

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2021.01.013

# 基于因子分析的异常信息提取与评价 ——以南阳盆地及造山带为例

王会敏<sup>1</sup>, 陈守余<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质大学(武汉)资源学院, 武汉 430074;

2. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 武汉 430074)

**摘要:** 本文在对南阳盆地及造山带地球化学数据因子分析的基础上,对研究区与铁矿化相关的元素组合进行异常信息的提取与评价。结果表明:1)因子分析获得的 F2 因子(Co-Mn-Ti-V-Fe)能够很好地反映出与铁矿化相关的异常信息,可以作为寻找铁矿化的标志之一;2)从奇异性指数图可以看出,已经发现的铁(磁铁)矿床基本上位于奇异性指数  $a < 2$  的区域,南阳盆地西部地区异常较好、研究程度低,可以作为进一步开展矿产勘查工作的重点区域;3)S-A 方法得到的背景图中高异常值主要分布在中-基性岩体的区域,异常图展示出较好的矿化异常,未出现大型铁矿床的原因可能是研究区中-基性岩在地表出露比较分散、不具规模,在该区域深部中-基性岩体中具有寻找大型隐伏铁矿床的可能。因此,基于奇异性理论和 S-A 法的综合异常提取方法对于寻找深部和隐伏的矿体具有帮助,可以为下一步的找矿工作提供参考。

**关键词:** 因子分析;奇异性;多重分形滤波;信息提取;异常评价;豫西地区

**中图分类号:** P628.1 **文献标识码:** A

## 0 引言

因子分析是化探数据处理中常用的方法,可揭示元素之间的成因关系,进而推测元素在成矿作用中的演化特征,为下一步工作提供有用信息<sup>[1]</sup>。一般来说,因子分析是采用降维的思想将对矿化有指示意义的复杂多样的元素或元素组合变得更为简并与普遍的一种数学统计分析方法<sup>[2]</sup>。

1978 年,谢学锦提出以水系沉积物为采样介质的“区域化探全国扫面计划”,以水系沉积物作为主要采样介质的 20 万区域化探扫面工作,覆盖了我国基岩裸露的山区和丘陵地区等大部分区域,取得了较好的找矿效果<sup>[3-4]</sup>。但是随着“高大全”异常的减少,矿产勘查学家开始关注弱小异常,或者难以发现

的异常问题<sup>[5-7]</sup>。任天祥通过研究发现同种元素在不同景观区的背景值差异很大,造成这种差异的原因除了与不同景观区内基岩中元素的本身有关外,一个最重要的影响因素就是景观地球化学条件的差异造成元素在表生条件下淋滤或次生富集<sup>[8]</sup>。李宝强等研究发现我国中东部水系沉积物中部分元素的背景值一般是西部干旱荒漠区水系沉积物中部分元素背景值的 1.5 倍左右,最小为 1.24 倍,最大接近 2 倍<sup>[9]</sup>。这些特征说明不同景观区中的地球化学背景场低,导致该方法显示的异常弱小、没规律。“如何识别、筛选、验证这些特殊景观地区地球化学异常”上升为勘查地球化学领域的热点之一<sup>[10-11]</sup>。

20 世纪 90 年代以前,化探异常提取主要基于经典统计学理论,该时期几乎所有的化探数据处理工作与统计学有关。常用的异常识别方法以数理统计方法为主,包括  $\text{Mean} \pm 2\text{SD}$ <sup>[12]</sup>、 $\text{Median} + 2\text{MAD}$ <sup>[13]</sup>、

**收稿日期:** 2020-08-27; **责任编辑:** 王传泰

**作者简介:** 王会敏(1993—),女,硕士研究生,地球探测与信息技术专业,基于 GIS 综合信息成矿预测及找矿评价方向。通信地址:湖北省武汉市洪山区鲁磨路 388 号,中国地质大学(武汉)资源学院主楼 519 室;邮政编码:430074;E-mail:15927457263@163.com

**通信作者:** 陈守余(1956—),男,博导,长期从事矿产综合勘查与定量评价的教学与科研工作。通信地址:湖北省武汉市洪山区鲁磨路 388 号,中国地质大学(武汉)资源学院;邮政编码:430074;E-mail:45321870@qq.com

Tukey's box diagram method<sup>[13]</sup>、单变量和多变量分析方法、趋势面分析法、回归分析法等,上述传统的化探数据处理方法的特征是以数学为基础,先立足于化探数据的高低或结构特征来提取与识别异常,然后结合成矿地质背景等对化探异常进行评价;即先异常识别、后异常评价,二者相互独立。但是这些方法只能识别出高背景中的强异常,在识别出弱小异常方法存在局限性。

20世纪90年代以后,现了以成秋明等代表的分形理论<sup>[14-15]</sup>,以及地质内涵法<sup>[16]</sup>、衬值滤波方法<sup>[17]</sup>等各种数据处理方法。以上方法理论,在不同地区的找矿工作中均取得了较好效果,尤其是分形理论为代表的局部奇异性方法在识别弱小异常方面具有很好的应用<sup>[5]</sup>。

长期以来,国家在豫西地区钨、钨、金、铜、铁的找矿工作中投入了大量的人力、物力、财力,先后采用了地球物理、地球化学和遥感地质学等方法进行找矿工作,取得了一定成果,发现了一些新的矿床(点)<sup>[18]</sup>。但上述找矿方法只能从某一侧面反映地

