

文章编号:0258-7106(2005)01-0015-10

基于 GIS 技术的西南三江北段矿产资源 定量预测与评价*

陈建平¹,王功文¹,侯昌波¹,唐菊兴²

(1 中国地质大学,北京 100083;2 成都理工大学,四川 成都 610059)

摘要 在已经建立的中国三江北段地质矿产数据库的基础上,运用加拿大数学地质学家 Agterberg 提出的证据权重法,并基于 MAPGIS 技术平台和数理统计分析方法,以及 ArcView 中的证据权模块,对西南三江北段地区进行矿产资源定量预测与评价,为区域矿产资源的勘测与开发提供科学依据。

关键词 地质学;GIS;资源定量预测与评价;西南三江北段

中图分类号:P612

文献标识码:A

西南三江北段是中国重要的铜多金属成矿带,以玉龙斑岩铜矿带为主体的铜矿带具有典型的斑岩成矿模式,其成矿规律和矿床成因具有空间相似性。前人在该区的研究成果主要体现在以下几个阶段:1951~1953年中国科学院组成西藏地质工作队开展1:50万路线地质调查和矿产地质调查;1966~1974年,西藏地质一队在矿带和其他部分地段开展1:20万和1:10万路线地质调查以及1:5万地质简测;1986~1995年,由四川、青海、云南、江西、西藏等省、自治区区域地质调查队、物化探队承担1:50万、1:20万地质矿产调查和化探扫面;1985~1999年,原地质矿产部及国土资源部实施完成了1:100万、1:50万航磁及1:250万重力测量、1:100万重力测量,其中1:100万重力测量已编图入库。

在前人工作的基础上,本研究在建立中国三江北段地质矿产定量关系数据库的基础上,结合定量地质研究方法(赵鹏大等,1994),综合运用数据挖掘和提取技术,分析整理西南三江北段各主要成矿带已有的地质、物探、化探、遥感及矿产资源评价项目和科研工作所取得的成果和资料,全面掌握区内地质工作程度,编制并定期更新西南三江北段工作程度图、工作部署图、地质矿产图、成矿规律及矿产预测图等数字化基础性综合图件(陈建平,2003)。结合成矿区内矿产资源定量预测与评价,明确区内

与矿产资源评价有关的亟待解决的重大或疑难地质问题,为三江北段区域矿产资源的进一步勘探和开发提供科学依据。

1 研究区矿产资源综述

研究区范围为经度 $96^{\circ}00'$ ~ $100^{\circ}00'$,纬度 $28^{\circ}40'$ ~ $32^{\circ}40'$ 。共跨四川、云南、西藏、青海四个省区。矿种统计资料表明,研究区内的矿产种类有铜矿、铅锌矿、银矿、金矿、锡矿、钼矿、汞矿、铬矿、锑矿、银多金属矿、金多金属矿、锡多金属矿等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,金矿44个,银多金属矿43个,多金属矿38个,锡矿11个,锡多金属矿11个。研究区内的主要矿产种类为金、银、铜、铅、锌,其矿床总共有349个,占研究区内矿床总数的86.2%,因此,可确定与这5种元素相对应的矿床为主要研究对象。

研究区矿床的成因类型有岩浆矿床、热液矿床、火山矿床、风化矿床、机械沉积矿床、变质矿床、复合成因矿床等。其中热液矿床305处,占研究区矿床总数的75.31%;机械沉积矿床36处,占8.89%;岩浆矿床33处,占8.15%;火山矿床11处,约占2.72%;变质矿床4处,约占0.99%;风化矿床1处,

* 本文得到中国地质调查局项目(200110200010)、教育部博士点基金(20010491007)及教育部重点科技研究项目(104037)共同资助
第一作者简介:陈建平,男,1959年生,教授,博士,博士生导师,主要从事矿产资源定量评价研究工作。E-mail:3s@cugb.edu.cn。
收稿日期:2004-02-26;改回日期:2004-07-14。

约占0.24%;复合成因矿床10处,占2.47%;还有5处矿床成因类型不明,约占研究区矿床总数的1.23%。研究区内主要的矿床成因类型是热液矿床,其次为岩浆矿床、火山成因矿床、机械沉积矿床,这4种成因类型的矿床占研究区内矿床总数的95.07%,是进一步工作的重点。

研究区内的铜矿床多数为热液成因。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。铜矿床主要赋存于石炭系、二叠系、中生界的砂岩及碳酸盐岩层内(如四川巴塘水磨沟铜矿、西藏江达白玛乡额弄铜矿),矿化类型与围岩关系密切。斑岩型铜矿数量不多,但往往规模巨大。石炭系、泥盆系浅变质岩层是一个重要的含金层位,岩性以砂板岩为主。三叠系金矿床(点)数量多(如错玛、多霞松多金矿),岩性为灰岩和碎屑岩。部分金矿产于二叠系基性火山岩与下伏灰岩接触界面。元古界浅变质砂板岩也有金矿产出。

矿床规模与矿床数量的统计资料表明,在已经探明的矿床(点)中,特大型矿床3处,大型矿床9处,中型矿床14处,小型矿床57处,矿点206处,矿化点116处。研究区内的矿床从特大型到小型均有产出,更有数百处的矿点及矿化点,蕴藏着巨大的找矿潜力。

2 研究区成矿条件概述

2.1 赋矿地层

根据矿产地数据库原始资料的统计分析,热液矿床多为金、银、铜、铅、锌、锡、钨等的单矿种或多矿种矿床,在上古生界、中生界、新生界的地层中均有产出,但主要赋存在中生界地层中。具体来讲,铜矿床主要赋存于石炭系、二叠系、中生界砂岩、碳酸盐岩层内(如四川巴塘水磨沟铜矿、西藏江达白玛乡额弄铜矿),矿化类型与围岩关系密切。铅锌银矿以三叠系为主(如四川白玉县曲静铅锌矿),二叠系、石炭系中有少量矿床(如吉多乡卓登铅锌矿),新生界中的矿床数量不多,但矿床规模巨大,品位富。而石炭系、泥盆系浅变质岩层则是重要的含金层位,岩性以砂板岩为主;三叠系金矿床(点)数量多(如错玛、多霞松多金矿),岩性为灰岩和碎屑岩;部分金矿产于二叠系基性火山岩与下伏灰岩接触界面;元古界

