

文章编号: 1001-1749(2024)01-0091-06

拟 MQ 函数在物探数据处理中的应用

张一凡^{1,2}, 刘海飞^{1,2}, 柳建新^{1,2}, 郭鹏^{1,2}, 刘昕^{1,2}

(1. 中南大学 地球科学与信息物理学院, 长沙 410083;

2. 有色资源与地质灾害探查湖南省重点实验室, 长沙 410083)

摘要: 拟 MQ 函数是一种保形、稳定、快速的插值方法, 可改善地球物理数据处理效果。笔者首先介绍了 MQ 函数的基本原理, 给出拟 MQ 函数及其导数的表达式, 并将该函数应用于物探数据处理案例中以检验应用效果。发现在拟合地表高程数据时, 利用该函数能够很好地逼近地表形态, 最大程度保留原始数据特征; 在对高密度电法数据处理中, 利用该函数能很好地压制噪声, 从而更有利于数据的分析与解释; 在对电测深数据处理中, 利用该函数进行一维插值和数值微分, 能够较好地提取地下弱异常信息, 从而展示出拟 MQ 函数在物探数据处理中的实用性及潜力。

关键词: 拟 MQ 函数; 插值; 数值微分

中图分类号: P631 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2024.01.10

0 引言

地球物理观测的数据都可视为空间、时间域离散的数字信号。在点距稀疏不均匀(如航空物探)、因客观条件造成数据缺失(如地形因素)、仪器设备不稳定造成部分坏记录的情况下, 往往需要通过有效插值方法尽量规律性补足观测数据集。另外, 为避免数据解释得到错误的认识, 强噪音引起的异常数据需在数据处理中剔除, 并尽量采用一种保光滑、保形状的插值方法对真实数据进行恢复。线性插值、样条插值等常规插值方法在地球物理数据处理中应用广泛, 但对于一些特殊场景, 其插值光滑效果还需改进。

MQ 函数(Multi-quadric function)最早由 Hardy^[1]于 1971 年提出, Franke^[2]发现在 29 类散乱数据插值中, MQ 函数的精确性、有效性、稳定性优于其它方法, 然而利用 MQ 函数需要求解线性方程组且系数矩阵通常是病态的。因此, 对 MQ 函数进行

某种近似且避免求解线性方程组的方法逐渐引起重视, 这种逼近函数被称为拟 MQ 函数。Beatson 和 Powell^[3]利用 MQ 函数提出了三种单变量的拟 MQ 插值算子 Q_A 、 Q_B 、 Q_C , 并得到了它们的误差, 同时证明拟插值算子 Q_C 具有很好的线性再生性和插值精度。Wu 和 Schaback^[4]对 Q_C 进行改进, 提出了一种新的拟 MQ 插值算子 Q_D , 并讨论了它们的逼近阶和保形性。后来, 该插值算子被广泛应用于求解偏微分方程^[5-9]。此外, Ling^[10]在 Wu 和 Schaback 工作的基础上, 提出了一种多水平单变量拟 MQ 插值算子。Ling^[11]还利用空间维数分离方法, 构造了拟 MQ 插值算子 Q_R 。Jiang 等人^[12]在拟插值算子 Q_D 的基础上构造了一种高精度的拟插值算子 Q_W , 该算子具有保线性且具有很高的精度。高文武^[13]讨论了基于导数信息的拟 MQ 插值的构造方法, 并用该方法构造了一个拟 MQ 插值算子, 证明了该算子的收敛性及保形性。

拟 MQ 函数无需求解线性方程组, 根据离散节

收稿日期: 2022-06-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(42130810, 41774149); 湖南省自然科学基金项目(2020JJ4694)

