

doi: 10.11720/wtyht.2020.1536

刘玉萍,李丽青,张宝金.基于希尔伯特变换的振幅增益控制方法[J].物探与化探,2020,44(4):790-795.http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.1536

Liu Y P, Li L Q, Zhang B J. An Amplitude gain control method based on Hilbert transform[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 44(4): 790-795. http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.1536

基于希尔伯特变换的振幅增益控制方法

刘玉萍^{1,2,3}, 李丽青^{1,2,3}, 张宝金^{1,2,3}

(1. 中国地质调查局 广州海洋地质调查局, 广东 广州 510760; 2. 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州), 广东 广州 511458; 3. 自然资源部 海底矿产资源重点实验室, 广东 广州 510075)

摘要: 在地震资料处理和解释的过程中, 振幅增益控制应用十分广泛。本文在分析常用振幅增益控制(AGC)技术不足的基础上, 提出了一种基于希尔伯特变换的振幅增益控制方法(简称包络 AGC)。包络 AGC 的基本原理是对地震道振幅包络进行振幅值分解, 求出振幅正常值分量和异常值分量; 然后, 对异常值分量加权, 并回加到正常值分量中, 从而得到新的振幅包络; 最后, 根据新的振幅包络计算地震道实数域的振幅值就可实现包络 AGC。实际地震资料应用结果表明, 文中提出的包络 AGC 具有可实现性且具备一定的实际应用价值。

关键词: 希尔伯特变换; 振幅包络; 异常值; AGC; 振幅增益

中图分类号: P631.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2020)04-0790-06



0 引言

随着地震勘探技术的迅速发展, 精细地震处理技术是当今的发展趋势, 基于振幅的解释技术在油气、水合物、矿产资源等地震勘探中得到广泛应用。因此, 在地震资料处理中, 根据处理的目的和解释的需要如何正确恢复振幅值是十分重要的。然而, 实际记录的地震信号受波前扩散、透射损失、大地吸收、散射、激发接受条件不一致等因素影响, 衰减后的地震振幅相对很小, 强弱振幅差异甚大^[1]。

目前, 恢复振幅的方法有很多, 例如球面扩散补偿, 地表一致性振幅补偿, Q 补偿, 自动增益控制(AGC), 道内振幅均衡等^[2-9]。这些振幅补偿和增益控制方法有些是保幅的, 有些只是通过数学运算调整振幅, 虽具有一定的实际物理意义但保幅性差。

如果目标成像对振幅保真没有要求, AGC 振幅控制技术能较好地突出弱反射信号, 特别是针对深层反射资料或低信噪比资料, AGC 技术可以较好地对振幅进行调整, 使其显示效果达到最佳。

国内学者在振幅恢复与补偿方面做了不少的研究与总结。楚圣臣等^[10]介绍了自动增益控制处理技术在火成岩发育地区的应用, 以火成岩发育地区的实际资料为例, 应用自动增益控制处理技术提高地震资料的品质; 蔡涵鹏等^[11]提出一种将希尔伯特变换的瞬时振幅特性与函数极值判别法和曲线拟合法应用到地震振幅增益中的新方法, 主要应用于地质构造解释; 王正和等^[12]提出一种基于井控处理的真振幅恢复与 Q 补偿方法, VSP 资料的参与可以有效地实现地震资料真振幅恢复和 Q 补偿; 王珊^[13]等提出了一种稳定有效的反 Q 滤波方法; 芮拥军^[14]对地震资料处理中相对保幅性进行了讨论; 张宪旭

收稿日期: 2019-11-13; 修回日期: 2020-05-21

基金项目: 中国地质调查局项目“海洋地质海洋测绘 XXXX 信息系统建设及产品开发”(DD20191007), “南海岩石圈 XXXX”(DD20201118); 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)人才团队引进重大专项“南海深海盆地莫霍面地震反射空间分布研究”(GML2019ZD0207), “南海地壳深部结构精细成像及海盆形成演化研究”(GML2019ZD0208)

作者简介: 刘玉萍(1987-), 女, 硕士, 2012年毕业于中国石油大学(北京)地球探测与信息技术专业, 研究方向为海洋地震资料分析与处理。Email: liu-yuping@163.com

