

压力容器设计对制造检验的影响

廖建明

宁波明欣化工机械有限责任公司 浙江 宁波 315202

摘要: 压力容器的设计对制造检验有着重要的影响。一个好的设计可以减少制造过程中的问题,提高制造效率以及产品质量的安全性与可靠性。因此,在设计阶段,应充分考虑到产品结构对制造与检验的要求和标准,选取适宜的材料、制造检验标准。同时,还应选择合适的符合生产的检验设备和技术能力,以便在制造过程中及时发现问题并予以解决。

关键词: 压力容器;设计;制造环节;检验技术

1 压力容器及其设计概述

压力容器作为一种重要的工业过程设备,被广泛地应用于石油化工、食品医药、制冷装置、航空航天等领域中,主要用于上述领域生产过程中的贮存、反应、分离、换热以及运输等各邻域,物料大多以气体、液体或气液混合物等形式寄存于内部,并伴随着在高温、高压、腐蚀等复杂环境条件下运行,一旦稍有差池就可能发生严重事故,严重威胁着人身及财产安全,因此对于压力容器的设计与制造必须进行严格要求与控制,在其中,压力容器的设计属源头,更显重要。压力容器的设计主要依据用户需求、容器结构形式和介质特性进行制定,设计原则是在保证应力合理的基础上选择适当的材料、容器几何形状和装配方式以及检验检测标准,确保容器运行正常、安全、可靠。

随着工业技术的推进,越来越多高技术含量的材料、设计和制造方法及检验检测技术被广泛应用,压力容器的各个设计细节也在不断发展和完善,以满足现代精准的生产与操作要求。压力容器的设计与容器介质、压力、反应过程及用途等紧密相关,不同类型的压力容器具有各自的特点和应用场景,其设计标准、制造标准及技术法规就不同,分类也不同,且介质不同,其设计所用的结构及材料也不同,例如,液化气储罐需要考虑液化气体的特殊性质,需要在设计过程中考虑压力、温度、材料、热膨胀、防震设计等因素,以避免在液化气泄漏、爆炸等突发事件中可能发生的危险。因此,对于压力容器的设计,需要充分考虑介质的特性和工作环境,进行材料选取、几何结构、安装方式和密封方式的创新,确保其安全性和稳定性^[1]。除此之外,压力容器的设计还需要符合国家和地区的标准和法律规定,例如ASME、GB、EN等常见的标准,同时也需要满足用户的业务需求。当前,压力容器的形式多种多样,常见常说

的压力容器主要有球形容容器、卧式容器、塔式容器、热交换器、缓冲罐等。

2 压力容器设计原理及分类

2.1 压力容器的定义和分类

压力容器是指工作压力大于或者等于0.1MPa,容积大于或者等于0.03m³并且内直径(非圆形截面指截面内边界最大几何尺寸)大于或者等于150mm,盛装介质为气体、液体以及介质最高工作温度高于或等于其标准沸点的液体的密闭容器^[6]。压力容器从大类分,主要有固定式压力容器、移动式压力容器、氧舱等三大类,其中固定式类别及种类最多。固定式压力容器的分类方法也比较多,可按类别、按压力等级、按用途等划分。按类别主要有I、II、III类;按压力等级主要有低压、中压、高压、超高压;按用途划分主要有反应容器、换热压力容器、分离压力容器及储存压力容器等,法规监管则以容器类别进行划分管理。

根据使用介质的性质和特点,压力容器主要分为气体压力容器、液体压力容器、气液两用压力容器和气体混合物压力容器等几类,盛装介质以气体、气液混合物或液体形态储存于内部。其中气体压力容器主要用于贮藏和输送气体介质,如制氧厂用气体柱、液化气钢瓶等。液体压力容器主要用于贮藏和输送液体介质,如炼油厂、化肥厂、制药厂等中常见的贮油罐、液体储槽、液氨罐等^[2]。气液两用压力容器大多用于两相介质传质反应,如反应器、分离塔、萃取塔等,进行介质的混合或分离等。气体混合物压力容器则适用于混合气体贮存以及输送介质,如制冷剂贮槽、潜艇储气罐、人工提取工艺气体压力容器等。

