

关于钻井工程中井漏预防及堵漏技术分析

兰英杰（长城钻探工程有限公司钻井一公司长庆项目部，辽宁 盘锦 124010）

摘要：开展钻井作业的过程中首先需要确保安全第一，其中井漏会严重威胁到钻井作业的安全，带来巨大损失的同时也加重了油气勘探作业的难度。本次研究中针对钻井工程中出现的井漏现象进行预防同时对相应技术进行分析。

关键词：钻井工程；井漏；预防；技术分析

0 引言

井漏可以出现在任何类型的钻井作业当中，特别是在各种工作液存在压强差的情况下，造成井漏会使工作液深入到地下。在钻井作业中出现井漏是一种非常复杂的情况，一方面会带来不便，另一方面也会造成损失，这种损失不仅仅表现在经济方面，还表现在时间、人员、设备方面，为后续的钻井工作也会造成很大的困难。截至目前为止，在漏失底层特点的基础上，井漏可以大致分为渗透性、裂缝性、溶洞性。无论哪一种类型的井漏均属于难题，在国际范围内尚未得到有效解决。所以在油气勘探工作中不仅要大力发展钻井技术，还需要高度重视井漏问题，通过多学科交叉融合的方式提升钻井工程效率，避免因井漏造成的种种施工安全隐患。

1 HTHP 模拟堵漏实验与装置测评

虽然堵漏剂是一种很常见的钻井材料，但是长期以来并没有统一的检验标准。实验是在室内开展的，在室内环境下怎样正确对堵漏剂的效果进行评价涉及到堵漏剂的实际使用效果^[1]。

1.1 现阶段堵漏实验存在的问题

①作业压力小，高压环境下并不能达到理想的堵漏效果；②实验环境温度过低，未达到模拟温度因此并不能准确测定温度对堵漏剂的影响；③剪切速率范围过窄，并不能满足静态堵漏的条件要求；④无法准确测评堵漏完成后封堵层的实际承受压力；⑤不仅实验误差大，且存在大量的重复性试验。因为实验几乎不能实现对实际作业环境的模拟，因此实际上不存在任何意义。

1.2 HTHP 堵漏模拟实验与测评

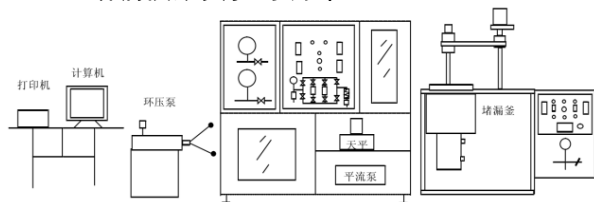


图1 HTHP 堵漏模拟实验装置

为了使实验环境最大限度上接近实际作业效果，这样可以更加有效的对堵漏进行有效测评。HTHP 可以对不同温度、不同压力环境、不同剪切速率下钻井液动态、静态堵漏效果进行测评，包括对堵漏成功后封堵层承载力的评价。图1所示为HTHP 堵漏模拟实验装置外观侧视图。模拟实验针对不同作业条件下堵漏剂、钻井液的

实际封堵效果，承载力实验仪可以对岩芯、封堵裂缝的承载力进行测评。

2 漏层定位

钻井防漏作业组重要的前提就是进行准确的漏层定位。我国现阶段在开展漏层定位时主要是是靠经验，没有任何技术依据，这样一来准确率也是随机的，防漏成功率也自然下降^[2]。

2.1 立压变化法漏层定位原理

钻井作业过程中如果出现进出井漏，泵入井当中的一部分钻井液就会渗入地下，还有一部分钻进液就会通过上环空返到地面上，这样一来漏层上方环空压就会缩小，立管压力也会发生变化，如图2所示。

