

基于矿床规模模型的西南三江北段 区域资源潜力定量预测与评价

吕 鹏¹, 陈建平¹, 张路锁², 朱鹏飞¹, 曾 敏¹

(1. 中国地质大学(北京)国土资源与高新技术研究中心/北京市国土资源
信息开发研究重点实验室, 北京 100083; 2. 河北省煤田地质局, 邢台 054022)

[摘 要]建立以矿床规模为模型的区域矿床成矿潜力指标,一方面可用于区域矿产资源规模的定量评价和预测;另一方面,在区域资源定量评价过程中,可用于对矿床时间谱系的研究。同时,使用矿床成矿潜力指标对西南三江北段地区铅锌、铜、银矿进行了区域资源潜力评价,得到了成矿潜力预测图,最后使用成矿概率法则对西南三江北段矿产资源总量进行了预测。

[关键词]矿床成矿潜力指标 矿床预测 定量评价 预测模型

[中图分类号]P612 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2006)05-0066-06

0 引 言

矿产资源定量评价的目的是希望能够评估未发现矿产资源的量、价值并对其进行定位预测,以能够表达矿产资源的经济潜力和不确定性^[1]。目前,对矿床的理解已经由传统描述性矿床模型向数字矿床模型发展^[2],同时矿产资源评价也向着系统勘查理论化、数字化、定量化的方向发展,我国的地质异常致矿理论和“三联式”成矿预测方法,俄罗斯学者提出的勘查系统分析和“预测普查组合”方法,以及美国推行的“三部曲”资源定量评价方法是目前比较先进的方法^[3]。

“三联式”成矿预测及资源评价途径是基于“数字找矿”的矿产勘查方法,是以地质异常分析为基础,以成矿多样性分析与矿床谱系研究为指导,将地质异常、成矿多样性及矿床谱系三方面量化研究紧密结合的数字找矿新方法^[4]。文章建立以矿床规模为模型的区域矿床成矿潜力指标,一方面可用于区域矿产资源规模的定量评价和预测,另一方面可用于对矿床时间谱系的研究,可为建立矿床时间谱系提供新的思路。

1 区域成矿地质背景与特征

研究区位于特提斯—喜马拉雅构造域东部,构

造线由近东西向急转为近南北向的转折部位,大地构造位置独特。自晚古生代以来,形成了4条规模巨大的板块结合带^[5],即甘孜—理塘结合带、金沙江—哀牢山结合带、澜沧江结合带、丁青—八宿(怒江)结合带。其间有多个陆块(地体)组成,如德格—中甸陆块、昌都—兰坪陆块等(图1)。该区位居世界两大巨型造山带特提斯造山带和环太平洋造山带的交汇部位,并遭受了印度板块、太平洋板块和欧亚板块的共同作用影响^[6],自印支晚期以来经历了大规模俯冲造山、燕山期的碰撞造山过程,最后又遭受新特提斯喜马拉雅期陆内造山阶段南北和东西向双向挤压和大规模逆冲—推覆和平移剪切的叠加改造,形成了极其复杂的构造格局。

1.1 成矿构造带及地层分布

甘孜—理塘结合带(I):北起玉树歇武寺以西,向东经甘孜、理塘南下至“三江”口。该带蛇绿岩主要为洋脊型拉斑玄武岩、苦橄玄武岩、镁铁质与超镁铁质堆晶岩、辉长岩、辉绿岩墙、蛇纹岩(变质橄榄岩)及放射虫硅质岩等组成^[7]。义敦晚三叠世岛弧(Ⅱ₂):是甘孜—理塘洋盆向西俯冲消减作用的产物,主要为晚三叠世的火山—沉积岩系和印支晚期—燕山期花岗岩基所占据。中咱地块(Ⅱ₃):西以金沙江结合带为界,东为地块边缘褶冲带和义敦弧前(间)带。东缘出露上二叠统一套碎屑岩夹基性火

[收稿日期]2005-07-19; **[修订日期]**2005-09-26; **[责任编辑]**曲丽莉。

[基金项目]中国地质调查局项目(编号:200110200010)和教育部重点科技研究项目(编号:104037)共同资助。

[第一作者简介]吕 鹏(1979年—),男,2005年毕业于中国地质大学(北京),获硕士学位,在读博士生,现主要从事“3S”技术在矿产资源定量预测与评价中的应用等研究工作。

