Contributions to Geology and Mineral Resources Research

Vol. 25 No. 4

一种地球化学定量评价方法的改进

建华,肖克炎,娄德波,李 楠

(1. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京100037;

2. 国土资源 部成矿作用与资源评价重点实验室:北京 100037)

摘 要: 面金属量法是一种基于地球化学分析数据的资源量定量估算方法,该方法的应用主要 局限于在数据层面上,结果只能反映数据异常本身的特点,而不是控制异常性质的地质条件。为 解决这一局限性,文章引入相似系数的概念,相似系数的计算原理是将控矿地质因素数值化,从而 转换成数据模型,通过某种数学算法与已知的模型区相类比,得出一个表示与模型区相似程度的 数值,再用此相似系数对面金属量法估算的资源量进行校正,从而间接地实现控矿地质条件对定 量预测结果的控制。该方法实现了纯数据驱动与智能驱动的有效结合,使得该定量方法更具科学 性, 同时增加了定量预测结果的可信度。从试验结果看, 改进后方法的定量预测结果更加合理, 具 有实用价值。

关键词: 定量预测;地球化学;面金属量法;相似系数

中图分类号: P632 文献标识码: A 文章编号: 1001-1412(2010)04036606

引言 0

以往对化探数据的应用主要局 限于在数据面上的统计分析, 如异常 上、下限的确定,异常形状、强度等特 征的研究,以及不同元素间相关性的 研究等^[1]。计算的结果也只能反映 异常本身的特点,而不能反映异常的 成因,或者说异常的地质意义在此得 不到明确的反映。实际上,异常的性 质主要取决于控制异常分布的地质 条件。特征相同的异常或组合异常 处于不同的地质背景中,可能具有截 然不同的找矿意义。

比如,新疆东天山土屋、延东斑 岩型铜矿床并非位于铜的高异常区内,而是位于其 边缘(图1)。在土屋西北侧出现铜的高异常区,有 着与土屋铜矿类似的、很好的异常特征,表现为异常

20 47 Cu地球化学异常区 10 十屋东 十层 莊有 42 00 92° 15' 92° 00' 92° 30' 92° 45 图1 土屋斑岩型铜矿与铜地球化学异常分布图 Fig. 1 Map showing porphyry copper deposits and

Cu geochemical anomalies in Tuwu area

范围大、铜铅锌套合好、浓集中心明显等;从数据层 面上看,这个高异常区比土屋铜矿的化探异常还要 好:但实际勘测结果是,该异常对应的是一套玄武岩



收稿日期: 2009-07-28

基金项目: 国家科技支撑项目(2006AB01A01)及公益基金项目(K0715)资助。

丁建华(1969), 女, 山西绛县人, 博士, 矿产普查与勘探专业, 研究方向为矿产资源评价。通信地址: 北京西城区百万庄大街, 作者简介: 中国地质科学院矿产资源研究所; 邮政编码: 100037; E-mail: din gzhanzhan@ 163. com

因此, 从异常评价和找矿意义上讲, 要从化探异 常的数据属性中提取包容的成矿信息, 必须与地质 背景紧密结合。过去评价化探异常的优劣主要是将 未知异常与已知矿床异常对比, 相似程度越高, 认为 与矿的关系越密切, 统称" 相似类比法"^[2-3]。以往 的对比仅限于异常本身特征的对比, 在一定程度上 忽略了成矿模式和找矿模型等新思路。换句话说, 相似程度的高低, 并不能反映同类矿床(或同类异 常) 找矿的基本要素。

1 面金属量定量预测方法的改进

为了解决上述问题,我们可以尝试扩大一下相 似类比的范围,在分析、对比异常本身数据特征的同 时,还要通过分析、对比确定异常的找矿模型归属, 只有当未知异常的受控地质条件与已知矿床的控矿 条件相似时,该类异常才有可能是矿致异常。本项 研究基于这一思路,尝试对矿产资源定量预测方法 之一的地球化学面金属量法进行方法改进。具体的 作法是:以将预测的那一类矿床的主要地质特征(预 测要素)为参照,来度量异常区与样品区的相似性。 并将计算得出的相似系数转换为校正系数,对各预 测区(异常区)所估算的资源量进行校正。

