

# 三通管冲蚀磨损规律研究

马立嵩 张义杰 杨子萱 黄文奎 郑瑞卿 伍丽娟\*

(长江大学石油工程学院, 湖北武汉, 430100)

摘要: 根据管道冲蚀磨损原理, 结合国内外已有的对三通管冲蚀规律和冲蚀实验的相关研究, 总结出三通管的冲蚀规律与其内部的颗粒运动速度, 流体介质, 冲蚀角度等因素相关。

关键字: 冲蚀; 流体介质; 颗粒含量; 数值模拟

## 1. 前言

管道运输是一种长距离输送液体和气体物资的运输方式, 并且由于管道运输具有运输量大、结构简单等好处, 因而在石油运输等方面得到广泛应用。然而在油气集输时流体会不可避免的对管道造成冲蚀磨损, 为运输管道的正常使用埋下了安全隐患[1]。三通管作为石油管道运输的常用部件, 通常用来对管道内的流体进行合流或分流, 从而达到改变内部流体的流动方向的效果。但流体在管道的管汇处进行合流或分流时会产生扰动, 加大了管内流体与管汇处发生摩擦碰撞, 加剧冲蚀磨损现象, 进而引起三通管失效。为避免因三通管失效而造成经济损失与环境破坏, 研究其冲蚀规律具有重要的意义。

## 2. 三通管的冲蚀原理

冲蚀磨损是指, 因高速粒子冲击作用产生的能量传递而导致材料损耗的现象, 其与颗粒直径、流速、质量流量、流体粘度等因素息息相关[2]。关于油气管道的冲蚀磨损问题, 近年来国内外的研究人员通过对管道弯头冲蚀的研究, 得出了冲蚀量与流速颗粒直径等因素相关; 通过对 T 型管道进行冲蚀磨损数值模拟分析, 发现 T 型管道的迎流壁面处最易发生冲蚀磨损; 通过对三通管中的气流冲蚀磨损进行研究, 总结出三通管冲蚀较为严重的部位是入口管道和出口相贯处。目前国内外的冲蚀理论主要有 Bitter 理论、Finnie 理论、单一颗粒切削理论等。

## 3. 影响三通管冲蚀速率的因素

三通管道内壁的冲蚀速率主要取决于颗粒运动速度, 流体介质, 颗粒含量, 冲蚀角度。在其他条件一定的情况下, 颗粒运动速度越大, 冲蚀速率就越大; 在不同流体介质中, 流体介质为气体时, 对管壁造成的冲蚀程度最大, 其次是水, 油是对管壁冲蚀作用最小的流体介质; 随着颗粒含量的增加, 管道的冲蚀速率也随之增加, 但是在达到一定数值后, 管道的冲蚀速率会随颗粒含量增加而减小; 冲蚀角度是指材料表面与入射粒子轨迹之间的夹角, 若液体中含有固体颗粒冲蚀, 冲蚀角为  $90^\circ$  时三通管的冲蚀速率达到最大。

从管道的直径、压力、流量来看, 相同直径的颗粒, 在管内流量相同时, 内径越小管壁越容易发生冲蚀; 在流量、内径等其他条件相同的情况下, 在一定压力变化范围内, 三通管出口处压力越大, 起点和终点冲蚀速率越小; 随着三通管道内固体颗粒质量流量增大, 流体所携带的颗粒数量增多, 颗粒与管道内壁的撞击概率就会增大, 此时流体对管壁的冲蚀速率也会随之增大[3]。在颗粒直径不同时, 影响冲蚀速率的主要因素取决于那些先进入管道的颗粒直径较大的粒子, 管道内最大冲蚀速率的位置等同于颗粒直径较大的粒子在管道表面大量聚集的位置。

## 4. 三通管冲蚀磨损研究方法

### 4.1 旋转式固液冲蚀实验

在旋转式冲蚀试验机中, 试样内高速运动的流体引起局部温度升高, 通过检测试样不同部位的温度变化情况, 通过计算实验前后的重量差值即磨损重量, 就可以评价其耐冲蚀性能。经研究发现冲击角为  $90^\circ$  时, 材料受到磨粒的反复冲击作用下产生切削和塑性压入后, 会造成材料的脱落。

