doi: 10.11720/wtyht.2026.2423
闫浩飞, 刘强, 李金磊, 等. 联立不同高度数据的有限差分欧拉反褶积方法[J]. 物探与化探, 2026, 50(2): 330-337. https://doi.org/10.11720/wtyht.2026.2423
Yan H F, Liu Q, Li J L, et al. Finite-difference Euler deconvolution method based on data from different heights[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2026, 50(2): 330-337. https://doi.org/10.11720/wtyht.2026.2423

联立不同高度数据的有限差分欧拉反褶积方法

闫浩飞[1], 刘强[1], 李金磊[2], 李芳[1], 艾寒冰[3]
(1. 中国自然资源航空物探遥感中心, 北京 100083; 2. 中国地质大学(北京)地球物理与信息技术学院 北京 100083; 3. 中国地质大学(武汉)地球物理与空间信息学院, 湖北 武汉 430074)

摘 要: 在位场勘探中, 欧拉反褶积方法因其对先验信息依赖较少而得到广泛应用。然而, 受外部干扰的影响, 其结果往往存在较大的发散性。为此, 本文对欧拉反褶积方法开展了进一步研究, 并提出了一种简单有效的确定场源深度和构造指数的方法。该方法充分利用欧拉方程中深度值与构造指数之间的线性关系, 通过在场源潜在位置联合多个不同延拓高度的数据, 运用有限差分方法构建方程组并求解系数, 进而确定场源深度和构造指数。在反演过程中, 本文仅在场源潜在水平位置进行反演, 有效地减少了反演结果的数量; 通过采取联立不同高度数据进行反演的策略, 减小了噪声等因素对结果的影响。最后, 模型实验和实际数据验证了本文方法的有效性, 为后续相关工作提供支持与参考。

关键词: 位场勘探; 欧拉反褶积; 有限差分; 构造指数
中图分类号: P631;P31 **文献标识码**: A **文章编号**: 1000-8918(2026)02-0330-08

0 引言

欧拉反褶积方法现已广泛应用于位场勘探中, 如在矿产勘探, 断裂、构造划分等领域。该方法具有反演快速和对先验信息需求少等优点, 可准确确定单个理想场源 (如球体、圆柱体、板状体和接触带等) 的位置和形状参数信息。但在实际应用中, 由于背景场和噪声等因素的干扰影响, 反演结果通常较为发散, 为此有人提出了不同的解决策略: 针对背景场问题, 通常有 3 种处理策略, 分别将其看成常数[1-2]、线性[3-5] 和非线性[6-7] 形式; 针对噪声问题, 可以采取对原始异常进行滤波处理或采用不同向上延拓高度上的数据进行反演计算[8-9]。

欧拉反褶积方法通常采用滑动窗口进行反演, 这会导致反演结果数量较多, 且其中包含许多虚假结果, 对选取最优结果非常不利。为此, 学者们提出了多种有效的筛选策略, 比如 Thompson[10] 仅保存具有不确定度最小的估计深度的结果; Mikhailov 等[11] 采用一种人工智能的聚类技术来选择合适的解; 史辉等[12] 根据统计学原理从大量的计算结果中剔除坏解, 保留合理的解; Ugalde 等[13] 采用模糊均值聚类的方法来获取满足要求的结果; 石磊等[14] 结合广义倾斜角梯度的水平导数与场源深度的有效性剔除坏解; 刘强等[15] 根据场源附近窗口产生的结果具有抗干扰能力强的特点提出了变坐标筛选方法。此外, 为了获得最优的反演结果, 一些学者提出仅在场源可能的水平位置进行反演计算, 如 Fairhead 等[16] 提出了 Laplacian 欧拉方法, 仅在梯度正值处进行反演计算; Elawadi 等[17] 根据近似的构造指数大体确定场源水平位置, 然后再进行处理; Salem 等[18] 在解析信号幅值极大值处进行反演计算; 姚长利等[19] 提出了水平梯度滤波, 仅在梯度较大的区域内进行反演计算; Castro 等[20] 根据组合导数滤波结果限制欧拉褶积范围; 诸如此类的方法, 还有其他文献提及[21-24], 在此不一一列出。

Thompson[10] 指出构造指数与估计的场源深度之间存在一定的关联, 只有当构造指数选择正确时,

收稿日期: 2024-10-21; **修回日期**: 2025-10-19
基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(DD20230246); 自然资源部航空地球物理与遥感地质重点实验室课题 (2023YFL08)
第一作者: 闫浩飞(1981-), 男, 正高级工程师, 长期从事航空地球物理方法研究与航空重、磁测量等工作。yanhaofei@mail.cgs.gov.cn
通讯作者: 刘强(1990-), 男, 高级工程师, 主要从事航空重磁测量及方法技术研究工作。liuqiang01@mail.cgs.gov.cn

