

# 压力容器用材料选择与应用研究

王志刚, 李艳丽, 赵立庆, 刘燕飞\*

青岛兰石重型机械设备有限公司, 山东 青岛 266000

**摘要:** 压力容器作为工业生产中常见的设备, 在石油化工、电力、化工、制药等领域具有广泛的应用。压力容器的封头作为其重要组成部分, 对于容器的安全性、密封性和稳定性起着至关重要的作用, 压力容器封头的成型工艺及材料选择研究显得尤为重要。本文将从压力容器用材料选择与应用以及封头成型方面展开研究, 旨在探讨不同材料对压力容器性能的影响以及封头成型技术的发展与应用。

**关键词:** 压力容器; 封头成型; 材料选择; 应用

## Research on Material Selection and Application for Pressure Vessels

Wang Zhigang, Li Yanli, Zhao Liqing, Liu Yanfei\*

Qingdao Lanshi Heavy Machinery Equipment Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266000

**Abstract:** As a common equipment in industrial production, pressure vessels have a wide range of applications in fields such as petrochemicals, electricity, chemicals, pharmaceuticals, etc. The head of a pressure vessel, as an important component, plays a crucial role in the safety, sealing, and stability of the vessel. The research on the forming process and material selection of pressure vessel heads is particularly important. This article will conduct research on the selection and application of materials for pressure vessels, as well as head forming, with the aim of exploring the impact of different materials on the performance of pressure vessels and the development and application of head forming technology.

**Key words:** pressure vessels; head forming; material selection; application

### 前言:

压力容器封头在使用过程中承受着来自内部介质的高压力, 其质量直接关系到整个容器的安全运行。不合格的封头会导致泄漏、爆炸等严重事故, 对生产和环境造成严重影响。因此, 研究压力容器封头成型工艺和材料选择, 旨在提高封头的质量和可靠性, 确保容器在高压工况下的安全运行。随着工业技术的不断发展和压力容器的广泛应用, 对封头成型工艺和材料的要求也越来越高。传统的冷冲压、热冲压、冷旋压等成型工艺已经不能完全满足复杂封头的制造需求, 因此需要针对不同形状、尺寸和材料的封头开展更加精细化的成型工艺研究, 以提高成型效率和质量<sup>[1]</sup>。通过深入探讨封头成型工艺、材料选择及质量控制等方面, 可以为相关领域的工程技术提供有益参考和借鉴, 促进相关行业的技术进步和发展。

### 一、不同材料制造压力容器的性能影响

不同材料对压力容器性能的影响是压力容器设计与制造中的核心问题。以下是对不同材料制造压力容器对性能的具体影响:

1) 碳钢: 碳钢是常用的压力容器制造材料之一。它具有良好的机械性能和加工性, 适用于一般工业环境下的压力容器制造。然而, 碳钢在腐蚀性环境中容易发生腐蚀, 需要采取防腐措施或选择合适的涂层来提高其耐腐蚀性<sup>[2]</sup>。2) 不锈钢: 不锈钢因其优异的耐腐蚀性能而成为压力容器制造的首选材料之一。不锈钢分为多种类型, 如304、316等, 它们具有不同的耐蚀性和机械性能, 可根据实际需求选择。不锈钢制造的压力容器在食品工业、化工等领域得到广泛应用, 能够有效延长容器的使用寿命。3) 合金钢: 合金钢是一种优质的压力容器制造材料, 具有良好的耐高

温、耐腐蚀性能和高强度特点。合金钢可以在高温高压环境下稳定工作, 常用于石油化工、核工业等领域的压力容器制造。4) 其他材料: 除了以上常见的材料外, 还有复合材料、玻璃钢等新型材料也在压力容器制造中得到应用。这些材料通常具有轻质、耐腐蚀、高强度等特点, 能够满足特定工业领域对压力容器的特殊要求。

### 二、压力容器用材料选择的要求

#### (一) 强度和耐压性能

压力容器必须具备足够的强度来承受内部介质所施加的压力。这种强度需考虑静态负载和动态负载的作用, 以及在不同工作条件下的应力状态。因此, 在材料选择时需要考虑材料的屈服