浅变质砂板岩中也有金矿产出。锡矿显示出层控性,产于一定的岩层建造中,多赋存于石炭系、中生界碎屑岩与碳酸盐岩互层建造中(如塞北弄锡矿床)。统计表明,岩浆成因矿床主要为铜、钼、铬、镍矿,主要赋存于中生界地层中,并且以三叠纪地层为主(如马拉松多斑岩型铜钼矿)。进一步的统计分析表明,火山成因矿床主要有铜、铅、锌、铁、银、金、汞矿等,赋存于中生界三叠纪地层中,以上三叠统底层为主,岩性为中酸-中基性火山岩、大理岩、流纹岩、角岩、流纹质凝灰岩、砂板岩、含砾石英砂岩、结晶灰岩,如孔马寺汞矿床、东山脊铜多金属矿床、丁钦弄银多金属矿床等(图1)。

2.2 控矿构造成矿信息

对矿产地数据库资料所作的进一步统计分析表明(赵鹏大等,1994),热液矿床与构造关系密切,矿床的产出都与构造有关(图2)。

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。铅锌银矿多位于大断裂两侧的次级断层、推覆构造及层间破碎带中。金矿严格受深大断裂控制,中型以上规模的金矿几乎全部产于三江成矿带的东部,多赋存于构造破碎带内,并沿一定的层位产出。锡矿床受区域性构造控制,复式向斜中的隆起带、背斜构造对控岩控矿有利。北西向、北东向断裂与近南北向主构造的复合部位往往控制含矿体的侵入。层间破碎带和压扭、张性断裂或破碎带为锡矿的容矿构造。

对于岩浆矿床,板块结合带和断裂带既是岩浆活动的场所,控制着岩体的产出,也是矿床产出的位置。矿床主要产出于德格-中甸晚三叠世岛弧褶皱带及昌都微板块内,受北西向大断裂及其次级断裂控制。矿床的主要矿体,或赋存于岩体接触带,受岩体形态、产状的控制;或产于岩体外接触带围岩蚀变和热晕影响范围内。与火山活动有关的铜、铅、锌、铁、银、金矿主要分布于昌台-乡城晚三叠世岛弧带、义敦晚三叠世弧后盆地以及江达岛弧带内,受岩体与围岩的接触带及断裂控制。

2.3 岩浆岩成矿信息

对矿产地数据库资料所作的进一步统计分析表明,岩浆岩为热液矿床成矿提供热源及成矿物质。矽卡岩型铜矿主要与印支期以来的酸性偏碱性斑岩体有关,岩体一般较小,据物探资料推断,深部有隐

