

城市燃气铸铁管道风险评估及应用

港华投资有限公司(518026) 余硕成

摘要 综述了近年来城市燃气管道与长输管道的风险评估方法现状与差异,介绍了模糊综合评价法在港华集团城市灰口铸铁燃气管道风险评估中的应用。

关键词 城市燃气管道 风险评估 应用

Risk Assessment and Application for Cast Iron Pipelines in Cities

Hong Kong and China Gas Investment Limited(518026) Yu Shuocheng

Abstract The research status on domestic and international risk assessment for city gas pipeline in recent years is described. The difference between city gas pipeline and long distance gas transmission pipeline is analyzed. The application of fuzzy comprehensive assessment method to risk assessment for grey cast iron pipelines is discussed.

Keywords city gas pipeline risk assessment; application

1 前言

在 20 世纪 70 年代至 90 年代初期,城市燃气管道工程中使用较多的是灰口铸铁管,这些灰口铸铁管为我国燃气事业发展发挥了重要作用。随着国家经济和社会的发展,社会对生命财产安全的重视程度在不断增强,而早期敷设的城市灰口铸铁燃气管道,大量敷设在人口稠密的城市中心区地下,因管道破损漏气而引发的火灾、爆炸、中毒等恶性事故时有发生,给城市居民的生命财产造成巨大的损失,给社会带来不和谐因素,并严重影响经营企业的声誉。灰口铸铁燃气管的耐腐蚀性能好,但材料抗拉强度小,性质较脆,容易受外围环境变化影响,如土壤流失,埋深不足、建构物违章占压等,导致管道受损漏气,且受损裂口较长,漏气量大。随着城市的快速发展,原敷设灰口铸铁燃气管的区域现大都成为城市中心繁华闹市区或老城区,管线安全间距大多数达不到国家规范要求,且敷设区域地下管线复杂,管井、管沟较多,因管道受损导致泄漏的气体,渗入

其它井沟或建筑物的机会大大上升,发生的事故影响面广,性质较为恶劣严重。港华集团通过对各合资公司在役管网审查,发现部分公司现有的灰口铸铁管道数量大,占各公司燃气管道总数的比例较高,且不少铸铁管被建构物占压。部分被占压的铸铁燃气管道,巡查人员无法进行管道漏气检测,如管道受损断裂漏气,导致发生人民生命财产损失的安全事故几率变大。根据港华集团安全风险统计,从 2005 年至 2007 年间,港华集团内因灰口铸铁管受损断裂漏气共发生 23 次,引致安全事故 16 起,约占燃气管道安全事故的 35%。为减少燃气事故发生、降低事故发生的风险,开展城市灰口铸铁燃气管道风险评估管理迫在眉睫。

2 城市燃气管道风险评估研究现状

管道风险评估技术在许多国家已进行了近 30 年的开发研究和应用实践,并取得明显的社会和经济效益。我国早在“十五”科技计划中已将城市燃气

管道的风险评估列为重点研究内容。燃气管道风险评估主要有定性、定量、半定量风险评估方法,其中半定量方法使用最为广泛。半定量风险评估方法主要有穆氏评分法 (Muhlbauer) 和模糊综合评价法 (Fuzzy Assessment)。

燃气管道风险管理最早始于 20 世纪 70 年代。美国 PRCI (pipeline Research Committee International) 对美国和欧洲的输气管道事故数据进行了统计和分析,归纳总结出 22 种引起管道失效的基本因素。1985 年,美国的 Battelle Columbus 研究院发表了《风险调查指南》,首先在管道风险分析方面运用了评分法。W.K.Muhlbauer 在此基础上总结了美国近 20 年开展油气管道风险评估技术研究工作的成果,于 1992 年编写了著名的《管道风险管理手册》,详细介绍了管道风险评估的专家评分模型,成为世界各国普遍接受且作为开展管道风险评估的重要参考文献。

