

# Detection of resistance in natural gas pipeline and its impact on natural gas supply

Lei Cao Shixiang Song Wei Zhang Qingwei Wang Zihan Zhang

CNPC Pipeline Testing Technology Co., Ltd., Langfang, Hebei, 065000, China

## Abstract

Natural gas is a low-carbon, efficient, economical and convenient to use clean energy. Taking natural gas as an energy source can reduce the consumption of oil and coal, reduce the emission of dust and sulfur dioxide, and reduce the pollution to the environment. At present, natural gas transportation is mainly pipeline transportation. Safe and reliable pipeline transportation is directly related to industrial production, people's livelihood and social stability, and the help of internal detection means can help people grasp the health status of pipeline, which is of great significance for improving the safety and reliability of natural gas transportation. Based on this, this paper detects the resistance in the natural gas pipeline and explores the influence of the internal resistance on the natural gas supply.

## Keywords

natural gas pipeline; gas supply stability; internal detection resistance; friction resistance

# 天然气管道内检测阻力及对天然气供应的影响

曹雷 宋士祥 张伟 王庆伟 张子涵

中油管道检测技术有限责任公司, 中国·河北 廊坊 065000

## 摘要

天然气是一种低碳高效、经济实惠、使用方便的清洁能源。将天然气作为能源,能够减少石油、煤炭的用量,可以减少粉尘、二氧化硫的排放量,减少对环境的污染。目前,天然气运输以管道运输为主,安全可靠的管道运输直接关乎着工业生产、民生以及社会稳定,而借助内检测手段能够帮助人们掌握管道的健康状况,这对于提升天然气运输的安全性及可靠性具有重要意义。基于此,本文了天然气管道内检测阻力,并就内检测阻力对天然气供应的影响进行探究。

## 关键词

天然气管道; 供气稳定性; 内检测阻力; 摩擦阻力

## 1 引言

经济快速发展使得国家对能源的需求量也在不断加大。天然气是一种低碳高效的清洁能源,并且具有经济实惠以及使用方便等方面的优势,因此得到了广泛应用。近年来我国天然气消费量逐年上升,相应地也对天然气管道运输提出了更高的要求。天然气管道运输具有效率高、成本低、安全性高以及稳定性好的特点。应用管道内检测技术掌握管道健康状况对于保障天然气安全可靠运输具有重要意义。而探究内检测器的受力情况以及对天然气供应的影响对于保证检测工作顺利进行以及保障正常供气等均具有重要意义。

## 2 天然气管道内检测阻力分析

影响管道内检测器运行阻力的原因是多方面的,但整体来讲可以将相关影响因素分为外扰与内扰两个方面。

### 2.1 外扰因素

在管道运行过程中,二氧化碳以及硫化氢等有害气体与管道基体之间发生腐蚀后会形成一定的沉积物,存在于管道内壁之中,借助清管器对管道进行清理,可以在一定程度上减少沉积物,但难以完全将其清除干净。由于沉积物的存在会在一定程度上增加管道的摩擦力,严重时还会导致管道堵塞,使内检测器难以正常通过管道。另外,管道所输送的介质也具有一定的腐蚀性,这会导致管道内壁出现缺陷,使得管道内径不均匀,相应地也会使内检测器运行过程中受到的摩擦力不断变化,进而影响检测结果的准确性。

在管道制造过程中,管道连接位置的处理不仅会影响管道的性能,而且还会对内检测器的运行产生一定的影响。通常情况下,为了给管道的更换、拆卸以及防腐处理提供便利,管道通常会借助法兰连接,有的管道也会采用焊接连接的方式施工。无论应用哪种方式连接,都会在一定程度上影响管壁厚度的均匀性,而管壁厚度不均匀必然会导致内检测器运行过程中受到的摩擦力发生变化。

【作者简介】曹雷(1981-),男,中国河北沧州人,本科,高级工程师,从事管道内、外检测研究。

天然气管道通常埋设于地下,施工过程中受地势的影响使得管道不可避免地出现高低起伏的状况。在内检测器运行过程中,如果经过上坡管道,受重力的影响会导致其运行速度降低,如果经过下坡管道,则会使内检测器的运行速度加快。另外这种重力效应还会影响到流体的运动速度,进而影响管道输送性能。除此之外,管道内的介质也会对内检测器的运行速度产生重要影响。例如受温度变化的影响,流体介质的粘性系数也会随之发生改变,粘性阻力增大,内检测器的运行速度便会降低,反之内检测器的运行速度便会加快。