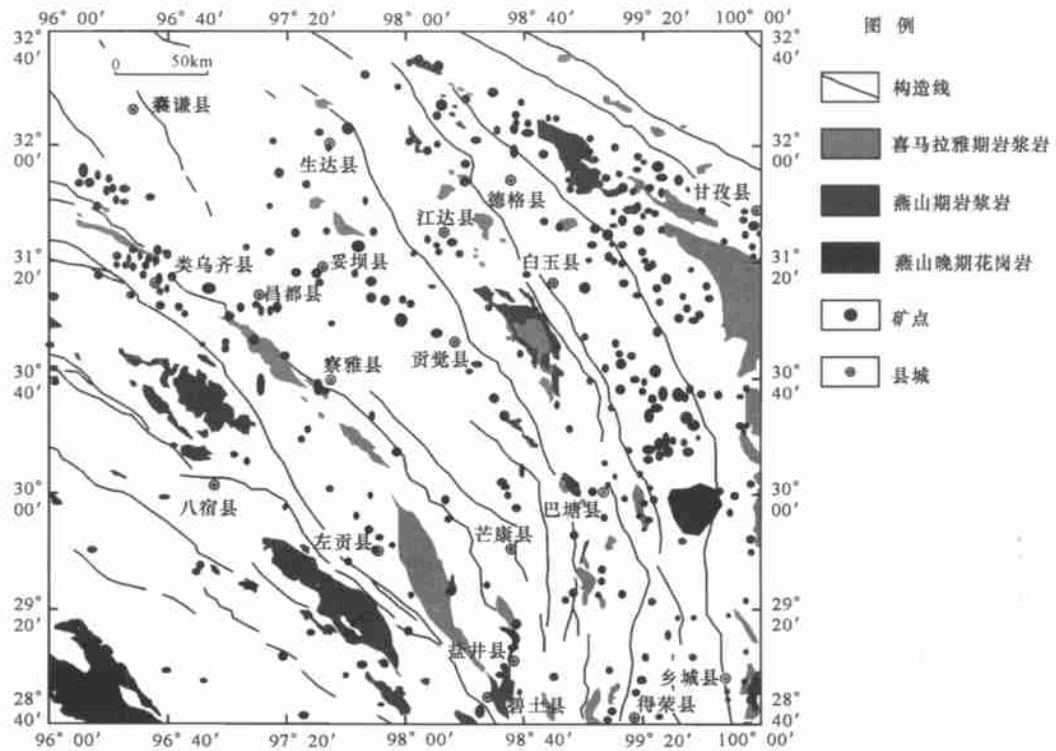


图 1 三江北段岩浆岩分布图

Fig.1 The distribution of magma in the northern segment of Three River Region

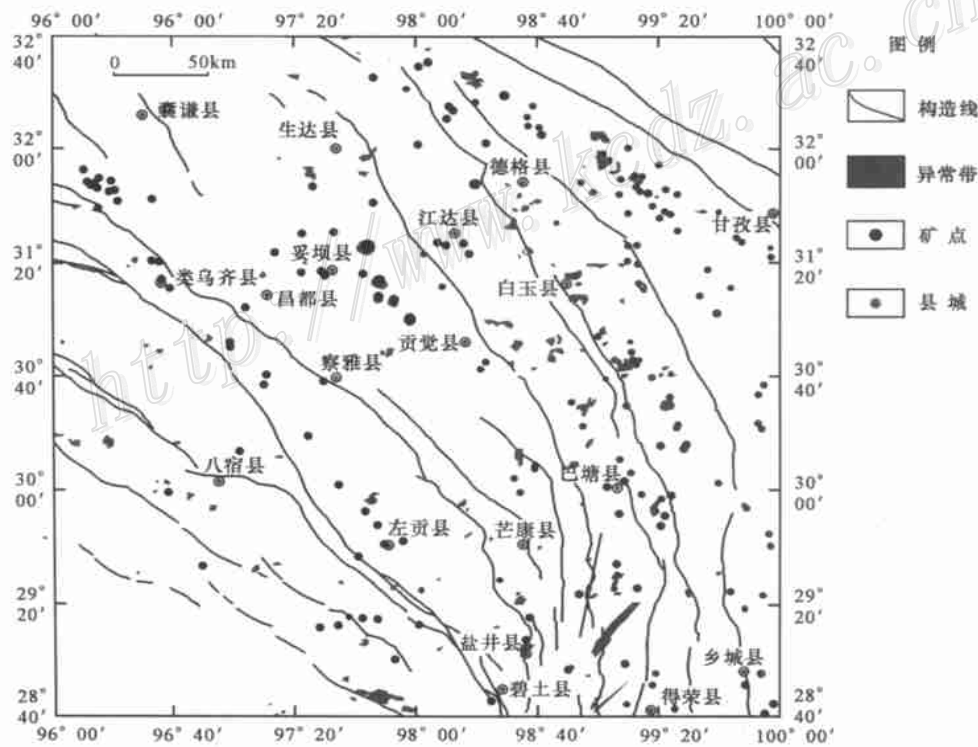


图 2 三江北段 Cu 异常图与矿点分布

Fig.2 The distribution of copper anomalies and ore spots in the northern segment of Three River Region

伏岩体,铜矿物质来源于深部同熔岩浆,喜马拉雅期斑岩体对成矿最有利。燕山-喜马拉雅期及华力西期中、小浅成酸性侵入体与铅锌银成矿关系密切。金矿的分布则与大的岩浆岩带关系密切,这些岩浆岩带为金矿成矿提供了丰富的物质来源。锡矿与燕山-喜马拉雅期重熔型酸性岩浆侵入关系密切(图3)。

超基性-基性岩主要沿板块结合带和断裂带侵入,是铬、金、铂、硅酸镍及铜镍等岩浆成因矿产的源岩,如上色坝铬矿。花岗岩类分布普遍,主要为华力西期以来的中酸性复式岩带,与有色金属、贵金属成矿关系密切,与成矿关系最密切的是燕山-喜马拉雅期花岗岩(陈建平等,2003),如莽总铜矿床、扎那尔铜钼矿床与喜马拉雅期二长花岗斑岩关系密切。火山成因矿床受控于三叠纪火山岩和次火山岩,以及华力西-印支期的石英闪长岩和花岗斑岩。

2.4 物、化探成矿信息

研究区内元素的地球化学异常与矿床基本上是吻合的,有矿床产出的地方,地球化学异常相应较

高。研究区内的重力异常沿着构造线分布,而岩体亦是沿着构造线侵位,因此,重力异常与岩体相符。热液矿床、岩浆矿床、火山矿床大部分都落在重力异常圈内或其附近(图3)。热液矿床主要分布在德格-乡城、类乌齐-左贡两个带内,德格-乡城成矿带重力异常突出。岩浆矿床、火山矿床主要产出在德格-乡城成矿带内。航磁异常沿着构造线分布,而岩体亦是沿着构造线侵位,航磁异常和岩体基本相符。由图4可以看出,航磁异常主要分布在江达成矿带内。热液矿床、岩浆矿床、火山矿床只有一部分落在航磁异常圈内或其附近。

