

doi:10.11720/wtyht.2015.2.21

芮拥军.地面微地震水力压裂监测可行性分析[J].物探与化探,2015,39(2):341-345.http://doi.org/10.11720/wtyht.2015.2.21

Rui Y J.Feasibility analysis of surface micro-seismic hydraulic fracturing monitoring[J].Geophysical and Geochemical Exploration,2015,39(2):341-345.http://doi.org/10.11720/wtyht.2015.2.21

# 地面微地震水力压裂监测可行性分析

芮 拥 军

(胜利油田分公司 物探研究院,山东 东营 257022)

**摘 要:** 作为水力压裂监测的最有效手段,微地震监测越来越受到人们的重视,特别是地面微地震监测因为便于施工、观测充分等优点成为研究的热点,然而由于微地震的特殊性,是否能够在地面强噪声环境下接收到有效的微地震事件,成为地面微地震监测整个技术环节的关键点。文中从水力压裂的产生能量、地面压裂车组噪声的干扰情况以及不同深度微地震传播的差异三个方面进行了深入分析,从“信(有效事件)噪(地面噪声)”两个角度,得出了地面微地震可以接收到可靠的压裂信号的结论。在 Yan227 水平井水力压裂地面微地震采集的实际数据验证了该方法的实用性,为地面微地震技术开展提供了依据。

**关键词:** 地面微地震;传播规律;可靠性;能量计算;干扰分析;振幅差异

**中图分类号:** P631.4      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-8918(2015)02-0341-04

目前,微地震监测技术在低渗透油气藏勘探开发和页岩气勘探开发方面起着非常重要的作用,使得微地震压裂检测已经成为最热门的地球物理技术,发展前景将更加广阔,在油田勘探开发中具有重要的意义<sup>[1-3]</sup>。

微地震监测技术从观测方式来看,可以分为地面微地震和井中微地震,国内外开展了大量研究<sup>[4-9]</sup>,从实际应用情况,井中微地震得到了较多的认可,也得到了一定的应用<sup>[10-12]</sup>,而对于地面微地震则存在较大的争议,焦点集中在地面微地震是否能可靠的采集到微地震信号<sup>[13-14]</sup>,一直以来没有确定性的结论,莫衷一是。

为此,结合微地震的特点,从水力压裂的产生能量、地面压裂车组噪声的干扰情况以及不同深度微地震传播的差异三个方面进行了深入分析,得出了地面微地震可以接收到可靠的压裂信号的结论,并在 Yan227 水平井水力压裂地面微地震采集的实际数据得到了验证。

## 1 水力压裂激发的能量计算

微地震是否可行,关键看检波器能否记录到微地震信号,也即信号大于检波器前端的分辨率,所以

需要重点讨论在水力压裂过程中发射地震波的强度。在地面监测的方式下,由破裂面位移产生的 P 波位移振幅可以写为<sup>[15]</sup>

$$A_1 = \frac{\lambda_0 \omega_0}{4\pi \rho_1 r_1 \alpha_1^3} \cdot u'(t - r/\alpha) \cdot S_0 K_1 F_1 H_1。$$

(1)

下标为“0”的参数是与震源有关的参数,与传播路径无关;下标为“1”的参数是地面接收的路径参数,与震源无关; $r$  为传播距离; $S$  为破裂面积; $K$  为转换系数; $H$  是入射衰减; $F$  是路径衰减; $\omega_0$  是震源的角频率。

根据理论及野外实际条件,结合济阳坳陷的具体情况,对公式 1 中参数进行了定量(表 1)。

表 1 破裂引起 P 波振幅的计算参数

|            |             |                  |
|------------|-------------|------------------|
| $u_3$      | 裂缝张开宽度      | 2 mm             |
| $T$        | 地震周期        | 0.02 s           |
| $\omega_0$ | 角频率         | 300              |
| $f$        | 地震频率        | 50 Hz            |
| $\alpha_1$ | 地面接收 P 波速度  | 1 200 m/s        |
| $\alpha_2$ | 井下接收 P 波速度  | 2 000 m/s        |
| $r_1$      | 地面 P 波传播距离  | 3 000 m          |
| $r_2$      | 井下 P 波传播距离  | 500 m            |
| $S_0$      | 震源面积        | 1 m <sup>2</sup> |
| $K_1$      | 地面的检波器的换能系数 | 0.5 V · s/cm     |
| $K_2$      | 井下的检波器的换能系数 | 0.2 V · s/cm     |

