

斜井资料在三维地震勘探区的应用

杨英学 赵猛科 王晓梅

(华北石油管理局物探公司, 任丘 062552)

摘 要

斜井穿过油层层数多, 经济效益好, 在当今油气勘探中被广泛采用。如何利用斜井资料进行储量计算, 在地震勘探中进行“桥式对比”, 储层标定及横向预测, 是目前急待解决的问题。我们在地震解释工作站上开发了一套斜井资料处理的软件包, 可将斜井合成地震记录及测井曲线沿斜井轨迹显示到地震剖面上, 并可将地震剖面作垂直投影, 递推声阻抗剖面, 使得适合于直井处理的所有技术和手段均适用于斜井, 为斜井资料的应用提供了较为完善的方法。

关键词: 斜井资料处理 合成地震记录 垂直投影 声阻抗剖面

一、引 言

利用地震资料进行地层岩性解释、储层预测和特性描述, 在有井控制区, 可利用钻井资料外推储集层的岩性、速度和孔隙度等。利用地震、测井和地质资料进行综合分析, 最首要的问题是储层的标定。合成地震记录是进行储层标定实现钻井资料与地震剖面“桥式对比”的有效方法。而对于斜井, 我们无法直接制作合成地震记录并插入地震剖面, 也不能将测井曲线直接进行时深转换显示到地震剖面上。为此, 我们在解释工作站上开发了一套斜井资料处理的软件包:

- (1) 计算过斜井的任意地震测线。
 - (2) 将斜深记录的声波测井曲线转换为垂深记录, 制作合成地震记录并获得时深关系。
 - (3) 将大地坐标及深度表示的斜井轨迹转换为线号、道号和时间表示的斜井轨迹, 将合成地震记录沿斜井轨迹显示到地震剖面上。
 - (4) 将各类测井曲线的斜深记录转换为时间记录, 并沿斜井轨迹显示到地震剖面上。
 - (5) 将地震剖面沿斜井轨迹作垂直投影。
 - (6) 将合成地震记录插入垂直投影的地震剖面, 再作“反投影”得到插入斜井合成地震记录的正常地震剖面。
 - (7) 利用垂直投影的地震剖面及垂深记录的声波测井曲线做声阻抗处理。
 - (8) 将油层斜深厚度作沿层投影, 得到铅直厚度, 计算储量。
- 将地震剖面沿斜井轨迹做垂直投影, 将斜井轨迹投影为铅直线, 既保持了斜井轨迹与地震资料的相对位置不变, 又使得斜井可按直井处理, 为斜井资料充分利用提供了较为完善的方法。

二、斜井合成记录的制作与显示

1. 寻找通过斜井轨迹的任意线

已知三维地震工区任一线道(l_p, T_j)的坐标为 $x(l_p, T_j)$, $Y(l_p, T_j)$ 。根据钻井公司提供的井斜数据表(表1),可以得到斜井轨迹控制点(P_n)的大地坐标为 (x_n, Y_n, D_n) , 该点距 (l_p, T_j) 距离的平方为:

$$DS = [x_n - x(l_p, T_j)]^2 + [y_n - y(l_p, T_j)]^2$$

式中 $i=1, I; j=1, J; n=1, N$

根据斜井控制点(P_n)距全区各线、各道的最小距离寻找出该点所在的线号、道号(图1)(如果斜井控点较稀,还需内插)。再按线号、道号从三维地震数据体中抽取地震数据,即可得到通过斜井的任意线剖面(图2a)。

