

文章编号:1672—7940(2008)06—0680—06

解析延拓法在桃村磁法处理中的应用

朱琳, 刘怀山, 张维冈, 张进, 李高林

(中国海洋大学 海底科学与探测技术教育部重点实验室, 青岛 266100)

摘要:磁法勘探是常用的地球物理方法,随着新的数据处理的出现和资料解释技术的提高,磁法勘探的应用领域越来越广泛。解析延拓法在磁异常数据解释中有着重要的作用,向上延拓能有效的排除浅层干扰,突出深层异常特征,而向下延拓则能有效的排除深层干扰,相对突出浅层异常特征。通过对山东栖霞桃村进行的地球物理磁法勘探的磁异常数据进行预处理后,分别作向上和向下延拓处理,在延拓后的磁异常等值线图上有效地识别了断层、天然气管道等异常现象,取得了明显效果。

关键词:解析延拓;磁法勘探;桃村

中图分类号:P631

文献标识码:A

收稿日期:2008—07—31

The Application of Analytic Continuation in Taocun Magnetic Prospecting

Zhu Lin, Liu Huaishan, Zhang Weigang, Zhang Jin, Li Gaolin

(Key Lab of Submarine Geosciences and Prospecting Techniques, Ministry of Education,
Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: The analytic continuation is important in the data processing of magnetic anomaly. Its main effect is that the upward continuation could effectively remove the noise in shallow layer and predominate the characteristic of anomalous body in deep layer. On the other hand, the downward continuation could predominate the characteristic of anomalous body in shallow layer. The thesis is about the data processing of magnetic anomaly in Taocun of Qixia in Shandong Province. Through processing, the Taocun fault and the natural gas piping could be obviously illustrated in the magnetic contour figure after continuation.

Key words: analytic continuation; magnetic prospecting; Taocun

磁法勘探是观测研究地下介质磁场变化的一种地球物理勘探方法,根据测得的磁场变化寻找具有磁性异常的岩矿体、埋设物体等。目前磁法勘探在区域地质调查、磁铁矿勘查、寻找地下热

源、含水破碎带、地下金属管线、地下电缆、地下未爆炸弹、废弃金属障碍物、沉船、古代冶炼及制陶窑遗址、居民区的烧火坑遗迹和其它带有磁性的埋藏文物(如铁器、陶制品)等方面应用十分广泛,

基金项目:中国高技术研究发展计划(863)课题(编号:2006AA09Z339)和山东省自然科学基金项目(编号:Y2006E09)资助。

作者简介:朱琳(1984—),女,中国海洋大学海洋地球科学学院硕士研究生,主要从事地球物理数据处理方面的工作和学习。

E-mail: zh11018@163.com

刘怀山(1962—),男,中国海洋大学海洋地球科学学院教授,主要研究方向为地球物理勘探技术,海洋地质地球物理综合研究技术以及计算机技术在地质和地球物理上的综合应用研究。

特别是找铁磁体是卓有成效的,为举世所公认。

随着计算机的广泛运用,磁异常数据处理技术得到广泛发展,出现一系列高精度处理技术:如磁频域中磁异常变换法;运用希尔伯特变换的快速反演法^[1],不需要给出磁性参量资料便可获得由岩脉、断层产生的磁异常;拟BP神经网络反演法^[2]需要选择变步长、正确的场源分布和强约束条件;Radon变换法^[3]从轴向谱的等价问题上实现了三度体异常到二度体异常的转化,简化了三度体问题,但它对一维反演结果的要求将更严格;小波变换^[4,5]也已应用于磁异常的处理解释异常谱的重叠问题和发现微弱磁异常;重磁异常宽度幅值特征滤波^[6]从场分离和有效信号提取的角度改善异常处理和解释结果等等。

解析延拓法是一种常用的有效的数据处理方法。根据观测平面或剖面上的磁异常值计算高于(或低于)它的平面或剖面上异常值的过程称为向上(或向下)延拓。由于磁场值是与场源到测点距离的平方(二度体)或者立方(三度体)成反比,进行向上延拓计算时,由浅部场源体引起的范围小、比较尖锐的异常,随高度增加的衰弱速度比较快;而由深部场源体引起的范围大的宽缓的“低频”异常,随高度增加的衰弱速度比较慢,因此,向上延拓有利于相对突出深部异常特征;而进行下延拓计算时,由浅部场源体引起的“高频”异常随深度增加的增大速度比较快,而由深部场源体引起的“低频”异常其增大速度比较慢,因此向下延拓相对突出了浅部异常特征^[7]。

