

《石油钻探技术》论文模板（2016 版）

考虑非牛顿流体螺旋流动的钻井井筒温度场研究

张三¹, 李四^{1,2}, 吕五²

(1. 中国石油大学(北京)石油工程学院, 北京 102249; 2. 中国石油长城钻探工程有限公司钻井三公司, 辽宁盘锦 124010)

摘要: (研究目的)为准确了解钻井过程中井筒温度及其变化规律, (研究方法)根据热力学第一定律及传热理论, 建立了完整的钻井循环过程中温度场数学模型, 分析了井筒中非牛顿流体螺旋流动的传热机理以及水力学能量和机械能量对井筒温度场的影响规律, 对高温高压循环当量密度计算和井筒温度控制方法进行了初步探讨。(研究结果)模型计算结果与现场试验数据吻合较好。由数值模拟结果得出: 在井深 2 000 m 处, 钻柱转速从 0 r/min 升至 200 r/min 时该处温度升高 4.5 °C; 在井深 5 000 m 处, 钻柱转速从 0 r/min 升至 200 r/min 时该处温度升高 7.8 °C。(研究结论)研究表明, 井底温度随钻柱转速的增加呈指数增长, 随着井深的增加, 钻柱旋转对井底温度的影响更加明显。建立的温度场模型可为高温高压地层钻井水力学设计和现场作业过程中的温度控制提供理论参考。

关键词: 钻井; 井筒温度; 旋转; 非牛顿流体; 螺旋流

Research on Wellbore Temperature Field with Helical Flow of Non-Newtonian Fluids in Drilling Operation

ZHANG San¹, LI Si^{1,2}, LYU Wu²

(1. College of Petroleum Engineering, China University of Petroleum(Beijing), Beijing, 102249, China; 2. No.1 Drilling Company, CNPC Greatwall Drilling Company, Panjin, Liaoning, 124010, China)

Abstract: [.....]

Keywords: drilling; wellbore temperature; non-Newtonian fluid; mathematical model

随着勘探工作向高温高压地层、窄钻井液密度窗口地层、复杂压力地层钻进, 钻井技术要求不断提高。其中, 温度对整个钻井系统的影响越来越重要, 流体的密度和流变参数随井筒温度的变化直接影响 ECD 的精确计算。此外, 井筒的温度信息还是进行井壁稳定性分析和解释井筒呼吸效应的关键参数, 因此准确地了解钻井井筒温度及其变化规律对于安全、高效钻进具有重要的意义。自 20 世纪 60 年代以来, 国内外有很多学者^[1-5]对钻井循环过程中井内温度分布进行了研究, 提出了不同

批注 [J1]: 文章题目: 3 号黑体, 尽量不超过 20 个字。
段前、段后均留 1 行。

批注 [J2]: 作者姓名: 小 4 号仿宋。

批注 [J3]: 作者单位: 小 5 号宋体。

批注 [J4]: 小 5 号黑体。

批注 [J5]: 小 5 号宋体, 1.5 倍行距。
摘要内容要包括“研究目的”、“研究方法”、“研究结果”及“研究结论”等 4 部分, 字数控制在 300 字左右。

批注 [J6]: 小 5 号黑体。

批注 [J7]: 小 5 号宋体, 一般选 4~6 个关键词, 关键词中间用分号。

批注 [J8]: 英文题目: 4 号字, Times New Roman 字体, 加粗。

批注 [J9]: 英文作者: 5 号字, Times New Roman 字体, 加粗。

批注 [J10]: 英文作者单位: 5 号字, Times New Roman 字体。

批注 [J11]: Times New Roman 字体, 5 号, 加粗。

批注 [J12]: 英文摘要: 5 号字, Times New Roman 字体。

批注 [J13]: Times New Roman 字体, 5 号, 加粗。

批注 [J14]: 英文关键词: 5 号字, Times New Roman 字体。

批注 [J15]: 对于文后列出的参考文献, 要按先后顺序在正文应用处标注出来。

《石油钻探技术》论文模板（2016版）

的理论模型与求解算法，但针对钻柱旋转的问题并未进行更为深入的研究，现有的模型仅考虑了由钻柱旋转而产生的摩阻扭矩热源项对井筒温度的影响，还无法准确描述和定量解释在钻柱旋转条件下井筒温度场的变化规律。钻井液在循环过程中表现为非牛顿流体的流动特性，由钻柱旋转所引起的环空中非牛顿流体螺旋流动使得钻井过程中井筒内的传热过程更为复杂，因此有必要针对非牛顿流体的流动特性建立综合考虑钻柱旋转的井筒循环温度模型，认清非牛顿流体螺旋流动情况下井筒温度场的变化规律并对温度进行定量的预测。

