

输气管道内腐蚀直接评价方法

赵学芬¹, 赵忠刚², 陈学锋³, 刘学虎⁴

(1. 重庆科技学院石油工程系, 重庆 400042; 2. 中国石油天然气管道局研究院, 廊坊 065000;
3. 西南油气田分公司长输管道检测评价中心, 成都 610000; 4. 中石化川北采输处, 达县 635000)

摘 要: 近年来管道完整性管理在中国正受到广泛的重视, 基于完整性管理的内腐蚀直接评价(ICDA)也将逐渐得到关注。此文对干气输送管道内腐蚀直接评价的原理、评价的过程、应用情况等进行了较详细的介绍。同时也指出了 ICDA 应用的局限性及其存在的问题。

关键词: 管道; 完整性管理; 干气; 内腐蚀直接评价(ICDA)

中图分类号: U178

文献标识码: A

文章编号: 1005-748X(2006)10-0513-05

INTERNAL CORROSION DIRECT ASSESSMENT OF GAS TRANSMISSION PIPELINES

ZHAO Xue-fen¹, ZHAO Zhong-gang², CHEN Xue-feng³, LIU Xue-hu⁴

(1. Petroleum Engineering School of Chongqing Technology Institute, Chongqing 400042, China;
2. China Petroleum Nature Gas Pipeline Bureau, Langfang 065000, China; 3. Long-range Pipeline Inspection and Assessment Center of Southwest Oil and Gas Field Subsidiary Company, Chengdu 610000, China;
4. North Sichuan Collection and Transmission Department of China Petroleum Chemistry, Daxian 635000, China)

Abstract: As the progressive attention is paid to the integrity management of pipelines in China, internal corrosion direct assessment(ICDA)based on integrity management is concerned due to its unique advantage. The importance, principle, process and application of ICDA to dry gas transmission pipelines were introduced. The limitation and existing problems with the application of ICDA were also discussed.

Key words: Pipeline; Integrity management; Dry gas; Internal corrosion direct assessment (ICDA)

我国各主要气田逐渐进入了开采的中后期阶段, 采出天然气的含水量、二氧化碳和硫化氢等腐蚀性介质的含量都逐渐增加, 这都将加速集输管线内壁的腐蚀程度。内腐蚀可能导致气体渗透, 或结构强度降低, 使得输气系统的安全和有效寿命受到限制, 所以对于管道剩余寿命评估和老化管理计划的制订都应该考虑到内腐蚀的影响。鉴于此, 在内腐蚀行为发生前就预测出它们的位置并能定量评价是非常必要的。

管内壁的腐蚀通常是难以检测的。这是由于检测工具不易进入管道内部, 于是传统上通常采用在线检测和压力测试, 但是二者无论是在应用成本还是在使用便捷方面都存在一定的局限性^[1,2], 比如由于管线的机械和几何约束阻碍了在大部分管道中应用在线检测, 可能只有 50% 的输气管道可以使用在线清管检测^[3]; 此外, 还有些检测管道壁厚的工具(如超声波发射(UT)和射线照相术), 它们都要求

在测量之前开挖和清理管道表面, 从而在整条管线上都进行全线检测是不切合实际的。

为了更加有效地应用这些直接检测方法, 有必要利用新方法识别由管道内腐蚀而导致输气管道恶化的潜在位置, 以协助管道运营者评价输气管道中内腐蚀的潜在危害, 从而对管道进行完整性管理以取得更大的收益。虽然, 美国州际天然气协会 2002 年公布的内腐蚀直接评价方法(ICDA)在这方面已经取得了一定的研究成果^[4], 但是还远远没有达到令人满意的程度。而国内对此项研究还鲜有报道, 进行这方面的研究具有极大的现实意义。

1 内腐蚀直接评价技术

根据 ASME B31.8S—2001 的定义可知, 直接评价(DA)技术是一种结构方法, 它是在由于管道结构复杂使在线检测(ILI)技术不适用的情况下, 通过将流态模拟和管道倾角的分布相结合, 确定管道中最有可能发生腐蚀的位置, 进而判断管段的完整性这样一种方法。内腐蚀评价(ICDA)是在外腐蚀直

