

塔东古城地区钻头优选及应用

徐永辉, 陈琳琳, 高大勇, 陈绍云, 王永吉

(大庆钻探工程公司钻井工程技术研究院, 黑龙江 大庆 163413)

摘要:针对大庆油田塔东区块古城地区地层含砾、岩石硬度大、85%以上井段采用牙轮钻进,导致深部地层钻速慢,钻头磨损严重等问题,在传统钻速预测方法基础上,引入钻头磨损、地层岩性、应用井深等相关参数,建立钻头破岩效率计算方法,并结合所钻遇的地层岩性、测井资料及钻头类型等,建立钻头优选模型,实现钻头选型量化,提出了适用于古城地区的钻头序列推荐方案。现场成功应用 5 口井,单只钻头进尺和平均机械钻速均得到了很大的提高,实现了钻头优选提速提效的目的,为古城地区的高效钻井施工提供了重要的技术支撑。

关键词:钻头选型;破岩效率;优选模型;古城地区

中图分类号:TE921⁺.1;P634.4 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2016)09-0052-04

Optimization and Application of Bit in Gucheng Region of Daqing/XU Yong-hui, CHEN Lin-lin, GAO Da-yong, CHEN Shao-yun, WANG Yong-ji (Drilling Engineering and Technology Research Institute of Daqing Drilling and Exploration Engineering Company, Daqing Heilongjiang 163413, China)

Abstract: Poor drilling efficiency in deep formation and serious bit wearing are caused by gravel-containing formation, hard rock and roller cone drilling for more than 85% of the well sections in Gucheng region of Tadong block of Daqing. Based on the traditional drilling speed prediction method, the calculation method of rock breaking efficiency is established by introducing the related parameters of bit wearing, formation lithology, well depth and so on, and based on the formation lithology, logging data and drill bit types, the optimization model of drill bit is set up to realize quantitative bit selection, bit series recommendations suitable for Gucheng region is put forward, which was successfully applied in 5 wells, the footage of single bit and the average penetration rate have been greatly improved, the bit optimization provides technical basis for efficient drilling construction in Gucheng region.

Key words: bit selection; rock-breaking efficiency; optimization model; Gucheng region

合理选取钻头,可以减轻钻头牙齿、轴承和保径的磨损,延长钻头使用寿命,保持较高的经济性和机械钻速。当钻头类型与所钻地层相适合时,钻头形成正常磨损,切削齿始终保持很锐利的形状,使用后期的机械钻速仍较高。目前塔东古城地区应用钻头型号众多,钻头性能参差不齐,有必要开展钻头优化设计与试验,优选出与地层地质特点相匹配的钻头序列,提高钻头机械钻速与进尺。

1 塔东古城地区地质特点

- (1) 上部成岩性差,松散煤层、复合盐膏层易坍塌、缩径;
- (2) 地层剪强度高、研磨性强,提速难度大;
- (3) 断层发育、地层倾角大,井斜控制难度大。

2 钻头优选难点

- (1) 取心等地质资料少,钻头优选难度大。12.7万 km²面积上,6000 m 以上深井仅 6 口,无超过 7000 m 的深井,而新部署的井均在 6000 m 以深,城探 1 井更是达到 7280 m,下部地层钻头优选难度尤为突出。
- (2) 上部地层松散、易坍塌、缩径,钻头需具备一定复杂处理能力。缩径垮塌地层钻头在完成正常钻进后,还需要进行倒划眼功能。
- (3) 却尔却克“黑被子”泥岩段塑性强、剪剪强度高,常规 PDC 钻进无法有效吃入,牙轮钻头研磨严重,单只钻头进尺低。
- (4) 地层倾角大,控斜打快剪剪难度大。在提高钻井速度的同时,钻头侧向切削能力还应满足高陡构造地层防斜的需求。

收稿日期:2015-11-12; 修回日期:2016-07-01

作者简介:徐永辉,男,汉族,1968年生,高级工程师,主要从事钻井技术研究和相关管理工作,黑龙江省大庆市八百垅钻井研究院设计中心, xuyonghui@cnpc.com.cn。

