

文章编号: 1001-1749(2023)06-0766-07

地震振幅的多井质控技术及应用

张宪旭, 王涛, 王树威

(中煤科工西安研究院(集团)有限公司, 西安 710077)

摘要: 当前井控振幅处理技术是利用单井数据对井旁道振幅恢复效果进行质控,但无法应对多井之间参数差异,以及无法对远离井位置的数据恢复效果进行约束。这里以相关系数为标准优选质控井,以井合成地震记录的振幅能量趋势为标尺,对球面扩散中的指数函数补偿方法中 n 参数的补偿效果进行质控,保障地震数据在垂向的能量趋势的正确性;以两口质控井和层位数据为基础构建联井数字模型,基于模型模拟的联井剖面为标准,对指数补偿方法中参数 n 和区域振幅补偿因子进行质控,保障远离井点的地震数据的振幅趋势的正确性。结果表明:为地震数据振幅处理提出质控方法是行之有效的,为地震数据的垂向和横向的振幅相对关系的正确地判别提供了依据。

关键词: 井控处理; 振幅恢复; 多井质控; 联井模型

中图分类号: P 315 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2023.06.09

0 引言

近些年,地震勘探目标从大尺度的构造解释,逐步转向了小尺度的岩性识别。这要求地震资料中的振幅信息能真实有效地反映岩石特性,其关键在于地震资料处理过程中,对有效波的振幅信息进行保护与补偿^[1]。但是在当前的数据处理过程中,处理效果主要依赖经验,没有一个度量尺度来对数据进行评价,补偿效果难以保障^[2](如在振幅恢复前后对比单炮的面貌和振幅衰减曲线,看振幅是否补偿到位,判别标准比较主观和片面^[3-4])。

为了克服这样的缺陷,斯伦贝谢公司首先提出了井控地震资料处理技术,利用测井、VSP等井资料,对地震数据做分析与质控,用于弥补数据处理中的认识不足,满足地质分析与油气开发对地震资料高精度岩性解释的需求,随后国外很多机构和学者

对该项技术发展出了井控振幅补偿、井控反褶积、井控反Q补偿等技术^[5-7]。在国内各大油田也对该项技术进行了研究,并得到了一定的应用效果^[8-9]。

但当前井控处理技术主要是利用井信息对井旁道的数据进行质控,井点与井点的数据无法用同一个标准对比,远离井点的数据也无法进行质控^[10]。为了克服这样的缺陷,我们基于当前井质控井旁道的方法,利用多井数据建立地质模型,实现对井间数据振幅恢复效果的质控目的。

1 振幅补偿及井控方法

1.1 振幅恢复方法

1.1.1 球面扩散补偿

地震波被激发后波前面是一个以震源为中心的球面,随着传播距离不断扩大,波前面单位面积的能量密度不断减小,这种现象被称为几何扩散^[11]。对

收稿日期: 2022-10-17

基金项目: 陕西省自然科学基金基础研究计划(2022JM-159);中煤科工集团科技创新创业资金专项项目(2023-TD-QN009)

第一作者: 张宪旭(1979-),男,硕士,副研究员,从事煤田地震资料处理工作,E-mail:zhagnxianxu@cctegxian.com。

于该现象的研究最初是 1973 年 Newman. P. 根据地质模型进行分析提出了球面扩散补偿公式, 后来陆续有众多学者在此基础上做了进一步的发展^[12-14]。球面扩散补偿从方法上主要分为两类: 时间速度对补偿方式和指数法球面发散补偿^[15]。

1) 时间速度对补偿方法:

$$A(t) = A(0) \times \frac{v^2 \times t}{v_0^2} \quad (1)$$

其中: A 为振幅值; v_0 为速度初值或水层速度; v 为均方根速度; t 为样点时间。方法优点为, 使用了速度为参数, 而地震速度是从速度分析而来, 因此速度是一个体数据, 在空间上可变, 理论上更为合理一些, 但速度一旦确定后恢复效果将确定无法改变。