通讯作者: 张宝金(1973-), 男, 2003年博士毕业于同济大学固体地球物理学专业, 研究方向为地震资料分析与处理和地震波正反演。Email: zhangbaojinchg@163.com

等^[15]提出地震资料处理中自动增益控制方法对振幅的影响,从 AVO 属性分析、岩性和流体识别等角度证实以振幅解释为目的处理流程中,叠前和叠后禁止使用 AGC 方法;张文等^[16]在补偿因子的计算公式中引入一个修正系数,给出了一种适合近地表强吸收的由增益门限和频率上限双因素控制的补偿方法;俞岱等^[17]对基于波场延拓的反 Q 滤波方法进行了比较。

现有各商业软件中的 AGC 模块都是基于统计学原理,虽算法不尽相同,但都是在 $t-x$ 域中对给定的时窗进行采样振幅统计,对统计的平均值、振幅中值或均方根值为基数重构采样振幅,从而达到振幅均衡的目的。AGC 的效果取决于给定的时窗大小,时窗越小,削强补弱的效果越明显,时窗越大,效果越弱。AGC 技术不足的地方在于时窗边界处会出现 AGC“阴影”,时窗越大,AGC“阴影”范围越大,即振幅恢复作用随着时窗的变化而变化。

针对 AGC 方法存在的不足本文提出了一种基于希尔伯特变换的振幅增益控制方法(简称包络 AGC)。该方法是将地震剖面上反映地层界面所对应的反射波振幅增益到一个振幅水平,而剖面背景部分的振幅也得到相应增益。该方法可以在确保地震频率、相位特征不变的同时,增强被衰减的中深层弱反射信号,主要应用于地层的识别和地质构造解释。该技术是一种不保幅的振幅增益控制技术,对常用 AGC 技术是一个很好的补充。

1 AGC 方法原理及实现过程

1.1 AGC 方法原理

包络 AGC 方法基本思想是:对常规去噪道集或叠加数据体,采用复数道分析法提取振幅包络并计算包络的平均振幅;比较振幅包络与平均振幅的大小,对大于平均振幅的样点用平均振幅代替,该步计算的结果作为该地震道振幅包络的正常值分量,振幅包络与正常值分量之差记为异常值分量;然后,对异常值分量乘以对应的权重系数 w 回加到正常值分量重构出新的振幅包络;最后,根据重构的振幅包络计算地震道实数域的振幅值,从而达到地震道振幅削强补弱的效果。图 1 为包络 AGC 的计算过程。

1) 地震道信号的包络振幅提取^[18-19]

采用复数道分析法提取包络振幅(即瞬时振幅)。地震波解析信号 $z(t)$ 的复数道表达式为:

$$z(t) = x(t) + i\bar{x}(t), \quad (1)$$

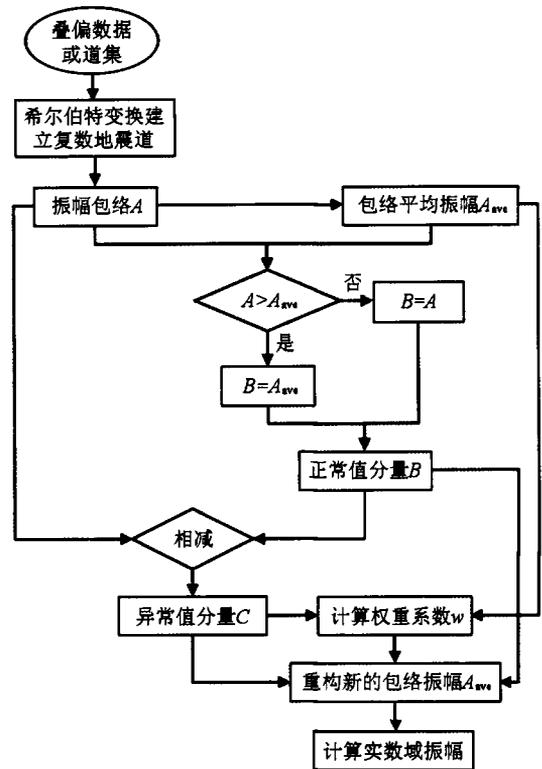


图 1 包络 AGC 计算过程

Fig.1 The principle flow chart of envelope AGC technical 式中: $x(t)$ 为实部,为实际地震记录道; $\bar{x}(t)$ 为虚部,为实部的正交道,由希尔伯特变换求得。

