

文章编号:1001-4179(2015)03-0031-03

遗传算法在瑞雷波频散曲线反演中的应用研究

晋 思, 邵嘉琪, 支剑丽

(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:为解决现有瑞雷波频散曲线反演计算方法的局限性,可将遗传算法用于反演中。首先使用传统方法给出初始模型,以确定模型参数的搜索范围,之后利用遗传算法反演,最后得到一个能可靠反映地下介质分布的地下介质模型。运用该模型对实测资料反演分析,以检测其实用性,并与传统方法对比以考察其优越性。结果表明:采用遗传算法对瑞雷波频散曲线进行反演是可行的,并能得到较好的反演效果。

关键词:遗传算法;非线性反演;频散曲线;瑞雷波

中图分类号:TV698.14

文献标志码:A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.03.009

层状介质中瑞雷波具有的频散特性与地层横波速度有密切的关系,对其进行反演可以获取横波速度从而进行地层划分。目前,反演方法大体上可以分为两大类,第一类为线性化方法;另一类则为完全非线性反演方法。现有的局部线性化方法和非线性全局优化算法都有其局限性^[1-2]。局部线性化方法的致命不足是反演结果的质量优劣主要取决于选取的初始模型,当选取的初始模型与真实模型相接近时,反演结果较好,否则将很容易陷入局部极小值,最终导致地质解释错误;除此之外,局部线性化方法还受偏导数信息、雅可比矩阵精度等因素的影响。非线性全局优化算法的缺点则为运算速度太慢,在这方面还有待解决。

将遗传算法应用于瑞雷波频散曲线非线性反演中^[3],再进行收敛性分析,成功地解决了传统的局部优化算法依赖初始模型、不能很好适用于离散问题、非线性问题以及函数关系不能显式表示的复杂问题优化的缺陷。这样不仅解决了瑞雷面波频散曲线反演中存在的问题与阻碍,同时也提高了瑞雷波勘探的适用性,推进了瑞雷波勘探的进一步延伸发展。

1 方法原理

遗传算法的基本思想是模仿生物界的遗传过程,把最优化问题与生物进化过程加以类比,在实际应用

中,需考虑以下因素。

(1) 编码方法。把一个问题的可行解从其解空间转换到遗传算法所能处理的搜索空间的转换方法就称为编码。

(2) 适应度函数。适应度较高的个体遗传到下一代的概率就较大;而适应度较低的个体遗传到下一代的概率就相对小些。

(3) 选择算子。遗传算法使用选择算子来对群体中的个体进行优胜劣汰操作,适应度较高的个体被遗传到下一代群体中的概率较大,适应度较低的个体被遗传到下一代群体中的概率较小。

(4) 交叉算子。是指对两个互相配对的染色体按某种方式相互交换其部分基因,从而形成两个新的个体。

(5) 变异算子。遗传算法中的变异算子,是指将个体染色体编码串中的某些基因座上的基因值用该基因座的其他等位基因来替换,从而形成一个新的个体。

2 理论模型试算

本文的理论模型试算是在不考虑噪声干扰的情况下,探讨遗传算法在瑞雷波频散曲线反演中的应用。

考虑到大多数情况下,基阶波是能量最强、最易观测到的,在实际应用中也是最广泛的,所以本文以下所

收稿日期:2014-10-10

基金项目:国家自然科学基金项目(41174113);2014年大学生自主创新起航项目(1410491A19)

作者简介:晋 思,女,研究方向为地球物理与空间信息。E-mail:945190188@qq.com

有反演结果均只用基阶波频散曲线数据进行反演,从而测试遗传算法 (Genetic Algorithms, GA) 的有效性和实用性。为此,本文首先利用设计的地质模型通过快速矢量传递算法正演模拟产生基阶波频散曲线,然后以理论产生的频散曲线作为实测数据进行反演。

由于横波速度和地层厚度对瑞雷波频散曲线敏感性最强,所以反演时纵波速度(或泊松比)和密度固定不变,仅反演横波速度和地层厚度。

遗传算法反演参数设置:选择、交叉和突变概率分别设置为 0.8、0.6 和 0.02,群体大小为 5 *N* (*N* 为待反演的独立变量个数),遗传代数 为 100。

据工程应用实际情况,对各反演参数进行了选取。
① 鉴于工程勘探常用的频率范围,选取了 5 ~ 100 Hz 为频率扫描范围(40 个频点)。
② 浅层的泊松比常取为 0.40 ~ 0.48。
③ 密度常取 1.9 ~ 2.1 g/cm³。
④ 为了模拟现实中已知地质信息较少的情形和充分评价 GA 算法的搜索能力,本文反演时采用了较宽的搜索范围,确定搜索范围为偏离真实值 50%。

