

地理信息系统(GIS)支撑下的综合信息成矿预测

——以云南省易门铜矿区为例

杨学善^{1,2}, 秦德先¹, 陈耀光², 张义林², 李峰¹, 吴志亮¹

(1. 昆明理工大学国土资源学院, 昆明 650093; 2. 云南省有色地质局, 昆明 650051)

[摘要]在地理信息系统(GIS)技术的支撑下,运用各种数学地质方法,系统研究了云南省易门铜矿区的各种控矿因素和找矿标志与铜矿化之间的关系,建立了综合信息定量找矿模型,在此基础上进行成矿预测,圈定找矿远景区及找矿有利地段,为进一步找矿工作提供依据。

[关键词]地理信息系统 云南省易门铜矿区 综合信息定量找矿模型 综合信息成矿预测

[中图分类号]P628 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2004)02-0071-06

社会经济发展对矿产资源的依赖,使成矿预测变得越来越重要。从20世纪30年代至今,成矿预测在理论、方法、手段上均得到了长足的发展,其中能充分利用地、物、化、遥、矿等资料的综合信息成矿预测方法显得日益重要^[1,2]。自20世纪80年代以来,随着计算机技术的发展及地理信息系统(GIS)的成熟,已有学者将地理信息系统技术引入成矿预测工作中,取得了不少成果^[3-7]。

铜矿是我国目前紧缺的矿产资源。易门铜矿区是我国重要的铜工业生产基地,通过40多年的生产开采,目前资源已面临严重危机,急需寻找新的接替资源。本区地质勘探及研究程度较高,进一步找矿难度较大。但从易门地区的区域成矿地质背景和国内外找矿实践来看,本区空白地段及深部发现新矿床、新矿体的潜力很大。找矿的关键是要有新的理论、思路、技术和方法,充分利用已有的地、物、化、遥资料开展综合信息成矿预测。易门矿区尽管地质研究程度较高,前人也从不同角度开展过成矿预测,但方法、手段较为单一,尚未系统地作过综合信息成矿预测工作,是该区地质研究中较为薄弱的一项工作。我们在开展云南省科委九五科技攻关项目的过程中,全面收集易门矿区地、物、化、遥、矿等资料,深入研究该区的区域地质背景、成矿条件、成矿规律,运用GIS技术,系统研究了易门铜矿区的各种控矿因

素和找矿标志与铜矿化之间的关系,建立了综合信息定量找矿模型,在此基础上进行成矿预测,圈定找矿远景区及找矿有利地段,为进一步找矿工作提供了依据,取得了较好的效果^{①②}。

1 易门矿区矿床地质概念模型

矿床地质概念模型,是在前人野外地质工作和已有地质资料分析研究的基础上,以一定的地质理论为指导,所构成的成矿环境、矿床(或矿段)空间分布特征、成矿过程、各类矿床的内在联系等方面的理想模式^[8]。相对完善的地质概念模型是综合信息成矿预测的基础,从地质概念模型而发展的数学模型可以定量反映成矿的自然规律。

综合前人工作成果及认识^[9-11],易门铜矿床的地质概念模型可简述如下:

按照裂谷构造的观点,易门矿区位于元古宙昆阳裂谷内的武定—元江裂陷槽中段的易门断陷盆地。裂陷槽西部以绿汁江断裂与元谋陆块为界,东界以罗茨—易门断裂与中元古代相对隆起分开,走向南北,北起禄武地区,南止于红河断裂。其南北长约200多千米,东西宽13~36 km,主要分布有禄武、易门和元江断陷盆地。其中易门断陷盆地南北长约70 km,宽约20 km,盆地被北西向断裂切割,形成一个夹持于元谋—绿汁江断裂和汤郎—易门断裂

[收稿日期]2003-03-11; **[修订日期]**2003-06-10; **[责任编辑]**余大良。

[基金项目]云南省科委九五科技攻关项目(编号:95B10-2)资助。

①杨学善. 易门矿区综合信息成矿预测报告, 1998.

