

天然气长输管道腐蚀缺陷评估与剩余寿命预测研究

徐 芳 蔡栋军

(国家管网集团西气东输分公司苏浙沪输气分公司无锡作业区, 江苏 苏州 215100)

摘 要: 针对天然气长输管道腐蚀缺陷评估及剩余寿命预测问题, 本次研究首先对天然气长输管道腐蚀缺陷评估方法进行分析, 对天然气长输管道剩余强度评价方法进行探讨, 最后, 对天然气长输管道剩余寿命预测方法进行研究, 为防止天然气长输管道出现安全风险问题奠定基础。研究表明: 常见的天然气长输管道腐蚀缺陷评估方法包括 Modified B31G 评价方法以及 Kastner 评价方法, 在管道出现腐蚀问题以后, 管道材质、缺陷尺寸属于其剩余强度的重要影响因素, 合理使用智能预测法、腐蚀速率法、数学模型法、基于可靠性的评价方法以及应力评估法等方法可以对其剩余寿命进行合理的评估, 以便制定维修或更换策略, 提高管道运行的安全性。

关键词: 天然气长输管道; 腐蚀缺陷; 评估分析; 剩余强度; 剩余寿命

0 前言

天然气的长距离输送需要依赖复杂的管道系统, 而这些管道系统在使用过程中常常面临着腐蚀问题, 腐蚀是管道安全性的一大威胁, 不仅会降低管道的强度和耐久性, 还可能导致严重的泄漏事故, 对环境和人员安全造成严重威胁。腐蚀缺陷评估旨在准确判断管道表面的腐蚀程度、深度和扩展情况, 为制定合理的管道维护和修复计划提供依据, 而剩余寿命预测则致力于确定管道在已经运行一段时间后的剩余可用寿命, 以帮助制定科学的管道管理策略, 最大限度地延长管道的使用寿命, 减少可能的安全风险^[1]。本次研究主要是对管道腐蚀缺陷评估方法、剩余强度问题以及剩余寿命预测方法进行研究, 为全面保障天然气长输管道的运行安全奠定基础。

1 天然气长输管道腐蚀缺陷评估分析

1.1 Modified B31G 评价方法

Modified B31G 评价方法是一种常用于天然气长输管道腐蚀缺陷评估的方法, 它基于 ASME B31G 标准进行改进, 旨在估计管道在腐蚀缺陷作用下的剩余强度, 该方法基于腐蚀缺陷的尺寸、深度和位置, 以及管道的尺寸和材料性能, 通过计算缺陷周围的应力集中系数, 估计缺陷引起的管道剩余强度损失。在应用的过程中, 需要确定缺陷尺寸和深度, 计算缺陷周围的应力集中系数, 根据管道的尺寸和材料性能, 计算缺陷引起的剩余强度损失, 与管道的允许强度进行比较, 判断是否需要采取维修或替换措施。Modified B31G 方法计算相对简单, 不需要复杂的数值分析和

模型建立, 适用于快速评估多个腐蚀缺陷的情况, 适用于一定范围内的腐蚀缺陷评估, 特别是对于较小的表面腐蚀。但是 Modified B31G 方法基于一些假设, 如缺陷形状、位置等, 可能不适用于所有情况, 仅适用于腐蚀引起的缺陷评估, 对于其他类型的缺陷可能不准确, 相对于复杂的数值分析方法, Modified B31G 方法的精度有限, 对于复杂情况可能不够准确^[2]。

1.2 Kastner 评价方法

Kastner 方法基于管道的弯曲和腐蚀缺陷的应力分布, 通过计算管道在缺陷作用下的净弯矩, 结合管道的尺寸和材料性能, 来估计缺陷引起的剩余强度损失。该方法在使用的过程中, 需要确定缺陷尺寸、深度和位置, 计算管道在缺陷作用下的净弯矩, 根据管道的尺寸和材料性能, 计算缺陷引起的剩余强度损失, 与管道的允许强度进行比较, 判断是否需要采取维修或替换措施。Kastner 方法考虑了管道的弯曲效应, 适用于存在弯曲应力的情况, 相对于一些简化方法, Kastner 方法在一些情况下能够更准确地估计管道的剩余强度损失, 适用于一定范围内的腐蚀缺陷评估, 特别是对于存在弯曲应力和较大腐蚀缺陷的情况。但是 Kastner 方法的计算相对复杂, 需要考虑弯曲应力、净弯矩等因素, 需要准确的管道几何和材料参数, 不同参数的不确定性可能影响评估结果的准确性。

