

应用层间速度差分析直接检测油气藏*

陈开远

(中国地质大学, 武汉 430074)

杜宁平

(中国地质大学, 武汉 430074)

沈林克

(西北石油地质局, 乌鲁木齐 830011)

韩革华

(西北石油地质局, 乌鲁木齐 830011)

当地层孔隙发育时,其层速度必然降低,故可据低速异常预测孔隙发育带;当地层中富含油气而不是水时,也会使层速度降低。如选择一套岩性较稳定、孔隙度变化较小的储层,便可根据其速度参数的变化来检测油气是否存在。

关键词 地震波速度 油气检测 层间速度差分析 塔里木盆地

第一作者简介 陈开远 男 37岁 副教授 石油地质

利用地震资料直接检测油气藏,一直是广大石油地质学家和地球物理学家所梦寐以求的。本文讨论一种利用地震速度资料直接检测油气藏的新方法——层间速度差分析法,介绍它在塔里木盆地的应用试验情况。

一、地震油气检测技术概述

自60年代末期提出“亮点技术”以来,陆续有人提出一些新方法、新技术,它们都为地震油气检测技术的发展起到一定的推广和促进作用^[1]。其中亮点技术、HCI、AVO等是几种较有代表性的方法,但它们在我国的石油勘探应用均不太理想。

亮点和HCI技术的主要缺陷在于仅适用于埋藏较浅的新地层,如果综合使用暗点技术,可在埋藏较深的层段进行油气检测,但却无法用于“亮点区”和“暗点区”之间的层段。在此区段内,含油气层并不形成亮点或暗点。

AVO技术是国内应用效果较好的一种油气检测方法。它对“亮点型”和“暗点型”地层都有较好的效果,尤其是它对二者之间的过渡地层也有一定的反映。目前国内某些油区已成功利用它进行油气检测,如大庆等油田。但AVO技术本身也有某些缺陷,一是它要求有先进的处理软件、硬件环境;二是AVO处理要求资料信噪比较高,否则将无法得到满意的处理结果;三是它的多解性较强,不同深度的油气层,可能有截然相反的AVO特征。

综观各种地震油气检测技术,可发现速度是其中一个非常重要的参数,它既可反映地层的储集物性特征,又与地层所含流体种类有关。速度参数的提取比较简单,它不像频率、泊松比、振幅等参数,需要较复杂的特殊处理,因而速度资料具有比较广泛的来源。所以,地

* 地质行业科学技术发展基金资助项目

收稿日期: 1992-12-03 改回日期: 1993-03-25

震波速度是一个很有潜力的地震油气检测参数。

二、层间速度差分析方法及其引伸

层间速度差分析（简称 DIVA）是一种在陆地地震勘探资料中进行孔隙度预测的方法。它的基本原理是：当地层孔隙发育时，地层的层速度必然会降低。当该储层具有一定厚度时，这种速度降低不仅在层速度上有反映，而且在叠加速度、均方根速度及平均速度等参数上均会有所反映。如果检测出这种速度降低带，就可以预测孔隙发育带。DIVA 剖面编制与资料解释的具体方法步骤可参见有关文献^[2,3,4]。

Neidell 等人最初在美国得克萨斯州的一个废弃油田中进行 DIVA 试验。该油田的 Austin 组灰岩曾被认为是最有希望的产油层。在该灰岩中只要能找到孔隙（或裂隙）发育带，就会获得工业油气流。图 1 是该区的一条地震测线，从中看不到任何的圈闭或构造遮挡，图 2 是该测线的 DIVA 剖面，Austin 组灰岩显示出多个低速异常（十字花纹处）。在其中的两个 DIVA 异常处各布一口钻井，均获高产油气流，图 1 示出两口井在测线上的位置。在该试验区内，Neidell 等人钻了 10 口平均深度约 2134m 的井，其中大部分见到裂隙灰岩，并获工业油气流^[3]。

