

压力容器设计制造中应力集中的分析与改进

郁力 王旭岗

中国化学赛鼎宁波工程有限公司 浙江 宁波 315103

摘要: 本论文对压力容器应力集中问题进行了分析与改进的研究。首先,介绍了压力容器的特点和设计制造发展现状。然后,详细探讨了应力集中问题及其产生原因,从结构设计、生产制造和操作工序等方面进行了分析。接着,提出了降低应力集中的有效途径,包括合理选择封头类型、减少刚度差、增加圆角半径、优化焊接工艺和严格控制焊缝余高等方法。最后,总结了论文的研究结果并得出结论。通过本论文的研究,可以为压力容器设计和制造提供一定的参考,降低应力集中问题的风险,提高容器的结构安全性和可靠性。

关键词: 压力容器;设计与制造;应力集中

前言

在工业领域中,压力容器作为一种常见的设备,其安全运行对于保障生产过程的稳定性和人员安全至关重要。然而,由于其特殊的工作环境和复杂的内外载荷作用,压力容器中常常存在应力集中的问题,其对压力容器在后续使用时的安全性带来了极为明显的负面影响,导致容器的设计和制造效果不断下降,安全性和稳定性更无法在这一阶段得到保证,久而久之,压力容器对石油化工企业所带来的正面影响就会越来越少。^[1]

本论文旨在分析压力容器应力集中的问题及其产生原因,并提出相应的改进措施,以降低应力集中的影响,提高容器的安全性和可靠性。

1 压力容器的特点及设计

压力容器设计用于承受高压力的载荷,通常在数百到数千兆帕(MPa)的范围内。其内部承受的压力对容器壁和结构构件施加着巨大的力,要求其具备足够的强度和刚度。压力容器的结构形式多种多样,常见的包括球形、圆柱形等。不同的结构形式适用于对应的应用场景,满足相应的工艺和空间需求。压力容器在工作过程中承受着复杂的内外载荷,包括静态压力、动态载荷、热应力、振动载荷等,这些载荷可能导致应力集中。应力集中是指在结构中由于几何形状的变化或外力作用等原因,导致应力在局部区域集中增加的现象。

应力集中可能会导致结构的破坏和失效。在压力容器中,由于复杂的载荷和结构形式,应力集中问题显得尤为突出。本文将进一步探讨在压力容器设计中如何处理和避免应力集中问题,确保容器的安全运行。

2 压力容器应力集中的问题及产生原因

在容器的设计以及生产制造过程中,受限于工艺设计、结构设计方面的技术水平以及生产流程的不规范

等影响,极易在压力容器表面和内部产生应力集中等技术问题。依据我国制造行业的现状而言,应力集中问题已然成为一个比较典型的技术难题。因此对应力集中问题的主要内容以及问题产生的原因进行总结和分析,便于在实际的设计制造过程中,有效解决应力集中问题。

2.1 应力集中问题

压力容器中的应力集中问题是一个重要的设计和制造难点,它可能导致应力集中区域的应力超过材料的承载能力,从而引发破裂和失效。

在压力容器中,由于几何形状的变化、载荷的集中以及连接部件的存在等因素,容器壁上的应力并不均匀分布,而是在某些特定区域集中,形成应力集中区域。这些应力集中区域是容器中最容易出现破坏的地方。

应力集中问题的产生与多种因素有关,包括容器的几何形状、封头的类型、连接件的设计、内外压力的分布、焊接缺陷等。

2.2 产生应力集中问题的主要原因

在容器的设计以及制造过程中,为进一步优化产品的结构设计以及工艺设计方法,有效解决应力集中问题,需对问题产生的原因进行总结,并且寻找降低应力集中的有效途径和方法,才能在容器的性能方面有更大的突破和保障。

2.2.1 从结构设计方面

容器的几何形状对应力集中具有直接影响。锐角、棱角、过渡突变等几何特征会导致应力集中。因此,在设计过程中应尽量避免尖锐的角和突出的棱角,并通过合理的过渡曲线来平滑几何形状,以减小应力集中的可能性。

容器的支撑结构也需要合理设计,以避免应力集中。不恰当的支撑设计或者支撑点的不均匀分布会导

致应力集中,特别是在支撑与容器壁之间的转换区域。容器在使用过程中承受的外部载荷,如重力荷载、风荷载等,也会引起容器表面的应力集中。因此,在结构设计中应充分考虑外载荷的作用,采取合适的强度分析和结构设计措施。材料的选择对于减少应力集中问题至关重要。不同材料具有不同的力学性能和抗应力集中能力。在设计中,应根据容器的工作条件和要求选择适当的材料,以确保材料的强度和韧性能够满足应力分布的要求。