1.1 面金属量定量预测方法的原理

地球化学面金属量法是前苏联学者 A• Π• 索 洛沃夫等(1957)提出的一种地球化学异常评价方 法^[4],其原理是利用次生晕和分散流资料对矿体进 行定量评价:以晕的扩散模式为依据,使用分析结果 并结合地质资料圈定次生分散晕的条件下,研究某 一水平截面(或平行于斜坡的截面)上所含成矿元素 的金属量与在同一水平上的矿体中所包含金属量之 间的对应关系,并籍此进行资源估算。

线金属量(単位:m・100%)和面金属量(単位: m²・100%)是沿测线(平面或剖面)在地球化学异 常范围内研究超出背景值的金属量。在数学意义上 相当于沿直线(或按面积)的积分。

次生晕面金属量的计算公式如下:

 $P = \Delta S \left(\sum_{x=1}^{n} C_{x} - C_{0} \right)$

式中, P 为成矿元素次生晕的面金属量; ΔS 为普查 网方格的面积(m^2); Cx 为取样点上测得的金属元素

浓度; Co为地区性地球化学次生晕背景值。

分散流的面金属量的计算公式如下:

$$P' = \sum_{i=1}^{m} P'_{i} = \sum_{i=1}^{m} (C'_{x} - C'_{0}) S$$

式中, P 为成矿元素的面金属量; S 为汇水盆地的面 积 (m^2) ; C_x 为取样点上实测金属元素浓度; C_{Φ} 为水 系中金属元素背景值。

一般情况下, 矿体的面金属量 P_u和次生晕的 面金属量 P 之间存在如下比例关系:

$$P = K \bullet P_u$$

同样,分散流的面金属量 P[´] 与该地次生晕的面 金属量 P 存在如下比例关系:

$$P = K \cdot P = K \cdot K \cdot P_u$$

式中, *K*, *K* 被称为富集系数,由成矿环境和成矿元 素的地球化学性质所决定。一般情况下,对于在风 化带中较稳定的原生和次生矿物的元素来说,在潮 湿气候下, $K(K^{'}) > 1.0$,在干旱气候中, $K(K^{'}) < 1$. 0;对于相对较不稳定的矿物来说,在潮湿气候下 *K* ($K^{'}$) < 1.0,在干旱气候下, *K*($K^{'}$) > 1.0。

于是,深部矿体的金属储量可用下式计算:

 $Q = \alpha \cdot \frac{1}{40} \cdot \frac{P}{K} \cdot H \ \vec{x} \ Q = \alpha \cdot \frac{1}{40} \cdot \frac{P}{KK} \cdot H$

式中, *P* 为次生晕的面金属量; P' 为分散流的面金属 量; H 为适当的计算深度(单位:m); α 为统计表外 矿在总量中所占的比例系数, 为< 1 的常数; 将岩石 的密度以 2.5 t/m³ 计时, 则得到 1/40 这个换算常 数, 同时将计算结果储量单位换算为 t。

某工作区的元素富集系数 *K* 可以通过已知区 获得, 公式如下:

$$K = \alpha \cdot \frac{1}{Q} \cdot \frac{1}{40} \cdot H \cdot P$$

1.2 对面金属量法的修正

以往在对每个预测区进行资源量估算时,K 值 都是一样的。也就是说,当模型区确定后,资源量估 算结果的差异只取决于预测区内地球化学数据本 身,而与该异常区与模型区相似程度无关;或者说, 预测的地质要素在定量预测过程中没有起作用。

