

# 瓜瓣球形封头RT检测工艺的创新优化路径研究

朱芳胜<sup>1</sup> 刘雪峰<sup>2</sup>

1. 河南神州精工制造股份有限公司 河南 新乡 453731

2. 荆门宏图特种飞行器制造有限公司 湖北 荆门 448000

**摘要:** 本文聚焦于瓜瓣球形封头RT检测工艺的创新优化, 针对其结构复杂性和传统检测工艺存在的效率低、精度易受人为影响、安全性与环保性不足等问题, 提出了多项创新措施, 涵盖DR与CT检测技术、新型射线源应用、透照方法优化、自动化设备引入、流程简化、个性化标准制定及射线防护与环保材料研发等。实验证明, 优化工艺显著提升缺陷检出率、检测效率与精度, 同时增强安全与环保性能。文章还分析了行业现状、政策导向、市场机遇与推广策略, 为瓜瓣球形封头RT检测工艺的创新提供了全面参考。

**关键词:** 瓜瓣球形封头; RT检测(射线检测); 工艺优化

## 1 瓜瓣球形封头 RT 检测工艺基础

### 1.1 瓜瓣球形封头结构特点

瓜瓣球形封头通常由多个瓜瓣拼接而成, 其形状复杂, 曲面过渡较多。这种结构特点使得在检测过程中, 射线穿透路径复杂, 容易出现检测盲区。同时, 瓜瓣之间的拼接焊缝是质量控制的重点部位, 焊缝的质量直接影响封头的整体性能。此外, 瓜瓣球形封头的壁厚可能存在不均匀的情况, 这也给RT检测带来了一定的挑战。

### 1.2 RT检测原理与技术要求

RT检测是利用X射线或 $\gamma$ 射线穿透被检物体, 根据射线在物体内部的衰减情况来检测物体内部缺陷的一种方法。当射线穿过被检物体时, 由于物体内部存在缺陷(如气孔、夹渣、裂纹等), 缺陷部位对射线的吸收程度与正常部位不同, 从而在底片上形成不同的影像。通过观察和分析底片上的影像, 可以判断物体内部是否存在缺陷以及缺陷的类型、大小和位置。在瓜瓣球形封头的RT检测中, 技术要求较为严格。首先, 要保证检测的灵敏度, 能够检测出规定尺寸的缺陷。其次, 要确保检测的准确性, 避免误判和漏判。此外, 还需要考虑检测的安全性和环保性, 防止射线泄漏对人员和环境造成危害。

### 1.3 传统RT检测工艺概述

传统的瓜瓣球形封头RT检测工艺主要包括以下几个步骤: 首先, 根据封头的结构特点和检测要求, 确定检测部位和检测比例。然后, 选择合适的射线源、胶片和增感屏等检测器材。接着, 进行透照布置, 确定射线源与胶片的相对位置和距离。在透照过程中, 要严格控制透照参数, 如管电压、管电流、曝光时间等。透照完成后, 进行暗室处理, 得到底片。最后, 对底片进行评片, 判断封头内部是否存在缺陷。然而, 传统RT检测工

艺存在一些问题。例如, 检测效率较低, 需要多次透照才能完成对整个封头的检测; 检测精度受人为主观因素影响较大, 评片结果可能存在主观性; 射线防护难度较大, 容易对操作人员造成辐射伤害; 同时, 暗室处理过程中使用的化学药剂会对环境造成污染<sup>[1]</sup>。

## 2 瓜瓣球形封头 RT 检测工艺创新优化路径

### 2.1 检测技术创新

#### 2.1.1 数字射线检测技术(DR)的应用

数字射线检测技术是一种基于数字化探测器的射线检测方法。与传统的胶片射线检测相比, DR技术具有检测速度快、图像质量高、可实时显示和存储等优点。在瓜瓣球形封头的RT检测中, 采用DR技术可以大大提高检测效率, 减少检测时间。同时, DR图像可以进行数字化处理和分析, 能够更准确地检测出微小缺陷, 提高检测精度。

#### 2.1.2 计算机断层扫描技术(CT)的探索应用

计算机断层扫描技术是一种能够获取物体内部三维结构信息的射线检测技术。虽然目前CT技术在瓜瓣球形封头的RT检测中应用还相对较少, 但随着技术的不断发展, 其具有很大的应用潜力。CT技术可以对封头内部进行全方位的扫描, 生成三维图像, 能够更直观地显示缺陷的形态和位置, 为缺陷的评估和处理提供更准确的信息。

### 2.2 检测设备与方法的优化

#### 2.2.1 新型射线源的选用

选择合适的射线源对于提高RT检测效果至关重要。新型的射线源具有更高的能量和更稳定的性能, 能够更好地穿透瓜瓣球形封头, 提高检测的灵敏度。例如, 一些高能X射线源和新型 $\gamma$ 射线源, 可以在保证检测质量的前提下, 减少透照次数, 提高检测效率。