通过计算,在上述参数条件下,地面接收所获得的电压值是 5.8  $\mu\text{V}$ 。目前的检测水平是 1~2  $\mu\text{V}$ ,这已超过现有技术的检测水平。另外鉴于计算采用破裂面积为 1  $\text{m}^2$  的尺度比较小,而传播距离 3 000 m 比较大,所以可以认为在一般情况下,水力压裂诱发的微地震是可以被检测到的。

2 地面压裂车组噪声的干扰分析

在地面进行压裂监测,最大的噪声来自水力压裂大型设备的噪声,压裂车组造成的噪声有多大,

其传播规律如何直接决定了地面压裂的可行性。

为此,在某一次压裂监测过程中,以压裂井口为中心向外摆设排列。从记录结果来看,图 1,各接收台站记录信号的振幅总的来说随距压裂车水平距离增加而逐渐降低,这种趋势是非常明显的。

需要进一步考虑的是,台站距压裂车多远压裂车噪声才小于环境噪声,也即可以忽略压裂设备的影响。在胜利油田的 7 次监测活动中,通过观察 1 000~2 000 m 左右台站的振幅变化(图 2),在距压裂车约 1 000 m 之外,7 次监测的振幅水平没有明显

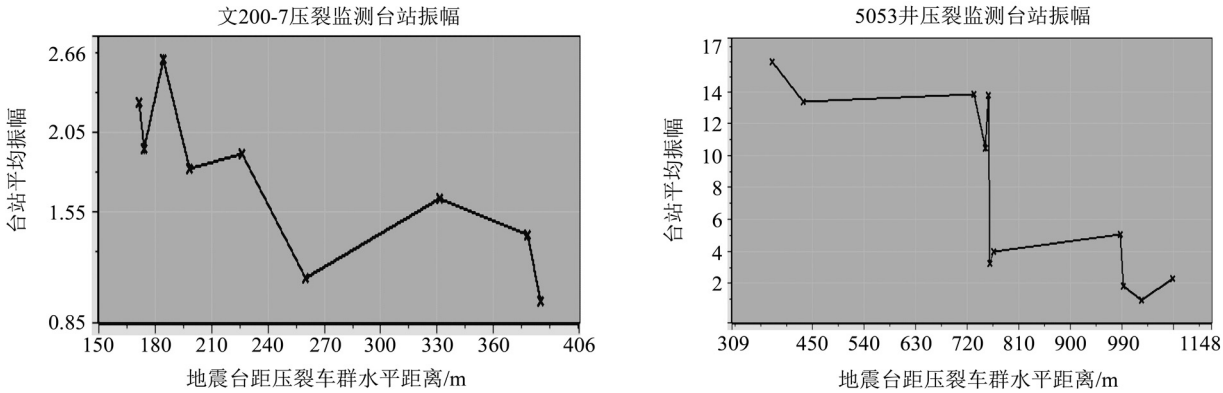


图 1 距离压裂车群不同距离的振幅水平变化

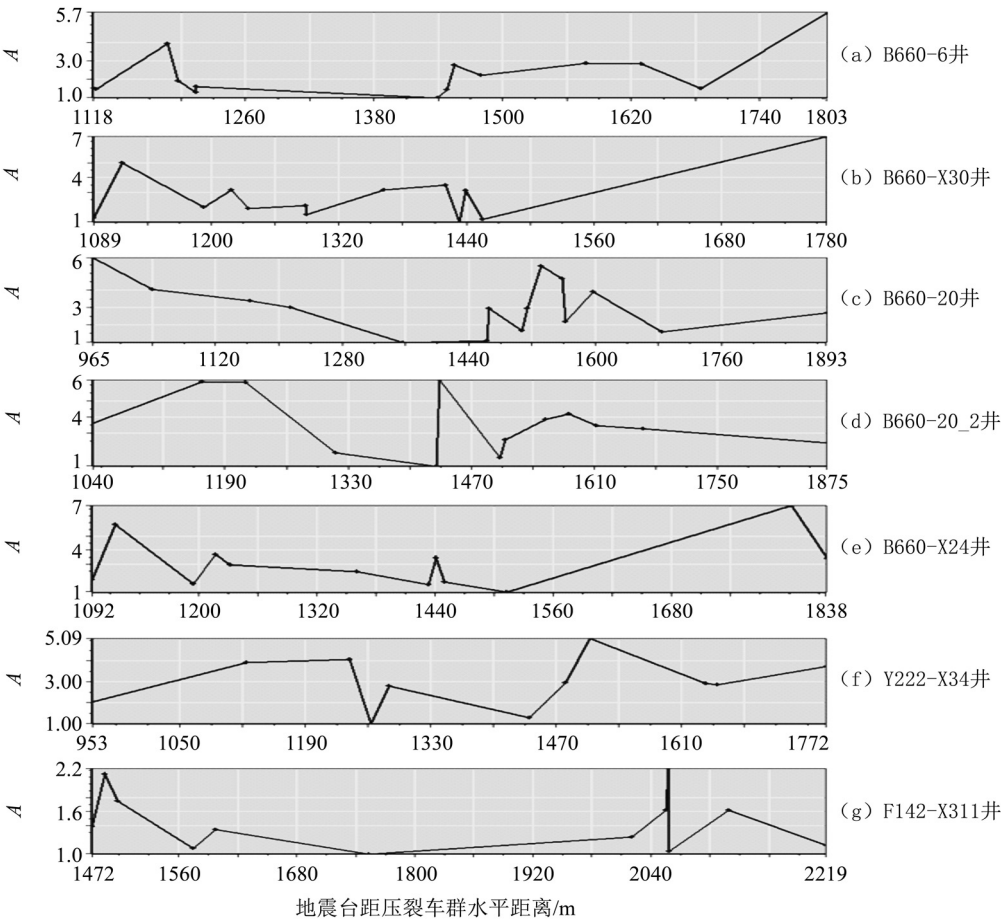