接评价研究的基础上发展起来的,其基本过程与外腐蚀直接评价一致,综合利用收集到的资料 and 检查、检测、计算等的结果来判断内腐蚀是否已严重影响钢质管道的物理完整性,从而确定对腐蚀缺陷实施修补和防护的措施。

通常在含有腐蚀性介质的环境下,水的存在是发生腐蚀的必要条件,而干气输送管道内的局部低洼点较易聚集水^[5](如图1所示),而其位置是可以通过输送介质的流动情况和高程分布来预测的。正是根据这个指导原则,可进行内腐蚀检测。内腐蚀直接评价(ICDA)方法主要依赖于精确识别最有可能聚集电解质(比如水)位置的能力,如果沿着管长最有可能积累电解质的位置没有被腐蚀,那么其他不太可能积累电解质的位置也不可能遭受腐蚀。ICDA就是把现有的管道检测方法结合起来,对发生内腐蚀的可能性进行评价的一种新方法。



图1 液体在管道中的聚集

2 内腐蚀直接评价步骤

内腐蚀直接评价包括四个关键步骤:(1)预评价;(2)间接检测;(3)直接检验;(4)后评价。在预评价阶段:风险工程师必须量化潜在的风险威胁,并选择对特定风险直接评价的可靠方法;间接检测阶段:此阶段主要是使用各种无需实际接触管道的方法来了解管道的情况;直接检验阶段是利用直接与管道接触得到的数据(比如超声波测厚计、在线检测(ILD)等);后评价阶段是利用检测方法来量化潜在威胁,以评价前些阶段的有效性。

2.1 预评价

对于ICDA预评价阶段,其主要工作是收集历史和当前的数据,以确定评估区,并对ICDA方法的可靠性进行评估。这些数据通常是从施工记录、操作和维护历史、校正表、具有覆层厚度的高程图、检测记录以及前面完整性评估或维护操作的检测报告中得到的。

输气管道ICDA方法的可靠性是由建立ICDA所依据的管道特征所确定的:当输送的介质是干气时,水的任意短期扰动最终会蒸发成气相。这种特征可以认为允许水的短期聚集,但是不允许在下游

聚集,也就是说导致腐蚀的水应位于流动模拟所预测的位置而不是下游位置。此外,在保证清管的频率应该低于扰动的频率的约束条件下,腐蚀通常会发生在沿线的孤立位置,所以流动模拟参数的范围包括输气管道预测的大多数参数,而不仅仅基于技术性约束。满足上面条件的范围如下:表观气体速度低于7.6m/s;管道直径0.1~1.2m;压力3.4~7.6MPa;管线的温度相对恒定。

就ICDA而言,认为“游离”水是腐蚀电解质的主要腐蚀源,乙二醇和湿气是次要的腐蚀源。另外,含烃冷凝液的液态烃、液压油、润滑油可能影响腐蚀速率,因此也要考虑这些介质对ICDA有效性的影响。此外,还应认识到ICDA方法的应用与管长与距离无关,除非新的介质输入和输出改变了电解质注入的可能性或相对稳定的管流特征。

2.2 间接检测

采用ICDA方法时性能的优劣取决于利用流动模拟结果来识别最有可能聚集电解质位置的能力,即确定管道系统具有高持水趋势区域的能力。

在输送干气的管道中,层状薄膜流动是主要的液态水传送机制,并且任意可能夹带到气体的液滴都要汽化。至于水,未饱和气相中的水滴汽化的原因是液滴有较大的表面积与体积比,水直接与气相接触,接近液滴的气体流速较高;而当处于薄膜流动时,管道底部的液体具有与弥散形成的液滴相比较小的表面积与体积比,于是液体表面的气体速度比较低,低挥发性液体可能遮盖水,抑制蒸发。因而比较而言,层状膜流动条件比薄膜流动有更好的汽化传质特征,即不大可能产生内腐蚀。