3 钻头的优选

3.1 岩性预测

选取古城区块近几年所钻 4 口井的资料进行处理分析。通过对常规测井曲线进行处理,结合深层取心和录井资料,利用正交图版法进行了岩性划分(如图 1 所示),为钻头优选提供依据^[1]。

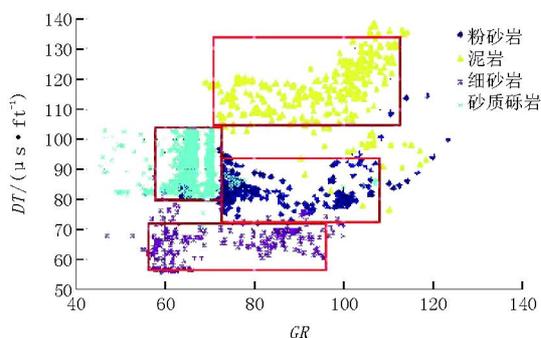


图 1 古城地区砂泥岩 GR - DT 正交图版

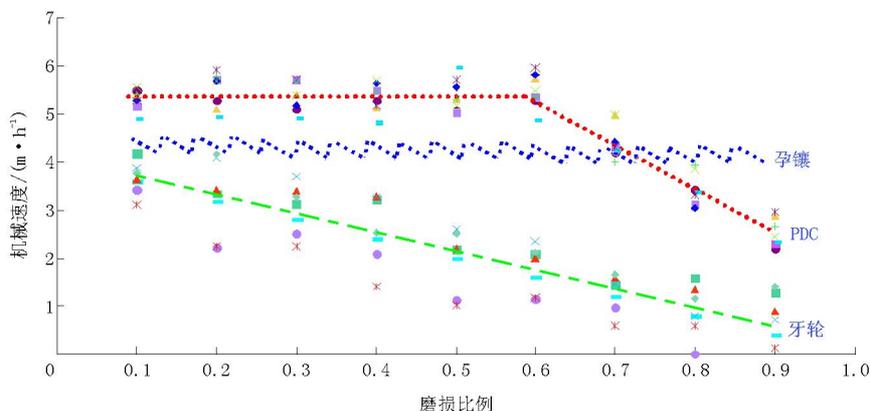


图 2 不同钻头类型与钻速关系曲线

$$if(T < T_{\text{额}}), V \sim V_1, V = 0 \quad (3)$$

式中: V ——机械钻速, m/h ; T ——磨损时间, h ; $T_{\text{额}}$ ——额定磨损时间, h ; V_1 ——钻头造型后初始机械钻速, m/h 。

3.2.2 钻头进尺与钻速关系(如图 3 所示)

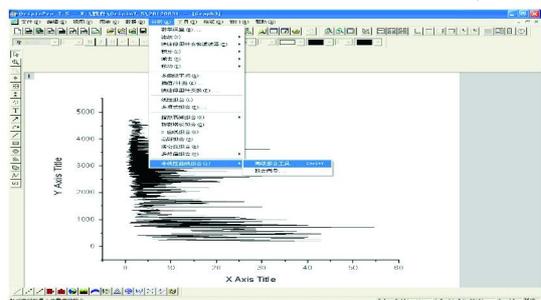


图 3 Originpro7.5 软件应用界面

运用 Originpro7.5 软件对实钻钻头进尺与机械钻速进行归类分析,发现二者存在如下关系:

3.2 钻头优选方法建立

在传统钻速预测方法基础上,引入钻头磨损、地层岩性、应用井深等相关参数,建立破岩效率计算方法^[2]。

3.2.1 不同钻头类型与钻速关系

根据目前钻头破岩方式,PDC 钻头主要搭配螺杆钻具,实现复合钻进,牙轮钻头以转盘钻进为主,孕镶金刚石钻头则多数与涡轮钻具配合使用^[3],因此它们在机械钻速与钻头自身磨损方面也表现出不同规律,详见图 2。

