

# 锅炉压力容器裂纹的形成原因及应对策略

刘文

新疆生产建设兵团第六师五家渠市特种设备安全检测中心 新疆 五家渠 831300

**摘要:** 本论文对锅炉压力容器裂纹形成的原因和应对策略进行了深入的研究。通过对材料因素, 制造工艺, 运行环境和维修等诸多因素对裂纹的影响进行分析, 揭示出裂纹的复杂生成机理。本文对裂纹检测过程中常规检测方法以及先进检测技术的运用进行了详细说明, 提出了有针对性的预防措施及治理修复方案。另外, 文章强调安全管理和应急预案对确保锅炉压力容器的安全运行具有十分重要的意义。综合研究表明, 要有效地解决裂纹问题需要从各个环节着手, 形成一个全方位防治体系。本论文研究结果对促进锅炉压力容器运行可靠性, 确保工业安全有一定理论与实践意义。

**关键词:** 锅炉压力容器; 裂纹形成; 预防措施; 修复技术

## 引言

在工业领域当中, 锅炉压力容器发挥着重要作用, 这些压力容器是保证各项工业流程能够顺利实施的关键设备。但随着这类容器长期工作, 裂纹问题已逐步成为不可忽视的隐患。这些裂纹不但会使设备发生故障, 而且会酿成严重事故, 给人员安全经济运行带来极大威胁。所以对锅炉压力容器裂纹形成的原因和应对策略进行深入研究具有重要意义。通过对裂纹产生原因的探讨, 可更深入地了解裂纹产生及发展机理, 为裂纹防治工作提供科学依据。与此同时, 有效应对策略可以显著减少裂纹所造成的危害, 提升设备可靠性与使用寿命, 从而确保工业生产安全稳定运行。本次研究的目的是对锅炉压力容器裂纹形成的原因进行深入的分析, 并且以此为依据提出有针对性的对策。

## 1 锅炉压力容器概述

### 1.1 深入解读锅炉压力容器的定义与分类

锅炉压力容器作为工业领域的核心设备, 其所携带的工作介质温度高, 压力大, 在多种工艺流程中提供所需热能与动力。它的定义涉及的容器种类很广, 有简单储罐, 也有复杂反应釜等, 每种容器均按使用目的及设计特点赋予特有的命名与作用。从分类的角度来看, 锅炉压力容器可按工作压力, 温度, 介质及结构形式的不同而有很多不同。如按工作压力可分为低压, 中压, 高压及超高压容器等; 按结构形式可分为球形, 圆柱形和圆锥形。各类容器均有各自具体的应用场景与优点, 例如球形容器承受内部压力均匀性突出, 圆柱形容器由于制造与维修方便得到广泛应用<sup>[1]</sup>。另外, 在工业技术日益发展的今天, 新型材料以及先进制造工艺等的运用, 给锅炉压力容器设计与制造提供了更多可能。这样就使现

代锅炉压力容器具有了更优越的性能, 而且还能很好的适应多种复杂而恶劣的工作环境。

### 1.2 锅炉压力容器工作环境及特性深度剖析

锅炉压力容器通常工作环境异常苛刻, 高温, 高压, 腐蚀, 疲劳等诸多因素综合影响, 对于容器材料性能及结构稳定性都有极高的要求。一是高温环境可使材料机械性能降低、蠕变、松弛等性能增强, 因而增大了容器塑性变形或断裂的危险性。同时高温会加快材料氧化与腐蚀过程并进一步弱化容器结构强度。二是高压环境可使容器内应力分布更复杂、局部应力集中更明显。这样不但使容器脆性断裂概率增大, 而且会使容器疲劳寿命大大缩短。另外, 腐蚀与疲劳在锅炉压力容器运行过程中是一个不容忽视的影响因素。腐蚀性介质对容器内壁有腐蚀作用, 造成壁厚变薄, 强度降低; 但交变载荷及循环应力作用会使容器出现疲劳裂纹进而诱发破坏。要解决上述问题, 锅炉压力容器在设计及制造过程中必须严格按照国家标准与技术规范进行。在选材时, 需充分考虑它在高温, 高压时的机械性能, 化学稳定性以及抗腐蚀能力等; 在结构设计中, 需合理安排受力构件, 优化应力分布, 保证充足安全余量。与此同时, 锅炉压力容器也需定期检验与保养, 及时发现和应对可能存在的隐患, 以保证锅炉压力容器长期平稳地工作。

## 2 裂纹产生的成因分析

锅炉压力容器裂纹的形成原因主要包括以下几点:

①应力腐蚀裂纹: 这种裂纹的出现主要是由于应力和腐蚀介质的共同作用。特别是在锅炉运行过程中, 当锅炉钢板受到浓度较大的碱水侵蚀时, 金属晶体与晶界间会产生电位差, 由此形成裂纹。这种裂纹通常出现在汽水管道的集装箱管座上, 且奥氏体不锈钢在水汽情况