②孙家骢. 易门矿区老矿山深部及外围找矿研究总结报告, 1998.

[第一作者简介]杨学善(1963年-),男,1999年毕业于昆明理工大学,获硕士学位,在读博士生,高级工程师,现主要从事数学地质、计算机应用及GIS等方面的科研工作。

之间的南北长、东西狭窄的沉积盆地。

矿区出露的昆阳群地层有大龙口组、美党组、因民组、落雪组、鹅头厂组、绿汁江组。地层总体呈南北至北北东向展布。主要含矿岩系因民组至绿汁江组均分布于北北东向牛厂箐—歪头山断裂西侧。

矿区构造十分复杂。受东、西两条南北向边界断裂左行扭滑控制,矿区的主要构造格架表现为一系列北北东向的褶皱和逆断构造。后期被北西至北北西向断裂切割错移成为许多断块。近东西向和北东向断裂规模较小,由一组短粗的背斜及延长不大的断层构成。昆阳群地层遭受了多期不同方向的挤压,形成复杂的迭加褶皱、翻卷褶皱等构造。此外,由于强烈的挤压断裂活动,易门矿区还发育大量的底辟、刺穿构造,使原来掩埋在深部的地层和角砾岩上冲到上覆地层中。

整个易门铜矿区内已发现大小矿点 150 多个,其中主要矿点 60 多个。矿区以大阱口—小绿汁—峨腊厂一线为界,划分为东西两个矿带(图 1),东矿带包括狮子山、铜厂、万宝厂、七步郎、起乍、老厂和梭左等矿床(点),特点是含矿层及矿化较稳定,但品位低;西矿带包括阿百里、小水井、里士、梅山、狮山(三家厂)、凤山、一都厂、炉房、大黑山和峨腊厂等矿床(点),特点是规模大、品位富。因此易门铜矿具有东矿带小、贫、稳,西矿带大、富、厚的特点。

矿区内的矿床按产状与成因可分为主要产于因民组—鹅头厂组地层中的狮山型层状铜矿床(热水沉积矿床)和产于绿汁江组白云岩中的凤山型脉状铜矿床(构造岩浆改造、再造矿床)两大类,近年来有的学者认为在易门矿区存在稀矿山式火山—喷流—沉积铁铜矿。

狮山型矿床赋存于一定的层位,主要产于因民组、落雪组和鹅头厂组地层中,矿体沿层成层状或似层产出,与一定的岩性、岩相及地层组合有关,矿物成分较单一,后期改造起富集作用,围岩蚀变微弱,仅在囊状、脉状矿体附近有轻微的褪色作用。其特点是:矿体产状和形态较稳定,延长大于延深,典型代表有三家厂矿床狮山矿段 1 号主矿体。凤山型矿床受构造控制明显,赋存于刺穿体与白云岩接触带附近,矿体常产于刺穿体边缘两组断层相交的绿汁江组白云岩中,刺穿体旁侧两组断裂交叉或折转形成的“入”字型、“丁”字型、“多”字型、“棋盘格”、“锯齿状”等构造型式对成矿十分有利。矿化与硅化、褪色化、白云石重结晶等围岩蚀变关系密切。矿体形态复杂,呈柱状、脉状、囊状等。其特点是矿体