由图 2 可以得出相应 PDC、牙轮、孕镶金刚石钻头钻速关系式分别为式(1)、(2)、(3):

$$V \sim if(T < 60\% T_{\text{额}}), V \sim V_1, V \sim V_1 - 6.25(T - 0.6) \quad (1)$$

$$V \sim V_1 - 4.50T \quad (2)$$

$$V = 1.15^{-0.006H} 3H^{3/8} \quad (4)$$

式中: V ——机械钻速, m/h ; H ——单只钻头进尺, m 。

3.2.3 钻压与钻速关系(参见图 4)

钻压是井底破岩的必要条件,直接影响到钻进速度和钻头的破坏形式。随着钻压的增加,钻速会不断提高,而钻头也会加速磨损,影响钻速。当钻压加到大于岩石压入硬度以上时,切削齿切入岩石产生体积破碎,钻进效果才能明显,才属正常钻进。通过提高 1 倍钻压,试验牙轮钻头钻进不同级别的岩石效果,结果表明:不同的岩石对增大钻压时所获得的钻速是不相同的。其中以中硬岩层钻速的增长率较高,而较软和较硬的岩层则相对增长不大^[4]。

$$V \sim \log_{\alpha} W^b \quad (5)$$

式中: V ——机械钻速, m/h ; W ——钻压, t 。

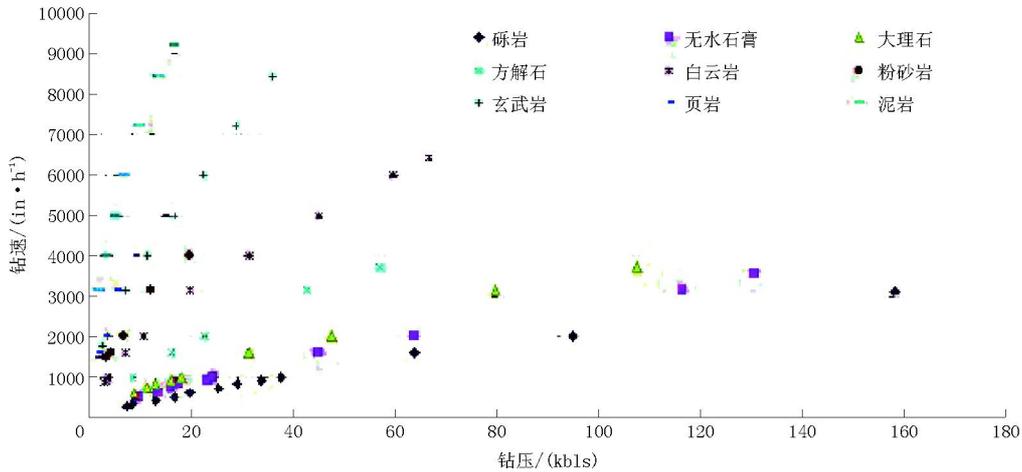


图4 不同岩性不同钻压条件下钻速关系曲线

3.2.4 转速与钻速关系

旋转钻进的过程是切削齿在轴心压力作用下,克服岩石的抗压极限强度而压入岩石,在旋转力矩作用下,切削刃克服岩石抗剪极限强度,达到钻进的目的。对不同地区不同钻井方式下转速与钻速分类统计发现,转速与钻速服从正态分布关系法则:

$$N(\mu, \sigma^2) = N(60, 20) = \frac{1}{\sqrt{40\pi}} e^{-\frac{(x-60)^2}{120}} \quad (6)$$

$$N(\mu, \sigma^2) = N(120, 80) = \frac{1}{\sqrt{160\pi}} e^{-\frac{(x-120)^2}{160}} \quad (7)$$

$$N(\mu, \sigma^2) = N(1000, 200) = \frac{1}{\sqrt{400\pi}} e^{-\frac{(x-1000)^2}{2000}} \quad (8)$$

