

起下钻对油气上窜速度的影响及校正

Influence of Tripping and Tripping on Oil and Gas Up-channeling Velocity and Its Correction

张君毅 黎芷君 罗良仪 卓云

Junyi Zhang Zhijun Li Liangyi Luo Yun Zhuo

中石油川庆钻探公司川东钻探公司 中国·重庆 400021

CNPC Chuanqing Drilling Company Chuandong Drilling Company, Chongqing, 400021, China

摘要: 钻井现场计算油气上窜速度最为常用的是迟到时间法, 而该法没有考虑起下钻具的影响, 所以计算结果与实际存在一定误差。论文研究了起下钻具对油气上窜速度的影响, 并推导出误差校正计算式。用某作业井同层油气不同阶段循环后效的实际情况来计算对比, 验证了误差校正公式的可靠性。该公式消除了起下钻具对油气滑脱上窜速度的影响, 计算出的油气上窜速度比用迟到时间法计算更能反映油气上窜真实情况。对钻井现场具有实际使用意义。

Abstract: The most common calculation of oil and gas upward movement speed in the drilling site is the late time method, and this method does not consider the influence of the drilling tool, so the calculation results and the actual error. This paper studies the effect of drilling tools on oil and gas upward velocity and derived the error correction. The reliability of the error calibration formula is verified by comparing the actual cycle results of different stages of the same working well. The formula eliminates the effect of the drilling tool on the oil and gas sliding upward speed, and the calculated oil and gas upward speed is better reflected than the late time method. It has practical significance for the drilling site.

关键词: 油气上窜速度; 迟到时间法; 起下钻具; 误差校正; 计算方法

Keywords: oil and gas up-channeling velocity; late time method; tripping tool; error calibration; calculation method

DOI: 10.12346/se.v4i3.6750

1 引言

众所周知, 在钻井现场计算油气上窜速度最为常用的是迟到时间法。

2 不同井眼段起下钻具的误差分析

众所周知, 在钻井现场计算油气上窜速度最为常用的是迟到时间法。

迟到时间法计算公式^[1]:

$$v = \frac{H_{\text{油}} - \frac{H_{\text{钻头}}}{t_{\text{迟}}}t}{t_{\text{停}}} \quad (1)$$

式中, v ——油气上窜速度, m/h;

$H_{\text{油}}$ ——油气层顶部井深, m;

$H_{\text{钻头}}$ ——循环钻井液时钻头所在深度, m;

$t_{\text{迟}}$ ——钻头所在深度迟到时间, h;

t ——从开泵循环到见到油气显示的时间, h;

$t_{\text{停}}$ ——从停泵起钻至本次开泵的总停泵时间, h。

即便准确获取了 $H_{\text{油}}$ 、 $H_{\text{钻头}}$ 、 $t_{\text{迟}}$ 、 t 、 $t_{\text{停}}$ 这些数值, 用式(1)来计算也存在一定误差, 因为该式没考虑起下钻具的影响^[2]。实际上在起下钻过程中, 钻具往往处于闭排状态, 这可能导致环空中的油气界面大幅度上移, 影响迟到时间法对油气上窜速度的计算结果^[3]。下面对起下钻具产生的油气上窜速度误差进行具体分析。

在油气层钻进, 起钻前要进行短程起下钻, 然后循环计算油气上窜速度。Q/SY02552—2018《钻井井控技术规范》中明确表示: “短程起下钻基本做法一般情况下是短程起下钻15柱钻具, 然后循环计算油气上窜速度。”影响最大的是,

【作者简介】张君毅(1987-), 男, 中国四川遂宁人, 硕士, 工程师, 从事钻井技术和固井工艺管理研究。

钻具在气层以下15柱以远。下面,分三个不同尺寸井眼分析:

215.9mm井眼:采用钻具127mm钻杆,钻具带回压阀,油气层底部高于钻具最下端15柱钻杆以上(一柱长度按照30m计算),短程起下钻杆15柱用时3h,井筒内油气上窜真实值为80m/h,循环期间油气不上窜,则起下钻过程中油气在井内位移情况见表1。

152.4mm井眼:采用钻具88.9mm钻杆,钻具带回压阀,油气层底部高于钻具最下端15柱钻杆以上(一柱长度按照30m计算),短程起下钻杆15柱用时3h,井筒内油气上窜真实值为80m/h,循环期间油气不上窜,则起下钻过程中油

