

# 压力容器制造中的焊接工艺与质量控制研究

董佳斌 赵忱俊

杭州杭氧低温液化设备有限公司 浙江 杭州 311305

**摘要：**文章深入的研究了压力容器制造中的焊接工艺与质量控制方法。通过分析焊接工艺的选择原则、优化策略以及材料、焊接过程、焊后热处理等关键环节的质量控制措施，探讨提升压力容器的焊接质量和生产效率的有效途径。研究表明，科学合理的焊接工艺与严格的质量控制措施对于保障压力容器的结构完整性和使用安全性具有重要意义。

**关键词：**压力容器；焊接工艺；质量控制；研究

## 1 压力容器概述

压力容器作为工业生产中不可或缺的关键设备，广泛应用于石油、化工、能源、制药及食品等多个领域。它们主要用于储存、运输或处理在高温、高压甚至腐蚀性介质下工作的气体或液体。压力容器的设计、制造及使用需严格遵循国际及行业标准，以确保其结构强度、密封性能及安全可靠性，防止因超压、泄漏等导致的安全事故。这类设备通常由筒体、封头、法兰、接管、支座及安全附件（如安全阀、压力表）等部件组成，材料选择需考虑介质的性质、温度、压力及环境因素。随着科技的发展，压力容器制造技术不断进步，新材料的应用（如高强度钢、复合材料）和智能化监控系统的引入，进一步提升了其安全性与运行效率。



图1 化工机械压力容器

## 2 压力容器焊接工艺流程

压力容器的焊接工艺流程是一个复杂而精细的过程，涉及多个关键步骤以确保焊接质量和容器的整体安全性<sup>[1]</sup>。（1）焊前准备：对压力容器的焊接部位进行彻底清洁，去除油污、锈蚀等杂质，确保焊接区域的干燥与清洁，根据设计图纸和焊接工艺评定，选择合适的焊接材料（焊条、焊丝、焊剂等）和焊接方法（如手工

焊、自动焊、TIG焊、MIG焊等）。（2）装配定位：将待焊接的部件按照设计要求进行精确装配，并使用夹具或定位装置固定，确保焊接过程中的位置稳定，减少焊接变形。（3）预热处理（如需要）：对于某些特殊材料或厚壁压力容器，焊前需进行预热处理，以减缓焊接过程中的热应力，防止裂纹产生。（4）焊接操作：按照预定的焊接顺序和参数进行焊接作业。焊接过程中需严格控制焊接电流、电压、焊接速度及层间温度，确保焊缝质量，焊工需具备相应的资质和经验，以保证焊接操作的准确性和稳定性。（5）焊后处理：焊接完成后，需对焊缝进行清理，去除焊渣和飞溅物。对于重要焊缝，还需进行无损检测（如X射线探伤、超声波检测等），以检查焊缝内部是否存在缺陷，根据需要进行热处理（如退火、回火），以消除焊接残余应力，提高焊缝的力学性能和耐腐蚀性。（6）检验与验收：对焊接完成的压力容器进行全面检验，包括外观检查、尺寸测量、水压试验等，确保容器符合设计要求和相关标准。通过验收后，方可投入使用。

## 3 焊接工艺在压力容器制造中的应用现状

焊接工艺在压力容器制造中的应用现状极为广泛且深入，它是确保压力容器结构完整性和安全性的核心技术之一。当前，焊接工艺不仅涵盖了传统的焊条电弧焊、埋弧焊、气体保护焊等方法，还引入了激光焊、电子束焊等高科技焊接技术，这些新技术以其高效、精准、低变形的特点，显著提升了压力容器的焊接质量和生产效率，自动化焊接设备和机器人焊接系统的广泛应用，进一步减少了人为因素对焊接质量的影响，提高了生产线的稳定性和可靠性。在焊接材料方面，针对不同压力容器的使用环境和介质特性，研发出了多种高性能、耐腐蚀、高强度的焊接材料，以满足不同工况下的使用需求，焊接工艺还与计算机辅助设计（CAD）、计

