

引用格式:刘田田,薛野,唐新媛,等.QT地区层间多次波识别与压制方法[J].油气藏评价与开发,2020,10(6):121-125.

LIU T T, XUE Y, TANG X Y, et al. The identification and suppression methods of internal multiples in QT area[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2020, 10(6):121-125.

DOI:10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2020.06.019

## QT地区层间多次波识别与压制方法

刘田田,薛野,唐新媛,王海峰

(中国石化华东油气分公司勘探开发研究院,江苏南京210000)

**摘要:**QT地区层间多次波发育,干扰有效信号,导致地震资料信噪比降低,影响成像精度。该区层间多次波与一次地震波的波组特征相似,且剩余时差较小,导致其压制困难,因此,成为制约精细勘探的难点之一。基于层间多次波与一次波的差异,首先从CMP(共中心点)道集、速度谱、叠加剖面等方面综合分析多次波的特点,确定其来源、速度及存在范围,然后采用高精度Radon变换法对多次波进行压制。实际应用表明,高精度Radon变换法对QT地区地震资料中的层间多次波具有较好的压制效果,对提高该区地震资料成像精度具有重要意义。

**关键词:**层间多次波;识别;压制;高精度Radon变换;QT地区;CMP道集

中图分类号:P631.4

文献标识码:A

### The identification and suppression methods of internal multiples in QT area

LIU Tiantian, XUE Ye, TANG Xinyuan, WANG Haifeng

(Research Institute of Exploration and Development, Sinopec East China Oil and Gas Company, Nanjing, Jiangsu 210000, China)

**Abstract:** The internal multiples are very developed in seismic data of QT area, which interfere with the effective signal, reduce the signal-to-noise ratio and affect the imaging accuracy. In this area, the internal multiples and the primary wave are similar in the characteristics of the wave group, and the remaining time difference is small. This similarity makes it difficult for suppression. Therefore, the internal multiple has become one of the difficulties that constrain the fine exploration in this area. Based on the difference between internal multiple and primary waves, firstly, the characteristics of the internal multiple are analyzed from various aspects such as CMP gathers, velocity spectrum and stack section to determine the origin, speed and range. Then, the high-precision Radon transform method is adopted to suppress the multiples. The practical application shows that the high-precision Radon transform method gives a good suppression effect on the internal multiples in the seismic data of QT area, which has great significance to improve the imaging accuracy of seismic data in this area.

**Key words:** internal multiple, identification, suppression, high-precision Radon transform, QT area, CMP gathers

QT凹陷是位于苏北盆地东台坳陷中部的一个次级凹陷,该区具有较大的油气勘探潜力。随着勘探程度的深入,勘探目标逐渐由构造型油藏向岩性油藏及小断块油藏方向发展,勘探精度不断提高,同时对地震资料精度要求也越来越高。但该地区层间多次波发育,影响了地震资料成像的真实性及对岩

性油藏和小断块油藏的正确认识,因此,需压制层间多次波,从而来提高地震资料的成像精度。

层间多次波的压制一直是QT地区地震资料处理中的难题。由于该区目标层系一中浅层反射信息丰富,且地震资料信噪比相对较高,层间多次波未对其整体构造认识产生影响。因此,为了不伤害有效

收稿日期:2019-06-24。

第一作者简介:刘田田(1987—),女,硕士,工程师,从事地震资料处理工作。地址:江苏省南京市建邺区江东中路375号金融城9号楼,邮政编码:210000。E-mail:liutiantian.18@163.com

基金项目:国家科技重大专项任务“溱潼-海安凹陷区页岩油资源潜力与地质评价研究”(2017ZX05049001-004);中国石化科技重大专项“东部探区油气聚集规律与精细评价关键技术”(P17013)。

波,在以往地震资料处理中不对多次波做针对性处理,而是利用叠加本身所具有的压噪特性对其进行压制,但这种方法并不能有效压制该波,在剖面上仍存在混波效应,甚至可能产生构造假象,显然,这种方法已不能满足当前高精度地震勘探的需求。

