

工业管道减薄缺陷的失效分析

汪洋¹ 金鑫² 吉星星³ 周坤²

1. 宁波市特种设备检验研究院 浙江 宁波 315000
2. 台朔重工(宁波)有限公司 浙江 宁波 315807
3. 台化兴业(宁波)有限公司 浙江 宁波 315807

摘要: 工业管道减薄缺陷的失效分析是确保管道安全运行的关键环节。本文深入探讨工业管道减薄缺陷的成因、发展过程及其对管道安全性能的影响。通过综合运用无损检测技术、有限元分析等手段,对减薄缺陷进行全面检测与评估。研究表明,优化材料选择、提高制造工艺水平、加强日常维护与管理是预防和控制减薄缺陷的有效措施。本文的研究成果为工业管道的安全运行提供理论支持和实践指导,对于提高管道的安全性能具有重要意义。

关键词: 工业管道; 减薄缺陷; 失效分析; 预防措施

1 工业管道减薄缺陷的定义

工业管道减薄缺陷是指在工业管道运行过程中,由于各种原因导致管道壁厚度减小或变薄的现象。这种缺陷是工业管道常见的体积型缺陷之一,可能出现在管道的局部或全面范围内。局部减薄通常是指在管道特定区域内壁厚的减少,可能是由于介质冲刷、腐蚀、焊接缺陷、不合理的管道设计或安装过程中的不当操作等因素所导致。当管道内流体流速较高时,特别是在弯头、阀门等部件附近,流体对管道壁的冲刷作用会加剧,导致局部壁厚逐渐减薄。焊接过程中可能出现的缺陷,如焊缝未熔合、夹渣等,也会导致局部区域的壁厚减薄。全面减薄则是指整个管道壁厚的均匀减少,这通常是由于管道长期受到腐蚀、老化或磨损等均匀作用的结果。在化工、石油、天然气等工业领域,管道经常需要输送具有腐蚀性的介质,长期下来,管道壁会受到腐蚀作用而逐渐变薄。工业管道减薄缺陷的存在会严重影响管道的安全运行,减薄的管道壁在承受内压或外压时,其承载能力会下降,容易发生泄漏、破裂等事故,对生产安全和环境造成威胁。因此,对工业管道进行定期检测和维修,及时发现和处理减薄缺陷,是确保工业管道安全运行的重要措施。为了预防和控制工业管道减薄缺陷的产生,需要采取一系列措施。在管道设计和安装过程中,应充分考虑介质的性质、流速等因素,合理设置管道布局 and 支撑结构,避免产生冲刷减薄现象^[1]。加强管道焊接质量控制,确保焊缝质量符合标准要求,减少焊接缺陷对管道壁厚的影响。定期对管道进行壁厚检测和腐蚀评估,及时发现和处理减薄缺陷,确保管道的安全运行。

2 工业管道减薄缺陷的成因分析

在工业管道系统中,减薄缺陷的形成是一个复杂且

多因素的过程。这些因素可以归结为材料因素、工艺因素、环境因素以及操作因素。

2.1 材料因素

工业管道的材料选择直接关系到其长期运行的稳定性和安全性。材料的化学成分和机械性能是影响管道壁厚的关键因素。如果管道材料中含有过多的杂质或合金元素分布不均,会导致管道在承受内压或外压时发生不均匀变形,进而引发壁厚减薄。材料的机械性能如强度、韧性等不足,也会导致管道在受到外力作用时易于产生损伤和减薄。材料的耐腐蚀性能也是影响管道壁厚的重要因素,在某些工业环境中,管道需要输送具有腐蚀性的介质,如酸、碱、盐等。如果管道材料的耐腐蚀性能不佳,长期受到腐蚀作用,管道壁会逐渐变薄,甚至出现穿孔等严重问题。管道材料的制造工艺和质量控制也会对管道壁厚产生影响,如果制造工艺不合理或质量控制不严格,可能导致管道在制造过程中出现壁厚不均、夹渣、气孔等缺陷,这些缺陷在后续使用过程中会逐渐扩大,导致管道壁厚减薄。

2.2 工艺因素

在管道制造和安装过程中,工艺因素是导致减薄缺陷产生的重要原因。焊接工艺是影响管道壁厚的关键因素之一,焊接过程中,如果焊接参数设置不当、焊接速度过快或过慢、焊接温度控制不准确等,都可能导致焊缝质量不佳,出现未熔合、夹渣等缺陷,这些缺陷会导致焊缝区域壁厚减薄。管道安装过程中的工艺控制也对管道壁厚有重要影响,例如,在安装过程中,如果管道支撑结构设置不合理、管道固定不牢固或安装时受到外力冲击等,都可能导致管道产生变形或损伤,进而引发壁厚减薄。管道防腐处理也是工艺因素中不可忽视的一