气在井内位移情况见表2。

这种情况下通过迟到时间法计算得到的油气上窜速度为:真实上窜速度+油气位移产生的速度误差值=128.33m/h。

311.2mm井眼:采用钻具127mm钻杆,钻具带回压阀,油气层底部高于钻具最下端15柱钻杆以上(一柱长度按照30m计算),短程起下钻杆15柱用时3h,井筒内油气上窜真实值为80m/h,循环期间油气不上窜,则起下钻过程中油气在井内位移情况见表3。

这种情况下通过迟到时间法计算得到的油气上窜速度为:真实上窜速度+油气位移产生的速度误差值=101.93m/h。

表1 215.9mm井眼、127mm钻杆、短程起下钻杆15柱油气在井内位移情况

井眼尺寸	井内钻杆规格 (尺寸 δ 壁厚)	环空体积 (除钻具外体积)	钻杆 外体积	钻杆 水眼体积	钻杆 本体体积		
215.9mm	127mm δ 9.19mm	0.02393m ³ /m	0.01266m ³ /m	0.00926m ³ /m	0.0034m ³ /m		
工况	泥浆量	对应环空 段长	油气位移距离	作业时间	起下钻造成 油气在环空 上移距离	油气上窜 速度误差值	速度 误差范围
起钻15柱	灌浆 1.53m ³	63.94m	下移 63.94m	3h	174.25m	58.08m/h	72.60%
下钻15柱	返浆 5.70m ³	238.19m	上移 238.19m				

表2 152.4mm井眼、88.9mm钻杆、短程起下钻杆15柱油气在井内位移情况

井眼尺寸	井内钻杆规格 (尺寸 δ 壁厚)	环空体积 (除钻具外体积)	钻杆 外体积	钻杆 水眼体积	钻杆 本体体积		
152.4mm	88.9mm δ 9.35mm	0.0120m ³ /m	0.0062m ³ /m	0.00387m ³ /m	0.00233m ³ /m		
工况	泥浆量	对应环空 段长	油气位移距离	作业时间	起下钻造成 油气在环空 上移距离	油气上窜 速度误差值	速度 误差范围
起钻15柱	灌浆 1.05m ³	87.5m	下移 87.5m	3h	145m	48.33m/h	60.41%
下钻15柱	返浆 2.79m ³	232.5m	上移 232.5m				

表3 311.2mm井眼、127mm钻杆、短程起下钻杆15柱油气在井内位移情况

井眼尺寸	井内钻杆规格 (尺寸 δ 壁厚)	环空体积 (除钻具外体积)	钻杆 外体积	钻杆 水眼体积	钻杆 本体体积		
311.2mm	127mm δ 9.19mm	0.0634m ³ /m	0.01266m ³ /m	0.00926m ³ /m	0.0034m ³ /m		
工况	泥浆量	对应环空 段长	油气位移距离	作业时间	起下钻造成 油气在环空 上移距离	油气上窜 速度误差值	速度 误差范围
起钻15柱	灌浆 1.53m ³	24.13m	下移 24.13m	3h	65.78m	21.93m/h	27.41%
下钻15柱	返浆 5.70m ³	89.91m	上移 89.91m				

3 误差计算式推导

根据上述三种情况,考虑钻具在距离油气层不同深度时,推导起下钻具导致的油气上窜速度误差公式:

①当钻具在油气层以下,且距离小于起下钻具的长度时:

$$\Delta v = \frac{H_{\text{距}} \times V_{\text{钻内}}}{V_{\text{环外}} \times t_{\text{停}}} \quad (2)$$

式中: Δv ——起下钻具造成的油气上窜速度误差值, m/h;

$H_{\text{距}}$ ——油气层距离井内钻具最下端的深度, m;

$V_{\text{钻内}}$ ——每米钻具水眼体积, m^3/m ;

$V_{\text{环外}}$ ——每米环空除去钻具外体积的剩余体积, m^3/m ;

$t_{\text{停}}$ ——从停泵起钻至本次开泵的总停泵时间, h。

公式(2)的计算结果如表4所示。

②当钻具在油气层以下,且距离大于或等于起下钻具的长度时:

$$\Delta v = \frac{H_{\text{下}} \times V_{\text{钻外}} - H_{\text{起}} \times V_{\text{钻本}}}{V_{\text{环外}} \times t_{\text{停}}} \quad (3)$$

式中: Δv ——起下钻具造成的油气上窜速度误差值, m/h;

$H_{\text{起}}$ ——油气层下方起出的钻具长度, m;

