

输油管道失效相对风险评价方法

何 斌 (中海油田服务股份有限公司油田化学事业部, 天津 300452)

摘 要: 长输管道受穿越地区广, 地形复杂, 土壤性质差别大, 输送介质工作压力高影响, 潜在危险很大。一旦发生泄漏或断裂, 有可能引发爆炸、中毒等重大事故, 直接对社会生产和生活秩序产生重大影响。但目前对于管道失效影响程度评价方法不明确, 参考指标不确定, 影响了管道失效评价。本轮参考指数评分法中泄漏影响系数评定标准, 建立了失效后果指数评价方法, 确定管道相对风险值, 从而了解各管段的相对风险情况, 并根据管段相对风险值作出管道风险剖面图。直观很清楚地了解管道的整体风险水平和各段之间风险水平的高低。

关键词: 管道; 风险评价; 管道泄露; 管道安全

0 引言

目前全球范围内, 有超过一半的管道已经进入事故多发阶段, 存在不少事故隐患。由于这些管道大多埋设于地下, 穿越地区广, 地形复杂, 土壤性质差别大, 输送介质工作压力高, 潜在危险很大, 而日常检测成本高, 容易受到环境、腐蚀、和各种自然灾害的影响, 因此事故发生有隐蔽性。另外, 由于油气介质具有易燃、易爆和易扩散的特性, 油气管道一旦发生泄漏或断裂将有可能引发爆炸、中毒等重大事故, 社会影响、经济损失大, 直接对社会生产和生活秩序产生重大影响。因此, 长输管线的安全可靠性和风险性评价是一项非常重要的工作, 发展和完善风险评价技术是一项重要任务。对于同一管道系统的不同管段的风险评价, 准确了解各薄弱环节, 分别轻重缓急, 掌握减少风险工作的时机, 避免事故的发生, 将风险控制在管理者容许的范围之内。此外, 借鉴其他管道系统的事故原因, 通过采用数据库查寻的方式, 可以查明管道系统是否存在类似问题, 以防患于未然。本文参考指数评分法中泄漏影响系数评定标准, 对失效后果进行定性分析, 初步确定相对风险值, 从而了解各管段的相对风险情况, 并根据管段相对风险值作出管道风险剖面图。

1 管道失效影响因素分析

成品油管道失效后果取决于以下因素: 管道输送介质危害; 泄漏渗透速度; 泄漏量; 管道周围的环境。这几个因素的相互作用非常复杂, 几乎不能予以模型化。可能的泄漏率, 天气条件, 土壤类型, 附近的人口等因素本身就是极其多变的和不可预测的。当我们还要考虑这些因素和介质特性之间的相互作用时只能做一些假设和采用近似方法才能使问题得到解决。

1.1 管输介质危害

介质的危险性, 亦即泄漏物的危险性又多大。危险可分为两类: 当前危害 (Acute Hazard) 和长期危害 (Chronic Hazard)。长期危害是指危险持续的时间长, 如水源的污染、潜在致癌气体的扩散等。

1.1.1 当前危害

当前危险是指发生的事故当时或在之后较短的时间内, 对人员、设备、环境、生产等因素所构成的威胁和损害。当前危害在立即采取适当的处理措施后, 其危险性便可得到有效的控制。如: 爆炸、水灾、剧毒物质泄漏等。

无论气体或液体, 管道产品必须评估它的毒性、易燃性和化学反应性。这些属于当前危害。被工业界认可的划分产品危害的尺度是美国防火协会 (NFPA) 制定的。这个尺度是根据紧急反应人员受到威胁 (急性危害) 把物质分成不同等级。这些可能性是按易燃性 N_f 、毒性 N_h 和化学反应性 N_r 来考虑的。

如果管输产品是有几个成分的组合物, 可以按其混合物进行划分, 也可以根据混合物中最具有危害性的成分进行划分, 因为就单个成分而言 NFPA 有现成的数据可供利用。

1.1.2 长期危害

长期危害是指危害持续时间长。地下水污染、潜在致癌气体的扩散及其他长期对健康不利的影响。虽然长期危害不像毒性或易燃性那样造成直接威胁, 但危害持续的时间长, 其造成的环境污染最终会以深远的影响危及人的生命。有许多排泄是破坏环境的长期危害, 因为他们会造成长期的影响且随着时间的推移其影响可能变的更坏。

当前危害和长期危害之间的主要不同在于时间因

素。在事故产生的瞬间而形成的直接危害，在几分钟内达到其最高点，并在此后开始减少就是当前危害。随着时间的推移可能会变得更坏而变成成长期危害。

1.2 泄漏渗透速度和泄漏量

由物理学和热力学的模型得知泄漏的产品总是寻找较低的能量状态。由熵的理论可知，系统总是趋于无序的。泄漏的产品总是将它自己在不可逆的过程中混合和分散到新的环境中。泄漏在系统中犹如一个应力，系统将做出反应，将在整个系统中从散布它的新的能量的方式去释放压力，直到达到新平衡状态为止。

