

测井资料约束的层速度反演*

张玉芬

(中国地质大学物探系, 湖北武汉 430074)

理论分析和实际经验表明, 影响层速度反演正确与否和精度的主要因素有两个: 一是用于反演的反射系数序列的精度; 二是初始层速度值的准确度。综合运用垂向具高分辨率的测井资料和横向有较好连续性的地震资料, 建立反射系数序列初始模型, 经不断修改和反复迭代, 可得到精度较高的反射系数序列。由于受构造起伏、岩性变化以及子波选不准等因素的影响, 用常规方法求取的初始层速度常存在精度低、各道不协调等问题。利用测井资料求出的层速度作为约束条件, 通过扫描自动求取剖面中各道初始层速度的方法可较好地解决这些问题。

关键词 测井约束 层速度反演 自动扫描 层速度初值

作者简介 张玉芬 女 41 岁 副教授(博士生) 石油地震勘探 地震薄互层处理

速度的变化一般反映了地层岩性的变化, 因此, 速度参数一直是地震勘探中的一个非常重要的参数。而利用地层反射系数序列进行层速度反演却是进行地震岩性反演的一个重要手段和方法。其基本原理为: 当地下有 $n+1$ 个层, 假设第 n 层的速度、密度分别为 V_n, ρ_n , 第 $n+1$ 层的速度、密度分别为 V_{n+1}, ρ_{n+1} , 则第 n 层与第 $n+1$ 层之间界面上的反射系数 R_n 为

$$R_n = (V_{n+1}\rho_{n+1} - V_n\rho_n) / (V_{n+1}\rho_{n+1} + V_n\rho_n) \quad (1)$$

在实际应用中, 由于在很多地区缺少密度资料或在一个区域中密度变化不大可以忽略, 因此, 求取反射系数的公式可简化为如下形式

$$R_n = (V_{n+1} - V_n) / (V_{n+1} + V_n) \quad (2)$$

对上式进行简单的运算和整理可得到第 $n+1$ 层的层速度为

$$V_{n+1} = V_0 \prod (1 + R_i) / (1 - R_i) \quad (3)$$

这就是利用反射系数 $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ 递推算层速度 V_{n+1} 的基本公式, 式中 R_i 为第 i 层界面的反射系数, V_0 为剖面层速度的初始值。

分析上式可见: 影响层速度反演的因素有两个, 一是用于反演的反射系数序列 ($R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$) 的精度; 二是初始层速度值 V_0 的准确度。其中若有一个参数有误差, 都将影响到最终反演的层速度的准确度和可靠性。这也是目前利用反射系数序列进行层速度反演, 最终进行岩性解释和储层对比、预测所面临的两个比较难以解决的问题。本文所提出的测井约束的层速度反演方法, 为求取精度较高的层速度剖面进行地层岩性解释提供了一种较行之有效的

* 中国石油天然气总公司“九五”重点科技攻关项目“高分辨率地震勘探技术研究”资助

的方法。

1 基本思路 and 实现步骤

1.1 多参数约束高分辨率处理

有关多参数约束高分辨率处理的基本原理和实现步骤笔者曾在文献[1]中有过较详细的阐述和推导,在本文中只将其作一简单的概述。

测井资料有很高的垂向分辨率,有丰富的高、低频信息,但它毕竟只是“一孔之见”。地震勘探的垂向分辨率虽然不高,但却具有线上和面上的数据,且在横向上有较好的连续性。因此,将这两种资料有机地组合起来,取长补短,就有可能获得具有较高分辨率的、便于横向追踪、对比的地震地层信息。

具体做法是:首先利用已知的测井、地震资料及一定的构造地层解释信息,建立一个初始的反射系数序列模型,然后用该初始模型与一个已求出的子波褶积,形成一个理论合成地震记录剖面,将合成地震记录剖面与实际地震记录剖面比较,求取相关系数,通过不断修改模型和反复迭代,使所求相关系数达到给定阈值,则此时的反射系数剖面就是要求的最佳反射系数剖面^[1]。