2) 指数函数补偿方法:

$$A(t) = A(0) \times \left(\frac{t}{250}\right)^n \quad (2)$$

其中: A 为振幅值; t 为样点时间; n 为定义补偿函数的指数值。方法优点为恢复效果可以通过参数 n 来控制浅中深及近中远的振幅相对关系, 缺点是只能选择一个参数无法应对复杂的地质情况。

1.1.2 区域振幅补偿因子

现实中因为沉积环境的改变地下岩性在横向是存在一定的变化。而处理过程中使用的地表一致性振幅补偿方法是, 基于有效波能量与位置无关的前提, 因此在区域岩性存在横向变化时候, 会出现目的层反射波振幅与岩性出现背离的情况。针对这样的情况提出了区域振幅补偿因子的概念, 在一个区域内提取一个补偿因子, 对区域岩性差异带来的差异进行补偿的一种方法^[16-17]。补偿方法为在数据中选取一层较为稳定的标志层, 在该层上下开取一个适合的时窗, 利用振幅能量累加的方法求取能量补偿因子, 其中能量补偿因子求取公式为式(3)。

$$E_k = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^t |A_i|^2}{t}} \quad (3)$$

其中: E_k 为第 k 个补偿因子; i 为旅行时; j 为道序号; A 为振幅; t 为窗口时间; N 为总道数。

1.2 振幅井控方法

井控振幅技术是在地震资料处理过程中, 将测井资料、VSP 资料与地震资料相结合, 利用井数据得到井点振幅之间相对大小关系(波组特征), 并以此作为标尺对振幅恢复方法中的参数的正确性进行质控与定量评价, 达到对处理参数求取和优化的目的

的^[18]。

1.2.1 单井质控

单井振幅约束是井约束振幅质量控制的第一步, 目的是利用井信息对井点位置处的地震数据的浅、中、深振幅趋势进行比较, 约束井旁道垂向振幅恢复效果。在地震数据处理过程中, 主要使用两种补偿地震波传播能量衰减的方法, ①球面扩散补偿方法中速度一经确定恢复效果也就确定将无法改变; ②指数函数补偿方法是通过公式(2)中的参数 n 来控制补偿效果。因此选择使用指数函数补偿方法来调整补偿效果。

1) 井震标定。使用目标井的纵波速度、密度求取合成地震记录, 根据井上的地质分层和地震数据利用合成地震记录做好时深转换和层位标定。

2) 振幅恢复。使用球面扩散补偿方法搭配指数函数补偿方法, 或直接使用指数函数补偿方法对数据振幅进行补偿。

3) 振幅能量曲线对比。计算合成地震记录道和井旁道的振幅能量曲线, 叠合对比两条曲线的吻合程度, 质控能量曲线由浅到深的能量趋势是否补偿到。如果井旁道能量趋势与合成地震记录的能量趋势不一致, 测试指数函数补偿方法中的参数 n , 使得井旁道的浅、中、深的振幅能量趋势与合成地震记录的能量趋势相吻合。

1.2.2 联井质控

单井质控主要是依据合成地震记录的浅、中、深振幅能量趋势质控井旁道垂向能量趋势, 但是由于井只能控制一点的信息, 远离井位置的数据就无法进行质控; 另外, 如果有多口井的时候, 井与井之间的质控结果出现不一致的时候也无法应对。因此需要在联井方式下质控多井点和井间的振幅恢复效果。

1) 地质层位划分。单井的标定结果可以将深度域上的地质层位转换到井点位置的地震剖面上, 依据井标定结果将远离井的地震数据中的层位进行解释与追踪, 为提高后续模型效果, 需要适当的在解释的目标层位之间加密解释一些辅助层位。

2) 地质模型建立与模拟。根据质控井位置抽取联井质控剖面, 利用井的速度和时深关系将地震剖面上追踪的层位转换到深度域。基于井的速度和密度曲线, 以及转换过来的层位数据构建数字模型, 对模型模拟得到与联井剖面对应的质控模型剖面。

