

大位移井钻井摩阻预测及井眼轨道优选^{*}

董德仁 齐月魁 何卫滨 泰建民

(大港油田集团公司钻采工艺研究院, 天津 300280)

摘要 大位移井钻井的施工难度主要来自钻井的摩阻大, 因此在钻大位移井时必须较准确地预测摩阻, 根据摩阻预测情况优选井眼轨道。近年来经过多次实践和研究大位移井的设计和施工情况, 分析了钻井摩阻产生的原因及影响大位移井正常钻进的主要因素, 提出了应利用成熟的软件来选择低摩阻的井眼轨道, 总结了摩阻预测以及井眼轨道优选的方法, 为同类井的施工提供了经验。

关键词 大位移 摩阻预测 井眼轨道

中图分类号: TE243 **文献标识码**: A

随着水平位移的延长, 大位移井的钻井摩阻越来越大, 严重地影响着井眼轨迹的控制、各种管柱的正常下入以及钻机的正常工作, 因此, 降低钻井摩阻是大位移钻井时首要解决的问题。钻井摩阻除了在施工中采取一些技术措施能够有效控制或在一定范围内有所降低外, 设计低摩阻井眼轨道是非常重要的手段。在设计井眼轨道时, 应用摩阻预测技术测算各种类型井眼轨道的摩阻, 可选择出低摩阻井眼轨道, 同时为钻机、钻井液类型以及下套管方式的选择等提供依据, 为现场施工提供参考。因此, 如何预测钻井摩阻和利用钻井摩阻预测来选择低摩阻井眼轨道是大位移钻井工程设计中的关键技术。

1 钻井摩阻预测

钻井摩阻包括轴向运动摩阻和旋转运动摩阻, 在钻井中轴向摩阻表现在大钩载荷上, 旋转摩阻表现在顶驱或转盘所输出的扭矩上。

(1) 钻柱在井眼内的轴向摩擦力

$$F_f = \mu F_n \quad (1)$$

式中, F_f 表示摩擦力; μ 表示摩阻因数; F_n 表示物体之间的压力。

(2) 扭矩

$$N = \mu F_n R \quad (2)$$

式中, R 为钻柱的半径。

钻井摩阻主要来自 2 方面, 一方面是钻柱与井

眼之间的摩阻因数, 另一方面是钻柱与井眼之间的压力, 因此必须确定出钻柱与井眼之间的摩阻因数和压力才能预测出钻井的摩阻。在钻井中影响摩阻因数的主要因素是钻井液的润滑性, 不同的钻井液具有不同的润滑性, 油基钻井液的润滑性 > 水基钻井液的润滑性 > 盐水钻井液的润滑性。

国外各大石油勘探开发公司在大位移钻井实践中都掌握了钻具与套管、钻具与裸眼之间的摩阻因数, 并应用于新井的设计摩阻、扭矩预测。例如, BP 勘探开发公司对摩阻因数进行了研究总结, 得出了各类钻井液条件下的摩阻因数经验值, 见表 1。

表 1 BP 公司摩阻因数经验数值

钻井液类型	套管内摩阻因数	裸眼内摩阻因数
油基钻井液	0.17	0.21
水基钻井液	0.24	0.29
盐水	0.30	0.30

多年来大港油田在大位移钻井方面进行了较多的实践, 成功钻进了红 9X1、港深 69X1 井和冀东油田的北堡西 3X1、蛤 1X1 等大位移井。最早在红 9X1 和港深 69X1 两口井的设计中就应用了摩阻预测技术, 由于当时没有经验, 选取摩阻因数的误差较大。但是经过 2 口井的实钻, 获得了钻井摩阻值, 然后根据所得数据进行模拟计算, 反推钻柱与井眼的摩阻因数, 得到在水基钻井液条件下, 钻柱在套管内的摩阻因数和在裸眼内的摩阻因数。在后来所钻的

^{*}大港油田集团公司科研课题: “大位移井钻采工艺技术研究与应用” (科 2001 - 8 - 3)。

作者简介: 董德仁, 1986 年毕业于重庆石油学校钻井工程专业, 现从事定向井设计和研究工作, 工程师。电话: 022 - 25925320。

北堡西 3X1和蛤 1X1井中,认为冀东油田和大港油田同属于渤海湾地区,地层特性和地质构造基本相同,因此,应用该摩阻因数为 2口井的钻井工程优化设计进行了摩阻预测。在实际钻井中,为了给下部井眼的钻进提供真实可靠依据,监测井眼的清洁和新钻井眼的光滑程度,即时对钻井液的维护提出要求,对钻井扭矩进行了实钻跟踪测量。从表 2和表 3的对比看出,预测与实钻的误差值很小。