$H_{\text{下}}$ ——油气层下方下入的钻具长度, m;

$V_{\text{钻外}}$ ——每米钻具外表总体积, m^3/m ;

$V_{\text{钻本}}$ ——每米钻具本体体积, m^3/m ;

$V_{\text{环外}}$ ——每米环空除去钻具外体积的剩余体积, m^3/m ;

$t_{\text{停}}$ ——从停泵起钻至本次开泵的总停泵时间, h。

公式(3)的计算结果如表5所示。

③当钻具在油气层内或其上时:

$$\Delta v = 0 \quad (4)$$

式中: Δv ——起下钻具造成的油气上窜速度误差值, m/h。

根据以上计算结果,可以得到下述推论:

推论1:当钻具在油气层以下,且距离小于短起下钻具的长度时,迟到时间法计算的油气上窜速度误差与油气层距离井内钻具最下端深度有关,深度越大,产生的速度误差越大。

推论2:当钻具在油气层以下,且距离大于或等于短起下钻具的长度时,迟到时间法计算的油气上窜速度误差与短起下钻具的长度有关,长度越长,产生的速度误差越大。

推论3:当钻具在油气层中或其上时,迟到时间法计算的油气上窜速度误差与短起下钻具的长度无明显相关性。

推论4:在井眼与井下钻具的常规搭配方式下,井眼小于311.2mm时,短程起下钻带来的油气上窜速度误差较大;井眼大于或等于311.2mm时,钻具起下带来的误差较小,可忽略不计。

推论5:起下钻具时间越长,产生的油气上窜速度误差越小。

表4用公式(2)计算结果

搭配方式		气层底距离井内钻具最下端深度(m)								
井眼(mm)	钻杆(mm)	50	100	150	200	250	300	350	400	450
		速度误差(m/h)								
444.5	127	0.65	1.3	1.95	2.6	3.25	3.9	4.55	5.2	5.85
311.2	127	1.46	2.92	4.38	5.84	7.3	8.76	10.22	11.68	13.14
215.9	127	3.87	7.74	11.61	15.48	19.35	23.22	27.09	30.96	34.83
152.4	101.6	5.59	11.18	16.77	22.36	27.95	33.54	39.13	44.72	50.31
152.4	88.9	3.23	6.46	9.69	12.92	16.15	19.38	22.61	25.84	29.07
149.2	101.6	6.01	12.02	18.03	24.04	30.05	36.06	42.07	48.08	54.09
149.2	88.9	3.42	6.84	10.26	13.68	17.1	20.52	23.94	27.36	30.78
103	73	5.56	11.12	16.68	22.24	27.8	33.36	38.92	44.48	50.04

表5用公式(3)计算结果

搭配方式		气层底距离井内钻具最下端深度								
井眼(mm)	钻杆(mm)	450	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
		速度误差(m/h)								
444.5	127	5.85	6.5	7.8	9.1	10.4	11.7	13	14.3	15.6
311.2	127	13.14	14.6	17.52	20.44	23.36	26.28	29.2	32.12	35.04
215.9	127	34.83	38.7	46.44	54.18	61.92	69.66	77.4	85.14	92.88
152.4	101.6	50.31	55.9	67.08	78.26	89.44	100.62	111.8	122.98	134.16
152.4	88.9	29.07	32.3	38.76	45.22	51.68	58.14	64.6	71.06	77.52
149.2	101.6	54.09	60.1	72.12	84.14	96.16	108.18	120.2	132.22	144.24
149.2	88.9	30.78	34.2	40.66	47.12	53.58	60.04	66.5	72.96	79.42
103	73	50.04	55.6	66.72	77.84	88.96	100.08	111.2	122.32	133.44

4 误差公式运用和可靠性验证

下面引用某井起下钻循环排后效的例子来深度解析钻具起下对油气上窜速度产生的影响,并验证起下钻具的油气上窜速度误差公式(2)(3)(4)的可靠性。

4.1 井况

井深 5323.35m;井型:直井;井眼尺寸:149.2mm;井内钻具:下部 88.9mm 钻杆(井底带回压阀)×2700m+上部 101.6mm 钻杆×2623.35m(88.9mm 钻杆壁厚 9.35mm,101.6mm 钻杆壁厚 8.38mm);井眼存在两个油气层:油气层①对应井深 3049.78m,油气层②对应井深 5244m;循环排量:37.8m³/h。

起下钻工序:

- 第一步:井底短程起下钻 15 柱,循环一周半;
- 第二步:起钻至油气层①处,循环一周,起钻完;
- 第三步:下钻至油气层①处,循环一周;
- 第四步:下钻至井底,循环一周。

下面分别是“从井底进行短程起下钻 15 柱后循环”“下钻至油气层①后循环”“下钻至井底循环”这 3 种情况下对应的录井综合曲线图(见图 1、图 2、图 3)。

4.2 相关数据拾取

环空体积(井内无钻具):0.0175m³/m,101.6mm 钻杆外体积:0.0081m³/m,101.6mm 钻杆水眼体积:0.00565m³/m,101.6mm 钻杆本体体积:0.00245m³/m,88.9mm 钻杆外体积:0.0062m³/m,88.9mm 钻杆水眼体积:0.00387m³/m,88.9mm 钻杆本体体积:0.00233m³/m,环空体积(除 101.6mm 钻杆外体积):0.0094m³/m,环空体积(除 88.9mm 钻杆外体积):0.0113m³/m。

油气层①处循环迟到时间:0.893h,油气层②处循环迟到时间:1.396h,井底处循环迟到时间:1.459h。

“井底短程起下钻 15 柱后循环”的停泵总时间 t_1 为 2.2h。

“下钻至油气层①后循环”的停泵总时间 t_2 为 18h。

“下钻至井底后循环”对于油气层①处的停泵总时间 t_3 为 6.2h,对于油气层②处的停泵总时间 t_4 为 30.2h。

4.3 对图 1 的计算和校正

图 1 基本情况:循环位置井底附近 H5298.57m;对于油气层①,从开泵循环到见到油气显示的时间 t 为 44min(即 0.733h);对于油气层②,从开泵循环到见到油气显示的时间 t 为 83min(即 1.383h)。

将所需数据带入迟到时间法公式(1),得到:

油气层①处的油气上窜速度:176.27m/h;油气层②处的油气上窜速度:28.00m/h。

将所需数据代入起下钻具油气上窜速度误差公式(2)(3)(4),得到:

油气层①处的油气上窜速度误差值:122.94m/h;油气层②处的油气上窜速度误差值:12.18m/h。

校订误差,从而得到各油气层处油气上窜真实速度:油

气层①处油气上窜速度 53.33m/h;油气层②处的油气上窜速度:15.82m/h。

4.4 对图 2 的计算和校正

图 2 基本情况:循环位置油气层①附近 H3067.97m;对于油气层①,从开泵循环到见到油气显示的时间 t 为 41min(即 0.683h)。

将所需数据带入迟到时间法公式(1),得到:

油气层①处的油气上窜速度:39.07m/h。

将所需数据带入起下钻具油气上窜速度误差公式(2)(3)(4),得到:

油气层①处的油气上窜速度误差值:0.61m/h(可忽略不计)。

校订误差,从而得到各油气层处油气上窜真实速度:油气层①处油气上窜速度 38.46m/h。

4.5 对图 3 的计算和校正

图 3 基本情况:循环位置井底附近 H5298.57m;对于油气层①,从开泵循环到见到油气显示的时间 t 为 13min(即 0.217h);对于油气层②,从开泵循环到见到油气显示的时间 t 为 78min(即 1.3h)。

将所需数据带入迟到时间法公式(1),得到:

油气层①处的油气上窜速度:364.79m/h;油气层②处的油气上窜速度:17.31m/h。

将所需数据代入起下钻具油气上窜速度误差公式(2)(3)(4),得到:

油气层①处的油气上窜速度误差值:310.02m/h;油气层②处的油气上窜速度误差值:0.89m/h(可忽略不计)。

校订误差,从而得到各油气层处油气上窜真实速度:油气层①处油气上窜速度:54.77m/h;油气层②处的油气上窜速度:16.42m/h。

4.6 迟到时间法的校正计算式

迟到时间法误差校订计算油气上窜速度的公式为:

$$v = \frac{H_{油} - \frac{H_{钻头}}{t_{迟}} \times t}{t_{停}} - \frac{H_{下} \times V_{钻外} - H_{起} \times V_{钻本}}{V_{环外} \times t_{停}} \quad (5)$$

按一柱钻具 30m 计算,公式(5)可转化为:

$$v = \frac{H_{油} - \frac{H_{钻头}}{t_{迟}} \times t}{t_{停}} - \frac{30n_{下} \times V_{钻外} - 30n_{起} \times V_{钻本}}{V_{环外} \times t_{停}} \quad (6)$$