质体和矿产资源体的存在,勘查结果存在很大的不确定性,找矿效率低,尤其近年来,随着地表露头矿,埋藏浅、易发现矿的发现殆尽,找矿工作逐渐转为寻找难发现、难识别的隐伏矿或盲矿体,仅靠单一种方法进行找矿,很难取得成效。因此,本文在因子分析的基础上,通过分析元素组合与成矿的关系,对研究区铁矿化相关的元素组合使用奇异性 and S-A 方法进行异常信息提取并评价,希望能为以后的找矿工作提供帮助。

### 1 研究区地质概况

研究区位于秦岭—桐柏造山带的河南段(图1),包括南阳盆地、南阳盆地以西的东秦岭造山带以及南阳盆地以东的桐柏—大别山造山带结合部。这三个构造区段在地质演化过程中虽存在一定差异,但其形成和发展的大地构造背景和构造环境是大体相同的,都属于秦岭造山带的组成部分<sup>[19-21]</sup>。北秦

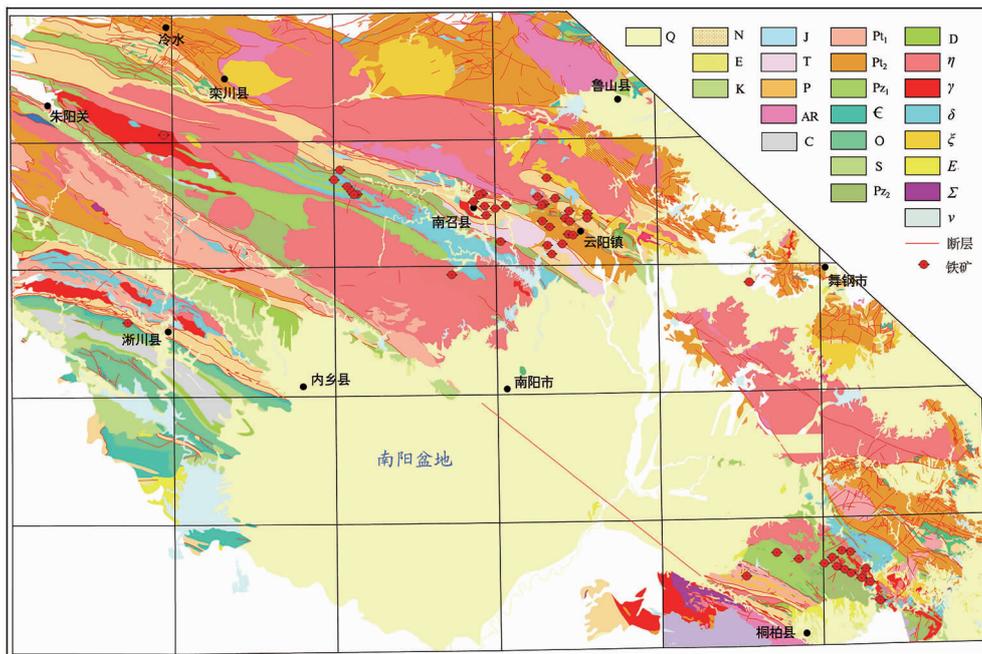


图1 河南省南阳盆地及造山带区域地质图

Fig. 1 Regional geological map of the Nanyang basin and orogenic belt, Henan

- Q. 第四系; N. 新近系; E. 古近系; K. 白垩系; J. 侏罗系; T. 三叠系;
- P<sub>22</sub>. 晚古生界; P. 二叠系; C. 石炭系; D. 泥盆系;
- P<sub>21</sub>. 早古生界; S. 志留系; O. 奥陶系; C. 寒武系;
- Pt<sub>2</sub>. 中元古界; Pt<sub>1</sub>. 古元古界; AR. 太古宇
- γ. 花岗岩; η. 二长岩; δ. 闪长岩; ξ. 正长岩; v. 辉长岩;
- Σ. 未分的超基性岩; E. 未分的碱性岩

岭构造带是指上述三个构造区段内夹于栾川断裂和商南—丹凤断裂之间的秦岭造山带的一个二级构造单元<sup>[22]</sup>。秦岭造山带是一条东西向横亘于中国大陆中部夹持于华北和扬子两大克拉通地块之间的巨型复合型造山带,蕴藏着丰富的矿产资源<sup>[23]</sup>。

研究区内出露地层多达二百多种。南阳盆地西部的东秦岭造山带地表主要出露地层为下元古界—古生界,包括下元古界秦岭岩群火山—沉积建造、中元古界宽坪岩群火山—沉积建造、下古生界二郎坪群火山—沉积建造及上古生界碎屑岩夹碳酸盐岩和火山碎屑岩沉积建造,此外,还零星出露中生界三叠系、新生界沉积物(主要分布在断陷盆地中)<sup>[24-25]</sup>;南阳盆地以东主要出露桐柏山群、苏家河群、龟山岩组等<sup>[26]</sup>。桐柏山群下部为浅肉红色、褐黄色眼球状黑云二长混合片麻岩及黑云更长混合片麻岩,上部为白云钾长混合片麻岩、白云二长混合片麻岩、白云钠长混合片麻岩、白云钾长均质混合岩及在局部夹薄层石英岩。苏家河群部主要为白云石英片岩,以普遍含石墨为特征;其上部主要为白云斜长片麻岩,夹白云石英片岩和斜长角闪片岩,局部夹较多眼球状混合岩和浅粒岩。龟山岩组下部为石英岩(硅质板岩)、绢云石英片岩夹碳质层、斜长角闪片岩、局部夹大理岩等,中部为石榴绢云石英片岩、含十字石榴绢云石英片岩、蓝晶绢云石英片岩,上部为石榴绢云石英片岩夹斜长角闪片岩、角闪片岩等<sup>[26-29]</sup>。

