

斜井成像测井资料处理中地层产状的校正方法及应用

邹长春, 史葐

(北京大学 地球与空间科学学院, 北京 100871)

摘要: 从成像测井图像中直接提取的地层产状, 只反映测井仪器坐标系中的结果。对于井眼倾斜的情况, 只有进行了井斜校正后, 才能获得真实的地层产状。作者推导了成像测井地层产状计算结果的井斜校正算法, 并将其应用于苏北大陆科学钻探 PP II 孔超声成像测井资料处理中, 给出了应用实例。

关键词: 成像测井, 地层产状, 校正, 井斜

中图分类号: P631 文献标识码: A 文章编号: 1000-8918(2002)06-0463-04

地球物理测井是确定地下原位地层(包括岩层、裂缝、层理等)产状的有效方法。早期使用地层倾角测井方法, 近年来随着测井技术的发展, 成像测井在煤田、油气勘探以及科学钻探等领域得到了推广应用。

成像测井是一项先进的测井技术, 它能够提供更丰富的井壁及井眼周围的信息^[1,2]。科研和生产人员不仅可以直观地从测井图像中定性识别地层、裂缝以及构造形态, 而且可以利用数据处理方法对测井图像作定量处理和分析, 提取地层产状等参数。

大多数地层界面、构造面与井眼是倾斜相交的, 在成像测井图像中表现为正弦波迹线。采用交互式处理方法在迹线上选择 3 个或 3 个以上的点, 可以拟合出一条正弦曲线, 从而计算出产状; 也可以采用 Hough 变换等方法自动提取产状参数。但是, 从成像测井图像中直接提取的地层产状只反映测井仪器坐标系中的结果, 对于井眼倾斜的情况, 只有进行了井斜校正后, 才能获得真实的地层产状。

成像测井地层产状计算结果的井斜校正方法与地层倾角测井井斜校正方法相似, 但又有差异。地层倾角测井一般测量和记录井斜角和井斜方位角, 还记录 I 号极板相对方位角, 文献 [3] 和 [4] 详细描述了有关地层产状计算和井斜校正算法; 成像测井中没有 I 号极板相对方位角, 有些成像测井系统甚至不能提供井斜数据(可采用单独测量的井斜数据进行校正)。

笔者在开展超声成像测井资料处理与解释方法研究过程中, 推导了成像测井地层产状计算结果的

井斜校正算法, 并且采用 Visual C++ 6.0 开发了计算机程序。本文重点阐述基本算法, 并简单介绍该算法在苏北大陆科学钻探 PP II 孔超声成像测井资料处理中的应用情况。

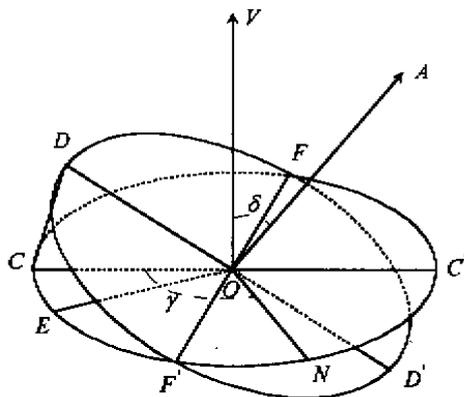


图 1 仪器坐标系与大地坐标系的关系

1 基本原理和算法

在成像测井资料处理中, 对地层产状作井斜校正时, 需要用到 2 种坐标系, 即仪器坐标系和大地坐标系。如图 1 所示, $OENV$ 表示大地坐标系, 其中 V 为铅直轴, E 轴为正东轴, N 轴为正北轴, EON 为水平面; $OFDA$ 表示仪器坐标系, 仪器坐标系原点与大地坐标系原点重合, A 轴与井轴重合, FOD 是垂直井轴的平面, OF 轴与井斜走向线重合, OD 为井轴截面上的倾斜线。设井斜仪测出的井斜角为 δ , 井斜方位角为 γ , 则 A 轴与 V 轴的夹角为 δ , C 轴(即井斜倾向线)与 N 轴的夹角为 γ 。

设地层界面单位法线矢量为 n , 其视倾角和视

倾向分别为 θ 和 ϕ , 可求出 n 在仪器坐标系中的 3 个分量分别为

$$\begin{cases} n_F = \sin\theta' \sin(\phi' - \gamma), \\ n_D = \sin\theta' \cos(\phi' - \gamma), \\ n_A = \cos\theta'. \end{cases} \quad (1)$$

