

# 逐步实施我国油气管道的完整性管理

杨筱蘅 严大凡

(石油大学·北京)

杨筱蘅等. 逐步实施我国油气管道的完整性管理. 天然气工业, 2004; 24(11): 120~123

**摘要** 我国已建成的油气管道长达2万多公里, 其中相当部分的在役管道已进入了后期事故多发阶段。如何提高管道系统的安全运行水平, 降低事故发生率, 已是刻不容缓亟待解决的问题。文章分析了我国油气管道安全管理所面临的隐患, 综述了国际管道完整性管理的进展及我国在这方面尚存在的主要差距。进而建议从建立和健全相关法规、标准, 根据不同条件, 制定不同层次、分阶段实施的完整性管理计划, 加强管道安全的科研及成果应用, 选定典型管线进行完整性管理试点等方面着手, 逐步提高我国油气管道安全管理水平。

**关键词** 中国 油气集输 管道 安全 完整性管理 风险分析 评价

## 一、我国油气管道安全管理面临的挑战

油气管道的现代安全管理经过近几十年的发展, 国外管道系统的完整性管理已日趋成熟, 形成了一系列的安全规范或标准, 提供了配套的安全管理方法和程序, 使事故率下降, 保证了管道的安全可靠运行, 节约了维修费用。

中国目前已建成的油气管道长逾  $2 \times 10^4$  km, 其中我国东部的许多管道已运行接近或超过了20年, 逐步进入了后期事故多发阶段。由于受当初技术经济条件的制约, 以及设计、施工水平, 材料缺陷和多年运行的损伤等原因, 管道安全存在不少隐患。但由于受到内检测技术及检测费用的限制, 对我国的大多数管道尚未进行过全面检测, 因而缺乏完整性评价的基础数据。近年来第三方故意破坏引发的泄漏事故也呈上升趋势, 更给管道安全造成了严重的威胁。

由于上述原因, 我国油气管道的事故率比发达国家要高很多倍。据统计, 近30年来, 欧洲、前苏联、美国的输气管道事故率分别为0.42、0.46、0.60次/ $10^3$  km·a, 总平均值大致为0.5次/ $10^3$  km·a。西欧17国输油管道泄漏事故率2000年为0.25次/ $10^3$  km·a。而我国四川地区12条输气管的事故率为4.3次/ $10^3$  km·a。我国东北和华北地区输油管道运行以来, 粗略统计事故率也要超过2.0次/ $10^3$

km·a。<sup>[1]</sup>

## 二、国外油气管道安全管理的现状及进展

### 1. 不断完善的安全生产法规、规范及强有力的第三方监管, 依法实施管道完整性管理

美国对油气管道建设和运行的全过程都有系统的安全法规进行安全管理和监督。美国国家标准的ASME B31 压力管道及管件标准的系列中, B31.4“液态烃和其他液体管道输送系统”、B31.8“输气和配气管道系统”, 对输油、输气管道从设计、管道和管件材料及制造、管道系统施工、设备安装、管道验收、操作与维修、腐蚀控制等过程中, 为防止管道损伤、确保公众安全, 均提出了明确的技术要求。每个标准都引用了100多个相关标准。它们是管道建设的技术指南, 又是国家有关部门进行建设方案评审和建设过程中进行建设监理和安全监督的法律依据。经过多年管道系统完整性管理的经验积累, 2001年11月美国颁布了API St. 1160“危险液体管道完整性管理系统”<sup>[2]</sup>和ASME B 31.8.S“天然气管道完整性管理系统”<sup>[3]</sup>2项标准, 它提供了改善管道安全的方法和手段, 帮助经营者通过适当的预防性检测、评价, 实施减轻风险的措施等来改善管道安全状况, 以达到减少事故的目的。2001年5月美国颁布生效的联邦法规49 CFR 195中, 对管道完整性管理提出了新的要求。2002年12月由美国参议院通过、总统签

**作者简介:** 杨筱蘅, 女, 教授; 1964年毕业于原北京石油学院油气储运专业; 长期在石油大学从事油气储运教学与科研工作。地址: (102249)北京市昌平区府学路石油大学。电话: (010)62342839。E-mail: yangxiaoheng@sina.com.cn

字批准的法律——49USC 修正案,即“2002—管道安全改进法”,完善了管道安全的国家法律—行政管理部门法规—规范体系,加强了对油气管道安全管理的要求和监管力度。根据美国运输部(DOT)管道安全处(OPS)的新规章,油气管道必须在规定期限内完成识别管道通过的 HCA 地区(High Consequence Area,即指管道泄漏可能产生重大有害影响的地区),制定完整性管理程序。对不同类型、不同条件的油气管道,规定了不同的基线评价完成时限及完成率。OPS 将对业主提供的完整性管理程序进行检查。这说明政府加强了对油气管道完整性管理的要求和监管力度,油气管道的完整性管理已进入了依法实施的阶段。

