

# 化工高压容器筒体的制造研究

文杨兵 刘 健

四川科新机电股份有限公司 四川 德阳 618400

**摘要:** 本文围绕化工高压容器筒体制造展开研究。分析了筒体材料性能要求,介绍了常用材料类型。阐述了筒体成型、焊接、热处理等制造工艺技术,包括卷制、锻造工艺,焊接方法选择、参数优化及接头设计,以及不同热处理工艺的作用。还探讨了筒体制造质量控制,涵盖尺寸精度、表面质量及无损检测技术,为化工机械高压容器筒体制造提供参考。

**关键词:** 高压容器;筒体;材料选择;制造工艺;质量控制

引言: 化工高压容器在化工生产中占据关键地位,筒体作为核心部件,制造质量直接影响容器性能与安全。高压容器筒体服役环境复杂,面临高压、腐蚀、高温等挑战,对材料性能和制造工艺技术要求严苛。深入研究筒体制造技术,有助于提升容器质量,保障化工生产稳定运行,推动化工行业技术进步,因此开展相关研究具有重要意义。

## 1 化工高压容器筒体材料选择

### 1.1 化工机械高压容器筒体材料性能要求

化工机械高压容器筒体服役环境复杂,对材料性能提出严苛要求。在高压工况下,材料需具备优异的强度与韧性,确保承受内部介质压力时不发生塑性变形或脆性断裂<sup>[1]</sup>。高强度赋予筒体抵抗压力的能力,而良好的韧性则避免因应力集中导致突发性破裂,维持结构完整性。面对腐蚀性介质,材料化学稳定性至关重要。化学性能方面,需具备抗均匀腐蚀、点蚀、缝隙腐蚀能力,防止材料与介质发生化学反应导致壁厚减薄。对于含氯离子、硫化物等强腐蚀性介质的环境,材料不仅要耐受腐蚀介质侵蚀,还需具备抗应力腐蚀开裂性能,避免在拉应力与腐蚀介质共同作用下引发裂纹扩展。高温工况下,材料应具备高温强度、抗氧化性与热稳定性。高温强度保证筒体在高温高压下维持承载能力,防止因材料软化导致结构失效;抗氧化性要求材料表面形成致密氧化膜,阻止氧原子进一步扩散侵蚀;热稳定性则确保材料在温度波动时,微观组织结构不发生显著变化,维持性能稳定。此外,材料的加工性能同样关键,需满足卷板、焊接、机械加工等制造工艺技术要求,避免因加工困难影响生产效率与产品质量。

### 1.2 化工机械高压容器筒体常用材料类型

合金钢是化工机械高压容器筒体常用材料之一。低合金高强度钢通过添加少量合金元素(如锰、钒、

铌),显著提升强度与韧性,同时保持良好焊接性与加工性能。此类材料适用于承受中高压、无强腐蚀性介质的工况,如石油化工领域的储存容器与换热设备筒体。高合金高强度钢进一步增加合金元素含量,增强耐高温、耐低温性能,可用于极端温度环境下的高压容器制造。不锈钢凭借出色的耐腐蚀性能在化工领域广泛应用。奥氏体不锈钢(如304、316)具有良好的综合性能,对多数无机酸、有机酸有优异耐腐蚀性,且高温强度与韧性良好,适用于化工反应釜、管道等接触腐蚀性介质的筒体制造。双相不锈钢结合奥氏体与铁素体两相组织优势,强度高于奥氏体不锈钢,同时具备优良抗点蚀、缝隙腐蚀能力,在含氯离子环境中表现突出,常用于海水处理、氯碱化工等高压容器筒体。此外,复合钢板也在高压容器筒体制造中发挥重要作用。其由基层与复层组成,基层提供强度与韧性,满足承载需求;复层提供耐腐蚀性,抵御介质侵蚀。通过爆炸复合、轧制复合等工艺,使两层材料紧密结合。例如碳钢基层与不锈钢复层的组合,兼顾力学性能与耐腐蚀性能,适用于大型储罐、反应容器等筒体制造,在降低成本的同时满足复杂工况需求。