可以进行一系列稳态流动模拟计算来预测水聚集的临界参数^[6]。当气体密度由总压力和温度确定后,将模拟结果用改进的佛劳德(Floude)参数表示出来:

$$F = \frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_g} \times \frac{g \times d_{id}}{V_g^2} \times \sin\theta \quad (1)$$

式中 F 表示作用在流体单位面积上的重力与惯性应力的比率; ρ_l 和 ρ_g 分别表示液体和气体密度; g 是重力; d_{id} 表示管道内径; V_g 是表观气体速度; θ 是倾斜角。临界佛劳德数 F 在 $0.5 \sim 2^\circ$ 之间的角度被认为是与层流到紊流的过渡有关。

可以利用下式计算气体密度的可压缩性系数 Z :

$$Z = \frac{PV}{nRT} \quad (2)$$

式中 P 是压力, V 是体积, n 是摩尔数, R 是气体常数, T 是温度。在气态范围, 用缺省值 0.83 来表示气体的压缩性。

假设水一旦进入管道, 就可以利用流动模拟结果预测水开始聚集的位置。水很可能在倾斜管道处聚集, 这是因为剪切应力和重力正好在这点达到平衡。此外, 模拟发现当存在大倾角的管道升至山顶时或者当气体速度具有变化的不确定性时, 将使得识别管段内液体聚集的位置更为困难。

通常用倾角来表示一定长度管道高程的变化:

$$\theta = \arcsin \left[\frac{\Delta(\text{高程})}{\Delta(\text{管段长度})} \right] \quad (3)$$

将所求得的倾角和流态模拟所预测的水聚集临界角进行比较, 大于聚集临界角的第一个倾角即是水将首先聚集的位置, 也就是说这个位置最有可能优先遭受腐蚀。

图 2 的流程图表示 ICDA 评价过程。其中第一个子算法代表间接评价过程, 即识别电解质可能首先聚集的位置。

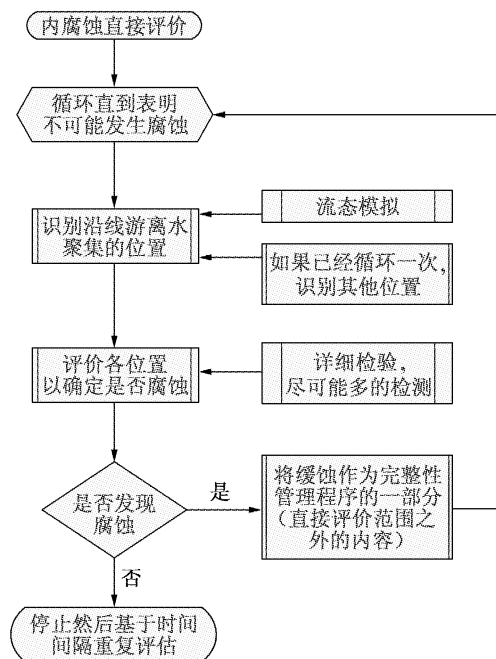


图 2 给定管长的 ICDA 流程图^[5]

2.3 直接测试

ICDA 尚未严格定义直接检测。因为开挖后通常也不能直达管道内表面, 但是可以经比较临界角和真实的倾角定好探坑, 挖开后, 使用腐蚀检测工具在最易于发生腐蚀的位置进行实时监测。对于 ICDA, 最经济有效的方法就是在局部管道上运行一种在线检测工具, 然后根据这个结果评估清管器无法

运行的下游的内腐蚀。这是因为 ICDA 预测的腐蚀更可能是上游的而不是下游的, 上游位置的完整性验证可能得到下游位置的结论。如果确定出最易于发生腐蚀的位置没有发生破坏, 就已经保证了大部分管道的完整性; 反之如果发现腐蚀, 也能辨识出潜在的完整性问题。