地层产状的井斜校正 n 是通过旋转坐标轴的方法将地层界面单位法线矢量在仪器坐标系中的各个分量换算到大地坐标系中, 得到大地坐标系中的 3 个分量 n_E, n_N 和 n_V , 用 n_E, n_N 和 n_V 计算真倾角 θ 和真倾向 ϕ 。整个换算过程需要进行 2 次坐标轴旋转。

(1) 以井斜走向线 OF 为旋转轴, 将 A 轴逆时针旋转 $-\delta$ 角, 使其与 V 轴重合。此时, 井轴截面上的倾斜线 OD 正好旋转到井斜倾向线 OC , 旋转后新坐标系为 $OFCV$, 地层界面单位法线矢量 n 在坐标系 $OFCV$ 中 3 个分量的为

$$\begin{bmatrix} n_C \\ n_V \\ n_F \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(-\delta) & \sin(-\delta) & 0 \\ -\sin(-\delta) & \cos(-\delta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_D \\ n_A \\ n_F \end{bmatrix} \quad (2)$$

改变上式中 3 个分量的次序, 可写成

$$\begin{bmatrix} n_F \\ n_C \\ n_V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\delta & -\sin\delta \\ 0 & \sin\delta & \cos\delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_F \\ n_D \\ n_A \end{bmatrix} \quad (3)$$

(2) 以 OV 为旋转轴, 将井斜走向线 OF 逆时针旋转 γ , 使其与 E 轴重合。此时, 井斜倾向线 OC 旋转到 N 轴, 旋转后新坐标系就是大地坐标系 $OENV$, 地层界面单位法线矢量 n 在大地坐标系中的 3 个分量为

$$\begin{bmatrix} n_E \\ n_N \\ n_V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\gamma & \sin\gamma & 0 \\ -\sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_F \\ n_C \\ n_V \end{bmatrix} \quad (4)$$

经过 2 次坐标轴旋转, 得出单位法线矢量 n 在大地坐标系中的 3 个分量与在仪器坐标系中的 3 个分量的关系

$$\begin{bmatrix} n_E \\ n_N \\ n_V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\gamma & \sin\gamma & 0 \\ -\sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\delta & -\sin\delta \\ 0 & \sin\delta & \cos\delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_F \\ n_D \\ n_A \end{bmatrix} \quad (5)$$

展开上式得到

$$\begin{cases} n_E = -n_A \sin\gamma \sin\delta + n_D \sin\gamma \cos\delta + n_F \cos\gamma, \\ n_N = -n_A \cos\gamma \sin\delta + n_D \cos\gamma \cos\delta - n_F \sin\gamma, \\ n_V = n_A \cos\delta + n_D \sin\delta. \end{cases} \quad (6)$$

(3) 计算真倾角 θ 和真倾向 ϕ 。根据 (6) 式求出 n_E, n_N, n_V 之后, 利用下列公式计算真实的地层产状

$$\begin{cases} \tan\theta = \sqrt{n_E^2 + n_N^2} / n_V, \\ \tan\phi = n_E / n_N. \end{cases} \quad (7)$$

真倾角可直接由

$$\theta = \arctan \frac{\sqrt{n_E^2 + n_N^2}}{n_V} \quad (8)$$

计算。真倾向的确定需要分象限来讨论。根据 (7) 式确定真倾向需要分 4 种情况考虑。

当 $n_E \geq 0$ 且 $n_N > 0$ 时, 地层向北东方向倾斜, $0 \leq \phi < \pi/2$ 则

$$\phi = \arctan(n_E / n_N), \quad (9)$$

当 $n_E > 0$ 且 $n_N \leq 0$ 时, 地层向南东方向倾斜, $\pi/2 \leq \phi < \pi$ 则

$$\phi = \arctan(n_E / n_N) + \pi, \quad (10)$$

当 $n_E \leq 0$ 且 $n_N < 0$ 时, 地层向南西方向倾斜, $\pi \leq \phi < 3\pi/2$ 则

$$\phi = \arctan(n_E / n_N) + \pi, \quad (11)$$

当 $n_E < 0$ 且 $n_N \geq 0$ 时, 地层向北西方向倾斜, $3\pi/2 \leq \phi < 2\pi$ 则

$$\phi = \arctan(n_E / n_N) + 2\pi. \quad (12)$$

2 实际应用

我们采用 Visual C++ 6.0 开发了计算机程序。分别采用上述方法和赤平网方法^[3]对一组地层产状数据进行井斜校正, 2 种方法获得的结果一致, 验证了上述算法是准确可靠的。然后, 将该算法应用于苏北大陆科学钻探 PP II 孔超声成像测井资料处理中。

