

管道风险管理方法研究

潘红丽

(中国石油管道分公司管道科技研究中心, 河北 廊坊 065000)

摘 要: 按照管道风险管理的流程分别对管道风险评价、风险控制和决策支持、效能测试和响应进行了论述。针对目前国内管道行业的情况, 提出了进行管道风险评价的有效方法及维护措施。着重介绍了国外管道风险可接受标准的情况, 作为国内制定管道风险评价标准的参考。

关键词: 管道; 风险管理; 风险评价; 风险可接受标准; 维护

文章编号: 1006-5539(2006)01-0009-06

文献标识码: A

0 前言

管道是能源输送较安全、经济的一种运输方式, 与公路、铁路等其它运输方式相比, 管道的失效概率较小。但由于管道服役条件恶劣, 随着管道的老化, 管道的失效事故是不可避免的。而且, 管道输送的介质大多具有易燃、易爆和有毒的特性, 一旦发生管道事故, 人身安全、环境都会受到严重危害, 并造成巨大的经济损失。虽然管道公司在设计、施工和运行期间严格遵守各种规范, 采取各种技术手段防止了大量事故的发生, 但仍然存在许多无法预料的事 故风险威胁着管道的安全。对管道进行风险管理的 目的就是识别和确定管道存在的种种风险, 将有限 的资金合理有效地应用到管道的维护和管理活动 中, 降低管道事故发生的频率和损失的严重程度, 以 使管道的安全状态保持在一个可接受的风险水平, 从而满足政府、公众和自身的安全需要。

1 管道风险管理内容

管道的风险管理是一个连续不断的改进过程, 它包括管道风险和完整性管理两个方面, 涵盖了风险评价(分析)、风险控制和决策支持、效能测试和响应三大内容。其工作流程见图 1。

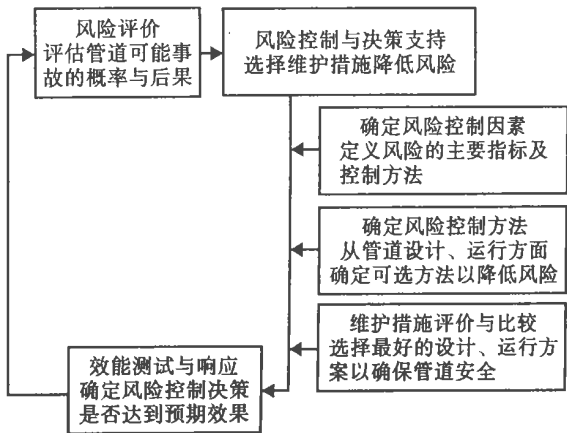


图 1 管道风险管理流程

- [10] Mshikawa N, Morishita M, Uchiyama M. Energy Conversion Manage[J] . 1992, 33(5-8): 651-657.
- [11] 宋召军, 刘立. 天然气水合物研究现状与展望[J] . 吉林地质, 2003, 22(4): 64-65.
- [12] Tomlinson J J. Heat Pump Cool Storage in a Clathrate of

freon[A] . Proc. of the 17th IECE[C] . Los Angeles August 1982. 206-2063.

- [13] Sloan E D. Clathrate Hydrates of Natural Gases(2nd edit)[M] . New York: Marcel Dekker, 1998. 159-226.

收稿日期: 2005-07-08

作者简介: 潘红丽(1973-), 女, 四川内江人, 工程师, 硕士, 主要从事石油天然气管道防腐工作。电话: (0316)

2170737

©1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2 管道风险评价方法和内容

风险评价是管道风险管理过程中最为关键的第一步,同时也是一个连续循环的过程。通过对管道进行风险评价可以确定可能影响管道完整性的不利事件或条件,同时确定其发生的可能性,以及管道事故后果的性质及危害程度。管道风险评价的最终目标是识别出对管道完整性影响最大的风险因素,以便使管道公司采取有效的、优先的事故预防、检测、减缓措施来降低风险,保证管道的安全运行。图 2 是风险评价流程图。

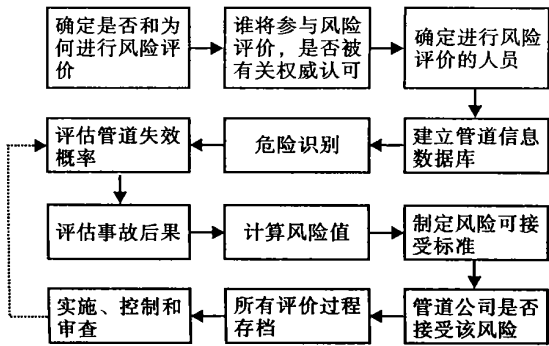


图 2 管道风险评价流程图

对风险的定义最常用的方式是由 Richard Zeckhauser 和 Kip Viscusi 在 1990 年提出的,即风险值是事故出现的概率与事故出现的后果损失大小的乘积。

