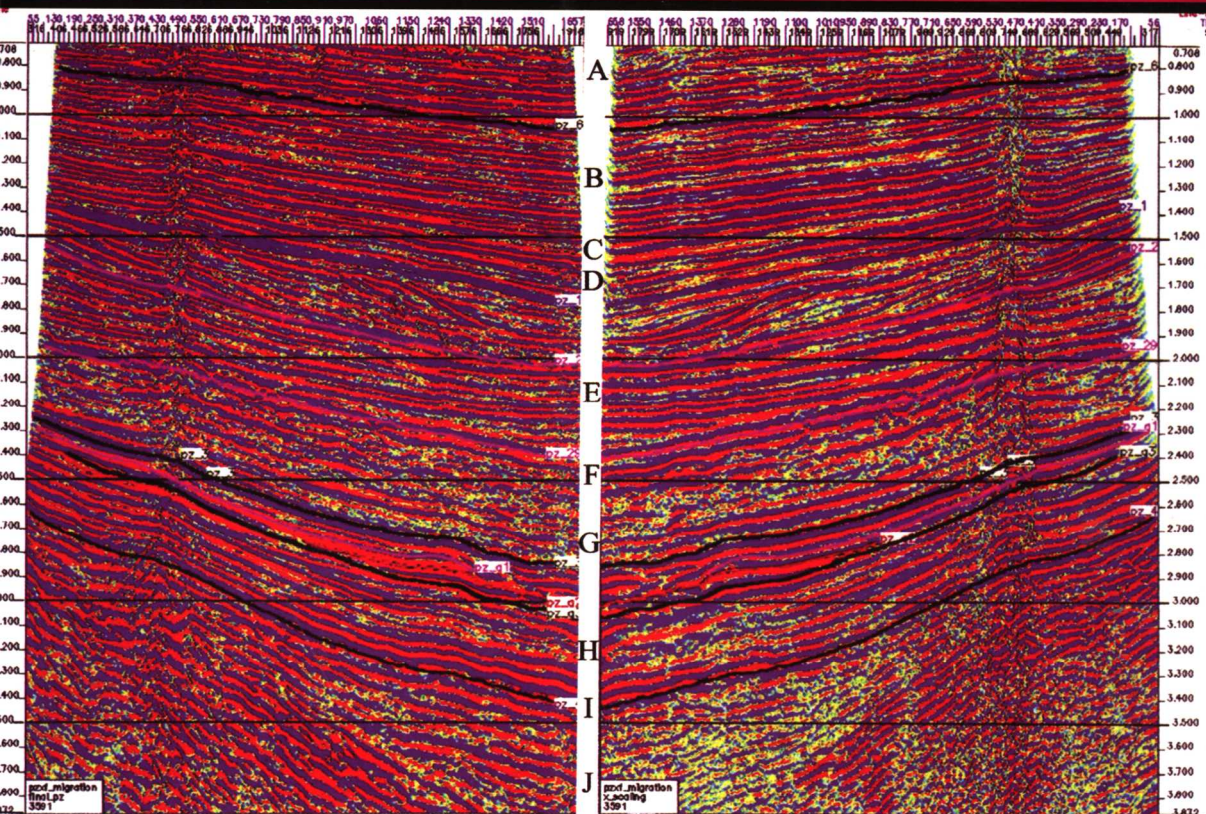




石油勘探技术研讨

多波地震勘探的 难点与展望

李庆忠 王建花 编著



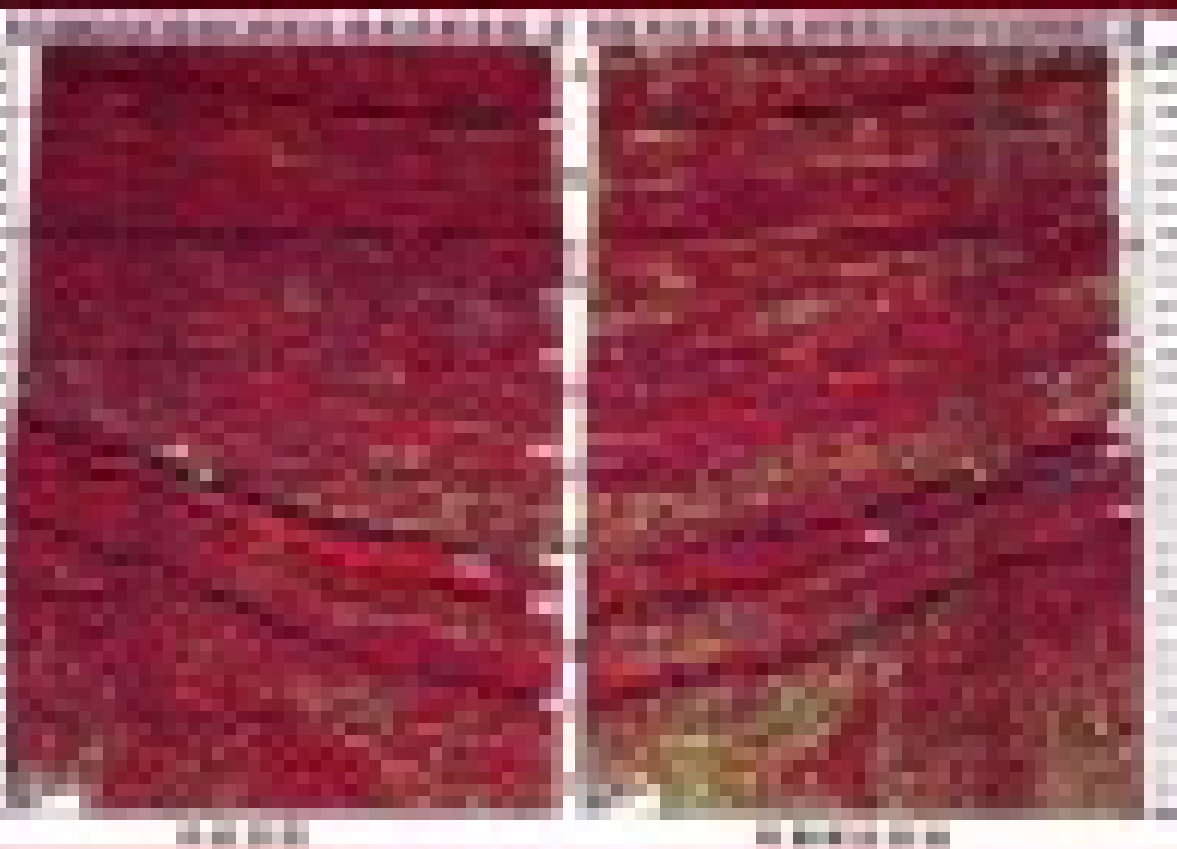
纵波剖面

转换横波剖面

中国海洋大学出版社

多波地震勘探的 难点与展望

李凤莲 王成强 张勇



中国地质大学(北京)

多波地震勘探的难点与展望

李庆忠 王建花 编著

中国海洋大学出版社

• 青岛 •

图书在版编目(CIP)数据

多波地震勘探的难点与展望/李庆忠,王建花编著. —青岛:
中国海洋大学出版社,2007.1
ISBN 978-7-81067-863-6

I. 多… II. ①李… ②王… III. 地震勘探 IV. P631.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 032286 号

出版发行 中国海洋大学出版社

社 址 青岛市香港东路 23 号

邮政编码 266071

网 址 <http://www2.ouc.edu.cn/cbs>

电子信箱 cbsybs@ouc.edu.cn

订购电话 0532-82032573(传真)