估计的场源深度才正确。通常认为构造指数与估计的场源深度之间存在线性关系[17,25]。Elawadi 等[17]基于该关系, 通过选择场源附近多个网格点数据来获得线性关系的系数, 然后再绘制深度—构造指数图, 根据交点位置便可以获得场源位置和构造指数。但在实际应用中, 深度—构造指数图中所有线并不相交于一点, 这为确定最终参数带来了困难。

为此, 本文提出了一种新的确定场源深度和构造指数的方法, 该方法可充分利用深度与构造指数之间存在线性关系这一特点, 通过有限差分的方式, 联立不同高度的数据来计算场源位置和构造指数。

1　方法原理

欧拉反褶积方法基本公式为:

$$(x-x_0)\frac{\partial T}{\partial x}+(y-y_0)\frac{\partial T}{\partial y}+(z-z_0)\frac{\partial T}{\partial z}=-NT, \quad (1)$$

式中: x、y、z 为网格点坐标; x_0、y_0、z_0 为场源位置; T、$\partial T/\partial x$、$\partial T/\partial y$、$\partial T/\partial z$为位场异常及其导数; N 为构造指数。

若已知场源水平位置, 式(1)可写成:

$$(z-z_0)=\frac{-NT-\left((x-x_0)\frac{\partial T}{\partial x}+(y-y_0)\frac{\partial T}{\partial y}\right)}{\frac{\partial T}{\partial z}}=aN+b, \quad (2)$$

根据式(2)可得场源深度与构造指数之间存在线性关系, 且只当构造指数选择正确时, 计算获得的场源深度才正确。

Elawadi 等[17]提出在不同的网格点处, 绘制深度—构造指数图, 通过计算交点位置获取场源深度和构造指数。对于理想球形场源, 该方法可以较好地确定场源信息, 但当存在干扰时, 该方法存在交叉点不明确等问题。为此, 我们提出了一种新的获取场源位置的方法: 在场源上方, 通过联立不同高度数据, 求解方程组来获得场源深度和构造指数信息。待求解方程组为:

$$\begin{aligned} z_1-z_0&=a_1N+b_1,\\ &\vdots\\ z_n-z_0&=a_nN+b_n, \end{aligned} \quad (3)$$

式中: n 为延拓层数。该方法的具体步骤为:

1)场源水平位置的获取。采用解析信号极大值或者采用 Melo 等[26]提出的策略确定场源水平位置, 这两类方法通常可以自动确定场源的位置。

2)把数据延拓到不同高度, 并计算不同高度情况下的系数a_{1-n}、b_{1-n}。

3)采用最小二乘法求解式(3)方程组, 获得深度和构造指数信息。

上述步骤中, 仅需在一个网格点处, 联立不同高度数据就可以计算出场源深度和构造指数。也可在多个网格点处, 联立不同高度数据进行反演计算。若延拓高度较低, 则数据之间的相关性大, 会导致计算失败; 若异常中的干扰较大时, 可适当增大延拓高度和延拓层数。

式(1)未考虑背景场, 但实际中地下场源往往受背景场的影响, 对于考虑背景场的欧拉反褶积方程(式(1)中的 T 换成(T-B), 其中 B 为背景场值), 经过转换后可得:

$$(z-z_0)\frac{\partial T}{\partial z}=-NT+NB-\left((x-x_0)\frac{\partial T}{\partial x}+(y-y_0)\frac{\partial T}{\partial y}\right), \quad (4)$$

为消除背景场 B 的影响, 可在测点处, 将不同高度的数据代入式(4), 然后进行有限差分计算, 具体为:

$$\begin{aligned} (z_i-z_0)\frac{\partial T_i}{\partial z}&=-NT_i+NB-\left((x-x_0)\frac{\partial T_i}{\partial x}+(y-y_0)\frac{\partial T_i}{\partial y}\right),\\ (z_{i+1}-z_0)\frac{\partial T_{i+1}}{\partial z}&=-NT_{i+1}+NB-\\ &\left((x-x_0)\frac{\partial T_{i+1}}{\partial x}+(y-y_0)\frac{\partial T_{i+1}}{\partial y}\right), \end{aligned} \quad (5)$$

式中: i 为高度索引, 将式(4)和(5)作差可得:

$$z_0=\frac{N(T_{i+1}-T_i)+z_{i+1}\frac{\partial T_{i+1}}{\partial z}-z_i\frac{\partial T_i}{\partial z}+C}{\frac{\partial T_{i+1}}{\partial z}-\frac{\partial T_i}{\partial z}},$$

其中

$$C=\left((x-x_0)\frac{\partial T_i}{\partial x}+(y-y_0)\frac{\partial T_i}{\partial y}\right)-\left((x-x_0)\frac{\partial T_{i+1}}{\partial x}+(y-y_0)\frac{\partial T_{i+1}}{\partial y}\right)。 \quad (6)$$

式(6)与式(2)形式相同, 只需求解线性方程组便可以获得场源参数。在任一测点处, 理论上只需延拓 1 个高度层就可以获得场源参数信息。对于地下未知场源, 当延拓高度很大时, 此时延拓异常形态近似由球形场源产生, 通过式(6)可获得场源中心位置。对于式(6), 实际上假设了随着延拓高度增加, 默认构造指数不变, 因此, 式(6)对于确定球形或近球形场源等规则场源的埋深具有良好的效果。