2 天然气长输管道剩余强度评价分析

2.1 材料对剩余强度的影响

材料对存在腐蚀缺陷的天然气管道剩余强度的影响是一个复杂的问题, 涉及材料的力学性能、耐腐蚀

性能以及缺陷与材料之间的相互作用。腐蚀会降低管道材料的强度和韧性，使得管道在相同荷载下的承载能力减弱，某些腐蚀情况下，材料可能发生脆化现象，降低了材料的韧性和吸能能力，进而影响管道的剩余强度。腐蚀缺陷可能导致局部应力集中，使得管道在交变荷载作用下更容易发生疲劳破坏，腐蚀会使管道的截面减小，减少了管道的承载能力，腐蚀缺陷引起的几何形状不规则性可能导致应力集中，增加了管道的应力水平。腐蚀缺陷可能加速管道的疲劳寿命消耗，导致管道在相对较短的时间内失效，不同的腐蚀介质对材料的影响不同，一些材料在特定腐蚀介质下表现更差，管道的材料选择在一定程度上决定了其抵抗腐蚀的能力，不同材料的耐腐蚀性能差异会影响管道的剩余强度，影响管道剩余强度的因素是综合作用的结果，腐蚀引起的材料性能下降、应力集中、疲劳等多种因素共同影响了管道的剩余强度。

2.2 腐蚀缺陷尺寸对剩余强度的影响

尺寸对剩余强度的影响与缺陷的深度、长度和宽度等参数密切相关。腐蚀缺陷的尺寸增大，意味着管道材料的有效截面减少，从而减弱了管道的强度和承载能力，尺寸较大的腐蚀缺陷将导致更大的强度损失，较大的腐蚀缺陷可能引起应力集中，使得缺陷周围的应力水平增加，较大的腐蚀缺陷可能加速管道的疲劳寿命消耗，使得管道在疲劳荷载作用下更易发生失效。尺寸较大的腐蚀缺陷更容易扩展，进一步削弱了管道的强度和耐久性，加速了管道的失效，腐蚀缺陷的尺寸增大可能导致腐蚀速率增加，使得管道的腐蚀进程加快，尺寸较大的腐蚀缺陷可能引起缺陷周围的几何形状不规则导致应力集中，较大的腐蚀缺陷可能更容易被外部因素如振动、应力等影响，从而更容易扩展，影响管道的剩余强度。

3 天然气长输管道剩余寿命预测研究

3.1 智能预测法

智能预测算法在天然气长输管道腐蚀剩余寿命预测中利用机器学习、深度学习或人工智能技术，通过分析历史运行数据、腐蚀监测数据以及其他相关因素，建立模型来预测管道未来的剩余寿命。在应用的过程中，需要收集天然气管道的运行数据、腐蚀监测数据、环境因素等数据，进行数据清洗和预处理，选择合适的特征，可能包括腐蚀速率、环境温度、管道材料、操作压力等，以便用于建立预测模型，根据问题的复杂性，选择适合的机器学习、深度学习或其他智能算

法，建立预测模型并进行训练，使用历史数据进行模型评估，根据评估结果对模型进行调优，以提高预测精度，使用训练好的模型对新的数据进行预测，得出天然气管道的剩余寿命预测结果。智能预测算法能够利用大量的历史数据和实时数据，提供更准确的预测结果，这些算法可以自动学习和适应数据的变化，适用于不同的管道情况和腐蚀机制，适当选择和调整模型参数可以实现高精度的剩余寿命预测，有助于管道维护决策的制定。但是，智能预测算法需要大量的数据进行训练，如果数据质量不高或者数量不足，可能影响预测精度，某些智能算法可能需要复杂的模型结构和参数调整，需要相对高的技术要求，部分智能算法的预测结果可能难以解释，难以理解预测结果的依据。常见的智能预测算法包括支持向量机、随机森林、神经网络算法以及贝叶斯网络算法等，支持向量机算法通过找到一个最优的分割超平面，将不同类别的数据点分开，可用于分类和回归问题，随机森林算法是一种集成学习算法，通过构建多个决策树，综合预测结果，适用于复杂的非线性关系，神经网络通过多层神经元进行信息处理和模式学习，可以适应复杂的数据模式，贝叶斯网络用于建立变量之间的概率关系，适用于不确定性问题，可用于腐蚀机制的概率建模和剩余寿命预测。

3.2 腐蚀速率法

腐蚀速率法基于腐蚀的速率来预测管道的剩余寿命，该方法通过测量管道腐蚀缺陷的尺寸随时间的变化，计算出腐蚀速率，并将腐蚀速率应用于管道的预测寿命计算中。在使用该方法的过程中，需要收集管道的腐蚀监测数据，包括不同时间点下的缺陷尺寸和深度，根据收集的数据，计算不同时间段内的腐蚀速率。可以使用不同方法，如线性拟合、指数拟合等，根据已计算的腐蚀速率，估计管道中的腐蚀缺陷在将来的一段时间内将扩展的尺寸，进而计算管道的剩余寿命，使用历史数据进行模型评估和验证，验证预测剩余寿命的准确性。腐蚀速率法基于实际的腐蚀监测数据，直接反映了管道内部的腐蚀情况，相比一些复杂的预测模型，腐蚀速率法计算相对简单易于应用，腐蚀速率法适用于不同腐蚀机制，可以用于不同类型的腐蚀情况。但是腐蚀速率法基于腐蚀速率的稳定性，假设腐蚀速率在未来一段时间内保持不变，但实际情况可能存在变化，需要连续的腐蚀监测数据来计算腐蚀速率，缺乏数据可能导致预测结果不准确，腐蚀速