### 4.2 管流式固液冲蚀实验

管流式冲蚀实验装置是将水和砂子加入料罐内并以一定的流速运输至测试段, 对管道进行冲蚀实验。研究表明最大冲蚀速率出

现的位置不变, 都是在与入口流动方向相对一侧相贯线上方的竖直支管管壁处。

### 4.3 喷射式固液冲蚀实验

喷射式冲蚀实验装置, 实验方法是将固液混合流体加入储液桶, 随后对冲蚀试样室中的金属试样进行冲蚀, 冲蚀完成后对试样进行称重并记录观察。经研究发现材料的冲蚀速率随时间呈线性关系增加, 随着冲蚀角度的增大, 材料的冲蚀速率减小[4]。

### 4.4 数值模拟实验

通过 ANSYS 创建三通管的几何模型, 在 FLUENT 软件中模拟速度场和压力分布, 并迭代计算出三通管各部位的冲蚀速率。经研究发现: 当管中两股不同压力的流体混合后, 管道的交界外界处速度最大, 随着输送距离的增大, 流动速度逐渐降低。

## 5. 提高三通管耐冲蚀性的措施

近年来, 国内外学者运用实验、理论、数值计算等方法对管道的冲蚀磨损展开了广泛研究, 研究人员运用 CFD 软件对三通管进行了数值模拟实验, 确定了三通管中冲蚀磨损较严重的部位是在三通管入口支管和出口支管的相贯处。因此我们可以通过加厚三通管入口支管和出口支管的相贯处增强其耐冲蚀性。并且根据研究发现, 随着 R/D 的增大, 三通管道过渡处压强逐渐减小, 冲蚀磨损也逐渐减小, (R: 三通管弯管过渡曲率半径, D: 三通管管径) 因此, 我们可以通过改变三通管的曲率半径来减小三通管的冲蚀磨损。

在 FLUENT 软件通过对不同管径比的流道形式的数值模型进行求解器设置, 采用三维、稳态隐式求解方法, 研究得出流体从竖直接叉道流到水平管, 竖直接管径小的三通管, 在叉道附近动压和流速较大, 随着管径的增加叉道附近的动压和流速逐渐减小。因此, 我们可以通过增大其竖直接管径来降低三通管在其交叉处的冲蚀速率, 从而提高三通管的耐冲蚀性。

## 6. 结论

(1) 三通管的冲蚀速率在其他条件一定时, 管壁内径越小, 冲蚀速率越大; 出口压力越大, 管道起点和终点冲蚀速率越小。

(2) 三通管内的颗粒运动速度, 流体介质, 冲蚀角度流量, 在其他条件一定的情况下其与冲蚀速率正相关, 而在颗粒含量与冲蚀速率之间, 随着颗粒含量的增加, 管道的冲蚀速率随之增加, 但是在达到一定的数值后, 随着颗粒含量增加, 冲蚀速率会减小。

(3) 增强三通管耐冲蚀性可以采取加厚三通管入口支管和出口支管的相贯处, 或通过改变三通管的曲率半径以及竖直接管径等措施来实现。

### 参考文献:

- [1] 曾涌捷, 天然气管道弯头冲蚀失效机理研究[J]. 石油与化工设备, 2011, 14 (2): 44-46.
- [2] Finnie, I. The mechanism of erosion of ductile metals [C]. Proceedings of the Third U.S National Congress of Applied Mechanics, 1958: 527-532.
- [3] 冯志成, 三通 Y 型管汇冲蚀规律研究[A], 长江大学机械结构强度与振动研究所, 1001-1560(2019)12-0029-05
- [4] 卢斌, 喷射式冲蚀实验装置研制及油井管柱抗冲蚀性能研究[D], 西安石油大学, 2012.