

# 城镇燃气管道泄漏风险评估与防控技术研究

周德鑫（山东港华燃气有限公司，山东 济南 250001）

**摘要：**本文针对城镇燃气管道泄漏问题展开研究，系统分析泄漏的分类及风险因素，包括管道自身材质特性、外部环境影响及第三方破坏等。研究探讨了定性、定量及综合三种风险评估方法，阐述各类方法的操作流程、优势与不足。同时，从检测技术、维修更换技术及监测预警技术三方面介绍泄漏防控技术，并提出完善法律法规、加强施工管理、强化运行维护及应急管理等防控管理措施。通过对风险评估与防控技术的系统梳理，为提升城镇燃气管道运行安全性、降低泄漏事故发生率提供全面的技术与管理参考。

**关键词：**城镇燃气；管道泄漏；风险评估；防控技术

中图分类号：TE88 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)029-0145-03

## Research on Risk Assessment and Prevention Technology of Urban Gas Pipeline Leakage

Zhou Dexin (Shandong Ganghua Gas Co., LTD., Jinan Shandong 250001, China)

**Abstract:** This paper conducts a study on the leakage problem of urban gas pipelines, systematically analyzing the classification and risk factors of leakage, including the material properties of the pipelines themselves, external environmental influences, and third-party damage, etc. The research explored three risk assessment methods: qualitative, quantitative and comprehensive, and expounded the operation processes, advantages and disadvantages of each method. The leakage prevention and control technology is introduced from three aspects: detection technology, maintenance and replacement technology, and monitoring and early warning technology. Measures for prevention and control management such as improving laws and regulations, strengthening construction management, and intensifying operation and maintenance as well as emergency management are proposed. Through a systematic review of risk assessment and prevention and control technologies, it provides comprehensive technical and management references for enhancing the operational safety of urban gas pipelines and reducing the incidence of leakage accidents.

**Key words:** Urban gas; Pipeline leakage; Risk assessment; Prevention and control technology

城镇燃气属于重要的清洁能源，在城镇化进程中应用愈发普遍。但是管道泄漏问题给输送安全带来严重威胁，管道泄漏按照泄漏量可以分成小漏，中漏和大漏，不同泄漏类型形成原因各不相同，及时找到并定位泄漏点是保证运营安全的重要环节，管道自身材质存在差别。外部环境遭受腐蚀，地质灾害影响以及第三方施工破坏等，这些因素都会加大泄漏风险。当下，怎样科学评判泄漏风险，采取有效的防控手段成为迫切需要解决的难题。展开城镇燃气管道泄漏风险评估与防控技术研究，对于识别潜在隐患，规范管理程序，改善安全保障水平有着重要的现实意义，能够为城镇燃气安全供应给予有力支持。

### 1 城市燃气管道泄漏概述

管道泄漏是危害城市燃气输送安全的重要因素，按照泄漏量可分为三种，即小漏、中漏和大漏。其中，小漏是指实际泄漏量少于3%正常输送量，主要由管道的防腐层遭到破坏引起，在土壤等介质电化学腐蚀因素的影响下，管壁产生锈蚀继而贯穿管壁的全厚。中漏是指实际泄漏量保持在正常输送量的3~10%范围内。而大漏实际泄漏量为超出正常输送量10%。燃气

管道运营过程中，如果干线阀门发生误动，或倒错流程，则均有可能引起管道泄漏。及时发现泄漏，确定泄漏点是保证燃气管道安全运营的重中之重。

燃气管道运行过程中，不同程度的泄漏会产生不同的安全风险及处置难度，小漏初期隐秘性强。泄漏气体慢慢渗入土中，长时间累积就可能造成局部可燃气体浓度超标，遇上明火便易发生爆炸，锈蚀过程是渐进的，要是不及时检测，几月甚至几年后就有可能变成大漏，中漏时燃气泄漏速率加快，既造成能源浪费，又会通过地下缝隙渗入建筑物下方，留下隐藏的安全隐患，而且泄漏产生的气流声和压力波动会慢慢加重对管道的损害。大漏属于紧急险情，短时间内大量燃气喷涌，极易引发爆炸、火灾等恶性事故，还可能导致全线供气中断，影响民生与工业生产，所以创建起包含小漏预警、中漏定位、大漏应急的全链条监测体系，才是防范燃气泄漏风险的关键举措。