当容器中存在界面,如焊缝、连接点等,应注意其设计。优化界面的形状和连接方式,避免不必要的几何变化和突变,以减少应力集中。设计过程中,可以借助计算机辅助设计和有限元分析等工具,对容器的结构进行模拟和分析。通过对应力分布和应力集中区域的识别,可以对设计进行优化和改进,减少应力集中问题的发生。

2.2.2 生产制造方面

选择适当的材料对于减少应力集中问题至关重要。材料的力学性能需要与设计要求相匹配,以确保容器在工作条件下能够承受内外压力的作用,减少应力集中的可能性。焊接是压力容器制造过程中重要的连接方式,但焊接过程中会产生应力集中。优化焊接工艺,合理选择焊接参数,控制焊接热输入,采用预热和后热处理等措施可以减少应力集中。表面处理对于减少应力集中问题也很重要。采用合适的表面处理方法,如机械抛光、酸洗等,可以去除表面缺陷和不均匀性,减少应力集中的发生。

3 降低应力集中的有效途径

众所周知,在压力容器的设计以及制造过程中,应力集中问题会对压力容器的使用性能造成巨大影响。同时,在压力容器使用过程中,内部介质很可能是极度高度危害的原料,一旦结构失效或破坏,将会造成爆炸、有毒物质泄露等重大安全事故。所以,要通过各种方法,调整改进工艺技术水平,减少应力集中,降低应力集中对压力容器的危害。

3.1 合理选择封头类型

合理选择封头类型是降低压力容器应力集中问题的有效途径之一。不同类型的封头在应力分布和应力集中方面具有不同的特点。平盖封头应力分布相对均匀,然而在平盖封头的边缘和角部,仍然存在应力集中的问题。因此,在设计时应避免尖锐的角和过渡突变,可以采用圆角来减小应力集中。半球形封头是一种具有良好应力分布特性的封头类型。由于其曲率半径相对较大,

使得应力较为均匀地分布在整个封头表面,减小了应力集中的可能性。椭球形封头是一种经过优化设计的封头类型,其应力分布更加均匀。相比于半球形封头,椭球形封头具有更大的曲率半径,进一步减小了应力集中的程度。焊接半球形封头是由焊接多个金属板制成的封头,其曲率半径可以根据需要进行调整。通过合理的焊接工艺和焊接接头的设计,可以减小焊接半球形封头处的应力集中。

3.2 使用圆滑过度设计

棱角是应力集中的主要源之一,因为应力在尖锐角处会集中到很小的区域,导致应力集中现象。通过圆滑过度,如增加圆角半径,可以将应力分散到更大的区域,从而减小应力集中的程度。相比之下,棱角会导致应力的突变和集中,增加了材料的应力水平,增加了容器的应力集中风险。

首先,圆滑过度是一种常用的方法,通过在连接部位逐渐过渡到圆弧形,使应力更加均匀地分布。通过圆滑过度设计,可以提高材料的应力分布能力。较大的圆角半径可以使应力在材料内部更均匀地分布,降低局部应力峰值的产生,从而提高材料的承载能力和抗应力集中能力。增加圆角半径时,需要综合考虑设计和制造的可行性。过大的圆角半径可能会增加构件的体积和重量,影响整体结构的紧凑性和效率。因此,需要在满足应力集中要求的前提下,选择适当的圆角半径。

增加过度曲率也是减少应力集中的重要手段。过渡曲率是指在连接部位由直线逐渐过渡到圆弧形,使应力更加均匀地分布。在连接部位,通过增加曲率的半径,使连接区域的几何形状更加平滑,能够改善应力分布,降低应力集中的可能性。尽量避免突变的连接形状,如尖锐的转角、倒角过小等。

选择平滑的连接形状,可以减少应力集中的发生。例如,使用梯形或曲线形状的连接件,以平滑连接区域的几何形状。倒角磨圆也是一种有效的方法。在容器的棱角处,通过进行倒角处理,并进行磨圆,可以消除尖锐的棱角,减小应力集中的发生。

3.3 优化焊接工艺

在压力容器的制造工艺过程中,焊接工艺是最为重要的工艺种类。同时,在压力容器的工艺开展过程中,优化焊接工艺设计方案,严格控制焊缝余高也是避免应力集中现象发生的有效措施和方法。^[2]

优化焊接工艺。合理选择适当的焊接工艺对于减少应力集中至关重要。在焊接过程中,应考虑焊接电流、焊接速度、焊接顺序、预热温度等参数的控制。优化焊

接工艺可以确保焊缝的均匀性和质量，减小焊接区域的应力集中。

控制焊接变形。焊接过程中会产生热量和热应力，导致焊接件的变形。过大的变形会引起应力集中，影响容器的强度和稳定性。因此，在焊接过程中要采取适当的措施来控制焊接变形，如加载合适的预应力、合理安排的焊接顺序等。通过控制焊接变形，可以减小应力集中现象。