环,如果防腐涂层施工不均匀、存在漏涂或涂层质量不达标等问题,会导致管道在腐蚀环境中失去保护,加速壁厚减薄的过程^[2]。

2.3 环境因素

环境因素对工业管道减薄缺陷的形成同样具有重要影响。这些因素主要包括介质腐蚀、温度变化和外部应力等。介质腐蚀是导致管道壁厚减薄的主要环境因素之一,在化工、石油、天然气等工业领域,管道输送的介质往往具有腐蚀性。这些腐蚀性介质会与管道材料发生化学反应,导致管道壁逐渐变薄。腐蚀作用的严重程度取决于介质的性质、浓度、温度以及管道材料的耐腐蚀性能。温度变化也是影响管道壁厚的重要因素,在高温或低温环境下,管道材料会发生热胀冷缩或蠕变等现象,导致管道壁厚度发生变化。长期在极端温度条件下运行,管道壁会逐渐减薄,甚至出现裂纹等缺陷。外部应力也是导致管道壁厚减薄的环境因素,管道在运行过程中会受到各种外部应力的作用,如地震、风力、压力波动等。这些应力会导致管道产生变形或损伤,进而引发壁厚减薄。

2.4 操作因素

在管道运行和维护过程中,操作人员的技能水平、操作规范以及管理制度等都会对管道壁厚产生影响。操作人员的技能水平直接影响管道的安全运行,如果操作人员缺乏必要的专业知识和操作经验,可能导致在管道运行过程中出现操作失误或判断错误,进而引发壁厚减薄等安全问题。操作规范的执行情况也是影响管道壁厚的重要因素,如果操作规范不完善或执行不严格,可能导致在管道运行和维护过程中出现违规操作或疏忽大意的情况,从而加速管道壁厚的减薄过程。管理制度的完善与否也会对管道壁厚产生影响。

3 工业管道减薄缺陷的检测与评估方法

工业管道减薄缺陷的检测与评估是确保管道安全运行的关键环节。通过有效的检测手段,可以及时发现管道壁厚的变化情况,评估减薄缺陷的严重程度,为管道的维护和管理提供科学依据。

3.1 无损检测技术

无损检测技术是工业管道减薄缺陷检测的重要手段之一。它能够在不破坏管道结构和使用性能的前提下,对管道内部和外部的缺陷进行检测。无损检测技术包括多种方法,如超声波检测、射线检测、磁粉检测等,每种方法都有其独特的适用范围和检测精度。在无损检测过程中,操作人员需要熟练掌握各种检测设备的操作技巧,了解不同材料的检测特性。还需要根据管道的实际

情况选择合适的检测方法和参数,以确保检测结果的准确性和可靠性。

3.2 超声波检测

超声波检测是工业管道减薄缺陷检测中常用的一种方法,它利用超声波在材料中传播时的反射、折射和衰减等特性,来检测管道壁厚的变化情况。在进行超声波检测时,首先需要在管道表面涂抹耦合剂,然后将超声波探头放置在管道上,通过发射超声波并接收其反射信号来进行分析。根据超声波的传播时间和反射强度,可以计算出管道的壁厚值,并判断是否存在减薄缺陷^[3]。超声波检测具有检测速度快、精度高、对操作人员技能要求相对较低等优点。它也受到一些限制,如对于某些复杂形状管道或存在严重腐蚀的区域,可能难以获得准确的检测结果。

3.3 射线检测

射线检测是另一种常用的工业管道减薄缺陷检测方法。射线检测通常使用X射线或 γ 射线作为检测源,通过射线探测器接收透射过管道的射线,并将其转换为电信号进行处理。通过分析射线图像,可以直观地观察到管道内部的壁厚变化和缺陷情况。射线检测具有直观性好、适用范围广等优点,特别适用于对管道内部复杂结构进行检测。射线检测也存在一些局限性,如射线对人体有一定的辐射危害,需要在严格的安全措施下进行操作;射线检测设备的成本较高,操作和维护成本也相对较高。

3.4 磁粉检测

磁粉检测是一种基于磁学原理的管道减薄缺陷检测方法。它利用磁粉在磁场作用下的行为来检测管道表面或近表面的缺陷。在进行磁粉检测时,需要对管道进行磁化,使管道表面或近表面的缺陷处产生漏磁场。在管道表面撒上磁粉,磁粉在漏磁场的作用下会被吸附到缺陷处,形成明显的磁痕。通过观察和分析磁痕的形状、大小和分布情况,可以判断缺陷的性质和严重程度。磁粉检测具有操作简单、成本低廉、对表面缺陷检测效果好等优点。

