

天然气管道投产置换混气段长度的研究

段 威¹ 张 健² 张 硕¹ 刘海萍¹

1. 中国石油天然气股份有限公司西气东输管道分公司, 江苏 扬州 225009

2. 中国石油天然气股份有限公司中原输油气分公司, 山东 德州 253020

摘要:

依据扩散基本理论和对流扩散方程建立的对流——扩散模型,推导出混气长度计算公式。利用 FLUENT 模拟软件对天然气管道的氮气置换过程进行模拟,得出各主要影响因素对混气长度影响的一般规律。根据气体紊流扩散原理,构建天然气管道投产置换实验平台,对不同流速下管道内气体的扩散过程进行实验研究。通过模拟结果与实验结论的对比,获得天然气管道置换过程混气长度的变化规律,为天然气管道投产置换确定合理参数提供了理论依据。

关键词:

扩散理论;混气长度;影响规律;实验平台;置换参数

文献标识码:A

文章编号:1006-5539(2012)03-0005-03

0 前言

我国天然气工业发展很快,资源与需求均有强劲的上升趋势。特别是近十年来,天然气勘探在四川、鄂尔多斯、塔里木、柴达木和莺琼盆地取得了很大进展^[1]。置换投产是输气管道工程建设中的重要程序。投产中,管道的天然气置换是最危险的阶段,管道在施工中有可能遗留下石块、焊渣、铁锈等物,在气流冲击下与管壁相撞可能产生火花,管内充满天然气与空气的混合物,若在爆炸极限范围内,就会爆炸起火^[2]。天然气管道在投产使用前,为避免天然气进入管线时直接与管线中的空气混合发生爆炸,必须采用无腐蚀性、无毒害性的惰性气体作为隔离介质,将管线内的空气置换出去^[3]。氮气以其不易冷凝、惰性成份纯度高、压力高等特点,成为在长输管道置换中最常用的置换介质^[4]。但是,由于氮气置换过程中空气、氮气、天然气彼

此间的浓度和压差的作用,导致空气与氮气、氮气与天然气间发生扩散,且扩散过程复杂,受到管径、介质流速、置换管道里程等多种因素影响,使氮气的实际需求变得极为复杂^[5]。针对这一现状,为使天然气管道投产过程安全可靠,提高置换效率,降低管道投产置换施工费用,有必要对天然气管道投产置换混气段长度的影响规律进行科学、系统研究。

1 混气段长度的一般影响规律

根据扩散理论与传质理论可推导出混气段长度的理论计算公式:

$$L_h=4LZPe_d^{-0.5} \quad (1)$$

其中 $Pe_d=vL/D_T$; $Z=\frac{1}{2}(1-\tau)Pe_d^{0.5}$

式中 L_h ——管线内混气段长度, m;

收稿日期:

2011-09-11

基金项目:

西气东输冀宁南段增压工程资助项目(JNZY-2)

作者简介:

段 威(1983-),男,黑龙江齐齐哈尔人,工程师,硕士,主要从事天然气管道工程建设相关技术工作。

L ——管线长度, m;

v ——介质流动速度, m/s;

D_r ——管线直径, m;

τ ——置换时间, s。

式(1)为对称浓度范围内混气段长度的理论计算公式。式(1)表明,混气的多少与管内流速、管线长度、管径等因素有关。

为了充分了解各影响因素对混气段长度的影响规律,采用 FLUENT 模拟软件对天然气管道氮气置换过程进行数值模拟,得到各因素对混气段长度影响的一般规律。

1.1 介质流速对混气段长度的影响

在管径为 0.2 m, 管线长度为 2 000 m, 出口背压为 0.3 MPa 时, 对介质流动速度与混气段长度的关系进行数值计算和分析, 得出不同速度所对应的混气段长度见图 1。由图 1 可知, 随着介质流动速度的增大, 混气段长度逐渐增大, 速度较小时增大较快, 速度较大时增长趋势变缓。