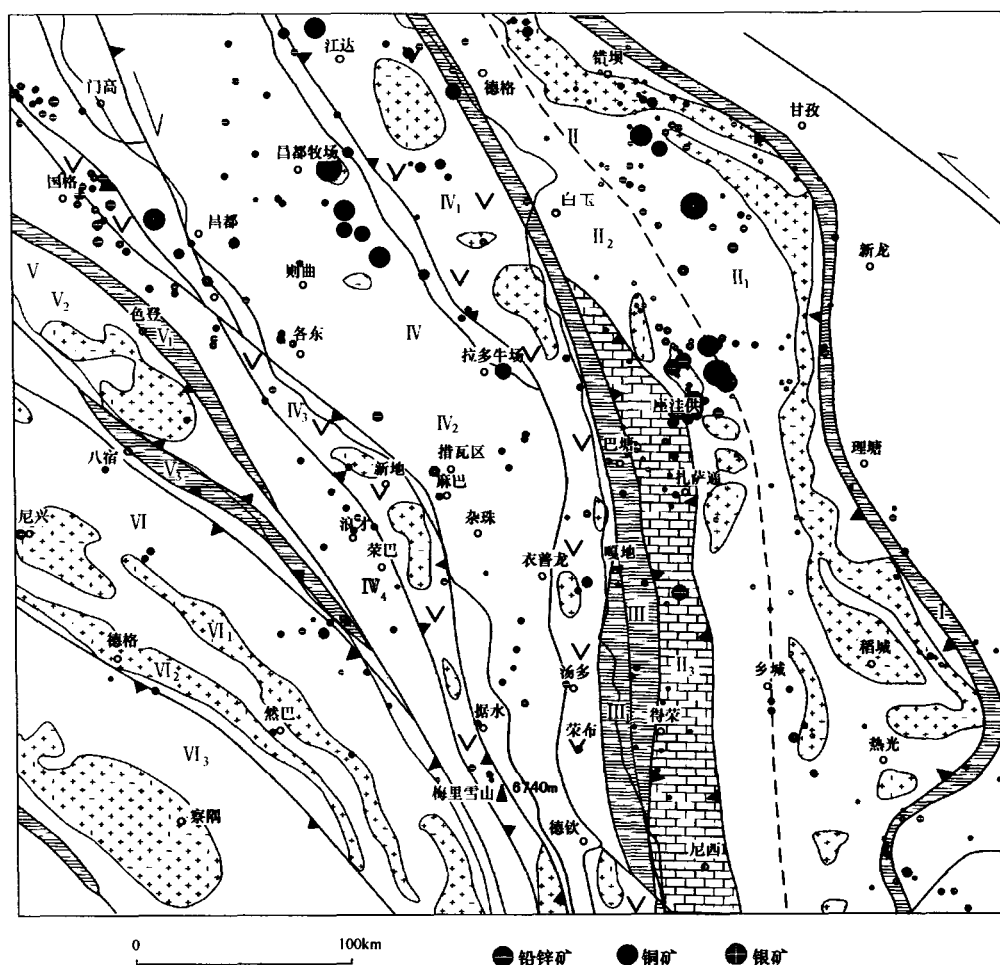


图1 研究区构造单元分区及矿点分布图(据文献[7]修编)

I—甘孜—理塘结合带;II—德格—中甸陆块;III—金沙江—哀牢山结合带;IV—芒康—思茅陆块;V—怒江结合带;VI—冈底斯—拉萨—腾冲陆块

山岩、碳酸盐岩、硅质岩、硅质浊积岩,向上基性火山岩增多和三叠系一套复理石砂板岩,下部夹有基性火山岩。金沙江—哀牢山结合带(III):分布于金沙江—哀牢山断裂带上,南延进入越南北部。该带蛇纹岩套主要由蛇纹石化超镁铁质岩、超镁铁堆晶岩(辉石岩—纯橄岩)、辉长岩—辉绿岩墙群、洋脊型玄武岩及硅质岩和放射虫硅质岩组成。江达—德钦—维西二叠纪—三叠纪火山—岩浆弧后带(IV₁):该带位于金沙江结合以西,昌都—兰坪陆块(盆地)以东,向南接墨江—绿春火山—岩浆弧。

1.2 地层含矿性分析

以甘孜—理塘断裂带为界,研究区可以分为川西和藏东两区。

川西:晚三叠世地层在该区出露最为广泛、面积广大、以发育弧火山岩为特色,弧火山岩广布于曲嘎寺组(根隆组)和图姆沟组(勉戈组)地层中,前者以中基性岩为主,后者以中酸性岩为主,常构成完整的

