

# 长输油气管道的完整性管理

冯庆善<sup>1</sup>, 王学力<sup>1</sup>, 李保吉<sup>1</sup>, 何悟忠<sup>2</sup>, 张存生<sup>1</sup>, 张永盛<sup>3</sup>, 郭 莘<sup>2</sup>

(1. 中国石油管道公司, 河北廊坊 065000; 2. 中国石油管道公司沈阳技术分公司, 辽宁沈阳 110031;

3. 中国石油管道公司沈阳输油气分公司, 辽宁沈阳 110031)

**摘要:**文中对管道完整性管理的背景、理念和原则、管理的标准体系、管理方法, 以及新建管道完整性和站场完整性管理等进行了阐述, 介绍了国内长输管道完整性的主要成果和做法, 总结了长输管道完整性管理具备的一般特征。

**关键词:**管道; 完整性; 安全评价

**中图分类号:** TE8    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1004-9614(2011)06-0001-05

## 0 引言

管道是石油天然气经济、高效运输的方式, 在国民经济和社会发展中起着十分重要的作用。管道运输具有许多优点, 但由于石油天然气的易燃、易爆和具有毒性等的特征, 管道运输安全日益受到关注。从保证管道安全的角度, 管道管理可分为3个层次, 分别是可靠性评价(检测与安全评价)、风险评价和完整性管理, 其中完整性管理是在可靠性评价和风险评价基础上的全面概括和提升<sup>[1]</sup>。

管道安全评价与完整性管理始于20世纪70年代, 美国首先开始采用风险分析技术来评价油气管道的危险性, 以期最大限度减少油气管道事故的发生并尽可能延长管道使用寿命, 合理分配管道维护费用<sup>[2-3]</sup>。20世纪80年代, 一些欧美管道工业发达国家开始建立风险评价模型和信息数据库, 研发评价软件, 制定和完善风险评价规范和标准。20世纪90年代, 许多油气管道都已采用安全评价与完整性管理技术来指导管道的维护工作。进入21世纪, 管道完整性管理在油气管道行业更加系统、全面。美国于2002年11月15日通过了第H. R. 3609号《管道安全改进法案》, 2002年12月17日该法案生效, H. R. 3609 PSIA (The Pipeline Safety Improvement Act of 2002) 第14章中明确要求管道运营商在管道高后果区实施管道完整性管理, PSIA也写入了ANSI相关标准中。2006年, OPS修改了《管道安全改进法案2002》, 更名为《管道安全与可靠性改进法案2006》, 增加相关规定。

管道完整性管理在油气管道行业的快速发展主要是来源于内外两方面的推动力, 内部因素主要是: 大量服役多年的老管道存在着安全隐患, 需要及时检

测和管理; 老管道建设期焊接和检测技术落后, 管道质量较差, 需要加大安全管理力度; 各种事故频繁发生, 造成了巨大的损失; 资源优化的需求。外部因素主要是: 社会和公众对于油气行业日益关注; 第三方破坏, 对管道的安全性管理提出了更高的要求; 管道完整性管理相关的法律、法规和标准相继出台, 要求管道运营者开展完整性管理工作; 管道完整性检测与评价技术的快速发展, 新材料的应用。

## 1 管道完整性管理概念解析

管道完整性(Pipeline Integrity)有4层含义: 在物理上是完整的, 在功能上是健全的; 管道完整性应该是指管道受控, 始终处于安全可靠的状态; 管道管理者不断采取措施和改进方法来防止管道事故的发生, 确保管道的完整; 在时间上是全寿命周期, 即覆盖了设计、施工、运行、废弃全过程。

管道完整性管理是一种以预防为主的管理模式, 是为确保管道完整性而进行的一系列管理活动, 具体指管道管理者针对管道不断变化的因素, 对管道面临的风险因素进行识别和评价, 不断改善识别到的不利影响因素, 采取各种风险减缓措施, 将风险控制在合理、可接受的范围内, 最终达到持续改进、减少管道事故、经济合理地保证管道安全运行的目的。<sup>[4-6]</sup>

