

文章编号:1673-5005(2007)05-0041-03

随钻地震技术在套管下入深度确定中的应用

杨进¹, 李中², 谢玉洪²

(1. 中国石油大学 石油天然气工程学院, 北京 102249; 2. 中海石油(中国)有限公司 湛江分公司, 广东 湛江 524057)

摘要:介绍了随钻地震(SWD)技术基本原理和现场信息处理方法,给出了利用SWD采集数据进行地层压力计算的理论模型。结合某试验井SWD技术现场使用情况,阐述了SWD技术在异常高压预测方面的应用过程,以及如何利用SWD处理结果来为技术套管下入深度选择提供依据。试验井应用实践表明,SWD技术可以用来预测井下的异常高压和埋藏深度,能够为确定探井的套管下入深度提供重要的科学依据。

关键词:SWD技术; 层速度; 地层压力; 套管下深

中图分类号:TE 21

文献标识码:A

SWD technology application in choosing casing setting depth

YANG Jin¹, LI Zhong², XIE Yu-hong²

(1. Faculty of Petroleum Engineering in China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. Zhanjiang Branch Company of China National Offshore Oil Corporation, Zhanjiang 524057, Guangdong Province, China)

Abstract: The basic principle and information treatment methods of seism while drilling(SWD) technology in field were introduced, and the theoretical calculation model of formation pressure by SWD data was given. Interacted with the field application in a test well, the application of SWD technology on overpressure forecast and how to use SWD treatment result to give foundation for choosing casing setting depth were elaborated. The application result indicates that the overpressure and buried depth underground could be forecasted by SWD technology, which can provide important basis for choosing casing setting depth in exploration well.

Key words: SWD technology; interval velocity; formation pressure; casing setting depth

在石油探井设计和施工过程中,钻井液密度选择主要依靠地层压力剖面,而高压油气藏的深度是确定合理套管下入深度的重要依据。在初探井中,一般是通过地震资料来获得钻前地层压力剖面^[1-4]。由于地震数据的分辨率一般较低,加之信噪比低和处理技术等因素的影响,导致层速度剖面误差较大^[4,5]。所以,在探井钻井过程中,地层压力只靠钻前的地震预测结果,其精度不能满足钻井施工的需要。近几年来,一些国际石油公司推出了一种随钻地震(SWD, seism while drilling)新技术,可实时提供钻井钻头以下地层的地震波信息,为开展钻头以下异常高压地层的预测提供新途径。笔者对如何利用SWD技术确定探井的套管下入深度进行探讨。

1 SWD 基本原理

SWD技术是近年几个国际石油公司推出的一项新技术,它能在井场实时提供井底以下几百米的地层信息。SWD技术是一种逆垂直地震剖面(VSP, vertical seismic profile)的井中地震方法。在钻井过程中,牙轮钻头的振动产生振动声波,这种声波沿3种不同的路径由钻头向四周辐射。第一种叫直达波,沿最短的路径将声波由钻头传播至地面;第二种叫反射波,声波由钻头向下传播,经下部地层反射到达地面;第三种叫钻杆波,声波沿钻杆由钻头传播至地面。直达波和反射波可由放置在地面的地震检波器来采集记录,钻杆波是通过在顶驱上安装传感器来采集。利用

收稿日期:2006-10-26

基金项目:国家“863”计划项目(820-07-02)

作者简介:杨进(1963-),男(汉族),河南项城人,教授,博士,从事地层信息处理与应用研究。

互相关技术将钻杆信号和地面检波器信号进行互相关,得到逆 VSP 的井眼地震波信息。也就是说,在钻头连续钻进过程中,能够连续采集得到直达波和反射波信息,这就是随钻地震技术的基本原理。

现场随钻地震技术施工配置一般有下列几部分组成:① 牙轮钻头震源;② 近钻头处的测量短节;③ 井口接收器;④ 井旁接收器;⑤ 数据处理系统。该技术是利用钻井时钻柱下端的牙轮钻头作为震源,在近钻头处安装一个测量短节,另外在井口和离井口一定距离的位置安放接收器,接收由于钻头钻进时产生的震动经周围地层反射所产生的反射波,图 1 是随钻地震技术的现场施工示意图。