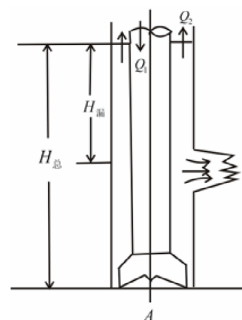


图2 漏失井

可以明显看出在漏层下方，漏失前与漏失后损耗的压力几乎是相同的，所以流量 Q_2 下降，压力消耗也会下降，计算此时的立压变化：

$$\Delta P = P_{dx} - p'_{dx} \quad (1)$$

式中： ΔP —井漏前与井漏后的立压变化； P_{dx} 、 p'_{dx} —井漏前与井漏后，漏层上方环空压强消耗 / MPa。

由此可见，由于井漏造成的立管压力变化与漏失量、漏层位置息息相关。漏失量与立管的压力变化成正比关系，随着漏层深度增加，立管的压力变化也就会越大，当出现井漏以后，此时可以测量钻井液循环系统进口、出口的流量以及立管压力的数值变化，将数据代入公式即可得出漏层的准确位置。

2.2 立压变化法计算漏层位置

$$\text{钻井液流动速度 } V = \frac{40Q}{\pi (D^2 - D_i^2)} \quad (2)$$

式中： V —第 i 段管柱钻井液实际流动速度，m/s； Q —泥浆泵实际排量，L/s； D —井眼直径，cm； D_i —第 i 段管柱外径，cm。

$$\text{钻井液流性指数} \begin{cases} \eta_{ai}=3.321g(R600/R300) \\ K_{ai}=0.0511R300/511^{\eta_{ai}} \end{cases} \quad (3)$$

式中： η_{ai} —第*i*段的管柱外部钻井液实际流性指数； K_{ai} —第*i*段的管柱外部钻井液实际稠度系数； $R600$ — 600r/min 范氏粘度计读值，格； $R300$ — 300r/min 范氏粘度计读值，格。

钻井液有效黏度 μ_e ：

$$\mu_{cai} = K_{ai} \left[\frac{1200V_{ai}}{D-D_i} \left(\frac{2\eta_{ai}+1}{3\eta_{pi}} \right) \right]^{n_{ai}-1} \quad (4)$$

式中： μ_{cai} —第*i*段管柱外钻井液有效粘度， $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ； V_{ai} —第*i*段管柱外钻井液流动速度， m/s 。

2.3 漏层定位软件开发

对漏层定位的基本原理进行全面分析以后，可知计算漏层定位较为复杂，为了使用计算机完成这一工作，因此需要设计专用的计算机软件。

软件功能：①结合现场作业实际需求，需要在调研各类产品的基础上使软件具备一系列功能：②数据资料输入接口、数据资料更改；③预测、查询数据；④数据、结果储存；⑤处理不合理的输入数据；⑥提示有不合理数据输入；⑦操作简单便捷；⑧界面友好易升级。开发环境：开发软件对于环境的选择至关重要，环境的选择与软件开发的质量有着直接关系。软件编程语言有很多，C++、C、VC、VB 均是常见的软件编程语言，结合钻井工程井漏的实际情况，最终决定选择 VB 作为编程语言，环境选择 Windows8.1。VB 可以提供更加理想的 OOP 编程语言，功能强大且使用便捷，操作界面友好。

2.4 软件实际使用

漏层定位使用立压变化法，对象为辽河油田两口井。

1 号井钻进，钻进深度 1360m ，出现井漏现象，泄露速度为恒定 $40\text{m}^3/\text{h}$ 。结合立压测试方法获得数据：钻井液密度 $1.15\text{g}/\text{cm}^3$ ，钻头尺寸 $\Phi 313\text{mm}$ ，漏失前泵排量 $45.1\text{L}/\text{s}$ ，漏失后返出量 $33.6\text{L}/\text{s}$ ，漏失前立管压 18MPa ，漏失后立管压力 13.5MPa ，井眼扩大率 11.4% 。将上述数据输入到计算机软件当中，经计算得出漏层定位 1290.63m ，静止堵漏共计耗时 6h ，且井口液面不再下降，不再漏失。下方钻具套装，下钻时钻井液可以正常返出，下钻深度达到 1190m 时启动泵循环，并未发现漏失情况。继续下钻，启动泵循环，依然未出现漏失现象，持续钻进。