解析延拓法对山区重磁场的处理解释特别重要,国内外专家已提出过多种基于等效源层空间域曲面位场延拓方法^[8]。通过对山东栖霞桃村地球物理勘探所得的磁异常数据进行处理,根据不同的地质目标分别进行向上和向下延拓处理,在磁异常等值线图上有有效的识别出了深层断裂、浅层天然气管道等地质现象。

1 解析延拓算法

首先对解析延拓法进行简单的介绍,由已知观测平面上的磁异常,换算到高于该平面的上半空间任意点的磁异常,实际上是解拉普拉斯方程的第一边界问题(狄里克莱问题)^[9]。

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla^2 u = 0 \\ \Delta u = 0 \text{ (在 } \Omega \text{ 内)} \\ u|_S = f(M) \text{ (在 } \Omega \text{ 的边界上)} \end{array} \right\} \quad (1)$$

1.1 向上延拓

对三度体,解方程(1)可得在上半空间($z < 0$)延拓的公式:

$$u(x, y, z) = \frac{z}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{u(\xi, \eta, 0)}{[(\xi - x)^2 + (\eta - y)^2 + z^2]^{3/2}} d\xi d\eta \quad (2)$$

改用柱坐标表示:

$$Z_a(M_0) = \frac{z}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \frac{Z_a(\varphi, \rho)}{(z^2 + \rho^2)^{3/2}} \rho d\rho d\varphi \quad (3)$$

式(3)可改写为:

$$Z_a(M_0) = \sum_0^n \int_{\rho_n}^{\rho_{n+1}} \frac{z \bar{Z}_a(\rho)}{(z^2 + \rho^2)^{3/2}} \rho d\rho \quad (4)$$

其中:

$$\bar{Z}_a(\rho) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} Z_a(\varphi, \rho) d\varphi \quad (5)$$

即积分分两步,先求圆周上的平均值 $\bar{Z}_a(\varphi, \rho)$,然后再求出 ρ 由 $0 \sim \infty$ 积分值。

设式(3)中 z 为 mh ($m = 1, 2, \dots, n$),则式(3)变为:

$$Z_a(M_0) = \int_0^{\infty} \frac{mh \bar{Z}_a(\rho) \rho d\rho}{(\rho^2 + m^2 h^2)^{3/2}} \quad (6)$$

为了求得 $Z_a(M_0)$,可以先求出式(6)中 ρ 由 $\rho_i \sim \rho_{i+1}$ 范围内的积分然后求和:

$$\begin{aligned} Z_a(M_0) &= \sum_{i=0}^{n-1} \int_{\rho_i}^{\rho_{i+1}} \frac{mh \bar{Z}_a(\rho) \rho d\rho}{(\rho^2 + m^2 h^2)^{3/2}} \\ &= \sum_{i=0}^{n-1} mh \left\{ [\rho_i^2 + (mh)^2]^{-1/2} - [\rho_{i+1}^2 + (mh)^2]^{-1/2} \right\} \left[(\rho_{i+1} - \rho_i)^{-1} \int_{\rho_i}^{\rho_{i+1}} \bar{Z}_a(\rho) d\rho \right] \quad (7) \end{aligned}$$

应用式(4)计算向上延拓值时,可以利用方形网结点上的异常值。若以点距作为所有长度的度量单位,并取: $\rho_i = 0, 1h, \sqrt{2}h, \sqrt{5}h, \sqrt{8}h, \sqrt{13}h, 5h, \sqrt{50}h, \sqrt{136}h$,则可以算出上延高度 h 的延拓值。如果所选的取值点不在方形网结点上,还需再用一元高次插值公式内插出所需的异常值。

1.2 向下延拓

磁异常的向上延拓值可以利用积分式(4)比较精确地算出,这两个公式却不能用来计算向下延拓值,因为向下延拓的计算是对异常按指数关系放大。异常的“频率”越高,放大的越强烈。因此在利用积分公式进行向下延拓计算时,放大的最厉害的是异常中包含的数据误差及一些“高频”干扰,结果异常曲线出现强烈的“振荡”现象,但在一定的深度范围内,利用向下延拓计算的结果中

