

PDC 钻头钻进影响因素分析

于润桥 刘春缘

杨永利

(南昌航空工业学院, 江西南昌 330034) (吐哈油田鄯善采油厂监督办, 新疆哈密 834000)

摘要 运用多元分析的方法, 结合实钻资料对PDC钻头钻进过程进行了全面系统的分析, 得到多因素相互作用下各因素对钻进过程的影响程度, 对于指导现场施工具有一定价值。

关键词 PDC 钻头 钻井参数 因素分析 钻井速度

作者简介 于润桥, 1963年生。1984年毕业于华东石油学院, 1992年获石油大学(北京)油气藏开发工程硕士学位, 教授。刘春缘, 1963年生。1985年毕业于华北石油职工大学, 1992年获本科学历, 工程师。杨永利, 1970年生。1991年毕业于西安石油学院开发系采油工程专业。

自从20世纪80年代中期PDC钻头引入我国以来, 由于其优越的性能, 很快就得到了广泛地应用, 同时也引起科技工作者的研究兴趣, 并对其进行了广泛地研究。采用典型相关分析的方法, 利用现场实钻资料在多参数相互作用的条件下, 对影响PDC钻头钻进的诸因素进行了比较全面的系统分析, 这对于现场施工具有重要的指导意义。

1 典型相关分析的意义及计算方法

地层、钻头类型、钻压、转速、钻头水力参数如钻头水功率、立管压力、泵排量等及钻井液性能是影响钻进指标——钻进速度和牙齿磨损的因素, 这是一个多因素、多目标的复杂系统, 且各因素之间又是交互作用的。研究影响PDC钻头钻进的因素就是研究钻速 V_m 、牙齿磨损 H_f 组成的线性子空间 $\{V_m, H_f\}$ 与钻进条件及钻井环境组成的线性子空间 $\{W, N, p_m, Q, N_g, \rho, \mu, H_s, H\}$ 之间的关系。这里各符号的含义依次为钻压、转速、立管压力、泵排量、钻头水功率、钻井液密度、粘度、含砂量及井深, 这就决定了典型相关分析在这一领域内的独特作用。典型相关分析是研究两组变量之间相关关系的一种多元统计方法, 它是在每一组变量中选择有代表性的综合指标——典型变量, 通过研究2组综合指标之间的关系来反映2组变量之间的关系。说的更确切些, 就是在第1组变量中, 找出一个变量的线性组合, 在第2组变量中也找出一个变量的线性组合, 使得在与第1个线性组合不相关的条件下, 这2个线性组合之间的相关系数最大。将此程序进行下去直到两组变量

之间的相关被提取完毕。这样研究2组变量之间的关系既排除了变量之间的交互作用又简化了研究方法, 因而揭示了2组变量之间的内部关系, 这就是典型相关分析。其实质是研究两组随机向量 Y, X 形成的线性子空间之间关系的一种数学方法, 正是这种线性子空间之间的关系才真正反映了随机向量 Y, X 之间的情况。典型相关分析的理论基础可参看文献[1], 其计算方法如下。

设有 N 个服从正态分布的样本 Y_1, Y_2, \dots, Y_N 及 X_1, X_2, \dots, X_N , 为叙述方便可将这两组随机向量 Y, X 统一用 X 表示, 于是有如下资料矩阵

$$X = [X_1, X_2, \dots, X_N] = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1N} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{p1} & x_{p2} & \cdots & x_{pN} \\ x_{(p+1)1} & x_{(p+1)2} & \cdots & x_{(p+1)N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{(p+g)1} & x_{(p+g)2} & \cdots & x_{(p+g)N} \end{pmatrix} \quad (1)$$

从这一资料矩阵出发, 由计算得到的协方差矩阵即为协方差的最大似然估计, 将剖分成如下形式

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sum_{11} & \sum_{12} \\ \sum_{21} & \sum_{22} \end{bmatrix} = [S_{ij}] \quad (2)$$