实部地震道 $x(t)$ 也可以表示为:

$$x(t) = A(t) \cos\theta(t), \quad (2)$$

虚部地震道 $\bar{x}(t)$ 也可以表示为:

$$\bar{x}(t) = A(t) \sin\theta(t), \quad (3)$$

其中: $A(t)$ 为复数地震道的包络振幅, $\theta(t)$ 为复数地震道相位。

由于复数地震道的实部与虚部均已知,包络振幅 $A(t)$ 可以由下式求取:

$$A(t) = \sqrt{x(t)^2 + \bar{x}(t)^2}. \quad (4)$$

2) 包络振幅异常值分离

包络振幅用 $A(t)$ 表示,包络振幅的平均振幅是常数用 A_{ave} 表示,大于 A_{ave} 的样点振幅值用 A_{ave} 代替,小于 A_{ave} 的样点振幅值保持不变,从 $A(t)$ 中分离的这部分振幅值称为正常值分量 $B(t)$ 。在实际计算时,地震道每个样点值作为离散形式,用公式表示为:

$$B(t_j) = \begin{cases} A(t_j), & \text{当 } A(t_j) \leq A_{ave} \\ A_{ave}, & \text{当 } A(t_j) > A_{ave} \end{cases} \quad (5)$$

式中: $j=1, \dots, n$, n 是每个地震道样点的个数。

那么,异常值分量 $C(t)$ 由下式求得:

$$C(t) = A(t) - B(t). \quad (6)$$

3) 包络振幅异常值 $C(t)$ 权重 w 估算

分析包络正常值 $B(t)$ 与异常值 $C(t)$ 之间的倍数关系,我们需要对振幅异常值 $C(t)$ 求取一个权重系数 w 来保证提取的异常值分量与正常值分量的振幅保持在同一个量级,那么权重系数 w 必定与 $C(t)$ 和 A_{ave} 有关。这里,包络振幅异常值 $C(t)$ 可视为矩阵, A_{ave} 为常数。采用经验式(7)求取的权重系数 w 能保证提取的异常值分量与正常值分量振幅相当。

$$w = \frac{1}{\text{ave}[C(t)/A_{ave}]}, \quad (7)$$

式中:ave 表示求平均值,对单个地震道而言, w 是个常数。

4) 求取时间域振幅增益后的振幅值

式(7)给出了包络振幅异常值分量权重系数 w 的求取方法,那么,将异常值分量 $C(t)$ 乘以 w 即可

实现异常值分量有效成分的提取,再回到到正常值分量 $B(t)$ 中去,重构出新包络振幅 $A_{new}(t)$,用公式表示为:

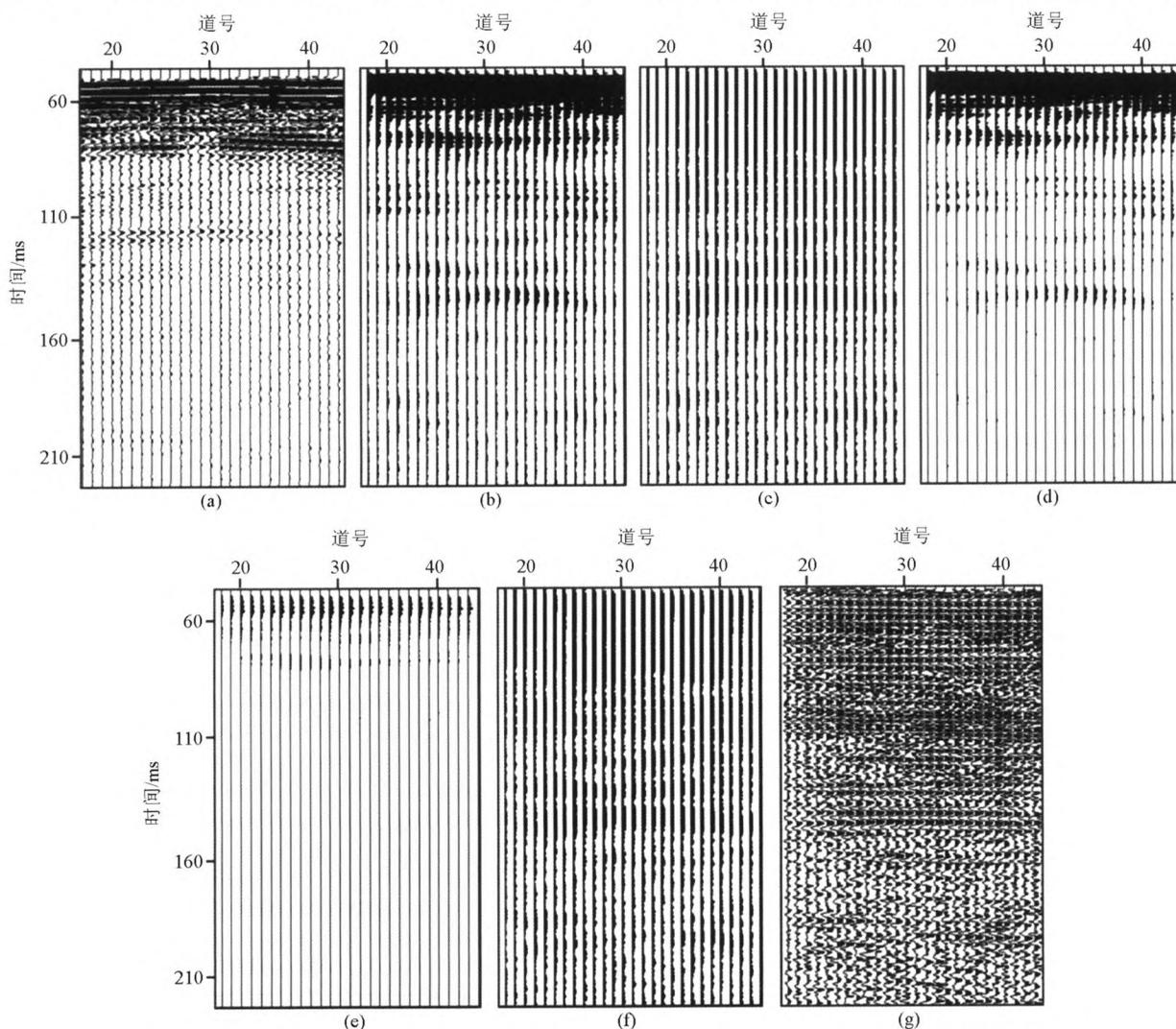
$$A_{new}(t) = B(t) + C(t) * w, \quad (8)$$

复数地震道相位 $\theta(t)$ 在步骤(1)中求取,由式(2)可知最终振幅增益后的时间域地震道 $x_{new}(t)$ 由下式求取:

$$x_{new}(t) = A_{new}(t) \cos\theta(t)。 \quad (9)$$

1.2 AGC 方法的实现过程

包络 AGC 的思想是对地震道进行削强补弱,图 1 给出了包络 AGC 实现过程。包络 AGC 是基于前期预处理(球面扩散补偿、综合去噪、涌浪静校正、去气泡、多次波压制、信号增强等处理)的基础上,获得一个相对高信噪比、高分辨率的道集或叠加数据。图 2a 是经过常规处理后的地震剖面,浅层能量



a—处理前地震记录;b—包络振幅;c—包络正常值分量;d—包络异常值分量;e—异常值分量加权提取;f—重构的包络振幅;g—包络 AGC 地震记录
a—the seismic record before processing;b—the evenlope amplitude;c—the evenlope normal component;d—the evenlope abnormal component;e—weighted extraction of abnormal component;f—reconstruction of evenlope amplitude;g—the seismic record of envelope AGC

