

化工企业压力管道检验流程与效率提升

黎才翔（广东省特种设备检测研究院阳江检测院，广东 阳江 529500）

摘要：压力管道作为化工生产的重要设备，其安全运行直接关系到企业的安全生产和经济效益。但是，长时间的运行中，压力管道很少会出现一些缺点，因而，对压力管道进行严格和及时的检查工作，对维护企业的安全运营具有至关重要的影响。本文将详细讲解化工企业中压力管道检查的步骤和常用的检测方法，以及如何提升检查效能的手段，希望为企业提供有益的参考和启示。

关键词：化工企业；压力管道；检验流程；效率提升

0 引言

在化工生产领域，各项设备的顺利和高效运行都离不开压力管道的支持，因此其是保证工业生产顺利开展和发展的前提与基础，为此加强压力管道的日常管理，包括日常的保养、检验、维修等工作力度具有重要的现实意义。

1 压力管道检验的重要性

1.1 压力管道在化工生产中的作用

压力管道充当着生产各个环节之间的关键连接，其职责是确保各类介质（例如气体、液体和蒸汽）安全高效地被输送至预定的地点。这些介质很可能源于原材料、成品，或是生产过程当中生成的废料。压力管道的稳定性、连续性、连续运作以及安全性都直接受到化工制造流程的影响。化学工业中常常涉及到如高温、高压、容易燃烧、易爆和有毒的风险要素。如果压力管道遭遇故障，例如泄露、破裂或者爆破，其产生的影响可能是难以想象的。因此，确保压力管道能够安全运行是化工企业保障安全生产的基本要求。

1.2 压力管道失效的严重后果

如果发生了失效状况，最初的情况可能会导致危险化学产品泄露，这还可能引发火灾或者是有毒气体的散发，从而对现场工作人员的生命安全形成直接的风险。另外，这种突如其来的状况还有可能快速地扩散到周边区域，对公众安全构成威胁。从生态环境的视角分析，当压力管道出现故障时，可能会引发严峻的环境污染问题，例如化学污染物质的泄露可能会对土壤和水源产生破坏，并对整个生态环境造成持久的损害。这家公司可能需要支付巨大的清洗与修补开支，并可能因为违反了环保相关规定而被处以罚金。从经济角度看，压力管道的故障可能会使生产线暂停工作，进而影响产品的交付，并导致订单等待时间的延迟和违约赔偿的发生。

2 压力管道检验的流程

2.1 检验前的准备工作

在进行检验之前，必须制定一份详尽的检验方案，明确检验的具体范围、所采纳的方法、所需工具以及各环节中人员的职责分配。准备好必须的检查工具与装置，包括超声波检测仪、射线侦测设备、磁粉探伤装置等，并务必确保这些装置在最佳的运行状况下工作。下一步，要进行压力管道全面的详细审查，包含设计文档、制造过程记录、安装信息以及历史检验报告等方面，以便更全面地了解管道设备的发展史和当前状态。还需要进一步进行管道的现场调查，以便识别检查的关键区域以及可能的风险区。

2.2 检验过程中的具体操作

在进行检验之前，首要的步骤是彻底清洁压力管道，去除所有的锈点、油渍以及其他杂质，确保检查的无损伤准确度。接着，按照预先设置的检测策略，使用超声波、射线、磁场和涡流这些无损检测工具，对管道的表面及焊接点进行了精细的检测，以寻找可能存在的裂纹、腐蚀和形变等问题。在检测的时候，检验人员需要持续地记录所得到的数据以及已经检测到的缺陷，同时要对不正常的情况迅速地做出判断。在检测时一旦观察到任何损害或异常，应迅速实施风险评价并采纳适当的安全预防手段。在检测阶段，还需定时调整和校正检测设备，确保所得的检测数据的准确性。

2.3 检验结果的记录与分析

在检验过程中，检验团队必须详尽地记录每个项目的检测数据，这包括在无损检测里确定的缺陷的具体位置、尺寸、种类，以及关于管道的材料特性、壁厚等核心参数。这些数据记录应当遵循标准模板，确保信息的精确性和追溯性得到保障。接下来，技术专家们会对采集的资料进行详尽的探讨，来判断其中的

缺陷特征及其严重性，以确定这些缺陷对管线总体安全所产生的潜在影响。在进行分析的时候，可能需要融合材料科学、力学和工程等众多领域的知识，来保证评价结果的科学与信赖性。检验出的结果还会与过去的数据作比较，以追踪管道的健康状况的演变以及可能的风险变动。

