

应用地球物理资料研究含油气系统的尝试

李子顺* 杨玉峰

(大庆石油管理局勘探开发研究院)

摘 要

李子顺, 杨玉峰. 应用地球物理资料研究含油气系统的尝试. 石油地球物理勘探, 1996, 31(4): 563~568, 562

应用地球物理资料研究构造、储层, 已有一些比较成熟的方法, 但用于研究含油气系统仍在探索之中。含油气系统涉及油气运移、盖层、关键排烃期及油气聚集等方面内容。泥岩压实曲线可以反映油气运移规律, 而泥岩欠压实带通常表现为低速异常。依据盖层中的异常压力可以研究盖层封闭油气特性, 而地震速度的异常变化恰好能指示这种异常压力的存在。利用地震资料也可以研究关键排烃期及油气聚集。文中以海拉尔盆地的乌尔逊、贝尔凹陷为例, 具体说明应用地震资料研究含油气系统的可能性。

主题词 含油气系统 地球物理资料 压实曲线 压力封闭 地温梯度 油气运移 低速异常

ABSTRACT

Li Zishun and Yang Yufeng. An attempt to research into hydrocarbon-bearing system by analysing geophysical data. *OGP*, 1996, 31(4): 563~568, 562

There are some perfect methods for researching into structure and reservoir by analysing geophysical data; however, people have been seeking for desirable methods for probing into hydrocarbon-bearing system. Hydrocarbon bearing system involves hydrocarbon migration, barrier layer, key hydrocarbon-deaerated period, hydrocarbon accumulation and so on. The compaction curve of mud formation may reflect the law of hydrocarbon migration, and the poorly-compacted interval of mud formation usually corresponds to low velocity anomaly. Hydrocarbon sealing characteristics of barrier layer can be known by analysing its inner abnormal pressure, which can be shown by the abnormal variation of seismic velocity. Seismic data can also be used to ascertain key hydrocarbon-deaerated period and hydrocarbon accumulation. The Wuerxun and Beier depressions in the Hailaer basin are taken as the examples to indicate the possibility of analysing the hydrocarbon-bearing system by using seismic data.

Subject heading: hydrocarbon-bearing system, geophysical data, compaction curve, pressure sealing, geothermal gradient, hydrocarbon migration, low velocity anomaly

* Li Zishun, Research Institute of Exploration and Development, Daqing Petroleum Administration, Daqing City, Heilongjiang Province, Postcode: 163712

本文于 1995 年 10 月 31 日收到。

目前,国内外对含油气系统的研究正方兴未艾,并有效地指导了油气勘探活动。一般地说,含油气系统包括成熟的烃源岩及所有已形成的油气藏,以及含油气藏形成时所必不可少的一切地质要素和地质作用。地质要素包括油气源岩、储集岩、盖层及上覆岩层,而地质作用则包括圈闭的形成及烃类的生成运移和聚集。

本文以海拉尔盆地乌尔逊、贝尔凹陷为例,论述含油气系统中的油气运移、盖层、关键排烃期及油气聚集等方面的几点地球物理解释方法。

应用地球物理资料研究油气运移

压实作用是油气初次运移的主要动力,目前国内外研究表明欠压实泥岩中流体的异常高压对油气运移有重要作用。按油相运移的观点,在欠压实泥岩异常高压层中,油相达到两相运移的临界饱和度时,油相易于从泥岩向储层中运移,而压实曲线可以很好地反映这类欠压实泥岩带。因此,我们利用海拉尔盆地乌尔逊、贝尔凹陷的压实曲线来分析油气运移规律。

泥岩欠压实垂向分布特点

通过 22 口井泥岩压实曲线的分析,得知各井均有泥岩欠压实带。开始出现泥岩欠压实的深度一般在 900~2000m,各井不等。泥岩欠压实带厚度在 100~1000m,各井也不等。泥岩欠压实带的层位多为大磨拐河组(Kd)下段和南屯组(Kn),少数井在伊敏组(Ky)一段地层中出现泥岩欠压实现象(图 1)。