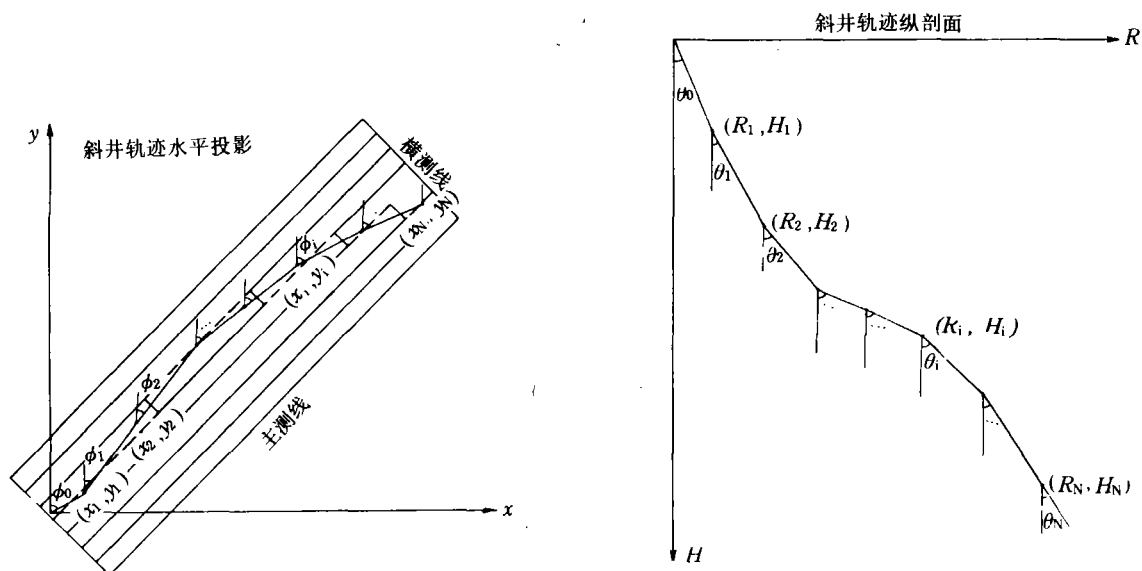


图1 斜井轨迹投影图

The projection of an inclined hole trajectory

2. 斜深记录与垂深记录转换

斜井轨迹在地震剖面上的投影,见图3。设井斜方位角 θ_i 和井斜角 φ_i 。当地层倾角可以忽略时,井孔垂深为

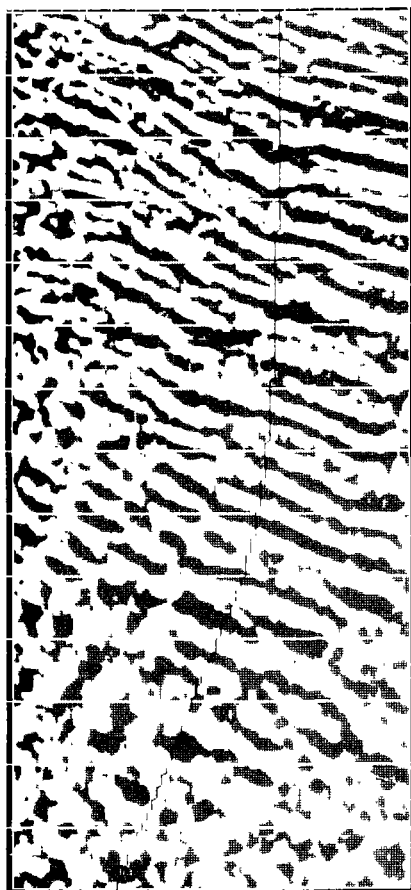
$$H = \sum_i (l_{i+1} - l_i) \cos \theta_i \quad (i=0, 1, \dots, n)$$