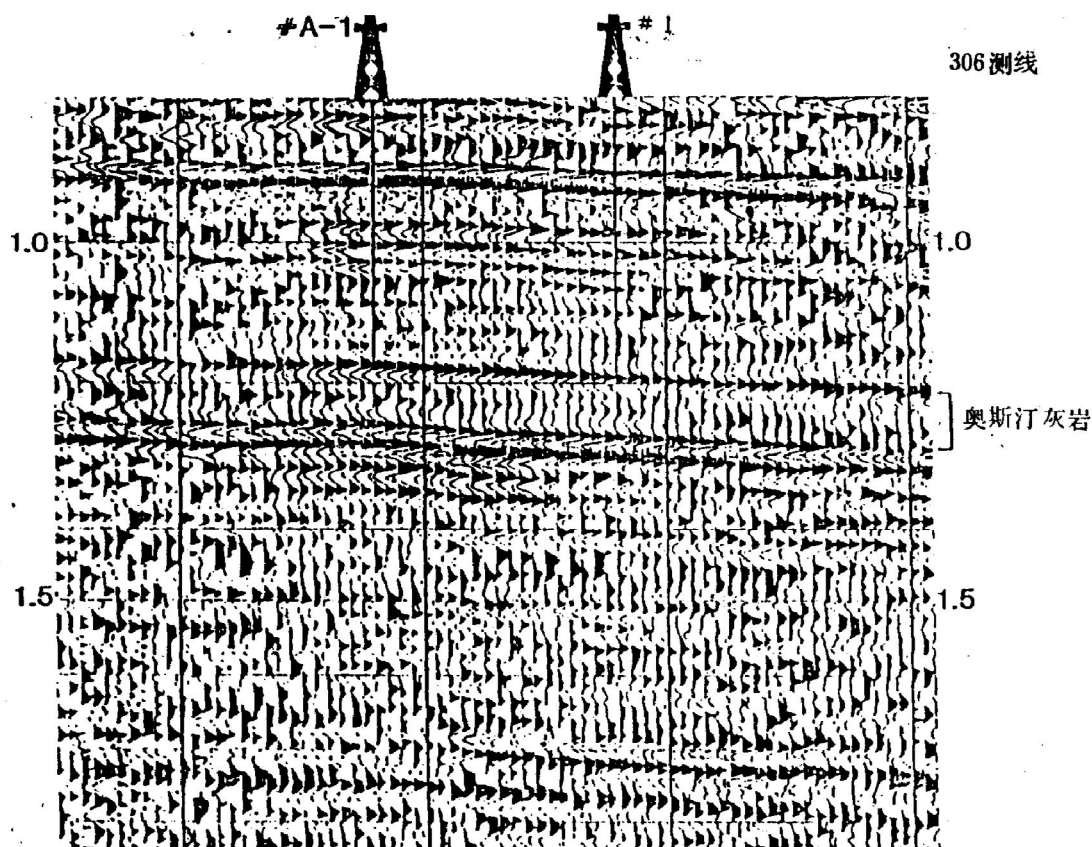


图 1 306 测线地震剖面

DIVA 是一种实用而简便的地震解释方法。为避免犯盲目引进的错误，我们首先对其应用条件作了较详细的研究，并将 Neidell 等人的应用环境与中国的地质条件作了对比研究（表 1）。