若估算的水平位置存在误差$x_0=x_0-x_{\text{error}}$,$y_0=y_0-y_{\text{error}}$, 此时式(6)中的误差项为:

$$error=\frac{x_{error}\left(\frac{\partial T_i}{\partial x}-\frac{\partial T_{i+1}}{\partial x}\right)+y_{error}\left(\frac{\partial T_i}{\partial y}-\frac{\partial T_{i+1}}{\partial y}\right)}{\frac{\partial T_{i+1}}{\partial z}-\frac{\partial T_i}{\partial z}}, \quad (7)$$

即为给定的场源水平位置存在误差时线性方程(6)

中的误差因子。当数据延拓高度在一定尺度范围内，垂向导数的变化较大，而其水平导数的变化是微小的，此时误差项可认为接近 0。本文认为，只要水平位置仍位于场源水平范围内，获得的深度信息是可靠的。

2　模型实验

2.1　模型实验一

本文采用球体模型进行实验，验证方法的有效性。该球体模型与 Elawadi 等[17] 文献中的模型类似。重力球体模型的中心点位于(25 m, 25 m, 10 m)，球体半径为 1 m，网格间距为 1 m，图 1 为重力异常分布。

在模型实验中，仅采用 1 个网格点的异常及其延拓异常数据进行反演计算。延拓层数为 5，每层高度 0.5 m，图 2 为反演结果分布。计算结果表明，对于理想场源，当场源水平位置给定正确(给定的球体水平位置在球形半径内)时，反演出的深度和构造指数是正确的(图 2a)；当给定的水平位置不准确存在偏差时，反演的深度和构造指数仍是准确的。当异常存在一定干扰(图 1b)时，在球体中心点位置，采用本文算法和常规欧拉反褶积算法[27] 进行对比，常规欧拉褶积算法采用的窗口尺寸为 5×5，图 2b 为本文算法获得的结果，与真实结果几乎一致，图 2c 为对图 1b 中的数据采用常规欧拉反褶积方法获得的结果，与真实结果存在较大的偏差。

2.2　模型实验二

为模拟背景场对本文方法的影响，设计了线性背景情况下的球体模型实验。该模型由球体和线性背景场组成(图 3)，球体埋深 10 m，网格间距为 1 m，延拓层数为 5，每层间隔 4 m。图 4 为模型反演结果，其中，蓝圈为反演结果，红点为球体真实参数，反演获得的构造指数(*SI*)为 2，深度为 10 m，与真实值一致(图 4 中红色实点)。

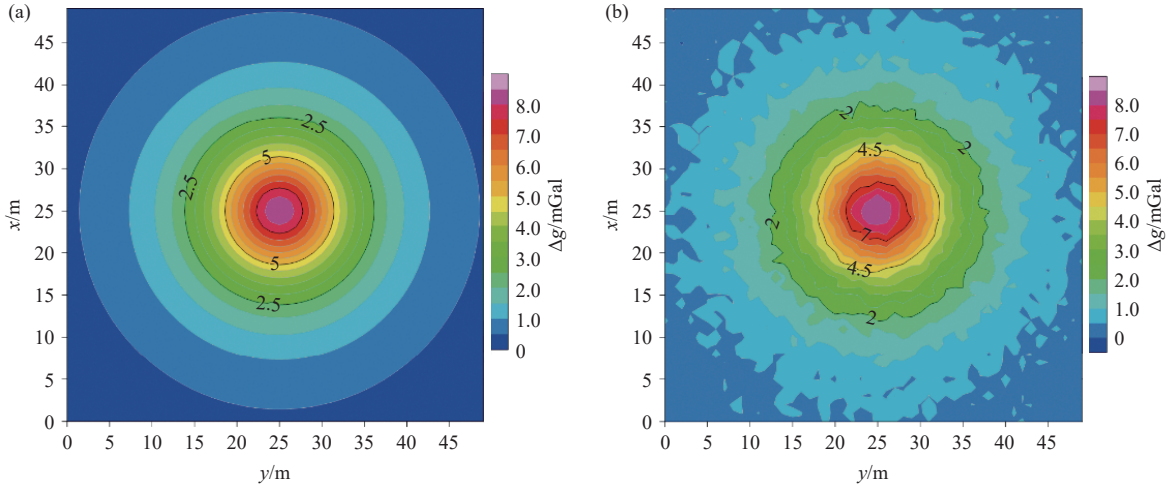
从模型实验结果来看，在存在干扰的情况下，本文提出的方法仍可以有效地确定场源埋深和构造指数。

