

压力容器设计及制造过程中降低应力集中的策略

李伟光

辽宁 沈阳 110141

DOI:10.61369/ERA.2025110011

摘 要： 压力容器主要用于化工厂、炼油厂盛放气体、液体等物质，其在使用过程中是否稳定、可靠，将直接关系着行业的安全生产。在压力容器使用过程中，可能会出现应力集中问题，影响压力容器使用效果。为此，文章从压力容器设计及制造角度进行应力集中问题的分析，并提出一些解决建议，希望能减少或消除应力集中问题，保障压力容器可靠、安全的使用。

关 键 词： 压力容器；设计及制造；应力集中；降低

Strategies for Reducing Stress Concentration in the Design and Fabrication of Pressure Vessels

Li Weiguang

Shenyang, Liaoning 110141

Abstract： Pressure vessels are mainly used in chemical plants and oil refineries to hold gases, liquids and other substances, and whether they are stable and reliable in the process of use will be directly related to the safe production of the industry. During the use of pressure vessels, stress concentration problems may occur, affecting the use of pressure vessels. For this reason, the article will analyse the stress concentration problem from the perspective of pressure vessel design and manufacturing, and put forward some solution suggestions, hoping to reduce or eliminate the stress concentration problem and guarantee the reliable and safe use of pressure vessels.

Keywords： pressure vessel; design and manufacture; stress concentration; reduction

引言

压力容器有圆柱体、椭圆体、球体等不同形式，常被应用于化工厂、加工厂以及炼油厂中，主要是盛放液体、气体，内直径一般 $\geq 0.15\text{m}$ ，容积 $\geq 0.025^3$ ，属于密闭设备。压力容器实际应用中，会承载静态、动态载荷，设计人员需要考虑多方面因素，使压力容器应力状态符合要求。随着压力容器的不断发展，高压压力容器受到广泛关注，常会应用于水射切割设备、聚乙烯管反应器等方面。在压力容器应用过程，气体、液体的出入口区域会发生应力集中情况，与封头的形式有关，比如在压力容器，螺纹塞根本会出现发生应力集中。应力集中是压力容器的常见问题，会直接影响压力容器的使用，比如压力容器应力集中时，容易缩短压力容器的构件寿命，导致压力容器构件出现变形或者不均匀的问题，甚至会导致压力容器构件失效，同时应力集中还有可能导致裂纹、断裂等问题发生，增加压力容器的使用风险。因此，如何降低压力容器的应力集中问题，是压力容器安全、可靠使用的关键。在降低应力集中方面，可以从设计、制造等方面着手，减少应力集中的问题。比如设计人员在压力容器设计中，可以引入一些合适的材料，并考虑应力分布情况，避免应力集中；设计人员也可以对压力容器的结构进行优化，消除、减轻应力集中的问题。当然，制造环节也可以消除压力容器应力集中的问题，比如对压力容器的生产工艺进行优化，可以有效控制应力产生，避免应力集中。因此，文章从压力容器设计、压力容器制造过程角度探讨降低应力集中的措施具有非常重要的价值，一方面可以保障压力容器有效应用，另一方面也能避免压力容器使用过程中发生安全问题^[1]。

一、压力容器

压力容器广泛应用于化工、炼油厂以及加工厂中，用于盛放气体、液体。从压力容器的用途来看，其包括传热、反应、分离以及储运等，具有多方面用途。为此，本章节将详细介绍压力容器，分析压力容器的特点，以下将进行详细阐述。

（一）压力容器介绍

压力容器常被用于盛放化工厂、炼油厂中的气体、液体，包括反应、传热、分离、储运等类型。比如反应类型的压力容器，其用于物理、化学方面的反应；传热类型的压力容器，常被应用于液体、气体物料的存放、运输等。从压力容器的应用形状来看，其有圆柱体、球体、椭圆体等不同类型。以球形、圆柱形压

力容器为例，其中球形压力容器由顶部平台、盘梯、中间平台等部件构成，罐体的尺寸较大，安装过程会采用由下向上的顺序进行焊接固定。圆柱形压力容器由筒体、封头、支座、人孔、接管法兰、管口等部分构成，同时也包括计量装置、仪器仪表等部分，共同组成了进压力容器^[2]。（图1为球形压力容器基本结构）

