|  |  |
| --- | --- |
| ICS | 25.160.10 |
| CCS | |  | | --- | | D:\000000部门项目\09标准化插件开发\程序源代码\StandardEditor_ShanDongKeXieYuan\团标首页面字母T.pngD:\000000部门项目\09标准化插件开发\程序源代码\StandardEditor_ShanDongKeXieYuan\团标首页面字母T后面的反斜杠.png XZBX |   J 33 |

西安市质量与标准化协会团体标准

T/XZBX 0087—2025

压力容器焊接质量控制技术规范

Specification for welding quality control technology of pressure vessels

2025 - 09 - XX发布

2025 - 09 - XX实施

西安市质量与标准化协会  发布

目次

[前言 III](#_Toc207026878)

[引言 V](#_Toc207026879)

[1 范围 1](#_Toc207026880)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc207026881)

[3 术语和定义 1](#_Toc207026882)

[4 总体原则 2](#_Toc207026883)

[5 技术要求 3](#_Toc207026884)

[6 过程控制 4](#_Toc207026885)

[7 检测与检验 5](#_Toc207026886)

[8 质量管理记录 6](#_Toc207026887)

[9 安全与环保要求 7](#_Toc207026888)

[10 持续改进与评价 8](#_Toc207026889)

1. 前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由西安市质量与标准化协会提出并归口。

本文件起草单位：内蒙古自治区特种设备检验研究院赤峰分院。

本文件主要起草人：王永武。

1. 引言

压力容器作为能源、化工、冶金、电力及其他过程工业中的关键设备，广泛应用于承压存储和输送介质。焊接是压力容器制造的核心工序，其质量直接关系到设备的安全可靠运行。由于焊接过程受材料性能、工艺参数、操作技能和环境条件等多种因素影响，若控制不当，极易导致裂纹、气孔、未熔合等缺陷，甚至引发严重的安全事故。

近年来，随着先进焊接技术、自动化与智能化装备的推广，压力容器焊接的质量控制手段得到了显著提升。然而，行业内在焊接质量控制方面仍存在标准体系不完善、检验方法不统一、质量管理水平参差不齐等问题，亟需制定系统化、可操作性强的技术规范。

本文件旨在明确压力容器焊接全过程的质量控制要求，涵盖焊接材料、工艺评定、焊接过程、检验检测及质量管理等环节，为制造企业、检验机构和相关管理部门提供统一的技术依据，提升压力容器的安全性与可靠性。

压力容器焊接质量控制技术规范

* 1. 范围

本文件规定了压力容器焊接质量控制的总体原则、技术要求、过程控制、检测与检验、质量管理记录、安全与环保要求及持续改进与评价等内容。

本文件适用于新制造的压力容器焊接过程质量控制，也适用于在役压力容器焊接修复的质量管理。

本文件不适用于非承压容器及非金属材料制成的容器焊接质量控制。

* 1. 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 150.1—2024 压力容器 第1部分：通用要求

