

赴意大利考察地球物理报告

石油工业部科学技术情报研究所

一九八七年十二月

34319

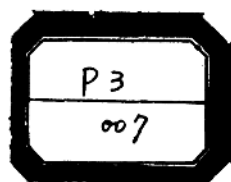


赴意大利考察地球物理报告

梁 绍 全



正文设计：段利君
责任校对：禾 东



赴意大利考察地球物理报告

开本 787×1092毫米1/16·印张4.375	编辑，石油工业部科学技术情报研究所
字数：90000 印数：2000	出版，石油工业部科学技术情报研究所
1987年12月 北京第一次印刷	印刷：中国人民解放军工程兵机械学校
油情（单）87030 工本费：1.00元	发行：石油工业部科学技术情报研究所
	（北京和平里七区十六号楼）

目 录

一、一般概况·····	(1)
二、意大利的石油和天然气供需情况·····	(1)
三、意大利的地震工作·····	(2)
四、阿吉普公司在地震资料处理和解释中具有一定特色的项目简介·····	(3)
(一) 供零相位地震道转换的最小相位处理·····	(3)
(二) 地震偏移·····	(17)
(三) 用于复杂河流相沉积的地震地层学方法·····	(31)
(四) 根据地震资料估计碳酸盐岩储层的孔隙率——亚得里亚海的一个实例·····	(55)
(五) 地震振幅异常的迭前分析·····	(61)
五、阿吉普公司的培训工作·····	(65)
六、收获和感想·····	(66)

赴意大利考察地球物理报告

一、一般概况

为执行中国海洋石油总公司南海东部石油公司与ACT集团（阿吉普、雪弗龙、德士古公司）达成的协议，由中国海洋石油总公司组成了五人小组，派赴意大利执行勘探技术培训。这次培训，实际上也是对意大利地球物理工作的一次考察。小组于84年11月10日离开广州经香港、德黑兰、法兰克福，于11月11日抵达意大利米兰。工作于11月12日正式开始，12月6日全部结束。小组于12月7日离开米兰回国，历时近一个月。

意大利阿吉普公司对此次培训工作比较重视，据他们负责培训的人说，当他们获悉中国派去的人员在勘探方面都有一定水平、有较丰富的实践经验后，不得不把原来准备好的一套培训方案废弃，又重新安排适合我们水平的学习。为此，他们组织了十多位有一定理论造诣和有实践经验的专家介绍了地震资料的野外采集、资料处理、资料解释、计算机系统、数据库及终端的应用以及新区综合评价等专门技术。部门负责人还介绍了阿吉普公司的组织机构以及该公司在国内外开展油气勘探和生产情况并组织参观了野外地震队、油气田生产中心、计算中心、地质实验室、技术培训中心和语言培训中心等。此外，阿吉普公司利用三个周末还组织游览了罗马、威尼斯、佛罗伦萨和比萨等地。

二、意大利的石油和天然气供需情况

到1984年为止，意大利共发现油气田240个，其中气田227个，油田13个，年生产天然气120亿立方米，油200万吨。目前意大利每年需要原油8000万吨，天然气260亿立方米。因此，需要量的97.5%的原油和66.6%的天然气需要进口。

意大利是怎样解决它的石油和天然气需求呢？

1. 阿吉普国家石油公司在国内（陆地及海上）积极进行油气田的勘探与开发

意大利政府将阿尔卑斯山与亚平宁山之间形成的波河盆地含油有利地区特许给阿吉普石油公司进行勘探和开发，而意大利的中部及南部地区，则允许包括国内的石油公司和国外的大石油公司在内的各个石油公司自由竞争，在竞争中阿吉普占有重要地位。

2. 阿吉普国家石油公司积极参与海外油气资源的勘探开发活动

阿吉普公司目前在欧、亚、非、美、澳五大洲27个国家涉及386个勘探许可证区和124个生产区在进行油气勘探和生产活动。在这些地区是由阿吉普公司自己作为操作者或与其他公司合作操作。阿吉普主要是在利比亚、埃及、突尼斯、阿尔及利亚、刚果、

挪威、英国等国家勘探和生产。另外，在印尼、美国和加拿大也有一些勘探及生产活动。1983年从这些国家生产原油1268万吨，其中60%产自海上。当年从国外购买原油2366万吨，加上国内生产原油200万吨，阿吉普公司总共向国内提供原油2566万吨。天然气国内生产120亿立方米，由荷兰、苏联及阿尔及利亚每年进口天然气140亿立方米，总共260亿立方米。总的来说，阿吉普公司向国内提供了石油和天然气需要量的40—42%。

由于意大利国内的油气资源不足，阿吉普除在国内勘探和生产油气外，积极参与了海外的油气勘探与开发。截止到1984年底，阿吉普公司拥有的剩余储量为天然气2515亿立方米（其中国内2250亿立方米，国外265亿立方米），石油28260万吨（其中国内5210万吨，国外23050万吨）。而阿吉普公司原有储量为天然气5517亿立方米（其中国内5113亿立方米，国外404亿立方米），石油47620万吨（其中国内9280万吨，国外38340万吨）。

三、意大利的地震工作

意大利共和国位于欧洲南部的亚平宁半岛，面积301225平方公里。全境山地、丘陵占80%；沉积岩分布面积14000平方公里，主要是北部的波河盆地、沿东海岸的前亚平宁盆地和南部的西西里盆地。

意大利几乎没有自己的地震队，而多雇用外国公司的地震队。在意大利工作的外国物探公司有西方、GSI、GECO、CGG、RIG、SIAG等等，共有22个地震队在工作，阿吉普雇用了14个，其中2个可控震源队、11个炸药队和1个重锤队。重锤队用于西西里岛，因目的层浅，小于1秒，效果还可以，分辨率高，成本低。