## 2. 实施以风险评价为核心的现代安全管理,开发了多种油气管道风险评价的模型和软件

国外不少石油公司都开发了管道系统的风险评价模型和软件,评价方法很多,复杂程度各不相同,简单的只有 20 多个变量,复杂的则变量多达 200 个以上。美国学者 W. Kent Muhlbaueer 在 20 世纪 90 年代初提出的风险评分法(EST),将管道数据统计资料与有经验的工程技术人员及专家的意见相结合,对各种危害安全的因素及可能的后果进行了逐项评分。这种方法在 20 世纪 90 年代中期得到了较多应用。其后,英国、美国、加拿大和挪威等国的公司力图将风险评价定量化,尤其是在涉及人员伤亡方面提供更为科学的结论,获得了各方面的高度重视。此项工作还在不断完善中。英国 Advantica 公司在多家管道公司的支持和协作下,通过统计分析大量资料及进行灾害模拟试验,对天然气管道的危害因素进行概率分析,对事故后果进行了量化描述。在这些工作的基础上建立了输气管道量化的风险评价技术。其专家系统分析软件 PIPESAFE 已经应用于英国及世界多个国家的高压天然气管道,其量化分析技术可以提供更为科学的结论。

## 3. 重视资料及数据积累,建立先进的信息管理系统,为准确的风险评价、完整性管理打下基础

资料数据的准确性及完整程度会影响到风险评价的结果:诸如风险定位、排序及对重大风险的辨识。因此,资料数据的完整性是管道完整性管理的关键部分。所需数据的种类、数量随着采用的风险评价方法不同、要达到的要求不同而有所差异。在 ASME B 31.8 S 的附录 A 中,针对输气管道的 9 种危害因素,分别列出了所需数据的种类。API St. 1160 也对所需数据种类及其来源做了详细说明。除

了从设计文件、材料及施工、验收与试压报告、运行和维修记录、事故报告等得到,还包括输油气管道路径由地区、特别是 HCA 地区的资料。现役管道还需要由管道内检测、防腐检测、开挖验证等获得管道完整性数据。

美国、西欧和加拿大等国家和地区很重视油气管道事故统计分析,包括对事故统计、分类,原因分析,泄漏的影响,事故率及其变化趋势等。美国收集、整理了北美地区  $6 \times 10^4$  英里(96561 km)管道过去 10 年的数据。欧洲天然气工业技术协会建立了“欧洲天然气管道数据库”,收集了欧洲 9 个大型天然气公司 1970 年以来的历史数据。欧盟的 CONCAWE 公司从 1971 年开始收集 17 个西欧国家输油管道事故资料,进行统计、分析,并定期公布结果。2002 年发布了“西欧石油长输管道 30 年性能统计”,对 1971~2000 年的输油管道事故资料做了详细分析。加拿大能源管道联合会(CEPA)建立了应力腐蚀数据库,收集了相当广泛和详细的应力腐蚀和腐蚀事故资料。这些工作为量化风险评价提供了准确的基础数据。

## 4. 油气管道完整性管理的主要环节

油气管道的完整性管理经过最近几年的研究和实践已日趋成熟,得到了广泛应用,形成了技术标准。

API St. 1160 中管道系统完整性管理程序的框架环节<sup>[2]</sup>见图 1。管道完整性管理程序的各个环节都有其特定的含义和内容。

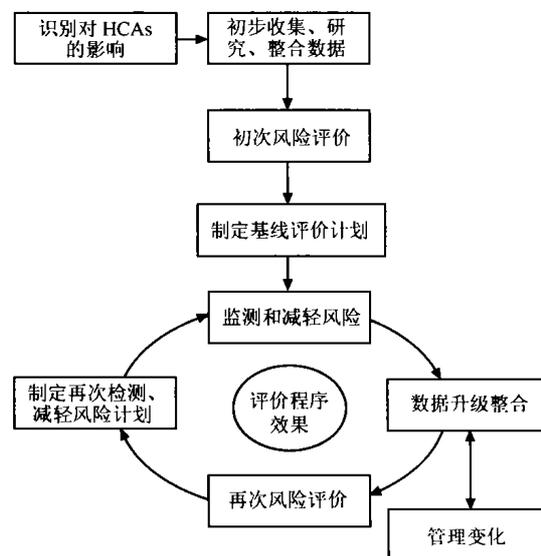


图 1 管道系统完整性管理程序框架环节图

保证资料及数据的完整性是关键环节。不准

确、不完整的数据会给评价结果带来误差和不确定性,甚至产生错误。与管道运行条件及环境条件有关的数据也会随时间变化。必须对收集的数据进行研究分析和整合。

初步风险评价是在较少的数据资料的基础上进行的,需要根据资料的数量、质量情况,选择合适的评价方法。通过初步评价得到管道系统重大风险的性质和定位,筛选出应优先进行完整性评价的管段。

