

# 管道清管器工作时对管道焊缝的影响

刘森, 陈敏, 何庆中, 厉明玉, 王浦全

(四川理工学院机械工程学院, 四川 自贡 643000)

**摘要:**针对清管器在工作过程中会出现撞裂或撞断管道焊缝的情况,按照某型皮碗式清管器建立了三维模型,采用有限元分析方法对清管器在清管过程中管道焊缝的应力进行了计算,并重点考虑管道焊缝出现错位时的情况,得到各工况下管道焊缝应力的分布情况。根据计算结果,给出了驱动压力和焊缝错位的最大允许值,可为现场施工时驱动力的调节和控制管道焊缝质量提供参考。

**关键词:**清管器;有限元分析;静力学;焊缝应力

**中图分类号:**TE49

**文献标志码:**A

## 引言

作为清洁能源,天然气的使用非常广泛。而天然气输送管道在建设和运行中都会有污垢、凝积液等杂质产生,如果管道内杂质和液体过多,会使流量降低或造成管道堵塞,严重的会使管道堵死。因此,对于长期运行的管道,定期进行清理就成为一项重要工作<sup>[1]</sup>。

目前,大多数管道的清洁都是采用各种不同类型的清管器来完成的。而输气干线目前使用的清管器类型主要有皮碗式清管器、橡胶清管球、泡沫塑料清管器等<sup>[2-3]</sup>,本文主要研究采用皮碗式清管器的情况。这种清管器进行清管时是依靠管道内输送流体的前后压力差,将清管器在管内向前推进,依靠密封皮碗与管道的过盈量产生较大的摩擦刮削作用,使污垢剥离破碎,从而将污垢从管壁上清理下来,并最终清出管外,达到清理管道的目的<sup>[4]</sup>。

在清管器的实际工作中,曾经出现清管器驱动压力和焊缝错位量过大导致焊缝断裂的情况。而清管器是在线工作的,即清管过程中管道输送工作是照常进行的,一旦出现清管器撞裂或撞断焊缝的情况,将带来重

大的经济损失<sup>[5]</sup>。因此,采用有限元法对清管器清管过程中管道焊缝应力进行计算,重点考虑管道焊缝的错位情况,得到不同驱动压和不同焊缝错位量的各种工况下,焊缝应力的变化情况,为现场施工时驱动力的调节和控制管道焊缝质量提供参考。

## 1 计算方法

### 1.1 清管器模型

根据清管器的设计图纸(图1),用三维建模软件 Solidworks 建立了清管器、管道和焊缝的三维装配模型(图2),然后导入到有限元软件 Abaqus 中。

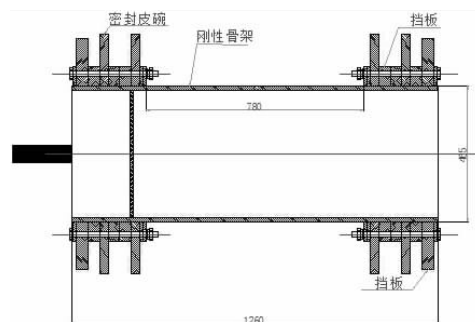


图1 清管器结构图

收稿日期:2014-06-10

作者简介:刘森(1989-)男,安徽阜阳人,硕士生,主要从事有限元应力计算方面的研究,(E-mail)237566904@qq.com;

陈敏(1956-)女,浙江诸暨人,教授,主要从事反求设计及CFD分析等方面的研究,(E-mail)min\_chen99@163.com

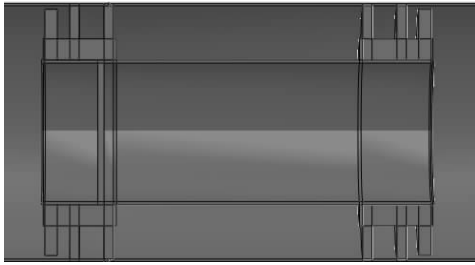


图2 三维模型图

## 1.2 载荷和约束

根据清管工作实际经验及理论分析,清管器在工作过程中管道压力较高一侧的皮碗运动到两管道之间的焊缝位置时,是焊缝受力的最大值位置。因此,这里对清管器运动到此位置时的瞬时进行力学分析。清管器工作时的载荷为:驱动清管器前进的驱动压力;密封皮碗过盈量所产生的径向力;管道和清管器的自身重力。其中驱动压力是直接受载荷面上施加的相应面载荷,即左端最高,从左往右依次把整个管道分成几个相对密闭的空间,然后依次递减(最左端和最右端压差保持0.4 MPa)。而产生径向力的过盈量是通过接触施加的,重力是由给出的重力加速度和密度计算得到的。模型的边界条件:焊接管道两端采用简支梁约束,半模型的剖面(包括管道,焊缝和清管器的剖面)约束为垂直于剖面的方向。皮碗与管道的接触设置为 Finite sliding(有限滑动)。

## 1.3 模型网格

在有限元计算中,网格的质量往往决定着计算的精度,因此在有限元计算中经常需要在一定范围内简化模型,本计算中皮碗和清管器刚性骨架是通过螺栓连接的。由于螺栓预紧力并不是本文研究的范围,且螺栓对网格质量有较大干扰。因此文中模型未画出螺栓,而是用绑定约束将清管器刚性骨架和皮碗绑定在一起。