图 2 胜利油田 7 口井的监测中各台平均振幅

的变化趋势,各台的平均振幅也无随距压裂车水平距离增大而衰减的趋势,可认为这些振幅主要同各台自己所在点的环境噪声有关。

可以认为,一般只要接收位置在压裂车组 1 000 m 以外,就可以忽略压裂车组的影响,而当台站距压裂车的水平距离增长时,台站距压裂点的射线距离没有大的变化,所以采用远离(1 000 m 外)压裂车的地面压裂监测是有效的方式。

3 不同深度微地震传播的振幅差异分析

水力压裂诱发微地震的传播具有特殊的一面,区别与常规主动震源方式,是一种从地面向地面的单程传播,一般情况下属于从高速介质向低速介质运动。在这个过程中表现出了不同的特点。

设计图 3 模型,分别在深度 100 m 和 900 m 处激发,从 0~1 000 m 每间隔 2 m 进行接收,模拟结果见图 4、图 5。可以看出,同样的激发条件,由于传播方向不同,振幅发生较大的变化。在传播相同距离条件下,从下上传播(从高速到低速)振幅更大。

为了更好的表现不同传播方向振幅的关系,将两种传播的振幅放到同一个图中(见图6),因存在

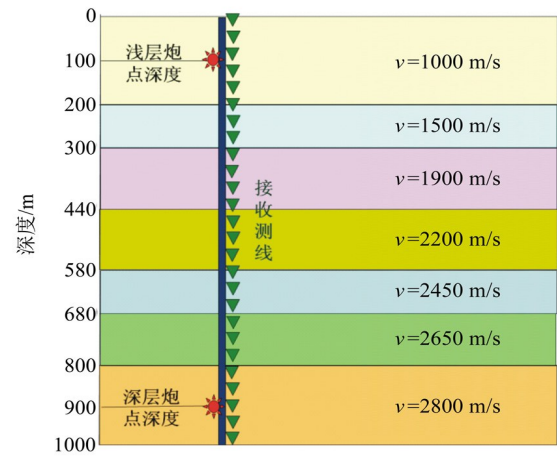


图 3 基本模型与观测系统

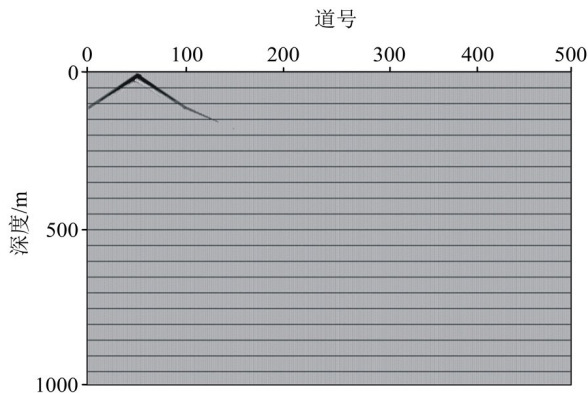


图 4 浅层炮点的 VSP 记录(5 倍增益放大显示)