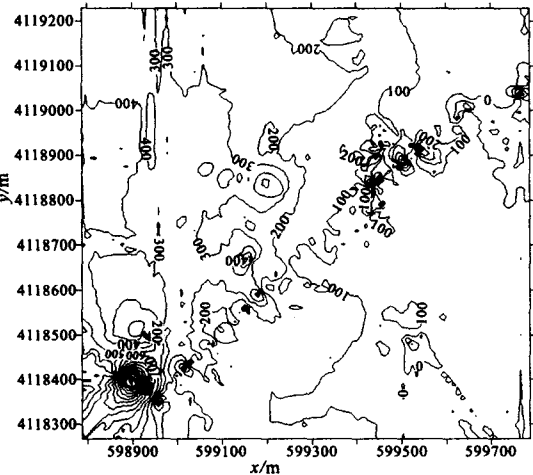


图2 测区磁异常等值线图
Fig. 2 Magnetic contour of survey area

异常值单位均为 nT)。从磁异常等值线图上可以看出,西北侧有明显的正异常,东南侧有明显的负异常,异常的分界基本沿着 45° 方向,通过对本区地质资料的分析可知这与桃村断裂的方向基本一致,这可能是因为断裂发生在具有相同磁性的岩

石中,由于磁性岩石的上、下或水平错动,使断裂两侧的异常特征明显不同。西北侧等值线较密集,磁异常表现出陡、窄、强和不稳定,这是上升一侧,东南侧磁异常比较平滑,磁异常表现出缓、宽、弱和平滑,这是下降一侧,由于桃村断裂沿东南方向倾,据此可推断该断裂为一正断层。

同时可以看出,在等值线图上有一明显的磁异常带,其等值线比较密集,在西南侧最高异常达到 1500nT。由实际的地面踏勘可知,这是地下埋藏的一天然气管道,深度约为 11m,可见金属对磁法勘探有比较明显的影响。

为消除浅层干扰,突出深部异常特征,对磁异常分别进行向上 0.5m、1m、2m 和 4m 的延拓处理,所得磁异常等值线图如图 3 所示。由图 3 可见,向上延拓 0.5m 和 1m 后(如图 3(a)和图 3(b)),磁异常等值线仍比较乱,浅层干扰仍然比较强,当向上延拓距离继续增大到 2m(如图 3(c)),干扰因素减少了,磁异常等值线变得平滑,尤其是延拓 4m 后(如图 3(d)),磁异常等值线图上曲线更加平滑,西北侧和东南侧正负异常的差

