.67	34.6	567.45	567.45 16.4	
	W	8.2	115.22	1.85	731.67	395.5	
	Zn	180.5	17.15	94.5	1475.07	15.61	
-	Ag	260	29.10	136.37	3598.13	26.39	
	As	20.72	36.22	7.06	494.71	70.07	
	Au	4.86	40.58	0.57	174.68	306.46	
	Bi	4.31	172.14	0.25	698.89	2795.55	
黄柏峪	Cu	59.99	99.13	23.3	3636.95	156.09	Cu, Mo, Bi, Au, As, Hg
	Mo	4.16	59.56	1.01	187.5	185.64	
	Hg	144.84	36.02	44.1	3629.23	82.3	
	Pb	112.25	18.28	34.6	1419.14	41.02	
	W	5.09	23.50	1.85	76	41.08	
	Ag	335	18.7	136.7	3707.42	27.12	
	Bi	0.8	14.63	0.25	8.01	32.04	
	Cu	40.88	14.88	23.3	261.52	11.22	
一棚句子	Mo	7.28	113	1.01	708.99	701.97	Mo,Zn, Pb,W
1001 FD] J	Hg	94.25	15.08	44.1	756.26	17.15	Ag,Bi
	$^{\rm Pb}$	117	74.01	34.6	6098.59	176.26	
	W	5.43	13.38	1.85	47.87	25.88	
	Zn	274	95.78	94.1	17231.54	183.12	

表 1 草河掌一桓仁预测区各已知矿床的地球化学特征

Table 1 Geochemical characteristics of the known Cu deposits in the predicted Caohezhang-Huanren area

量的单位: $w(Au, Ag, Hg)/10^{-9}$,其他元素 $w_B/10^{-6}$ 。

表 2 草河掌一桓仁预测区水系沉积物地球化学特征

Table 2	Geochemical	characteristics	of	river	sediment	in	the	predicted	area
---------	-------------	-----------------	----	-------	----------	----	-----	-----------	------

预测工作区	元素	背景值	异常下限	异常平均值	异常面积/km ²	面金属量	衬度异常量
	Au	0.61	1.9	4.2	912.964	3277.5	5373
	Ag	109.7	180	224.2	638.264	73081.2	666.2
	As	6.16	11.5	17.24	1037.096	11491	1865.4
桓仁接触交代	Bi	0.18	0.43	0.71	832.2	441.1	2450.4
(月上出)刑	Cu	22.69	32.2	43.3	751.372	15485.8	682.5
(少下石)型	Hg	24.6	71	106.5	651.8	53382.4	2170
铜铅锌预测工作区	Mo	0.6	1.79	2.69	729.72	1525.1	2541.9
	W	1.2	2.8	4.17	865.72	1411.1	1175.9
	Zn	57.9	131	160.2	662.08	105270.7	1818.1
	Pb	19	52.3	97.04	801.8	31380.6	1651.6

量的单位: $w(Au, Ag, Hg)/10^{-9}$,其他元素 $w_B/10^{-6}$ 。



图 4 桓仁矿区 1 : 20万水系沉积物地球化学特征

Fig. 4 Geochemical characteristics of river sediment survey at scale 1: 20 000

(3)w(Cu+Fe)/w(Pb+Zn)比值等值线图是评价矿化体剥蚀程度的良好指标。

(4) Cu 异常值的范围指示预测区铜矿的矿化 信息。

4 地球化学预测靶区圈定及资源量估算

4.1 预测区的分级及圈定方法

(1)预测区可信度分级。在详细研究典型矿集 区(矿床)地质、地球化学特征,建立地球化学找矿模 型的基础上,对预测靶区圈定的地质地球化学指标 进行制定,概括为7个方面的条件:

条件①:元素组合与典型矿床的相似度值大(累 频分级≥98 %)。

条件②:成矿地质条件有利(岩体、岩体与围岩

表 3 草河掌一桓仁矿集区成矿地质特征

Table 3 Metallogenic geological characteristics of the predicted area

矿集区	桓仁夕卡岩矿床
主要矿床	万宝、桓仁、二棚甸子
构造	经历了多期次的构造作用,其中辽河运动、印支运动及燕山运动主导了本区的构造形成,对内生矿产的形成具有重 要意义,各期断裂构成区内网格状构造格架,控制岩体和矿带的分布。剪切裂隙几乎全被脉岩类和矿体所充填,是 矿液上升的主要通道
岩体	与矿化关系密切的是燕山期花岗闪长岩侵入体,万宝铜矿即产于白垩纪石柱子花岗闪长岩体东侧;另外石英斑岩、 闪长斑岩、煌斑岩等脉岩亦较发育
富矿围岩	寒武系灰岩是万宝夕卡岩型铜矿的有利围岩,其控矿具体层位为寒武系徐庄组及张夏组底部碎屑岩与碳酸盐岩交 界部位,而且条带状大理岩含矿性最好
金属矿物组合	矿石矿物主要有磁铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿,少量的黄铁矿、斑铜矿、辉钼矿,偶见毒砂、辉钴矿、金银矿
围岩蚀变	绿帘石化、绿泥石化、硅化、绿泥石化、硅化、绢云母化、碳酸盐化

表 4 草河掌一桓仁地区含矿岩体的地球化学信息

	Table 4 Geochemical information of the ore host rock body in the predicted area
含矿岩体地质特征	燕山期与火山活动闪长岩侵入体
常量元素	高 Al ₂ O ₃ ,SiO ₂ ;高 K ₂ O,低 Na ₂ O。w(SiO ₂)=47.95%~74.27%,平均 56.3 %;w(K ₂ O)/w(Na ₂ O) = 2.32
微量元素	矿区辉石闪长岩含有较高的 Pb,Zn,Cu,Ag 等成矿元素 方铅矿含 Ag,Bi 高;含 Sb 低。闪锌矿含 Fe,Cd,Se,Te,In 高;含 Ga,Ge 低
同位素	δ(34S)值为靠近零值的正值, δ(34S)=3×10-3~6×10-3, 离差很小。方铅矿、闪锌矿 δ(D)=49.9×10-3~76.4×10-3, δ(18O)值变化于5.8×10-3~8.1×10-3, 与岩浆水的 δ(D)和 δ(18O)值完全吻合。夕卡岩中的方解石脉中方解石包裹体水的 δ(D)和 δ(18O)值均为负值,明显不属于岩浆水
成矿元素	w(Cu)平均 173×10 ⁻⁶ ,w(Pb)平均 169×10 ⁻⁶ ,w(Zn)平均 188×10 ⁻⁶



图 5 黄柏峪矿床 1 : 10 000 水系沉积物地球化学特征 Fig. 5 Geochemical charateristics of river sediment survey at scale 1 : 10 000

接触带、断层等)。

条件③:已发现矿点(矿化点)。

条件④:组合元素的平均衬值较大(累频分 级≥95 %)。

条件⑤:Cu衬值不低于 1.1(累频分级≥ 80 %)。

条件⑥:组合元素中至少有 3 个元素衬值 不低于 1.1(累频分级≥80 %)。

条件⑦:组合元素中至少有4个元素衬值 不低于1.1(累频分级≥80%)。

将上述地球化学指标(数据点少的预测工 作区可以适当放宽条件)适当组合,把预测区分 为3级,具体的划分标准为:

A级预测区:满足条件①-②-③-④-⑤-⑥。 B级预测区:满足条件①-②-④-⑤-⑥。 C级预测区:满足条件②-④-⑤-⑦。

其中,可信度为 A 级>B 级>C 级。

(2)预测区圈定方法。根据分级的原则,利 用 Excel 表格中检索功能完成对满足所有指标 点的挑选,再根据地质矿产图及地球化学图(单 元素异常图、衬值图、组合元素衬值图等)进一 步优选评价,最终确定预测靶区。

