

# 化工压力容器压力管道检验中的裂纹问题分析

李 川 (攀西钒钛检验检测院, 四川 攀枝花 617000)

**摘要:** 随着化工行业的发展, 压力容器和压力管道作为关键的工艺设备, 在生产过程中发挥着重要作用, 然而化工管道的裂纹问题一直是威胁其安全运行的隐患。文章深入探讨了化工压力容器与压力管道检验中裂纹的类型、产生原因、检测方法以及评估与处理措施, 旨在为化工行业相关设备的安全运行提供理论依据和技术支持, 保障化工生产的平稳与高效, 同时为相关工作人员提供一定的参考和借鉴。

**关键词:** 化工压力容器; 化工管道; 裂纹; 检验

中图分类号中: TQ050.7; TH49

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 030-0157-03

## Analysis of Crack Problems in the Inspection of Chemical Pressure Vessels and Pressure Pipelines

Li Chuan (Panxi Vanadium & Titanium Inspection and Testing Institute, Panzhihua Sichuan 617000, China)

**Abstract:** With the development of the chemical industry, pressure vessels and pressure pipelines, as critical process equipment, play an important role in production processes. However, crack issues in chemical pipelines have always been a hidden threat to their safe operation. This paper thoroughly explores the types, causes, detection methods, as well as evaluation and treatment measures of cracks in the inspection of chemical pressure vessels and pressure pipelines. It aims to provide a theoretical basis and technical support for the safe operation of related equipment in the chemical industry, ensuring stable and efficient chemical production, while offering reference and guidance for relevant personnel.

**Keywords:** chemical pressure vessels; chemical pipelines; cracks; inspection

化工生产工艺的压力容器和压力管道储存、运输、反应介质等, 承受着高温、高压、腐蚀等作用, 容易出现各类缺陷问题, 其中最危险的缺陷问题之一便是裂纹。化工压力容器压力管道的检验中, 针对裂纹问题的防范, 要求工作人员对疲劳裂纹、开裂缺陷、应力腐蚀裂纹等不同类型的裂纹特点加强掌握, 分析其产生的原因。由于裂纹的存在和产生, 容易导致设备的泄漏、失效、爆炸等, 造成人员伤亡和财产损失。所以, 针对化工压力容器和压力管道裂纹问题的分析和研究, 对于化工生产的本质安全具有非常重要的意义。

### 1 化工压力管道裂纹的类型和原因分析

#### 1.1 按产生阶段划分

一是制造过程中产生的裂纹。由于焊接工艺不合理, 局部应力大、材质较差等原因, 在制造压力容器、压力管道过程中容易在焊缝、热影响区、母材上产生裂纹。如: 电流过大、焊接过慢、焊接过快、焊条未烘干等焊接工艺不合理制造过程, 容易产生焊接裂纹: 热裂纹、冷裂纹、再热裂纹等。二是安装过程中产生的裂纹。由于强行组装、管道支撑不当、连接不当等原因, 设备承受安装应力, 在安装过程中、安装后运行初期产生的裂纹。如: 管道接安装过程中, 管道接口不齐, 强行焊接在一起, 在管道接口处产生初始裂纹。三是运行时产生的裂纹, 如压力、温度等。设备在使用过程中, 操作条件经常变化, 压力和温度

不断变化等, 介质腐蚀、疲劳载荷等, 设备材质变劣、内部组织变形产生的裂纹。如化工生产中的高温高压氢腐蚀会使钢制压力容器和压力管道内部产生细微裂纹, 日积月累裂纹不断扩展<sup>[1]</sup>。

#### 1.2 按形态划分

表面裂纹指裂纹暴露于设备外表面, 其长度方向通常垂直于应力方向或是成一定角度, 表面裂纹可借助目视、磁粉、渗透等常规无损检测方法比较容易检测出来, 如压力管道外表面局部腐蚀性的浅裂纹通过外观检查可以观察到表面细小的线纹。内部裂纹位于材料内部, 不与设备表面直接接触, 内部裂纹的检测不易发现, 需要借助射线检、声像检验等特殊无损检测方法进行检测, 如厚壁压力容器内部通过锻件产生的折痕、夹杂等缺陷和后期加工、运作产生的在压力容器内部产生内部裂纹。