井孔在过斜井任意测线上的偏移为

$$x = \sum_i (l_{i+1} - l_i) \sin \theta_i \cos \varphi_i$$

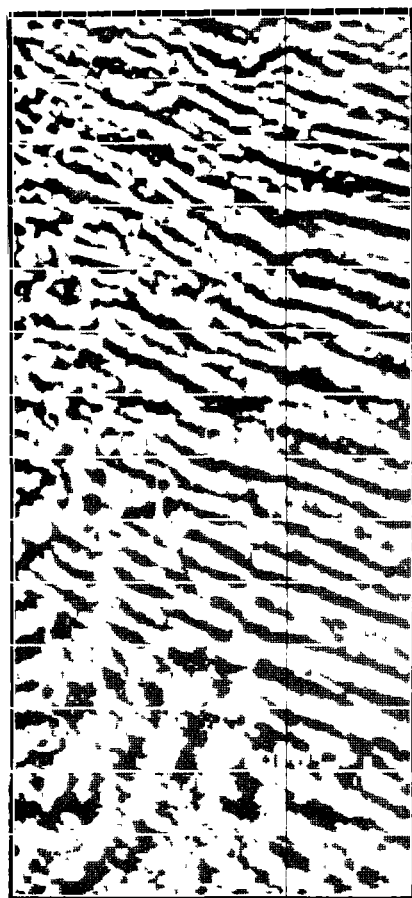
当地层倾角不能忽略时,地层倾角测井通常给出地层的真倾角 α_i 和地层倾向的方位角

γ_i 。



(a)

图 2(a) 显示斜井轨迹的任意线地震剖面
Seismic section superimposed by the
inclined hol trajectory



(b)

图 2(b) 沿斜井轨迹作垂直投影的地震剖面
The vertical projection of the seismic section
on the trajectory of the inclined hole

(1) 斜井轨迹与地层倾向一致时, 井孔在地震剖面上沿层投影深度为

$$H_z = \sum_i (L_{i+1} - l_i) (\cos\theta_i \pm \sin\theta_i \operatorname{tg}\alpha_i)$$

式中第二个括号内的符号有如下定义: 当井斜方向与地层倾向相反时 (图 3a) 为正; 井斜方向与地层倾向一致时 (图 3b) 为负。

(2) 斜井轨迹与地层倾向斜交, 其夹角为 $|\psi - \gamma_i|$ (图 4) 时, 地层沿斜井轨迹的视倾角 β_i 与地层的真倾角 α_i 、地层倾向的方位角 γ_i 以及斜井轨迹的方位角 ψ 有如下关系

$$\sin\beta_i = \cos(\psi - \gamma_i) \sin\alpha_i$$

同理有

$$H_z = \sum_i (l_{i+1} - l_i) (\cos \theta_i \pm \frac{\sin \theta_i \cos(|\psi - \gamma_i|) \sin \alpha_i}{\sqrt{1 - \cos^2(|\psi - \gamma_i|) \sin^2 \alpha_i}})$$

以上为在不同条件下用于计算“偏移”和“投影深度”的计算公式。

表1为榆斜108井井斜数据表。由于井斜数据测量的记录间隔是测井曲线记录间隔的数十倍至百倍,所以必须对斜深与垂深的关系曲线进行插值,获得与测井曲线采样间隔相匹配的斜深与垂深的关系曲线。然后,根据斜深与垂深的关系将斜深记录的声波曲线转换为垂深记录,这样即可按常规程序制作合成地震记录。