3) 波组特征对比。依据模拟得到的质控模型剖

面为标尺,对比地震数据的联井剖面 and 模型剖面的波组特征和能量趋势,质控联井剖面的振幅恢复效果。

4) 振幅补偿。在处理过程中,指数补偿方法的参数 n 通常在全区中使用一个值。而在多井质控时,往往会出现井与井之间测试得到的 n 参数不一致。如果使用同一个值对全工区数据进行振幅恢复,将无法保障每口井点位置的恢复效果,同时也不符合沉积是横向变化的实际地质情况。因此依据单井质控的振幅补偿参数值,根据炮点位置与质控井的距离,对 n 参数乘以距离加权系数求取远离井位置处的振幅补偿参数 n 值,使 n 值随着井位置进行空变。

使用空变的补偿参数值对多井数据的垂向振幅的恢复具有合理性,但由于参数的不同会导致深部的振幅的横向异常,对于这样的横向异常需要使用区域振幅补偿方法,计算不同的补偿因子使用公式(3)对目标层位进行补偿消除横向的不一致性。

1.2.3 井控流程

井控流程图见图 1。

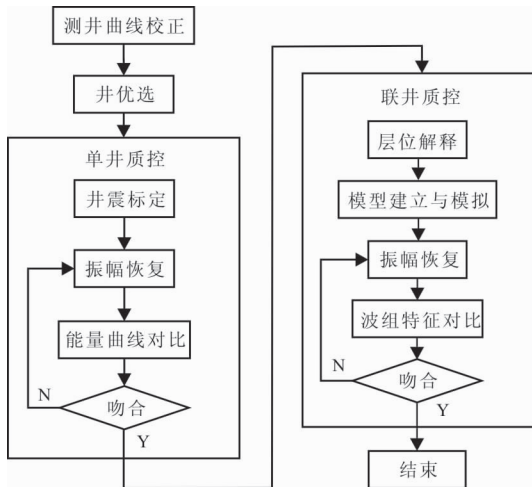


图 1 井控流程图

Fig. 1 Well control flow chart

2 应用实例

为了较好地说明多井约束的数据质量控制过程,选用山西中部某煤层气勘探区块的实际数据为例,对提出的多井质量控制方法进行展示。

2.1 工区概况

勘探区位于吕梁山脉中段,地表为黄土地貌,地

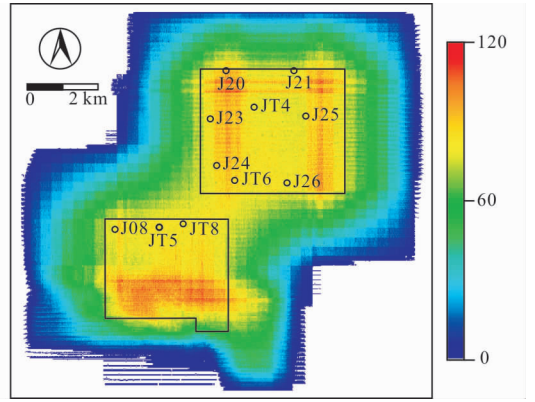


图 2 井位置及覆盖次数图

Fig. 2 The well location and data fold times

表 1 井信息表

Tab. 1 Well information

井名	区位置	类型	构造	相关系数	质控井选择
J08	南区	直井	简单	0.77	✓
J20	北区	直井	复杂	0.76	
J21	北区	直井	复杂	0.54	
J23	北区	直井	简单	0.74	
J24	北区	直井	简单	0.84	✓
J25	北区	直井	复杂	0.79	
J26	北区	直井	复杂	0.82	
JT4	北区	斜井	简单	0.76	
JT5	南区	直井	复杂	0.73	
JT6	北区	直井	简单	0.78	
JT8	南区	直井	简单	0.71	

表高程 620 m~1 030 m。地下构造形态为西南倾向的单斜构造,产状平缓,局部发育宽缓的波状起伏。地层由老至新发育有古生界、中生界和新生界,区内主要含煤地层为本溪组、太原组和山西组,可采煤层有 11 层,煤层埋深范围在 1 200 m~1 700 m 之间。

