

Research on the Challenges in Inspecting Special Equipment for Food Pressure Vessels and Quality Control of Metallurgical Materials

Hongfu Rui

Huanggang Branch of Hubei Special Equipment Inspection and Testing Institute, Huanggang, Hubei, 438000, China

Abstract

Food pressure vessels are widely used in production processes such as cooking, sterilization, extraction, fermentation, storage, transportation, and heat exchange. Their operational safety not only determines a company's ability to maintain continuous production but also directly impacts food hygiene standards and public health safety. Given that food-containing media possess corrosive and adhesive properties along with stringent cleanliness requirements, these vessels are prone to various issues—including material corrosion, weld fatigue, sealing failures, and internal wall contamination—during prolonged service, posing significant challenges for specialized equipment inspection. Metallurgical materials form the foundation of pressure vessel manufacturing quality; their chemical composition, microstructural characteristics, surface condition, and weldability directly influence equipment lifespan. This paper analyzes the key challenges in inspecting food pressure vessels and implementing quality control measures for metallurgical materials, proposing comprehensive quality management strategies to enhance equipment safety and operational reliability.

Keywords

food pressure vessels; special equipment inspection; metallurgical materials; quality control; safe operation

食品压力容器特种设备检验难点与冶金用材质量管控研究

芮红福

湖北特种设备检验检测研究院黄冈分院, 中国·湖北黄冈 438000

摘 要

食品压力容器在蒸煮、灭菌、萃取、发酵、储运、热交换等生产环节有着广泛应用, 其运行安全与否不光关乎企业能否连续生产, 对于食品卫生质量、公共安全也有着直接影响。鉴于食品介质有腐蚀性、黏附性且对洁净性要求高等特性, 压力容器在长时间服役期间容易出现材料腐蚀、焊缝疲劳、密封失效、内壁污染等各类问题, 这给特种设备检验造成了较大困难。冶金用材是压力容器制造质量的根基, 其所具备的化学成分、组织性能、表面状态、可焊性会直接对设备寿命产生影响。本文主要围绕食品压力容器检验的难点、冶金用材质量管控进行分析, 进而提出全过程质量控制措施, 以此提高设备的安全性、运行的可靠性。

关键词

食品压力容器; 特种设备检验; 冶金用材; 质量管控; 安全运行

1 引言

食品工业朝着规模化、连续化、自动化的方向不断发展, 压力容器于生产线里所发挥的作用变得越来越显著。和普通的工业压力容器相比较而言, 食品压力容器不仅要满足承受压力的安全方面的要求, 而且还要符合卫生、耐腐蚀、易于清洗、防止污染等一系列特殊的需求。在实际运行的过程当中, 部分设备出现了使用频率较高、启动停止变化比较多、介质成分复杂、清洗消毒条件苛刻等状况, 这些状况很容易

促使材料性能加速衰减。要是检验工作仅仅停留在常规的外观检查、资料核查这两个方面, 很难及时发现隐藏着的缺陷。在这一过程中, 冶金用材质量控制贯穿于设计选材、采购验收、制造焊接、服役维护的整个过程, 对设备安全有着源头性的影响。

2 食品压力容器运行特征及安全风险基础

2.1 食品生产工况对压力容器性能的影响

食品压力容器常常运行在高温、高压, 且温度反复升降、频繁进行清洗消毒的环境之中, 其受力状态、介质作用具备复合性特点。像蒸煮锅、杀菌釜、发酵罐、夹套容器这类设备, 在生产过程中既要承受内部压力、温度冲击, 又会受到搅拌振动、介质腐蚀、清洗液的反复作用影响。食品原料里含有

【作者简介】芮红福(1987-), 男, 中国江苏扬州人, 本科, 工程师, 从事特种设备检验技术研究。

的盐分、有机酸、糖类、发酵产物,有可能持续对金属表面造成侵蚀。要是内壁抛光不够或者存在结构死角的话,残留物容易在焊缝、接管、边角等部位积聚,进而引发局部腐蚀、卫生方面的风险。针对安全评价而言,需要结合实际的工况来判断材料的适应性、结构的耐久性。

2.2 卫生要求与承压安全之间的耦合关系

食品压力容器同时具备承压设备、食品接触设备的属性,其不仅要满足像强度、刚度、密封性等方面的安全要求,还得符合洁净、耐腐蚀、防污染等方面的要求。这两类要求在实际运行的时候会相互产生影响,要是内表面粗糙度偏高,那么就会使清洗难度增加,还可能成为点蚀起始的部位,焊缝余高、飞溅、热影响区组织发生变化,会让受力性能遭到削弱,并且破坏表面钝化膜,密封件耐温耐蚀性不足的话,则有可能同时引发泄漏与污染的情况。检验人员需要将压力边界完整性、食品接触面状态、清洗消毒影响纳入同一个评价框架之中。