由于所计算模型完全对称,为了减小计算量,提高计算精度,计算采用半模型进行。综合考虑力学模型的各个因素,全部模型的网格均选取 C3D8R(六面体线性缩减积分)<sup>[6]</sup>。并对焊缝、皮碗、管道与皮碗接触的部分进行局部细化,这样可以尽量保证关键部位的网格质量,从而提高计算精度。模型的网格如图3所示。

## 2 计算实例

根据使用单位提供的数据,模型各部件的尺寸见

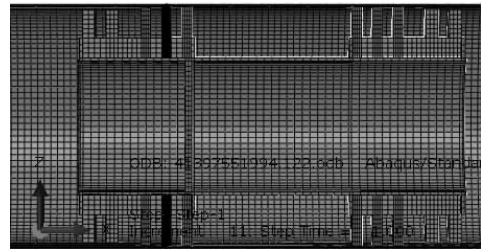


图3 模型的网格划分

表1。聚氨酯皮碗的过盈量一般在1% - 3%之间<sup>[7]</sup>,本计算实例中皮碗的过盈量为1.2%。各部件的材料属性情况见表2。

表1 清管器及管道的尺寸

主要参数	两密封皮碗清管器/mm	三密封皮碗清管器/mm
管道长度	8000	8000
管道半径	813	813
管壁厚度	8	8
清管器长度	1260	1308
皮碗外径	822	822
皮碗内径	465	465
皮碗厚度	30	30
焊缝宽	2	2
皮碗过盈量	4.5	4.5

表2 各部件的材料属性

主要参数	弹性模量/MPa	泊松比	密度/(kg/m <sup>3</sup> )
管道(16Mn)	212000	0.31	7870
焊缝(Q345)	206000	0.28	7850
清管器(10钢)	210000	0.27	7860
密封皮碗(聚氨酯)	60	0.47	1200

为了研究焊缝在各种驱动力下的应力变化情况<sup>[8-10]</sup>,计算时将驱动压力设置为从1 MPa开始,并以0.5 MPa的公差值增加到7 MPa,清管器前后压差则一直保持为0.4 MPa。分别对两皮碗清管器和三皮碗清管器进行了计算。焊缝的最大应力值如图4所示。4 MPa时(两皮碗)模型整体应力及焊缝处局部放大应力如图5所示。驱动压力为4 MPa时(三皮碗),焊缝最大应力的位置如图6所示。

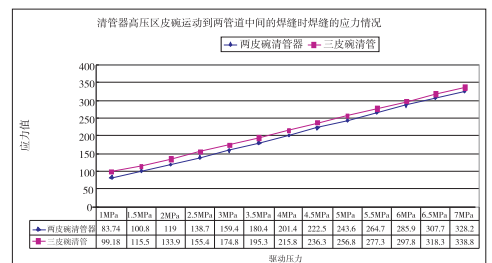


图4 焊缝的最大应力值情况

从图4 - 图6的结果可以看出,焊缝应力随着驱动

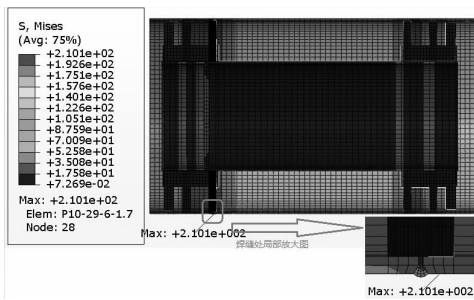


图 5 模型整体应力图及焊缝处局部放大应力图

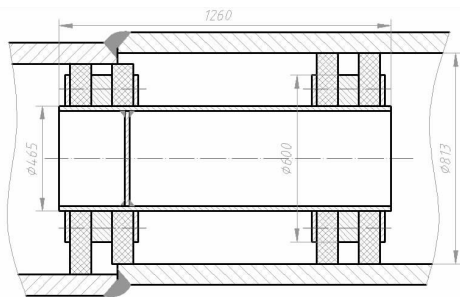


图 7 焊缝错位情况示意图

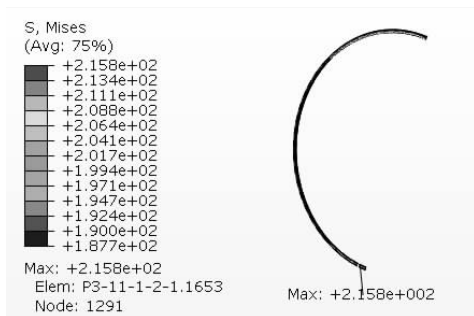


图 6 焊缝最大应力位置情况

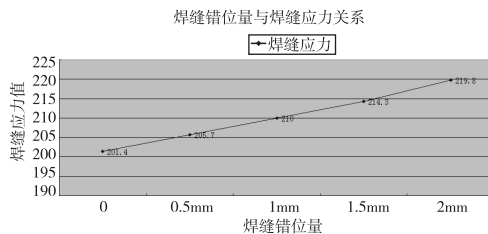


图 8 焊缝错位量与焊缝最大应力的关系

压力的线性增加也基本是线性增加的,同时,焊缝应力最大值的位置出现在最低点的附近。另外在相同驱动压力下三皮碗清管器工作时的焊缝应力基本都是比两皮碗清管器工作时的焊缝应力多 15 MPa 左右。