1.2 测井资料约束求取剖面层速度初值

由公式(3)可见,在假设反射系数序列($R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$)给的是正确的情况下,给定一个 V_0 值,就可反演出一个层速度序列值,不同的 V_0 值将反演出不同的层速度值,因此,利用(3)式能否递推反演出可用于剖面岩性解释、薄储层追踪、对比的层速度剖面,层速度初值 V_0 的求取就至关重要。一般常规求取层速度初始值 V_0 的方法主要有

(1)用剖面中井的层速度值(由声波测井资料求出的层速度)作为全剖面的层速度初始值 V_0 用于反演;

(2)先在时间剖面上选取一波形稳定,同相轴连续性较好的层位作为层速度反演的起始界面。同样用剖面上井中相同层位处的层速度值作为层速度反演时的初始值。

实际经验表明,方法(1)比较简单易行,只要剖面中有声波测井资料就可以求得初始层速度值 V_0 ;但由于地层在横向上的变化,褶皱和断层的影响,在同一时间深度上剖面起点的岩性不一定是相同的。因此,其相应的层速度值也不一定相同,故这种用同一个层速度初值 V_0 作为全剖面的 V_0 值进行反演的精度是比较低的,容易在剖面上出现所谓的“挂面条”现象,即在某些道上会出现反演出的层速度值总体偏大或偏小现象,这主要是由于反演时初值 V_0 偏大或偏小造成的。方法(2)反演的精度较方法(1)虽然有了很大的提高,但其反演精度受起始界面的构造形态和人为因素影响很大。当反射系数序列给的比较准确时,反演精度主要取决于作为层速度反演起点的界面的起始时间拾取的是否准确(即用于反演的第一个反射系数序列值 R_1 确定的是否正确)。一般来说,当起始界面的起始时间拾取的很准确时,则可获得较理想的层速度剖面,但实际处理时往往界面起始时间很难拾取的很准确(因为在一个同相轴上,有时包含着很多小的复合波),尤其是第一个反射系数值 R_1 的极性在同一个剖面上有可能也不相同,这时如果我们仍用同一个 V_0 值进行层速度递推反演,道和道之间就有可能出现一定的误差,从而影响到最终的反演的精度。由上分析可见:在用(3)式进行逐层递推反演求取层速度值时的有效方法,是应该根据剖面中各道的具体情况,选用不同的 V_0 值进行层速度反演,只有这样,才有可能求得精度较高的并且可以直接用于岩性解释的层速度剖面。但如何求取符合实际情况的层速度值 V_0 却一直是石油物探工作者致力于要解决的问题。通过多年的努力以及大量实际资料的试算,我们提出

在测井资料约束下通过扫描自动确定剖面中各道层速度初值 V_0 的方法。经过某油田若干口测井资料的反演试算, 结果用该方法求出的 V_0 值与用测井资料计算出的 V_0 值符合率为 99%, 因此我们认为这是目前求取初始层速度值 V_0 进而进行层速度反演的一种比较有效的方法。

井约束层速度扫描自动搜索求取初始层速度值 V_0 的基本思想和做法为: 利用工区井中层速度值(由测井资料求出的层速度)作为约束条件, 类似通过速度扫描求取叠加速度的做法, 用不同的 V_0 值对各个反射系数序列用(3)式进行扫描, 这时我们将获得每一道若干组不同的层速度反演值。这时根据一定的准则从中选出一组与井中层速度值最接近的作为最终的层速度反演结果, 而此时的 V_0 值就是我们要求的最佳的初始层速度值 V_0 。在实际处理中, 求取最佳初始层速度值 V_0 和求取层速度剖面值是同步完成的, 即当通过扫描求得最佳初始层速度值时, 其相应的层速度序列值就是要反演的层速度序列值。

2 实际资料的处理及效果分析

为了验证上述方法的效果, 我们对某油田若干条地震剖面资料进行了提高分辨率的处理, 并对处理结果又用文中方法进行了层速度剖面的反演(图 1~ 4), 由图 1, 2 可见, 处理后剖面较处理