### 2 化工压力管道裂纹的检测方法

#### 2.1 目视检测

目视检查是最简单、最直观的裂纹检测方法。检查人员通过目视或借助放大镜检查设备的表面是否存在明显的裂纹、划痕、变形等缺陷。目视检查对大型压力容器、压力管道表面大裂纹的检测能够较快、较好地进行粗查。例如日常的巡检中, 通过目视检查操作人员发现表面的外表面存在因碰撞和磨损产生的较深的划痕, 这种划痕极有可能转化为裂纹。

## 2.2 磁粉检测

磁粉探伤主要对铁磁性材料的表面或近表面部位的裂纹进行探伤，磁粉探伤的原理是，将被探工件进行磁化，在工件表面或近表面部位有裂纹存在时，则磁化电流经过裂纹部位发生泄漏，附着在工件表面的磁粉就在工件表面和裂纹近表面的部位形成磁粉印痕显示。磁粉探伤操作简便、灵敏度高、成本低，在压力容器、压力管道焊缝和母材的表面裂纹的检测中使用普遍。如碳钢、低合金钢压力管道焊缝，定期检测，采用磁粉探伤，发现表面细小裂纹。

## 2.3 渗透检测

渗透检测可对非多孔性金属和非金属材料表面开口的裂纹进行检查，是靠渗透剂的毛细管作用渗入工件表面的裂纹中，将表面多余渗透剂清洗去除后，再施加显像剂，使裂纹表面的渗透剂吸附到表面并显像出裂纹的形状及部位。渗透检测可灵敏地检查出表面的裂纹，它不受材料的磁性的影响，广泛用来检查不锈钢、铜合金、铝合金等非铁磁性的压力容器表面及压力管道表面的裂纹，例如奥氏体不锈钢压力容器，在对其内检测时，采用渗透检测，可对其表面的微裂纹进行检测。

## 2.4 超声检测

超声检测就是通过利用超声在介质内的传播速度来对内部表面存在的裂纹进行无损检测，当超声波遇到裂纹等缺陷时，会产生反射、折射等现象，根据超声波的特性（声程、幅度、形状等）对裂纹的位置、裂纹大小、裂纹形状等进行探测，对存在于压力容器和压力管道内的裂纹具有灵敏度和准确度都比较高的检测能力，可以发现微小裂纹，并且能对裂纹深度进行定量检测。如需要对壁厚比较厚的高压压力容器内部进行检测时，可以运用超声检测对内部存在的裂纹情况进行准确检测，判断是否有裂纹存在或者裂纹的程度、长度等参数<sup>[2]</sup>。

## 2.5 射线检测

射线检测是利用X射线、γ射线等穿射被检工件，根据射线被工件衰减的程度，在胶片或荧光屏上显示出工件内部结构的图像，以此检测裂纹等缺陷的一种方法。射线检测能够直观显示出裂纹的位置、形状、大小，检测结果也容易保存和评定，但射线检测成本高、检测效率低、对人身和环境有一定辐射危害，需要做好防护。压力容器、压力管道定期检验时要求较高，对内部裂纹检测准确度要求较高的部位，如重要焊缝、厚壁接管与壳体连接处等，常采取射线检测，保证检测结果的准确性。

## 2.6 其他检测方法

第一，声发射检测是基于材料受力时产生声发射

信号这一原理，通过在被检设备表面安装声发射传感器，实时监测设备运行或加载过程中产生的声发射信号，以此来判断裂纹等缺陷的存在、位置以及发展趋势，声发射检测具备动态监测、实时性强等优点，可用于化工压力容器和压力管道的在线监测，能及时发现裂纹等缺陷的萌生和扩展并提前采取措施处理。第二，光纤传感检测技术利用光纤的光学特性和传感特性，把光纤传感器粘贴或埋设在压力容器和压力管道的关键部位，通过检测光纤传感信号的变化来监测设备的应力、应变、温度等参数，进而间接判断是否存在裂纹等缺陷，该方法具有抗电磁干扰、高灵敏度、可分布式测量等优点，在化工设备的长期健康监测方面有着广阔的应用前景。