## 2 化工高压容器筒体制造工艺技术

### 2.1 化工高压容器筒体成型技术

#### 2.1.1 卷制工艺

卷制工艺以塑性变形原理为基础,将钢板通过卷板机逐步弯曲成型为筒体。流程起始于钢板预处理,需对板材边缘进行切割加工,去除毛刺、氧化铁等杂质,并加工出符合焊接要求的焊接坡口。随后,钢板送入卷板机,上辊通过垂直下压施加压力,两侧下辊水平旋转带动钢板移动,在持续的弯曲力作用下,钢板逐渐贴合辊筒弧度,直至形成闭合或开口的筒体形状。关键工艺参数控制直接影响卷制质量<sup>[2]</sup>。卷板机辊筒直径与板材厚度

的匹配度决定最小卷制半径,需根据设计要求精准选择设备。卷制过程中,下压量的控制至关重要,过大的下压量会导致筒体曲率过大、壁厚减薄超差,过小则无法达到预定弧度;通过多次测量与微调,确保筒体圆度与直径公差符合标准。钢板的屈服强度与延伸率影响塑性变形能力,需结合材料特性调整卷制速度,避免因变形过快产生裂纹或褶皱。

### 2.1.2 锻造工艺

锻造工艺制造高压容器筒体具有独特优势,通过高温下的塑性变形,可细化金属晶粒、消除内部缺陷,显著提升材料综合力学性能,使筒体具备更高强度与韧性,适用于超高压、高应力工况。锻造流程首先将坯料加热至合适温度区间,使其处于良好塑性状态。随后,利用锻锤或压力机施加冲击力或静压力,通过锻粗、拔长、冲孔等工序逐步成型。锻粗工序可改善金属内部组织均匀性,拔长则能控制筒体长度与壁厚,冲孔用于形成筒体内部空间。质量控制贯穿锻造全程。加热温度需严格控制,过高会导致晶粒粗大,降低材料性能;过低则使变形抗力增大,易产生锻造裂纹。锻造比是衡量锻造质量的关键指标,合理的锻造比可保证金属流线沿筒体轴向分布,提升承载能力。锻造后需进行冷却工艺控制,不同材料对应不同冷却方式,如空冷、炉冷或等温冷却,避免因冷却速度不当产生内应力与组织缺陷。

## 2.2 化工高压容器筒体焊接技术

### 2.2.1 焊接方法选择

氩弧焊与埋弧焊在高压容器筒体焊接中各有侧重。氩弧焊以氩气为保护气体,电弧热量集中,焊接热影响区小,适合焊接不锈钢、合金钢等对热敏感材料,能有效避免焊接接头因高温导致的晶间腐蚀与组织劣化,尤其适用于薄壁筒体及对焊接质量要求极高的关键部位焊接。对于化工反应釜筒体的密封焊道,氩弧焊可精准控制熔深,确保焊缝致密性。埋弧焊则采用颗粒状焊剂保护电弧,焊接电流大、熔深大、生产效率高,适用于厚壁筒体的对接焊缝焊接,可实现多层多道焊,保证焊缝强度与致密性,常用于大型储罐、厚薄容器筒体的主体焊接。在大型液化天然气储罐筒体制造中,埋弧焊可大幅提升焊接效率,同时保证焊缝质量稳定。

### 2.2.2 焊接工艺参数优化

焊接电流直接决定焊缝熔深与熔宽,电流过大易导致烧穿、咬边,过小则出现未焊透;需根据板材厚度、坡口形式选择合适电流区间,并通过试焊验证。例如,对于8mm厚的合金钢筒体,采用氩弧焊打底时,焊接电流宜控制在100-120A。焊接电压影响电弧长度与焊缝