苏北大陆科学钻探 PP II 孔位于大别—苏鲁超高压变质带的东部、苏鲁地区的南部、江苏省东海县毛北地区, 是中国大陆科学钻探工程的预先导孔之一。PP II 孔完钻深度为 1 028.68 m, 钻井取芯显示该孔裂缝十分发育。完钻后进行了超声成像测井作业和井斜测量。井斜测量结果表明, 该孔井斜较大, 420 m 以下井斜角超过 10°, 最大时达到 18.18°。

图 2 所示是该孔深度范围为 553.5 ~ 557 m 的声幅图像和声波传播时间图像。左侧“AMP”表示声幅图像, 右侧“TT”表示声波传播时间图像, 呈正弦波形态的暗色迹线 (AMP) 或亮色迹线 (TT) 是与井眼倾斜相交的裂缝。

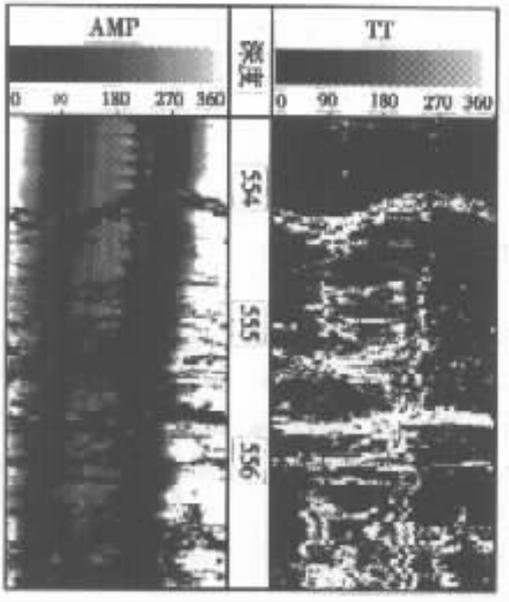


图2 苏北大科学钻探 PP II 孔超声成像测井图像

采用正弦曲线拟合法从声幅图像或声波传播时间图像计算出裂缝的视倾角和视倾向,然后结合井斜数据(其中多数裂缝所在深度的井斜数据通过插值方法获得)计算真倾角和真倾向。表1列出了PP II孔500~670 m深度段井斜测量数据,在此深度范围内,井斜角较大,为 $13.05^{\circ} \sim 18.18^{\circ}$,井斜方位角变化较小。

表1 PP II 孔部分深度的井斜测量数据

深度/m	井斜角/ $^{\circ}$	井斜方位角/ $^{\circ}$
500.00	13.05	296.45
510.00	13.07	296.73
520.00	13.32	296.67
530.00	13.51	296.44
540.00	13.93	295.12
550.00	14.49	295.87
560.00	15.02	297.18
570.00	15.66	298.45
580.00	15.84	298.62
590.00	15.94	299.29
600.00	16.45	299.58
610.00	16.82	299.47
620.00	17.10	300.30
630.00	17.58	304.73
640.00	17.73	301.37
650.00	17.76	300.80
660.00	18.18	300.68
670.00	16.52	301.02

表2列出了PP II孔部分深度的裂缝产状计算结果,其中差值表示校正值与视值之差。从表2中可以看出,倾角差值的绝对值较大,倾向差值的绝对

值较小。计算了全井段的裂缝产状,结果表明,在井斜角较大的情况下,不仅视倾角与真倾角相差较大,

表2 PP II 孔超声成像测井地层产状的井斜校正结果

深度/m	倾角/ $^{\circ}$			倾向/ $^{\circ}$		
	视值	校正值	差值	视值	校正值	差值
501.21	67.70	80.52	12.82	105.36	106.06	0.70
518.23	68.76	81.93	13.17	109.36	109.79	0.43
521.67	51.82	64.64	12.82	99.13	101.46	2.33
531.35	44.68	55.32	10.64	158.47	151.32	-7.15
538.92	62.44	75.04	12.60	89.19	91.48	2.29
548.24	29.80	44.19	14.39	114.57	114.90	0.33
552.56	67.53	80.28	12.75	85.67	87.76	2.09
554.18	71.53	83.34	11.81	78.69	80.67	1.98
555.72	63.64	75.72	12.08	79.59	82.78	3.19
575.00	69.17	53.88	-15.29	285.60	283.52	-2.08
582.12	78.32	92.04	13.72	88.16	88.84	0.68
584.88	67.57	81.34	13.77	87.71	89.94	2.23
651.28	39.00	55.92	16.92	99.60	104.85	5.25
651.56	49.47	60.98	11.51	65.80	75.39	9.59
651.93	54.95	64.43	9.48	58.07	67.02	8.95
652.10	57.64	72.68	15.04	85.61	90.14	4.53
655.02	53.01	66.36	13.35	74.77	81.92	7.15
661.77	67.69	74.94	7.25	51.63	57.22	5.59
662.04	62.05	70.17	8.12	54.01	61.12	7.11
662.31	44.13	61.86	17.73	115.32	116.47	1.15

