

压力管道检验时如何确保复杂工况下的检测准确性

丁翰栋（甘肃省特种设备检验检测研究院，甘肃 兰州 730050）

摘要：在现代工业生产中，压力管道作为输送各类介质的关键设施，广泛应用于众多领域。然而，这些压力管道常常处于复杂工况环境下，其安全性和可靠性面临着严峻挑战。准确的检验是保障压力管道正常运行、预防事故发生的重要手段。基于此，以下对压力管道检验时如何确保复杂工况下的检测准确性进行了探讨，以供参考。

关键词：压力管道检验；复杂工况；检测准确性

0 引言

压力管道在工业体系中犹如人体的血管，承担着输送各种重要介质的重任。随着工业技术的不断发展，压力管道所处的工况愈发复杂。在这样复杂的条件下进行压力管道检验，检测结果的准确性直接关系到整个工业生产的安全与稳定。因此，探索有效的方法来确保复杂工况下压力管道检测的准确性，具有极其重要的现实意义。

1 压力管道检验检测准确性的重要性

压力管道检验检测准确性在工业生产和社会生活中具有不可忽视的重要性，主要体现在以下几个方面。从安全层面来看，压力管道通常用于输送高温、高压、易燃易爆或有毒有害的介质。一旦管道出现泄漏、破裂等问题，极有可能引发火灾、爆炸、中毒等严重事故，对人员生命安全造成巨大威胁。准确的检验检测能够及时发现管道存在的缺陷和隐患，如裂纹、腐蚀、磨损等，以便采取相应的修复或更换措施，避免事故的发生，保障生产场所及周边环境的安全。在经济方面，压力管道广泛应用于石油、化工、电力等众多行业，是工业生产的重要基础设施。若因检测不准确未能及时发现管道问题，导致管道故障或事故，不仅会造成管道本身的损坏，还会引发生产中断，带来巨大的经济损失。而准确的检验检测可以提前预防管道故障，降低维修成本和生产损失，提高企业的经济效益。从质量保障角度而言，准确的检验检测结果是评估压力管道质量和性能的重要依据^[1]。通过对管道进行全面、准确的检测，可以确保管道符合相关标准和规范的要求，保证其长期稳定运行，提高整个工业系统的可靠性和稳定性。

2 压力管道检验时的复杂工况分析

2.1 高温高压工况特点

在高温高压工况下进行压力管道检验存在诸多困

难与挑战。高温会使管道材料的性能发生变化，材料的强度和韧性下降，蠕变现象加剧。长时间处于高温环境中，管道金属会出现晶粒长大、组织老化等问题，导致材料的承载能力降低。这使得在检验时难以准确评估管道的实际强度，增加了判断管道是否存在安全隐患的难度。高压则会给管道带来巨大的应力，管道的焊缝、弯头、三通等部位承受的压力更为集中。这种高应力状态可能引发裂纹的产生和扩展，而且裂纹在高压作用下扩展速度极快。在检验过程中，由于高压的存在，一些微小的裂纹可能被隐藏起来，不易被检测设备发现。一旦这些裂纹在运行过程中突然扩展，就可能导致管道破裂，引发严重的安全事故。此外，高温高压还会使管道的密封性能受到影响，容易出现泄漏现象，而泄漏点在高温环境下可能迅速扩大，进一步增加了检验和维修的难度。

2.2 腐蚀磨损环境状况

腐蚀磨损环境对压力管道检验的准确性产生严重干扰。化学腐蚀会使管道内壁逐渐变薄，削弱管道的承载能力。不同的腐蚀介质会与管道材料发生不同类型的化学反应，产生各种腐蚀产物。这些腐蚀产物可能会覆盖在管道表面，掩盖内部的腐蚀情况，使得检测设备难以准确检测到腐蚀的深度和范围。磨损则会导致管道表面不平整，影响超声波、射线等检测方法的信号传播。当管道内壁存在磨损时，超声波在传播过程中会发生散射和反射，使得检测信号失真，无法准确反映管道内部的真实情况。而且，腐蚀和磨损往往同时存在，相互作用，加剧了管道的损坏程度。在这种复杂的环境下，检测人员很难区分腐蚀和磨损的影响，容易出现误判和漏判的情况。另外，腐蚀磨损还会导致管道的结构强度不均匀，增加了管道在运行过程中发生破裂的风险，给检验和维护工作带来极大的挑战。

