

# 锅炉、压力容器、压力管道检验中的裂纹问题及预防

李 刚

和田地区特种设备检验检测所 新疆 和田地区和田市 848000

**摘要:** 本论文对锅炉、压力容器和压力管道裂纹进行了深入的研究,内容涉及裂纹的分类、鉴别、成因分析和预防措施等。通过综合论述裂纹问题,揭示裂纹形成的多因素共同作用机理,以减少裂纹风险为目标,以提高装备安全性及使用寿命为目标,提出一系列行之有效的防范策略与建议。并对预防策略理论基础进行论述,根据不同类型裂纹提出具体预防措施,强调预防策略对装备全生命周期的意义。最后对今后研究方向及可能的技术改进做了预测。本课题的研究对促进相关领域技术进步与理论发展有重大意义,对工业设备平稳运行有强有力的保证。

**关键词:** 锅炉;压力容器;压力管道;裂纹问题;预防措施

## 引言

在工业领域当中,锅炉、压力容器以及压力管道都发挥着重要作用,其运行是否平稳直接影响着生产安全与经济效益。但是这些设备经过长时间的运行后,因受到多种内、外部因素的作用,极易产生裂纹问题,不仅会影响到设备的正常运行,甚至会造成严重安全事故。所以研究裂纹问题和探索预防措施具有重要意义。通过本课题研究,目的在于对裂纹问题产生原因进行深入剖析,并提出行之有效的防治措施,以提升设备安全性能及使用寿命,从而为工业生产平稳运行提供强有力的保障。与此同时,本研究还有利于促进相关领域技术进步与理论发展,并对今后的研究与实践起到了有益的借鉴与参考。

## 1 裂纹问题的分类与识别

工业设备运行中普遍存在裂纹问题和潜在的危险性缺陷。对锅炉、压力容器以及压力管道这类设备来说,出现裂纹可能就意味着设备结构失去完整性,继而可能会造成设备故障或者安全事故。所以准确地划分与识别裂纹问题是防止设备故障发生的重中之重。

### 1.1 裂纹的主要类型

裂纹按形成机制及形态特征可划分为许多类型,常见的有疲劳裂纹、应力腐蚀裂纹及热裂纹等。疲劳裂纹一般是指设备受到交变应力并经一定循环次数后在应力集中区域内产生的细小裂纹。这类裂纹常表现为细长形貌,并在应力持续作用下逐步扩大。应力腐蚀裂纹是设备在特定的环境和应力条件下,材料发生腐蚀而产生的裂纹<sup>[1]</sup>。这类裂纹一般表现为穿晶或者沿晶分布,扩展迅速。热裂纹的形成是因为在设备的生产或使用阶段,由于温度的波动导致材料的热应力超出了其承受的极限。这类裂纹一般存在于焊缝或者热影响区中,其形貌不规则。

### 1.2 裂纹的识别方法

对裂纹的鉴定主要靠目视检查和无损检测技术。目视检查对裂纹识别最为直接和普遍。用肉眼观察或用放大镜和其他工具辅助观察装置表面,可观察到一些较明显裂纹。但目视检查的局限性是它仅能检测表面裂纹而对内部裂纹或者微小裂纹无能为力。所以无损检测技术对于裂纹的识别具有举足轻重的地位。无损检测方法涵盖了超声波、射线、磁粉和涡流等多种技术,这些方法能够在不损害设备结构的情况下,对设备的内部和外部进行全方位的裂纹检查。这几种技术各有优缺点及适用范围,需结合具体情况选用适当的检测方法及装置。

### 1.3 裂纹识别的难点与对策

尽管有多种裂纹识别方法可供选择,但在实际应用中仍存在一些难点。一是裂纹形态及位置呈现多样性,可发生于设备中的任意位置,形状不一,对裂纹综合检测提出挑战。二是部分微小裂纹或者内部裂纹因不易直接观测或者检测信号微弱而易出现漏检或者判断错误。另外还有环境因素,例如设备表面污垢和油漆,都会对裂纹精确识别产生干扰。为克服上述困难,使裂纹识别更准确、更可靠,可采取如下应对措施:第一,加强人员培训、提高检测人员专业技能与经验水平。第二,综合运用各种检测方法来提高裂纹检出率,装备定期全面检测以保证无遗漏,多通过科学的分析处理检测数据,从而精确地判断裂纹是否存在及其性质。

### 2 裂纹成因分析

工业设备上裂纹的产生通常并不是单一因素影响的结果,而应该是多种因素交织综合影响的结果。对锅炉、压力容器及压力管道这类设备来说,裂纹产生的原因是特别复杂的,它涉及材质、设计、制造及使用诸多方面。