## 3 化工压力管道裂纹的评估与处理

### 3.1 裂纹的评估

根据裂纹的种类、部位、方向、长度、深度等条件，结合设备的使用工况和材料特性，判断裂纹的性质，例如出现在应力比较集中的部位，且垂直于主应力方向是疲劳裂纹；出现在晶界上且在腐蚀性介质中是晶间腐蚀裂纹。选用适宜的无损检测方法测量裂纹的尺寸大小，如裂纹的长度、深度、开口的宽度等，按照有关的标准如（ASME 规范、GB/T12337 等），采用断裂力学和应力分析的方法，分析裂纹的剩余强度和疲劳寿命，如对于一个含有表面裂纹的压力容器，采用超声检测确定其裂纹深度和长度后，根据断裂力学的应力强度因子计算表达式，计算出压力容器裂纹尖端的应力强度因子，通过应力强度因子与材料的断裂韧性的比较，确定裂纹在当前的运行应力下是否失稳扩展，判断其是否安全。

### 3.2 裂纹的处理措施

对于表面裂纹，由于裂纹深度较浅，未超过材料缺陷临界尺寸，打磨后设备剩余壁厚满足强度要求，打磨后进行表面处理，打磨光滑，消除应力集中，重新无损检测，确保消除裂纹，如压力管道外表面轻微划伤造成的表面裂纹，机械打磨消除，确保压力管道剩余壁厚满足设计和使用要求。作为压力管道表面裂纹修复的措施之一。当裂纹深度较深和打磨修复不能满足使用要求时，可以进行焊补修复，焊补前对裂纹进行清理，使焊补部位清洁干净，无油污，无杂物。焊补时根据设备材料及工况情况选择适合的材质及工艺的焊接材料，控制好焊接参数及焊接热输入，防止在焊补过程中产生新的焊接裂纹。焊补后对焊补部位进行无损检测，确保焊补质量。如压力容器焊缝内存有裂纹，在将裂纹消除应力后，选用适合的焊接工艺进行焊补，焊后焊缝通过射线检测或超声检测合格后，

设备可以继续使用。当裂纹严重，裂纹部位较大，无法进行打磨修复和焊补修复，不能保证设备使用的安全，更换裂纹所在的局部零件<sup>[3]</sup>。如压力管道裂纹较长且裂纹周边材料存在严重劣化的管段进行割除，更换新的合格的管段，确保新管段安装质量，焊接质量符合要求。当裂纹广泛产生在设备关键部件部位，以及进行修复的成本很高、或者修复完成后设备的安全问题仍然不能确定时应该考虑进行整机报废，如一些使用年限较久，频繁产生裂纹，裂纹的发展有规律，无法修复，评估后认为无法修复和使用安全没有问题，应该进行整机报废，防止出现事故。

## 4 预防化工压力管道裂纹产生的措施

### 4.1 材料选择与质量控制

根据化工生产工艺的工况条件（压力、温度、介质特性等），选用具有相应力学性能、抗裂纹性能和耐腐蚀性能的材料。如强酸性的工况选用具有耐酸性腐蚀的不锈钢或衬里材料；压力容器的高温高压氢环境应选用具有耐氢腐蚀性的合金钢材料。材料采购入库时，对材料的化学成分、力学性能、金相组织等进行检验，材料质量符合材料要求及设计要求。对不合格的材料坚决不用，从源头上消除材料裂纹问题的可能性<sup>[4]</sup>。