责任编辑 冯广明

电 话 85902469

印 制 日照报业印刷有限公司

版 次 2007 年 1 月第 1 版

印 次 2007 年 1 月第 1 次印刷

成品尺寸 170 mm×228 mm

印 张 9

字 数 103 千字

定 价 58.00 元

序 言

1978 年,本人有幸参加了石油部与中科院组织派出的我国第一个地球物理考察团到美国访问。访问期间,Western Geophysical(西方地球物理公司)、EXXON 石油公司、Mobile 及 Chevron 石油公司等都向我们展示了他们在多波勘探方面的先进技术。其主要内容是“横波不亮、纵波亮”可以指示含油气层位,减少亮点的多解性。当时给人的印象不错,接下来物探局就向西方公司买下了一套产生横波的可控震源,并且在 20 世纪 80 年代初到内蒙地区进行试验,在那里果真得到了信噪比较高的横波剖面。但是,当年就出现了纵、横波波形无法对比的难题,纵波剖面上很强的波组有的就找不到对应的横波的强波。物探局抽调专人处理并解释这些资料,写了几篇总结文章,但并没有取得实质性的地质效果。

于是物探局的那套横波震源也就搁置了多年,虽然又几度到塔里木等工区试验,总结报告公式一大堆,但都没有获得实质性的地质效果。从那时起,我意识到多波勘探的最大困难是纵、横波的层位对比问题,感到应该冷静下来好好总结经验教训。

后来几年,本人从事 AVO 研究,开始对纵波叠前资料推算横波参数产生兴趣,认识到这可能是一条出路。

1998 年 6 月,中海油与 Schlumberger GECO 公司合作在莺歌海盆地完成了 4 分量海底电缆 OBC 的当代最高水平的 8 条多波剖面。

1999年5月在北京杏林山庄邀请我参加该多波勘探项目课题验收评审。在会上,我一方面肯定他们取得的成绩,主要是解决“气云”问题和识别真假亮点方面;另一方面又指出了多波勘探在研究陆相沉积薄油层的泊松比等储集层参数方面恐怕难以奏效,并指出多波参数可以从纵波AVO中获得。

1999年9月,我应邀到乌鲁木齐新疆石油管理局科研所讲课,我曾经就各种地震新方法的发展前景作了一个报告,其中对多波勘探我曾说:“它对于薄油层恐怕是无能为力的,因为纵、横波层位对不上,无法求准泊松比。”会上引起哗然反响,有人说我对新技术的态度有问题,但我至今不悔。

2003年为了搞清苏里格庙气田的复杂砂岩储集层,在三维地震没有解决问题的情况下,又寄希望于多波勘探。正好碰到I/O公司推出三分量数字检波器VectorSeis及System IV全数字地震仪,在大家的一片赞扬声中,物探局以5 000万元(600万美元)购买了4 000个数字检波器和System IV地震仪。物探报上刊登了“我国进入了全数字、多波采集的新时代”。当时,我又唱了反调,我指出:数字检波器是“一朵鲜花插在牛粪上”,检波器插在地里一切高指标都没有实际意义,真正有意义的是室内处理中的“地表一致性反褶积”,它才是“功不可殁”。但我的呼声顶不住多波热的潮流,大家总是希望多波勘探这项“新技术”出现奇迹。

苏里格庙气田的三分量地震勘探(包括二维及三维)的确是我国陆上多波勘探花功夫最多、技术含量最高的一次试验。由于该区的含气储集层是二叠系复杂多变的陆相河道砂,尽管在野外施工、表层调查方面工作做得很出色,静校正方面也有独创,但成果解释方面仍

存在很多难点,如含气薄砂层的 AVO 效果不太好,含气砂岩的纵、横波层速度很难求准等。令人欣慰的是该区发现了“纵波振幅弱、横波振幅强”为含气砂岩的规律,并且利用纵、横波振幅比来预测好砂层的分布范围,初步取得较为不错的效果。当然,目前该工区验证井数量尚少,还需进一步在实践中加以证实。