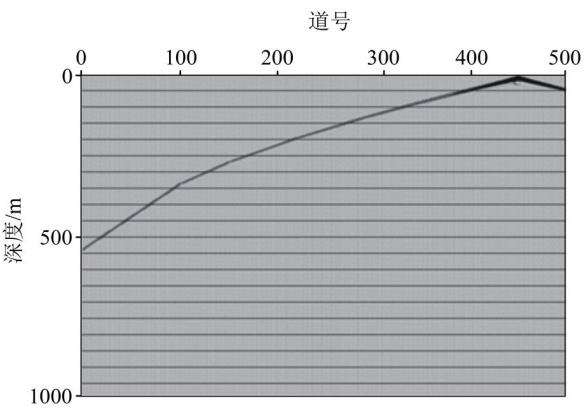


图 5 深层炮点的 VSP 记录(5 倍增益放大显示)

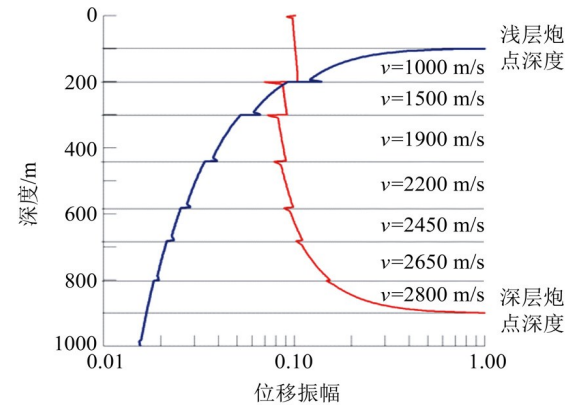


图 6 从两张记录中提取的初至波位移振幅随深度的关系。其中红色为深层激发(900 m)的结果;蓝色为浅层激发(100 m)的结果。两种情况下震源处的输入位移振幅均为 1,可以看出,在 100 m 处激发,波向下传播至 900 m 深度(传播了 800 m)后振幅变为 0.0168。而在 900 m 处激发,波向上传播至 100 m 深度(传播了相同的 800 m 距离,穿透的地层也相同)后振幅变为 0.1011。且两者情况下在界面处位移振幅均有间断。由于两者的传播路径相同,波前扩散相同,故显然后者大于前者,是前者的 6 倍。

究其原因,在 100 m 浅处激发,压裂产生的微震信号在低速介质中产生并传播,每一检波器接收到的微信号都受到低速、高吸收介质的较大的衰减;而在 900 m 深部激发时,微震信号在高速介质中产生并传播,大多数检波器接收到的微震信号都没有遭受到低速强吸收介质的衰减,仅仅浅部的检波器接收到的微震信号遭受较强的吸收衰减作用。

4 水平井水力压裂地面微地震数据分析

为了进一步验证地面微地震的可行性,在胜利油田 Yan227 井工厂周围分别使用台站式、阵列式和天然地震观测方式仪进行了 1 个月的连续采集。



进行了两种观测方式的监测(图7),以压裂点为中心,5 m 间隔采用 700 道数字检波器进行了阵列式采集,为了对比在压裂中心四周布置了用于天然地震观测的 20 个高精度宽带地震仪,共同进行接收。

