

农业深冷压力容器制造工艺中的焊接技术与质量控制

田思思 齐恩新 李文涛 孙国富

渤海理工职业学院,河北 沧州 061199

摘要:为了提高深冷压力容器制造质量,对其焊接技术和质量控制进行了研究。通过分析深冷压力容器的制造工艺流程和在农业中的应用,阐述了自动氩弧焊接工艺在深冷容器焊接中的优势。从焊接设备与材料选择、工艺参数控制等方面,给出了优化焊接质量的具体方法。在质量控制方面,总结了深冷容器焊接的质量标准体系,分析了典型焊接缺陷的形成原因与无损检测方法,并提出了包括设备管理、过程监控、规范操作、质量检测等在内的系统化质量控制措施。研究表明,采用合理的焊接工艺并实施严格的质量控制,可获得满足性能要求的高质量深冷压力容器产品。

关键词:深冷压力容器;自动氩弧焊;焊接工艺;质量控制

中图分类号:TH122

DOI: 10.3969/j.issn.2097-065X.2024.06.037

0 引言

随着石油化工、食品冷藏、农产品加工保鲜等领域的快速发展,对低温环境下安全可靠的深冷压力容器的需求日益增加^[1]。在农产品加工保鲜方面,深冷压力容器被广泛应用于果蔬、畜禽产品的低温贮藏和运输,可有效延长农产品的保鲜期,减少农产品损耗。深冷压力容器在承受较高的内部压力的同时,还须耐低于 -40°C 的低温环境。因此,其制造工艺对容器的机械性能和安全性能提出了更高的要求。目前,深冷压力容器制造中焊接技术和质量控制是确保产品质量的关键环节。但是传统焊接方法和检测手段在深冷条件下存在一定的不足,无法充分满足深冷压力容器焊接的技术要求。如何选用合理的焊接工艺,实施严格的质量控制措施,是深冷压力容器制造面临的重要技术难题。为此,开展深冷压力容器制造工艺中的焊接技术和质量控制研究,选择优化焊接参数,完善质量检测手段,对于提高我国深冷压力容器制造水平,确保设备安全可靠运行具有重要意义。

1 深冷压力容器概述

1.1 深冷压力容器的制造工艺流程

深冷压力容器的制造工艺流程主要可以分为材料准备、成形加工、焊接装配和检测 4 个主要环节^[2]。材料准备阶段需要选用性能优异的结构材料。深冷压力容器主体一般采用 09MnNiDR 等低温钢,添加 Mn 和 Ni 元素,可以抑制低温钢的脆化。根据工艺需求,材料表面还需要进行严格的酸洗、抛光、反光漆喷涂等前处理,去除污染物和氧化层,为

后续焊接打下基础。成形加工阶段主要采用冲压和滚压工艺对钢板进行成形^[3]。设计容器时需计算内部压力作用下的应力分布,模具设计时考虑产生的应力,确保成形后零件的几何尺寸和机械性能符合要求。常用的冲压设备有液压机和板料冲床;重型滚压则需要使用施压力很大的大型轧机。焊接装配是深冷压力容器制造中的关键环节。手工电弧焊、自动焊在低温条件下存在明显劣势,因此焊接多选用自动氩弧焊或激光焊技术。严格控制焊接工艺参数如氩气保护、焦距、扫描速度等,实时监测焊接过程,可以有效减少缺陷的产生。完成焊接后还将对表面进行喷砂处理,提高表面光洁度。最后,对容器的气密性、结构强度和寿命进行检测评估。常用的无损检测方法有超声波检测法、涡流检测法等。在进行高低温交替负荷后,检测容器膨胀收缩性能以及金属组织和性能参数的变化情况,作为评价标准。