表1 榆斜108井井斜数据表

序号	井深 (m)	斜度 (度)	方位 (度)	偏移距		垂直井深 (m)
				纵坐标 (m)	横坐标 (m)	
1	200	1.50	160	-4.920	1.791	199.931
2	300	2.00	140	-7.564	3.317	299.885
3	400	1.67	150	-10.187	5.154	399.843
4	500	0.00	0	-9.810	6.526	499.823
5	824	0.60	85	-8.560	7.708	823.819
6	1024	1.00	86	-8.34	10.492	1023.799
7	1370	0.60	110	-9.013	15.276	1369.765
8	1410	1.60	118	-9.325	15.977	1409.785
9	1430	2.60	163	-9.819	16.433	1429.744
10	1445	4.20	148	-10.702	16.809	1444.718
11	1465	6.60	150	-12.319	17.771	1464.629
12	1520	9.00	152	-18.848	21.390	1519.620
13	1610	12.00	160	-33.831	28.061	1607.613
14	1705	14.50	164	-54.540	34.789	1700.084
15	1760	16.50	172	-68.917	37.845	1753.084
16	1768	16.50	171	-71.164	38.181	1760.755
17	1778	16.50	168	-73.956	38.698	1776.343
18	1800	17.20	163	-80.130	40.295	1791.398
19	1820	19.20	155	-85.962	42.534	1810.398
20	1870	18.60	150	-100.328	50.012	1857.702
21	1938	23.00	148	-121.026	62.449	1921.270
22	2010	29.00	149	-147.938	78.940	1985.983
23	2090	37.00	148	-185.089	101.706	2053.076
24	2202	49.00	148	-249.867	142.138	2134.988
25	2260	47.00	144	-285.600	166.285	2173.797
26	2297	43.00	145	-306.847	181.552	2199.960
27	2330	42.50	152	-325.906	193.323	2224.193
28	2430	41.00	154	-385.236	223.553	2298.799
29	2560	40.50	154	-461.507	260.752	2397.282
30	2670	38.00	156	-524.584	290.165	2482.465
31	2770	38.50	156	-581.142	315.345	2560.997
32	2830	39.50	156	-615.637	330.703	2607.625
33	2918	44.00	158	-669.576	353.599	2673.278
34	2985	43.00	160	-712.633	370.162	2721.879
35	3040	40.00	164	-747.294	381.388	2763.071
36	3060	41.00	164	-759.779	384.968	2778.279
37	3150	45.00	165	-818.927	401.371	2844.101
38	3215	46.00	165	-863.709	413.370	2889.660
39	3275	46.00	165	-905.400	424.540	2931.340

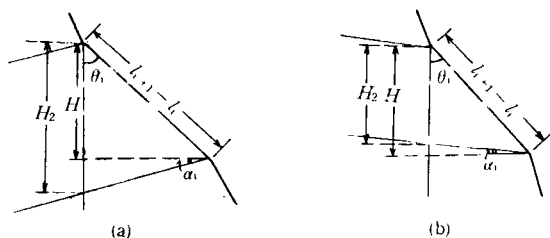


图3 井斜方向与地层倾向相反(a)和一致(b)的情形

The inclination of a hole is (a) opposed to and (b) agree with the dip direction of the formation