考虑到管道焊缝在焊接过程中不可避免地会出现错位的情况,当皮碗通过焊接错位的位置时,集中表现为皮碗的变形量加大,如图 7 所示,从而使焊缝承受更大的应力。以两皮碗清管器在驱动压力为 4 MPa,压差仍保持 0.4 MPa,焊接错位量为 0.5 mm、1 mm、1.5 mm、2 mm 四种情况为计算实例进行分析计算。由于焊缝平滑时皮碗的过盈量为 4.5 mm,所以错位后与焊缝接触的皮碗的过盈量变为 5 mm、5.5 mm、6 mm、6.5 mm,其它工况不变。计算后得到焊缝错位量与焊缝应力之间的关系如图 8 所示。焊缝最大应力位置情况如图 9 所示。

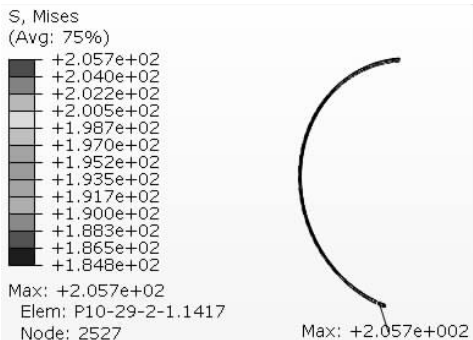


图 9 焊缝最大应力位置情况

从图 7 - 图 9 的结果可以看出,随着焊缝错位量的线性增加,焊缝应力也基本是线性增加的。大致每增加 0.5 mm 的错位量就增加 5 MPa 左右的焊缝应力。这也说明了管道焊缝在焊接时的错位量对清管器的安全工作有较大影响。

### 3 结论

(1) 计算实例中焊缝材料为 Q345,其屈服强度为

345 MPa。当安全系数取 1.6 时,则焊缝允许的最大应力为 215.6 MPa。从图 4 可以看出:两皮碗清管器当驱动压力为 4.5 MPa 时,焊缝最大应力值为 222.5 MPa;三皮碗清管器当驱动压力为 4 MPa 时,焊缝最大应力值为 215.8 MPa。所以两皮碗清管器工作时驱动压力不应超过 4.5 MPa,三皮碗清管器工作时驱动压力不应超过 4 MPa。

(2) 从图 7 可看出,当焊缝错位量为 1.5 mm 时,焊缝应力为 214.3 MPa,在安全范围内。当焊缝错位量为 2 mm 时,焊缝应力为 219.8 MPa,已超出安全范围。所以焊缝的最大错位量不应超过 1.5 mm。

### 参考文献:

[1] 徐小波,马国光,刘 昕,等.气管线清管过程中的问题及解决办法[J].油气田地面工程,2011(1):57-58.

- [2] 臧延旭,杨寒,白港生,等.长输管道变径清管器研究发展[J].管道技术与设备,2013(6):45-48.
- [3] 张磊,李宜震,王冲.清管器应用及分类简析[J].化学工程与装备,2013(7):173-175.
- [4] 张薇娜.清管器(Pig)清洗技术[J].洗净技术,2013(6):25-29.
- [5] 刘刚,陈雷,张国忠.管道清管器技术发展现状[J].油气储运,2011(9):646-653.
- [6] 石亦平,周玉蓉.ABAQUS有限元分析实例详解[M].北京:机械工业出版社,2011.
- [7] 周伟国,刘京东,王海,等.燃气管道清通过程清管器卡堵模拟[J].上海煤气,2013(10):7-9.
- [8] 戴斌,陶志均.皮碗式清管器的磨损和长度特性研究[J].上海煤气,2008(2):6-9.
- [9] 王新亚,粟佳,包瑞新.输油管道清管器受力数值研究[J].辽宁石油化工大学学报,2007(6):39-41.
- [10] 李亨涛,张仕民,王思凡.新型深水水下清管器发射装置[J].海运与船运,2014(3):322-326.

## The Influence of the Pipeline Pig on the Pipeline Weld During Its Working

LIU Sen, CHEN Min, HE Qingzhong, LI Mingyu, WANG Puquan

(School of Mechanical Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 64300, China)

**Abstract:** Aiming at the case that the welded pipe will be cracked or broken off at the weld seam during the working process of pipeline pig, the 3D model is set up according to a certain type of leather cap type pig; the stress of the weld seam in the pigging process of pipeline pig is calculated by finite element analysis method, the calculation had focused on the situation of the pipe's dislocation, then the stress distributions of pipe seam are obtained under various operating conditions. The maximum allowable values of driving pressure and weld dislocation are given out according to calculation results, which can be used as the reference for adjusting driving force and controlling the pipeline welding quality during on-site construction.

**Key words:** PIG; finite element analysis; statics; weld stress