1.2 深冷压力容器在农业中的作用分析

深冷压力容器在现代农业生产中发挥着越来越重要的作用。随着农产品保鲜储运技术的不断进步,深冷压力容器凭借其优异的低温隔热性能和结构强度,在农产品的采后处理与冷链物流环节得到了广泛应用。据统计,目前我国约有 30% 的鲜果和 50% 的蔬菜需要经过预冷处理后方能入库贮藏或长途运输^[4]。深冷压力容器可提供 -40°C 甚至更低的深冷环境,快速去除农产品的田间热,抑制呼吸代谢,延缓品质劣变。同时,深冷容器可在运输过程中始终保持恒定的低温,最大程度减少农产品的二次污染与品质损失。以芦笋为例,常温下经 5 天运输其失水率高达 12%,而在深冷条件下运输 7 天后失水率仅为 1.5%。由此可见,深冷压力容器能显著改善农产品冷链流通环境,提高农产品商品率和附加值。此外,深冷压力容器在畜禽产品加工与储藏

方面也有广阔的应用前景。超低温保鲜技术可最大限度锁住畜禽肉品的新鲜度与营养价值。研究数据显示,深冷保鲜的牛肉其嫩度提高 15%,汁液流失率降低 11%,色泽保持天数是普通冷藏的 2 倍以上。由于冷冻状态下细菌滋生受到抑制,深冷容器也可有效控制畜禽产品腐败变质。总的来说,深冷压力容器突破了农产品低温保鲜的时空限制,在“从田间到餐桌”的全程冷链中发挥着关键作用,对于保障农产品品质安全、促进农业提质增效具有重要意义。随着深冷装备的不断完善与农业现代化水平的提高,深冷压力容器必将在农业领域得到更为广泛的应用。

2 深冷压力容器焊接技术

2.1 焊接工艺选择

深冷压力容器焊接工艺的选择原则是确保焊接质量的同时最大限度减少残余应力和缺陷的产生^[5]。基于成本考虑,手工电弧焊应用广泛,但焊接重复性较差;激光焊、电子束焊等高能束焊接能量密度高、熔深控制性好,但设备投资大。综合分析,自动氩弧焊是当前深冷容器焊接的最优选项。氩弧焊采用惰性氩气保护,可形成良好的保护效果,有效防止焊接区发生氧化。测试表明,与空气保护相比,氩弧焊接区氧含量降低了约 80%。氩气保护下的电弧稳定性高,焊接熔池传热速度快,焊接温度可达 1 400℃ 以上,更易获取均匀的金属结合。此外,调节氩气流量还可以控制保护气对熔池的动力学影响,调节熔池形态,减少熔渗类焊接缺陷出现的概率大于 50%。自动氩弧焊结合预置焊接程序,实现焊条自动供给、保护气体供给调控、焊炬自动运动等功能的协调控制,可在一定程度上减少手工操作带来的偶然误差。使焊接热输入误差控制在±10 J/mm 以内,有效提升了焊接质量的稳定性与重复性。更为关键的是,该焊接工艺设备投资成本相对较低,约为激光焊的 1/5。工业实践结果表明,采用自动氩弧焊方法,优化焊接参数,严格控制零件装配间隙在 0.1 mm 以内,可获得性能优异的深冷容器焊缝^[6]。其金相组织均匀紧密,硬度及残余应力分布合理,完全满足深冷压力容器焊接质量要求。该工艺操作简便高效,设备可靠性好,是当前深冷容器焊接的最佳工艺选型。

2.2 焊接设备与材料

深冷压力容器的自动化焊接系统一般由焊接设备(焊接电源、焊枪)、自动控制系统(PLC、传感器等)、辅助设备(位置器等)和焊接材料(焊条、焊剂等)组成。合理选择与匹配设备与材料,对获得优良

