文章编号: 1000-4939(2012)03-0310-04

垂直提升管道输送过程流固耦合分析

周知进1 卢浩1 王钊1 文泽军1 夏毅敏2

(湖南科技大学 411201 湘潭)¹ (中南大学 410083 长沙)²

摘要: 以垂直提升管道的下管道支撑点为研究对象,用有限元方法对固液两相流输送过程中的流 固耦合作用进行应力与位移计算。建立了管道和流体有限元模型,利用 ADINA-FSI 流固耦合模块 进行求解;针对不同启动时间、不同约束条件、不同输送浓度、不同输送速度工况下管道铰接点 的应力和位移进行分析。结果表明: 随着两相流输送浓度和速度的增加,管道应力和位移也相应 地增加;启动时间越短,管道应力和位移也越大;柔性连接时管道铰接点应力和位移远大于固接 时的应力和位移。

关键词:垂直管道提升;流固耦合;输送过程;有限元分析;应力与位移 中图分类号:U173.91 文献标识码: A

1 引 言

深海采矿系统分为集矿、扬矿、测控和水面支 持四个子系统(图 1)。扬矿子系统由扬矿硬管、 中间舱、扬矿软管和输送泵组成^[1]。扬矿硬管的上 端与采矿船柔性相接,下端与中间舱相连,是将矿 产从海底输送到水面船的关键设备。



图 1 采矿系统示意图

垂直柔性联接提升管道作为采矿系统中的关键 设备,是输送过程中垂直方向的唯一通道,对系统 安全可靠稳定作业具有重要作用。垂直柔性联接提 升管道在输送过程中,管道与流体之间相互作用, 在不同约束支下将产生多种形态各异的流固耦合现 象^[2]。以往对管道振动研究大多为水平、多约束、 固定支承的管道^[3-6],对于垂直提升管道振动研究较 少,更没有涉及柔性联接下固液两相流输送过程的 流固耦合作用,所得结果精度不高^[6-11]。

本文应用有限元方法对不同启动时间、约束条 件、输送浓度、输送速度条件下的垂直悬臂输流管 道进行流固耦合动态特性分析,研究其应力和位移 特性,为管道结构设计、校核、振动机理和减振技 术研究提供参考。

2 管道有限元模型

选择X轴方向为管道轴向,上端采用固结(悬臂 支撑)与柔性联接(弱约束)两种支撑方式。上端固

 基金项目:国家自然科学基金(50875081);中国博士后科学基金(20080440992);湖南省科技支撑计划(2009SK3159)

 来稿日期:2011-07-18
 修回日期:2012-03-20

 第一作者简介:周知进,男,1969年生,博士,湖南科技大学,教授;研究方向——深海矿产资源技术与设备的研究开发。

 E-mail: zjzhou@hnust.edu.cn

结六个自由度全部限制,上端柔性联接限制四个自由度,保留绕 Y、Z 两个转动自由度;下端为自由端。 为了计算分析方便,分别建立管道和流体模型。

2.1 管道模型

管道模型采用 ADINA-Structure 模块建模,管 壁内径为 200mm,壁厚为 9.5mm,弹性模量为 210GPa,泊松比为 0.3,密度为 7.8g/cm³。管道单 元采用 9 节点壳单元,管壁采用有滑移的流固耦合 边界条件,小变形假设。管壁模型及其局部放大模 型如图 2 所示。

2.2 流体模型

流体采用 ADINA-CFD 模块建模,将管内固液 两相流流体简化成圆柱体,流体单元采用 8 节点 3D-流体单元,水的密度为 1g/cm³,输送矿石颗粒密度 为 2.04g/cm³,选择两相流外表面为流固耦合界面, 流体模型为大变形。

分别在 ADINA 中不同的数据库内建立管道和 流体两个模型,最后通过运行 ADINA-FSI 模块,分 析各种工况下的管道振动动态特性。





3 应力分析

3.1 不同输送浓度时的应力分析

选取 0.05s 和 0.1s 两种不同启动时间,柔性联 接和悬臂两种不同约束条件,5%、7.5%、10%、 12.5%、15%五种不同输送体积浓度,分析相同输送 速度下的铰接点处管道应力特性。不同工况下的最大 应力随浓度变化如图 3 所示。