表 2 北堡西 3X1井钻柱扭矩预测与实测对比

井深	设计预测扭矩	实钻监测扭矩	预测比实钻误差
/m	/kN · m	/kN · m	/%
2326	23.5	24	+2.1
2760	28.6	28	-2.1
3053	32.4	34	+4.9
4189	38.5	38	-1.3

表 3 蛤 1X1井钻柱扭矩预测与实测对比

井深	设计预测扭矩	实钻监测扭矩	预测比实钻误差
/m	/kN · m	/kN · m	/%
2300	16.2	16.5	+1.8
2500	19.0	20.0	+5.0
2700	21.4	21.5	+0.5
2900	23.8	23.0	-3.5
3300	28.9	29.0	+0.3

在任何一口井的实钻过程中,都可以根据实测钻井扭矩和大钩载荷反推上部井眼钻井摩阻因数,然后用于预测下部井眼钻井的摩阻,为制订钻井工艺措施提供参考依据。

在预测大位移井的摩阻时,选用一套较好的计算软件是非常重要的。因为有些软件建立了较精确的钻柱与井壁压力计算的模型,有些软件却十分粗略。实际上钻柱与井壁之间的压力主要来自钻柱的重量在井眼低边上的法向分力,其次是由于钻柱的弯曲形成的张力对井壁的压力。在此方面国内外的一些钻井软件制作者经过多年大量的理论和实践研究,建立了较好的计算模型,能够较准确地测算出大位移井的钻井摩阻,十分方便于国内大位移井的钻

井设计和施工。港深 69X1、北堡西 3X1和蛤 1X1井的摩阻计算都采用了 LANDMARK软件,实践证明该软件能够满足大位移井钻井摩阻预测的要求。

2 大位移井井眼轨道优选

实际上随着水平位移的延伸,钻井扭矩是影响大位移井正常钻进的主要因素。往往在钻一口大位移井时,钻机的提升力可满足需要,而钻机的扭矩却达不到钻井要求。在前边提到过的港 69X1井就出现过此种情况。港 69X1井的水平位移是 3118.04 m,垂深为 4318.14 m,井深为 5464.43 m,造斜点在 400 m,最大井斜角为 46.4°,Ø44.5 mm 技术套管下深为 4050 m,当使用水基钻井液钻进 Ø215.9 mm 井眼到 4850 m 时,钻井扭矩达到 44.16 kN · m,由于钻机顶驱的输出扭矩为 46 kN · m,因此,经常出现憋停顶驱的现象。后来在钻井液中加入含油性较高的润滑剂,才勉强完成该井的钻井施工。

钻井扭矩的大小与钻杆躺在井眼低边的长度和钻杆在井眼弯曲段的张力成正比关系,在造斜点以下的钻杆越长,钻柱重量越大,钻柱与井眼的摩擦力越大,钻井扭矩也就越大,因此,在设计井眼轨道时尽量缩短斜井段的长度。以下通过两种特例,阐述如何应用摩阻预测来选择低摩阻井眼轨道。

2.1 位移 3600 m、垂深 4300 m的大位移井

从表面上看,位移与垂深之比小于 1,一般认为选用浅造斜井眼轨道,采用低井斜角比较合适。但是,正是由于井斜角小、浅造斜,使得斜井段较长,增加了钻柱与井壁之间的正压力,使钻井摩阻增大。如果采用深造斜,虽然增大了井斜角,但斜井段大量缩短,减少了钻柱与井壁之间的正压力,可使钻井摩阻降低。从表 4和表 5中可以看出,虽然深造斜剖面的井眼比浅造斜剖面的井眼长了 1000 m,但是钻井扭矩降低了很多。如果港 69X1井在当时采用了深造斜井眼轨道,就不会有顶驱憋停的现象。

表 4 垂深 4300 m、位移 3600 m大位移井 2种剖面主要参数

剖面类型	造斜点 /m	增斜率 /(°) · (30 m) ⁻¹	井斜角 /(°)	稳斜点深 /m	井底斜深 /m
浅造斜	300.00	1.8	44.96	1049.36	5748.78
深造斜	2400.00	1.8	71.36	3589.34	6702.94