而且视倾向与真倾向有时也相差较大,因此,井斜校正不能忽略的。

3 结束语

笔者采用旋转坐标轴的方法,推导出了成像测井地层产状计算结果的井斜校正算法。在验证了算法的可靠性后,将其应用于苏北大科学钻探PP II孔超声成像测井资料处理中,获得了真实的裂缝产状,为PP II孔地质构造研究提供了准确可靠的数据。

实际资料处理结果表明,在井斜角较大的情况下,地层的视倾角与真倾角相差较大,视倾向与真倾向有时也相差较大,对成像测井地层产状计算结果进行井斜校正是必要的。

参考文献:

- [1] 王贵元, 郭荣坤. 测井地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000.
- [2] 张守谦, 顾纯学, 曹广华. 成像测井技术及应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
- [3] 王曰才, 王冠贵. 地层倾向测井[M]. 北京: 石油工业出版社, 1987.
- [4] 黄作华. 煤田测井方法与数字处理(下册)[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1982.

AN APPROACH TO CORRECT THE ATTITUDES OF STRATUM FOR DEVIATED BOREHOLE IN IMAGING LOGGING DATA PROCESSING AND ITS APPLICATION

ZOU Chang-chun , SHI Ge

(School of Earth and Space Sciences Peking University ,Beijing 100871 ,china)

Abstract : The attitudes of stratum obtained directly from imaging logging images are apparent values , and are related to the logging tool coordinate system. For the case of tilted borehole , deviation correction for the attitude values should be executed. In this paper , an algorithm is presented to correct the attitude values derived from imaging logging with borehole deviation data. As a practical example , the approach is applied to imaging logging data processing of the second pre-pilot drillhole of Chinese Continental Scientific Drilling in North Jiangsu Province.

Key words : imaging logging ;attitude ;correction ;borehole deviation

作者简介 :邹长春(1969 -) ,男 ,江西万载人。现为北京大学博士后 ,主要研究方向为测井资料解释、数字处理及小波分析等 ,已在各类期刊上发表论文 10 余篇。

全数字化野外定位数据采集系统技术

北京天一指航科技有限公司专门从事全球定位系统(GPS)及其相关产品的销售、开发、系统集成以及GPS的技术服务咨询。公司作为全球GPS知名企业——美国Navman公司在中国区的总代理,积累了丰富的GPS应用技术经验。主要产品及服务内容是:

1 夹克式GPS3100

GPS3100是专为iPAQ3100各系列PDA设计的GPS夹克,并附带1个CF扩充槽,可实现无限扩展。近年来,勘察专业发展迅猛,对信息量和数据采集精度的要求越来越高,传统的手持型GPS已经远不能满足需要。夹克式GPS3100利用地理信息系统技术将GPS定位结果反映并存储在掌上电脑的地形图和遥感图像上,野外勘测人员可用掌上电脑准确记录野外观察到的复杂的图、文、像信息,绘制地质素描图,真正实现野外勘测观察与描述的数字化的。PDA/GPS集定位、导航数据记录于一体,具有多功能性、整和性和可移植性,可满足各行各业的数据普查、数据统计、野外数据采集、信息管理需要。

2 GPS - CF 卡

使用CF界面GPS来配合各种不同品牌PDA作为电子导航非常实用,先进的12卫星同步信道接收引擎,定位快速准确,内建天线,也可以外接天线。该款CF卡体积小(43mm×93mm×29mm),携带方便,可在笔记本电脑上使用。

3 地理信息软件(GIS)

为了适应行业用户的需要,公司专门开发了一些行业软件,可满足野外勘测的不同需要。

4 技术咨询与服务

可根据用户的不同需要,提供合适的处理软件,本公司全面负责GPS技术的咨询与服务。

联系人 沈桂兰 林文俊

电话 010 - 62632418 邮编 :100080

地址 北京海淀区草桥7号海淀新技术大厦1623室