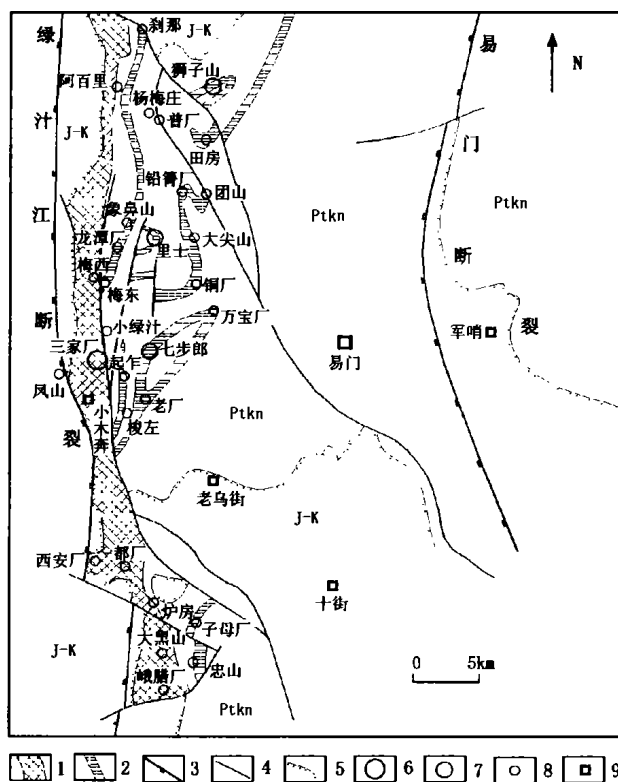


图 1 云南省易门铜矿区矿带分布图

J-K—中生界;Ptkn—中元古界昆阳群;1—西部矿带;2—东部矿带;3—区域性断裂;4—一般性断裂;5—地层不整合线;6—大型矿床;7—中型矿床;8—小型矿床或矿点;9—地名

的形态、产状变化大,延深大于延长,多为富矿体,典型代表有三家厂矿床凤山矿段 29 号和 21 号矿体。

根据现有认识,易门矿区内的矿床是具有内在联系的多期次、多阶段、多成因地质作用的产物。易门断陷盆地在裂谷的不同演化阶段(因民期裂谷断陷阶段→落雪期→鹅头厂期断陷向拗陷转化的过渡阶段→绿汁江期裂谷拗陷阶段),形成了不同的沉积建造和不同类型的矿床(产于因民组中的稀矿山式铁铜矿和狮山型铜矿化及产于鹅头厂组中的狮山型铜矿化)。至晚元古宙裂谷回返封闭阶段,经过晋宁运动,断陷盆地回返封闭,中元古界地层全面褶皱隆升,在东西向水平挤压力的作用下,地层发生强烈褶皱乃至倒转,形成南北向复式褶皱,并产生一系列南北向的断层和次生构造,下部落因地层沿着南北向构造脆弱带发生底辟,侵位于穿切绿汁江组白云岩的断裂中,形成各种型式的刺穿构造,部分地段还伴有闪长岩和辉长辉绿岩的侵位及深源成矿物质的叠加。在地下水热液及与岩浆活动有关的热液作用下,落因地层和狮山型铜矿中的部分矿质被溶解出来形成含铜热液,这些含矿热液沿断裂裂隙上升并向旁侧扩散,交代绿汁江组白云岩或充填于白云岩中的裂隙或空隙,形成工业矿床和富厚矿体,从而

形成了切层的凤山型构造岩浆改造、再造铜矿床^①。

2 控矿地质因素及找矿标志定量分析

为了进行综合信息成矿预测,首先得对控矿地质因素及找矿标志进行定量研究,定量地揭示它们与成矿的关系及其空间变化规律,其目的是确定变量组合及各变量的相对重要性,为下步综合信息找矿模型中变量及其权系数的确定提供科学依据。

易门铜矿的主要控矿因素和找矿标志为地层、断裂、刺穿构造、遥感影像、化探异常等。其中地层、刺穿构造、遥感影像、化探异常为面型控矿因素,断裂为线型控矿因素。

利用 GIS 系统研究、分析矿点的产出与各种控矿因素、找矿标志的相互空间关系的步骤如下:①数据准备,将各种数据按不同类型和不同层次采集到计算机中,形成相应的点、线、区图形文件,并对图形文件中的点、线、区等要素赋予相应的属性。这是一项基础而重要的工作,需要投入大量的人力和物力。②数据检索,就是从文件或数据库中提取分析所需的各种数据。③空间分析,这是一种将两层地图要素叠加产生一个新要素层的操作,包括点与线、点与区、线与区、区与区关系及缓冲区分析。④属性统计分析,对与矢量相关的属性数据,或者矢量叠加得到的属性连接表,进一步作属性分析,便可得出各要素间的定量关系。在此基础上,构置综合找矿信息模型,绘制找矿信息等值线图,进行成矿预测。