随着人们对油气输送管道危险性认识日渐增多,国外逐渐发展了新兴的管道完整性管理体系,对所有影响管道完整性的因素进行综合、一体化的管理,从拟定工作计划、流程和文件到进行管道风险分析、了解事故发生的可能性和事故后果、制定预防和应急措施、定期进行管道完整性检测和评价等,内容包括管道设计、施工、运行、监控、维修、更换、质量控制和通信等全过程,并贯穿管道整个运行期。目前这一管理体系在油气长输管道管理中受到相当重视。

美国的《管道风险管理手册》在 1995 年由潘家华教授在我国进行全面介绍,并推动我国有关油气管道安全评价的系列研究及应用研究工作。内地油气长输管道的风险评估技术发展最快,研究人员在借鉴国外研究成果的基础上,综合运用专家评分法、故障树法和模糊数学等多种分析方法,提出了一系列切实可行的评价方法,实现了长输管道的风险评估,并对管道失效可能性和后果的量化评估进行了一定研究,提出了一系列基于风险的油气管道完整性维护决策方法。

城市燃气管网系统方面,我国研究人员最早利用模糊风险评估方法建立了天然气管网失效因素体系和失效后果体系,并对管网的风险可接受程度进行探讨,较全面地考虑了天然气管网失效可能性和失效后果严重程度的影响因素,克服了只依靠失效

概率进行评估带来的片面性和局限性。但由于城市燃气管道风险影响因素众多,从设计、施工、操作到第三方破坏、腐蚀破坏、后果研究等方面多达几百个相关因素,加之我国城市燃气管道建设初期并没有建立相应的历史数据和原始设计数据库,管道投入使用后的运行情况完全依靠人工记录,大量资料缺失,这些客观情况增加了建立城市管道风险评估方法和模型的难度,削弱了依据城市燃气管道原始数据进行评价的真实性和可靠性。目前在城市燃气管道风险评估方面尚未形成系统、完整的风险评估技术。

3 城市燃气管道与长输管道的风险评估差异及选择

3.1 穆氏评分法

在选择风险评估方法时常要考虑被评价系统的特点以及可以得到的资料数据情况。穆氏评分法不仅全面考虑了影响管道系统安全性的各类因素 (包括第三方破坏、腐蚀因素、设计因素、误操作因素),而且还考虑了输送介质对泄漏危害性、泄漏状态对人的影响情况,在长输管道实际工程应用中取得了较好的成功。但由于长输管道与城市埋地燃气管道存在很大的区别,穆氏评分法不能完全套用在城市埋地燃气管道的风险评估上。城市燃气管道在设计、施工、管理上有自身固有的特点,它与长输管道有很多不同之处,主要表现在管道结构、规划和建设进程、人文环境及自然条件、输送介质的压力、腐蚀形式及防护形式、检测维护方式等的不同。

穆氏评分法的评价对象侧重于单一的长输管道,评价影响因素相关性独立,权重平均。它在城市燃气管道中应用的难点,一是需要的某些评价参数内地难以提供,提供的腐蚀模型及腐蚀防护方法与城市燃气管道实际状况有差别,部分对城市燃气管道影响较大的因素在评价模型中欠考虑,直接使用穆氏评分法对城市燃气管道进行风险评价会产生较严重的偏差,穆氏法的相应模型须进行改进并经实际验证后,才可有效应用于城市燃气管道。

3.2 模糊综合评价法

模糊综合评价法是应用模糊集合理论对系统进

行综合评价的一种方法,它以模糊数学为基础,应用模糊关系合成的原理,构造等级模糊子集把反映被评价事物的模糊指标进行量化(即确定隶属度),然后再利用模糊变换原理将各指标综合。模糊数学自1965年创建以来,由于其能定量地处理影响分析和设计过程中的各种模糊因素,被广泛地应用于工业等领域的各个行业。模糊综合评价法应用于燃气管道风险评估的最大优点是它不仅便于将风险的模糊不确定性量化,而且简捷、实用、可靠,具有较强的操作性,较穆氏法更适用于城市燃气管道风险评估。影响城市燃气管道失效的众多因素都具有不确定性,有些还无法量化,这种情况下即使建立了公式化计算的评估模型,其结果也与客观规律有所偏差。因此,引入模糊数学的概念进行城市燃气管道的半定量风险评估,并充分认识失效因素量化和相互之间关系的模糊性,是进行城市燃气管道风险评估的有效途径。