成形,电压过高会使焊缝变宽、余高不足,过低则焊缝窄而高,易产生夹渣,需与电流匹配调整。在实际操作中,通常遵循“电流定熔深,电压定熔宽”原则进行参数协同调节。焊接速度关系到焊缝热输入量,过快会导致焊缝熔合不良,过慢则使热影响区扩大、组织性能下降,需综合考虑焊接方法、电流、电压与材料特性,确定最佳焊接速度,保证焊缝外观与内在质量。对于奥氏体不锈钢筒体焊接,适当降低焊接速度可减少热裂纹产生风险。

### 2.2.3 焊接接头设计

化工机械高压容器筒体焊接接头形式根据受力状态与结构要求设计。对接接头应用广泛,适用于筒体纵缝与环缝焊接,通过开V形、X形或U形坡口,保证焊缝根部熔透,提高接头强度。角接接头常用于筒体与接管、法兰的连接,需合理设计焊脚尺寸,须设计为全焊透的焊接结构,确保连接部位承载能力。搭接接头因应力分布不均匀,在高压容器中较少使用,但在非关键部位或薄板连接时可简化装配。接头设计时需考虑焊接可达性、装配间隙等因素,避免因结构不合理导致焊接缺陷。

## 2.3 化工高压容器筒体热处理工艺

热处理在高压容器筒体制造中起关键作用。卷制成形的筒体,对于低合金钢变形率超过5%时,介质毒性程度为极度危害以上或有应力腐蚀,成形后应进行恢复性能热处理;对于奥氏体不锈钢冷成形筒体,设计温度高于675℃时变形率超过10%或设计温度介于-196℃~675℃时变形率超过15%,成形后应进行恢复性能热处理。

卷制筒体焊接过程会产生残余应力,导致结构变形甚至开裂,通过消除应力热处理,将筒体加热至一定温度区间并保温一定时间,使金属原子获得足够能量进行局部迁移,释放内部应力;冷却过程中应力重新分布,显著降低残余应力水平,提高筒体尺寸稳定性与抗疲劳性能,这个过程可与设备整体热处理一并进行。

锻制筒体常用热处理工艺包括退火、正火与回火。退火可细化晶粒、消除加工硬化,改善材料切削性能与塑性;正火通过快速冷却获得较细的组织,提高材料强度与韧性;回火则用于消除淬火应力,调整硬度与韧性的平衡。对于合金钢与不锈钢筒体,固溶处理与时效处理可优化材料耐腐蚀性能与力学性能,通过高温加热使合金元素充分溶解,随后快速冷却形成过饱和固溶体,再经时效处理析出细小强化相,提升材料综合性能。

## 3 化工高压容器筒体制造质量控制

### 3.1 化工机械高压容器筒体尺寸精度控制

化工机械高压容器筒体对直径、圆度、直线度有严

格尺寸精度要求。直径精度直接影响容器与配套部件的装配适配性,偏差过大会导致法兰密封不严、管道连接困难等问题。制造过程中,卷制环节通过精确调整卷板机辊筒间距与下压量控制直径,成型后使用全站仪、卡尺等工具进行多截面测量,根据测量数据修正后续加工参数。全站仪测量可获取筒体三维空间坐标,实现整体轮廓分析;卡尺则能精准测量局部直径尺寸,二者结合提升测量准确性。圆度控制关乎筒体受力均匀性,不圆的筒体在高压下会产生局部应力集中,降低承载能力。卷制时通过逐步对称弯曲钢板、多次测量校正来保证圆度;对于成型后的筒体,可采用液压校圆机施加外力进行圆度矫正,校圆过程中持续监测圆度误差,直至符合设计标准。直线度要求确保筒体在长距离输送介质或安装过程中不出现偏移、卡阻,制造时利用激光准直仪对筒体全长进行直线度检测,若存在偏差,通过机械校直或火焰矫正的方式进行调整。机械校直采用压力机对弯曲部位施加反向作用力,火焰矫正则利用金属热胀冷缩原理,通过局部加热冷却改变材料内应力分布。

