

大型储罐旋转射流搅拌器数值模拟

范大为¹

摘要：原油在大型储罐的储存过程中，会出现罐底油泥沉积等现象。旋转射流搅拌器依靠自身的旋转喷射，对储罐起到全方位搅拌作用。利用CFD软件对装有旋转射流搅拌器的大型储罐进行研究，分析不同喷射速度下流场的流态分布，确定搅拌器最合理的喷射速度。射流在前进过程中不断向周围扩散，能量损失大，沿轴向速度衰减迅速，在4种喷射速度下，喷嘴出口1 200 mm范围内，速度衰减大于70%，之后速度衰减变缓慢。随着射流速度的增加，搅拌效果不断提高，30 m/s为最佳喷射速度。

关键词：大型储罐；旋转射流搅拌器；数值模拟；速度分析

Doi:10.3969/j.issn.1006-6896.2016.9.002

Numerical Simulation on Rotary Jet Mixer of Large Storage Tank

Fan Dawei

Abstract: There will be sludge deposition at the bottom of large storage tank in the storage of crude oil. Rotary jet mixer relying on its rotating jet, plays a role in mixing tank all-directions. Using CFD software to study the large storage tank equipped with rotary jet mixer, analyze fluid flow distribution at different jet velocity, and then ensure the most reasonable jet velocity of rotary jet mixer. In the forward process, the jet continue to spread around, energy loss greatly, and the axial velocity decay rapidly. In four kinds of jet velocity, 1 200mm in the range of nozzle exit, the velocity attenuation is greater than 70%, then the velocity attenuation is slow. With the increase of the jet velocity, the mixing effect is improved greatly, and 30m/s is the optimum jet velocity.

Key words: large storage tank; rotary jet mixer; numerical simulation; velocity analysis

原油在大型储罐的储存过程中，会出现罐底油泥沉积、油品分层、温度不均匀等现象，这些现象会对储罐的长期安全生产带来不利的影响，解决的方法就是对罐内的油品进行搅拌^[1]。旋转射流搅拌器位于罐体内部中心，利用罐体外部泵压系统对罐内油料产生强大的射流，并依靠自身360°旋转将油向四周高速喷射，射流带动油料在储罐内发生对流流动，阻止杂质在罐底形成沉积物，起到全方位搅拌作用^[2]。目前对旋转射流搅拌器的数值研究主要是针对中小型储罐，对大型储罐搅拌效果的研究未见报道。中小型储罐流场相对较小，搅拌器参数的变化对流场搅拌效果的影响明显，经过多年的研究，分析方法比较成熟^[3]。本文以 $20 \times 10^4 \text{ m}^3$ 储罐为例，利用CFD软件（Fluent）对装有旋转射流搅拌器的大型储罐进行分析，分析不同喷射速度下流

场的流态分布，分析射流的影响范围及搅拌效果，确定搅拌器最合理的喷射速度。

1 CFD分析方法

模拟采用N-S方程作为控制方程，采用标准 $k-\varepsilon$ 模型建立方程组^[4-5]。模型按照实际尺寸建模， $20 \times 10^4 \text{ m}^3$ 储罐直径为115 m，储液高度为20 m。喷嘴轴线设置水平，以减小射流对罐底的作用力，旋转射流搅拌器的实际外形及安装参数为直径160 mm，长400 mm，距罐底高度900 mm，射流搅拌器的旋转速度为180 min/r，旋转速度较慢，射流搅拌器作静止处理。沿储罐及射流搅拌器对称剖开，取一半作为模型，剖开面定义为对称面。喷嘴出口为模型入口，定义为速度入口，喷射速度取20、30、40、50 m/s进行研究；出口定义为压力出口；其余边壁类型默认为WALL，固体壁面为无滑

¹大庆油田工程有限公司

移光滑界面。流体为单相流, 不考虑罐底沉积情况, 介质选择大庆原油, 黏度为 $0.08 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$, 密度为 $860 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。选用 FLUENT5/6 求解器、利用 Gambit 建立流场的三维模型, 如图 1。

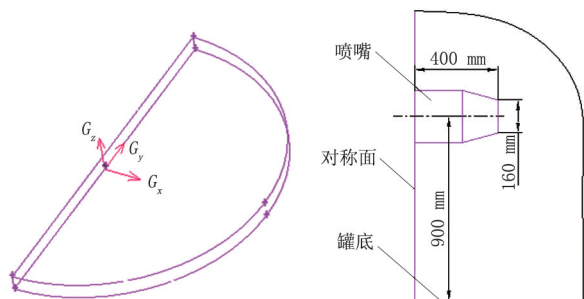


图1 几何模型

2 模拟结果对比分析

2.1 喷嘴截面粒子轨迹分析

射流进入静止储罐液体中, 它与静止流体之间存在速度不等的间断面, 间断面受到扰动而产生涡旋, 卷吸周围流体进入射流。图2、图3分别为喷嘴垂直和水平截面粒子轨迹分布图, 射流沿罐底移动, 在垂直和水平方向流体有着不同程度的扰动。喷射速度为 20 m/s 时, 在垂直方向上没有形成有规律的粒子分布轨迹, 水平方向射流对周围流体卷吸能力较弱, 并没有形成明显的紊流。其余出射速度射流粒子在罐底撞击罐壁后向上运动, 在撞击罐顶后回流并在罐壁靠近罐顶处形成小的涡流, 受罐壁和罐顶的约束, 回流沿着与射流相反的方向运动, 在射流喷嘴处, 回流汇入出射流体在整个截面形成了大涡流, 随着射流速度的增大, 射流对模型内流体在垂直方向的扰动会增强。在水平截面, 射流撞击壁面速度有了明显的增加, 射流回流在射流两

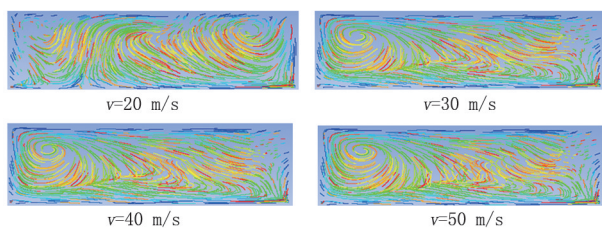


图2 喷嘴垂直截面粒子轨迹分布图

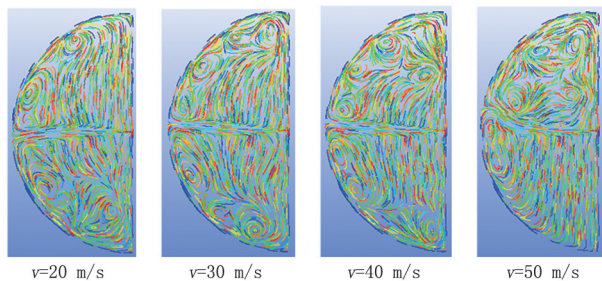


图3 喷嘴水平截面粒子轨迹分布图

侧均形成不同程度的小尺度涡流, 破碎分散能力增强, 搅拌效果不断提高。

2.2 射流速度分析

卷入射流的流体获得动量向前流动, 原来流体的动量减小, 形成了一定的速度梯度。图4是各喷射速度射流速度的分布图, 从图4可以看出, 不同的喷射速度, 其递减规律大致相同。出射流体在离开喷嘴口后, 轴向速度迅速衰减, 之后速度衰减变缓慢, 射流受壁面的影响, 速度在罐壁附近有一定的波动。 20 m/s 喷射速度的射流受壁面的影响较小, 射流主要沿出射方向, 扩散较小; 大于 20 m/s 喷射速度的射流虽沿出射方向, 但受到回流影响扰动较大; 喷射速度在 30 m/s 时, 罐壁处速度为 0.53 m/s , 可以起到较好的搅拌效果; 40 m/s 喷射速度的末速度为 0.63 m/s , 50 m/s 喷射速度的末速度为 0.80 m/s , 两者虽有更好的搅拌效果, 但更大的出流速度增加了对泵的要求。

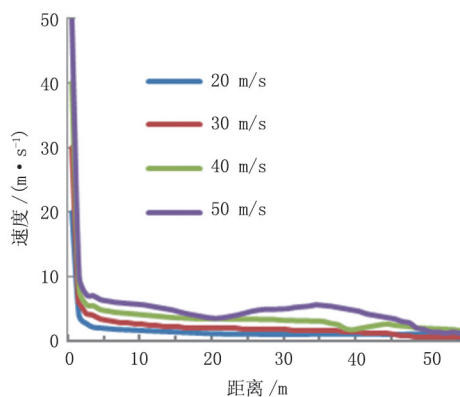


图4 射流速度分布图

2.3 射流出口速度分析

图4虽表示出了储罐内射流的速度变化规律, 但由于模型较大, 对于射流出口等局部射流的速度分布情况还不能表示得非常清楚, 故将模型射流出口附近射流的速度分布表示于图5。从图5中可以

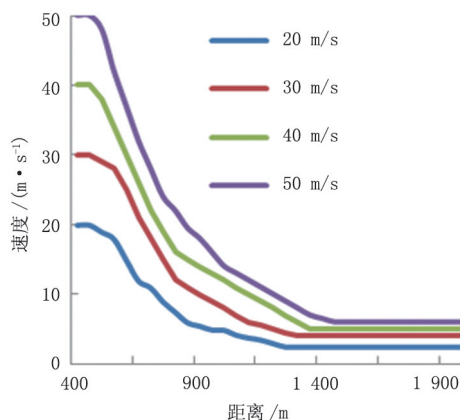


图5 射流出口速度分布图

(下转第9页)