

压力容器设计及制造过程中降低应力集中的措施

孙 猛

(湖南中化工程设计有限公司, 湖南 岳阳 414000)

摘 要 压力容器的传统设计生产制造越来越多地受到现代人们的高度重视, 受限于传统容器设计生产制造应用技术的发展限制, 压力容器的传统设计及制造中往往存在着应力是否集中的复杂问题, 为了有效地促进传统压力容器的推广使用和产业发展, 本文详细总结了以下压力容器的设计应用技术特点, 以期能对改进我国目前压力容器的设计和制造有所裨益。

关键词 压力容器 设计制造 应力集中 应力腐蚀

中图分类号: TQ05

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2022)04-0067-03

能源在现代工业的不断发展和进步中发挥了重要作用, 压力容器在工业中的安全使用是社会关注的焦点, 我国高度重视压力容器的使用和发展, 逐步形成了较为完善的设计和制造体系, 为我国石化设备的发展提供了重要保障。随着新技术的不断发展和应用, 压力容器的设计和制造存在不足, 为了促进压力容器行业的持续发展, 在现有技术的基础上解决压力容器的应力集中问题引起了广泛关注。

1 压力容器概述

随着经济、科技的不断发展, 压力容器的设计、制造和管理日趋成熟。近年来, 科学技术和生产理论不断涌现, 为压力容器的生产和制造开辟了一条新的途径, 形成了压力容器生产和制造的基础, 满足了我们对压力容器的需求。我们应仔细分析应力集中在工作中的表现, 确保焊接质量符合预期标准和相关要求。一般来说, 压力容器由气缸、密封、钻孔、承压轴承、支架、连接管等部件组成。此外, 一些装置必须配备安全装置、测量装置和其他辅助部件。这些部件的应用对于确保容器的质量和耐久性非常重要, 也是压力容器安全可靠运行的基础。^[1]

2 容器的设计原理及应用特点

压力容器制造技术过程设计中的试验压力、结构设计中的试验腔体压力主要就是针对我们压力容器的每个腔和试验容器腔体, 它也可以看作是我们压力容器结构设计时的检验腔体压力, 一般是作为要求试验容器腔体工作压力如何计算确定、材料如何选择、分类和压力容器试验制造的重要依据, 也是我们如何确

定每个腔的设计试验腔体压力和容器零部件和如何准确计算每个试验腔体压力的最重要依据。例如, 中国石油工业液化学和天然气工程压力容器每个腔的设计压力结构要求很高, 一般要求根据其采用低于安全爆破片的自动安全爆破开启工作腔的压力, 或采用低于爆破工作腔的设计压力以及采用低于超过安全阀的自动爆破方式来开启容器工作腔的压力并分别进行计算确定。总的来说, 压力容器结构设计时的工作压力一般要求不得超过该容器内部工作腔的设计压力。如果一个容器内部安装了安全阀的爆破开启装置, 则不应采用压力低于安全爆破垫圈的自动安全爆破开启工作腔的压力, 或采用低于安全阀的自动爆破开启容器工作腔的压力。

目前, 各种压力容器广泛应用于化工、石油工业等多个领域, 并在其中一直发挥着重要主导作用。事实上, 压力容器材料可以用于承受相对较高的储存压力, 并为所有不同类型的各种危险品原料创造一个安全的压力储存容器环境。我国作为中国最重要的几个工业化发达国家之一, 石油工业的快速发展一直以来是我们密切关注的一个焦点。各种压力容器以其自身的技术特点已经发挥着越来越重要的技术作用。根据目前我国各种压力容器的实际应用发展现状, 总结了各种压力容器的几种应用技术特点: 第一, 压力容器的安全性能要求很高。在各种压力容器的实际生产应用中, 压力容器必须用于储存大量易燃易爆有毒气体等高度危险化学品。如果各种压力容器的使用安全性不够, 就很容易引发各种安全事故, 这将直接影响各种压力容器的广泛生产使用。第二, 压力容器必须

具有高度的安全专业性。通常,压力容器可以用于加压储存大量含有各种有毒腐蚀性化学物质的特殊危险物质。不同的压力储存容器材料对各种压力容器的安全性能及其特性也具有不同的技术要求。^[2]