4.2 预测区圈定

根据检索条件中符合条件的点,进一步结合地

质成矿条件(主要为燕山期花岗岩与寒武系发生接触交代,形成夕卡岩矿床),剥蚀程度(典型矿床赋值:万宝为0.225,二棚甸子为0.1,黄柏峪为0.2;靶区根据比值等值线图与典型矿床对比进行赋值),以及Cu元素异常(外带),通过对Cu元素异常求取异常规模和面金属量,计算资源量;因为预测工作区内有3个典型矿床,所以采取就近原则,确定了5个A级靶区和5个B级靶区(表5,图6)。

4.3 地球化学资源量的估算

根据本区铜矿成矿模式,铜资源量预测采用类 比法、面金属量法两种方法进行资源量计算。

类比法(Vd)。类比法的基本思想认为,矿点资

源量(已知矿床储量 Pu)与地表水系沉积物中元素 异常面积与平均值之积(异常规模 P)成正比。加入 剥蚀系数与相似度系数,使资源量预测结果的可信 度更高。

$$\frac{R \frac{P_{\Box \mathfrak{M}}}{P u_{\Box \mathfrak{M}}}}{(1 - F_{\Box \mathfrak{M}})} = \frac{\frac{P_{\mathfrak{K} \mathfrak{M}}}{P u_{\mathfrak{K} \mathfrak{M}}}}{(1 - F_{\mathfrak{K} \mathfrak{M}})}$$

式中, $P_{E_{2m}}$ 为已知矿区异常规模(异常面积与异常平均值之积); $P_{u_{E_{2m}}}$ 为已知矿区的储量; $F_{E_{2m}}$ 为已知矿区的剥蚀系数; P_{*} 为未知矿区异常规模(异常面积与异常平均值之积); $P_{u_{*}}$ 为未知矿区的预测资源量; F_{*} 为未知矿区的剥蚀系数;R为相似系数。

	表 5	预测靶区参数统计表	
Table 5	Statistics	of parameter of the predicted targe	ts

编号	比例尺	相似矿床	衬值异常元素组合	相似度值	剥蚀系数
A-YC-01	1/20万	万宝	Ag-Au-Bi-Cu-Mo-Pb-W-Zn	0.713	0.15
A-YC-02	1/20 万	黄柏峪	Ag-Au-Bi-Cu-Pb-W-Zn	0.56	0.1
A-YC-03	1/20万	黄柏峪	Ag-Au-Bi-Cu-Mo-Pb-W-Zn	0.803	0.1
A-YC-04	1/20万	黄柏峪	Ag-Au-Bi-Cu-Pb	0.426	0.15
A-YC-05	1/20万	黄柏峪	Ag-Au-Cu-Mo-Pb-Zn	0.585	0.15
B-YC-01	1/20 万	黄柏峪	Ag-Au-Bi-Cu-Mo-W	0.832	0.35
B-YC-02	1/20 万	黄柏峪	Au-Bi-Cu-W	0.68	0.3
B-YC-03	1/20 万	黄柏峪	Au-Bi-Cu-W	0.54	0.3
B-YC-04	1/20万	黄柏峪	Au-Cu-Pb	0.652	0.15
B-YC-05	1/20 万	黄柏峪	Ag-Bi-Cu-Pb-W	0.498	0.15



图 6 草河掌一桓仁万宝式铜矿定量预测工作区靶区挑选要素图

Fig. 6 Map showing elements of target prediction for Wanbao style Cu deposit in the predicted area a. 满足检索样点; b. 地质矿产简图; c. 剥蚀程度图; d. Cu 元素地球化学图