2.2 压力容器的设计原理

压力容器的设计原理是在保证应力合理的基础上,选择适当的材料、几何形状和装配方式,确保容器运行

正常、安全、可靠。在设计过程中,首先要根据实际需要确定压力容器的主要参数,如容积、工作压力、介质特性、环境温度、地质状况、过程工况等,然后依据这些参数确定容器的主体结构、材料、密封形式等。在选择材料时,需要考虑与介质的兼容性、工作环境、制造经济性等因素,以保证所选材料的质量符合设计要求。在压力容器的设计中,在满足强度及稳定性条件下,还需要考虑容器内部的加工工艺及内部结构。其中,强度及稳定性计算是至关重要的一步,它通常采用材料弹性理论或有限元分析等方法进行计算,计算得到的结果要通过数学模拟和实验验证来确认其可靠性。此外,在压力容器的设计中,还需要考虑安全性和可维护性等因素。设计过程中要充分考虑容器的密封性能和防爆设计,同时也要方便维护和检修。设计过程中需要结合现代科技手段,如CAD、CAM、CAE等软件进行设计和模拟,以提高设计效率和质量^[3]。

2.3 压力容器的制造流程

完整的压力容器制造流程包括设计、制造、检验和测试或调试等几个阶段。(1)设计阶段:压力容器的制造首先需要合理的设计。设计师需要根据容器的使用条件确定容器的尺寸、形状、材质及安放形式,再进行强度计算和结构分析等工作,并对设计文件进行审批和评估。(2)制造阶段:在制造阶段,需要对容器制造工艺进行制定和计划,包括材料采购、工艺流程、加工和焊接等。这一阶段需要进行的工作内容比较复杂,除了严格按照工艺流程要求进行制造,还需要对材料进行特殊处理,比如热处理、抛光或衬防腐材料等特殊工艺。同时,还要进行非破坏性检测,以确保容器的质量符合要求。(3)检验阶段:在制造完成后,需要对容器进行压力检验、气密性试验或氦检漏等,更有甚者进行爆破破坏试验等,以进行结构与强度的验证。(4)测试或调试阶段:整个制造流程完成后,设备就位后,还需要试运行测试等工作,以确保容器在实际使用中的安全性和稳定性。

3 压力容器设计对制造的影响

3.1 影响产品质量和可靠性

压力容器的设计对制造过程和成品质量以及可靠性都具有不可忽视的影响。设计阶段,设计师需要选择合适的材料和几何形状来达到预定的容积、压力、温度和介质等参数,应力合理的压力容器往往会在制造完成后表现出更好的产品质量和可靠性,相反的,如果压力容器的设计不合理,可能在使用或者测试中出现多种问题,特别是质量与安全性方面的问题。在制造过程中,

压力容器的良品率和产品可靠性也受到设计的影响。合理的设计对于材料的选择和加工工艺的确定都有着非常重要的指导作用,这直接影响到了制造成本和制造质量。因此,良好的设计使得制造过程更加精准和高效,相应的产品质量和可靠性也可以获得保障。设计不合理或者制造不到位可能会导致压力容器的安全隐患,因此设计人员需要在设计过程中充分考虑使用情况和工艺特性,以保障产品的质量和可靠性^[5]。

3.2 影响生产成本和效率

压力容器的设计对制造过程和成品质量和可靠性的影响同时也会直接影响到生产成本和生产效率。在设计阶段,设计师需要合理平衡容器的功能、质量和成本,设计出具有良好性能且成本控制在许可范围内的压力容器。一个成本过高的设计方案将增加压力容器的制造成本,降低生产效率,导致生产批次和周期的长度较长,而一个成本过于低廉的设计方案会对容器的质量和可靠性造成影响,增加后续检验以及维护成本,加长生产周期。压力容器的设计需要考虑到制造过程的加工难度和可操作性,特别是对于一些加工精度较高,工艺要求相对复杂的设计方案。一些技术操作更加复杂的设计方案或者对工艺要求更高的制造过程需要高精度加工设备和技术支持,这将增加制造成本和加工周期,同时也降低生产效率。压力容器的制造工艺对于产品成本和效率的影响是不可忽视的。合理的工艺方案将使得制造过程更加高效和精准,生产效率将更高,制造成本也将更少^[1]。

4 压力容器设计对检验的影响

4.1 检验方式和检验次数

同时,压力容器的设计也会影响检验的次数。在检验标准的督导和规范下,良好的设计方案将减少重复和低效率的检验次数,因为压力容器的部分结构本身预先被确认,所以可以进行不必要的检验压缩,提高检验效率,降低差错,从而节省相关时间和成本。相反,设计方案存在缺陷的压力容器可能需要重复多次检验,以确保其质量和运行安全性。

