

探析石油化工压力容器设计要求及方法

田 萌（安徽实华工程技术股份有限公司宁波分公司，浙江 宁波 315048）

摘 要：石油化工是全球经济发展的支柱型产业之一，其特点是工艺复杂、设备庞大、连续性强。压力容器是一种重要的设备，被广泛应用于各种工艺之中，由于长时间处于高温、高压、腐蚀等工作条件下，因此对压力容器的设计要求非常严格，不仅要方便制造、运输、安装和维护，还应确保压力容器能够承受工作压力和温度变化引起的应力，保证工艺过程的稳定性和安全性，保证在使用时不会发生泄漏、爆炸等安全事故。有鉴于此，分析了压力容器的设计要求及方法，望提供有价值的参考信息。

关键词：石油化工；压力容器；设计方法

压力容器作为石油化工产业必不可少的设备之一，其设计水平是否科学合理，直接影响整个石油化工生产过程的安全性和稳定性。一方面，压力容器设计必须严格遵守国家和国际制定的相关法规和标准规范，如《压力容器安全技术监察规程》、GB150、ASME 等，以符合安全、环保和节能等要求；另一方面，应综合考虑材料、结构、工艺、使用环境等多种因素，进行必要的计算和校核，确定容器的设计参数和结构形式，从而确保压力容器的强度、刚度和稳定性等性能指标达到标准要求。

1 压力容器简介

压力容器是一种专门用于石油化工行业、能够承受一定压力的封闭性设备，其主要功能是存储运输、处理高温高压、易燃易爆以及有毒有害的石油化工原料或产品，这类产品在生产、加工和运输阶段需要满足一定的压力、温度和化学特性要求，因此必须通过专门的压力容器进行处理。具体来讲，石油化工压力容器具有极强的耐热性、密封性、抗腐蚀、耐磨损、抗疲劳等特点，可以有效防止泄漏和污染，并能在这些环境下保持稳定的工作状态^[1]；具有高效的生产能力，可以大大提高石油化工生产的效率和产量；具备可靠的安全保护系统，可以有效避免超压、泄漏等安全事故的发生，保障了生产设备和人员的安全。

在石油化工行业，根据不同的使用场合和工艺要求，通常将压力容器分为多种类型，不同类型的压力容器在结构、使用范围和用途上存在一定的差异，如下表所示。

名称	功能
反应压力容器	用于完成介质的物理、化学反应的压力容器，如反应器、分解锅、硫化罐、分解塔、聚合塔等。

换热压力容器	用于完成介质的热量交换的压力容器，如管壳式余热锅炉、热交换器、冷却器、冷凝器、蒸发器等。
分离压力容器	用于完成介质的流体压力平衡缓冲和气体净化分离的压力容器，例如各种分离器、过滤器、集油器、洗涤器、吸收塔等。
储存压力容器（代号 C，其中球罐代号 B）	用于储存、盛装气体、液体、液化气体等介质的压力容器，如各种型式的储罐。

2 石油化工压力容器的设计要求

2.1 确保容器的安全性

压力容器经常因为疲劳使用导致结构和性能逐渐恶化，这对其性能和安全性产生了负面影响。长期使用过程中，压力容器会经历反复的应力变化和温度波动，致使材料性能下降，结构变形，甚至出现裂纹，这些裂纹在压力波动和温度变化的共同作用下会加速扩大，从而降低压力容器的抗压能力和耐高温性能；随着压力容器性能的下降，其操作风险也会增加，极端情况下，压力容器可能会发生破裂或泄漏，导致有毒物质和易燃物质的释放，严重威胁工作人员的生命安全和环境污染。鉴于此，应根据容器的具体使用环境和操作条件来确定其使用寿命，定期对压力容器进行检查和维护，及时发现并修复潜在的问题。当压力容器达到其寿命限制时，应立即进行更换或维修，以避免因疲劳使用造成的性能恶化和安全隐患。

2.2 筛选适宜材料

材料的选择对于容器的质量和安全性至关重要，不适宜的材料在压力、温度和化学物质的共同作用下，可能会发生变形、破裂、腐蚀等问题，导致容器失效，甚至引发安全事故。因此，选择具有优良力学性能、耐腐蚀性和高温性能的材料是重中之重。具体来说，不同材料具有不同的特性，需要根据实际需求进行选择，比如不锈钢是一种常见的压力容器材料，

具有优异的耐腐蚀性和高温性能,通常用来储存腐蚀性物质和高温物质,而碳钢则具有较高的强度和耐磨性,适用于储存颗粒状物质或需要承受较大压力的场合。此外,对于那些具有特殊要求的压力容器,还需采用特殊的材料^[2]。例如,对于需要承受极高温度的压力容器,可以采用高温合金或钛合金等材料,而对于承受极高压力的容器类型来讲,则可选用高强度钢或其他具有较高抗压强度的材料。

