

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.01.008

换热器管线阻尼减振技术研究*

万方腾,何立东*,丁继超,范文强

(北京化工大学 化工安全教育部工程研究中心,北京 100029)

摘要:为解决某化工厂常压塔换热器出口管线振动严重的问题,保证管线的安全运行,对换热管线振动机理及减振措施进行了研究。采用有限元分析手段,运用 ANSYS 有限元软件分析了管道固有模态;运用 Fluent 软件模拟了管道内部流体激振情况,从根源上分析了管道振动原因;结合现场实际安装条件与有限元仿真,探究了阻尼减振技术对换热器管线的减振效果;在管道振动相应位置安装了粘滞性阻尼器,明显抑制了换热器管道振动。研究结果表明:阻尼减振技术可以有效降低管道振动,同时阻尼减振技术不改变管道原有结构,可以有效吸收振动能量,不会产生振动转移的现象。

关键词:换热器;管线振动;有限元分析;阻尼器

中图分类号:TH113.1

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2019)01-0036-04

Damping vibration reduction technology of heat exchanger pipeline

WAN Fang-teng, HE Li-dong, DING Ji-chao, FAN Wen-qiang

(Engineering Research Center of Chemical Safety Ministry of Education,

Beijing University of Chemical Technology Beijing 100029)

Abstract: Aiming at solving the serious vibration problem of the outlet pipe of the atmospheric tower heat exchanger of a chemical plant, ensuring the safe operation of the pipeline, the research on vibration mechanism and vibration reduction method of heat exchanger pipeline were carried out. The natural mode of the pipeline was calculated by ANSYS finite element software, and the fluid excitation inside the pipe was calculated by Fluent finite element software for the purpose of analyzing the fundamental cause of pipe vibration. Combining the actual installation conditions and finite element simulation, the effect of damping technology on the heat exchanger pipeline was explored. The viscous damper was installed at a certain place of pipe. After using damping technology, the vibration of heat exchanger pipeline was successfully reduced. The results indicate that the damping technology can effectively reduce the pipeline vibration, and energy of vibration is significantly absorbed, moreover, the original structure of pipe do not be changed by damping technology and vibration energy do not be transported.

Key words: heat exchanger; vibration of pipeline; finite element analysis; damper

0 引言

换热器是化工厂重要的热交换设备,其附属管线往往由于内部复杂的流体流动情况而产生一系列的振动问题^[1],而管线长期产生振动,可能会造成管线疲劳断裂等现象。化工厂一旦管线出现疲劳破坏等危害,轻则产生运输介质泄漏,重则产生爆炸等重大安全

事故,因此管线振动引起了广泛的关注。

目前,管道减振主要有两个途径:(1)控制管流的压力脉动,使其不产生谐振;(2)调整管系结构的固有频率,使其不产生机械振动^[2]。现有管道减振技术要么是在管系中添加集气管、孔板、缓冲器等辅助设备^[3],要么是增加刚性约束改变管道系统结构。而阻尼减振技术不改变原有管系结构,不增加刚性约束,不

收稿日期:2018-08-09

基金项目:国家重点基础研究发展计划(2012CB026000)

作者简介:万方腾(1994-),男,湖北孝感人,硕士研究生,主要从事机械振动控制等方面的研究。E-mail:982094537@qq.com

通信联系人:何立东,男,教授,博士生导师。E-mail:1963he@163.com

会转移振动能量,保证管线安全正常运行。阻尼减振技术原理在于,在管线振动处,施加外加阻尼,来消耗管线振动能量^[4]。

某化工厂蒸馏车间蒸馏塔换热器出口管线振动的现场情况显示,该换热器管线走向复杂,存在多个弯头以及阀门;并且该管线直管段跨距大,管道刚度低。据现场了解该换热器为超负荷运行状态,并且输运来的原油含水量较大,管道内出现两相流导致管道振动过大^[5]。

本文将对该换热器管线系统振动机理进行研究,通过现场测量换热器出口管线振动频率以及振动幅值,运用有限元软件 ANSYS 对换热器出口管线进行模态结构分析,运用 Fluent 软件模拟流体激振力来源;结合现场实测数据,通过在管道的合适位置处安装阻尼器来对该管道进行减振。