利用 MAPGIS 的空间分析与统计功能,结合找矿概率法、找矿信息量法、等值线图示法^[4,8]对研究区内的地层、断裂、刺穿构造、遥感影像、化探异常等控矿因素(找矿标志)与矿化的关系进行了系统、定量的统计研究^[12]。从变量最优组合的角度来说,得到如下简要认识:

1)本研究区内具有找矿意义的地质层有(按相对重要性排列):落雪组、因民组、绿汁江组、鹅头厂组。矿化与单元内地层总数有关,从统计角度而言,单元内出露的昆阳群地层数越多,成矿的可能性越大。

2)本研究区内断裂与矿化关系极为密切,两者间的空间关系可用断裂影响带体现,强度可用单元内断裂总长度来表征。从统计角度来说,单元内断裂越发育,成矿的可能性越大。

3)刺穿构造对凤山型矿床而言极具意义,因此综合信息找矿模型必须予以考虑。

4)遥感影像信息中的环形体构造可能不同程度地反映了与成岩成矿有关的火山—热液活动形

迹,单元体中的环形体数量与铜矿化有正相关关系。

5)地球化学异常以 I 级综合异常最具找矿意义,统计结果表明:综合异常中已包含了有找矿意义的铜异常,因此找矿模型中只需考虑综合异常即可,不必再考虑单一的铜异常。

3 综合找矿信息定量研究及找矿靶区预测

根据实际情况,将研究区划分为若干等面积、同形状的单元。即在 1:5 万地质图上,以 2 cm × 2 cm (1 km²) 网格划分单元,将整个图幅划分为 2000 个单元,其中有昆阳群地层分布的单元有 1077 个(研究区)。依据地质概念模型、资料水平等选取与铜矿化有密切关系的控矿因素和找矿标志作为预测变量。分别构置地层、构造、遥感、化探、矿化情况等 5 方面的变量共 22 个(同一因素或标志的不同状态视为不同的变量),为便于理解与统计,全部变量均分解为二态变量,变量取值,总的原则是,单元内有该变量存在取 1,否则取 0,具体标准见表 1。在控矿因素和找矿标志与矿化关系定量研究的基础上,确定各变量的权系数。

根据控矿因素定量组合原理,结合以上研究,即得本研究区的综合信息定量找矿模型^[12]:

$$I = \sum P_i X_i;$$

式中: I 为单元的综合找矿信息量, X_i 为变量, P_i 为变量 X_i 的权系数($i=1, \dots, 22$)。

该模型定量地反映了本研究区与铜矿化有关的最佳变量组合及各变量的相对重要性。

根据上述模型分别计算出研究区各单元的综合找矿信息量 I ,在此基础上用计算机绘制研究区的综合找矿信息等值线图(图 2)。从图 2 中可以看出:

1)综合找矿信息等值线图与地质情况较为吻合,一般而言,综合找矿信息量高值区与已知矿床、矿点及矿化地段基本重叠,高值区的形态、走向、范围代表了研究区内各地段的控矿因素及找矿标志的综合结果。综合找矿信息量等值线图是研究区控矿因素和找矿标志的一幅生动的“数字图像”,它定量地刻画了研究区内控矿因素和找矿标志在各点的强度及空间变化规律。因此根据综合找矿信息量的大小、形态、变化规律及变化趋势可以推测找矿远景地段。