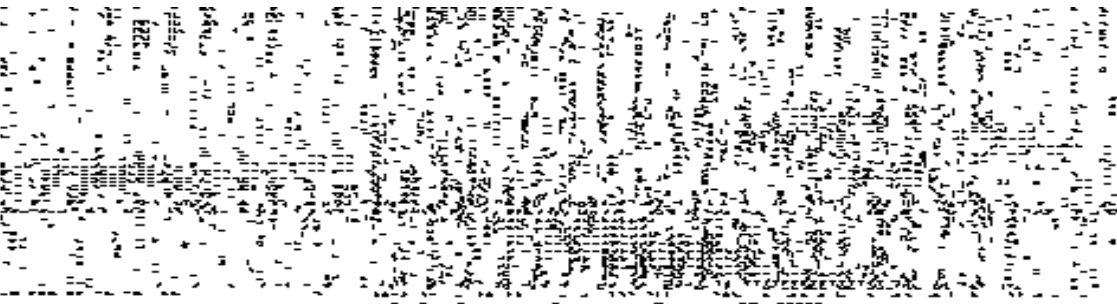


图 1 XW12 - W325 连井原始地震记录剖面片断

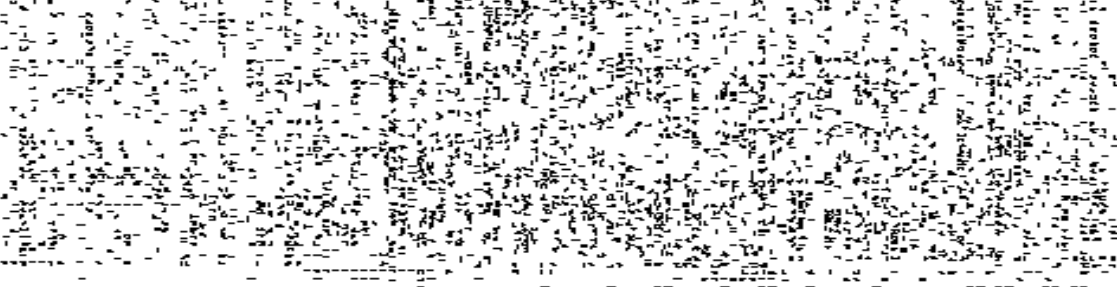


图 2 图 1 高分辨率处理后结果

前剖面资料分辨率有了很大的提高, 并且小断层也更加清楚, 复合波得以分开, 处理后剖面的主频较处理前主频提高了 3~ 4 倍, 相应的频谱分析也证实了这一点。对比两图(图 3, 4)可见: 用常规方法求取的层速度剖面(图 3), 由于全测线使用了同一个初始层速度值 V_0 进行递推反演, 导致在横向上各道层速度值明显不协调, 出现层速度值忽大忽小不稳定现象, 如在 CDP35~ CDP47 道之间层速度值出现从上到下整体偏大现象。这明显与实际地质情况不符, 其原因是反演时初