## 2.2 内扰因素

天然气管道内检测器运行阻力内扰因素主要涉及泄流装置的影响与动力结构的影响两方面。在泄流装置是内检测器的关键装置之一,其发挥着速度控制的作用,同时也能起到保证内检测器在管道中稳定运行的重要作用。泄流装置通过对内检测器前后压力的方式来影响其速度。内检测器的驱动皮碗的尺寸会直接影响到内检测器的运行阻力。驱动皮碗设置在内检测器的前端,需要结合管道的实际条件来合理设计驱动皮碗的尺寸与形状。在内检测器运行过程中,驱动皮碗会与管道内壁之间产生摩擦力,这种摩擦力是内检测器行驶中的主要阻力。驱动皮碗尺寸大,能够与管道内部充分接触,同时也会产生较大的阻力,进而导致内检测器的运行速度降低。如果驱动皮碗的尺寸较小,则与管道内壁之间的摩擦力较小,相应的内检测器运行速度也更快。除此之外,驱动皮碗的材质也会在一定程度上影响内检测器的运行速度。材质不同,与管道内壁之间的摩擦系数也不相同,相应地产生的阻力也存在一定的差异<sup>[1]</sup>。摩擦系数小的材质能够减小驱动皮碗与管道内壁之间的摩擦力,减小内检测器的运行阻力,有助于提升检测效率。

## 3 内检测阻力对天然气供气的影响

燃气管网包括枝状管网与环状管网两种类型,内检测器在枝状管网中借助管道的前后压力差向前运动,并在向前运动过程中完成对管道缺陷的勘测。由于环状管网中能够借助多条管线对同一用户供气,因此管道中的压力方向不固定,这使得内检测技术在环状管网中的应用难度较高。因此本文以枝状管网为例进行探究。

### 3.1 内检测器两侧供气压力分析

内检测器在管道中运动,其前后气流之间的压力差是其运动的动力来源。为保证内检测工作的顺利开展,需要掌握内检测器在管道中的位置变化情况、运动速度情况以及两种情况对管道内气体流场分布的影响,以便最大程度地降低内检测对正常供气的影响。

在上游与下游处将管道划分为长度相等的元素,在CFL约束下合理选择采样距离与采样时间,在此基础上进

行迭代计算,计算出内检测器正常工作情况下的位置与速度,之后再结合内检测器动力学数值推导其前后两端的边界条件,用于求解管道流畅的边界<sup>[2]</sup>。同时计算各时间间隔下的内检测器与管道流体状态,直至内检测器到达管道末端为止。

### 3.2 边界条件

管道进出口边界的给定方式有两种,一种是给定管道压力,另一种是给定管道流量。内检测器的头部与外部的边界条件决定了内检测器在管道中的运行状态,在上下游边界上分别表现为向后特征与向前特征。边界条件的变化会导致内检测器的运动状态也随之发生变化,只有在确定合适的边界条件的情况下才能确定内检测器的运动状态。本文将内检测器的头部与尾部、管道的入口与出口作为边界条件。

### 3.3 内检测器运动力学模型

结合内检测器在管道中的运动过程构建运动方程,利用方程掌握其运行过程中相关变量之间的关系情况。但实际上,在内检测器运行过程中,其状态比较复杂,为便于进行状态分析,需要对运动方程进行一些假设。首先,内检测器在管道中运动的过程中,管道前后流体会对其产生一定的阻力,进而对内检测器产生一定的阻尼力。为便于计算,可以将内检测器前后的管段假设为足够长,这样的假设能够使内检测器前后两端的流体压力保持恒定,保障内检测器的运动始终处于稳定状态。其次假设管道内的流体为理想流体,同时假设内检测器在管道中运动的过程中,内检测器与管道内壁之间的摩擦力是其遇到的主要摩擦阻力。假设粘性阻力较小,或者假设管道中无粘性流体,因此管道内的粘性阻力对内检测器运动产生的影响相对较小。最后假设流体的温度保持恒定。鉴于上文分析我们可以认识到管道内流体的温度会对流体的粘性系数产生较大的影响,随着温度的变化,流体介质的粘性系数也会随之发生改变,粘性阻力增大,内检测器的运行速度便会降低,反之内检测器的运行速度便会加快。为便于计算和研究,假设流体温度恒定,同时将流体的密度假设为恒定参数。

在水平管道中,在不受内检测器自身重力影响的情况下,前端压力与后端压力将直接施加在内检测器上。因为流体在管道内存在阻力损失,因此在内检测器的两端的压力也会出现一定的差异。受这种压力差的影响,会使内检测器在管道中向前运动。最初内检测器会从静止开始运动,在此过程中,受流体惯性作用的影响,内检测器下游气体的压力会逐渐下降,相应的上游气体的压力则会逐渐升高,相应的内检测器两端的气体压力差也会进一步拉大。这种压力差增加至与静摩擦力最大值相同时,便会驱动内检测器在管道内开始移动<sup>[3]</sup>。最初内检测器会加速运动,之后便逐渐趋于稳定。在其运动速度稳定之后,内检测器前后两端的压力也会保持稳定。