GB/T 150.2—2024 压力容器 第2部分：材料

GB/T 150.3—2024 压力容器 第3部分：设计

GB/T 150.4—2024 压力容器 第4部分：制造、检验和验收

GB/T 2652—2022 金属材料焊缝破坏性试验 熔化焊接头焊缝金属纵向拉伸试验

GB/T 33209—2016 焊接气瓶焊接工艺评定

GB/T 41655—2022 无损检测 超声检测 焊接、轧制和爆炸复合覆层检测技术

GB/T 44046—2024 无损检测 金属磁记忆 焊接接头检测

* 1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

压力容器 pressure vessel

用于盛装气体或液体并承受一定压力的密闭设备，广泛应用于化工、石化、电力、冶金等领域。

焊接接头 welded joint

由母材与焊缝组成的连接区域，包括焊缝金属、熔合区和热影响区。

焊接缺陷 welding defect

焊接过程中产生的影响焊接接头完整性或性能的非正常不连续性或结构缺陷，如裂纹、气孔、夹渣、未熔合、未焊透等。

焊接工艺评定 welding procedure qualification

通过规定的试验方法验证拟采用的焊接工艺是否能够获得满足设计和使用要求的焊接接头的过程。

无损检测 non-destructive testing；NDT

在不损害焊接接头使用性能和结构完整性的条件下，采用物理或化学方法检测焊缝内部或表面缺陷的过程。

焊接质量控制 welding quality control

对焊接材料、焊接工艺、焊接操作、检验检测、记录和改进等全过程进行的管理与控制活动，确保焊接质量符合设计和规范要求。

* 1. 总体原则
     1. 安全优先

焊接质量控制必须以安全为核心。焊接作业应在符合安全生产法律法规的条件下进行，严格执行相关防护措施，避免因焊接缺陷导致压力容器爆裂、介质泄漏或火灾等重大事故。同时，企业应建立健全的安全责任制，将焊接质量与人员安全相结合。

* + 1. 全过程控制

焊接质量控制应覆盖设计、焊材采购、工艺评定、焊接操作、检验检测、文件记录和运行维护的全过程。全过程控制不仅要求对焊接结果进行检验，更强调对过程中的关键参数进行监控，例如预热温度、层间温度、焊接电流与电压的稳定性。通过全过程质量管理，减少因单一环节缺陷而引发的系统性风险。

* + 1. 规范统一

焊接工作必须遵循国家标准、行业规范和相关法律法规，做到工艺方法、检测判定和管理流程的统一化。规范统一有助于不同企业、不同项目之间的质量对比和互认，也为第三方检验机构提供一致的评价依据。特别是当涉及新工艺、新材料时，应在规范框架下开展验证与推广，避免随意性操作。

* + 1. 预防为主

焊接质量控制应坚持预防为主的方针，减少事后修复。预防措施包括：严格执行焊接工艺评定（WPS），对焊材进行批次检验和保存条件控制，对焊工进行持证上岗和技能考核，以及加强设备日常维护。通过提前把控风险点，降低缺陷发生率，减少返工和安全隐患。

* + 1. 科技支撑

随着焊接自动化、智能化技术的应用，压力容器焊接质量控制应充分利用科技手段。包括采用自动焊、机器人焊接、焊缝在线监测系统，以及利用数字化管理平台实现焊接参数实时记录和数据可追溯。通过科技支撑，可有效减少人为操作误差，提升检测与控制精度。

* + 1. 持续改进

焊接质量控制不是一成不变的，应根据设备运行情况、质量反馈和事故案例进行持续改进。企业应建立焊接质量信息库和缺陷数据库，利用统计分析和经验总结不断优化焊接工艺。必要时，结合新材料、新技术开展工艺优化和再评定，确保焊接水平与行业发展保持同步。

* 1. 技术要求
     1. 焊接材料

焊接材料的选用与管理直接影响焊接质量，应符合国家和行业相关标准，并根据压力容器的工作介质、温度和压力等级进行选择。主要要求如下：

1. 材料符合性：焊材应具有合格证和检验报告，且性能与母材相匹配；
2. 储存与防护：低氢型焊条应在规定温度下进行烘干，焊丝、焊剂应防潮、防油污，保护气体应保持纯度；
3. 批次管理：同一焊缝宜使用同一批次的焊材，不同批次需进行复验；
4. 报废控制：超过有效期或受潮、受污染的焊材不得使用。
   * 1. 焊接工艺评定

焊接工艺评定（WPS）是确认所选工艺能否满足设计和使用要求的重要环节，应在正式施焊前完成。具体要求如下：

1. 评定范围：应涵盖焊接方法、焊材、母材、板厚、焊接位置等关键变量；
2. 试件制作：应按照规定制作评定试件；
3. 性能检验：包括拉伸、弯曲、冲击、硬度等力学性能试验，以及必要时的金相检验；
4. 合格判定：试验结果应满足设计和标准要求，合格后方可用于生产。
   * 1. 焊接设备与操作

焊接设备及操作规范是保证焊接过程稳定的关键。应从设备性能、操作条件与人员要求等方面进行控制：

1. 设备要求：焊机应性能稳定，具备电流、电压调节与显示功能，并定期校准；
2. 环境条件：焊接现场应保持清洁、通风良好，必要时采取防风、防雨、防低温措施；
3. 焊工资格：焊工必须持有与所施焊项目相符的有效资格证书，并定期进行考核；
4. 自动化与智能化：鼓励使用自动焊接设备或机器人，提高焊接质量一致性和效率。
   * 1. 工艺参数控制

