

燃气管道风险评估的关键技术和主要进展

孙永庆 张 峥 钟群鹏(中国工程院院士)

(北京航空航天大学材料科学与工程学院)

孙永庆等.燃气管道风险评估的关键技术和主要进展.天然气工业,2005;25(8):132~134

摘 要 对燃气管道进行风险评估是在保证其安全运行的前提下实现最大经济效益的必要手段,是实现燃气管道从安全管理向风险管理,从经验管理向科学管理进行过渡的重要技术。文章综述了燃气管道风险评估的主要内容和方法,国内外在燃气管道定量风险评估领域研究中的关键技术,以及燃气管道风险评估近年来所取得的主要进展,并为继续发展燃气管道的风险评估指出了应着重研究的关键问题。

主题词 集输管道 灾害 风险分析 综述

截至2000年底,我国城市燃气管道总长度达到8.9万公里,其中天然气管道总长3.3万公里,人工煤气管道4.8万公里,液化石油气管道7000多公里。虽有严格的管理措施和安全条例,但燃气输送管道泄漏或爆炸事故仍时有发生。如何有效防止事故发生,在增强其运行安全性的同时合理利用资源,以获取最大经济效益,是各国政府部门、燃气行业面临的重大课题。传统的安全管理正向风险管理过渡,盲目被动维修正向预知性主动维修过渡,依靠经验管理也正向科学化管理过渡。如何使用最低的经济投入,把风险降到可以接受的范围,成为风险管理者研究的主要内容。

将风险概念应用于燃气管道的工程活动,需要解决燃气管道的基于风险的检测、风险预测、风险评估、风险管理、风险控制以及制定风险标准等课题。本文总结了燃气管道风险评估主要内容和国内外的主要技术进展,提出了主要研究方向和关键问题。

一、内容和方法

风险评估要解决3个问题:识别风险的来源,评价各种可能的失效可能性发生的概率,评价失效后果。风险评价方法有定性评价方法、定量评价方法和介于两者之间的半定量方法。前者对评价因素作出定性说明,定量风险评价技术则利用概率断裂力学、有限元方法、可靠性与维修技术和各种强度理论,对管道风险进行定量评价和决策。半定量方法

则介于两者之间用数值体现指标重要性。

二、定量风险评估关键技术

定量风险评估是风险评估发展的最高阶段,是一门新型管理技术,只有将风险评估建立在定量分析的水平上,管道的风险评估才真正具有系统性、精确性和预见性,其显著的社会经济效益已在国外一些国家得到证实。燃气管道定量风险评估关键技术问题如下。

1.管道分段

管道风险评价与其它装置的风险评价不同之处在于,整条管道没有相同的危险性倾向。由于管线上各种条件的组合复杂多样,整条管道各段风险程度各异,需要制定一种指标将管道划分为不同管段分别进行评价。管段划分应根据人口密度、土壤条件、地质情况、防腐层状况、管道使用年限等进行(变化条件的重要性依次递减),在上述特性发生明显变化时,应插入分段点。

2.确定管道的失效模式

在初步进行风险识别,找到构成管道风险的主要失效因素后,需要确定管道失效的主要模式。按照管道事故的严重程度,管道失效模式可分为3种,即轻微泄漏、管道穿孔和管道断裂。具体划分标准与管道本身特征(如直径、壁厚)有关。

失效模式的确定不仅对失效概率的计算有重要参考价值,且还直接影响失效后果的计算。不同泄

* 本成果由国家“十五”科技攻关课题资助(专题号2001BA803B03-01)。

作者简介:孙永庆,1978年生,博士研究生;研究方向为机械(含构件)的失效分析及预测预防。地址:(100083)北京航空航天大学10-11信箱。电话:(010)82317108,13681029155。E-mail:y.q.sun@sina.com

漏孔直接影响管输介质泄漏量,从而决定泄漏后的表现形式(安全泄放、蒸气云爆炸、闪火、喷射火焰、火球等)的影响面积。API 581 中对失效后果的计算即是基于以上问题进行考虑的,并且对不同管输介质和管道运行环境都提供了经验公式以供计算失效后果^[1]。

