引文格式：陆水祥. 论城市地下燃气管线风险评估方法与应用[J]. 地理空间信息, 2023, 21(12): 131-133. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2023.12.033

论城市地下燃气管线风险评估方法与应用

陆水祥[1]
（1. 浙江省测绘科学技术研究院，浙江 杭州 311100）

摘　要：为全面、正确掌握海宁市城市燃气管线风险隐患，在采用燃气管线风险评估方法的基础上，结合海宁市实际调整部分评估指标，建设风险评估算法，利用风险评估所需的各种管线数据和实地查验等方式，对实效可能性和失效结果进行计算，确定管线风险等级。通过同一评估流程，对风险等级较高的路段加强了整改力度，再通过风险评估后全部达到安全等级。实践证明，该研究内容具备燃气管线科学预判风险能力，研究结果可以为其他城市提供借鉴。

关键词：燃气管线；工具箱；半定量风险分析；风险管控
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）12-0131-03

Urban Underground GasPipeline Risk Assessment Method and Its Application

LU Shuixiang[1]
(1. Zhejiang Academy of Surveying and Mapping, Hangzhou 311100, China)

Abstract: In order to have an overall control of hidden risks of urban underground gas pipeline in Haining City, we adjusted some of the assessment indicators combined with the actual situation in Haining City and constructed the risk assessment algorithmfor gas pipelines. Then, we used various pipeline data and on-site inspection methods required for risk assessment to calculate the actual effect possibility and the failure result, anddetermined the pipeline risk grade. After the same assessment process, we optimized the gas pipelines with a higher risk and had a second risk assessment so as to reach the safety level. Practice has proved that the research has the ability of scientific risk prediction of gas pipelines, providing a reference for gas pipeline construction in other cities.

Key words: gas pipeline network, toolbox, semi-quantitative risk analysis, risk control

随着城市化进程不断深入，在城市主干次道、居民小区的燃气管线覆盖范围不断扩大，复杂性也越来越大。因此，海宁市在借鉴国内外学者和城市建设部门研究和建设成果的基础上，结合海宁燃气行业实际，将地理信息系统引入其中[1]，将参照行业相关技术标准，根据燃气管线已有资料和物联感知监测数据，研究燃气管线风险分析“工具箱”，并应用于海宁市数治市管线CIM平台进行实践验证。

1　资料收集和调查

2020年8月起对海宁市燃气管线风险评估前开展了基础调研和摸底工作。根据现场勘察，综合分析海宁市城区道路状况和重点区域情况，选取海州路为风险评估路段，该路属市中心核心区域，属管线四级区段。

1.1　燃气管线资料收集和分析

收集了海州路燃气管道设计、施工和竣工验收、运维管理等资料。海州路燃气管线始建于2000年，管线长度约8.1 km，主管线采用钢制材料，压力值为0.3 MPa，采取了基乙烯胶带等防腐材料保护，埋地深度在1.0~2.0 m之间。

1.2　燃气管线埋设环境调查

通过土壤电阻率测试仪在海州路选取20处进行了管线土壤电阻率，区间值在48.2~120 Ω·m之间，表明海州路沿线土壤环境腐蚀性较低；通过对海宁皮革城北区、锦绣花园小区、胡家门小区、浙江大学海宁国际校区等4处进行了开挖查验，发现一处长32 mm、宽15 mm防腐层破损，但管体未发生腐蚀情况，管线防腐层总体质量较好；通过车载三维探测雷达快速检测和二维雷达现场复核相结合技术手段，检测海州路

收稿日期：2022-06-28。
项目来源：2021年度浙江省重点研发计划资助项目（2021C03152）。
作者简介：陆水祥（1978—），高级工程师、注册测绘师，研究方向为测绘地理信息与应用，E-mail：33584424@qq.com。

路面裂纹、沉降质量情况发现，共有15处路面裂纹，但路面沉降情况总体质量较好；通过采用CSE参比电极法检测25处管地自然电位，有5处自然电位高于–0.85 V，说明部分管线牺牲阳极保护不合格。通过对海州路沿线燃气管线的位置和走向、地面标志设置、阀门等进行查验，发现部分警示标志被损坏，部分阀门有积水生锈。另外，发现共有14处建筑物等占压管线情况。

2 燃气管线风险评价研究

2.1 技术路线

海宁市城市地下管线事故时有发生，存在较高的安全隐患，从各方面综合角度考虑，建立一种管线风险评价方法有利于城市健康发展。该方法以燃气管线风险的类型指标为基础，用管线的绝对风险值大小来确定燃气管线的危险程度。在实际风险评估中综合考虑海宁实际情况进行适当修正，评价步骤可参考图1。