目前多次波压制方法可分为2类:一是基于地震波运动学差异的滤波方法,利用多次波和一次波间速度差异,通过选择合理的方法来消除多次波,其主要方法包括预测反褶积法、F-K域滤波法<sup>[1]</sup>、共中心点叠加法和Radon变换法<sup>[2-5]</sup>;二是基于波动理论的预测减法,通过模拟实际波场或反演地震数据来预测多次波,再从原始地震数据中减去多次波反射信号<sup>[6]</sup>。压制多次波的方法在应用时都有一定的前提条件,如滤波方法要求多次波和一次波之间存在较大速度差异,预测减法则要求地震数据完整及近偏移距数据不能缺失等,满足前提条件就能取得较好的压制效果,否则将会伤害有效反射信号<sup>[1]</sup>。近年来,针对QT地区层间多次波常采用F-K域滤波、Radon变换等压制方法,这些方法对与一次波速度差异较大的多次波压制效果明显,但对速度差异较小的则效果较差。综合分析QT地区层间多次波特点及不同压制方法应用效果后,得出采用高精度Radon变换法对层间多次波进行压制具有较好的效果,明显提高了层间弱反射信号的信噪比。

## 1 层间多次波的产生、特点及识别

### 1.1 多次波的产生及特点

根据多次波与反射界面的关系可将其分为自由表面多次波和层间多次波,自由表面多次波是指在某一深层界面发生反射的波,在地面又发生了反射,并在两界面间多次往返形成的多次波。这类多次波多见于海上地震资料,具有周期性、高阶、分布范围大等特点。层间多次波是指在几个界面上发生多次反射,或在一个薄层内发生多次反射所形成的多次波。理论上,地下反射界面都会产生层间多次波,但对有效波影响比较大的是具有较强反射系数界面所产生的多次波,其反射过程中没有自由界面的参与。层间多次波多见于陆上地震资料,具有非周期性、低阶、覆盖范围小、与深部层位反射互相干涉等特点,大多是由基岩面、不整合面或火成岩界面等强反射界面反射而产生的。层间多次波的波场、运动

学特征都十分复杂,通常其速度与一次波的速度接近,剩余时差较小,与一次波互相干涉,因此,导致了对层间多次波的识别与压制较困难,QT地区地震资料中的多次波即为此类波。

QT地区浅层发育砂砾岩、中深层大面积发育多套火成岩,它们对地震信号都产生较强的屏蔽作用,且极易产生能量较强的层间多次波,导致该区地震资料混波现象较严重。由火成岩导致的层间多次波因其速度与一次波差异较大而较易识别和压制,而砂砾岩产生的多次波速度较低,在中浅层与一次波的速度差异较小,难以识别和压制,因此,将重点研究此类多次波。

### 1.2 层间多次波的识别

层间多次波的波场特征和运动学特征十分复杂,反映在地震道集中,其速度与一次波的速度剩余时差比较小,周期性不明显,识别困难。但在速度谱、动校CMP(共中心点)道集及叠加剖面上多次波具有一定的特点和规律,可通过对这3方面进行综合分析从而来判断其是否存在,以及存在的范围。

1) 速度谱分析:因多次波的速度与产生多次波地层的速度相近,在速度谱上多次波通常表现为一组具有一定规律的能量团。该组能量团所指示的速度基本相同、小于相同时间一次波的速度。但由于多次波的存在,使得一次波能量团集中性变差。

2) 动校CMP道集分析:因为层间多次波速度小于与其相同时间的一次波速度,所以使用一次波速度对CMP道集做动校正后,多次波通常会因动校正量不足而随着偏移距的增大向下弯曲,尤其在中、远道上特性更为明显。

3) 叠加剖面分析:在地质分层较少的地区,层间多次波在叠加剖面上的成像较有规律,通常会在小于其一次反射波2倍时间处开始出现;但在地质分层较多地区,一次波与层间多次波在道集上互相交叉,成像时也互相影响,此类多次波在剖面上就不易被识别<sup>[1]</sup>。

QT地区由砂砾岩强反射界面形成的层间多次波速度较低,与一次波互相影响,从叠加剖面上看难以识别(图1),但叠前时间偏移剖面可清晰看出层间多次波的存在(图6a中波组M)。此时需结合速度谱能量团和动校正CMP道集的特征来判断层间多次波的特点及分布范围。图2a为该区CMP870处的速度

