

天然气管道微小泄漏量对输差的影响及户内安全的研究

杨泽斌² 刘仁河¹ 张胜凯² 魏辉² 高鹏²

1 河北华通燃气设备有限公司, 河北邯郸, 056000;

2 中国燃气华北区域管理中心, 河北保定, 071000;

摘要: 本研究通过理论分析、实验研究等手段, 验证天然气管道不同直径的微小泄漏孔在不同管道压力作用下的微小泄漏量。本研究还研究了管道密封材料和施工工艺对泄漏量的影响。以试验数据按照常规厨房空间尺寸给出了微小泄漏量的安全极限数据。以本研究数据为依据推导了微小泄漏对输差的影响。为燃气运营企业的安全检查及必要的预防措施提供了数据支撑。

关键词: 天然气管道; 微小泄漏; 输差; 安全

DOI: 10.69979/3041-0673.26.03.039

引言

天然气输差是长期以来困扰着天然气供应企业经营普遍性难题。天然气供应企业所面对的市场和客户具有点多、线长、面广的特点。对于城市燃气公司而言, 产生输差的原因一般有管网设计和布局的合理性、计量仪表的准确度等级、是否修正到计量参比条件、管网微小泄漏及其他因素造成的输差^[1]。本文重点研究了基于孔模型和断裂的管网微小泄漏导致的输差影响, 通过理论公式计算, 结合实验室数据验证, 给出了天然气管道微小泄漏量给输差带来的定量影响。

厨房是天然气爆炸事故的高发场所, 因此民用天然气爆炸事故防治对促进城市安全和经济社会稳定发展具有重要现实意义^[2]。本文通过实验室数据结合我国民用厨房空间尺寸给出了微小泄漏对安全用气的影响, 以定量数据方式给出了一个事故发生时间参考。

1 微小泄漏孔直径与泄漏量间的关系

天然气管网设施常年经受风吹雨淋地下腐蚀, 设施老化严重, 普遍存在“跑、冒、滴、漏”现象。对于泄漏孔径小于管径的泄漏, 没有明确的计算模型。在计算流体力学中, 一般把气体流动过程看作理想气体的可逆、绝热过程, 遵循理想气体的状态方程和泊松方程^[3]。

为定量描述管内气体绝热流动过程, 孔模型的泄漏函数关系采取孔板流量函数关系式, 见公式(1)所示:

$$q_v = C_d \times S \times \sqrt{\frac{2 \times \Delta p}{\rho}} \times 60 \times 10^6 \quad (1)$$

式中:

q_v ——孔模型泄漏量体积流量, ml/min;

C_d ——孔模型泄漏量系数, 通过试验数据拟合;

S ——孔模型泄漏孔面积, m²;

Δp ——管道内外压力差, Pa;

ρ ——管道内部气体密度, kg/m³;

其中管道内部气体密度按照公式(2)计算:

$$\rho = \frac{p \times M}{R \times T} \quad (2)$$

式中:

p ——管道内部压力, Pa;

M ——管道气体摩尔质量, 试验用空气摩尔质量按照 28.96g/mol;

R ——气体常数, 取值 8.314 J/(mol·K);

T ——管道气体热力学温度, K;

为验证公式(1)的符合性, 采用图(1)所示原理进行了不同直径孔模型的泄漏量测试, 并将测试数据与理论数据进行对比。

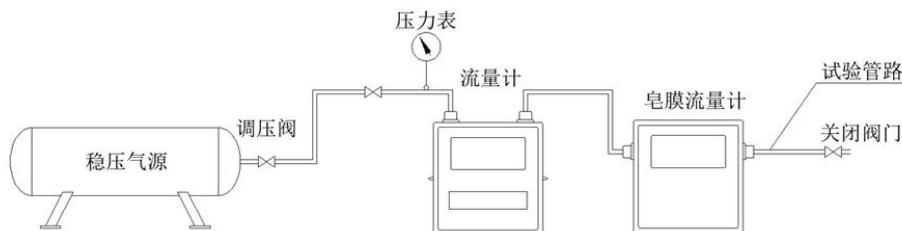


图1 试验原理图

试验管路采用符合 GB/T3091-2015 要求的镀锌管，管道直径分别为 DN15~DN32，微小泄漏孔直径分别为 0.25mm、0.35mm、0.4mm、0.5mm、1.0mm，管道压力从 2kPa 到 9kPa。其泄漏量实测数据和计算数据见表 1 所示。公式 (1) 中泄漏量系数通过第一组试验数据倒推计算每一个压力对应的流量系数，并采用算术平均值作为流量系数取值，根据数据得出 $C_d=0.74$ ，并采用该数据对其他压力点数据进行了理论计算。