3 应力集中和应力腐蚀

压力应力集中腐蚀是一种导致整个压力容器体的应力集中腐蚀的主要影响因素。其中应力集中腐蚀是指由于压力容器体的几何整体形状和容器外形尺寸的突然发生变化,局部区域的张力显著增加的现象构件。通常在整个压力容器整体表面容易出现焊接裂纹或其他类似焊接裂纹的加工缺陷。焊接结构不连续,焊接时使用温度高,焊接后的基材、焊接管道、焊接和其他焊接部件补强的缺陷存在程度超过技术标准;热处理不当容易导致整个压力容器整体表面焊接出现大量裂纹。生产使用过程中材料装配牢固;加工材料生产使用过程中材料加工生产工艺不科学容易造成材料机械上的损伤;材料在加工生产以及制造使用过程中不完全符合相关技术标准,存在一些表面加工缺陷等上述问题是造成应力集中的主要原因。

4 改善应力集中的合理措施

4.1 从应力分析出发

应力集中不仅是一个常见的弹性问题,也是影响材料实际应用的一个主要问题。当物体形状突然改变时,例如在几何中断的情况下,孔和缺口,或在刚性连接的情况下,焊接和法兰连接很容易产生应力集中,如果出现这种现象,会导致脆性材料的静载荷断裂和韧性材料的疲劳裂纹,直接影响使用的安全性。

压力容器的设计不可避免地会改变结构的形状,制造过程中需要大量的焊接工作。如果工艺处理不当,应力集中问题会成为压力容器安全运行的主要风险。

4.2 制造过程中的控制

容器焊接和检查后,组装和热处理期间必须避免应力集中。焊接过程中严格控制焊接电流能量,通过小电流多道焊实现;不允许固定安装和成型,设备上不得刻有钢印和材料标记;焊接区域(包括残余表面)应无裂纹、气孔、咬边或其他缺陷,形状不得急剧或平滑变化;在开喷嘴口和切割壳体时,使用钻孔机确保坡口表面状况,使焊缝在焊接过程中受热均匀,减少焊接过程中的应力集中;材料表面经过冲击和氧化处理,以提高其疲劳强度。^[3]

4.3 封头的选用

从应力分布分析,封头按受力状态的优先顺序为:半球形封头、椭圆形封头、蝶形封头、锥形封头、窄口、

平封头。考虑到负荷、产量和材料消耗,椭圆封头是压力容器最合适的封头。封头是压力容器最重要的受压元件之一,封头的选型取决于整个设备的成本和外部荷载的大小。不同类型封头的荷载条件差异很大,但如果与简化结构相关,则必须根据标准封头的要求预留 25mm 或 40mm 的直边段。

4.4 压力容器的结构设计要点分析

压力容器的设计是减少应力集中发生的最重要方法。根据应力集中的特点,在设计压力容器时,首先要根据压力容器的实际应用要求,选择合适的结构方案。一般来说,压力容器的设计首先应采用旋转壳体,这种结构一般采用集成制造的方法,不会形成缝隙和其他漏洞,以减少应力集中的问题。在分析影响刚度差的因素后,应选择材料、曲率半径、厚度等。应注意的是,在建造压力容器时,结构施工应尽可能使用相同的材料,接头的曲率半径应尽可能一致。

4.5 倒圆、倒角设计

通过有限元计算和应力测量,可以确定如果物体有小孔和缺口,受外力作用后,物体附近的应力将远大于其他部位的应力。这种应力集中的增加称为应力集中。为了减少压力容器中的应力集中,在压力容器结构设计中应采取有效措施,以充分延长不同类型圆弧的圆角半径,可在尖角处进行圆角或缩放。这一系列措施可避免压力容器在使用过程中因多个外力而产生应力集中。

压力容器管口采用特定的方式设计,将局部结构断裂引起的峰值荷载降至最低,并避免在应用过程中对压力容器造成疲劳或脆性损坏。同时,底板必须固定在支架上。在焊接过程中,禁止直接焊接、敲击或展示受拉部件,以免破坏容器。此外,焊接后,硬化区可能在热处理过程中软化,氢含量降低,微观结构改变,以提高压力容器的机械性能。在压力容器的设计中,大多数情况下必须基于硬度理论,应适当采用低稳定性和精确的弹性扰动,计算中应合理应用板膜理论,在应力方面,通常应用成型封头和回旋壳体,减少平盖封头和矩形容器的使用。^[4]

4.6 减小两连接件的刚度差

我们经常看到设计压力容器的壁厚不均匀,以提高材料载荷,降低成本,提高经济效益。从应力分析来看,如果简单接头两段连接部分因压力而产生不协调的自由变形,就会导致两个紧固件连接部分产生较大的裕量荷载。另外,应削薄一侧或两侧的厚板边缘,或根据相同要求通过拉伸表面将薄板边缘焊接到斜面上,削薄长度和表面光洁度大于或等于两个连接器之