对于管道风险的评估,有定性评价、半定量评价和定量评价三种方法。定性评价方法相对简单,易使用,但主观性较强,评价结果的精确性和可信度有限。而定量风险评价技术则利用概率结构力学、有限元法、断裂力学、可靠性与维修技术和各种强度理论,并需要大量的管道信息数据的支持,是一种最为精确也是最复杂的风险评价方法,为风险评价的高级阶段。在具体应用时,可根据以下三方面因素确定采用的风险评价方法:风险评价的目的;问题的复杂性和现有管道信息数据的水平;风险评价的成本费用。

目前,由于国内在管道所承受的各种随机载荷的概率模型、管道剩余寿命和管道可靠性等方面的

研究工作非常有限,基本仍处于探索阶段,且缺乏大量的管道基础性数据和管道实测数据支持。因此,在当前情况下利用处于风险评价高级阶段的定量方法对国内管道进行风险评价不太适合。鉴于这种情况,选择半定量方法进行管道的风险评价。

半定量评价方法中最具有代表性,也是最为完善和系统的方法是 W. Kent. Muhlbauer 提出的“专家评分法”。其实质为,按照管道尺寸、技术条件、土壤类型和管道沿线的人口密度状况,将管道全线划分为若干个典型地段,之后按第三方破坏、管道腐蚀、设计要求和误操作四个指标,采用百分记录法逐段、逐项打分,最后进行综合评比,以评估该段管道的危险程度。

2.1 管道事故概率

造成油气管道事故的原因大致分为四大类,即第三方破坏、腐蚀、设计、误操作。各类包括的细项如下:

2.1.1 第三方破坏

管道埋深、活动水平、巡线频率及有效性、一次呼叫系统、公众教育、地面裸管、管道伴行带状况。

2.1.2 腐蚀

大气腐蚀、内腐蚀、土壤腐蚀、防腐层状况、阴极保护、电流干扰、金属埋设物、内检测。

2.1.3 设计

钢管强度、系统安全系数、疲劳因素、水击可能性、完整性检测、地壳运动。

2.1.4 误操作

施工/设计、培训、规程、记录、超压可能性、安全系统、维护、通信、风险评估。

专家评分法以独立性假设为前提,即考虑影响管道风险的各种因素是独立的,管道总风险是各独立因素风险的总和。根据以上各细项对事故因素的影响程度分配一定的分值,各项分值之和反映出对应的事故因素发生的概率。根据概率理论,对于由几个相互独立事件的失效概率组成的总事件的失效概率,应等于各相互独立事件的概率之和。由此,将第三方破坏、腐蚀、设计和误操作四种原因导致的管道失效概率相加就得到管道发生事故的总概率。

2.2 管道事故后果

管道的失效后果主要表面在人身安全影响、环

境危害和财产损失三个方面。对人身安全的影响可分为短期影响和长期影响、死亡和伤害以及不同的伤害类型;对环境的影响主要考虑管道事故对地表水或地下水的污染、对空气和土壤的污染以及对生态系统的影响;财产损失主要考虑对管道公司造成的经济损失,包括管道修复费用、泄漏的介质费用和由于停输造成的损失。

反映事故后果影响大小的指针是泄漏冲击指数,它与输送介质的危险性和影响系数(与介质类型和人口密度相关)有关。

综合管道事故总概率与泄漏冲击指数就得到管道的相对风险数。

3 管道风险的控制

风险控制就是确立接受风险标准,以标准来衡量管道风险是否可以接受。国外建立的风险可接受标准通常以个体风险、社会风险及与安全有关的环境损失三种形式给出。个体风险表示的是当危险发生时所引起的位于管道附近的某一点的个体死亡率,该风险依赖于危险发生点的地理位置,与人是否存在于该点无关。社会风险表示的是在某一给定地区,当危险发生时所造成的死亡人数与管道失效概率之间的关系。环境损失与损害的严重程度有关,主要考虑损害持续的时间、清理费用和损害的可逆性。欧洲一些国家对环境风险制定了相应的环境风险可接受标准。可接受风险标准是由相关专业的专家和管道公司所有者(或股东)、运行操作人员及制定规章的国家机构在符合国家法律和行业规范的要求下制定的。