基线评价实质上是初次的管道完整性管理过程。其内容包括初次进行数据收集、风险评价、管道检测、完整性评价、提出预防和减轻风险的措施。基线评价计划要确定:检测什么、怎样检测及何时检测?可以采用的检测方法有在线内检测、试压或其他技术的综合应用。完整性评价包括评价检测结果、评价管道缺陷的类型和程度,分析并确定管道完整性情况。根据风险评价的结果,优先对风险较高的管段实施预防和减轻风险的措施。一般情况可根据效益/费用比来选择较优者,同时还要考虑到不能遗漏对重大风险的控制。管道完整性管理程序要求制定基线评价计划并由运输部管道安全处(OPS)检查。因为它是完整性管理的基础,其重要性是明显的。

通过管道系统的性能测试和审计相结合得到对完整性管理的效果评价。

管道完整性管理是一个连续的、循环进行的管道监控管理过程。需要在一定的时间间隔后,对数据升级,再次进行风险评价、管道检测、完整性评价及减轻风险措施,以反映管道目前的实际情况并进一步改善管道安全性。

### 5. 油气管道完整性管理已取得良好的效果及巨大的社会效益

CONCAWE 公司统计的西欧 17 国现役长距离输油气管道 2000 年总长约  $3.08 \times 10^4$  km, 42% 的管道运行已超过 35 a, 趋于事故多发阶段。由于重视安全并采取了各种措施加强安全管理, 泄漏事故率已从 30 年前的  $1.2$  次/ $10^3$  km·a 下降至 2000 年的  $0.25$  次/ $10^3$  km·a, 虽然管道总长度比 70 年代初期增加了近 2 倍, 但每年的泄漏次数却下降了 30%。<sup>[5]</sup> 意大利 SNAM 公司经营  $2.9 \times 10^4$  km 的天然气管网系统, 其中包括输气干线与支线。有的运行已超过了 50 a, 80% 管网受到杂散电流的强烈影响, 大部分运行压力高于 2.4 MPa。SNAM 公司实施了完整性管理策略, 使系统保持高度安全及低成本, 节约了 1/3 的维修费用<sup>[6]</sup>。加拿大的多家管道公司也因为

实施完整性管理, 确保了管道安全运行并降低了管道的运行维护费用。

## 三、逐步推行我国油气管道的完整性管理

近 10 多年来, 我国在油气管道安全的观念、立法及管理等方面有了很大进步。国家和中国石油天然气总公司颁布的许多安全法规、管理规范都逐步或已经与国际接轨, 但还没有对油气管道完整性管理提出明确要求。

管道工程的设计、施工质量是保证系统本质安全的关键。近年已建和在建的陕京输气管道、“西气东输”干线、兰成渝成品油管道及陕京二线等工程, 都按照国家安全生产监督管理局的要求进行了安全评价。已普遍开展了管道工程可行性研究的安全预评价, 包括火灾、爆炸危险性、管道风险评价、输气系统可靠性、管材可靠度评价及环境健康影响分析、职业卫生评价等。工程验收安全评价也已开始实行。

对现役管道实施完整性管理还存在着种种困难: 我国油气管道事故分析统计数据分散且不完善, 多数管道未进行内检测, 在役管道的完整性数据不全等。

实施管道完整性管理并逐步完善, 以提高管道系统安全水平, 是当前面临的紧迫任务。为此, 提出如下建议。

### 1. 建立和健全我国相关的规范、标准, 加强对管道完整性管理的技术支持力度和监管力度

通过制定新规范, 修订及整合不适应现在情况的原有规范, 或等同采用国外规范等途径, 建立和健全有关管道安全管理的技术规范及管理章程, 使企业在计划、实施、修订完整性管理程序时有法可依, 有章可循。使国家行政职能机构能够依法进行安全监察管理。

### 2. 根据我国实际情况, 对不同时期、不同条件的管道, 制定不同层次的、分段实施的完整性管理计划

国外多家石油公司的实践表明, 管道在线内检测是获得管道完整性数据最好的来源。但全面实施内检测工艺还存在很多困难。在美国, 目前能进行内检测的管道中 80% 是液体管道, 大约 70% 的输气管道不能进行内检测。到 2000 年 11 月, 只有总长 37% 的管道进行了内检测<sup>[7]</sup>。我国能够或已经进行过内检测的管道比例就更少了。其他的基础工作, 如事故的统计分析, 有关资料及数据库等也不完善。多数情况下, 要进行量化风险评价困难很大。对此