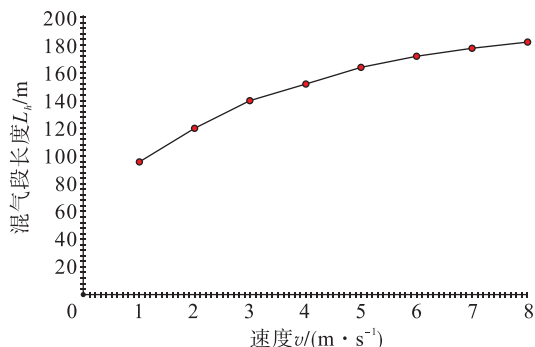


图 1 介质流动速度对混气段长度的影响规律

1.2 管径对混气段长度的影响规律

在介质流动速度为 1.3 m/s, 管线长度为 2 000 m, 出口背压为 0.3 MPa 时, 对管径与混气段长度的关系进行数值计算和分析, 得出不同管径所对应的混气段长度见图 2。由图 2 可知, 其它条件一定的情况下, 随着管径的增大, 混气段长度越来越大, 且随着管径的增大, 对混气段长度的影响程度越来越大。

1.3 管线长度对混气段长度的影响规律

在介质流动速度为 1.3 m/s, 管径为 0.2 m, 出口背压为 0.3 MPa 时, 对管线长度与混气段长度的关系进行了数值计算和分析, 得出不同管线长度所对应的混气段长度见图 3。由图 3 可知, 在其它条件一定的情况下, 随着管线长度的增大, 混气段长度也越来越大。

由上述可知, 混气段长度与介质的流速、管径和管线长度有关, 且混气段长度与管径成正比, 与管线

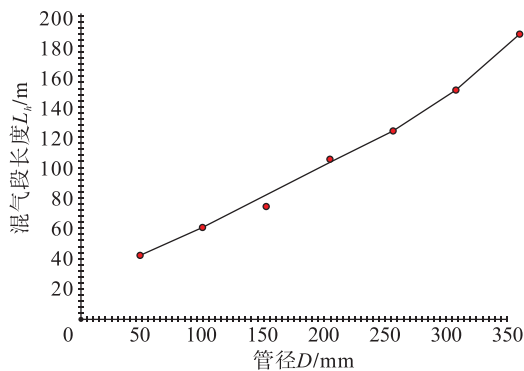


图 2 管径对混气段长度的影响规律

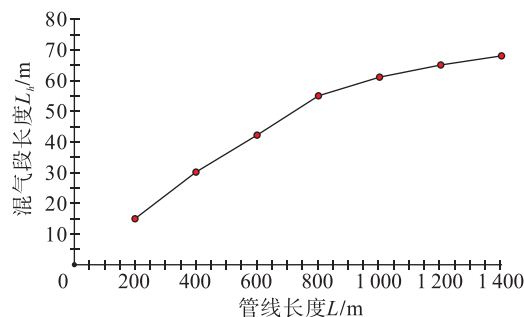


图 3 管线长度对混气段长度的影响规律

长度的二分之一次方成正比, 这与理论推导的结果相一致; 管内流速对混气段长度的影响是一个综合作用的过程, 随着速度的增大, 气体进行分子扩散和对流传质越来越激烈, 气体混合越充分, 混气段长度增长, 但由于流速越快, 置换时间就越短, 气体混合时间变少, 因此, 两者并不呈线性关系, 这一点与计算公式相吻合。

2 实验平台

本实验平台是用来模拟天然气管道的氮气置换过程, 为了充分模拟实际管线的所有特征, 实验平台在搭建时采用与实际工程完全相同的设备及管材。在综合考虑实验条件和实验效果等因素后, 最终确定管材选用 X70 的无缝钢管, 规格为 $DN 200$, 管线长 200 m, 内部做环氧涂层, 以 10 m 为单位长度采用蛇形巡回搭建的方式, 延长管道内气体的混合时间, 见图 4。系统中增设稳压器, 防止气流波动对实验数据造成较大影响, 减少气流变化对流量计的冲击。

实验平台主要由可燃气体注入区、氮气注入区和气体检测区三部分组成。其中, 可燃气体注入区用于实现可燃气体的注入、计量, 及置换压力、温度、速度的调节和记录功能; 氮气注入区用于实现纯氮气的注入、计量和温度、压力的调节和记录功能; 气体检测区作为实验平台的核心部分, 主要是通过从含氧量检测点和可燃气体检测点获得的相关信息, 配合 3# 流量

计测得的气体流速,计算出空气—氮气混气段、纯氮气段、氮气—天然气混气段的长度,通过调节相关的实验参数来研究各自对混气段长度的影响,得出各个参数对天然气管道混气段长度的影响规律。