焊接工艺参数的控制是防止焊接缺陷的根本措施，应严格执行工艺规程，对关键参数进行监控与记录：

1. 预热与层间温度：应根据母材性能和厚度确定，并保持稳定，防止冷裂纹；
2. 焊接电流与电压：应在工艺规程规定范围内，保持电弧稳定，避免咬边或烧穿；
3. 焊接速度与热输入：应控制在合理范围，防止组织粗化或气孔缺陷；
4. 焊后热处理：对于合金钢或厚壁容器，应进行焊后热处理（PWHT），消除残余应力，改善焊缝组织。
   1. 过程控制
      1. 焊接前准备

在焊接开始前，必须做好充分准备，以保证后续焊接过程的顺利实施：

1. 母材检查：确认母材表面无裂纹、夹层、锈蚀及油污等缺陷；
2. 坡口加工：坡口形式和尺寸应符合设计和相关标准要求，并清除飞溅和杂质；
3. 焊材准备：焊材应按工艺规程要求进行烘干或纯化，防止吸湿和污染；
4. 环境条件：当环境温度过低或湿度过高时，应采取加热、除湿或挡风等措施。
   * 1. 焊接实施

焊接实施阶段是质量控制的核心，应严格执行焊接工艺评定（WPS）并加强过程监控：

1. 工艺执行：焊接电流、电压、速度、热输入等工艺参数应符合规定；
2. 多层焊接：层间清理应彻底，防止夹渣或未熔合；
3. 焊缝质量：焊缝成形应均匀，避免咬边、焊瘤、气孔等缺陷；
4. 定位焊：定位焊应采用与正式焊接相同的焊材和工艺。
   * 1. 温度控制

温度控制是防止裂纹和组织恶化的重要手段，应根据母材材质和厚度进行合理控制：

1. 预热：合金钢、厚壁容器或高硬度材料应在规定温度下预热，预热带宽度不小于焊缝两侧75mm；
2. 层间温度：应保持在工艺规程规定范围内，不得超出上限或低于下限；
3. 冷却速度：焊后冷却应自然缓冷或受控冷却，避免因急冷引起裂纹。
   * 1. 焊后热处理

焊后热处理是消除残余应力、改善焊接接头组织的重要工序，特别适用于厚壁、高合金钢或对韧性要求较高的压力容器：

1. 热处理温度：应符合工艺规程和相关标准的规定，控温精度一般不超过±10 ℃；
2. 保温时间：根据材料种类和厚度确定，一般按每25 mm厚度不小于1 h；
3. 升温与降温速率：应受控进行，避免因过快升降温导致裂纹或变形；
4. 记录与追溯：应完整记录加热曲线、温度分布和保温时间，保证数据可追溯。
   * 1. 过程监督

过程监督是确保各项措施落实的重要保障，应由专职质量检验和监督人员执行：

1. 监督内容：包括焊接环境、焊接参数、工艺执行和安全措施；
2. 记录管理：对关键工艺参数进行实时记录，必要时引入自动化监测；
3. 偏差处理：当发现焊接工艺偏差时，应立即纠正并记录原因，必要时重新评定工艺。
   1. 检测与检验
      1. 检测方法
         1. 外观检查

外观检查是所有焊缝必不可少的基础检验方法，主要用于发现表面缺陷和成形不良。检查内容包括焊缝外观尺寸、余高、宽度以及表面是否存在裂纹、气孔、咬边等问题。该方法简便直观，适合作为第一道检验工序。

* + - 1. 射线检测

射线检测适合于厚壁焊缝和对内部质量要求较高的容器。其原理是利用X射线或γ射线透照焊缝并在底片上成像，从而识别内部气孔、夹渣和未焊透等缺陷。检测时应严格控制辐射安全，结果评定应符合要求。

* + - 1. 超声检测

超声检测利用高频声波在材料中的传播特性，识别焊缝内部缺陷。与射线检测相比，超声检测操作灵活、成本较低，特别适合中厚度焊缝。但检测结果对操作人员技能依赖较大，因此必须由持证人员实施。