“双峰式”火山岩系列。与中酸性火山岩相关的矿产以“黑矿型”铅、锌、铜、银、金、汞矿为主,如呷村、嘎依穷、孔马寺等大型、超大型矿床。

藏东:江达带的洞卡组产出与海底喷流有关的铅锌银矿化,以及与次火山岩有关或与燕山期侵入岩接触变质有关的银铜铅锌多金属矿床,如江达丁钦弄矿床等。夏日多—马牧普冲褶带中的晚三叠世地层直接控制了玉龙斑岩成矿带的矿化,大部分斑岩铜矿的直接围岩是晚三叠世地层,包括夺盖拉组、阿堵拉组、波里拉组、甲丕拉组;部分为马拉松多组火山岩。在类乌齐—左贡逆冲推覆带北段已经发现的铅锌矿床、钨锡矿等也主要产于晚三叠世地层中。

综上所述,研究区成矿地质背景复杂,成矿主要层位是晚三叠世地层,但川西和藏东地区产于晚三叠世地层中矿床的特征有所不同^[8]。研究区内的矿产种类有铜矿、铅锌矿、银矿等35种单矿种或多矿种矿床,已经探明的矿床(点)数为405处,其中

铜矿 99 个,铅锌矿 48 个,银多金属矿 43 个^[9]。研究区内的主要矿产种类为铜、铅、锌、金、银,矿床总共 349 个,占研究区矿床总数的 86.2%,为主要的矿种类型。文章以铅锌、铜、银矿床为主要研究对象。

2 基于矿床规模模型的矿床成矿潜力指标

成矿强度指数和成矿广度指数是评价一个地区或地质建造成矿有利度的重要指标^[10]。所谓成矿广度是指在研究范围内矿化发育的广泛程度,在区域成矿分析时可以用区域内产出的资源量多少来表征;而成矿强度则指矿化发育的强烈程度,在区域成矿分析时可以用某成矿单元内单位面积所拥有的矿产资源量来表征。从成矿分析的角度考虑,有大量矿产地出露的地质建造就是重要的成矿地质建造,与该地质建造相应的时期就是重要的成矿期。

同时,成矿广度指数和成矿强度指数是研究矿床时间谱系的主要指标^[11],矿床谱系在时间、空间及成因上与成矿多样性密切相关,它在评价与预测新类型矿床中起着极其重要的作用^[12]。在建立矿床时间谱系时,成矿广度指数可以指示在地质发展历史中最重要成矿期,成矿强度指数可以指示在不同时代的地质建造中找到矿床的可能性。在相似的找矿工作程度的条件下,成矿强度指数越大找矿的概率就越大。二者的计算方法如下:

成矿广度指数:

$$N = n_1 \times k_1 + n_2 \times k_2 + n_3 \times k_3 + n_4 \quad (1)$$

式中: n_1 、 n_2 、 n_3 、 n_4 分别为大、中、小型矿床和矿点的个数。 k_1 、 k_2 、 k_3 是大、中、小型矿床相应的权系数。权系数的取值根据经验人工选定,如 $k_1 = 100$, $k_2 = 25$, $k_3 = 5$ 。

成矿强度的指数:

$$K_N = N/S \quad (2)$$

K_N 为单位矿产当量, S 为地层出露面积,为了使数值与矿产当量相近,可以将单位矿产当量乘以 1000,即 $K_I = K_N \times 1000$ 。综上所述,成矿广度指数的本质是将矿点的个数进行折算,最终用单位面积内的矿床个数当量来表示成矿概率。

文章从矿床规模的角度,提出矿床成矿潜力指标,并以此作为区域资源评价的一种新方法。矿床成矿潜力指标是基于矿床规模的指标,它将研究区内不同规模的矿床资源储量进行转换,获得该地区矿产资源总量,转换的过程需要考虑不同规模矿床折算率,以矿床规模的权重来表示,该方法着重解决两方面的问题:①区域矿产资源规模的定量化评价,

以矿床规模为研究对象,其结果可以直接用矿种资源储量表示,代表了区域资源分布规律,并能够进行区域资源的预测;②在区域资源定量化评价过程中,可用于对矿床时间谱系的研究,根据成矿时代专属性、不同地层岩性等,将定性和定量分析方法相结合来精确定量分析成矿时代与资源潜力的关系,为建立矿床时间谱系提供新的思路。