### 2 城镇燃气管道泄漏风险因素分析

#### 2.1 管道自身因素

管道材质属于影响泄漏风险的重要内在要素，不同材质的管道在耐腐蚀性，抗压强度等层面有着明显

区别。当下我国城镇燃气管道当中，钢管所占长度大约 60 万 km，聚乙烯管所占长度大概 30 万 km，其他材质的管道所占长度约为 10 万 km，钢管强度不错。不过在潮湿，存在诸多腐蚀性介质的环境里容易遭受腐蚀，使用年限越久，腐蚀现象就越严重，进而致使管道壁渐薄，承受压力的能力变差，加大了泄漏风险，聚乙烯管耐腐蚀性尚可。不过在施工时若遭到外力冲击或者挤压，就可能出现划痕或者开裂，长时间运行期间这些裂缝或许会慢慢扩大，从而引发泄漏<sup>[1]</sup>。

## 2.2 外部环境因素

土壤环境对燃气管道影响也很大，各地土壤性质存在差异，部分地方土壤 pH 值比较低，腐蚀性强，会加快管道腐蚀速度。我国某些城镇土壤腐蚀性强的地方燃气管道平均腐蚀速率比一般地区高 0.1mm/a。地下水位变动同样会给管道带来影响，地下水位偏高时，管道长时期泡在水里，容易发生电化学腐蚀，地质灾害比如地震，滑坡等也会破坏燃气管道，地震可能使管道衔接处变得松动或者折断，滑坡会造成管道遭受不均匀沉降带来的拉扯，引发泄漏。

## 2.3 第三方因素

第三方施工破坏是燃气管道泄漏的主要原因。近年来，随着城镇基础设施的不断完善，地下工程施工项目越来越多，在施工过程中，如果施工单位不了解地下燃气管道的位置，或者施工过程中违规操作，容易导致燃气管道被挖断、损坏。据有关数据显示，每年由于第三方施工破坏导致的燃气管道泄漏事故超过 80 起。除了电缆、水管等其他地下设施的施工，也会影响燃气管道，增加燃气管道泄漏的风险<sup>[2]</sup>。

## 3 城镇燃气管道泄漏风险的评估方法

### 3.1 定性评估方法

定性评估方法主要依靠专家经验和历史数据来对管道泄漏风险作出主观判断。其关键步骤在于创建涵盖管道材质、使用时长、腐蚀情况、运行压力、周边环境等要素的风险评价指标体系。在实际操作过程中，利用问卷调查或者专家打分等形式对各个指标执行量化打分，然后按照打分结果划分风险级别，这种方法具备操作步骤简单、执行成本低的优点，可以迅速针对管道泄漏风险做出初步判定。不过因为这个方法的评判过程依靠人工判断，所以很容易受到专家主观认识差别等因素的影响，在精确性和公正性上存有欠缺，须要进一步改进完善。

### 3.2 定量评估方法

定量评估方法会搜集很多管道运行数据和环境参数，利用数学模型和统计分析方法，把泄漏风险量化计算出来。常用的定量评估方法有故障树分析，事件

树分析，风险矩阵法等。故障树分析拿管道泄漏事故当作顶事件，经过分析致使顶事件出现的各种原因，形成故障树，算出各个基本事件的概率重要度和临界重要度，找出主要风险因素。事件树分析从初始事件开始，分析也许会出现的后续事件及其后果，算出事故发生概率和后果严重程度。风险矩阵法把风险发生可能性和后果严重程度分成不同等级，创建风险矩阵，按照风险值来决定风险等级。定量评估方法可以给出比较精确的风险量化结果，不过要很多的数据支撑，而且模型形成和计算过程比较繁杂。