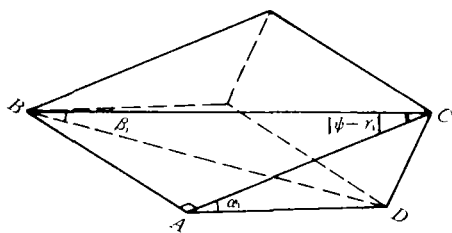


图4 视倾角与真倾角的关系

The relation between apparent and true dips

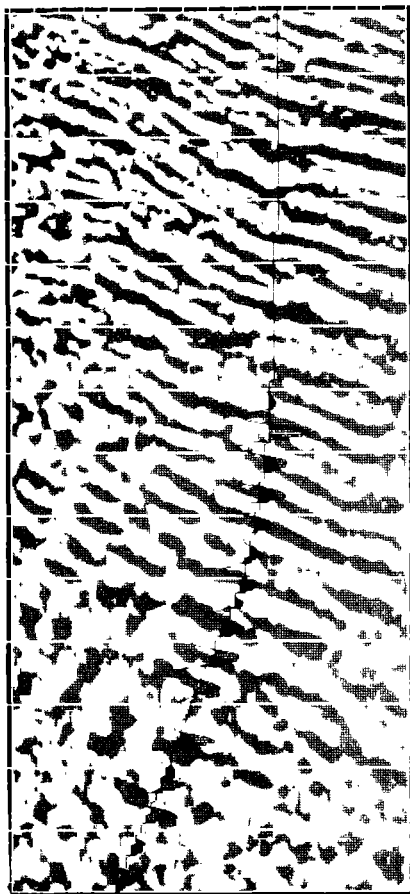


图5 沿斜井轨迹显示的合成地震记录

A synthetic seismogram displayed along the trajectory of the inclined hole

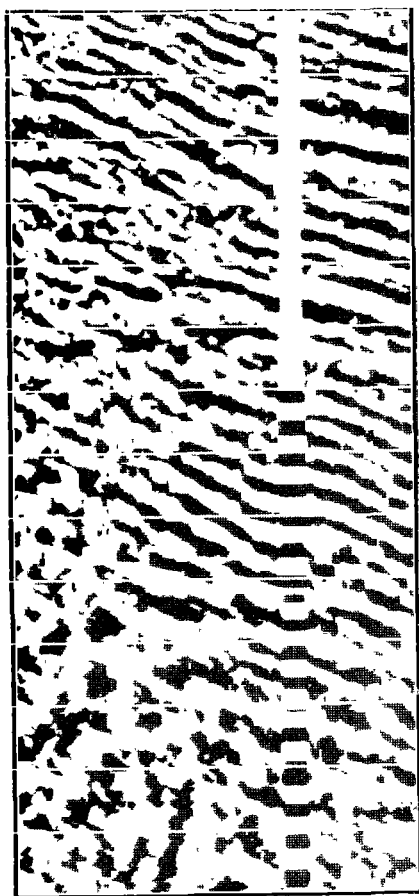
3. 斜井轨迹的坐标转换及斜井合成地震记录显示

利用声波测井垂深记录或本区平均速度可得到时深关系, 又知斜井各控制点所对应的线号、道号, 可将大地坐标和深度表示的斜井轨迹转换为线号、道号和时间表示的斜井轨迹(表2), 并可将斜井轨迹显示到过斜井的任意线地震剖面上(图(2a)), 也可将合成地震记录沿斜井轨迹显示到地震剖面上(图5)。

4. 将地震剖面沿斜井轨迹作垂直投影

为了把合成地震记录插入地震剖面或利用地震资料进行声阻抗等处理, 可将地震剖面沿斜井轨迹做垂直投影。根据表2, 时间为 t_i 时井孔距井口的水平距离: 在线方向为 $(l_i - l_1)$, 道方向为 $(T_i - T_1)$ 。由于已经得到了过斜井的任意线剖面, 该剖面上的道间距已包含了线方向的分量, 因此作垂直投影时只需将时间为 t_i 处的信息向井口方向偏移 $(T_i - T_1)$, 即将 T_i 道上的数据放到 T_1 道上(由于地震资料的时间样点很密 t_i 实际代表一个时间段), 而任意线剖面其它道上的数据也偏移相同的距离即可实现整条剖面的投影。这样就把斜井轨迹上的地震信息投影到一条铅垂线上, 而整个剖面上地震信息的相对位置又保持不变(图2b), 再把斜井测井资料转换为垂深记录, 这样斜井就可作为井口位置的一口直井处理, 斜井合成记录

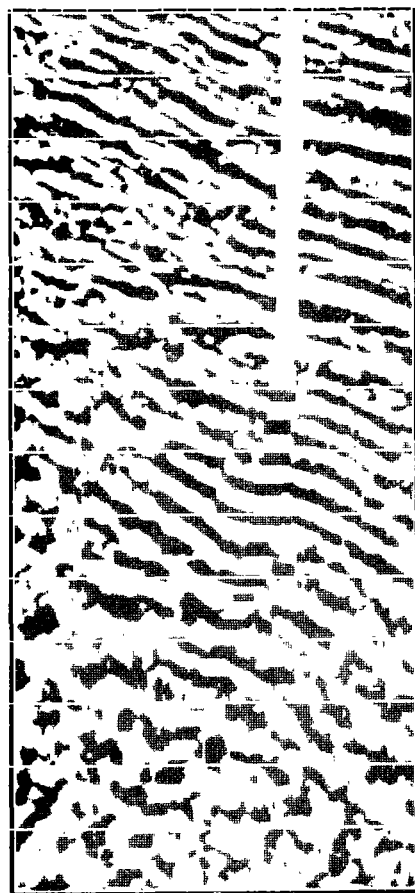
可插入垂直投影的地震剖面 (图 6(a))。为了便于与其它资料对比, 也可将插入斜井合成地震记录的垂直投影剖面作“反投影”, 即可得到插入斜井合成地震记录的正常地震剖面图 6(b)。“反投影”是垂直投影的逆过程, 把垂直投影剖面上的数据恢复到原来的位置。这种方法在地层倾角较大时, 垂直投影剖面的面貌会产生畸变, 但由于它只是中间成果, 最终还要恢复到正常位置, 因此其应用范围仍很广泛。



