

# 复合陶瓷保温结构压力容器的检测工艺优化对策

严挺 钱艳玲 吴添赞

杭州市特种设备检测研究院 浙江杭州 310051

**摘要:** 压力容器作为一种常见的、重要的特种设备,它在化学工业、工程制造、生活生产等领域中发挥着重要作用。由于压力容器本身功能所决定,其质量标准、制造工艺要求极高,对压力容器的检测一直是重中之重。而复合陶瓷保温结构的压力容器,作为目前市场上较为新型的压力容器类型,一直受目标用户的青睐与欢迎。为了保障复合陶瓷保温结构压力容器的质量安全,特针对现阶段复合陶瓷保温结构压力容器的检测现状及问题进行分析,并结合既有的研究观点与实践经验,提出对应的检测工艺优化对策,从而为我国相关领域提供价值性参考。

**关键词:** 复合陶瓷; 保温结构; 压力容器; 检测工艺; 优化策略

## Optimal Countermeasures for Detection Technology of Pressure Vessel with Composite Ceramic Thermal Insulation Structure

YAN Ting, QIAN Yanling, WU Tianyun

Hangzhou Special Equipment Testing Research Institute, Hangzhou, Zhejiang 310051

**Abstract:** As a common and important special equipment, pressure vessel plays an important role in chemical industry, engineering manufacturing, life production and other fields. Due to the function of the pressure vessel itself, its quality standards and manufacturing process requirements are extremely high, and the inspection of pressure vessels has always been the top priority. The pressure vessel with composite ceramic thermal insulation structure, as a relatively new type of pressure vessel on the market, has always been favored and welcomed by target users. In order to ensure the quality and safety of the composite ceramic thermal insulation structure pressure vessel, the current status and problems of the composite ceramic thermal insulation structure pressure vessel testing are analyzed, and the corresponding testing process optimization countermeasures are proposed based on the existing research viewpoints and practical experience. Provide valuable reference for related fields in my country.

**Keywords:** Composite ceramics; Thermal insulation structure; Pressure vessel; Testing process; Optimization strategy

近年来,由于陶瓷材料、不锈钢材料等优异的性能,不断得到人们的关注与青睐,很多设计者通过将陶瓷与其它材料混合,制作成复合陶瓷材料,覆盖在保温结构的压力容器上,不仅显著提高了压力容器的保温性能、隔热效果,更降低了蒸汽耗用量。虽然,采用复合陶瓷保温结构的压力容器,能够大幅度保障工业生产需求,但是由于压力容器本身功能特点,对质量安全有着极高要求。因此,复合陶瓷保温结构压力容器投入使用前或使用中,都需要开展无损检测。本研究以某化工企业所使用的复合陶瓷保温结构压力容器为例,分析其常规的

压力容器检测工艺问题,通过压力容器检测问题的发现与分析,提出针对性的优化建议,从而提高对复合陶瓷保温结构压力容器的检测效果,有效保障压力容器的使用安全。

### 1、复合陶瓷保温结构压力容器的概述

复合陶瓷保温结构压力容器是指以陶瓷材料、金属材料及其它材料混合制备而成具备保温能力的压力容器设备。由于陶瓷本身的隔热性能良好,且具备耐热、保温等特点,因此,被用于保温结构的压力容器制作上。复合陶瓷保温结构的压力容器与全金属的压力容器相比,

具有质量轻、刚度好、抗疲劳、负载寿命长等优势，而且大幅度提高了压力容器本身的结构稳定性，保障了压力容器的使用安全。由于压力容器本身属于一种特种设备，其安全标准要求高，需要对压力容器实施外部检测、内部检测，保证压力容器的安全<sup>[1]</sup>。

## 2、复合陶瓷保温结构压力容器的检测工艺现状及问题

### 2.1 附加垫板结构影响，常规检测技术适应性弱

当前，通过相关文献研究及检验实践，我国已有部分研究者对复合陶瓷保温结构的压力容器检测工艺进行了探讨，例如：刘会彬、陆树华、莫荣明等人（2021）就复合陶瓷保温结构压力容器CR检测工艺优化进行了研究与实践，他们提出，复合陶瓷保温结构压力容器通常会使用附加垫板结构工艺，由于附加垫板结构本身的影响，导致过滤器直径小、壁厚薄，采用常规的无损检测方法难以满足其要求，而且，此类压力容器通常使用316不锈钢材料及陶瓷复合材料，受此类材料的特性影响，导致压力容器的焊缝厚度往往在3~6mm，由于压力容器的壁厚较薄，就会导致超声检测的效果受影响，加之此类材料的声衰系数大，采用常规的超声检测法，将会引起散射严重的问题<sup>[2]</sup>。