2.3 设备老化与隐蔽缺陷的累积特征

食品压力容器常常处于持续运行、频繁启停的状态之中,其老化进程具备渐进性与隐蔽性的特点。该设备所出现的损伤并非一定会呈现出明显的变形或者大面积的腐蚀情况,而更多地表现为诸如微裂纹、局部减薄、焊缝疲劳、夹套泄漏、接管根部损伤等各类问题。有部分缺陷处于保温层下方、夹套内部、支座受力区域或者管口过渡区域,通过常规的目视检查很难及时察觉。长时间的酸碱清洗、高温灭菌也有可能改变材料表面的钝化状态,从而让局部腐蚀变得更为隐蔽。对于检验工作而言,应该把历史工况、维修痕迹、失效模式、检测数据结合起来进行综合判断,防止仅仅依据单次检测结果就得出片面的结论。

3 食品压力容器特种设备检验难点分析

3.1 内部结构复杂导致检测覆盖不足

食品压力容器内部通常设有搅拌轴、换热盘管、喷淋清洗装置、导流板、夹套、多类接口,其结构比较复杂,检测空间受到限制。部分焊缝、角接接头、接管根部处于被遮挡的位置,检测探头难以充分进行布置,进而容易形成盲区。夹套式容器的外壁被夹层所覆盖,内部出现泄漏、局部减薄、焊缝缺陷时不容易直接观察到,要是外部设有保温层,支座积液、外壁腐蚀会更具隐蔽性。在检验的时候需要依据结构特点制定差异化的方案,对高风险部位进行重点检测,并且结合运行参数、泄漏迹象、历史缺陷来进行综合判断。

3.2 食品介质腐蚀与污染风险交织

食品介质相对温和,然而在高温、浓缩、酸碱清洗、含氯消毒的状况下,依然有可能引发点蚀、缝隙腐蚀、晶间腐蚀。含盐食品、酸性饮料、发酵液、乳制品还有含糖物料,比较容易在焊缝热影响区、液位波动区、沉积物覆盖区、密封连接部位形成局部腐蚀。腐蚀产物不但会削弱容器的承压

能力,而且还可能对食品品质、卫生安全造成影响。检验工作要留意介质成分、清洗制度、停机存放条件和材料牌号的匹配关系,通过结合测厚、内窥、表面检测、腐蚀形貌分析来判断损伤程度。

3.3 资料完整性不足影响安全评价准确性

食品压力容器的安全评价,不光要依靠现场检测,还得有设计文件、制造资料、材料证明、焊接工艺评定、无损检测报告、运行维护台账作为支撑。一些企业由于设备采购渠道繁杂、改造次数较多或者管理人员发生变更,致使技术档案缺失,检验人员很难准确确认材料牌号、设计参数、焊缝布置、历史缺陷处理情况。进口设备、非标设备、早期投用的设备,可能还存在资料与现行规范衔接不够的问题。在检验之前,要加强资料审查,对关键信息进行补充核实,必要的时候运用光谱分析、硬度检测、结构复核来弥补档案的不足。

4 冶金用材质量对压力容器安全的影响

4.1 化学成分与组织性能决定材料基础质量

冶金用材的质量对于食品压力容器的安全性能而言至关重要,是其源头所在。不锈钢、碳钢、低合金钢、复合材料,在耐腐蚀性、强度、韧性还有加工性能等方面都有各自的不同。要是材料与食品介质、清洗条件、运行温度不相匹配,那设备在服役过程中就有可能提前出现失效的情况。材料里面的碳、铬、镍、钼、硫、磷等元素,会对耐蚀性、焊接性、组织稳定性产生影响。夹杂物、偏析、晶粒粗大、组织不均等状况,很容易成为裂纹萌生或者腐蚀扩展的诱发因素。材料验收的时候,不能仅仅核对质量证明书,还需要结合复验、理化性能检测、表面质量检查,以此来确认材料的适用性。

4.2 表面质量与加工性能影响卫生安全

食品压力容器对于材料表面状态有着较高要求,其内壁所用材料需要拥有良好的抛光性能、耐清洗能力、抗污染性能。要是板材存在划伤、压痕、氧化皮、夹杂暴露或者轧制缺陷,那么在加工、使用的过程当中就容易形成清洗死角、局部腐蚀源。材料的平整度、厚度偏差、塑性水平同样会对容器成形质量、焊接装配精度、后续抛光效果产生影响。食品设备的内表面一般需要维持光洁、连续、易清洗的状态,焊缝打磨之后依旧要具备充足的壁厚、稳定的钝化能力。倘若仅仅重视强度指标而忽略表面洁净度、加工适应性,容器就很难满足长期卫生生产的要求。

4.3 焊接适应性关系到接头服役可靠性

压力容器的焊接接头,它不但是承压边界比较薄弱的地方,而且还是食品卫生质量控制方面很重要的一个区域。冶金用材里面的碳当量、合金元素含量、夹杂物水平、组织状态,这些会对焊接热循环之后的接头性能造成影响。当材料的可焊性不够好的时候,焊缝、热影响区有可能出现热裂纹、冷裂纹、韧性降低或者晶间腐蚀敏感性增强这样的问题。