整个压裂从 8 月 15 日~9 月 11 日,共进行了 26 段压裂。压裂靶点垂深近 3 380 m,单段压裂时间 2

~3 h。从监测结果图 8 可以看出,在压裂期间,都接收到了来自同一时间的微地震信号,能量较强易于识别,并可相互验证。

在整个压裂期间,共接收到此类肉眼可识别有效事件 200 多个,并可用于震源定位,基本上可以满足压裂监测的需求,见图 9。

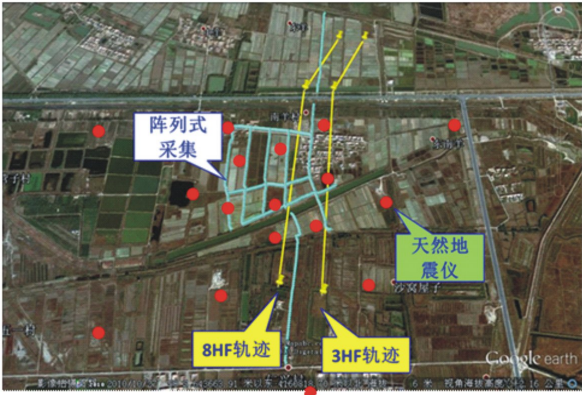


图 7 Yan227 井工厂地面微地震监测分布(红点为天然地震仪位置,蓝线为阵列式检波器位置)