研究区内矿产资源丰富,金属矿产有金、银、铜、铅、锌、汞、钼等,非金属矿产有萤石、石墨和矽线石等<sup>[18]</sup>,研究区包含多条成矿带。南阳盆地以西有铋矿成矿带,大华山、毛堂金矿,石榴沟铜矿寒武系底部成矿带,西平—毛堂—淅川金铜多金属成矿带,五里川—二郎坪—南河店铜铅锌金银多金属成矿带,铜丘沟—太平镇—南河店铁铜多金属成矿带,南召—云阳以铁为主的成矿带;南阳盆地以东有老湾—下肖湾金成矿带,大河铜成矿带,周山城金银成矿带,庙街—关庄铁铜成矿带,马谷田—一条山铁成矿带<sup>[18,30-31]</sup>。

## 2 方法研究

### 2.1 因子分析

因子分析是利用降维思想,从研究原始变量的相关矩阵内部结构出发,把一些具有错综复杂关系的变量归结为少数几个综合因子的一种多元统计分

析方法<sup>[32]</sup>。

因子分析在化探数据处理过程中的作用有两个:①根据筛选出的公共因子确定元素组合;②利用因子得分值划分样品类型,确定子区位置和边界,实现地球化学分区<sup>[33]</sup>。因子分析的步骤有:确定因子载荷,进行因子旋转并计算因子得分。其中初始因子载荷矩阵不是唯一的,其因子的意义往往含糊不清,因此需要进行因子旋转以得到更具实际意义的公共因子。

### 2.2 反距离加权插值方法(IDW)

反距离加权平均法(IDW)是一种空间插值方法,该方法是把估算点与实测点间的距离作为权重因子,估算点和实测点间的距离越近,其权重越大,反之越小,权重值由距离的反比给出<sup>[34]</sup>。

IDW的优点在于结果具有直观性,实现过程简单、直接。

### 2.3 局部奇异性

奇异性是指在很小的时间—空间范围内具有巨大能量释放或巨量物质形成的现象,通常具有尺度不变性<sup>[35-36]</sup>。在局部奇异性分析中,指数 $a$ 被称为局部奇异性指数,表征了模式分布随尺度的变化性。 $a$ 值可通过以下公式求得:

$$X = c \cdot r^{a-E} \quad (1)$$

式(1)中, $X$ 表示某种测度,可以为元素含量、矿体厚度等; $c$ 为常数; $a$ 为奇异性指数; $r$ 为度量尺度(窗口的边长); $E$ 为欧几里德维数,在二维问题中, $E=2$ 。

本文采用基于窗口的方法计算奇异指数,具体步骤如下:1)在地球化学图上以每一点为中心,形成系列不同大小的方形窗口,计算每个窗口内的平均元素密度;2)在双对数图上绘制平均密度与窗口大小的关系图,并对多个窗口所获得的数据采用最小二乘法进行线性拟合,拟合直线的斜率即为奇异性指数 $a$ 的估计值。

成秋明提出基于滑动窗口的计算方法:定义一组滑动窗口 $A(r)$ ,边长 $r_{\min} < r_1 < r_2 < \dots < r_n = r_{\max}$ ,计算每个窗口内的地球化学平均含量 $C[A(r)]$ ,那么 $r_i$ 与其对应的 $C[A(r_i)]$ 将在双对数图上拟合一条直线,根据直线的斜率估计每一点的奇异性指数 $a$ :

$$\log C[A(r_i)] = c + (2-a) \log(r) \quad (2)$$

当 $a$ 接近2时,代表无奇异的地区,对应于背景场,背景地段一般在地球化学图中占绝大部分范围,相应区域为正常的未受到成矿作用太大影响,元素密度基本不随分布范围的缩小而变化; $a < 2$ ,代表相

应区域受到成矿作用而造成元素富集元素密度随分布范围的缩小而增大,值越小,元素越富集; $a > 2$ ,代表相应区域受到成矿作用而造成元素贫化,元素密度随分布范围的缩小而减小<sup>[35]</sup>。

#### 2.4 多重分形滤波方法

成秋明在 1994 提出了“C-A”模型<sup>[37]</sup>,开创了分形领域里处理化探数据的第一步<sup>[38]</sup>,也成为在确定异常下限中比较有效的方法。把 C-A 模型进一步推广到频率域中,以实现背景和异常的分离,Cheng Q 建立了多重分形场的“能谱密度-面积”(S-A)分形模型<sup>[39]</sup>:

$$A(\geq S) \propto S^{-\beta} \quad (3)$$

式(3)中, $S$ 为能谱密度, $A(\geq S)$ 为能谱密度大于某一值  $S$  的区域面积, $\beta$ 为指数, $\propto$ 代表成正比。面积  $A$  随着  $S$  值的升高而降低,其变化规律取决于指数  $\beta$ 。

该模型不仅可以度量时-空复杂模式的广义自相似性,而且可以形成基于不同广义自相似性的分形滤波技术,利用分形滤波技术将空间模式进行分解,达到对异常和背景模式的分离目的。 $\beta$ 值的确定可以在其双对数图上进行,将散点图用最小二乘法拟合成一段或两段及以上的直线,找出合适的分界点,采用该分界点可以构造两个分形滤波器,采用该分形滤波器可以将地球化学组合异常图分解成为

两个不同的成分,即背景和异常。本次研究工作是基于 Geodas 完成的。

### 3 因子分析结果

对南阳盆地及造山带 1:25 万区域化探数据进行统计,共计 8127 个,野外按 2 km×2 km 布设测网。测定元素包括 Ag、As、Au、B、Ba、Bi、Cd、Cu、Hg、Mn、Mo、Sb、Sn、Sr、CaO、MgO、Be、Co、Cr、F、La、Li、Nb、Ni、P、Pb、Th、Ti、U、V、W、Y、Zn、Zr、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 SiO<sub>2</sub> 等 39 个元素(或氧化物)。对这些元素进行因子分析,按照“-99=极小”的处理方法得到 10 个因子,KMO 的值为 0.735,适合做因子分析。