1 换热器参数及现场振动情况

该化工厂为提高能量利用率,在进常压塔处设置常二中-原油换热器,利用常压塔提取出的高温常二中油对脱盐、脱硫后的原油进行预加热处理。换热器设计常二中油入口温度为 280 ℃,原油入口温度为 45 ℃,管程流体为常二中油、设计压力为 2.1 MPa,壳程走流体为原油、设计压力为 2.6 MPa。换热器设计原油流量为 218.75 t/h。在实际换热器使用时,该换热器流量为 230 t/h,换热器出口管线直径为 DN350。换热器出口管线现场分布图如图 1 所示。



图1 换热器出口管线现场分布图

由图 1 可以发现:该换热器出口管线存在较多弯头及斜管段,且存在一段较长直管段,管道刚度较低。未改造前该换热器出口管线振动肉眼可见。

换热器出口管线现场振动监测点示意图如图 2 所示。

按照图 2 振动测点,现场用测振仪器对该管线进行振动数据测量,测量发现 C、D、E、F 处振幅均超过 300 μm,其中 D 点振动最大为 659 μm。

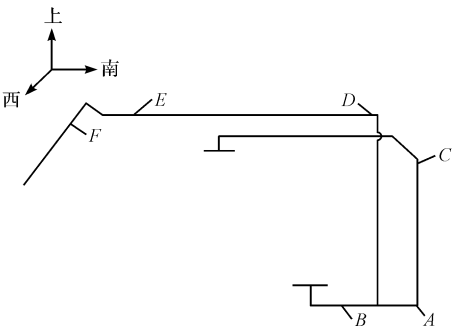


图2 换热器出口管线示意图及振动测点

2 换热器管道振动原因分析

2.1 换热器出口管道振动原因分析

- (1)该换热器出口管线走向复杂,存在多个弯头及斜管段,弯头处及斜管段处流体动量急剧改变,容易产生流体激振力;
- (2)该换热器原油流量增大,换热器换热能力无法满足需求,换热器原油出口管线含水量增大,导致气流两相流,产生流体激振力;
- (3)该换热器出口管线存在较长直管段,该直管段刚度偏小,极易产生振动。

2.2 换热器出口管道模态分析

换热器出口管线为一连续、复杂质量体,其具有无穷多阶模态^[6]。在换热器出口管道所受外界激励力频率与管道某阶固有频率发生重合时,管道系统就会出现共振现象。实际在工程上一般认为管道某阶固有频率的 0.8 ~ 1.2 倍范围内为管道共振频率。

为研究分析该换热器管线的模态,本文运用 ANSYS 有限元软件对该换热器管线进行模态分析。分析时取振动最大的管线部分作为分析研究对象,采用 Solid185 实体单元进行分析,并且在管道与外界连接处约束条件设置为固定约束。

计算得到该换热器管线前五阶模态频率大小如表 1 所示。

表 1 换热器管道前五阶					
模态阶次	1	2	3	4	5
频率 f/Hz	6.76	7.35	8.26	11.17	13.82

计算得到该换热器出口管线二阶模态位移云图如图 3 所示。

由图 3 及表 1 可得:该换热器出口管线二阶模态为 7.35 Hz,且二阶振型振动最大处与图(2)所示 D 点振动最大吻合。现场通过测振仪,测量管道振动主频为 7.5 Hz,该振动频率符合管道共振条件。由此可知,换热器出口管线由于流体激振产生了共振的现象。

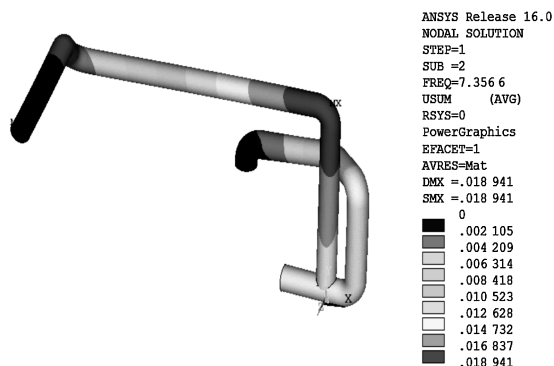


图 3 换热器出口管线二阶模态

2.3 换热器出口管道流体激振模拟

流体激励管道振动可分为两种:(1)强迫振动,(2)自激振动^[7]。一般来说管道在经过多个弯头以及阀门后,在弯头及阀门附近出现流体湍流现象,湍流引起管道振动^[8]。