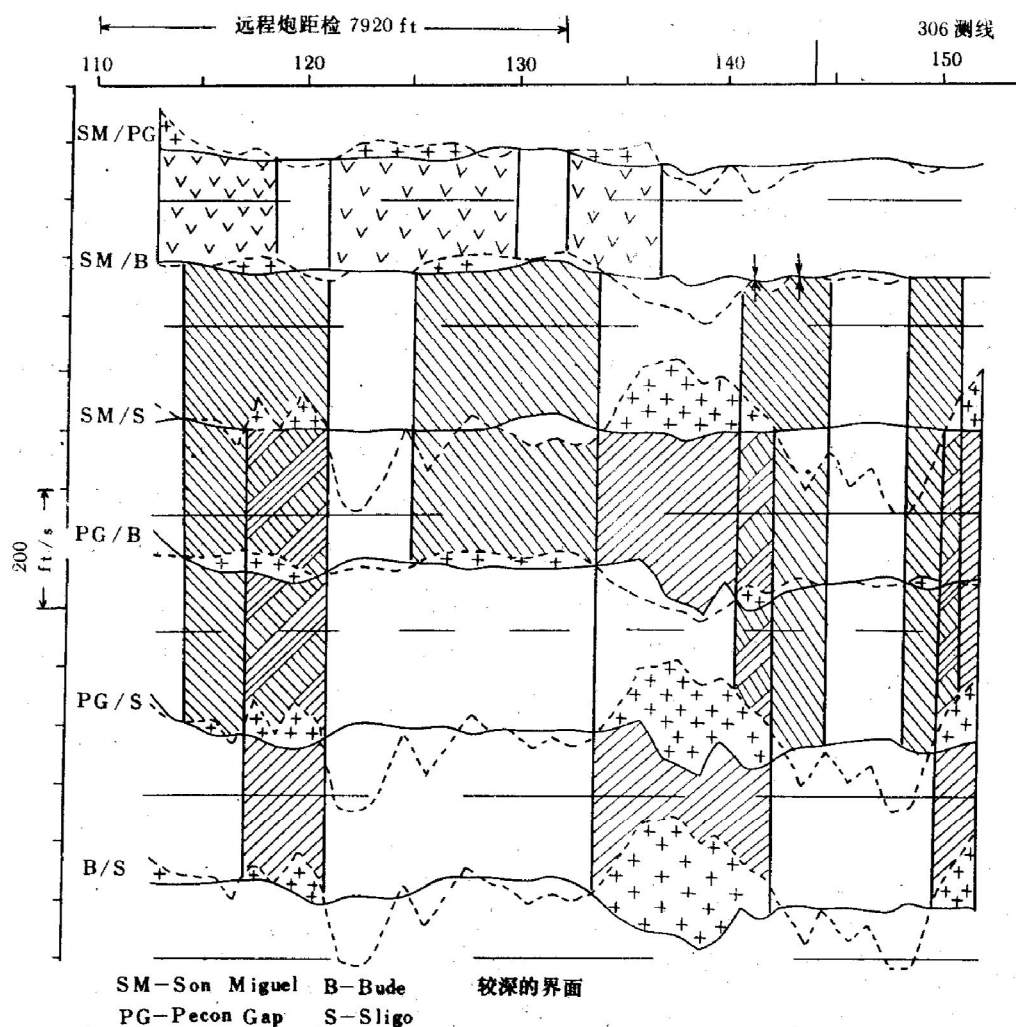


图2 306测线DIVA剖面

表1 DIVA方法应用环境对比表

对比项目	美国得克萨斯州的应用环境	中国含油气区的一般情况
地震勘探激发、接收环境	大陆地表	大陆地表
勘探目的层岩石类型	以碳酸岩为主	以碎屑岩为主
勘探目的层埋藏深度	<1.5 s (双程时间)	一般<2.5 s (双程时间)
勘探目的层地质年代	白垩纪	中、新生代
速度资料密度 (每公里的个数)	>10	0.5—2
目的层沉积环境	海相	以陆相为主

从表1可看出,我国含油气盆地的地质背景与美国得克萨斯州相比有一定差别;但如果我们具体地分析,便可发现某些条件还是比较相似的,如第一、三、四等项就差不多,而且只要对碎屑岩储层作某些限定,亦可解决“目的层岩类”上的差距。从岩性特点来看,陆源碎屑岩与碳酸盐岩的区别主要在于变化率或稳定性的不同,前者岩性变化较大、不稳定;后者岩性较稳定。如果我们选择那些近海陆相盆地的稳定砂岩,则可同时解决好表1中的第二和第六两项,再辅以密点速度分析则可解决第五项。

DIVA 方法原是应用于碳酸盐岩中^[4]，而碳酸盐岩的特点是当岩石无次生孔隙(如溶孔、裂隙等)时，其孔隙度和渗透率非常低，而且岩层物理性质很稳定；一旦其中有次生孔隙发育，其物理性质便会发生较大的改变，这时孔隙中充填何种流体，对岩石物理性质的影响远小于次生孔隙的影响，因为次生孔隙受地下水活动、构造变动、岩石组分等因素的制约常常会集中地发育于岩层的某些特定部位，这也是碳酸盐岩油气田勘探中，常常要么是干井，要么是高产油或水(或者油水兼有)井的主要原因之一。碎屑岩储集层则大不相同，首先它的储集性能(如孔隙度、渗透率)比碳酸盐岩稳定的多，它不会成百上千倍的变化，虽然成岩等后生作用对碎屑岩的储集性能有一定的改造，但其原生孔隙仍起很大作用，而且同一地层的原生孔隙变化不会太大，尤其是某些滨浅湖相的席状或带状砂岩中更是如此。因此，在碎屑岩储集层中，储集物性的变化对岩石物理性质(如速度、密度)的影响没有碳酸盐岩大；而岩石孔隙中的流体则可能对速度有较大的影响。因此，我们设想是否可以将DIVA方法改进成一种油气检测方法。

从原理上看，不仅孔隙度发育可以使速度降低，而且地层中所含的是油或气，而不是水时，也会使地层速度降低。如果选择一套岩性比较稳定，孔隙度变化较小，埋藏深度变化较小的砂岩储集层，便可通过其速度参数的变化来检测油气的存在与否。如果这个设想能够付诸实现，那么不仅仅是将DIVA方法推广应用到我国石油勘探实践中，而且还可将它发展成为一种新型而又简便的油气检测方法。