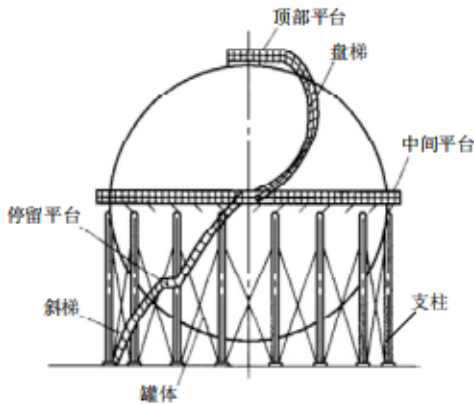


图1 球形压力容器基本结构

压力容器是化工厂、炼油厂的常用设备，其基本参数关系着压力容器可靠、安全的使用，是压力容器设计、制造以及检测等重要依据。从容器的基本参数来看，主要包括工作压力、设计压力、计算压力、公称压力、设计温度、公称直径、许用应力、安全系数、厚度、设计寿命、焊接接头系数等。工作压力是指压力容器在正常运行过程所能产生的最高压力；设计压力是指压力容器设计时，所设定的最高压力，一般要求设计压力超过工作压力；计算压力是确定元件厚度的压力值，计算压力一般等于设计压力；公称压力主要为压力容器设计、制作以及使用过程，压力划分标准分为美洲、欧美两个体系；设计温度是指压力容器在工作中的温度情况，一般设计时的温度超过压力容器实际运行中的最高温度；公称直径是指压力容器及其零部件在设计、制造过程，将容器及零部件的尺寸划分为若干标准等级，以 DN+ 数字的形式表示，比如 DN1500 表示内径是 1500mm 的压力容器；许用应力是指材料失效的应力大小；安全系数是指压力容器材料的安全系数，设置过程需要参考各种因素，以保障安全系数符合要求；厚度是压力容器壁厚，包括设计厚度、计算厚度、有效厚度等，其中计算厚度是指压力容器元件计算的最小厚度、设计厚度是指设计中加入腐蚀量的厚度；有效厚度是指压力容器实际作用中的厚度；设计寿命是指压力容器在使用过程中，会考虑使用环境、载荷情况、材料性能等，确保元器件的有效使用寿命；焊接接头系数是压力容器焊接头的系数，具体是指焊接金属与焊接母材强度比值^[3]。

（二）压力容器特点

压力容器有圆柱体、椭圆体、球体等不同形式，常被应用于化工厂、加工厂以及炼油厂中，用于气体、液体的盛放，属于密闭容器设备。从容器的特点来看，其具有密封性、专业性、

结构稳定性等。一是安全性。压力容器具有安全性的特点，由于压力容器常会被用于化工厂、加工厂的物质存放，很多物质本身具有易燃易爆的特性，如果存放的容器安全性不高，就可能会发生泄漏、爆炸等安全问题，严重影响企业的运营及发展。由于压力容器存放的物质通常比较危险，安全性成为压力容器设计、制作的关键指标，设计人员往往会在容器的安全性方面下功夫，消除容器的安全隐患，保障容器安全、可靠的使用。二是专业性。压力容器具有专业性特点，比如容器所存放的物质都具有腐蚀性，一般要求容器拥有较高的抗腐蚀性，同时也需要容器具有较高的密封性，这样能避免相关物质泄漏，造成更为严重的安全事故。三是结构稳定性。容器在设计、制造过程，一般会根据使用要求，采用不同技术工艺，以提升容器的结构稳定性。在设计与制造过程，一般需要避免由于技术工艺所引发的应力集中问题，避免发生爆炸等安全事故^[4]。

（三）压力容器用途

压力容器是炼油厂、化工厂的常用设施，主要用于储存气体、液体等工业物质，用途分为反应、传热、分离、储运。反应压力容器是指用于物理、化学反应的压力容器；传热压力容器是指用于介质热量交换的压力容器；分离压力容器是用于固体、液体、气体分离的压力容器；储运压力容器是用于液体、气体物料存放与运输的压力容器。不同类型的容器作用不同，一般需要相关行业结合自身实际情况进行选择，以发挥容器的作用，保障企业生产稳定运行^[5]。表1为容器基本信息。

表1 压力容器基本信息

类别	内容
用途分类	反应容器、传热容器、分离容器和储运容器
压力等级	低压为 $0.1\text{MPa} \leq p < 1.6\text{MPa}$ ； 中压为 $1.6\text{MPa} \leq p < 10.0\text{MPa}$ ； 高压为 $10.0\text{MPa} \leq p < 100.0\text{MPa}$ ； 超高压为 $p \geq 100.0\text{MPa}$ 。
内直径	$\geq 0.15\text{m}$
容积	$\geq 0.025^3$

二、压力容器设计及制造过程中的应力集中问题及原因

容器常被用于盛放化工厂、炼油厂的液体、气体，内直径一般 $\geq 0.15\text{m}$ ，容积 $\geq 0.025^3$ ，具有良好的专业性与安全性。容器实际应用中，会承载静态、动态载荷，设计人员需要考虑多方面因素，使容器应力状态符合要求。

（一）应力集中问题

容器在使用期间，可能会遇到应力集中的问题，容易缩短容器的构件寿命，导致容器构件出现变形或者不均匀的问题，甚至会导致容器构件失效。同时，容器发生应力集中后，其稳定性、安全性将受到威胁，比如容器局部性