管道完整性管理的范围非常广, 包括了直接影响管道安全输送的所有因素, 具体如图1所示。

## 2 管道完整性管理原则和要点<sup>[4]</sup>

(1) 完整性管理应从管道的规划和设计时期开始, 并贯穿管道的整个生命周期。

(2) 完整性管理是一个持续改进的过程, 应确定管道不同时期的管理重点; 完整性管理程序本身的效能评价是管道完整性管理程序的一部分, 应定期对管

道完整性和完整性管理程序进行评价。

(3)完整性管理平台应采用统一的数据库结构、数据库平台,并保证完整性管理所采用的信息的准确性和完整性。

(4)风险评价作为完整性管理的重要环节之一应定期开展,应对发现的重要危害,立即采取风险削减措施。

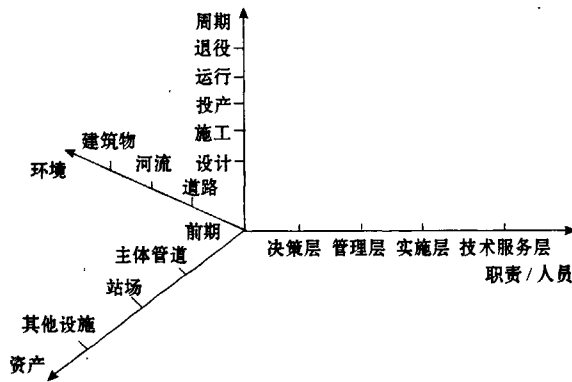


图1 完整性管理的范围

### 3 管道完整性管理标准规范体系

管道完整性管理主要是依据欧美国家管道完整性管理法律、法规和标准体系展开,这些规范主要包括:《49 U. S. C. 601. 管道安全法》、《H. R. 3609 管道安全改进法》、《美国联邦规章第 49 篇——运输》、ASME B31. 8S 输气管道系统完整性管理、API 1160 危险液体管道完整性管理、API 1129 危险性液体管道系统完整性的保证措施、Z662-07 加拿大油气管道标准“附录 N”、ASME B31. G 确定腐蚀管线剩余强度手册、NACE RP 0502 管道外腐蚀检测与直接评价标准、NACE T 0340 ICDA 内腐蚀直接评估技术、API 579 适用性评价推荐作法、NACE RP 0102 管道内检测的推荐实践标准、API 1163 管道内检测系统标准、NACE pub 35100 管道内检测(报告)、API RP 580 基于风险的检测、API RP 581 基于风险的检测技术、NACE RP 0502 管道外腐蚀直接评价方法、NACE RP 0105 管道内腐蚀直接评价方法、NACE RP 0204 应力腐蚀开裂直接评价方法、NACE TM 0102 管道防腐层导电性检测方法、API 570 管道检验规范在用管道系统检验/修理/改造和再定级、API RP 2200 原油/液化石油气及成品油管道维修推荐作法、ASME B31. Q 输气管道操作人员的资质标准、ANSI/ASNT 无损检测人员资格评定导则、API RP 1120 液体管道维修人员的培训与认证、API RP 1162、ASNT ILI - PQ 管道内检测员工的资格。

国内管道完整性管理开展初期主要是参照欧美国家的标准和规范,ASME B31. 8S《输气管道系统完整性管理》和 API 1160《危险液体管道的完整性管理》被采标为石油行业标准 SY/T 6621《输气管道系统完整性管理》和 SY/T 6648《危险液体管道的完整性管理》。另外,石油企业也根据国内行业的实际情况制定了符合自身需求的标准和规范,如中石油管道公司制定的《完整性管理系列规范》。