(a)

图6(a) 插入斜井合成地震记录的垂直投影地震剖面

A vertical projecting seismic section
superimposed by the seismogram of the inclined hole



(b)

图6(b) 插入斜井合成地震记录的正常地震剖面

A normal section superimposed by
the seismogram of the inclined hole

5. 将各类测井曲线沿斜井轨迹显示到地震剖面上

有了垂深与斜深关系和垂深与时间的关系, 就能够把各类测井曲线 (自然电位、电阻率和声波时等) 的斜深记录转换为时间记录, 这样就可以把曲线沿井轨迹显示到地震剖面上 (图 7)。

表2 用线号、道号和时间表示的斜井
轨迹

线 号	道 号	时 间
221	274	0
221	273	1112
221	272	1349
222	271	1454
222	270	1519
222	269	1565
222	268	1612
222	267	1642
222	266	1684
222	265	1698
222	264	1725
223	263	1749
223	262	1761
223	261	1773
223	260	1798
223	259	1823
223	258	1835
223	257	1858
224	256	1870
224	255	1893
224	254	1917
224	253	1941
224	252	1953
224	251	1974
224	250	1998
225	249	2010
225	248	2034
225	247	2056
225	246	2068
225	245	2090
225	244	2101
225	243	2117
225	242	2138
225	241	2159
226	240	2176
226	239	2182
226	238	2198