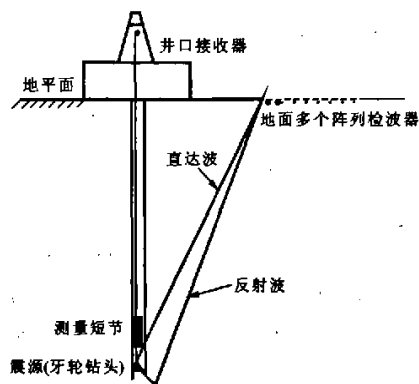


图 1 SWD 现场施工配置图

因为钻杆信号由钻头信号产生,为了得到震源子波,就必须对钻杆信号进行钻头信号校正,这样就可以将采集的 SWD 资料转变成逆 VSP 资料。钻杆信号校正时需要钻杆速度,钻杆速度由 SWD 资料采集时所记录。因此,为了保证钻杆速度的精度和刻度,SWD 资料采集应该足够长,一般不少于 300 m。

SWD 资料一旦转变成单程时的逆 VSP 域,经过处理可以获得时间、深度和速度等钻井所需的重要地层信息。每间隔几米采集一道地震记录,精确计算直达波初至时间(精度可达到 0.1 ms),经过数据处理就可获得时间-深度关系,进而计算出地层速度、平均速度和均方根速度^[4-6]。

通过对采集的信号进行处理,可以得到钻进过程中井底以下的地震剖面,进而可进行层速度反演和地层压力预测,确定异常压力突变面深度,进一步确定合理的套管下入深度。

2 异常压力层位预测

2.1 SWD 资料处理

SWD 技术能够实时测量到在钻地层的速度资

料,对其上行波场进行反演计算,就能得到钻头以下未钻开地层(约 300 m)的速度。利用得到的反演速度,就可预测出钻头以下未钻开地层的孔隙压力。图 2 为 SWD 反演的层速度随井深的变化曲线。

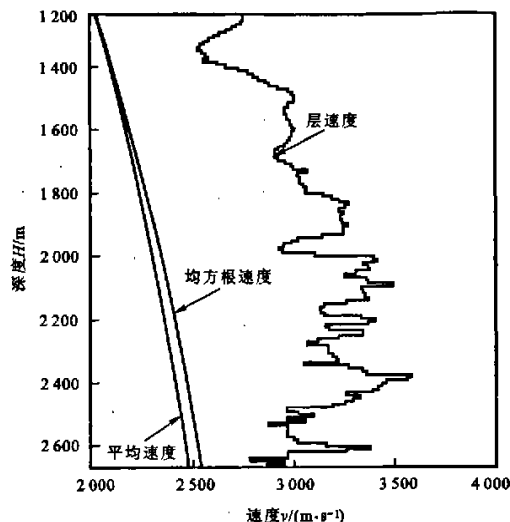


图 2 SWD 处理得到的层速度、平均速度和均方根速度随深度的变化曲线

2.2 地层压力计算

根据处理得到的地层速度资料,可采用 Eaton 法进行地层压力计算^[7-10]。Eaton 法地层压力计算模型为

$$P_t = p_{ov} - (p_{ov} - p_w) (\Delta t_n / \Delta t)^3 \quad (1)$$

式中, Δt_n 为地层正常压实的时差, $\mu s/m$; Δt 为实测地层的时差, $\mu s/m$; p_w 为静水压力当量钻井液密度, g/cm^3 ; p_{ov} 为上覆岩层压力梯度当量钻井液密度, g/cm^3 ; P_t 为计算的地层压力梯度当量钻井液密度, g/cm^3 。

3 现场应用

对于异常高压等复杂探井来说,应用 SWD 技术能够及时地预测到井下的异常高压面位置和钻头下部的岩性变化,为选择合理的钻井液密度和确定套管下入深度提供科学依据。

SWD 资料的质量略逊于声波测井资料,但基本上与 VSP 资料相当。中途 VSP 适用于周围已有钻井或钻前地层压力预测比较有把握的地区,而 SWD 技术适用于新探区以及钻前地层压力预测把握性不大的地区。因此,对于钻前预测的地层压力比较有把握的层段,可进行中途 VSP 测井作业,一般不必要做 SWD。如果钻井作业区是新探区,钻前地层压力预测精度不高,则建议做 SWD,最好能在 SWD 反

