

地震速度在浅层气勘探中的应用^①

何鲤 柳梅青 余晓峰

(地矿部西南石油地质局油气研究院, 成都 610081)

根据钻井判定的工业油气层与过井地震道制作合成记录, 在地震剖面上标定。再利用地震速度谱和层速度递推公式, 分别拾取和计算与油气地质体同一时域的速度值。采用美国学者莱德提出的差异速度叠合法, 将地质体顶、底的速度值叠合, 低速异常发育带可能是气层。经地震测网的追踪闭合在平面上进行圈定。将此法, 用于新场气田试研究, 发现1600~2200m以浅的上侏罗统蓬莱镇组气藏, 沙溪庙组A、B气层与低速异常的符合率较高, 达80%以上, 2200m以深的沙溪庙组C气层与中侏罗统千佛崖组气层符合率较低, 约20%~30%。

关键词 地震速度叠合 低速异常标定 勘探实例

第一作者简介 何鲤 男 56岁 高级工程师 石油地质

不少石油地质工作者和地球物理工作者都希望采用一种行之有效的方法对油气产层在纵向上标定和在平面上圈定, 目的在于提高钻井命中率, 降低勘探成本。在新场气田, 采用了两种方法作了一些尝试。

1 测井声速与纵向地震声速叠合在纵向上识别并标定气层

1.1 原理

如果岩石孔隙中充满流体, 声速数值的变化受岩石孔隙中所含天然气多少的影响是很敏感的。这是因为天然气声速与液体声速相差很大的缘故。实验测定, 天然气的速度1300~1400m/s, 气、油、水的速度差可达3~4.5倍, 这是声速测井能够识别油气水层的原理所在。

当岩层含气时, 由于泥浆滤液的侵入, 取代了冲洗带的气体。泥浆滤液与地层水的声速相近, 故可视为地层水的声速。没有受泥浆滤液影响的原状含气岩层, 其纵向地震声速(层速度)仍为低速。所以两种速度曲线叠合, 同一井段测井声速高的是气层(冯世璋, 1987)。

对于致密岩层, 泥浆滤液难以侵入, 泥浆浸泡对其没有影响。对于不含气而含水的地层说来, 由于泥

浆滤液与地层水的声速接近, 故可视为没有影响的范畴。

1.2 判别实例

川孝135, 136井利用测井声速(声波时差导算的层速度)与井旁地震道提取的纵向地震声速叠合分析。沙溪庙组经钻井判定的A、B、C气层其测井声速均高于同井段的纵向地震声速(地震纵波速度)(图1), 千佛崖组砾岩含气层虽属相对高速但与纵向地震声速比较, 仍属低速异常, 故差异速度叠合图展示, 储盖层速度曲线重叠(图2)。