式中: μ ——统计学中期望值, r/min; σ^2 ——方差, 1。

式(6)、(7)、(8)分别为牙轮钻头、PDC钻头、孕镶钻头转速与钻速关系式。牙轮钻头期望值为60 r/min, PDC钻头期望值为120 r/min, 孕镶金刚石钻头期望值为1000 r/min。

3.2.5 破岩效率计算方法建立

将上述表达式代入后, 可得破岩效率计算方法:

$$\sum_{T_d} V = \frac{f(H)f(T)f(N)(2.2W)^a}{2.6(1.526)^{K_d}} \quad (9)$$

式中: V ——机械钻速, m/h; H ——进尺, m; T ——磨损时间, h; N ——钻头转速, r/min; W ——钻压, t; K_d ——进尺岩石可钻性级值, 1。

3.2.6 钻头优选模型建立

由式(9)可知, 在某一区块钻井数量相对较多时, 采用的钻头型号、钻压、转速、水力参数等相对固定时, 公式中只剩下 H 、 V 、 N 、 K_d 四个变量, 其余则为常数:

$$R = f(H)f(\Delta N)f(V)f(K_d) \quad (10)$$

同时考虑到每种类型钻头价格不同, 进一步引入钻头成本参数 C , 构造起一个钻头“综合指数 R ”, 实现在“定性”选型方法基础上, 根据所钻遇的地层岩性、测井资料及钻头类型等资料确定所钻井段的级值与适合于这种级别地层的钻头类型, 利用已钻井的实钻数据进行综合评价, 用最优化理论和模糊数学中聚类分析的方法进行钻头优选, 实现钻头选型定量化^[5-10]。

$$R = \frac{H^a V^b}{\Delta N^c C^d} / K_{dc} \quad (11)$$

由试验数据回归公式: $K_{dc} = 173.28e^{-0.0549\Delta T_p}$, $r = 0.922$, 可得:

$$R = \frac{H^a V^b}{\Delta N^c C^d} / 173.28e^{-0.0549\Delta T_p} \quad (12)$$

式中: R ——钻头综合评定指数; H ——钻头进尺, m; V ——机械钻速, m/h; ΔN ——钻头磨损程度; C ——钻头成本, 万元; ΔT_p ——地层岩石声波时差, $\mu\text{s}/\text{m}$; a 、 b 、 c 、 d 、 f ——分别为对应项的权系数。

4 古城地区钻头序列建立

4.1 地质条件对钻头性能需求

(1) 一开: 古城地区位于沙漠腹地, 一开上部存在流砂层, 同时考虑钻头性价比, 因此该井段主要以低过流面积的牙轮钻头为主。

(2) 二开: 除白垩系中部 2500~2700 m 井段含砾外, 其余井段多为岩石可钻性中偏低的砂泥岩井段, 因此该井段主要选用具有较强破岩能力的 19 mm 切削齿、5 刀翼、低密度布齿的 PDC 钻头, 而砾

岩井段则采用常规牙轮钻头。

(3) 三开:本井段主要为却尔却克“黑被子”泥岩段,中上部表现为强塑性,下部强塑性且中下部存在砂砾岩,主要选用具有高频周向冲击破岩能力的扭力冲击器/液动旋冲工具来提速。因此,该井段主要选用 16 mm 复合片、5~6 刀翼、中密度布齿、双排齿、减震齿的 PDC 钻头来配合该工具。

(4) 四开:上部鹰山组灰岩孔隙发育选用进口高耐磨 PDC 钻头,下部寒武系白云岩地层则选用进口牙轮钻头(双金属密封、滑动轴承)来解决高硬度、高研磨、高温的问题。