\* 作者简介: 王志刚 (1984年) 男 汉 河北省衡水市 本科 工程师 从事压力容器制造等工作

强度、抗拉强度、抗剪强度等指标，确保材料能够在设计工况下保持结构的完整性和稳定性。其次是耐压性能，压力容器在工作时会承受内部介质产生的压力，因此需要具备良好的耐压性能。耐压性能取决于材料的抗拉强度、材料的屈服极限、材料的断裂韧性等因素。材料的耐压性能直接关系到容器的安全性，因此在选择材料时必须确保其能够承受设计工况下的最大压力而不发生破裂或变形<sup>[3]</sup>。

## （二）腐蚀性能

在压力容器用材料选择中，腐蚀性能是一个至关重要的考虑因素。腐蚀是指材料与介质接触后发生的化学反应，导致材料表面损失或结构性能变化的现象。由于压力容器通常用于存储或运输液体、气体等介质，因此材料的腐蚀性能直接关系到容器的安全性和使用寿命。

首先，压力容器在选择材料时需要考虑介质的腐蚀性质。不同介质对材料的腐蚀性有所差异，有些介质是酸性、碱性或盐性的，有些含有腐蚀性物质，因此需要选择能够耐受特定介质腐蚀的材料。例如，对于含酸性介质的压力容器，需要选择耐酸性良好的材料，如不锈钢或耐腐蚀合金钢。其次，压力容器用材料的腐蚀性能也与工作温度有关<sup>[4]</sup>。高温下介质的腐蚀性往往更强，因此需要选择能够在高温环境下保持良好腐蚀性能的材料。一些特殊材料如高温合金钢、镍基合金等具有优异的高温腐蚀抗性，适用于高温高压条件下的压力容器制造。此外，压力容器的工作压力和温度也会影响材料的腐蚀性能选择。高压环境下容易引发应力腐蚀裂纹，因此需要选择具有良好抗应力腐蚀裂纹能力的材料。对于常见的工业压力容器，通常需要经过严格的材料测试和质量控制，以确保选用的材料具有良好的腐蚀性能和安全性。

## （三）成本和可加工性

在选择压力容器用材料时，不同材料的成本差异很大，如碳钢相对较便宜，而不锈钢、合金钢等则较为昂贵，在选择压力容器用材料时，需要根据项目预算和经济性考虑成本因素。经济实用性要求我们在保证安全和性能的前提下，选择成本适中的材料，以降低制造成本并提高投资回报率。

一方面，压力容器的制造过程涉及到材料的切割、焊接、成型等工艺，因此选用易于加工的材料可以提高生产效率和降低加工成本。例如，某些特殊合金材料由于具有较高的硬度或焊接特性，需要采用更复杂的加工工艺，这会增加制造成本和技术难度<sup>[5]</sup>。另一方面，易于加工的材料可以更好地满足压力容器复杂结构的制造要求，同时减少废料和加工难度，提高生产效率。因此，可加工性需要在材料选择时进行综合考虑，特别是针对具有特殊形状或复杂结构的压力容器。

在实际应用中，通常会进行成本效益分析和工艺可行性评估，综合考虑材料成本、加工性能、可塑性等因素，选择最佳的材料。此外，随着材料工艺技术的不断进步，一些新型材料具有较高的可加工性和性价比，也值得关注和探索。

## （四）非金属材料

### 1. 聚合物

聚合物是一种具有高分子结构的材料，广泛应用于压力容器

的制造中。聚合物具有轻质、良好的耐腐蚀性和绝缘性能的优点。在选择聚合物作为压力容器材料时，需要考虑其耐压性能、温度稳定性以及在特定工作环境下的化学稳定性。常见的聚合物材料包括聚乙烯、聚丙烯、聚四氟乙烯等。

### 2. 复合材料

复合材料是由两种或更多不同性质的材料组合而成的材料。在压力容器领域，复合材料通常由纤维增强材料和基体材料组成。纤维增强材料如碳纤维、玻璃纤维等具有较高的强度和刚度，基体材料如聚合物具有良好的耐腐蚀性和低密度。复合材料可以根据应用需求进行设计和制备，具有轻质、高强度、良好的耐腐蚀性和疲劳寿命长等优点。