焊接质量至关重要。焊接电源直接影响焊接电弧特征和稳定性。氩弧焊常采用中频脉冲电源或“一体化”电源,其可调参数广、跨接能力强,易于实现精细控制。焊枪的内部结构则关乎触焊质量、保护气体流向等,通常采用中间带螺纹接头的水冷铜焊枪。此外,严格保证设备状态的良好性,定期实现回路检测、参数校准,也是质量保证的基础工作。自动控制系统利用反馈信息精确调节输出参数,减少人工操作误差。例如通过电弧电压反馈控制送丝速度和保护气体流量,并通过智能传感器实现焊接熔池状态监控。辅助设备如工件定位器和成型治具则可确保焊前零件装配及间隙控制的准确可靠。焊条是重要的焊接材料,其化学成分会直接混入熔池影响接头性能。深冷容器焊丝常使用 ER80S-G 全钢焊丝,添加元素 Si、Mn 提高焊接性能。焊剂主要功能为去除表面氧化物,通常选用弧下焊剂,成分以氟化物、氯化物等活性元素为主。合理选用焊接材料作为保质措施,也是深冷容器焊接质量控制中不可忽视的部分。

2.3 焊接工艺参数控制

为实现自动化氩弧焊接工艺系统的精确控制与监测,需要对焊接工艺参数进行全面的设置与实时调整。焊接参数的合理化将直接影响深冷容器焊缝的成形质量与性能可靠性。根据工业实践经验和相关标准规定,深冷容器氩弧焊接参数的选取范围与建议值可参考表 1。

表 1 深冷容器氩弧焊接参数的选取范围与建议值

参数项目	典型范围	最佳建议值
焊接电流 I (A)	120~250	180
焊接电压 U (V)	18~26	22
焊枪自动运动速度 v (cm/min)	60~120	90
保护气体流量 Q (L/min)	10~20	15
焊丝直径 d (mm)	1.0~1.6	1.2
板材边缘间隙 g (mm)	≤0.5	≤0.2

首先,焊接电流和电压关系到接头成形以及焊接区的热效应。适宜电流有利于稳定熔化,而控制焊接电压则关乎焊接深度。两者需要互相匹配,过大或过小均不利于获得优质焊缝。其次,焊枪运动速度决定了热输入量与焊接速度。速度过快会影响熔合质量,过慢会带来过多的热效应。氩气流量与焊条规格也是关键参数,需要与焊接电参数相协调。氩气流量过小将影响保护效果,而过大又会破坏熔池稳定性。焊条规格也关系到成形高度,需与待焊板材厚度相适应。此外板材间隙控制则直接关乎装配精度和成形质量。

3 深冷压力容器焊接质量控制

3.1 焊接质量标准

深冷压力容器作为重要的特种设备,其焊接质量标准严格参照国家及行业相关标准规定,同时结合具体使用环境与性能要求,制定出详尽的技术条件与验收规范。这些标准与规范内容一般包括气密性指标、力学性能指标、焊接缺陷限制要求、焊后检测方法等参数的量化指标与质量要求。深冷容器焊接接头的气密性能是重要的质量指标,一般要求氦检漏速率不大于 $1 \times 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。气密性的良好有利于保证容器内介质的密封效果。抗压强度指标也至关重要。相关标准明确规定了所需抗压强度水平指标的计算方法,要求焊接接头及热影响区的抗压强度不低于母材厚度的 10%。这对材料选择与焊接工艺都提出了严格要求。此外,对焊接表面形貌与典型焊接缺陷也有详细限制规定。要求焊接表面凹凸高差小于 1.5 mm,无明显毛刺、坑标、火花击穿等可见缺陷。通过射线检测、超声波检测、磁粉检测等手段,可有效识别埋藏式缺陷,如夹渣、裂纹、孔洞等,这些缺陷会严重影响焊接接头的力学性能。相关标准对这些检测方法的使用也有规范描述。总体来说,质量标准和规范的制定与执行对深冷容器的可靠性至关重要,这需要焊接过程实时监控与焊后全面检测相结合,以落实标准要求,保证质量。

3.2 焊接缺陷及检测方法

深冷压力容器焊接过程中可能产生各类缺陷,这些缺陷将严重降低焊接接头的力学性能与使用寿命。针对典型焊接缺陷形式,可以采用不同的无损检测方法进行识别与评定。主要焊接缺陷类型及常用检测方法可归纳如表 2。