对于初步评价，不需要做出精确的泄漏产品的扩散模型。应该注意介质的有害趋势，因为最大的危害性来自即便浓度很低但却迅速大面积扩散并可能造成很大破坏的物质。

介质从管道中以液体泄出并保持液态时会产生各种不同的问题。如对环境造成破坏、包括地下水污染。毒性在短期和长期中都起作用，而燃烧性是最直接的问题。

介质的有害性质的减弱就使其危害性降低。这可在自然过程中产生，例如在自然环境中会产生生物分解、水分解和光分解。如果这些分解反应后的产品有害性小，则其危害性相应减小。物质的扩散范围也降低了其危害性。从风险观点看，分散的过程会影响受害的面积，因为面积大的污染使生命受害的机会更多。

另外，不论气体还是液体，其泄漏危害都与泄漏量的多少有关。如 2003 年开县的天然气井喷事件中，如果天然气的喷出量不是那么大的话，也不会有那么惨重的后果。因此泄漏介质的危害性还必须考虑泄漏量的大小。

1.3 管道周围的环境

管道周围环境对管道失效后果严重程度的影响很大。显然，同样的失效对 2、3、4 类地区产生的后果远远大于 1 类地区。而决定环境因素的主要是人口密度，因为人群对管道事故的接近程度是显而易见的，同时存在着当前危害和长期危害。很容易识别对人群的当前危害，却难以发现长期危害。在这里，人群的接近程度是重要因素，因为伤害波及地区是随着人类活动接近泄漏地点而增加。当泄漏地点在附近时，通过饮用水、蔬菜、鱼或其他进入消化系统的污染物的可能性很大。通常这些污染物在其严重后果未明显表现出来之前均未被检测出来并予以稀释。另外呼吸和皮肤接触的伤害情况也类似。

2 失效后果指数

2.1 管输介质危险性指数 k_{PH}

当前危险根据其可燃性 (k_r)，活化性 (k_h) 及毒性 (k_d) 三个方面进行评价。显然，这三方面的指数越高，其危险性越大。长期危害基本也有同样趋势。

通常，认为介质的可燃性，活化性及毒性三方面是相互独立的，故可采用三个指标的平均值来描述介质当前危害性，则综合指数 k_{AH} 为：

$$k_{AH} = \frac{1}{3}(k_r + k_h + k_d) \quad (1)$$

2.2 泄漏渗透影响指数 k_{LS}

而对于液体介质来说，介质泄漏的扩散与土壤渗透率密切相关。土壤渗透率越高，危害性越大。土壤渗透率危害指数 k_{LS} 的评定分别见表 1。

表 1 土壤渗透率指数 k_{LS}

土壤类型	渗透率 ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	百分制 评分	模糊评分
不渗透	0	0	0
粘土、夯实土、无断裂岩石	< 10 ⁻⁷	0~25	0~0.25
淤泥、黄土、沙粘土、沙岩	10 ⁻⁵ ~10 ⁻⁷	25~50	0.25~0.5
细沙、游泥、中等断裂岩石	10 ⁻³ ~10 ⁻⁵	50~75	0.5~0.75
砾石、沙、高等断裂岩石	> 10 ⁻³	75~100	0.75~1

2.3 泄漏量指数 k_{LQ}

参照有关事故记录，结合相关经验，在充分征求有关部门和专家意见的基础上，并遵照与其他泄漏影响指数评价相一致的原则，指定了一次事故泄漏量的指数 k_{LQ} 见表 2。

表 2 液体介质泄漏量指数 k_{LQ}

泄漏量 (m^3)	百分制评分	模糊评分
< 5	0~25	0~0.25
5~20	25~50	0.25~0.5
20~50	50~75	0.5~0.75
> 50	75~100	0.75~1

对于管段破裂失效，可采用这样的方法：漏失率在泄漏持续时间内约等于额定泵送速率。泄漏速率的精确值取决于每一特定系统的泵的特性，所以分析中按额定泵送速率的 100% 进行计算。

2.4 人口状况指数 k_E

表 3 根据 DOT 地区分类法的 k_E

地区类别	百分制评分	模糊评分
1 类地区	0~25	0~0.25
2 类地区	25~50	0.25~0.5
3 类地区	50~75	0.5~0.75
4 类地区	75~100	0.75~1

