

北京市埋地燃气管道安全状况评估系统研究

北京市燃气集团有限责任公司(100035) 马宁 许彤
 北京科技大学材料学院腐蚀与防护中心(100083) 曹备
 北京中腐防蚀工程技术有限公司(100083) 李禅 付山林

摘要 埋地管道失效引起的突发事件会造成严重的财产损失、人员伤亡和环境破坏,针对管道的事故可能性进行评估,可以明确影响管道安全的主要因素,采取有效的措施减小事故的发生。基于安全评估思想和可靠的数学模型,对管道的腐蚀破坏、外力破坏和误操作破坏进行评估,对含缺陷管道进行剩余强度评价和剩余寿命预测,编制了基于GIS平台的评估软件“北京市埋地燃气管道安全状况评估系统”。利用现场检测数据及调查结果进行安全状况等级的评估,评估结论可靠,能直观显示管道的安全等级并提示薄弱环节,提供维护建议,对评估内容和结果适时进行统计分析,操作简单,实用性强。

关键词 安全状况评估 腐蚀破坏 外力破坏 误操作破坏 剩余强度评价 剩余寿命预测

Study on Gas Pipeline Safety Evaluation System

Beijing Gas Group, Co., Ltd., Beijing China Ma Ning, Xu Tong,
 School of Material Science and Engineering, University of Science and Technology Cao Bei
 Beijing ZhongFu Corrosion & Protection, Co., Ltd. Li Chan, Fu Shanlin

Abstract Sudden Accidents due to the failure of the buried pipeline can cause great damages, such as property loss, personal injury or loss of life, and destroy to the environment. Evaluation of the accident probability can help people identify the main factors affecting the pipeline safety, and according to which people can take effective measures to reduce the accident rate. Based on safety evaluation theories, mathematic model and pipeline integrity assessment methods, Evaluation of Corrosion, Third-party interference and Maloperation are set up. Remaining strength assessment and remaining life prediction were conducted on pipeline with defects. Gas Pipeline Safety Evaluation System (GPSES-2006) was designed for the pipeline safety evaluation by using the On-the-spot survey datum and investigation results. The evaluation results are correct and reliable, display the weak-links directly on the screen. It is proved that this system is of high practicability and application prospect.

Keywords safety evaluation corrosion third-party interference maloperation remaining strength assessment remaining life prediction

1 引言

近年来,随着北京市的城市建设向现代化、国际化方向发展,城市燃气事业的发展突飞猛进。现北京市拥有燃气管线 7 000 多 km,每年以 10%左右的速

度发展。不同时代管线建设和运行管理的技术水平存在差异,导致不同服役年限的管道安全状况参差不齐。由于管道腐蚀、外力破坏、操作失误等原因导致的各种管道突发事件屡有发生,给抢修抢险工作带来很大压力,也给燃气安全生产和城市公共安全

造成极大威胁。因此,急需对北京市在役管道的健康和状况做认真细致的调查研究,以了解情况、发现问题、提出对策和解决问题,有效提高城市燃气管道安全运行的效率和效益。

2 项目介绍

2004年北京市燃气集团提出立项开展“北京市埋地燃气管道安全状况评估系统”的研究。通过对2004年-2006年部分老旧管道更新改造工程的跟踪测试、取样分析、实验室研究等,大量采集数据和分析总结规律,对北京市不同服役时段的在役燃气管道的腐蚀控制状况、管体焊缝缺陷和管材适用性等方面做了研究和总结分析。根据国内外管道安全评估技术的应用发展,充分结合北京市的实际情况,开展了相关开发研究,完成了“北京市埋地燃气管道安全状况评估系统”的算法模型研究和软件开发,经过部分工程的实际应用,实现了规划设计的各项功能。