一个地区已知矿床的规模按矿种以及储量等级一般分为超大型、大型、中型、小型、矿点和矿化点 6 级,因此区域范围内矿产资源量为各个矿床储量之和 M 吨,如果该区的面积为 $S \text{ km}^2$,则可以将 M 作为表征成矿广度的指标,将 M/S 作为表征成矿强度的指标^[11]。但一般情况下,对于中小比例尺的成矿分析,精确确定矿产资源量并不总是可能的,通常只有矿床的规模数据,如果使用某种途径,将仅有储量规模的矿床进行转换得到一个统一的度量,就可以作为成矿潜力评价的标准,这个度量就是矿床资源潜力指标。矿床资源潜力指标(P)计算公式如下:

$$P = \sum_{i=1}^6 w_i S_i \quad (3)$$

S_i 是第 i 个矿床规模定量数值, w_i 为对应矿床规模的权重, P 为矿种的资源潜力(表 1)。在矿床资源潜力计算过程中,权重的确定是比较重要的一个步骤,文章认为,从成矿预测的角度来考虑,区域内某一矿种常常集中出现于某一时代地层,即存在矿床的成矿时代专属性,有大量矿点出露的地层就是重要的地层单元,重要的成矿地层单元拥有相对大的权重。文章以赋矿地层的成矿累积概率作为该时代地层成矿权重值,方法如下:①确定矿种的主要赋矿地层;②将该地层中矿床个数的累积频率(%)作为该地层的成矿潜力权重 w_i ;③对矿床进行点一面空间分析,将矿床相交地层权重赋为矿床权重;④进行矿床资源潜力指标(P)计算。

表 1 矿床资源潜力计算参数表

矿床规模	超大型	大型	中型	小型	矿点	矿化点
规模定量化值(S)	6	5	4	3	2	1
权重(w)	w_6	w_5	w_4	w_3	w_2	w_1

3 西南三江北段重要矿种矿床成矿潜力指数计算

研究区内多数的铜矿床为热液成因。铜矿成矿带分布于深大断裂两侧,主构造线为北西—南东向,次级北东向断裂与之交汇的部位对成矿的控制作用尤为重要。它们主要赋存于石炭系、二叠系、中生代砂岩、碳酸盐岩层内,矿化类型与围岩关系密切。热

液成因的铅锌银矿以三叠系为主,二叠系石炭系中有少量矿床;新生界中的矿床数量不多,但矿床规模巨大,品位富。多位于大断裂旁侧的次级断层、推覆构造及层间破碎带中。文章以铅锌、铜、银矿矿床成矿潜力指数计算为例,详细介绍矿床成矿潜力指数的计算方法。

铅锌矿:对45个铅锌矿床进行成矿时代统计,得到铅锌矿床的主要成矿时代集中于K和T,二者的累计频率分别为40%和29%,其中晚三叠世 T_3 地层是三叠系主要赋矿地层,因此对其单独赋权。从图2a中可以看到铅锌矿床有2个成矿强度的峰值。按照成矿时代频率统计可以得到各时代地层权重值,分别为:N:3;E:12;K:40;J:15;T:3(其中 T_3 :26); Pt_2 :1;其他:1。根据赋矿地层权重,使用MAPGIS软件的空间分析功能,进行点一面相交分析,依据(3)式计算 P 如表2,最后使用克里格法对离散的矿点数据网格化,得到了三江地区基于矿床规模模型的铅锌矿床成矿潜力图(图3a)。

铜矿:对55个有效的铜矿床进行成矿时代统计,得到铜矿床的主要成矿时代集中于E、K、J和T,四者的累计频率分别为19%、18%、24%和28%,其中晚三叠世 T_3 地层中铜矿占总数的22%是三叠系主要赋矿地层。图2b显示铜矿床在古第三系、白垩系、侏罗系和三叠系达到成矿强度的峰值。按照成矿时代频率统计可以得到各时代地层权重值,分别为:N:6;E:19;K:18;J:24;T:28;其他:1。依据(3)式计算 P 如表2,绘制铜矿床成矿潜力图(图3b)。

银矿:对39个银矿床进行成矿时代统计,得到银矿床的主要成矿时代集中于E、K和T,累计频率分别为18%、44%和18%。从图2c中可以看到银矿床成矿强度的峰值处于白垩纪。按照成矿时代频率统计可以得到各时代地层权重值,分别为:N:8;E:18;K:44;J:10;T:8(其中 T_3 :10);其他:1。依据(3)式计算 P 如表2,绘制银矿床成矿潜力图(图3c)。