2.3　模型实验三

根据模型实验一和实验二的结果，可以发现，对于孤立球体场源，本文方法可以有效地确定场源深度。为了进一步测试方法的有效性，采用距离较近的两个组合球体模型进行实验。两球体模型的位置分别为(54 m, 54 m, 10 m)和(46 m, 46 m, 12 m)，网格间距为 1 m。图 5 为重力异常及解析信号，解析信号可用于确定场源中心点水平位置。根据解析信号结果，确定了水平中心位置，然后分别采用本文算法和常规欧拉反褶积方法[27-28] 进行实验。在进行本文方法测试时，延拓层数为 5，每层递加 1 m。在常规反演时，由于两场源相距较近，因此采用较小的滑动窗口尺寸，大小为 5×5，由于常规欧拉反褶积方法存在发散性，仅在场源中心点位置进行计算。图 6 为实验对比结果。根据结果来看，对于场源 1，本文算法更接近真实值，对于场源 2，两者构造指数差别不大，深度信息差 0.2 m，但均与真实场源参数有一定误差。

2.4　复杂模型实验

为测试本文算法在确定复杂场源埋深时的效

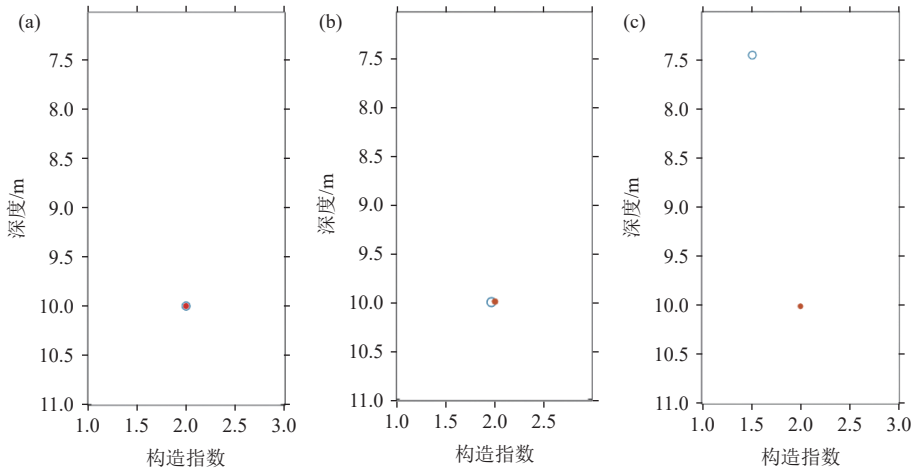


a—原始重力异常；b—添加 5% 高斯噪声后的重力异常

a—original gravity anomaly; b—gravity anomaly after adding 5% Gaussian noise

图 1　球体产生的重力异常分布

Fig. 1　Distribution of gravity anomalies generated by spheres

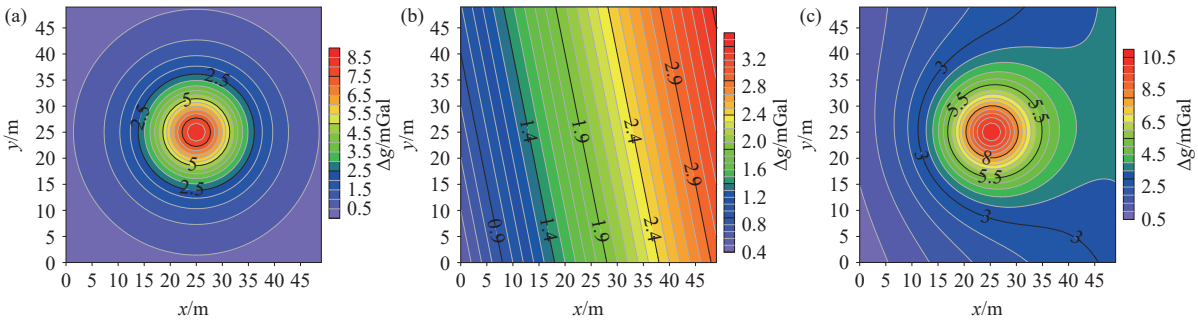


a—本文算法采用图 1a 理想球体数据反演获得的结果; b—本文算法采用图 1b 中的噪声数据反演获得的结果; c—对图 1b 中的数据采用常规欧拉反褶积算法获得的反演结果; 实心红点—球体真实参数; 蓝色圆圈—反演结果(均在球体正上方进行反演)

a—the algorithm in this article uses the ideal sphere data inversion obtained from Fig.1a to obtain the results; b—the algorithm in this article uses the noise data inversion in Fig.1b to obtain the results; c—the inversion results obtained using the conventional Euler convolution algorithm for the data in Fig.1b; solid red dot—real parameters of the sphere; blue circle—inversion results (all inverted directly above the sphere)

图 2　模型实验一反演结果分布对比

Fig. 2　Comparison of distribution of inversion results of model experiment 1



a—球体模型产生的重力异常; b—线性背景场; c—a+c 组合重力异常

a—gravity anomaly generated by the spherical model; b—linear background field; c—a+c combination gravity anomaly