2.3 空间受限情况

空间受限是压力管道检验中常见的复杂工况，给检验工作带来了诸多不便。在狭窄的空间内，检测设备的操作受到极大限制。一些大型的检测仪器无法正常进入或展开，只能使用小型的、便携式的检测设备，但这些设备的检测精度和功能往往相对有限。例如，在一些地下管道或设备内部的管道进行检验时，检测人员难以将超声波探伤仪、射线检测仪等设备准确地放置在合适的检测位置，从而影响检测结果的准确性。空间受限还会影响检测人员的操作姿势和视野。检测人员可能需要在狭小的空间内长时间保持不舒适的姿势进行检测，这不仅会降低工作效率，还容易导致操作失误^[2]。而且，由于视野受限，检测人员可能无法全面观察管道的表面情况，遗漏一些表面缺陷。此外，在空间受限的情况下，一旦发现管道存在问题，维修和处理工作也会变得十分困难，增加了维修成本和时间。同时，狭小的空间还可能存在通风不良、缺氧等安全隐患，对检测人员的身体健康造成威胁。

3 压力管道检验时如何确保复杂工况下检测的方法选择

3.1 无损检测方法应用

在压力管道复杂工况的检验中，无损检测方法发挥着至关重要的作用。超声检测是常用的方法之一，它利用超声波在材料中传播时遇到缺陷会产生反射波的原理，能够检测出管道内部的裂纹、气孔等缺陷。在高温高压工况下，超声检测可以在不破坏管道结构的前提下，准确检测出内部缺陷的位置和大小。例如，对于深埋在管道内部的微小裂纹，超声检测能够敏锐捕捉到反射信号，为后续的维修提供精确依据。射线检测则通过射线穿透管道，在底片上形成影像来显示内部缺陷。这种方法对于检测管道内部的体积型缺陷，如夹渣、未焊透等非常有效。在腐蚀磨损环境中，射线检测可以清晰地显示出管道因腐蚀而变薄的部位以及内部的损伤情况^[3]。磁粉检测适用于铁磁性材料的表面和近表面缺陷检测。当管道表面存在裂纹等缺陷时，施加磁粉后，缺陷部位会吸附磁粉形成明显的磁痕，便于检测人员直观地发现问题。在空间受限的情况下，磁粉检测设备相对小巧，操作灵活，能够在狭窄空间内对管道进行有效检测。

3.2 理化性能检测要点

理化性能检测是确保压力管道在复杂工况下安全运行的重要环节。首先是材料成分分析，通过光谱分

析等方法确定管道材料的化学成分，判断其是否符合设计要求。在高温高压工况下，材料的化学成分对其性能影响很大，准确的成分分析可以避免因材料成分不合格而导致的安全隐患。例如，如果管道材料中某些合金元素含量不足，可能会降低材料的高温强度和耐腐蚀性。硬度测试也是理化性能检测的重要内容。通过硬度测试可以了解管道材料的硬度变化情况，判断材料是否发生了组织变化或受到了损伤。在腐蚀磨损环境中，材料的硬度可能会因腐蚀和磨损而发生改变，及时检测硬度变化可以提前发现潜在的问题。金相分析则可以观察管道材料的微观组织结构，了解材料的质量和性能。在复杂工况下，材料的组织结构可能会发生变化，如晶粒长大、相变等，金相分析能够准确检测这些变化，为评估管道的使用寿命提供依据。

3.3 在线监测技术运用

在线监测技术在压力管道复杂工况检测中具有实时、连续的优势。压力监测是在线监测的重要方面，通过安装压力传感器，可以实时监测管道内的压力变化。在高温高压工况下，压力的异常波动可能预示着管道存在泄漏或堵塞等问题。一旦压力出现异常，系统能够及时发出警报，提醒工作人员采取措施。温度监测同样关键，在高温环境中，管道的温度分布情况直接影响其性能和安全性。通过在管道表面和关键部位安装温度传感器，可以实时掌握管道的温度变化。如果某个部位的温度过高，可能表示该部位存在散热不良或内部损伤等问题。流量监测可以了解管道内介质的流动情况。在腐蚀磨损环境中，介质的流速和流量变化可能会加剧管道的腐蚀和磨损。通过实时监测流量，能够及时发现流量异常，调整运行参数，减少对管道的损害^[4]。此外，在线监测系统还可以将监测数据进行存储和分析，为管道的维护和管理提供科学依据。

4 检测过程质量控制

4.1 现场安全保障

在压力管道检测过程中，现场安全保障是一切工作的基础。要对检测现场进行全面的风险评估。在复杂工况下，如高温高压、腐蚀磨损环境等，存在着诸多潜在的危险因素，像管道泄漏可能导致的中毒、火灾、爆炸等事故。通过风险评估，识别出可能存在的危险点，并制定相应的防范措施。为检测人员配备合适的个人防护装备至关重要。在高温环境中，要提供隔热服、耐高温手套等；在有腐蚀风险的区域，需配