2.5 遥感成矿信息

遥感构造解译数据库中的遥感资料为美国陆地卫星专题制图仪(Landsat TM)图像9景经计算机镶嵌而成。图像波段组合采用TM543(RGB)进行假彩色合成。

在ENVI软件中,对图像进行几何精校正。按照《空间数据库建设工作方法指南》,空间坐标采用无投影关系的经纬度坐标,并以“度×400”为单位。

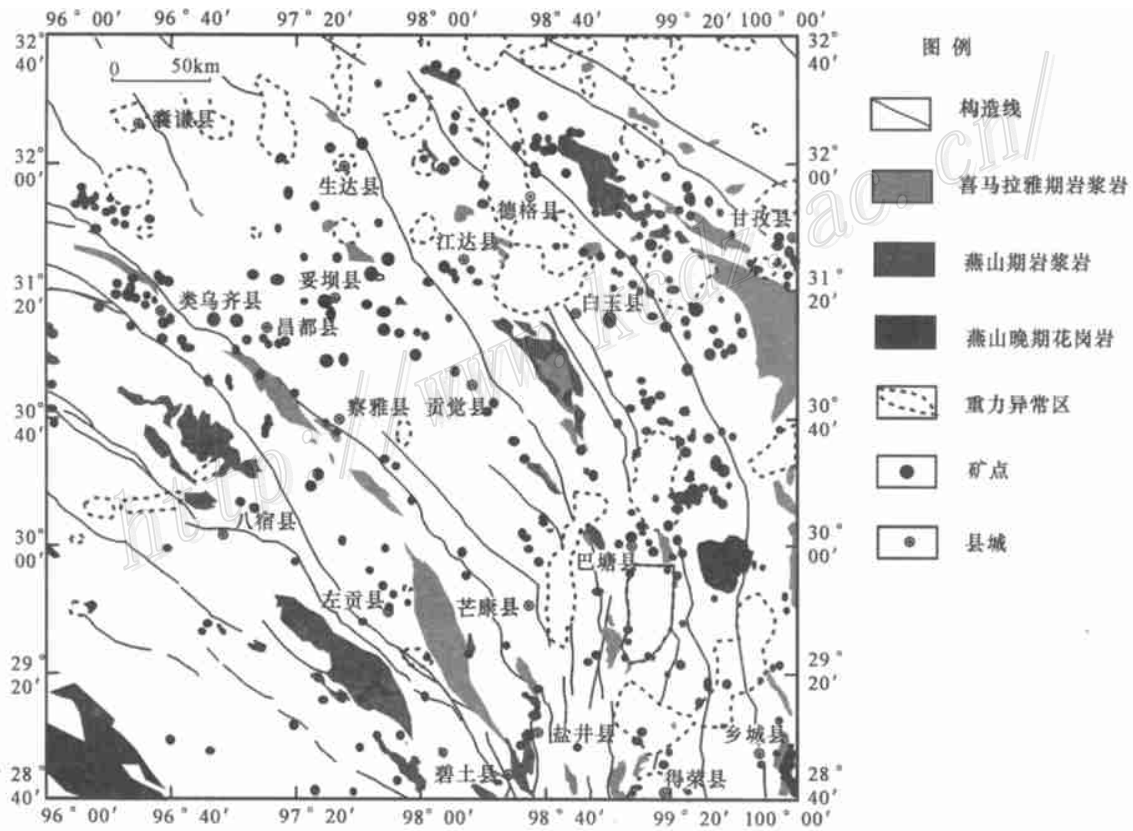


图3 三江北段重力异常

Fig.3 The distribution of gravity anomalies in the northern segment of Three River Region

选用西安 1980 国家大地坐标系和 IUUG-75 地球椭球。几何精校正时,转换误差 RMS 的允许值 < 1 , 允许有一个像元的误差。TM 影像的空间分辨率是 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$, 即影像上的一个像元代表地面上同一区域 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ 的范围。对研究区 TM 图像进行增强处理: ①进行反差增强,以改善和提高图像的对比度; ②进行卷积增强,以突出地物边界和各种线性形迹,增强目视解译效果。卷积增强是一种邻域处理技术,它是通过一定尺寸的模板(矩阵)对原图像进行卷积运算来实现的。根据研究区的特点,采用 90° 和 135° 两个方向的 3×3 模板,对突出某一方向的地质体边界和线性断裂构造或形迹,以及增强一些环形构造或形迹,取得了明显的效果(Chen et al., 2002)。以研究区范围裁剪过的图像为基准,参考增强处理结果,对线、环构造进行解译。线性构造解译标志: ①直接标志:岩性地层标志,构造标志(地质构造的不连续,构造破碎带的直接出露); ②间接标志:色调标志,地貌标志,水系标志,土壤、植被标志,岩浆及热液活动标志,综合景观标志。环形构造解译标志:色调环,地貌环,水系环,植被环,影像环,以及它们的复合类型的环状特征(Chen et al., 2002)。

3 证据权重模型

如何从各种不同来源的信息中提取有用信息进行综合处理和综合分析,达到矿产预测目的,一直是地学界探讨的问题。20 世纪 80 年代发展起来的以多源信息复合技术为不同来源的地质数据综合处理与综合分析提供了一种有效的工具。多源地学信息复合的实质是采用一种算法或模式对不同来源的地质数据进行处理与运算,以获得新的能够更好地表达地质体赋存规律的综合地质变量。证据权重法是一种可以解决这类问题的地学统计方法。同时,地理信息系统(简称 GIS)又为多源地学信息复合研究提供了一条新的途径。如何把多源地学信息复合与 GIS 相结合,形成基于 GIS 的矿产资源决策系统,是矿产预测的必然趋势之一(赵鹏大, 2002; 王功文等, 2000)。

证据权重模型最初是从医学发展而来的,后来用于绘制成矿预测图。矿床模式与表示可能指示矿床存在的地球科学数据的多个图层相关。Bonham-Carter 对该理论的实际应用进行了全面的总结(Bonham-Carter, 1994)。Arc- Wofe 对于 Arc View 空

间分析用户来说是证据权的一个扩展模块,它可以在互联网上免费得到(Kemp et al., 1999),它包括文件和说明。证据权用户的数量正在增加,这些用户包括对自然地理、流行病学、生态学、森林学以及地方病发生模式进行研究的科学家。近来出现的对证据权的使用和评估的例子有 Carranza 等(2000, 2002), Cheng 等(1999), Boleucus 等(2001), Harris 等(2001), Mihalasky 等(2001), Raines(1999), Scott 等(2001), Venkataraman 等(2000)。其他有相似目的的模式识别技术包括神经网络(Singer et al., 1999)和回归计算(Agterberg et al., 1999)。在 Pan 等(2000)的专著中将证据权法与其他的技術做了对比。证据权法的一大优势就是它的简便以及对权的通俗易懂的解释。

3.1 证据权重原理

证据权重法是加拿大数学地质学家 Agterberg 提出的一种地学统计方法,最初是基于二值图像的。它采用一种统计分析模式,通过对一些与矿产形成相关的地质信息的叠加复合分析来进行矿产远景区的预测。其中的每一种地质信息都被视为成矿远景区预测的一个证据因子,而每一个证据因子对成矿预测的贡献是由这个因子的权重值来确定的。

