

“三联式”资源定量预测与评价 ——数字找矿理论与实践探讨

赵鹏大^{1,2}

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 中国地质大学, 湖北武汉 430074)

摘要: 随着信息技术的发展, 矿产勘查已步入数字化、定量化研究的新阶段。“三联式”成矿预测及资源评价途径正是“数字找矿”的创新探索。“三联式”成矿预测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定量化研究紧密结合形成矿产预测及定量评价的有机切入点, 是实现全面数字找矿的必由之路, 也是矿产勘查评价领域应用信息技术的基础和前提。

关键词: “三联式”定量成矿预测; 地质异常; 成矿多样性; 矿床谱系。

中图分类号: P628

文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2002)05-0482-08

作者简介: 赵鹏大(1931-), 男, 中国科学院院士, 教授, 博士生导师, 主要从事矿产普查与勘探学和数学地质学的研究。

进入 21 世纪, 矿产资源勘查面临新形势: 传统的矿产资源短缺, 尤其是战略性、支柱性矿产, 如石油、富铁、锰、铬、钾盐等形势更为严峻, 出现了一批传统资源面临枯竭的“危机矿山和矿城”; 未发现矿产很多属于难识别、难发现和难利用的复杂矿床, 面对这样的资源, 勘查成本增高, 勘查效益降低, 勘查产业低迷; 资源勘查和开发的环境效应要求越来越高, 土地利用的选择性和多向性越来越强, 资源勘查开发的竞争力不强, 成为“弱势产业”; 与此同时, 科学技术, 尤其是信息技术迅猛发展, 但资源勘查与评价技术方法还相对落后。“信息技术及其产业的大发展越来越成为衡量一个国家综合实力的关键因素之一”^[1]。在资源勘查评价领域应用信息技术的程度很低且很不普遍, 即使是在发达国家, 在资源定量评价方面也存在不少问题。美国地质调查局著名资源评价专家 Singer^[2]指出: “办一件事情是否能成功取决于最终要达到的目的是什么?” 这种评价用于何处? 未来对资源定量评价的期望是什么? 谁将使用这些未来的评价? 如何使用它们? 可接受的成果形式是什么? Singer^[2]认为, 资源定量评价主要“用于帮助计划勘探, 考虑土地的备择应用, 规划经济发

展, 并且估计在不同情况下矿产的可利用性”。

1 矿产定量预测及评价发展概况

在我国, 矿产定量预测及评价的发展经历了几个不同的阶段:

(1) 矿床统计预测阶段(1976—1990)。这一阶段的主要特点是将概率统计及多元统计等定量方法用于矿床预测及评价。将预测对象或地区划分为等面积的网格单元或不规则的地质体单元, 再根据已知有矿地区划分出“模型单元”, 用于与“未知单元”进行“相似类比”。预测所依据的资料及数据可以是单一的地质变量或单一的物、化探变量(如秩相关分析法、信息量法、丰度法等), 也可以是依据地、物、化、遥等各种数据的综合信息预测法。预测的类型有全国范围内针对某矿种的资源总量预测和在局部地区进行的成矿远景区定量预测。预测的成果形式可概括为“四定”, 即: 定成矿远景区(单元)空间位置; 定矿产资源数量及质量; 定成矿与找矿概率(或找矿远景区优度排序)及定探矿因素或找矿标志的有利数值区间。

我国矿床统计预测工作始于 1976 年^[3]; 1977 年李裕伟等在福建开展了铁矿床统计预测工作, 后

收稿日期: 2002-08-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 40072030)。

来王世称^[4]倡导了“综合信息预测”等。这一阶段的工作以1980年起在全国范围内开展的矿产资源总量预测计划而达到高潮。应该说,矿床统计预测研究使我国成矿预测从传统的定性工作进入到定量预测的新阶段,是成矿预测学科领域的一次创新和突破,它推动了数学地质学科在我国的发展,也促进了整个地质工作的定量化研究。这一阶段,在我国召开了多次全国性的乃至国际性的矿床统计预测学术讨论会,出版了一系列有关专著和论文。