城市燃气管道在设计、施工、操作、运行和维护过程中,有来自人、设备、环境等主观和客观方面的影响,各因素对管道的影响不是独立的,而是彼此关联的,且随时间、地点等条件的不同而不同。各类失效因素之间的联系既有客观不确定性又包含主观不确定性,具有很大的模糊性。模糊综合评价方法并未割断各个因素之间的联系,而是充分考虑了这些模糊性关系的客观存在,使得我们能使用模糊综合评价方法来解决常规方法不能解决的城市埋地燃气管道风险评估问题。城市埋地燃气管道风险评估中,各个影响因素对管道整体风险的影响比例不一样,即各个因素的重要程度不一样。模糊综合评价不仅可以综合考虑了各个因素的性质,而且也可考虑了各个因素的重要程度。采用 Delphi 法、AHP 法等权重确定方法将因素对评价对象的影响程度用 $[0,1]$ 内的数值量化,数值的大小反映了各因素对评价对象的影响程度,数值越大表示影响程度越大,其在评价体系中重要度越高,从而令评估的结果更贴近客观实际,也更趋合理。

4 模糊综合评价法在城市灰口铸铁燃气管道中的风险评价应用

模糊综合评价方法在理论上完全可以适用于城

市埋地燃气管道的风险评估,由于模糊综合评价在处理因素模糊性和不确定性上有一定的优势,可将影响城市埋地燃气管道风险的因素及其影响程度进行合理的量化,利用传统数学的方法进行分析,从而得到比其他方法更能客观反映城市埋地燃气管道风险现状的评估结果。

香港中华煤气有限公司在20世纪90年代中期利用模糊综合评价法对香港地区在役铸铁燃气管道进行风险评估,并将风险评估结果应用于铸铁燃气管道的维护、运行、拆迁改造,取得了较好的风险控制结果,事故发生率持续降低。

香港中华煤气于2003年进入内地燃气项目,从开始进入内地燃气行业起,就一直特别重视内地合资公司燃气管道风险评估,从项目开始前的燃气管网尽职调查,到合资后的管网普查等持续跟进,取得了较丰富的管道基础资料。自2004年以来,国家“西气东输”工程竣工通气,天然气在全国各地大规模发展,香港中华煤气集团在内地合资的大部分项目城市由原来使用的人工煤气转换为天然气,城市灰口铸铁燃气管就成为各燃气管道中的风险评价及控制重点。从2005年起,香港中华煤气集团在各合资公司全面推进灰口铸铁燃气管道模糊综合评价法,并将风险评价结果应用于管道的维护、运行及改造拆迁中,至2007年底累计完成灰口铸铁燃气管道风险评价1620km,累计完成灰口铸铁燃气管道改造192km,在确保燃气管道运行安全、减少燃气管道事故方面发挥了重要作用,该风险评价方法简要介绍如下。

4.1 城市灰口铸铁燃气管道风险评价模型

4.1.1 评价因素模型

主要以管道的综合条件考虑,包括管道与建筑物的间距、管龄、埋深、过往泄漏种类和频率等。综合考虑设定每个因素之评估分数及其所占权重;然后计算评估总分数,根据总分数的多少,确认管道的风险级别,根据风险级别制定必要的管道更换等降低风险行动。城市灰口铸铁燃气管模糊综合评价因素及设定分数值如下。

(1) 管径因素

由于灰口铸铁管抗拉强度低,壁厚均匀性差,管径较小的管道受同样外加压力容易断裂,故依据管径的大小设定的分数如表1。

表 1

直径	分数
150mm 及以下	30
200mm—300mm	10
400mm 及以上	5

(2)管道压力因素

灰口铸铁管耐压性能差,同时中压管破损产生漏气时,漏气量较大,故按中压、低压管设定不同的分数,见表 2。

表 2

运行压力	分数
中压	30
低压	10

(3)接口类型因素

承插式灰口铸铁管一般采用青铅水泥封口的接口方式,属刚性接口,抗压、抗震性能差,此外,青铅水泥接口需要保持一定的湿度才能保证密封效果,而天然气属于干气,倾向于使接口产生裂缝而漏气的情况。故灰口铸铁管按接口方式设定不同的分数权重,见表 3。