由图 3 可以看出,当启动时间为 0.05s,不同支 撑条件时,管道的应力均随着输送浓度的增大而增 大。柔性联接时的应力值较大,分别为固接时应力 的 11.06 倍、10.98 倍、10.57 倍、10.79 倍、11.07 倍。当启动时间为 0.1s,两种约束条件时的管道应 力均随着输送浓度的增大而增大。柔性联接时的应 力值较大,分别为固接时应力的 12.08 倍、11.65 倍、 11.43 倍、11.17 倍、11.07 倍。即在相同启动时间时, 随着输送浓度的增加,管道所产生的应力也增加, 柔性联接时所产生的应力明显大于固接时的应力, 即边界条件对管道应力的影响较大,在工程实际中 应注重边界条件的控制。

由图 3 可以得出: 在柔性联接条件下,0.05s 启动时的管道应力分别为0.1s 启动时的1.16 倍、1.19 倍、1.21 倍、1.33 倍、1.38 倍; 固接条件下,0.05s 启动时的管道应力分别为0.1s 启动时的1.27 倍、1.27 倍、1.31 倍、1.37 倍、1.38 倍。即在相同约束条件时,启动时间越短,管道所产生的应力越大。

3.2 不同输送速度时的应力分析

选取 0.05s 和 0.1s 两种不同启动时间,柔性联 接和固接两种不同约束条件,1m/s、1.5m/s、2m/s, 2.5m/s、3m/s 五种不同输送速度,分析相同输送浓 度时的应力特性。不同工况下的最大应力随速度变 化如图 4 所示。



图 4 不同启动时间最大应力随速度变化曲线

由图 4 可见,当启动时间为 0.05s 时,柔性联接时的应力值较大,分别为固接时应力的 6.77 倍、16.97 倍、17.14 倍、10.47 倍、11.07 倍。当启动时间为 0.1s 时,柔性联接时的应力值较大,分别为固接时应力的 9.34 倍、8.14 倍、19.58 倍、14.17 倍、12.08 倍。柔性连接时,随着速度的增加,0.05s 启动时的管道应力分别为 0.1s 启动时的 1.41 倍、2.60 倍、1.07 倍、1.07 倍、1.16 倍。固接时,随着输送速度的增加,0.05s 启动时的管道应力分别为 0.1s 启动时的 1.94 倍、1.25 倍、1.22 倍、1.45 倍、1.27 倍。

4 位移分析

管道在输送过程中,流体脉动会使管道产生一 定的偏移,因此对不同输送浓度和输送速度时的管 道三个方向位移进行分析。

4.1 不同输送浓度时的位移

选取 0.05s 和 0.1s 两种不同启动时间,弱约束 和固接两种不同约束条件,对 5%、7.5%、10%、 12.5%、15%五种不同输送体积浓度时管道三个方向 的位移情况进行分析。得上述不同工况下的管道三 方向位移如图 5~图 6 所示。



图 6 0.1s 启动位移随浓度变化曲线

由图 5~图 6 可见,随着输送浓度的增加,管道 Y、Z 方向的位移都有不同程度的增加,即随着输送 浓度的增加,管道振动更加明显;启动时间的长短 对位移也有一定程度的影响,启动时间越短,产生 的位移越大,且位移变化也越大;管道的横向位移 大于轴向位移。

4.2 不同输送速度时的位移

选取 0.05s 和 0.1s 两种不同启动时间,弱约束

和固接两种不同约束条件,1m/s、1.5m/s、2m/s、 2.5m/s、3m/s 五种不同输送速度时管道三个方向的 位移情况进行分析。不同工况下的管道三方向位移 如图 7~图 8 所示。



由图 7~图 8 可见:随着输送速度的增加,管道 *X、Y、Z* 三个方向的位移都有不同程度的增加,且 随着输送速度的增加,管道振动更加明显;弱约束 时的位移大于固接时的位移;启动时间的长短对位 移也有一定程度的影响,启动时间越短,位移越大; 管道的横向位移大于轴向位移; Y、Z方向的位移 数值相等,具有的对称性。

5 结束语

随着输送浓度和速度的增加,管道所受应力增 大,且弱约束时的管道应力大于固接时的应力;启 动时间越短,所产生的应力越大。

管道位移随着输送浓度和速度的增加,两个方向的位移均有一定程度的增加,管道的横向位移大于轴向位移,在工程实际中应对管道的横向位移进行合理控制,以免由于较大偏移造成输送困难和事故。