图 2 包络 AGC 的实现过程

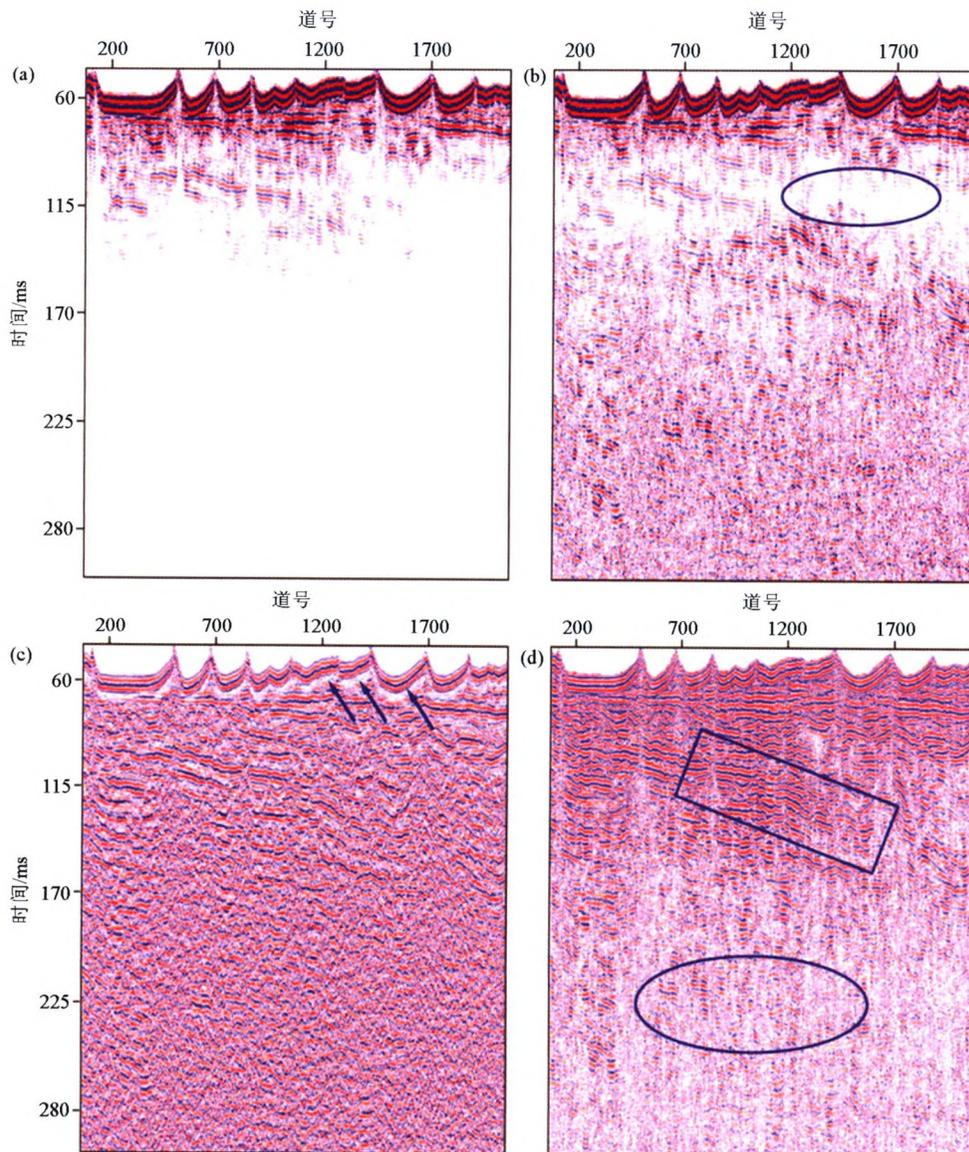
Fig.2 The realization process of envelope AGC

很强,深层有效反射能量很弱。图 2b 为采用希尔伯特变换得到的包络振幅,可以看出,浅层包络振幅值是深层包络振幅值的几十倍甚至上百倍。图 2c 和图 2d 分别为采用式(4)和式(5)对图 2b 异常值分解得到的包络振幅正常值分量和异常值分量。图 2e 为对图 2d 加权提取的结果,该结果的振幅值和图 2c 振幅值在同一个量级。图 2f 为重构的新包络振幅,对其进行希尔伯特反变换到 $t-x$ 域,就可以得到包络 AGC 处理的结果。图 2g 为最终包络 AGC 处理的地震剖面,与图 2a 地震剖面比较,有效信号从浅至深振幅能量比较均衡,同相轴更加连续,有效反射波组特征清晰,表明地震振幅增益处理效果明显改善。的剖面。通过对比分析可知,图 3b 和图

3c 在海底强反射界面之下均产生振幅强弱变化空白区现象,

2 海洋应用实例及效果分析

以一条海洋单道地震数据为例验证该方法的实际应用效果。该测线的地震记录长度为 2 000 ms,采样率为 0.25 ms,如图 3 所示。图 3a 为经过常规处理的单道地震纯波剖面,由于单道地震资料有效频率相对较高,在地震波传播过程中高频能量衰减快,能够显示出振幅的反射时间约为 160 ms。图 3b 和图 3c 分别是采用 100 ms 时窗和 10 ms 时窗进行常规 AGC 处理的剖面;图 3d 是应用包络 AGC 处理



a—纯波剖面;b—应用 AGC 100 ms 结果;c—应用 AGC 10 ms 结果;d—应用包络 AGC 结果

a—pure wave profile;b—apply the AGC with 100 ms;c—apply the AGC with 10 ms;d—apply the envelope AGC

图 3 包络 AGC 与 AGC 应用效果对比

Fig.3 The comparison of envelope AGC and AGC

使得原本清晰的地层模糊不清。应用时窗为 100 ms 的 AGC 剖面,其振幅在纵横向的强弱变化大,均衡性比较差,反射波组特征变化失真;应用 10 ms 时窗的 AGC 剖面,其振幅相对变化差异变小,反射波组特征不明显,纵横向振幅能量过于均衡,背景噪声被放大;而图 3d 整体振幅能量由浅至深比较均衡,在不损害原始反射波特征前提下,把中深层反射波能量补偿的比较好,反射波组特征清晰,易于解释。

3 结论与认识

通过实际地震数据应用表明:基于希尔伯特的振幅增益控制方法(包络 AGC)比常规 AGC 方法能更好地控制地震数据的显示增益;该方法针对地震数据中振幅强弱相对变化剧烈的反射波组,在进行能量增益控制和均衡中,可以保证振幅的相对变化,更有利于振幅强弱变化特征和整体能量的对比显示,比常规 AGC 方法优势明显;尽管包络 AGC 处理方法也是不保幅,但该方法有助于地震解释中同相轴的追踪、地层的识别及地质构造形态的研究。

因此,包络 AGC 是对常规 AGC 技术的补充,具有一定的推广和应用价值。

参考文献(References):

- [1] 郭树洋.地震资料保幅处理的讨论[J].油气地球物理,2009,7(1):1-7.
Guo S X. Discussion on amplitude preserving processing of seismic data[J]. Petroleum Geophysics, 2009, 7(1): 1-7.
- [2] 王西文,赵帮六,吕焕通,等.地震资料相对保真处理方法研究[J].石油物探,2009,48(4):319-331.
Wang X W, Zhao B L, Lyu H T, et al. The research on relative fidelity processing of seismic data[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2009, 48(4): 319-331.
- [3] 赵发通,段淑远,张祯伟.叠前振幅补偿技术应用与研究[J].中国资源综合利用,2019,37(2):177-181.
Zhao F T, Duan S Y, Zhang Z W, et al. Application and research of prestack amplitude compensation technology[J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2019, 37(2): 177-181.
- [4] Wang Y H. Inverse Q-filter for seismic resolution enhancement[J]. Geophysics, 2006, 71(3): 51-60.
- [5] 吕小伟.几项地震处理技术的保幅性分析[J].物探与化探,2012,36(4):617-622.
Lyu X W. The relative-amplitude-preservation analysis of some seismic processing techniques[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2012, 36(4): 617-622.
- [6] 付勋勋,张君学,陈阵,等.基于 S 变换求取地层的品质因子 Q 值[J].物探与化探,2013,37(1):113-116.
Fu X X, Zhang J X, Chen Z, et al. The estimation of Q quality factor based on S-transform[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2013, 37(1): 113-116.
- [7] Rickett J. Estimating attenuation and the relative information content of amplitude and phase spectra[J]. Geophysics, 2007, 72(1): R20-R27.
- [8] 苏世龙,贺振华,戴晓云,等.岩性油气藏地震保幅处理技术及其应用——以东部某油田岩性气藏为例[J].物探与化探,2015,39(1):54-59.
Su S L, He Z H, Dai X Y, et al. The application of relative amplitude compensation technology to lithologic reservoir exploration: A case study of lithologic gas reservoir in an oilfield of eastern China[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 39(1): 54-59.
- [9] 张志军,周东红,孙成禹,等.基于三维模型数据的地震振幅补偿处理技术的保幅性分析[J].物探与化探,2015,39(3):621-626.
Zhang Z J, Zhou D H, Sun C Y, et al. An analysis of the amplitude preservation of seismic amplitude compensation processing technology based on 3D model data[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 39(3): 621-626.
- [10] 楚圣臣,周李军,徐荣奎,等.自动增益控制处理技术在火成岩发育地区的应用[J].江汉石油学院学报,2003,25(SB):39-40.
Chu S C, Zhou L J, Xu R K, et al. The application of automatic gain control in igneous rock development area[J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 2003, 25(SB): 39-40.
- [11] 蔡涵鹏,贺振华,黄德济.一种振幅增益新方法[J].油气地球物理,2007,54(4):13-16.
Cai H P, He Z H, Huang D J. One of the new amplitude gain methods[J]. Petroleum Geophysics, 2007, 54(4): 13-16.
- [12] 王正和,崔永福,向东.井控处理中的真振幅恢复与 Q 补偿方法及应用[J].物探与化探,2008,32(4):434-437.
Wang Z H, Cui Y F, Xiang D. The method and application of true amplitude recovery and Q-compensation in well-control processing[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2008, 32(4): 434-437.
- [13] 王珊,于承业,王云专,等.稳定有效的反 Q 滤波方法[J].物探与化探,2009,33(6):696-699.
Wang S, Yu C Y, Wang Y Z, et al. Researches on stabilized and effective inverse Q filtering[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2009, 33(6): 696-699.
- [14] 芮拥军.地震资料处理中相对保幅性讨论[J].物探与化探,2011,35(3):371-374.
Rui Y J. An analysis of relative amplitude-preservation in seismic data processing[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2011, 35(3): 371-374.
- [15] 张宪旭,强娟,杨光明,等.地震资料处理中自动增益控制方法对振幅的影响[J].煤田地质与勘探,2012,40(2):82-85.
Zhang X X, Qiang J, Yang G M, et al. The influence of automatic gain on amplitude during seismic data processing[J]. Coal Geology and Exploration, 2012, 40(2): 82-85.
- [16] 张文,周志才,于承业.一种改进的近地表强吸收补偿方法研究[J].石油物探,2017,56(2):210-215.
Zhang W, Zhou Z C, Yu C Y. An improved compensation method