为使纵向地震声速计算精度高一些, 也便于克服速度畸变。速度求取采用南京物研所提出的层速度递推公式。速度值的拾取还进行了拉格郎日插值法校正。

这种方法识别气层, 其意义有二: 一是选择测试井段时多一项决策依据。二是通过合成记录便于在过井地震剖面上准确标定气层位置。

2 差异速度判别气层和含气边界

2.1 原理

当碎屑岩储集层孔隙内被不同性质的流体充填后, 储层的弹性物理性质即密度和速度将出现差异。这是地震反射波法直接寻找油气的物理基础。

① 参予此项研究的还有王曾涓、杨开珍、战英

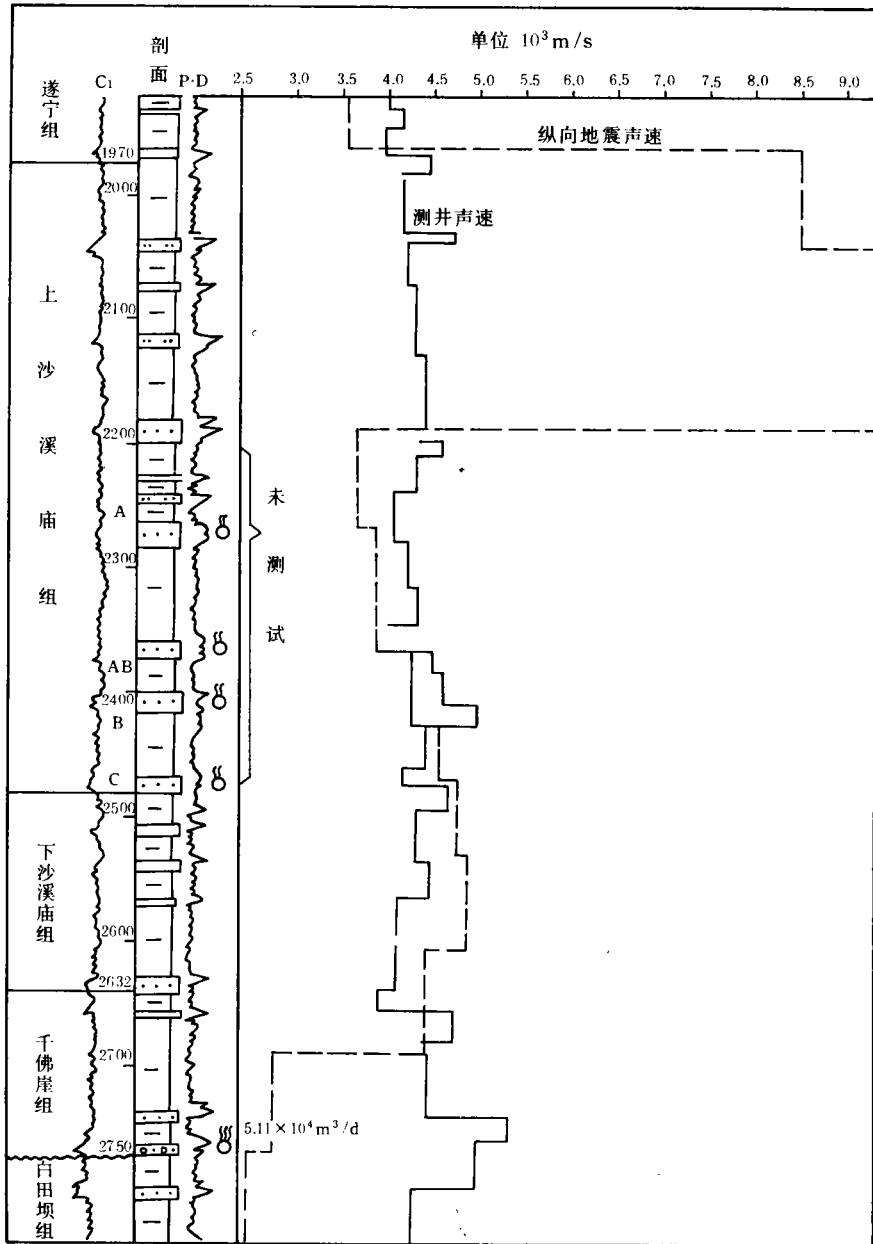


图 1 川孝 135 井测井声速与纵向地震声速叠合判别气层图

当地质体均值时,纵向地震声波(地震纵波)沿地质体顶(盖层)底(储层底)传播的速度曲线,是两条平行的曲线。若地质体充填油气(成为储渗体),特别是充气之后,速度明显下降。因而油气储集体的速度低于盖层。将储盖层的速度曲线叠合。在含气部位,两条曲线重叠或相交,相交的差值愈大,异常愈显著,速度低的称低速异常,反之称高速异常。

实验证明(包茨主编,1986),在埋深小于 1600m 时,对油气饱和的多孔岩层说来,速度随含水饱和度

的增大而单纯的增大。深度再增大,岩层速度随含水饱和度增加而变缓。但含水气岩层的速度随含水饱和度由零增大到 0.8 左右时反而减小。然而随含水饱和度由 0.8 左右增大到 1.0(100%)时,其速度迅速增加到含水层的速度。含水饱和度为 0.97 或 0.98,即含气饱和度为 0.03 或 0.02 时,岩层的速度增大最快。因此,实际工作中注意剔除小气大异常。