表 2 主要焊接缺陷类型及常用检测方法

缺陷类型	形成原因	检测方法
气孔	保护气不充分	射线检测
裂纹	冷却过快	涡流检测
未焊透	装配间隙过大	超声波检测
夹渣	未清理毛刺	磁粉检测

气孔是典型的焊接间隙缺陷。其形成与保护气体供给不足直接相关。采用射线透照法可以清楚显示气孔形态。气孔过大会损坏气密性并削弱抗压强度。裂纹则系焊接熔池冷却过快引起,涡流法可有效检出裂纹。未焊透是常见的未熔合缺陷,与零件间隙过大有关。超声波检测可给出未焊透程度。夹渣主要源于未清理的毛刺缺陷落入熔池,磁粉检测可以识别夹渣形态。这两类缺陷尺寸过大也会成为

断裂源。通过严密的焊前检验,规范焊接操作,并采用多种无损检测手段,可有效控制典型焊接缺陷,确保焊接质量符合标准要求,以保证深冷容器的安全可靠。

3.3 焊接质量控制措施

为全面有效地控制深冷压力容器焊接过程质量,除严格执行操作规程外,还需要从多个方面入手,采取详尽系统的质量控制措施,形成闭环式的质量管理体系。这些质量控制措施可归结为几大类,如设备管理、过程控制、操作规范、质检考核等。设备管理重在保证焊接系统的状态与参数在精准可控的范围内开展工作。如某重型机械公司规定自动焊机每季度进行状态检测校准,使输出电流误差控制在 $\pm 5 \text{ A}$,电压误差在 $\pm 0.5 \text{ V}$ 以内。过程控制方面则利用传感器等装置监测焊接工况参数,及时反馈调整系统输出。譬如根据高速摄像测量焊池长宽比,反馈调控送丝速度,将熔池形态控制合理化。操作规范与人员管理也极为关键。焊工必须严格遵守相关焊接工艺程序规范,对焊前清理、变形控制等环节的每一步操作细节都有明确规定,做到心中有数,部分重要焊接接头还要进行再生产验证与考核。质量检测与焊后处理方面,则需要采用先进的无损检测设备与标准化方法,对每道焊缝进行全面评定,及时发现并消除缺陷,落实质量闭环控制的要求。这些严密系统的质量控制手段相辅相成,共同确保深冷容器焊接得以平稳推进,以实现既定的质量目标要求。它们也使质量控制成为深冷容器焊接过程中极其重要的组成部分。

参考文献:

[1] 黄星泉. 应变强化技术在深冷压力容器中的应用[J]. 现代制造技术与装备, 2023, 59(7): 82-84.

[2] 杨惠荣. 深冷压力容器闭焊缝内咬边缺陷的解决办法[J]. 山西建筑, 2017, 43(5): 214-216.

[3] 陈平, 姬茹一. 小型固定式深冷压力容器限充装置探讨[J]. 石油化工设备, 2020, 49(4): 18-21.

[4] 陈平, 刘钺. 应变强化深冷压力容器安全性和经济性分析[J]. 低温与特气, 2020, 38(3): 42-46.

[5] 张晟. 焊接应力与焊接变形的抑制[J]. 新疆有色金属, 2022, 45(5): 98-99.

[6] 景鹏飞, 谢阳紫, 董鑫, 等. 深冷压力容器应变强化过程数值分析[J]. 当代化工, 2020, 49(10): 2347-2350, 2354.

作者简介: 田思思, 女, 1987 年生, 讲师。研究方向为机械设计制造。齐恩新(通讯作者), 男, 1986 年生, 讲师。研究方向为机械设计制造。李文涛, 男, 1984 年生, 副教授。研究方向为机械设计制造。孙国富, 男, 1988 年生, 硕士, 讲师。研究方向为机电一体化设计。