## 2.1 材料因素

材料作为组成装备的根本,材料性能的好坏直接影响着装备的强度与耐久性。在锅炉、压力容器及压力管道上,经常使用的材质有钢铁、有色金属以及它们的合金<sup>[2]</sup>。这类物料在冶炼,轧制和热处理过程中都可因化学成分的不适当控制,工艺参数的不合理或者操作上的失误而造成物料内部的缺陷,例如夹杂、气孔和偏析。这些缺陷可能是该装置运行时裂纹萌生源并随应力逐步扩展产生裂纹。另外,材料力学性能及化学性能均能影响裂纹形成。如材料强度不够,塑性韧性较差或者耐腐蚀性能差,均会使设备受到应力或者腐蚀介质影响而出现裂纹。

## 2.2 设计因素

设备的设计是确保其安全、可靠运行的关键环节。在锅炉、压力容器和压力管道等设备的设计过程中,需要充分考虑设备的结构、载荷、温度、压力等多种因素,确保设备具有足够的强度和稳定性。然而,在实际设计中,可能会由于设计人员的经验不足、设计标准选择不当或设计计算错误等原因,导致设备设计存在不合理之处。例如,结构设计过于复杂或应力集中严重,都可能导致设备在使用过程中出现应力过大或应力分布不均的情况,从而引发裂纹的产生。

## 2.3 制造因素

设备的制造过程,是完成设计意图、构成实物产品至关重要的一步。在锅炉、压力容器以及压力管道的生产过程中涉及材料加工、成型、焊接以及热处理等诸多步骤。其中任何一环出现差错或者不恰当的操作都会造成设备内出现缺陷或者应力集中从而诱发裂纹。比如在焊接时可能因为焊接参数的选取不当,焊接材料的失配或者焊接操作的失范而造成焊缝出现未熔合和气孔的现象、夹渣和其他缺陷可能是装置运行时裂纹扩展路径。

## 2.4 使用因素

设备在使用中的工艺,对检验设备设计,制造质量至关重要。锅炉、压力容器及压力管道在运行中可能因操作失误,超压超温及介质腐蚀而造成设备应力过大,材料损坏或腐蚀开裂。如操作人员在启动、停车或者调节设备参数过程中,有可能因操作不当或者缺乏经验而造成设备内压力波动或者温度突然变化,进而引起热应力或者机械应力而诱发裂纹。另外,该装置经过长时间运行后可能因介质腐蚀或者磨损而使材料性能逐步劣化进而诱发裂纹扩展。

## 3 预防措施与建议

### 3.1 材料选择与质量控制

为从根本上确保设备质量,必须注意选材和质量控制问题。选材时应充分考虑到设备工作环境、载荷条件和耐腐蚀性能,选用强度高、韧性好、耐腐蚀性能好的材料。同时,对其化学成分、机械性能等关键指标严格把关,保证其质量满足设计要求<sup>[3]</sup>。在物料质量控制上,要建立健全物料验收制度,严把进厂物料质量关,杜绝不合格品流入生产环节。对关键材料应定期复验以保证性能的稳定性。另外,对物料的贮存、运输过程要加强管理,以防物料在贮存、运输中破损、变质。

### 3.2 优化设计方案

优化设计方案是防止裂纹产生的最主要措施。在进行设计时,要充分考虑到该装置的结构特点,受力情况及制造工艺,运用合理的设计理念与先进的设计方法来保证该装置结构简单、受力均匀、便于制造与维护。对于应力集中,设计人员应优化结构以避免应力集中过大。如对装置关键部位进行圆弧过渡和添加加强筋来减小应力峰值。另外,对结构复杂或者规模较大的装备,还需要通过有限元分析和其他数值计算方法对其进行细致的应力分析,以保证装备在多种工况下都能够达到强度要求。

### 3.3 提高制造工艺与焊接质量

制造工艺、焊接质量等因素对该装置裂纹敏感性有显著影响。从制造工艺上看,要使用先进加工设备及工艺方法来保证设备各个零件的加工精度及表面质量。同时对关键部件应采取热处理,无损检测及其他特殊处理来消除其内部缺陷及应力。就焊接而言,要选用适当的焊接方法及焊接材料以保证焊缝质量达到设计要求。在焊接过程中应对焊接参数及焊接环境进行严格的控制,以免出现焊接缺陷。对重要的焊缝,应采用无损检测或者破坏性试验的检测方法,以保证其质量的可靠性。另外,还应该加强对焊接人员的训练与管理,以提高他们的技能水平与质量意识。