4 西南三江北段地区区域资源储量估算

文章使用找矿概率法则并结合我国矿床规模划分标准对研究区资源储量进行估算。找矿的概率法则是用来确定矿点与矿化点进一步勘查转化为矿床的可能性。表3为美国、加拿大和印度在各时期找矿成功概率统计。美国原子能机构(1973)统计,找矿成功概率0.7%。加拿大勘探工作发现矿床的比率1951年为1%,1969年下降为0.1%。Perry(1968)统计成功比为176:1,即约0.6%。Bailey(1967)计

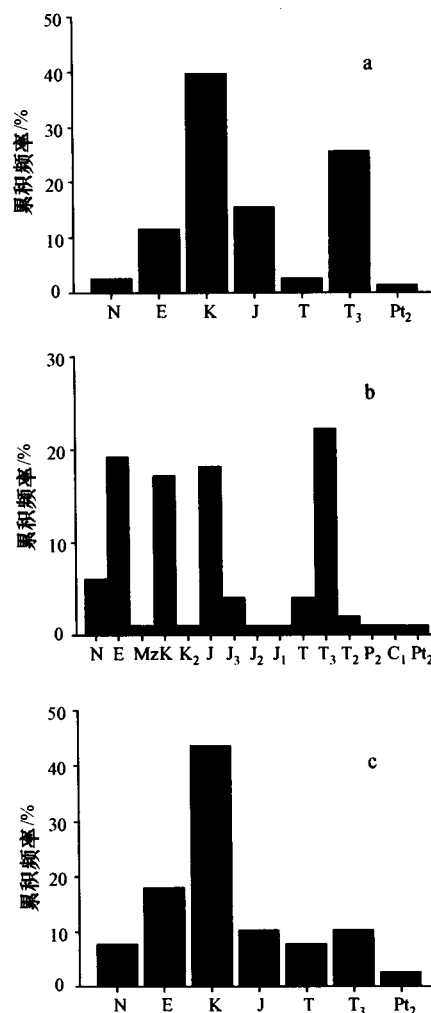


图2 三江北段地区铅锌、铜、银矿成矿时代累积概率统计
a—铅锌矿床;b—铜矿床;c—银矿床

表2 三江北段地区矿床成矿潜力指标计算结果

矿种	时代	P	排序
铅锌矿	N	288	4
	E	120	5
	K	600	2
	J	525	3
	T	288	4
	T_3	3588	1
铜矿	N	534	4
	E	475	5
	K	216	6
	J	864	3
	T	2492	2
	T_3	3108	1
银矿	N	368	3
	E	216	5
	K	440	2
	J	230	4
	T	368	3
	T_3	510	1