为此, 笔者引入了相似系数(Y)的概念, 通过对 已知模型区的研究, 确定与成矿有关的找矿要素(或 称地质变量), 通过相似类比的方法, 确定预测区与 模型区的相似程度。这种相似程度可能通过数学模 型给出一个定量值, 相当于给了每个预测区一个校 正系数, 资源量估算的公式修改为:

$$Q = Y \cdot \alpha \cdot \frac{1}{40} \cdot \frac{P}{K} \cdot H$$

或
$$Q = Y \cdot \alpha \cdot \frac{1}{40} \cdot \frac{P}{KK} \cdot H$$

模型矿床所在模型区的相似系数为 1,校正系数即为 1。与模型区的相似程度越高,校正系数也就越大。如此,便将这一步骤中单纯的数据驱动转换成与智能驱动相结合,从而使结果更具科学性。

1.3 相似系数的计算

在此,相似系数的计算可以应用如下数据模型, 设已发现 n 个同类型矿床,经分析总结,得出控制该 类型矿床的基本地质要素为 X₁, X₂, ..., X_n,用 Y 表 示预测单元与该类型矿床的相似程度,在此称之为 相似系数,设

 $Y = a_1 X_1 + a_2 X_2 + \cdots + a_n X_n$

式中, a_1 , a_2 , ..., a_n 为各地质要素的权重, 是对各要 素在预测过程中重要性的度量。变量权重值的获得 可以有多种方法, 如德尔菲法、证据权法、特征分析 法等。各权值满足 $0 \leq a_i \leq 1$, 且

 $\sum_{n=1}^{n} a_i = 1$

各地质预测变量 X₁, X₂, ..., X_n 在上述模型中 的应用要通过二值化的过程, 也就是说把前期地、 物、化、遥、矿产等各方面资料中获取的与成矿有关 的信息转化为二态(1,0)。预测变量的赋值要以充 分的地质研究为前提, 根据地质依据合理地给出赋 值规则, 这一点是很关键的。如, 对地球化学分析数 据, 由于它是一系列连续的数值, 因此, 要考虑去掉 背景值的影响, 通过构造建造分区(或其他合理的分 区)获得各分区局部异常特征, 根据局部异常的有、 无来赋与 1(表示有异常) 或 0(表示无异常); 再如, 对磁异常这一变量, 在有的地区, 强异常指示有矿 化, 在另外的地区, 弱异常指示有矿化, 因些, 要根据 模型区研究结果制定不同的赋值规则, 以保证变量 取值的相同含义。

从上述分析可以看出,相似系数 Y 是所有矿化 信息的综合表现,因此,把它作为各预测区资源量的 校正系数是有科学依据的。

2 应用实例

天山山脉是中亚地区重要的山脉,总长度约 2500 km。我国境内的天山横亘于新疆的塔里木地 块与准噶尔地块之间。东天山地区已发现有铁、锰、 铜、铅、锌、镍、金、银等50余种矿产,其中尤其以铁 矿和有色金属的工业价值较大。20世纪70年代, 东天山是我国铁矿找矿的重点区带,80年代发现了 黄山等铜镍矿床和小热泉子铜矿,90年代又相继发 现了土屋、延东等斑岩型铜矿,形成新的铜钼和铜镍 矿床勘查工作区(图2)。

依据中国成矿体系研究^[5-6],本成矿系列类型 属全国 23 个成矿系列类型(4),在东天山地区属于 成矿系列 Pz2-64:与海西中期中酸性侵入岩-次 火山岩有关的铁、铜、铅、锌、钨、锡、金、银、稀有金 属、水晶、硅灰石矿床成矿亚系列,典型矿床为土屋 铜矿。

该类矿床的预测评价选择土屋铜矿床为模型, 进行该成矿系列类型的实例化,基于前人总结的成 因模型,结合多元信息的综合,建立预测评价模型。

土屋式斑岩铜矿床区域评价模型:

(1) 成矿构造环境: 岩浆型被动陆缘, 觉罗塔格 晚古生代陆缘活动带。

(2)地层条件:地层为企鹅山群拉斑玄武岩、安山岩(第二岩组)、砂岩、中酸性火山角砾岩、玄武岩(第三岩组),以第三岩组为主。

(3)岩浆岩:石炭纪闪长岩-花岗闪长岩及斜长 花岗岩-二长花岗岩;矿(化)体的直接围岩是斜长 花岗斑岩。

(4)构造条件:位于大陆边缘的康古尔深大断裂 与次级断裂限定的区域。

(5)区域地球化学场: Cu, Ni, Co, Zn, Sr, P, Mn, Fe, Ti, Cd 高背景异常区, Mo, Hg, Au 弱异常, Ag, Pb, As 负异常区。

(6)区域重力场:位于巨型布格重力异常的康古 尔梯度带北侧,在相对高异常背景区存在非常明显 的局部重力低异常。

(7)区域航磁异常场:位于区域带状磁异常边部 区域,在航磁解译深大断裂北部区域。

(8) 遥感影像特征: 椭圆型环状构造沿康古尔塔 格断裂带呈斜列式分布(NEE向)。

据此圈定预测区如图 3。

其次选择预测变量,根据该类型矿床的区域找 矿模型,在 GIS 上建立和提取相应的预测图层(表 1)。

选择证据权法,确定各个变量的权重。计算得 各预测区的相似系数 *Y*,将此相似系数与各预测区 计算所得的金属量相乘,得如下结果(表 2)。

从表 2 可以看出, 经过相似系数的校正, 预测资 源量为 1 763.25 万 t, 较没有校正时的 3 727.61 万 t 有了很大程度的降低。之前, 笔者曾在本地区根据品位、吨位特征, 用蒙特卡罗法模拟法进行定量预

测模拟^[7],结果,东天山地区土屋式斑岩铜矿的预测 资源量为1970.71万t,与本次计算结果较为接近。



图 2 东天山区域构造简图

Fig. 2 Regional structural stetch of the east Tianshan area

1. 碳酸盐岩、陆源碎屑沉积岩 2. 陆源碎屑沉积岩夹基性火山岩 3. 陆源碎屑沉积岩、中性火山岩及火山碎屑岩 4. 碎屑沉积岩、中酸性火山 岩及火山碎屑岩 5. 碎屑沉积岩、中酸性火山岩夹碳酸盐岩 6. 碳酸盐岩、陆源碎屑沉积岩 7. 碳酸盐岩、陆源碎屑沉积岩 8. 碳酸盐岩、陆源 碎屑沉积岩 9. 碳酸盐岩、陆源碎屑沉积岩 10. 太古代岩石 11. 三叠纪花岗岩 12. 二叠纪花岗岩 13. 二叠纪基性岩 14. 二叠纪中性岩 15. 石 炭纪花岗岩 16. 石炭纪中性岩 17. 石炭纪基性岩 18. 泥盆纪基性岩 19. 泥盆纪花岗岩 20. 志留纪花岗岩

表1 东天山斑岩铜矿预测变量表

Table 1 Variables of porphyry copper deposit prediction for the east Tianshan area