选取其中的 F2 因子分析与成矿的关系。F2 因子组合为 Co-Mn-Ti-V-Fe,为高温元素组合,在基性岩和超基性岩中相对富集<sup>[40]</sup>,其中 Co、Fe 为亲铁元素,Mn、Ti、V 为亲石(氧)元素,为研究区磁铁矿(铁矿)的形成提供了丰富的元素来源。对 F2 因子进行反距离加权,得到 F2 的因子得分图(图 2)。

Co、Ni、Fe 等铁族元素在基性岩、超基性岩中含量较高,不易受表生化学溶解作用的影响,但易受物理风化的影响。在表生作用下 Co、Ni、Fe 等铁族元

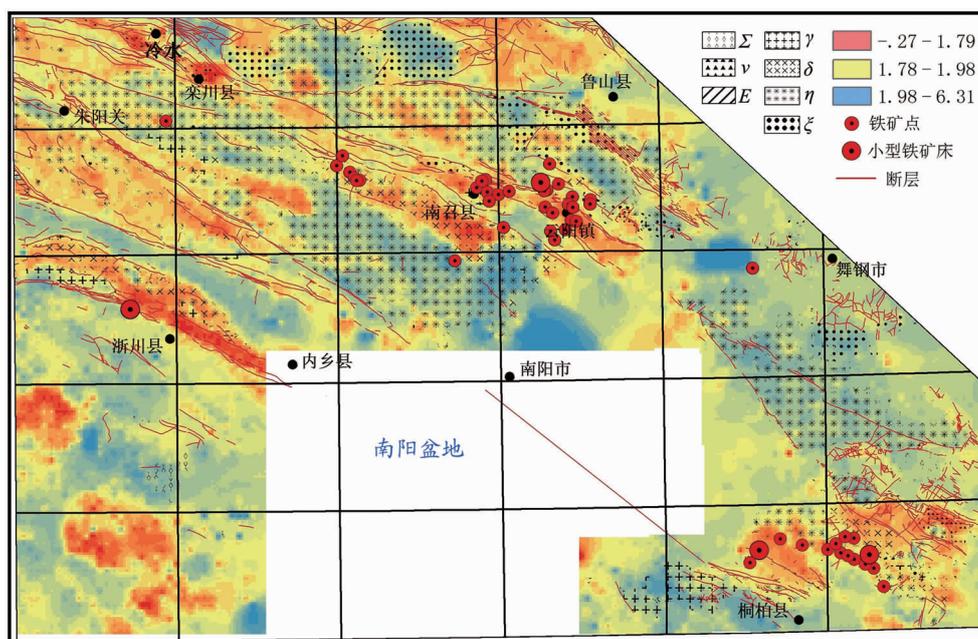


图 2 F2 因子得分图

Fig. 2 The factor score map of F2 obtained by IDW

γ. 花岗岩; η. 二长岩; δ. 闪长岩; ξ. 正长岩; ν. 辉长岩; Σ. 未分的超基性岩; E. 未分的碱性岩

素迁移过程中不易富集<sup>[41]</sup>。从图中可以看出,F2 因子异常展布方向基本为 NWW 向,反映区域构造及超基性岩带的分布主要受区域内断裂的影响,并且铁矿大致在异常的内部及边缘地带,可以作为寻找铁矿矿化的标志之一。

#### 4 奇异性方法的地球化学特征

奇异性指数可基于元素的原始含量提供新的补充结果,可有效刻画由成矿作用导致的元素的富集与亏损。该方法能有效提取复杂背景区域的弱矿异常<sup>[42-45]</sup>。笔者将该方法应用到南阳盆地及造山带地区,试图利用该方法进一步研究该地区各元素的奇异性指数  $a$  的空间分布,进一步提供可以进行异常查证的靶区。

首先计算相关性较好的 F2 奇异性指数  $a$ ,并得到各元素奇异性指数  $a$  的栅格图像。栅格图像的建立方法使用反距离加权方法,每一个网格的半径(大小)为  $5\text{ km} \times 5\text{ km}$ 。以窗口半径(大小)分别为  $5\text{ km} \times 5\text{ km}$ 、 $8\text{ km} \times 8\text{ km}$ 、 $11\text{ km} \times 11\text{ km}$ 、 $14\text{ km} \times 14\text{ km}$ 、 $17\text{ km} \times 17\text{ km}$  和  $20\text{ km} \times 20\text{ km}$  统计每一个栅格图像方格的数量与奇异性指数  $a$  的频率分布,得到 F2 奇异性指数  $a$  直方图(图 3);图 3 显示