3 压力管道检验中常用的无损检测技术

3.1 超声检测

超声检测广泛采用在压力管道的检验中，以便评估其内部结构的完好性和稳定性。这项技术是通过发出高频率音频并进入管道内的材料，从而捕获反射到的反射回波，进而探测内部的缺陷。在实际的操作中，超声波探测器释放声波向管壁扩散，它能够通过接收反射的回声来检测管壁上的缺损，如图 1 所示。

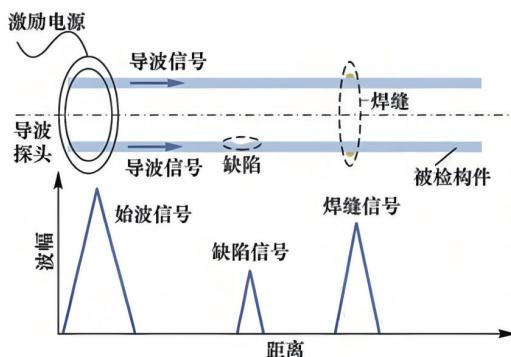


图 1 管道超声检测原理

3.2 射线检测

射线检测技术在检测体积状缺陷方面显示出较高的灵敏度，例如能够检测到未经焊接、气孔、夹渣等现象。但其对于面状缺陷如微小裂纹或者层次间未熔合的检测灵敏度则相对不足，如图 2 所示。射线测试的质量分为 I、II、III、IV 四个等级（如图 2），其中 I 级是代表焊接位置内不能出现任何裂纹、未熔合、未焊透或条状缺陷的标志；II 级和 III 级的标准规定焊接接头内不得有裂痕、未完全熔合或焊接不透的情况发生，而那些被评定质量超越 III 一级的缺陷，都将被统一归类为 IV 级别。

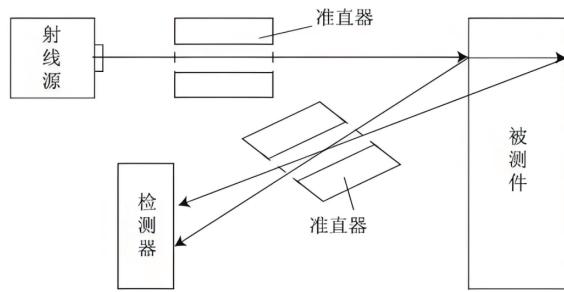


图 2 管道射线检测原理

3.3 涡流检测

涡流检测(ECT)是一项基于电磁感应原理的技术，它可以通过在管道表面或者其近表面产生涡流来实现这一目的，并进而生成一个相对独立的磁场。如果管道的材料内存在瑕疵，那么涡流的布局会被打破，进而引起磁场的转变，而通过监测这一变动评估管道的完整性。

4 提高压力管道检验效率的措施

4.1 加强人员培训，提高检验人员的专业素质

通过定期的专业培训，确保检验人员对最新的检验标准、相关法规以及尖端的无损检验技术都有所了解。培训内容应涵盖理论知识、实际操作的技术培训以及实例分析，这有助于增强检验员在问题定位和解决上的能力。应该加强对员工的安全教育，确保在执行任务过程中检验人员能够完全遵循安全操作程序，有效地避免职业安全事故的产生。

同时，积极鼓励检测工作人员参与专业资格的认可和持续学习，以便增强他们的专业能力和职业竞争优势。中国特种设备安全与节能促进会举办的“2024 年全国压力管道检验师 (GDS) 专业培训活动”，通过案例分析的形式，加强了检验师发现问题、分析问题与解决问题的能力，这也是提高检验效率的一个重要方面。

4.2 引进先进的检测设备，提高检测效率和准确性

在提高压力管道检验效率的措施中，采用先进的测试设备显得尤为关键。例如相控阵超声检测仪 (PAUT)，相控阵超声检测仪的主要参数包括脉冲回波重复频率 (PRF)，该频率的选择决定了检测仪器的灵敏度和响应速度。阵元数目和间距是影响分辨率和探测范围的关键因素，阵元数目越多，分辨率越高。设备的工作频率范围决定了其适用性，低频适用于检测较深的缺陷，而高频提高分辨率。探测深度和速度是重要的性能指标，决定了设备能够检测到的最大缺陷深度和进行检测的效率。例如，ZETEC 公司的 TOPAZ16 是一款全集成 16 通道相控阵超声检测设备，具备 10.4 英寸高分辨率多点触控显示屏，最大脉冲重复频率为 12 kHz，波幅分辨率达到 16 位，支持 256 个聚焦法则，最大采样点数为 8,192，提供高质量的信号和数据采集能力。