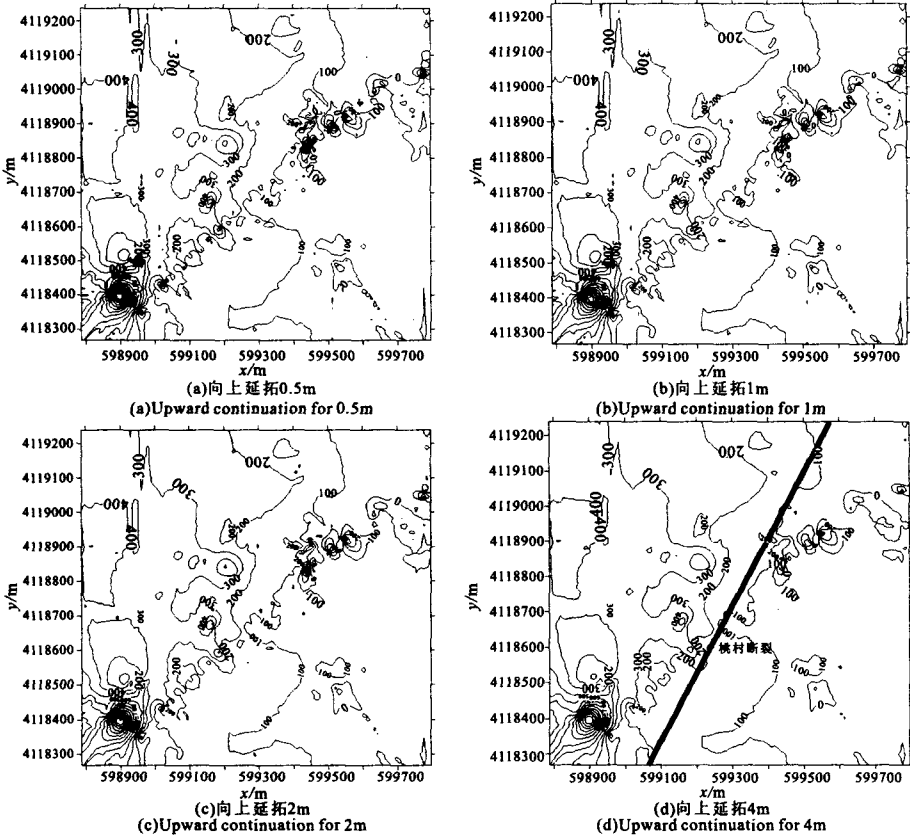


图3 向上延拓磁异常等值线图
Fig. 3 Magnetic contour after upward continuation

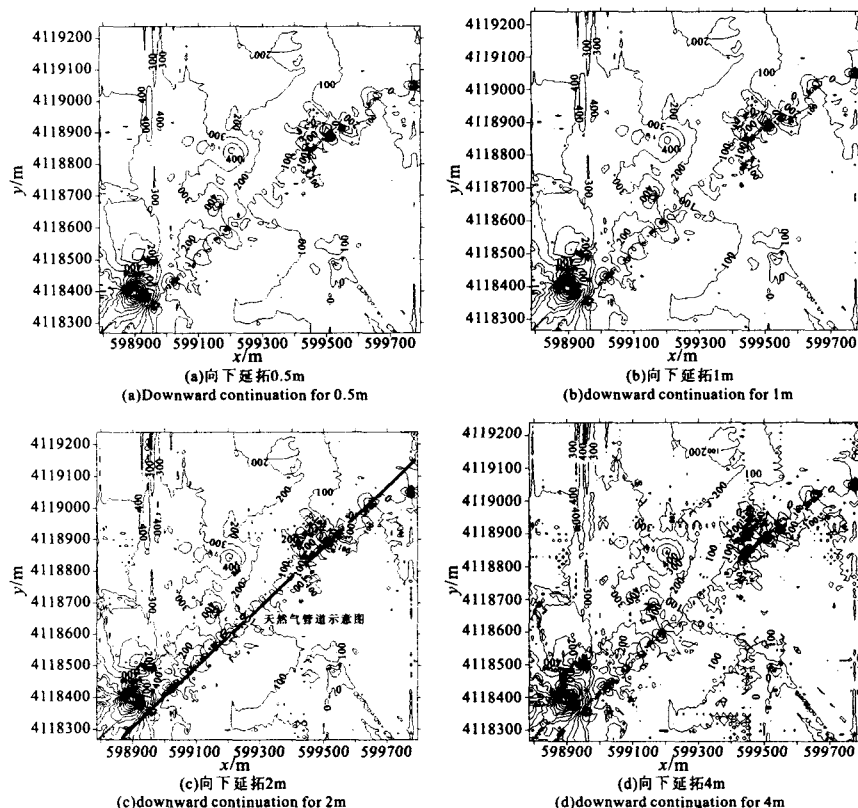


图4 向下延拓磁异常等值线图

Fig. 4 Magnetic contour after downward continuation

异更加明显,浅部异常的干扰的到了压制,通过综合地质资料以及磁异常特征可以大致推断出断裂带的位置,如图3(d)所示。要进一步探明断层的位置、深度和规模,需要结合其它物探方法。

为突出浅层干扰特征,减小深部干扰,对磁异常分别向下进行0.5m、1m、2m和3m延拓处理,所得磁异常等值线图如图4所示。由图4可见,向下延拓0.5m和1m(如图4(a)和图4(b))后,等值线变得密集,特别在天然气管道附近,等值线近乎重叠,局部异常更加明显,能较好的圈定出管道的形态和走向,但由于地形因素的影响,等值线未能形成明显的条带状,特别是向下延拓2m(如图4(c))后,等值线能比较全面的反映管道的出分布位置。但向下延拓3m(如图4(d))后,磁异常等值线图上出现很多干扰,说明进行向下延拓计算时,“高频”干扰放大得最厉害,使得异常曲线出现强烈的“振荡”现象,使得计算出的下延值无法使用,在实际处理中应选取合适的向下延拓距离。图4(c)为推断出来的天然气管道走向图,与实际资料是一致的。

4 结论与建议

1)对于寻找地下具有磁性差异的异常体(如断层、管道等等),磁法勘探是一种有效的方法,不仅可应用于区域探测,划分大地构造、探测深部断层,对浅层的、局部地质体,磁法探测也有较好的分辨能力,其效率较高。

2)根据不同的探测目的,对磁异常资料作解析延拓处理是必要的。向上延拓与向下延拓的结合,对于区分不同性质的磁异常、排除干扰异常、突出有效异常是非常有效的。在延拓处理时,应根据实际情况选择合适的延拓距离,避免干扰。

3)由于桃村所进行的磁法勘探资金条件限制,范围较小,未来勘探可在已经勘探区外扩大探区,并且减小测量点距,加密测点,进一步探明地质构造特征。并且物探方法的综合运用和解释是必不可少的。除磁法勘探外,结合电法勘探、地震勘探进行综合分析,能更有效地排除干扰信息影响,合理选择方法,全面反映地质体特征。