4.2 检验设备和检验费用

高层次的设计,在设计阶段,还应主动将检验费用计算在内,以便在制定设计方案时制定出相对的控制成本,设计人员需要考虑到产品检验的成本,如设备成本、检测消耗品以及人员培养等方面的费用。良好的设计方案会优先考虑检验费用的抑制,尽可能使用成熟的检验技术,降低设备成本和人员培训费用,并优化检验方案,使得检验流程更加高效、快捷。在制造过程中,良好的设计方案可以减少缺陷和需要重复检验的可能

性，以从根本上降低检验成本。如果需要重复检验或进行大规模返工，不仅会增加制造费用，也会导致生产耗时和降低压力容器的质量^[2]。

5 压力容器设计对材料及制造检验的优化方法

5.1 强调合理设计和材料选择的重要性

压力容器所用的全部金属材料要具有优良的性能，包括材料的力学性能、耐腐蚀性、耐高温性和制作工艺等。若每一种材料的性能都是固定不变的从性能比较的角度出发，常常会出现材料间的“优”和“劣”的问题。但每种压力容器对材料性能的要求在不同情况下也是不一样的。设计时，首要考虑的是满足材料与介质的兼容性，其次才是材料成本，对于非受压件或非与介质接触材料，可考虑采用市场常见材料制成。另外，设计时还应据于介质的特性，设计合理的密封形式、连接法兰形式等，一般能满足要求的不必采用严苛的材料及结构形式，可优化材料形式，例如对于普通的低压空气储罐，没必要采用带颈对焊的Ⅲ级锻件，需要充分考虑标准的要求。同时，对于容器所处介质环境下，也影响材料的选取，如处于湿硫化氢环境下及存在应力腐蚀开裂风险的设备中，容器对应力腐蚀开裂地敏感性随容器使用的钢材的强度级别的提高而增大，此时若采用高强钢就极易产生问题。此外，还应考虑到低成本和长期可持续性的要求，安全设计和检验保证了压力容器的质量和使用安全性。

5.2 使用先进的制造检验技术和设备

压力容器的设计对制造检验过程的优化具有非常重要的作用。压力容器的设计应考虑到检验的有效性和可持续性，以便在制造过程中保证良好的质量控制效果。例如，在设计阶段就应思考到检验工具的选用以及检验文档的准备，确定检验条件和检验步骤，并将检验记录保存在文件内以便日后检查和管理^[3]。压力容器的设计对制造检验过程的优化，使用先进的制造检验技术和设备是非常重要的方法。首先，在设计阶段，应充分考虑到制造检验过程中所需的检验要素和检验标准，并充分考虑最新的检验技术，如数字成像检测、衍射时差法超声检测（TOFD）、计算机辅助成像检测以及相控阵超声波（PAUT）检测等先进检测技术，提高生产效率，

降低制造成本，同时亦可提高产品的质量和可靠性。最后，可以使用信息化系统对制造检验进行管理和监控，提高检验任务的协作效率和产品质量的实时监控性^[4]。

5.3 通过合适的制造检验计划和流程来提高效率和准确性

压力容器的设计对制造检验的优化，通过合适的制造检验计划和流程来提高效率和准确性也是非常重要的方法。设计阶段，应该充分考虑到制造检验的要求和标准，并在此基础上制定相应的制造检验计划和流程。例如，应该明确检验程序和检验标准，以及每种检验环节的责任责任人和时间安排。根据不同的检验环节，选择不同的制造检验设备和技术，以便对产品进行全面、精准的检测和分析。例如，可以采用相控阵超声波（PAUT）检测等先进检测技术，对不同部位和不同性质的产品进行有针对性的检验。注重制造检验计划和流程的实施，以保证整个检验过程的准确性和效率性。

结束语

压力容器是一种高度危险的产品，其质量和安全性对于人们的生命安全具有重要意义。压力容器的设计对制造检验具有非常重要的影响，应该充分考虑到制造检验的要求和标准，选择合适的设计方案和检验设备，加强制造检验的管理和培训，从而确保压力容器的质量和使用安全性。

参考文献

- [1]刘振洲, 郭瑛瑛.压力容器制造检验技术的研究[J].机械与电子, 2020, 37(09): 115-117+121.
- [2]高超, 姜涛.压力容器制造检验方法的优化与应用[J].特种设备技术, 2019(04): 71-73.
- [3]李光仁, 李冬.压力容器制造检验中的问题及应对策略[J].焊管, 2021, 41(12):92-95.
- [4]王建刚.压力容器制造检验流程图[J].中国特种设备安全, 2020, 36(05): 69-70.
- [5]徐群英.压力容器制造检验中的关键问题[J].特种设备技术, 2020(01): 80-82.
- [6]固定式压力容器安全技术监察规程[S].TSG 21-2016.