反演的目标函数 Φ 由实测与理论计算的瑞雷波相速度之均方差 RMS (Root - Mean - Square) 给出,即

$$\Phi = \|V_R^{obs} - V_R^{theo}\| / \sqrt{m}$$

式中, V_R^{obs} 为 $m \times 1$ 维实测瑞雷波相速度向量; V_R^{theo} 为 $m \times 1$ 维理论计算的瑞雷波相速度向量; m 为频点数; $\|\cdot\|$ 为向量的 l_2 范数;频散曲线正演模拟采用快速矢量传递算法。

本文分析讨论了两种理论地质模型,即四层递增型地质模型(模型 A),四层含低速软夹层地质模型(模型 B)。

2.1 四层递增型地质模型(模型 A)

图 1 和图 2 给出了本文设计的四层递增型地质模型(模型 A)遗传算法(GA)反演结果。由图可见,利用 GA 反演重建模型正演模拟的频散曲线(图 1 中的实线)已较好地拟合了真实模型理论频散曲线(图 1 中的实点);真实模型(图 2 中的虚线)与 GA 反演重建模型(图 2 中的实线)具有较好的一致性。由表 1 可见,相对误差普遍较小,最大相对误差出现在第二层厚度的反演结果上,为 4.86%,其余各反演参数相对误差均小于 2.89%。

2.2 四层含低速软夹层地质模型(模型 B)

图 3 和图 4 给出了本文设计的四层含低速软夹层地质模型(模型 B)遗传算法(GA)反演结果。由图可见,利用 GA 反演重建模型正演模拟的频散曲线(图 3 中的实线)已较好地拟合了真实模型理论频散曲线(图 3 中的实点);真实模型(图 4 中的虚线)与 GA 反

演重建模型(图 4 中的实线)具有较好的一致性。由表 2 可见,相对误差普遍较小,最大相对误差出现在第一层厚度的反演结果上,为 4.15%,其余各反演参数相对误差均小于 2.02%。

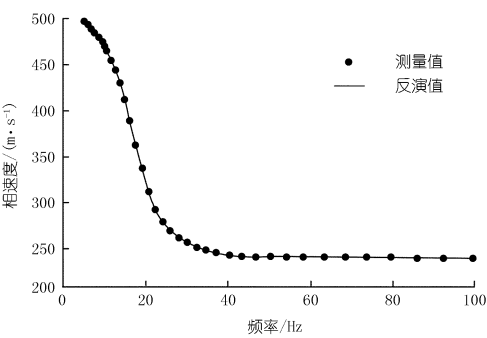


图 1 模型 A 遗传算法(GA)反演拟合的频散曲线

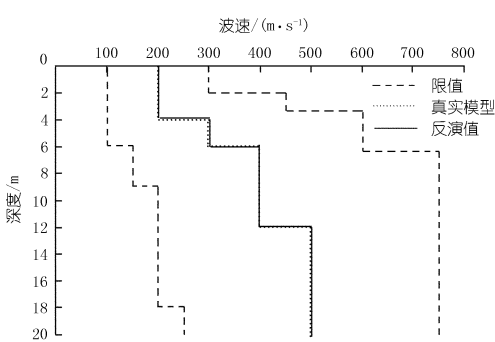


图 2 模型 A 遗传算法(GA)反演地质剖面与真实模型

表 1 模型 A 遗传算法(GA)反演结果

参数	真实值	反演结果	相对误差/%
V_{s1}	200	200.13	0.07
V_{s2}	300	302.60	0.87
V_{s3}	400	399.37	0.16
V_{s4}	500	499.02	0.16
H_1	4	3.88	2.89
H_2	2	2.09	4.86
H_3	6	5.98	0.28

