

1-4-2019

Flow Field Analysis of Pipeline Pig Receiving Trap

Chuanjun Han

1. School of Mechatronic Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China; ;

Yu Cheng

1. School of Mechatronic Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China; ;

Xingzhi Duan

2. PetroChina Southwest Oil & Gas Field Company, Chengdu 610213, China;;

Li Qi

2. PetroChina Southwest Oil & Gas Field Company, Chengdu 610213, China;;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Flow Field Analysis of Pipeline Pig Receiving Trap

Abstract

Abstract: To study the influence of piping diameter on the flow field characteristics when pig receiving trap is working, the finite element model of pig receiving trap whose type is P6.3MPa DN700/DN600 was established, and the effects of the diameters changes of vent pipe and blow-off pipe were simulated. The effects caused by the pig running speeds on the flow field of the pig receiving trap were studied. The results show that in the pig receiving trap, there is the maximum pressure in the left side of pig staying and the pressure begins to decrease and easy to form swirls in the right side. It is minimum in the vent pipe and blow-off pipe and. When the vent pipe diameter is 100 mm, the pressure, velocity and turbulence kinetic energy are smaller than that of 50mm. With the increase of the blow-off pipe diameter, the pressure, velocity and turbulence kinetic energy decrease, and the rates of changes decrease at the same. When the blow-off pipe diameter is 150 mm, it is relatively more appropriate. With the increase of the pig running speed, the pressure, velocity and turbulence kinetic energy on the vent pipe and blow-off pipe increase.

Keywords

pig receiving trap, flow field analysis, vent pipe, turbulent kinetic energy, pressure

Recommended Citation

Han Chuanjun, Yu Cheng, Duan Xingzhi, Li Qi. Flow Field Analysis of Pipeline Pig Receiving Trap[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(4): 1407-1414.

管道清管器收球装置流场分析

韩传军¹, 余成¹, 段行知², 李琦²

(1.西南石油大学机电工程学院, 成都 610500; 2.中国石油西南油气田分公司, 成都 610213)

摘要: 为了研究配管的结构尺寸对清管器收球装置流场特性的影响, 以 P6.3MPa DN700/DN600 型收球装置为例, 对放空管和排污管的结构尺寸进行了数值模拟, 分析了清管器运行速度对其流场的影响。结果表明, 在收球筒内, 清管器停留处左端压力最大, 右端压力较减小但易形成漩涡, 放空管和排污管内压力最小。与放空管径 50 mm 相比, 管径 100 mm 时压力、流速及湍流动能较小。随着排污管径增大, 压力、流速及湍流动能减小, 变化率也减小, 管径为 150 mm 时, 较为适宜。随着清管器运行速度增大, 压力、速度及湍流动能均增大。

关键词: 清管器收球装置; 流场分析; 放空管; 湍流动能; 压力

中图分类号: TE832 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2018) 04-1407-08

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201804024

Flow Field Analysis of Pipeline Pig Receiving Trap

Han Chuanjun¹, Yu Cheng¹, Duan Xingzhi², Li Qi²

(1.School of Mechatronic Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China;

2. PetroChina Southwest Oil & Gas Field Company, Chengdu 610213, China)

Abstract: To study the influence of piping diameter on the flow field characteristics when pig receiving trap is working, the finite element model of pig receiving trap whose type is P6.3MPa DN700/DN600 was established, and the effects of the diameters changes of vent pipe and blow-off pipe were simulated. The effects caused by the pig running speeds on the flow field of the pig receiving trap were studied. The results show that in the pig receiving trap, there is the maximum pressure in the left side of pig staying and the pressure begins to decrease and easy to form swirls in the right side. It is minimum in the vent pipe and blow-off pipe and. When the vent pipe diameter is 100 mm, the pressure, velocity and turbulence kinetic energy are smaller than that of 50mm. With the increase of the blow-off pipe diameter, the pressure, velocity and turbulence kinetic energy decrease, and the rates of changes decrease at the same. When the blow-off pipe diameter is 150 mm, it is relatively more appropriate. With the increase of the pig running speed, the pressure, velocity and turbulence kinetic energy on the vent pipe and blow-off pipe increase.