图 3　组合球体模型

Fig. 3　Combination sphere model

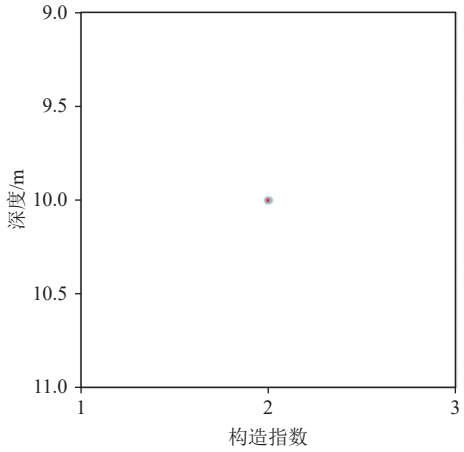


图 4　模型实验二反演结果分布

Fig. 4　Inversion results in model experiment 2

果, 将该方法应用于图 7 中的复杂模型[29]。本实验选择磁异常模型作为测试对象, 主要基于欧拉反褶积方法对重磁数据的普适性, 以及磁异常数据受剩磁干扰更显著的特征。该模型由 5 个规则模型组成, 模型的具体参数见表 1。模型中 S2、S4、S5 磁倾角为 59°, 磁偏角为 2.4°, 模型 S1、S3 的磁化方向与 S2 相反, 模型之间存在高强度的干扰和剩磁干扰。

表 1 中, z_1 和 N_1 为本文算法得到的结果, z_2 和 N_2 为常规欧拉反褶积算法得到的结果。通过对比分析, 本文算法结果总体上能够较为准确地反映场源的角点信息, 但在局部区域仍存在数值异常点, 如 S2 的 3 和 4 两个顶点、S4 的 2 顶点, 这与文献 [29] 中的情况类似, 具体原因为: S2 的上两个顶点之间存在强干扰; S4 的顶点 2 同样受相邻点的干扰。综合来看, 本文算法相较于常规欧拉反褶积方法有一定优势, 但在 S4 的 2 顶点, 常规欧拉反演结果要优于本文算法得到的结果。这可能是因为常规欧拉反演

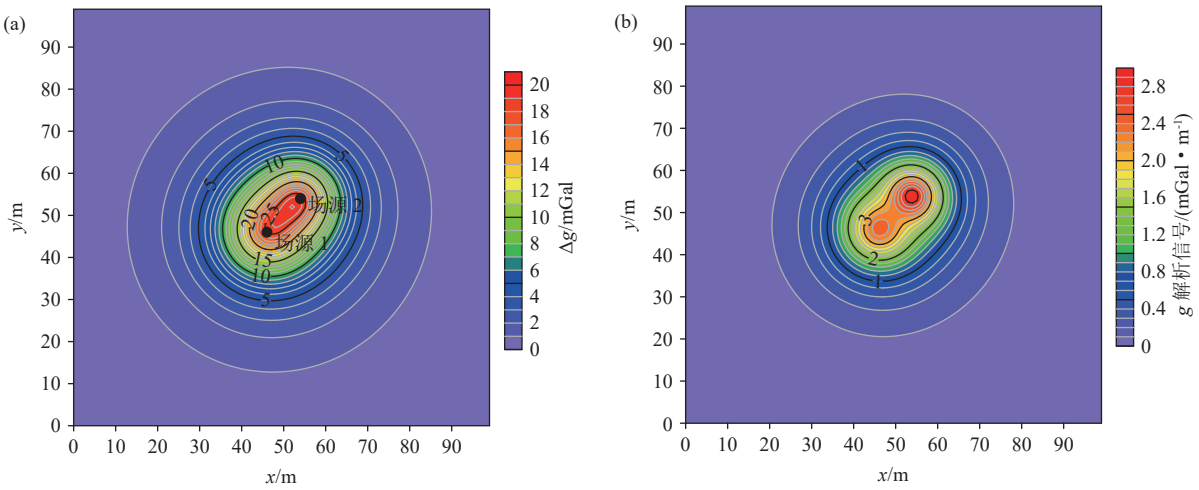


图 5　组合模型重力异常 (a) 及其解析信号 (b)

Fig. 5　Combination model gravity anomaly (a) and its analytical signal (b)