算机辅助制造（CAM）等先进技术相结合，实现焊接过程的数字化、模拟化和优化，为压力容器的设计和制造提供了更加科学、合理的技术支持。

#### 4 压力容器焊接工艺的选择与优化

##### 4.1 焊接工艺选择原则

在压力容器制造过程中，选择合适的焊接工艺是至关重要的，它直接影响到容器的结构强度、密封性能及使用寿命。焊接工艺的选择应遵循以下原则：第一、符合设计规范与标准：焊接工艺的选择必须严格遵守相关的设计规范、行业标准及法律法规，确保焊接接头的质量和性能满足设计要求<sup>[2]</sup>。第二、适应材料特性：不同材料具有不同的物理、化学及机械性能，在选择焊接工艺时需充分考虑材料的可焊性、焊接敏感性及焊接后的力学性能变化，确保焊接接头与母材的相容性和一致性。第三、考虑生产效率与成本：在保证焊接质量的前提下，应优先考虑生产效率高、成本相对较低的焊接工艺，以提升企业竞争力。第四、安全与环保：焊接过程中可能产生有害气体、烟尘及辐射等，选择焊接工艺时还需考虑其安全性及环保性，采取必要的防护措施，减少对环境和人员的危害。第五、技术可行性与可操作性：所选焊接工艺应具备技术可行性，即企业现有的设备、技术条件及人员素质能够满足工艺要求；同时工艺应具有良好的可操作性，便于工人掌握和执行。

##### 4.2 焊接工艺优化策略

为了进一步提升压力容器的焊接质量和生产效率，需对焊接工艺进行不断优化。通过试验和数据分析，确定最佳的焊接电流、电压、焊接速度及层间温度等参数组合，以获得最佳的焊接效果，利用计算机辅助焊接技术，对焊接过程进行模拟和预测，提前发现并解决潜在问题。合理的焊接顺序和路径规划可以减少焊接变形和残余应力，提高焊接接头的质量。通过数值模拟和仿真分析，确定最优的焊接顺序和路径，并在实际生产中严格执行。积极引入高性能焊接材料和先进的焊接技术（如激光焊、电子束焊等），以提高焊接接头的力学性能和耐腐蚀性。关注焊接技术的最新发展动态，及时将新技术应用于压力容器制造中。建立完善的焊接过程监控系统，对焊接过程中的关键参数进行实时监测和记录，加强焊接接头的无损检测和破坏性试验，确保焊接质量符合设计要求。对于发现的问题，及时分析原因并采取措加以改进。加强对焊工的培训和教育，提高其专业技能和质量意识。定期组织技能竞赛和交流活动，促进焊工之间的经验分享和技术交流，不断提升整体焊接水平。

#### 5 压力容器焊接质量控制方法研究

##### 5.1 材料质量控制

在压力容器焊接质量控制中，材料质量是基础，直接关系到焊接接头的性能和压力容器的整体安全，对焊接材料的质量控制至关重要。应从源头抓起，严格筛选焊接材料的供应商，确保其具备相应的资质和信誉。在材料采购时，需仔细核对材料的成分、力学性能、耐腐蚀性能等关键指标，确保材料符合设计要求和行业标准。建立严格的材料入库检验制度，对每批次的焊接材料进行抽检或全检，防止不合格材料流入生产线<sup>[3]</sup>。在材料储存和使用过程中，也需加强管理。焊接材料应存放在干燥、通风、无腐蚀性的环境中，避免受潮、受热或受到机械损伤。使用时，应按照先进先出的原则进行发放，确保材料在有效期内使用完毕。对于特殊材料，如低温钢、不锈钢等，还需特别注意的是储存和使用条件，以免材料性能发生变化。

##### 5.2 焊接过程控制

焊接过程是压力容器焊接质量控制的核心环节，涉及焊接工艺、焊接参数、焊接顺序等多个方面。在产品施焊前，应对焊接工艺进行评定，确保所选工艺能够满足设计要求。评定时需考虑焊接方法、母材性能、焊材选择、焊接环境等多个因素，通过试验验证焊接接头的力学性能和耐腐蚀性能等指标。焊接参数如电流、电压、焊接速度等是影响焊接质量的关键因素。需根据焊接工艺评定结果和实际情况，确定合理的焊接参数范围，并在焊接过程中严格控制，利用现代化焊接设备，如焊接过程自动化控制系统，实时监测焊接参数，确保焊接过程稳定可靠。合理的按照焊接顺序和路径规划可以减少焊接变形和残余应力，提高焊接接头的质量。在焊接前，需根据压力容器的结构和设计要求，制定详细的焊接顺序和路径规划，并在实际生产中严格执行。焊接环境对焊接质量也有一定影响。在焊接过程中，需控制焊接区域的温度、湿度、风速等环境参数，减少外界因素对焊接质量的不利影响。对于室外环境或恶劣环境下的焊接作业，还需采取必要的防护措施，确保焊接过程顺利进行。

##### 5.3 加强对焊接工艺的控制

焊接工艺是压力容器焊接质量控制的关键环节之一。制定详细、完善的焊接工艺文件，明确焊接方法、焊接参数、焊接顺序、焊接环境等要求，为焊接作业提供明确的指导，定期对焊接工艺文件进行评审和更新，确保其适应新的生产需求和技术发展。焊工是焊接工艺的执行者，其技能水平和质量意识直接影响焊接质量。