由于管道天然气组分与空气不同，其物理性质不同，因此在相同的试验条件下，试验管道内的气体组分不同，泄漏量也不同。本研究尽量控制变量前提下，给出了几组空气和天然气的对应关系数据见表 1 所示。从图 2 对

比图看出，在同样的管道压力下，天然气的泄漏量要大于空气的泄漏量。

表 1: 5kPa 管道压力空气和天然气泄漏量比对照表

管道类型	泄露孔直径 mm	空气泄漏量 m ³ /h	天然气泄漏量 m ³ /h	差值 m ³ /h
DN15	0.25	0.007	0.015	+0.008
	0.35	0.013	0.019	+0.006
DN25	0.4	0.0324	0.0446	+0.0122
	1.0	0.2065	0.2894	+0.0829
DN32	0.5	0.0465	0.0636	+0.0171
	1.0	0.2098	0.2875	+0.0777

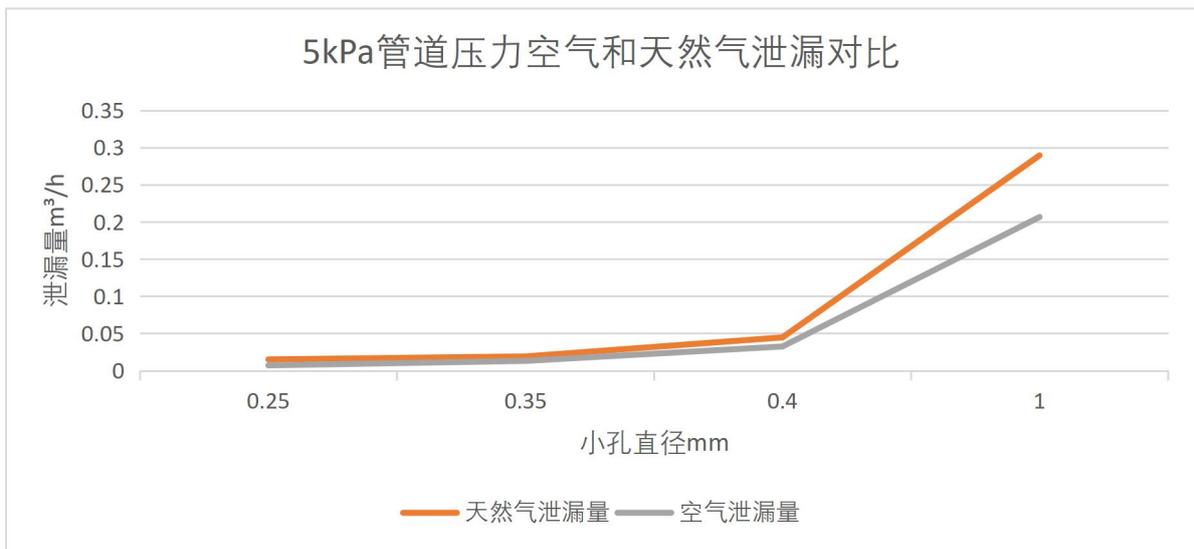


图 2 5kPa 压力空气和天然气泄漏量对比

在气体流动，即压缩性流动中，存在一种称为壅塞 (Choking) 的流体现象，使得流量存在一个上限^[4]。当压缩性气体流动达到壅塞现象时，上游压力即使再次提高，也无法进一步增加质量流量。因此实际管道在不同压力下，孔模型的泄漏存在两种状态，分别是亚临界流状态和临界流状态。管道流体泄漏是否达到临界流状态，可以参考公式 (3) 计算。

$$\frac{p_{内}}{p_{外}} = \left(\frac{r+1}{2} \right)^{\frac{r}{r-1}} \quad (3)$$

式中：

$p_{内}$ ——管道内部流体压力，Pa；

$p_{外}$ ——管道外部压力，Pa；

r ——气体绝热指数，一般取 1.4。

依据公式 (3) 可得，当管道内部压力大于 190kPa 时，气体泄漏速率会达到临界流状态，此时随着管道压力的升高，泄漏速率不再变化。

2 微小泄漏孔模型输差间的关系

对于实际使用中的天然气管道，如果发生了孔模型的微小泄漏，依据上述数据及模型计算，其泄漏量造成的输差影响数据见表 2 所示。

表 2: 管道天然气孔模型泄漏量推测

管道类型	泄露孔直径 mm	2kPa			9kPa		
		泄漏量 m ³ /h	日泄漏量 m ³	年泄漏量 m ³	泄漏量 m ³ /h	日泄漏量 m ³	年泄漏量 m ³
DN15	0.25	0.007	0.168	61.32	0.015	0.36	131.4
	0.40	0.019	0.456	166.44	0.039	0.936	341.64
	1.00	0.119	2.856	1042.44	0.245	5.88	2146.2
DN32	0.25	0.008	0.192	70.08	0.015	0.36	131.4
	0.40	0.019	0.456	166.44	0.039	0.936	341.64
	1.00	0.119	2.856	1042.44	0.245	5.88	2146.2