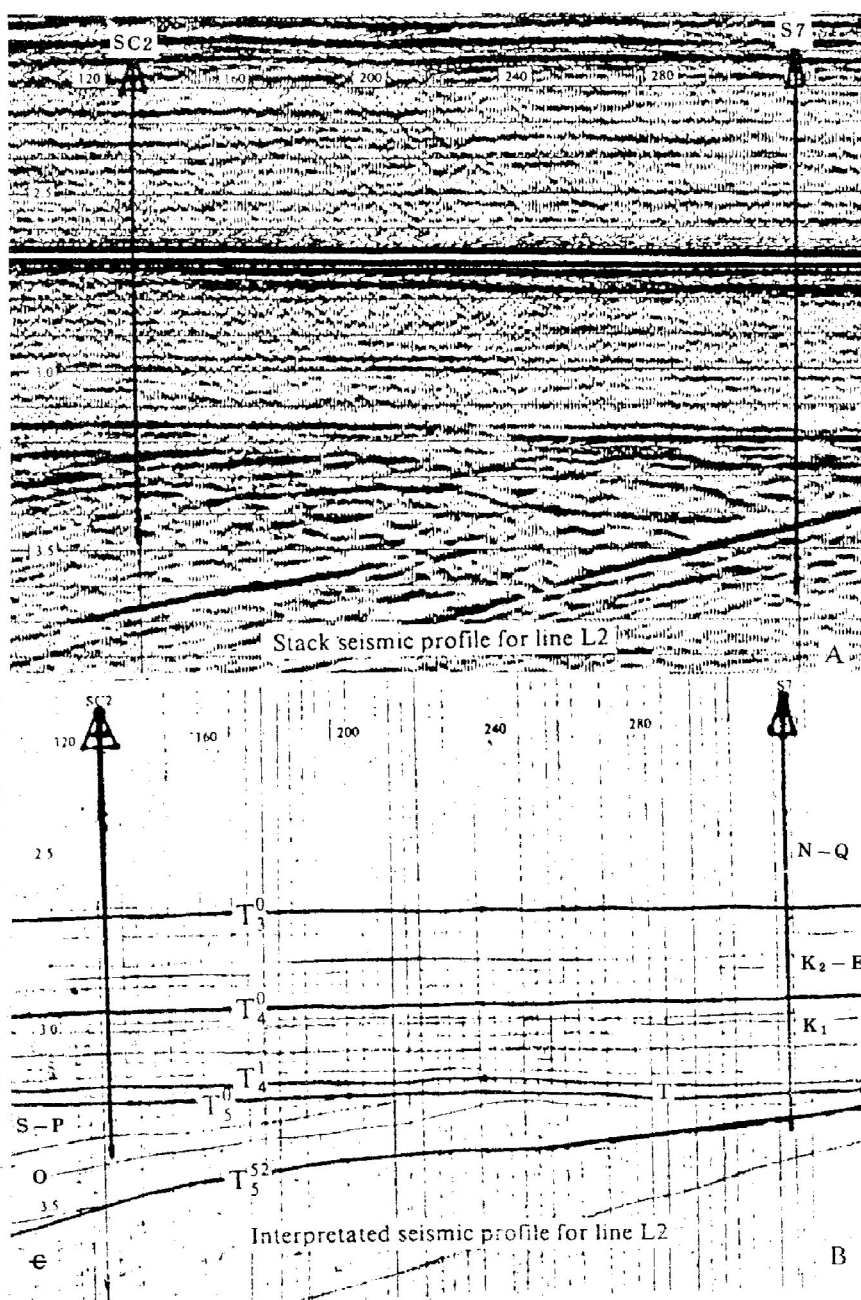


图3 L2测线水平叠加(A)及解释(B)剖面

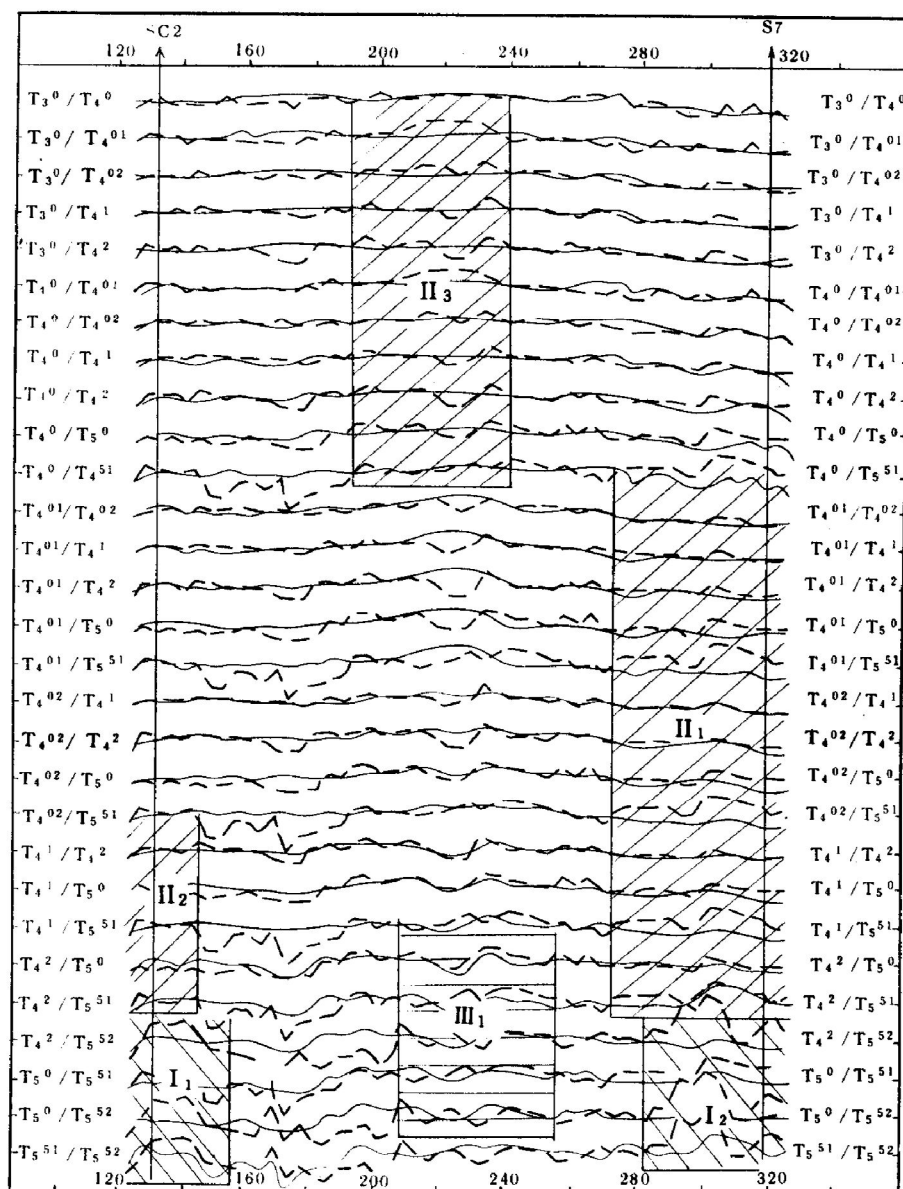


图 4 L2 测线的 DIVA 剖面

三、塔北雅克拉构造带 DIVA 应用成效

雅克拉构造位于塔里木盆地北部沙雅隆起带中部,北靠库车坳陷,南与阿瓦提-满加尔坳陷相邻,构造位置十分有利。钻探证明,它是塔北地区含油气最丰富的构造之一。

我们以平行构造长轴且穿过沙参 2 井和沙 7 井的 L2 测线为主要研究测线。图 3-A 是精细处理的 L2 测线地震时间剖面,图 3-B 是它的解释剖面,其中的竖线是 DIVA 研究所用速度谱的位置,横向加描线则为地震资料的解释成果。从中可以看出,自 2.7 s 左右的 T_3^0 反射层段中,可以准确地对比出十余个反射层,它们为后续的速度分析提供了准确的 t_0 时间数据。

据前人研究^[3,4],DIVA 可用于 20ms 的薄层,但在实际的速度谱解释中发现,如此密集的反层将无法拾取准确的速度数据,在其中的某些反射层上基本上没有能量团存在。经反复

试验之后，我们认为反射层密度（间距）大体应保持在 30—50ms 以上，实践证实，该间距是较合适的，它既可满足薄层研究的需要，又不致于因层过于薄而无法进行速度分析^[5]。

图 4 是 L2 测线的 DIVA 剖面，它由我们自行研制的 CAID 绘图软件包* 绘制完成。当较深反射层的速度值（虚线）低于较浅反射层的速度值时，该段则可能为速度异常段，也即为可能的含油气层段。采用适当的编图处理方法，可使那些幅度不大的低速异常显示出来。图 4 的罗马数字表示异常的级别，其中 I 级最好，Ⅲ级最差，各罗马数字的阿拉伯数字脚标是该异常区的编号，其编号按异常等级分别排序。从图 4 可看出，L2 测线的 DIVA 异常大致有 I、Ⅰ和Ⅲ三级，共计六个异常区，由于该测线处理段较短，DIVA 异常并未随处理段结束而终结，某些 DIVA 异常区呈现出向测线外端的张口状，这样目前所确定的异常则可能是 DIVA 异常基础上的“异常”，因此 L2 测线 DIVA 异常的定级可能有些偏低，尤其是在 T_4^0 以下各层段中。