下受到应力作用时最易产生这种裂纹。

②疲劳裂纹：锅炉压力容器在长期运行过程中可能会受到交变应力的影响，从而产生疲劳裂纹。这种裂纹在初期可能比较细小，但随着时间的推移会不断扩展延伸。疲劳裂纹主要包括机械疲劳裂纹、热疲劳裂纹和腐蚀疲劳裂纹三种类型。

③过热与过烧裂纹：这种裂纹主要出现在锅炉的制造业和锻造业中，与金属材料的过热和过烧有关。

④材料质量不足：如果锅炉压力容器使用的材料质量不符合技术标准，或者材料本身存在缺陷（如夹杂物、气孔等），也容易导致裂纹的产生。

⑤工艺水平不高：在锅炉压力容器的制造过程中，如果工艺水平不高或对细节缺乏注意，可能会增加裂纹产生的风险。

⑥设计结构缺陷：部分锅炉压力容器的设计结构可能存在缺陷，如受力不够均匀或局部强度不足等，这也可能导致裂纹的产生。

⑦过度使用和不当维护：锅炉压力容器在长期工作或频繁振动的情况下容易产生疲劳裂纹。同时，不当的维护也可能将原本可以修补的问题演化成不可挽回的裂纹。

综上所述，锅炉压力容器裂纹的形成原因是多方面的，包括材料、工艺、设计、使用和维护等多个方面。因此，在锅炉压力容器的制造、使用和维护过程中都需要注意预防裂纹的产生。下面从三个方面进行分析探讨：

### 2.1 对材料因素进行深度解析

制造锅炉压力容器时选材非常关键。不同材料的物理、化学性质是不一样的，它们直接影响锅炉压力容器的性能及使用寿命。尤其在高温、高压及腐蚀性工作环境下，材料稳定性、强度及韧性等更成为锅炉压力容器是否能安全工作的关键。材料因素在裂纹产生过程中起着如下作用：一是材料化学成分与微观结构共同决定宏观性能。若材料组成不均或者含有有害杂质等，则在服役过程中易发生应力集中、性能劣化等现象，加大了裂纹发生的几率<sup>[2]</sup>。二是材料热处理工艺对性能亦有显著影响。若热处理不当会使材料晶粒粗大，组织不均，继而强度及韧性下降，裂纹敏感性提高。另外，材料抗腐蚀性能也对裂纹产生有很大影响。受腐蚀性介质作用，材料表面及内部都有可能产生化学反应，使其性能劣化，壁厚变薄乃至穿孔。这些腐蚀性破坏不仅会使锅炉压力容器承载能力减弱，而且也可能是裂纹产生与扩展的开始。

### 2.2 对制造工艺因素进行综合解剖

锅炉压力容器制造工艺的好坏，直接关系到它的品质与性能。从原料前处理到最后组装及检验等各个环节

均会影响锅炉压力容器裂纹敏感性。制造过程中的铸造、锻造和焊接过程会引入内部缺陷或者残余应力。比如铸造时，模具设计不合理或者浇注温度过高都会使铸件内产生缩孔和气孔缺陷；锻造时，加热温度不够或者变形量太大都会使锻件内产生裂纹或者折叠；焊接时，若焊接参数的选取不当或者操作的不规范都会使焊缝产生未熔合和夹渣缺陷。这些内部缺陷在使容器强度下降的同时，也可能是裂纹产生与扩展的根源。另外在制造工艺过程中热处理过程对裂纹的产生有着重要的影响。热处理既能改善组织与性能，又能消除加工时残余应力。若热处理工艺不合适，则会使材料性能恶化，残余应力升高，进而加大裂纹出现的危险。

### 2.3 运行与维护因素的细致探讨

锅炉压力容器的操作和保养是确保其稳定和安全运行的关键步骤。锅炉压力容器工作时受到多种复杂载荷及环境因素影响，若操作失误或保养不及时都会使裂纹萌生并扩展。一是工作时载荷的变化对于裂纹的形成有着显著的影响。在启、停，变负荷运行过程中，容器内压力及温度将急剧改变，由此引起热应力及机械应力。这些应力一旦超出材料所能承受的范围就会引起裂纹。另外，交变载荷作用下容器也会产生疲劳失效而引起裂纹萌生与扩展。二是腐蚀与磨损亦是引起裂纹的主要原因。受腐蚀性介质影响，容器内壁有可能发生腐蚀反应而造成壁厚变薄和强度降低。同时受磨损影响，容器表面有可能被磨损刮伤，使物料连续性被破坏，承载能力下降。这些腐蚀、磨损等破坏不仅会增大裂纹发生的危险，而且有可能会加快裂纹扩展。最后保养不当还会使裂纹萌生并扩展。比如大修期间，容器若经过不标准的切割，焊接或者打磨等作业，都有可能引入新缺陷或者残余应力等；清洗时，若采用不当的清洗剂或者清洗方法会使容器内壁受到腐蚀或者破坏。这些保养不当行为均可作为诱发裂纹的因素。