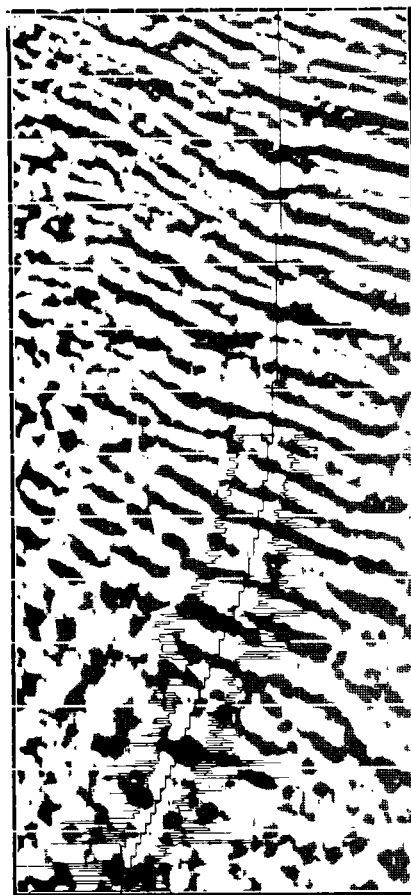


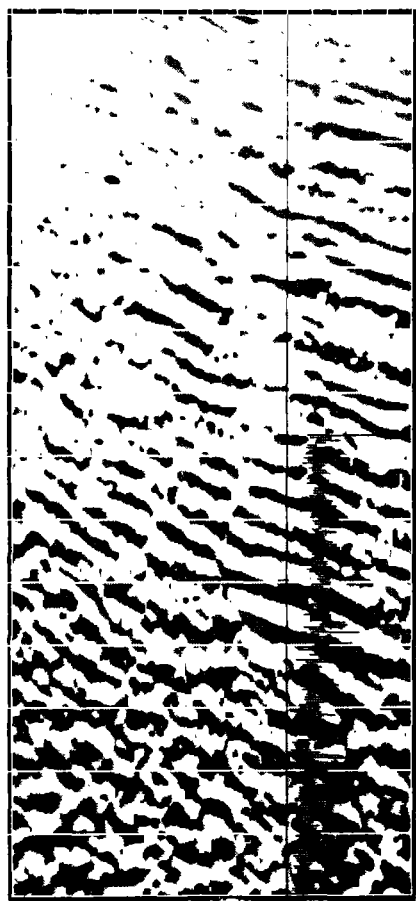
图7 自然电位(左)电阻率(右)曲线沿斜轨迹显示到地震剖面上

Seismic section superimposed by SP(left)and resistivity(right) curves

三、利用斜井声波测井资料递推声阻抗剖面

声阻抗作为一种地震记录的反演技术,近年来被广泛应用于研究地层岩性。这种技术必须以测井资料为基础,将地震记录反演为可与声波测井资料对比的虚速度,在横向上利用外推技术,追踪岩性;在纵向上可较为详细地划分地层。而目前普遍应用的处理方法都是对直井而言,而斜井由于没有井旁道可与之对比,因此无法利用斜井资料进行声阻抗处理。为了解决这一问题,我们把斜井测井曲线的斜深记录转换为垂深记录,将通过斜井的任意线地震剖面作垂直投影,相当于把沿斜井轨迹的测井信息和地震信息在横向上“偏移”到井口的位置,垂向上保持不变。这样斜井就可以作为直井对待,声阻抗的处理方法也基本一样。如此得到的声阻抗剖面只是垂直投影的剖面,还必须通过“反投影”才能得到正常位置的声阻抗剖面(图8)。这样,解决了利用斜井测井资料进行声阻抗处理的问题。如果把该剖面作为虚

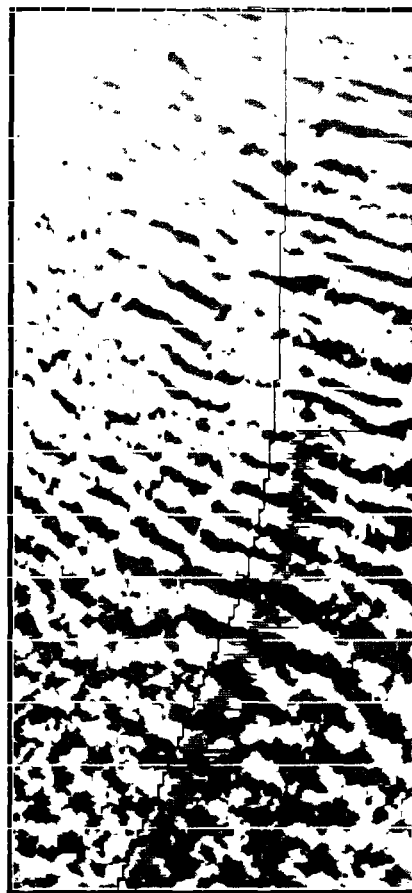
测井剖面, 还可以继续进行三维声阻抗处理。



(a)

图8(a) 利用斜井声波测井资料和垂直投影地震剖面递推的声阻抗剖面

Fig 8(a) The acoustic impedance section inferred using the acoustic log data from the inclined hole and the vertically projected seismic section



(b)

图8(b) 将图8a作“反投影”得到正常声阻抗剖面

The normal acoustic impedance section obtained from the back projection of the data in Fig 8(a)

四、应 用

利用榆斜 108 井的合成地震记录和测井曲线对该区的反射层进行了标定和综合解释。榆斜 108 井为探边井, 我们对该井所揭示的储层进行了横向追踪, 测井资料反映储层段自然电