| 变量 | 信息描述 | | |
|------------|--|--|--|
| 大地构造位置 | | | |
| 地层、岩性 | 上石炭统企鹅山组中基性火山熔岩、火山碎屑正常碎屑岩建造(面元) | | |
| 构造 | 康古尔深大断裂北侧;韧- 脆性断裂及其影响带(对线元以 5 km 做缓冲区)(面元) | | |
| 岩浆岩 | 华力西晚期(早二叠世)斜长花岗斑岩、闪长玢岩复合岩体(面元) | | |
| 围岩蚀变 | 硅化、黑云母化、绢云母化(泥化、石膏化)、青磐岩化蚀变组合(面元) | | |
| 矿化 | 地表面型孔雀石化(及褐铁矿化);原生黄铜矿化(辉钼矿化)、黄铁矿化等(对矿化点作直径 2 km 的缓冲区) | | |
| 区域地球物理特征 | 近 EW 向重力梯度带上叠加的 SN 向重力变化区(面元) | | |
| | 近 EW 向磁力高值带边部叠加的 SN 向磁场变化区和局部磁力高(面元) | | |
| | 1 : 5 万重力剩余异常带边部(面元) | | |
| 矿区地球物理特征 | 1 : 5 万航磁正磁背景场中的局部高磁异常(面元) | | |
| | 有1:5万激电异常(面元) | | |
| 矿床物探异常特征 | 床物探异常特征 高极化率异常(ハ= 3%~ 8%);低电阻率异常(ρs 一般 30~ 150 Ω・m);弱磁异常(ΔZ _{max} = 360 nT)(面元) | | |
| 区域地球化学特征 | 1 : 20 万区域化探 Cu, Mo, Ni, Co, Hg, Au, Fe ₂ O ₃ 等元素的高背景带(面元) | | |
| | Cu, Mo, Ni, Co, Hg, Au, Fe ₂ O ₃ 等局部异常(面元) | | |
| 花豆花肉只觉肤红 | 1 : 5 万土壤测量 Cu, Mo, Ag, Zn, C d(Ni, Au, W, Pb) 等元素组合异常(面元) | | |
| 1) 区化探异吊符征 | 1:5万十壤测量 Cu Mo Ag Zn Cd(Ni Au W Pb)等元素局部异常 | | |



图 3 东天山土屋式斑岩铜矿找矿预测区 Fig.3 The predicted targets for Tuwu type porphyre Cu deposit 1.可行地段 2.预测区

表 2 定量预测结果(部分)

Table 2 Quantitative prediction results

| 序号 | 相似系数 Y | 定量资源 (t) | 修正的资源量(t) |
|----|---------|-----------------|--------------|
| 1 | 0.3284 | 1322500 | 434309 |
| 2 | 0.1688 | 9013.75 | 1521.521 |
| 3 | 0.1588 | 240437.5 | 38181.48 |
| 4 | 0.3562 | 0 | 0 |
| 5 | 0.2643 | 413076.3 | 109176.1 |
| 6 | 0. 2321 | 0 | 0 |
| 7 | 0. 6927 | 1082370 | 749757.7 |
| 8 | 0. 2848 | 98198.13 | 27966. 83 |
| 9 | 0.4111 | 0 | 0 |
| 10 | 0.124 | 192187.5 | 23831.25 |
| 11 | 0.1601 | 250166.3 | 40051.62 |
| 12 | 0.5172 | 58092.5 | 30045.44 |
| 14 | 0.2612 | 408625 | 106732.9 |
| | | | |
| | 合 计 | 3067.63万 t | 1763. 25 万 t |

3 问题及讨论

笔者通过加入相似系数的概念,将地质因素的 控矿作用实际应用到面金属量法定量预测方法中, 从而实现了纯数据驱动与智能驱动的有效结合,使 得方法更具科学性,同时增加了定量预测结果的可 信度,从试验结果看,改进后效果明显。

在方法试验过程中,我们发现存在以下几个方 面的问题:

(1)模型区数量不足的问题。工作区内已知的模型矿床太少,总共有4个:土屋、土屋东、延东、赤湖。其中除赤湖外,其他3个矿床的位置又都很近,

因此计算过程无论是使用证据权法还是使用特征分 析法,结果都可能会发生偏差。为解决这类问题,我 们试验了3种办法,一是运用德尔菲法,靠专家的知 识和经验对各区的校正系数(相似系数)进行调整, 这一方法,要求专家对东天山地区及预测矿种相当 熟悉,持不同观点的专家给出的调整方案会存在一 定的差异,对计算结果影响较大;二是选择其他相似 区域的模型进行类比,这一方法是在预测区工作程 度相当低时无可奈何的选择;三是将一些与已知模 型区地质条件类似的区作为模型区,参与到计算过 程中。笔者选择了第三种方法来解决问题,效果不 错。