* + - 1. 磁粉检测

磁粉检测适用于铁磁性材料表面及近表面的裂纹检测。其原理是通过磁化后缺陷处产生漏磁场，吸附磁粉显现缺陷迹象。该方法结果直观，但不能用于非磁性材料，常与外观检查配合使用。

* + - 1. 渗透检测

渗透检测适用于非磁性材料或复杂形状焊缝的表面开口缺陷检测。其原理是利用渗透剂渗入裂纹或气孔中，再通过显像剂显现。该方法灵敏度高，但仅限于表面缺陷识别。

* + 1. 检测比例与抽检原则

检测比例应根据焊缝重要性和设计文件要求确定：

1. 承压焊缝：应进行100%无损检测；
2. 次要焊缝：可按设计要求抽检，但比例一般不低于20%；
3. 返修焊缝：必须进行相同方法的复验，并根据情况增加抽检比例。
   * 1. 缺陷处理

在实际应用中，不同类型的焊接缺陷往往需要采用不同的检测方法进行识别和评定。为了便于使用，常见焊接缺陷与推荐检测方法对照关系见表1。

1. 焊接缺陷类型与检测方法对应关系

| 缺陷类型 | 特征描述 | 推荐检测方法 | 补充说明 |
| --- | --- | --- | --- |
| 表面裂纹 | 沿焊缝或热影响区分布的开口性缺陷 | 外观检查、磁粉检测 | 外观发现后应结合磁粉进一步确认 |
| 气孔 | 焊缝内部或表面出现的圆形空洞 | 射线检测、超声检测 | 射线适合厚板，超声适合中厚度焊缝 |
| 夹渣 | 熔池内夹杂熔渣未排出形成条带缺陷 | 射线检测、超声检测 | 检测时应注意缺陷取向与声束方向 |
| 未焊透/未熔合 | 接头局部未形成有效结合 | 超声检测、射线检测 | 属于严重缺陷，检测合格等级应严格 |
| 表面气孔/咬边 | 表面局部熔合不足或熔深不足 | 外观检查、渗透检测 | 渗透法可用于非磁性材料表面开口缺陷 |

该对照关系可作为实际检验时的参考，检测人员应结合焊缝位置、材料性质和使用条件合理选择方法，避免漏检。

* 1. 质量管理记录
     1. 总则

焊接质量管理应贯穿焊接材料采购、工艺评定、焊接实施、检测检验和返修全过程。所有环节应形成闭环，确保责任落实、数据真实、信息可追溯。

* + 1. 质量管理要求

为保证焊接过程的稳定性和一致性，焊接质量管理应至少满足以下要求：

1. 建立质量责任制，明确质量管理部门、生产部门和检验部门职责；
2. 建立焊接过程监控体系，对焊接参数、环境条件进行实时记录；
3. 实行分级管理，对关键焊缝实施重点监控；
4. 定期组织质量审核与复核，发现问题及时整改。
   * 1. 质量记录内容

质量记录是焊接质量管理的重要依据，应覆盖全过程。常见的质量记录内容包括焊接材料、工艺参数、检测结果及人员信息等。焊接质量记录主要内容及要求见表2。

1. 焊接质量记录主要内容及要求

| 记录类别 | 具体内容 | 记录要求 | 保存期限 |
| --- | --- | --- | --- |
| 焊接材料 | 焊条、焊丝、焊剂批号、供应商 | 批次与合格证号必须对应，异常情况需记录 | ≥5年 |
| 工艺参数 | 电流、电压、焊接速度、预热温度、层间温度 | 应采用人工或自动化系统记录，偏差需说明 | ≥5年 |
| 检测结果 | 外观、射线、超声、磁粉、渗透等检测报告 | 必须附检测单位资质、检测人签名 | ≥10年 |
| 人员信息 | 焊工姓名、证书编号、上岗时间 | 应与焊接工序记录关联，便于追溯 | ≥5年 |
| 返修记录 | 缺陷类型、返修工艺、复检结果 | 应单独建档并标注返修次数 | ≥10年 |