第一作者: 张一凡(1999-), 女, 硕士, 主要从事受限观测场地三维电阻率勘探方法研究, E-mail: 447875102@qq.com。

通信作者: 刘海飞(1975-), 男, 博士, 副教授, 主要从事电磁法数值模拟与反演成像, E-mail: liuhaifei@126.com。

点能快速直接给出插值结果,还具有好的保形性、计算稳定、计算量小等优点。因此,在过去的几十年里,拟 MQ 函数取得了一定的发展^[14-16]。但整体而言,该函数在地球物理领域的应用研究较少。

笔者利用 Wu 和 Schaback^[4]提出的拟 MQ 插值算子 Q_D ,分析整理了其在物探数据处理中的应用,主要包括拟合地表高程、高密度电法数据插值与平滑、电测深曲线插值与求导等,取得了良好的处理效果,证实了该函数在物探数据处理中的有效性和实用性。

1 基本理论

1.1 MQ 函数

已知点集 $\{(x_i, f(x_i))\}_{i=0}^n$, 构建插值函数使其满足插值条件:

$$P(x_j) = \sum_{i=0}^n c_i \varphi(x_j - x_i) = f(x_j), j = 0, 1, \dots, n \quad (1)$$

式中: $\varphi(x-x_i)$ 为 MQ 函数, 对于一维插值问题, 其形式为:

$$\varphi_i(x) = \varphi(x-x_i) = \sqrt{(x-x_i)^2 + s^2} \quad (2)$$

式中: s 为形状参数, 决定了曲线的锐度。若相邻插值结点的最大间隔为 h , s 相对 h 保持相关且趋于零可获得更高的准确性^[1]。将式(1)写成矩阵形式:

$$Ac = z \quad (3)$$

其中:

$$A = \begin{bmatrix} s & \sqrt{(x_0-x_1)^2+s^2} & \dots & \sqrt{(x_0-x_n)^2+s^2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \sqrt{(x_n-x_0)^2+s^2} & \sqrt{(x_n-x_1)^2+s^2} & \dots & s \end{bmatrix},$$

$$c = \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix}, z = \begin{bmatrix} f(x_0) \\ f(x_1) \\ \vdots \\ f(x_n) \end{bmatrix}$$

求解线性方程(3), 即可求得解向量 $c_{n \times 1}$ 。将解向量 $c_{n \times 1}$ 及待插点 x_j 代入式(1), 便可计算出待插点 x_j 的值 $f(x_j)$ 。

1.2 拟 MQ 函数

为避免求解线性方程组, Beatson 和 Powell^[3]利用 MQ 函数提出了三种单变量拟插值算子 Q_A 、 Q_B 、 Q_C 。Wu 和 Schaback^[4]在此基础上给出了逼近阶和保形性较好的拟插值算子 Q_D 。

对于拟 MQ 函数, 若插值结点: $a = x_0 < x_1 < \dots < x_n = b$, $h = \max_{1 \leq i \leq n} \{x_i - x_{i-1}\}$, 对于给定函数 $f(x) \in$

$C^1[a, b]$ 和数据 $\{(x_i, f(x_i))\}_{i=0}^n$, 引入拟插值算子 Q , 使其满足 $Q * f(x) = \sum f(x) \cdot \psi_i(x)$, 其中 $\psi_i(x)$ 是 $\varphi(x-x_i)$ 的线性组合:

$$\psi_i(x) = \frac{\varphi_{i+1}(x) - \varphi_i(x)}{2(x_{i+1} - x_i)} - \frac{\varphi_i(x) - \varphi_{i-1}(x)}{2(x_i - x_{i-1})} \quad (4)$$

拟插值算子 Q_B 满足:

$$Q_B f(x) = f(x_0) \beta_0(x) + \sum_{i=1}^{n-1} f(x_i) \psi_i(x) + f(x_n) \beta_n(x) \quad (5)$$

式中: $\beta_0(x) = \frac{1}{2} + \frac{\varphi_1(x) - \varphi_0(x)}{2(x_1 - x_0)}$, $\beta_n(x) = \frac{1}{2} - \frac{\varphi_n(x) - \varphi_{n-1}(x)}{2(x_n - x_{n-1})}$ 。由(5)式可知, $Q_B f(x)$ 可视为以