其中

$$S_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{l=1}^N (\bar{x}_{il} - \bar{x}_i)(\bar{x}_{jl} - \bar{x}_j) \quad (3)$$

$$\bar{x}_{il} = \frac{1}{N} \sum_{l=1}^N x_{il} \quad i, j = 1, 2, \dots, p+g \quad (4)$$

如果用 $\lambda_i, L_i (i=1, 2, \dots, p)$ 和 $\lambda_j, M_j (j=1, 2, \dots, g)$ 分别表示 \sum_{11}, \sum_{22} 的特征值及其对应的特征向量, 那么它们应满足以下关系式

$$\sum_{11}^{-1} \sum_{12} \sum_{22}^{-1} \sum_{21} L_j = \lambda_i^2 L_j \quad (5)$$

$$\sum_{22}^{-1} \sum_{21} \sum_{11}^{-1} \sum_{12} M_j = \lambda_j^2 M_j \quad (6)$$

$$\sum_{12} M_j = \lambda_i \sum_{11} L_i \quad (7)$$

$$\sum_{21} L_i = \lambda_j \sum_{22} M_j \quad (8)$$

$$L_i' \sum_{11} L_i = 1 \quad (9)$$

$$M_j' \sum_{22} M_j = 1 \quad (10)$$

解上述联立方程组得到 L_i 和 M_j , 称 $U_i = L_i' Y$ 和 $V_j = M_j' X$ 为样本的典型变量。 p 个典型相关系数的显著性可采用 Bartlett 关于大样本的 K^2 检验。典型相关分析的目的是分析原始变量之间的相互影响关系, 为此, 将反映典型变量与原始变量之间关系的几个统计量及其意义做一简介³, 以便后续讨论。

设典型变量 U, V 与原始变量的相关系数为 G_U, G_V , 则

$$G_U = \sum_{11} L \quad (11)$$

$$G_V = \sum_{22} M \quad (12)$$

G_U, G_V 是衡量原始变量与典型变量之间相关性的尺度, 例如 Y_i 与第 1 对典型变量 U_1 的相关系数 G_{U1} 最大, 则说明 Y_i 与典型变量 U_1 的关系最为密切, 反之则不甚密切, 典型相关系数可以看作该典型变量从原始变量中提取的方差。这样第 1 组典型变量 U 和第 2 组典型变量 V 提取的方差百分数分别为 $G_U' G_U / p$ 和 $G_V' G_V / q$, 因此 $G_U' G_U \lambda_i / p$ 便是第 1 组典型变量提取的方差被第 2 组典型变量重复的百分数, 也是衡量第 2 组变量对第 1 组变量影响程度的度量, 其余类同。

2 PDC 钻头钻进过程影响因素分析

典型相关分析是对已有的实际钻井资料进行深加工, 进而找出其内部规律的一种统计方法, 它的前提条件是要有大量的实际资料, 为此笔者收集了华北油田钻井一公司的 83 只 PDC 钻头的实钻资料, 每只钻头数据包括以下数项。钻进参数: 钻压, 转速, 泵压, 泵排量, 钻井液密度、粘度、含砂量, 射流水功率、冲击力、射流速度; 钻进效果指标: 钻头磨损量, 钻进速度; 不可控因素: 钻进地层; 可控因素: 钻头类型等。将钻进参数依次用下列符号表示: $W,$

$N, P_m, Q, \rho, \mu, H_s, N_j, F_j, V_j$; 钻进效果指标用 Y_m, V_m 表示, 涉及的地层为东营组和沙河街组地层, 分别用 E_d, E_s 表示, 钻头类型共计 5 个类型, 分别用下列符号表示: $B_{15m}, B_{17m}, B_{18m}, B_{20m}, B_{22m}$ 。这样研究影响 PDC 钻头钻进因素实质上就是研究钻进参数、可控因素、不可控因素与钻进效果指标之间的关系, 笔者分别进行了综合分析和固定地层固定钻头类型的典型相关分析。

