

文章编号: 0253-9985(2007)01-0116-05

应用频率衰减属性预测 TNB 地区储层含气性

毕研斌^{1,2}, 龙胜祥¹, 郭彤楼³, 鲍志东², 刘彬¹, 马殿仁¹

(1. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院, 北京 100083 2. 中国石油大学, 北京 102249)

3. 中国石油化工股份有限公司 南方勘探开发分公司, 云南 昆明 650233)

摘要: 下三叠统嘉陵江组二段和飞仙关组三段是 TNB 地区钻井揭示的主要产气层段, 具有埋藏深、厚度薄的特点。尽管目前勘探获得了重大突破, 但有利含气性分布预测仍然是进一步扩大勘探成果的关键所在。基于小波变换的频谱分析技术为储层含气性预测提供了有效的手段。针对研究目的层的储层特征, 通过衰减属性与地质录井全烃检测资料对比、储层正演模拟和井-震含气性过井剖面检验, 分析了利用频率衰减属性预测储层含气性的可行性。预测结果表明, 嘉陵江组二段和飞仙关组三段在平面上和纵向上均具有不同的含气分布特征。嘉陵江组二段砂屑滩气藏面积大, 发育单一气藏; 飞仙关组三段鲕粒滩气藏面积相对较小, 但纵向上异位叠置、多气藏发育。

关键词: 全烃检测; 频率衰减梯度; 含气性预测; TNB 构造

中图分类号: TE112.2 **文献标识码:** A

Prediction of gas distribution with frequency attenuation attribute in TNB area

Bi Yanbin^{1,2}, Long Shengxiang¹, Guo Tonglou³, Bao Zhidong², Liu Bin¹, Ma Dianren¹

(1. Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China;

2. China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

3. Southern E & P Company, SINOPEC, Kunming, Yunnan 650233, China)

Abstract The 2nd member of the Lower Triassic Jialingjiang Formation and the 3rd member of the Lower Triassic Feixianguan Formation are the main gas-producing zones in TNB area with the characteristics of deeper burial depth and thinner reservoir thickness. Although the major discoveries have been made in this area, the prediction of gas distribution remains the key factor for better exploration achievements. The spectral analysis based on wavelet transform, however, can be used effectively in gas distribution prediction. In connection with the reservoir characteristics of target area, the feasibility of gas distribution forecasting by frequency attenuation attribute is addressed by the comparison of gas logging data (total hydrocarbon detection) with frequency attenuation attribute, the reservoir forward modeling and the interwell section examination of gas distribution. Their results indicate that different gas-bearing characteristics are exhibited horizontally and vertically in the 2nd member of Jialingjiang Formation and the 3rd member of Feixianguan Formation. The T_{1j}² gas reservoir (sand beach reservoir) is characterized by single gas reservoir with a larger pool area, while the T_{1f}³ Formation (oolitic beach reservoir) is the multiple and vertically superimposed gas reservoirs with a relatively smaller pool area.

Key words total hydrocarbon detection; frequency attenuation gradient; gas distribution prediction; TNB Structure

TNB 构造是 CDB 地区的一个大型背斜构造带, HB1 井下三叠统嘉陵江组二段 (以下简称嘉二

段)和飞仙关组三段 (以下简称飞三段)碳酸盐岩储层获得高产工业气流, 预示了该区良好的勘探

前景,也反映了储层预测技术在该区取得了比较成功的应用^[1~5]。但由于目的层埋藏深、储层厚度薄、物性低孔低渗等特殊地质条件,加之钻至目的层的井数少(仅有 3 口井),所以有利含气区的预测仍然是影响该地区下一步勘探和开发井位部署的重要因素。通过对能量、频率、相位和衰减等属性对比和分析,基于频谱分析技术的频率衰减梯度是适合本区含气性预测较为理想的属性。在研究中通过时窗优选和小时窗扫描分析,预测了目的层的纵、横向含气性分布特征。