1 温度场模型的建立

1.1 基本假设

温度场模型建立过程中基本假设如下^[6]：1) 由于钻遇的地层大部分为层状岩石，其热导率具有各向异性，……；2) ……；3) ……。

……。

1.2 温度场模型的控制方程

1.2.1 钻柱内与环空内温度场控制方程

圆柱坐标系下钻柱内和环空内的能量守恒方程^[7]分别为：

$$\pi d_{pi} h_{pa} (t_a - t_p) - \rho_m q_m c_m \frac{\partial t_p}{\partial z} + S_p = \rho_m c_m \frac{\pi d_{pi}^2}{4} \frac{\partial t_p}{\partial t} \quad (1)$$

$$h_{af} \pi d_b (t_w - t_a) - \pi d_{po} h_{pa} (t_a - t_p) + \rho_m q_m c_m \frac{\partial t_a}{\partial z} + S_a = \rho_m c_m \frac{\pi (d_b^2 - d_{po}^2)}{4} \frac{\partial t_a}{\partial t} \quad (2)$$

式中： ρ_m 为钻井液密度， kg/m^3 ； t_p 为钻柱内温度， $^{\circ}\text{C}$ ； c_m 为钻井液比热， $\text{J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$ ； q_m 为流体的流量， m^3/s ； t_a 为环空温度， $^{\circ}\text{C}$ ； t_w 为环空井壁处温度， $^{\circ}\text{C}$ ； h_{pa} 为钻柱与环空的综合传热系数， $\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ ； h_{af} 为环空与地层的综合传热系数， $\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ ； S_p 钻柱内的热源项， W/m ； S_a 环空热源项， W/m ； d_b 为钻头直径， m ； d_{po} 为钻柱或钻铤外径， m ； d_{pi} 为钻柱的内径， m ； t 为时间， s ； z 为井筒轴线方向的井深， m 。

……。

1.2.2 地层内温度场控制方程

……。

1.3 温度场模型的辅助方程

批注 [J16]: 正文文字为5号宋体，1.5倍行距，通栏编排。

引言应包括以下内容：

1. 技术背景、研究目的、研究意义的表述。
2. 国内外同类技术现状的表述，体现同类技术的技术水平，并指出存在的问题；实用技术要表述同类技术的应用现状。
3. 本技术要研究的内容，找出与前人研究成果的异同点（针对同类技术存在的问题）和要解决的问题，突出创新点。