### 4 管道完整性管理程序

管道完整性管理程序主要包括法规遵守、整体计划构架、风险评价和缓解措施、持续评价和变更管理等基本要素,这些要素需要通过实施的流程来体现,并成为管道完整性管理的主要内容,根据 SY/T 6648《危险液体管道的完整性管理》,管道完整性管理的主要流程见图 2。

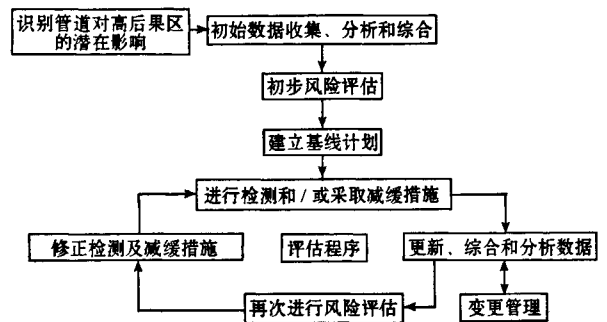


图2 SY/T 6648 中的完整性管理流程图

根据 SY/T 6621《输气管道系统完整性管理》,管道完整性管理的主要流程见图 3。SY/T 6648《危险液体管道的完整性管理》和 SY/T 6621《输气管道系统完整性管理》中所描述的管道完整性管理流程是国际油气行业管道完整性管理普遍采用的流程,其核心是风险评价和检测。

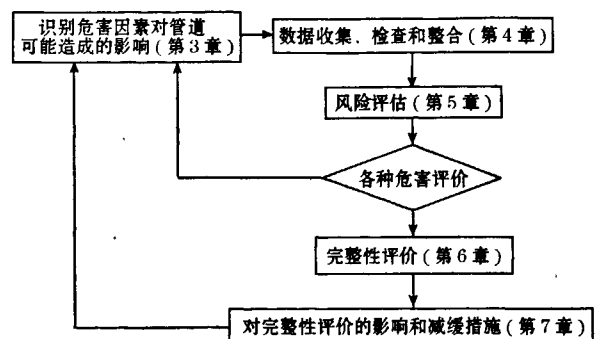


图3 SY/T 6621 中的完整性管理流程图

根据国际通用标准,结合国内管道运营的实际情 况,中国石油管道公司制定了《完整性管理系列规范》,并提出了开展管道完整性管理的 5 个层次,包括

体系文件、标准规范、系统平台、支持技术和实施应用,以及6步循环,包括数据收集、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。具体架构如图4所示。

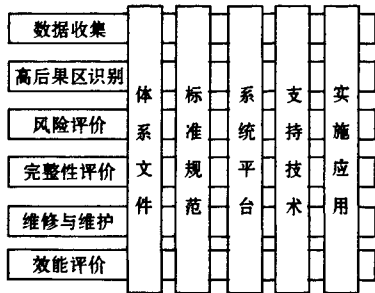


图4 完整性管理系统的架构

体系文件是一组将完整性管理各个环节涉及的活动文件化的文档,一般分为三级(管理手册、程序文件和作业文件)。管理手册总体阐述了完整性管理系统,概述了工作目标和各项活动,程序文件规定了工作内容和职责,作业文件规定了具体的工作方法。

标准规范规定了完整性管理各个环节的工作要求,对实际活动有指导意义。

系统平台是计算机技术在完整性管理中的应用,通过系统平台,可以用数据库很好地管理管道的各种数据,并可基于数据库开发各种分析评价软件和决策系统,能显著提高完整性管理的效率和水平。

完整性管理的各个环节涉及很多配套的支持技术,这些技术的发展水平直接影响到完整性管理的顺利实施。

管道完整性管理的每个环节的信息都来源于实际,并通过系统分析等技术,来科学指导实际应用,反馈改进,持续提高,优化资源配置。

#### 4.1 数据采集

目前,随着计算机、电子、测绘、遥感、地理信息等多项技术快速发展,国内外一些管道运营公司建立了针对自己管道特点的数据采集方法和标准。数据采集内容一般包括:

管道中心线及管道设施数据是指包括管道中心线在内的从设计、施工到运行的干线、支线上所有管道设施等数据,如钢管信息、防腐层、弯头、阀。

管道缺陷数据是指金属损失、裂纹、管体变形、焊缝缺陷、防腐层缺陷等数据。

管道事故数据包括地质灾害、第三方破坏等数据。

管道沿线环境数据是指管道周边包括断层、地震万方数据

带、建筑物、公路、铁路、河流、气候等数据,空间信息、地理位置通过对高精度遥感影像进行矢量化提取。

基础专题数据包括各种比例尺的专题数据。

遥感影像数据是指管道两侧一定范围内的高精度光栅格式的影像数据。

#### 4.2 高后果区识别

高后果区是指管道如果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,高后果区管段是实施风险评价和完整性评价的重点管段,管道运营公司应在高后果区管段上实施完整性管理计划。高后果区并不是不变的,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有所改变。

#### 4.3 风险评价

风险评价是开展完整性管理的核心环节,识别和分析工程、系统、生产经营活动中的危险因素,预测发生事故造成危害的可能性及严重程度,提出科学、合理、可行的安全对策,给出评价结论。通过风险评价可以了解管道的各种危害因素,明确管道的管理重点,有利于实现风险的预控,保障管道的安全运行。管道风险评价的方法主要包括半定量风险评价、定量风险评价。

#### 4.4 完整性评价

管道完整性评价目的是明确管道的状况,制定相应计划,降低管道风险,确定管道再检测时间间隔等。开展完整性评价,首先应确认对所评管道适用的评价方法,如内检测评价法、压力试验、直接评价法。

#### 4.5 维修与维护

维修维护是根据评价的结果,采取风险减缓措施。对于管道本体缺陷,主要的减缓措施包括缺陷的修复、补强等,严重时需进行换管;对于自然与地质灾害,主要的预防和减缓措施包括地质灾害预警、地质灾害点监测与治理、修建水工保护设施,必要时还会换管;针对第三方损坏,主要是采取预防性措施,包括管道保护和巡线、第三方施工监护等。

#### 4.6 效能评价

效能评价(Performance Assessment)是指对完整性管理系统进行综合分析,把系统的各项性能与任务要求综合比较,最终得到表示系统优劣程度的结果。效能评价得出来的一般是一个相对意义上的结果,对于运营公司整体管理系统来说,效能评价和审核结果需要跟运营公司的长远规划和年度计划结合起来考虑,对于具体设备单体来说,效能评价就是性能的评价。

效能评价关注的是管道完整性管理的结果,找出不符合实际期望值的元素,提出效能改进建议,进行效能跟踪,确定效能评价的周期,并通过系统的效能评价和审核来不断说明效能评价对象的改进程度。

### 5 建设期管道完整性管理程序

建设期管道完整性管理主要以保证管道运行安全、经济为核心,通过在建建设期各阶段实施风险识别和评价等技术手段,识别出管道可能发生的风险,并在建设期各个阶段采取合适的风险控制措施,保证管道结构和功能完整,实现管道本质安全。

建设期管道完整性管理应贯穿于预可行性研究、可行性研究、初步设计、施工图设计、施工、投产试运、竣工验收的全过程。其中,风险评价应是建设期管道完整性管理的重要环节。运营期管道完整性管理的水平有赖于建设期管道数据采集的真实性、准确性和完整性。