2.1 PDC 钻头钻进影响因素综合分析

PDC 钻头钻进影响因素综合分析的目的是研究可控因素、不可控因素在交互作用下对钻进效果指标的综合影响关系。利用给出的典型相关分析的计算方法, 综合分析的计算结果见表 1、表 2。

表 1 综合分析计算结果

相关系数	典型相关变量
0.6347	$U_1 = 0.997V_m + 0.076Y_m$ $V_1 = 0.643E_d + 0.638E_s + 0.064B_{15m} + 0.020B_{17m}$ $+ 0.225B_{18m} + 0.142B_{20m} + 0.236B_{22m} - 0.02W$ $- 0.001N + 0.006Q + 0.069P_m - 0.055\rho - 0.001\mu$ $- 0.015H_s + 0.001F_j - 0.001N_j - 0.002V_j$
0.3988	$U_2 = 0.897V_m + 0.213Y_m$ $V_2 = 0.348E_d + 0.386E_s - 0.082B_{15m} + 0.087B_{17m}$ $- 0.112B_{18m} + 0.06B_{20m} + 0.089B_{22m} - 0.002W$ $+ 0.001N + 0.04Q - 0.013P_m + 0.034\rho + 0.003\mu$ $- 0.178H_s - 0.001F_j - 0.007N_j + 0.018V_j$

表 2 综合分析相关系数检验结果

项目	第 1 对典型变量	第 2 对典型变量
相关系数 K^2 统计值	51.9845	12.9010
检验临界值	47.7(显著 95%)	26.3(显著 95%)

从 K^2 检验结果可知, 对于两组计算结果均为第 1 对典型变量显著相关, 有实际意义; 而第 2 对典型变量则不相关, 无实际意义。因此下面只对这有意义的 3 对典型变量进行讨论。由于典型变量主要是由那些载荷较高的原始变量所决定, 在表 1 中第 1 对典型变量来说, U_1 是钻速 V_m 和钻头磨损量 Y_m 的线性组合, V_m 的载荷为 0.997, Y_m 的载荷仅为 0.076。而 V_1 是钻头工作环境和钻进参数钻压、转速、泵压、排量、钻井液密度、粘度、含砂量、射流水功率、射流冲击力和射流速度的线性组合, 因此对这一对典型变量 U_1, V_1 的相关实质上是钻速与钻进措施和钻头工作环境的相关。由前面讨论知, 典型变量前的系数即为各变量的权重, 它反映了该变量的相对重要性, 其意义是, 当其它因素不变时, 该变量

变化 1 个单位所引起的总量变化的大小, 其平方即为该变量在总量中所占的份额的大小。因此, 可以从对第 1 对典型相关变量的分析中得到以下几点认识。

(1) 在井底充分“清洁”的条件下, 影响 PDC 钻头机械钻速的最主要因素是钻头类型与地层的匹配, 这两项占了钻速总变异 85% 以上。这说明针对所钻地层选择合适的 PDC 钻头类型是 PDC 钻头使用的关键, 地层与 PDC 钻头类型对钻速的影响程度达 85%, 这是由 PDC 钻头的特殊结构决定的。

(2) 在水力参数中, 射流速度是影响 PDC 钻头机械钻速的主要因素, 这一点不同于牙轮钻头, 应引起现场钻井技术人员的重视。

(3) 在钻井液性能中, 钻井液含砂量对 PDC 钻头的机械钻速有显著的负面影响, 占 17% 以上。这再次说明井眼清洁对充分发挥 PDC 钻头的优势是至关重要的。

2.2 钻进参数对 PDC 钻头钻进效果的影响分析

在 PDC 钻头钻进影响因素综合分析中, 钻进过程中的可控因素即钻进参数如钻压、转速、水力参数、钻井液性能等, 每一单因素对钻进效果的影响都很小。但是在地层与钻头类型相互匹配的条件下, 合理设计钻头的钻进参数, 对充分发挥 PDC 钻头的优势就显得重要了。为了进一步研究 PDC 钻头的使用特性, 笔者固定钻头类型、固定地层即对东营组地层的 25 只 B_{15m} 型钻头进行了典型相关分析, 计算结果见表 3、表 4。