对于证据权,为了便于解释预测(证据)图,通常采用二态赋值形式。应用地质判断或统计方法能够将这种形式主观地转换成其他形式以确定临界值,其临界值能够最大限度地揭示二态赋值图成果模式与数据模型的空间组合关系。证据权法的最终结果是以权的形式或后验概率图的形式表达的组合同。证据权法的优点在于权的解释是相对直观的,并能够独立地确定,易于产生重现性。该方法亦适用于获取局部特征和区域模型的信息(譬如地球化学和地球物理异常)。

证据权重法模型的最终结果是一个后验概率图。如果考虑二元模式 p , 且没有丢失数据,有相同后验概率的单位象元形成属于可能条件 2^p (p 表示图层某单元格包含矿床的概率)中分类。假设 T 代表研究区所有单位象元的后验概率的总和,在理想状况下, T 应该等于 n , n 代表矿床的总数量。在实际应用中, T 通常大于 n , 可以假定 $T > n$ 是由于图层缺乏条件独立,这就是条件独立的全面或所谓的“综合检验”(Kemp et al., 1999)的基本原理。例如, Bonham-Carter (1994)指出, T 大于 n 不应超过 15%。

在证据权法的应用中, Agterberg 等(1993)在用

n 差分了所有累计频率之后进行了 Kolmogorov-Smirnov 检验。在证据权法中,在唯一条件下——最大后验概率,最大差值通常等于 $(T/n-1)$ 。这是因为在研究区内,唯一条件——最大后验概率,在所有被考察的图层中通常是正权。如果两个或更多的图层无条件独立性,则运用证据权法计算的结果通常是被估计过高。我们并不知道在那种情况下, Kolmogorov-Smirnov 检验统计可应用的范围。假设 T 表示一个所有后验概率总和的随机变量,在 Kolmogorov-Smirnov 检验被应用于累计频率乘以 n/T 之前,第一次检验假设 $ET = n$ 是很有效果的(E 代表数学期望)。在允许 Kolmogorov-Smirnov 检验应用的情况下,这种校正将使最大差值等于 0。这种过程只有在条件独立假设被接受的情况下才可以被使用。

3.2 基于 GIS 技术的预测模型的建立

3.2.1 数据组织

利用已经建立的西南三江北段空间数据库作为研究区成矿预测的数据基础(陈建平等,2003)。该数据库包括重力数据库、航磁数据库、遥感构造解译数据库、化探数据库、地质图空间数据库、矿产地数据库、地理底图数据库。对上述各个数据库的建立都转换为 1:50 万的比例尺存储在 MapGIS 地图库中,并通过投影变换成统一使用高斯坐标系。

3.2.2 证据层选择

在地质数据库的基础上,通过研究区物化探和遥感资料分析,对西南三江北段地区各控矿因素作了综合评定。本区的 Au、Ag、Cu、Pb、Zn 矿的主要控矿因素取决于以下条件:①有利的地层岩性组合发育;②中基性-中酸性岩浆岩脉群发育;③线性构造带发育;④有利的地球化学异常;⑤有利的地球物理异常。

综上所述,根据该区主要控矿因素分析,提取了三叠纪地层证据层(有矿点分布及有断层切过)、中基性-中酸性岩浆岩证据层、北西向控矿构造证据层、Au 元素异常证据层、Ag 元素异常证据层、Cu 元素异常证据层、Pb 元素异常证据层、Zn 元素异常证据层、 K_2O 异常证据层、 Na_2O 异常证据层、Th 元素异常证据层、重力异常证据层、航磁异常证据层、成矿势能证据层、断裂密度证据层等 16 种异常作为成矿有利信息(图 1~4,表 1)。分别从数据库中提取相应的证据层。用设置缓冲区的方法,将线状控矿标志转化为面状标志,北西向控矿构造的缓冲半径为 1 km。此外,研究区内的元素异常与矿床基本上是吻合的,有矿床产出的地方,其地球化学异常相应较高。

3.3 预测模型的应用

证据权法的预测评价结果是一个成矿后验概率图,其值在 0~1 之间,后验概率值的大小对应着成

表 1 西南三江北段地区各证据层权值参数

Table 1 Weight values of evidence layers for the northern segment of Three River Region

序号	证据因子	w^+	w^-	C	w^+ 方差	w^- 方差
L1	分布有矿点的上三叠统	0.950257	-0.413715	1.363972	0.007709	0.006357
L2	有北西向断层切过的上三叠统	0.247606	-0.100017	0.347623	0.010731	0.005133
L3	岩浆岩,无侏罗纪地层	0.457273	-0.098874	0.556147	0.015793	0.004452
L4	北西向断裂	0.074062	-0.00975	0.083812	0.028781	0.003948
L5	断裂密度	0.006713	-0.22896	0.235673	0.004475	0.015487
L6	航磁异常	0.264443	-0.017065	0.281508	0.050444	0.003728
L7	重力异常	-0.006036	-0.006036	0.012072	0.029603	0.003933
L8	Au 异常	0.703512	-0.067037	0.770549	0.028965	0.003946
L9	Ag 异常	0.884956	-0.123393	1.008349	0.01918	0.004244
L10	Cu 异常	0.869974	-0.055646	0.92562	0.039088	0.003812
L11	Pb 异常	0.932508	-0.121692	1.0542	0.019948	0.004209
L12	Zn 异常	1.223553	-0.146557	1.37011	0.019305	0.004244
L13	Na_2O 异常	0.058239	-0.011717	0.069956	0.020144	0.004194
L14	K_2O 异常	-0.064855	0.004181	0.069036	0.0592	0.003688
L15	Th 异常	-0.023735	0.003195	0.02693	0.029607	0.003933
L16	成矿势能	0.038675	-0.156699	0.195374	0.004249	0.018978