该项目由北京市燃气集团、北京中腐公司、北京科技大学、中国腐蚀与防护学会等单位共同参加完成,组织了课题所涉专业如城市燃气、材料学、腐蚀与防护、安全评价、信息科学等领域的不同层次的数十位国内知名专家和技术人员共同参与。项目组经过两年时间的辛勤劳动和努力工作,密切跟踪国内外管道完整性评估技术的发展,并充分结合北京市燃气管道运行管理的现状和发展方向,成功研发了“北京市埋地燃气管道安全状况评估系统(Gas Pipeline Safety Evaluation System,GPSES-2006)”。

3 项目主要内容

3.1 现场检测

对北京市燃气集团2004年-2006年部分老旧管道更新改造工程进行了现场检测和取样分析,主要包括:(1)管道土壤环境腐蚀性检测分析:土壤类型、土壤电阻率、杂散电流、管地电位、氧化还原电位等现场测试,土壤理化性能分析、土壤环境腐蚀性原位极化试验研究等方面;(2)防腐层状况在线检测:采用相关监测仪器设备和数据分析评价系统检测评价在役埋地管道的防腐层运行状态和防腐层性能质量,为防腐层直接评价提供依据。本项目采用

C-SCAN、RD400-PCM、选频变频定量测试技术和SL-2088等完成相关检测工作。(3)防腐层性能质量探坑内局部检测分析:清理防腐层、外观检测及数码相机、厚度检测、附着力检测等内容。(4)管体腐蚀状况检测分析:管体剩余厚度检测、管体腐蚀外观检测、管体腐蚀面积几何尺寸测量和腐蚀产物分析等内容。

经过两年多的紧张有序的工作,截止到2006年10月初,通过对30多个改造工程200多km管线的全面跟踪检测,对具备比较完备检测条件、重点跟踪检测的具有代表性的29个改造工程约140km管线,进行了数据整理、统计分析和评价。通过对现场检测的数据分析研究,总结了导致城市燃气管道破坏的各种原因,并从中提取部分代表性数据信息,为安全评估系统的研究开发提供数据信息资源支持。

3.2 管体焊缝缺陷检测分析

结合30余项更新改造的管道工程项目,选择不同使用年限、不同管径的在役埋地天然气管线现场管体取样,对其管体对接焊缝及螺旋焊缝(包括部分直焊缝)进行射线及超声波无损检测,无损检测同时采用射线检测和超声波检测两种方法。射线检测的目的是直观评定不同年限施工的焊缝质量,超声波检测目的是确定缺陷存在的深度范围。共检测约150km管道的300多个取样管段,由于管道建设年代久远,运行时间很长,焊缝质量隐患较大,环焊缝和纵焊缝均存在较多缺陷,情况堪忧。

3.3 实验室分析

项目通过对200多km老旧管道的调研测试,采集了300多段管体样本,对其中有代表性的60段开展了认真细致的实验室研究分析,包括化学成分测定、硬度测试、金相试验、拉伸强度试验、冲击试验和材料断裂韧性的测试等,积累了数万个检测试验数据和图形资料信息。

分析结果表明,某些管道焊缝处存在魏氏组织,直接影响到焊缝的力学性能,使焊缝变脆,成为在役管道较危险的部位。焊缝夹杂较多,夹杂物主要是Si、Mn、Ti、S、Al等元素的含铁氧化物。另外,管道的母材和焊缝的硬度值比较正常,基本符合材料使用标准。多数管道的冲击韧性较差,韧脆转变温度相对较高,部分在0℃以上,部分管道的冲击韧性不能满

足实际使用的要求。就同一根管道而言,其焊缝部位的冲击韧性相对较差,可能成为管道服役过程中较脆弱部位。通过对焊缝探伤部位的验证试验,观察到部分管道焊缝处存在较大缺陷,严重影响管道服役寿命,成为管道使用过程中的危险点。

3.4 安全评估

引进国际先进的安全评估思想,结合北京市燃气管道现状,深入开展相关研究。对于城市燃气管道,提出管道的安全评估应分为两个方面,如图1所示。

(1) 安全状况综合评估:即由于腐蚀、外力、误操作等原因而导致的管道泄漏等突发事件可能性的大小。造成管道事故的原因很多,根据国内外一些统计资料分析,主要有腐蚀破坏、外力破坏(或称第三方破坏)、误操作破坏等^[1]。