2.2 测井曲线校正

井曲线是作为井控处理过程中的标尺对地震数据的处理效果进行评价,因此井数据的正确性是一切质控的前提。由于区内的钻井和测井的施工时间都不一致,测井仪器、施工队伍和施工人员也不一致,因此受到仪器、井径、施工速度等因素的影响,数据会相对于真实数据有一定的差异,因此在井数据使用前,需要对数据做环境、异常值和归一化等校正,消除数据因非地质因素引起的差异。

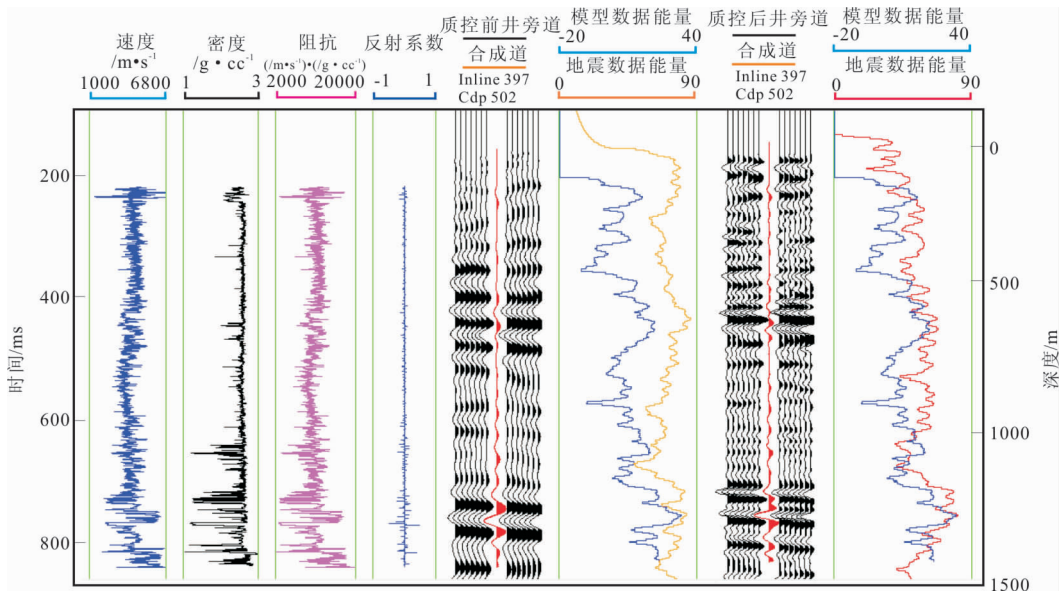


图 3 J24 井单井振幅质控前后对比

Fig. 3 Comparison of well J24 before and after amplitude quality control

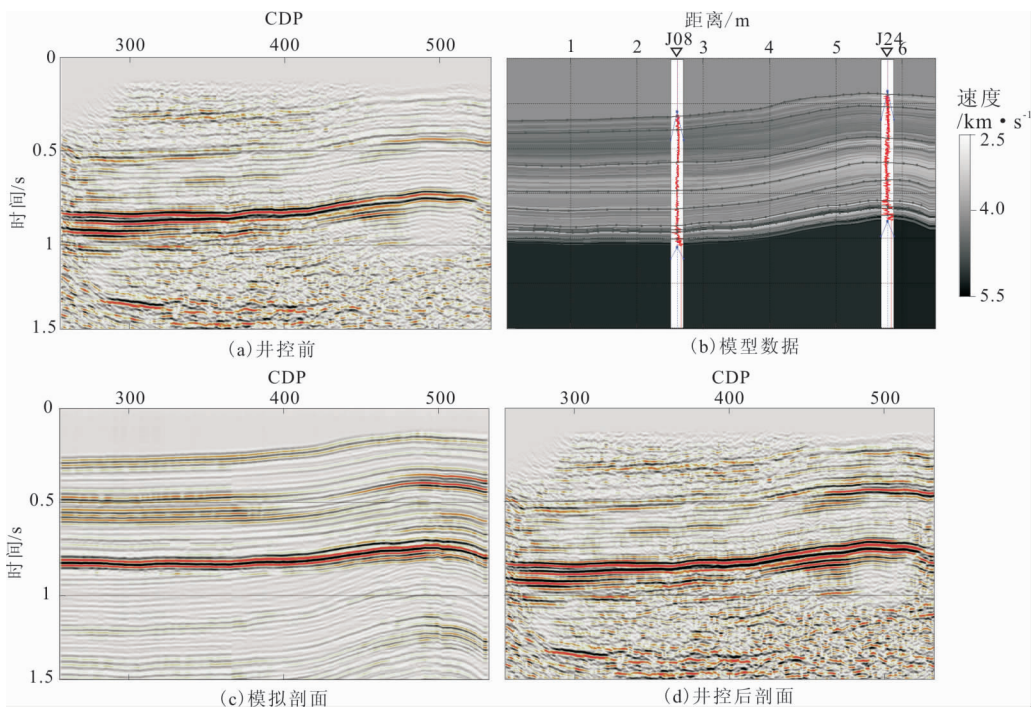


图 4 联井约束下的振幅补偿质控

Fig. 4 Amplitude compensation quality control after joint wells constraints

2.3 目标井优选

由于测井数据质量参差不齐, 如果将有问题的测井或不具有代表性的井引入到井控处理过程中, 质控将会起反作用。因此能作为质量控制的井需要以下三个条件进行优选:

- 1) 合成地震记录与井旁道有较高的相关系数。
- 2) 井位于勘探区内部, 地震数据具有满覆盖

次数。

3) 井所在位置的地下构造简单且信噪比较好。

根据井位置、井信息表(表 1)、满覆盖次数等基本信息, 优选 J08 和 J24 井为质控目标井(图 2)。

2.4 单井质控效果

观察 J24 的能量曲线(图 3)可以看出, 根据测井数据计算处的合成地震记录的能量趋势是浅部能

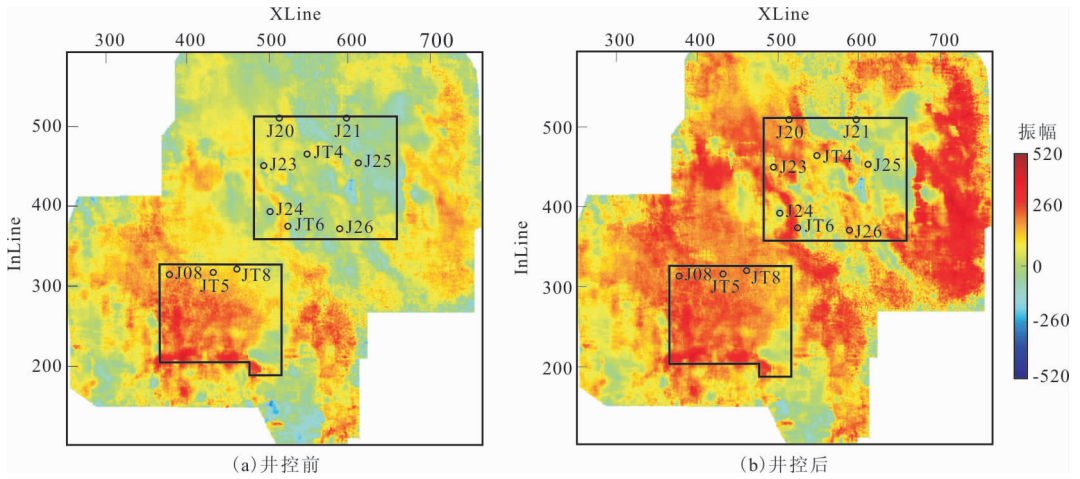


图 5 联井约束下的煤层振幅平面质控图

Fig. 5 Amplitude plane quality control of coal under joint wells constraints

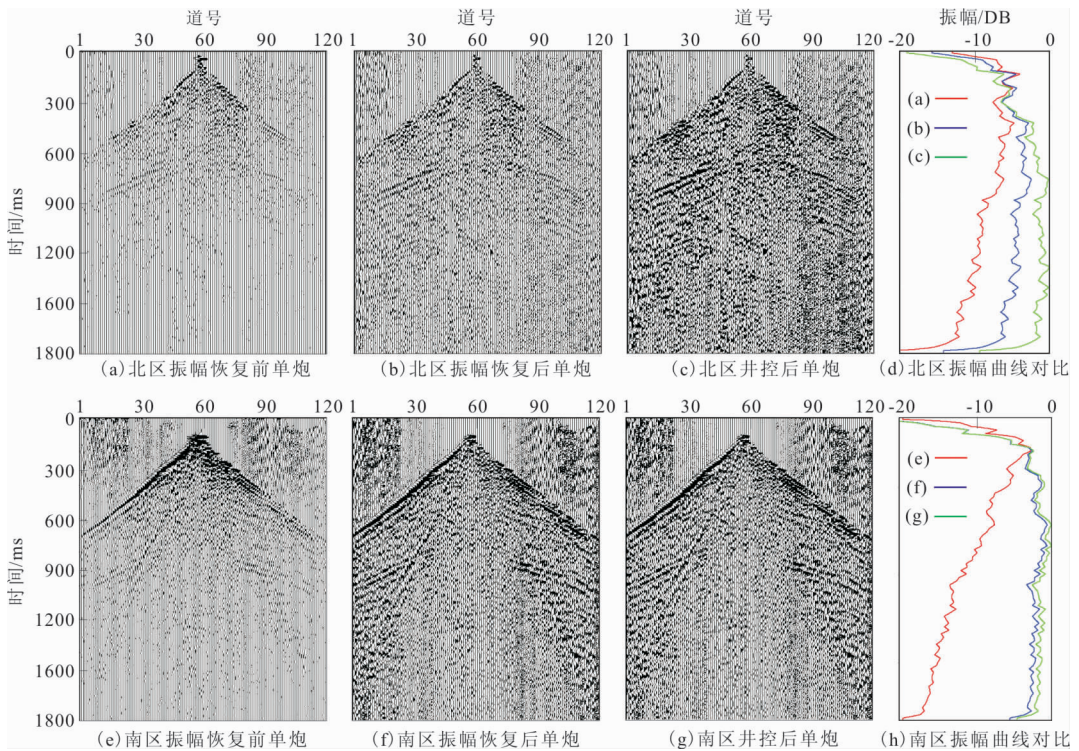


图 6 联井约束下的单炮振幅质控图

Fig. 6 Amplitude quality control of shots under joint wells constraints

量弱,目标层(煤层)附近的能量强,这是因为浅部主要为砂泥岩其反射系数小,煤层与围岩的反射系数大。但井旁道的地震数据能量曲线,浅部能量与深部能量差不多,这是因为在数据处理过程中没有一个客观的判别依据,通常是主观的认为浅、中、深能量区域一致就认为补偿到位,因此出现了过补偿的现象。通过曲线质控结果,减小指数函数补偿方法中的参数 n 调整振幅,新的质控结果见图 3,新数据

的井旁道的能量曲线与合成地震记录的能量曲线与基本一致,说明振幅补偿效果合理。

2.5 联井质控效果

从 J08 与 J24 的联井剖面(图 4(a))可以看出,地层总体构造形态为背斜一翼。使用井的速度和密度曲线,以及拾取的层位数据为基础构建数字模型(图 4(b)),对模型模拟得到模型剖面(图 4(c))。对比实际数据剖面(图 4(a))和模型剖面(图 4(c))可