## 3.3 综合评估方法

定性评估方法主要是依靠专家经验以及历史数据来对管道泄漏风险展开主观判断。关键步骤就是创建涵盖管道材质、使用年限、腐蚀情况、运行压力以及周围环境等要素的风险评估指标体系。执行过程中借助问卷调查或者专家打分等形式对各个指标进行量化打分，然后按照分数高低划分出不同等级的风险级别，这种办法有着操作流程简便、实施费用低的优点，可以迅速对管道泄漏风险做出初步判断。不过由于评估时依赖人工判断，结果很容易被专家主观认识差异等人为因素所左右，缺乏足够的准确性和客观性，还需要不断改进完善<sup>[3]</sup>。

## 4 城镇燃气管道泄漏防控技术

### 4.1 检测技术

内检测技术是将检测设备放入管道内部，对管道的腐蚀、变形、裂纹等缺陷进行检测，常用内检测设备有智能清管器，智能清管器可以携带漏磁、超声等检测传感器。在管道内部运行过程中对管道内壁进行全方位检测，能够准确发现管道的缺陷位置和程度。目前我国城镇燃气管道内检测覆盖率达到 70%，通过内检测发现的管道缺陷数量每年超过 5000 处，为管道维修和更换提供了准确依据。外检测技术主要分为地面检测和非开挖检测，地面检测是利用燃气泄漏检测仪等设备，在地面上对管道周边的燃气浓度进行检测，判断是否发生泄漏，非开挖检测技术如地质雷达、声呐检测等，可以在不破坏地面的情况下，对地下管道的位置、走向和缺陷进行检测。外检测技术操作灵活，适用于不同环境条件下的管道检测，内检测和外检测技术相互配合，共同构成了燃气管道缺陷检测的技术手段。

### 4.2 维修与更换技术

对于检测发现的管道缺陷，要尽快采取维修或者更换的办法。常用的维修技术有焊接修补，夹具堵漏等。对于比较小的缺陷，可以采用焊接修补或者夹具堵漏的办法来修理，如果遇到严重的缺陷或者老化非常厉害的管道，就要实施更换。近些年来，管道更换

技术一直在改进，定向钻穿越，顶管之类的非开挖更换技术被广泛采用。这种技术有着施工周期短，对周边环境影响小等明显优点。我国城镇燃气管道非开挖更换长度每年超过 500km，通过及时有效的维修和更换，就能明显减小管道泄漏的风险，保证燃气管道安全稳定地运行。

#### 4.3 监测与预警技术

创建燃气管道监测与警报系统，可以随时监测燃气管道的运行情况。该系统通过在管道上设置压力传感器，温度传感器，流量传感器等装置，随时获取管道的压力，温度，流量等参数。当这些参数出现异常的时候，系统就会立刻发出警报信号，提醒工作人员去处理，而且，系统依靠 GIS 地理信息系统，把管道的位置，走向，周围环境等信息融合起来，做到对管道的可视化经营，进而提升管道经营的效率和精确性。如今，我国已有不少城市创建了这种燃气管道监测与警报系统，它的警报响应时间被缩减到 30min 以内，有效地改善了燃气管道运行时的安全监管水平<sup>[4]</sup>。

### 5 城镇燃气管道泄漏防控措施

#### 5.1 完善法律法规与标准体系

制定并完善燃气管道安全管理相关的法律法规和标准体系，这是保障燃气管道安全运行的重要基础。要健全制度来明确各部门和单位在燃气管道安全管理方面的具体职责，保证责任落实到人，还要按照法律法规和标准的要求，规范燃气管道设计，施工，运行，维护等各个环节的操作流程。从源头上减少安全风险，也要加大对燃气管道相关标准的宣传力度，采用多种方式组织企业及从业人员学习标准，促使标准得到贯彻执行，提升企业的安全管理水品以及从业人员的安全意识和规范意识，营造全员重视安全的氛围。