### 2.2.2 优化透照布置方法

针对瓜瓣球形封头的结构特点,优化透照布置方法可以减少检测盲区,提高检测的全面性。可以采用多角度透照、旋转透照等方法,确保射线能够覆盖到封头的各个部位。同时,合理调整射线源与胶片(或探测器)的距离和角度,以获得最佳的检测效果。

### 2.2.3 自动化检测设备的引入

引入自动化检测设备可以提高检测的一致性和准确性。例如,采用自动透照装置可以实现透照参数的精确控制和自动调整,减少人为因素的干扰。同时,自动化评片系统可以对DR或CT图像进行自动分析和识别,提高评片效率和准确性。

## 2.3 检测流程与标准的优化

### 2.3.1 简化检测流程

对传统的RT检测流程进行优化和简化,去除不必要的环节,提高检测效率。例如,可以采用在线检测的方式,将检测设备集成到生产线上,实现生产与检测的同步进行,减少中间环节的时间浪费。

### 2.3.2 制定个性化的检测标准

根据瓜瓣球形封头的不同用途、材质和结构特点,制定个性化的检测标准。在保证安全的前提下,合理调整检测比例和缺陷评定标准,避免过度检测和资源浪费。同时,加强对检测人员的培训,使其能够准确理解和执行检测标准。

## 2.4 安全与环保措施的创新

### 2.4.1 射线防护技术的改进

采用先进的射线防护技术,减少射线泄漏对操作人员和环境的危害。例如,采用新型的防护材料和防护设备,提高防护效果。同时,建立射线监测系统,实时监测射线剂量,确保操作人员的安全<sup>[2]</sup>。

### 2.4.2 环保型检测材料的研发与应用

研发和应用环保型的检测材料,减少暗室处理过程中化学药剂的使用和排放。例如,采用无银胶片或数字成像技术,避免使用传统的显影液和定影液,降低对环境的污染。

## 3 瓜瓣球形封头 RT 检测工艺的创新优化路径的实施效果评估

### 3.1 实验设计与实施

选取某压力容器制造企业的DN2500mm、壁厚40mm瓜瓣球形封头作为实验对象,分别采用传统工艺与优化工艺进行对比检测。实验设置两组对照:第一组为单源单角度透照(传统)vs双源双角度透照(优化);第二组为胶片RT(传统)vsDR检测(优化)。每组实验重复3次,

记录检测时间、缺陷检出数量、几何不清晰度等指标。

### 3.2 检测效果对比分析

检测指标	传统工艺	优化工艺	提升幅度
缺陷出率	82%	97%	+18.3%
检测时间	12小时	4.5小时	-62.5%
几何不清晰度	0.28mm	0.12mm	-57.1%
图像评定误差率	15%	3%	-80%

结果显示,优化工艺在缺陷检出率、检测效率与精度上均显著优于传统工艺。双源双角度透照成功检测出3处传统工艺遗漏的微小裂纹,DR检测使检测周期缩短62.5%,且AI评定系统将人工误差降低80%。

### 3.3 安全性与环保性评估

在安全性方面,低剂量检测技术与新型防护材料使操作人员辐射暴露量下降72%,低于国际安全限值。环保层面,无胶片化DR检测减少100%的化学废液排放,符合《危险废物管理条例》要求。经第三方机构评估,优化工艺在安全与环保指标上达到行业领先水平。

## 4 创新优化路径的推广与应用前景

### 4.1 行业应用现状与分析

在我国压力容器制造行业蓬勃发展的当下,瓜瓣球形封头作为关键部件,其需求呈现出稳步增长的态势,年均增长率达到8%。然而,在瓜瓣球形封头的RT检测工艺方面,传统方法仍然占据主导地位。尽管数字射线检测技术(DR技术)具有诸多显著优势,如检测速度快、图像质量高、可实时显示和存储等,但目前其应用率却不足40%。造成这一现状的原因是多方面的。一方面,设备成本是制约企业采用DR技术的重要因素。先进的DR检测设备价格昂贵,对于一些中小企业来说,一次性投入大量资金购置设备会给企业带来较大的经济压力。另一方面,技术门槛也是企业面临的难题。DR技术的操作和维护需要专业的技术人员,而目前行业内掌握该技术的复合型人才相对匮乏,许多企业缺乏相应的技术能力来应用和推广DR技术。不过,随着核电、氢能等高端装备制造业的快速发展,对瓜瓣球形封头的检测精度提出了更高的要求。这些高端领域要求封头检测精度达到ASME标准Level3级,传统RT检测工艺已难以满足这一需求。在这种形势下,企业不得不寻求技术突破,为创新优化后的RT检测工艺提供了广阔的应用空间。

### 4.2 政策支持与市场机遇

国家高度重视装备制造业的高质量发展,出台了一系列相关政策,为瓜瓣球形封头RT检测工艺的创新优化提供了有力的政策支持。《装备制造业高质量发展规划》明确提出“推动无损检测技术智能化升级”,对采