### 3. 陶瓷材料

陶瓷材料是由无机非金属材料制成的一类材料。在压力容器中，陶瓷材料具有出色的耐腐蚀性、耐高温性、硬度高以及优异的绝缘性能。然而，陶瓷材料的脆性较高，易受到冲击和应力集中的影响。因此，在设计和制造陶瓷压力容器时需要考虑其结构设计和加工工艺。

非金属材料的选择在压力容器领域中发挥着重要的作用。聚合物、复合材料和陶瓷材料都具有独特的性能和优势，在特定的工作环境中能够提供良好的耐腐蚀性和耐高温性。然而，需要根据具体的工作条件、设计要求和制造成本等因素来选择合适的非金属材料，以确保压力容器的性能和安全性能。

## 三、压力容器封头成型中材料选择与应用策略

### （一）压力容器封头成型的制造工艺

压力容器的封头成型是一个关键的制造工艺，直接影响到压力容器的密封性能和安全性，在开始制造封头之前，需要进行详细的设计工作。设计应包括封头的形状、尺寸、厚度、材料选用等，实际需要根据设计要求准备原材料，通常使用板材或带材作为封头的原料<sup>[6]</sup>。一般而言，常见的封头成型方法包括冷冲压、热冲压、冷旋压等。选择成型方法需要考虑封头的形状、尺寸以及材料的性能特点。

其一，冷冲压是常用的封头成型方法之一，适用于球形、椭圆形等常规形状的封头，在冷冲压过程中，将原材料放置于冲压机的模具中，通过冲击或挤压等方式将材料成型成封头的形状。其二，对于大型、复杂形状的封头，通常采用热冲压成型方法，热冲压过程中，首先对原材料进行加热处理，使其变软易于成型，然后放置于冲压机中进行成型操作。其三，冷旋压是针对较大直径的封头而设计的成型方法，可以提高成型效率和质量，在冷旋压过程中，原材料通过旋转和压力作用下逐渐成型成封头的形状。

成型完成后，需要进行一些加工和调整工作，如修整封头边缘、调整尺寸精度等，以确保成型的封头符合设计要求，制造过程中需要进行质量控制和检验，包括对成型后封头的外观质量、尺寸精度、表面平整度等进行检查，还需要进行非破坏性检测，如超声波检测、X射线检测等，确保封头无缺陷、无裂纹，并符合相关标准和规范要求。

## （二）压力容器封头成型中材料选择及应用策略

### 1. 根据工艺选择材料

在压力容器封头成型中，根据工艺选择材料是非常关键的，因为不同的成型工艺对材料的要求和适用性是不同的。以下是关于根据工艺选择材料的一些策略和考虑因素：1) 冷冲压成型：对于球形、椭圆形等简单形状的封头，常采用冷冲压成型。在材料选择上，需要考虑材料的可塑性和韧性，以便于在冲压过程中形成所需的形状而不产生裂纹或变形。常见选择的材料包括不锈钢、合金钢等，这些材料具有良好的塑性和成型性能，适用于冷冲压成型的要求。2) 热冲压成型：热冲压成型常用于制造大型、复杂形状的封头。在选择材料时，需要考虑材料的耐高温性能、热塑性和成型性能。部分高温合金钢、镍基合金等具有良好的高温抗性和热塑性，适用于热冲压成型的要求。3) 冷旋压成型：冷旋压成型常用于较大直径的封头制造。在选择材料时，需要考虑材料的抗拉性、屈服强度和可塑性，通常选择具有较高屈服强度和良好可塑性的材料，如一些强度较高的不锈钢、合金钢等。

### 2. 根据不同材料优化工艺参数

在压力容器封头成型中，根据不同材料优化工艺参数是非常重要的，因为不同材料具有不同的物理性能和加工特性，需要针对性地调整工艺参数以确保成型质量和效率，在选择材料之前，需要对不同材料的物理性能、机械性能、热性能等进行全面分析，了解各种材料的特点和适用范围。

其一，对于热塑性材料，需要控制成型温度以确保材料具有良好的塑性和流动性。不同材料的成型温度范围不同，需要根据材料特性进行调整。其二，成型压力直接影响材料的变形和成型效果，需要根据材料的硬度、韧性等特性来确定合适的成型压力范围。其三，成型速度对于冷冲压和冷旋压成型等工艺影响较大，需要根据材料的塑性和变形特性来调整成型速度，避免产生裂纹或变形。其四，不同材料需要使用不同类型的润滑剂，以降低摩擦力、减少磨损，并提高成型精度和表面质量。