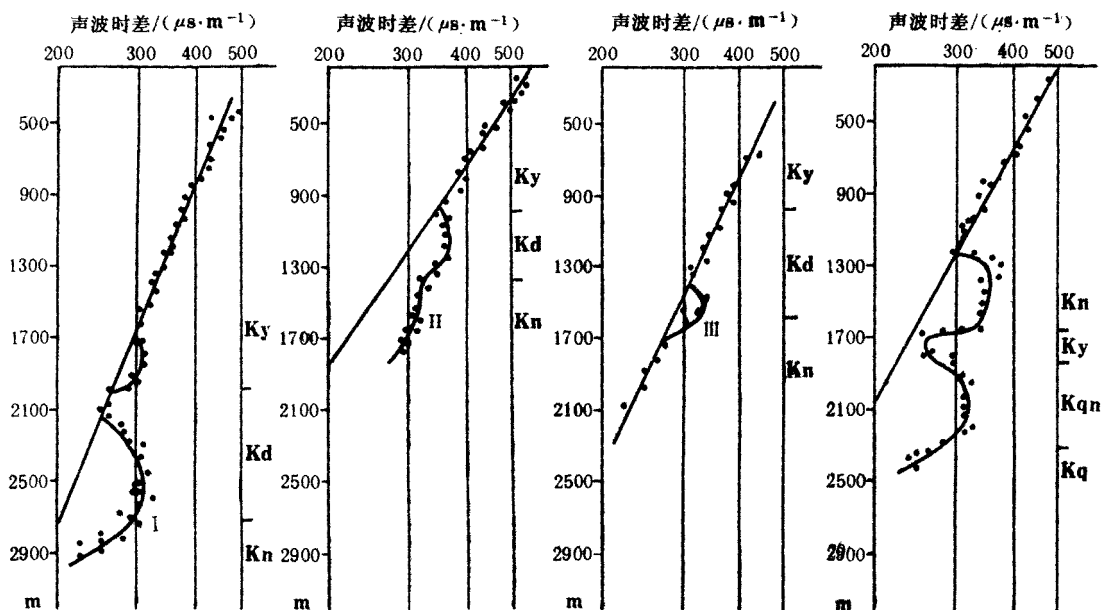


图 1 泥岩欠压实类型图

泥岩欠压实的程度不同,作用亦不同。为了便于区分和描述,按欠压实厚度和幅度(实测 Δt 偏离正常压实趋势线的程度),将泥岩欠压实带分成三大类。I 类厚度大于 400m,最大声波时差幅度为 80~140 μ s/m; II 类厚度为 150~600m,最大声波时差幅度为 40~80 μ s/m; III 类厚

度小于 200m,最大声波时差幅度小于 $40\mu\text{s}/\text{m}$ (图 1)。

泥岩欠压实带的平面分布预测

由速度分析可知,欠压实泥岩通常表现为低速异常,对大磨拐河组下段到南屯组地层,应用已知井资料标定剩余层速度资料,得出 I 类泥岩欠压实带剩余层速度为 $-150\sim-300\text{m}/\text{s}$; II 类泥岩欠压实带剩余层速度为 $0\sim-150\text{m}/\text{s}$; III 类泥岩欠压实带剩余层速度为 $300\sim 0\text{m}/\text{s}$ 。据此可对泥岩欠压实带平面分布作预测(图 2)。由图可知,贝尔凹陷中部 I、II 类泥岩欠压实带分布范围最广。

用动态分析方法研究油气运移

一般地讲,泥岩欠压实幅度越大,产生的地层异常压力越大,越有利于油气初次运移。所以 I 类泥岩欠压实带对油气初次运移最有利, I 类泥岩欠压实带分布区是有利排烃区。烃类大量排出后泥岩欠压实幅度会有所减小,据此对欠压实曲线进行历史分析,即将各井某层泥岩的欠压实幅度编成叠合图,以研究泥岩大量排烃的深度。