演分析的基础上,再做中途 VSP 测井。

SWD 技术能够实时得到已钻地层的速度资料,通过对其上行波场进行反演,在比较短的时间内可得到钻头以下未钻开地层的速度,进而预测未钻开地层的压力。SWD 技术在南中国海 T1-22 井两个异常高压突变面深度确定中得到了应用,取得了非常好的效果。

图3是某油田一口探井的SWD资料处理成果。

图3中压力剖面是试验井在钻遇到第二个异常压力面(钻前预测深度2500 m)之前,尝试SWD反演速度预测的地层压力剖面,2605 m处开始地层压力系数达到1.80,2730 m处开始地层压力系数超过2.0。因此SWD预测地层压力系数大于2.0的深度(2750 m处)比钻前预测的深度(2690 m处)要深一些。

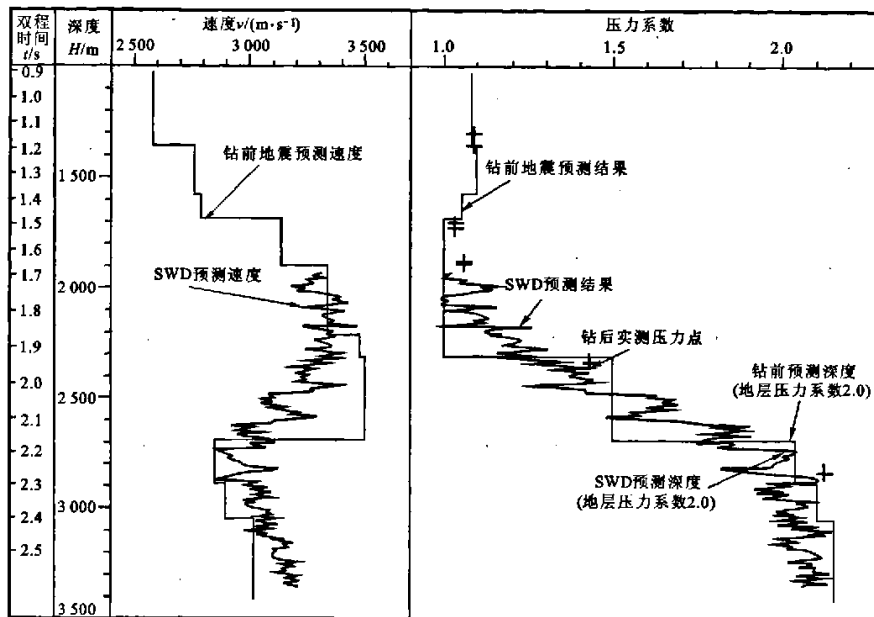


图3 SWD反演速度预测地层压力剖面

这口探井的SWD地层压力预测结果与钻后的RFT测试点的结果相比,预测深度在200 m范围内的平均预测精度超过90%,这说明SWD技术具有非常重要的应用价值。

在试验井应用过程中,根据周围已钻井的实际情况,现场技术人员普遍认为莺歌海组Ⅶ砂组为正常压力,Ⅸ砂组为异常高压,而Ⅷ砂组钻前预测属于正常压力(地层压力系数小于1.2),但缺乏直接测压资料,到底是正常压力还是异常压力,这直接关系到244.5 mm技术套管下入深度。如果Ⅷ砂组存在高压,那么必须在钻开它之前下一层套管;如果是正常压力,则必须钻完该砂组之后才能下套管,将它与下面的高压地层隔开。

针对这一技术难题,工程技术人员建议在2500 m深度进行一次SWD测井,通过精细反演,发现第二个高压面深度在2750 m以下。根据这一预测结果,建议不要在原设计的2500 m处下套管,应继续钻进。继续钻进后,钻穿了Ⅷ砂组,发现Ⅷ砂组确

为正常压力地层,现场将244.5 mm技术套管下到2707 m,比原设计多下深207 m,解决了钻井过程中的难题,保证了下一步钻井的顺利进行。

4 结 论

(1)SWD技术可以用来预测钻头下部地层的孔隙压力,在钻头下部200 m范围内地层压力预测精度达90%,为钻头下部井段钻井液密度选择提供技术指导。

(2)SWD技术可以用来预测井下异常高压面的埋藏深度,为探井的套管下入深度确定提供重要的科学依据。

参考文献:

- [1] RASMUS J C, STEPHENS R G. Real-time pore pressure evaluation utilizing MWD/LWD measurements and drilling-derived formation strength[R]. SPE 20443, 1991.