率法可能难以准确预测复杂腐蚀形态下的剩余寿命,如局部应力腐蚀开裂等。

3.3 数学模型法

数学模型法基于腐蚀的物理和化学机制,建立数学方程或模型来描述腐蚀的过程,并根据管道的运行历史和监测数据,预测腐蚀剩余寿命。在使用该种方法的过程中,需要收集管道的运行数据、腐蚀监测数据以及环境数据,进行数据分析,了解管道腐蚀情况,根据腐蚀机制和情况,选择合适的数学模型,可以是腐蚀速率模型、腐蚀深度模型等,建立描述腐蚀过程的数学方程,根据已有数据,估计数学模型中的参数,使得模型能够较好地拟合实际腐蚀情况,使用历史数据进行模型验证,根据验证结果调整模型参数,提高预测精度,根据建立的数学模型,预测管道腐蚀缺陷的未来发展,计算管道的剩余寿命。数学模型法基于腐蚀的物理和化学原理,模型能够较好地反映腐蚀过程,可以根据具体腐蚀情况选择不同的数学模型,适用于不同的腐蚀机制,当模型参数准确时,数学模型法能够提供相对准确的剩余寿命预测。但是一些数学模型可能涉及较复杂的数学方程,需要一定的数学背景和计算资源,模型参数的估计可能受到数据质量和数量的限制,参数估计不准确可能影响预测结果,数学模型法对数据的质量和准确性要求较高,不准确的数据可能导致预测不准确。

3.4 基于可靠性的评价方法

基于可靠性的评价方法将腐蚀缺陷的预测剩余寿命问题转化为一个可靠性分析问题,考虑不同的腐蚀情况和不确定性因素,通过概率和统计方法来估计管道的剩余寿命和失效概率。在使用该种方法的过程中,需要收集管道的运行数据、腐蚀监测数据以及环境数据,进行数据分析,了解管道腐蚀情况和不确定性因素,根据腐蚀情况和不确定性因素,建立可靠性模型,包括腐蚀速率、腐蚀形态、材料性能等,对不确定性因素进行参数估计,如腐蚀速率的分布、材料强度的分布等,使用概率和统计方法,进行可靠性分析,估计管道在不同时间点下的剩余寿命和失效概率,使用历史数据进行模型验证,根据验证结果调整模型参数提高预测精度。基于可靠性的评价方法能够考虑不确定性因素,如腐蚀速率的变化、材料性能的随机性等,可以根据不同腐蚀情况和不确定性因素,建立适用的可靠性模型,适用性广泛,该方法能够提供管道剩余寿命和失效概率的全面评估。但是基于可靠性的评价

方法需要大量的数据用于不确定性因素的参数估计,缺乏数据可能导致不准确的评估结果,可靠性分析可能涉及较复杂的概率和统计计算,需要相对高的计算资源,建立可靠性模型可能涉及一些复杂的数学和统计理论。

3.5 应力评估法

应力评估法是基于管道的应力状态来评估腐蚀缺陷对管道剩余寿命的影响,该方法考虑管道的应力水平、材料强度和腐蚀缺陷的尺寸等因素,通过比较管道的实际应力和其允许应力来预测剩余寿命。在使用该种方法的过程中,需要收集管道的运行数据、腐蚀监测数据以及材料性能数据,进行数据分析,了解管道腐蚀情况和应力状态,根据管道的操作条件、载荷情况和几何形状,计算管道内部的应力分布,根据收集的腐蚀监测数据,计算腐蚀缺陷的尺寸、深度等参数,根据管道的材料性能和设计标准,计算管道的允许应力,比较管道的实际应力和允许应力,根据腐蚀缺陷的尺寸和应力状态,预测管道的剩余寿命。应力评估法基于管道的应力状态和材料性能,具有较好的物理解释性,可以根据不同的腐蚀情况和应力状态,进行定量的剩余寿命预测,应力评估法可以将腐蚀缺陷的影响与工程实际应力状况相结合,更贴近实际情况。但是该方法需要大量的腐蚀监测数据、应力分析数据和材料性能数据,缺乏数据可能导致不准确的预测结果,应力评估法假设腐蚀缺陷对应力状态的影响是线性的,实际情况可能更为复杂,应力评估法中的一些模型参数,如材料性能数据的准确性,可能会对预测结果产生影响。

4 结论

腐蚀评估和剩余寿命预测是保障管道安全运行的重要环节,应用 Modified B31G 评价方法以及 Kastner 评价方法等方法可以对腐蚀情况进行合理的评估,结合管道材料性能、腐蚀情况、应力状态等因素,采用了有限元分析、模型化方法、应力评估分析等多种方法可以准确的预测管道的剩余寿命,这有助于制定合理的管道管理策略,最大限度地延长管道的使用寿命,降低潜在的安全风险。

参考文献:

- [1] 庞洪晨,杨立君.天然气长输管道腐蚀缺陷评估与剩余寿命预测[J].全面腐蚀控制,2019,33(12):108-114.
- [2] 陶园.油气长输管道工程设计新方法分析[J].化工管理,2015(26):91.