表 5 垂深 4300 m、位移 3600 m大位移井 2种剖面最大摩阻 扭矩

剖面类型	起钻载荷	下钻载荷	钻井扭矩	旋转钻进载荷	滑动钻进载荷	钻柱质量
	/kN	/kN	/kN · m	/kN	/kN	/10 ³ kg
浅造斜	1930.1	921.4	46.0	1249.1	839.2	227.2
深造斜	1810.1	979.1	31.8	1222.3	862.2	256.0

2 2 位移 4000 m、垂深 2500 m的大位移井

由于位移与垂深之比较大,浅造斜是该类井的必然选择。但造斜段的类型有 2种,一种为圆弧型,造斜率为恒定值;另一种为准悬链型,初始造斜率较小,在每钻进一个井段后,造斜率增加 0.5 (°)/30 m。由表 6和表 7可知,正因为准悬链型井眼轨道的初始造斜率较小,延长上部低井斜角的井眼长度,大钩载荷增加,说明钻柱的轴向阻力减小,从而增加

管柱向下的滑动力,有利于继续延长井眼和各种管柱的下入。但因斜井段比较长,增加了钻井扭矩。

从钻井施工操作上讲,由于圆弧型井眼造斜率是恒定值,在实施造斜过程中比较容易控制。而准悬链型井眼由于造斜率是变化的,在实施造斜过程中较难控制。因此,一般在大位移井眼剖面设计中,为了降低钻井扭矩和方便于钻井施工常常使用圆弧型造斜井段。

表 6 垂深 2500 m、位移 4000 m大位移井 2种剖面设计主要参数

剖面类型	造斜点深 /m	造斜率 /(°·(30 m) ⁻¹)	井斜角 /(°)	稳斜点深 /m	井底斜深 /m
圆弧型	500.00	1.8	71.90	1698.31	5214.07
准悬链型	500.00	1.5~2.5	71.95	1598.42	5235.21

表 7 垂深 2500 m、位移 4000 m大位移井 2种剖面最大钻井摩阻、扭矩

剖面类型	起钻载荷 /kN	下钻载荷 /kN	钻井扭矩 /kN·m	旋转钻进载荷 /kN	滑动钻进载荷 /kN	钻柱质量 /10 ³ kg
圆弧型	1397.7	437.1	38.0	724.1	323.5	205.9
准悬链型	1421.4	437.5	39.5	724.1	321.4	206.8

3 结论

- (1)要想较准确地预测大位移钻井摩阻,首先要通过实钻经验获得较可靠的钻柱与井眼之间的摩阻因数,其次要选用一套计算模型较好的计算软件。
- (2)在钻井施工时应及时通过监测大钩载荷和钻井扭矩推算井眼摩阻因数,给井眼润滑和清洁提供参考依据,为下部井眼的钻进预测摩阻和扭矩提供实钻摩阻因数。
- (3)在选择大位移井眼轨道时,应测算各种类型井眼轨道下的大钩载荷和钻井扭矩,通过比较选

择摩阻和扭矩小、便于施工的井眼轨道。

参 考 文 献

[1] 李克向,周煜辉.国外大位移井钻井技术.北京:石油工业出版社,1998
[2] 《钻井手册(甲方)》编写组.钻井手册.北京:石油工业出版社,1990

(收稿日期 2005-03-10)
编辑 薛改珍]

大港赵东油田第 1口大位移千吨井建成并投产

中国石油对外合作项目大港赵东油田新完钻的 ZD - C39(HP)井 2005年 8月 16日建成并投产,日产原油 1018 t。这是赵东油田投产以来第 1口日产量超过千吨的大位移水平采油井,也是迄今为止中国石油水平位移和垂直深度比例难度最大的 1口大位移水平采油井。
ZD - C39 (HP)井完钻井深 4193 m,垂深 1358

m,最大井斜角 89.32°,井底水平位移 3604.7 m,水垂比达 2.65,目的层水平段钻进 547 m。该井于 2005年 7月 18日开钻,8月 4日完钻,钻井作业历时 18 d,完井作业历时 4 d,其成功完钻和投产,将对赵东油田原油产量的稳定及完成年度原油生产任务作出重大贡献。
(供稿 金 玲)

OIL DRILLING & PRODUCTION TECHNOLOGY

Vol 27 supplement June 2005

ABSTRACT

APPLICATION OF FORMATION PRESSURE PROFILE TO COMPLEX WELL DRILLING

Liang Hesheng, He Moujun (Drilling and Production Technology Research Institute, Dagang Oilfield Group Company, Tianjin 300280); Lv Jun, Chang Qing, Zhao Junhua