在实际生产中，需要进行工艺参数的调试和优化。通过试验和实际生产情况的反馈，逐步调整工艺参数，找到最佳的成型工艺参数组合。需要注意的是，不同的封头形状和尺寸也会对工艺参数产生影响，需要综合考虑。在成型过程中需要进行质量控制

和检验，包括对成型后封头的尺寸精度、表面质量、内部缺陷等进行检查，可以通过非破坏性检测方法如超声波检测、X射线检测等，确保封头无缺陷、无裂纹，并符合相关标准和规范要求<sup>[7]</sup>。

### 3. 加强成型过程中的质量控制与检验

在压力容器封头成型过程中，加强成型过程中的质量控制与检验是确保封头质量和安全性的关键步骤，尽选择质量可控、符合标准的原材料，确保材料的化学成分、机械性能等指标符合要求，避免因材料质量问题导致的封头成型质量不良，在此基础上对原材料进行严格的入厂检验，包括化学成分分析、金相组织检验等，确保原材料质量可靠。

首先，根据封头的形状、尺寸和材料特性，合理设定成型工艺参数，包括成型温度、压力、速度等，后续在成型过程中进行实时监控，监测成型参数的变化和工艺状态，及时发现并解决问题，防止质量不良。持续改进工艺流程，优化工艺参数，提高生产效率和稳定性。其次，应该制定成型操作规程和标准作业流程，确保操作人员严格按照规定操作，减少操作失误和质量问题的发生。最后，还需要定期对成型设备进行检查、维护和保养，确保设备运行稳定，避免设备故障影响封头成型质量。

在成型完成后，需要对成型后的封头进行全面的检验，包括外观检查、尺寸测量、金相组织分析等，确保封头符合设计要求和标准规范。考虑采用超声波检测、X射线检测等非破坏性检测技术，检测封头内部缺陷、裂纹等问题，保证封头的内外质量完好。

## 结语：

综上所述，在压力容器封头成型中，选择合适的材料是确保封头性能和安全的基础，根据工艺选择材料能够提高成型效率和稳定性；同时，加强质量控制与检验是保证封头质量的重要措施，通过严格控制工艺参数、检验成型质量和持续改进工艺流程，可以有效降低封头制造中的质量风险，提高产品的合格率和安全性，确保压力容器封头的质量稳定性和可靠性。综合考虑材料选择、工艺控制和质量检验等方面，可以有效提升压力容器封头成型的质量水平，为压力容器的安全运行和长期稳定性提供保障。

## 参考文献：

- [1] 石巍, 徐建军. 压力容器用爆破片应用技术的研究 [J]. 特种设备安全技术, 2022(6):26-28.
- [2] 黄梦叶, 于步江. 锅炉, 压力容器的焊接材料选用分析 [J]. 中国设备工程, 2023(9):256-258.
- [3] 李小丽, 王磊. 基于神经网络的压力容器材料断裂韧性值的算法研究 [J]. 化工设备与管道, 2023, 60(6):22-30.
- [4] 阎世力. 压力容器材料中重要试验及性能指标对选材的影响 [J]. 化学工程与装备, 2022(8):2.
- [5] 何大明, 黄祖来, 周利, 等. 核反应堆压力容器低合金钢与奥氏体不锈钢异种金属焊接研究现状 [J]. 电焊机, 2023, 53(12).
- [6] 李芳侠, 刘吉坡, 李彩霞, 郭齐. 简述压力容器制造过程中的材料检验 [J]. 化工设计, 2022, 32(4):36-39.
- [12] 韩秀林, 孙宏, 李建一, 等. 输气管道钢管研究进展 [J]. 钢管, 2023, 52 (01): 1-7. DOI:10.19938/j.steelpipe.1001-2311.2023.1.01.07.
- [13] 王峰, 高梦杰. 湿硫化氢环境 HSLA 钢焊接接头应力腐蚀开裂的研究进展 [J]. 材料保护, 2023, 56 (01): 153-162. DOI:10.16577/j.issn.1001-1560.2023.0023.
- [14] 李森. Ni 钢焊接材料的选用及其焊接工艺性分析 [J]. 冶金与材料, 2022, 42 (06): 19-21.