从表 2 的数据可以看出，一个直径 0.25mm 的微小泄漏孔，管道压力 2 kPa 一年可以造成至少 60m³ 的气体损失。而如果泄漏孔直径扩至 1mm 时，同样条件下，一年可以造成至少 1000m³ 的气体损失。

对于重压管道(4MPa),如果发生了孔模型的泄漏,由于管道压力超过了临界流压力,因此泄漏量为临界流流量。表3为中压管道孔模型泄漏造成的输差数据。

表3:中压管道天然气孔模型泄漏量对输差的影响量

泄露孔直径 mm	泄漏量 m ³ /h	日泄漏量 m ³	年泄漏量 m ³
0.25	0.04	0.96	350.40
2.00	2.79	66.72	24352.80

从表3数据可以得出,如果中压管道发生了一处泄漏孔,孔直径为2mm时,一年时间造成的天然气泄漏量高达24352.90m³,即便是一个微小泄漏孔,比如表3所示的直径0.25mm泄漏孔,也会造成一年至少350m³的气体泄漏。微小泄漏孔给天然气输差造成的影响是应该引起高度重视的。

3 管道密封性试验数据分析

曾发斌等人^[5]开展了隧道内并行埋地燃气管道泄漏扩散规律的数值模拟研究工作,并指出输气管道泄漏和故障的主要原因是外部第三方损坏或者管道腐蚀。

本文除探索了孔模型导致的气体泄漏量之外,还依据控制变量的原则开展了管道接头密封性试验。试验用金属镀锌管为符合GB/T3091-2015要求的天然气专用金属镀锌管,其试验过程如下:

螺纹清洁、密封带缠绕、拧紧操作、将试验管件在不同压力下进行退扣操作、同一个操作人员同一段时间完成上述试验操作。

从试验数据来看,密封带缠绕的手法和熟练程度会直接影响管道密封性能。另外,从数据可以得出密封性破坏造成的泄漏量跟管道内外压力差正相关。

在厨房安全方面,徐永慧等人的研究表明,在前60min内,有吊柜厨房监测点甲烷体积分数高于无吊柜厨房,吊柜的存在占据一定的流体域体积,相同的天然气泄漏量及泄漏时间下,流体域体积减小,甲烷体积分数升高,有吊柜厨房危险性更高。

上述研究是基于大流量的泄漏,对于孔模型的泄露对厨房安全造成的影响,本文通过试验数据得出直径0.25mm微小泄露孔在2kPa管道压力下77小时泄漏量将达到爆炸下限。

4 结束语

本文采用孔模型研究了不同管道直径在不同压力下的气体泄漏量的函数关系,给出一个近似的参考公式,并探究确认了在相同条件下如果管道气体为天然气,则实际泄漏量会大于空气试验数据。本文还探究了管道密封头采用聚四氟乙烯密封带密封后人为退丝扣造成的泄漏量影响。本研究的主要发现如下:

- (1)用户低压管道的微小泄漏孔(直径小于0.25mm)产生的微小泄漏造成的整年输差大于65m³。如果按照10m³厨房容积计算,77小时将达到爆炸下限。
- (2)天然气管道因为泄漏孔造成的气体损失,跟泄漏孔直径和管道压力直接相关。
- (3)中压管道微小泄漏孔造成的气量损失只跟泄漏孔直径相关,与压力不再相关。
- (4)天然气管道连接头的密封带应该采用聚四氟乙烯材料;
- (5)天然气管道连加工应该委托专人且熟练工进行。
- (6)管道天然气的安全和输差是一个系统性工程,不是一篇论文就可以全面论证完全的,本文的数据仅供研究使用,不作为实际工程的指导,请相关人员予以注意。

参考文献

[1]鲜澜.董剑书.天然气输差成因及治理控制措施.城市燃气,2023年04期
[2]李国义.门窗耦合对厨房内天然气爆炸的影响研究.北京石油化工学院,2023年
[3]董玉华.周敬恩等.长输管道稳态气体泄露率的计算,油气储运,2002,21(8)11~15
[4]徐永慧.李兴泉.姜懿芸等.厨房吊柜对天然气泄漏扩散影响的模拟研究.过程安全与环境保护,2023,177:258-277.
[5]曾发斌.蒋中安.郑登峰等.隧道内并行埋地燃气管道泄漏扩散规律的数值模拟研究[J].煤气与热力,2024,44(4):B07-B13.