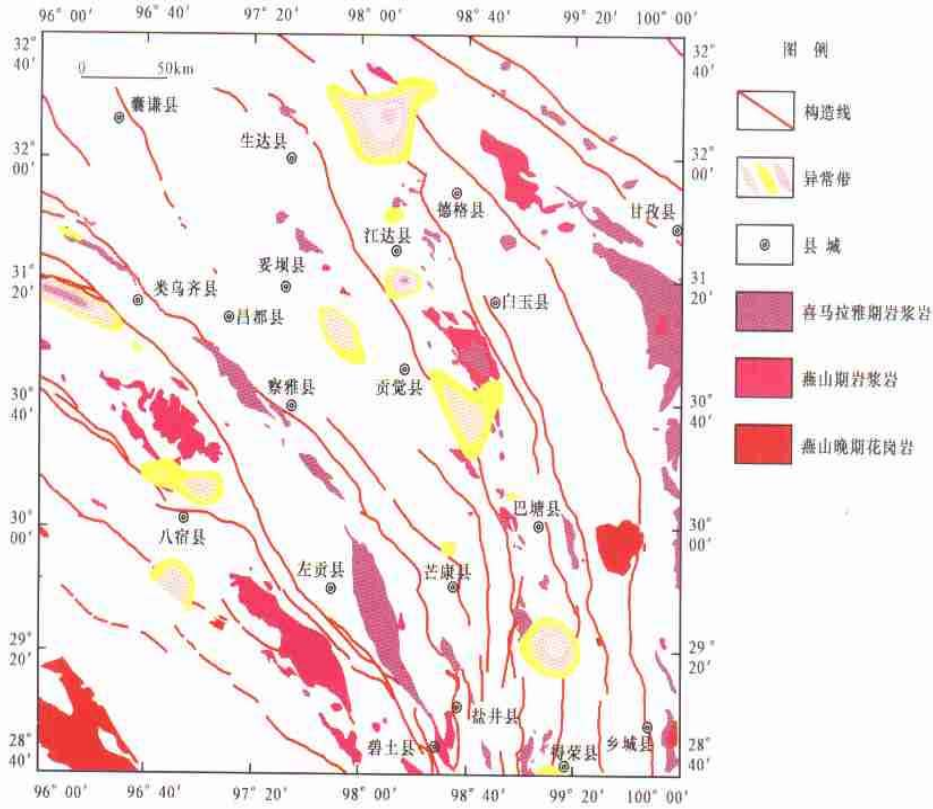


图 4 三江北段航磁异常

Fig.4 The distribution of air-borne magnetic anomalies in the northern segment of Three River Region

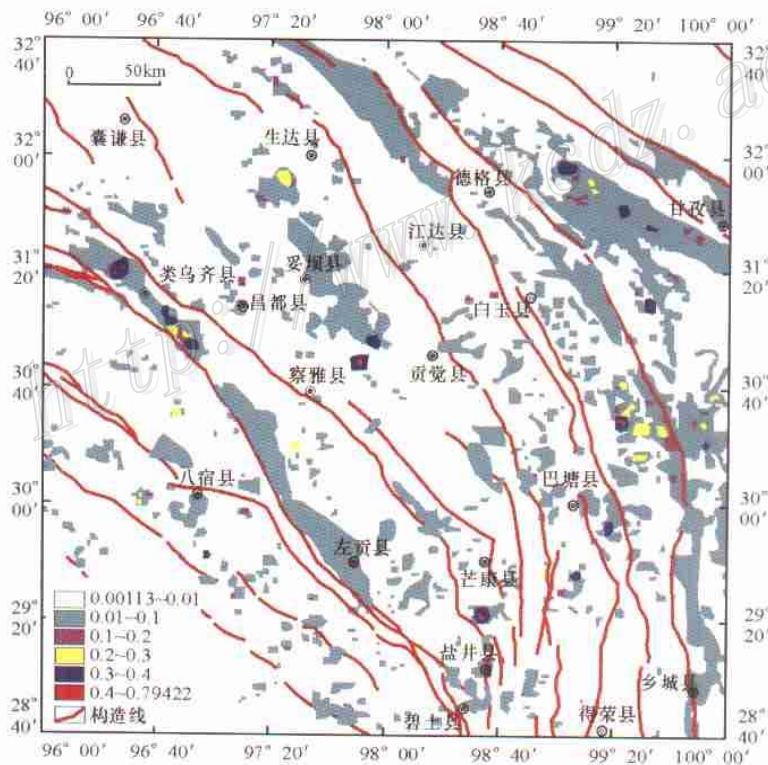


图 5 西南三江北段成矿后验概率图

Fig.5 Ore-forming back-check probability of the northern segment of Three River Region

矿概率的大小。在确定了整个预测评价范围内的临界值之后,图中后验概率大于临界值的地区即为预测的找矿远景区。证据权法应用的一个前提就是具备一定量的基础图件,并能够在成熟的成矿地质模型的指导下,从这些基础图件中优选编制可应用于预测的各种辅助性图件。如前所述,西南三江北段地区的各种地质、矿产、物探、化探及遥感数据库的建立为证据权法的应用提供了必备的数据基础,对西南三江北段地区各种有利证据层的分析为证据权法的应用提供了各种辅助性的数据。在此基础上,根据前面所建立的有利证据层的专题图件,分别计算各证据层与成矿的相关程度及预测评价证据权值(表1,其中 W^+ 表示正权值, W^- 表示负权值, C 表示正负权值的绝对值之和),并以此对研究区内各个单元进行成矿概率有利度的计算。

表1分析结果显示,本区各致矿证据层变量对矿化指示作用的大小依次为:L12、L1、L11、L9、L10、L8、L3、L6、L2、L4、L13、L16、L5、L7、L15、L14。其中,L7与单因素成矿条件不相符,因而,在进一步的变量选取中将其删除。对计算结果进行分析可得出以下基本认识:①本区三叠纪地层与成矿关系密切;②中酸性岩浆岩在本区虽然所占面积大,但与成矿的关系一般,而岩体接触带则与成矿关系密切;③各时代构造中,新生代构造相对与成矿关系密切;④Au、Ag、Cu、Pb、Zn五个地球化学异常证据层中,Zn异常、Pb异常和Ag异常与成矿的关系比较密切,其相关值分别为1.37011,1.0542和1.008349,其次是Cu异常,Au异常最小;⑤航磁异常,成矿势能与成矿关系不密切。