2.2 新场地区侏罗系红层含气层的差异速度分析

2.2.1 差异速度分析的基本地质条件

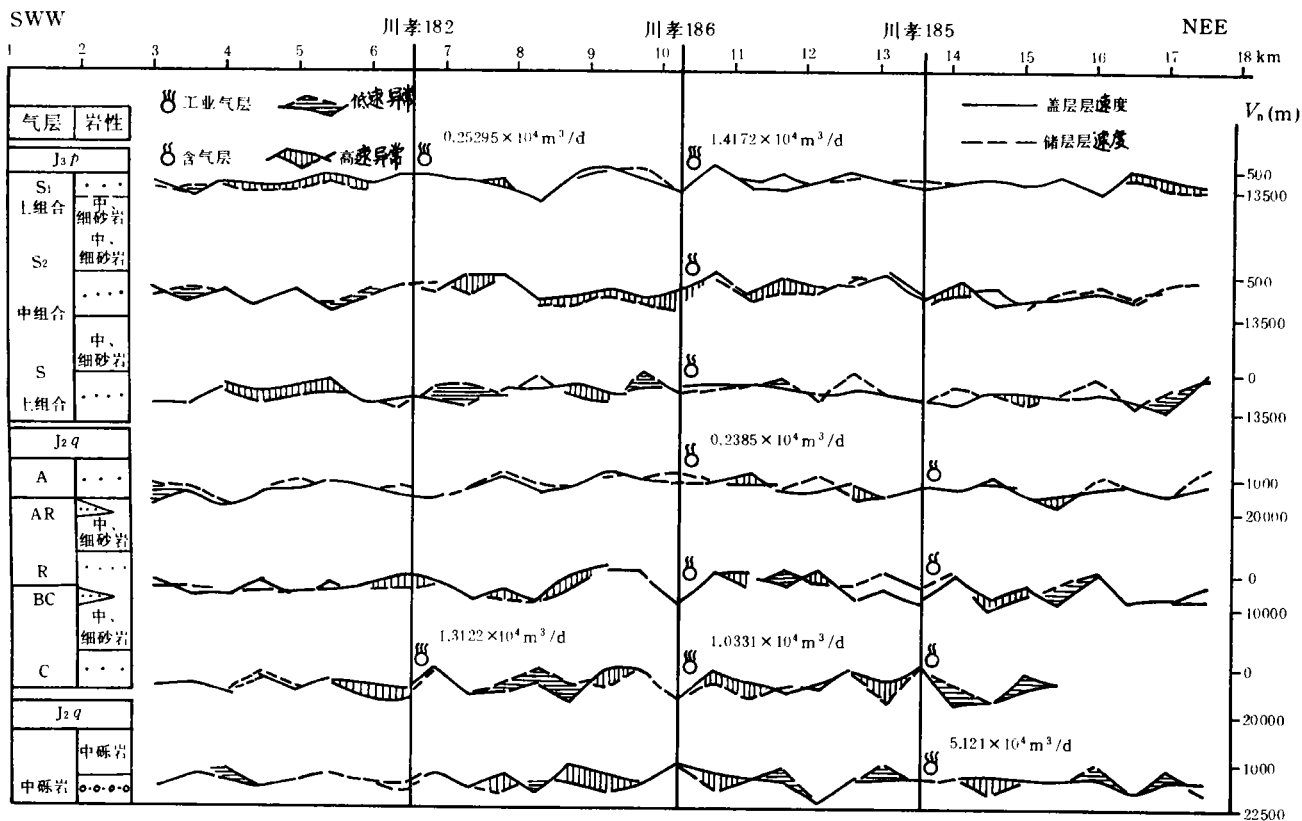


图 2 青-91-31 测线储盖层速度差异分析图

新场地区属于川西拗陷中段，西起绵竹向家场东至德阳罗江镇，北起绵竹县城至玉泉乡一线，南至什邡县城至黄许镇一带，面积约 1500km²。地表为第四纪砂砾层复盖，砂、砾层最厚可达 60 余米。属龙门山推覆构造山前隐蔽带的低缓褶皱，轴向 NE，两翼倾角 3°~5°，东翼略陡，构造闭合差 20m，孝泉构造可达 50m 左右。

