

输气管道的完整性管理

北京市燃气集团有限责任公司(100035) 年致彤

摘要 管道完整性是指管道始终处于安全可靠、受控的工作状态。管道完整性管理是对所有影响管道完整性的因素进行综合的、一体化的管理,即:在管道的可研、设计、施工、运行各个阶段,不断识别和评估面临的各种风险因素,采取相应的措施削减风险,将管道风险水平控制在合理的可接受范围之内。管道完整性管理是一个综合的、持续循环和不断改进的过程。管道完整性管理流程的核心内容包括数据收集与整合、高后果区识别、风险评价、完整性评价、维修与维护 and 效能评价。管道的完整性在实施这一循环过程中可以不断得到提高。

关键词 输气管道 完整性管理

1 管道完整性管理概念

管道完整性(PIPELINE INTEGRITY)是指:

- (1)管道始终处于安全可靠的工作状态;
- (2)管道在物理上和功能上是完整的,管道处于受控状态;
- (3)管道运营商不断采取行动防止管道事故的发生;
- (4)管道完整性与管道的设计、施工、运行、维护、检修和管理的各个过程是密切相关的。

管道的完整性管理 PIM (Pipeline Integrity Management)定义为:管道公司通过根据不断变化的管道因素,对天然气管道运营中面临的风险因素的识别和技术评价,制定相应的风险控制对策,不断改善识别到的不利影响因素,从而将管道运营的风险水平控制在合理的、可接受的范围内,建立以通过监测、检测、检验等各种方式,获取与专业管理相结合的管道完整性的信息,对可能使管道失效的主要威胁因素进行检测、检验,据此对管道的适应性进行评估,最终达到持续改进、减少和预防管道事故发生、经济合理地保证管道安全运行的目的。

管道完整性管理,也是对所有影响管道完整性的因素进行综合的、一体化的管理,包括:

拟定工作计划、工作流程、线路完整性管理工作步骤如图 1 和工作程序文件;

进行风险分析和安全评价,了解事故发生的可能性和将导致的结果,指定预防和应急措施;

定期进行管道完整性检测与评价,了解管道可能发生的事故的原因和部位;

采取修复或减轻失效威胁的措施;

培训人员,不断提高人员素质。

管道完整性管理的原则为:

- (1)在设计、建设和运行新管道系统时,应融入管道完整性管理的理念和做法;
- (2)结合管道的特点,进行动态的完整性管理;
- (3)要建立负责进行管道完整性管理机构、管理流程、配备必要的手段;
- (4)要对所有与管道完整性管理相关的信息进行分析、整合;
- (5)必须持续不断的对管道进行完整性管理;
- (6)应当不断在管道完整性管理过程中采用各种新技术。

在完整性管理的国家法律、法规方面、标准依据方面,美国首先以立法的形式提出,美国政府基于国内拥有约 56 万 km 输气管道,25 万 km 液体燃料管道,且相当一部分使用年限很长,为了增进管道的安全性,美国国会于 2002 年 11 月通过了专门的 H.R. 3609 号法案,该法案于 2002 年 12 月 27 日经布什总统签署后生效。

ASME B31.8S-2001 描述了管道运营者可用来

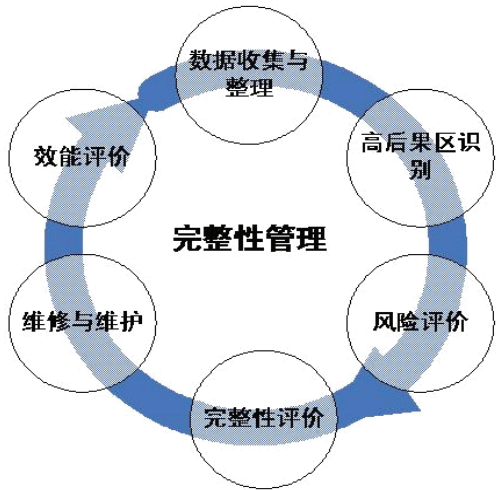


图 1

评价并减低风险的完整性管理程序，通过使用这个程序，可减少事故发生的可能性、减轻事故发生的后果。它包括了两种完整性管理程序即：规定的完整性管理程序和基于风险评估的完整性管理程序，是输气管道完整性管理体系的结构和基本组成部分。管道可靠性、风险性评价成为其基本组成，而完整性检测、评价、运行状态指标、再评价周期等则是完整性管理的新内容，反映出管道安全管理从单一安全目标发展到优化、增效、提高综合经济效益的多目标趋向。