2004 年我到胜利油田,发现购买多波地震仪和三分量数字检波器的热潮已传到了这里,我对他们引进数字检波器进行多波勘探所存在的问题直言相谏,但也是无法阻挡这股潮流。

当然对新事物的认识需要一个过程,但是我们队伍中的确存在着对外国名目繁多的各种新技术盲目崇拜、缺乏独立思考的精神。希望今后能够逐步改进。

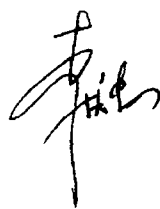
诚然,在公开的场合,为某些“新事物”多讲赞美的话永远是受欢迎的,而直言相谏的话往往不受欢迎。但是经过一段较长的时间,人们终究会认识到科研工作者必须老老实实在地讲真话。

当然,我并不想把多波勘探全盘否定,我想它在克服“气云”干扰、减少识别含气砂岩层的多解性方面有好作用(但是代价昂贵),将来在纵波无法获得反射的困难工区及玄武岩覆盖区反射资料的改进等方面,也可能会有其独特的功能。但是,恐怕多波勘探今后也不会成为经常使用的勘探方法,其解决油气勘探的能力是有限的。

本书的下半部分(第三章)是专门介绍近年来利用叠前 AVO 信息反演弹性参数(包括横波速度、密度、拉梅常数、泊松比等)方面的新进展。我们可以从这些实例中看到非常可喜的前景,多波地震所要获取的弹性参数完全可以从纵波的 AVO 分析中得到,我想多波勘探的出路大概就在这里。

最近一年来,我的博士研究生王建花同志帮我做了大量工作,又协助我完成了这本书的编写。我想这本书可能会使大家对多波勘探到底存在什么问题获得一个较清楚的认识,并对我国多波勘探今后的发展方向有一个更新的启发。

希望读者看过此书后多提宝贵意见。

A stylized handwritten signature in black ink, likely belonging to Wang Jianhua, the doctoral student mentioned in the text.

2006 年 6 月

目 录

序言	(1)
引子	(1)
第一章 多波地震勘探的实例	(2)
实例一 CGG 公司的多波地震勘探实例	(2)
实例二 AMOCO 公司利用快慢波分裂技术寻找裂缝发育带	(8)
实例三 俄罗斯西西伯利亚地区的多波地震勘探实例 ...	(13)
实例四 莺歌海海上多波地震勘探的实例	(17)
实例五 鄂尔多斯盆地苏里格庙气田的多波地震勘探实例	(25)
第二章 多波地震勘探的难点	(70)
难点之一 纵、横波相位对比非常困难	(70)
难点之二 “波峰对波峰”在概念上是错误的	(72)
难点之三 当波形横向变化时,纵、横波层位追踪对比产生很大误差	(76)
难点之四 由于纵、横波的子波各不相同,“同分辨率滤波”法也很难将纵、横波剖面中的相位完全对应 ...	(78)
难点之五 横波地震勘探固有的技术难点	(79)
1. 横波震源的激发效率不高,一般情况下横波的信噪比	

比纵波差	(79)
2. 横波地震勘探的静校正问题严重	(81)
3. 共转换点的精确确定存在一定的困难	(83)
4. 横波的振幅随炮检距变化剧烈,水平叠加道的振幅随排列长度发生变化,因此很难讨论其振幅保真问题	(85)
5. 对横波作 AVO 拟合要另辟新路	(86)
第三章 多波地震勘探的展望及出路	(87)
一、专家对多波地震勘探的展望	(87)
二、多波地震勘探的出路	(90)
方法一 利用简化的 Shuey 公式对入射角小于 30° 时进行 AVO 分析	(92)
方法二 利用精确的 Shuey 公式对入射角小于 45° 时的纵波进行 AVO 分析	(94)
1. 利用 P-P 波加权叠加反演岩性和流体性质	(94)
2. 拉梅常数法——LMR 法(λ, μ, ρ)	(98)
方法三 利用多组角道集叠加剖面反演弹性波阻抗参数	(104)
三、密度反演对于寻找剩余油/气具有非常重要的作用	(115)
结论	(124)
前瞻	(127)
参考文献	(129)
Abstract	(134)