式中: v ——油气上窜速度, m/h;

$H_{油}$ ——油气层顶部井深, m;

$H_{钻头}$ ——循环钻井液时钻头所在深度, m;

$t_{迟}$ ——钻头所在深度迟到时间, h;

t ——从开泵循环到见到油气显示的时间, h;

$t_{停}$ ——从停泵起钻至本次开泵的总停泵时间, h;

$H_{起}$ ——油气层下方起出的钻具长度, m;

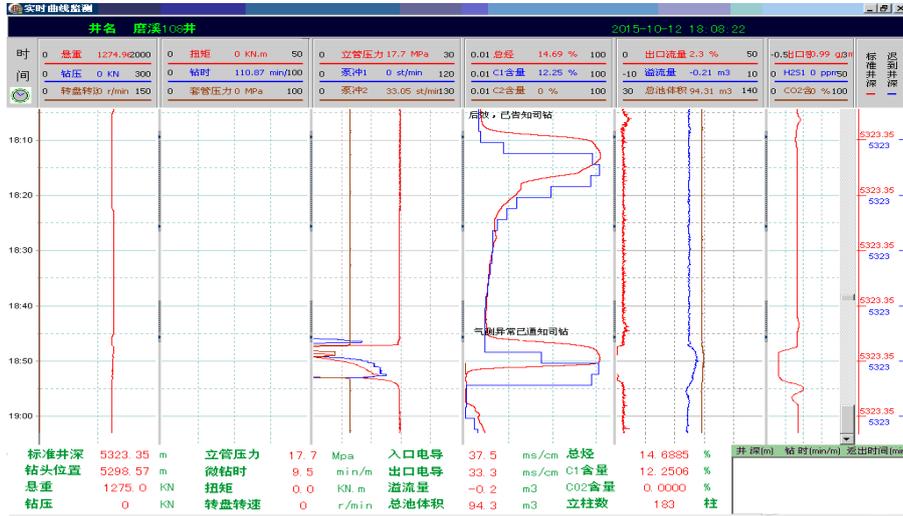


图 1 从井底进行短程起下钻 15 柱后循环的录井综合曲线图

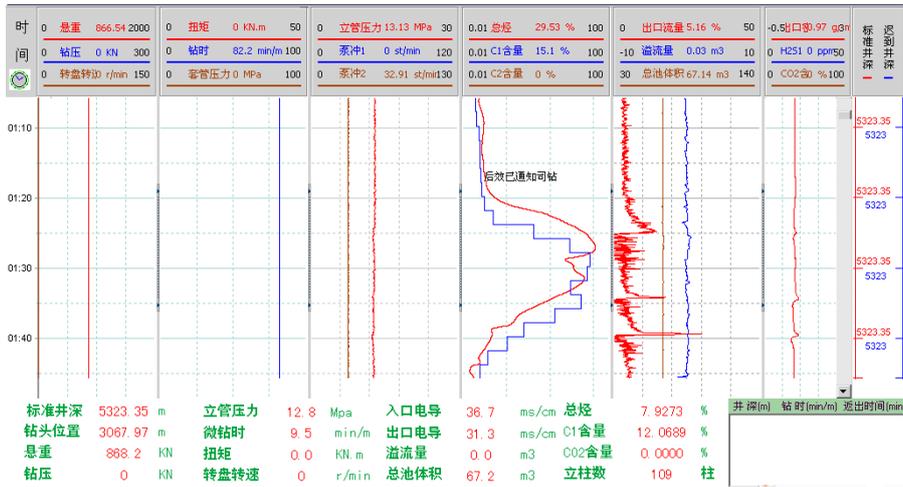


图 2 下钻至油气层①后循环的录井综合曲线图

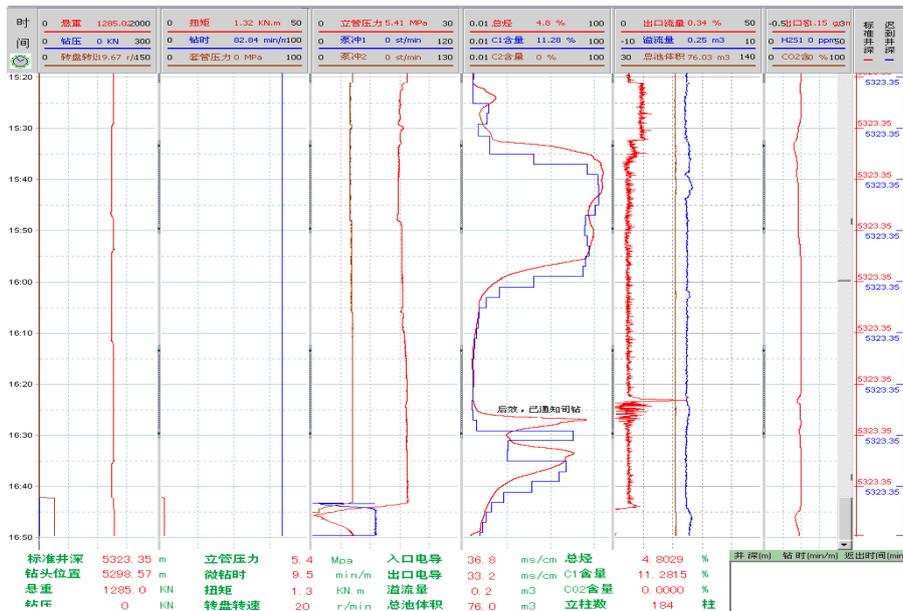


图 3 下钻至井底后循环的录井综合曲线图

- $H_{下}$ ——油气层下方下入的钻具长度, m;
- $V_{钻外}$ ——每米钻具外表总体积, m^3/m ;
- $V_{钻本}$ ——每米钻具本体体积, m^3/m ;
- $V_{环外}$ ——每米环空除去钻具外体积的剩余体积, m^3/m ;
- $n_{下}$ ——油气层下方下入钻具的柱数;
- $n_{起}$ ——油气层下方起出钻具的柱数。

特别说明:使用迟到时间法误差校订公式计算油气上窜速度,需要满足两个条件:一是 $H_{油}$ 、 $H_{钻头}$ 、 $t_{迟}$ 、 t 、 $t_{停}$ 取值要准确,二是循环排后效时烃值曲线能够出现明显拐点。

4.7 对计算结果的分析

钻具在油气层上下不同深度起下钻时的窜速误差:以油气层①为参照,在油气层下方起下钻具长度分别为450m、18.19m、2230.6m,对应的速度误差值分别为122.94m/h、0.61m/h、310.02m/h,可见钻具在油气层以下越长,迟到时间法计算产生的油气上窜速度误差越大;当钻具在油气层中或其上时,起下钻具的误差校订对于油气上窜速度基本无影响。