3. 失效概率的计算方法

管道失效概率计算方法包括统计法和解析法。统计法是通过收集相应的管道历史失效数据进行分析,得出该危险过去的发生频率,并以此预测现在或将来的发生频率。国外在研究管道的失效风险过程中,建立了相应的管道失效数据库。对某些失效原因(如地表运动等)由于还没有建立相应的失效模式,不能利用解析法计算其失效概率,只能利用统计法进行分析。当历史数据不能或获取不充分时,则采用故障树法、Monte-Carlo 法、概率断裂机制方法、结构可靠性方法等解析方法来计算失效概率。

文献[2]根据英国健康与安全委员会(HSE)推荐的数学模型,基于 R6 双判据法的通用失效评定曲线,把材料的机械性能、缺陷分布及外加载荷当作随机变量,采用一阶可靠性方法/二阶可靠性方法(FORM/SORM)计算了陆地气体输送管道因受外部冲击引起轻微泄漏或断裂的失效概率。

4. 失效后果计算

管道失效后果计算主要考虑管道失效所造成的对人身生命安全的影响以及对环境和财产的影响。其中,对人身安全的影响可分为死亡、重伤、轻伤等不同的伤害类型;对环境的影响主要考虑失效事故对空气的污染以及对生态系统的影响;对财产的影响主要考虑对管道沿线财产造成的损失,以及管道公司自身的管输介质损失、管道替换和修补费用等经济损失。

5. 风险计算及评价燃气管道失效风险值

当已知管道各段的风险后,就可得到沿整条管道的失效风险分布情况。目前还没有国际统一的风险分级标准,国内这方面的研究也基本属于空白。

三、主要技术进展

在燃气管道风险评估 30 余年的发展过程中,研究者的基本思路是试图找出引起燃气管道失效的所有失效因素并确定其变化规律(主要是确定其概率密度分布函数及主要参数),建立造成燃气管道失效的抽象的数学或物理模型。然而,影响燃气管道失效率的众多因素具有不确定性,或无法量化。即使

建立了公式化计算的大型评估体系,其结果并不完全符合客观规律,直接影响了燃气管道风险评估的发展。

为此,需要处理诸多风险因素的不确定性,主要是分布的不确定性和参数的不确定性,以及相互之间的影响作用。近年来,不同研究者进行了研究探索,取得了丰富的研究成果。

1. 失效概率的专家评估法

燃气管道的失效概率都比较小,一般数量级都在 10^{-6} 左右。燃气管道的事故案例较少,具体到某种失效因素作用下的失效情况就更少。通过经典的统计学很难使用这些较少的数据建立风险评估模型。为了解决缺乏失效数据这一难题,可以请直接参与燃气管道运营的专家对所研究的管道进行合理有效的评估,纪录专家的合理意见并对专家的知识进行提取,建立风险评估模型并对其不确定性进行合理的表示^[3]。专家评估的方法不是随意的意见调查,需要科学有效的方法,如德尔菲法等。

一个实用的专家评估的方法必须解决两个难题,一是如何将专家意见准确地体现,二是如何将不同专家的不同意见合理地组织在一起。有研究者通过贝叶斯统计法解决这一问题^[4]。

2. 引入模糊数学的失效概率评估方法

引入模糊数学的概念进行燃气管道的半定量风险评估,并充分承认失效因素量化和相互之间关系的模糊性,是进行燃气管道风险的合理评估的有效方法。模糊数学的方法特别适合于高非线性系统或系统的数学模型不准确甚至很难得到的情况。模糊数学的方法需要通过专家适用模糊语言对失效因素(或控制因素)引起(或抑制)燃气管道失效的程度做出评判,构造模糊权向量和关系矩阵,最终得到模糊评判向量,从而对燃气管道的风险等级做出评价^[5]。

3. 对与时间相关的失效因素的研究

随着管道使用时间的延长,腐蚀一类的因素必然会引起管道穿孔或破裂事故的发生,所以在管道风险评估中腐蚀因素是作为重点分析的。目前这一课题的办法有清管检测技术、室内模拟实验分析技术和现场挂片对比分析技术。