### 3.2 化工高压容器筒体表面质量控制

筒体表面缺陷直接影响耐腐蚀性与外观质量。常见表面缺陷包括裂纹、气孔、夹渣、划痕等。检测方法采用目视检查与非破坏性检测结合,目视检查借助强光手电、放大镜等工具,对筒体表面进行逐段细致观察,识别明显缺陷;磁粉检测适用于铁磁性材料表面及近表面缺陷检测,通过在筒体表面施加磁粉,利用缺陷处漏磁场吸附磁粉形成磁痕,直观显示缺陷位置与形状;渗透检测则通过渗透剂、显像剂的作用,检测非多孔性材料表面开口缺陷。表面处理工艺可提升筒体耐腐蚀性与美观度。对于轻微划痕、氧化皮等表面瑕疵,采用机械打磨处理,通过砂带机、抛光机等设备对筒体表面进行打磨抛光,去除杂质并降低表面粗糙度。机械打磨时需控制打磨力度与方向,避免产生新的划痕或局部过度打磨。对于有耐腐蚀要求的筒体,进行酸洗钝化处理,酸洗去除表面铁锈与氧化层,钝化则在筒体表面形成致密氧化膜,增强抗腐蚀能力。酸洗过程中需严格控制酸液浓度与浸泡时间,防止过度腐蚀;喷涂防腐涂层也是常见处理方式,根据介质腐蚀性选择合适涂料,通过喷涂工艺在筒体表面形成均匀防护层,喷涂前需确保表面清

洁干燥,保证涂层附着。

### 3.3 化工机械高压容器筒体无损检测技术

射线检测与超声检测在筒体质量检测中发挥重要作用。射线检测利用X射线或 $\gamma$ 射线穿透筒体,因缺陷部位与基体对射线吸收程度不同,在胶片或探测器上形成影像差异,从而判断内部缺陷类型、大小与位置。该技术对气孔、夹渣等体积型缺陷检测灵敏度高,常用于焊接接头内部质量检测,检测时需根据筒体壁厚、材料选择合适射线源与曝光参数,确保检测结果准确。随着技术发展,数字射线检测逐步替代传统胶片检测,通过平板探测器直接获取数字图像,具有成像速度快、图像可存储分析等优势。超声检测基于超声波在介质中传播遇到缺陷时产生反射、折射的原理,通过探头将超声波传入筒体,接收反射波信号进行分析。该技术对裂纹、未焊透等面积型缺陷检测效果良好,适用于厚壁筒体检测。超声检测可采用脉冲反射法、衍射时差法等,根据检测需求选择不同频率、角度的探头,调整检测灵敏度,精确确定缺陷位置与尺寸。相控阵超声检测技术近年来广泛应用,通过控制多个超声换能器的激发时间与相位,实现声束角度、聚焦深度的灵活调节,提高复杂结构与微小缺陷的检测能力,两种无损检测技术相互补充,全面保障化工机械高压容器筒体内部质量安全。

### 结束语

通过对高压容器筒体材料选择、成型技术、焊接方法及热处理工艺的研究,可以显著提升筒体的综合性能,确保在复杂工况下的安全运行。合理选用合金钢、不锈钢等材料,并采用卷制、锻造等先进成型工艺,结合优化的焊接参数和适当的热处理措施,有助于提高筒体的强度与耐腐蚀性。实施严格的尺寸精度控制、表面质量管理和无损检测技术,能够有效保证筒体的质量,减少潜在的安全隐患。未来需持续探索新材料、新工艺,提升制造水平,为化工行业提供更优质的高压容器筒体,推动行业高质量发展。

### 参考文献

- [1]丁青华.化工机械压力容器制造中焊接质量的控制分析[J].石油石化物资采购,2024(18):22-24.
- [2]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.