对城市燃气管道的腐蚀破坏评估,主要考虑土壤环境腐蚀性、防腐层状况(防腐层种类、面电阻、漏点等)、阴极保护状况(阴极保护类型及保护效果等)以及管道自身状况(使用年限、管体腐蚀状况等)等4个方面。分析4个方面的影响因素,利用合适的评估模型,进而科学而准确的对城市燃气管道进行腐蚀评估。

外力破坏,又称第三方破坏,是由于在管道附近进行的施工采挖、耕种等人为活动所造成的管道结构或性能的破坏。外力破坏后果包括管道破损泄漏、外防腐损伤、管道刮痕、压坑等。影响外力破坏的主要因素包括管道的最小埋深、所在区域的人类活动水平、管道的地上设备、附近地区的公众教育状况等等。

误操作破坏可分为管道的设计、施工、运行和维护等4个方面,也是造成管道事故的另一个重要来源。减少误操作对管道的破坏,必须加强管道设计和施工的严格程度,加强管道日常运行中的检测与检查,提高管理人员的素质等等。

(2) 含缺陷管道的剩余强度评价和剩余寿命预测:由于各种原因形成的管道缺陷损伤虽不至于马上导致破坏事故,但会造成一定的安全隐患,严重影响管道的剩余强度和使用寿命,因此对含缺陷的管道进行剩余强度评价和剩余寿命预测是必要的,而且可以对管道的安全状况进行更为深入的分析,提出更科学可靠的管理维护建议。

3.5 模型的建立

(1) 采用多因子评价和原位极化试验对土壤腐蚀性进行综合评定,取两者最严重的评价结果作为土壤腐蚀性的最终评价等级,作为管道土壤腐蚀性的等级。多因子评定确定的6个特征影响因素:土壤电阻率、土壤含水量、土壤含盐量、土壤pH值、管材腐蚀电位、氧化还原电位,并依据实践归纳的经验对这些因素赋予一定的权重,加权计算评定土壤腐蚀性等级。原位极化试验方法采用北京中腐防蚀工程技术有限公司研制生产的CR-7型金属腐蚀原位极化测试评价系统,根据CJJ/T95-2003中的判定标准^[2]对土壤腐蚀性进行评价。

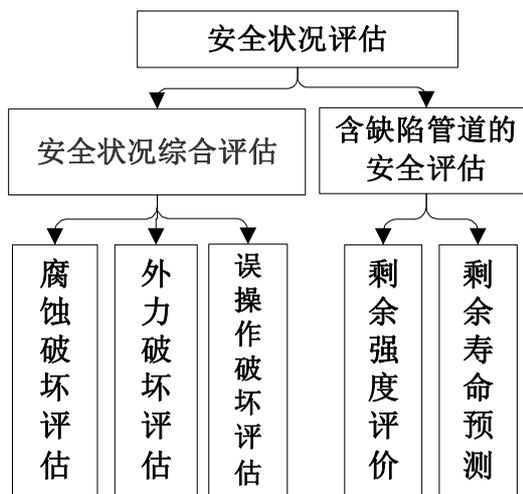


图1 安全状况评估示意图

(2) 针对埋地燃气管道腐蚀破坏的影响因素众多且各因素间复杂的非线性关系,利用BP神经网络模型进行腐蚀破坏评估。考虑的主要因素包括土壤腐蚀性、杂散电流、防腐层种类、防腐层电阻率、漏点线密度、管地电位、壁厚损失、运行年数等8个指标。基于项目中北京燃气集团2004年-2006年老旧管线更新改造工程现场检测和调查数据,提取制作了61个学习样本(实际样本);在专家咨询的基础上,利用已有数据,构造了189个符合实际的学习样本(构造样本),以满足网络学习的需要。采用Matlab软件编制程序对250个学习样本进行BP网络的训练,确定了BP网络结构和权重,最终建立了基于BP神经网络的腐蚀破坏评估模型。