* + 1. 信息化与档案管理

鼓励采用信息化手段对焊接质量记录进行电子化管理。电子档案应具备防篡改、可追溯和可共享等特性，并支持与生产管理、检测检验及监管平台的互联互通。

* 1. 安全与环保要求
     1. 作业安全要求

焊接作业必须严格遵守国家安全生产法律法规和企业安全管理制度：

1. 进入焊接现场前，应进行安全教育和技术交底；
2. 焊工应穿戴符合标准的防护用品；
3. 焊接现场应配备灭火器材，并保持通风良好；
4. 遇有限空间焊接时，应设专人监护并进行气体检测。
   * 1. 防护与监测措施

为避免焊接过程中产生的高温、强光、有害气体和烟尘对人员造成危害，应实施以下防护措施：

1. 设置防护屏障，隔离弧光辐射；
2. 安装烟尘净化装置，减少粉尘浓度；
3. 对焊接现场空气质量进行实时监测，并定期检测有害气体浓度；
4. 当环境监测数据超标时，应立即停止作业并采取整改措施。
   * 1. 环境保护要求

焊接过程可能产生烟尘、废渣、废气及噪声，对环境造成影响。企业应建立焊接环保管理措施，主要包括：

1. 烟尘应通过净化装置集中处理；
2. 焊接废渣应分类收集，不得随意倾倒；
3. 保护气体的使用应符合节约要求，防止泄漏；
4. 焊接噪声应采取隔声、降噪措施，确保符合规范。

为便于实施与监督，焊接过程中的主要安全与环保控制要点见表3。

1. 焊接过程安全与环保控制要点

| 控制环节 | 安全措施 | 环保措施 |
| --- | --- | --- |
| 焊接作业 | 防护用品齐全，现场配备灭火器材 | 减少气体泄漏，采用节能焊接工艺 |
| 烟尘控制 | 保持通风，安装局部抽风系统 | 设置烟尘净化装置，定期清理滤芯 |
| 废弃物处理 | 严禁随意倾倒，指定区域分类堆放 | 建立危险废物收集台账，统一回收 |
| 噪声控制 | 佩戴耳塞或耳罩，合理安排作业时间 | 设置隔声屏障，控制噪声排放水平 |

* + 1. 持续改进

企业应定期开展安全与环保检查，对发现的问题及时整改，并结合技术进步不断优化工艺和管理措施。建议每年至少开展一次安全环保评估，并将改进措施纳入企业质量管理体系。

* 1. 持续改进与评价
     1. 总则

焊接质量控制体系应以“计划—执行—检查—改进（PDCA）”为基本循环，形成制度化的持续改进机制。企业应将焊接质量改进纳入整体质量管理体系，并设定年度改进目标。

* + 1. 评价内容

焊接质量的评价应全面覆盖技术性能、过程管理和安全环保三个方面：

1. 技术性能：包括焊缝合格率、无损检测一次合格率、返修率等；
2. 过程管理：包括工艺执行率、设备维护合格率、人员考核通过率；
3. 安全环保：包括焊接安全事故率、职业病危害控制情况、环保达标率。
   * 1. 评价方法

在焊接质量评价过程中，可采用多种方法相结合，以保证评价结果客观、准确：

1. 现场抽查：对生产现场的焊接质量和记录进行抽检；
2. 数据分析：通过对焊接缺陷数据、返修记录进行统计，识别薄弱环节；
3. 第三方评估：委托有资质的独立机构进行专项评价；
4. 反馈调查：通过收集一线焊工和检验人员的意见，作为改进依据。
   * 1. 改进措施

根据评价结果，企业应制定有针对性的改进计划，并落实在生产环节中：

1. 技术改进：优化焊接工艺参数，更新焊接设备或引入自动化技术；
2. 管理改进：完善质量责任制，加强人员培训与考核；
3. 安全改进：修订作业指导书，优化防护措施和应急预案；
4. 环保改进：改进烟尘净化装置，提高废弃物回收利用率。
   * 1. 持续改进机制

为确保改进措施长期有效，应形成制度化的持续改进机制。典型的持续改进流程见下：

1. 制定改进目标；
2. 收集运行与检测数据；
3. 开展内部评价与分析；
4. 制定并实施改进措施；
5. 复查与验证改进效果；
6. 将改进结果纳入标准化管理，形成新一轮循环。

通过该机制，可实现焊接质量的动态提升，使压力容器焊接管理保持先进性和适应性。