表 3 固定地层固定钻头类型分析结果

相关系数	典型相关变量
0.7729	$U_1 = 0.998V_m + 0.063Y_m$ $V_1 = 0.001W + 0.002N + 0.054Q + 0.065p_m$ $- 0.891\rho - 0.009\mu - 0.105H_s$ $- 0.001F_j + 0.002N_j + 0.011V_j$
0.5790	$U_2 = 0.063V_m + 0.978Y_m$ $V_2 = 0.002W + 0.037N + 0.001Q - 0.012p_m$ $+ 0.996\rho - 0.04\mu - 0.09H_s + 0.001F_j$ $- 0.001N_j + 0.004V_j$

表 4 固定地层固定钻头类型分析相关系数检验结果

项目	第 1 对典型变量	第 2 对典型变量
相关系数 K^2 统计值	51.9845	32.9010
检验临界值	47.7(显著 95%)	26.3(显著 95%)

通过对这两对典型相关变量的分析, 可以得到以下几点认识。

(1) 在地层与钻头相互匹配的条件下, 影响 PDC 钻头机械钻速和钻头磨损的主要因素是钻井液性能和水力参数, 这两项的影响程度达 98%。这是由于 PDC 钻头钻进的机械参数相对固定所决定的, 在这种情况下, PDC 钻头在使用过程中钻井液性能和水力参数的设计就显得极为重要, 特别是钻井液密度的设计, 其影响程度达 89%。

(2) 在保证井内压力平衡和清洁井眼的条件下, 应尽可能地降低钻井液密度, 这有利于提高 PDC 钻头的机械钻速, 减缓钻头的磨损。

(3) 不同于牙轮钻头, 水力参数对 PDC 钻头的的影响不甚显著, 从计算结果来看, 水力参数对机械钻速的影响不超过 2%。因此在保证井眼清洁的前提下, 可适当降低泵压和排量, 这可以减少钻井液泵的维护时间和费用。

3 结论

(1) 钻进地层与钻头类型的相互匹配, 是 PDC 钻头使用中最为关键的因素, 其影响程度达 85%, 应大力开展 PDC 钻头优选技术的研究, 在现场不要盲目地追求使用 PDC 钻头, 应根据地层选取合适的钻头类型, 以达到最佳的使用效果。

(2) 使用 PDC 钻头应保证井眼充分净化, 在此条件下尽可能地降低钻井液密度。

(3) 由于 PDC 钻头特殊的结构和使用要求, 使得水力破岩效果不甚明显, 因此在保证正常循环的前提下, 应尽可能的降低钻井泵的维护时间和维护费用。

参 考 文 献

- [1] 倪荣富等编译. PDC 钻头在旋转钻井和井下马达钻井中的使用评述. 国外钻井技术, 1988, 10(1)
- [2] 王学仁著. 地质数据的多变量统计分析. 北京: 科学出版社, 1989
- [3] 胡定国著. 多元数据分析方法. 天津: 南开大学出版社, 1990

(收稿日期 2001-10-29)

[编辑 张振清]

drilling technology, as well as the R&D on the specialized tools has been carried out in Shengli Oilfield. The drilling engineering plan, steering drilling and MWD technology, directional tie-back and sidetracking, drilling fluid program and plastic cementing, etc., were focused and described in detail. Multi-lateral well drilling practices have been performed in 2 wells, and remarkable improvement on oil production has been noticed. Moreover, by drilling these two wells, a set of multi-lateral drilling technologies, which suit for the present drilling technology standard and equipment state in Shengli have been found.