表 3

接口类型因素	分数
(承插式)青铅水泥接口	30
机械接口或其他形式接口	10

(4)管道位置

由于灰口铸铁管脆质、抗震性能差,管道敷设在车行道下时承受荷重较大,受外力影响较大,因受损产生漏气的可能性较大,见表 4。

表 4

管道位置	分数
管道排在车行道下	30
管道排在人行道下	10

(5)不同运行压力管道与建筑物间距因素,见表

5。

表 5

运行压力	与建筑物间距				
	<1m	1m~2m	2m~3 m	3 m~5m	≥5m
中压	10	7	5	3	0
低压	7	5	3	0	0

(6)管龄因素,见表 6。

(7)管道敷设位置及深度因素,见表 7。

(8)管道泄漏频率因素,见表 8。

表 6

管龄(年)	1—15	16—20	21—30	31—40
分数	0	5	8	10

表 8

过往 3 年管道发生泄漏次数	0	1	2	3 次及以上
分数	0	2	5	10

表 7

车行道					
管道埋深(m)	≤0.6	0.6—0.7	0.7—0.8	0.8—0.9	≥0.9
分数	10	7	5	3	0
人行道					
管道埋深(m)	≤0.3 米以下	0.3—0.4	0.4—0.5	0.5—0.6	≥0.6
分数	7	5	3	1	0
庭院管					
管道埋深(m)	≤0.1 以下		0.1—0.2		≥0.3
分数	7		5		0

(9)管道泄漏种类因素,见表9。

表 9

泄漏种类	管道断裂	管道接口泄漏	第三方损坏管道
分数	10	7	0

(10)管道与相邻其他管道(沟)间距因素,见表10。

表 10

间距	未能达 国标规定	未能达国标规定 但有额外保护措施	满足 国标规定
分数	10	7	0

4.1.2 风险评价分数计算方法

分数计算公式:计算分数=因素评价分数×权重

表 11 风险评价各因素权重

序号	因素类型	权重
A	管径	1.8
B	管道压力	0.4
C	接口类型	1.0
D	管道位置	0.8
E	与建筑物间距	1.5
F	管龄	0.5
G	管道深度	1.2
H	泄漏频率	1.0
I	泄漏种类	1.0
J	相邻管道(沟)间距	0.8
计算总分数		10.00

4.1.3 风险评级,见表12。

表 12 风险评级

总计算分数	风险评级及建议
95—100	Category A - 风险问题特别严重的管段,建议2年内全部更换,未更换前采取更严格的巡检措施和宣传方法。
80—94	Category B - 高风险管段,建议5年内全部更换。
60—79	Category C - 中度风险管段,建议12年内全部更换。
0—59	Category D - 低风险管段,建议于20年内全部更换。

4.2 风险级别说明及应用

4级风险级别分类主要基于以下原因:

(1)根据力学计算,在受同等弯矩负荷下(Bending Moment),管径越小,所受应力越大,较易断裂。

(2)中压管道断裂泄漏量大,发生危险的损失越大。

(3)埋在车行道下的管道承受负荷较重。

(4)青铅水泥接口较机械柔性接口较易漏气。

(5)A-D项因素为风险评价的主要因素,其综合评分值作为灰口铸铁管更换等计划安排行动的主要评判依据。

(6)E-J项因素具体数据需要进行相应检测和测量,测量数据应有历史追溯性且随时间推移而动态变化,如该公司已有E-J项的数据,则可并入考虑,作为每类别内更换管道等行动方案的先后,例如:在A-D项综合评价中列为A类的灰口铸铁管要在2年内全部更换,如对某段管道,有足够的埋深或漏气记录,便可再加上E-J项的分数,作为2年内安排先后次序更换管道的依据。

(7)根据灰口铸铁管道风险评价的评分值,制定相关的降低风险管理制度,如针对不同风险类别的管道实行不同的巡检频次和密度,确保管道的安全运行。经评价分级的铸铁管巡检频次要求如下:甲类(Cat A):每周1次,乙类(Cat B):每月3次,丙类(Cat C)每月2次,丁类(Cat D):每月1次。管道巡检时采用高精度的燃气浓度检漏仪,巡查检漏仪灵敏度不低于 10^{-5} ,以确保管道即使有微量的泄漏也能被检测到。