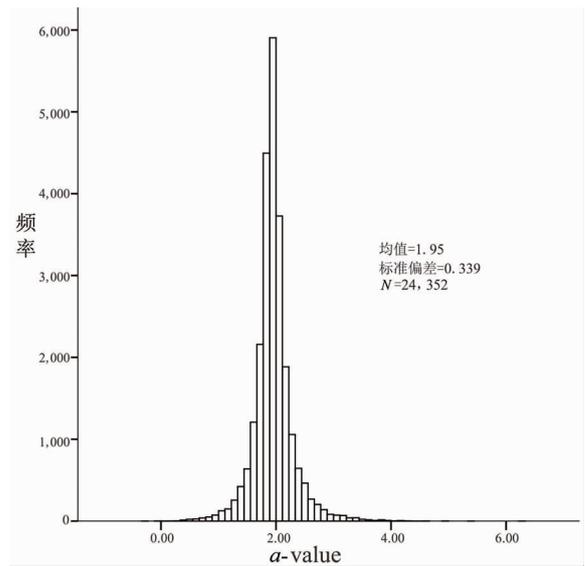


图 3 F2 因子的奇异性指数分布直方图

Fig. 3 Histogram of  $\alpha$ -values of F2 factor

奇异性指数  $a$  基本服从正态分布,说明奇异性指数分布具有一定的规律,服从大数定律。

从奇异性指数图(图 4)可以看出,已经发现的铁(磁)矿床基本上位于奇异性指数  $a < 2$  的地区,奇异性指数越小,发现矿床的可能性就越大。

在研究区的西部地区,由于地形变化较大,研究程度低,在该地区还没有矿床的发现,可以进一步在

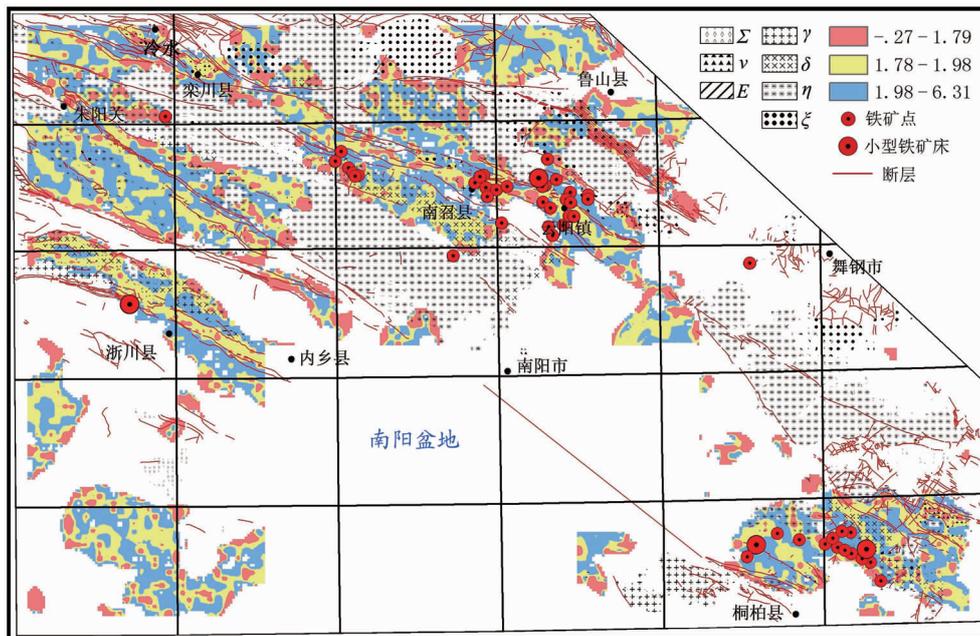


图 4 F2 因子的奇异性指数空间分布图

Fig. 4 Map showing the spatial distribution of singularity index for F2 factor

$\gamma$ . 花岗岩;  $\eta$ . 二长岩;  $\delta$ . 闪长岩;  $\xi$ . 正长岩;  $\nu$ . 辉长岩;  $\Sigma$ . 未分的超基性岩; E. 未分的碱性岩

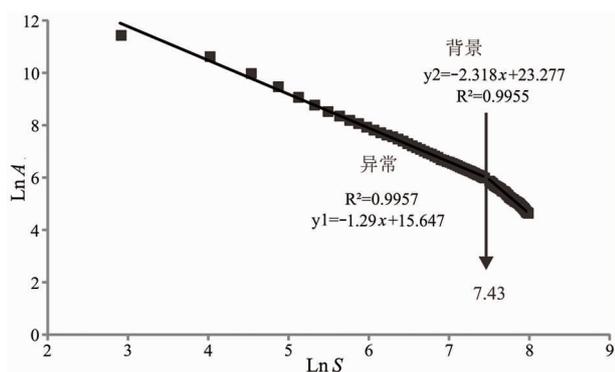


图5 S-A方法得到的F2因子LnA-LnS双对数图  
Fig.5 Log-log (base e) plot of F2 factor obtained by S-A

奇异性  $a < 2$  的地区,开展矿产勘查工作。

### 5 多重分形滤波地球化学特征

基于F2因子得分,运用IDW插值方法得到对应的栅格图像,对栅格图像运用S-A方法进行背景和异常分解并从中获取主成分元素得分的异常信息。在拟合的双对数曲线图(图5)中可以看出分段信息,主要分为两段,每段的  $R^2$  都大于99%,分段

效果很好;F2因子LnA-LnS双对数图中,  $y_1 = -1.29x + 15.647$ ,  $2.91 \leq \text{LnS} < 7.43$  代表F2组合异常,  $y_2 = -2.318x + 23.277$ ,  $7.43 \leq \text{LnS} < 8.21$  代表背景。使用傅里叶变换函数把频率域的分量重新转换到空间域中,得到对应的异常图和背景图。据此,获得F2的组合背景图(图6)和异常图(图7)。

背景图(图6)中突出了与铁矿化相关的高背景区,高背景区的展布方向与构造线的方向基本一致,为NWW向,具有较高的空间自相关性,同时也反映了研究区闪长岩和辉长岩等中-基性岩体的分布情况,可以根据铁族元素富集规律来推断中-基性岩体的分布区。