建设期不同阶段,完整性管理的侧重点也有所不同,依据建设期各阶段特点,给出了各阶段管道风险控制应做的主要工作。具体如表1所示。

表1 建设期各阶段完整性管理要素分析表

建设阶段	项目	工作内容	组织实施
预可研	数据采集	预可研报告及评审意见	业主或委托做
	数据收集	可研、7个专项评估报告及评审意见,HCA分布调查、危害因素识别报告	业主或委托做
可研	HCA识别	HCA分布调查,含规划调查与分布预测	设计做;业主、运营方或委托审核
	风险评价	专项评估报告审核;危害因素识别	业主委托做;设计做;业主委托审核
	改进	改进可研和专项报告	设计和评价单位做
初设	数据采集	详勘、初设报告及评审意见,HCA识别、风险评价、检测可行性评估报告	业主或委托做
	HCA识别	基于初设的HCA识别	设计做;业主、运营方或委托审核
	风险评价	核准对可研的改进落实、设计方案第三方审核、风险评价	业主、运营方或委托做;运营方参与
	完整性评价	检测可行性评估	业主、运营方式或委托做;运营方参与
施工	改进	根据建议改进	设计做
	数据采集	施工图设计报告及专家评审意见,HCA、风险评价的变更报告	业主、设计单位做
	HCA识别	对变更的HCA识别	运营方参与,设计单位实施,业主组织或第三方核准
	风险评价	对线路变更的风险评价	运营方参与,第三方咨询,业主组织核准
	完整性评价	对变更的检测可行性评估	运营方参与,第三方咨询,业主组织核准
投产	设计改进	根据建议改进	设计做
	数据采集	投产过程中数据	运营方实施
	HCA识别	核准HCA基线结果,HCA段应急预案分析	运营方实施
	风险评价	核准风险评价基线结果,高风险段、高风险因素防控预案	运营方实施

### 6 站场完整性管理框架

目前,国际上并没有通用的站场完整性管理的概念与实施技术。站场完整性是管道完整性管理概念的延伸,以及机械完整性管理、资产完整性管理等概念的具体化。因此,站场完整性首先要解决的问题是研究对象、目标等问题的确定,其次才是采用何种技术和方法的问题。

#### 6.1 管理对象

从安全、环境风险角度出发,管理对象应包含一些含有高能量物质的实物资产(能量形式包括热能、电能、化学能、压能等)以及为预防、控制和减缓这些能量释放和转化而存在的实物资产。具体包括:与油气泄漏可能性相关设备(储罐、站内管线、阀门、泵、加热炉、换热器等与油气接触的设备实施);与高温高压水泄漏可能性相关设备(加热炉、换热器、热水锅炉、蒸汽锅炉);与电泄漏可能性相关的设备(变压器、电

机等与强电接触的设备);与泄漏后果相关的设备(监控系统、防火堤、围堰、消防设施等防止泄漏后果扩大的设备实施)。

从工艺中断风险的角度出发,管理的对象应该包含一切为了满足站内工艺需求而存在的设备设施,以及为了确保这些功能而存在的辅助设备设施。具体包括的对象应该由站场的具体功能而定,建议通过HAZOP和失效模式及影响分析(FMEA)来确定。一般下列设备会包含在内:动力设备(电机、燃气轮机等,与之相关的供电设备也会考虑在内);压力控制设备(泵、压缩机、调压设备、阀门、泄压设备等,以及与压力控制相关的自动化仪表设备);存储类(储罐、管道等);加热类设备(加热炉、换热器、锅炉等设备,以及为改善油品物性而设置的各类加剂设备)。

#### 6.2 管理方法

完整性管理的目标就是采用最低合理可行的原

则,将风险控制在可接受的范围内,站场的风险可以分为安全风险、环境风险和工艺中断风险。站场完整性管理的目标就是将这三类风险进行有效控制。

风险由失效可能性和失效后果组成。对于安全风险和环境风险,失效可能性具有相似的考虑,那就是容器或媒介物的结构失效。这类失效的机理一般与时间相关,采用检测、评价、修复的持续管理方式。通常采用基于风险的检验(RBI)的管理方法。

针对安全风险的失效后果,主要是考虑一旦失效,是否有足够的能力将失效的影响控制在一定的范围内。通常采用量化风险评价(QRA)的评价方法。为了减小或者避免安全风险的后果,国际惯例是对安全系统进行独立设计和审核,其评价技术为安全完整性等级(SIL)。