由于各国的管道系统状况、管理水平及对管道安全的要求存在差异,所以各个国家制定的管道风险可接受标准有所不同。许多国家(如英、美等国)都采用数字式的标准来判定风险是否可以接受。这种形式的标准一般有一个容许上限和一个可忽略下限,在容许上限以上的风险值是不能接受的,风险值在可忽略下限以下为可接受风险。对于风险值位于上、下限之间的区域的风险,应对维护措施进行成本一效益分析,若采取的维护措施的成本小于取得的效益,则采取措施进行维护,否则,不予维护。以下

是一些国家制定的管道风险可接受标准的情况。

3.1 个体风险可接受标准^[1]

3.1.1 美国

容许上限为 $10^{-5} \sim 10^{-4}/a$, 在此之上不能接受;

可忽略下限为 $10^{-7}/a$, 在此之下可接受;

在 $10^{-7}/a$ 至 $10^{-4} \sim 10^{-5}/a$ 之间, 为避免 $10^{-5}/a$ 的个人风险, 每人每年花费 \$20 以下的风险为可接受风险。

其中: $10^{-4}/a$ 是指在一百万人中每年死亡的人数为 100 人, 其它类似表示方法的含义以此类推。

3.1.2 英国

英国与美国的风险可接受标准的制定原则相似, 但英国常以 ALARP 三角形表示风险标准。

最大可接受风险是 $10^{-4}/a$ 之上不能接受;

$10^{-4} \sim 10^{-6}/a$ 之间为 ALARP(最低合理可行)区;

$10^{-6} \sim 3 \times 10^{-7}/a$ 之间为广泛可接受区;

$3 \times 10^{-7}/a$ 以下为可忽略区。

3.1.3 澳大利亚

对于 10~14 岁人群, 基本风险上限为 $10^{-4}/a$, 在此上不能接受;

最大可接受个人风险为 $10^{-6}/a$;

可忽略下限为 $10^{-8}/a$, 在此之下为可接受。

3.1.4 加拿大

最大可接受风险为 $10^{-3}/a$; 在此之上不能接受;

可忽略下限为 $10^{-4}/a$, 在此之下为可接受。

3.2 社会风险可接受标准

3.2.1 瑞士

瑞士用“WA”图来表示社会风险标准, 见图 3。

3.2.2 澳大利亚

澳大利亚的社会风险标准见图 4。

3.2.3 英国

英国社会风险标准的常用表示方法有两种: 风险轮廓线和“ F/N 曲线”。 F 表示事故发生的频率, N 表示事故造成的死亡人数。 N 也可代表损失的财产或泄漏量。图 5 是用“ F/N 曲线”表示的社会风险标准。

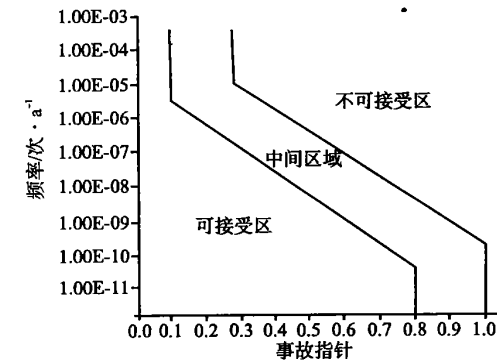


图3 瑞士管道事故频率—后果图(“WA”图)