2.3 重视热处理环节

热处理是指将金属材料或构件加热、保温和冷却,以改变其内部结构或性能,从而改善其力学性能、耐腐蚀性、脆性等。由于石油化工压力容器所接触的介质多为高温、高压、腐蚀性强的物质,因此,其材料选择需满足高强度、耐腐蚀、耐高温等要求,同时材料的匹配性也需考虑,以防止不同材料之间的相容性问题,如热膨胀系数、电化学活性等,需要根据材料的性质和用途,制定合理的加热、冷却速率和保温时间;在热处理环节中,结构设计需考虑加热、冷却均匀性,防止因温度梯度引起的热应力、变形等问题,为了确保制造过程中不会因热处理产生负面影响,还需考虑制造的工艺性,如组焊方式、焊接顺序等;此外,质量的控制与检测是确保压力容器安全性的重要手段,对热处理后的材料进行力学性能、金相组织等方面的检测,保证压力容器后续使用稳定,并对温度曲线、冷却速率等各项参数进行严格监控;值得注意的是,对于有爆炸危险的介质,需要在热处理时严格控制火源、静电等安全隐患,大型压力容器进行热处理时还需考虑周边环境的安全性,对周边的建筑设备等采取必要保护措施。

2.4 关注焊接的细节问题

焊接是一种通过加热加压,或两者兼用,使两个或两个以上的材料连接在一起的工艺,其广泛应用于各种工程领域,包括石油化工行业。对于压力容器而言,焊接的质量直接影响到其强度、密封性和耐久性,因此在设计过程中,关注焊接细节不可谓不重要。

首先,选择正确的焊接材料是确保焊接质量的关键,选择材料时应切实考虑其化学成分、力学性能、耐腐蚀性等因素,以确保焊接接头与母材的匹配度,再根据具体的工程条件和要求,选择合适的焊接工艺,比如对于厚壁压力容器,应选择激光焊或电子束焊等相对集中的焊接工艺,用于减少焊接变形或实现深熔透;其次,诸如气孔、裂纹、未熔合等各种缺陷,将

严重影响压力容器的性能,因此应采取适当的措施防止这些缺陷问题频发,如选择合适的焊接电流和速度,使用保护气体等^[3]。

3 石油化工压力容器的设计方法

3.1 常规设计

弹性失效准则是常规设计的基础,它是指压力容器在承受超过其材料弹性极限的应力时,会发生弹性变形,当这种变形达到一定程度时,容器就会失效。在压力容器的设计中,通常以材料的弹性极限为依据,通过计算确定容器的应力分布和变形情况,从而保证容器在承受设计压力下不会发生弹性失效。

石油压力容器作为一种承载高压高温的设备,设计者需要综合考虑工艺流程、设备操作方式等因素,对容器的结构、材料、尺寸等进行合理设计,以确保容器在满足工艺要求的同时,具有较高的生产效率。因此在设计时,要求根据工艺要求、操作条件选择适合的容器类型,如圆柱形、球形或碟形等,明确压力容器的设计压力和设计温度;根据所需容积和使用条件,确定容器的直径和高度,结合容器的设计压力、温度和使用环境,选择合适的材料,通过对容器的应力分析,确定应力分布和变形情况;根据弹性失效准则,对容器的应力和变形情况进行校核,确保容器在承受设计压力下不会发生弹性失效;最后按照设计图纸制造容器,进行相应的检验,确保容器符合设计要求和使用的安全。该设计过程标准化,易于掌握实施,能够准确预测容器的应力分布和变形情况,同时对材料和制造工艺的要求相对较低。然而,对于一些复杂结构和特殊工况的压力容器,如高温、高压、腐蚀等条件下的容器,常规设计可能无法完全考虑其动态特性和失效模式。在一些情况下,常规设计会过于保守,即设计的容器体积较大,导致材料浪费和成本增加。常规设计主要关注弹性失效,而对于塑性失效、疲劳失效等其他失效模式考虑不足。

3.2 分析设计

随着技术的不断发展,新型的材料、结构和工艺不断涌现,对于反应器、换热器等特殊的工况问题来讲,其操作过程通常涉及到复杂的物理化学反应,这些反应会产生不稳定的物质或导致容器壁超温,高压、高温的操作环境致使传统的设计方法难以满足安全性要求。基于此,为确保设备的安全运行,也为了验证新技术的可行性和优越性,分析设计方法应运而生。其原理主要包括材料力学性能分析、热力学分析、动