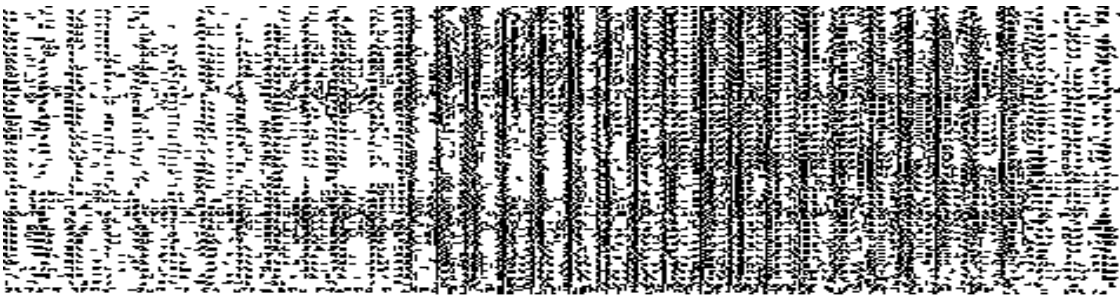


图 3 高分辨率处理后剖面(图 2)用常规法反演出的层速度剖面



图 4 高分辨率处理后剖面(图 2)用约束扫描法反演出的层速度剖面

值 V_0 取得过大造成的,从扫描求取的各道的 V_0 值可见,实际求出的 CDP35~ CDP47 道之间的 V_0 值应比其他道偏小(表 1)。由于我们通过扫描自动求取各道 V_0 值分别用于不同道的反演,故所求出的层速度剖面与实际地质情况比较吻合,横向上层速度值表现为渐变的趋势(图 4)。

表 1 井约束扫描求出的某地震剖面上各道的初始层速度值 V_0 m/s

道号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
V_0 值	3 990	4 130	3 910	3 740	3 570	3 660	3 640	3 700	3 740	3 620	3 660	3 880	4 010	4 070	4 010
道号	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
V_0 值	3 960	3 890	3 950	3 740	3 770	4 470	4 800	4 300	4 040	3 730	3 790	4 140	4 300	4 110	4 140
道号	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
V_0 值	4 160	4 270	4 300	4 320	4 080	3 670	3 350	3 390	3 500	3 440	3 460	3 380	3 370	3 420	3 610
道号	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
V_0 值	4 030	4 210	4 150	4 020	4 040	4 210	4 280	4 270	4 380	4 430	4 530	4 670	4 610	4 640	4 370
道号	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
V_0 值	4 360	4 500	4 290	4 100	3 980	4 090	4 260	4 140	4 240	4 240	4 130	4 020	4 100	4 180	4 080
道号	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
V_0 值	4 010	3 950	4 010	4 060	4 220	4 430	4 430	4 140	4 180	4 440	4 400	4 230	4 210	4 240	4 390
道号	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
V_0 值	4 600	4 470	4 400	4 380	4 070	4 050	3 910	3 840	4 060	4 090	3 850	4 000	4 140	4 050	3 700
道号	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
V_0 值	3 810	3 870	4 060	4 220	4 060	3 770	3 660	3 790	4 060	4 260	4 020	3 870	4 010	4 370	4 140

3 小结

(1) 测井、地震、地质资料共同约束联合反演是目前在室内提高常规地震勘探资料分辨率的有效方法之一。该方法的主要优点是: 充分利用已知的、实实在在的、具有宽高频的测井信息, 去补充实际地震记录的不足, 因此它的分辨率应是可信的。

(2) 将测井资料和地震、地质资料有机地组合起来, 建立一个具有较宽频带的比较符合实际地质情况的初始反射系数序列剖面, 是快速正确进行联合反演的基础。

(3) 在实际应用中利用反射系数序列递推求取剖面层速度时, 所遇到的最大困难之一就是初始层速度值 V_0 不易选准。“测井约束扫描法”为自动搜索求取较准确的初始层速度值提供了一种较为行之有效的方法, 从而为求取精度较高的能用于剖面岩性解释的层速度剖面成为可能。

参 考 文 献

1 张玉芬, 刘春华. 多参数约束反演及其应用. 地球科学, 1997, (2): 219~ 222

INTERVAL VELOCITY CONVERSION CONSTRAINED BY LOG DATA

Zhang Yufen

(*Department of Geophysical Exploration, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei*)

Abstract

There are two major factors that influence the correction and accuracy of interval velocity. One is the accuracy of reflection coefficient sequence used in interval velocity conversion; the other one is the accuracy of initial interval velocity. In application of vertical high resolution log data and lateral continuous seismic data, high accuracy reflection coefficient sequence could be obtained by establishing the initial model of reflection coefficient sequence. Use the interval velocity that calculated based on log data as constraint condition to obtain initial interval velocity of each channel in profile by scanning, the problem mentioned above could be solved well.