Keywords: pig receiving trap; flow field analysis; vent pipe; turbulent kinetic energy; pressure

引言

天然气管道运输具有安全、快速、高效、运输

成本低等特点, 但随着管道服役年限的增加, 管内沉积物逐渐累积, 严重影响了天然气的运输, 严重者可导致重大安全事故。对管道进行定期清理, 可以提高管输效率、降低管道压降、保障运输安全^[1]。

为了提高输气管道的清管效率, 清管器收发装置被设置在管道首末站及中间清管站, 是输气管道进行清管作业和管线检测必不可少的设备^[2]。然而, 在实际工程中, 若放空管及排污管的结构尺寸



收稿日期: 2016-05-16 修回日期: 2016-7-31;
基金项目: 国家自然科学基金(51474180), 四川省科技创新苗子工程(2016115);
作者简介: 韩传军(1979-), 男, 河南虞城, 博士后, 副教授, 研究方向为石油矿场机械现代设计及仿真; 余成(1992-), 女, 四川遂宁, 硕士, 研究方向为油气装备现代仿真。

<http://www.china-simulation.com>

• 1407 •

不合理, 将导致清管器收球装置内压力释放不彻底, 清管器取出困难, 同时, 流体参数的变化也会对收球装置的流场产生严重影响。因此对清管器收球装置进行研究具有重要意义。

许多学者在清管工艺方面做了大量的研究工作, 如罗敬义等对管线通球清管工艺进行了研究^[3]; 段瑞溪等对多相流管道不同过盈量清管器清管进行了模拟实验研究^[4]; 白港生针对长输天然气管道内黑色粉末清管工艺和方法提出了解决方案^[5]; 朱喜平针对目前清管作业中存在的问题, 如清管器结构单一、清管效果不太理想及清管器损坏甚至骨架断裂等进行了较为详细的探讨^[6]; 邱青原对天然气管长输管道清管作业工艺进行了研究^[7]。

一些专家对清管器收发球装置也进行了研究, 如王玉等对传统的清管球(器)及其存在的主要问题进行了分析^[8]; 赵先勤等对小口径管道清管器收发球装置的研制、安装及工作原理进行了介绍^[9]; 杨英亮等对 GB150.1~4-2011《压力容器》, ASME 标准 ASME31.3 和 ASME31.4 标准下清管器收发装置的设计进行了相应介绍^[10]; 程宜强等为规避清管器撞击盲板, 对济淄天然气管道的收球速度控制方法进行了研究^[11]。但大多只是对清管器以及清管器收发装置的设计标准进行研究, 很少关注清管器收球装置配管结构尺寸对流场特性的影响。目前, 国内对于清管器收发球装置的配管尺寸、位置确定等并没有统一的设计执行标准。其中用来放空球筒的放空管, 排出筒内积聚的杂质同时对收球装置进行泄压的排污管的结构尺寸对收球装置的性能影响尤其重要。基于此, 通过有限元软件建立了清管

器收球装置模型, 研究了收球作业时放空管和排污管的直径尺寸对收球装置内流场特性的影响, 并分析了清管器运行速度对流场的影响。

1 有限元模型

1.1 几何模型

以某输气站场使用的 P6.3 MPa DN700/DN600 型清管器收球装置为例, 其主要由收球筒、喉部(大小头)、快开盲板及快开盲板锁紧机构、密封件以及其它附属部件, 如过球指示器、压力表、平衡管、放空管、排污管等部件组成。建模时, 对实际结构进行了一定的简化(去除了快开盲板、过球指示器、压力表等不会影响流场特性的附属物), 其结构简图如图 1 所示。同时, 做了以下几点假设:

- (1) 球筒内无污物;
- (2) 清管器停留在距排污管口 150 mm 处;
- (3) 清管器的过盈量为 3.4%。

小球筒公称直径为 600 mm, 主球筒直径为 700 mm, 小球筒长度为 5 700 mm, 主球筒长度为 6 150 mm, 大小头长度为 600 mm, 平衡管直径为 50 mm。在实际工程中, 放空管公称直径有 50 mm 和 100 mm 两种规格, 排污管公称直径有 50 mm、100 mm、150 mm、200 mm、250 mm、300 mm 等多种规格。本文研究了各种规格收球装置流场特性, 通过放空管轴线上(即 m 路径)和排污管轴线上(即 n 路径)的压力、流速及湍流动能的变化来分析各参数对流场的影响情况。