在该区选取了地层、岩性稳定的大磨拐河组下段底部欠压实泥岩进行动态分析(图 3),编图时以 H1 井为基准,且消除了各井剥蚀量不同的影响。

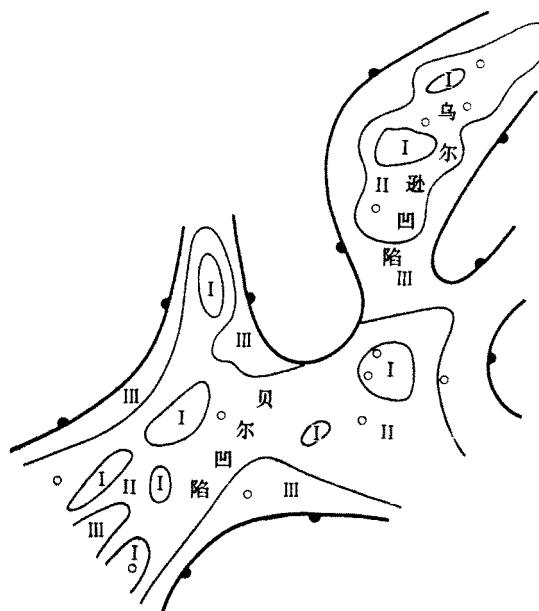


图 2 大磨拐河组下段和南屯组
泥岩欠压实平面预测图

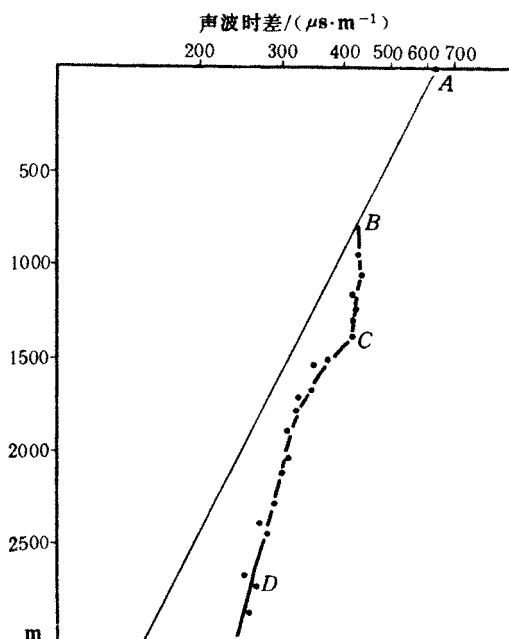


图 3 大磨拐河组下段底部
泥岩欠压实叠合图

由图 3 可知 AB 段为正常压实段,BC 段反映烃类的产生等排液受阻,CD 段为大量排烃段。因此,由动态分析可以得出,大磨拐河组下段底部泥岩埋深 700m 时即开始形成泥岩欠压实,埋深 1500m 时即开始大量排烃。大量排烃段为 1500~2400m,其对应的热演化程度 R_o 值为 $0.55\%\sim 0.8\%$ 。

通过上述分析表明,尽管该区泥岩埋藏较浅(1000~2600m),热演化程度较低(R_o 一般为 $0.4\%\sim 0.9\%$),但大磨拐河组和南屯组泥岩已有过烃类大量运移,具备了形成较大油气藏的物质基础。

压力封闭作用的分析

压力封闭对油气藏的作用越来越引起人们的重视。压力封闭是依靠盖层中的异常压力来封闭储层中上浮的油气。压力封闭既能阻止水溶相运移,也能封闭游离相运移。因此,它是对油、气、水的全封闭。

泥岩欠压实带中压力值表示为

$$P_{\text{泥}} = \Delta P_w Z_e + \Delta P_r (Z - Z_e)$$

式中: ΔP_w 为流体压力梯度; ΔP_r 为静水岩石压力梯度; Z_e 为平衡深度。

而正常压力值为

$$P = \Delta P_w Z$$

所以泥岩中异常压力为

$$\Delta P_{\text{泥}} = P_{\text{泥}} - P = (\Delta P_r - \Delta P_w)(Z - Z_e)$$

在静水条件下压力封闭能力(封闭油柱高度)为

$$H = \Delta P_{\text{泥}} / [(\rho_w - \rho_t)g]$$

式中: ρ_w 为水的密度; ρ_t 为地下烃类的密度。取 ΔP_r 为 $0.225 \times 10^5 \text{Pa/m}$; ΔP_w 为 $0.098 \times 10^5 \text{Pa/m}$; ρ_w 为 $1.0 \times 10^3 \text{kg/m}^3$, ρ_t 为 $0.8 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 。根据上述公式可计算出该区各类欠压实泥岩(图 1)封盖油柱的高度(表 1)。

表 1 压力封闭油柱高度表

欠压实类型	$\Delta P_{\text{泥}}/\text{MPa}$	H/m
I	3.4~8.1	1734~4132
II	1.6~4.6	816~2347
III	<1.6	<816