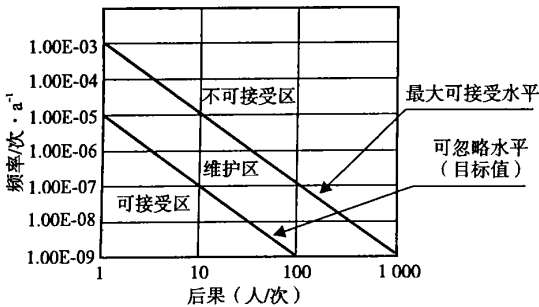


图4 社会风险标准

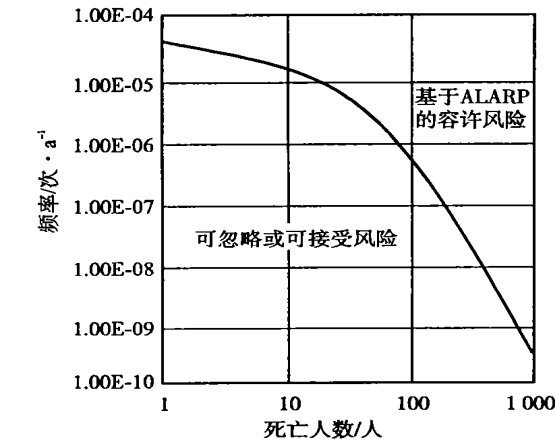


图5 F/N 标准

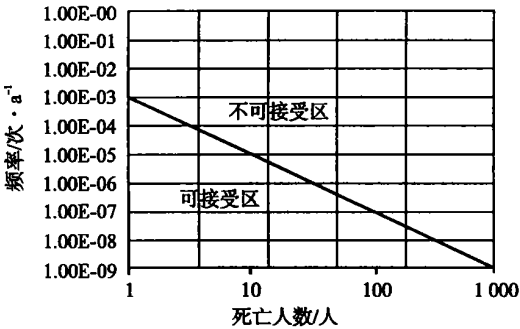


图6 社会风险标准

管道所处的地区等级(与人口密度有关,分为1~4级)有密切关系。因此,对于处于同一地区等级的管道,控制管道事故发生的概率就显得非常重要。国外许多国家针对事故概率制定了对应于最大可接受风险水平的事故最大可接受概率。最大可接受风险值与事故最大可接受概率之间的关系,可以用式(1)表示。

$$PoF_{limit} = Risk / CoF_{limit} \tag{1}$$

式中 $Risk_{limit}$ ——最大可接受风险值;
 CoF ——事故后果;
 PoF_{limit} ——对应于特定可接受风险值的事故最大可接受概率。

如果计算出的事故概率 $PoF > PoF_{limit}$, 则风险视为可接受。若 $PoF \geq PoF_{limit}$, 则风险视为不可接受。

事故最大可接受概率一般以与安全等级相对应的方式给出。安全等级与管道输送的介质类型及介质对人的危险程度有关。安全等级一般划分为高、中、低三类。对于不常有人类活动的油气管道所处区域,其安全等级归为中;人类活动频繁的地区,其安全等级视为高;而安全等级为低类是指人类活动很少的地区,或管道输送的介质为无危险的产品如水。这样,安全等级就与地区等级有着一定的对应关系。国外油气管道工程界根据不同的安全等级,制定了事故风险的可接受概率标准,见表1。

表1 事故风险的可接受概率水平

安全等级	地区等级/级	可接受概率
高	3, 4	$< 10^{-5}$
中	2, 3	$< 10^{-4}$
低	1, 2	$< 10^{-3}$

3.2.4 荷兰

荷兰的社会风险标准见图6。

3.3 管道事故概率的可接受标准^[2]

在管道事故发生后,造成的后果有人身安全影响、环境危害和财产损失三种,而后果的严重程度与

一般而言,对于输气管道,事故风险的最大可接受概率取 10^{-5} 。而对于输送其它介质的管道,事故风险的最大可接受概率取 10^{-4} 。

4 管道完整性维护措施

对于超过可接受风险水平的管道,应采取适当的维护措施加以整治,使管道风险处于可接受风险范围内,以确保管道系统的安全、经济运行。

4.1 提高管道完整性的措施^[3]

4.1.1 水压试验

对经过人口稠密和环境敏感地带的管段进行水压试验。水压试验的压力至少为1.25 MAOP(最大允许操作压力),且稳压8 h以上。

4.1.2 复核试验

对未进行水压试验的剩余管段要进行复核试验。复核试验应保证压力为1.1 MAOP,且稳压1 h以上。

4.1.3 内部检查

在管道投运三个月之内,应对管道进行内部检查,之后定期检查管道内部状况。保证管道内部不存在影响管道完整性的缺陷(如裂纹或腐蚀)。如有缺陷,采取适当修复措施。

4.1.4 管地电位测量

处于敏感地带的管道应每半年进行一次管地电位测量。对检测出的阴极保护异常应采取措施排除故障。

4.1.5 控制水击压力

改变水击压力系统,使敏感地带管道的水击压力不超过最大允许操作压力。

4.1.6 洪水和地质研究

对影响管道的洪水和地质条件(如地震活动、地壳运动和土壤应力)进行研究,找出管道历史上泄漏事故的根源,采取预防措施。

4.2 水源保护措施

4.2.1 含水层保护

对处于含水地带的管道,换用较大壁厚的管子。埋地敷设时,管道上部与地面之间的距离不小于1.5 m,以减少第三方破坏。也可在管子上方安装混凝土盖板,沿管道两侧设置栅栏,进一步防止第三方对管道的破坏。