异常图(图7)能够克服异常高背景的影响,从背景当中提取与铁矿化有关的异常区域,同时具有异常面积小、与矿化吻合度高的优点。在南阳盆地的西部具有明显的铁矿化异常,但因为研究程度较低,目前没有发现矿化,具有进一步寻找铁矿的潜力。

研究区铁矿大部分都是矿点的形式,很少能够达到中型矿床,大型矿床基本没有,出现这一情况的原因可能是研究区的中-基性岩体在地表出露比较分散,零星分布,在研究区的深部具有寻找大型铁矿床的潜力。

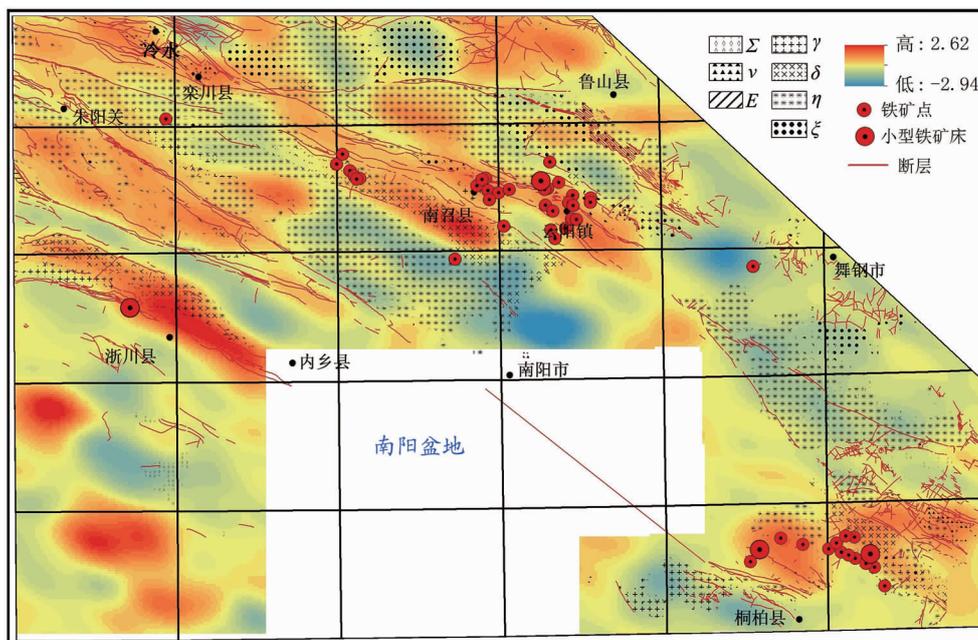


图6 S-A方法得到的F2因子背景图

Fig.6 Background map of F2 factor obtained by S-A

γ. 花岗岩; ν. 二长岩; δ. 闪长岩; ξ. 正长岩; η. 辉长岩; Σ. 未分的超基性岩; E. 未分的碱性岩

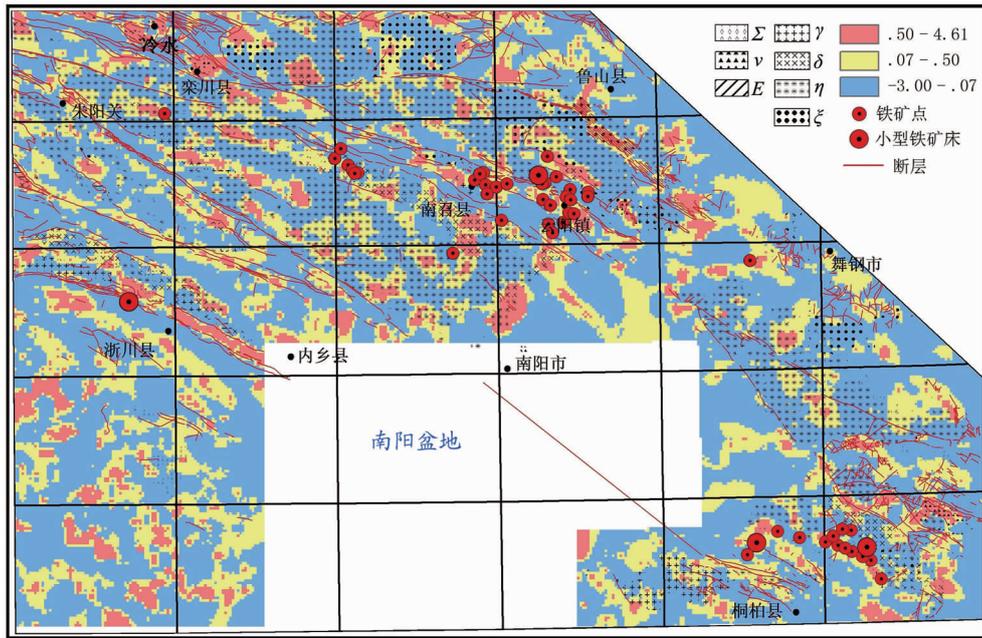


图 7 S-A 方法得到的 F2 因子异常图

Fig. 7 Anomaly map of F2 factor obtained by S-A

γ. 花岗岩; η. 二长岩; δ. 闪长岩; ζ. 正长岩; ν. 辉长岩; Σ. 未分的超基性岩; E. 未分的碱性岩

### 6 结语

(1) 因子分析结果反映, 研究区与铁矿化相关 F2 因子的元素组合为 Co-Mn-Ti-V-Fe(高温元素组合)。对 F2 因子得分进行 IDW 插值分析表明, F2 因子异常展布方向基本为 NWW 向, 反映区域构造及中-基性岩体的分布主要受区域内断裂的影响, 并且铁矿大致在异常的内部及边缘地带, 其可以作为寻找铁矿矿化的标志之一。