批注 [J17]: 一级标题：4号宋体，加粗，顶格，编号与文字间留一字空。一级标题，段前段后均留0.5行。下同。

批注 [J18]: 2级标题：5号黑体，顶格，编号与文字间留一字空。

批注 [J19]: 3级标题：5号楷体，顶格，编号与文字间留一字空。

批注 [J20]: 数学公式：需用公式编辑器编排，5号字体，物理量为斜体，运算符号为正体，角标为变量时为斜体，为常量时为正体。居中编排。

批注 [J21]: 需对公式中全部物理量符号的含义进行解释，注意要用国际制单位。

1.3.1 热源项的计算

.....。

1.3.2 对流换热系数的计算

.....。

.....如图 1 所示（或见图 1）。

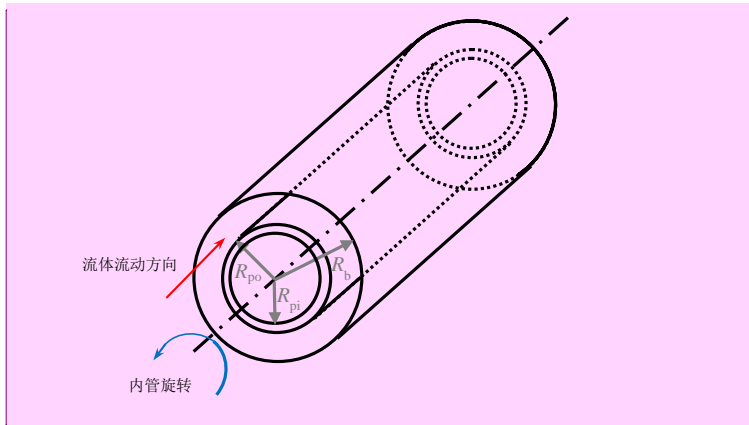


图 1 有轴向流动内管旋转外管静止的同心圆管对流换热示意图

Fig.1 Convective heat transfer schematic in concentric cylinders with axial flow and rotation of the inner cylinder only

批注 [J22]: 图面大小适中, 图中文字为 6 号宋体, 物理量符号的表示方法同数学公式。

批注 [J23]: 中文图名: 小 5 号黑体。

批注 [J24]: 英文图名: 小 5 号, 字体为 Times New Roman, 加粗。

.....。

1.4 边界条件

.....。

2 模型的求解方法

.....。

3 温度场模型验证与影响因素分析

.....。

4 工程应用

.....。

《石油钻探技术》论文模板（2016版）

5 结论

- 1) ……。
- 2) ……。
- 3) ……。

批注 [J25]: 从以下方面撰写结论:

- 1) 由研究结果所揭示的原理及其普遍性;
- 2) 与前人研究的异同点;
- 3) 本技术研究中存在的问题;
- 4) 本技术需要继续研究的问题;
- 5) 提出重要的、有价值的建议。

参考文献

References

- [1] HOLMES C S, SWIFT S C. Calculation of circulating mud temperature[J]. Journal of Petroleum Technology, 1970, 22(6): 670-674.
- [2] KABIR C S, HASAN A R, KOUBA G E, et al. Determining circulating fluid temperature in drilling, workover and well control operations[J]. SPE Drilling & Completion, 1992, 11 (2): 74-79.
- [3] 何世明, 何平, 尹成, 等. 井下循环温度模型及其敏感性分析[J]. 西南石油学院学报, 2002, 24 (1): 57-60.
HE Shiming, HE Ping, YIN Cheng, et al. A wellbore temperature model & it' s parametric sensitivity analysis[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2002, 24(1): 57-60.
……
- [6] THOMPSON M, BURGESS T M. The prediction of interpretation of mud temperature while drilling[R]. SPE 14180, 1985.
……
- [10] 高德利. 油气井管柱力学与工程[M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2006: 88-89.
GAO Deli. Mechanics and engineering string of oil and gas wells[M]. Dongying: China University of Petroleum Press, 2006:88-89.

批注 [J26]: “参考文献”为5号黑体, 居中排, 每个字间空一字距。以下所有中文文献, 都要写出对应的英文, 即要求双语形式。

各类参考文献的著录细则, 请参阅国家标准《信息与文献 参考文献著录规则》(GB/T 7714—2015)。

批注 [J27]: 欧美人的姓名, 姓氏全大写, 名建议缩写。

批注 [J28]: 排名第三个以后的作者, 中文文献用“等”代替, 英文文献用 et al 代替。

批注 [J29]: 注意, 要写刊稿时实际的、完整的刊名, 如“中国石油大学学报(自然科学版)”、“石油学报(石油加工)”、“探矿工程(岩土钻掘工程)”等。

批注 [J30]: 中文文献的英文翻译中, 作者姓氏要大写。

作者简介: 张三(19XX—), 男, XX省XX县(市)人, XX年毕业于XX大学XX专业, XX年获XX大学XX专业XX学位, XX职称, 主要从事XX工作。E-mail: xx@126.com。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目“深井复杂地层安全高效钻井基础研究”(编号: 2010CB226700)、国家自然科学基金项目“控压钻井测控理论及关键问题研究”(编号: 51334003)联合资助。

批注 [J31]: 5号, 黑体。

批注 [J32]: 5号, 宋体。

批注 [J33]: 5号, Times New Roman 字体。

批注 [J34]: 5号, 黑体。

批注 [J35]: 5号, 宋体。