如果能够向两侧延展到异常区外，那么现有的 DIVA 异常幅度可能会更大，范围也更宽，在无降速的背景下，异常的级别也可能会升高。如图 4 中的 Ⅲ₁ 异常便可能是二级异常，而它与 I₁ 和 I₂ 异常区之间的空白区可能是三级异常区。鉴于资料条件的限制，我们仅能就现有的异常进行解释研究。表 2 列出图 4 中六个异常区的基本特征参数^[5]，其中大部分与油气产层密切相关。

表 2 L2 测线 DIVA 异常基本参数

编号	异常的 CDP 段	DIVA 异常上层	DIVA 异常下层	异常幅度 (m/s)	钻探情况	备 注
I ₁	>281	T_4^2/T_5^{52}	T_5^{52}/T_5^5	80—120	沙 7 井产油层	未见边界
I ₂	<156	T_5^0/T_5^{04}	T_5^{01}/T_5^{52}	40—100	沙参 2 井产油层	未见边界
Ⅰ ₁	>270	T_4^0/T_5^1	T_4^2/T_5^{52}	20—80	沙参七井见显示层	未见边界
Ⅰ ₂	<148	T_4^{04}/T_4^1	T_4^2/T_5^{52}	20—40	沙参 2 井显示层	未见边界
Ⅲ ₃	190—240	T_3^0/T_4^0	T_4^0/T_5^1	20—50	待勘查	
Ⅲ ₁	208—253	T_4^2/T_5^0	T_5^0/T_5^2	10—50	待勘查	

1. I₁ 异常的地质层位为寒武系—侏罗系不整合面，沙 7 井钻在该异常中，DST 测试在该层段获得日产油 69.24 m³，气 138915 m³ 的高产油气流。

2. I₂ 异常的地质层位为奥陶系—侏罗系不整合面，沙参 2 井钻入该异常，在奥陶系风化面（不整合面）上获日产千立方米以上的特大高产油气流，证实该层段含有丰富的油气资源。该异常幅度虽不如 I₁ 异常区，但它的异常比较稳定，不仅范围较宽，而且异常的幅度大小也较稳定，反映出它可能是一个较稳定的含油气层。