据1984年6月统计，阿吉普公司人数9792人。其中，在总部的4893人，在国外的4899人。

在公司总部的物探地质服务部有420人。其中测量、定位、制图等50人；非地震的物探系统40人；地震作业（负责招标、提出设计意见、测线布署、质量验收等）45人；地震研究和资料处理（负责地震发展、数据处理以及综合解释）180人；地质研究和实验室（负责地球化学、岩相和地层研究）95人。

地震作业部45人管理北美以外的全部作业，该作业部经常派出人员到各地区提供技术服务。全部野外磁带储存在阿吉普公司总部。

阿吉普公司的地震作业部对地震工作管理得比较好，他们对所有做过的地震测线都系统地建立了档案资料，以便设计新测线前可以参考；他们对各种不同型号的地震仪器都有相应的操作规程和质量要求；他们对雇用的外国地震队检查其质量，调动其积极性也有一些较好的经验。他们在平原地区考虑到成本有时在完成地质任务的前提下，也采用较少的覆盖次数，而山区则增加覆盖次数。一般采用96道、16次覆盖、道距一般30—40米，一般采用单井爆炸，井深30米，10公斤炸药量。检波器24个组合、组合基距30—40米。滤波12—14—125赫兹，采样2毫秒，处理时采用4毫秒，高分辨率地震采用1毫

秒。记录时间7秒。静校正基准面静校正速度用统一的 $V_0=2000$ 米/秒（平原）和 $V_0=2500$ 米/秒（山区），海上不作静校。他们陆上炸药队平均每月作30公里，可控震源队每月平均作48公里。

在意大利大部采用二维地震勘探。在一些地区，如西西里岛，为改进质量，曾采用宽线剖面，见到了一定的效果。三维地震开始在搞，在米兰已作了一块 6×10 平方公里的三维地震，花了80万美金，而打一口5000米的探井需花费600万美金。

四、阿吉普公司在地震资料处理和解释中 具有一定特色的项目简介

（一） 供零相位地震道转换的最小相位处理

在地震资料处理中，把地震道转换为地震波阻抗或者层速度测井曲线的技术，已被认为是从地震资料直接获得岩性和岩石物理学信息的最有力的工具。

地震道转换必须在经过这样处理的地震资料上进行：即经过处理的地震资料，每个反射都代表着由零相位和有限带宽的频率范围所描述的真正的波阻抗差。所以，仔细处理地震资料是最重要的。特别要注意去除在地震勘探过程中影响信号的振幅和相位的畸变，以及在整个资料处理过程中对其进行控制。

下面我们介绍诸如震源信号、传播滤波器和记录仪器形成的地震子波以及何以能估计和去除它们。

我们将讨论在地震资料处理过程中供相位恢复及其控制的零相位和最小相位方法并且用一个合成模型进行比较。然后，提出一种严格的最小相位处理，这种处理具有剩余子波的最终零相位整形，而剩余子波又是在迭加剖面上估算出的。

最后，将给出使用建议的最小相位方法的三个实例。它们代表了在不同震源和在不同环境中记录的地震资料。

1. 影响地震子波的各种因素

按照褶积模型理论，地震道可以被认为是反射系数序列和地震子波的褶积。要从地震道得到反射系数的零相位和有限带宽的转换，就必须去除和控制那些影响地震子波的振幅和相位的畸变。

所记录的地震子波通常被解释为子波波形和滤波器响应的褶积，而滤波器响应表示了基本畸变影响的特征。所记录的子波可概念性地分解为以下主要成分：地面信号、交混回响和传播滤波器，如表1所示。

地面信号仅只包括关于所采用的采集技术的影响，如：震源类型、记录系统滤波器、检波器和排列长度等。它并不传送有关地下响应的任何信息，所以和反射系数是无关的。

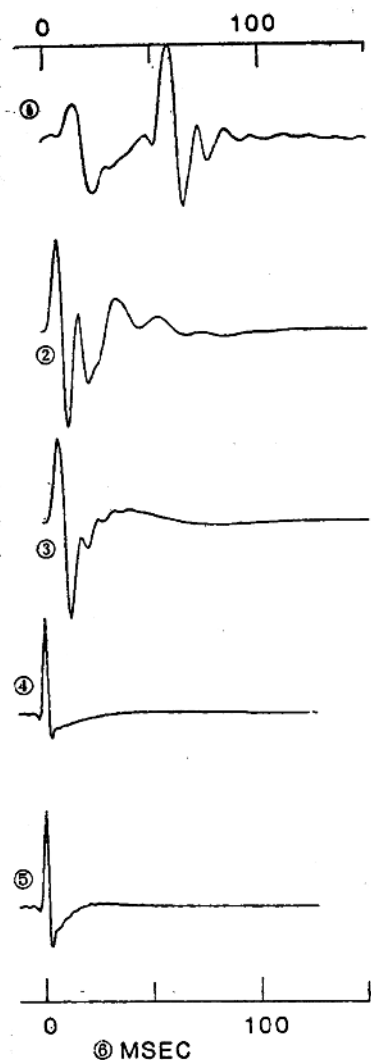


图1-1 影响地面信号的决定性因素

①震源信号(高压蒸汽枪); ②仪器响应(DFS V滤波12—128赫兹); ③仪器响应(DFS V滤波12—128赫兹); ④检波器响应(频率谐振10赫兹); ⑤检波器响应(频率谐振20赫兹); ⑥毫秒。

表1 影响记录子波 $W(t)$ 的因素

$W(t) = (W_s \cdot W_r \cdot W_p) \cdot a(t)$	
$W_s(t)$ = 地面信号	- 震源信号 - 仪器响应 - 排列响应
$W_r(t)$ = 交混回响滤波器	- 水层多次波 - 虚反射效应
$W_p(t, T)$ = 传播滤波器	- 吸收损耗 - 层间多次波 - 散射效应
$a(t)$ = 振幅因子	- 排列损耗 - 传播损失