近年来,研究者针对随机发生的失效因素对系统寿命的影响作了一些研究,将各种失效因素的概率分布密度函数进行整合,并建立了加速寿命模型等^[6]。

4. 对人的可靠性的研究

对于燃气管道系统,其失效概率的分析不应仅

局限于管道的硬件和环境,还应包括对其运营者——人的可靠性的研究。人在工程系统的可靠性中起着关键作用,因为燃气管道系统都是通过人来相互连接。对人的可靠性的研究分为对与时间相关的人为差错、人的行为特征和人的模型等,以及对人员可靠性的定量分析^[7]。

5. GIS 在燃气管道风险控制中的应用

地理信息系统(GIS)是集计算机科学、信息科学、现代地理学、遥感测绘学、环境科学、城市科学、管理科学和现代通讯技术于一体的一门新兴边缘学科。经过近40年的发展,GIS不仅可以像传统的数据库一样管理数字和文字信息,而且还可以管理空间(图形)信息。GIS已经成为一种成熟的空间数据处理技术和方法,在燃气管道的风险评估和风险控制中也已经开始逐步应用。采用GIS技术进行紧急事故处理,代表着未来风险管理的方向^[8]。

6. 对“人的价值”的研究

衡量“人的价值”往往难以为公众接受,因为人的生命通常是被当作无价的。但事实上,评价人的价值是为了在有限的经济投入下优先对重大的危险源进行风险控制,从而保护更多的人不受到伤害。另一方面,在工程实践中,对人身安全的投资不是无限的。实际的工程决策中需要在保证人身安全的前提下,切实计算人的经济价值,这比“零伤亡”、“零风险”之类的口号更有意义。

目前在工程中,通常将为避免一个人的伤亡而进行的资金投入定义为一个人的价值,也可定义为年人均国民生产总值乘以人均寿命^[9]。

四、结束语

对燃气管道进行风险评估有助于实现燃气管道的科学化管理,保障人民生命、财产的安全和社会稳定,减少灾难性事故的发生,从而使燃气管道运营者获得较高的经济效益,并保证人员和社会财产的安全。燃气管道风险评估是一项复杂的工程活动,涉

及到材料科学、经济学、可靠性、社会学等多学科的知识理论,需要协同各方面的专家学者共同解决其存在的重要问题。

参 考 文 献

- 1 American Petroleum Institute . Risk based resource document API PR581 ,2000
- 2 Linbens D , Shetty N K *et al* . A probabilistic approach to fracture assessment of onshore gas transmission pipelines . Pipes & Pipelines International ,1998 ;7—8
- 3 Bernd K . Processing of Expert Judgment Assessments into Parameter Uncertainties . Probabilistic Safety Assessment and Management '96 , ESREL '96—PSAM-III . Crete , Greece ,1996 ;6 :986
- 4 Urho Pulkkinen , Pekka Pyy . A Bayesian Approach for Modeling Expert Judgments . Probabilistic Safety Assessment and Management '96 . ESREL '96—PSAM-III . Crete , Greece .1996 ;6 :491
- 5 Damousis I G , Satsios K J , Labridis D P , Dokopoulos P S . A fuzzy logic system for calculation of the interference of overhead transmission lines on buried pipelines . Electric Power Systems Research ,2001 ;57 :105
- 6 Finkelstein M S . Modeling an impact of a random environment on a failure rate of an aging system . Probabilistic Safety Assessment and Management '96 . ESREL '96—PSAM-III . Crete , Greece .1996 ;6 :1907
- 7 Rinaldo R . A methodology for estimating the influence of the human factor in risk analysis . Probabilistic Safety Assessment and Management '96 . ESREL '96—PSAM-III , Crete , Greece .1996 ;6 :1827
- 8 崔超产 . GIS 在城市重大危险源中的应用 . 安全与环境工程 ,2001 ;18(4) :32~34
- 9 Nick P . 'Value of life' and insensitivity to quantity in contingent valuation judgements . Foresight and Precaution , Cattani , Harvey , Pape & Tait (eds) 200 Balkema , Rotterdam , ISBN 90 5809 :1406

(修改回稿日期 2005-05-26 编辑 赵 勤)