

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2024.10.003

在役埋地城镇燃气管道 风险评估指标体系的构建与思考

于玉良, 宁玉鑫

北京优奈特能源工程技术有限公司

摘 要: 为便于对城镇燃气管道更新改造采取有针对性的管控措施, 开展管道风险评估工作是更新改造的重要前置工作。本文总结了城镇燃气管道风险评估工作的实践经验, 综合当前评估指标体系现状和风险评估要求, 提出了针对在役埋地城镇燃气管道风险评估指标体系的优化建议。

关键词: 城镇燃气管道; 指标体系; 风险评估

1 概述

随着我国城市化进程加速, 燃气管道网络规模迅速扩大。国务院办公厅印发《城市燃气管道等老化更新改造实施方案(2022—2025年)》, 加快推进城市燃气管道等老化更新改造, 加强市政基础设施体系化建设, 保障安全运行, 提升城市安全韧性, 促进城市高质量发展, 让人民群众生活更安全、更舒心、更美好。加强城镇燃气管道风险评估与管理, 是城市燃气管道更新改造的前置要求, 各燃气企业正逐步推进风险评估工作, 力求构建更加稳固的燃气供应体系。

管道风险评估作为完整性管理的关键, 在我国虽起步较晚, 但已逐渐受到重视。与欧美等发达国家相比, 我国城镇燃气管道风险评估的实践经验和技术研究尚显不足, 尤其是在评估标准的适应性上。城镇燃气管道与长输管道相比在介质压力、管道结构、管道规划和建设进程、管道所处环境、管道腐蚀防护形式和管道检测维修方式等诸多方面存在显著差异^[1], 现行城镇燃气评估标准尚存在不足之处。

港华投资有限公司通过识别管材、管径、埋深、

管位等是导致管网事故的关键因素, 建立了自己的风险分类标准^[2]。王东针对杭州市钢质燃气管道, 建立了包括第三方破坏、腐蚀因素、设计因素、操作因素等失效可能性风险评估指标, 并结合风险后果确定风险等级^[3]。胡哲辉等聚焦于城镇中低压钢质燃气管道腐蚀, 构建了包括防腐层种类、防腐层性能、土壤电阻率、杂散电流、阴极保护、管道壁厚和运行年限等指标的失效可能性模型^[4]。深圳市燃气集团股份有限公司在GB/T27512—2011基础上, 对燃气管道失效风险因素进行了优化, 主要考虑了腐蚀与防护、外部干扰、自然力破坏、材料制造建设、运行与维护等^[5]。黄志强针对小区庭院燃气管道老化评估提出了基于使用年限、宏观检查、敷设环境调查、土壤腐蚀性检测、防腐层非开挖检测、管道直接检查和安全管理的风险评估模型, 对评估对象进行风险评级, 并结合安全状况评级确定管道的综合评估等级^[6]。

综上, 尽管国内在城镇燃气管道风险评估方面已取得一定进展, 尚缺乏统一的评估标准。各地在现有标准基础上进行的优化探索各具特色, 但也暴露出评估体系多样、差异较大的问题。未来亟需加强研究与

合作，推动建立科学、统一、适应性强的城镇燃气管道风险评估标准体系。

2 相关标准综述

城镇燃气管道风险评估中，可参照的国家标准主要有GB/T 27512-2011《埋地钢质管道风险评估方法》、TSG D7004-2010《压力管道定期检验规则-公用管道》和GB/T 50811-2012《燃气系统运行安全评价标准》。

2.1 TSG D7004-2010《压力管道定期检验规则-公用管道》

该标准是对城镇燃气管道进行定期检验的主要依据，规范了燃气和热力压力管道的定期检验流程，包括年度检查和全面检验两大核心环节。该标准是针对压力管道制订的，对于次高压A及以上压力级制燃气管道，除开展年度检查和全面检验外，尚需针对检测中发现的危害管道结构完整性的缺陷等情形进行合于使用评价。该标准虽要求在年度检查结论报告和全面检验结论报告中给出允许使用、降压使用等结论，但评估结论的判定未给出明确的依据；也不同于TSG D7005-2018《压力管道定期检验规则-工业管