野外地震数据采集系我局第二物探大队在 1986~1992 年间完成的，计 82 条(段)测线，有效长度 1423.385km。其中青-92-33,35,青-91-31,孝-92-68 等 4 条测线是高频检波器采集的高分辨率剖面。

本次差异速度分析，选取孝-86-22 线以东青-91-18 线以西，青-88-1 线以北，青-88-7 线南 28 条地震测线，约 300 余测线公里，近千速度谱点完成的，面积约 300km²。

新场地区到目前为止，已完成钻井 200 口左右(含生产井)，分别发现和圈定蓬莱镇上、中、下，沙溪庙组 A、B、C 及干佛崖组砾岩气藏。这些气藏均先后建井投产，商业性日输气 100×10⁴m³ 左右。

经研究各主力气层的基本情况如下：

(1) 蓬莱镇组

蓬莱镇组厚 1200m，可分为上、中、下 3 套含油气组合。

上组合相对分布在 550~800m 范围。由 2-3 套扇三角洲前缘砂体为主的含气砂体组成。物性条件较好，平均孔隙度 13.18%，基质渗透率 3.163×10⁻³μm²，具高孔、高渗的物性特征，砂体分布广泛，叠合连片，系当前的主力产层。

中部组合相对集中分布在 1000~1200m 范围，物性条件亦较好，平均孔隙度 14.63%，基质渗透率 2.349×10⁻³μm²。由 2~3 套范围不等的三角洲平原分流河道砂体组成，稳定性略低于上含气组合。砂体主要分布在川孝 133 井,154 井一线以东，呈南北向的不规则形态。

下部含气组合埋深在 1250~1350m 范围，含气砂体的分布不易圈定，推测河流特征更典型，据浅 22 井岩芯物性分析，孔渗条件较差，平均孔隙度 10.307%，基质渗透率 0.604×10⁻³μm²。川孝 161-① 井在该段获工业产能。

(2) 沙溪庙组

上、下沙溪庙组厚 700~800m,由上而下发育 3~4 套含气砂体,前人称为 A、AB、B、BC、C 5 层,其中 AB、BC 层不稳定,仅在川孝 135 井以东分布。

A、AB 层砂体,大致埋深 2154~2293m,由 1~2 套扇三角洲前缘砂体组成。AB 层砂体仅在 135 井钻遇,而 A 层砂体分布稳定,钻遇率高,平均孔隙度 14.71%(渗透率未测)。

B、BC 砂体,大致埋深 2279~2418m,属扇三角洲前缘相砂体。BC 层砂体仅在川孝 129、136m 井钻遇,而 B 层砂体在各井均有发现,砂体分布较稳定。平均孔隙度 8.54%,渗透率 $0.102 \times 10^{-3} \sim 0.216 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。虽然岩性相对致密,但渗透性较好。

C 层砂体,大致埋深在 2335~2477m,属扇三角洲中网状河道砂体,分布稳定,钻遇率高,但孔、渗性能侧向变化快。川孝 136 井平均孔隙度 13.5%,基质渗透率 $0.305 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。其余各井在 9.06%~10.96% 之间,平均 10% 左右。基质渗透率 $0.12 \times 10^{-3} \sim 0.305 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