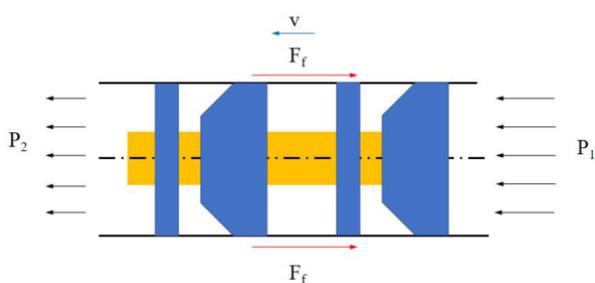


图1 内检测器运动力学分析

图1中 $V$ 表示内检测器在管道内的运动方向， $F$ 表示内检测器在管道内运动过程中受到的摩擦阻力； $P_1$ 与 $P_2$ 分别表示上游与下游气体压力。对于长输输气管道而言，其管道的纵向尺寸要远大于管道截面的横向尺寸，因此可以将输送的气体以及内检测器的流动与运动假设为一维流动，内检测器面向气体流动的一侧会产生压力 $P_1$ ，背向气体流动的一侧产生的压力为 $P_2$ ，两端的压力差为 $\Delta P$ ， $\Delta P$ 是内检测器在管道内运动的动力。为便于计算，假设内检测器的运动速度相对较慢，并且假设管道为无限长，这种情况下压力差变化所产生的影响非常小，因此可以忽视这方面产生的影响。在内检测器运行速度稳定之后，内检测器前后的气体压力差也将保持恒定。在此基础上再结合牛顿第二定律，可以确定内检测器的运动模型，即 $M(d^2x/dt^2) = F_p(t) + F_f(t)$ 。 $M$ 即内检测器自身的质量， $F_f(t)$ 即内检测器在管道内运动过程中受到的内摩擦阻力<sup>[4]</sup>。

在捏检测器的动力学计算过程中，首先导入数据，设置时间步长与空间步长，计算上下游初始边界。之后判断内检测器是否到达边界，如果到达边界则直接导出结果完成计算。如果内检测器未到达边界，则需要进一步更新内检测器位置，并在此基础上对检测器进行运动力学分析，再计算检测器上下游压力，之后再判断检测器是否达到边界。到达边界直接导出结果完成计算，如果未达到边界继续按照上述流程进行计算。

### 3.4 结果分析

内检测器由静止状态开始运动，受检测器阻碍的影响，使得管道上游积攒了大量气体，受惯性作用的影响，使得管道中的下游气体持续向前运动，因此此时内检测器前方的压力下降，其后方的压力则有所增加，内检测器前后的压力差

进一步加大。受这种前后压力差的影响，促使内检测器开始加速，并且加速度较大，其速度峰值为每秒钟34.85米，并且内检测器能够在短时间内便达到速度峰值。之后由于内检测器快速向前运动，使得管道下游气体不断被压缩，相应的内检测器头部的压力也会随之不断提高。内检测器尾部的压力则会逐渐下降，内检测器的运动速度也会逐渐放缓，并最终每秒钟1.1米的速度稳定运动。由此可见，在天然气管道检测过程中，前期内检测器的运动速度会发生比较大的变化，并且这种变化比较剧烈，但在经过剧烈变化之后，内检测器的变化速度会最终保持恒定。

在内检测器运动过程中，其受到的摩擦力与气压之间也存在密切的关系，在内检测器前后气压差大于其阻力压力差的情况下，内检测器便会开始运动，为保证检测工作的顺利进行，需要保证内检测器前后的最低压力差高于0.156兆帕。在管道中的气压超过允许值时，安全阀会自动打开，排除部分气体，以便降低管道中的气体压力。内检测器在管道内运动的过程中，在阻力的影响下，会导致载气前后端形成压力差，容易出现压力降级现象。在实际的管道检测过程中，管道前后压力只能降一级。

## 4 结语

天然气管道检测是保证天然气运输安全与可靠的重要举措，同时也是保障居民生命财产安全的关键措施。应用内检测器对天然气管道进行检测，不仅实现了无损检测，而且能够帮助人们了解并掌握管道缺陷情况，对于保障天然气管道健康以及保障天然气安全稳定供应等均具有重要意义。内检测器在管道中运动会受到阻力的影响，通过对天然气管道内检测阻力以及对天然气供应的影响的分析，能够更好地保障检测工作顺利进行以及保障正常供气。

## 参考文献

- [1] 曹学文,曹恒广,赵湘阳,等.直板清管器与管壁间摩擦阻力的模拟研究[J].石油机械,2021,49(05):138-146.
- [2] 徐大伟,李薇,叶成,等.天然气管道顶管穿越高速公路安全影响分析[J].公路交通科技(应用技术版),2019,15(12):314-316.
- [3] 裴茂,杨晴雯,卫杰.天津液化天然气管道填海段吹填土不均匀沉降量[J].科学技术与工程,2018,18(11):170-175.
- [4] 王瀚霖,黄卫星.基于可压缩流体的天然气管道泄漏量预测模型[J].安全与环境工程,2015,22(04):136-141.