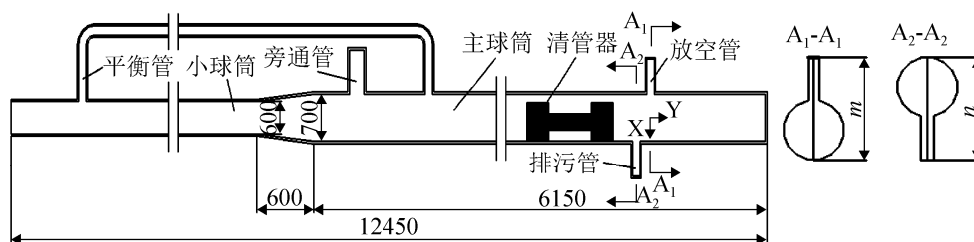


图 1 清管器收球装置结构示意图

Fig.1 Structure schematic drawing of pig receiving trap

1.2 边界条件

在 Fluent 平台上,对清管器收球装置进行了流场分析。由于输送介质为天然气,运动时连续地充满整个流场,采用 RNG $k\sim\epsilon$ 湍流模型对输气管道内的三维强旋流湍流运动进行模拟。流体入口设置为速度入口(小球筒入口),出口位置设置在放空管和排污管出口处。固定壁面采用无滑移边界条件,近壁面区域采用标准壁面函数。计算条件为入口速度为 3 m/s,常温,出口压力为 101 325 Pa。采用标况下密度为 0.667 9 kg/m³,动力粘度 μ 为 1.087×10^{-5} Pa·s 的甲烷气体近似替代天然气。使用有限体积法建立方程,结合 QUICK 差分格式和 SIMPLE 算法对控制方程进行求解。图 2 为划分网格之后的有限元网格模型。

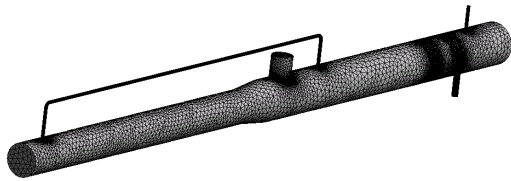


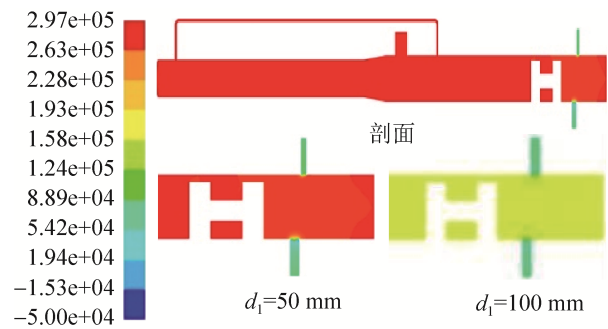
图 2 有限元分析模型
Fig.2 Finite element analytical model

2 结果分析

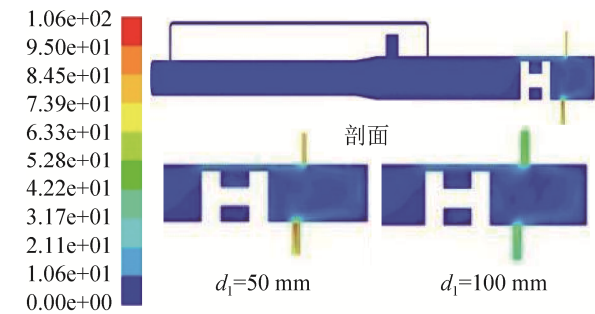
2.1 放空管

不同放空管径下收球装置流场压力、速度和湍动能云图如图 3 所示。图 3(a)中,在收球装置内,压力呈现出 3 个界线较明显的区域,即清管器停留处的左端球筒内,右端球筒内,及放空管和排污管内;其中清管器停留处的左端球筒内,因筒结构均匀,湍流强度小,故压力最大。而在右端球筒内,由于流通直径减小,湍流增大,且流体到达放空管和排污管入口位置时,流动方向发生了改变,流体压力损耗增大,压力开始减小;而在放空管和排污管内,因直径与主球筒直径相差很大,流体受到挤压,能量损耗较大,故压力最小;放空管径为 50 mm 时,最大压力约为 0.3 MPa,管径为 100 mm 时,最大压力约为 0.17 MPa,压力明显较小。图 3(b)

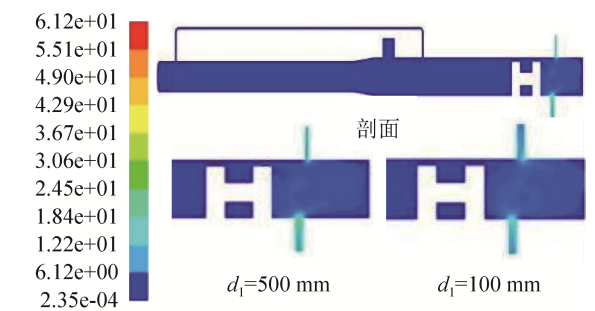
中,在清管器停留处左端球筒内,两种管径的流速变化不大,但在右端,由于放空管和排污管管径急剧减小,流速急剧增大,湍流运动最强烈。管径 50 mm 时,最大流速约为 100 m/s,管径 100 mm 时,最大流速约为 60 m/s,流速明显减小。图 3(c)中,清管器停留处右端球筒内容易形成漩涡,湍流强度大,在放空管和排污管内更为明显;放空管径为 100 mm 时,湍流动能相对较小。



(a) 压力云图



(b) 速度云图



(c) 湍动能云图

图 3 清管器收球装置云图
Fig.3 Nephogram of pig receiving trap

不同放空管径下,收球装置放空管内压力、速度和湍动能沿 m 路径方向变化曲线如图 4(a)所示。当流体到达位置-0.3 m 附近(即放空管入口处)