引 子

多波地震勘探是国内外许多地球物理专家推崇的勘探方法,被认为是今后地震勘探的一个发展方向。目前来说,多波地震勘探存在的问题很多,国内外在这方面都做了多年的工作,耗费了大量资金,但对于薄油气层,其地质效果仍然很不理想。

本书通过对三个国外多波勘探的实例和两个国内(海上和陆上)多波勘探实例的分析,指出了目前多波地震勘探中存在的问题,并进一步探讨了今后多波地震勘探的出路。

从专家对多波勘探的展望及近年来多波勘探技术的发展状况来看,直接做多波勘探还存在许多问题,很难取得好的地质效果。从纵波的 AVO 资料入手直接求取弹性波参数是多波勘探的一条捷径。本书的第三章重点介绍了近年来利用叠前 AVO 信息反演弹性参数方面的新进展。从这些比较成功的方法中我们可以看到可喜的前景,这大概就是多波地震勘探的出路。

第一章 多波地震勘探的实例

实例一 CGG 公司的多波地震勘探实例^①

本例是 CGG 公司在 20 世纪 80 年代用车装侧向敲击的横波震源进行的早期多波地震勘探中比较成功的一个实例,它首先提出用时差比代替速度比来计算泊松比。图 1.1 是工区某条测线上标定地质层位后的 P 波地层剖面,该区的主要目的层是从晚白垩系早期的赛诺曼期到晚侏罗系的波特兰阶。该例中通过用纵、横波剖面中对应相位间的时差比来计算速度比($\gamma_T = \frac{V_S}{V_P} = \frac{\Delta T_P}{\Delta T_S}$),得到横波和纵波的速度比(γ_T)剖面。

多波地震勘探的主要问题是如何将纵波和横波剖面进行对比,找出纵、横波剖面中相位的对应关系。该例中首先将 P 波和 S 波的速度谱进行对比,如图 1.2 是测线上某一点的 P 波和 S 波的速度谱,图 1.3 是沿同相轴 C(图 1.1 中的巴列姆阶)的 P 波和 S 波的叠加速度横向展开图。根据速度谱分析结果,得到 P 波和 S 波的层速度和深度模型,如图 1.4(a)、图 1.4(b)。

^① Robert Garotta, Combined pressure and shear waves for shallow seismic surveys, technical series N°514. 81. 04, CGG.