为分析该换热器出口管线流体激振情况,判断流体激励力来源,运用 Fluent 有限元软件分析该管线内部流体运动情况。本文选取振动最大部位管线内流体为分析对象,流体入口与出口设置与图 1 保持一致。流体入口压力以及出口压力分别设置为 2.6 MPa 与 2.0 MPa,原油流速为 1 m/s,其余流体边界条件设置为壁面,采用 k-e 标准湍流模型,其计算迭代步数为 1 000。

计算得到的换热器出口管线湍流涡流损耗如图 4 所示。

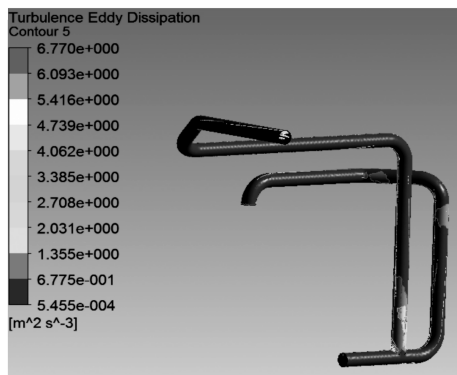


图 4 换热器出口管线流体湍流

由图 4 可知:在弯头及三通处存在较大的湍流涡流损耗,此处的流体容易出现湍流涡流引起管道的振动。而换热器出口管线超负荷运行时,换热器出口管线的湍流情况继续加剧,管道所受激励变大,管道振动也相应变大。

为削弱由弯头及阀门带来的流体激励的能量,此次改造在相应位置安装粘滞性阻尼器来减少管道振动能量。

3 阻尼器减振原理

任何形式的振动都具有一定的振动能量,管道振动在产生振动时同样具有一定的振动能量^[9]。从能量的角度来说,阻尼元件为能量消耗元件,将振动能量转化为比如热能或其他形式的能量。

设管道系统在任意时刻的能量方程为:

$$E_t = E_s + E_f \quad (1)$$

式中: E_t —振动过程中外界输入给管道的能量; E_s —管道系统振动能量; E_f —管道系统外界附加阻尼耗能。

式(1)表明:当管道工作状态保持不变时,即外界输入能量 E_t 保持不变时,附加阻尼消耗能量越大,管道系统振动能量就越小。

本研究通过在换热器出口管线振动较大处安装粘滞性阻尼器来降低管线振动。通过粘滞性阻尼器将管道振动能量转化为热能。

为求出粘滞性阻尼器在一个简谐振动周期过程内的能量消耗^[10],取管道在安装阻尼器位置振动主频强迫振动稳态响应为:

$$x = B \sin(\omega t - \varphi) \quad (2)$$

对式(2)对时间求导并求得粘滞性阻尼力。则粘滞性阻尼力大小为:

$$F_d = c \dot{x} \quad (3)$$

对阻尼力在整个振动周期内进行积分,粘滞性阻尼力在一个周期内消耗的能量为:

$$W_c = c \pi \omega B^2 \quad (4)$$

式中: c —粘滞性阻尼器的阻尼系数; ω —管道振动主频; B —管道主频振动振幅。

结合式(1,4),通过分析可得到:在管道振动最大处安装粘滞性阻尼器可以有效消耗管道振动能量,可以有效降低管道振动。

4 阻尼器减振效果

4.1 阻尼器现场安装方案

结合实际现场振动测量与有限元软件仿真,该换热器出口管线振动激励力由管道弯头及阀门处湍流引起。

考虑到阻尼器工作最佳位置以及现场施工安装的可行性,4 个粘滞性阻尼器安装位置如图 5 所示。

此次改造所采用的粘滞性阻尼器为活塞结构阻尼器,通过管夹与管道、管夹与活塞连成一个整体,管道振动时带动活塞在高粘度高分子液体中不断产生剪切作用产生阻尼作用,阻尼液不断耗散振动能量。