时, 压力急剧减小, 与放空管径 50 mm 相比, 管径为 100 mm 时压力变化较小。当流体到达位置 -0.3 m 附近时, 流速和湍流动能则急剧增大, 与放空管径 50 mm 相比, 管径为 100 mm 时, 流速和湍流动能明显较小, 且在位置 -0.35 m \sim -0.75 m 处(即放空管内)湍流动能波动较大。不同放空管直径下, 清管器收球装置排污管内压力、速度和湍流动能沿 n 路径方向变化曲线如图 4b 所示。在位置 0.3 m 附近(即排污管入口处), 压力急剧减小; 与放空管径 50 mm 相比, 管径为 100 mm 时, 压力变化较小。在位置 0.3 m 附近, 流速和湍流动能明显增大, 与放空管径 50 mm 相比, 管径为 100 mm 时, 流速和湍流动能明显较小, 在位置 0.35 m \sim 0.75 m 处(即排污管内), 流速的波动也略小。

2.2 排污管

当放空管径取 100 mm 时, 不同排污管径下,

收球装置流场压力、速度和湍流动能云图如图 5 所示。图 5(a)中, 主球筒内压力最大, 在清管器停留处的右端压力减小, 放空管和排污管内压力最小。随着排污管直径增大, 压力逐渐减小, 当排污管径大于等于 150 mm 时, 随着直径增大, 压力变化较小。图 5(b)中, 在大小头处, 气体流速略有减小, 而在放空管和排污管内流速达到最大; 随着排污管径增大, 放空管和排污管内流速逐渐减小, 排污管径为 150 mm 时, 流速明显减小, 且继续增大直径, 流速变化趋缓。图 5(c)中, 排污管径为 100 mm 时, 最大湍流动能出现在排污管入口管段内, 约为 20 m^2/s^2 ; 排污管径为 150 mm 时, 湍流动能明显减小, 最大湍流动能约为 7.5 m^2/s^2 , 且继续增大直径, 湍流动能变化较小。从排污管排气功能角度考虑, 此型号收球装置的排污管直径取为 150 mm 较为合适。

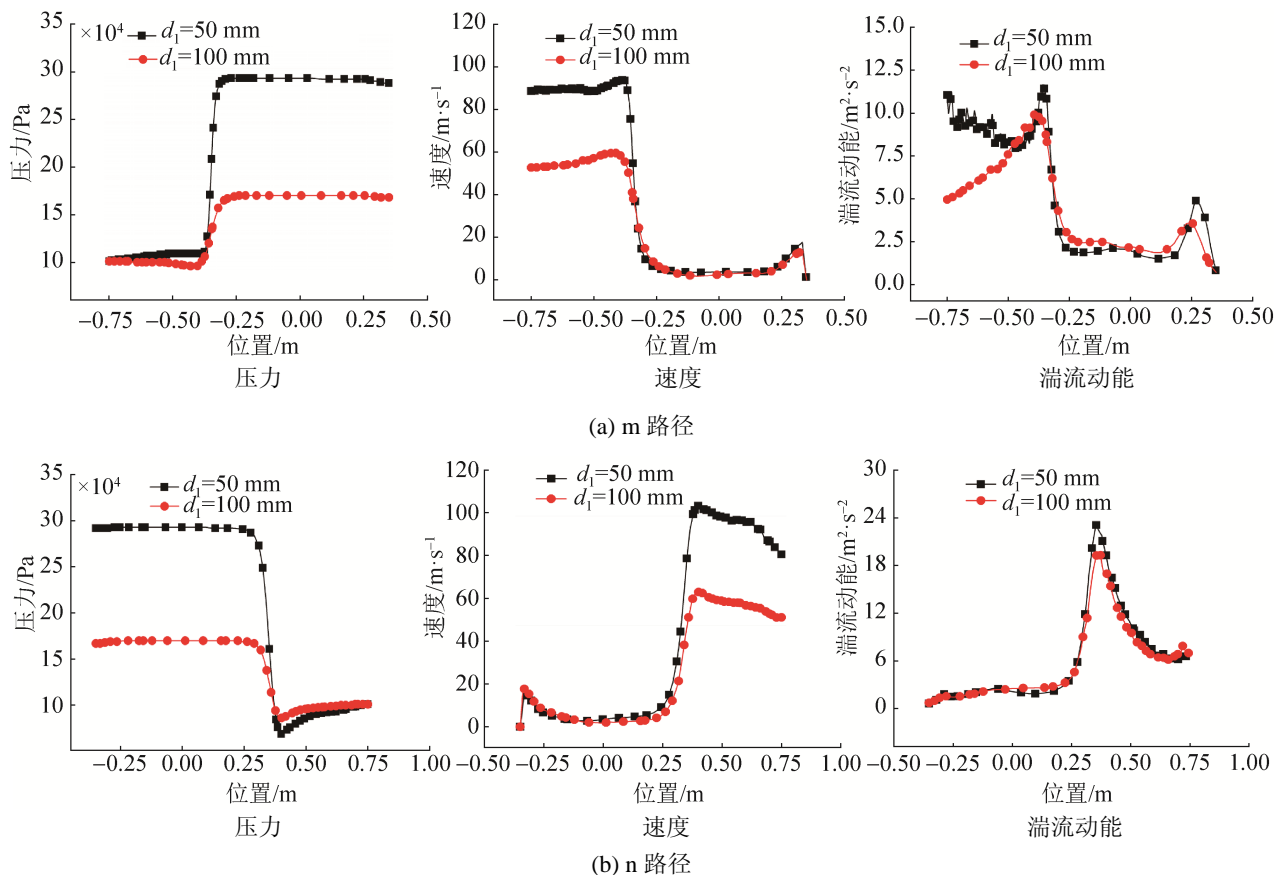
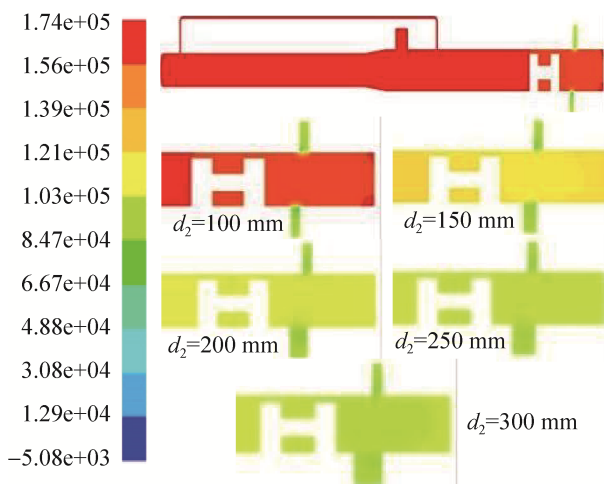
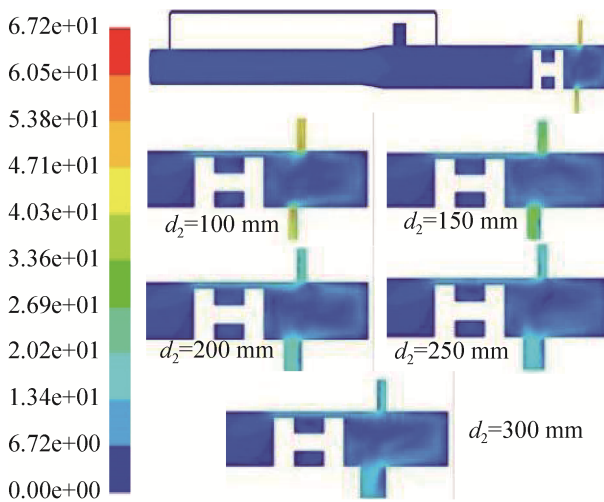


图4 不同放空管径下压力、速度及湍流动能沿 m 、 n 路径变化曲线

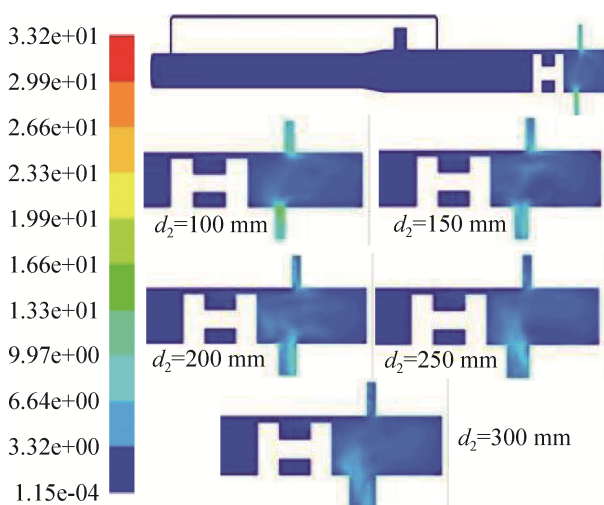
Fig.4 Changing curve of pressure, velocity and turbulent kinetic energy along m and n path under different vent pipe diameters



(a) 压力云图



(b) 速度云图



(c) 湍流动能云图

图 5 清管器收球装置云图

Fig. 5 Nephogram of pig receiving trap

不同排污管径下, 收球装置放空管内压力、速度和湍流动能沿 m 路径方向变化曲线见图 6(a)。当流体到达位置 -0.3 m 附近(即放空管入口处)时, 压力明显减小, 进入放空管后平稳输送; 随着排污管直径增大, 压力逐渐减小, 压力变化率也随之减小。当流体到达位置 -0.3 m 附近时, 流速急剧增大, 随着排污管直径增大, 流速减小, 流速变化率也随之减小; 当排污管直径大于 150 mm 时, 流速在位置 -0.35 m~ -0.75 m 处(即放空管内)波动略大。随着排污管直径增大, 湍流动能减小, 但排污管直径大于 150 mm 时, 湍流动能相对较小, 但波动较大。不同排污管径下, 收球装置排污管内压力、速度及湍流动能沿 n 路径方向变化曲线如图 6(b)所示。在位置 0.3 m 附近(即排污管入口处), 压力明显减小, 进入排污管后逐渐平稳输送; 随着排污管直径增大, 压力减小, 压力变化率也随之减小。在位置 0.3 m 附近, 流速急剧增大, 随着排污管直径增大, 流速减小, 流速变化率也逐渐减小。排污管直径为 100 mm 时, 在位置 0.3 m 附近, 湍流动能急剧增大, 在排污管直径大于等于 150 mm 时, 湍流动能变化不大。从排污管排气驱污功能角度考虑, 此型号收球装置的排污管直径取为 150 mm 较为合适。

3 清管器运行速度对流场的影响

不同的清管器运行速度下, 收球装置放空管内压力、速度和湍流动能沿 m 路径变化曲线如图 7(a)所示。如图 7(a)表示压力的图所示, 随着运行速度增大, 压力增大, 压力变化率也增大。如图 7(a)表示速度的图所示, 随着运行速度增大, 放空管内流速逐渐增大, 当运行速度大于等于 4 m/s 时, 在位置 -0.35 ~ -0.75 m 处(即放空管内), 流速略有波动。如图 7(a)表示湍流动能的图所示, 运行速度小于等于 5 m/s 时, 增大清管器运行速度, 气体湍流动能增大, 但变化率很小; 当清管器运行速度为 6 m/s 时, 在位置 -0.3 m 附近(即放空管入口处), 气体湍流动能急剧增大。不同运行速度下, 收球装置排污管内压力、速度及湍流动能沿 n 路径变化曲线如图

7(b)所示。如图 7(b)表示压力的图所示, 随着运行速度增大, 压力增大, 压力变化率也增大。如图 7(b)表示速度的图所示, 随着清管器运行速度增大, 气体流速逐渐增大。如图 7(b)表示湍流动能的图所示, 随着清管器运行速度的增大, 气体湍流动能增大; 当运行速度为 2~3 m/s 时, 湍流动能变化

不大, 当运行速度为 3~4 m/s 时, 在位置 0.35~0.75 m 处(即排污管内), 湍流动能增大较明显; 当运行速度为 4~5 m/s 时, 湍流动能变化不大, 当运行速度为 6 m/s 时, 在位置 0.3 m 附近(即排污管入口处)湍流动能急剧增大。