① 云南省有色地质局 313 队,易门矿务局,云南省易门矿区三家厂铜矿床第一、二、三期勘探报告。

表 1 变量权系数及赋值标准一览表

控矿因素及找矿标志		变量代号	权系数	变量取值标准
地层	绿汁江组	X_1	6.22	单元内有绿汁江组地层存在取 1, 否则取 0。
	鹅头厂组	X_2	5.69	单元内有鹅头厂组地层存在取 1, 否则取 0。
	落雪组	X_3	19.22	单元内有落雪组地层存在取 1, 否则取 0。
	因民组	X_4	8.87	单元内有因民组地层存在取 1, 否则取 0。
构造	断裂影响带	X_5	10.00	单元内有断裂影响带取 1, 否则取 0。
	断裂长度 $\in (1, 3]$	X_6	1.77	单元内断裂长度大于 1, 小于等于 3 取 1, 否则取 0。
	断裂长度 $\in (3, 5]$	X_7	3.75	单元内断裂长度大于 3, 小于等于 5 取 1, 否则取 0。
	断裂长度 > 5	X_8	4.48	单元内断裂长度大于 5 取 1, 否则取 0。
	I 级刺穿体	X_9	1.64	单元内有 I 级刺穿体取 1, 否则取 0。
	II 级刺穿体	X_{10}	3.34	单元内有 II 级刺穿体取 1, 否则取 0。
	III 级刺穿体	X_{11}	2.71	单元内有 III 级刺穿体取 1, 否则取 0。
	IV 级刺穿体	X_{12}	2.31	单元内有 IV 级刺穿体取 1, 否则取 0。
遥感	环形体数量 $\in (3, 5]$	X_{13}	2.19	单元内环形体数量大于 3, 小于等于 5 取 1, 否则取 0。
	环形体数量 > 5	X_{14}	2.81	单元内环形体数量大于 5 取 1, 否则取 0。
化探	I 级综合异常	X_{15}	2.50	单元内有 I 级综合异常内取 1, 否则取 0。
	II 级综合异常	X_{16}	1.50	单元内有 II 级综合异常内取 1, 否则取 0。
	III 级综合异常	X_{17}	0.75	单元内有 III 级综合异常内取 1, 否则取 0。
	IV 级综合异常	X_{18}	0.25	单元内有 IV 级综合异常内取 1, 否则取 0。
矿化情况	大型矿床	X_{19}	8.00	单元内有大型矿床存在, 取 1, 否则取 0。
	中型矿床	X_{20}	6.00	单元内有中型矿床存在, 取 1, 否则取 0。
	小型矿床	X_{21}	4.00	单元内有小型矿床存在, 取 1, 否则取 0。
	矿点	X_{22}	2.00	单元内有矿点存在, 取 1, 否则取 0。
总 计			100	

2) 有趣而值得注意的是: 综合找矿信息量的高值区(即地质异常区)周围一般都对应着明显的低值区, 而且似有已知矿化规模或成矿远景越大, 低值区的规模也越大的趋势。这与在开展三家厂矿床深部定量预测时所得的结果极为类似^①, 这种现象看来不是偶然的巧合, 而是有其必然的内在联系。据我们的初步理解, 这是补偿原理、能量守恒及物质不灭定律在成矿作用中的具体体现, 即“正异常场”的存在必然伴随有“负异常场”的出现, 且二者规模应大致相当。

表 2 综合信息成矿预测结果表

预测区级别	预测区名称
I 级	梅山、三家厂、一都厂—田心、大黑山—峨腊厂
II 级	阿百里、水井哨—杞木塘、狮子山—辛庄、起乍—梭左
III 级	里士、七步郎、杉树口
IV 级	绿宝冲南、黑龙潭、枇杷树、铜厂、大洪山、万宝厂、马鹿村

根据以上结论, 以综合找矿信息量为 45 的等值线为标准, 可圈定出 18 个找矿远景区(图 3)。在此基础上再根据预测区的具体地质情况、预测范围的大小、异常强度及伴生“负异常”的规模等因素将 18