(2) 基于“求异理论”的资源定量预测与评价阶段(1990—2000)。传统的成矿预测,包括第一阶段的矿床统计预测都是以“相似类比”原理为预测准则,即根据已知矿床所建立的矿床模型作为研究区成矿预测的参照物和依据。矿床模型及“矿床模型法”在成矿预测中无疑具有重要意义。至今,一些学者仍特别强调“矿床模型”的重要性,如 Singer^[2]认为,降低吨位估计的不确定性对降低勘探风险具有最重要意义。根据他的估计,如果矿床平均吨位变化10%,则其中金属含量期望值增加650%或减少85%。因而,他指出:“在资源评价所可能产生的一切误差中,那些影响吨位估计的误差是最重要的,而选择正确的矿床模型是控制这种误差的最重要途径,因为矿床模型是矿床吨位最好的预测器”。然而,矿床模型法具有2个最主要的缺陷:其一是不能根据已知的矿床模型预测迄今未曾发现过的新类型矿床,而发现新类型矿床是当今及今后发现新矿床的主要潜力所在,即使是在已知成矿区带之内寻找新矿床或在已知矿床寻找新资源以扩大矿床储量、延长矿山寿命、缓解资源趋于“枯竭”的危机矿山都不能完全依靠已知矿床模型;其二是根据已知矿床模型不能预测比已知矿床规模更大的“超大型”矿床,因为这种超大型矿床往往产生于独特的成矿地质环境之中,具有超常的成矿物质来源和聚集条件,而超大型矿床又是当今国内外矿产勘查的重点目标和对象。由于上述情况,基于“求异理论”的矿产定量预测及评价途径就成为对“相似类比”预测原理的新发展。

这方面最具代表性的是始于1990年的“地质异常致矿与成矿预测”理论与方法^[5]。早些年前苏联学者布加耶茨(1973)及 Gorelov^[6]均提出过“地质异常”这一名词,并指出其与矿床形成的密切关系,但未进一步研究如何提取和圈定地质异常,如何根据地质异常进行成矿预测。1999年俄罗斯学者 Anchipov^[7]提出“地质动力异常”与成矿的密切关系并

利用卫星遥感信息圈定地质动力异常,再结合地面水化学测量结果进行成矿远景区预测及评价。

(3) “数字找矿”与资源定量预测及评价阶段(2001—)。随着信息技术的发展,地质调查及矿产勘查已全面进入数字化阶段,现在已经不是某一部门、某一环节或某一工序局部应用信息技术问题,而恰恰相反,要求在地质调查的全过程广泛应用信息技术,只有这样,才能提高我国地质工作的现代化水平。矿产勘查、资源评价也不例外,它必须而且也有条件实现信息化。2001年,赵鹏大等提出的“三联式”成矿预测及资源评价途径正是“数字找矿”的新实践。“三联式”成矿预测将地质异常、成矿多样性及矿床谱系三项研究工作紧密结合形成矿产预测及定量评价的切入点。“三联式”定量成矿预测以地质异常分析为基础,实现成矿及找矿信息的数字化及定量化;成矿多样性分析是矿化特征的数字化及定量化;而矿床谱系分析则是成矿规律的数字化及定量化。可见,“三联式”成矿预测及资源评价涉及到成矿和找矿各方面的基本问题,因而是实现全面数字找矿的必由之路,也是矿产勘查评价领域应用信息技术的基础和前提。

在美国,矿产定量预测及评价领域的研究十分活跃,其特点是研究面广。在矿种上,既研究油气资源,也研究金属、非金属等固体矿产;在理论与方法上,既有综合分析性研究,也有个别技术及数学模型的研究,特别突出的是矿产资源评价与国土资源合理利用及环境保护问题日益相关。近10年来,有影响的矿产勘查评价方法为 Singer^[8]提出的“三部式”资源评价法。其概要为:根据所要找寻的矿床类型确定找矿地质可行地段,即地质可行地段的确定要与矿床模型相一致,其圈定范围大小以不漏失主要矿床或漏失概率最小为原则;应用所要找寻矿床类型的吨位-品位模型估计可能发现矿床的矿石数量和质量特征,吨位-品位模型的选择或建立要与区内已知矿床模型相一致;确定研究区内可能发现的矿床个数,对个数的估计要与所建立的吨位-品位模型相一致。

在俄罗斯,“预测普查组合”法资源定量预测及评价具有较大影响。该方法要求在地质勘查的每个阶段都将所要寻找的“对象”,这些对象或目标所具有的一套“标志”和为查明这些标志所采用的一套“方法”有机地、系统地加以组合,即根据地质勘查工作的不同阶段,按“对象-标志-方法”三要素进行