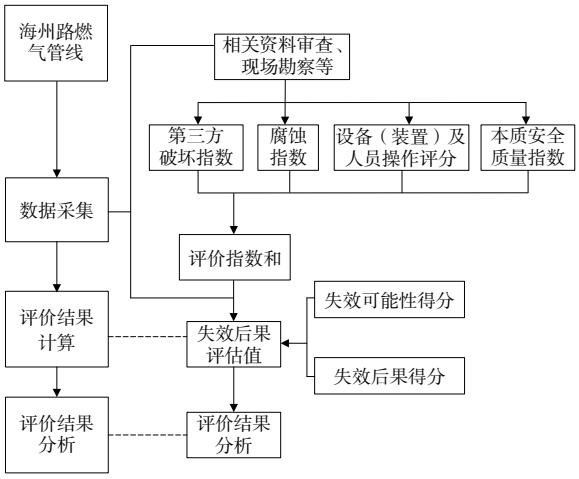


图1 管线风险评价流程图

2.2 半定量风险分析

2.2.1 评价方法研究

1）第三方破坏评分，总分100分。主要与海州路沿线活动水平、管线埋深、地上设备及保护措施、线路状况、安全教育培训和巡线频率等因素有关，但不包括人为蓄意破坏，第三方破坏指数为上述指数之和[2]。根据海宁实际将评估方法中管线标志指标调整为路线状况，公众教育指标调整为安全教育培训。具体分值设置为地域活动水平30分，埋深8分，地上设备装置及保护措施8分，线路状况8分，占压6分，安全教育培训15分，选线频率25分。海州路区域属经济高度发达地区，地域人口密度大，交通发达，管线占压情况突出，但管线埋深较好，保护装置陪套较齐全，巡线检查频率高，宣教工作到位，综合以上因素，海宁第三方破坏总体得分为70分。

2）腐蚀原因评分，总分100分。腐蚀主要分为三部分：埋地金属腐蚀、内壁腐蚀和大气腐蚀[3–4]。埋地金属腐蚀主要包括内外腐蚀，外腐蚀共80分是管线腐蚀破坏的主要因素，它与阴极保护的状况10分、保护层质量10分、管线使用年限10分、土壤腐蚀性40分、管线附近有无其他金属埋设物10分等因素有关。内腐蚀10分，与管线中含水、CO_2、H_2S。大气腐蚀10分，与空气类型指数、保护层有关。海宁燃气管线腐蚀原因得分66分。

3）设备（装置）及人员操作评分，总分100分。设备（装置）功能及安全质量25分，包括设置（装置）性能操作说明、质量、计量、检验材料及保护装置等内容。设备（装置）维护保养15分，包括维护规程、流程规范性等内容。设备（装置）操作23分，人员培训考核20分，包括培训制度及执行、培训材料完整性和考评激励机制等内容。安全管理制度8分，包括安全制度健全性、安全机构及人员配备等内容。防错设备（装置）9分，防错装置包括操作硬件、联锁装置和计算机操控软件等。根据海宁市海州路燃气管线全面查验资料情况综合风险，对涉及评分因子进行评分，该项得分为60分。

4）管道本质安全质量的评分，总分100分。设计施工控制45分，包括设计单位及人员细致、设计标准规范性文件、管线元件制作单位资质、施工组织规范性、竣工验收规范性、监理质量等内容。检测及评价35分，包括管线使用年限、泄漏检测周期合理性、检测单位及人员资质等内容。自然灾害及防护措施20分，包括风、雨雪载荷、地质灾害等自然灾害的防护措施情况等内容。根据对海州路沿线燃气管线设计、安装、竣工验收资料的审查，综合监理、质监安监及泄漏检测综合评价，海州路燃气管线本质安全质量为58分。

5）失效可能性得分计算。根据GB/T 27512—2011《埋地钢质管道风险评估方法》，海州路属四级区段，对应海州路燃气管道采用基本模型计算失效可能性得分[5–7]，其公式为：

$$S=100-(0.3S_1+0.3S_2+0.1S_3+0.3S_4) \quad (1)$$

式中，S为失效可能性得分；S_1为第三方破坏得分；S_2为腐蚀得分；S_3设备（装置）及人员操作得分；S_4为本质安全质量得分。以上代入可得海州路燃气管线失效可能性得分为64.2分。

2.2.2 失效后果评价

燃气管线失效后果指的是燃气管线潜在泄漏、燃

烧和爆炸等事故引起严重的人员伤亡和财产损失和其他严重后果，其总分为150分。其中介质的短期危害性36分；介质的最大泄漏量20分；介质的扩散性15分；人口密度20分；沿线环境15分；泄漏原因8分。供应中断影响36分。根据以上指标，海州路燃气管线失效后果得分为86分。