完整性管理的优势在于在系统的风险识别、评估和管理的基础上制定完整性管理方案，对各管段的完整性管理活动做出针对性的计划和安排，系统地指导以后的高后果区识别、数据收集与整合、风险评估、完整性评价、更新改造及大修理、第三方破坏预防、地质灾害防治等完整性管理工作。应对所辖的每一个管道系统建立管道完整性管理方案，并在管道运行过程中持续动态更新。

2 完整性管理工作各步骤概要说明

(1)数据收集和整合

数据的完整性是线路完整性管理的基础，数据的准确性和完整程度会影响到分析与评价的结果。应按照管道完整性管理要求收集与整合数据，满足分析与评估的需要。支持风险评估的数据，因危害类

型不同而异，要确定能反映管段状态和可能存在危害影响的必要数据和信息，以便了解管道的状况并识别对管道完整性构成威胁的管段。

完整性管理需要大量的数据，包含设计施工数据、运行维护数据、检测及监测数据、返修数据、环境和地理信息、生产运行历史以及事件和风险数据等。随着管道运行时间的推移，数据量会越来越多，应能保持对数据进行持续地、系统的收集和不断地更新、维护，因此数据应存储在电子数据管理系统中。使用电子数据管理系统也便于进行数据的分析和整合。

美国 ASME B31.8S-2001 《输气管道完整性管理系统》中的规定完整性管理程序中，对每一种危险进行评价，需要收集的数据较为有限。非强制性附录 A 给出了每一种危险的数据清单，并概括于表 1。要进行风险评价，必须收集到针对每一种危险列出的所有数据。如果缺少某些数据，就应给出一个相应的估计值。

建立完整性管理程序所需的数据可从管道运营公司和其它部门两个渠道获得。通常，在设计与施工档案、运行和维修记录中可获得这些数据。

(2)高后果区识别

管道完整性管理关注的重点在于高后果区。在管道运行过程中，输气公司必须持续关注外界环境的变化，及时进行高后果区的更新。

①高后果区(high consequence areas)

指如果管道发生泄漏会严重危及公众安全和

(或)造成环境较大破坏的区域。随着管道周边人口和环境的变化,高后果区的位置和范围也会随着改变。

②地区等级 (class area)

按管道沿线居民户数和(或)建筑物的密集程度等划分的等级,分为四个地区等级。划分标准执行GB50251中的4.2。

③地区等级划分规定

按照GB50251中4.2要求,按沿线居民户数和(或)建筑物的密集程度,划分为四个地区等级。4.2节相关规定如下:

A.1 沿管道中心线两侧各200m范围内,任意划分成长度为2km并能包括最大聚居户数的若干地段,按划定地段内的户数划分为四个等级。在农村人口聚集的村庄、大院、住宅楼,应以每一独立户作为一个供人居住的建筑物计算。

a 一级地区:户数在15户或以下的区段;

b 二级地区:户数在15户以上、100户以下的区段;

c 三级地区:户数在100户或以上的区段,包括市郊居住区、商业区、工业区、发展区以及不够四级地区条件的人口稠密区;

d 四级地区:系指四层及四层以上楼房(不计地下室层数)普遍集中、交通频繁、地下设施多的区段。

A.2 当划分地区等级边界线时,边界线距最近一户建筑物外边缘应大于或等于200m。

A.3 在一、二级地区内的学校、医院以及其他公共场所等人群聚集的地方,应按三级地区选取。

A.4 当一个地区的发展规划,足以改变该地区的现有等级时,应按发展规划划分地区等级。

④特定场所(identified site)

特定场所是除三级、四级地区外,由于管道泄漏可能造成人员伤亡的潜在区域。

特定场所包括以下地区:

表1 规定完整性管理程序的数据构成

特征数据	施工数据	运行数据	检测
管道壁厚	安装日期	天然气气质	试压
直径	弯管方法	流量	内检测
焊缝类型和 接合系数	对接方法、过程和 检测结果	额定最大和 最小操作压力	几何变形检测
制造商	埋深	泄漏/事故 历史记录	开挖检测
制造日期	穿越/套管	涂层状况	阴极保护检测(密间隔CIS)
材料性能	试压	阴极保护系统参数	涂层状况检测(直流电位梯度DCVG)
设备性能	现场涂装方法	管壁温度	审核与检查
	土壤、回填	管道检测报告	
	检测报告	管道内/外腐蚀 监测	
	阴极保护方式	压力波动	
	涂层类型	调节阀/泄压阀工 作状况	
		外方入侵	
		维修	
		人为破坏	
		外力破坏	

特定场所 I :医院、学校、托儿所、养老院、监狱等人群难以疏散的建筑区域;

特定场所 II :在一年之内至少有 50 天(时间计算不需连贯)聚集 20 人或更多人的区域。例如集贸市场、寺庙、运动场、广场、娱乐休闲地、剧院、露营地等。

⑤潜在影响区域(potential impact zone)

指如果管道发生事故,其周边公众安全和(或)财产可能受到明显影响的区域。

⑥气体长输管道高后果区识别准则

管道经过区域符合如下任何一条的区域为高后果区:

A 管道经过的四级地区;

B 管道经过的三级地区;

C 如果管径 $\leq 273\text{mm}$,并且最大允许操作压力 $\leq 1.6\text{MPa}$,其管道潜在影响半径,按照 SY/T6621 中 3.2 节公式计算;

D 如果管径 $> 711\text{mm}$, 并且最大允许操作压力 $> 6.4\text{MPa}$, 则管道两侧各 300m 以内有特定场所的区域;

E 其他管道两侧各 200m 内有特定场所的区域。

当识别出高后果区的区段相互重叠或相隔不超过 50m 时,作为一个高后果区段管理。

依据高后果区识别和排序结果,管道管理者应及时制定风险评估计划,实施风险评估。

对已确定的高后果区,定期再复核,复核时间间隔一般为 12 个月,最长不超过 18 个月。管道及周边环境发生变化时,及时进行高后果区再识别。

(3)风险评估

管道的风险评估是为了识别可能诱发管道事故的具体事件的位置及状况,确定事件发生的可能性和后果,按风险评估的结果进行排序,优化管道的完整性评价工作。

在识别管道运行潜在的危害并整合相关数据的基础上,进行管道的风险评估。有多种方法可用于风险评估,应选用合适的方法满足管道系统的要求,应根据危害的时间因素和事故模式分组,正确执行风险评估。

风险评估应在规定的时间间隔内定期进行。当管道发生显著变化时、外界条件发生变化时以及操

作情况发生变化时,都应再次进行风险评估。还应将完整性评价的结果作为风险再评估的因素予以考虑,以便反映管道的最新状况。

完整性管理的第一步是识别影响完整性的潜在危险,对影响管道完整性的所有危险都应考虑在内。国际管道研究委员会(PRCI)分析了输气管道的事故数据,将事故根源分为 22 种。这些事故原因中的每一种都代表了影响管道完整性的一种危险,应该对其进行管理。这 22 种事故原因中有一种是“未知”原因,也就是找不到原根源或原因;其余 21 种按照性质和增长特点划分为 9 类,又进一步将这 9 类划分为与时间有关的 3 大缺陷类型。根据这 9 类事故原因,可以界定影响管道完整性的潜在危险。按照时间因素和失效模型分组,可以正确地进行风险评价、完整性评价和事故减缓活动。

美国 ASME B31.8 S-2001 规定:对管道及相关的设施应该进行风险评价。规定完整性管理程序和基于风险评估的完整性管理程序都要求进行风险评价。

对于规定完整性管理程序,风险评价的主要目的是对完整性管理工作进行优化排序,有助于组织收集到的数据和信息做出决策。

对于基于风险评估的完整性管理程序,进行风险评价有两个目的:第一是组织数据和信息,帮助运营者对管理活动进行排序和规划;第二是确定采取何种检测、预防及/或事故减缓措施以及在何时实施。

运营者应建立基于风险评估的完整性管理程序,建立规定完整性管理程序。

风险由两个主要因素的乘积来描述:事故发生的可能性(概率)和事故造成的后果。计算风险的方法如下:

对一种危险: $\text{Risk}_i = P_i \times C_i$

对 1~9 类危险: $\text{Risk} = (P \sum_{i=1}^9 i_i \times C_i)$

对所有危险: $\text{Risk} = P_1 \times C_1 + P_2 \times C_2 + \dots + P_9 \times C_9$

式中 P ——事故发生的可能性;

C ——事故造成的后果;

1~9 ——事故类别

采用的风险分析方法应能确定全部 9 类或 21 种管道危险因素中的任一种。风险后果一般要考虑各个部分如事故对人员、财产、商业及环境造成的影

响。

(4)完整性评价

在风险评估的基础上,根据可能存在的危害选择一种或多种方法来评估管道的完整性。完整性评价方法有内检测、压力测试、直接评价以及其他技术方法等。所选择的方法应能适用于所识别出的危害类型。

应根据风险评估的结果,对进行完整性评价的管段进行排序,基于风险的完整性评估计划。对高风险的管段应根据管段数量在1年~2年内完成所有完整性评估,所有新建管道的基线评估应在6年内完成。对新识别出的高后果区内的管段也应在6年内完成基线评估。

(5)管道缺陷响应和修复措施,管道风险预防和减缓措施

对完整性评价过程中所发现的所有缺陷应马上采取行动,首先评估检测出的缺陷的严重程度,按照严重程度确定响应计划,对那些会影响管道完整性的缺陷应马上进行修复。所采取的修复措施应能保证直到下一个评估时间,修复后的管道不会对管道的完整性造成损害。

根据风险评价结果,针对可能存在的危害制定和执行风险的预防和减缓措施。预防和减缓措施应能最大限度的防止管道泄漏的发生并减小泄漏后果。预防措施主要包括以下几种类型:

- ① 腐蚀控制系统
- ② 泄漏检测
- ③ 防止第三方破坏
- ④ 运行控制
- ⑤ 自动关断以及遥控关断的设置以降低泄漏后果
- ⑥ 地质灾害的防护措施
- ⑦ 其他措施等

应充分了解和确定各项措施实施的效果及其限制条件。

美国 ASME B31.8 S-2001《输气管道完整性管理系统》在这一章节中描述了对检测到缺陷的响应计划、消除或减缓不安全因素的维修措施、消除或降低管道完整性危险的预防措施以及检测间隔的确定。检测间隔的确定基于缺陷特征、事故减缓措施所

达到的效果、采用的预防措施、所取得数据的有效时间和预期的缺陷发展情况等。

应对检查、评价和事故减缓措施进行选择 and 计划,以将完整性管理程序中每一管段的风险降低到适当的水平。

完整性管理程序应对已有的或新执行的事故减缓措施进行分析,以评价其有效性及今后使用的可能性。

(6)效能评价

效能评价指定期评估完整性方法以及其降低、预防风险的措施包括修复方法的有效性,也应评估管理系统和程序是否能有效支持完整性决策。将效能测试和系统内、外审核结合起来对于评估管道完整性管理的总体有效性非常必要。

规定完整性管理程序和基于风险评估的完整性管理程序的效能测试应至少每年进行一次评价,以衡量完整性管理程序随时间的有效性。这种评价应考虑危险的特性和总体的改进。危险特性评价可对所关注的特定区域,而全面测试适用于完整性管理程序中的所有管道。

(7)持续评价和再评价

在管段完成评估后,仍应定期进行再评估,以保证每个管道的完整性。应根据风险评价、完整性评价、维修结果和效能评价结果,制定再评价计划,计划内容应包括再评价时间和再评价方法。再评估时应考虑过去和现在的完整性评估结果、数据整合和风险评估的信息,以及修复和预防减缓措施。

参考文献

- 1 美国《输气管道完整性管理》(ASME B31.8S-2001)
- 2 《陕京天然气管道完整性管理与实践》董少华 姚伟
- 3 《长输油气管道的完整性及其管理》陈立杰 王新增
- 4 Cosham A.The Assessment of pipeline defects.Calgary: ASME International Pipeline Conference,2002
- 5 Office of Pipeline Safety,U.S.Department of Transportation. Pipeline Integrity Management in High Consequence Areas, 2002
- 6 U.S. Department of Transportation.49 CFR Part 192(Pipeline Safety: Pipeline integrity management in high consequence areas (gas transmission pipelines),Proposed Rule),2003