(8)对风险评价为甲类、乙类灰口铸铁管道所在区域加大安全宣传教育力度,对该区域内各工地的承建商、建筑商及有关各方定期派发宣传单、举办安全讲座、举办安全展览等多种安全教育形式,并成立客户联络小组等方式加强宣传。

5 结论

(1)城市燃气管道的安全评价是一项迫切而艰巨的工作,城市燃气管道安全管理的重点应逐步转移到现有燃气管道的养护维修、安全性评价等方面,积极开展现有城市燃气管道,特别是以在役灰口铸铁管等燃气管道为重点代表的管道安全性评价和运行

维护整改工作。

(2)城市燃气管道的安全性与设计、施工、运营、管理等多种因素相关,其安全性评价应该从全过程考虑,建立的评价模型应能尽可能多的考虑全部因素,以便使评价的结果更为准确。评价指标体系及等级标准的确定方法须进一步深入探讨,指标体系应尽可能多的包含所有与安全性评价相关的项目,等级标准的确定应尽量考虑实际情况。

(3)模糊综合评价法应用于城市燃气管道风险评价更实用。模糊综合评价的使用,可以处理大量确定与模糊的信息,同时又能够将专家经验有效利用起来。如将层次分析法与模糊综合评价有效集合,可有效消除评估人员主观性造成的偏差,为城市燃气管网风险评价提供一种有效、适用和较为准确的方法。

(4)本文所介绍的城市燃气铸铁管风险评价模

糊综合评分法,虽然正在香港中华煤气集团进行有益的探索和应用,但该风险评价模型还有待进一步改进,这里仅作抛砖引玉之奢望,不足之处,敬请专家和同行海涵。

参考文献

- 1 钱成文,候铜瑞,刘广文等.管道的完整性评价技术.油气储运,2000,19(7):11~15
- 2 王天锡.提高城市燃气管网技术水平和管理水平确保城市燃气安全运行.城市燃气,2001,318(8):11~13
- 3 曾静,陈国华,许俊城,袁金彪.城市埋地燃气管道风险评估方法的适用性.煤气与热力,2007(5)
- 4 Zhang Yang. A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering. Huazhong University of Science and Technology. April, 2006.
- 5 CI Pipe Marking System.合资公司灰口铸铁管改造及维护建议

《工程建设标准体系(城乡规划、城镇建设、房屋建筑部分)》 “城镇燃气专业”修订初稿研讨会在津召开

2008年6月25日,建设部城镇燃气标准技术归口单位在天津市组织召开了《工程建设标准体系(城乡规划、城镇建设、房屋建筑部分)》“城镇燃气专业”修订初稿研讨会。

会议由建设部城镇燃气标准技术归口单位主持,参加会议的人员包括中国市政工程华北设计研究院、北京市煤气热力工程设计院有限公司等编制组单位成员和城市建设研究院、北京燃气集团、新奥燃气控股有限公司、建设部沈阳煤气热力研究设计院、哈尔滨市燃气工程设计研究院、天津市燃气集团、吉林大地燃气设计有限公司、《煤气与热力》杂志社、成都共同管业公司等单位的专家共计17人。

主编单位中国市政工程华北设计研究院首先介绍了城镇燃气专业工程建设标准体系表的修订情况和主要修订内容,指出了目前城镇燃气标准体系存在的问题,并提出了建议。与会专家结合修订初稿对城镇燃气标准体系进行了认真广泛的讨论,认为该修订初稿内容全面、完整,表述准确、简练,符合我国燃气发展的现状,修订后的体系表可以作为城镇燃气专业工程建设标准编制的指导和依据。与会专家对修订初稿的部分内容提出了改进和完善的意见。

该体系表的修订对于理顺我国燃气工程建设标准的脉络、适应燃气新技术的发展和推动国内燃气市场逐步与国际接轨有着积极的意义。

(李长缨)