一般来说,压力封闭的盖层同时也具有一定的毛细管封闭能力。因此,根据表 1 及该区圈闭情况可知,大磨拐河组下段和南屯组 I、II 类欠压实泥岩段是好的区域性盖层。

从地震剖面看,松辽盆地大型油田均位于 T_1 和 T_2 标准地震反射层下。分析其原因可知,这与泥岩

欠压实带有内在联系,因为嫩江组、青山口组大幅度的泥岩欠压实带即低速异常层底界形成 T_1 、 T_2 地震标准反射层,泥岩欠压实带既有利于源岩排烃,也是好的区域性盖层(图 1)。

据此分析,乌尔逊、贝尔凹陷主要含油气层为泥岩欠压实带中下部的南屯组。虽然该区伊敏组、大磨拐河组、南屯组都有油气显示,但目前获工业油流井的油层多位于泥岩欠压实带中下部的南屯组(图 1),也表明南屯组是主要目的层。从而构成大磨拐河组下段和南屯组为源岩、南屯组为储层、大磨拐河组下段为盖层的含油气系统。

含油气系统关键时期的确定

所谓含油气系统关键时期,是指源岩处于最大埋深的时期,在这一时期前,油气已经生成、初次运移和聚集完成。乌尔逊、贝尔凹陷是复杂的断陷型盆地,构造运动频繁。从地球物理资料看,较大的一次构造运动发生在扎来诺尔群伊敏组沉积之后和贝尔湖群沉积前,地层抬升且遭受较大的剥蚀。

在地震剖面上, T_{04} 反射界面下有明显的削截(图 4),估算其剥蚀量为 300~800m。

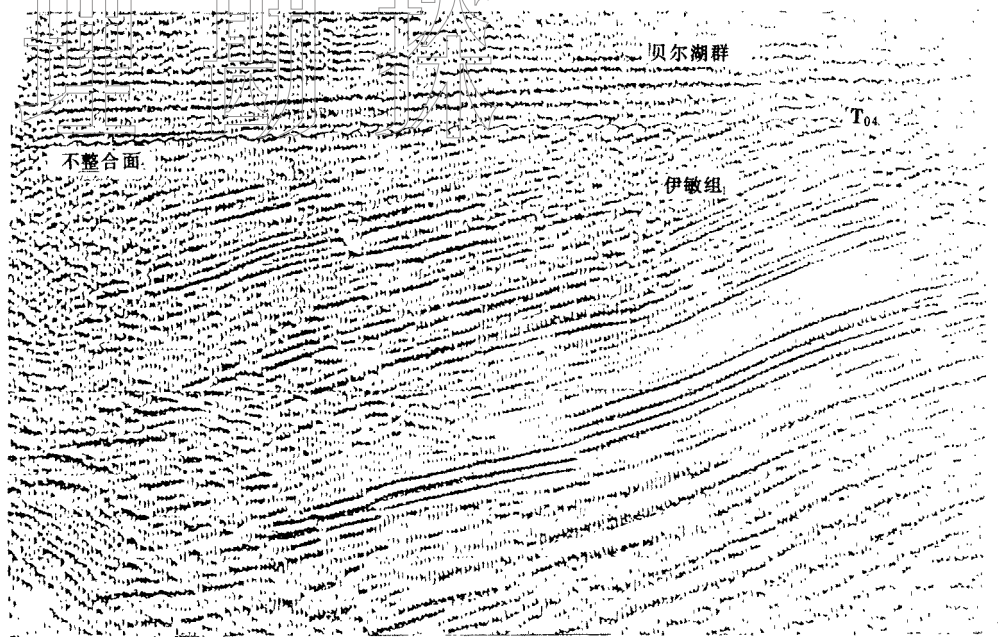


图 4 W9 井区三维地震 76 线地震剖面

应用泥岩压实曲线,可计算出各井的剥蚀量(图 5)。

$$H = H_0 + Z_0$$

式中 Z_0 为剥蚀面以上沉积的贝尔湖群地层厚度。取古地表的 t_0 为 $625\mu\text{s}/\text{m}$,将压实曲线外推至 t_0 ,现今地表以上的厚度为 H_0 。当 H_0 大于零时可用上式计算剥蚀量,其结果见表 2。

从上述分析可知,剥蚀量远大于贝尔湖群沉积厚度。因此可以确定大磨拐河组下段和南屯组源岩在伊敏组沉积末埋深最大,也就是该含油气系统的关键时期为伊敏组沉积末。这个结论改变了以往人们认为贝尔湖群沉积时期为大量排烃期的认识,从而认定伊敏组沉积末已经形成的构造为有利聚油气构造,伊敏组沉积末到贝尔湖群沉积前的较大断裂构造运动对油气藏有破坏作用。