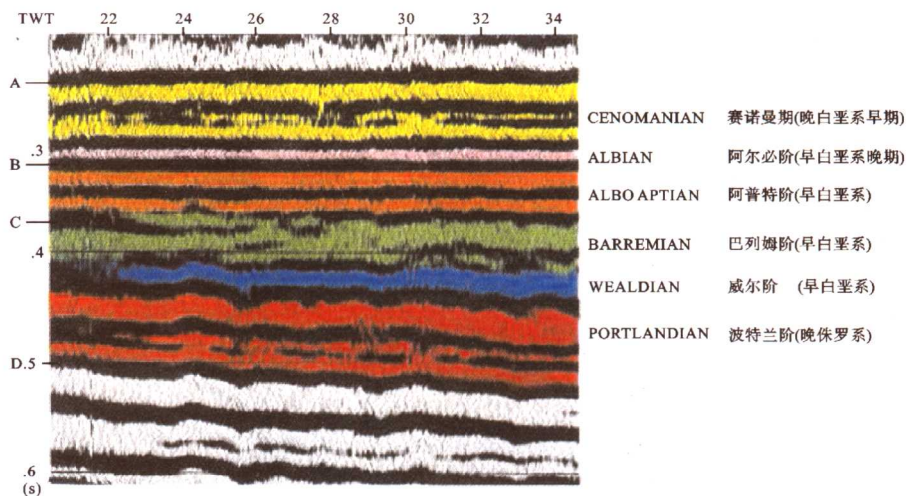


图 1.1 试验区的 P 波地震剖面

Figure 1.1 P-waves seismic profile in testing area

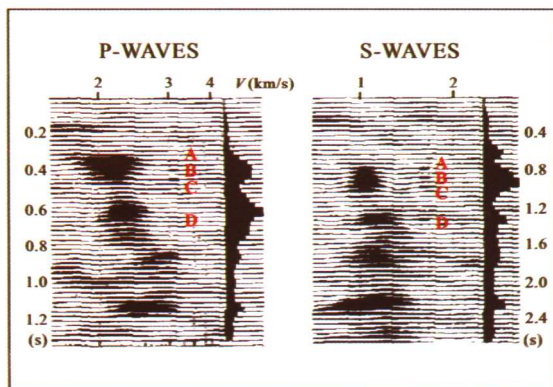


图 1.2 P 波和 S 波的速度谱对比剖面

Figure 1.2 Velocity spectrum comparison profile of P-waves and S-waves

该例中利用速度谱、时间差、深度剖面以及波形特征对比等,将纵、横波剖面的最终相位对应关系用彩图标出,如图 1.5。图中 A~C 之间 P 波和 S 波的相位特征比较一致,而 C~D 之间差别较大,A~D

之间的相位对应关系是计算速度比 γ_T 的基础。文中指出:如果 P 波和 S 波剖面中 A~D 之间的相位对比相差一个相位(即错开一个相位),则计算的层速度产生约 20% 的误差。

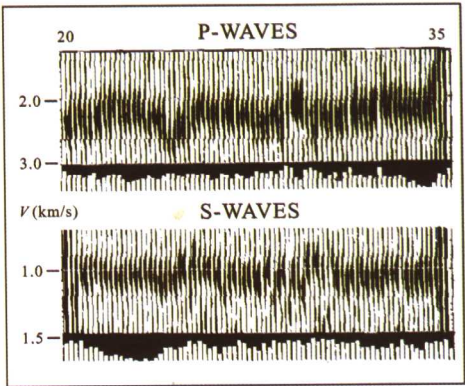


图 1.3 沿同相轴 C(图 1.1 中的巴列姆阶)的 P 波和 S 波的叠加速度横向展开图

Figure 1.3 Stacking velocity profile of P-waves and S-waves along event C (Barremian in Figure1.1)

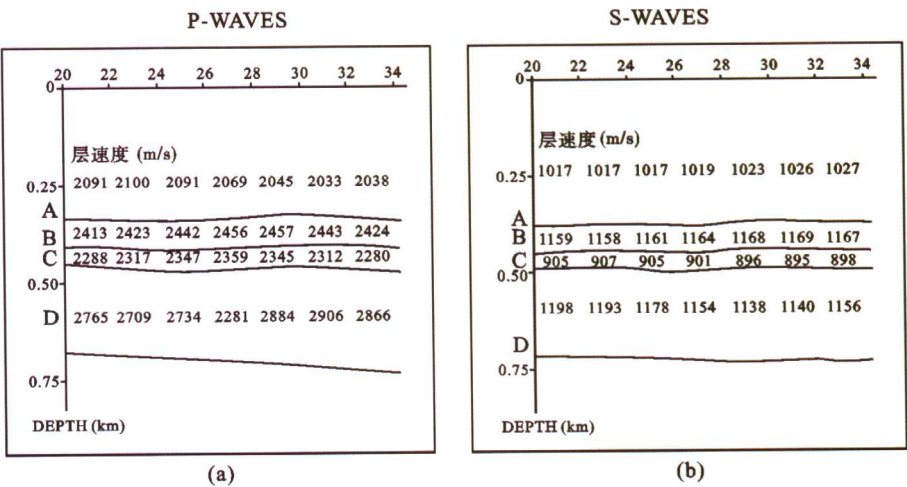


图 1.4 P 波(a)和 S 波(b)的深度模型

(各层中标注的数字为层速度,单位为 m/s)