个预测区划分为四个级别(表 2)。

I 级找矿远景区的共同特点是: 综合找矿信息异常规模大、强度高(中部大于 60), 具较好的构造地球化学异常, 成矿地质条件较好, 其含矿层位、矿化特征与三家厂均有可类比之处, 结合具体地质条件分析, 三家厂的找矿重点在深部, 其它 3 处通过工作可达中型规模。II 级找矿远景区中阿百里和水井哨—杞木塘两处为凤山型铜矿床的找矿靶区, 地质工作程度较低, 通过进一步工作, 可望有所突破; 狮子山—辛庄和起乍—梭左两处为狮山型找矿靶区, 成矿条件较好, 有一定的找矿远景。III 级找矿远景区中里士、七步郎为狮山型找矿靶区, 但因工作程度高, 近期内大幅度扩大资源远景的可能性不大; 杉树口为凤山型找矿靶区, 同斜背斜轴部和正常翼被红层掩盖, 工作难度大。7 个 IV 级找矿远景区均为狮山型铜矿的找矿靶区, 其中绿宝冲一带含矿地层发育良好, 断层发育, 具一定的找矿远景, 可作进一步的地质工作。

① 杨学善, 张义琳. 易门矿区三家厂矿床深部定量预测研究报告, 1996。

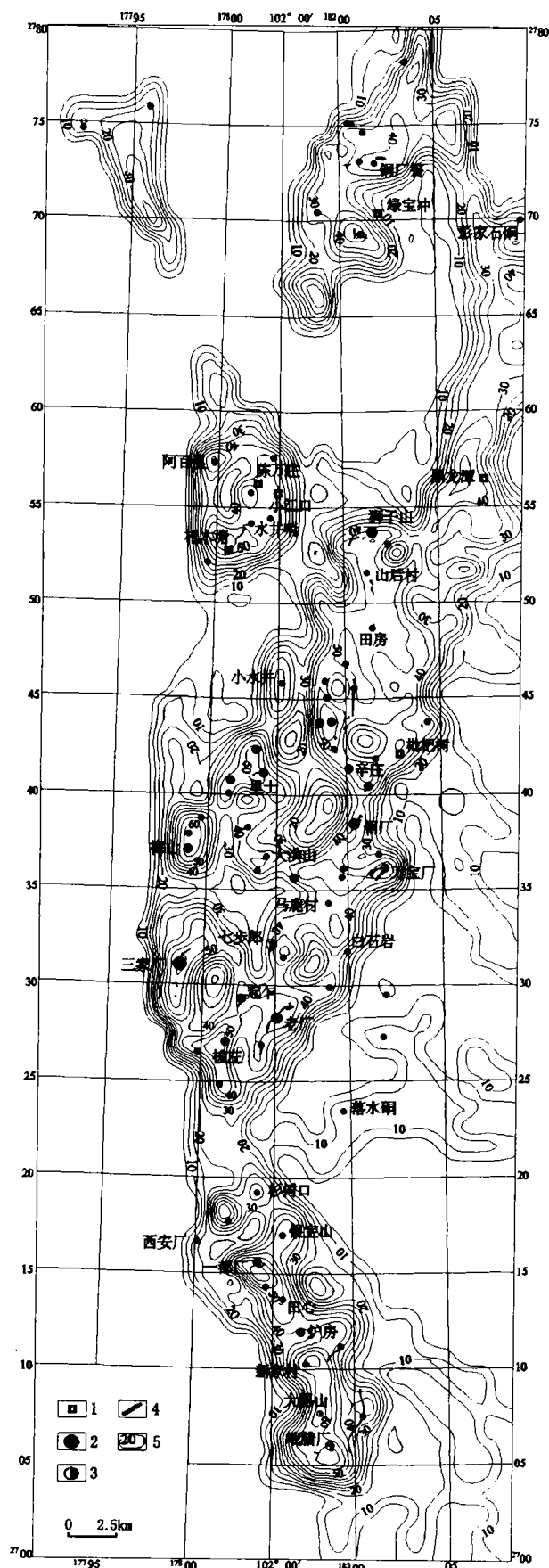


图2 易门铜矿区综合找矿信息等值线图