用迟到时间法计算油气层①处的油气上窜速度分别为176.27m/h、39.07m/h、364.79m/h,进行误差校订后油气层①处的油气上窜速度分别为53.33m/h、38.46m/h、54.77m/h。计算油气层②处的油气上窜速度分别为28.00m/h、17.31m/h,校订后油气层②处的油气上窜速度分别为15.82m/h、16.42m/h。由此可见,误差校订公式可靠性很高。

以油气层②为参照,证明停泵时间越长,迟到时间法计算产生的油气上窜速度误差值越小。

同时以油气层①、②为参照,说明当钻具在油气层中或其上,起下钻具后使用迟到时间法计算产生的油气上窜速度误差小,甚至可忽略不计。

5 结论

结论1:起下钻具对油气上窜速度的计算有很大的影响,尤其是小井眼、钻具在油气层以下时,误差的校订尤为重要。

结论2:误差校订公式比常规迟到时间法更能反映油气上窜真实情况,消除了起下钻具对油气滑脱上窜速度的影响,对钻井现场油气上窜速度的判断具有实际使用意义和经济价值。

结论3:用迟到时间法计算的油气上窜速度,停泵时间越长,误差越小;井眼越大,误差越小。

结论4:钻具在油气层中或其上的(短)起下钻,用迟到时间法计算结果与实际基本吻合。

结论5:钻具在油气层以下的(短)起下钻,钻具下端距离油气层底部越远,用迟到时间法计算的结果误差越大。误差校订计算式更适用于钻具在油气层以下的(短)起下钻,校订后的油气上窜速度更为真实。

参考文献

- [1] 宋广健,严建奇,王丽珍,等.油气上窜速度计算方法的改进与应用[J].石油钻采工艺,2010,32(5):17-19.
- [2] 李基伟,柳贡慧,李军,等.油气上窜速度的精确计算方法[J].科学技术与工程,2014,14(22):180-184.
- [3] 王显光,柴龙,何仲,等.气窜速度计算方法探讨与应用[J].钻采工艺,2020,43(2):7-10.