为了加强识别内腐蚀检测的充分可信度, 选择多个冗余位置可能是非常有用的; 这个数目在验证后可能会有变化, 也会得到更多的经验。

对于在恒定气体速度下运行的管道, 第一个比临界角大的倾角代表水首先聚集的位置。一般情况下, 下游位置要么不接触水(因为水在上游聚集并蒸发), 要么上游已经充满液体, 随后液体流下来, 它们才会接触水。在这种情况下, 上游位置与液体会有一个更长期的接触期间, 因此应该遭受最严重的腐蚀。对于所有倾角都小于临界角的管道, 选择最高的倾角则可以确定需要内腐蚀检测的管段长度。当然, 气体速度恒定仅仅是理想情况, 大多数管道都经历了从零到最大的气体速度, 于是使得评价程序更加复杂化。

图 2 的第二个子算法代表 ICDA 直接评价, 在这个过程中, 详细检验了间接评价所确定的位置。ICDA 方法对气体速度的直接评价, 可以参照如下步骤进行:

(1) 找到第一个大于由操作条件范围和流动模拟结果确定的最大临界角的管道倾角。

(2) 详细检验/检测目标位置。如果没有发现腐蚀, 得到的结论是腐蚀不可能发生。然而, 如果速度范围(或其他相关参数)已知, 那么在某段期间内聚集液体的临界角有可能更小, 此时上游管道的完整性不能通过检测下游管道的倾角确定。

(3) 返回第一步, 再次详细检验/检测那些最初位置的上游倾角次之的下一个位置。

ICDA 方法的程序(就气体速度而言)如图 3 的流程图所示。

2.4 后评价

后评价过程是 ICDA 的第四步。它包括分析前三个阶段收集的数据, 目的是评价直接评价方法的有效性并确定再评价的时间间隔。输气管道的 ICDA 是基于间断扰动这个假设, 并且具备这种假设条件的管道会有较小程度的腐蚀或无腐蚀。如果在任意位置都发现大面积腐蚀, 则假设不成立, 也就是说这时 ICDA 是无效的。

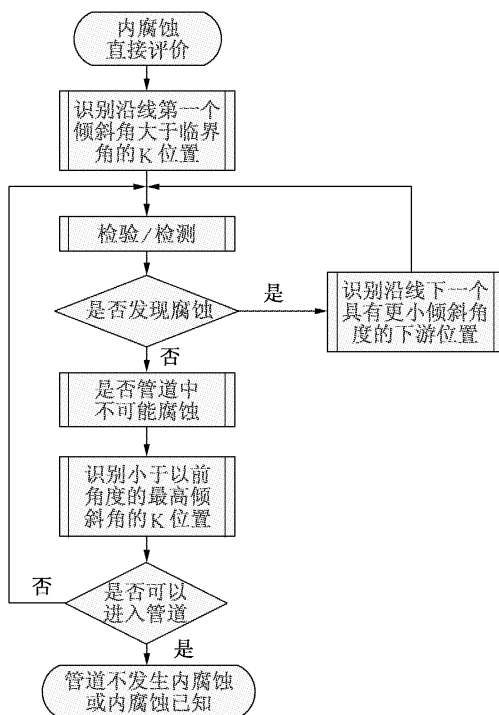


图3 ICDA 评价过程流程图
 (“K”代表的数字将根据实际和经验调整)^[5]

文献[7]对两条段管道进行了评价验证,对于第一条管段,ILI(在线检测)所表示的内腐蚀位置有85%可以通过ICDA预测出来,如果管道高程分布(也就是道路或河流道口)是精确的,ICDA还可能再识别出5%的异常。对于第二条管段,ICDA可识别出的异常占ILI检测的78%。在评估的过程中,发现流动的不确定性、电解质的滞留情况、以及缺少ILI识别出的内腐蚀异常的证据等都极大地增加了识别内腐蚀位置的不确定性。

3 影响ICDA方法可信性的因素分析

加强ICDA分析可信性时应避免的一些常见失误:

(1) 管道高程数据的精度。当应用GPS(定位系统)或校正表信息时要确保管道满足对应的地形。还需要将管道覆层厚度信息结合到分析中。很多情况下,诸如当遇到一种闭式铺砌的高速公路或其他无明显特征的地形和河道时,可能会产生大量的局部倾斜角。

(2) ICDA边界条件:一般将ICDA应用于极低流速和非干气系统将不会得到有意义的预测结果。如果管道有频繁的水扰动趋势,ICDA的可预测性也将降低。

(3) 操作条件:了解整条管道长度上的操作情况对精确的ICDA分析来说是必要的。临界角对改变流速和压力非常敏感。为了更好了解沿线的变化情况,沿线系统可能需要附加监测装置。同时,当计算持液率趋势时,也必须评估季节变化对流速变化的影响。

(4) 需要考虑的最小变量:综合大量文献,下面的附加数据已在相关研究中证明可以提高ICDA分析过程的精度:仰角分布图有助于确定水聚集的位置;操作条件有助于压力、温度和流速的确定;阀和支线的位置影响流速/压力变化的位置;二氧化碳分压可能影响腐蚀速率;低洼地点和滴液的位置、河床和道口、锐弯管、突然的直径改变等等都可能影响ICDA的分析可信度。

4 ICDA的局限性

就国外内腐蚀直接评价的应用现状来看,ICDA只是在干气输送系统中得到了较好的应用。对于湿气体系统和液体输送系统还处在研究的阶段。其应用的局限性主要表现在如下几个方面:

(1) 湿气系统(也就是饱和水的系统)诸如存储和集气系统,正是由于液态水贯穿整条管道,才限制了ICDA预测最有可能发生腐蚀位置的能力,即不能有效预测液态水最有可能聚集的位置,所以干气管道的ICDA方法通常不适用于湿气系统。

(2) 必须假定随着时间变化的非稳态流动的管道已经在所有上坡的倾角处都聚集了水。这意味着所有上坡部分具有圈闭水(大约占管道的一半)。对于双向运行的管道,据此推算管道的另一半可能也聚集了水。结果是:如果没有附加的信息就不可能识别腐蚀发生的位置。

(3) 腐蚀速率模型本身(以气体性质为基础的)的应用是受限的。这是由于腐蚀的位置是不确定的和老化系统的气体环境通常是随着时间变化的,如果认为沿着管段的腐蚀是均匀的,那么沿着管段任意位置上的单个检测点将完全可以代表整条管道,此时用预测方法对管道评价显然没有必要。

(4) 对于液体产品输送管道,通常被夹带在烃相中的水可能位于管道的底部。这种水可能局部聚集,并在那儿导致腐蚀直到被高速流体(如清管器)带走。如果能够预测出这些位置,就可以把它们作为局部测试点。如果这些位置没有发生腐蚀,也认为其他不太可能聚集水的位置不会发生腐蚀。在夹

带水的情况下,以前的研究只预测在给定条件下(如比重、粘度和管道直径等)的临界速度,然而它却不能预测水将要聚集的位置。

5 结论与展望

ICDA 方法可对管线上不适合进行在线检测的管段进行评估,检验有代表性的部分管段从而起到评估整条管段的作用。在程序不存在问题的前提下,如果在最有可能发生腐蚀的位置根本就没有发现有效腐蚀,那么评估与内腐蚀有关的管道完整性得到了保证;如果识别到腐蚀但是仅局限于少数位置,则可能需要进行维修,完整性同样可以得到保证;此外,最坏的情况是如果在所有的位置上都发现腐蚀,说明腐蚀已对整条管道的完整性构成实质威胁,这时需要采取补救和改善措施。

对于一般干气系统的内腐蚀,实施和验证项目的经验已经证明了内腐蚀直接评价可以有效地识别沿线管段的腐蚀损伤,但是还需要开展进一步的研究工作以提高“间接检测”的精度。国内也应大力重视并发展我国管道的内腐蚀直接评价技术,以代替那些由于管道存在的物理和几何条件的制约,仅仅利用内检测数据来进行评价的传统做法。相信在不久的将来,内腐蚀直接评价技术会与在线检测(ILI)和液压测试等方法一起成为管道完整性管理的一部分。