- for near surface strong absorption[J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2017, 56(2): 210 - 215.
- [17] 俞岱,何志军,孙渊,等.基于波场延拓的反 Q 滤波方法比较[J]. *物探与化探*, 2018, 42(2): 331 - 338.
- Yu D, He Z J, Sun Y, et al. A comparison of the inverse Q filtering methods based on wavefield continuation[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2018, 42(2): 331 - 338.
- [18] 李晶晶,江桦,王明坤.希尔伯特变换在信号解调中的应用[J]. *信息工程大学学报*, 2002, 3(4): 29 - 31.
- Li J J, Jiang H, Wang M K. Hilbert transform for the application of signal demodulation[J]. *Journal of Information Engineering University*, 2002, 3(4): 29 - 31.
- [19] 袁子龙,左黄金,李婷婷.激发信号与反射信号的主频、振幅衰减及分辨率[J]. *石油物探*, 2004, 43(6): 537 - 540.
- Yuan Z L, Zuo H J, Li T T. The primary frequency, amplitude attenuation and resolution of excitation and reflection signals[J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2004, 43(6): 537 - 540.

An Amplitude gain control method based on Hilbert transform

LIU Yu-Ping^{1,2,3}, LI Li-Qing^{1,2,3}, ZHANG Bao-Jin^{1,2,3}

(1. *Guangzhou Marine Geological Survey, China Geology Survey, Guangzhou 510760, China*; 2. *Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Guangzhou), Guangzhou 511458, China*; 3. *Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Ministry of Natural Resources, Guangzhou 510075, China*)

Abstract: Amplitude gain control is widely used in seismic data processing and interpretation. Based on an analysis of the shortcomings of conventional amplitude gain control (AGC), this paper presents an amplitude gain control method (envelope AGC) based on Hilbert transform. The basic principle is to decompose the amplitude envelope of seismic trace, get the normal amplitude and abnormal amplitude, then extract and add the abnormal value components to the normal value components by weighting, and finally conduct inverse transform to $t-x$ domain to realize envelope AGC. The application results of actual seismic data show that the envelope AGC is realizable and has certain practical application value.

Key words: Hilbert transform; amplitude envelope; abnormal value; AGC; amplitude gain

(本文编辑:叶佩)