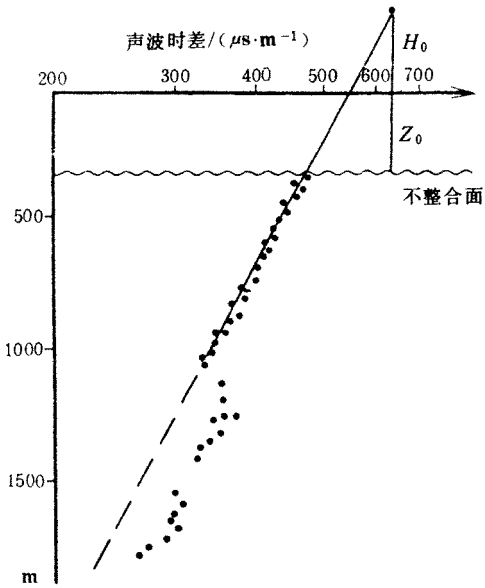


图 5 W13 井剥蚀量计算图

表 2 钻井剥蚀量统计表

井号	T3	W8	S1	W7	W9	W13	H2	B3	W3	H4	H5	W11
Z_0	269	160	229	384	278	351	277	198	280	179	475	327
H_0	95	340	260	50	285	420	25	142	215	421	70	215
H	364	500	489	934	563	771	302	340	495	600	545	542

地温场特征与油气聚集

较高地温场区有利于油气生成、运移和聚集。由于油气层热导率低,使油气藏温度进一步增高,这将更有利于油气藏聚集,之后油气藏下部及周围温度更高。这样形成了油气聚集与地层温度增高的良性循环,因此可根据地温场特征预测有利油气聚集带。

根据乌尔逊、贝尔凹陷试油资料分析,得出地温梯度在 $3.9\sim 4.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 之间的井层多为工业油流层或少量油流层,而地温梯度在 $3.0\sim 3.9^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 之间的井层多为水层(图 6)。

平面上较高地温场区为有利油气聚集区(图 7)。例如 S1 井、B3 井中途测试和完井测试获少量油流,但地温梯度达 $4.0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,根据上述研究成果认为它们是有利含油层。经压裂改造后都获得了较高的工业油流,表明较高地温场区是有利油气富集区,含油气系统可靠程度高。