$f(x)$ 离散点为系数的 MQ 函数 $\varphi(x)$ 的线性组合, 并加上常数项 $[f(x_0) + f(x_n)]/2$ 。该常数项可能因 x_n 的增加而导致误差发散, 为了降低插值误差, Beatson 和 Powell^[3]提出该常数项与 $\left(\frac{\varphi_0(x) - \varphi_n(x)}{x_n - x_0} - 1\right)$ 相乘, 从而定义了插值算子 Q_A :

$$Q_A f(x) = f(x_0) \alpha_0(x) + \sum_{i=1}^{n-1} f(x_i) \psi_i(x) + f(x_n) \alpha_n(x) \quad (6)$$

式中: $\alpha_0(x) = \frac{\varphi_1(x) - \varphi_0(x)}{2(x_1 - x_0)} + \frac{\varphi_0(x) + \varphi_n(x)}{2(x_n - x_0)}$,

$$\alpha_n(x) = \frac{\varphi_n(x) - \varphi_{n-1}(x)}{2(x_{n-1} - x_n)} + \frac{\varphi_0(x) + \varphi_n(x)}{2(x_n - x_0)}$$

为了进一步提高插值精度, 相较于拟插值算子 Q_A 和 Q_B , 还可以引入更多条件定义拟插值算子 Q_C :

$$Q_C f(x) = Q_B f(x) + f'(x_0) \gamma_0(x) + f'(x_n) \gamma_n(x) \quad (7)$$

将其改写为:

$$Q_C f(x) = f(x_0) \beta_0(x) + f'(x_0) \gamma_0(x) + \sum_{i=1}^{n-1} f(x_i) \psi_i(x) + f'(x_n) \gamma_n(x) + f(x_n) \beta_n(x) \quad (8)$$

其中, $\beta_0(x)$ 、 $\beta_n(x)$ 与 Q_B 中一致, $\gamma_0(x) = \frac{x-x_0-\varphi_0(x)}{2}$, $\gamma_n(x) = \frac{x-x_n+\varphi_n(x)}{2}$ 。

Beatson 和 Powell^[3]对三种拟插值算子进行了大量测试, 表明 Q_C 的插值精度最高。但应用 Q_C 需要事先知道边界点的导数, 实际应用中很难满足此条件。为克服这一缺点, Wu 和 Schaback^[4]对其进行改进, 定义了一种具有保单调性和保凸性且不需

要知道边界点的导数值的拟插值算子 Q_D , 它的逼近效果与 Q_C 相当。拟插值算子 Q_D 的定义如下:

$$Q_D f(x) = f(x_0)a_0(x) + f(x_1)a_1(x) + \sum_{i=2}^{n-2} f(x_i) \cdot \varphi_i(x) + f(x_{n-1})a_{n-1}(x) + f(x_n)a_n(x) \quad (9)$$

式中: $a_0(x) = \frac{1}{2} + \frac{\varphi_1(x) - (x - x_0)}{2(x_1 - x_0)}$, $a_1(x) = \frac{\varphi_2(x) - \varphi_1(x)}{2(x_2 - x_1)} - \frac{\varphi_1(x) - (x - x_0)}{2(x_1 - x_0)}$, $a_{n-1}(x) = \frac{(x_n - x) - \varphi_{n-1}(x)}{2(x_n - x_{n-1})} - \frac{\varphi_{n-1}(x) - \varphi_{n-2}(x)}{2(x_{n-1} - x_{n-2})}$, $a_n(x) = \frac{1}{2} + \frac{\varphi_{n-1}(x) - (x_n - x)}{2(x_n - x_{n-1})}$