系统找矿评价工程。

我国除上述定量预测及评价研究成果外,不少学者从不同角度对成矿规律和成矿预测研究作出了贡献,对地质勘探生产实际工作起到了指导和推动作用。例如,涂光炽^[9]关于大型、超大型矿床成矿及找矿理论;程裕淇等^[10]“矿床成矿系列”勘查及预测理论与方法;裴荣富等^[11]“金属成矿省时空演化及等级体制”成矿规律;翟裕生等^[12]“区域成矿学”理论及方法;谢学锦^[13]“地球化学块体及地球气深穿透”理论与方法;常印佛等^[14]、汤中立等^[15]关于矿床成矿规律及找矿方向研究;以及“成矿流体”理论、“边缘成矿”理论、“三源”成矿理论、“地幔热柱控矿”理论、“同位成矿”理论、“矿集区”与“成矿大爆发”理论等等。

总之,成矿规律与成矿预测是我国地学界研究的重点和热点之一。其中,矿产定量预测及评价占有重要地位,走着一条既吸纳国外先进研究成果又具有自己独特创新的研究之路。

2 “三联式”定量成矿预测及评价

“三联式”成矿预测以圈定各类地质异常为基础,以识别、揭示、提取和圈定新型的、隐式的和深层次的成矿地质信息——各种类型和尺度的致矿地质异常及与其相匹配的物探、化探、遥感矿致异常为主要内容。

“三联式”成矿预测以分析成矿多样性为目标,不仅以预测和发现已知矿床类型和矿产资源为目的,而且将可能利用的非传统矿产资源纳入分析内容。不同地区成矿多样性分析还是比较评价不同地区含矿丰度的重要指标,是确定主要勘查对象、进行综合勘查、综合评价和综合利用的主要依据。

“三联式”成矿预测以研究区域矿床谱系为依据,把作为预测对象的矿床放到预测地区的地质成矿时空及成因演化系统中去考察,而不是孤立地、静止地、无序地预测各类矿产资源。矿床谱系是区域成矿有序性、成套性和规律性的反映,根据不同地区矿床产出的有序度、成套度可以评价研究区的资源潜力。因此,“三联式”定量成矿预测可概示于图 1。

2.1 地质异常与成矿预测

“三联式”成矿预测中,地质异常的识别与圈定具有十分重要的意义。地质异常理论的数学基础是极值理论。极值分析是在超常大(或小)水平上量化过程的随机性状,并估计比任何已观测水平更为极端事件的概率。极值分析是以历史数据为基础,推断模型未知参数的统计方法,可作如下表示:

$$Mn = \max\{X_1, X_2, \dots, X_n\}.$$

其中: X_1, X_2, \dots, X_n 为 n 次观测获取的参数值;当 n 趋于无穷大时,可以近似估计 Mn 的性状。

极值分析是从已观测水平向未观测水平的外推模型。极值分析中的几个重要问题是:(1)估计方法;(2)不确定性量化;(3)模型诊断;(4)信息的最充分

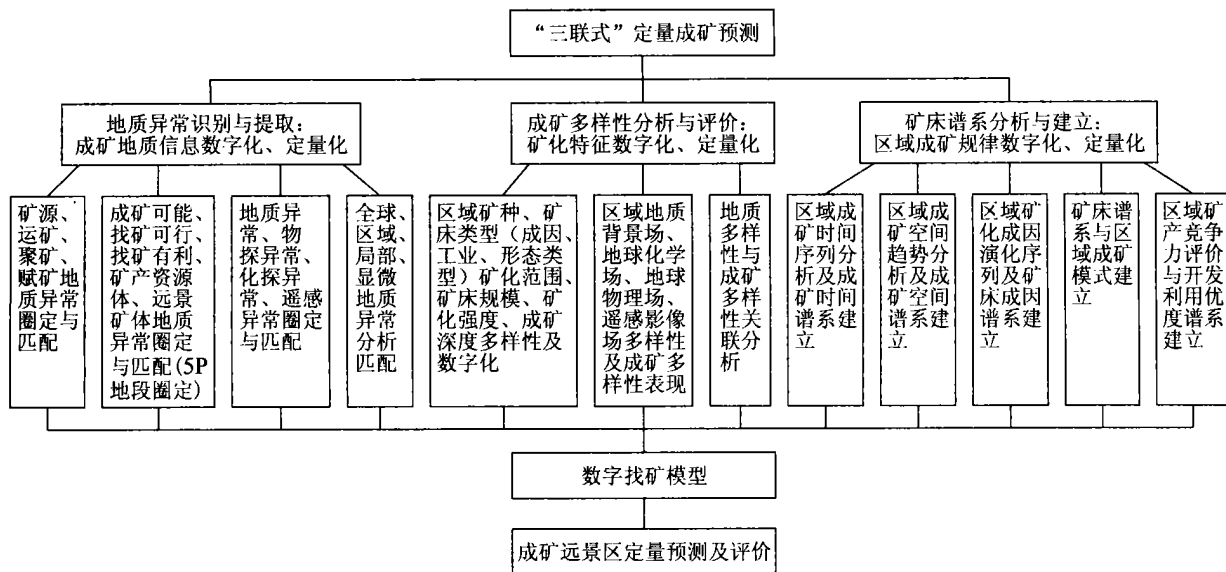


图 1 “三联式”定量成矿预测模型

Fig. 1 “Three component” quantitative mineral prediction and assessment models

利用. 在观测数量足够大时,可以估计最有利成矿的地质异常.