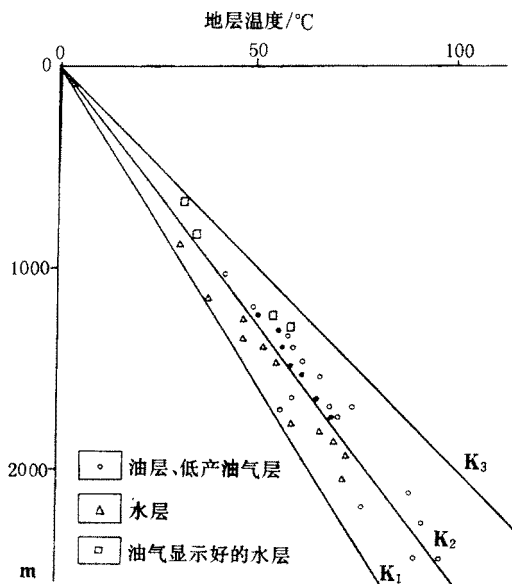


图 6 海拉尔盆地油、气、水层温度对比图

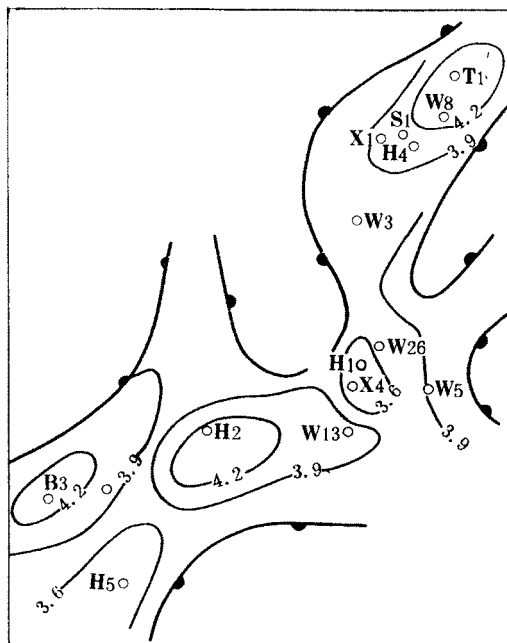


图 7 乌尔逊、贝尔凹陷南屯组以下地温梯度图

结 论

应用地球物理资料不仅能对构造、储层等进行研究,而且也能对含油气系统中油气运移、盖层、关键时期、油气聚集等因素进行分析,从而较全面地实现地球物理资料的地质解释。

通过对乌尔逊、贝尔凹陷的研究,认为大磨拐河组下段和南屯组泥岩欠压实带对油气运移和封盖起重要作用,该区主要含油气层为南屯组。形成以大磨拐河组下段和南屯组为源岩、南屯组为储层的含油气系统,含油气系统的关键时期为伊敏组沉积末。较高地温场区为有利区。

(下转第 562 页)

大小而移动,始终在断点处。由于本方法是将绕射波聚焦在顶点上,故绕射点剖面不像常规的水平叠加剖面(图 13b)那样存在偏移问题。绕射点剖面最好与叠偏剖面进行比较,可用它来验证偏移的正确性。如图 13c 所示,倾斜界面的断点绕射波的最大振幅处(也称半幅点)偏离断点,倾角越大,偏离越远。因此,对于倾斜界面不连续点成像,参与叠加的道数应足够多,半幅点(也是振幅符号的反转点)可沿绕射波的时距曲线扫描得到。

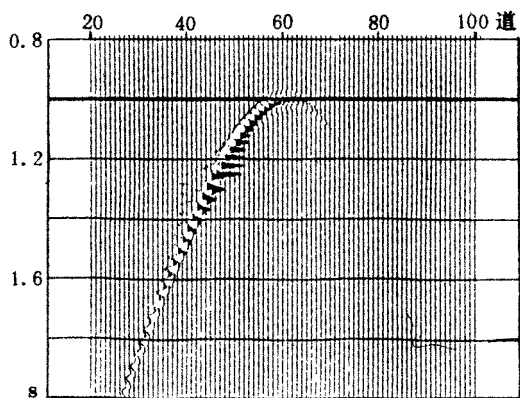


图 13c 地震响应的绕射波部分

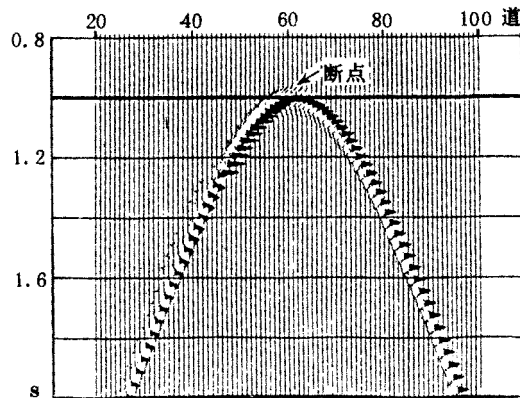


图 13d 对图 13c 进行归一化处理结果

(3)图 12b 的 CDP1275 下方 0.6s 处并排两个一正一负绕射点(若正负振幅分别用不同的颜色显示,便一目了然),正负绕射点说明断层两侧的反射界面的反射系数相反,由此可以来推测断层两侧的岩性接触关系,研究断层的侧向封堵情况。

(4)绕射点剖面是常规地震剖面的一个补充,剖面上的亮点并非全部是断点。由此,在实际应用中,可针对目标区开窗进行处理,解释时应充分使用人机联作解释工作站上的覆盖显示功能,细心地使用这一手段。

参 考 文 献

- 1 胜利油田地质处,地调指挥部. 绕射扫描叠加. 石油地球物理勘探,1974,5(5):1~40
- 2 Kanasevich E and Phadke S. Imaging discontinuities on seismic sections, *Geophysics*, 1988, 53(3): 334~345
- 3 Landa E, Shtivelman V and Gelchinsky B. A method for detection of diffracted waves on common offset sections, *Geophys Prosp*, 1987, 35, 359~373

(上接第 568 页)。

参 考 文 献

- 1 李明诚. 石油与天然气运移,石油工业出版社,1994
- 2 杨瑞召等译. 含油气系统,地质出版社,1992
- 3 瓦尔特 H·费特尔著,宋秀珍译. 异常地层压力,石油工业出版社,1982