4.3 优化检验流程，减少不必要的环节

按照《压力管道定期检验规则》的要求，检验前的前期工作涵盖了资料的整理和审定、检验场地的前

期准备、相关设备和仪器的校准检查，以及确保检验操作的高安全性。在检测现场，必须满足的标准是：对影响检测的附属元素或其它物体进行彻底的清理或拆卸；在检查所建脚手架的稳定性时，必须确保其具备足够的安全和牢固；所有亟待检测的管道表面都应被完全清除，以露出金属的主体。在制订检验计划时，必须满足特定的标准和准则。

各个检验机构需要拟定一个具体的检验策略，然后由技术主管或其授权者进行审查并给予正式的批准。对于特殊状况下的管道，检验部门有责任就其检查方案征询使用单位的看法。在实施检验措施时，应优先关注于定期检查的宏观检查、壁厚的确定以及安全附件的验证工作。

4.4 建立完善的检验信息管理系统

依照市场监管总局所发布的《压力管道监督检验规则》(TSG D7006-2020)，结合对压力管道安全审查的相关要求，我国已经成功地构建了全国性的压力管道检验信息管理系统，其目的是进一步提高压力管道检查的数字化程度，并确保其安全稳定地运行。全国压力管道检验信息管理系统(<https://pipeins.csei.org.cn/>)是一款集中数据库平台，专门用于汇集和处理与长途输送管道以及压力管道的各种检验资料。该系统具备多项功能，包括但不限于：

- ①管道使用团队能够在线上查阅和发送其所属单位的管道以及检查资料。
- ②检验部门有能力在线查找并上传其检查过的管道资料。
- ③在省级或更以下的市场监管部门，可以在线查看该行政区的管道资料和检验详情。
- ④该系统赋予了查询与统计的特性，比如进行管道信息的查询和检索，并根据省、市、县的数据统计燃气企业数量、管线长度和检测率；依据时间表对管道的长度和检验成功率进行了统计；需要按照管道的级别来计算管道的长度、检验的比例以及是否超出了检验时间等因素。

4.5 利用基于风险的检验(Risk-Based Inspection, RBI)方法

RBI透过全面评定管道的可能风险，以确保检验资源得到更合理的分布。RBI方法先行识别了管道系统内可能出现问题的部位，随后基于风险的大小和潜在风险来决定检查的优先级与实施频次。这种策略不仅增强了检测过程的目的性，还确保资源能够更高效地集中分配到最迫切的区域。

RBI的关键是创建风险评估模型，这个模型全面涉及了管道的材质、运营环境、历史资料以及外界因素等多种方面。RBI通过量化分析，具有预测可能失效情况及其可能产生的影响的能力，进一步为决策者提供了坚实的科学支撑。RBI的方法还特别重视了数据的连续收集与分析，这是为了持续更新其风险评定，并确保检测策略的及时性及精确性。

4.6 采用自动化和人工智能技术，减少人工检验需求

应用先进的自动化技术，例如管道检测机器人携带着高清摄像头与传感器，能够进入狭小或者危险的区域进行实时检查，能够实时传送图像和数据，不仅保障了操作人员的安全性，也显著提升了检测的质量。自动化清洁技术能够高效地移除管道内的沉淀物质，从而为检测操作提供清晰的视觉视图。

与此同时，自动化数据采集系统还能实时保存管道的核心参数，为之后的分析和审计工作提供强有力的数据支撑。人工智能技术在压力管道检验中AI图像识别技术能够精确地检测并分析图像数据，能够自动地识别出如裂纹和腐蚀等损坏，大大地增强了缺陷检测的快速性与准确率。利用机器学习，AI可以深度分析历史数据，从而预测出管道的维护必要性和可能遇到的故障，实现对未来的预测维护，进一步减少因意外造成的停机时长。

5 结语

从对检验流程进行改进，到检验技术的革新，完善信息管理体系，利用RBI以及运用自动化和AI技术，这些措施的目的都是提升检验任务的效率与精度。期望这些措施能为相关企业及专业团队带来有实践价值的建议，共同推动化工行业的安全、健康发展。

参考文献：

- [1] 邵冬冬,陈虎,许波,等.数据可视化技术在成套装置管道检验中的应用研究[J].中国特种设备安全,2024,40(03):95-99.
- [2] 杨棚,刘润.锅炉压力管道检验中的裂纹分析[J].低碳世界,2022,12(02):196-198.
- [3] 黄达,周路云,沈杰.燃气调压装置监督检验流程探讨[J].上海化工,2021,46(05):31-34.

作者简介：

黎才翔(1985.03-)男,汉族,广东阳西人,本科,中级机械工程师,主要研究方向:特种设备检验。