4.2 阻尼器安装减振有限元仿真

为探究换热器出口管线阻尼器减振效果,本研究

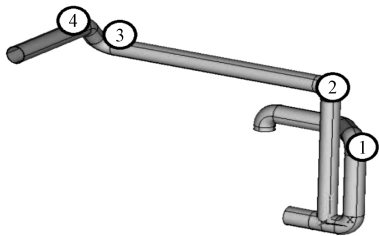


图 5 换热器出口管线阻尼器安装位置

对该换热器出口管线进行谐响应分析,在流体湍流剧烈的弯头处施加从 0 ~ 10 Hz 的激励力来模拟实际流体激励过程。在实际安装阻尼器 1、2、3、4 有限元结点处施加 Combin14 单元来模拟阻尼器减振效果。本文使用的粘滞性阻尼器阻尼系数为 137 Ns/mm,由于粘滞性阻尼支撑刚度较小,故在计算中忽略不计。

为方便起见取阻尼器 2 附近结点振幅作为安装阻尼器前后振幅对比点,在该结点处 0 - 10 Hz 各个频率下,施加阻尼前后振动幅值的对比图如图 6 所示。

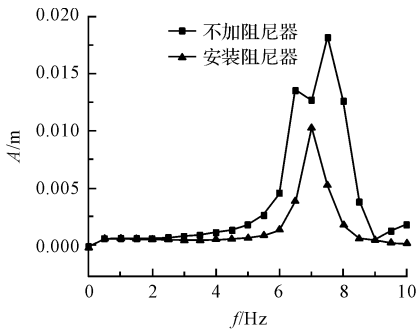


图 6 阻尼器减振效果图

图 6 表明:在换热器出口管线处安装粘滞性阻尼器可以有效降低换热器出口管线各个频率下的振动幅值,并且在产生振动越大的频率处减振效果越好。说明粘性阻尼器可以有效降低管线振动。

4.3 阻尼器现场安装减振效果

在如图 5 所示换热器出口管线处安装粘滞性阻尼器后,各个测振点具体数值及减振幅度如表 2 所示。

表 2 换热器入口管线减振效果

管道减振位置	改造前振幅 $A_0/\mu\text{m}$	改造后振幅 $A_1/\mu\text{m}$	振幅降幅比 /(%)
C	305	140	54
D	659	82	87.5
E	383	80	79.7

表 2 表明:安装完粘滞性阻尼后,换热器出口管线各处振动均不超过 140 μm ,管线振动最大降幅可达 94%。由此表明,粘滞性阻尼器对换热器出口管线减振效果明显

5 结束语

为降低换热器出口管线的振动,在不改变管道原有结构的情况下,在管道相应振动处引入外阻尼可以有效地消耗管道振动能量。

本文通过对换热器管线进行振动机理分析,运用有限元软件对管道系统以及管道内流体进行分析并结合实际现场情况在换热器管道相应位置安装粘滞性阻尼器,有效地降低了管道振动,保证了换热器管线的正常运行。

参考文献 (References):

[1] 余栋栋,何立东,冀沛尧. 阻尼减振技术在管道上的应用研究[J]. 噪声与振动控制,2017,37(6):186-189.

[2] 周云,刘季. 管道振动及其减振技术[J]. 哈尔滨建筑大学学报,1994,27(5):108-114.

[3] 赵伟红. 往复式压缩机管道振动原因与减振措施[J]. 中国设备工程,2007(6):40-43.

[4] 韩万富,何立东,姜杨,等. 阻尼减振技术在离心压缩机出口管道减振中的应用研究[J]. 石油化工设备技术,2012(4):43-46.

[5] 陶荣,徐阳,仲庆. 气液两相流管道的应力分析[C]. 中国石油和化工勘察设计协会化学工程设计专业委员会(全国仪工化学工程设计技术中心站)2014年年暨技术交流会,西安:中国石油仪工勘察设计协会公学工程设计专业委员会,2014.

[6] 徐进. 化工工程中振动管道的设计浅析[J]. 化工管理,2014(21):188-189.

[7] 许本文,焦群英. 机械振动与模态分析基础[M]. 北京:机械工业出版社,1998

[8] 李德忠,梅宁,陆建辉. 海洋平台输液管道激振流体特性研究[J]. 管道技术与设备,2006(3):5-7.

[9] 陈果,何立东,韩万富,等. 丁烯离心泵和柱塞泵的管道振动分析及阻尼减振研究[J]. 机电工程,2013,30(2):167-170.

[10] SINGIRESU 机械 S RAO. 机械振动[M]. 北京:清华大学出版社,2014.

[编辑:李辉]

本文引用格式: