

基于风险检测的埋地燃气管道失效可能性分析^{*}

陈伟珂 马法平

天津理工大学

陈伟珂等.基于风险检测的埋地燃气管道失效可能性分析.天然气工业,2009,29(8):113-115.

摘 要 国内部分城市埋地燃气管道服役时间较长,存在着老化、腐蚀、事故频发等问题,一旦发生泄漏将会影响到公众的财产和人身安全,因而急需进行埋地管道风险的检测评价工作。而在管道风险检测中对管道失效可能性的分析显得尤为重要。为此,介绍了基于风险检测(RBI)的定性、半定量、定量失效可能性分析方法,并结合某城市埋地燃气管道的实例,详细说明了 RBI 半定量方法在埋地燃气管道失效可能性分析中的应用。根据风险分析结果能制订经济适用的检验策略,使失效可能性分析更加合理、实用。

关键词 埋地燃气管道 风险检测 失效可能性 分析 检验策略

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2009.08.034

城市埋地燃气管道的风险大小取决于管道失效的可能性和事故发生后果的严重性。管道的风险评价就是以诱发管道事故的各种因素为依据,以影响因素发展成危险的可能性为条件,以事故造成的综合经济损失为评估指标,对在役管道安全程度进行综合评价^[1]。目前,国内城市埋地燃气管道中仍有部分管道服役时间较长,存在老化腐蚀、事故频发等问题^[2],急需开展更有效的管道失效可能性分析工作。

1 埋地燃气管道失效可能性分析现状

目前在城市埋地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]。对管道失效可能性分析常用的评分法^[4]是 W. Kent Muhlbaueer 提出的比较完整实用的指数评分法,在此基础上,许多学者引入专家评分指标法、模糊分析、层次分析、模拟仿真和概率法、神经网络分析等方法对风险评价法进行了完善^[5]。但以上方法在评价的过程中带有个人主观性,忽略了风险因素的模糊性和关联性^[6-7]。

2 基于风险检测的失效可能性分析法

基于风险检测法(RBI)是一种追求系统安全性与经济性统一的理念与方法,它是在对系统中危险发生可能性与后果进行科学分析基础上,给出风险

排序,找出薄弱环节,优化检验策略的一种管理方式^[8]。RBI 对设备失效可能性分析的基本方法有定性分析、半定量分析、定量分析 3 种方法。

2.1 定性分析

定性分析是对风险单元按照评分标准进行评分,从而确定出运行装置失效可能性的高低。这种方法需要输入某种设备的描述性信息,结果通常以定性的形式给出,其价值在于能够在缺乏具体定量数据的情况下粗略地完成失效可能性评估。失效可能性的定性评估使用“高”、“较高”、“中”、“较低”、“低”等术语表示某一装置或设备失效的可能性。

2.2 定量分析

定量失效可能性分析是在收集详细数据基础上,经过深度分析和详细评价,得出科学合理的检验计划。定量分析以通用失效概率为基础,然后通过设备修正因子和管理修正因子对其进行适当的修正,进而预测设备失效概率。

2.3 半定量分析

半定量 RBI 方法基于“二八法则”对定量 RBI 方法进行简化。在许多情况下,影响设备失效概率的因素中,技术模块次因素远远超过所有其他次因素的权值,因此半定量失效可能性分析首先利用设备材料的退化率(或腐蚀率)和检验程序效果计算技

^{*} 本文受到天津市科技发展计划项目(编号:06YFSYSF03100)的资助。

作者简介 陈伟珂,女,1961年生,教授;1983年毕业于华东理工大学;现从事风险管理与公共安全研究工作。地址:(300384)天津市南开区红旗南路延长线天津理工大学主校区 9 号楼 602 室。电话:(022)60215526。E-mail:chenweike7@163.com

术模块次因素的值,并通过将次因素值划分不同范围,实现可能性类别的确定(见表1)^[9]。

表1 失效可能性类别等级表

可能性类别	技术模块次因素
低	<1
↓	1~10
↓	10~100
高	100~1 000
	>1 000

综上所述,考虑到我国城市埋地燃气管道缺乏历史数据资料的实际情况,燃气管道失效可能性分析可以采用半定量方法。

3 基于RBI的埋地燃气管道半定量失效可能性分析的应用

埋地管道失效可能性评判首先应根据管道的尺寸、技术条件、地域特点、外部气候条件等因素划分管段,分别对每一管段进行失效可能性分析。

3.1 某市埋地燃气管道基本参数

已知该市某段现役管道主要输送天然气,主要成分为甲烷。天然气介质中 H_2S 的体积分数小于0.01%,水和二氧化碳含量也很少。管道实际运行压力约为0.4 MPa,仅达到最高操作压力的40%。管道为中压管道,介质流速一般为12 m/s。管材为中压管道Q235B(A3),管道壁厚8 mm。管道运行时间为10 a,全长1 km。管道外防腐层设计质量高,但由于施工技术原因,焊接和回填等管道施工过程导致外防腐层存在一定缺陷。该段管道的事故检修记录显示有管道应力腐蚀开裂情况的记录。管道的最小埋深为0.6~1.2 m。燃气管道埋深处温度平均为10℃。城市地区的气候条件温和。

管道检测方面,该段管道在10 a内,仅完成一次90%以上的非侵入性超声检验,并且近5 a内未进行该类检验;燃气公司采用实时的管线关键工艺数据监测和管理系统,并依据各个管段管道的使用、检查和维修信息及时更新管线数据库;对管道的日常检测有专人巡检,每天1次,采用外部观察和文件记录上报方式。管线周围设施偶尔有外力破坏现象,且有设施外力破坏抢修记录,因此暂不考虑外力破坏因素的影响。

3.2 半定量失效可能性分析

根据以上基本数据,可知管道主要涉及腐蚀减薄(T_1)、应力腐蚀开裂(SSC、HIC/SOHIC- H_2S)

(T_2)与外部腐蚀(T_3)3种失效模式。技术模块次因素的值(T)为两种失效模式下子因数的总和。

3.2.1 腐蚀减薄

1)确定腐蚀率(ar/t)(见文献[9]附录G)。腐蚀率的数值相当于因减薄而造成的壁厚减薄的分数。计算用时间(a)、腐蚀速率(r)和厚度(t)数据来得到 ar/t 的值。根据RBI补充资料,结合实例数据可以确定腐蚀速率为0.381 mm/a。利用时间(a)、腐蚀速率(r)和厚度(t)得到 ar/t 的值约为0.476 25。

2)确定减薄类型以及检测有效性类别和次数(见文献[9]附录G)。①确定减薄的类型(总体腐蚀或局部腐蚀)。结合实例数据,确定减薄类型为局部减薄。②对各类检测方式进行分类。实例中管道检测有效性类别可确定为高度有效。③确定检查次数和最高效检查的数量。实例中采取的非侵入性超声检验和专人巡检,可确定最高效检测为非侵入性超声检验,次数为1次。

3)确定减薄技术模块子因数 T_1 的值。根据表2,用 ar/t 的值和最高效检验次数及类别确定减薄技术模块子因数的值为236.75。

表2 减薄技术模块子因数表

ar/t	检验效果差	非常有效	通常有效	高度有效
0.18	200	130	70	7
0.20	300	210	110	15
0.25	450	290	150	20
0.30	550	400	200	30
0.35	650	550	300	80
0.40	800	700	400	130
0.45	900	810	500	200
0.50	1 100	970	600	270

注:检验次数为1次。

4)对减薄技术模块子因数 T_1 进行修正(见文献[9]附录G)。①根据超安全标准设计对 T_1 修正。结合实例,超安全标准设计系数确定为0.5。②根据在线监测对 T_1 调整。结合实例可确定在线监测修正系数为10。

综上,修正后的 T_1 数值为11.837 5。

3.2.2 应力腐蚀开裂(SSC、HIC/SOHIC- H_2S)

该模块包括硫化物应力腐蚀开裂(SSC)和在硫化氢条件下的氢致开裂和定向应力氢诱导开裂(HIC/SOHIC- H_2S)两种类型(见文献[9]附录H)。

1)确定该管段对两种类型腐蚀开裂机理的潜在敏感性。结合实例数据,该管段对SSC的敏感性为“高”。

2)确定严重度指数。应力腐蚀开裂机理的敏感性确定每一机理的严重度指数。结合案例数据,可确定最大严重度指数为100。

3)确定检测效果类别和数量。结合案例中管道检测数据,确定检验有效性为通常有效、检验次数为1次。依据表3确定应力腐蚀开裂技术模块子因数 T_2 的值为10。

表3 应力腐蚀技术模块子因数表^[9]

最大严重度指数	效果差	十分有效	通常有效	高度有效
10	8	3	1	1
50	40	17	5	3
100	80	33	10	5

注:检验次数为1次。

4)对 T_2 的修正。①根据管道最后一次检测后的时间对 T_2 进行修正。②根据在线监视类型对 T_2 进行调整。结合实例中确定修正系数为5。

综上,最终的 T_2 为50。

3.2.3 外部腐蚀

1)确定引起该管道外部腐蚀的因素,从而确定外部腐蚀的 ar/t (见文献[9]附录N)。①根据管道运行压力、温度、管材类型、气候条件等数据,确定保守的外部腐蚀速率为0.076 2 mm/a。②根据涂层的类别和生产日期调整腐蚀可能发生的时间长短。结合实例, ar/t 的值可确定为0.047 625。③根据该管子支撑损坏的情况调整腐蚀率。结合实例,管子支撑损坏系数为2。④根据各接口损坏的情况调整 ar/t 。接口损坏系数为2。最终确定 ar/t 的值为0.190 5。

2)确定最高效检验类别和检验次数。根据文献[9]附录N和实例数据,对碳钢管材外部腐蚀减薄检测的有效性确定为通常有效、次数为1次。

3)根据经修正的腐蚀率数值和外部腐蚀减薄的检测有效性类型及次数,对照表2确定 T_3 为91。

综上所述,技术模块次因数值为 T_1 、 T_2 、 T_3 之和,即152.837 5。根据表1,管道失效可能性类别为4类,处于较高失效可能等级。

4 半定量 RBI 得出的失效可能性评估结果及相应检验策略

分析结果表明管道中存在的主要失效机理为外部腐蚀、失效可能性较高。该管段发生事故的危

性较高,应给予重视,并对该段埋地管道采取以宏观检查及测厚为主的检验,增加检测和检修次数、维护外部防腐层等防范措施。

5 总结

与传统检验相比,RBI方法在风险分析基础上,确定存在重大危险的区域,并优先对失效可能高、后果危害大的重要设备进行检验,抓住重要风险源,提高检修的针对性和有效性,避免对管道状况“过度检测”与“检测不足或无效”等情况出现。

RBI评估是一个动态分析、持续改进的过程。管道风险管理者进行RBI分析,需要收集整理管道各种资料信息数据、对各单元的腐蚀机理进行危险源辨识和认知,这是进一步学习、提高的过程,有助于提高管道风险管理效率。

应用RBI半定量方法进行埋地燃气管道失效可能性分析存在未考虑第三方外力破坏影响、数据尺度存在差别等不足之处,但将先进的RBI风险管理理念应用于燃气管道及其附属设备的检验上,有助于实现管道系统安全性与检验经济性相统一,具有重要的现实意义。

参 考 文 献

- [1] 赵建平, 缪春生, 孙涛. 液化气埋地压力管道风险评价方法[J]. 南京工业大学学报, 2004, 26(2): 18-23.
- [2] 钱成文, 牛国赞. 基于风险分析的管道检测(RBI)与评价[J]. 油气储运, 2000, 19(8): 5-10.
- [3] 曾静, 许俊城, 陈国华, 等. 城市埋地燃气管道风险评估方法的适用性[J]. 煤气与热力, 2007, 27(5): 55-61.
- [4] 王康林, 曹明明, 王伯铎. Muhlbauer 风险分析法在管道风险评价中的应用[J]. 环境科学研究, 2006, 19(2): 1-6.
- [5] 蔡良君, 姚安林. 城市燃气管道风险评价技术现状分析与展望[J]. 天然气与石油, 2008, 26(6): 27-30.
- [6] 潘家华. 油气管道的风险分析(1)[J]. 油气储运, 1995, 14(3): 11-15.
- [7] 潘家华. 油气管道的风险分析(2)[J]. 油气储运, 1995, 14(4): 1-7.
- [8] 刘展, 王智平, 俞树荣, 等. 基于RBI的压力管道风险检验技术研究——压力管道风险管理理论及其关键技术研究(8)[J]. 石油化工设备, 2008, 37(5): 5-8.
- [9] American Petroleum Institute. API pub 581 risk-based inspection base resource document[S]. [S.l.]: API, 2000.

(修改回稿时间 2009-05-15 编辑 何明)