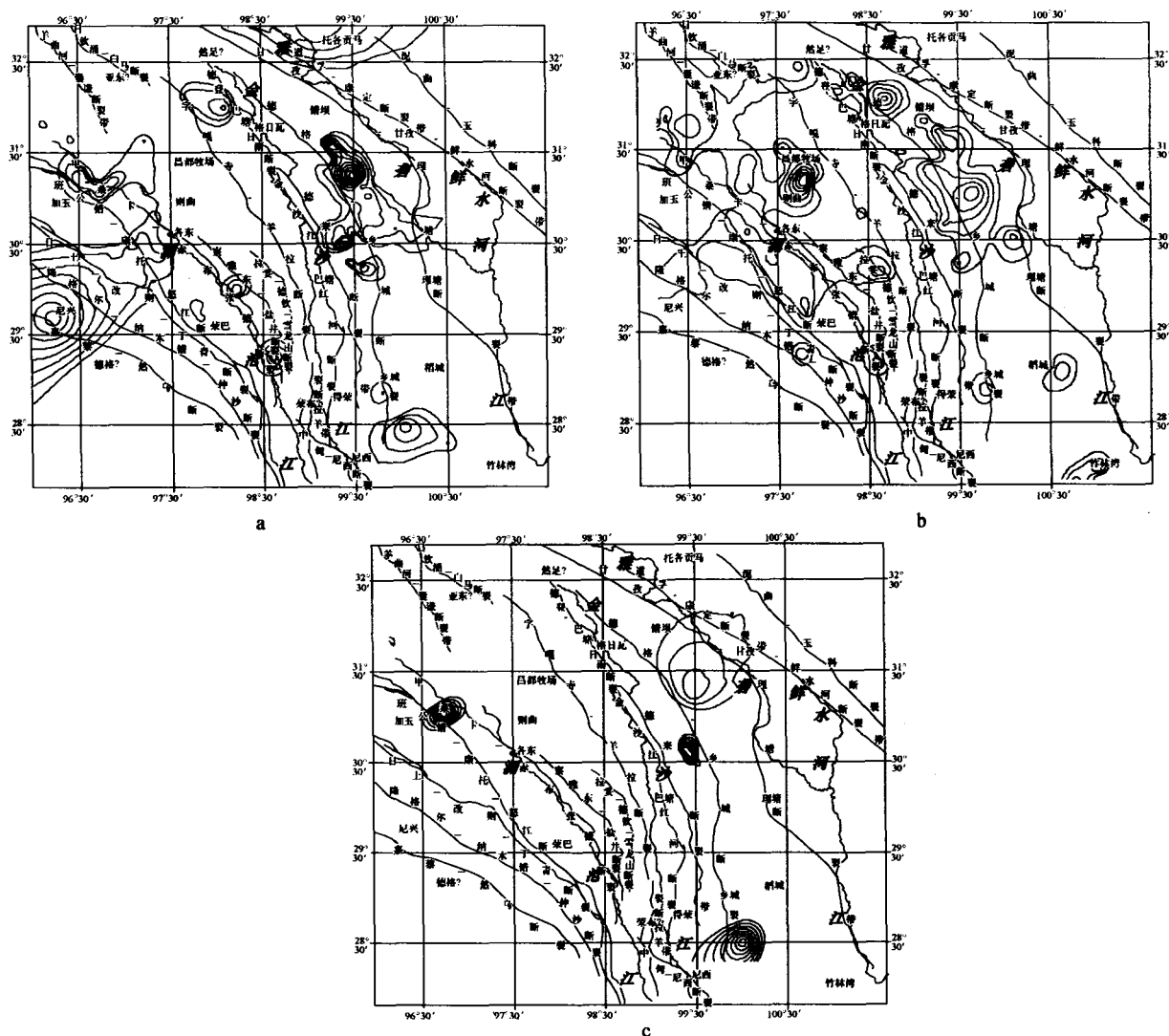


图3 三江北段地区矿床成矿潜力图

a—铅锌矿;b—铜矿;c—银矿床

算的成功比为 330:1,即 0.3%。Griffis(1971)统计的成功比 0.7%。印度从 1976 年开始对 1100 个异常进行地质普查工作,到 1982 年末 6 个被认为有希望,如其 1 个成为矿床,则原始风险为 1100:1。统计以上找矿概率数据,区域找矿概率评价可以归纳为 0.61%。

目前我国矿床规模划分标准为铅锌、铜矿床大型矿床的储量 >50 万 t,中型矿床 10~50 万 t,小型矿床 <10 万 t。超大型矿床,国内一般都按涂光炽的主张,将五倍于大型矿床储量的矿床称为超大型矿床。银矿床规模划分为大型 >1000t,中型矿床 200~1000t,小型矿床 <200t。结合找矿概率 0.61%,对三江地区矿点和矿化点进行换算,得到矿床资源储量如表 4。研究区铅锌、铜、银矿床资源储量估算结果分别为 1241 万 t、582 万 t 和 14929t。

5 结 论

1) 文章建立了以矿床规模为模型的区域矿床成矿潜力指标,可用于区域矿产资源规模的定量化评价,能够指示区域资源分布规律;在区域资源定量化评价过程中,矿床成矿潜力指标可用于对矿床时间谱系的研究,精确定量分析成矿时代与资源潜力的关系。矿床成矿潜力指标计算是矿床规模定性模型向定量模型转换的结果,它适用于将矿床的经济评价成果转化为区域找矿的评价指标,是区域资源评价的新尝试。

2) 根据矿床成矿潜力指标计算和排序,得到西南三江北段地区铅锌矿成矿最有利的地层为白垩统

表3 区域矿床评价的找矿概率统计

统计来源	数据来源	年代	地质异常/万个	矿点/个	远景矿床/个	找矿成功率/%
美国	美国原子能机构	1973	10	4000	700	0.70
加拿大	—	1951	—	—	—	1
加拿大	—	1969	—	—	—	0.10
Perry	美国西南部五个勘探队	1968	—	352	2	0.60
Bailly	美国 Bear Creek 公司	1967	—	1649	5	0.30
Griffis	加拿大 Cominco 公司	1971	—	1000	7	0.70
印度	—	1976	1100	25	1	0.90
平均						0.61