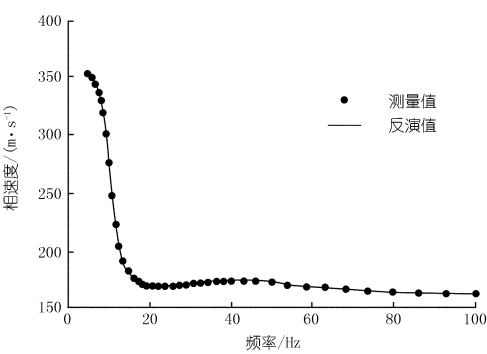


图 3 模型 B 遗传算法(GA)反演拟合的频散曲线

2.3 收敛性分析

为了考察遗传算法(GA)的有效性,对其收敛性进行了测试和分析。图 5 中的收敛曲线给出了遗传算法

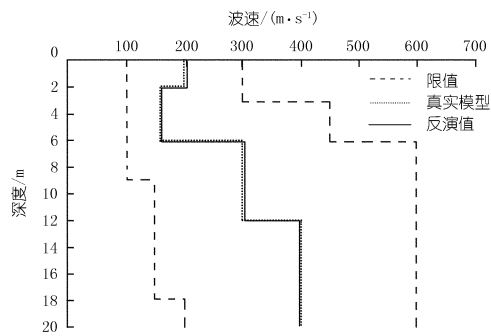


图 4 模型 B 遗传算法 (GA) 反演地质剖面与真实模型

表 2 模型 B 遗传算法 (GA) 反演结果

参数	真实值	反演结果	相对误差/%
V_{s1}	200	202.95	1.47
V_{s2}	160	159.52	0.30
V_{s3}	300	306.06	2.02
V_{s4}	400	398.27	0.43
H_1	2	2.08	4.15
H_2	4	4.00	0.09
H_3	6	6.01	0.19

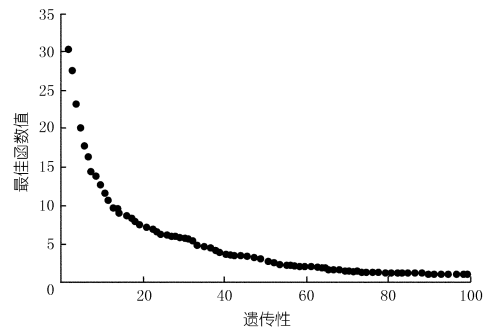


图 5 模型 C 遗传算法 (GA) 反演收敛过程曲线

(GA)反演执行过程的典型特征:在偏离真实值 $\pm 50\%$ 的搜索范围的情况下,算法的收敛速度较快。GA 反演最优解的目标函数值在整个反演的前 60 次迭代过程中迅速下降,并快速接近可行解空间,然后在后 40

次迭代中慢慢收敛到全局最优解,由于是对理论模型的反演,在不考虑噪声时误差很小,最优值在经过多次迭代之后,最优解目标函数值已基本收敛到零。

遗传算法的收敛性与其相关参数的选取有关,选取的群体规模为 $P = 5N$,在设定了较大的迭代次数试验之后,观察最优值的收敛速度和效果,将迭代次数设定为 100,可基本达到较好的收敛效果。

3 结 语

本文对遗传算法的基本原理进行了介绍,接着用四类地质模型进行了理论模型试算,并分析其反演成果图和收敛过程曲线,最后将遗传算法 (PSO) 和现有的其他两种反演方法的结果作对比,验证了“遗传算法 (GA) 在瑞雷波频散曲线反演中的应用”的可行性。

(1) 分析了利用遗传算法进行瑞雷波频散曲线非线性反演的可行性和优越性。

(2) 研究了遗传算法 (GA) 的基本原理、反演机制、数学模型、算法实施及反演的一般流程;探讨了算法实施过程中的一些关键技术问题。

(3) GA 对初始模型的依赖性小,设计了两个四层地质模型,设定较为宽泛的搜索范围也可实现较好的反演结果。

(4) 通过与阻尼最小二乘法 (LSM)、粒子群优化算法 (PSO) 的反演结果作对比,验证了遗传算法^[3] (GA) 的有效性和实用性。

参考文献:

[1] 师学明,王家映. 一维层状介质大地电磁模拟退火反演法[J]. 地球科学——中国地质大学学报,1998,23(5):542-545.
[2] Abo-Zena A. Dispersion function computations for unlimited frequency values[J]. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 1979,(58):91-105.
[3] 杨文采. 地球物理反演的遗传算法[J]. 石油物探,1995,34(1):116-122.

(编辑:赵凤超)

Application of genetic algorithm in inversion of Rayleigh wave dispersion curves

JIN Si, SHAO Jiaqi, ZHI Jianli

(Institute of Geophysics and Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: The genetic algorithm is applied for mitigating the limitation of inversion calculation method of Rayleigh wave dispersion curves. The initial model is given by the traditional method to determine the hunting zone of model parameters. Finally, it is possible to develop the model that can reflect the distribution of underground mediums by using the genetic algorithm inversion. According to this model, the measured data is inversely analyzed so as to examine its practicability and superiority. The results indicate that the Rayleigh wave dispersion curve inverted by the genetic algorithm is reasonable.

Key words: genetic algorithm; nonlinear inversion; dispersion curves; Rayleigh wave