针对环境风险的失效后果,与安全风险类似,不同的是环境风险主要考虑泄漏后对环境的影响。目前国内正积极引进环境敏感性分析(EIA)的方法。

工艺中断的风险主要体现在设备可靠性水平和工艺对设备可靠性需求之间的差别上。如果设备可靠性水平高于工艺需求,那么风险较低,反之较高。通常采用以可靠性为中心的维护(RCM)评价方法。

设备可靠性需求是通过设计的工艺功能及实现这些功能存在的偏差分析(通常用HAZOP)和设备失效及失效后对工艺的影响(通常用FMEA)来确定对设备可靠性的要求。

根据设备分类和站场管理技术,将站场完整性管理的要素进行分类和归纳,结合管道完整性管理现状,得出管道系统完整性管理框架(图5)。

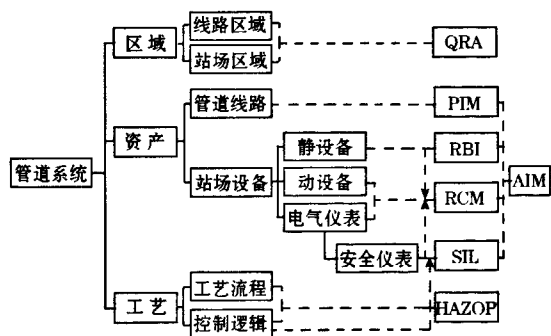


图5 管道系统完整性管理框架图

## 7 结束语

(1)完整性管理程序应该是管理系统的一部分。完整性管理程序应该与日常和长期的经营策略和经营活动联系在一起。

(2)开发、维护和管理一个完整性计划需要平衡

有限的投入和庞大的投资需求之间的矛盾,要保证把有限资源应用到高后果和高风险段的管理中,要确保高风险管段的风险能得到优先控制。

(3)完整性管理程序必须遵守所有相关的法律法规、标准体系、作业指导等,要关注这些文件的更新,确保程序的合规性。

(4)完整性管理程序要始终把保护公众和环境做为实施的首要目标和终极目标,程序中所有工作要围绕降低和减缓管道运营带来的公众和环境风险而开展。

### 参考文献:

- [1] 杨祖佩,王维斌.油气管道完整性管理体系研究进展.油气储运,2006(8):7-13.
- [2] 姚安林.国内外油气管道完整性管理技术比对研究.石油工业技术监督,2008,24(3):5-12.
- [3] 姚伟.油气管道科技丛书—油气管道完整性管理技术.北京:石油工业出版社,2010.
- [4] Q/SY 1180.1—2009 管道完整性管理规范.
- [5] 王学力.油气管道完整性管理.上海煤气,2009(6):36-39.
- [6] 董绍华.管道完整性技术与管理.北京:中国石化出版社,2007.

作者简介:冯庆善(1974—),高级工程师,主要从事长输油气管道完整性管理工作。

## 本刊声明

近年来,学术不端事件时有发生,给科技期刊界造成了极坏的影响,学术诚信已经引起了相关部门的高度重视。

为杜绝学术不端行为,净化科研环境,营造公平、公正、严谨、求实的学术交流氛围,履行科技期刊的社会责任与使命,本刊坚决抵制抄袭、剽窃、伪造、篡改、不当署名、一稿多投等学术不端行为。

本刊已与中国学术期刊(光盘版)电子杂志社签订协议,正式使用《科技期刊学术不端文献检测系统》。该系统以《中国学术文献网络出版总库》为全文比对数据库,可检测抄袭、剽窃、伪造、篡改、不当署名、一稿多投等学术不端文献。检测系统启用后,将对来稿进行检测。一旦证实存在学术不端行为,本刊将做出严肃处理。

本刊编辑部将及时快速地传播科研领域的最新进展与成果,为广大科研工作者搭建公正、严谨、高效的交流平台。本刊编辑部愿与广大作者、读者共同努力,坚决维护学术公信力。