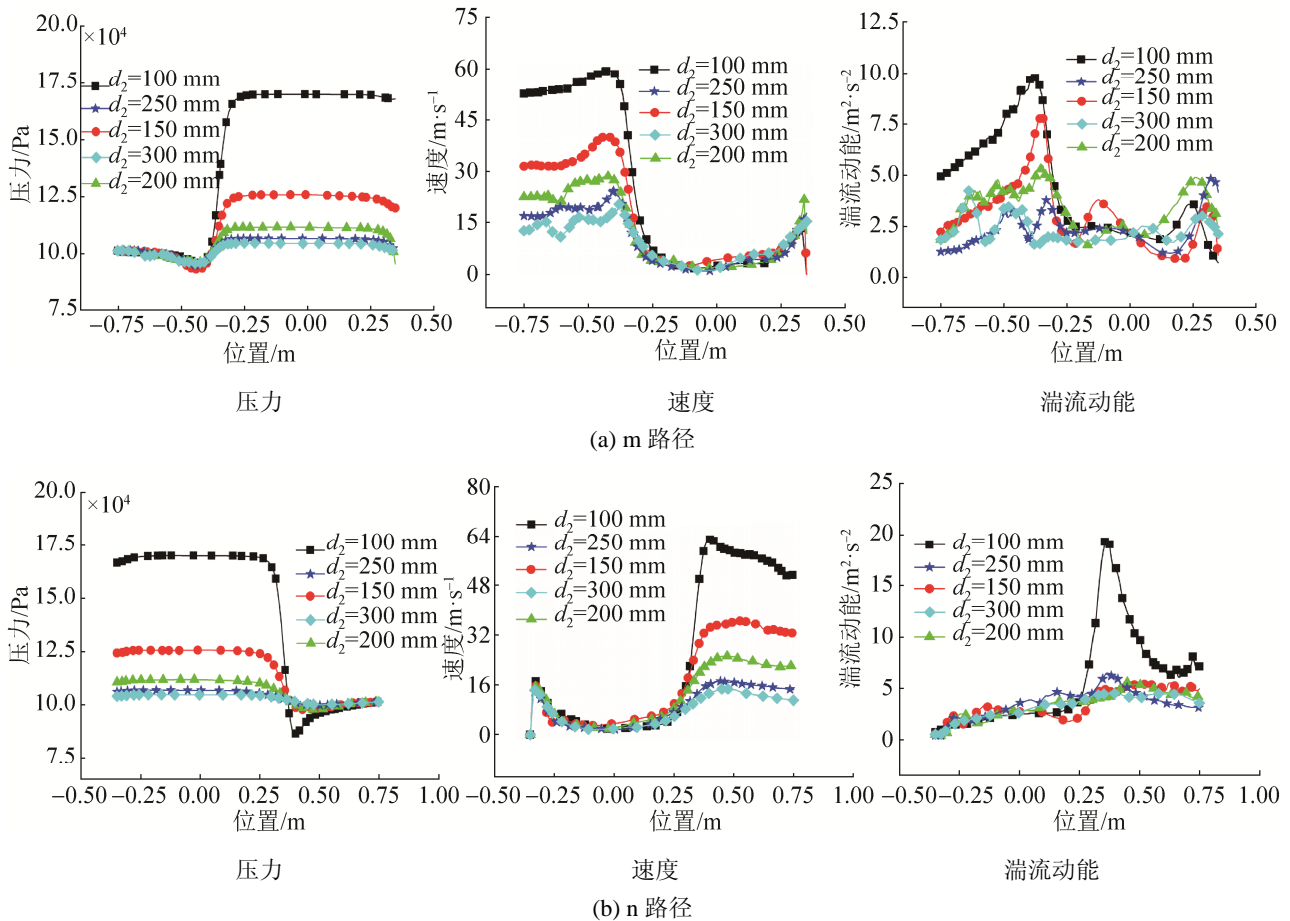
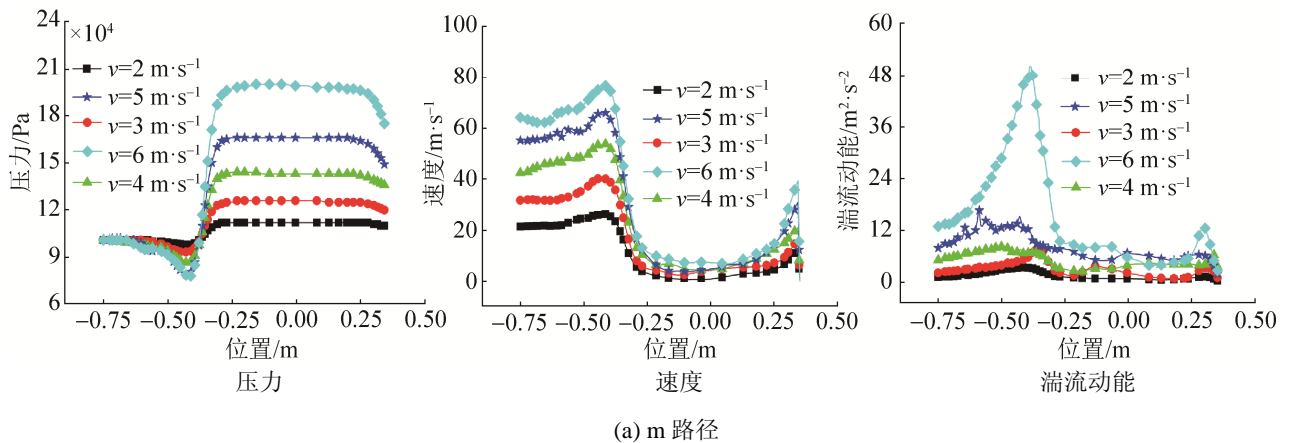
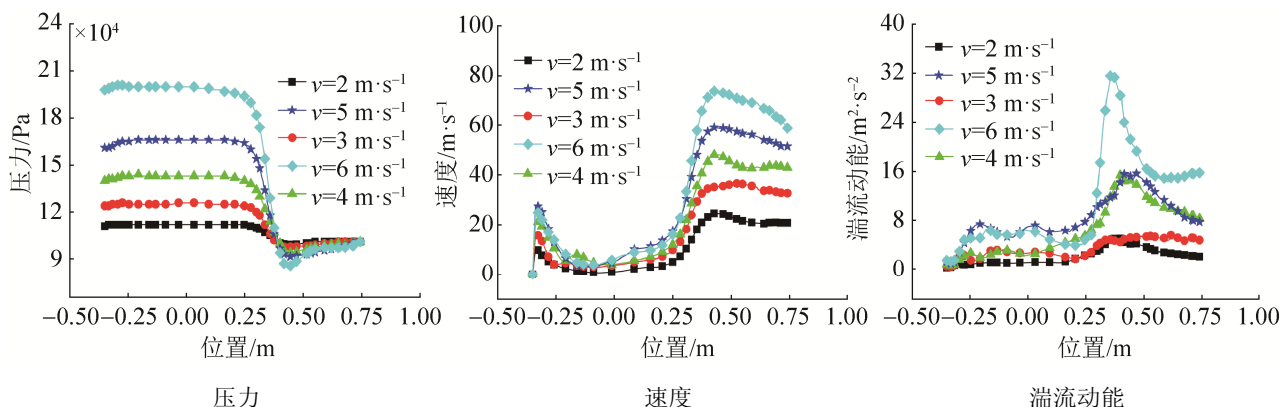