Abstract In order to protect easy drilling, protect reservoir, it is important to forecast pore pressure, caving pressure and breakdown pressure. Predict those pressure with logging data of adjacent well and drilling engineering data, using method of Eaton to predict pore pressure, stretch break norm to predict breakdown pressure, mole - coulomb norm to predict caving pressure. Predicted pressure of Qihua N9X1 well and 9X2 well, designed a suit of hole structure different from traditional hole structure, it has increase some casing cost, but it guaranteed successful drilling and protect reservoir, advanced outcome of oil.

Key words Dagang Oilfield pore pressure breakdown pressure caving pressure Exploration drilling

IMPROVING CEMENTING QUALITY METHODS FOR EXTENDED REACH WELL

Qi Yuekui, Xu Xuejun, Li Hongjun, Fu Jianhua, Yin Wei (Drilling and Production Technology Research Institute, Dagang Oilfield Group Company, Tianjin 300280), Wang Changzai

Abstract This paper analyzed the difficulties of extended reach well cementing, and then studies were conducted aiming to cement slurry system, casing center, accessories select and apply, field operation, et al. Technic operations of extended reach well cementing quality is hold up, field practice gained marked effect, formed system and mature cementing technique of extended reach well. The results exert important effect on the improve cementing quality of extended reach well in Dagang Oilfield.

Key words extended reach well roll wheel centralizer cement slurry system

APPLICATION OF ROTARY PERCUSSION DRILLING TECHNOLOGY IN REVERSE THRUST NAPPE STRUCTURE FORMATION

Wang Lei, Wang Wengang, Dou Tongwei, Xu Lihua, Wang Xueyi (Drilling and Production Technology Research Institute, Dagang Oilfield Group Company, Tianjin 300280)

Abstract A characteristic of the old formation of Qingxi Oilfield, such as silurian system and carboniferous - permian system, is formation high and steep, rock drillable performance badly, and lead to lower drilling efficiency and hole deviation control too hard during drilling. Rotary percussion drilling technology is a efficacious method for hard rock formation, to solve the drilling difficult problem in reverse thrust nappe structure

formation, DGS hydraulic impactor and matching technology is applied in long114 and jin hail two wells in Yumen Oilfield, and gained a preferable effect. Mechanical efficiency of penetration has increased by over 30%. Practice demonstrate that the technology can improve effectively rate of penetration, prevent hole deviation, decrease bit wear and tear, reduce drilling cost, and is a sort of better drilling technology for hard rock formation. This paper introduces reverse thrust nappe structure formation characteristic and drilling difficulty, hydraulic impactor characteristic, rock breaking mechanism and field application.

Key words reverse thrust nappe structure formation rotary percussion drilling DGS hydraulic impactor application rate of penetration

FRICTION PREDICTION METHOD FOR EXTENDED REACH WELL DURING CASING RUNNING

Qi Yuekui, Xu Xuejun, Li Hongjun, Dong Deren, Li Min, Li Ling (Drilling and Production Technology Research Institute, Dagang Oilfield Group Company, Tianjin 300280)

Abstract Friction of extended reach well is under the influence of many factors, and it's factor is difficult to make certain. Through field application of load data has been collected from hoisting and transfer to lower level, and calculate in reverse friction factor by application software, and directs field casing running work. By measuring casing running load and designing correlation, speak volumes for friction factor by data calculate in reverse can direct field operation. In addition, casing running work has matching tools, such as roll wheel centralizer, circulation stuck freeing equipment, floating collar, etc. and these tools assured casing running all right.

Key words friction roll wheel centralizer circulation stuck freeing equipment

FRICTION PREDICTION AND HOLE TRAJECTORY OPTIMIZING DESIGN FOR EXTENDED REACH WELL

Dong Deren, Qi Yuekui, He Weibin, Tai Jiamin (Drilling and Production Technology Research Institute, Dagang Oilfield Group Company, Tianjin 300280)

Abstract During drilling of extended reach well, drilling operations difficulty is friction too big so we must prediction in true friction while drilling of extended reach well, based on the thing of friction prediction optimizing design hole trajectory by many practice and research on design and operation ways of extended reach drilling, summarizing methods of friction prediction and hole trajectory optimizing, and provided experience for similar well.

Key words extended reach friction prediction hole trajectory