3. Ⅰ₁ 异常的地质层位包括白垩系和侏罗系两套地层。据沙 7 井试油结果，在侏罗系中获日产油 10.56 m³、气 23234 m³ 的工业油气流，在白垩系卡普沙良群中获得日产 75.52 m³ 油，216800 m³ 气的高产油气流，它是雅克拉构造继下古生界风化面之后的另一套主要含油气层系。该异常的幅度较大，范围边界较宽，基本应归入 I 级异常之中，只是因它的层段较长，难以准确确定出异常层位，故降为 Ⅰ级。

4. Ⅲ₂ 异常的地质层位是侏罗系及下白垩统的底部，它与 Ⅲ₁ 异常类似，也是与 I₁ 异常紧

* 陈开运，沈林克，DIVA 微机辅助解释软件包——一种多功能微机油气检测处理软件，计算机在地学中应用国际讨论会（91）论文集，1991：572—577。

接的Ⅰ级异常区。它下部的侏罗系是奥陶系风化壳高产油藏的上覆盖层,沙参2井在其中见到一些油气显示,但未作测试,含油气情况不够明朗,估计为一潜在含油气层。

从上述描述可知,L2线的DIVA异常主要集中发育于奥陶-寒武系风化面、侏罗系和白垩系三套层系中,奥陶-寒武系风化面的储集条件不存在多大问题,长期的风化淋滤、溶蚀等作用使其中发育了大量的次生孔隙或裂隙。区域地震地层学研究表明,侏罗系的沉积类型以河流-沼泽相为主,而雅克拉构造正位于侏罗系河道发育部位,其中的河道砂岩是很好的储集岩,并可形成良好的地层圈闭。第三套异常层位——白垩系虽未曾试油,但L2测线西北500m处的沙5井在这套砂岩中获得高产油气流,说明白垩系也是很好的储油层之一。

对比Ⅰ₁和Ⅰ₂两个异常区可看出,沙2井区和沙7井虽同属河道相区,但从地震剖面中可看出沙参2井的河道是一个外形不完整的泥质为主的充填河道^[5,6],砂岩并不发育;而沙7井河道砂岩好,以石英砂、砾为主,分选、磨圆都较好。Ⅰ₂异常区砂质岩含量减少,不仅影响本身的DIVA异常幅度,也影响下伏层的DIVA异常。DIVA是一种上下层位之间的相对异常,当上覆层因含泥质过多而降低速度时,下伏层因含油气造成的低速异常也变得不太明显,而在相邻的富砂质上覆岩层地区,虽油气降速较小,但由于砂质岩上覆层的层速度较高,却可显示出较大的DIVA异常。这也是DIVA方法应用于国内陆相地层的主要困难之一,陆相地层的横向多变性常会干扰DIVA异常的解释。

图4给我们的另一个提示是:沙参2井和沙7井的含油气层位并不能简单地连片成藏,雅克拉构造上的油气富集情况不是均匀的,它不是一个层状油气藏,除构造圈闭条件外,储集物性的好坏,储集层的发育情况等对油气产能亦有很大影响。同时,Ⅰ₃异常的出现和Ⅰ₁异常的上延表明白垩系也是一个不可忽视的含油气层位。

L2测线上共确定六个DIVA异常,其中钻井钻遇四个异常区,这些DIVA异常全部与钻井勘探成果吻合,另外两个之中,有一个亦被间接地证实(图4中的Ⅰ₃异常区),说明DIVA确实是一种简便可行的油气检测方法。

四、塔北艾丁构造DIVA应用成效

艾丁构造地区地震反射平直,在各骨干测线上几乎都是水平反射层(图5),同相轴很平直。因此,在该区的等 t_0 图上没有任何构造显示,仅仅是在经过变速空校之后,圈出一个约十余平方公里的小幅度构造,经反复论证后于1989年部署S30井于该构造上。当该井钻至3000m时,我们恰好完成了雅克拉等地区的DIVA方法试验,便接着对穿过该井的NW430测线进行了DIVA应用试验。

图6是该测线的DIVA剖面,下面简要论述各异常区的特征^[5]。

1. Ⅰ₁是研究段中部的一个DIVA异常,分布范围大致在CDP375至665点处,对应的地质层位为石炭系。异常幅度较大(20—80 m/s),而且分布形态稳定,速度曲线也比较平滑,它是430测线中最好的DIVA异常区,估计是一个较好的油气产层。

2. Ⅰ₂是发育于浅层的DIVA异常,大致分布在CDP150—495点处,对应的地质层位是侏罗—三叠系。异常幅度约为20—80 m/s,分布范围较宽,是430测线中另一个很有希望的潜在储油层。