道》，并未根据检验结果进行安全状况等级评定。同时，大量的低压燃气管道未涵盖在标准适用范围内。

2.2 GB/T 50811-2012《燃气系统运行安全评价标准》

该标准适用于民用、工商业等领域燃气系统的现状安全评价。针对钢质燃气管道，从管道敷设位置的合规性、管道附件设置的完整性、日常运行维护的合规性、管道泄漏检测周期、管道腐蚀防护情况等5个方面进行评估。该标准的评价指标相对简单，更侧重于日常的隐患排查，而对管道安全影响较大的管道本体有效性涉及较少，与管道本质安全密切相关的管道腐蚀防护指标在评估体系的权重也不突出。在过去的评估实践中，应用案例较少。

2.3 GB/T 27512-2011《埋地钢质管道风险评估方法》

本标准是针对输送原油、成品油、天然气等介质的长输、集输、公用埋地管道编制的。标准通过失效可能性评价、失效后果评价计算评估单元的风险值，划分风险等级。失效可能性评估指标的具体内容及权重见表1。

该标准具有较强的操作性，应用也相对较多。但不容忽视的是，其评价指标体系主要基于国外油气长输管道的评价方法构建，带有明显的长输管道特点，其指标体系构成与权重均存在优化空间。

表1 GB/T 27512失效可能性评价指标

序号	指标	权重 (%)	序号	指标	权重 (%)
1	第三方破坏	30	2.7	土壤腐蚀-深根植被	0.3
1.1	地面活动水平	9.0	3	本质安全	30
1.2	埋深	2.4	3.1	设计施工控制	13.5
1.3	地面装置及其防护措施	2.4	3.2	管道使用年限	1.5
1.4	占压	1.8	3.3	泄漏检测周期	1.2
1.5	管道标识	2.4	3.4	管体缺陷检测	8.1
1.6	巡线	7.5	3.5	自然灾害及防范	5.7
1.7	公众教育	4.5	4	设备(装置)及操作	10
2	腐蚀	30	4.1	设备功能及安全质量	2.5
2.1	大气腐蚀	3.0	4.2	设备维护保养	1.5
2.2	内腐蚀	3.0	4.3	设备操作	2.3
2.3	环境腐蚀性调查	3.6	4.4	人员培训与考核	2.0
2.4	土壤腐蚀-防腐设计	3.0	4.5	安全管理制度	0.8
2.5	土壤腐蚀-外防腐层	11.1	4.6	防错装置	0.9
2.6	土壤腐蚀-阴极保护系统	6.0	5	合计	100

2.3.1 部分指标不适用

(1) 城镇燃气管道的地面装置不像长输管道那样用围栏、沟渠加以保护,在第三方破坏指标中的地面装置及其防护措施并不适用于城镇燃气管道。

(2) 长输管道中由于输送介质的特性需要考虑管道的内腐蚀,并且要考虑地面管道的大气腐蚀,而城市燃气管道内腐蚀并不明显,国内外大部分城市燃气管道都忽略内腐蚀的评价,而地面管道数量较少,也不考虑大气腐蚀^[4]。

(3) 土壤腐蚀评价中考虑了防腐层及阴极保护系统的设计、施工状况,本质安全评估中考虑了设计施工控制,且赋予很高的权重(占整个评估体系权重的22%)。我国城市燃气管道建设初期普遍缺乏系统的历史数据与原始设计资料库的支持,并随着时间推移,面临大量信息流失与资料缺失的困境。尽管这些因素的潜在威胁不容忽视,但评估的焦点应更侧重于当前检测数据,以削弱评估结果的真实性。

2.3.2 部分指标的权重不合理

(1) 腐蚀防护是管道本质安全的重要组成部分,表征管道腐蚀防护水平的防腐层有效性、阴极保护系统有效性及土壤环境腐蚀性应在评估中赋予更大的权重。防腐层与阴极保护系统是管道外部防护的坚固屏障,其有效性直接关系到管道免受腐蚀侵害的能力,特别是在城镇燃气管道开挖检测经常受限,且管道本体检测技术存在局限性的背景下,腐蚀防护的有效性更显其重要性,成为衡量管道安全性能的重要指标。在城镇环境中,地铁等基础设施运行产生的杂散电流,相较于长输管道,对管道构成了更为显著的潜在威胁,这凸显了管道敷设环境腐蚀性在风险评估中的重要性。