#### 5.2 加强施工管理

燃气管道施工时，务必依照施工规范和标准，加强施工质量的全程监督和检查。在施工之前，全面开展地下管线的勘察工作，运用专业手段明确待施工区域内已有管道的具体位置与走向，绘制详细的管线分布图，从而防止施工方案不合理或者操作有误而引发管道被破坏。施工过程当中，着重加大对管道接口焊接质量，防腐层完好性等关键部位的质量把控力度，安排专人进行旁站监督，按照技术规范开展操作并实施检测，保证每一项施工步骤的质量均达标，从施工环节筑牢燃气管道安全运行的基础。

#### 5.3 强化运行维护管理

建立健全燃气管道运行维护管理制度，这是保证管道长久安全运行的关键。要明确巡检，检测，维护的具体要求和周期，定时安排专业人员对管道执行全面检查。

技术检测以及有针对性的维护，还要加大对管道周围环境的巡查力度，重点留意施工区域，人口密集区这些关键地段，尽快找到并解决第三方施工，占压管道之类的隐患。而且，要形成起细致的管道腐蚀监测档案，不断记载管道腐蚀的数据，按照腐蚀状况及其发展情况制订科学合理的维护规划，尽早开展防腐处理，修理，替换等工作，保证管道一直处在良好的运行状态。

#### 5.4 加强应急管理

制定完备的燃气管道泄漏事故应急预案，这是应对突发事故的关键保障。必须清楚应急组织架构，应急响应流程以及应急处置手段等内容，保证预案具备科学性且可行，还要定期开展有针对性的应急演习。模仿各种状况下的泄漏事故，通过实战化的演习加强工作人员处理突发事件的协调配合水平和应对能力，而且应该创建专门的应急救援团队，挑选有丰富经验的人员组建救援力量，依照标准配备必要的应急救援器材和物资，泄漏检测仪器，防爆工具，救援防护装备等。保证在事故发生的时候可以立即作出反应，妥善解决，尽力削减事故带来的人员伤亡和财产损失<sup>[5]</sup>。

### 6 结论

城镇燃气管道泄漏风险评估与防控要从技术和管理多个维度发力。通过明确泄漏分类和风险因素，为风险识别形成根基，定性，定量，综合评估方法各有侧重，要按照实际情形恰当选用，从而提升评估的科学性，检测，维修替换。监测预警技术的协同应用，是技术层面防控的关键支撑，可有效地找到并处理管道存在的问题，完善法律法规和标准体系，加强施工管理，强化运行守护，提升应急能力等。这些措施从制度层面构建起全流程防控机制，以后要持续改善评估方法和技术手段，完善管理体系，不断改善燃气管道的安全运行水平，保障城镇能源供应安全。

#### 参考文献：

- [1] 周廷鹤 . 城镇燃气管道泄漏检测实践 [J]. 煤气与热力 ,2025,45(01):30-34.
- [2] 田云祥, 冯章柯, 谢明碧 . 城镇燃气管道泄漏智能化分级管理 [J]. 煤气与热力 ,2024,44(12):30-32.
- [3] 许强生 . 城镇燃气埋地管道泄漏探测方法研究 [J]. 化工设计通讯 ,2023,49(09):167-169.
- [4] 杨易凡, 任小林, 田云祥 . 城镇燃气管道隐患分析与治理措施 [J]. 石油管材与仪器 ,2023,9(04):97-100.
- [5] 王腾 . 城镇燃气管道完整性管理 [J]. 化学工程与装备 ,2021(10):87-88.

#### 作者简介：

周德鑫（1993—），男，汉族，山东济南人，本科，研究方向：燃气工程。