可将式(9)展开为:

$$Q_D f(x) = \frac{1}{2}f_0 - \frac{x - x_0}{2(x_1 - x_0)}f_0 + \frac{x - x_0}{2(x_1 - x_0)}f_1 + \sum_{i=1}^{n-1} \left[\frac{\varphi_i(x)}{2(x_i - x_{i-1})}f_{i-1} - \frac{\varphi_i(x)}{2(x_{i+1} - x_i)}f_i - \frac{\varphi_i(x)}{2(x_i - x_{i-1})}f_i + \frac{\varphi_i(x)}{2(x_{i+1} - x_i)}f_{i+1} \right] + \frac{1}{2}f_n + \frac{x_n - x}{2(x_n - x_{n-1})}f_{n-1} - \frac{x_n - x}{2(x_n - x_{n-1})}f_n = \frac{1}{2} \left[f_0 + f_n + \frac{f_1 - f_0}{x_1 - x_0}(x - x_0) + \frac{f_{n-1} - f_n}{x_{n-1} - x_n}(x - x_n) + \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{f_{i+1} - f_i}{x_{i+1} - x_i} - \frac{f_i - f_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} \right) \varphi_i(x) \right] \quad (10)$$

由于大量实际工程数据均无法给出插值端点处的导数值, 相比之下 Q_D 具有更好的应用价值。

1.3 拟 MQ 函数的导数形式

常规插值方法往往只保证函数值插值精度, 但很多地球物理方法需要对数据的数值微分进行分析以突出弱异常, 这对插值方法提出了更高的要求。对于式(10), 其一阶导数为:

$$Q_D f'(x) = \frac{1}{2} \left[\frac{f_1 - f_0}{x_1 - x_0} + \frac{f_{n-1} - f_n}{x_{n-1} - x_n} + \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{f_{i+1} - f_i}{x_{i+1} - x_i} - \frac{f_i - f_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} \right) \varphi'_i(x) \right] \quad (11)$$

其中 $\varphi'_i(x) = \frac{x - x_i}{\sqrt{(x - x_i)^2 + s^2}}$;

二阶导数为:

$$Q_D f''(x) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{f_{i+1} - f_i}{x_{i+1} - x_i} - \frac{f_i - f_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} \right) \varphi''_i(x) \quad (12)$$

式中: $\varphi''_i(x) = \frac{s^2}{[(x - x_i)^2 + s^2]^{\frac{3}{2}}}$ 。

通过式(11)、式(12), 便能推算出离散点的导数值, 从而在观测曲线中发挥提取弱异常的优势。

2 拟 MQ 函数在物探数据处理中的应用

2.1 在地表高程插值中的应用

以山东某金矿地球物理勘查剖面的地表高程数据为例, 该剖面已知的地表高程点有 64 个, 横向分布范围为 $[0 \sim 4\ 460]$, 并且呈不等间距分布。以 10 m 为间隔从 0 到 4 460 均匀采样作为待插结点, 采用三次样条函数及拟 MQ 函数对地表高程点分别进行插值。插值结果如图 1、图 2 所示。

可以看出: 在利用三次样条函数进行插值时, 当函数值变化较大且插值结点较稀疏时, 会在插值结点附近引起插值曲线的震荡(如 3 160 m~3 260 m), 而拟 MQ 函数则避免了这一缺陷。当形状参数 $s=0$ 时, 插值曲线与原始高程曲线完全重合。当 s 相对 h (相邻插值结点的最大间隔) 逐渐增大时, 插值曲线在阶跃点处的光滑程度也随之增大, 但总体形态