Figure 1.4 Depth model of P-waves (a) and S-waves (b) (the number marked in each layer is its interval velocity, and the unit of velocity is m/s)

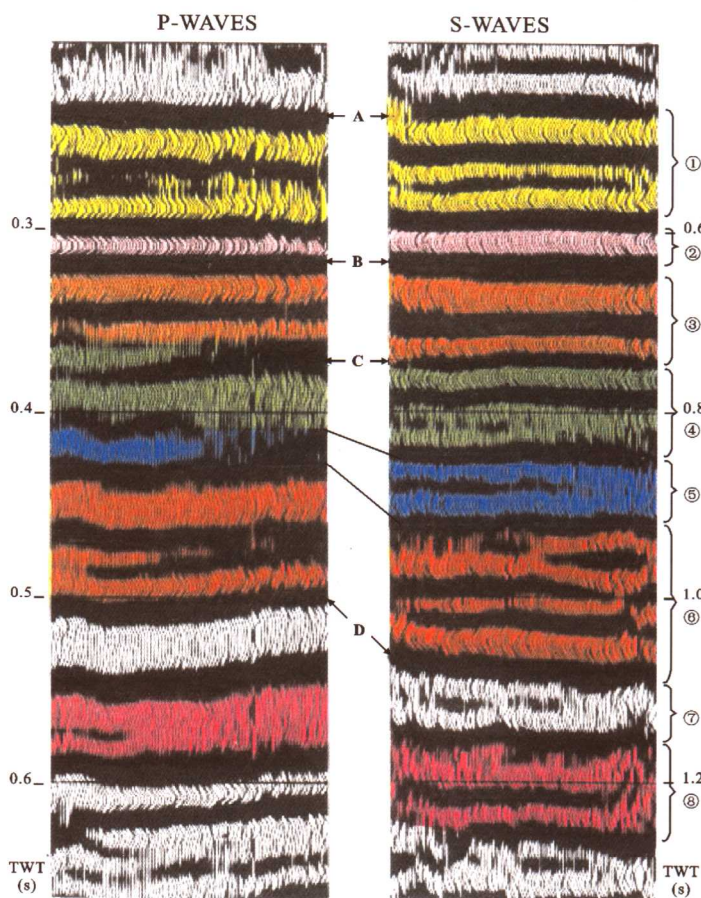


图 1.5 纵波和横波剖面同相轴对比

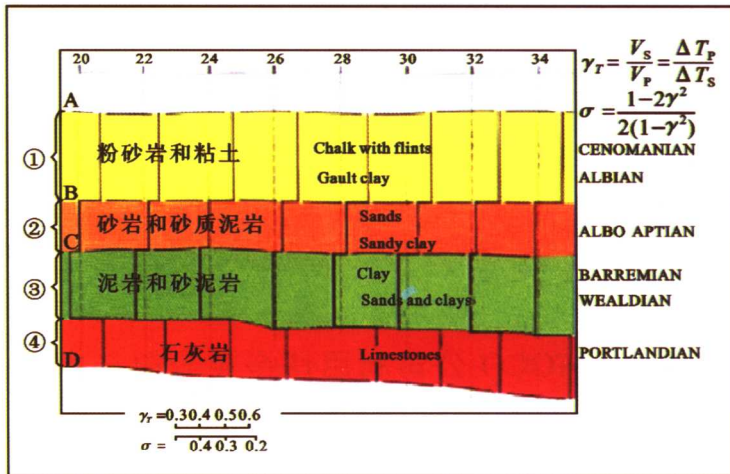
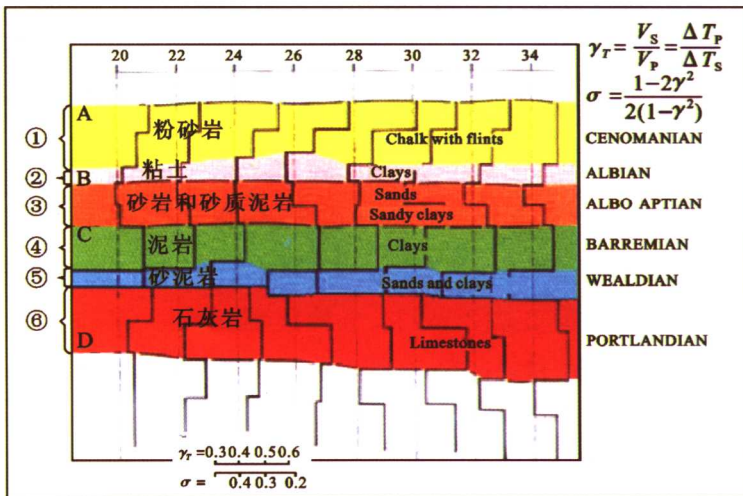
Figure 1.5 Events comparison between P-waves and S-waves sections