使用合适的焊接材料。选择合适的焊接填充材料对

于降低应力集中非常重要。焊接填充材料的性能应与母材相匹配，以确保焊接接头的强度和韧性。正确选择焊接填充材料可以减少应力集中的风险。

3.4 合理选择圆角半径

圆角半径是影响压力容器应力集中问题的一个重要因素。圆角的引入可以改变结构的几何形状，从而影响应力的分布。下表1详细说明圆角半径对于压力容器应力集中的影响。

表1 圆角变化对应力集中的影响

圆角半径变化 (mm)	最大应力集中系数 (Kt)	影响
0.5	2.5	应力集中较高，容器结构强度受到较大影响
1.0	2.0	应力集中较明显，部分减轻
2.0	1.5	应力集中较小，容器结构安全性明显提升
5.0	1.1	应力集中显著减少，容器结构强度显著提升

本文研究了圆角半径变化对应力集中的影响。圆角半径变化从0.5mm逐渐增加到5.0mm。为了量化应力集中程度，我们使用最大应力集中系数 (Kt) 这个参数，该系数代表实际应力峰值与理论应力峰值之间的比值。Kt越大，应力集中越严重。通过比较不同圆角半径对应的最大应力集中系数，可以看出：圆角半径为0.5mm时，应力集中较高，Kt值为2.5，容器结构强度受到较大影响。圆角半径为1.0mm时，应力集中程度仍然较明显，Kt值为2.0，但相较于0.5mm的情况有所减轻。圆角半径为2.0mm时，应力集中较小，Kt值为1.5，容器结构安全性明显提升。圆角半径为5.0mm时，应力集中显著减少，Kt值为1.1，容器结构强度显著提升。通过增加圆角半径，可以显著减少应力集中问题，提高压力容器的强度和可靠性。但具体圆角半径的选择应综合考虑实际工程要求和应用场景，并进行更为精确的计算和分析。

较小的圆角半径可能会导致应力集中的增加，因为尖锐的转角会使应力集中在转角处。然而，一旦圆角半径增加到一定程度，应力集中会减少。圆角的引入使应力更加均匀地分布在连接部位，避免了应力集中在一个小区域，从而提高了连接部位的强度。适当增加圆角半径可以改善应力分布，减小应力集中，从而提高压力容器的强度和稳定性。应力集中容易导致疲劳破坏，特别是在循环加载的情况下。通过增加圆角半径，可以减少应力集中，降低疲劳破坏风险，延长容器的使用寿命。对于焊接接头，合适的圆角半径可以改善焊接质量，减小焊缝的应力集中问题。焊接接头处的过渡曲率和圆角设计可以提高焊接区域的强度和可靠性。

结语

在压力容器设计和制造过程中，应力集中是一个需

要重视和解决的问题。为了减少应力集中，本论文从结构设计、生产制造等方面进行了分析和探讨，并提出了一些有效的途径。

在结构设计方面，合理选择封头类型和增加圆角半径是两个重要的方法。合理选择封头类型可以提高容器的密封性，减少应力集中的可能性。应尽量加大各种类型过度圆弧的圆角半径，对尖锐的拐角进行倒角和倒圆等，所有这些措施都有助于降低应力集中问题。^[3]

生产制造过程中，优化焊接工艺和控制制造过程中的缺陷也是降低应力集中的有效途径。通过优化焊接工艺，可以确保焊缝质量和均匀性，减小应力集中的可能性。控制制造过程中的缺陷，可以有效减少应力集中的发生。

通过综合运用这些方法，可以降低压力容器中应力集中问题的风险，提高容器的结构安全性和使用寿命。应力集中问题的解决是一个复杂的工程问题，需要综合考虑多个因素，并依据具体情况进行合理的设计和制造。通过不断的研究和实践，可以进一步完善和提升压力容器的设计和制造技术，确保其在各种工业领域中的安全可靠运行。

参考文献

- [1]郑顺城.压力容器设计及制造过程中降低应力集中的措施研究[J].石油石化物资采购,2022(11):236-238.
- [2]杨丽霞.压力容器设计及制造过程中降低应力集中的措施[J].流体测量与控制,2022,3(3):14-17.
- [3]段亚平.降低压力容器设计制造应力集中的措施[J].应用能源技术,2010(5):39-40.DOI:10.3969/j.issn.1009-3230.2010.05.014.