

定向井防碰扫描的工业级算法实现

战 役

中石化上海海洋油气分公司 上海 200335

摘 要：定向井防碰扫描在石油钻井工业领域中变得越来越重要，其中两种方法尤为关键：圆柱螺线法计算轨迹数据和最近距离扫描法计算最近距离。本文将介绍这两种方法的原理和应用，并讨论它们的工业级算法实现。同时，结合实际的工程案例，使用国外先进的定向井工业软件进行数据对比和验证，以证明该算法实现的有效性和可行性。

关键词：定向井；防碰扫描；圆柱螺线法；最近距离扫描法；工业级算法

引言

定向井轨迹计算与防碰扫描时定向钻井技术的关键。轨迹计算常见的计算方法中圆柱螺线法和最小曲率法应用最广泛。本文重点介绍圆柱螺线法，该方法在国内处于领先地位，并具有较高的仿真度。

从式井开发过程中，防碰扫描常用的扫描方法：平面法、法面法和最近距离扫描法。最近距离扫描法适用范围最广，虽然计算量大且复杂，但由于其计算精度高，成为了丛式井防碰扫描中的首选方法，尤其适用于严峻的防碰情况。

接下来将详细阐述这两种方法的原理和实现。

1 圆柱螺线法算法实现

经过对井下轨迹的理解以及大量数据对比的验证，发现井下轨迹呈现曲线形状，因此使用曲线法比直线法更为合理。曲线法包括斜面法和圆柱法，其中圆柱螺线法被认为是一种较为合理的方法，这是因为钻井过程中使用转盘或顶驱旋转钻杆以驱动钻头旋转，因此钻井井眼的轴线倾向于形成柱面螺旋线^[1]。

1.1 原理

圆柱螺线法的基本假设是，在两个测点之间的测段呈现一条等变螺旋角度的圆柱螺旋线。该螺旋线的上端点和下端点与井眼上方和下方的测点的井眼方向相切，同时其水平投影图和垂直投影图均呈现为一条圆弧曲线^[1]。如下图所示：

这种假设条件为后续的轨迹计算提供了基础，使得我们能够通过圆柱螺线法来近似描述井眼轨迹的形状和

特征。

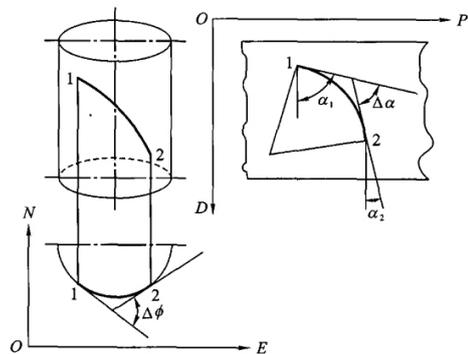


图1 圆柱螺线法示例图

1.2 实现

(1) 程序实现

①定义变量，获取用户输入的数据，并对已知变量如测深、井斜、方位进行赋值操作；

②对于待求变量，使用编程语言中的加减乘除、指数幂、三角函数等方法，根据计算公式编写相应的计算代码；

③考虑到每次输入数据后需要重新计算，可以使用循环结构。此外，针对一些分支情况，需要使用条件语句。对于分母为零等特殊情况，需要添加异常处理。

④计算完成后，打印输出结果。

(2) 算法优化：

通过对数据的溯源分析，我们发现方位变化较大时开始出现数据的分歧。

经过算法校正后，可以得到如下表的数据：

表1 Compass和自写算法部分数据对比图（算法修改后）

Compass计算数据								
测深	井斜	方位	垂深	投影位移	南北	东西	水平位移	闭合方位
(m)	(°)	(°)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(°)
312.59	0.22	15.11	312.58	2.20	-1.29	-1.98	2.36	236.94
341.44	0.97	332.31	341.43	1.98	-1.00	-2.01	2.24	243.63

续表:

.....								
5163.17	90.93	215.71	3321.27	2944.45	-2399.93	-1705.91	2944.45	215.41
5184.16	91.03	216.12	3320.91	2965.44	-2416.93	-1718.22	2965.44	215.41
5198.00	91.00	216.00	3320.67	2979.28	-2428.12	-1726.36	2979.28	215.41
自写算法计算数据								
测深	井斜	方位	垂深	投影位移	南北	东西	水平位移	闭合方位
(m)	(°)	(°)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(°)
312.59	0.22	15.11	312.58	2.20	-1.29	-1.98	2.36	236.94
341.44	0.97	332.31	341.43	1.98	-1.00	-2.01	2.24	243.63
.....								
5163.17	90.93	215.71	3321.27	2944.45	-2399.93	-1705.91	2944.45	215.41
5184.16	91.03	216.12	3320.91	2965.44	-2416.93	-1718.22	2965.44	215.41
5198.00	91.00	216.00	3320.67	2979.28	-2428.12	-1726.36	2979.28	215.41

从该表中的数据可以看出,在对算法进行改进之后,数据完全一致,有效性极高,这表明该算法优化取得了显著的效果。

(3) 结果分析

表2 圆柱螺旋线的Compass和自写算法统计与评价

项目	计算精度	运行效率	综合评价
Compass	高	高	可以进行工业化应用
自写算法(修改前)	中	中	不能进行工业化应用
自写算法(修改后)	高	高	可以进行工业化应用

综合来看,经过算法优化后,无论是有效性还是可行性,都有显著的提升。自写算法在修改后基本实现了工业级的水平,具备了可以进行工业化应用的能力,同时也为了计算轨迹间的最近距离打下了基础。