4.2 古城区块钻头序列

采用钻头优选方法,结合岩性预测和地质条件对钻头的不同需求,初步建立如表 1 所示古城地区钻头序列。

表 1 塔东古城地区钻头序列

序号	开次	尺寸/ mm	井深/ m	钻头型号	钻进井段/ m	层位	钻速/ (m·h ⁻¹)
1	一开	476.3	700	SKG124	0~700	第三系	19.0
				SKG124	700~800	第三系	18.0
2	二开	333.4	3200	MS1952SS	800~2400	白垩系	20.0
				HJT517G	2400~2600	三叠系	4.0
				MS1952SS	2600~3200	石炭系	4.5
				HJT537GK	3200~3250	奥陶系	1.5
3	三开	241.3	5800	TS1952SS	3250~3750	奥陶系	4.5
				Q635	3750~5300	奥陶系	3.0
				MDS1613	5300~5800	奥陶系	2.0
				HJT517G	5800~5850	鹰山组	1.2
				M1365D	5850~5960	鹰山组	1.8
4	四开	168.3	6700	CK406D	5960~6100	鹰山组	1.5
				MDS1613	6100~6520	蓬莱坝组	1.4
				XR30T	6520~6700	寒武系	1.2

5 现场应用情况

该项技术在古城 7、古城 8、古城 9、古城 12、城探 1 等 5 口井中成功应用,与邻井古城 4、古城 6 相比,平均井深增加 511.30 m 情况下,平均单井钻头节约 25.5 只(按单只牙轮 7 万元计算,可节约钻头费用 178.50 万元),平均单只进尺提高 114.00%,平均机械钻速提高 89.50%,井斜基本控制在标准范围内,降低了综合投资成本,实现了钻头优选提速提效的目的(参见表 2)。

表 2 古城地区钻头优选应用对比情况

井号	井深/ m	平均机械钻速/ (m·h ⁻¹)	各开次钻头数				全井 使用钻 头/只	备注
			一开	二开	三开	四开		
古城 4	6550.00	1.41	1	7	52	11	71	未优选钻头
古城 6	6169.00	3.01	1	13	10	8	32	未优选钻头
平均	6359.50	2.21	1	10	31	9.5	51.5	
古城 7	6789.00	4.68	1	4	7	8	20	优选钻头
城探 1	7280.00	3.92	1	4	11	8	24	优选钻头
古城 8	6770.00	3.07	1	6	18	11	36	优选钻头
古城 9	6810.00	3.75	1	6	4	13	24	优选钻头
古城 12	6705.00	5.52	1	6	7	12	26	优选钻头
平均	6870.80	4.19	1	6	9.7	12	28.67	

6 结论和建议

(1) 分析不同钻头类型、岩性、钻压、转速、进尺等参数与机械钻速关系,建立钻头破岩效率计算方法,为钻头优选提供依据。

(2) 建立钻头优选模型,优选出古城地区各层段最优钻头,建立古城地区钻头序列,现场应用表明,效果明显。

(3) 由于四开小井眼缺乏可选的高效钻头,因此建议进一步引进国外新型复合钻头、孕镶 PDC 钻头、360PDC 钻头等开展现场试验,进一步提高该地区钻井速度。

参考文献:

- [1] 杨进,高德利,刘书杰,等.测井资料在钻头选型方面的应用[J].石油大学学报(自然科学版),1998,22(2):29-31.
- [2] 张辉,高德利.钻头选型通用方法研究[J].石油大学学报(自然科学版),2005,29(6):45-49.
- [3] 梁涛,赵义.金 3 井混镶金刚石钻头的设计与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(2):45-47.
- [4] 纪明师,张富成,张庆华,等.砂砾岩地层钻头合理选型研究及应用[J].石油钻采工艺,2005,27(3):13-14.
- [5] 路小帅,王越之,雷满,等.利用数理统计方法对钻头进行优选及评价[J].断块油气田,2007,14(6):63-65.
- [6] 王国庆,王建波,陈广,等.焦页非常规页岩气井优快钻井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(10):17-21.
- [7] 闫永辉.鄂北地区钻头优选探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(4):40-41.
- [8] 蒋晓红,王坤,李果,等.四川气田 GM 区块钻头优选评价[J].石油地质与工程,2014,28(6):98-100.
- [9] 李文明,陈绍云,刘永贵.优快钻井配套技术在希 50-54 井应用实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(6):4-6,12.
- [10] 王建艳,刘永贵,艾鑫.大庆油田莺深 2 井钻井设计与实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(9):24-27.