(下转第47页)

- WANG Hong-xi, WANG Jian-kai. Optimal strategy model of determining well drilling distribution[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2000, 27(3): 298-301.
- [5] 蒋祖军. 丛式井优快钻井技术在川西地区的应用[J]. 天然气工业, 2004, 23(增): 63-65.
- JIANG Zu-jun. Application of culster drilling technique with fast penetrate in West Sichuan area[J]. Natural Gas Industry, 2004, 27(sup): 63-65.
- [6] 葛云华, 鄢爱民, 高永荣, 等. 丛式水平井钻井平台规划[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(5): 94-99.
- GE Yun-hua, YAN Ai-min, GAO Yong-rong, et al. Drilling pad optimization for oilfield development by cluster horizontal wells[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(5): 94-99.
- [7] 张广垠, 由宏君, 马开良. 定向井丛式井整体开发技术[J]. 西部探矿工程, 2004(4): 76-77.
- ZHANG Guang-yin, YOU Hong-jun, MA Kai-liang. The body exploration and development technology of directional well and cluster well [J]. West-China Exploration Engineering, 2004 (4): 76-77.
- [8] WATSON W S, MATTIAFFEY D W, STILL J P. A program for optimizing offshore platform locations[R]. SPE 19126, 1989.
- [9] 苗兴东, 李映红, 范存军. 重心法选址探讨[J]. 交通标准化, 2004, 10(3): 50-52.
- MIAO Xing-dong, LI Ying-hong, FAN Cun-jun. A discussion on location selection by gravity method[J]. Communications Standardization, 2004, 10(3): 50-52.
- [10] 故运权. 运筹学教程[M]. 2版. 北京: 清华大学出版社, 2003: 141-147.
- [11] 王燕. 一种改进的 k-means 聚类算法[J]. 计算机应用与软件, 2004, 21(10): 122-123.
- WNG Yan. A modified k-means clustering algorithm [J]. Computer Applications and Software, 2004, 21(10): 122-123.
- [12] 吴继忠, 花向红, 周庆俊. 基于模糊综合评判的选址空间决策支持系统[J]. 地理空间信息, 2005, 3(4): 45-47.
- WU Ji-zhong, HUA Xiang-hong, ZHOU Qing-jun. Spatial decision support system for location selection based on fuzzy sythetic evaluation [J]. Geospatial Information, 2005, 3(4): 45-47.
- [13] 宋业新, 陈绵云, 张曙红. 基于模糊指派的多目标多工程选址决策[J]. 系统工程理论与实践, 2002, 22(1): 108-111.
- SONG Ye-xin, CHEN Mian-yun, ZHANG Shu-hong. Multi-objective decision-making method for site selecting of projects based on fuzzy assignment [J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2002, 22(1): 108-111.

(编辑 沈玉英)

(上接第43页)

- [2] SEREBRYAKOV V A. Method of estimating and predicting abnormal formation pressure [J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 1995, 13: 113-123.
- [3] 丁次乾. 矿场地球物理[M]. 东营: 石油大学出版社, 1992.
- [4] 周竹生, 周熙襄. 宽带约束反演方法[J]. 石油地球物理勘探, 1993, 28(5): 46-49.
- ZHOU Zhu-sheng, ZHOU Xi-xiang. Band-constrained inversion [J]. Oil Geophysical Prospecting, 1993, 28(5): 46-49.
- [5] 张立明. 人工神经网络的模型及其应用[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1992.
- [6] 杨文采. 神经网络算法在地球物理反演中的应用[J]. 石油物探, 1995, 34(2): 116-120.
- YANG Wen-cai. Application of neural network alorithms to geophysical inversion [J]. Geophysical Prospecting for Petrole, 1995, 34(2): 116-120.
- [7] MAZZONI R and WAHDAM T. Real-time pore and fracture pressure prediction with FEWD in the nile delta [R]. SPE/IADC 37669, 1997.
- [8] 《钻井手册》编写组. 钻井手册[M]. 北京: 石油工业出版社, 1990.
- [9] PROVOST C E. A real-time normalized rate of penetration aids in lithology and pore pressure prediction [R]. SPE 16165, 1989.
- [10] LESSO Jr W G and BURGESS T M. Pore pressure and porosity from MWD measurements [R]. SPE 14801, 1989.

(编辑 李志芬)