交混回响滤波器把虚反射效应以及和水层中或者近地面的一些低速层中与交混回响有关的多次波考虑进去了。在剩余动校的基础上,用CDP迭加不能解决短周期的多次波,因为它们和反射系数有褶积的关系。

传播滤波器包括所有在能量传播过程中影响地震子波的畸变,如:和岩石物理性质有关的周期非常短的层间多次反射以及和地质环境的不均匀性程度有关的散射效应。所有这些影响,通常都被认为是不需要的畸变,这些畸变和地质环境的作用不容易被辨认。

不管怎样,在地震资料处理过程中记录子波的这些成分需要计算或者至少需要估计出。

地面信号被一些能够被决定性地确定的影响所描述。在实际工作中,有时震源信号是和野外资料同时记录到(见图1-1①中的“高压蒸汽枪”)或者它是作为远场信号而被记录到。另外,例如“空气枪”和炸药在估计震源信号时,最小相位假设往往被接受。其它物理上已知的波形在实验室中测定,或者从记录仪器以及检波器响应通过数学方法计算出。前者是使用的滤波器的一个函数,如图1-1②和图1-1③所示,后者是谐振频率的函数,如图1-1④和图1-1⑤所示。

一个典型的知道得很清楚的混响现象是虚反射效应,如图1-2所示。在炮点和检波点深度已知的海洋勘探中,虚反射可以被确定和解决。而交混现象是更复杂的,它包括了所有周期性的影响,它只能通过地震资料的统计研究使用自相关函数才能够指出。

传播滤波器直接作用在地震子波上面,其效应已由吸收损失人工合成了。在图1-2④中示出一个在1秒处产生0.27分贝/周衰减的吸收滤波器。既然是这样,就得到随着传播时间增加而频率衰减。广泛承认这种类型的损耗是在最小相位。

传播滤波器不能轻易地以一个确定性的方法来解决,因为它是由一些和地质环境有关的各个影响形成的。使用自相关函数,可以确定性地估计出传播损耗。

图1-2⑤显示出虚反射和吸收效应综合起来如何强烈地改变震源信号。

2. 零相位和最小相位方法

恢复地震子波的一个典型方法,如图1-3所示,是用一个单纯的反滤波器确定性地去除所有已知的畸变。包含震源信号和滤波器的地面信号①可以用一个反运算或者使用最小平方整形处理的脉冲整形②加以去除。这个运算永远不会达到将地震子波转换为宽频带脉冲。事实上,这种整形运算在实际资料上强烈地放大了干扰成分而使子波的振幅谱变小。因此,零相位等价于整形③,它仅仅补偿了纯相位畸变,或者等价于有限带宽整形④,它可在一个合适的频率范围内完成。总之,经过这种类型的整形处理后,地面信号就是具有有限带宽的频率谱的零相位。

记录子波⑤包含前面讨论过的地面信号、虚反射和吸收效应。在记录子波上可以用一个有限带宽的整形④作用,得到混合相位子波⑥。然后,为了去除所有混响和传播影响进行维纳-莱服森尖脉冲反褶积,我们得出一个经过反褶积的子波⑦,但失去了相位控制。为了避免损害相位谱和目的仅只是为了消除短周期的多次波,应当完成具有通常预测距离的预测反褶积。形成子波⑥的虚反射和吸收滤波器应当用一个整形运算确定性地加以解决。

这个零相位方法是假设作用在地震子波上的所有影响都已准确知道;但不幸的是不

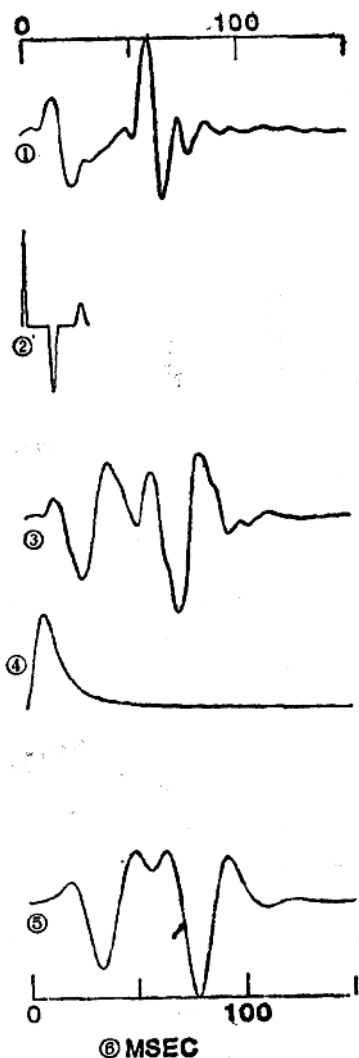


图1-2 典型的混响回响和传播影响

①震源信号(高压蒸汽枪);②虚反射效应(电缆和震源深度在10米);③带有虚反射的震源信号;④吸收效应(在1秒处0.27分贝/周);⑤带有虚反射和吸收效应的震源信号;⑥毫秒。

是什么时候都能做到，如有时没有记录到地震信号而不得不从地震资料估算，再者，传播损耗又是很难确定的。

最终的子波有一个混合的和未知的相位谱，只可能用一个在CDP迭加后进行的很难的“子波处理”步骤来去除。在地震资料处理过程中，一个较不确定的方法可能更适合和更容易。

从传播引起的畸变和一些未知的震源信号为零相位的假设出发，地震资料可以用一个严格的最小相位方法处理。这方法将是确定性和统计性方法的综合。已知的畸变可以用一个确定性的运算恢复最小相位，而未知的损耗可以用一个统计的维纳—莱服森尖脉冲反褶积加以解决。