食品压力容器的内壁焊缝还需要进行打磨、抛光、钝化处理,要是焊材和母材匹配得不恰当,接头区域容易出现电化学腐蚀差异。对于冶金用材的管控,应该扩展到焊材选择、工艺评定、焊后检测、表面处理这整个过程。

5 食品压力容器检验与冶金用材质量管控路径

5.1 完善源头选材与采购验收机制

想要提高食品压力容器的安全水准,要从源头材料控制方面着手。在设计阶段,要依据介质成分、工作温度、压力等级、清洗方式、卫生要求来确定材料类型,不能只是依照成本去选择用材。采购环节要挑选资质稳定且质量模式完善的供应商,严格审查材料质量证明书、炉批号、执行标准、力学性能、化学成分。对于关键承压部件和食品直接接触部位,要进行必要的材料复验,比如光谱分析、拉伸试验、冲击试验、硬度检测、晶间腐蚀试验、表面缺陷检查。材料入库后要做好标识管理,避免不同牌号、不同炉批材料混用。加工前还得核对板材厚度、表面状态和边缘质量,要是发现分层、裂纹、严重划伤或者锈蚀,就不能随意投入制造。通过采购、验收、标识、追溯联动管理,能够降低材料质量波动给设备安全带来的隐患。

5.2 优化检验技术组合与风险分级管理

食品压力容器检验方式应从单一的周期性检查转变为风险导向型检验。在制定检验方案时要综合考量设备结构、服役年限、介质腐蚀性、历史缺陷、运行负荷、维护水平等因素,针对不同部位确定各异的检测重点。像焊缝、接管根部、支座区域、液位波动区、夹套过渡区、保温层下方等高风险部位,应运用目视检查、超声测厚、射线检测、渗透检测、磁粉检测、内窥检测、硬度检测等多种技术组合手段。对于那些无法停机拆检或者内部空间受到限制的设备,可引入在线监测、声发射检测、红外测温和泄漏监测等办法,以此提高缺陷识别能力。检验结果不能仅仅给出合格或者不合格的判断,还应当转化为风险等级、整改建议、下次重点检查的内容。借助风险分级管理,能够将有限的检验资源运用到最容易发生失效的关键环节上,从而提高检验工作的针对性与有效性。

5.3 建立制造、运行与维护闭环管控体系

食品压力容器的质量管控要贯穿于制造、安装、运行、维护的整个过程。在制造阶段,需严格依照焊接工艺评定、

无损检测、热处理、压力试验、表面处理等要求来执行操作,以此保证承压部件的成形质量、焊接接头的性能能够符合设计所提出的要求。安装阶段要留意基础稳定、管路应力、阀门配置、安全附件校验、仪表精度等方面,防止外部载荷对容器运行产生影响。运行阶段应当建立起关于温度、压力、介质成分、清洗频次、异常报警、维修记录等内容的台账,让设备状态的变化具备可追踪的依据。维护阶段不能仅仅处理明显的故障,还需要定期对密封件、内壁腐蚀、保温层积水、支座变形、安全附件灵敏度等进行检查。针对检验过程中发现的问题,要形成整改、复查、评估、归档的闭环,防止同类缺陷再次出现。企业、制造单位、检验机构之间也应当强化信息共享,让材料质量、制造缺陷、运行损伤、检验结果能够相互验证。

6 结语

食品压力容器安全运行关联着特种设备监管、食品卫生控制、冶金材料质量管理等诸多方面,具备显著的综合性与专业性。检验工作的难点主要体现在结构复杂、腐蚀隐蔽、资料欠缺、卫生要求高等环节,其中冶金用材质量在源头上会对容器的耐蚀性、强度、焊接性能、服役寿命产生影响。要想提高设备安全水平,需将材料选用、制造控制、运行监测、定期检验、维护整改纳入统一管理模式。通过完善源头验收、强化风险检测、健全技术档案、落实闭环整改,可有效降低压力容器失效风险,保障食品生产连续稳定运行,还能为企业实现安全化、规范化、高质量发展给予可靠支撑。

参考文献

- [1] 边缘,折文裕,蒋剑超.低温压力容器定期检验难点剖析与应对策略研究[J].化工设计通讯,2025,51(7):44-46.
- [2] 李卓.低温绝热压力容器检验难点解析[J].品牌与标准化,2015,(2):80-81.
- [3] 周团元,超设计使用年限金属制固定式压力容器定期检验检测技术方法及工程应用.广东省,广东省特种设备检测研究院佛山检测院,2019-10-22.
- [4] 徐长伟.声发射技术在大型压力容器检验中的应用[C]//广西网络安全和信息化联合会.第二届工程技术管理与数字化转型学术交流会论文集.[出版者不详],2024:31-33.
- [5] 唐敏莉.天然气净化压力容器埋藏缺陷的检验检测和返修工艺研究[D].上海交通大学,2022.