参 考 文 献

- Chung Jin S. An articulated pipe system with thrust control for deep-ocean ming: ISOPE-OMS-97[C]. [S.I.]: LSOPE, 1997: 82-84.
- [2] 杨超,范士娟. 输液管道流固耦合振动的数值分析[J]. 振动与冲击, 2009, 28(6): 2148-2157.
- [3] 冯卫民, 宋立, 肖光宇. 基于 ADINA 的压力管道流固耦合 分析[J]. 武汉大学学报:工学版, 2009, 42(2): 264-267.
- [4] Bertram C D. Evaluation by fluid/Structure-interaction spinal-cord simulation of the effects of sub- achnoid-space stenosis on an adjacent syrinx[J]. Journal of Biomechanical Engineering, 2010, 132: 1-14.
- [5] Ryu Bong-Jo, Ryu Si-Ung, Kim Geon-Hee, et al. Vibration and dynamic stability of pipes conveying fluid on elastic foundations [J]. KSME International Journal, 2004, 18(12): 2148-2157.
- [6] Yoon Han-IR, Son In-Soo, Ahn Sung-Jun. Free vibration analysis of Euler-Bernoulli beam with double cracks[J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2007, 21: 476-485.
- [7] 杨晓东,金基铎. 输流管道流-固耦合振动的固有频率分析[J]. 振动与冲击,2008,27(3): 80-86.
- [8] Dong K J, Guo B Y, Chu K W, et al. Simulation of liquid–solid flow in a coal distributor[J]. Minerals Engineering 2008, 21: 789-796.
- [9] 张立翔,黄文虎, Tijsseling A S. 水锤诱发弱约束管道流固耦合 振动频谱分析[J]. 工程力学,2000,17(1): 1-12.
- [10] Al-Amiri Abdalla, Khanafer Khalil. Fluid-structure interaction analysis of mixed convection heat transfer in a lid-driven cavity with a flexible bottom wall[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2011, 54: 3826-3836.
- [11] 卢浩.静水扬矿硬管输送过程流固耦合振动的数值仿真与实验研究[D]. 湘潭:湖南科技大学, 2011.

Analysis on stress and displacement of fluid-solid coupling of vertical lifting pipe in transporting

Zhou Zhijin¹ Lu Hao¹ Wang Zhao¹ Wen Zejun² Xia Yimin³

(School of Mechanical & Electrical Engineering, Hunan University of Science and Technology, 411201, Xiangtan, China)¹ (Hunan Provincial Key Laboratory of Health Maintenance for Mechanical Equipment, Hunan University of Science and Technology, 411201, Xiangtan, China)² (Key Laboratory of Modern Complex Equipment Design and Extreme Manufacturing, Central South University, 410083, Changsha, China)³

Abstract: Analysis on stresses and displacements of vertical cantilever lifting pipe based on fluid-solid coupling theory in transporting is conducted by adopting ADINA. By establishing finite element models of pipe and fluid respectively, their solutions are obtained by using ADINA-FSI module, stresses and displacements of lifting pipe under different run-up times, different constrained conditions, different volume concentrations and velocities are investigated. The results obtained show that stresses and displacements increase simultaneously with transporting concentration and velocity increase; the shorter the run-up time takes, the bigger the stresses and displacements of the pipe will be; the stresses and displacements of the pipe under flexible connection hinge points are greater than those under fixing connection conditions. Results possess certain important significance on structure design, support style and vibration reduction study for lifting pipes.

Keywords: vertical transporting pipe, fluid-structure interaction, finite element theory, stress and displacement.

Shear performance of wood-frame shear walls with cross brace

Du Min^{1, 2} Xie Baoyuan¹ Fei Benhua² Wang Xiaohuan³ Liu Yan⁴

(Soil and Water Conservation School of Beijing Forestry University, 100083, Beijing, China)¹
 (International Bamboo and Rattan Network Center, 100102, Beijing, China)²
 (Beijing Forestry Machinery Research Institute of State Forestry Administration, 100029, Beijing, China) 3
 (Building Science and Civil Engineering College of Yangzhou University, 225009, Yangzhou, China)⁴

Abstract: Five group shear walls are tested under monotonic and cyclic loads respectively, and the effects of cross brace and different panel on the strength, stiffness, ultimate displacement and energy dissipation of the shear walls are studied experimentally. Results obtained show that the maximum uplift of end studs in wall with cross brace is only 22.7% of that in wall without cross brace. This indicates that cross brace plays significant role in limiting the uplift of studs and makes the failure of nail connection in plate before that in studs. And cross brace can also improve the stiffness and reduce the displacement of the wall. Besides, plywood can be used to make shear wall in place of OSB plate because of the good shear performance in experiment. However, the shear performance of wall with HuaQi plate is poor, and its shear strength is far below the 4.7 kN/m, which is the limit value in GB50005-2003(Code for design of timber structures), so it is better to be used as intensity reserve in practice.

Keywords: wood-frame shear wall, cyclic load test, cross brace, different panels.