3. Ⅲ₁异常出现于CDP710—980点处,紧邻S30井发育,其地质层位为三叠系。该异常的

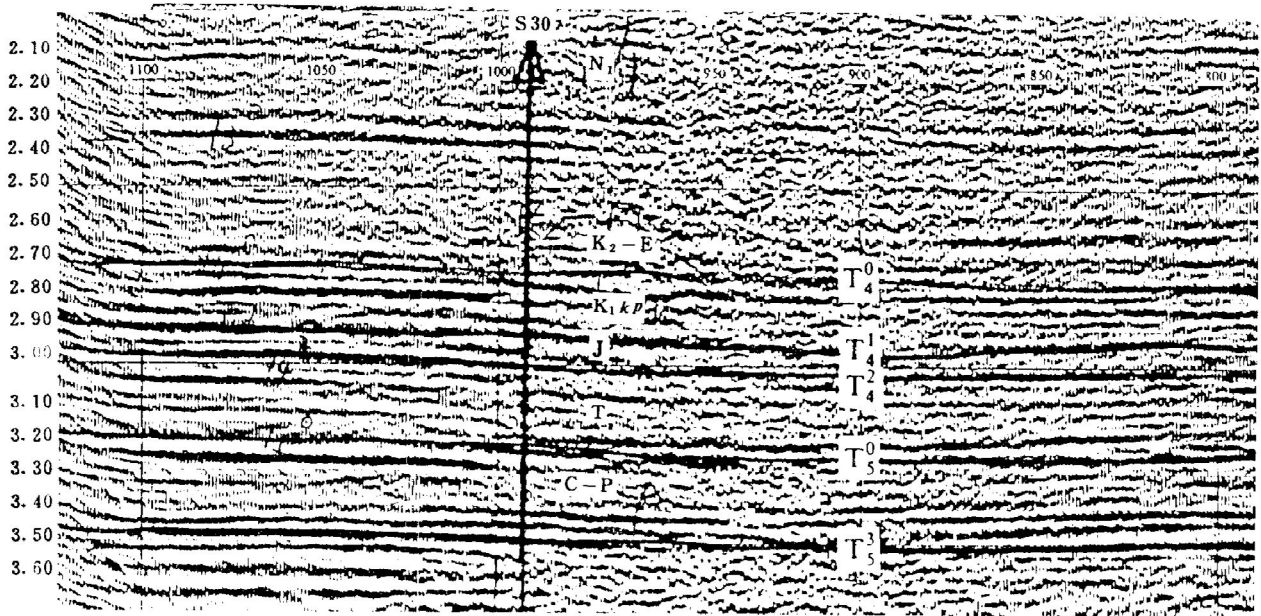


图5 NW430测线S30井区时间剖面

幅度较小 ($<50 \text{ m/s}$), 而且出现于一个波动起伏很大的速度背景之上。估计该异常区不会含有很丰富的油气, 而且其储集物性的变化也较大。

图6中的四个异常区均不在S30井位处, 距其最近的一个异常还是最差的, 因此我们认为在S30井的设计目的层(三叠系和石炭-二叠系)不会含有丰富的油气, 并将此成果及时反映给有关部门提请注意。后该井钻至5800m终孔, 在目的层段未见好的油气显示, 仅三叠系见少量油气显示。实钻结果与DIVA解释成果相符, 三叠系的少量油气正是Ⅲ₁异常区边缘的一些零星显示。

结 论

限于篇幅, 本文仅描述两个代表性地区两条地震测线的DIVA试验情况, 其目的在于介绍该方法在塔里木盆地油气勘探中的可用性, 意在为地震油气检测探索一条新路。就此而论, 主要有如下几点认识:

1. 层间速度差分析是一项行之有效的油气检测方法

通过雅克拉构造等已知含油气构造上的DIVA试验, 证实在各个含油气层中都可看到较明显的DIVA异常, 说明DIVA异常确实是含油气层的一种地震响应特征, 可将这种以往用于孔隙度预测的方法发展成为一种行之有效的油气检测方法。据此, 我们还成功地预测了艾丁构造的含油气性。

2. DIVA可用于多种含油气盆地之中

虽然Neidell等人的试验仅限于浅层的白垩系, 但塔北地区的试验表明, DIVA同样可适用于深部的老地层。只要地震勘探资料的品质较高, 储集岩层的稳定性较好, 厚度也较大, 深部地层中也可用DIVA进行油气检测。