(2) 地面活动水平被作为第三方破坏发生可能性的重要指标,但城镇区域与长输管道所穿越的开阔地带存在显著差异,城镇燃气管道虽面临较高的地面活动水平,但同时往往伴随着更为严格的风险管理与控制措施,因此该因素对实际破坏风险的影响并没有长输管道那么大。

2.3.3 部分指标差异化不足

(1) 在第三方破坏评估时,其中的一个因素是公众教育。在信息化的时代,特别是在城镇区域内,燃气企业与政府部门、燃气用户有着密切的联系,燃

气企业也开展了大量的宣传工作,很难区分不同管道的公众教育水平。

(2) 设备(装置)及操作评分多通过追溯历史记录进行评估,但评估因素中有的易导致评估结果同质化,有的在较短时间内可整改完成,有的具有不确定性(如人员流动),有的指标(如培训)仅检查记录而未考量效果。

3 风险评估指标体系优化建议

燃气管道风险评估作为管道完整性管理的核心环节,旨在精准识别影响燃气管道完整性的关键风险因素,深入分析管道失效的可能性及其潜在后果,从而科学评估风险水平,并据此实施有效的风险控制措施。这一过程的最终目标是确保燃气输配系统的安全、可靠和经济运行。

3.1 指标构建原则

风险评估指标的选取对评价结果的真实性起着十分重要的作用,评估指标体系建立应遵循如下原则:

(1) 科学性与实用性并重:评估指标既要全面体现管道系统的风险因素,又要确保数据的可获得性和成本效益。追求科学性的同时,注重实际操作中的可行性。

(2) 聚焦本质安全与关键风险:指标选择应紧密围绕本质安全,突出与管道本体及其防护措施有效性等相关的关键风险因素,排除可立即改善且对整体安全影响较小的因素。

(3) 强调风险分级与差异化:突出评估结果的差异性,避免同质化指标带来的评估结果模糊性。

3.2 关键风险因素辨识

根据A燃气企业2018年—2022年抢修统计数据,管道腐蚀防护失效、设备材料问题、焊缝失效和外力破坏是管道抢修事件的主要原因,其中因腐蚀防护失效引起的抢修事件数量最多,约占抢修总数的2/3,其次是设备材料问题、焊缝失效和外力破坏,各抢修原因在抢修事件中占比见表2。

徐火力等针对厦门市不同区域50多个居民小区的低压管道进行全面检验结果,分析认为管道失效形式包括腐蚀、焊口失效和第三方破坏等,主要安全风险因素包括管道敷设环境、服役年限、防腐层类型及其

有效性、阴极保护效果、杂散电流干扰及已发生泄漏状况等^[10]。

A燃气企业的统计数据中，设备材料问题包括设备固有缺陷、管材制造工艺的瑕疵、施工过程中的质量控制不足，以及材料老化等，均影响着管道的本质安全性能。在宏观层面上，A燃气企业与上述厦门市的检验数据具有高度的相似性。危害城镇燃气管道和附属设施的潜在危险因素主要有腐蚀防护失效、焊缝失效及外力破坏等。

根据中国城市燃气协会发布的《全国燃气事故分析报告》^{[11][2][3]}，2021年—2023年媒体报道的573起已核实事故原因的天然气管网事故中，第三方破坏引发的事故占比最高，占比达84.5%，其次是管道腐蚀泄漏造成的事故，占比为5.9%，地质灾害或地面沉降造成的事故占比为3.7%，详见表3。

对比中国城市燃气协会统计报告中的燃气事故数

据和上述企业内部统计的抢修事件数据，两者在识别燃气安全事件的主要致因上高度一致，都包含了腐蚀、外力破坏、管道接口失效等关键因素。

3.3 风险评估指标的构建

在全面审视现行标准规范与工程实践经验基础上，通过综合评估失效可能性和潜在后果来确定评估单元的风险水平是一种行之有效的方法。然而，为了进一步增强评估的精准度和实用性，建议根据上文中的指标构建原则对评估指标体系进行优化。