1 方法原理

理论和实践表明,随着地震勘探技术的不断发展和完善,频谱分析技术已经成为利用地震信息进行烃类检测的重要手段之一;而如何将地震资料的时间域数据变换到频率域,则是进行频谱分析的基础,也是影响油气检测效果和可靠性的关键技术环节。由于地震信号的频率成分是随时间发生变化的,因此利用简单的一维(傅里叶)频率变换不能实现频率和时间同时定位。短时窗傅里叶变换可以提高频-时(F-T)空间的谱分解质量,但该方法的缺点是 F-T 分辨率有限。目前,更多地利用小波变换获得高分辨率的连续频谱^[6~8],该算法受时窗影响较小,能够得到瞬时谱分析结果。

频率吸收衰减是频谱分析技术中的一种重要属性特征。吸收衰减是指地震波在地下介质传播中总能量的损失,是介质内在的属性。引起地震波吸收衰减的因素是介质中固体与固体、固体与流体、流体与流体界面之间的能量耗损^[9]。理论研究和实际应用表明,在地质体中,如果孔隙发育,充填油、气、水(尤其对于含气的情况)时,地震反射吸收加大,高频吸收衰减加剧^[10~13],含油气地层吸收系数可比相同岩性不含油气地层高几倍甚至一个数量级。研究和应用实践表明,在频率属性中,频率衰减梯度是一种对烃类反映比较敏感的属性。这里的“频率衰减梯度”是指在频谱分解基础上的高频端振幅包络的拟合斜率。

2 TNB 地区含气性预测

TNB 地区主要产气层为下三叠统嘉二段和飞

三段。本文以嘉二段和飞三段作为研究目的层,研究范围为 TNB 构造中段的三维地震工区。

2.1 储层基本特征

嘉二段属蒸发台地相的浅滩-蒸发坪沉积,在 TNB 地区分布广泛,岩性主要为砂屑白云岩、溶孔白云岩和膏岩,呈薄互层状组合分布,其中储层岩性为砂屑白云岩。HB1 井和 CF82 井含气层段埋深分别为 4 485.0~4 497.4 m 和 4 198.0~4 217.0 m,厚度分别为 12.4 m 和 19.0 m。砂屑白云岩的层速度概率统计主值为 5 200 m/s,围岩白云岩、硬石膏和灰岩分别为 6 600、6 200 和 6 400 m/s,储层具有低速特征。

飞三段属浅海开阔台地相和潮坪相沉积,岩性主要为微晶灰岩、鲕粒灰岩和砂屑灰岩,其中储层岩性为残余(砂屑)鲕粒灰岩。HB1 井产气层段深度为 4 970.0~4 984.0 m,厚度为 14.0 m。鲕粒灰岩概率统计层速度主值为 5 600 m/s,其围岩泥灰岩、泥云岩和硬石膏的层速度主值分别为 6 000、6 000 和 6 200 m/s,储层亦表现为低速特征。

储层研究表明,嘉二段和飞三段储层均不同程度地经历了成岩后生作用,特别是白云石化及溶蚀作用,存在粒间孔及粒间溶孔、晶间孔及晶间溶孔、铸模孔、粒内溶孔等多种储集空间类型。总体上,该区碳酸盐岩储层具有埋藏深、厚度薄、低孔低渗、孔隙结构复杂等特征。

2.2 频率衰减属性含气性预测可行性分析

图 1 为沿 HB1 井主测线的地震剖面 and 正演模拟对比图。图中的两个“水平状”反射分别为根据 HB1 井嘉二段和飞三段储层及围岩速度设计的层状介质地质模型得到的地震正演模拟结果。从图中可以看出,正演模拟结果中的反射特征与实际地震剖面反射特征吻合良好,气层下部均出现强振幅反射,气层段对应着波谷部位。正演模拟结果为利用频率衰减属性进行含气性预测分析提供了依据。

图 2 为沿 HB1 井主测线的频率衰减梯度剖面(黄-红色为相对高值)和地震剖面对比图。从图中可以看出,产气层均对应着频率衰减梯度高值部位。嘉二气层频率衰减梯度高值分布在剖面上呈较好的成层性,反映出嘉二气层总体上表现为层状气藏;飞三气层频率衰减梯度高值分布在剖