在图1-4中讨论了这种方法，地面信号①用一个整形运算已被转换为一个最小相位和有限带宽的信号②。和零相位方法不一样，这种处理将记录子波③转变为具有最小相位特性的子波④。在这个信号上可以进行一个脉冲反褶积以去除虚反射和短周期多次波效应，并恢复在传播过程中损失的较高频率成分。所得到的子波⑤不是尖脉冲，但保持和接近最小相位特征，和其等价的理论上的最小相位非常相似。

当在实际资料上应用反褶积时，可以用在维纳—莱服森运算中加白噪的办法来控制信噪比。在图1-4⑦和⑧中示出“白光”（White light）值是如何增加的。“白光”值是作用在子波的振幅谱上而并不影响最小相位假设。

按照这个程序，很多确定性的已知和未知的畸变可以被解决。在控制下容易保持相位，并获得一个非常接近最小相位的剩余子波。

最后一步要完成的是要估计剩余子波的振幅谱，并在最小相位假设条件下转换为零相位。如果是用一个不触及振幅谱的纯相位算子来进行的话，最后的整形并不是太重要的。在图1-5中示出应用这一原则于一个人工合成的实验上，要把估计的最小相位子波②转换为



图1-3 零相位处理流程

①地面信号；②尖脉冲整形；③零相位整形；④有限带宽整形（频率8—80赫）；⑤记录的子波（地面信号+虚反射+吸收）；⑥在⑤上进行④型整形；⑦在⑥上进行脉冲反褶积（ $W_1 = 0.1\%$ ）；⑧在④上进行脉冲反褶积（ $W_1 = 0.1\%$ ）；⑨毫秒。

其等价的零相位③，得把计算出来的相位算子用在剩余子波①上。所得到的整形后的子波④和零相位信号很接近。

3. 供零相位地震道转换的最小相位处理

在地震资料处理中，所建议的方法的流程图示于图 1-6 中。在图中影响振幅和相位谱的各步骤更为清楚。

相位恢复是由两步来实现。第一步叫做“最小相位”恢复。它是在多路解编资料上进行的，目的是要消除地面信号的确定性的畸变，以接近最小相位假设。第二步是在迭加资料上进行的，叫做“最小相位到零相位的整形”。剩余子波是根据从地震资料提取的振幅谱进行估算的。横向平均互相关函数是在相邻道之间计算的。然后，在零相位假设下，转换为等价的零相位。

交混回响和传播损耗是用两种类型的反褶积加以解决的。最小相位脉冲反褶积被应用于迭加前已转换为最小相位，且振幅损耗已被消除的地震资料上，最后的零相位频率域反褶积是在时间偏移后进行的，以便在实用值的范围内加宽和展平在每个道上估算的自相关函数的频率谱。

4. 实例

第一个例子是使用“空气枪”震源在亚得里亚海记录的一条地震测线的例子。研究目的是使用地震声阻抗测井曲线对碳酸盐岩沉积环境中的“Scagli^a Calcareo”层检测孔隙率和裂缝带。

图 1-7 的地震剖面是一条联络测线并附上了地质解释和在构造上所钻的一口井的简化了的岩性序列。地震剖面是相应于 48 次共深度点迭加的 FK 偏移。在

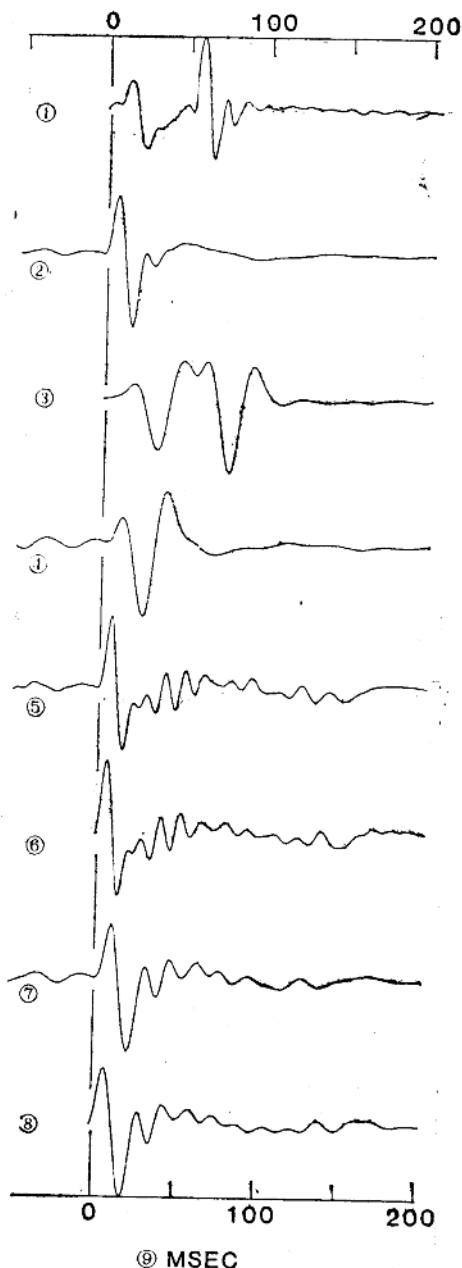


图 1-4 最小相位处理流程

①地面信号；②最小相位有限带宽整形（频率 8—80 赫）；③记录到的子波（地面信号+虚反射+吸收）；④在③上进行整形；⑤在④上进行脉冲反褶积（ $W_1 = 0.1\%$ ）；⑥和⑤等价的理论上的最小相位；⑦在④上进行脉冲反褶积（ $W_1 = 10\%$ ）；⑧与⑦等价的理论上的最小相位；⑨毫秒。