以看出,模型构造形态和实际数据基本一致,由于地震数据做过单井质控,井旁道垂向能量趋势得到了校正,但数据中井 J24 附近的煤层反射能量比井 J08 附近的能量要弱,这与煤系地层岩性横向缓慢变化的实际情况不符。图 4(d)为经过以模型联井剖面为标准对指数补偿方法中参数 n 和区域振幅补偿因子进行质控后得到的地震数据,从图 4(d)中可以看出,补偿后的剖面煤层反射波横向不均匀的现象得到了改善。同样在煤层平面振幅对比图(图 5)中可以看出,在原始数据中井 J24 附近的煤层反射能量要比井 J08 附近的能量要弱(图 5(a)),经过多井振幅质控后,煤层反射振幅横向变化与煤系地层实际情况不符的问题得到了改善(图 5(b));从井 J28 附近的单炮(图 6(f)和图 6(h))可以看出其能振幅补偿合理,但井 J24 附近的单炮(图 6(b)和图 6(d))深部振幅补偿不到位,且其单炮振幅要弱于 J28 附近的单炮,经过单井质控和联井质控后井 J24 附近的单炮振幅深部振幅得到了改善,并与 J28 附近的单炮振幅接近。

3 结论

1)在质控过程中,井是作为质控判别标尺,目标井的选择与校正是正确质控的前提。首先测井数据经过校正之后才能正确体现数据的纵向振幅趋势;再使用相关系数对测井数据进行筛选,剔除存在错误的井数据;最后选择位置在构造较为简单井数据,保证参数适用较广。

2)合成地震记录可以客观反映地震数据浅、中、深振幅相对关系,以此为标准对地震处理过程中的球面扩散中的指数函数补偿方法的 n 参数的补偿效果进行约束,保障近井点地震数据垂向振幅变化趋势的正确性。

3)在单井约束基础之上,利用多井数据和层位数据建立联井地震模型,依据模拟的模型剖面为标准,对远离井点的指数函数补偿方法的 n 参数和区域振幅因子参数补偿效果进行约束,保障井间地震数据横向振幅相对关系的正确性。

参考文献:

[1] 顾雯,章雄,徐敏,等.强屏蔽下薄储层高精度预测研究——以松辽盆地三肇凹陷为例[J].石油物探,2017,56(3):439—448.
GU W, ZHANG X, XU M, et al. High precision pre-

diction of thin reservoir under strong shielding effect and its application: a case study from depression, Songliao basin[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2017, 56(3): 439—448. (In Chinese)

[2] 尚新民.地震资料处理幅值性评价方法综述与探讨[J].石油物探,2014,53(2):188—195.
SHANG X M. The summary and discussion of amplitude preservation evaluation method in seismic data processing[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2014, 53(2): 188—195. (In Chinese)

[3] 王兴,曾庆才,陈猛,等. GeoEast 井控地震资料处理效果分析[J].石油地球物理勘探,2014,49(增刊):11—16.
WANG X, ZENG Q C, CHEN M, et al. Well-control seismic data processing in ZG area with GeoEast[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2014, 49(S1): 11—16. (In Chinese)

[4] 梁鸿贤.井约束地震处理技术综述[J].地球物理学进展,2017,32(6):2485—2492.
LIANG H X. Review of well-constrained seismic processing technique[J]. Progress in Geophysics, 2017, 32(6): 2485—2492. (In Chinese)

[5] 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(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(4): 434—437. (In Chinese)

[6] 周超,孙夕平,张研.井控反褶积方法在松辽盆地薄储层识别中的应用[J].石油天然气学报,2010,32(6):395—400.
ZHOU C, SUN X P, ZHANG Y. Application of well controlling deconvolution in Songliao Basin in thin reservoir identification[J]. Oil and Gas Journal (Journal of Jiangnan Petroleum Institute), 2010, 32(6): 395—400. (In Chinese)

[7] 崔永福,吴国忱,郭伟,等.井控谱约束反褶积方法及其应用[J].石油地球物理勘探,2015,50(5):854—860.
CUI Y F, WU G C, GUO W, et al. Well-control spectrum constraint deconvolution[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2015, 50(5): 854—860. (In Chinese)

[8] 康有元,马丰臣,满红霞,等.面向油田开发的井控地震资料处理技术及应用[J].石油地球物理勘探,2013,52(4):402—408.
KANG Y Y, MA F C, MAN H X, et al. The well-controlling seismic data processing techniques faced oilfield development and their application[J]. Oil Geo-