地质异常成矿分析也可以利用统计学中的混合总体筛分理论和方法. 若有成矿作用发生,地区空间数据往往包含有受区域因素控制的背景数据总体及受局部成矿作用控制的叠加数据总体,这两者的结合就构成了不同成因数值的混合总体;通过各种筛分法,可以将混合总体分解为代表成矿作用的高值总体和代表地质背景的低值总体两部分(或更多的组成部分). 高值总体往往对应致矿地质异常.

对地球演化过程中各种作用力的分析及各种地质过程的查明是很困难的,而且对这些问题的分析常常是多解的. 但反映为地质异常的各种地质极值特征是在野外和室内理论研究中可以捕捉到的,是可以直观比较和定量分析而识别的.

Alseniyev^[16]认为,成矿作用属于物质高度聚集状态形成的过程,这种状态的共同特征就是“成层化”,成层是聚集状态存在的方式,因为它可以平衡两种相反趋势作用(吸引-排斥,带入-带出,聚集-贫化,……),结果是形成垂直于主作用力方向的构造-物质及能量层. 他认为,矿体、矿床、矿田、矿结、矿区、成矿区和成矿省都以异常的成层性为特征,它是含矿性可靠的、可快速查明的准则. 含矿块体的异常成层性表现在目前还很少研究的势能场数量特征上. 他指出,后者可建议作为一种找矿标志. 笔者认为,这种成矿势能场的数量特征实际上就是我们所要识别和提取的致矿地质异常. Alseniyev 的“成层化”可视为地质异常形成的一种动力学过程,是致矿地质异常的表现形式之一.

致矿地质异常有不同层次和属性特征,它可作如下分类(表 1). 地质异常成矿预测的基本步骤为:(1)预测单元划分与地质体数字化、量化;(2)地质背景场划分与地质异常识别;(3)地质异常提取;(4)地质异常分析研究.

致矿地质异常的主要研究内容为:(1)地质异常成因及时空演化;(2)不同地质异常的时空匹配;(3)地质异常与成矿关系;(4)地质异常成矿优异度综合值计算. 通过最后这一步,建立起矿产值与各种致矿地质异常及物、化、遥异常间的函数联系. 这里所谓矿产值不一定是实际矿产储量、品位或矿产价值,而是一种可能反映成矿概率大小或成矿优劣的“成矿优异度综合值”,对每个单元计算出此综合值后,即可根据某一阈值圈定出找矿有利地段或成矿预测靶区.

表 1 致矿地质异常分类

Table 1 Classification of ore-forming geomanomaly

分类依据	异常类型	异常名称及举例
异常结构	单项异常	地层、构造、岩浆岩、岩相、
	综合异常	古地理等异常地质组合异常
	显式异常	地质界面异常 特征变化异常 异成因地质体 异演化地质体
表现形式	隐式异常	标志组合异常 复杂度异常 相似度异常
规模尺度	洲际异常	成矿域异常
	区域异常	成矿省、成矿带异常
	局部异常	矿田、矿床、矿体异常
	显微异常	矿相异常、矿化标志异常
控矿要素	矿源异常	矿源层异常、含矿流体异常
	通道异常	渗透、扩散、流动、辐射通道异常
	矿聚异常	聚合、耗散异常
	矿贮异常	封闭异常、容矿空间异常
异常演化	介质异常	遮挡异常、反应异常
	静态异常	单阶段、单成因异常
	动态异常	多期复活异常、多期叠加、多成因异常

例如:我们在山东鲁西地区金矿预测中,根据特征分析数学模型所建立的找矿有利度方程为:

$$F=0.094\ 3x_1+0.027\ 1x_2+0.106\ 2x_3+0.103\ 7x_4+0.100\ 9x_5+0.023\ x_6+0.087\ 3x_7+0.070\ 0x_8+0.046\ 7x_9+0.034\ 6x_{10}+0.023\ 4x_{11}+0.086\ 9x_{12}+0.078\ 3x_{13}+0.054\ 8x_{14}+0.062\ 7x_{15}.$$