面金属量法(Vs)。面金属量法的基本思想认为,区域内资源量(储量)与异常范围内面积与平均 值和背景值之差的乘积(面金属量)成正比,加入剥 蚀系数与相似度系数,使预测结果可信度更高。

$$R \cdot \frac{S_{\exists \exists \exists} (X_{\exists \exists \exists} - B_{\exists \exists \exists})}{\frac{Pu_{\exists \exists}}{(1 - F_{\exists \exists})}} = \frac{S_{\pm \exists} (X_{\pm \exists} - B_{\pm \exists})}{\frac{Pu_{\pm \exists \exists}}{(1 - F_{\pm \exists \exists})}}$$

式中, Pu_{elm} 为已知矿区的资源量(储量); S_{elm} 为已 知区的异常面积; X_{elm} 为已知矿区的平均值; B_{elm} 为 已知矿区的背景值; F_{elm} 为已知矿区的剥蚀系数; Pu_{km} 为未知矿区的资源量; S_{km} 为未知び区的异常面 积; X_{km} 为未知矿区的平均值; B_{km} 为未知矿区的背 景值; F_{km} 为未知矿区的剥蚀系数;R为相似系数。

上述两种方法计算之后,取其加权平均值:

V = 0.6Vd + 0.4Vs

草河掌一桓仁预测工作区的地球化学资源量的 估算,按照上述修正的类比法和面金属量法的计算 公式,计算出各A级、B级预测靶区的Cu资源量, 已知矿床的储量为131550.8 t,预测资源量为 21812.9 t。 法,其研究体系包括基础地质-成矿机制-理论地球 化学-勘查地球化学-现代计算机技术多个方面,能 够整合所有资料为预测提供理论依据,但由于工作 本身需要很强的探索性,某些理论方法还需要在今 后工作实践中逐步完善。

致谢:感谢中国地质大学(武汉)马振东老师和 龚鹏博士在此论文编写工程中给予的帮助。

参考文献:

- [1] 中国地质调查局发展研究中心. 矿产资源地球化学模型建立 与定量预测操作指南[M]. 北京:地质出版社, 2011.
- [2] 辽宁省地质矿产勘查开发局.辽宁省区域地质志[M].北京: 地质出版社,1996.
- [3] 徐志刚.中国成矿区带划分方案[M].北京:地质出版社, 2008.
- [4] 张承帅,王恩德,宋建潮,等. 桓仁夕卡岩型多金属矿床分带研 究[J]. 地质与资源, 2009, 18(1): 23-26.
- [5] 宋建潮,王恩德,张承帅,等. 辽宁桓仁夕卡岩型铜锌矿床成 矿模式及深部预测[J]. 地质与资源,2007,16(4):280-283, 287.
- [6] 张乾. 辽宁桓仁夕卡岩型铜铅锌多金属矿床的地球化学特征 [J]. 地球化学, 1992(3): 243-254.

5 结语

地球化学定量预测作为一种新的资源量预测方

Geochemical quantitative prediction of copper mineral resources in Caohezhang-Huanren area, Liaoning province

LI Yuchao¹ , ZHANG Su² , ZHANG Yuying³ , WU Aijun¹

(Liaoning Survey Academy of Geology And Mineral Resources, Shengyang 110031)

Abstract: Based on geological and geochemical theories with respect to ore formation and halo formation, prospecting geochemical data in different scales, GIS information geochemical model of mineral resources is set up and the quantitative prediction is made. Anomly characteristics of typical ore field (ore deposit clustered area) and deposit are summarized and prospecting geochemical model of typical ore deposit in typical ore belt is set up so as to provide correlative evidence for geochemical and quantitative prediction of mineral resources of the predicted area. New factors of comparability, denudation degree, contrast value etc. are added during the prediction and confidence of optimization of prospecting targets is improved a lot. The correlation result and plane metal result are weighted averagely to give reasonable predicted mineral resources volume. Increment of copper mineral resources about 21 812. 9 t is made for Caohezhang-Huanren area by the prediction

Key Words: copper ore; ;geochemistry; quantitative prediction; mineral resources estimation; Liaoning province