备耐腐蚀的防护服、护目镜和防护鞋等。这些装备能有效保护检测人员免受伤害。现场的安全标识也不可忽视。在危险区域设置明显的警示标识，如“高温危险”“有毒有害”等，提醒检测人员注意安全。同时，要确保现场的通道畅通，以便在紧急情况下人员能够迅速疏散。还应制定应急预案，定期组织检测人员进行应急演练^[5]。一旦发生意外事故，检测人员能够按照预案迅速采取行动，减少事故造成的损失。通过以上措施，全方位保障检测现场的安全，为检测工作的顺利进行创造良好的环境。

4.2 数据采集准确性

数据采集的准确性直接关系到压力管道检测结果的可靠性。在数据采集前，要对检测设备进行严格的校准和调试。确保设备的精度和性能符合要求，避免因设备误差导致数据不准确^[6]。例如，对于超声波探伤仪、压力传感器等设备，要按照规定的周期进行校准。在采集过程中，要选择合适的采集位置和方法。不同的检测项目有不同的采集要求，如在检测管道壁厚时，要在管道的不同部位进行多点测量，以获取更准确的数据。要确保采集过程的规范性，避免人为因素对数据的影响。检测人员要严格按照操作规程进行操作，记录数据时要准确无误。为了提高数据采集的准确性，还可以采用多设备、多方法进行验证。例如，对于管道内部缺陷的检测，可以同时使用超声波检测和射线检测两种方法，对比两种方法的检测结果，确保数据的可靠性。另外，要对采集到的数据进行及时的整理和分析，发现异常数据要及时进行复查和确认，保证数据的真实性和有效性。

4.3 检测流程规范执行

严格执行检测流程规范是保证压力管道检测质量的关键。首先，要制定科学合理的检测流程。根据不同的工况和检测要求，明确各个检测环节的顺序、方法和标准。检测人员要严格按照流程进行操作。在每个检测环节，都要按照规定的步骤和要求进行，不得随意省略或更改。例如，在进行射线检测时，要严格控制射线的剂量和曝光时间，确保检测结果的准确性。在检测过程中，要做好记录工作。详细记录每个检测环节的时间、地点、检测人员、检测结果等信息，形成完整的检测档案。这些记录不仅可以作为检测结果的依据，还可以为后续的质量追溯和分析提供资料。要建立质量监督机制。由专业的质量管理人员对检测流程的执行情况进行监督检查，及时发现和纠正不规范的操作行为。通过严格执行检测流程规范，确保压

力管道检测工作的质量和效率。

4.4 人员专业能力提升

在压力管道复杂工况检测中，人员专业能力是确保检测准确性和质量的核心要素。检测人员需具备扎实的理论知识，涵盖压力管道的设计原理、材料特性、制造工艺以及各类检测标准和规范。例如，要熟知不同材质管道在高温、高压、腐蚀等环境下的性能变化，以便准确判断检测结果。持续的培训和学习至关重要。随着检测技术的不断发展和更新，新的检测设备和方法层出不穷。检测机构应定期组织内部培训，邀请行业专家进行讲座和指导，让检测人员及时掌握最新的检测技术和标准要求^[7]。同时，鼓励检测人员参加外部的学术交流活动和专业认证考试，提升自身的专业水平和竞争力。实际操作经验也是不可或缺的。通过大量的实践操作，检测人员能够熟练掌握各种检测设备的使用方法和技巧，提高检测效率和准确性。

5 结语

在复杂工况下确保压力管道检测准确性需综合施策。从先进技术运用到专业人员培养，从科学检测方案制定到严格质量把控，多管齐下，才能及时发现潜在隐患，保障压力管道安全稳定运行，为工业生产筑牢安全防线。

参考文献：

- [1] 蔡广明, 邓丽媛. 压力管道施工监督检验常见问题分析与控制措施 [J]. 中国特种设备安全, 2024, 40 (S2):29-32.
- [2] 陈铭, 刘建军, 刘欢迎. 压力管道基于风险的在线检验技术应用研究 [J]. 中国化工装备, 2024, 26(06):39-43.
- [3] 李文波, 张宝安, 冯金奎, 等. 压力管道监督检验耐压试验研究与分析 [J]. 中国特种设备安全, 2024, 40(09):19-22.
- [4] 伍求凌, 徐剑, 文瑞丰, 等. 复杂地形条件下小口径超长压力管道镇墩受力性能研究 [J]. 中国水运, 2023, 23(08):119-121.
- [5] 孟庆华. 基础沉降下的压力管道应力监测及安全预警研究 [D]. 大庆: 东北石油大学, 2023.
- [6] 毕莹. 压力管道排气阀防阻塞系统研究 [D]. 长春工程学院, 2021.
- [7] 孙鼎全. 浅谈燃气压力管道检验问题 [C]// 中国城市燃气协会安全管理委员会. 2020 年燃气安全交流研讨会论文集、调研报告. 津燃华润燃气有限公司, 2020:2.