Key words Shengli Oilfield multi-lateral well drilling directional tieback drilling fluid plastic cement

ANALYSIS TO SHALLOW GAS BLOWOUT IN SHENGLI OILFIELD AND ITS PREVENTING TECHNOLOGY

by Fan Zhaoxiang (No. 1 Drilling Company of Bohai Drilling Corporation, Shengli Petroleum Administration), Yuan Xiping

Abstract Shallow gas blowout is very dangerous and may cause serious damages, and preventing of it is a world-wide problem in drilling industry. As shallow gas reservoirs are widely distributed in Shengli oilfield, shallow gas blowout frequently takes place in this area. The four characteristics of shallow gas blowout in Shengli oilfield, as well as the seven causes were investigated, and a set of preventing measures have been applied accordingly, from the whole process of drilling engineering plan to field drilling operation and cementing. Field practices showed that these blowout preventing and controlling technologies are feasible, and can be carried out effectively in this area.

Key words Shengli Oilfield shallow gas blowout blowout control

GEOLOGICAL FACTORS OF CASING DAMAGE AND ITS CONTROLLING TECHNOLOGY

by Chen Hongwei, Fan Chun, Wang Haixiang, Zhao Haixia (No. 1 Production Plant of Zhongyuan Oilfield Branch Company)

Abstract During the continuous oilfield development, casing damages may seriously threaten the stable production capability. There are many causes of casing damage, e.g., geological factors, corrosion factors, and because of down-hole stimulation operations, etc. The geological factors are investigated in this paper, by taking Wenliu oilfield as an example, and focusing on the rock elastic-plastic driving during abnormal high-pressured oilfield development, and the reversible and irreversible deformation of reservoir. These two factors are analyzed based on the relevant elastic mechanics. Corresponding controlling methods are also presented for reference.

Key words salt bed inhomogeneity load fault block casing damage control technology

DESIGNING AND APPLICATION OF THICK WALL CASING OF HIGH COLLAPSING STRENGTH

by Sun Shuzhen (Exploration and Development Research Inst. of Zhongyuan Oilfield Branch Company)

Abstract Most casing damages in Zhongyuan oilfield take place in the salt bed formations, and this has remained a problem that seriously threatens oil and gas production for long time. Causes of casing damages were investigated, and a series of measures in casing design have been adopted accordingly, but with unsatisfactory results. To prevent casing damage and expand well life, a thick wall casing, TP130TT of high collapsing strength was designed and developed, based on the analysis to the mechanical conditions of casing and its damaging tendency in the salt bed. The matching technology and tools were also developed. This type of casing has been run in over 200 wells, cementing quality and pressure test results were all satisfactory, with 100 percent of successful rate.

Key words salt bed casing damage casing collapsing strength development application

ANALYSIS TO FACTORS INFLUENCING THE PERFORMANCE OF PDC BIT

by Yu Runqiao, Liu Chunyuan (Nanchang Aviation Institute), Yang Yongli

Abstract By using the method of multivariate analysis, and combining with real drilling data, an overall and systemic analysis to the drilling process of PDC bit is carried out. Factors of influencing the drilling performance of PDC bit, such as drilling parameters, penetrating formations and bit types, etc. are investigated, and their influencing degrees are obtained based on the model of typical correlation analysis. This study is beneficial for field drilling using PDC bit.

Key words polycrystalline diamond bit drilling parameter factor analysis drilling rate

PRODUCTIVITY STUDY OF HORIZONTAL WELLS PATTERN

by Cheng Linsong, Zhang Jianqi, Li Chunlan (University of Petroleum, Beijing)

Abstract With the development of horizontal well technology, the fashion of exploiting pattern has been gradually changed to horizontal well pattern from single horizontal well, so it's very important to forecast the product condition of the horizontal well pattern exactly. In this paper, the analytical productivity of single horizontal well network in the boundless oil field is discussed, and with theory analyzing, the method is found to forecast productivity of the horizontal well network union. By comparing with the experimental productivity, the method has been also modified and the precision of the new semi-analytical and semi-experimental method is much better than before.