管道评估失效可能性指标推荐考虑本质安全、腐蚀防护、外力破坏、周边环境和运行管理等5个方面，详见表4。

从表4中可以看出，本指标体系在GB/T 27512基础上进行了较大幅度的简化和调整，注重科学性的同时兼顾实用性，主要体现在如下几个方面：

(1) 精简指标：剔除了地面装置及其防护措

表2 A燃气企业管道抢修事件统计表

序号	抢修原因	管道抢修次数（次）						占比（%）
		2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	小计	
1	腐蚀防护	423	466	466	578	211	2 144	67.8
2	设备材料问题	97	73	60	100	17	347	11.0
3	焊缝失效	97	63	34	82	35	311	9.8
4	外力破坏	58	75	41	62	19	255	8.1
5	附属设备失效	8	8	1	3	1	21	0.7
6	其它	30	12	18	19	7	86	2.7
7	合计	713	697	620	844	290	3 164	100.0

表3 2021年—2023年全国管网事故致因统计表

序号	事故致因	管网事故次数（次）				占比（%）
		2021年	2022年	2023年	合计	
1	第三方破坏	215	121	148	484	84.5
2	管道腐蚀	14	12	8	34	5.9
3	地质灾害或地面沉降	10	4	7	21	3.7
4	管道接口失效	3	3	1	7	1.2
5	管道阀门等设备失效	2	2		4	0.7
6	私接	2	1		3	0.5
7	违规操作	2			2	0.3
8	其它		13	5	18	3.1
9	合计	248	156	169	573	100.0

表4 推荐的管道评估失效可能性指标及其权重

序号	指标	权重 (%)	序号	指标	权重 (%)
1	本质安全	25	3.1	活动频繁程度	5
1.1	运行年限	4	3.2	埋深	10
1.2	材质	3	3.3	保护措施和警示标识	5
1.3	管道缺陷	14	4	周边环境	10
1.4	附属设备	4	4.1	占压	6
2	腐蚀防护	35	4.2	深根植被	1
2.1	防腐层类型	2	4.3	地质条件	3
2.2	防腐层有效性	16	5	运行维护	10
2.3	环境腐蚀性	10	5.1	巡线	8
2.4	阴极保护有效性	7	5.2	泄漏检测	2
3	外力破坏	20	6	合计	100

施、大气腐蚀、内腐蚀、管道及其附属设施建设阶段控制、设备（装置）及操作、公众教育等评估指标；

（2）调整权重：突出本质安全，提高防腐层及阴保系统有效性权重，降低环境腐蚀性指标的权重；

（3）完善指标：增加了材质和附属设备有效性两个指标。

4 结语

随着燃气管道使用年限的增加，管道的安全风险也有逐步增大的趋势，管道风险评估已成为燃气安全管理中不可或缺的一环。我国城镇燃气管道风险评估工作尚处于起步阶段，实践经验不足，评估标准体系尚待完善，迫切需要总结现有经验，深化对城镇燃气管道评估技术的研究，切实建立起既保证指标体系完整性，又确保指标权重科学性的评估标准。

[4] 曾静, 等. 城市埋地燃气管道风险评估方法的适用性. 煤气与热力, 2007, 27(5): 55-61.

[5] 韦庆, 等. 城市埋地燃气管道风险评估方法在港华集团北方区域公司的应用. 城市燃气, 2013, 455: 24-27.

[6] 王东. 钢质燃气管道安全风险评估系统的建立及应用. 煤气与热力, 2012, 32(12): B26-B30.

[7] 胡哲辉, 等. 城镇中低压钢质燃气管道腐蚀泄漏风险评估. 煤气与热力, 2021, 41(4): B36-B39.

[8] 王文想. 双重预防机制在城镇燃气管道上的应用实践. 城市燃气, 2022, 10: 16-23.

[9] 黄志强. 小区庭院老旧燃气管道老化检测评估技术探讨. 检验检测, 2023, 2: 2-9.

[10] 徐火力. 老旧小区低压钢质燃气管道风险识别与安全评估技术. 城市燃气, 2021, 558: 30-36.

参考文献

[1] 中国城市燃气协会安全管理工作委员会, 等. 全国燃气事故分析报告(2021年全年综述). 2022, 6.

[2] 中国城市燃气协会安全管理工作委员会, 等. 全国燃气事故分析报告(2022年全年综述). 2023, 2.

[3] 中国城市燃气协会安全管理工作委员会, 等. 全国燃气事故分析报告(2023年全年综述). 2024, 2.

欢迎订阅《城市燃气》杂志



扫描此二维码订阅杂志



扫描此二维码关注杂志

《城市燃气》杂志社官方网站: www.gas800.com