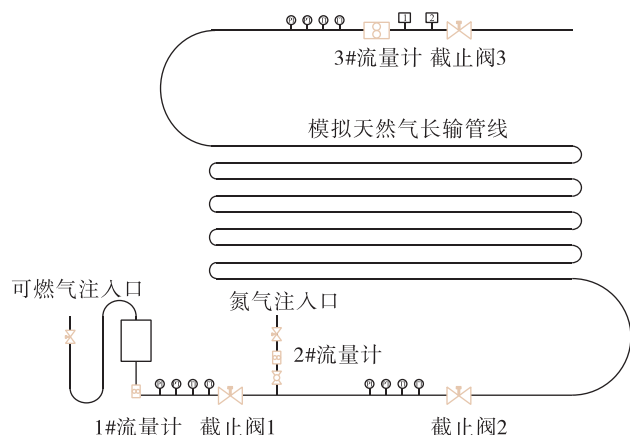


图4 模拟实验平台工艺流程图

截止阀1.氧含量检测点;截止阀2.可燃气体浓度检测点。

3 模拟实验

3.1 实验平台的基本工作原理

a)确认系统中除截止阀3外其余所有阀门均处于关闭状态。

b)调节注氮系统,通过氮气注入入口向管线内注入氮气,并将氮气封存在截止阀1和截止阀2之间的管段内。通过2#流量计计量注入管线内的氮气体量,当达到实验要求时关闭注氮系统,利用PI、PT、TI、TT记录注入氮气的压力、温度等相关信息。

c)调节可燃气体注入系统,通过注入入口处的截止阀调节置换速度,通过PI、PT、TI、TT观测具体的实验压力和温度,根据具体的实验要求确定截止阀1和截止阀2的打开时间(为了保证实验效果,尽量使两阀同时打开)。

d)当截止阀1和截止阀2打开后,氮气置换过程开始。此时,要密切监视含氧量检测点和可燃气体检测点的相关数据。当含氧量浓度开始变化时,说明氮气头已经到达,含氧量逐渐降低;当含氧量和可燃气体浓度同时为零时,说明纯氮气头到达(如果在实验中没有纯氮气段出现,而是出现了空气—氮气—天然气混气段,说明实验失败,需重新核算氮气体量,再进行实验);当可燃气体浓度由零开始增加时,说明氮气—天然气混气段已经达到;当可燃气体浓度增加到95%时,即可视为置换合格。

e)根据步骤d)的各项实验数据,比照实验结果,

通过调整置换速度、压力、温度和注入氮气体量获得纯氮气段长度,得到最佳工艺参数。

3.2 流速对混气段长度的影响

根据上述实验方法,在其他实验条件不变的情况下,分别以不同的气体流速进行氮气置换实验,得到流速对混气段长度的影响规律,见图5。

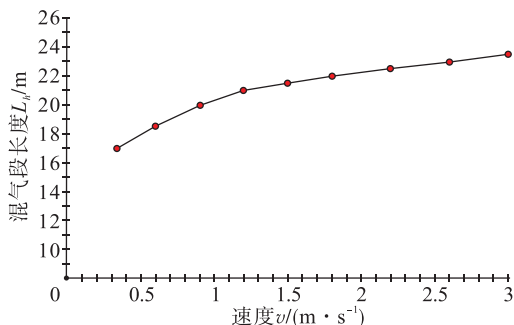


图5 混气段长度与介质流速间的关系

4 结论

a)利用FLUENT模拟软件分别对不同流速、管径及管线长度下的天然气置换过程进行模拟,获得了天然气管道投产置换时混气段长度在各影响因素下的变化规律,并且模拟结果与理论公式的计算结果相符合。

b)通过模拟结果与实验结论的对比分析,说明了介质流速对混气段长度的影响规律,为天然气管道投产置换时介质流速的选择提供了理论参考。

c)由于条件的限制,未做管径及管线长度等因素的影响实验,待具备条件后,再对上述因素的影响规律进行实验研究。

参考文献:

- [1] 刘海萍,梁超.天然气管道建设项目环境影响评价要点分析[J].天然气与石油,2010,28(5):55-57.
- [2] 刘雪梅,谢英.输气管道投产安全的探讨[J].天然气与石油,2007,25(4):11-14.
- [3] 孙兴祥.长距离天然气管线氮气置换技术研究[J].油气储运,2004,23(4):48-51.
- [4] 高贵民.氮气隔离技术在输气管线投产中的应用[J].天然气工业,1995,22(9):85-86.
- [5] 任增瑒.输气管线置换投产工艺的研究与实践[J].油气储运,2003,22(8):54-58.