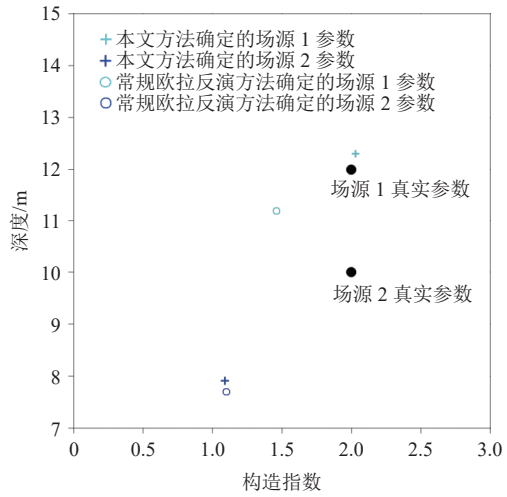


图 6　模型实验三反演对比结果

Fig. 6　Results of inversion comparison in model experiment 3

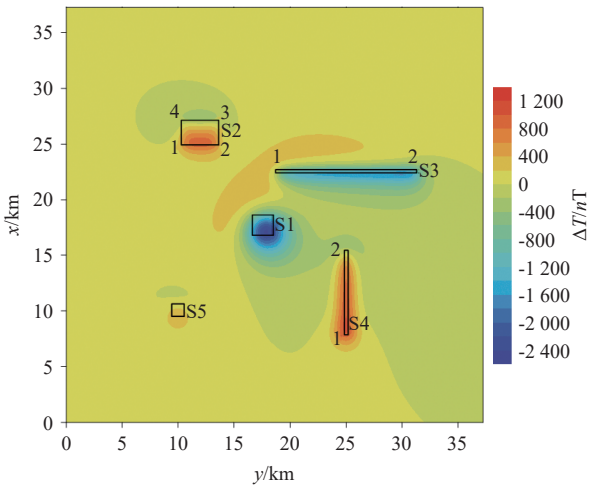


图 7　组合模型磁异常分布

Fig. 7　Distribution of magnetic anomalies in the combined model

表 1　模型参数及反演结果

Table 1　Model parameters and estimated values

场源类型	x_0/m	y_0/m	z_0/m	N	z_1/m	N_1	z_2/m	N_2/m
S1球体	17.5	17.5	3	3	3.1(3.1)	3.1(3.2)	3.0	3.0
S2水平薄板 1	25	10.5	1	1	0.8(1.0)	0.8(1.1)	1.2	1.6
S2水平薄板 2	25	13.5	1	1	0.8(0.9)	0.7(0.9)	0.9	1.2
S2水平薄板 3	27	13.5	1	1	10.1(0.9)	17.8(1.1)	−0.3	−1.1
S2水平薄板 4	27	10.5	1	1	16.5(1.3)	29.1(1.8)	−0.0	−0.6
S3无限延伸板状体 1	22.5	19	1	1	1.0(2.6)	2.5(6.0)	0.8	1.0
S3无限延伸板状体 2	22.5	31	1	1	0.8(0.9)	1.3(1.4)	0.9	1.2
S4水平有限元 1	8	25	1.5	2	1.4(1.6)	1.9(2.2)	1.5	2.1
S4水平有限元 2	15.25	25	1.5	2	0.4(1.5)	0.2(2.1)	1.0	1.1
S5球体	10	10	2	3	1.8(1.8)	2.5(2.5)	1.3	1.9

结果采用了窗口数据进行反演，参与的数据量相对较多。因此我们采用 3×3 的滑动窗口结合本文算法再次进行反演，表 1 括号内的数值为采用滑动窗口反演获得的结果，可以看出有明显改善，特别是对于 S2 模型，效果要显著优于常规欧拉反褶积方法。但也发现本文算法在 S3 的 1 角点处结果仍存在一定

误差, 估算的构造指数值不甚合理, 可能是由于该点干扰累加导致。对于获得的构造指数不合理的情况, 建议采用多种反演方法选择合理的结果。

3　实际数据

为进一步验证本文算法的有效性和实用性, 选取巴西某地区的实测磁数据(图 8)。该地区存在一碱性碳酸盐侵入体。在确定磁性体中心位置时, 本文根据解析信号极大值确定地下场源的水平位置。Melo 等[28] 采用欧拉褶积算法对该磁异常进行反演计算。结果表明, 当构造指数选择为 2 时, 反演结果聚集程度高, 此时深度范围为 600~800 m, 根据 Melo 等[28] 描述, 该目标体可能为类似圆柱的异常体。采用本文提出的方法对图 8 中的异常进行计算, 延拓层数为 5, 图 9 为反演结果, 反演出的构造指数为 2.2, 深度为 741.2 m, 与 Melo 等[28] 的结果基本吻合。