式中: F 为找矿有利度;系数为变量权值; x_1 为韧性剪切断裂; x_2 为脆性断裂; x_3 为磁性断裂(磁性异常界面); x_4 为重力断裂(重力异常界面); x_5 为遥感线性地质异常; x_6 为遥感环形地质异常; x_7 为前寒武纪结晶基底; x_8 为古生代沉积碳酸盐岩; x_9 为中生代火山岩; x_{10} 为中生代侵入岩; x_{11} 为 Au 浓度分带 (2~6); x_{12} 为 Au 浓度分带 (2~6, 6~18); x_{13} 为 Au 浓度分带 (2~6, 6~18, >18); x_{14} 为 Au-Ag 异常组合; x_{15} 为 Au-Cu 异常组合. 据此,通过对研究区 396 个预测单元找矿有利度值的计算和临界值的确定(0.8),共圈定各种规模的致矿地质异常单元 21 处,并根据所要预测的金矿类型及异常单元所处的地质环境,圈定金矿找矿有利地段 11 处. 相关内容在文献[17]已进行详细阐述.

2.2 成矿多样性与成矿预测

因为控制矿床形成的地质因素和以它们为载体

的致矿地质异常多种多样,各因素的异常强度和广

度也各异,以及地质异常组合的多样性、演化过程的复杂性等,决定了成矿的多样性。成矿多样性分析不仅在明确区域勘查对象、选择勘查目标、提高综合勘查效果等方面具有重要的指导作用,而且也是确定勘探手段、评价方法、开发工艺和利用方向的重要依据。

成矿多样性具有多尺度、多方面的表现^[18],因此,成矿多样性分析要与成矿预测研究工作的尺度水平相对应。以金沙江南段地区震旦系灯影组地层成矿多样性分析为例,该地层从下至上产有白云岩矿、磷矿(化)、重晶石矿、锰矿、黑色岩系中金属矿(化)及铅锌矿等。又以其中的重晶石矿为例,其矿床成因多样性包括:沉积型、层控型及风化型;在矿体形态产状多样性方面包括有:层状、透镜状、穿层脉状及不规则松散堆积体;在矿石类型方面其多样性特征更为突出,包括:层纹状、斑杂状、致密块状、脉状、角砾状、巨晶块状及多孔状等;按矿石组分划分则有:纯重晶石型、萤石-重晶石型、方解石-重晶石型、铜-重晶石型及铁-重晶石型等多样性特征,由此决定了矿石品级的多样性、矿石加工工艺的多样性及矿石应用领域的多样性(如建材、石油钻井、钡盐化工、医药、橡胶、涂料及造纸等)。

在成矿多样性定量表征方面,可以进行如下计算:

(1) 多样性强度值 D_i (diversity intensity)。

$$D_i = n / S \times 100\%$$

式中: S 为单位面积或单位剖面长度; n 为单位面积或单位长度内矿种数。

(2) 多样性强度指数 ID (index of diversity intensity)。

$$ID_i = n_i / n_{\max}$$

式中: n_i 为第 i 单元单位面积或单位剖面长度内矿种(或矿产组合类型)数; n_{\max} 为研究区单位面积或单位长度内最大矿种(或矿产组合类型)数。

(3) 偏多样性强度指数 IP (index of partial diversity intensity)。

$$IP_j = n_j / G_{\max}$$

式中: n_j 为第 j 种地质体单位面积(或长度)内矿种数; G_{\max} 为研究区单一类型地质体单位面积(或长度)内最大矿种数。偏多样性强度指数愈小的地质体,其成矿专属性愈强。

(4) 资源现实可利用率 Ra (resources available)。

$$Ra = n_1 / n \times 100\%$$

式中: n_1 为目前技术经济条件下可利用矿种(类型)

数; n 为区内现有全部矿种数。

(5) 资源潜在可利用率 Rp (resources potential)。

$$Rp = n_2 / n \times 100\% \text{ 或 } Rp = 1 - Ra$$

式中: n_2 为目前暂不能利用或可用性不确定之矿种(类型)数; n 为区内现有全部矿种数。

通过以上简单计算,可以评价地区成矿多样性程度,比较不同地区成矿多样性差别,定量评价不同地区矿产资源潜力等。例如,我们对滇西北地区喜山期富碱斑岩若干主要斑岩群分布区相关矿产的成矿多样性强度值(D_i)初步计算表明:西范坪—罗卜地岩群为 1.5% (主矿产) ~ 1.75% (包含伴生矿产),剑川岩群为 0.75% ~ 1.25%,鹤庆北衙岩群为 1.0% ~ 1.75%,祥云岩群为 1.5% ~ 2.5%,姚安岩群为 0.75% ~ 1.5%。而这些岩群周边地区的 D_i 值一般在 0.25% ~ 0.75%,远离为 0.25% ~ 0.5%。较系统地揭示了该区不同岩群之间以及从岩群主体往周边地区成矿多样性程度与矿产资源潜力的差异性变化特征。