对15个证据层进行条件独立性检验,在显著性水平为0.05的情况下,上述15个因素基本上满足条件独立性。

3.4 预测结果及评价

依据所建立的西南三江北段地区证据权模型,计算出各个预测单元的成矿有利度(以成矿的后验概率值来表示),图5为西南三江北段地区成矿的后验概率图。由图5可见研究区内有4个主要的有利成矿区:①巴塘东北成矿区,夹持在德来—定曲断裂和德格—乡城断裂之间,并受其控制,所产出的矿床(点)主要有夏塞热郎泽、沙西、措莫隆、亥隆、赤琼、供觉隆、供额措等;②类乌齐成矿区,夹持在甲桑卡—赤布张错断裂和班公错—康托—怒江断裂之间,并受其控制,所产出的矿床(点)主要有柯有弄、

宾达乡赵发涌、接拉、国从格、打日通、雅各通、百堆拉垭口等;③八宿—察隅成矿区,位于班公错—康托—怒江断裂西南,受区域性的北西向深大断裂的控制,所发育的矿床(点)主要包括洼乡达秀村、吉达乡扎西则、古拉乡满总牛场、玉普乡青卡山等;④甘孜—理塘成矿区,夹持于甘孜—理塘断裂和德格—乡城断裂之间,金、银、铜、铅、锌异常均非常发育,主要产出嘎拉、马达柯、蒲清沟等矿床。这4个主要成矿区都沿着北西向的区域断裂带分布,并受其控制。其中,巴塘东北成矿区、甘孜—理塘成矿区、类乌齐成矿区后验概率值高。

References

- Agterberg F P, Bonham-Carter G F, Cheng Q M, et al. 1993. Weights of evidence modeling and weighted logistic regression for mineral potential mapping[A]. In: Davis J C and Herzfeld U C, ed. Computers in geology: 25 years of progress[C]. New York: Oxford Univ. Press. 13 ~ 32.
- Agterberg F P, Cheng Q M and Wright D F. 1993. Fractal modeling of mineral deposits[A]. In: Elbrond J and Tang X, ed. Proceedings, APCOM XXI international symposium on the application of computers and operations research in the mineral industries, Canadian Institute of Mining and Metallurgy[C]. Montreal, Quebec, Canada. 43 ~ 53.
- Agterberg F P and Bonham-Carter G F. 1999. Logistic regression and weights of evidence modeling in mineral exploration[A]. Proc. 28th Intern. Symp. Computer Applications in the Mineral Industries [C]. Golden, Colorado. 483 ~ 490.
- Boleneus D E, Raines G L, Causey J D, et al. 2001. Assessment method for epithermal gold deposits in northeast Washington State using Weights-of-Evidence GIS modeling[A]. U.S. Geol. Survey Open-File Report[C]. 501 p.
- Bonham-Carter G F. 1994. Geographic information systems for geoscientists: modeling with GIS[M]. New York: Pergamon. 398 p.
- Carranza E J M and Hale M. 2000. Geologically constrained probabilistic mapping of gold potential, Baguio district, Philippines[J]. Natural Res. Res., 9 (3): 237 ~ 253.
- Carranza E J M and Hale M. 2002. Where are porphyry copper deposits spatially localized? A case study in Berguet Province, Philippines [J]. Natural Res. Res., 11 (1): 45 ~ 60.
- Chen J P, Wang G W, Li Q, et al. 2002. Dynamic evolution of desertification in Beijing and its neighboring areas[A]. SPIE. Third

- International Asia-Pacific Environmental Remote Sensing Symposium[C]. 583 ~ 591 .
- Chen J P, Tang J X and Li Z J. 2003 . Applications of chaos in metallogenetic conditions in the northern part of Three River area, China [J]. *Geology and Prospecting*, 39 (3) : 1 ~ 4 (in Chinese with English abstract) .
- Cheng Q M and Agterberg F P. 1999 . Fuzzy weights of evidence method and its application in mineral potential mapping[J]. *Natural Res. Res.*, 8 (1) : 27 ~ 36 .
- Harris J, Wilkinson L, Heather K, et al. 2001 . Application of GIS processing techniques for producing mineral prospectivity maps- A case study: mesothermal Au in Swayze greenstone belt, Ontario, Canada [J]. *Natural Res. Res.*, 10(2) : 91 ~ 123 .
- Kemp L, Bonham-Carter G F and Raines G L. 1999 . Arc- Wofe : Arcview extension for weights of evidence mapping[OL]. <http://gis.nrcan.gc.ca/software/arcview/wofe> .
- Mihalasky M J and Bonham-Carter G F. 2001 . Lithodiversity and spatial association within metallic mineral sites, Great Basin of Nevada[J]. *Natural Res. Res.*, 10 (3) : 209 ~ 225 .
- Pan G and Harris D P. 2000 . Information synthesis for mineral exploration[M]. New York : Oxford Univ. Press .
- Raines G L. 1999 . Evaluation of weight of evidence to predict epithermal gold deposits in the Great Basin of Western United States[J]. *Natural Res. Res.*, 8 (4) : 257 ~ 276 .
- Scott M and Dimitrakopoulos R. 2001 . Quantitative analysis of mineral resources for strategic planning: Implications for Australian Geological Surveys[J]. *Natural Res. Res.*, 10 (3) : 159 ~ 177 .
- Singer D A and Kouza R. 1999 . A comparison of weights-of-evidence methods and probabilistic neural networks[J]. *Natural Res. Res.*, 8 (4) : 287 ~ 298 .
- Venkataraman G, Madhavan B B, Ratha D S, et al. 2000 . Spatial modeling for base-metal mineral exploration through integration of geological data sets[J]. *Natural Res. Res.*, 9 (1) : 27 ~ 42 .
- Wang G W and Du Y S. 2000 . Synthetical research of multi-information of merallogeny and optimization of prospecting targets in Yulong copper ore belt[J]. *Geoscience*, 14(6) : 157 ~ 164(in Chinese with English) .
- Wang G W and Du Y S. 2000 . Chebyshev curve simulation realizes ore body deep prediction in Yulong porphyry copper belt[J]. *Earth Science Frontiers*, 7(2) : 526 (in Chinese with English abstract) .
- Zhao P D, et al. 1994 . Deposit statistical prediction[M]. Beijing : Geol. Pub. House (in Chinese with English abstract) .
- Zhao P D. 2002 . “ Three Component ” quantitative resource prediction and assessments : theory and practice of digital mineral prospecting [J]. *Earth Science*, 27(5) : 482 ~ 490 (in Chinese with English abstract) .