表 3 提供的 DOT 分类方法，据此对事故环境既人口状况进行评价。很明显人口越密集，表明越危险；

人口越稀少,就越安全。

2.5 管道失效后果严重程度相对指数 C_f

为了在评价过程中方便计算,采用事故后果严重程度指数相对 C_f 来代表以上几方面的损失程度。显然,该指数是一个相对经济指标。由前面的分析可知,影响失效后果的这几个方面有着一定的联系,比如,这几个方面的影响量其实在很大程度上都与泄漏量大小有关。当泄漏量甚微时,危害性都是不大的。根据系统分析方法,可以认为管输介质危险性指数 k_{PH} 、泄漏介质扩散指数 k_{LS} (气体为泄漏速率指数,液体为土壤渗透率指数)之间有“U”的关系,但他们同时又都和人口状况指数 k_E 和介质泄漏量指数 k_{LQ} 存在着“∩”的关系。即这几个系数之间的关系可以表示为:

$$C_f \rightarrow (k_{PH} \cup k_{LS}) \cap k_{LQ} \cup k_E \quad (2)$$

3 管段相对风险和风险剖面图

3.1 相对风险值

已经确定了管段失效概率 P 和管段失效后果 C_f ,根据风险的定义,就可以确定各管段的相对风险值 R_i 。

$$R_i = P \times C_f \quad (3)$$

模糊失效概率和失效后果模糊相对指数都在 $[0, 1]$ 区间变化,因此各管段相对风险也是在 $[0, 1]$ (百分制的 $[0, 100]$) 区间变化的。

3.2 风险剖面图

若以某管段的中点为原点,管段走向为横坐标(描述管段长度),以管段垂直投影方向为纵坐标(描述此管段相对风险值),建立一个动态坐标系,来描述管道各段距离与相对风险值的关系。然后,用直线条将风险曲线与管道对应点相连接,形成一个封闭区域,则该区域就是该管段的危险区域。某管道所有危险区域的边界所形成的封闭区域就是管道风险剖面图。

例如,某管道某区域的管道共分为 15 段,管道走势和分段序号如图 1 所示:

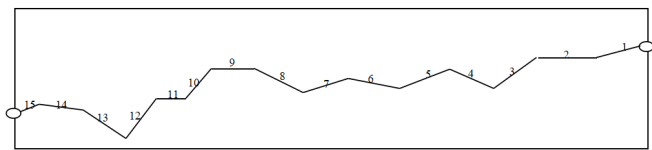


图 1 管道走势和分段情况示意图

假设从 1 号至 15 号管段的相对风险值分别为 $1.2E-3$, $1.1E-3$, $1.4E-3$, $1.1E-3$, $1.3E-3$, $1.6E-3$, $1.8E-3$, $1.7E-3$, $2.0E-3$, $1.3E-3$, $1.0E-3$, $1.5E-3$, $1.4E-3$, $1.4E-3$, $1.3E-3$ 。则作出的风险剖面图如图

2 所示。

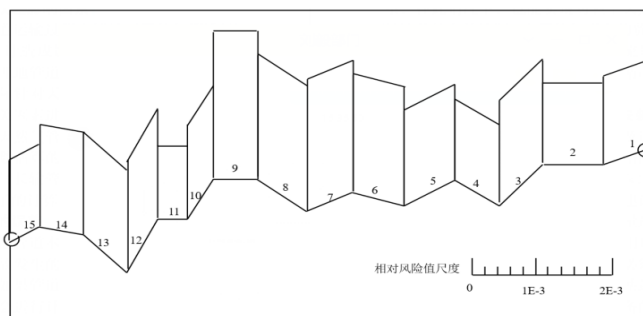


图 2 管道风险剖面示意图

图 2 只是以一个简单的示意图。如果在管段走势图上标注了地名或桩号,以各管段为中心,作出各相对风险值的对称图形,并用不同颜色表示不同的风险等级,如用红色代表相对风险较高区域、黄色代表中等区域,而绿色代表低风险区域,那么就可以很直观很清楚地了解管道的整体风险水平和各段之间风险水平的高低。

4 结论

综合考虑管道输送介质危害,泄漏渗透速度,泄漏量,管道周围的环境因素,建立了失效后果定性分析方法,即相对失效后果指数法。确定管道相对风险值,从而明确了各管段的相对风险情况,并根据管段相对风险值作出管道风险剖面图。为管道安全评价提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 钱成文,侯铜瑞等,管道的完整性评价技术,油气储运,2000,19(7):11-15.
- [2] 黄维和,油气管道风险管理技术的研究及应用,油气储运,2001,20(10):1-10.
- [3] 刘俊杰,李志民,等,油气管道风险评价在安全评价中的应用,油气田地面工程,2003,22(1):75-76.
- [4] 李旭东,雍岐卫,长输油气管道的风险评估与作用,天然气与石油,1997,15(3):1-3.
- [5] 李鹤林,天然气输送钢管研究与应用中的几个热点问题,中国机械工程,2001,3,12(3):349-352.
- [6] 阎凤霞,董玉华,等,故障树分析方法在油气管线方面的应用,西安石油学院学报,2003,18(1):47-50.
- [7] 廖柯熹,姚安林,张淮鑫,天然气管线失效故障树分析,天然气工业,2001,21(2):94-96.

作者简介:

何斌(1984-),男,籍贯:甘肃省天水市,工程师,大学本科,现在从事钻井液技术研究工作。