

# 油田在役油气管道 完整性管理技术及实施策略

林守江

(天津嘉信技术股份有限公司 天津 300384 )

**摘要** 管道完整性管理在我国长输油气管道上的实施已经成效显著了,但在油田的油气管道上仍然处于初级的探索阶段。借鉴已经相对成熟的长输管道完整性管理的实施,通过在油田管道上的实施,力图提高油田在役管道的安全管理水平。本文阐述了实施油田管道实施完整性管理所需的关键技术,并对开发适合油田生产实际的完整性管理系统提出了建议。

**关键词** 油田管道、完整性管理、完整性检测、完整性评价

## 1. 引言

油田在役油气管道的运行安全是地面工程生产环节中的关键。然而,在地面工程领域,由于所属的管道数量众多、管道建设和运行的时段跨度大,历史上管道管理维护的欠账过多,企业投入不足,相关的技术经验不足等历史和现实的原因,在管道的安全管理方面面临着巨大的挑战。具体表现为:油田在役油气管道的管理理念仍停留在重建设轻管理、重抢修轻保护、多更换少维修的水平上;在运行管理上,油气管道的阴极保护设施运行效果差、很小部分管道实施了运行状况的检测。即便实施了检测的管道,腐蚀检测项目也仅仅停留在外防腐层的检测上、检测工程质量良莠不齐,检测结果没能有效地应用在管道的维修管理上。所有这些致使管道安全运行管理的工作严重滞后,不能将油气管道的安全运行管理隐患消灭在萌芽状态上。致使油气管道事故多发、管道的有效服役寿命过短,地面工程的投资过度集中在管道更换和抢修上,导致地面工程的投资效益低下等等。

如何在确保安全运行的前提下,尽可能降低管道的运行费用,提高油气生产的效益,成为油田油气管道安全生产与管理环节的关键问题。在油田的油气管道上通过实施完整性管理,能够有效地提高管道的安全管理水平,进而为油田企业创造更高的经济和社会效益,已经成为管道管理者的普遍共识。与长输油气管道相比,油田的油气管道有如下特点:一是种类多、数量大;其二是保护措施有效性普遍较差;其三是管理投入力度相对较弱;其四是环境差异性相对较小。如何根据各种管道安全管理方法的特点,并结合油田管道和环境条件,创造性地建立起适合油田地面工程、满足油气管道完整性管理的技术方案,是技术上首先考虑的问题。

## 2. 管道完整性管理的实施方法

随着我国管道技术及管理水平的不断发展和提高,近年来,相关行业广泛地引进了管道完整性管理的概念,结合我国的管道行业实际,进行了卓有成效地探索和努力,取得了令人鼓舞的成绩。为保证长输油气管道运行的安全、提高企业的经济效益提供了有力的保障。完整性管理已经成为油气管道工程领域的研究热点,在充分借鉴国外相应实施标准的基础上,通过应用实践,力求全面建立适应我国国情的评价体系和管理制度。特别是在长输油气管道领域,已经

制定了一系列完整性管理的政策法规，各个企业也根据自己的管道实际，开发出管道完整性管理流程和多种管理工具。通过实施完整性管理，有效地改善了管道的安全运行状况。

从技术角度上看，针对在役管道安全与风险管理的技术可分为两个体系：一是以适用性评价等多项技术为核心的管道完整性管理技术；二是以风险评价技术为核心的风险管理技术。两类方法的思路相同：识别/检测→评价→措施，并且都需要检测。管道完整性管理是一种主动预防的管理方法，是先进管道公司管理经验的总结，已被国际上众多管道公司所采用。而风险评价主要是在管道的运行期间进行的，更注重管道当前的安全状况，且考虑管道发生失效事故的后果，但目前有两类方法逐渐融合到完整性管理的趋势。管道完整性管理强调对当前管道可能存在的风险进行识别、风险评价，对不同的风险及后果应用风险接受判据，采取有针对性的风险控制措施，使风险减低到可以接受的程度。此外，完整性管理的思路还十分注重管理过程的持续性，强调在管线整个生命期的设计、建造、运行直至报废等各个阶段都要进行持续不断地管理过程。从实施方法的角度来说，在役油管道的完整性管理，是通过陆地对地、海底管道失效原因调查、失效概率，建立管道失效数据库，构造适用于风险评价的计算模型，已形成了一系列以适用性评价、风险评价为核心的管道完整性管理与风险管理技术，制定了实用性强的管道安全管理与风险控制方案，将在役油管道的运行、查缺和预险的发展置于管道公司的日常监管之中，定期地进行检测，做到有计划地、针对性地维修，从而避免了油气管道的大量、突发性事故，在管理中取得了重大的经济、社会效益。

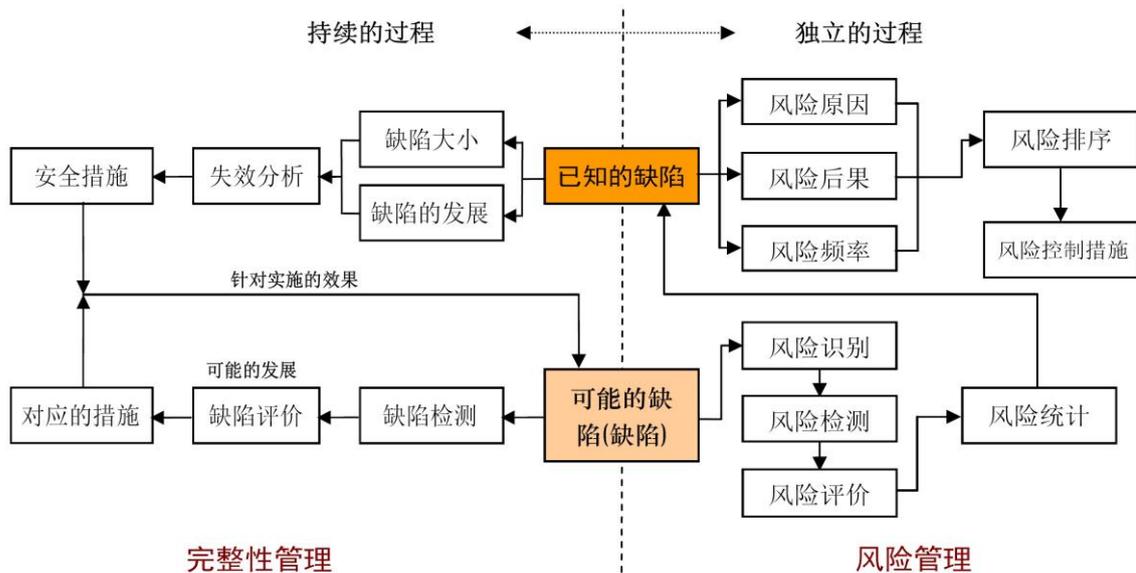


图 1 完整性管理与风险管理的关系

目前,在中石油体系借助其所属的管道科技研究中心等内部技术力量,从 04 年起通过近 10 年的研究和应用,已经在长输油气管道上全面推广实施完整性管理技术。已经掌握了支持管道完整性管理的核心技术,如管道数据管理技术(基于 GIS)、风险评价技术、检测技术、完整性评价技术和各种维抢修技术,并且成立了专业的团队,建成了管道完整性管理体系和信息化系统,实现了管道数据的集中管理存储和完整性管理业务流程的信息化。

国内管道行业在推广实施管道完整性管理时普遍存在以下问题:

- 1) 大量管道数据资料未能有效管理,丢失或分散的情况普遍,使得管道完整性管理的基础工作

- 历史数据难以开展;
- 2) 管道完整性管理前期投入过高, 管道公司需要较大的决心来持续推动;
- 3) 大量支持技术需要管道企业逐步掌握和发展, 简单地引进技术往往不能适应企业的实际, 无法满足实际需求来发挥应有的成效;
- 4) 目前的管道数据管理水平远远不能满足生产实际要求。

### 3. 油田油气管道实施完整性管理的关键技术

#### 3.1 基于风险的管道检测技术及其实施策略

基于风险的检测 (RBI) 是以风险评价为基础, 用于对检测方案进行优化安排的一种检测方法, 是完整性管理的重要实施技术。基于风险的检测, 是将检测的重点放在高风险和高后果的管道上, 而把适当的力量放在低风险的部分。在特定的检测活动水平、管理投入的磁力物理有限或管理对象过多等客观条件下, 基于风险的检测更有利于降低整个系统的管道运行风险。

而对于油田的油气管线, 绝大多数不具备实施内检测的技术和经济条件。实施管道外检测则成为必然的选择。检测的重点在腐蚀损伤上。主要的检测评价技术又称为腐蚀直接评价 (DA) 技术。一般包括三种直接评价技术, 即: 外腐蚀直接评价 (ECDA) 技术、内腐蚀直接评价 (ICDA) 技术, 和应力腐蚀评价 (SCCDA) 技术。相比之下, 外腐蚀直接评价方法较为成熟。美国外腐蚀直接评价标准为 NACE SP 0502, 最早版本在 2002 年公布。对应的国内标准为 SY/T 0087. 1-2006。

- 结合行业标准, 实施基于风险的管道检测项目具体可概括为下列几项内容:
- 调查管线系统中管段和设施, 识别出具有高风险的管段部位或装备所在。
- 对管线系统各个管段, 进行风险评价。
- 根据风险评价结果, 对管线系统的各个管段进行排序。从充分降低风险及适当增加检测活动的水平及频率(概率)两个方面考虑, 得出优化的最佳检测程序。
- 应用适当的检测程序以降低管线系统的总风险, 并节约财力、人力, 将检测和维修的主要精力用于高风险的管段及装备上。
- 基于检测, 提出加强风险控制、改进风险管理的措施。

#### 3.2 风险的识别和管道检测的具体实施项目

管线系统缺陷的检测评价是管线系统完整性评价的重要内容之一。同时, 管线系统检测程序的优化安排又是风险管理中降低总风险、节约资源的重要措施。因此, 对于管线系统的风险问题, 不仅需要研究风险评价、风险控制, 而且还需要研究风险检测。

##### ● 土壤腐蚀环境的检测

经典的土壤腐蚀性评价方法有“失重法”和“最大孔蚀深度法”, 方法虽然直观, 又能较精确地反映土壤的腐蚀性, 但受实施条件的限制, 特别是试片法要等待较长的时间, 实施起来不是很方便。实际工作中往往依据历史资料结合当前管线条件, 对能使管线产生腐蚀的主要因素进行检测, 来评价土壤的腐蚀特性。

土壤电阻率是表征土壤导电性能的指标, 常用作判断土壤腐蚀性的最基本参数, 采用四极法的电阻率测试仪。采用参比电极法测量氧化还原电位、自然腐蚀电位是经常使用的判断土壤腐蚀性主要方法。此外, 测定土壤及水的 pH 值和含盐量是调查土壤腐蚀性的辅助方法。

### ● 防腐层完好状况的检测

外防腐层的检测是当前易于开展、技术相对成熟、检测成本较低的项目，也是其它检测项目的实施基础，应用的仪器也具有较多的选择。从方法上划分，可分为漏点检测、防腐层绝缘性能检测两类。采用的方法主要有地面电场法、电流梯度法等，对应的检测仪器有 RD-PCM、防腐层漏点检测仪、DCVG 和变频-选频仪等。

### ● 管体腐蚀损伤检测技术

管体腐蚀损伤的检测是评价腐蚀现状最为直观准确的方法，但由于对管体的检测往往需要对管道进行开挖，常规采用超声测厚方法，但当管道内部结垢或管径过小时往往有较大的测量误差。作为补充可以采用最大腐蚀坑深度测量。对于非点蚀的情况可以采用辅助工具，往往会得到满意的测量精度。

### ● 环境的电性干扰检测技术

杂散电流干扰给管道和设施造成的危害已得到了重视和研究，我国也制定了一系列行业标准，给出了解决电性腐蚀的方案，技术要求也相当明确和完整。由于当时在检测设备方面尚未有适用现场作业的测定专用设备，一般是在电工等通用仪表中选择使用，检测手段也较为单一和缺乏效率，直接影响了治理方案的有效实施。近年推出的杂散电流检测仪 RD-SCM 是一个不错的选择。SCM 能够检测出管道上阴极保护电流分布状况，也能精确测量出管道杂散电流的流入/流出点。对于检测和评定管线上保护电流给其它管线造成的干扰，从而制定出治理杂散电流干扰方案，是一个既安全又快速的技术手段。

### ● 阴极保护状况的调查

检测管道阴极保护效果的传统方法是测量保护电位。对于防腐层状况较好的管段可采用 P/S 管地电位测量，而对防腐层较差的管段应采用密间隔（CIPS）测量通/断电位的分布状况，用以评判保护效果。对于土壤电阻率较高的地区，应采用 CIPS 测量 P/S 电位以有效地消除 IR 降对测量可靠性的影响。

## 3.3 基于风险的管道检测的具体项目实施方法

对油田油气管道来说，合理选择检测方法来评价管线上的缺陷，必须采用有效的检测方法与工具。这就需要针对不同缺陷的特点，合理地选择不同的检测方法与工具。

### ● 正确制订检测方案问题

为了正确地制订检测方案，首先要解决在整个管线系统中，各个管段的检测的排序先后问题。这就需要采用“依次优先检测法”。这种方法是根据管线系统风险评价的结果，依各个管段的风险的高低，自风险高的至风险低的依次排出顺序，然后，检测即按照这个顺序进行，优先从风险高的管段开始。显然，这样做，符合经济原则的检测方案。

### ● 充分利用检测结果

管线的缺陷检测是管线系统的安全性与完整性评价的基础和前提。因此，充分利用检测的结果，为系统的安全性与完整性评价提供依据是很重要的。例如可充分利用管线腐蚀区的缺陷测量数据及管材的力学试验数据，对管线的剩余强度进行评价；充分利用检测取得的裂纹缺陷尺寸及裂纹超越数等数据，进行管线经济寿命的评价。总之，检测结果来之不易，必须充分发挥它的作用，为管线的完整性、安全性评价做贡献。

## 3.4 管道完整性管理中的评价技术

### 1) 管道的腐蚀直接评价

油气管道的腐蚀是威胁管道完整性的主要因素之一，有效地控制腐蚀是建立在有效的检测手段和准确的评价方法之上的。管道的腐蚀直接评价是对于国内众多不能进行内检测、内腐蚀不严重的管道，通过间接检测手段采集数据，评价管道的各种腐蚀，进而得出管道完整性信息是十分有效的。管道腐蚀直接评价是一个周而复始的循环过程。一般包含四个步骤：预评价、间接检测、直接检查和后评价的过程。

### 2) 管线的风险评价

从技术的发展过程上看，国外管道风险评价研究的三个阶段，即定性评价、半定量评价和定量评价。

#### ➤ 定性评价阶段

定性风险评价的主要作用是找出管道系统存在有哪些事故危险隐患，诱发管道事故的各种因素以及这些因素对管道系统产生的影响程度并且在何种条件下会导致管道失效，最终提出控制管道事故的措施。其特点是不必建立精确的数学模型和计算方法，评价的精确性主要取决于专家经验的全面性、划分影响因素的细致性、层次性等。传统的定性风险评价方法主要有风险检查表（CL）、预先危害性分析（PHA）、危险和操作性分析（HAZOP）、故障树分析法（FTA）等。定性评价可以根据专家的观点对所研究和评价的管道按风险强弱给出高、中、低的相对等级，操作简单，具有直观、简便、快速、实用性强的优点。

#### ➤ 半定量评价阶段

半定量风险评价以风险的数量指标为基础，对管道事故损失后果和事故发生概率按权重值各自分配一个指标，然后用简单的计算方法将对应事故概率和后果严重程度的两个指标进行组合，从而形成一个相对风险指标。最常用的半定量评价模型是专家打分法，其中最具代表的是肯特指数评价模型，该模型已成为世界普遍采用的管道风险评价模型。国内外大多数管道风险评价软件也都是基于它提出的基本原理进行编制的。

肯特指数评价模型将风险评价指标分为腐蚀、第三方破坏、操作不当和设计因素四个方面共 60 多个变量，通过对管道运行期间发生事故的统计，可以对管道的风险概率和后果进行定量的评价。同时，模型中的变量不是一成不变的，设计者强调应用者可以也应该根据应用环境的实际，对模型中的考虑风险因素及其分配的权重做出必要的调整，以适应评价对象的特定环境。

#### ➤ 定量评价阶段

定量风险评价（Quantitative Risk Analysis）是目前国外管道风险评价界正在大力研究的评价技术，是风险评价的高级阶段。它基于对失效概率和失效结果的直接评价，通过预先给失效概率和事故损失后果都约定一个具有明确物理意义的单位，并将产生管道事故的各类因素处理成随机变量或随机过程，对单个事故概率的计算得出最终事故的发生概率，然后再结合量化后的事故影响后果，计算出油气管道的风险值，需要综合运用结构力学、断裂力学、化学腐蚀等各种工程理论，其评价结果是最严密和最准确的。

## 4. 油田在役管道完整性管理的实施

油田油气管道完整性管理系统的开发技术路线是：以管道腐蚀损伤的风险控制为实施完整性管理的重点，以外腐蚀直接评价（ECDA）为数据采集、安全评价的主要管道风险检测评价技术手段，实施基于风险的检测和评价。应用管道风险识别、风险评价、管道适用性评价、管道腐

蚀检测、管线及场站空间数据信息等技术方法，以油田地面工程地理信息系统（A4）、防腐保温数据库、管道风险管理决策支持系统数据库为数据依托，通过对油气管道实施基于风险的检测和评价、以及对不同管道类型、材质、防腐类型、施工年代类型、管道铺设地域类型的统计分析，得出适用油田的管道完整性管理的风险管理技术。实现基于管道风险管理、以管道腐蚀状况检测和评价为主要技术手段的管道完整性管理技术体系。通过实施完整性管理，实现油田油气管道安全运行管理和有风险管道完整性管理。在管道的维修环节，生成有针对性的管道维修方案和计划，为地面工程的大修计划的制定，提供决策依据和技术支持，达到全面提升油气管道安全运行管理水平。

### 4.1 油田油气管道完整性管理系统的功能

实施油气管道完整性管理要依靠强大的信息系统支撑。实行油田重要管道的完整性管理，是一个综合性管理体系以及腐蚀检测及评价的技术工作。通过一定技术手段对可能存在的对管道安全造成影响的危险点进行识别、改进和预防来避免事故发生，使管道始终处于完整良好状态。系统所涵盖的腐蚀因素分类、防腐技术手段以及相关的数据管理得到组织和关联。

完整性管理系统的采用分层结构，从需求分析、功能设计、详细设计、功能实现以及具体应用等环节力求与现有的地面工程数据资源进行整合、空间数据共享，保证系统的数据从采集、录入数据质量控制、数据应用等方面，最大限度地应用数据共享平台的现有数据资源，并为结果数据提供共享平台上其他系统应用的接口。从而减小数据收集的成本，从而提高系统的应用效率。

完整性管理信息系统要结合油田埋地管道的管理实际，以 ASME B31. G、API 1160、RESTRENG、DNV RP-F101 等成熟的评价标准为模板，参照国内长输油气管线完整管理的技术规程，建立油气管道的完整性管理的体系结构。

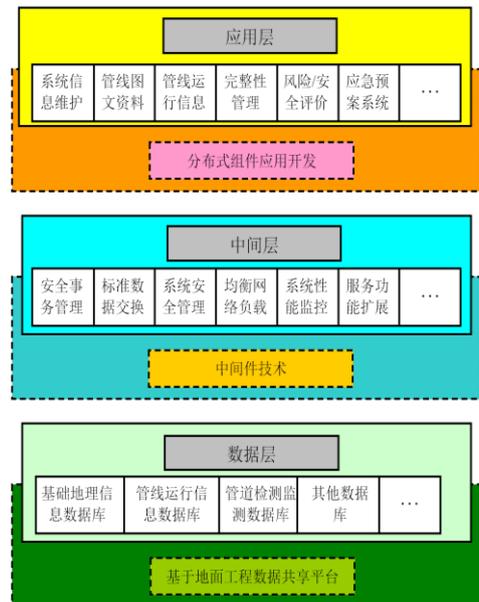


图2. 油田管道完整性管理系统层次结构

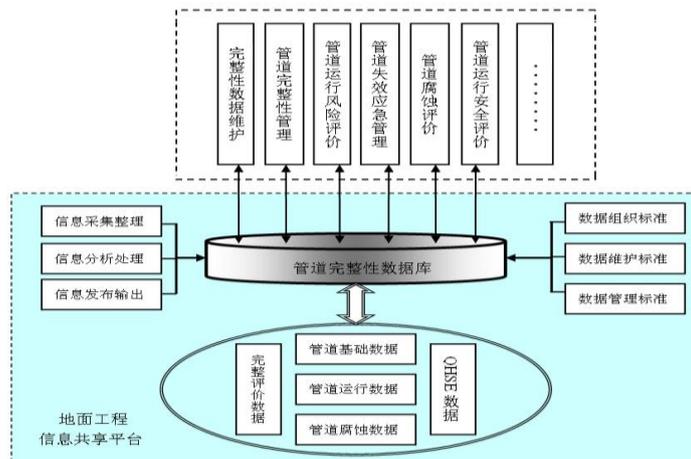


图3. 油田管道完整性管理系统体系结构

在油气管道风险识别环节,运用管道完整性管理的多种技术方法,对油田油气管道的腐蚀危害、自然及地质灾害进行危险度分区评价及危险性分段预测,形成了一套简便实用的基于GIS系统的管道区域地质灾害危险性评价方法体系。借助管道完整性管理体系提出油田油气管道的腐蚀、地质灾害监测与防治对策,开发出包含:管道油气管道腐蚀、第三方破坏、地质灾害信息的完整性数据库,结合油田管道完整性管理的实践经验以及企业的管理实际,应用完整性管理系统,在完整性管理的文件体系指导下,生成各种管理表格,编写了适合管道地面工程管理人员、管道维护人员、巡线人员使用的管道地质灾害野外管理手册,使技术管理、风险管理、QHSE管理三者实现有机结合,既能相互补充,又能相互制约,真正实现管道管理水平的大提升,从而为管道的安全生产提供有利的管理和技术保证。

## 4.2 油田油气管道完整性管理实施方法的建议

实施油田油气管道完整性管理系统项目的具体建议是:

(1) 在参照国际上的管道完整性管理规程,依照国家和行业的完整性管理规范的基础上,充分借鉴国内成功实施完整性管理的长输油气管线的成功做法,开发出符合油田实际的油气管道完整性管理技术体系,编制出相应的完整性管理的文件体系。

(2) 在数据采集环节,利用油田地面工程地理信息系统平台的管线和环境数据、防腐保温数据库系统的管道腐蚀与防护数据,整合油田地面工程系统的其他与管道运行有关的各种数据源,形成油气管道完整性管理的基础数据;

(3) 运用集成管道腐蚀检测及评价(包含PCM检测、DCVG/CIPS检测等)等检测技术方法,采集油气管道风险的检测数据;

(4) 应用包括外腐蚀直接评价技术(ECDA方法)、基于风险检测的管道风险管理技术(PRM方法)等评价方法,完成油气管道腐蚀及安全可靠性评价,得出管道腐蚀损伤的数据。

(5) 基于肯特风险评价模型以及油田在役油气管道风险预警系统、油田防腐保温数据库、压力管道安全检测(剩余强度评价)、土壤腐蚀调查等前期研究成果,构建出一套相对完整,适宜于生产管理实际、可以实施的在线评价方法,并建立起一个能够具有预测功能的油田埋地管道运行管理的完整性管理信息系统。

## 5. 结束语

实施油田管道完整性管理,不仅涉及到完整性管理的技术问题,更是油田管道管理理念的一次飞跃。在开展完整性管理的过程中,管理流程和管理理念的改变是能够成功的关键。在推动管理流程和管理理念的变革过程中,提升现有管道管理的各项规程是极为重要的。编制适合生产实际的油气管道安全管理和检测管理规程,在整个油田推广,以规范全油田的管道运行管理、维修计划、工程实施、质量控制、数据库数据更新,以及管道腐蚀与防护的检测工程的技术实施等环节,逐步推广和应用管道完整性管理的先进管理理念,提高全油田的管道管理水平。

## 参考文献

- [1] 董绍华:中国管道完整性管理进展与陕京管道实践 2012年10月
- [2] Bruce R. Nelson, Pipeline integrity: Program Development, Risk Assessment and data management,
- [3] 张泽文:天然气管道完整性管理,北京石油管理干部学院学报 2008年5期
- [4] Mo Mohitpour,《Pipeline Operation & Maintenance a practical Approach》,2005