图 6 不同排污管径下压力、速度及湍流动能沿 m、n 路径的变化曲线

Fig.6 Changing curve of pressure, velocity and turbulent kinetic energy along m and n path under different blow-off pipe diameters





(b) n 路径

图 7 不同运行速度下压力、速度及湍流动能沿 m、n 路径的变化曲线

Fig.7 Changing curve of pressure, velocity and turbulent kinetic energy along m and n path under different running speed of pig

4 结论

(1) 清管结束时, 在清管器收球装置内, 压力呈现出 3 个界线较明显的区域, 分别为清管器停留处的左端球筒内, 右端球筒内及放空管和排污管内; 左端球筒内压力分布均匀, 压力最大; 右端球筒内, 压力逐渐减小, 放空管和排污管内压力最小。在清管器停留处的右端容易形成漩涡。

(2) 对于放空管, 相较管径 50 mm, 管径 100 mm 时压力、流速及湍流动能均较小。对于排污管, 随着排污管径增大, 气体压力、流速、湍流动能减小, 变化率也随之减小, 排污管径为 100 mm 时, 湍流动能最大, 约为 $20 \text{ m}^2/\text{s}^2$; 排污管直径大于 150 mm 时, 湍流动能较小, 但在放空管内波动略大。从排污管排气驱污功能角度考虑, 此型号收球装置的排污管直径取为 150 mm 较为合适。

(3) 随着清管器运行速度增大, 放空管和排污管内压力、速度以及湍流动能均增大, 压力变化率也随之增大; 运行速度小于等于 5 m/s 时, 湍流动能较小; 运行速度为 6 m/s 时, 放空管和排污管入口处湍流动能急剧增大。

参考文献:

[1] 赵弘, 马明, 苏鑫. 基于 CFD 清管器结构的管内流场模拟及优化设计[J]. 油气储运, 2015, 34(5): 562-566.
ZHAO Hong, MA Ming, SU Xin. Internal flow field simulation and design optimization based on CFD

pipeline pig structure[J]. Oil And Gas Storage And Transportation, 2015, 34(5): 562-566.

- [2] 陈建华, 张永兴, 李秀全, 等. 清管器发射和接收装置的设计及应用[J]. 石油矿场机械, 2009, 38(8): 82-84.
CHEN Jian-hua, ZHANG Yong-xing, LI Xiu-quan, et al. Design and application of pig-launcher and pig-receiver [J]. Oil Field Equipment, 2009, 38(8): 82-84.
- [3] 罗敬义, 迟元祯. 管线通球工艺[J]. 管道技术与设备, 1995(1): 14 - 18.
LUO Jing-yi, CHI Yuan-zhen. Pipeline pass process[J]. Pipeline Technique and Equipment, 1995(1): 14-18.
- [4] 段瑞溪, 于达, 吴海浩, 等. 多相流管道不同过盈量清管器清管模拟实验[J]. 油气储运, 2013, 32(1): 36-42.
Duan Ruixi, Yu Da, Wu Haihao, et al. Pigging simulation experiment on pigs with different shrink range for multiphase flow pipeline[J]. Oil And Gas Storage And Transportation, 2013, 32(1): 36-42.
- [5] 白港生. 长输天然气管道内黑色粉末清管工艺[J]. 化工设备与管道, 2010, 47(6): 68-72.
BAI Gang-sheng. Process of cleaning black particles in long distance natural gas pipeline[J]. Process Equipment And Pipeline, 2010, 47(6): 68-72.
- [6] 朱喜平. 天然气长输管道清管技术[J]. 石油工程建设, 2005, 31(3): 12-16.
ZHU Xi-ping. Pigging technology of long distance natural gas pipeline[J]. Petroleum Engineering Construction, 2005, 31(3): 12-16.
- [7] 邱青原. 浅析天然气长输管道清管作业工艺[J]. 化工管理, 2013(9): 248.
QIU Qing-yuan. Analysis of the process of pigging operation in natural gas pipeline[J]. Chemical Enterprise Management, 2013(9): 248.