附中文参考文献

- 陈建平, 唐菊兴, 李志军. 2003 . 混沌理论在三江北段成矿地质条件研究上的应用[J]. *地质与勘探*, 39(3) : 1 ~ 4 .
- 王功文, 杜杨松. 2000 . 玉龙铜矿带成矿多元性信息综合分析 with 找矿靶区优选[J]. *现代地质*, 14(6) : 157 ~ 164 .
- 王功文, 杜杨松. 2000 . 切比雪夫曲线拟合实现玉龙斑岩铜矿带矿体深度预测[J]. *地学前缘*, 7(2) : 526 .
- 赵鹏大, 等. 1994 . 矿床统计预测[M]. 北京 : 地质出版社 .
- 赵鹏大. 2002 . “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*, 27(5) : 482 ~ 490 .

Quantitative prediction and evaluation of mineral resources based on GIS in northern segment of Three River (Sanjiang) Region, Southwest China

CHEN Jian-ping¹, WANG Gong-wen¹, HOU Chang-bo¹ and TANG Ju-xing²

(1 China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract

On the basis of geological mineral resources database in the northern part of Three River Region, this re-

search has adopted weights of evidence modeling created by F.P. Agterberg to predicate ore-forming anomalies and evaluate mineral resources. The result shows that the application of sophisticated MAPGISARCVIEW and good mathematical model can certainly raise the accuracy and effectiveness of mineral resource quantitative prediction and evaluation.

Key words: geology, GIS, quantitative prediction and evaluation of mineral resources, the northern segment of Three River Region

“大规模成矿作用与大型矿集区预测”项目通过验收

由14位科学家和管理专家(项目首席科学家毛景文和胡瑞忠,项目联系专家贝丰教授和许东禹研究员,项目专家组成员涂光炽院士、谢学锦院士、翟裕生院士、王德滋院士,特聘专家裴荣富院士、叶天竺研究员、杜乐天研究员、刘秉光研究员,管理专家白兴碧处长和周少平处长)组成的专家组对《国家重点基础研究发展规划》项目下属课题进行了验收。课题验收会议于2004年9月27~28日在大连举行,国土资源部国际合作与科技司黄宗理司长和白兴碧处长,中国科学院资源环境局范维茗副局长和周少平处长,科技部信息中心张峰处长与会。在开幕式上,张峰处长介绍了国家重点基础发展规划项目验收的基本要求和验收程序。黄宗理司长强调指出这是矿产资源领域第一个“973”研究项目,大家都很关心;回顾了1999年立项时的热烈场面,赞扬了五年来国土资源部、中国科学院和教育部三个部门科学家的团结协作精神;肯定了在大规模成矿作用和大型矿集区预测研究方面取得了显著进展;希望大家认真总结提高,取得更好成绩,为缓解国家快速发展对矿产资源的需求做出积极贡献。

验收专家组听取了各个课题负责人对所执行课题的详细汇报,认真审议了课题总结报告和课题研究报告。然后,对逐个课题展开评议,形成验收意见,并以记名形式给课题打分。验收专家对课题执行情况表示满意,13个课题得分在90.9~94.4之间,平均92.3,一致认为圆满地完成了任务。专家组指出:在这一轮研究中科学目标明确,科学与技术有机结合,多学科相互交叉,而且研究队伍整齐、团结协作、良性互动,项目整体研究进展明显。本次研究积累了大量的测试数据,尤其是大批高精度同位素年龄的测定对于建立成矿谱系和认识成矿规律具有重要作用。在基础研究方面有多个创新之处,例如:峨眉地幔柱厘定和地幔柱向上冲击的地球动力学过程、板内环境典型埃达克岩的发现及成矿作用探索、建立深穿透地球化学多营力迁移理论、盆地大规模流体活动与成矿和提出了不同环境中地幔流体成矿系统以及初步建立中国中生代大陆成矿新理论。初步提出的几种找矿评价技术方法,在实验阶段已经显示出实用性,令人印象深刻的是利用新理论和新技术方法圈定了一批大型矿集区尺度的找矿靶区,有些靶区经过验证已经成为潜在的大型矿床。专家组认为,项目的另一个特色是管理工作到位,有章程和条例可循,大量简报及时报道工作进展和推动学术交流以及主办或参加众多国内外学术会议,始终保证研究处于前沿水平。同时,专家们指出研究中还存在一些值得注意的问题:(1)项目设立时偏重地球化学和地质学,地球物理深部探测研究涉及的较少;(2)虽然开展了一些与周边国家的对比研究,但是缺乏系统工作;(3)不少重要创新研究刚刚开始,希望进一步补充和完善。

在课题验收期间,专家组成员一再强调地球学科的知识积累和连续性十分重要,强烈呼吁在此轮研究的基础上进一步梳理出几个重要的科学技术问题,开展新一轮研究。

该项目研究成果已于2004年11月3日通过国家科技部验收。

(中国地质科学院矿产资源研究所 毛景文 供稿)