谱,可以看到0.9 s后有一组能量团规律性的出现,且该组能量团指示多次波速度为2 100 m/s。图2b为经一次波动校正后的CMP道集,在1.2 s后出现了多组抛物线状反射波组。根据对图2a中多次波能量团的分析认为抛物线同向轴应在0.9 s以下出现,但由于该组多次波速度与一次波速度相近,且一次波反射信息丰富,导致二者互相影响,在道集上难以识别,因此,在0.9~1.2 s内的多次波需通过与速度谱相结合来判断是否存在。图3为包含图2中CMP870点的常速扫描叠加剖面,其叠加速度为2 100 m/s,0.9 s以下的水平同相轴主要为多次波,同相轴P具有能量

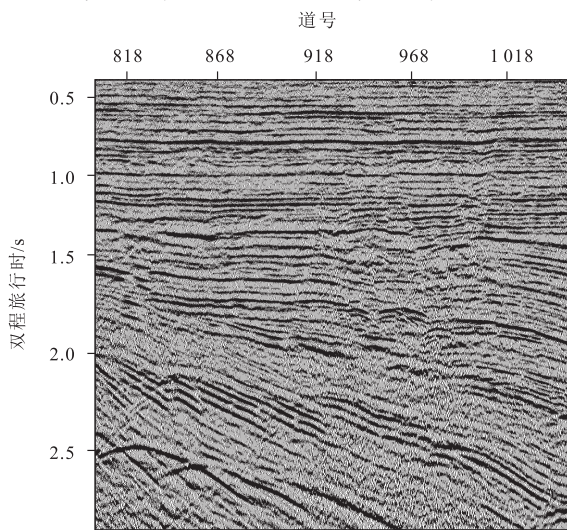


图1 QT地区典型叠加剖面

Fig. 1 Typical stacked section of QT area

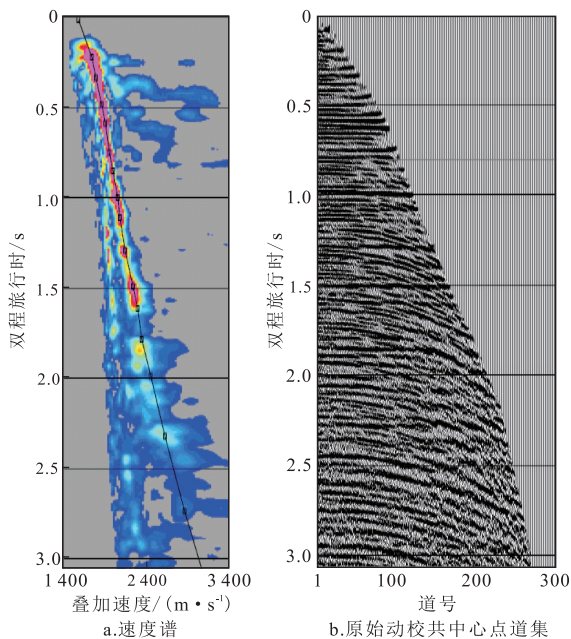


图2 共中心点870处速度谱及动校正道集

Fig. 2 Velocity spectrum and NMO gather at CMP870

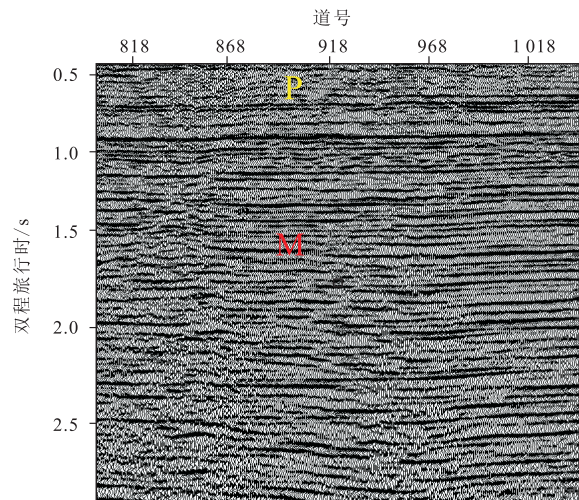


图3 采用2 100 m/s常速扫描叠加剖面

Fig. 3 Stacked section scanned at a constant speed of 2 100 m/s

强、频率低的地震反射特征,而在0.9 s之后出现了许多与同相轴P形态一致的同相轴M。根据地质认识,同相轴P所对应的地层为强波阻抗的砂砾岩,同相轴M则是同相轴P的层间多次波。

## 2 层间多次波的压制

多次波与一次波在Radon域能够实现更好的分离,所以基于Radon变换的多次波压制技术在实际地震数据处理中得到了广泛应用。根据求和路径的不同,Radon变换分为线性Radon变换、抛物线Radon变换和双曲线Radon变换。抛物线Radon变换具有多次波剩余时差较大时压制效果好、对多次波和一次波分辨能力强、对近道缺失不敏感、保真性好等优点;但仍存在多次波剩余时差较小时易损伤近偏移距数据,参数选择不当时产生假频等缺点<sup>[5,7,8]</sup>。高精度Radon变化法是在抛物线Radon变换的基础上优化算法,引入稀疏约束条件,对数据进行稀疏加权,这样就提高了一次波和多次波能量团的聚焦效果,即提高了Radon变换的分辨率。运用此方法,可在保护一次波能量团的前提下较好的切除多次波能量团,实现对多次波更好的压制及对一次波更好的保护,同时又减少或避免了由于空间采样不足所造成的假频现象,是目前抛物线Radon变化法中实际应用效果较好的一种多次波压制方法<sup>[9-13]</sup>。

在QT地区进行了多种层间多次波压制方法研究,如FK域滤波、常规Radon变换和高精度Radon变

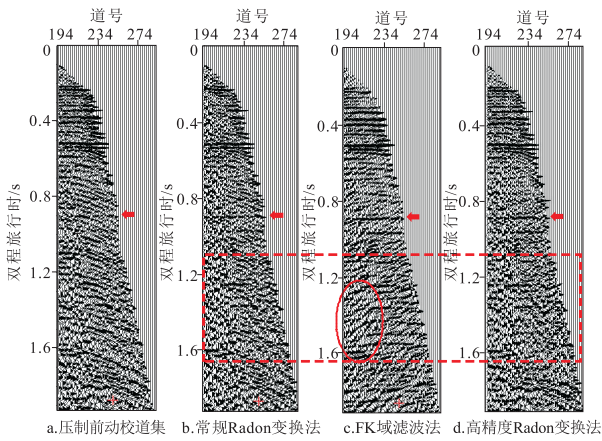


图4 不同方法压制层间多次波后动校正CMP道集  
Fig. 4 CMP gathers after NMO correction that some different methods are adopted to suppress multiples

换等(图4),试验表明,常规 Radon 变换法压制层间多次波后仍有残余;FK 域滤波法易产生混波效应,降低主频;而高精度 Radon 变换法对多次波压制效果明显较好,在提高信噪比的同时保真度更高。

高精度 Radon 变换法具体步骤是<sup>[1,5,7]</sup>:首先对速度谱、动校正 CMP 道集、一次波叠加剖面及常速度扫描叠加剖面的特征进行综合分析,从而确定包含多次波的范围;然后选取包含多次波的 CMP 道集,使用一次波速度进行动校正,通过实验分析选择合适的流程与参数,采用高精度 Radon 变换法压制层间多次波;最后将压制多次波后的 CMP 道集进行反动校正,并将其与无多次波的 CMP 道集进行合并,恢复形成经过压制多次波后的常规地震数据,再通过重新速度分析,获得更为准确的叠加速度。

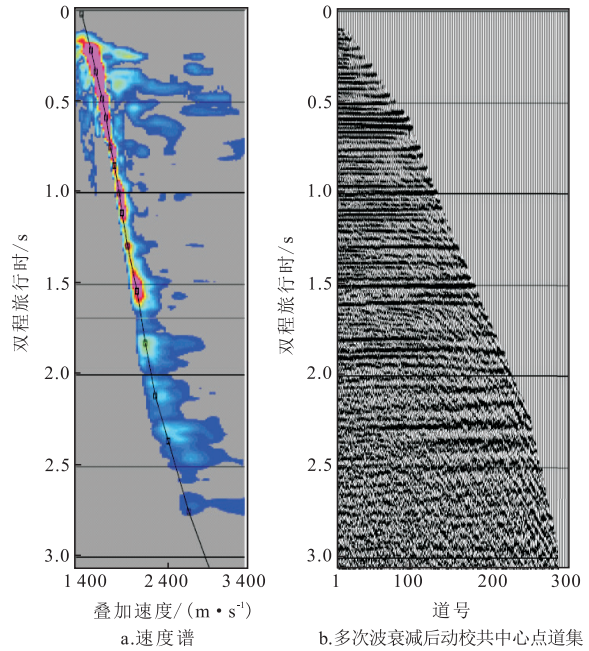


图5 CMP870处层间多次波压制后速度谱及动校正道集  
Fig. 5 Velocity spectrum and NMO gather of velocity analysis after multiple suppression at CMP870

图5为QT地区层间多次波压制后的速度谱与动校正CMP道集,与图2相比,速度谱上多次波能量团明显减弱,一次波能量团更集中;动校正道集上弯曲同相轴明显减少,一次波同相轴连续性更好。将压制多次波前、后叠前时间偏移剖面进行对比可知(图6),压制多次波后,反射波组R层间信息更加丰富,波组连续性明显变好,复波现象明显减少。再将层间多次波压制前、后叠前时间偏移剖面与钻井层位进行

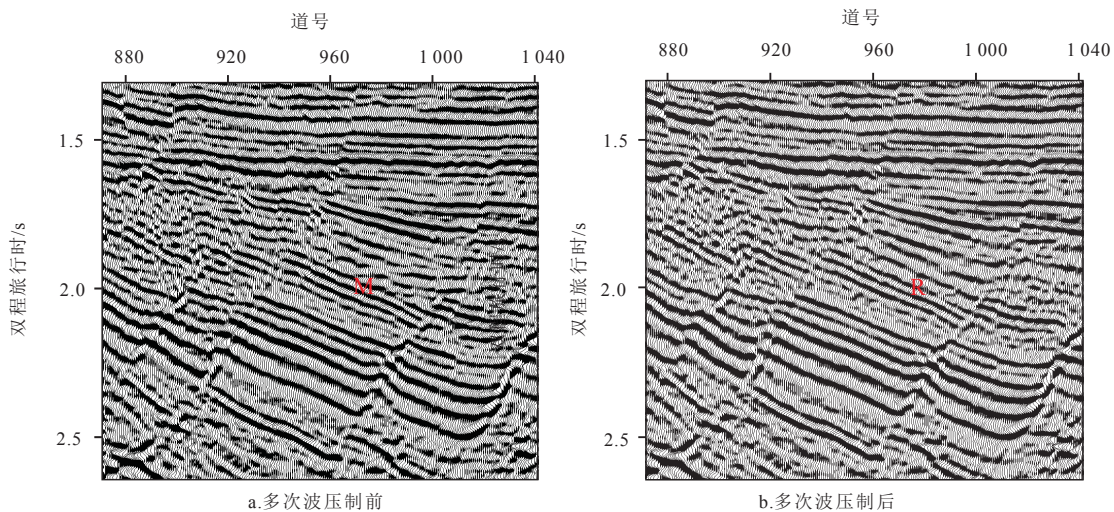


图6 多次波压制前、后叠前时间偏移剖面  
Fig. 6 PSTM section before and after multiple suppression

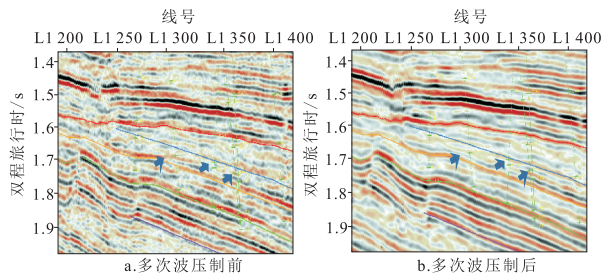


图7 层间多次波压制前、后层位标定

Fig. 7 Horizon calibration before and after multiple suppression

对比可以看出(图7),未压制多次波的剖面上层间信息不连续,波组扭曲,无法正确认识层位的展布特征;而压制后的剖面信噪比明显提高,有效波组连续性增强,层间弱反射波组产状趋于一致,通过地震解释、层位标定,这样就与实际钻井更为吻合。

### 3 结论与认识

1) QT地区浅层发育砂砾岩,中深层发育多套火成岩,形成了多个强反射界面,使得层间多次波在整个QT地区广泛发育,尤其是由浅层砂砾岩强反射界面引起的多次反射影响范围大,且因与中浅层地层速度差异较小难以压制。