### 3.4 严格操作规程与加强定期检验

装置的操作规程及定期检验制度,是保证装置安全、平稳运行的重要保证。在操作规程上,要有详尽的操作指南及应急预案、操作人员要经过专业培训,以保证他们能熟练运用设备操作技能及安全知识<sup>[4]</sup>。与此同时,还应制定严格的设备巡检与维护制度,对设备故障与隐患进行及时检测与处理。就定期检验而言,要制订科学检验计划与方案,定期全面检验装备关键部位。在检测过程中,要运用先进的检测设备与手段来保证检测结果准确可靠。对检测出的裂纹及其他缺陷要及时处理并维修,以防扩展而造成装置故障。

#### 4 预防策略的理论探讨

经过对锅炉、压力容器和压力管道等领域裂纹问题分类、鉴定及产生原因的深入了解,转而从理论上对预防策略进行讨论。在制定预防策略时,需考虑很多因素,主要有设备运行环境、材料特性、设计和制造过程及使用维护。

##### 4.1 预防策略的理论基础

制定预防策略首先是在深入了解裂纹问题的基础上进行。裂纹的产生与扩展过程比较复杂,它涉及材料科学、力学、化学等多学科知识。所以预防策略以多学科交叉融合为理论依据。就材料科学而言,其预防策略需重视其微观结构与特性,并通过合理选材与改性提高抗裂纹能力<sup>[5]</sup>。从力学角度来看,预防策略要求对装置工作时受力情况进行分析,优化结构设计以减少应力集中并提高装置整体强度与稳定性。从化学角度来看,预防策略需综合考虑装置所处工作环境及介质等因素对物料的腐蚀影响,选用耐腐蚀材料或者采取防腐措施以降低腐蚀开裂风险。

##### 4.2 针对不同裂纹类型的预防策略分析

对不同种类裂纹采取不同预防策略。针对疲劳裂纹问题,其防治策略有:减小交变应力幅值与频率、增加材料疲劳强度、优化结构设计减小应力集中。如设备设计时使用柔性支撑和加装减震装置以减小交变应力作用;在选材时优先选择强度高、韧性好、疲劳寿命得到提高。针对应力腐蚀产生的裂纹,预防措施包括选用耐腐蚀的材料、管理工作环境中腐蚀介质的浓度和温度,以及实施阴极保护手段等。另外,可通过优化结构设计以减小应力集中,例如采取圆弧过渡和添加加强筋以降低应力腐蚀裂纹产生的危险性。针对热裂纹的防治策略有控制焊接及热处理时的温度与速度,选用适当的焊接材料与工艺以及优化焊缝设计。如焊接时采取预热、后热等措施以减小温度梯度、减小热应力影响;焊缝设计中采取合理坡口形式及大小来减小焊接变形及残余应力。

##### 4.3 预防策略在设备全生命周期中的应用

预防策略应用需贯穿于装备全生命周期中,从设计

到制造,从使用到保养。设计阶段的防止策略表现为结构优化与材料选择,从减少应力集中和改善材料性能两方面防止裂纹出现。在制造过程中,预防措施主要集中在加工技术和质量管理上,通过使用尖端的加工工具和方法,以及严格监控材料和焊接的品质,来确保制造出的设备达到高质量标准。在使用过程中,预防措施主要集中在操作指南和定期的检查上。通过制订周密的操作规程及应急预案,操作人员专业培训,制定严格的设备巡检及维修制度,保证了设备安全平稳运行。同时定期进行全面检查和无损检测,及时发现并处理裂纹及其他缺陷,避免裂纹扩展而造成设备故障。在设备的维护过程中,预防措施主要集中在设备的修复和保养上,这包括及时更换老化或损坏的部分,以及对设备进行定期的维护和修理,旨在延长设备的使用寿命并减少产生裂纹的可能性。

#### 5 结语

本论文在对锅炉、压力容器及压力管道裂纹进行深入研究后,认为裂纹是由多因素共同影响而形成的,它涉及材料、设计、制造及使用诸多环节。对裂纹进行分类、鉴定并分析其产生原因,就能更确切地了解与评价裂纹对于设备安全与寿命的作用。基于此,文章提出一系列行之有效的预防措施与建议,目的在于从根本上降低裂纹发生率,提升装备整体性能与安全性。

#### 参考文献

- [1]郭素琴.锅炉压力容器压力管道检验中的裂纹问题研究[J].中国新技术新产品,2022,(14):79-81.
- [2]钱冰,张树川,姚新宽.锅炉和压力容器及压力管道检验中裂纹问题分析[J].新型工业化,2022,12(07):67-70.
- [3]车慧敏.压力容器压力管道检验中裂纹问题的解决措施[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(10):43-45.
- [4]万鹏.压力容器压力管道检验中裂纹问题的解决措施[J].新疆有色金属,2022,45(03):30-31.
- [5]王克刚,王靖虎.锅炉压力容器压力管道检验中的裂纹问题[J].中国设备工程,2022,(06):164-165.