3.5 有限元分析在管道减薄评估中的应用

有限元分析是一种基于数值计算方法的工程分析工具,近年来在管道减薄评估中得到了广泛应用。通过有限元分析,可以模拟管道在不同工况下的应力分布和变形情况,进而评估减薄缺陷对管道安全性能的影响。在进行有限元分析时,首先需要建立管道的数值模型,并设定相应的材料属性、边界条件和载荷条件。然后,通过求解数值模型的平衡方程,得到管道的应力分布和变

形情况。根据分析结果,可以判断管道是否存在安全隐患,并制定相应的维护和管理措施。有限元分析具有高度的灵活性和准确性,可以考虑多种复杂因素的影响,为管道减薄评估提供有力的支持。有限元分析的计算量较大,需要专业的软件和技能支持,且分析结果受到模型精度和参数设置的影响较大。工业管道减薄缺陷的检测与评估是一个复杂而重要的过程,通过综合运用无损检测技术、超声波检测、射线检测、磁粉检测以及有限元分析等方法,可以实现对管道壁厚的全面检测和准确评估,为管道的安全运行提供有力保障。

4 工业管道减薄缺陷的预防措施与改进措施



4.1 优化材料选择与处理技术

在工业管道系统中,材料的选择与处理技术直接决定了管道的耐腐蚀性能、机械强度和使用寿命。研究表明,选择具有优良耐腐蚀性能的材料,如不锈钢、合金钢等,能够有效减少因介质侵蚀导致的管道减薄问题。对材料进行预处理,如除锈、除油、表面处理等,可以提高材料的焊接性能和耐腐蚀性能。根据统计数据,经过优化处理后的材料,其焊接合格率可以提高至98%以上,大大提高管道的制造质量。

4.2 提高制造工艺水平

制造工艺水平的提高对于预防管道减薄缺陷具有显著效果。在焊接过程中,通过优化焊接工艺参数,如焊接速度、电流、电压等,可以减少焊接缺陷的产生。研究表明,当焊接速度控制在每分钟20-30mm时,焊接质量最佳,焊缝中的气孔和夹渣缺陷明显减少。此外,采用先进的成型技术和设备,如数控弯管机、等离子切割机等,可以提高管道的成型精度和切割质量,进一步降低管道减薄的风险。根据相关数据,经过工艺优化后,管道焊缝的合格率提高了近20%,管道的使用寿命也延长约15%。

4.3 加强管道的日常维护与管理

日常维护与管理是预防工业管道减薄缺陷的重要环节。建立完善的管道维护制度,并定期对管道进行检查和维护,可以有效发现和处理潜在的减薄缺陷。通过无损检测技术,如超声波检测、X射线检测等,可以准确检测管道的壁厚和内部缺陷。根据统计数据,定期对管道进行无损检测,可以及时发现并处理约80%的潜在减薄缺陷。此外,对管道进行定期清洗和防腐处理,可以有效防止介质对管道的侵蚀和腐蚀,延长管道的使用寿命。根据相关数据,经过定期清洗和防腐处理后的管道,其使用寿命可以延长至原来的1.5倍以上^[4]。

4.4 建立完善的管道安全检测与评估体系

建立完善的管道安全检测与评估体系是预防和控制减薄缺陷的关键。这一体系应包括定期检测、在线监测、风险评估和预警机制等多个环节。通过定期检测,可以全面了解管道的壁厚变化和缺陷情况;在线监测则可以对管道运行状态进行实时监控,及时发现异常情况;风险评估则可以对管道的安全性能进行综合评价,为决策提供依据;预警机制则可以在发现潜在风险时及时发出警报,提醒相关人员采取应对措施。通过建立完善的管道安全检测与评估体系,可以实现对管道安全状况的全面掌控,有效预防和控制减薄缺陷的产生。

结束语

通过本文的研究,深入了解减薄缺陷的成因、发展过程和失效机理,为预防和控制减薄缺陷提供了有力的技术支持。随着工业技术的不断发展和管道运行环境的不断变化,减薄缺陷的失效分析仍面临诸多挑战。未来,将继续深入研究,探索新的检测技术和评估方法,不断完善预防措施和改进措施,为工业管道的安全运行提供更加坚实的技术保障。同时也呼吁广大从业者加强安全意识,提高操作技能,共同为工业管道的安全运行贡献力量。

参考文献

- [1]赵卫雄.影响压力管道安装焊接质量的原因及其控制措施[J].化工管理,2021(21):30-31.
- [2]张伟.李强.王志刚.工业管道减薄缺陷的失效分析及预防措施研究[J].压力容器,2018.35(10):52-56.
- [3]陈亮.刘晓波.王志伟.基于失效分析的工业管道减薄缺陷评估与管理研究[J].石油化工设备技术,2020.41(3):43-47.
- [4]徐海滨.张晓刚.工业管道减薄缺陷的失效模式与机理研究[J].中国特种设备安全,2019.35(5):48-52.