图1-5 从最小相位到零相位整形的结果

① 剩余子波; ② ①的最小相位估计;
③ 理论上①的零相位等价; ④ ①的最
小相位到零相位整形; ⑤ 毫秒。

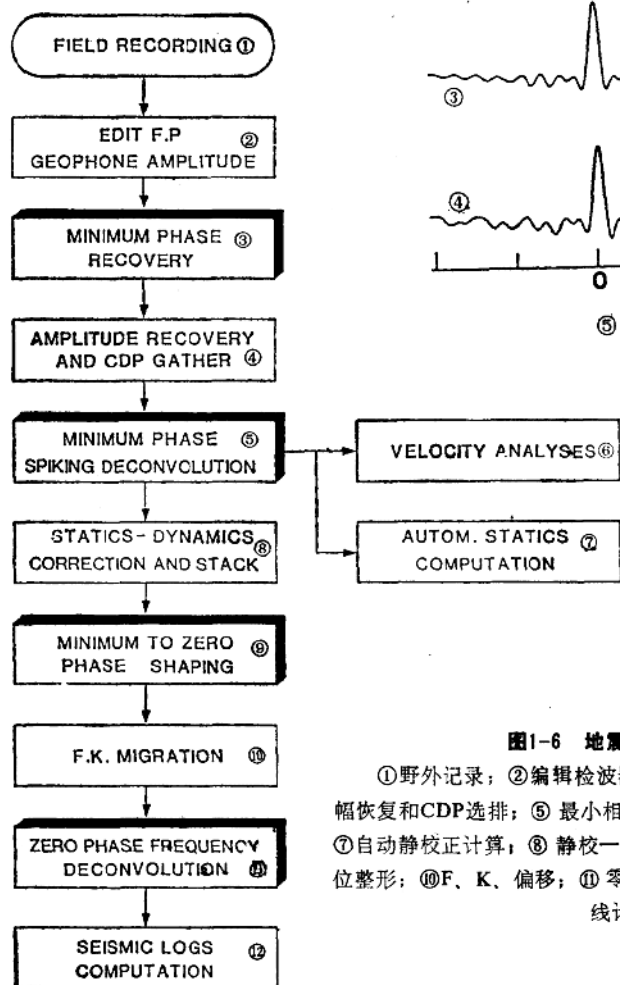
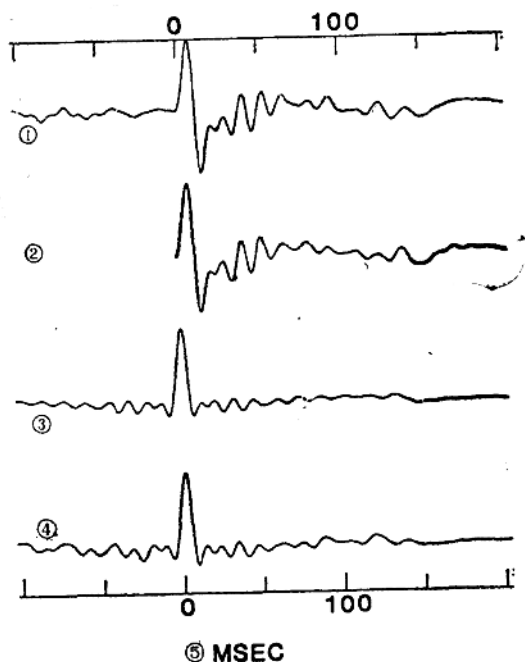


图1-6 地震资料处理流程图

①野外记录; ②编辑检波器振幅; ③最小相位恢复; ④振幅恢复和CDP选排; ⑤最小相位尖脉冲反褶积; ⑥速度分析; ⑦自动静校正计算; ⑧静校一动校和迭加; ⑨最小相位到零相位整形; ⑩F、K、偏移; ⑪零相位频率反褶积; ⑫地震测井曲线计算。

2秒的Scaglia层的顶是目的层。覆盖在上面的Schlier和Bisciaro层是泥灰岩地层。最强的地震信号代表由硬石膏层所引起的具有非常高的速度差的上中新统, 这引起很

多的绕射和地震能量，主要是高频成分的散射。

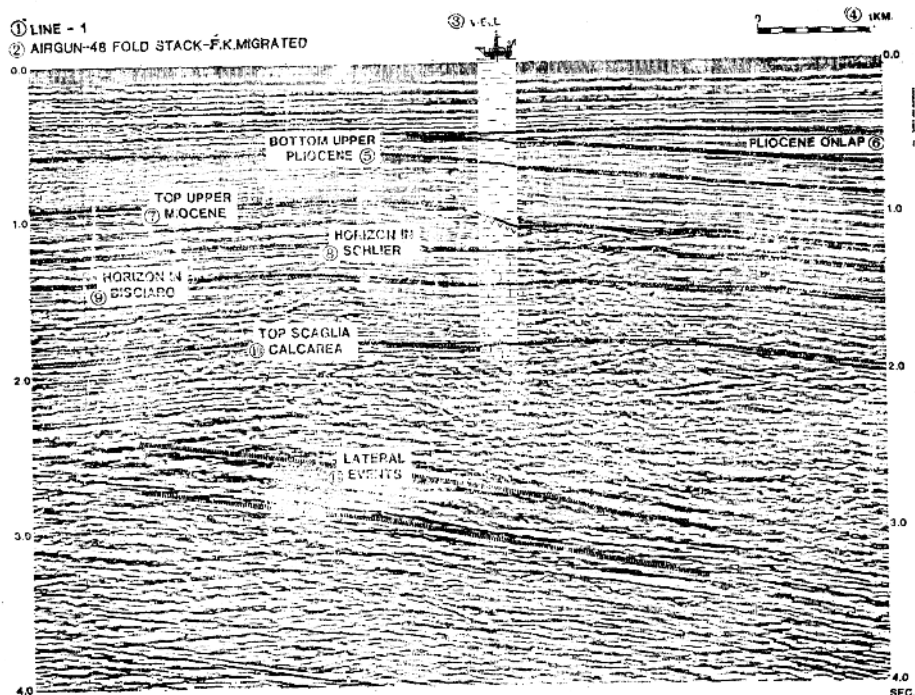


图1-7 显示地质轮廓的地震剖面

- ①1测线；②空气枪—48次迭加—F、K偏移；③A井；④公里；⑤上上新统底；⑥上新统上超；⑦上中新统顶；⑧SCHLIER内部层；⑨BISCIARO内部层；⑩SCAGLIA CALCAREA 顶；⑪侧面波。