间厚度差的三倍。这确保了两个简单部分的厚度平滑过渡,避免了两个连接部分形状的突然变化,降低了两个连接件的张力集中,避免了在应力腐蚀介质的影响下发生应力腐蚀。

4.7 压力容器制造工艺的改进方法分析

焊接一直以来都是各种压力容器连续使用生产的重要工艺技术控制组成部分,也是我们如何确保各种压力容器连续使用生产工艺产品质量的重要技术控制组成因素,如果不能严格控制每个焊接点和残余点的高度等因素,就会很容易造成各种类型压力容器外部焊接结构不合理和内部结构张力集中的不良现象。因此,在采用机械进行焊接各种类型压力容器时,必须根据目前国内现有的机械焊接生产技术手段,同时应严格控制每个焊接点的残余高度。采用机械进行焊接后,压力容器的所有连接焊缝和零部件也都应按照国家有关焊接技术标准规定及时进行焊接加工以及打磨,同时为有效地保证各种压力容器的连续生产使用焊接生产工艺质量,应尽量避免连续使用焊接点电弧焊等其他机械式的焊接连续生产工艺。

4.8 通过边缘应力降低应力集中

在压力容器的设计和制造过程中,我们应尽最大努力将连接部件的刚度控制降至最低,并减少因内部压力的影响而造成的变形,导致不协调。边缘应力通常由几何结构的突然变化引起。结构之间的相互应力约束直接导致结构边缘弯曲和产生边缘拉伸应力,从而直接导致边缘弯曲应力。如果荷载保持不变,可以通过减小连续构件之间的刚度差来降低荷载。边缘应力具有较强的局部性。因此,压力容器的设计和制造中应考虑局部压力,并改进边缘结构,以提高边缘区域的局部含量,提高边缘焊接质量,有效避免附件局部负荷集中,确保容器的质量满足使用标准。例如,如果两个圆筒的壁厚与相关制造材料和直径有较大差异,因为在相同的内压下,变形会不一致,造成很大的边缘应力。为了有效控制边缘应力,应稀释较厚的圆柱体。在制造过程中,较厚零件的变薄过渡不仅可以提高焊接质量,而且可以改善焊接条件。

4.9 优化规则设计下的压力容器结构选择

首先,在设计之初,优化材料选择和使用具有更好韧性和足够强度的材料可以有效降低压力容器压力部件的整体应力水平,以减少应力集中的负面影响。其次,尽量减少结构破坏。设计人员应避免使用平盖,要使用凸盖进行系统设计,优化管口布置系统,减少不必要的连接开口,避免在焊缝周围设置开口,避免

在底座和压力容器之间开口设置连接基板,避免需要连接各种曲率高和半径相同的连接元件,并至少选择一种具有相同元件名称和同样厚度的连接材料等。^[5]

4.10 采用合理的焊接结构和工艺

考虑到结构强度,压力容器的大量受压元件采用焊接连接,因此有必要尽量降低焊接结构中的应力值。

1. 与角接相比,焊接对接式的连接在强度和避免应力集中方面具有绝对优势。特别需要选择具有直边、嵌入式接管或法兰、高颈对接法兰的头部,并接管头部的上部开口。

2. 确保焊接连接尺寸的应力水平较低。稀释厚度不均匀的压力部件,角焊缝必须具有简洁平滑的过渡,必要时必须清除多余的焊接。这也会对焊接过程产生影响。例如,使用合适的焊接材料将焊接电阻保持在合适的范围内,可以有效降低母材的强度;使用小的焊接电流可以将导电能量控制在一定水平以下,直接降低焊接接头本身的应力值;焊接时,多层多道焊也能有效降低焊接残余应力;焊后无应力热处理也是从源头上降低应力集中的措施之一。

5 结语

就工业生产而言,容器的质量直接关系到工业生产的质量和效率。工业生产中有许多化工产品,一旦容器的氧化膜损坏,直接接触化工产品会损坏容器的表面,并产生腐蚀,严重影响容器的性能和安全,在应力作用的影响下容易开裂,使容器无法再使用,为了避免这些问题,必须采取有效措施消除容器的应力集中,确保工业生产的安全。

参考文献:

- [1] 曹野,赵明.压力容器设计阶段风险评估过程中存在的问题和建议[J].石化技术,2020(03):177,180.
- [2] 王丹丹,周金秀.压力容器设计制造中的常见问题探析[J].石化技术,2019(10):350-351.
- [3] 陈宇宁.压力容器设计及制造过程中降低应力集中的措施[J].建筑工程技术与设计,2020(28):3956.
- [4] 王康,姜正乾.压力容器设计及制造过程中降低应力集中的措施[J].商品与质量,2020(28):92.
- [5] 林建.低温压力容器及低温低应力容器的设计[J].化工设计通讯,2019(05):99-100.