2) QT地区层位信息丰富,层间多次波与一次波互相干涉,在叠加剖面上很难判辨是否存在多次波,需结合速度谱和动校CMP道集分析才能确定层间多次波的来源、特点及分布范围。

3) 层间多次波能否得到有效压制是制约QT地区精细勘探的难点之一,经试验及实际应用表明,高精度Radon变换法可有效压制该区的层间多次波,提高地震资料的信噪比,改善成像效果,特别是通过优化叠前道集、提高速度模型精度,能明显提高地震成像质量,从而有效提高勘探精度,这种方法可在类似地区的地震资料处理中选择采用。

#### 参考文献

- [1] 苑益军,张锐锋.陆上地震数据多次波压制策略[J].现代地质,2012,26(6):1237-1243.  
YUAN Y J, ZHANG R F. Multiple suppression strategies on land seismic data[J]. Geoscience, 2012, 26(6): 1237-1243.
- [2] 王维红,刘洪.抛物Radon变换法近偏移距波场外推[J].地球物理学进展,2005,20(2):289-293.  
WANG W H, LIU H. Near offset wavefield extrapolation based on parabolic Radon transform[J]. Progress in Geophysics, 2005, 20(2): 289-293.
- [3] 鲁娥,李振春.混合Radon变换地震噪声压制的应用[J].物探与化探,2013,37(4):706-710.

- LU E, LI Z C. The application of seismic noise at attenuation based on hybrid Radon transform[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2013, 37(4): 706-710.
- [4] 张军华,吕宁,雷凌,等.抛物线拉冬变换消除多次波的应用要素分析[J].石油地球物理勘探,2004,39(4):398-405.  
ZHANG J H, LYU N, LEI L, et al. Analysis of applied factors for using parabolic radon transform to remove multiple[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2004, 39(4): 398-405.
- [5] 王彦江.多次波压制方法及应用研究[D].北京:中国地质科学院,2009.  
WANG Y J. Multiple wave suppression method and its application[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2009.
- [6] 吕进英,郭磊.地震勘探中多次波的识别和压制[J].中州煤炭,2011,33(4):29-31.  
LYU J Y, GUO L. Identification and suppression of multiple waves in seismic exploration[J]. Zhongzhou Coal, 2011, 33(4): 29-31.
- [7] 张宇飞,苑昊.陆上多次波识别与压制[J].岩性油气藏,2015,27(6):104-110.  
ZHANG Y F, YUAN H. Recognition and attenuation of multiples in land seismic data[J]. Lithologic Reservoirs, 2015, 27(6): 104-110.
- [8] 王汝珍.多次波识别与衰减[J].勘探地球物理进展,2003,26(5):423-432.  
WANG R Z. Recognition and suppression of multiple waves[J]. Progress in Exploration Geophysics, 2003, 26(5): 423-432.
- [9] 徐照营.车排子地区近地表多次波特征及压制方法[J].石油物探,2014,53(4):412-420.  
XU Z Y. Study on the characteristics of near-surface multiple and its suppression method in Chepaizi area[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2014, 53(4): 412-420.
- [10] 侯伟丽,刘洪林,刘云鑫,等.多次波压制方法及优化组合压制技术研究[J].内陆地震,2015,29(2):122-128.  
HOU W L, LIU H L, LIU Y X, et al. Study on multiple suppression methods and optimum combination suppression technique[J]. Inland Earthquake, 2015, 29(2): 122-128.
- [11] 武克奋.双向预测法压制线性干扰波和多次波[J].石油物探,2005,44(5):458-460.  
WU K F. Strong linear interferences and multiples suppression based on dual prediction model[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2005, 44(5): 458-460.
- [12] 邱新明,汪超,苑益军,等.Radon变换及其在地震矢量数据处理中的应用研究现状[J].石油物探,2017,56(6):905-914.  
QIU X M, WANG C, YUAN Y J, et al. Research status of the application of Radon transform in seismic vector field processing[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2017, 56(6): 905-914.
- [13] 刘学通.基于高分辨率Radon变换的多次波压制方法研究[D].青岛:中国石油大学(华东),2014.  
LIU X T. Study on multi-wave suppression method based on high resolution Radon transform[D]. Qingdao: China University of Petroleum(East China), 2014.

(编辑 李青)