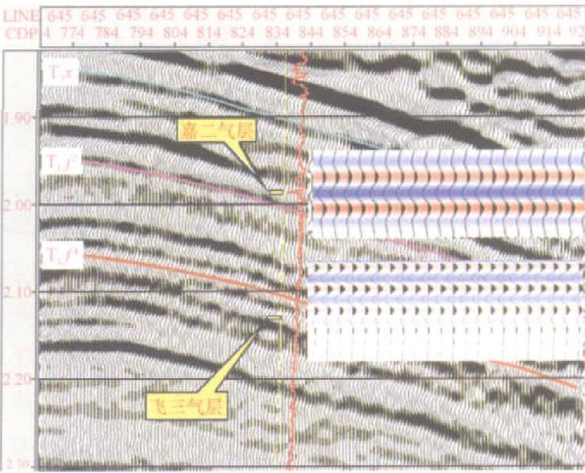


图 1 沿 HB1 井主测线地震剖面及正演模拟对比
Fig. 1 Seismic profile and reservoir forward modelling across the main traverse of well HB1

面上局部分布, 横向连续性差, 反映出飞三气层总体上表现为受局部发育的鲕滩储层控制的滩状气藏。对比频率衰减梯度剖面 and 地震剖面发现, 产气层 (对应频率衰减梯度高值部位) 位于地震反射的波谷处, 在气层的下部形成强振幅反射。此外, 在 HB1 井飞三段气层附近还可见到反射轴分叉现象, 分析认为这是鲕粒滩储气层的一种特殊的地震反射特征。

地质录井全烃含量分析是钻井过程中反映储层含气性的一个重要参数。为了验证频率衰减梯度属性用于含气性预测的可行性, 将 TNB 地区 HB1 井的全烃检测值和相应深度的频率衰减梯度值进行了对比。图 3 和图 4 分别是嘉陵江组至飞仙关组录井全烃检测值与频率衰减梯度值随深度的变化图。两图对比显示出, 全烃检测高值部位与频率衰减梯度高值部位具有很好的对应性。综

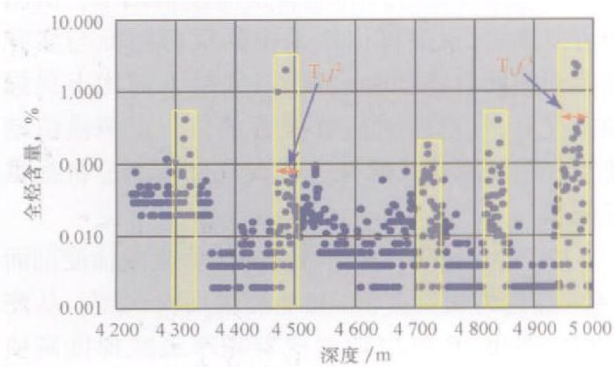


图 3 HB1 井全烃含量随深度的变化
Fig. 3 Total hydrocarbon content vs depth in well HB1

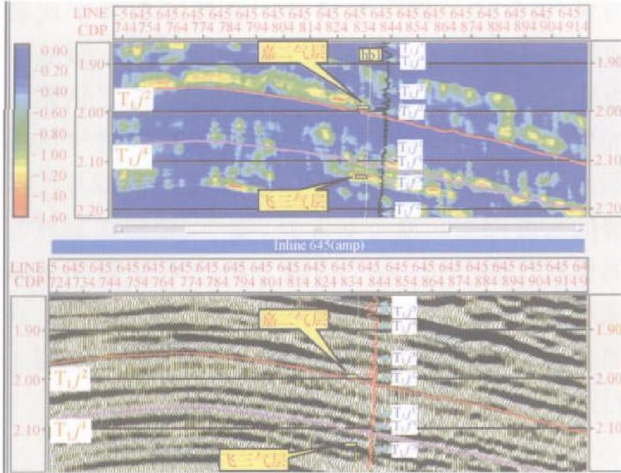


图 2 沿 HB1 井主测线嘉二段、飞三段频率衰减梯度及地震剖面
Fig. 2 Frequency attenuation gradient and seismic profile of the 2nd member of Jialingjiang Formation and the 3rd member of Feixianguan Formation across the main traverse of well HB1