信号相位恢复示于图 1-8 中，震源信号是不可得到的。因此，只有由于记录系统引起的相位畸变可以去除。“空气枪”震源讯号是被假定为最小相位。记录系统的响应，其相应的最小相位子波以及在整形过程中将“子波”整形为“实际输出”示于图 1-8 的左侧。在任何处理前对地震资料应用逆算子，记录系统的综合反应被恢复为最小相位。在迭加剖面上，估算的剩余子波及其零相位整形过程在图 1-8 的右侧可以见到。在迭加资料上应用这个逆算子，则每个反射都将变为零相位子波，即“实际输出”。

在图 1-9 上可见到反褶积的特征。比较反褶积前后计算的自相关，可见到脉冲反褶积的效果是很明显的。消除在水中产生的交混回响以及增加高频成分是很明显的。图中还示出时间偏移后应用的频率反褶积的效果。比较反褶积前后计算的功率谱，可以看到在有限的地震信号的通频带中它被展平了。

用这种处理方法达到的改进在图 1-10 中可以看得很清楚。通过比较初步迭加剖面 and 最终偏移时间剖面，可以看出在 1 秒处影响上中新世反射的鸣振效应已被消除以及在整条测线上清晰度得到了提高。

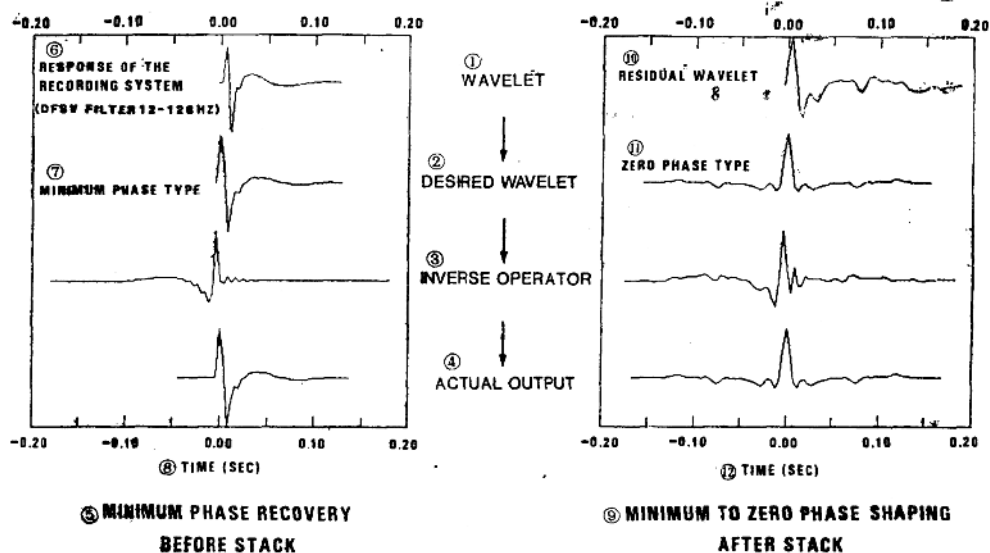


图1-8 信号相位恢复

①子波; ②期望子波; ③逆算子; ④实际输出; ⑤迭前最小相位恢复; ⑥记录系统响应 (DFS V 滤波12—126赫); ⑦最小相位型; ⑧时间(秒); ⑨迭后最小相位到零相位整形; ⑩剩余子波; ⑪零相位型; ⑫时间(秒)。

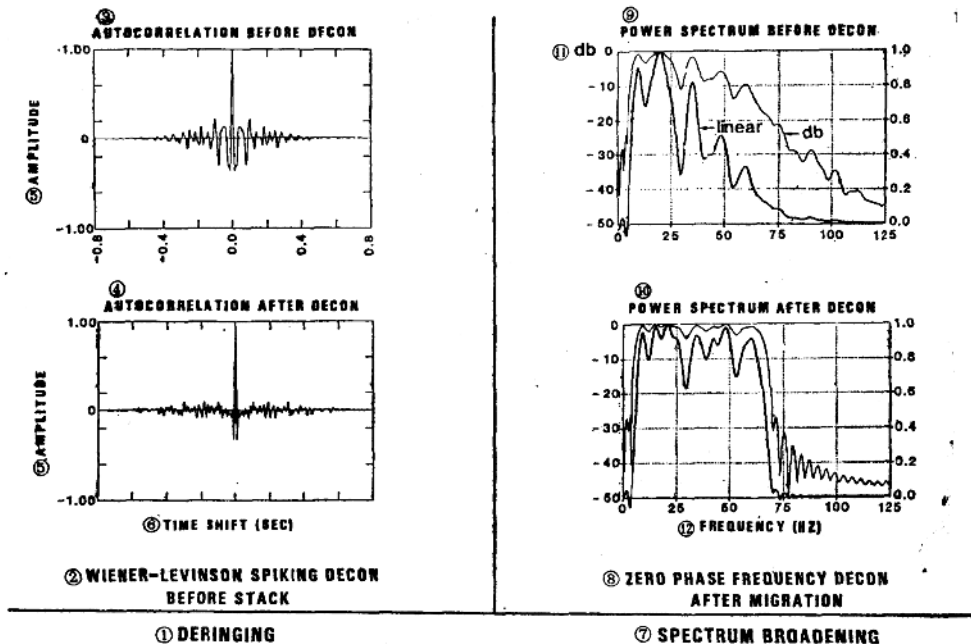


图1-9 反褶积的目标

①去鸣震; ②迭前维纳-莱服森尖脉冲反褶积; ③反褶积前自相关; ④反褶积后自相关; ⑤振幅; ⑥时移(秒); ⑦频谱加宽; ⑧迭后零相位频率反褶积; ⑨迭前功率谱; ⑩迭后功率谱; ⑪分贝; ⑫频率(赫)。