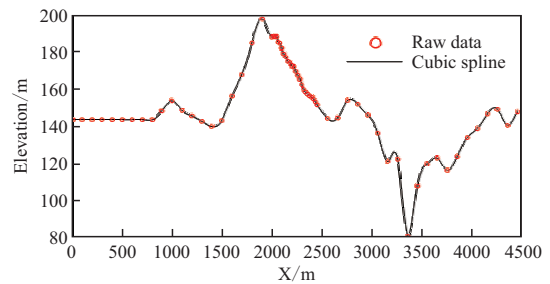


图 1 三次样条函数的插值结果
Fig. 1 Interpolation results of cubic spline functions

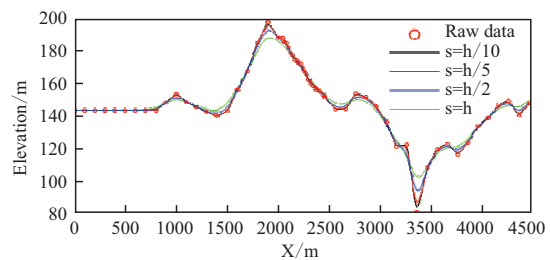


图 2 拟 MQ 函数的插值结果
Fig. 2 Interpolation results of quasi-MQ functions

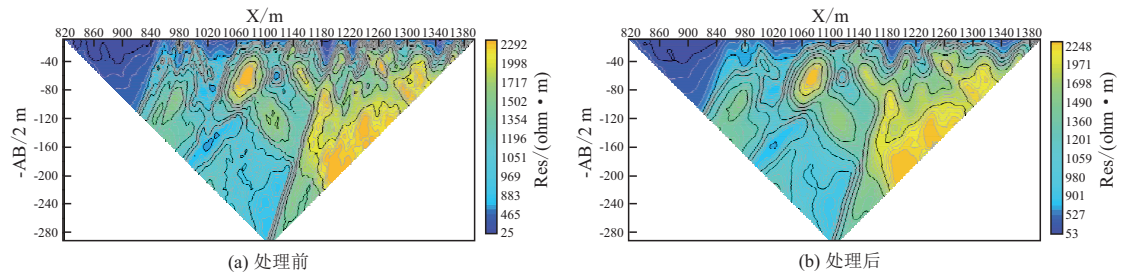


图3 高密度视电阻率断面处理前后对比图

Fig. 3 Comparison before and after HD apparent resistivity section procession

与原曲线保持一致。因此,说明拟 MQ 函数具有良好的保形性和保单调性。对于形状参数 s 的选择问题,目前没有一个量化的选择依据,但为了获得更高的准确性, s 与 h 保持相关且趋于零时是最有利的^[1]。若将拟 MQ 函数用于高程拟合,形状函数不宜取得过大($s < h/10$),否则插值曲线将过于平滑。

2.2 在电测深数据中的应用

在电测深数据应用中,常常因电极接地电阻过大或浅地表不均匀体的影响,使得观测数据含有一定程度的干扰噪声(浅部因素也会影响深部数据)。在布设的电极阵列中,同一根电极可能会作为供电电极或测量电极,如果某个电极接地电阻大,对于供电回路,将导致供电电流不稳定对于测量回路,将产生读数不稳定,直接影响着数据的观测精度,最终造成绘制的视电阻率拟断面图存在虚假或冗余异常。为压制电测深数据的干扰噪声,笔者尝试采用拟 MQ 函数对电测深数据进行降噪处理。

以邵怀高速公路某段电测深数据为例,以检验拟 MQ 函数的降噪效果。该勘查段测线长度 595 m,120 道电极,点距 5 m,测量层数 39 层,图 3(a)为原始电测深数据绘制的拟断面图,可以看出在断面图中存在较多冗余异常。采用拟 MQ 函数对该数据断面进行逐层降噪处理,考虑电测深数据的观测特点,以观测点距(5 m)作为形状参数,图 3(b)为处理后的高密度数据绘制的拟断面图,从断面图中可以看出,视电阻率等值线的平滑特征得到明显改善,更有助于数据分析和解释。

2.3 在电测深曲线数据中的应用

由于利用数值微分可以提取地球物理原始数据曲线中的弱异常信息的特点,对新疆清河县地下水的分布情况研究分析。以其中一条电测深曲线为例,利用拟 MQ 函数对其进行计算一维加密插值(Fitting curve),进而获得更可靠的一阶导数(FD)和二阶导数(SD),具体如图 4 所示。