成矿多样性与地质多样性之间的关系比较复杂。J. 格里菲思认为成矿多样性与以时代岩性数表征的地质多样性之间存在着正相关联系。最近笔者在研究滇西北地区与喜山期富碱斑岩相关矿产后得出结论:该区相关矿床(点)较集中地产于地质复杂程度数值 4 ~ 6 区间,而不同矿产组合类型分别产于地质变异度数值 4 ~ 6, 6 ~ 8 及 8 ~ 10 三个不同的区间,并在总体上有矿产复杂度高则其地质变异度也高的对应规律。据此,可指导研究区内不同地段成矿预测与资源潜力评价工作。

2.3 矿床谱系与成矿预测

矿床谱系也可从多尺度、多方面与多方法进行研究和表征。在以往的定性地质研究中,人们也十分关注对不同类型矿床(矿产)之间在时、空、因等方面的相关规律研究,它是指导找矿预测的重要依据。对成矿规律的数字化、定量化研究是数字找矿和定量成矿预测的重要组成部分,也是研究的难点所在。

池顺都等^[19]探讨了研究矿床时间谱系的 GIS 途径,并指出定性的成矿学分析与定量的 GIS 途径相结合的必要性。矿床谱系研究既可从某一矿产类型进行,也可从某一致矿地质异常事件着手研究,甚至可从研究区域地质演化的角度对不同地质时期、不同空间部位、不同地质异常事件及不同矿床(或矿产)类型进行成矿谱系的系统研究。

图 2 所示为前述金沙江南段灯影组地层中重晶

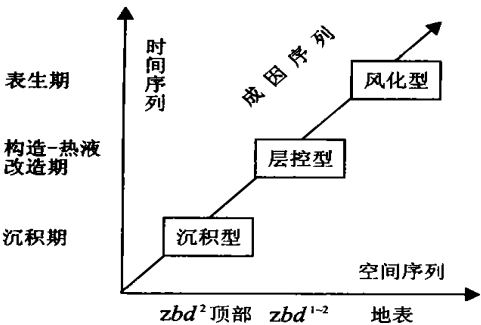


图 2 不同成因类型重晶石矿成矿谱系

Fig. 2 Ore-forming spectrum of different genetic types of barite ore-deposits

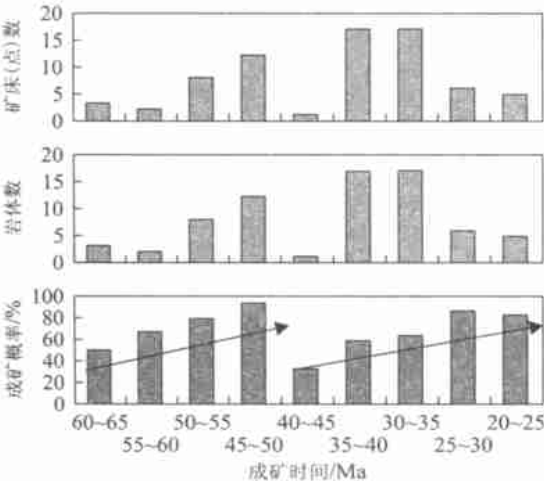


图 3 滇西北富碱斑岩综合成矿时间谱系

Fig. 3 Multiple ore-forming time spectrum of the Himalayan alkalic-rich porphyry in northwestern Yunnan

石矿同一矿种不同成因类型矿床谱系的综合模式.

从某一致矿地质异常事件着手研究区域性矿床谱系,以滇西北地区喜山期构造-岩浆热事件为例,对喜山期富碱斑岩成岩-成矿时间谱系的研究表明:富碱斑岩侵入活动可分早、晚两大阶段,67.9~45.7 Ma 和 42.0~23.18 Ma;相应应有 2 个主要的岩浆活动高峰期,大体在 50 Ma 和 35 Ma 左右;早期以花岗斑岩类及二长斑岩类为主,晚期以正长斑岩类和煌斑岩类为主;成矿广度与成岩广度具有良好的对应性,而成矿概率则显示为各岩浆期均由早到晚渐趋增大,反映晚序次斑岩体对成矿更有利(图 3).进一步研究揭示,本区斑岩型 Cu-Au-Mo 矿主要形成于早期,Pb-Zn-Ag-Au 矿主要形成于晚期(图 4),且主要矿床尤其是大中型矿床均产于多期次侵位及成矿概率指数高的(时段)富碱斑岩体组合发育地段.