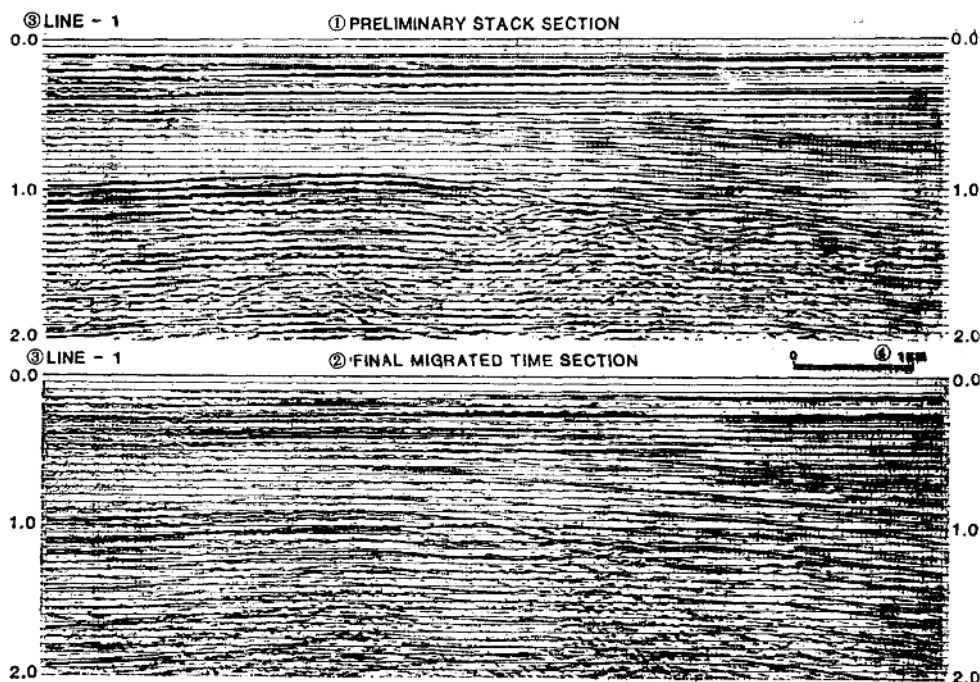


图1-10 随着资料处理得到的改进

①初步迭加剖面；②最终偏移时间剖面；③1测线。

在常规处理和这里所建议的严格的最小相位处理以及最终零相位转换的结果之间的差异示于图1-11中。在图中可以详细地比较相应的偏移剖面。常规处理是没有任何相位控制和用一个20毫秒间隔的预测反褶积进行的。显而易见，经过相位恢复和频率谱变宽，导致了地震反射的正确形状并具有较高的频率成分。

处理的质量控制是比较井孔和地震资料，示于图1-12中。从图中可见到经过滤波的井孔声阻抗和在最终时间剖面上用一个递归算法得到的地震声阻抗测井曲线的比较。在两种曲线间所有反射层显然是很近似的，特别是在1.8秒的目的层。在这个反射时间，波形和能量的横向变化可能和地层变化相联系，而且在这种特殊情况下，和“Scaglia Calcareo”层的裂缝和孔隙率的联系是明显的。

第二个例子是陆上资料，图1-13示出中上新世时代的盆地。该盆地具有页岩和可能饱含天然气的砂岩的互层平静而连续的沉积，地层圈闭可能是紧靠下上新统不整合面的相变或者尖灭。

地震资料是用炸药震源记录的。低和高阻滤波器是10到110赫，检波器具有14赫的谐振频率。在这种情况下，震源信号是不知道的，所建议的处理方法在实现零相位迭加剖面前，只可能消除记录滤波器和检波器的相位畸变。

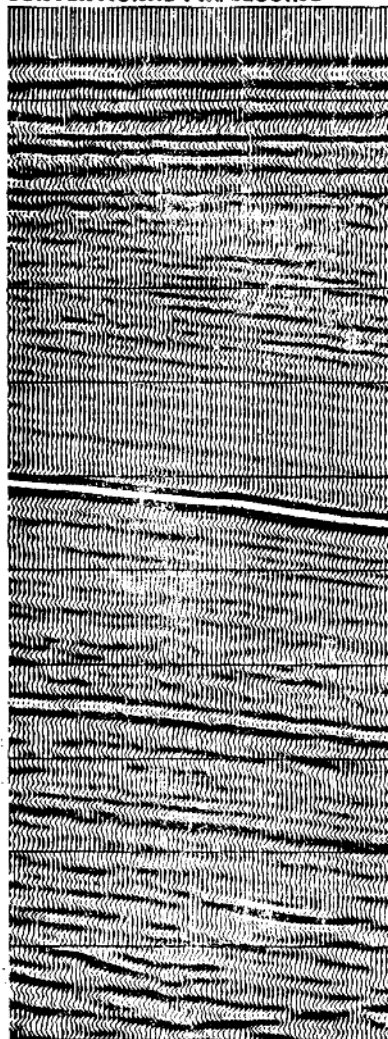
结果示于图1-14中，图中井孔波阻抗可和地震波阻抗测井曲线相比较。地震波阻抗测井曲线是在处理的相继步骤，即脉冲反褶积前后以及零相位转换后，由地震道转换迭

LINE - 1.

