

奇异性理论在南岭花岗岩体重力 异常识别中的应用

陈国雄^{1,2)}, 成秋明^{1,2)}, 刘天佑²⁾

1) 中国地质大学, 资源学院, 武汉, 430074

2) 中国地质大学, 地球物理与空间信息学院, 武汉, 430074

3) 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

南岭地区历经多期次构造岩浆活动, 多金属成矿条件优越^[1], 是世界上研究燕山期花岗岩成矿理论最典型区域之一, 圈定隐伏花岗岩体的分布范围对成矿预测具有重要意义。根据物性资料统计显示, 区内花岗岩呈低密度特性, 但是由于区域背景场的叠加, 不同深源层异常的复合, 使得岩体重力异常弱缓、混叠, 导致传统位场构造识别方法(垂向二次导数, 总梯度模, 解析信号振幅谱, Tilt 梯度)效果不佳。因此, 如何从该区多源混合性、非线性和非平稳性的重力异常数据中提取和识别花岗岩体构造信息, 是目前亟需解决的问题。

近几十年来, 分形/多重分形(Mandelbrot, 1967, 1972)^[2-3]的引入, 为非线性科学的研究注入了新的活力; 分形中自相似性是指局部与整体的在形状、结构或功能等方面是自相似的, 这种自相似性是通过幂律关系所确定的。地球物理位场中亦存在幂律关系式, 比如, 重磁场的场值 f 随着观测点与地质体的距离 r 呈幂律衰减规律, 可以简化为以下形式:

$$f(x, y, z) = Fr^{-N} \quad (1)$$

其中 f 代表重磁场值, r 代表观测点与场源体中心的距离, N 即为构造指数。构造指数 N 的大小与尺度 r 无关, 取决于地质体的几何形态。如磁性球体的构造指数 $N=3$, 水平圆柱体 $N=2$, 而对于重力场, 球体的构造指数 $N=2$ 。

根据分形尺度不变性, 成秋明(1999, 2008, 2012)^[4-6]提出并推广了分形奇异性理论在地质异常(地球化学、地球物理及遥感数据)提取与识别中应用。根据密度—面积模型^[4](Cheng, 1999), 对于二维空间问题, 测度 $\mu(A_i)$ 或 $\rho(A_i)$ 和尺度 A_i 同样满足以

下关系式:

$$\langle \mu(A_i) \rangle = cA_i^{\alpha/2} \quad (2)$$

$$\langle \rho(A_i) \rangle = cA_i^{\alpha/2-1} \quad (3)$$

其中 $\langle \rangle$ 表示统计期望, α 为局部奇异性指数, 可以根据 $\log \rho(A_i) = (\alpha - 2) \log(A_i) + c$, 通过最小二乘拟合来求解。

对于二维重力异常或者化极磁异常, 局部奇异性指数 α 值偏离欧氏空间维数 $E=2$ 越大, 说明地质体重磁场的奇异性越大。 $\alpha < 2$ 指示了该地段地质体密度(磁化率)相对较大, $\alpha > 2$ 指示了该地段地质体密度(磁化率)相对较小, α 接近 2 则是指示了区域背景场。

(2) 式两边对 A 求导后, 奇异性指数 α 可以表达为:

$$\alpha = \frac{d\mu(A)}{dA} \frac{2}{\rho(A)} \quad (4)$$

根据上式分析可知, 奇异性指数 α 的求取包含测度 $\mu(A)$ 对尺度 A 的一阶导数, 相当于高通滤波^[5], 因而具有提取弱缓信号的功能。

此外, 在运用基于窗口的方法计算重磁场梯度带上的奇异性指数 α 时, 由于随着窗口的递增, 测度 $\rho(A_i)$ 的大小几乎会保持不变, 在变化梯度最大的位置附近奇异值指数 $\alpha \approx 2$, 故可以通过奇异值的这一特性来检测重磁场源体的边界位置。与传统导数类位场边缘检测方法对比, 例如水平总梯度模通过计算 $T = \sqrt{(\partial f / \partial x)^2 + (\partial f / \partial y)^2}$, 在 T 的极大值处解释边界位置; 对该类方法而言, 在地质体变深导致重磁异常变宽缓、幅值降低的情况下, 一阶水平方向导数强度也会降低, 造成深

部地质体的边界难以识别, 另外, 相邻异常的叠加也会对边界的识别造成影响。我们通过理论建模和实验分析, 局部奇异性分析方法由于其高通滤波效应, 一方面能有效的识别低缓异常信号, 区分相邻异常的叠加, 另一方面奇异性指数 α 能够准确的刻画地质体边界信息。

根据上述分析, 我们将多重分形奇异性理论应用到南岭成矿带花岗岩侵入体的重力异常识别中, 重力奇异性填图结果有效的揭示了该区的隐伏岩体信息, 一方面, 奇异性指数圈定的异常与岩体地表出露情况吻合很好, 另一方面利用该结果推断解释了一批隐伏岩体和半隐伏岩体, 它们大部分与已知矿田对应关系密切。因此, 重力奇异性填图成果为南岭成矿带成矿预测提供了重要信息。同时, 与传统位场构造信息识别方法对比, 该方法具有以下优势: (1) .能够克服区域背景异常, 有效提取埋深大的花岗岩体重力异常信息; (2) .根据奇异性指数进行花岗岩侵入体边缘检测, 获得的岩体边界信息更

加准确

参考文献

- 陈毓川. 2007. 中国成矿体系与区域成矿评价. 北京: 地质出版社.
- Mandelbrot, B. B. 1967. How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension, *Science*, 156, 636-638.
- Mandelbrot, B. B. 1972. Possible refinement of the lognormal hypothesis concerning the distribution of energy dissipation in intermittent turbulence. *Statistical models and turbulence, Lecture notes in physics*, 12, 333-351.
- Cheng Q M. 1999. Multifractality and spatial statistics. *Computers & Geosciences*, 25(9), 949-961.
- Cheng Q M. 2008. Non-linear theory and power-law models for information integration and mineral resources quantitative assessments, *Mathematical Geosciences*, 40, 503-532.
- Cheng Q M. 2012. Singularity theory and methods for mapping geochemical anomalies caused by buried sources and for predicting undiscovered mineral deposits in covered areas, *Journal of Geochemical Exploration*, 122, 113-122.