其中 A、B、C 3 层砂体分布稳定,可比性强。而 BC 层砂体由西向东有变薄的趋势。3 层砂体都高含长石(25%~36%),粒径粗(中细粒),胶结疏松。比较而言,A、B 层孔渗性好,BC、C 层较差。从油气产层分析,凡钻遇这些砂体的钻井都有不同程度的油气显示,其中多数井都建成工业油气井。

(3) 千佛崖组

千佛崖组厚 100~200m 埋深 2600~2900m。含气砂体为扇三角洲上部扇的补给水道沉积。多为中

砾岩,以川孝 152、156、162 和 163 井钻遇该砂体推测,砂体呈 NNW—SSE 的带状展布。产层埋深 2700m 左右,测试厚度 8~25m,基质孔隙度 0.21%~9.04%,平均 1.79%,基质渗透率 $0.003 \times 10^{-3} \sim 0.989 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均 $0.08 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,为低孔,低渗透致密层。但经裂缝改造,样品渗透率值可达 $50 \times 10^{-3} \sim 200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均 $0.08 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。据岩心统计,各井砾岩裂缝密度可达 17~217 条/m。162 井及局部井段,裂缝密度可到 9 条/2.5cm²。孔渗性又以砾岩间的隙填物为好。孔隙度最高达 19.8%,平均 9.47%,总的说来砾岩产层具有低孔高渗的储集特点。

2.2.2 产气砂岩层位标定

经川孝 129、132、136、133 井制作的合成记录与过井地震道对比,判定 A、B、C 储集层砂体反射波组在区内是可以追踪闭合的。它们总的地震响应特征为连续性较好的中强反射。又以 A 层强振幅的特征最突出。

在确定 A、B、C 层与反射波同相轴对应关系的过程中,借助区内蓬莱镇底界反射(T₁)和白田坝组顶界反射(T₂)两个标志层。而这些标志层又是由川孝 117 井,川合 100 井 VSP 测井确认的反射界面且在大区域追踪闭合的。因此,层位标定比较准确。

对于蓬莱镇组上、中、下含气组合,千佛崖组砾岩含气层的标定,除参照前述钻井的合成记录外,还用川孝 117 井 VSP 测井提取的平均速度,对各地震测线及其附近的钻井进行时深转换(表 1)。在此基

表 1 新场地区各含气层地震反射特征

组	段	代号	含气组合	埋深 (m)	T ₀ (ms)	反 射 特 征	时深转换度
蓬莱镇	太和镇	J _{3p} ¹	上	550~800	0.44	强振幅高连续,同相轴时分合常有 2~3km 透镜体发育。	
		J _{3p} ²	中	1000~1200	0.605	变振幅、中连续,同相轴有 2~3km 分合现象,呈小透镜状,视周期时宽时窄。	川孝 117 井测井速度
	蓬莱镇	J _{3p} ³	下	1250~1350	0.88	变振幅中连续,界面反射顶多下超终止,在 136 井以西断续反射和底界面的下超终止更频繁,视周期西宽、东窄。	
沙溪庙	上沙	J _{3s} ¹	A	2154~2293	1.02	变振幅,中连续,同轴上强下弱且有 1~2km 强弱变化,呈视极性的反转现象,视周期普遍加宽。	
		J _{3s} ²	B	2279~2418	1.245	强振幅,高连续在 132 井与 136 井间,同相轴有 1~2km 透镜状弱反射,视周期普遍加宽。	
	下沙	J _{3s} ³	C	2335~2477	1.30	强振幅高连续,135 井以西反射振幅上强下弱,以东上弱下强,呈现相位质换现象,视周期加宽。	
千佛崖		J _{2q}		2600~2900	1.5	高振幅,高连续,136 井以东反射振幅上强下弱,以西上弱下强,视周期加宽显著,尤以 136 井以东更明显。	

基础上对区内 28 条测线、300 多测线公里的 7 个已知油气层的界面反射进行追踪闭合。再逐一拾取界面反射时间并在速度谱上拾取与气层反射时域一致的速度值。输入电脑计算(自编计算机软件)差异速度值。