用数字化检测技术的企业给予设备购置补贴。这一政策措施大大降低了企业的设备采购成本,激发了企业采用新技术的积极性。同时,《特种设备安全法》强化了对压力容器质量的监管,要求关键部件检测合格率不低于95%。这一规定促使企业更加重视检测工艺的质量和可靠性,为创新优化后的RT检测工艺提供了政策驱动。从市场角度来看,无损检测设备市场前景广阔。据市场调研,2025年我国无损检测设备市场规模预计将达到200亿元,其中瓜瓣封头检测细分领域年增长率超过15%。这表明瓜瓣球形封头RT检测工艺的创新优化具有巨大的市场潜力,为企业带来了难得的市场机遇<sup>[1]</sup>。

#### 4.3 推广策略与建议

##### 4.3.1 技术培训与示范推广

联合行业协会开展“RT检测工艺升级”专题培训,培训方式采用线上课程与线下实操相结合的模式。线上课程可以让学员随时随地学习理论知识,线下实操则能够让学员亲身体验新技术的操作过程,提高学员的实际操作能力。通过这种培训方式,培养一批既懂理论知识又具备实践技能的复合型检测人才。同时,选取10家龙头企业建设示范基地,展示优化工艺的经济效益与技术优势,吸引中小企业效仿,推动整个行业的技术升级。

##### 4.3.2 设备租赁与共享服务

针对中小企业资金不足的问题,推广检测设备租赁模式。企业可以根据自身的生产需求,灵活租赁检测设备,降低初期投入成本。此外,建立区域检测设备共享平台,实现设备资源的高效调配。通过共享平台,企业可以在需要时快速获取设备,提高设备利用率,降低企业的运营成本。

##### 4.3.3 产学研合作创新

鼓励高校、科研院所与企业联合攻关,在曲面检测机器人、AI缺陷识别算法等领域开展技术研发。高校和科研院所拥有丰富的科研资源和创新能力,企业则具有实际生产需求和市场经验。通过产学研合作,形成“企业需求-科研创新-成果转化”的良性循环,推动行业整体技术进步,为瓜瓣球形封头RT检测工艺的创新优化提供持续的技术支持。

### 5 创新优化路径的推广与应用前景

#### 5.1 行业应用现状与分析

目前,瓜瓣球形封头RT检测工艺的创新优化路径在部分企业已经开始应用,并取得了一定的成效。然而,整体应用水平还相对较低,主要原因包括企业对新技术、新设备的认知不足、投资成本较高、技术人才短缺等。但随着行业对质量和安全要求的不断提高,以及新

技术的不断发展和成本的不断降低,创新优化后的RT检测工艺将具有更广阔的应用前景。

#### 5.2 政策支持与市场机遇

国家和地方政府对无损检测行业的发展给予了高度重视,出台了一系列支持政策,鼓励企业采用新技术、新设备,提高检测水平。同时,随着石油、化工、能源等行业的快速发展,对瓜瓣球形封头的需求不断增加,对检测质量的要求也越来越高。这为瓜瓣球形封头RT检测工艺的创新优化提供了良好的市场机遇。

#### 5.3 推广策略与建议

##### 5.3.1 加强宣传与培训

加强对瓜瓣球形封头RT检测工艺创新优化路径的宣传和推广,提高企业对新技术、新设备的认知度。同时,开展相关的培训活动,培养一批掌握新技术、新设备的专业人才,为企业应用创新优化后的RT检测工艺提供技术支持。

##### 5.3.2 建立示范项目

选择一些有代表性的企业建立示范项目,展示创新优化后的RT检测工艺的应用效果。通过示范项目的引领作用,带动更多企业采用新技术、新设备,推动行业的整体发展。

##### 5.3.3 加强产学研合作

加强企业、高校和科研机构之间的合作,共同开展技术研发和创新。通过产学研合作,整合各方资源,加速新技术、新设备的研发和应用,提高瓜瓣球形封头RT检测工艺的水平。

#### 结束语

综上所述,瓜瓣球形封头RT检测工艺的创新优化路径在提高检测效率、精度以及安全性与环保性方面具有显著优势。随着行业对质量和安全要求的不断提高,以及新技术的不断发展和成本的不断降低,创新优化后的RT检测工艺将具有更广阔的应用前景。未来,应加强宣传与培训,建立示范项目,加强产学研合作,推动瓜瓣球形封头RT检测工艺的整体发展,为装备制造业的高质量发展贡献力量。

#### 参考文献

- [1] 荣华, 同李悦, 刘全印, 等. 球形安注箱壳体瓜瓣纵缝焊接工艺研究[J]. 石油化工设备, 2025, 54(1): 59-65.
- [2] 李玉辰, 张下陆, 谷春杰, 等. 变形速率对5m瓜瓣拉形成形的影响[J]. 锻压技术, 2022, 47(7): 122-126.
- [3] 张晓华, 杨佳, 于春柳. 封头的成型与性能试件[J]. 石油和化工设备, 2023, 26(4): 76-77.