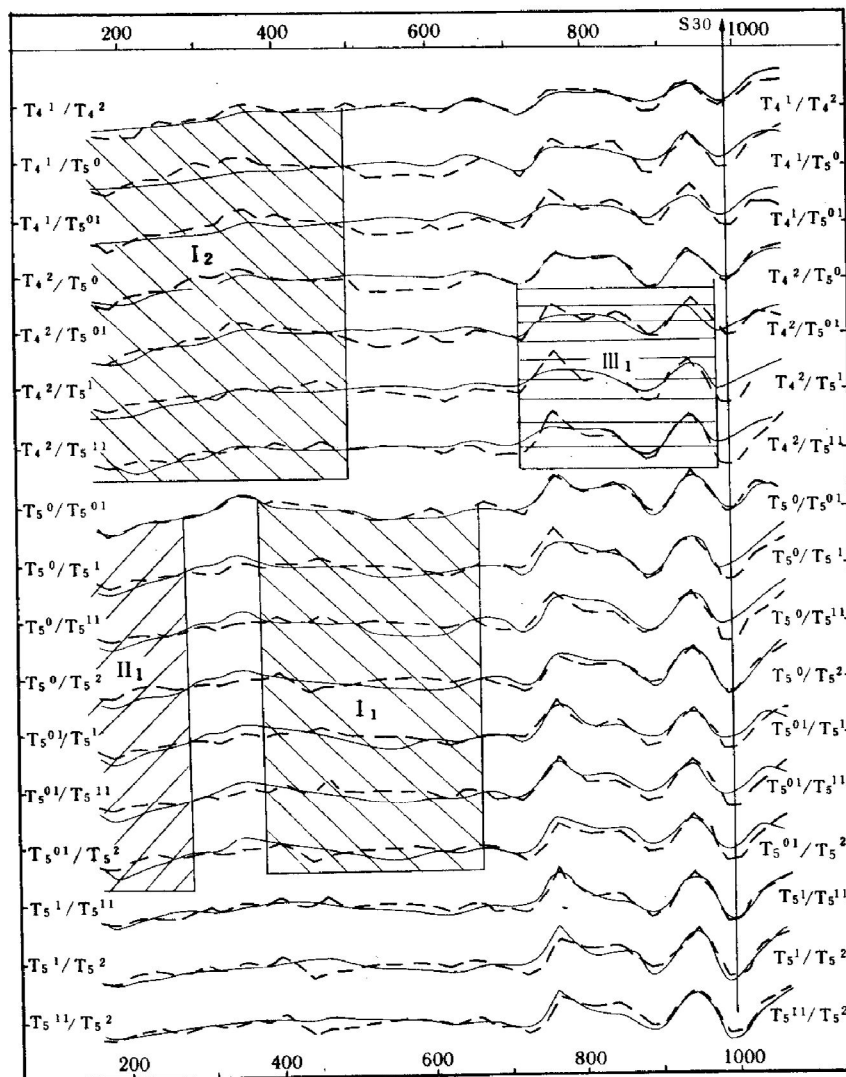


图6 NW430测线的DIVA剖面

3. 地震速度资料是DIVA研究的重要基础资料

DIVA研究以大量的高品质速度资料为基础,这不要成倍增加处理经费,只需在常规的地震资料处理中,适当修改处理参数与流程,增加部分处理工作量便可。DIVA一般使用叠加速度或均方根速度,它们的灵敏度虽不如层速度,但却在其它方面有很多长处。

4. DIVA可以同时检测多套目的层

它可以同时对多套目的层段进行油气检测研究;另外它所用的多层速度比的方法还可以消除表层低速带干扰等因素的影响。

5. 区域地震地层学和层序地层学研究是DIVA研究的重要基础

区域地震地层学研究划分出各地震层序,明确了各地层单元的展布形态、分布范围和沉积环境特征,它可为DIVA研究指示油气检测的靶区。

本研究得到西北石油地质局有关专家的真挚关心和帮助,在此特对康玉柱、陆青、张文献、赵奎德、石彦等同志表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 徐怀大,王世凤,陈开远.地震地层学解释基础.武汉:中国地质大学出版社,1990;89—177
- 2 陈开远,侯启军,孙玉秋.SZ地区地震油气检测.石油地球物理勘探,1990,25(4):450—458
- 3 Neidell N S, et al Use of Seismic—Driven Velocities for stratigraphic exploration on land; seismic porosity and direct gas detection, In: Berg R. ed. Seismic stritigraphy II, an integrated Approach to hydrocarbon exploration, AAPG Memoir 39, AAPG Book House, 1985; 49—77
- 4 Neidell N S, et al. improve prospect picks with moveout velocity Analysis, World Oil, 1984, 198(1): 55—67
- 5 陈开远,沈林克.塔里木盆地北部地震地层解释与油气检测.武汉:中国地质大学出版社,1993;1—145
- 6 沈林克,韩革华等.塔里木盆地东北部地区特殊地震相及其地质意义.石油地球物理勘探,1989,26(2):190—200

HYDROCARBON INDICATION USING DIFFERENTIAL VELOCITY ANALYSIS

Chen Kaiyuan

(China University of Geosciences, Wuhan)

Shen Linke

(Northwest Bureau of Petroleum Geology, Urumqi)

Du Ningping

(China University of Geosciences, Wuhan)

Han Gehua

(Northwest Bureau of Petroleum Geology, Urumqi)

Abstract

The use of Differential Interformational Velocity Analysis (DIVA) in hydrocarbon seismic indication in Northern Tarim Basin is discussed in this paper, and the procedures of the DIVA mapping and interpretation have been improved so that the procedures may be applied to indicate hydrocarbon in deeper ($>4500\text{m}$) strata. The results of the comparison and analysis of Shacan-2 and Sha-7 wells suggested that the hydrocarbon potential of the formations is closely related to the abnormal zones of differential interformational velocity. The abnormal amplitudes fit well with the amounts of hydrocarbon in corresponding formation sections. This shows that the DIVA procedure could not only be used to detect formation porosity, but also could be used to detect subsurface hydrocarbon even in deeper strata.