川孝 129 井合成记录展示,蓬莱镇组上、中、下含气组合,沙溪庙组 A、B、C 含气砂岩均为低密度,低速度、负反射。鉴于地震分辨率的关系,各含气砂岩的地震反射不代表单一砂体,而是这一含气组合的综合地震响应。

统计发现沙溪庙组泥岩速度一般为 3400~3900m/s,致密砂岩速度 4600~5200m/s,含气砂岩速度 2700~3800m/s,围岩速度一般在 4600m/s 左右。故致密砂岩速度比含气砂岩速度高 1000m/s,而含气砂岩速度比围岩低 400m/s,故含气砂体多为暗点。

蓬莱镇组的泥岩速度一般 3100~3700m/s。致密砂岩速度 4200~4700m/s,有的高达 4900~5500m/s 含气砂岩速度 3400m/s 左右,围岩速度 3600~4000m/s,含气砂岩速度比围岩低 200~1600m/s 故含气层多出现亮点。

千佛崖组含气砾岩经川孝 135 井测井声速计算,可达 4948m/s,围岩速度 4000~4578m/s,两者速度差 400~900m/s,故含气砂岩暗点与亮点并存。

从密度测井资料分析,泥岩密度 2.63g/cm³,致密砂岩密度 2.64g/cm³,含气砂岩密度 2.42g/cm³。

所以,砂岩含气之后,无论密度和速度降低都十分明显。这种地质条件,适宜开展差异速度分析。

2.2.3 低速异常的地质解释

川西地区的低速异常多是裂缝、岩性、油气、水信息的综合反映。众所周知,由于速度变化引起振幅、波形、极性反转等地震异常体的出现。因而,低速异常的地质解释必须参照多方面的资料综合解释,特别是钻井地质成果。

经川孝 132、135、136 等井的已知油气层与青-91-31 地震测线联合分析,发现沙溪庙组 A(气)层砂体(埋深 2293m)以浅,蓬莱镇组上、中、下组合的含气砂岩层都位于差异速度圈定的低速异常体内。B、C 含气砂岩体分别位于高速或低速异常体内。千佛崖组砾岩气层位于储、盖层速度曲线叠合处(图 2)。异常边界与含气边界一致。这是含气砂岩与围岩的速度差异较大的缘故。

川孝 132 井(埋深 2293m 以深)的 B、C 层和川孝 135 井千佛崖组砾岩含气层,因非均质,压实状况、孔渗性能的差异,在高压实的致密含气砂岩段,由于含气造成的速度降低不足以引起围岩间足够大的速度差,故含气部位储盖层速度曲线叠置。研究认为,在一些沉积盆地中,埋深在 1600m 以深的致密含气砂岩,充气之后速度降低不明显。B、C 和砾岩含气层的速度异常,亦属类似的情况。