1—地名;2—铜矿床(点);3—铜钴矿床(点);4—铜矿体和矿化带;5—综合找矿信息等值线

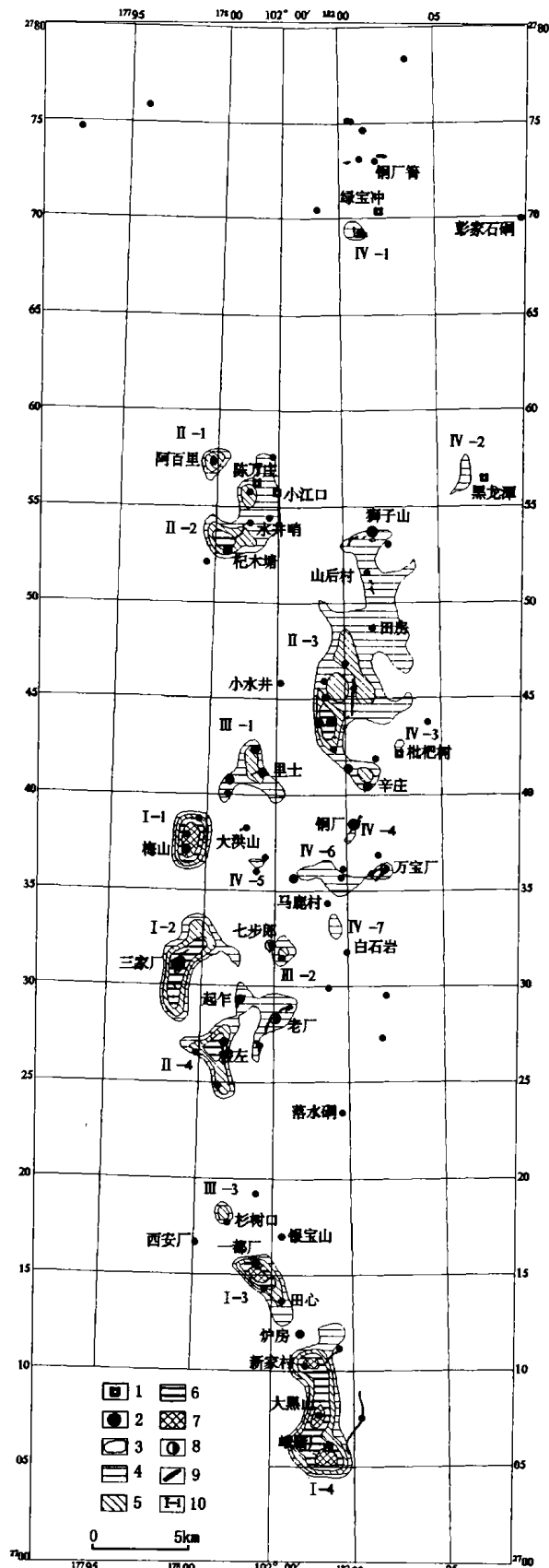


图3 易门铜矿区综合信息成矿预测图

1—地名;2—铜矿床(点);3—找矿远景区;4—综合找矿信息值大于45,小于50;5—综合找矿信息值大于50,小于55;6—综合找矿信息值大于55,小于60;7—综合找矿信息值大于60;8—铜钴矿床(点);9—铜矿和矿化带;10—找矿远景区编号

4 结语

1) 地理信息系统(GIS)是综合处理和分析空间数据的一种计算机软硬件技术系统。借助地理信息系统能实现空间(几何)数据和属性(非几何)数据的输入、存储、更新、检索、查询、编辑、修改、运算、分析处理、图形显示、输出等工作。综合信息成矿预测就其本质而言,是个空间分析问题,它研究的是点(矿床、矿点)、线(断层、构造线)、面(地层、岩体、各种物化探异常)之间的空间关系。地理信息系统正是研究点、线、面(区)空间关系的有力工具。GIS可以利用地质图件和相关资料、借助于其强大的空间分析能力,充分利用图形要素和空间图形信息进行矿产资源的评价工作。因此地理信息系统(GIS)为综合信息成矿预测提供了强有力的工具。