加强焊工的培训与考核工作,提高其专业技能和质量意识<sup>[4]</sup>。培训内容应包括焊接理论、焊接技术、焊接设备操作与维护等方面;考核方式可采用理论考试、实操考核和日常表现评价相结合的方式。在焊接过程中,实施全程监控与记录制度,对焊接参数、焊接质量、焊接环境等进行实时监测和记录。通过数据分析与比对,及时发现并纠正焊接过程中存在的问题,确保焊接质量符合设计要求。随着科技的不断发展,新的焊接技术不断涌现。为了提升压力容器焊接质量,应积极引入先进焊接技术,如激光焊、电子束焊等。这些新技术具有高效、精准、低变形的特点,能够显著提升焊接接头的质量和生产效率。

#### 5.4 严格控制焊后热处理质量

焊后热处理是压力容器焊接过程中不可或缺的一环,它对于消除焊接残余应力、改善焊接接头的组织和性能、提高压力容器的整体质量具有重要意义。根据压力容器的材质、结构和使用条件,制定科学合理的热处理工艺方案。方案中应明确热处理的温度范围、保温时间、升温速率、降温方式等关键参数,确保热处理过程能够有效达到预期的效果。热处理设备的选择对热处理质量有直接影响。应选用能够满足热处理工艺要求的设备,并确保其性能稳定可靠,定期对设备进行维护和校准,以保证其测量和控制的准确性。在热处理过程中,必须严格按照工艺方案进行操作,对温度、时间等关键参数进行实时监控和记录,确保热处理过程符合工艺要求。对于偏离工艺要求的情况,应及时进行调整或采取补救措施。在热处理过程中,应加强对焊接接头的保护和监控。防止焊接接头在热处理过程中受到机械损伤或氧化腐蚀,对热处理后的焊接接头进行外观检查和必要的性能测试,确保热处理质量符合设计要求。

#### 5.5 做好对压力容器的焊接检测

焊接检测是压力容器焊接质量控制的重要手段之一。通过焊接检测,可以及时发现焊接过程中存在的问题和缺陷,确保压力容器的焊接质量符合设计要求。根据压力容器的设计要求和行业标准,明确焊接检测的标准和要求。包括检测方法、检测部位、检测比例、合格标准等具体内容。确保检测工作有章可循、有据可依<sup>[5]</sup>。选用

合适的检测方法和设备,根据焊接接头的类型、尺寸和位置等因素,选用合适的检测方法和设备。常用的焊接检测方法包括外观检查、无损检测和破坏性检测等。每种方法都有其独特的优缺点和适用范围,应根据实际情况进行选择。加强检测过程中的质量控制,在检测过程中,应加强对检测人员的培训和监督。确保检测人员具备相应的资质和技能水平,能够准确执行检测任务。对检测过程进行实时监控和记录,确保检测结果的准确性和可追溯性。对于检测过程中发现的问题和缺陷,应及时进行处理。根据问题的性质和严重程度,采取相应的修复或返工措施。对问题产生的原因进行分析和总结,以便在今后的生产中加以改进和预防。严格控制焊后热处理质量和做好对压力容器的焊接检测是压力容器焊接质量控制的重要方法。通过加强这些方面的质量控制与管理,可以确保压力容器的焊接质量符合设计要求和使用要求,为工业生产和民用生活提供更加安全可靠的压力容器产品。

#### 结束语

压力容器制造中的焊接工艺与质量控制是一个复杂而重要的课题。通过不断优化焊接工艺、加强材料质量控制、严格焊接过程管理以及做好焊后热处理和焊接检测工作,可以显著提升压力容器的焊接质量和整体性能。未来,随着科技的不断进步和工业的持续发展,有理由相信,压力容器制造中的焊接工艺与质量控制水平将不断提升,为工业生产和人民生活提供更加安全可靠的保障。

#### 参考文献

- [1]吕增明.化工机械压力容器制造中焊接质量的控制[J].化工管理,2021,(11):134-135.
- [2]王智远.压力容器制造过程中焊接质量的控制措施探析[J].全面腐蚀控制,2021,35(03):82-83+86.
- [3]张今越.化工机械压力容器制造中焊接质量的控制分析[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(19):49-51.
- [4]夏成邻.压力容器制造的质量控制要点[J].化工设计通讯,2020,46(01):180-181.
- [5]张超.压力容器制造质量管理控制要点分析[J].化工设计通讯,2020,46(06):128+149.