参考文献:

- [1] 陈国新, 管志宁. 二度体磁异常快速反演法[J]. 物探化探计算技术, 1989, 11(4): 285~296.
- [2] 管志宁, 候俊胜, 黄临平, 等. 重磁异常反演的拟 BP 神经网络方法及其应用[J]. 地球物理学报, 1998, 41(2): 242~251.
- [3] 孟小红, 王霞. 利用 Radon 变换法进行三度体重磁异常反演[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1995, 20(5): 594~598.
- [4] 杨宗杰, 杨林, 王勤聪. 小波变换在位场数据处理中的应用[J]. 石油物探, 1997, 36(2): 86~93.
- [5] 何继善, 温佩林, 肖兵, 等. 小波分析在地球物理勘探中的应用[J]. 中国有色金属学报, 1997, 7(4): 14~19.
- [6] 刘天佑, 崔宁, 蔡鑫, 等. 重磁异常宽度幅值特征滤波[J]. 石油地球物理勘探, 1996, 31(2): 225~231.
- [7] 管志宁, 郝天珧, 姚长利. 21 世纪重力与磁法勘探的展望[J]. 地球物理学进展, 2002, 17(2): 237~244.
- [8] 长春地质学院磁法教研室编. 磁法勘探[M]. 北京: 地质出版社, 1981. 331~342.
- [9] 温一波, 石小平. 磁法勘探解析延拓算法在探测地下洞穴中的应用[J]. 云南大学学报(自然科学版), 1998, 20(1): 47~50.
- [10] 裴彦良, 韩国忠. 精细磁法在胶州湾口海底隧道工程地质勘察中的应用[J]. 海洋测绘, 2007, 27(4): 57~60.
- [11] 杨金玉, 张训华. Surfer 和 Grapher 在地球物理位场延拓可视化软件开发中的应用[J]. 物探化探计算技术, 2007, 29(3): 264~268.

《工程地球物理学报》征稿简则

本刊是由中国地质大学(武汉)和长江大学联合主办, 国内外公开发行的工程地球物理类专业学术期刊。为提高刊登论文的代表性, 加强本刊在国内外的学术辐射, 特面向国内外公开征稿。欢迎地球物理学界及相关领域的专家、学人投稿。

1. 稿件内容: 本刊主要刊登工程、环境地球物理的新理论、新方法、新技术; 重磁、地震、电磁法、地质雷达、核磁共振等方法的应用新成果; 工程勘察(尤其是国家重大、重点工程)和环境勘察中的新技术新成果; GPS、GIS、RS 技术应用新方法新领域; 地球物理资料采集、资料处理和反演方面的新进展; 以及适用于工程和环境领域的地球物理仪器等方面的学术论文, 稿件要求具有较高的学术水平或重要的工程应用价值。

2. 稿件要求: 来稿应符合科技论文著作要求, 论点明确、论证严谨、论据充分、内容创新、数据可靠、方法科学、结论文字通顺简洁, 字数在 8000 字以内。来稿应采用法定计量单位, 采用国家有关出版标准。著录格式参见本刊《投稿须知》。

3. 投稿约定: 所有来稿应打印清楚, 交磁盘者同时附打印稿, 欢迎电子邮件方式投稿; 不可一稿多投; 一经投稿, 视为作者授权本刊编辑部可作不影响作者论点的必要性文字加工。

4. 编辑部收到来稿后, 立即给作者收稿回执并组织同行专家审阅, 根据审稿情况立即与作者沟通稿件处理意见(同意刊登或需要修改等)。对于投稿两个月后(以收稿邮戳为凭)无答复者, 作者可以查询或自行处理。

5. 本刊除印刷版外, 同时入编清华大学出版社出版的《中国学术期刊(光盘版)》、中国期刊网全文收录期刊、万方数据——数字化期刊群全文收录期刊。重庆维普资讯的《中文科技期刊数据库》全文收录期刊。台湾华艺(思博网 CEPS)中文电子期刊服务资料库全文收录期刊。若有异议者, 请提前说明。

6. 编辑部地址: 湖北省武汉市武昌洪山区鲁磨路 388 号, 中国地质大学(武汉)《工程地球物理学报》编辑部。

电话: (027)67883682 67883681 传真: (027)67883681 邮编: 430074

E-mail: cjeg@cug.edu.cn

网址: <http://unit.cug.edu.cn/gcdqwl/>