④

① MIGRATED TIME SECTION

② CONVENTIONAL PROCESSING



③ MINIMUM PHASE PROCESSING

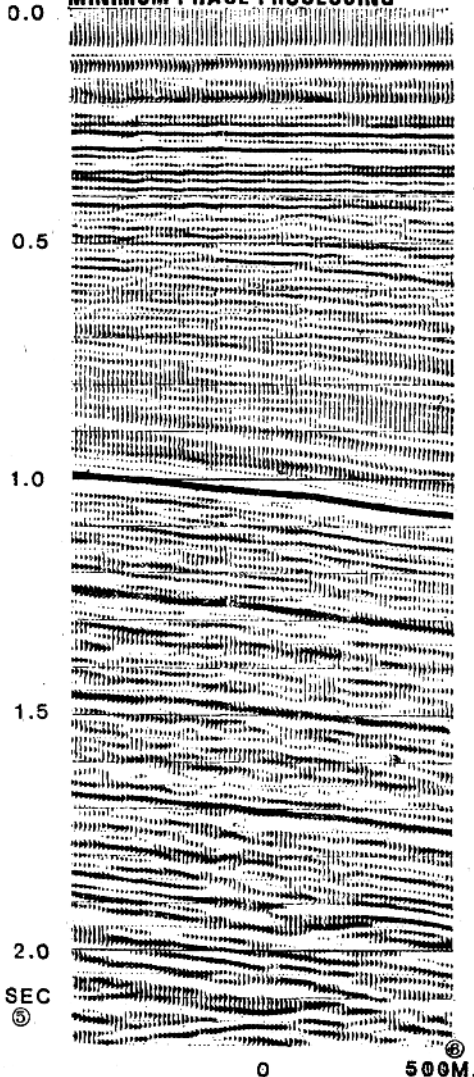


图1-11 常规和最小相位处理结果比较

① 偏移时间剖面；② 常规处理；③ 最小相位处理；④ 1 测线；⑤ 秒；⑥ 米。

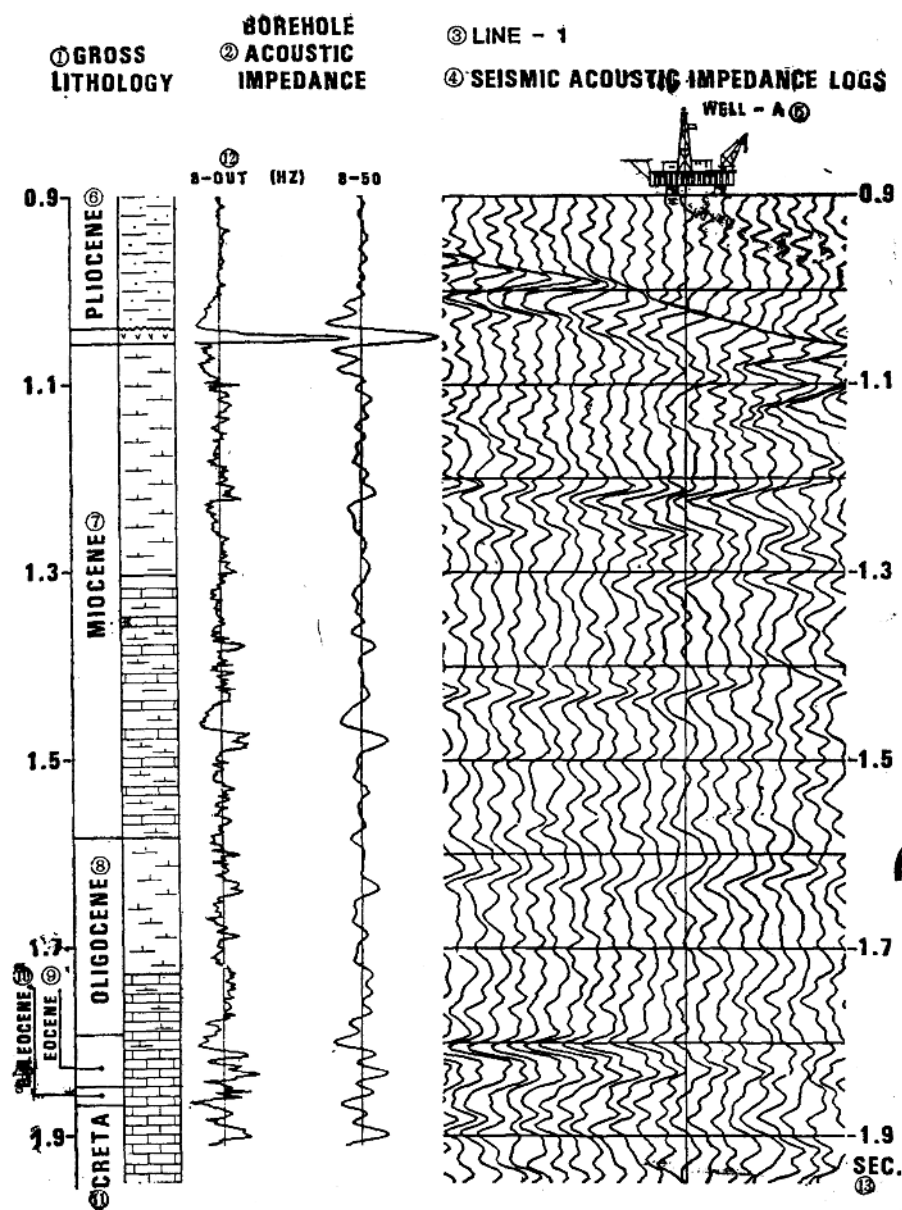


图1-12 井孔和地震测井资料的比较

①粗略的岩性；②井孔波阻抗；③1测线；④地震波阻抗测井曲线；⑤A井；⑥上新统；⑦中新统；⑧渐新统；⑨始新统；⑩古新统；⑪白垩系。