### 2.2 提离效应限制较大，无损检测方法效果差

从复合陶瓷保温结构压力容器的材料特点上来看，该类型的压力容器通常使用复合陶瓷隔热性材料，而且，在进行此类压力容器设计时，通常会根据压力容器的设备功能差异进行材料涂覆厚度的区分，这就导致整个压力容器的复合陶瓷隔热材料厚度不均，厚度最大部位通常能够达到80mm，而厚度最小的部位只有30mm甚至更低。而常规性的无损检测方法本身就受压力容器材料厚度的影响，较为典型的提离效应的限制，因此，诸如目前所使用的电磁超声检测法不能够很好适用于此类压力容器的检验<sup>[3]</sup>。

## 3、复合陶瓷保温结构压力容器的检测工艺优化对策

### 3.1 采用计算机化射线照相技术CR

计算机化射线照相技术也称CR检测技术，它是数字射线照相技术中的一种新的非胶片射线照相技术，被广泛地应用于特种设备检验作业中。目前，我国已经有使用CR检测技术对复合陶瓷保温结构压力容器检测的先例，并且取得了不错的检测效果与反响。比如：刘会彬、陆树华、莫荣明等人（2021）就以CR检测技术为目标体，对其进行了优化与实验。他们通过实验发现，不同厚度的复合陶瓷保温层材料对CR图像的成像质量有着较

大影响，即复合陶瓷保温结构压力容器的保温层材料厚度越大，CR数字图像分辨率就越低；反之，反复陶瓷保温结构压力容器的保温层材料越薄，CR数字图像的分辨率就越高（复合陶瓷材料厚度与CR图像质量关系如下图1所示）。根据CR检测技术的工艺原理可知，计算机化射线照相技术对某一目标体实施探测时，主要是通过射线定位，将材料的差异度上传至计算机系统中，再通过计算机系统模拟计算，从而给出数字成像图。在这一过程中，CR数字图像的分辨率将直接决定着压力容器检验效果与数据精准度。而通过上述对复合陶瓷保温结构压力容器的特点与检测现状分析可知，目前无损检测法适用性弱的主要问题就是此类压力容器材料厚度较薄。因此，综合研究与对比可知，CR检测技术的特性与标准刚好适应复合陶瓷保温结构压力容器的材料特征。对此，就可以采用计算机化射线照相技术对此类压力容器进行检验，从而解决以往常规性检验方法效果差的问题<sup>[4]</sup>。

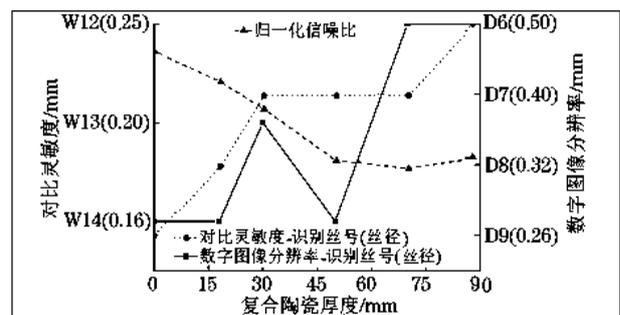


图1 复合陶瓷材料厚度与CR图像质量关系

### 3.2 对磁粉检测、超声波检测等工艺组合

通过上述对复合陶瓷保温结构压力容器的检测工艺现状分析可知，其常规性的无损检测技术之所以不能够适用于此类压力容器检验作业中，主要原因之一就是压力容器附加垫板结构的影响。因此，优化复合陶瓷保温结构压力容器的检测工艺重点，就是解决压力容器本身的附加垫板结构问题。对此，本研究中，在借鉴已有的CR检测技术基础上，将磁粉检测技术、超声波检测技术、射线检测技术等方法进行了组合<sup>[5]</sup>。通过各种无损检测技术的组合，对复合陶瓷保温结构压力容器的附加垫板、无垫板的相关材料部件进行混合检测，并将各种检验工艺的检测数据保留与上传，最后将所有数据进行集中处理。寻找各类检测工艺的均衡值，与复合陶瓷保温结构压力容器的安全质量标准、检验数据标准进行对比，得出一套可控制的检测方案。最后，将得出的无损检测组合方案与CR检测技术的数据结果进行对比与观察，有效计算出两种不同检测技术的实际效果（附加垫