4.2.2 修复/换管

对接近人口高聚集区和过水的管段采取增大埋深、修复或换管措施。

4.2.3 安全防护门

在管道穿越河流的两端安装安全防护门。

4.2.4 洪水检测系统

安装洪水检测系统,在洪水水势最严重期间停止管道的运行。

4.3 预防措施

4.3.1 管道状况

确定开挖点,对管道进行开挖检查。根据管道的状况,采取必要的修复措施。

4.3.2 阴极保护

采取测试、维修或更换系统配件等方法,提高阴极保护的水平。

4.4 提高公众安全意识

4.4.1 公众教育/防止破坏

执行一套全面的公众教育/防止破坏程序,对承包人、当地官员和管道沿线居民进行管道安全知识和事故应急反应教育。

4.4.2 管道标记

沿管道一定间隔设置管道标记,并在管道穿越公路、铁路和河流的两侧设置管道标记。

4.4.3 清除管道伴行带路障

应清除管道伴行带路障,保证伴行带畅通。

4.5 管道运行监控

4.5.1 泄漏检测/控制系统

安装泄漏检测/控制系统,以提高对管道泄漏的监测和定位能力。

4.5.2 航飞和地面巡线

对环境敏感区和人口高聚集区进行定期的巡线检查。

4.5.3 泵站监测

对环境敏感区和人口高聚集区的泵站进行定期检查,并安装工业电视监测泵站情况。

4.6 防止操作人员失误的措施

4.6.1 操作人员资历

操作人员的资历应符合相关要求。

4.6.2 操作规程

对管道运行的各个方面(从管道投产到应急和关断状态)建立书面的操作规程。

4.6.3 培训计划

建立并定期执行一套培训计划,培训重点为输送介质的特性、管材应力、管道腐蚀、管道控制装置及维护等知识。确保操作人员熟练掌握工作中所需知识、技能。

5 风险管理的效能测试与响应

采取维护措施后,还需对实施结果进行检测,以明确管道安全的改进程度。管道风险管理的效能测试分为以下几个部分^[4]:

5.1 过程或行为测试

过程或地为测试可用于评价预防或维护活动,以确定管道管理者执行风险管理程序的各个部分时的效果。

5.2 运行测试

运行测试包括分析管道系统对风险管理程序响应结果的运行和维修趋势测试。

5.3 直接完整性测试

直接完整性测试包括对管道泄漏、破裂、损伤和致命事故的测试。

管道风险管理程序应是不断改进的,应利用效能测试和审核的结果对其进行修改。除了以上测试外,还可采用内外审核结果来评价风险管理程序的

有效性。

6 结束语

目前,国外管道风险管理技术已经发展的很成熟,并依据各国制定的管道风险评价标准,将理论成果成功地应用于管道的安全维护。国内近几年在管道风险评价技术的研究方面逐渐有所发展,但在风险评价技术标准的制定方面仍是一片空白。这种情况将会极大地影响风险评价技术在我国管道行业的实际应用水平。建议在充分了解国外管道风险评价标准情况,研究并借鉴国外管道风险评价标准的制定方法和原则的基础上,结合国内油气管道的实际情况,制定出符合国内管道情况的风险评价技术标准,促进国内管道风险评价技术从研究阶段到应用阶段的转化。

参考文献:

- [1] Bethan Morgan, Roger T. Hill. Prevention of, Preparedness for and Response to Releases of Hazardous Substances [A]. Report of the OECD Workshop on Pipelines [C]. Paris: Environment Directorate Organisation for Economic Co-operation and Development, 1997. 20-23.
- [2] Jane Dawson, David Jones. Ensure Consistent Factors of Safety in the Assessment of Corroding Pipelines [A]. Corrosion 2002 [C], 32-33.
- [3] API Standard 1160-2001, Managing System Integrity for Hazardous Liquid Pipeline [S].
- [4] ASME B31. 8S-2001, Management System Integrity of Gas Pipelines (Supplement to ASME B31. 8) [S].

本 刊 声 明

为适应我国信息化建设需要,扩大作者学术交流渠道,本刊已加入“中国学术期刊(光盘版)”、“中国期刊网”、“万方数据——数字化期刊群”等数据库,作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意,请来稿时声明,本刊将做适当处理。

“万方数据——数字化期刊群”是国家“九五”重点科技攻关项目。本刊全文内容按照统一格式制作,读者可上网查询浏览本刊内容。

网址: <http://www.wanfangdata.com.cn>

<http://www.periodicals.com.cn> 或 <http://www.chinainfo.gov.cn/periodical>

《天然气与石油》编辑部