合以上特征, 利用频率衰减梯度属性预测储层含气性是可行的。

2.3 含气性分布预测

实际上, 频率衰减梯度值不是一个绝对值, 而是一个相对值。随着所取时窗大小的不同, 同一层位的频率衰减梯度值会发生一定的变化。在研究中, 为了使频率衰减梯度属性能够比较突出地反映储层含气性的异常特征, 对属性计算时窗的选取进行了“优化”试验。以 HB1 井的嘉二和飞三气层为目标层, 分别对不同窗 (以目标层为中心, 向上和向下拾取一定的时窗范围) 的含气层频率衰减梯度值进行了选值和统计。结果表明,

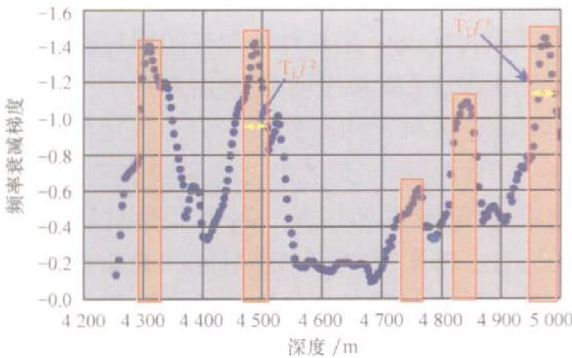


图 4 HB1 井频率衰减梯度随深度的变化
Fig. 4 Frequency attenuation gradient vs depth in well HB1

不同时窗大小范围时的含气层频率衰减梯度值呈周期性的变化, 周期大约为 60 ms 并且还注意到, 当时窗选取过大, 尤其是时窗内包含强反射层时, 气层的衰减异常特征会减弱以至消失, 这是因为时窗选取过大时气层的衰减异常特征会受强反射层的影响而产生“屏蔽”效应。对比嘉二和飞三气层不同时窗时的频率衰减梯度值变化情况, 优选 90 ms 作为频率衰减梯度数据体的计算时窗大小。

根据井-震标定结果, HB1 井嘉二段底界对应

地震双程时间为 2 004 ms, 飞四段底界对应地震双程时间为 2 105 ms, 嘉二气层位于嘉二段底以上 14~ 19 ms 处, 飞三气层位于飞四底以下 25~ 30 ms 处。为了分析嘉二和飞三气层在平面和纵向上的分布规律, 在研究中首先以 90 ms 时窗大小进行了属性计算, 然后沿标定的气层段位置向上和向下以 5 ms 为时窗间隔 (采样率为 1 ms) 进行了逐个时窗的沿层频率衰减梯度数据体的平面成图 (图 5 图中黄色-红色区域为有利含气区)。