板结构与无垫板结构的组合检测图像质量如表1所示)。通过一系列的无损检测组合方案优化可知,将磁粉检测技术、超声波检测技术与CR检测技术进行组合,有利于提高对复合陶瓷保温结构检验质量与效果,解决此类压力容器附加垫板材料的检验影响问题<sup>[6]</sup>。

表1 附加垫板结构与无垫板结构的组合检测图像质量

结构	对比灵敏度—识别线号(丝径/mm)	数字图像分辨率—识别线号(线径/mm)	信噪比
附加垫板1	W16(0.3)	D6(0.3)	56.0
附加垫板2	W17(0.19)	D8(0.25)	116.0
无垫板	W17(0.19)	D8(0.25)	90.6

### 3.3 漏检概率控制与预期寿命控制标准结合

根据既往的压力容器检验实践可知,对复合陶瓷保温结构压力容器实施检测作业时,不仅检测技术方法本身影响着最终的检验数据与质量,检验过程中产生的相关数据及对比分析方法也将直接决定着压力容器检测成效。因此,这就要求对复合陶瓷保温结构压力容器的检测工艺优化,不仅要检测技术本身着手,更应该从漏检概率控制与预期寿命控制入手。结合着本研究中复合陶瓷保温结构压力容器的检测现状及存在问题,可以尝试将该类型压力容器的漏检概率控制与预期寿命控制标准进行结合,从而得出一套新的检验数据标准。作业人员对复合陶瓷保温结构压力容器的压力表、筒体、支座、封头、安全阀、法兰及密封件等进行检验时,将漏检数据与预期寿命标准数据进行对比,然后得出一定的漏检概率控制参数。从而更好地去判断压力容器本身的质量问题与安全缺陷。通过初步的安全缺陷与问题判断,再使用相关检验技术与仪器进行复检,最终针对性的制定复合陶瓷保温结构压力容器的检验修复方案与问题解决方案,进而保障压力容器的质量安全<sup>[7]</sup>。

### 4、结束语

综上所述,复合陶瓷保温结构压力容器的显著特点就是利用陶瓷材料的隔热性能、耐热性能,将其与其它

材料进行混合,进而制备出一种复合陶瓷隔热涂料,通过将这一隔热材料覆盖在保温结构的压力容器上,从而提升整个压力容器的隔热性能、保温效果,进而减少热量的消耗。相关研究表明,由于复合陶瓷保温结构压力容器的材料大多为316不锈钢及其它复合型材料,而且焊缝厚度往往达到3~6mm以上,因此采用常规超声检测法、电磁超声检测法、常规无损检测法等无法满足该类设备的检验标准。对此,结合着现阶段复合陶瓷保温结构压力容器检测工艺问题与困境,提出CR检测技术、无损检测技术组合等对策,从而更好地开展复合陶瓷保温结构压力容器检测工作。

### 参考文献:

- [1]姚小静,韩伟,韩明,等.压力容器制造过程中异种钢焊接工艺及无损检测方法研究[J].石油工业技术监督,2019,35(5):38-40.
- [2]刘会彬,陆树华,莫荣明,等.复合陶瓷保温结构压力容器CR检测工艺优化[J].无损检测,2021,43(10):34-36.
- [3]王猛,刁海波,马晶晶.压力容器不锈钢复合层焊缝中复合层对超声波检测的影响[J].无损检测,2019,41(4):58-61.
- [4]黎建安.探伤技术在超薄金属内衬轻量化复合材料压力容器检测中的应用分析[J].智能建筑与工程机械,2022,4(1):78-80.
- [5]王冬冬,曾启畅,郭韵,等.收发式X型涡流检测探头在压力容器顶盖焊缝检测中的运用[J].核科学与工程,2020,40(1):76-84.
- [6]张鹏,丛林.基于分形方法的载人压力容器内壁缺陷可视化检测方法[J].机械制造与自动化,2021,50(6):73-76.
- [7]孔凡宏.探伤技术在超薄金属内衬轻量化复合材料压力容器检测中的应用研究[J].世界有色金属,2020(11):251-252.