(2)预测区边界的确定。预测区的面积对计算 结果的影响是很大的,如果将异常下限以上的点全 部圈入预测区,计算的结果将会很大。本次试验时, 圈定预测区的边界并非严格的地质界线,地球化学 点的数据是主要参考指标之一,这就在很大程度上 受控于主观因素。下一步工作可以考虑将异常下限 以上的数据分级,分别圈定不同级别的异常区,并分 别定量计算结果。这样一来,评价预测结果准确与 否的标准又成了一个新的问题。

(3)低缓异常的遗漏。从表 2中我们可以看出, 有一些预测区的计算结果是 0(如 4 号、6 号、9 号预 测区),产生的原因是由于在计算面金属量时,预测 区内地球化学测量点的分析数据值低于我们确定的 异常下限,而这些区的相似系数并不见得很低,如 9 号预测区的相似系数为 0.411,在使用面金属量法 时,这些区便会被漏掉了。这个问题的解决还需要 做进一步的研究。 参考文献:

- [1] 王学求.大型矿床地球化学定量评价模型和方法[J].地学前 缘,2003,10(1):257-261.
- [2] 张翔,黄万堂,俞有峰,等.北祁连成矿带地球化学块体资源潜 力预测[J].矿产与地质,2005,19(5):546-552.
- [3] 李通国, 王忠, 张宏强. 应用地球化学块体预测西秦岭地区银资源量[J].物探与化探, 2006, 30, (6): 482-486.
- [4] 索洛沃夫 A Л. 金属量测量的理论和实践基础[M]. 北京: 中 国工业出版社, 1957: 46-121.
- [5] 陈毓川, 裴荣富, 王登红. 三论矿床成矿系列问题[J]. 地质学报, 2006, 80(10): 150+1508.
- [6] 陈毓川. 中国成矿体系与区域成矿评价[M]. 北京: 地质出版 社, 2007: 1-1004.
- [7] 丁建华, 肖克炎, 刘锐, 等. 区域资源定量评价中面金属量法的 应用[J]. 矿床地质, 2007, 26(2): 230-236.

IMPROVEMENT OF A GEOCHEMICAL QUANTITATIVE ASSESSMENT METHOD

DING Jian-hua. XIAO Ke-yan, LOU De bo, LI Nan

 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;
The Laboratory of Metallogenic Processes and Mineral Resources Assessment of Ministry of Land and Natural Resources of China, Beijing 100037, China)

Abstract: A real productivity is a quantitative mineral resources evaluation method based on geochemical analysis data. Its application is mainly confined to data calculation thus reflects characteristics of the data anomaly rather than the nature of geological condition that control the anomaly. This paper introduces the conception of similarity coefficient to solve the problem. The principle of coefficient calculation is to digitalize the ore-controlling factors then transferred to data model. The model is correlated to a known model area by means of a mathematic algorithm to get the value that shows similarity with the model area. The similarity coefficient is used to calibrate the estimated results realizing indirect control of geological condition on the quantitative prediction. This improved method effectively combined pure data driven prediction with intelligence-driven prediction. Hence, the results become more reasonable and creditable, and the method worth to use widely in mineral quantitative assessment.

Key Words: quantitative assessment; geochemical; areal productivity; similarity coefficient

(上接第365页)

APPLICATION OF STRUCTURE INTERPRETATION OF SATELLITE IMAGE TO ORE PREDICTION IN CHILAYO AREA, PERU

JIN Wen-qiang, GAO Guang-ming, XIAO Juan

(Institute of Geosciences and Environmental Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: False color composite image of band 7-4-3 from Landsat-7 ETM+ is visually interpreted and 15 linear and 10 ring structurs are delineated. Combined with geological data 4 ore targets are pointed out in Chiclyo area, northern Peru.

Key Words: remote sensing; structure interpretation; ore prediction; the northern Peru