(2) 使用奇异性方法对研究区的 F2 因子计算奇异性指数, 所得 F2 因子奇异性指数频率分布和空间分布状况基本服从正态分布, 说明奇异性指数分布具有一定的规律, 服从大数定律。奇异性指数图显示已经发现的铁(磁铁)矿床基本上位于奇异性指数  $a < 2$  的地区, 其中奇异性指数越小, 发现矿床的可能性就更大。因此, 在研究区的西部地区, 由于地形变化较大, 研究程度低, 在该地区还没有矿床的发现, 可以进一步在奇异性指数  $a < 2$  的地区, 开展矿产勘查工作。

(3) 利用 S-A 方法分解地球化学异常、高背景景区的展布方向与构造线的方向基本一致, 为 NWW 向, 具有较高的空间自相关性, 同时也反映了研究区

闪长岩和辉长岩等中-基性岩体的分布情况, 可以根据铁族元素富集规律来推断中-基性岩体的分布区。异常图中异常面积较小, 有利于靶区的优选, 并展示出了较好的铁矿化; 研究区的铁矿主要是以矿点的形式出现, 主要原因可能是中-基性岩体在地表分布比较零散, 其深部具有寻找大型铁矿床的潜力。

(4) S-A 方法与奇异性方法相结合, 可以在研究区进一步寻找铁矿化。南阳盆地的西部, 利用 S-A 方法得到的异常图和奇异性方法得到奇异性指数空间分布图均体现出相对较好的异常浓集中心, 结合区内的中-基性岩体的分布以及构造可以在西部及深部进一步开展寻找铁矿床的工作。

**致谢:** 本论文的完成非常感谢董凯同学的指导, 同时感谢本论文所引用的各位学者的专著, 如果没有这些学者的研究成果的启发和帮助, 我将无法完成本篇论文的最终写作。还要感谢《地质找矿论丛》能给我提供这样的一个平台!

### 参考文献:

[1] Kim J O, Mueller C W. Factor analysis: statistical methods and practical issues [C]. Sage Pubn Inc, 1978.  
 [2] Reedy J, Wirfalt E, Flood A, et al. Comparing 3 dietary pattern methods—cluster analysis, factor analysis, and index analysis—With colorectal cancer risk; The NIH-AARP Diet and

- Health Study [J]. *American Journal of Epidemiology*, 2010, 171(171): 479 - 487.
- [3] Xie X, Mu X, Ren T. Geochemical mapping in China [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1997, 60(1): 99 - 113.
- [4] Xie X, Wang X, Zhang Q, et al. Multi-scale geochemical mapping in China [J]. *Geochemistry Exploration Environment Analysis*, 2008, 8(4): 333 - 341.
- [5] Zuo R, Wang J, Chen G, et al. Identification of weak anomalies; A multifractal perspective [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2015, 148: 12 - 24.
- [6] Zheng Y, Sun X, Gao S, et al. Analysis of stream sediment data for exploring the Zhunuo porphyry Cu deposit, southern Tibet [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2014, 143: 19 - 30.
- [7] Cheng Q. Singularity theory and methods for mapping geochemical anomalies caused by buried sources and for predicting undiscovered mineral deposits in covered areas [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2012, 122(11): 55 - 70.
- [8] 任天祥. 区域化探异常筛选与查证的方法技术[M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [9] 李宝强, 孙泽坤. 区域地球化学异常信息提取方法研讨[J]. *西北地质*, 2004, 37(1): 102 - 108.
- [10] Chen X, Zheng Y, Xu R, et al. Application of classical statistics and multifractals to delineate Au mineralization-related geochemical anomalies from stream sediment data: a case study in Xinghai-Zeku, Qinghai, China [J]. DOI: 10.1144/geochem2016-424.
- [11] 王会敏, 陈守余, 赵江南, 等. 柴北缘都兰地区 Pb-Zn 矿化信息提取与评价[J]. *地质科技情报*, 2016(5): 131 - 138.
- [12] HAWKES, H E, WEBB, et al. *Geochemistry in mineral exploration* [M]. Academic Press, 1979.
- [13] Tukey J W. *Exploratory Data Analysis* [J]. *Advanced Information & Knowledge Processing*, 1977, 26(2): 163 - 182.
- [14] Cheng Q. Spatial and scaling modeling for geochemical anomaly separation [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1999, 65(99): 175 - 194.
- [15] Cheng Q, Agterberg F P, Ballantyne S B. The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1994, 51(2): 109 - 130.
- [16] 郑有业, 陈仁义, 庞迎春, 等. “协优”成矿预测方法的理论探索与实践[J]. *地球科学: 中国地质大学学报*, 2009(3): 511 - 524.
- [17] 史长义, 张金华, 黄笑梅. 子区中位数衬滤波法及弱小异常识别[J]. *物探与化探*, 1999, 23(4): 250 - 257.
- [18] 徐毅. 豫西地区内生金属矿床成矿多样性分析与成矿预测[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2008.
- [19] 牛宝贵, 刘志刚, 任纪舜. 秦岭与桐柏-大别山的构造关系: 兼论江淮盆地的构造演化[J]. *地球学报*, 1993(1): 1 - 13.
- [20] 张国伟, 孟庆任. 秦岭造山带的结构构造[J]. *中国科学: 化学*, 1995(9): 994 - 1003.
- [21] 张宏飞, 张利, 高山, 等. 桐柏地区变质杂岩和侵入岩类 Pb 同位素组成特征及其地质意义[J]. *地球科学: 中国地质大学学报*, 1999(3): 262 - 269.
- [22] 韩长寿. 河南境内北秦岭构造带 EW 向地质特征差异及成因分析[J]. *矿产与地质*, 2010, 24(6): 489 - 494.
- [23] 杨宗让. 秦岭造山带大型矿集区成矿系统研究[D]. 西安: 长安大学, 2012.
- [24] 徐刚. 北秦岭(河南段南阳以西)银铅锌主要矿床类型特征及找矿方向[J]. *科技信息*, 2012(21): 432 - 433.
- [25] 冯胜斌, 周洪瑞, 燕长海, 等. 东秦岭(河南段)二郎坪群铜多金属成矿环境及成矿效应[J]. *矿产与地质*, 2006, 20(6): 598 - 607.
- [26] 李红梅. 河南省桐柏县主要金银多金属矿床的成矿物质来源研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2007.
- [27] 李立兴, 李厚民, 王登红, 等. 河南桐柏地区铜锌多金属矿床的微量元素和稀土元素特征及成因意义[J]. *地学前缘*, 2009, 16(6): 325 - 336.
- [28] 彭万夫. 小秦岭-桐柏山区地层构造岩浆岩对金矿控制特征及成矿模式[J]. *河南地质*, 1994(3): 161 - 170.
- [29] 程万强. 桐柏一大别造山带南缘边界断裂中生代变形特征及其对碰撞造山过程的启示[D]. 武汉: 中国地质大学, 2012.
- [30] 张静. 东秦岭-桐柏地区典型银金矿床的剖析和对比研究[D]. 北京: 北京大学, 2004.
- [31] 郑求根, 张育民, 赵德勇, 等. 豫西地区构造演化与上三叠统地层保存和分布[J]. *石油地质与工程*, 1998(2): 6 - 10.
- [32] 王学仁. *实用多元统计分析* [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1990.
- [33] 时艳香, 纪宏金, 陆继龙, 等. 水系沉积物地球化学分区的因子分析方法与应用[J]. *地质与勘探*, 2004, 40(5): 73 - 76.
- [34] 王勇, 李朝奎, 陈良, 等. 权重对空间插值方法的影响分析[J]. *湖南科技大学学报: 自然科学版*, 2008, 23(4): 77 - 80.
- [35] Cheng Q. Mapping singularities with stream sediment geochemical data for prediction of undiscovered mineral deposits in Gejiu, Yunnan Province, China [J]. *Ore Geology Reviews*, 2007, 32(32): 314 - 324.
- [36] Cheng Q. Non-Linear Theory and Power-Law Models for? Information Integration and Mineral Resources Quantitative Assessments [J]. *Mathematical Geosciences*, 2008, 40(5): 503 - 532.
- [37] Cheng Q, Agterberg F P, Ballantyne S B. The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1994, 51(2): 109 - 130.
- [38] Zuo R. Exploring the effects of cell size in geochemical mapping [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2012, 112(1): 357 - 367.
- [39] Cheng Q. Spatial and scaling modelling for geochemical anomaly separation [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1999, 65(3): 175 - 194.
- [40] 李怡欣, 孙景贵, 陈军强, 等. 内蒙古金厂沟梁金(铜)矿床的 PGE、铁族和亲硫元素的地球化学特征与物质来源、形成环境[J]. *地学前缘*, 2010, 17(2): 336 - 347.