(3) 建立了管道外力破坏和误操作破坏评估体

系,即采用指数法并附调查表的形式进行评估。评估体系概括了引起管道失效的主要因素,并对各种影响因素规定了相应的分值。外力破坏评分体系主要包括人口密度、交通繁忙程度、覆土层情况等方面,误操作破坏主要考虑设计、施工、运行和维护4个方面的主要因素。评估得分对应的等级表明管道由于外力破坏和误操作破坏造成管道安全事故的可能性大小。

(4) 采用二级模糊评判对腐蚀破坏、外力破坏、误操作破坏进行综合评估,得到管道安全状况综合等级。安全状况综合等级评估模块,能真实反映管道因三种破坏因素的综合影响,并评判出发生安全事故的可能性大小。利用 SPSS 软件对北京市埋地燃气突发事件记录数据(2000年-2005年及2006年1月-6月)进行分析,实现了安全事故率和事故总数的预测,由预测结果得到腐蚀破坏、外力破坏、误操作破坏的权值,作为二级模糊评判中的权值。

(5) 对燃气管道存在和可能存在的各种焊缝、管材、腐蚀和外力破坏缺陷损伤等进行分析,结合国内外管道完整性评价的先进标准,建立了体积型缺陷、裂纹型缺陷和第三方损伤型缺陷的评价方法体系,完成管道的剩余强度的评价;采用多种腐蚀缺陷的剩余寿命预测方法,如可靠性腐蚀剩余寿命预测模型、一维和三维腐蚀剩余寿命预测模型等进行管道的剩余寿命预测。

3.6 软件开发

系统软件采用 Visual C++ 6.0 和 MapX 控件,结合 MicroSoft Access 数据库开发完成^[3]。软件实现了

对管道的安全状况综合评估(腐蚀破坏、外力破坏、误操作破坏)和含缺陷管道剩余强度评价和剩余寿命预测。软件支持管网的图形化管理,录入管段的基本信息后,可根据一定的分段原则实现管段的分段功能,确定评估单元。通过 GIS 系统和数据库的无缝结合,直观显示燃气管道安全状况等级,明确管网安全的薄弱环节,有针对性的提出具体的维护建议,以加强相应管段的检测管理,做到重点防范和主动预防,努力实现防患于未然。系统的功能图如图 2 所示。

5 结束语

2006年11月29日,“北京市埋地燃气管道安全状况评估系统研究”项目顺利通过了北京市燃气集团组织的专家验收。与会专家认真听取了项目组成员的各项报告,进行了认真详细的讨论,给项目的立项、研发和所取得的成果予以充分肯定和高度评价,认为完全实现了预定目标,技术先进,国内领先。

参考文献

- 1 Muhlbauer W Kent. Pipeline risk management manual [M]. Houston USA: Gulf Publishing Company, 1996
- 2 CJJ/T95-2003 《城镇燃气埋地钢质管道腐蚀控制技术规程》[S].
- 3 陈正江,汤国安,任晓东.地理信息系统设计与开发[M].北京:科学出版社,2005

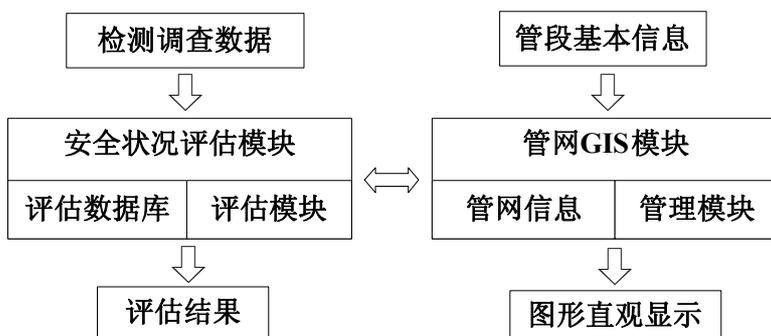


图 2 北京市埋地燃气管道安全状况评估系统评估流程图