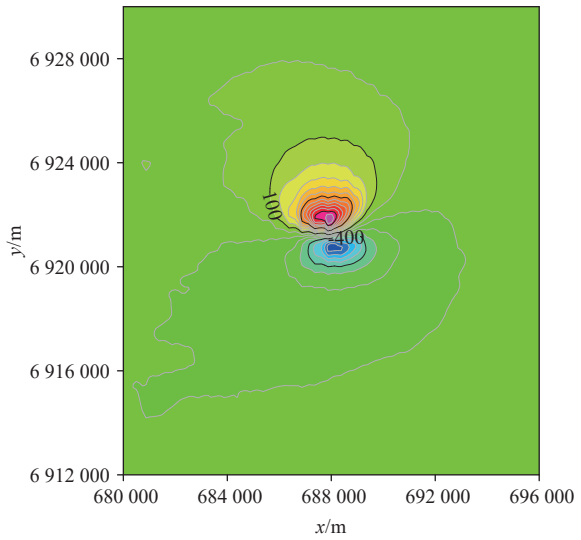


图 8　实测原始异常

Fig. 8　Actual measured original anomaly

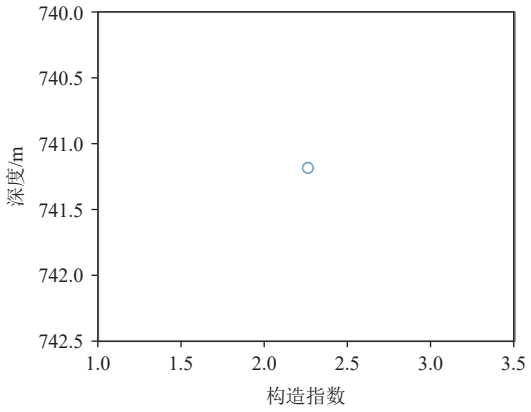


图 9　实测原始数据反演结果分布

Fig. 9　Distribution of inversion results of actual measured original data

4　结论

基于场源深度与构造指数之间的线性数学关系式, 本文提出了一种联合不同高度延拓数据的反演算法。通过构建限定范围内的多高度延拓方程组, 实现了对地质体深度与构造指数的反演。为验证算法的可靠性, 首先采用受干扰的球体模型和组合模型进行实验, 实验结果与真实场源参数基本一致。然后进一步采用复杂模型和实际数据进行实验, 实验结果表明, 相较于常规欧拉反褶积算法, 本文算法能更可靠地确定地质体信息, 验证了方法的实用性。在本文算法中, 向上延拓技术的引入可在一定程度上削弱外部干扰的影响。复杂模型实验结果表明, 该算法在延拓至一定高度后依然适用。延拓高度可根据网格间距大小, 在 0.2~2 倍网格间隔范围内选取。

尽管本文方法可给出较准确的场源深度和构造指数参数, 但如同常规或扩展的欧拉反褶积方法一样, 仍存在一定局限性, 如受背景场干扰, 在强干扰背景下, 其反演结果的精度会受到一定程度的影响。后续将开展进一步研究。

致谢: 感谢巴西地质调查局提供实测数据。

参考文献(References):

[1] Reid A B, Allsop J M, Granser H, et al. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution[J]. Geophysics, 1990, 55: 80−91.

[2] Nabighian M N, Hansen R O. Unification of Euler and Werner deconvolution in three dimensions via the generalized Hilbert transform[J]. Geophysics, 2001, 66: 1805−1810.

[3] Stavrev P Y. Euler deconvolution using differential similarity transformations of gravity or magnetic anomalies[J]. Geophysics Prospecting, 1997, 45: 207−246.

[4] Gerovska D, Araúzo-Bravo M J, Whaler K, et al. Three-dimensional interpretation of magnetic and gravity anomalies using the finite-difference similarity transform[J]. Geophysics, 2010, 75: L79−L90.

[5] Liu Q, Shu Q, Gao W, et al. Automatic interpretation of potential field data based on Euler Deconvolution with linear background[J]. Applied Science, 2023, 13, 5323.

[6] Pasteka R. The role of the interference polynomial in the Euler deconvolution algorithm[J]. Bollettino Di Geofisica Teorica Ed Applicata, 2006, 47(1-2): 171−180.

[7] Dewangan P, Ramprasad T, Ramana M V,et al. Automatic interpretation of magnetic data using Euler Deconvolution with nonlinear background[J]. Pure and Applied Geophysics, 2007, 164(11): 2359−2372.

[8] Zhou W, Nan Z, Li J. Self-constrained Euler Deconvolution using

potential field data of different altitudes[J]. Pure and Applied Geophysics, 2016, 173(6): 2073−2085.

[9] 周文月, 陈昌昕, 侯振隆, 等. 不同高度数据联合欧拉反褶积法研究 [J]. 地球物理学报, 2018, 61(8): 3400−3409.
Zhou W Y, Chen C X, Hou Z L, et al. Research on the joint Euler deconvolution method for data at different heights[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2018, 61(8): 3400−3409.

[10] Thompson D T. EULDPH: A new technique for making computer assisted depth estimates from magnetic data[J]. Geophysics, 1982, 47: 31−37.

[11] Mikhailov V, Galdeano A, Diament M, et al. Application of artificial intelligence for Euler solutions clustering[J]. Geophysics, 2003, 68(1): 168−80.

[12] 史辉, 刘天佑, Dawi M G. 利用欧拉反褶积法估计二度磁性体深度与位置 [J]. 物探与化探, 2005, 29(3): 230−233.
Shi H, Liu T Y, Dawi M G. Estimation of depth and position of second degree magnetic bodies using Euler deconvolution method[J]. Geophysical and Chemical Exploration, 2005, 29(3): 230−233.

[13] Ugalde H, William A M. Cluster analysis of Euler deconvolution solutions: New filtering techniques and geologic strike determination [J]. Geophysics, 2010, 75(3): L61−L70.

[14] 石磊, 郭良辉, 孟小红. 估计磁场源位置的倾斜角梯度算法改进 [J]. 物探与化探, 2012, 36(2): 287−292.
Shi L, Guo L H, Meng X H. Improvement of tilt angle gradient algorithm for estimating magnetic field source location[J]. Geophysical and Chemical Exploration, 2012, 36(2): 287−292.