2 号井钻进，钻进达到 4200m 时，发生突然泄漏，漏失量恒定 $12\text{m}^3/\text{h}$ 。结合立压测试法，获得数据：钻井液密度 $1.18\text{g}/\text{cm}^3$ ，钻头尺寸 214mm ，漏失前泵排量 $31\text{L}/\text{s}$ ，漏失后返出量 $24.5\text{L}/\text{s}$ ，漏失前立压 17MPa ，漏失后 14.4MPa ，井眼扩大率 8.8% 。将数据输入到计算机当中，计算得出漏层定位 4200m 。封堵后成功，未再发生井漏。

3 自适应防漏堵漏钻井液

3.1 自适应防漏堵漏剂研制

为了实现理想的封堵效果，全新研制的防漏堵漏剂

需要拥有更加先进的机理。创新后的防漏堵漏剂不再受到以往架桥充填理论的约束。经过本次研究对多种类型的材料进行调查研究发现，弹性材料、胶束聚合物及填充加固材料是最适用于制作防漏堵漏剂的材料。

弹性材料最大的特点就是弹性好，弹性材料进入到漏层以后具有扩张填充、内部挤压的双重作用。因为具有弹性，因此可变形，拥有多种形状、尺寸的孔隙、裂缝。在压强差的作用下，小于底层孔隙、裂缝宽度的弹性颗粒进入孔隙，因为架桥填充原理实现封堵^[3]。对于大于地层间隙直径、缝隙宽度的弹性颗粒就可以在挤压作用下直接进入到了孔隙当中，在强大的弹性作用下实现对裂缝、孔隙的扩张填充，实现有效封堵。

胶束聚合物进入到水基钻井液当中以后，可以在固液界面产生大量的吸附，达到临界浓度以后，聚合物就会在岩石表面发生缔合构成束胶。随着不断增加，固液界面的束胶聚合物会产生大量的束胶，在界面张力的作用下实现束胶间缔合，实现对泄漏位置的有效封堵。

3.2 自适应防漏堵漏钻井液研制

钻井液强大的抑制力是确保井壁稳定、保护油气层，通过页岩回收率实验评价页岩抑制剂的实际效果，详见表 1。

表 1 页岩抑制剂优选实验结果

处理剂	处理增加剂 /%	回收率 /%
蒸馏水	/	28
SD-301	2	90
PVA-2	2	68
CXC	2	77
KHm	2	66
KH-931	2	88
PA-1	2	45
KCL	5	83
NaCL	5	48
$\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2$	3	80

通过表 1 可以看出，SD-301、KH-931、KCL 回收率均超过 80% ，证明抑制性出众，不过因为不同抑制剂对钻井液性能造成的影响，最终决定选择 SD-301、KH-931 作为抑制剂。

4 结论

井漏是长期以来钻井作业中的难题。本次研究在立压变化法的基础上计算井漏位置，设计一种漏层定位软件实现对井漏位置的精准定位。研发自适应防漏堵漏剂、自适应防漏堵漏钻井液，主要是对堵漏剂的配方进行优化，解决了一部分传统堵漏当中存在的困难，提升钻井效率，确保油气开发质量。

参考文献：

- [1] 梁超. 刍议钻井工程中井漏预防及堵漏技术分析 [J]. 清洗世界, 2020, 36(11): 114-115.
- [2] 康敬水. 钻井工程中井漏预防及堵漏技术 [J]. 化工设计通讯, 2020, 46(11): 194-195.
- [3] 马传华. 钻井工程中井漏预防与堵漏技术研究 [J]. 产业科技创新, 2020, 2(21): 60-61.