参考文献:

- [1] Oliver Noghissi, Kevin Garrity, John Beavers. Pipeline corrosion direct assessment[A]. Corrosion/2004. Research Topical Symposium on Corrosion Modeling for Assessing the Condition of Oil and Gas Pipelines [C].
- [2] 王维斌. 输气管道的在线检测与直接评估技术[J]. 石油工业技术监督, 2005, 21(5):.
- [3] 李力耘, 姜晓红, 付桂英, 等. 浅谈中国管道完整性管理[A]. 中国国际油气管道(完整性)技术会议论文集[C]. 2005. 9.
- [4] McKay J S, Biagiotti Jr S F, Hendren E S. The challenges of implementing the internal corrosion direct assessment method[A]. Corrosion/2003[C]. Paper # 03185.
- [5] Oliver Moghissi, Laurie Perry, Bruce Cookingham, et al. Internal corrosion direct assessment of gas transmission pipelines-application[A]. Corrosion 2003[C]. Paper # 03204.
- [6] Moghissi O C, Norris L, Dusek P, et al. Internal corrosion direct assessment of gas transmission pipelines [A]. Corrosion/2002[C]. Paper # 02087.
- [7] Deanna Burwell, Narasi Sridhar, Oliver Moghissi, et al. Internal corrosion direct assessment of dry gas transmission pipelines-validation [A]. Corrosion/2004 [C]. Paper # 04195.

《合成橡胶工业》2007 年征订启事

中文核心期刊。首届国家期刊奖。

中国期刊方阵双高期刊。创刊于 1978 年。

第一、二届全国优秀科技期刊一等奖。

第六届全国石油和化工行业优秀期刊评比一等奖。

中国石油天然气股份公司兰州石化公司主办。中国合成橡胶工业协会会刊。

大 16 开本, 国内刊号: CN 62-1036/TQ;

国际刊号: ISSN 1000-1255; 邮发代号: 54-16;

广告经营许可证号: 6201044000011; 双月刊, 逢单月 15 日出版; 定价 10 元。

报道范围: 合成橡胶或弹性体及其单体, 经改性制得的高聚物共混材料, 合成胶乳及乳液, 合成橡胶、弹性体、高聚物共混材料、胶乳及乳液的加工应用技术及产品, 合成和加工所需的专用助剂、溶剂和催化剂, 与各种生产及加工应用有关的工业装备(聚合、加工、机械设备、自控、计算机应用、维护检修等)。

特约顾问: 刘大华 吴棣华 应圣康 张中岳 武冠英 施良和 程曾越 焦书科 谢洪泉

《合成橡胶工业》编辑部 电话: 0931-7983185

E-mail: hcxf@chinajournal.net.cn

《石化技术与应用》2007 年征订启事

中国科技核心期刊。甘肃省优秀期刊。

创刊于 1983 年。CA, AJ, CSA 收录期刊。

第六届全国石油和化工行业优秀期刊评比一等奖。

中国石油天然气股份有限公司兰州石化分公司和中国石油天然气集团公司兰州石油化工公司联合主办。

大 16 开本, 国内刊号 CN 62-1138/TQ, 国际刊号 ISSN 1009-0045; 邮发代号: 54-102; 广告经营许可证号: 6201004000005; 双月刊, 逢单月 10 日出版; 定价 10 元。

报道范围: 石油化工、三大合成材料、催化剂、助剂及石油炼制等方面新产品、新工艺、新设备的开发、技术改造、分析测试及与石油化工有关的环境保护、自动控制、计算机技术等。

特约顾问: 沈之荃 周其凤 胡永康 李灿

《石化技术与应用》编辑部

电话: 0931-7981693 E-mail: shjs@0931mail.com

广告发行部 电话: 0931-7314247 传真: 0931-7314247

地址: 兰州市西固区合水北路 1 号(730060)

联系人: 孙步均