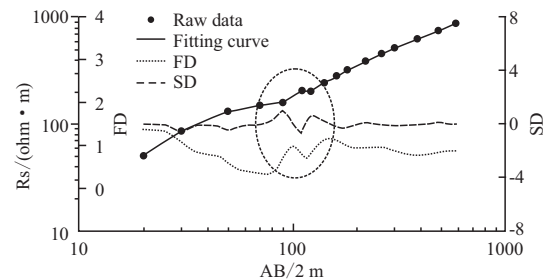


图4 基于拟 MQ 函数的电测深数值微分曲线

Fig. 4 Numerical differential curve of electrical sounding based on quasi-MQ function

可以看出:在极距 $AB/2$ 为 90 m 和 125 m 的位置存在微弱的低阻异常,通过对电测深曲线计算一维插值、一阶导数和二阶导数,使这两个位置的弱异常幅度得到增大。结合该区地质资料及钻探施工条件,在此处开展了钻孔工作。发现在深度 20 m 以内为第四系,20 m~75 m 以内为凝灰质砂岩,75 m~130 m 以内为花岗岩,在深度 130 m 处打到构造破碎带,含水量较大,由于水压过大导致冲击钻探方法难于施工,并于 135 m 深度处终孔,未打穿断层破碎带,终孔孔径 110 mm。采用 32 m³/h 水泵进行抽水试验,静水位 2.1 m,动水位 28 m,水位降深 25.9 m,经计算该钻孔出水量为 46.3 m³/h (1 111.2 m³/d)。因此,利用拟 MQ 函数可以较好提取物探原始数据曲线中的弱异常信息。

3 结论

通过拟 MQ 函数在物探数据处理中的应用研究,得到以下结论:

1) 利用拟 MQ 函数拟合地表高程,整体曲线较光滑,能很好地逼近地表形态,并随着形状参数的增大光滑程度加大,仍能保留原始数据的整体特征,验证了拟 MQ 函数具有良好的保形性及保单调性。

2)利用拟 MQ 函数对高密度数据进行插值平滑处理,能达到很好的降噪效果,从而有利于后续数据的分析与解释。

3)利用拟 MQ 函数对电测深曲线进行插值、一阶求导、二阶求导处理,能明显放大地下弱异常的幅度,有利于提取物探原始数据曲线中的弱异常信息。

随着理论研究和工程实践的共同进步,拟 MQ 函数有望在地球物理数据处理中发挥更大作用,显示出更多优势,成为一种常规数学工具。

参考文献:

- [1] HARDY R L. Multiquadric equations of topography and other irregular surfaces[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1971, 76(8): 1905—1915.
- [2] FRANKE R. Scattered data interpolation: tests of some methods[J]. *Appl. Math. Comput.*, 1982, 38(38): 181—200.
- [3] BEATSON R K, POWELL M J D. Univariate multi-quadratic approximation: Quasi-interpolation to scattered data[J]. *Constr. Approx.*, 1992, 8: 275—288.
- [4] WU Z M, SCHABACK R. Shape preserving properties and convergence of univariate multiquadric quasi-interpolation[J]. *Acta. Math. Appl. Sin.*, 1994, 10: 441—446.
- [5] JIANG Z W, WANG R H. Numerical solution of one dimensional Sine-Cordon equation using high accuracy multi-quadratic quasi-interpolation. *Appl. Math. Comput.*, 2012, 218(15): 7711—7716.
- [6] GAO F, CHI C M. Numerical solution of nonlinear Burger' equations using high accuracy multi-quadratic quasi-interpolation. *Appl. Math. Comput.*, 2014, 229: 414—421.
- [7] GAO W W, WU Z M. Solving time-dependent differential equations by multi-quadratic trigonometric quasi-interpolation. *Appl. Math. Comput.*, 2015, 253(C): 377—386.
- [8] 王自强, 曹俊英. 空间分数阶扩散方程的 Multi-quadratic 拟插值解法[J]. *厦门大学学报: 自然科学版*, 2015, 54(3): 358—363.
- WANG Z Q, CAO J Y. Multi-quadratic quasi-interpolation for space fractional diffusion equations[J]. *Xiamen University (Natural Science)*, 2015, 54(3): 358—363. (In Chinese)
- [9] WU H Y, DUAN Y. Multi-Quadric quasi-interpolation method coupled with FDM for the Degasperis-Procesi equation[J]. *Appl. Math. Comput.*, 2016, 274: 8—92.
- [10] LING L. A univariate quasi-multiquadric interpolation with better smoothness[J]. *Computers and Mathematics with Applications*, 2004, 48(5—6): 897—912.
- [11] LING L. Multivariate quasi-interpolation schemes for dimension-splitting multiquadric[J]. *Applied Mathematics and Computation*, 2005, 161(1): 195—209.
- [12] JIANG Z W, WANG R H, ZHU C G. High accuracy multiquadric quasi-interpolation [J]. *Applied Mathematical Modelling*, 2011, 35(5): 2185—2195.
- [13] 高文武. 基于导数信息的 multiquadric 拟插值[J]. *复旦学报(自然科学版)*, 2016, 55(3): 298—303.
- GAO W W. Multiquadric quasi-interpolation based on derivative information [J]. *Fudan Journal (Natural Science Edition)*, 2016, 55(3): 298—303. (In Chinese)
- [14] 高钦姣, 张胜刚, 朱春钢, 等. 基于 MQ 拟插值的 Sine-Gordon 方程自适应保辛数值解法[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2018, 30(7): 1224—1229.
- GAO Q J, ZHANG S G, ZHU C G, et al. Adaptive Poser numerical solution of Sine-Gordon equation based on MQ quasi-interpolation[J]. *Journal of Computer Aided Design and Graphics*, 2018, 30(7): 1224—1229. (In Chinese)
- [15] 杜珊, 李风军. 新变参 MQ 拟插值函数的性质及其逼近性能研究[J]. *应用数学学报*, 2019, 42(5): 655—669.
- DU S, LI F J. Study on the properties of the newly variable parameter MQ quasi-interpolation function and its approximation performance[J]. *Chinese Journal of Applied Mathematics*, 2019, 42(5): 655—669. (In Chinese)
- [16] 高钦姣, 张胜刚, 何素艳, 等. 基于 MQ 拟插值的 Burgers-Fisher 方程数值解法[J]. *合肥工业大学学报(自然科学版)*, 2017, 40(5): 712—715.
- GAO Q J, ZHANG S G, He S Y, et al. Numerical solution of Burgers-Fisher equation based on MQ quasi-Interpolation[J]. *Journal of Hefei University of Technology (Natural Science Edition)*, 2017, 40(5): 712—715. (In Chinese)

Application of quasi-MQ function in geophysical data processing

ZHANG Yifan^{1,2}, LIU Haifei^{1,2}, LIU Jianxin^{1,2}, GUO Peng^{1,2}, LIU Xin^{1,2}

(1. School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China;

2. Hunan Key Laboratory of Non-ferrous Resources and Geological Disaster Exploration, Changsha 410083, China)

Abstract: The quasi-MQ function is a shape-preserving, stable, and fast interpolation method that can improve the performance of geophysical data processing. In this paper, We first introduce the basic principle of the MQ function. We give the expression of the quasi-MQ function and its derivative and apply this function to geophysical data processing cases to test the application effect. The results show that in fitting the surface elevation data, the quasi-MQ function can be used to approximate the surface shape well and retain the original data characteristics to the maximum extent; in the data processing of high-density electrical method, using this function can suppress the noise well, which is more conducive to the analysis and interpretation of data; in the processing of electrical sounding data, using this function to carry out one-dimensional interpolation and numerical differentiation can extract the weak anomaly information well. All these confirm the practicability and potential of the quasi-MQ function in geophysical data processing.

Keywords: quasi-MQ functions; interpolation; numerical differentiation