2) 地理信息系统(GIS)支撑下的综合信息成矿预测在成矿信息的提取、成矿信息的定量综合分析、预测过程及预测结果的可视化等方面均具有许多常规地质方法不可比拟的优点,不但可以极大地提高工作效率,而且在建立研究区空间数据库的基础上进行动态、定量预测,促进成矿预测工作的现代化,是今后成矿预测的一个重要发展方向。

可以预言,地理信息系统在成矿预测中的深入应用,必将传统的成矿预测工作带入到一个崭新的阶段。

致谢:工作中得到云南省有色地质局及下属的

地质研究所、313 地质队、物探队,易门矿务局,昆明理工大学等单位 and 有关人员的大力支持与帮助,在此,笔者致以衷心的感谢!

[参考文献]

- [1] 王世称,王於天. 综合信息解译原理与矿产预测图编制方法[M]. 长春:吉林大学出版社,1989.
- [2] 赵鹏大,陈永清,刘吉平,等. 地质异常成矿预测理论与实践[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1999.
- [3] 肖克炎,张晓华,王四龙,等. 矿产资源 GIS 评价系统[M]. 北京:地质出版社,2000.
- [4] 池顺都,周顺平,吴新林. GIS 支持下的地质异常分析及金属矿产经验预测[J]. 地球科学,1997,22(1):99~103.
- [5] 苏红旗,葛 艳,刘冬林. 基于 GIS 的证据权重法矿产预测系统(EWM)[J]. 地质与勘探,1999,35(1):44~46.
- [6] 王勇毅. GIS 与地质图制作[J]. 地质与勘探,2000,36(1):44~47.
- [7] 吴玺虹. 利用 GIS 编制矿产预测图[J]. 地质与勘探,2000,36(3):48~50.
- [8] 周宏坤,丁宗强,雷祖志,等. 金属矿床大比例尺定量预测[M]. 北京:地质出版社,1993.
- [9] 秦德先,刘春学. 康滇地轴元古代裂谷喷流沉积成矿系列及成矿模式[A]. 31 届国际地质大会,中国代表团学术论文集[C]. 北京:地质出版社,2001,(7):244~247.
- [10] 秦德先,田毓龙. 云南易门狮子山铜矿地球化学[J]. 地质学报,2000,74(1):72~84.
- [11] 田毓龙,秦德先. 易门三家厂铜矿地球化学[J]. 矿物学报,2000,20(1):73~79.
- [12] 杨学善. 易门铜矿区综合信息成矿预测[D]. 昆明:昆明理工大学,1999:26~45.

MINERALIZATION PROGNOSIS OF SYNTHETIC INFORMATION SUPPORTED BY GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM (GIS)

—GIVING AN EXAMPLE OF YIMEN COPPER MINE DISTRICT, YUNNAN

YANG Xue-shan^{1,2}, QIN De-xian¹, CHEN Yao-guang², ZHANG Yi-lin², LI Feng¹, WU Zhi-liang¹

(1. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093;

2. Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau, Kunming 650051)

Abstract: Supported by techniques of Geographical Information System (GIS) and applied by various kinds of methods of mathematical geology, the relationships among the mineralization, ore-controlling factors and prospecting criteria have been systematically studied, and the quantitative prospecting model of synthetic information is built up. Basic on the model, metallogenic targets and favorable prospecting blocks in the Yimen copper mine district have been pointed. Those provided evidences for further prospecting.

Key words: geographical information system (GIS), Yimen copper mine district, Yunnan, the quantitative prospecting model of synthetic information, prognosis of synthetic information