表4 三江北段地区矿床规模统计及资源储量估算

矿种	单位	超大型	大型	中型	小型	矿点	矿化点	合计
Pb、Zn	个	2	5	6	31	83	40	1241
	万 t	500	250	180	310	0.83	0.4	
Cu	个	1	2	4	11	111	87	582
	万 t	250	100	120	110	1.11	0.87	
Ag	个	2	4	1	16	37	8	14 929
	t	10 000	4000	600	320	7.4	1.6	

和上三叠统,铜矿成矿最有利的地层为侏罗统和三叠统,银矿成矿最有利的地层为白垩统和上三叠统。利用矿床成矿潜力指数绘制铅锌矿、铜矿、银矿成矿潜力预测图。

3) 根据找矿的概率法则,对世界一些国家的找矿概率进行了统计分析,得到区域找矿概率评价可以归纳为0.61%,以此找矿概率,对西南三江北段矿产资源总量进行了预测,得到研究区铅锌、铜、银矿床储量估算结果分别为1241万t、582万t和14 929t。

[参考文献]

- [1] A Singer D. 资源定量评价发展方向展望[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2001, 26(2): 152-156.
- [2] 王勇毅, 肖克炎, 朱裕生, 等. 初论中国铜矿数字矿床模型[J]. 地质与勘探, 2003, 39(3): 20-24.
- [3] 魏 民, 赵鹏大, 刘红光, 等. 中国岩金矿床品位-吨位模型研究[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2001, 26(2): 176-179.
- [4] 赵鹏大. “三联式”资源定量预测与评价——数字找矿理论与实践探讨[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2002, 27(5): 482-489.
- [5] 池顺都. 应用GIS进行成矿强度和广度的定量分析——以云南澜沧江流域地层成矿分析为例[J]. 现代地质, 1999, 13(3): 323-328.
- [6] 许志琴, 侯立玮. 中国松潘——甘孜造山带的造山过程[M]. 北京:地质出版社, 1992.
- [7] 潘桂棠, 徐 强, 侯增谦, 等. 西南“三江”多岛弧造山过程成矿系统与资源评价[M]. 北京:地质出版社, 2003.
- [8] 陈建平, 唐菊兴, 李志军. 混沌理论在三江北段成矿地质条件研究上的应用——以玉龙成矿带北段元素地球化学异常分析为例[J]. 地质与勘探, 2003, 39(3): 1-4.
- [9] 陈建平, 汪名杰, 唐菊兴, 等. 西南三江北段成矿规律和找矿方向综合研究[M]. 北京:中国地质大学(北京), 2003.
- [10] 杨日红, 于学政. 藏东三江地区多金属矿产遥感信息综合找矿预测[J]. 地质与勘探, 2005, 41(3): 59-64.
- [11] 池顺都, 赵鹏大, 刘粤湘. 研究矿床时间谱系的GIS途径[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2001, 26(2): 180-184.
- [12] 赵鹏大, 陈建平, 陈建国. 成矿多样性与矿床谱系[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2001, 26(2): 111-117.

QUANTITATIVE PREDICTION AND EVALUATION OF REGIONAL RESOURCE POTENTIAL IN THE NORTHERN THREE - RIVER AREA OF SOUTHWEST CHINA BASE ON ORE DEPOSIT SCALE MODEL

LU Peng¹, CHEN Jian - ping¹, ZHANG Lu - suo², ZHU Peng - fei¹, ZENG Min¹

(1. Institute of Land Resources and High Techniques/Laboratory of Beijing Land Resources Information Development,

China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083;

2. Hebei Bureau of Coal Geology, Xingtai 054022)

Abstract: Regional ore - forming potential indicator modeled in the ore deposit scale is established. The indicator can be used in quantitative prediction and evaluation for regional mineral resources, and also in studying mineralizing ancestry. Using regional ore - forming potential indicator, regional resource potential of Pb - Zn, Cu and Ag deposits in the north part of the Sanjiang area is evaluated. Total mineral resources in the area are then predicted.

Key words: regional ore - forming potential indicator, ore deposit prediction, quantitative assessment, prediction model