力学分析以及结构优化设计等多个方面,具体来讲,压力容器材料的力学性能对其安全性具有重要影响,因此需要对材料的弹性模量、屈服强度、抗拉强度等力学性能进行详细的分析探讨;而在高温高压环境下,压力容器的热力学性能是重点研究领域,因此要对压力容器的热传导、热膨胀、热应力等因素开展分析^[4];动力学通常指压力容器的流体动力学、机械振动等因素;结构优化设计则专指压力容器内部结构和外部形状的优化设计,比如对于高压容器,可以采用碟形封头代替传统的椭圆形封头,以减小封头的受力面积,提高设备的安全性和可靠性。

总体上看,分析设计基于详细的数学建模,能够适应各种复杂的操作环境和工况,精准预测压力容器在不同条件下的行为,提前采取措施,防止潜在的危险,全面提高设备的适应性和可靠性。然而在运用该设计方法时,同样需要注意以下几点问题:首先是分析设计对计算模拟的需求量要求较高,需要高性能的计算机、专业软件以及专业人员给予支持;分析设计的周期长,特别是对于复杂的系统和工况,可能需要更长时间来获得准确的结果。这会延长产品的设计开发周期;分析设计的模型是基于假设和简化条件建立的,因此与实际情况可能存在一定的差异。

3.3 有关焊接的管控要点

压力容器的设计期间,合适的焊接工艺是检验焊接材料、设备和工艺是否符合要求的重要步骤,应包括焊接材料的可焊性测试、焊接设备的性能评估以及焊接工艺的验证,这些试验应确保所使用的焊接材料在特定的工艺条件下能够得到良好的焊接效果,焊接设备能够稳定输出所需的焊接参数,焊接工艺则保证在各种条件下都能得到符合要求的焊接接头;坡口是焊接过程中重要的连接部分,其设计和处理对于焊接质量和容器的安全性具有不容忽视的影响,应根据容器的材质、厚度和焊接方法来选择合适的坡口形式,比如厚壁容器采用深坡口或窄坡口,以利于焊接金属的渗透和扩散,实际操作中还需注意坡口的清洁和预热;复层堆焊是压力容器设计中常用的增强技术,可以有效增加容器的耐腐蚀性和耐磨性,根据不同的使用需求选择合适的堆焊材料和工艺,如对于腐蚀性的工作环境而言,耐腐蚀性的堆焊材料通常是首选,此外还需控制好每层的厚度和总厚度,确保堆焊层与基材的结合牢固且无裂纹^[5];焊后热处理是压力容器焊接完成后的一项工序,其作用是消除焊接过程中的残

余应力,提高焊接接头的性能,要求控制好加热速度、保温时间和冷却速度,避免因温度变化不当引起的容器变形或开裂。

3.4 形变问题的应对方法

压力容器内外的气体或液体压力差异会对容器壁面产生一定的压力,当容器壁面的材料强度不足时,就容易产生变形,而由于操作错误、设备故障或工艺变化等原因,致使容器的工作压力超出设计范围时也是导致形变问题的关键诱因。因此为了加强形变预防、提升容器设计的容错率,要求确定容器的形状、尺寸以及各部分的厚度,考虑压力载荷下的结构稳定性,并根据工作温度进行结构设计。在此期间,要充分考虑可能出现的形变现象,比如因温度变化或压力波动引起的膨胀或收缩,针对这一问题,可在容器中预留一定的形变余量,或者采用能够自适应形变的结构形式,又或考虑使用弹簧或缓冲器等弹性元件;为了及时发现并控制形变,需要设计一套有效的监测控制系统,实时监测容器的形变、温度和压力等关键参数,当这些参数超过预设的安全范围时,系统应立即启动紧急泄压、冷却等控制措施;最后根据实际运行条件进行安装调试。

4 结语

综上所述,面对复杂多变的化工环境,压力容器的设计需要严格遵循安全性、可靠性、耐用性及环保性的原则,充分考虑材料的选择、结构的设计、工艺的安排以及操作和维护的便利性。随着科技的进步和环保要求的提高,压力容器的设计将面临更多的挑战机遇,还望有关人士积极引入新的技术理念,为提升石油化工压力容器的设计水平做出贡献。

参考文献:

- [1] 蔺健宁.浅谈石油化工压力管道的安全管理与风险评估[J].石化技术,2023,30(10):251-252+125.
- [2] 孙晔,夏骅,孟子洋.浅析海洋石油化工装置配管质量控制存在的问题及对策[J].全面腐蚀控制,2023,37(09):37-41.
- [3] 郑顺城.化工压力容器设计及不安全因素的研究[J].化工管理,2022(26):138-140.
- [4] 黄彤彤.化工压力容器设计选材问题分析[J].石化技术,2022,29(07):33-35.
- [5] 阎世力.石油化工压力容器设计要求及方法[J].化学工程与装备,2022(06):155-156+168.