2.2.3　风险值计算

根据GB/T 27512—2011《埋地钢质管道风险评估方法[8-10]，风险值计算公式为：

$$R=SC \tag{2}$$

式中，R为风险值；S为失效可能性得分；C为失效后果得分，根据公式（2），计算得出海州路燃气管线风险值为5 521.2分。

2.2.4　风险等级确定

根据GB/T 27512—2011《埋地钢质管道风险评估方法》风险绝对等级划分原则[11-12]，海州路风险值R在7 800~12 600之间，属中等风险绝对等级。根据海州路风险预评估及全面检验中发现的问题，由管线主管部门通过海宁市地下管线综合智管平台通知燃气管线权属单位和企业，经整改后，报主管部门进行复验，复验合格后进行风险再评估，风险再评估的内容、程序、评分原则与风险预评估一致[13-14]。

2.2.5　风险整改和复检

通过风险预评估，对海宁市海州路15处园林绿化、其他市政设施占压较大的占压物进行移除或改线，并对沿线管线进行加套保护。对已损坏、丢失的管线警示桩进行修补。对管线阀门进行抽水、除锈和刷漆，对存在泄漏的阀门进行更换。修补了35处防腐层破损管线。同时建立健全了管线权属单位和运营企业监督考核制度，加强日常巡检力度和宣教工作力度。经过3个月整改，重新计算失效可能得分为40.5分，失效后果得分80.5分，管线风险值为3 260.25分，R值在低风险绝对等级区间范围内，复检合格。

3　风险评价结果应用

为了对地下管线实现科学有效管控，海宁市开发了海宁市数治管线CIM应用平台，将风险评价结果引入平台“工具箱”。海宁市地下管线主管部门通过登录系统，实时将风险评价因子输入“工具箱”，一旦风险评价R值处于绝对高风险范围，系统就自动预警，及时发布紧急疏散路线，指导开展应急处置，防范重大事故的发生，保障人民群众生命财产安全[15]。

4　结　语

该系统自上线以来，线上办事、部门监管工作已全面铺开。燃气管线通过工具箱已有效对市区内主要道路进行了风险评估和整改，均达到安全区间内。随着浙江省城市安全一体化平台建设不断深入，海宁市作为地下管线综合管控子场景试点县（市、区），充分把握了全省数字化改革要求，在如何做好地下管线综合管理做出了有效探索，为嘉兴市、浙江省两级全面推广奠定了基础。

参考文献

[1] 赵明,张健钦,卢剑. 基于云计算的城市交通大数据分析平台[J]. 地理空间信息,2020,18(2):16-20

[2] 陆瑞忠,郑津洋. 肯特管道风险评价法在天然气长输管道的应用[J]. 化工生产与技术,2008,15(3):55-56

[3] 马磊. 基于GIS的城市天然气管网预警与应急系统研究[D]. 成都:西南交通大学,2011

[4] 国家安全生产监督管理局(国家煤矿安全监察局). 安全评价[M]. 北京:煤炭工业出版社,2004

[5] 于京春,解东来,马冬莲,等. 4种城市燃气管网风险评估模型[J]. 煤气与热力,2007,27(11):44-46

[6] 韩朱旸,翁文国. 燃气管网定量风险分析方法综述[J]. 中国安全科学学报,2009,19(7):154-156

[7] 徐亚博,钱新明,刘振翼. 天然气输送管道泄露事故危害定量分析[J]. 中国安全科学报,2008,18(1):146-148

[8] 刘茂,刘斐. 城市燃气管线风险评估[J]. 自然灾害学报,2009,18(4)84-86

[9] Han Z Y,Weng W G. Comparison Study on Qualitative and Quantitative Rsk Assessment Methods for Urban Natural Gas Pipeline Network[J]. Journal of Hazardous Materials,2011,189(10):509-518

[10] 崔辉,徐志胜,宋文华. 人工燃气爆炸与中毒事故危害定量比较分析[J].灾害学,2008,23(4):96-100

[11] 朱明,薛重生,李丹,等. 城市管网数据模型与网络逻辑拓扑关系[J]. 中国地质大学学报,2005,30(4):256-259

[12] 周旭东,吴明冠,李宏伟. GIS在处置地下管线突发事件中的应用研究:以苏州市地下综合管网应急处置系统为例[J]. 测绘科学,2007,32(5):117-120

[13] 段正肖,辛保泉,谭钦文,等. 一种城市燃气管道风险评估模型及其应用研究[J]. 中国安全生产科学技术,2020,16(2):118-123

[14] 王文和,罗静,易俊,等,基于STPA的城市埋地燃气管道第三方破坏风险因素分析[J]. 工业安全与环保,2021,47(3):6-10

[15] 赵会群,王国仁,高远. 软件体系结构抽象模型[J]. 计算机学报,2002,25(7):730-736