图 1.6 是用时间差计算的沿测线每 300 m 的速度比 γ_T 值。图中划分出了层①粉砂岩和粘土、层②砂岩和砂质泥岩、层③泥岩和砂泥岩、层④石灰岩等 4 层,它们和 P 波地层剖面(图 1.1)吻合得很好。图 1.7 是纵向加密——人工拾取中间层后,重新计算的速度比 γ_T 值剖面。由于 S 波剖面的信噪比较低,计算的图 1.7 中层⑤的速度比不

太稳定。与图 1.6 相比,该图中又划分出了粘土层②、砂泥岩层⑤,共划分了 6 层,因此认为图 1.7 中岩性划分得更细致、更精确。但是笔者认为原文中并没有指出精细划分的结果是否经过钻井或测井加以证实,通常认为,地层划分得越细致,误差可能越大。

【讨论】

本文作为多波地震勘探的先例,应该说是非常成功的,得到了信噪比较高的横波剖面,并且初步划分了岩性。但仔细分析就会发现,采用时间差计算速度比 γ_T 的方法似乎可以避免各自采用 DIX 公式求取层速度所带来的误差,但是拾取的对应相位正确与否就成为求速度比的关键。图 1.5 中, B~C、C~D 之间的同相轴是弯曲的,同一组同相轴之间的时间差 ΔT 不同,相位追踪误差较大,使得计算的薄层层速度误差较大。如图 1.5 的 P 波剖面中相位⑤(见右侧标注)底部的黑色相位是复合波,波型非常复杂,因此, P 波和 S 波剖面的对比很难准确到相位。对于 C~D 间的红色相位⑥,在 P 波剖面中左右两端的时间差 ΔT 基本上是相等的,两端时间差相差约为 9.73%;而在 S 波剖面中,由左至右 ΔT 基本上是逐渐增大的,左右两端的时间差相差达到 50%,见表 1.1。根据左端读取的 ΔT_{P_1} 和 ΔT_{S_1} 计算得到 $\gamma_{T_1}=0.637, \sigma_1=0.159$;根据右端的 ΔT_{P_2} 和 ΔT_{S_2} 计算得到, $\gamma_{T_2}=0.383, \sigma_2=0.414$,左右两端计算的 γ_T 误差约为 40%,泊松比 σ 误差约为 160%。如果用相位⑥中的单个红色相位计算,误差更大。因此,利用时间差之比代替速度比求取 γ_T 和 σ ,尽管可以避开 DIX 公式,但读取时间差时的误差仍然很大,特别是像相位⑥的情况,计算的泊松比误差达 160%。

图 1.6 γ_r 值(速度比)剖面Figure 1.6 The profile of γ_r (velocity ratio)图 1.7 拾取中间层后重新计算的 γ_r 值(速度比)剖面Figure 1.7 γ_r (velocity ratio) profile recomputed after picking intermediate layer