将 7 个油气层的速度异常与各含气砂岩顶的构

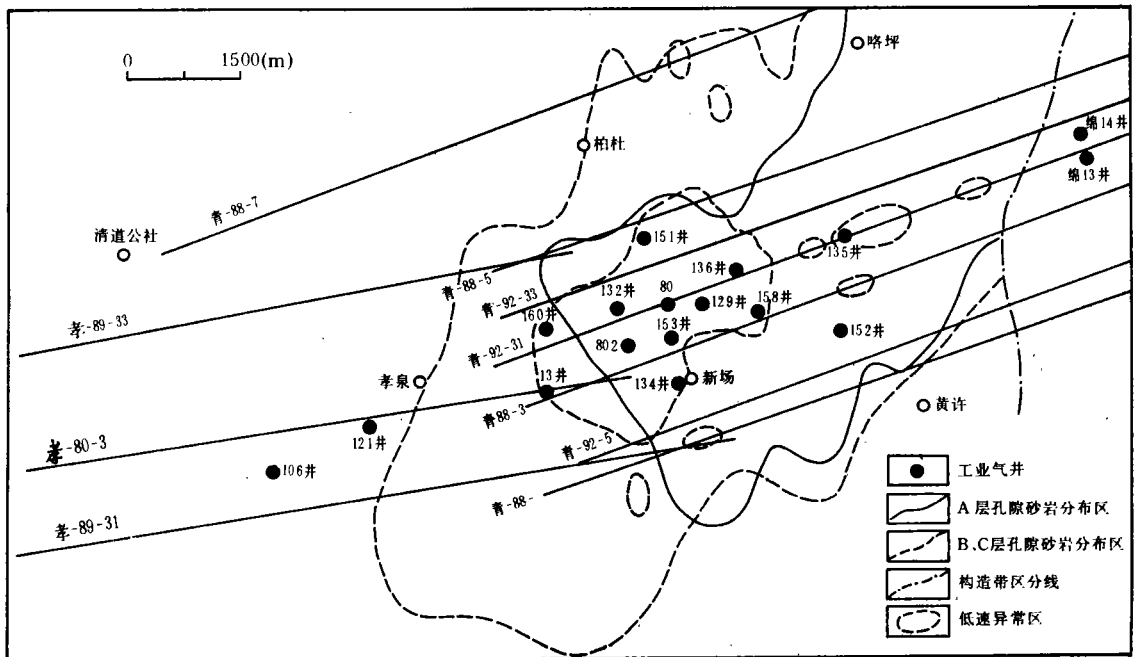


图 3 新场地区侏罗系沙溪庙组 A、B、C 气层低速异常与砂体叠合图

造图或砂层平面图叠合(图 3),发现蓬莱镇组上、中、下含气组合,沙溪庙组 A、B 气层的钻井符合率在 80%~90%,沙溪庙组 C 气层和千佛崖组砾岩气层低速异常与钻井符合率在 20%~30%。尚未钻井的低速异常区,顺理成章的成为新的钻井靶区。这样可为新场气田的增储上产,立体勘探提供一批新的井位。

追踪钻井揭示的已知油气层的地震响应,并对储盖层之间的差异速度分析,在新场地区尚属首例。由于地震剖面质量,速度谱精度、密度和工作经验等原因,谬误之处在所难免,敬请地质同行和专家指正。

研究工作中,张箭、安凤山等同志在课题经费中给予大力支持、我局第二物探大队提供地震剖面和速度谱资料,陈德辉编制计算程序,王曾涓、战英上机计算,在此一并致以衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 冯世璋. 利用测井声速与地震声速对比勘探天然气的建议. 天然气工业, 1987, 7(3)
- 2 包茨主编. 天然气地质学. 北京: 科学出版社, 1986

(收稿日期: 1996 年 7 月 2 日)

APPLICATION OF SEISMIC VELOCITY TO THE EXPLORATION OF SHALLOW GAS

He Li Liu Meiqing Yu Xiaofeng

(Research Institute of Oil/Gas, Southwest Bureau of Petroleum Geology, MGMR, Chengdu, 610081)

Abstract

Commercial oil/gas reservoir determined by the well drilling and seismic channels across the well are used to prepare combined records which are plotted on the seismic profile; then using a recursion formula for the seismic velocity spectrum and interval velocity, the velocity values having the same time domain with the oil/gas geologic body are picked up and calculated. Based on the method of superposition of differential velocity proposed by Leder, an American scholar, the superposition of velocity values from the top and bottom of the geological body are made. The results show that the abnormal sounding zone with a low velocity would be a gas reservoir. The method is applied to a trial study in Xinchang gas field after a delineation in plane by means of tracing and closing in the seismic net; it is found that the gas pool of Penglai Zheng Formation, and gas reservoirs A & B of Shaximiao Formation from the upper Jurassic above 1600—2200m indicate a higher rate of coincidence with low velocity abnormality, as high as 80%. Gas reservoir C of Shaximiao Formation of middle Jurassic below 2200m indicate a lower rate of coincidence, about 20%—30%.