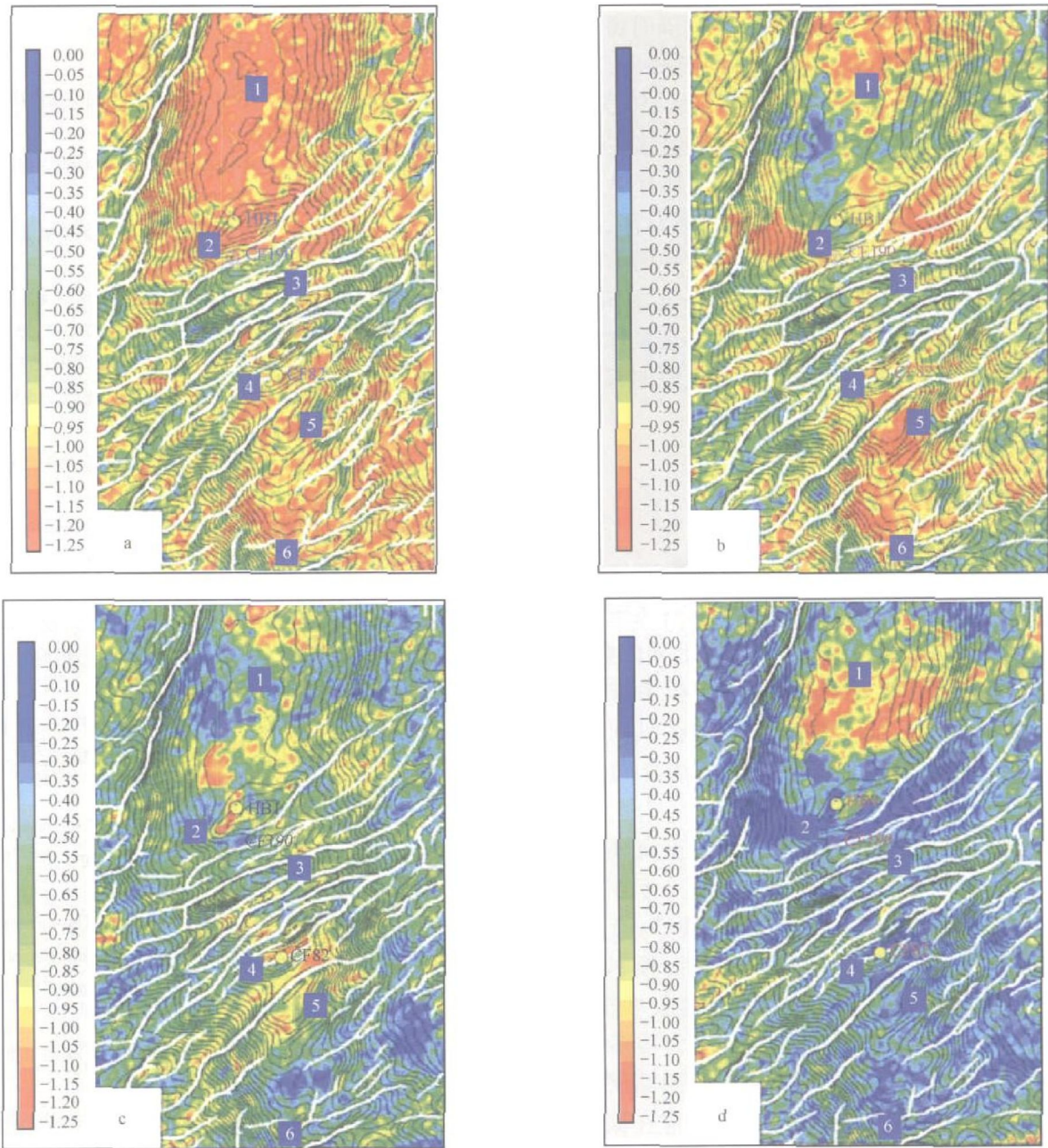


图 5 储层频率衰减梯度平面图

Fig. 5 Planimetric map of frequency attenuation gradient of reservoirs

a. 嘉二底向上 14~ 19 ms b. 飞四底向下 10~ 15 ms c. 飞四底向下 25~ 30 ms d. 飞四底向下 55~ 60 ms

综合分析 TNB 地区嘉二段和飞三段剖面和平面上频率衰减梯度分布特征, 目的层的气层分布具有以下特点。

1) 嘉二段储层: 含气有利部位分布在三维地震工区的 2 号构造以北和 5 号、6 号构造一带 (图 5a), 成片分布, 面积大。5 ms 等间隔时窗的频率衰减梯度平面分布对比表明, 在纵向上沿嘉二气层段向上和向下频率衰减梯度值均逐渐减小至异常显示完全消失, 未出现其他的异常层段。这一特征反映出嘉二段气层在纵向上发育单一。

2) 飞三段储层: 飞三段 5 ms 等间隔时窗的频率衰减梯度平面分布图 (图 5b, c, d) 反映出, 飞三段储层含气有利部位分布在 1 号、2 号、5 号和 6 号构造靠近 TNB 背斜构造轴部一带, 但这些有利含气区并不成片分布, 反映出飞三段具有单一鲕粒滩气藏面积相对较小、纵向上多气藏发育、异位叠置的特征。从图 5c 来看, HB1 井钻井揭示的飞三气藏分布面积较小; 而向上漂移 15 ms (图 5b) 和向下漂移 30 ms (图 5d) 的层段处, 频率衰减梯度异常区面积明显增加, 这些区域应是飞三段的有利含气部位。