2 最近距离扫描法算法实现

目前最常用的防碰扫描方法有三种,分别是平面法、法面法和最近距离扫描法。这三种方法的扫描原理和适用范围各不相同。平面法适用于直井段,法面法适用于斜井,而最近距离扫描法几乎适用于任何井型,因为该方

法能够计算出待扫描井与比较井之间的最近距离。

2.1 原理^[3]

最近距离扫描法的原理是以待扫描井井身轨迹上的某一点为球心,构造一系列半径不同的同心球。当其中一个球与防碰井的井身轨迹上的某一点刚好相切时,该球的半径即为这两口井在该测点的最近距离。因此,最近距离扫描法也被称为球面距离扫描法^[4]。扫描到的最近距离即为扫描半径 $OP_{min}(m)$,该距离的计算采用了三维空间中的欧氏距离公式。

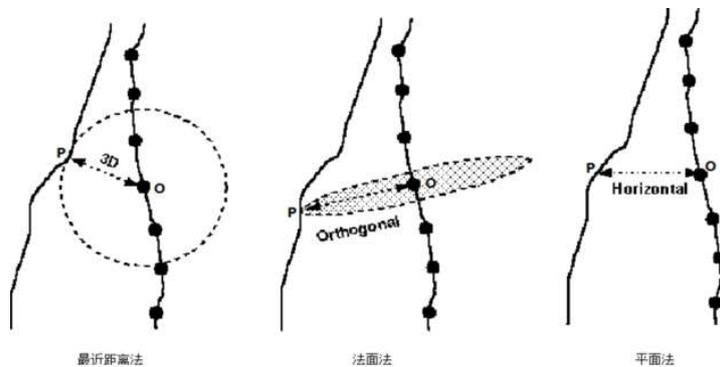


图2 三种防碰扫描方法示例图

2.2 实现

(1) 程序实现

①定义数组变量,存储待扫描井的数据,包括测

深、井斜角、方位角等已知变量;

②定义扫描步长n,根据步长进行插值计算,得到插值点的测深、井斜角、方位角等数据,并将其存储在数

组中;

③获取防碰井的完整轨迹数据,根据步长进行插值计算,得到插值点的测深、井斜角、方位角等数据,并将其保存在另一个数组中。

④使用欧氏距离公式计算每个插值点与防碰井轨迹上对应点的距离,并记录最小距离。通过循环结构遍历每个插值点与防碰井轨迹上的所有点的距离,并取最小值作为该插值点的最近距离。将最近距离保存在防碰距离数组中。

⑤打印防碰距离数据,并根据数据绘制折线图或进行其他可视化展示。

(2) 算法优化:

①有效性算法优化:自写算法与Compass软件的计算结果几乎完全一致,准确度很高,无需进行有效性算法优化。

②可行性算法优化:

由于自写算法在可行性方面存在较大的改进空间,需要进行算法优化以提高计算效率。在进行可行性算法优化时,涉及到软件工程学和高等数学等方面的知识,具体的优化过程在论文中略去。

(3) 结果分析

表3 Compass和自写算法的防碰距离扫描归纳与评价

扫描步长n (m)	扫描耗时 (s)		评价
	Compass (大约耗时)	自写算法 (准确耗时)	
n = 1.0m	< 1	20.31 (优化前)	优化效果很明显
	< 1	0.44 (优化后)	
n = 0.5m	< 1	0.91 (优化后)	Compass最小扫描步长为0.3048m, 但计算速度稍稍胜出
n = 0.3m	2	2.85 (优化后)	
n = 0.2m	不支持	5.06 (优化后)	
n = 0.1m	不支持	22.38 (优化后)	

从以上数据分析结果可以看出,在实际工作中要求将步长设置为1.0m。综合考虑有效性和可行性,自写算法相比Compass具有更优的表现和应用优势。

总结与展望

本文介绍了圆柱螺线法和最近距离扫描法的原理、实现方法、应用数据对比以及算法优化。这些算法在石油勘探和生产中具有重要作用,可以帮助工程师们准确了解地下地质情况,做出更合理的决策。在实际应用中,这些算法需要算法和软件的支持,包括软件界面、数据库、配套计算软件等。

圆柱螺线法相对简单,改进策略对于提升计算效率的帮助有限。但在计算轨迹数据时,根据不同的测斜仪器或稳斜段和增斜段采用不同的计算策略,例如旋转方向的增斜段使用恒装置角法可能更贴近实际情况。

最近距离扫描法还有改进空间:目前该算法只能手

动输入插值步长来计算防碰距离,准确度可以进一步提高:可以尝试描述每个测段的空间坐标方程,通过计算待扫描井段对防碰井段的坐标方程的差值导数,找到最近距离点。随着技术的进步,相信这些算法将不断改进和发展,为石油工业带来更多的价值和贡献。

参考文献

[1]韩志勇.定向钻井设计与计算[M].第二版.山东东营:中国石油大学出版社.
 [2]胜利石油管理局石油工程专业标准化委员会.Q/SH1020 0005,钻井质量[S].山东东营:中国石化集团胜利石油管理局,2016
 [3]王飞跃等.防碰扫描方法在丛式钻井中的应用[J].辽宁化工,2010,39(9):925-928.
 [4]谭芸.实时防碰扫描监测分析系统研究与设计[D].西南石油大学,2018.