- physical Prospecting, 2013, 52(4): 402—408. (In Chinese)
- [9] 王威彬. 井控地震资料处理技术及其在 LS 地区的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2008, 47(4): 381—386.
WANG X B. Well—control seismic data processing and its application in LS area[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2008(4): 381—386. (In Chinese)
- [10] 徐春梅, 张玥, 梁硕博. 井控地震资料处理技术探讨[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(33): 76—85.
XU C M, ZHANG Y, LIANG S B. Discussion on well—controlled seismic data processing technology [J]. Science Technology and Engineering, 2019, 19(33): 76—85. (In Chinese)
- [11] 凌云, 高军, 吴琳. 时频空间域球面发散与吸收补偿[J]. 石油地球物理勘探, 2005, 40(2): 176—189.
LING Y, GAO J, WU L. Compensation for spherical dispersion and absorption in time—frequency—space domain[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2005, 40(2): 176—182. (In Chinese)
- [12] NEWMAN P. Divergence Effects in a Layered Earth [J]. Geophysics, 1973, 38(3): 481—488.
- [13] 高军, 凌云, 周兴元, 等. 时频域球面发散和吸收补偿[J]. 石油地球物理勘探, 1996, 31(6): 856—866.
GAO J, LING Y, ZHOU X Y, et al. Compensation for spherical divergence and absorption in time—frequency domain [J]. Oil Geophysical Prospecting, 1996, 31(6): 856—866. (In Chinese)
- [14] FUTTERMAN W I. Dispersive body waves[J]. Journal of Geophysical Research, 1962, 67(13): 5279—5291.
- [15] 张立芹. 官西地区相对振幅保持处理技术应用研究[D]. 大庆: 东北石油大学, 2016.
ZHANG L Q. Research and application of relative amplitude preservation[D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2016. (In Chinese)
- [16] 苏云, 李录明, 刘艳华, 等. 互均衡技术及其在时移地震资料处理中的应用[J]. 石油物探, 2009, 48(3): 247—251.
SU Y, LI L M, LIU Y H, et al. Cross—equilibration technique and its application in time—lapse seismic data processing[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2009, 48(3): 247—251. (In Chinese)
- [17] ZHANG X X, MA J F, LI L. Monitoring of coal mine goaf based on 4d seismic technology[J]. Applied Geophysics, 2020, 17(01): 54—66. (In Chinese)
- [18] 郭向宇, 凌云, 高军, 等. 井地联合地震勘探技术研究[J]. 石油物探, 2010, 49(5): 438—451.
GUO X Y, LING Y, GAO J, et al. Study of seismic—logging joint seismic exploration technology[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2010, 49(5): 438—451. (In Chinese)

Multi—well quality control technology and application of seismic amplitude

ZHANG Xianxu, WANG Tao, WANG Shuwei

(CCTEG Xi'an Research Institute (Group) Co., Ltd, Xi'an 710077, China)

Abstract: The current well control amplitude processing technology uses single well data to control the amplitude recovery effect of sidetrack, but it can't deal with the parameter difference between multiple wells and control the data recovery effect far away from sound points. This paper uses the correlation coefficient as the standard to optimize the quality control wells. The amplitude energy trend of well synthetic seismic records is used as the scale to control the compensation effect of n parameter in the exponential function compensation method to ensure the correctness of the vertical energy trend of seismic data. The S—shape well model is constructed based on the logging data of two quality control wells and interpretation horizon. Based on the S—shape well model profile as the standard, the compensation effect of n parameter and regional amplitude compensation factor are controlled to ensure the correctness of the amplitude trend of seismic data far away from well points. The results show that the quality control method proposed in this paper for amplitude preserving processing of seismic data is effective and provides a basis for judging the correctness of the relative relationship between vertical and horizontal amplitude of seismic data.

Keywords: well control processing; amplitude recovery; multi—well quality control; joint well model