3 结论与讨论

含气性预测研究表明, 嘉二段砂屑滩气藏在平面上分布面积大, 但纵向上气藏单一; 飞三段单一鲕粒滩气藏面积相对较小, 但纵向上异位叠置、多气藏发育。开发井位部署时, 不仅要考虑平面上的气藏分布特征, 而且应考虑气藏在纵向上的分布特点, 采取定向井和水平井相结合的开发方式。

针对目的层储层地质特征, 结合正演模拟和井-震含气性相关分析, 频率衰减是适合于本区储层含气性预测的一种有效而实用的属性, 有着较强的研究和应用价值。但从理论上讲, 频率衰减梯度作为地震属性之一, 同样受到地层埋深、厚度、岩性、所含流体性质以及温度、压力等多种因素的影响^[14]。因此, 在应用该属性预测储层含气性时, 应考虑以下几个方面的问题: 应在储层地质特征研究的基础上, 分析地层埋深、岩性等因素可能造成的频率衰减影响, 开展主要反映流体性

质的储层含气性预测工作; ④理论和实际应用表明, 不仅油气层会产生频率衰减, 水层也会产生一定程度的衰减特征, 因此利用衰减梯度属性进行含气性预测时应结合已钻井揭示的气-水分布关系, 把握气、水的总体分布特征, 开展具体的预测分析工作; ④本文的预测结果是在目的层厚度比较稳定、纵向非均质性相对较弱、地震反射特征明显的情况下得出的, 而对于不同厚度、不同非均质性以及不同类型的储层, 利用频率衰减属性开展含气性预测, 其效果有待进一步研究。

参 考 文 献

- 1 马永生, 郭旭升, 凡睿. 川东北普光气田飞仙关组鲕粒滩储集层预测 [J]. 石油勘探与开发, 2005, 2(4): 60~64
- 2 于建国, 姜秀清. 地震属性优化在储层预测中的应用 [J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 291~294
- 3 凡睿, 高林, 何莉, 等. 川东北飞仙关组鲕粒滩储层地震预测 [J]. 勘探地球物理进展, 2003, 26(3): 199~203
- 4 刘殊, 唐建明, 马永生, 等. 川东北地区长兴组-飞仙关组礁滩相储层预测 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3): 56~63
- 5 马永生, 傅强, 郭彤楼, 等. 川东北地区普光气田长兴-飞仙关气藏成藏模式与成藏过程 [J]. 石油实验地质, 2005, 27(5): 455~461
- 6 杨立强, 宋海斌, 郝天珧, 等. 基于二维小波变换的随机噪声压制方法研究 [J]. 石油物探, 2005, 44(1): 4~7
- 7 刘海忠. 小波变换和傅立叶变换在信号频率分析中的比较 [J]. 天水师范学院学报, 2005, 25(5): 29~30
- 8 李明娟, 张永贵, 郭兴威. 塔河南部地区碳酸盐岩油气预测技术研究 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(4): 536~541
- 9 黄中玉, 王于静, 苏永昌. 一种新的地震波衰减分析方法 [J]. 石油地球物理勘探, 2000, 35(6): 769~773
- 10 Sinha S, Routh P S. Spectral decomposition of seismic data with continuous wavelet transform [J]. Geophysics, 2005, 70(6): 19~25
- 11 Dilay A, Eastwood J. Spectral analysis applied to seismic monitoring of thermal recovery [J]. The Leading Edge, 1995, 14(11): 1117~1122
- 12 Sans M S, Neep J P, Worthington M H, et al. The measurement of velocity dispersion and frequency-dependent intrinsic attenuation in sedimentary rocks [J]. Geophysics, 1997, 62(5): 1456~1464
- 13 许多, 李显贵, 刘殊, 等. 合兴场地震资料吸收油气预测研究 [J]. 物探化探计算技术, 2000, 22(1): 56~58
- 14 黄凯, 徐群洲, 杨晓海, 等. 地震波能量的衰减及影响因素 [J]. 新疆石油地质, 1997, 18(3): 212~217

(编辑 李 军)