- [41] 钱建平, 何胜飞, 王富民, 等. 安徽省廖家地区地质地球化学特征和构造地球化学找矿[J]. 物探与化探, 2008, 32(5): 519-524.
- [42] Zuo R, Cheng Q, Agterberg F P, et al. Application of singularity mapping technique to identify local anomalies using stream sediment geochemical data, a case study from Gangdese, Tibet, western China [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2009, 101(3): 225-235.
- [43] Cheng Q. Singularity theory and methods for mapping geochemical anomalies caused by buried sources and for predicting undiscovered mineral deposits in covered areas [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2012, 122: 55-70.
- [44] Sun X, Zheng Y, Wang C, et al. Identifying geochemical anomalies associated with Sb-Au-Pb-Zn-Ag mineralization in North Himalaya, southern Tibet [J]. Ore Geology Reviews, 2016, 73: 1-12.
- [45] Zheng Y, Sun X, Gao S, et al. Analysis of stream sediment data for exploring the Zhunuo porphyry Cu deposit, southern Tibet [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2014, 143: 19-30.

## The factor Analysis-based anomaly information extraction and evaluation-a case study of Nanyang basin and orogenic belt

WANG Huimin<sup>1</sup>, CHEN Shouyu<sup>1,2</sup>

(1. The Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources,

China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Based on the factor analysis of the geochemical data of the Nanyang basin and orogenic belt, the anomaly information extraction and evaluation of the elements associated with the iron mineralization in the study area were carried out. The results show that: 1) factor F2 (Co-Mn-Ti-V-Fe) obtained can well reflect anomaly information related to iron mineralization and can be used as iron ore prospecting mark; 2) in the singularity index diagram the known iron (magnetite) deposits are in the area of singularity exponent  $a < 2$ ; the west Nanyang basin with potential anomalies, less studied thus the key area for further exploration; 3) The high anomaly values of the background map obtained by S-A method are mainly distributed in the region of intermediate-basic rock mass and in the anomaly map better mineralization anomalies shown without large-scale iron deposit, possibly resulted from the scattered small-sized intermediate-basic rock mass outcrops, possibly large concealed iron deposits in the deep intermediate-basic rock mass. Therefore, the singularity theory and S-A method-based comprehensive anomaly extraction is helpful to prospect hidden iron ore bodies to depth providing further prospecting targets.

**Key Words:** factor analysis; singularity; multi-fractal filtering; information extraction; anomalies evaluation; the west Henan province