位负异常,电阻率正异常,声波测井为低速,在声阻抗剖面上,也对应于低速异常。综合分析地质、测井和地震资料预测了储层的横向分布情况,确定了各油层的含油面积(表3)。

表3 榆斜108井勘探成效表

层位	井段(m)	面积(km ²)	厚度(m)	储量(t×10 ⁴)
E _{d2}	2570—2636	0.25	4.4	14
E _{d3}	2773—2805	0.30	20.2	68
E _{d3}	2922—2978	0.25	25.8	76
E _{d3}	3049—3092	0.10	4.2	4
合计				148

对于直井含油断块计算平均厚度的方法已非常成熟,因此只要将斜深厚度转换为铅直厚度,问题便得以解决。根据前面所述的方法,计算出榆斜108井所揭示储层段的“投影深度”,确定了该井揭示的各油层厚度(表3),获得了含油面积及油层厚度再结合其它参数即可计算出油气储量。

五、结 束 语

斜井一般不过断层,能够揭示全地层剖面,搞清地层的纵向与平面分布。

对于沿断棱分布的油藏,斜井是一种高效益的勘探方法,三维地震加斜井钻探是复杂区提高效益获得可靠储量的有效手段。

斜井合成记录是实现地质与地震结合,进行“桥式对比”的经济实用的技术。

将斜井测井曲线的斜深记录转换为垂深记录,将地震剖面沿斜井轨迹作垂直投影是斜井资料应用于地震勘探的有效方法。

利用斜井测井资料进行声阻抗处理,效果是好的,但该项技术还需从理论和实践上进一步证实和检验。

本项研究工作得到了杜亚轩,刘文章高级工程师和刘宜生高级地质师的正确指导,吴庆文和武耀辉高级工程师给予了热情帮助,物探局第一指挥部王学军,杨举勇同志给予了大力协助,在此一并致谢。

参 考 文 献

- (1) 陈继松,斜井地震记录及其应用,《石油地球物理勘探》,第6期,1991年。

(收稿日期:初稿1992年5月23日,修改稿1992年8月20日)

INCLINED HOLE DATA APPLIED TO 3D SEISMIC INTERPRETATION

Yang Yinxue, Zhao Mengke, Wang Xiaomei

(Geophysical Prospecting Co. North-China Oil Management Bureau,

Rehqi 062552)

ABSTRACT

Inclined hole drilling penetrates many reservoir beds, which gives rise to significant economic benefit. This is the reason why this technique has now found wide application in exploration for hydrocarbons. There are however a series of problems expected to be solved, such as the reserve estimation using inclined hole data, the "Bridge-like" Correlation of the down well data with seismic data, the calibration for reservoir beds and lateral Oil / gas prediction using inclined hole data and so on. On the workstation for seismic interpretation, we have developed a software package for inclined hole data processing, which is capable of coincidentally displaying the inclined hole synthetic seismogram and the log curves along the trajectory of the inclined hole on seismic sections. Moreover, the capability of the programming package in vertical projection for seismic sections, and the continuation for acoustic impedance sections makes all the processing methods suitable for inclined hole data as well as vertical hole data.

Key Words: Inclined Hole Data Processing, Synthetic Seismogram, Vertical Projection, Acoustic Impedance Section

(上接 69 页)

ABSTRACT

Deconvolution is one of the main tools in enhancing resolution for seismic records. The factors that affect the deconvolution performance are: 1) whether the wavelet model is appropriate, 2) whether the wavelet's power spectrum is accurately estimated, and 3) whether the wavelet's phase character is correctly specified. In this paper, we present an ARMA model-based deconvolution method for solving the above three problems. In prestack deconvolution, we assume that the wavelet is of minimum phase. While in post-stack deconvolution, we have shown that the AR part of wavelets must be of minimum phase and the MA part of wavelets can be approximated by a zero-phase sequence. We have tested the method on both prestack and post-stack data and achieved good results in either case especially the latter one.

Key Words: Deconvolution, ARMA Model, Residual Wavelet, Wavelet's Amplitude Spectra