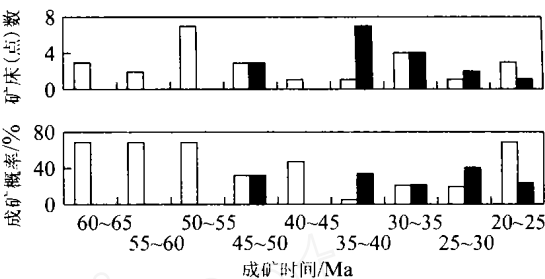


图 4 滇西北喜山期富碱斑岩不同矿化类型成矿时间谱系

Fig. 4 Ore-forming time spectrum for different types of mineralization of the Himalayan alkalic-rich porphyry in northwestern Yunnan

此外,该项研究还从构造控岩控矿角度,建立了成矿空间谱系的定量评价模型.研究表明,新生代断陷盆地周边隆起带及构造变形较强的地段,有利于斑岩型 Cu-Au-Mo 矿床的形成,而斑岩热液型 Pb-Zn-Ag-Au 矿床主要形成于中-新生代断陷盆地及其边缘构造变形相对较弱的地带.大中型矿床距新生代盆地裂隙中心的距离(y)与裂隙强度指数(V_{max})之间具有如下函数联系:

$$y = 1.4269 V_{max} + 1.7476 \quad (\text{单位:10 km}).$$

基于成矿多样性及矿床谱系的研究思路,在综合分析研究区斑岩体与成矿相关规律基础上,提出了在区域不同地段找矿预测工作中,应重视“大岩体外围找矿,小岩株浅部找矿,隐伏岩区深部找矿”的基本原则.

3 结语

“三联式”数字找矿与定量预测评价是“地质异常”致矿与定量预测评价的扩展和深化.应强调:“成矿多样性”及“矿床谱系”是一个具有重要理论与实际意义的矿产勘查新课题,它与地质异常分析相联系,可以更清楚地揭示“过程”与“响应”、“因”与“果”的关系:地质异常(原因)-成矿多样性(响应,表现形式)-矿床谱系(响应,表现规律).

在“三联式”成矿预测与“5P”找矿地段圈定的基础上,对所圈定的不同类型的预测靶区更多地进行系统的实地调查和深入解剖,一方面可以更全面地检验预测成果的科学预见性与实效性,发现更多可供深化勘探的目标矿床;另一方面也将在指导找矿实践中进一步丰富和完善“三联式”成矿预测的理论与方法体系.

参加“三联式”成矿预测研究工作的有国土资源部开放实验研究室“矿产定量预测及勘查评价实验室”的研究人员,其中包括中国地质大学(武汉)的魏民、金友渔、池顺都、胡光道、陈建国、陈守余、刘吉平等,中国地质大学(北京)的陈建平、张寿庭、申维、杜国银、刘粤湘等以及国家地调局的陈永清。研究工作中得到前山东省地矿局及云南省地矿局的大力支持与帮助,在此一并致谢。近期,我们正在开展《西南三江地区“三联式”数字找矿示范研究》课题研究(国家地调局 No. 200110200009 项目专题),并已取得阶段性研究成果。在此,也希望通过更多的同行专家学者们的共同努力,为推动我国矿产资源定量预测与评价研究工作,做出积极而有效的贡献。

参考文献:

- [1] 徐冠华. 提高信息技术水平是科技发展的重中之重[N]. 光明日报, 2002 - 04 - 17.
XU G H. Improving level of IT is the most importance of scientific development [N]. Guangming Daily, 2002 - 04 - 17.
- [2] Singer D A. Some suggested future directions of quantitative resources assessment [J]. Journal of China University of Geosciences, 2001, 12(1): 40 - 44.
- [3] 赵鹏大. 宁芜地区铁矿床统计预测[A]. 宁芜火山岩铁矿床会议选集[C]. 北京:地质出版社, 1978.
ZHAO P D. Statistical prediction for iron ore deposits in Ning-Wu region [A]. Proceeding of symposium on volcanic iron ore deposits of Ning-Wu region [C]. Beijing: Geological Publishing House, 1978.
- [4] 王世称. 综合信息矿产预测的理论与方法[J]. 长春地质学院学报, 1989, (增刊): 1 - 110.
WANG S C. Theory and methods of comprehensive information prediction [J]. Journal of Changchun University of Earth Sciences, 1989, (Suppl): 1 - 110.
- [5] 赵鹏大, 池顺都. 初论地质异常[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1991, 16(3): 241 - 248.
ZHAO P D, CHI S D. Preliminary discussion on geological anomaly [J]. Earth Science —Journal of China University of Geosciences, 1991, 16(3): 241 - 248.
- [6] Gorelov D A. Quantitative characteristics of geological anomalies in assessing ore capacity [J]. Internal Geology Rew, 1982, (4): 457 - 465.
- [7] Anchipov B C. Mineral resources potential remote-sensing exploration and assessment based on geo-dynamic-anomaly analysis [A]. Proceeding of 4th international symposium on "New Ideas in Earth Sciences" [C]. Moscow: [s. n.], 1999.
- [8] Singer D A. Basic concepts in three part quantitative assessments of undiscovered mineral resources [J]. Nonrenewable Resources, 1993, 2(2): 69 - 81.
- [9] 涂光炽. 超大型矿床的找寻和理论研究[J]. 矿产与地质, 1989, (1): 1 - 8.
TU G Z. Discovery of super-large mineral deposits and its theoretical study [J]. Mineral Resources and Geology, 1989, (1): 1 - 8.
- [10] 程裕淇, 陈毓川, 毛景文, 等. 初论矿床的成矿系列问题[J]. 中国地质科学院院报, 1999, 1: 1 - 7.
CHENG Y Q, CHEN Y C, MAO J W, et al. Preliminary discussion on metallogenic series [J]. Bulletin of China Academy of Geological Sciences, 1999, 1: 1 - 7.
- [11] 裴荣富, 熊群尧, 梅燕雄, 等. 难识别及隐伏大矿、富矿资源潜力的地质评价[M]. 北京:地质出版社, 2001.
PEI R F, XIONG Q Y, MEI Y X, et al. Geological assessment of mineral resources potential for hard-identified concealed large and rich ore deposits [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001.
- [12] 翟裕生, 邓军, 李晓波. 区域成矿学[M]. 北京:地质出版社, 1999.
ZHAI Y S, DENG J, LI X B. Essentials of metallogeny [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999.
- [13] 谢学锦. 战术性与战略性的深穿透地球化学方法[J]. 地学前缘, 1998, 5(2): 171 - 183.
XIE X J. Tactical and strategic deep-penetration geochemical surveys [J]. Earth Science Frontiers, 1998, 5(2): 171 - 183.
- [14] 常印佛, 陈毓川. 长江中下游铁铜矿成矿带[M]. 北京:地质出版社, 1991. 1 - 379.
CHANG Y F, CHEN Y C. Copper iron belt in the middle and lower Changjiang area [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991. 1 - 379.
- [15] 汤中立, 王廷印, 杜育良, 等. 金川铜镍硫化物(金铂)矿床成矿模式及地质对比[M]. 北京:地质出版社, 1995.
TANG Z L, WANG T Y, DU Y L, et al. Ore genesis model and geological correlation of copper-nickel sulfide (Au and Pt) deposits in Jinchuan area [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995.
- [16] Alseniyev V A. The general characteristics of mineral-contained blocks of different ranks [A]. Proceeding of 4th international symposium on "New Ideas in Earth Sciences" [C]. Moscow: [s. n.], 1999.
- [17] 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. 1 - 138.
ZHAO P D, CHEN Y Q, LIU J P, et al. Theory and

- practice of geoanomaly in mineral exploration [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1999. 1 - 138.
- [18] 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.
- ZHAO P D, CHEN J P, CHEN J G. On diversity of mineralization and the spectrum of ore deposits [J]. Earth Science —Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(2): 111 - 117.
- [19] 池顺都,赵鹏大. 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.
- CHI S D, ZHAO P D. Research way of time spectrum of mineral deposits with GIS [J]. Earth science —Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(2): 180 - 184.

“Three-Component ” Quantitative Resource Prediction and Assessments : Theory and Practice of Digital Mineral Prospecting

ZHAO Peng-da^{1,2}

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract : With the rapid progress of IT , the mineral exploration has already entered into a new period of digitization and quantification. The “three-component ” mineral prediction and resource assessments are suggested as a new approach to the “digital mineral prospecting ”. The “three-component ” mineral prediction , based on geo-anomaly analysis , is guided by the research into both the diversity of mineralization and the spectrum of mineral deposits. Close combination of these three aspects of quantitative study serves both as a new starting point for digital prospecting and as a foundation and prerequisite for IT application in this field.

Key words : “three-component ” quantitative mineral prediction ; geo-anomaly ; diversity of mineralization ; spectrum of mineral deposits.