可据不同情况,分阶段实施不同层次完整性管理。

(1)在新管道建设过程中,要认识到管道规划的前期工作及可行性研究阶段对于管道本质安全的重要性,深入调研和进行多种设计方案比选,保证推荐的路由、工艺、设备及自控等方案技术经济合理而且安全可靠。坚持做好对可行性研究报告的安全预评价,指出主要危险因素及重大风险,评定该工程能否满足安全要求,并补充必要的安全对策及建议。认真贯彻工程建设招投标、施工监督及管道焊接质量的第三方检测等制度,保证施工质量,确保管道系统的本质安全。做好工程的安全验收评价,为今后的安全管理打下良好的基础。

(2)对近年新建成的大型管道,在已有设计资料、安全预评价、工程验收安全评价基础上,及时制定数据收集、基线评价、完整性管理程序的计划并逐步实施,使其管理逐步达到国际先进水平。

(3)对运行多年的老管线,实施在线内检测有各种困难,可以采用直接评价法或其他技术来评价管道的完整性<sup>[3,7]</sup>,通过对管道系统或某些管段的物理特性和运行历史调查、腐蚀及防腐检测和评价等来得到管道完整性的资料。应重点做好管道外腐蚀情况、防腐层损伤及阴极保护系统的检测,对有内腐蚀危害的管道则重点检查易于腐蚀的管段。通过应用专家评分(EST)等风险评价方法,重点进行风险排序工作,确定管道潜在的重大风险段,据此制定降低风险措施及视情维修计划。用风险管理的方法代替传统的安全管理方式,保障管道安全。

### 3. 加强管道安全科研及其成果应用,提高安全科研水平

国外风险评价方法及数学模型都是在理论分析和模拟试验的基础上,通过对大量数据的统计分析,逐步建立起来的,并且还在不断完善之中。虽然我们可以借鉴和应用国外的研究成果,但有关基础数据、评价标准等还必须补充适合我国国情的内容。一方面要将前一阶段对风险评价、可靠性评价、安全评价技术等的研究成果系统化,逐步用于工程实际。同时需要加强对基础数据的收集、统计和分析,深化对数据完整性、评价标准等基础工作的研究。例如对事故统计,除了应加强事故上报的要求,对于原因分析、趋势分析、各种损失的大小和概率、对环境影

响、事故率统计等都应有与国际接轨的统计要求。对风险评价中可接受的事故水平、管道相对风险评分等级、管道腐蚀程度划分、维修或更换管段的依据、HCA地区的划分等都应借鉴国外标准并根据我国情况来确定。此外,引进国外先进技术,如防止第三方破坏的安全预警系统等,也对提高安全水平有着重要的作用。

### 4. 选定典型管线进行完整性管理试点,总结经验后逐步推广

选定不同类型的管道,进行完整性管理试点。组织各方面力量,集中帮助解决实施过程中各种问题,定期总结经验教训,提高职工的现代安全管理素质,为全面推广实施完整性管理打下基础。最近,北京华油天然气公司制定的陕京输气管道完整性管理程序已经通过评审,正在试行,这将为逐步推行提供经验。

虽然我国目前还没有法令规定油气管道必须实施完整性管理,但面对经济全球化的挑战,贯彻以人为本原则的前提下,必须提高我国油气管道的安全管理水平。为此,有必要制定长期规划及近期计划,以点带面地分阶段地实施油气管道的完整性管理。

### 参 考 文 献

- 1 潘家华. 我国近期油气储运事业的发展及几点建议. 全国油气储运技术交流研讨会, 2002年12月
- 2 API STANDARD 1160: Managing system integrity for hazardous liquid pipelines. 2001
- 3 ASME B 31.8 Supplement - 2001 Managing system integrity of gas pipelines
- 4 Marty Matheson *et al.* New API standard to promote integrity for liquid pipelines. Pipeline & Gas Industry, 2001;(8)
- 5 CONCAWE (2002). Western European cross-country oil pipelines 30 year performance statistics. Report No. 1/02
- 6 E Bini *et al.* Cost-saving strategies for pipeline integrity. Pipes & Pipelines International, 2000;9-10
- 7 Bruce Phillips P E. How to ensure integrity in non-piggable pipelines. Pipeline & Gas Journal, 2001;(10)

(收稿日期 2004-07-07 编辑 居维清)