[15] 刘强, 姚长利, 郑元满. 基于阻尼最小二乘法的位场欧拉反演方法 [J]. 地球物理学报, 2019, 62(10): 3710−3722.
Liu Q, Yao C L, Zheng Y M. Euler inversion method for potential field based on damping least squares method[J]. Journal of Geophysics, 2019, 62(10): 3710−3722.

[16] Fairhead J D. Euler: Beyond the “black box”[C]// SEG Technical Program Expanded, Society of Exploration Geophysicists, 1994.

[17] Elawadi E S L A M, Ushijima K E I S U K E. Interpretation of isolated gravity anomalies using Euler deconvolution[C]// 64th EAGE Conference & Exhibition, European Association of Geoscientists & Engineers, 2002.

[18] Salem A , Ravat D. A combined analytic signal and Euler method (AN-EUL) for automatic interpretation of magnetic data[J]. Geophysics, 2003, 68(6): 1952−1961.

[19] 姚长利, 管志宁, 吴其斌, 等. 欧拉反演方法分析及实用技术改进 [J]. 物探与化探, 2004, 28(2): 150−155.
Yao C L, Guan Z N, Wu Q B, et al. Analysis of Euler inversion method and practical technical improvement[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2004, 28(2): 150−155.

[20] Castro F R, Oliveira S P, Souza J D , et al. Constraining Euler deconvolution solutions through combined tilt derivative filters[C]// SEG Technical Program Expanded Abstracts, 2019.

[21] Silva J B C, Barbosa V C F. 3D Euler deconvolution: Theoretical basis for automatically selecting good solutions[J]. Geophysics, 2003, 68(6): 1962−1968.

[22] Santos T A, De Sousa M. A Euler deconvolution applied to potential field data from the Parnaı´ba Basin Brazil[C]// 8th International Congress of the Brazilian Geophysical Societ, Brazilian Geophysical Society, 2003.

[23] Ebbing J, Skilbrei J R, Olesen O. Insights into the magmatic architecture of the Oslo graben by petrophysically constrained analysis of the gravity and magnetic field[J]. Journal of Geophysical Research Solid Earth, 2007, 112(B4): B04404.

[24] Aziz A M, William A S, El-Arabi H S, et al. Application of analytic signal and Euler deconvolution in archaeo-magnetic prospection for buried ruins at the ancient city of Pelusium, NW Sinai, Egypt: A case study[J]. Surveys in Geophysics, 2013, 34: 395−411.

[25] 郭志宏. 航磁及梯度数据正反演解释方法技术实用化改进及应用 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2004.
Guo Z H. Practical improvement and application of forward and inverse interpretation methods for aeromagnetic and gradient data [D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2004.

[26] Melo F F, Barbosa V C, Uieda L, et al. Estimating the nature and the horizontal and vertical positions of 3D magnetic sources using Euler deconvolution[J]. Geophysics, 2013, 78(6): J87−J98.

[27] Barbosa V C F, Silva J B C, Medeiros W E. Stability analysis and improvement of structural index estimation in Euler deconvolution[J]. Geophysics, 1999, 64(1): 48−60.

[28] Melo F F, Valéria C F B. Reliable Euler deconvolution estimates throughout the vertical derivatives of the total-field anomaly[J]. Computers & Geosciences, 2020: 104436.

[29] Gerovska D, Araúzo-Bravo M J. Automatic interpretation of magnetic data based on Euler deconvolution with unprescribed structural index[J]. Computers & Geosciences, 2003, 29(8): 949−960.

Finite-difference Euler deconvolution method based on data from different heights

YAN Hao-Fei [1], LIU Qiang [1], LI Jin-Lei [2], LI Fang [1], AI Han-Bing [3]

(1. *China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Natural Resources*, *Beijing* 100083, *China*; 2. *School of Geophysics and Information Technology*, *China University of Geosciences* (*Beijing*), *Beijing* 100083, *China*; 3. *School of Geophysics and Geomatics*, *China University of Geosciences* (*Wuhan*), *Wuhan* 430074, *China*)

Abstract: In potential field exploration, the Euler deconvolution method has been extensively utilized due to its minimal requirement for prior information. However, it yields significant dispersed results due to external interference. Based on a further investigation of the Euler deconvolution method, this study proposed a simple, effective finite-difference Euler deconvolution method for determining the depth and structural index of field sources. The proposed method leveraged the linear relationship between depth and structural index in the Eu-

ler equation. Combining data from multiple continuation heights at potential field source locations, a system of equations was constructed using the finite difference method to solve for coefficients, thereby determining the depth and structural index of field sources. The inversion was limited to potential horizontal locations of field sources, effectively reducing the number of inversion results. Additionally, the strategy of combining data from different heights for inversion mitigated the impacts of noise and other disturbances. Finally, the proposed method proved effective through model experiments and actual data.

Key words: potential field exploration; Euler deconvolution; finite difference; structural index

（本文编辑: 王萌）