## 3 裂纹检测与评估方法

### 3.1 常规检测方法的实践与应用

常规检测方法对锅炉压力容器日常检修及定期检查起到了关键作用。这些方法一般都是根据目视检查，敲击检测和液体渗透的原理进行检测，其目的是为了迅速而准确地检测出容器表面及近表面裂纹缺陷。目视检查就是其中一种最基本，最普遍的检查手段。有经验的检查人员肉眼观察容器焊缝，结构不连续处及其他关键部位，也可借助于放大镜和内窥镜。但目视检查是否有效主要取决于检查者的技能水平及专注程度，所以经常性的训练与练习对提高检查者检测能力非常重要。

敲击检测是一种历史悠久但仍然具有实用性的检测手段。检查人员用小锤子敲击容器表面,从听音变化判断有无裂纹产生。此法简便迅速,尤其是在大型容器或者不易接近地区。但敲击检测需要检查人员有丰富的经验及判断力,并可能受环境噪声及其他因素干扰。液体渗透检测被认为是一种更加精确的技术,它主要被应用于探测表面裂缝的存在。检查人员先将高渗透性液体涂于容器表面,再等一定时间使其完全渗透到裂纹内。然后他们用清洗剂除去表面过多液体涂上显像剂。经紫外线照射后,裂纹内液体产生荧光,使裂纹形态及部位明显。

### 3.2 先进检测技术的探索与应用

在科学技术日益发展的今天,锅炉压力容器裂纹检测也采用了更先进的检测技术。其中有超声检测、射线检测、磁粉检测和渗透检测等,各有特点,对裂纹的检测与评价提供了一种更全面更精确的方法。超声检测就是根据超声波的传播特性进行无损检测。检测人员把超声探头置于容器的表面上,发出超声波,接受它的反射信号,通过对反射信号的各种特性,如幅度、时间和波形进行分析,研究者能够确定容器内是否有裂痕,以及这些裂痕的具体位置和尺寸。超声检测穿透力和灵敏度都很高,且不伤害人体,尤其是对于厚度大或者结构较复杂的容器检测。但超声检测还受一定制约,例如探头和容器表面耦合效果以及材料声学特性会对检测结果精度造成影响。磁粉检测是一种通过磁场与磁粉之间的互动来探测表面及其附近裂纹的技术。检测人员先将磁场作用于容器的表面,再撒上磁粉。若有裂纹出现,磁粉将在裂纹上产生明显磁痕以指示其位置及形态。磁粉检测操作简单,直观可靠,尤其适合铁磁性材料容器检测。但是应该看到磁粉检测仅能探测到表面及近表面开裂,而对内部开裂或者非铁磁性材料容器却束手无策。射线检测就是利用射线具有穿透性,能够对胶片进行感光,或者能够让一些特殊物质进行发光等性质,从而对裂纹进行探测。检测人员把射线源置于容器一边,胶片或者特殊物质置于另一边,经射线源射出的射线穿入容器时,在

胶片表面形成影像或者在特殊物质表面发出荧光。

### 4 应对策略及建议

防止锅炉压力容器裂纹产生首先要从源头抓起,也就是要将防止思想融入到设计,选材和制造工艺中。在设计中应充分考虑容器所处环境及载荷条件等因素,合理布置结构以避免应力集中及突变。我们虽采取多种预防措施,仍难以避免裂纹产生。所以如何对已产生的裂纹进行处理与修补是非常重要的。选择治理与修复技术应以裂纹种类,尺寸及部位为依据。对表面裂纹可通过打磨和补焊的办法修补;对于存在的内部裂缝,可能需要使用更加复杂的修复方法,治理与修复的进程离不开科学方法论与严谨态度。在维修前应对裂纹进行细致的检测与评价,以掌握其本质及危害程度。在修复过程中对工艺参数进行严格的控制,以保证每个步骤均达到标准与规范的要求。维修完成后,对容器进行了全面检查和检测,以保证容器性能及安全性的恢复。同时要经常检查、保养容器以保证容器工作在良好状态。编制应急预案是安全管理中又一重要环节。对可能发生的各类紧急情况应编制周密的应急预案及处置流程。这些预案与过程应包括应急组织,通讯联络,现场处置,医疗救护和安全防护,以保证紧急情况下能得到快速有效响应。

### 5 结语

本论文在对锅炉压力容器裂纹进行深入研究后,认为裂纹产生是多因素共同影响的产物,它涉及到材料,制造工艺,运行环境和维修等诸多方面。为了有效地处理裂纹问题,必须在加强运行监测和维护管理的前提下,从源头加强防范、优化设计和材料选择、严控制造工艺。

### 参考文献

- [1]章捷.锅炉压力容器裂纹的形成原因及预防措施探索[J].中国设备工程,2022,(23):179-181.
- [2]胡冀轩.锅炉压力容器裂纹的形成原因及预防措施[J].智能城市,2021,7(24):96-97.