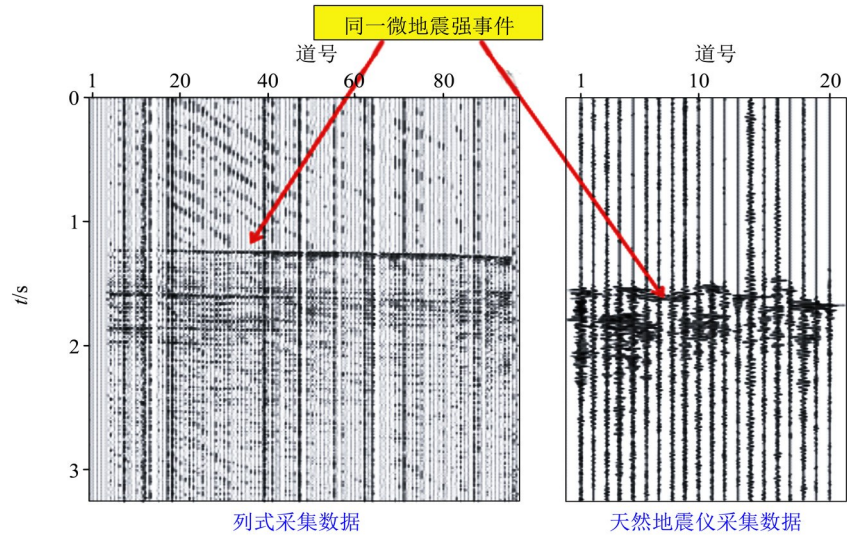


图 8 Yan227 地面微地震监测到的有效事件

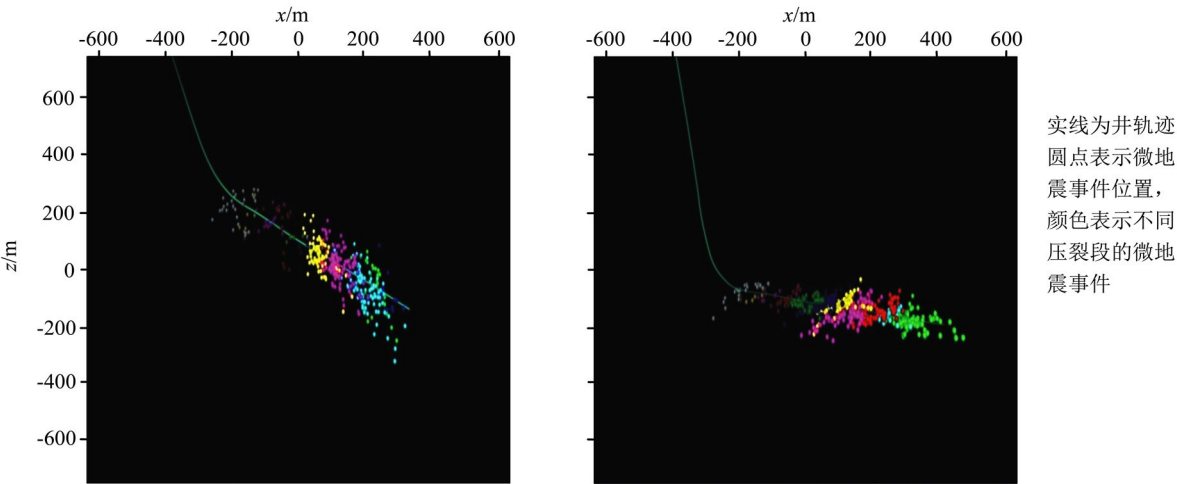


图 9 Yan227 井工厂 3HF(左)与 8HF(右)微地震压裂监测结果

5 结论

(1)从理论到实践的研究表明,地面微地震可以采集到可靠的有效事件信号,基本满足压裂监测的需求,因此地面微地震压裂监测是可行的。

(2)从实验室分析可知,水力压裂诱发的微地震事件数量众多、能量差异大,地面对较大级别的微地震事件反映较好,如何提高弱能量事件的定位能力需要进一步研究。

(3)关于地面微地震采集的观测方式,如布设范围、道间距、接收道数等将是值得进一步深入讨论的问题。

参考文献:

[1] 王树军,张坚平,陈钢,等.水力压裂裂缝监测技术[J].吐哈油气,2010,15(3):270-278.

[2] 刘伟,贺振华,李可恩,等.地球物理技术在页岩气勘探开发中的应用和前景[J].煤田地质与勘探,2013,41(6):68-73.

[3] 金维浚,张衡,张文辉,等.微地震监测技术及应用[J].地震,2013,33(4):84-96.

[4] 吕世超,郭晓中,贾立坤.水力压裂井中微地震监测资料处理与解释[J].油气藏评价与开发,2013,6(3):37-42.

[5] 张大椿,刘晓.微地震监测技术及其在油田中的应用[J].新疆石油科技,2013,23(3):12-15.

[6] 刘建中,唐春华,左建军.微地震监测技术发展方向及应用[J].中国工程科学,2013,15(10):54-58.

[7] 宋维琪,刘军,陈伟.改进射线追踪算法的微震源反演[J].物探与化探,2008,32(3):270-278.

[8] 赵争光,马彦龙,刘颖,等.油气田水力压裂地面微地震监测技术研究[J].能源技术与管理,2014,39(1):1-3.

[9] 刘振武,撒利明,巫芙蓉,等.中国石油集团非常规油气藏微地震监测技术现状及发展方向[J].石油地球五路勘探,2013,48(5):843-853.

[10] 吕世超,宋维琪,刘彦明,等.利用偏振约束的能量比微地震自动识别方法[J].物探与化探,2013,27(3):488-493.

[11] 张唤兰,朱光明,王云宏.基于时窗能量比和 AIC 的两步法微震初至自动拾取[J].物探与化探,2013,37(2):269-273.

[12] 马建林,王建江,高炎,等.井下微地震裂缝监测技术在井网调整中的应用[J].新疆石油科技,2013,23(4):13-17.

[13] 李雪,赵志红,荣军委.水力压裂裂缝微地震监测测试技术与应用[J].油气井测试,2012,21(3):43-45.

[14] 李家宁,徐常胜,杨志冬.地面微地震监测技术在红 032 井区克下组油藏中的应用[J].石油天然气学报,2011,33(100):219-221.

[15] 刘建中,孙庆友,徐国明,等.油气田储层裂缝研究[M].北京:石油工业出版社,2007:84-112.

Feasibility analysis of surface micro-seismic hydraulic fracturing monitoring

RUI Yong-Jun

(Geophysical Research Institute of Shengli Oilfield Branch Co. Ltd., Dongying 257022, China)

**Abstract:** Micro-seismic monitoring, as the most effective means of hydraulic fracturing monitoring, has attracted more and more attention and is becoming a hot research topic due to its advantages such as easy engineering and full observation. Nevertheless, due to the particularity of microseism, the problem whether valid micro-seismic events could be received under the strongly noisy ground is the key point of the whole technique. In this paper, the author conducted an in-depth research in three aspects, i.e., the energy conducted by the hydraulic fracturing, the interference situation of fracture truck unit noise and the difference of different depth of micro seismic propagation and, from two angles of "signal (effective events) and noise (surface noise)", reached the conclusion that surface microseism is capable of receiving reliable fracture signal. The real micro-seismic data acquisition from Yan227 horizontal hydraulic fracturing well verified the effectiveness of this technology, which provides the basis for the implementation of the surface microseismic technology.

**Key words:** surface microseism; propagation rule; reliability; energy calculation; interference analysis; amplitude difference

**作者简介:** 芮拥军(1973-),男,胜利油田分公司物探研究院,主要从事地震资料处理技术研究。