### 4.2 优化设计

尽量选用结构简单、平整的形状，减小尖角缺口和截面突变，减少局部应力系数，如压力容器设计中的容器封头采用椭圆封头，合理选择接管尺寸及接管型式设计压力容器封头及压力管道在各种工况下的应力分布情况。在设计过程中采用先进的计算机辅助设计 CAD/有限元分析 FEA 等技术对压力容器及压力管道在各种工况下进行合理的应力分布情况设计、计算，合理的确定设备壁厚、尺寸、加强措施，保证设备在运行过程中的应力值始终小于其材料许用应力，避免出现应力大而产生裂纹的情况。

### 4.3 严格制造与安装过程控制

制定详细的焊接工艺制度、确定焊接参数，如电流、电压、焊接速度、焊接层数等、确定焊接材料的使用、确定焊接操作方法等制度，严格对焊工进行培训和考核，要求焊工熟练掌握焊接操作工艺，严格按照焊接工艺制度进行焊接，严格进行焊接过程中质量控制，对接头进行无损检测，对发现的焊接缺陷及时处理，杜绝焊接裂纹。优化加工工艺，采用先进的加工设备、加工方法，确保设备加工精度满足设计要求。如压力容器筒体卷制和封头成形加工，加工尺寸及表面质量控制好，杜绝出现有加工缺陷导致裂纹、应力集中区。安装严格按照设计图纸、安装说明书进行，合理设置

管道支架、补偿器等，杜绝产生安装应力。对于大型的压力容器、压力管道，安装完毕之后，要进行热处理操作，从而将安装应力清除，避免发生开裂现象。

### 4.4 优化运行管理

在化工生产的过程中要尽量保证压力温度等操作参数稳定，避免出现频繁且大幅度的波动情况，制定出合理的操作规程，对设备升压降压升温降温的速度严格控制，减少因操作条件变化产生的交变应力，降低疲劳裂纹出现的概率。比如，在启动和停止反应釜时严格依照设定的升降温速率操作，能有效减少反应釜内壁因温度变化产生的热应力，对化工介质进行适当处理，比如去除介质里的腐蚀性杂质、调节介质的酸碱度等，降低介质对设备的腐蚀程度，同时采用防腐涂层、衬里、缓蚀剂等防腐措施，保护设备不受到介质的腐蚀作用，如在输送含硫化氢介质的压力管道内壁涂覆防腐涂层，可有效防止硫化氢对管道腐蚀进而减少因腐蚀产生的裂纹<sup>[5]</sup>。在日常使用设备的过程中，应由专业的人员做好日常的巡查工作，了解压力容器和压力管道的运行情况，在定期检查和不定期巡查相结合的方式下，早期发现和治理安全隐患，防范裂纹问题带来的事故风险，保证化工生产活动的安全性和稳定性。

## 5 结论

裂纹是化工压力容器和压力管道检验过程中比较突出的问题，关系到化工生产的安全生产和化工设备的使用寿命。通过对裂纹的类型、产生原因、检测、评估和处理、预防措施的介绍，可以对化工企业、检验单位起到全面的指导作用。在实际的化工生产的过程中，应该充分重视压力容器和压力管道的裂纹问题，从材料选取、设计、安装制造质量控制、运行管理方面入手，对压力容器和压力管道的裂纹进行预防和处理，及时发现裂纹缺陷，保证化工压力容器和压力管道安全可靠，确保化工生产顺利进行和人员的生命财产安全。

### 参考文献：

- [1] 马立东，胡建启，范鹏军，等. 试论压力容器压力管道检验中的裂纹问题 [J]. 石油化工建设, 2022, 44(2):96-98.
- [2] 李成乾. 关于压力容器压力管道检验中裂纹问题的处理 [J]. 全体育, 2022, 19(9):251-252.
- [3] 姚俊峰, 郑天宇, 何庆昌. 压力容器管道裂纹检验中无损检测技术应用分析 [J]. 商品与质量, 2022, 28(47):73-75.
- [4] 余诚. 化工压力容器压力管道检验中的裂纹问题分析 [J]. 石化技术, 2025, 32(04):311-313.
- [5] 董世杰. 压力管道及容器焊接技术与质量缺陷探讨 [J]. 中国化工贸易, 2022, 14(36):151-153.