能下降，会引发压力容器疲劳，甚至还会导致压力容器出现爆炸等安全事故，影响行业正常生产^[6]。

（二）应力集中问题原因

压力容器是化工厂、炼油厂等行业的重要生产设施，常用于反应、传热等环节，关系着行业的生产成效。应力集中是压力容器的常见问题，在应力集中的影响下，压力容器安全性、稳定性将遭受威胁，可能导致裂纹、断裂等问题发生，增加压力容器的使用风险。从导致应力集中问题的原因来看，包括结构设计、生产制造以及操作工序等方面。一是结构设计。结构设计是压力容器发生应力问题的原因之一，主要原因在于封头设计方面，如果设计人员在压力容器中的封头设计不合理，就容易发生应力集中的问题，比如，压力容器设计中通常采用回转壳体 and 成型的封头。如果在结构设计方面采用平盖封头，会大幅降低压力容器的应力分布，出现应力集中的问题。二是生产制造。生产制造是压力容器应力集中的原因之一，比如压力容器生产制造过程，缺乏对压力容器棱角方面的关注，如果棱角处理方面不符合要求，就容易影响压力容器的密封性，发生应力集中的问题。三是操作工序。操作工序是压力容器制造过程的关键，可能会由于操作工序失误以及未按照要求标准进行操作，就会影响生产效果，导致压力容器发生应力集中的问题，比如焊接点、切割点等方面的操作不符合要求，就容易出现应力集中的问题，造成较大的安全事故^[7]。

三、压力容器设计及制造过程中的应力集中降低措施

压力容器是化工、炼油等行业的关键设施，常用于生产过程的反应、传热等环节。压力容器的使用稳定及安全尤为重要，但使用过程可能由于设计、制造等方面原因，出现应力集中的问题，进而影响压力容器的使用效果。本章节将结合上述分析的压力容器应力集中原因，对压力容器设计及制造过程提出一些建议，希望能为降低压力集中提供参考，保障压力容器有效应用。

（一）降低应力集中分析

第一，合理选择封头。从上述分析来看，封头是影响压力容器密封性的关键，合理选择封头，关系着压力容器的安全性、密封性。因此，压力容器设计中，设计人员需要根据压力容器的用途进行合理选择，比如压力容器的封头包括半球形、平封头等类型，在压力容器实际的结构设计过程中，通过采用回转壳体 and 成型封头，提高压力容器的密封性。第二，减少刚度差。在应力集中方面，可以从减少刚度差方式降低应力集中的问题，进一步提高压力容器使用过程的安全性及稳定性。比如在设计环节，设计人员可以通过调整刚度差方式降低容器压力，避免压力容器发生不平衡的问题。同时在压力容器设计方面，可以不断优化压力容器周围结构的设计，对局部做出调整并优化工艺，不断强化局部

的各项性能指标，这样可以避免发生应力集中的问题。第三，增加圆角半径。在应力集中发生方面，可能由于棱角问题发生应力集中，为了解决这一问题，可以从焊接工艺出发，比如注重焊接操作要点，保证焊接过程的平稳性，避免发生应力集中的问题。同时压力容器接口端等位置，都通过增加圆角半径，将接口处打磨成圆角，减少棱角产生。第四，焊接工艺。焊接工艺是发生应力集中问题的因素之一，在焊接过程一般要避免点焊，操作人员应从焊接工艺及技术方法出发，避免发生应力集中的问题，同时在焊接过程也要控制制焊缝余高的数值，以提高压力容器结构性能与质量，避免应力集中问题发生^[8]。

（二）完善设计及制造方案

压力容器设计及制造过程会产生应力集中问题，相关行业要完善压力容器设计及制造方案，减少应力集中问题发生。一是设计及制造目标。根据降低应力集中的问题，相关行业要分析设计、制造环节发生应力集中的问题原因，明确设计流程以及制造流程的标准要求，减少应力集中问题发生。二是加强设计及制造过程的管控。相关行业应从降低应力集中问题出发，完善设计及制造过程的管控措施，比如基于焊接生产过程的应力集中控制，相关行业要制定针对性的控制目标，严格监督压力容器焊接过程，以避免由于焊接不到位所引发的应力集中问题。三是不断优化设计及制造方案。设计环节与制造环节是引发应力集中问题的原因之一，相关行业要做好设计、制造环节的优化与调整，避免发生应力集中的问题^[9]。

（三）制订配套措施

在压力容器设计及制造过程，相关行业要制订配套措施，以实现设计、制造过程的控制，降低应力集中。第一，制订检测方案。在压力容器生产制造完成后，一般需要对压力容器进行检测，以便找出其中的问题或瑕疵。基于降低应力集中的问题，相关行业可以将生产制造中引发应力集中的要素加入检测范围，通过检测方式及时找出问题，提升压力容器生产制造的质量，降低压力集中。第二，组建专业队伍。设计、制造是压力容器出现应力集中的原因之一，与人员素质有着直接关系，比如设计人员对应力集中问题不了解，在实际设计中就可能出现考虑不周的情况，发生应力集中的问题；生产人员在压力容器生产加工过程，由于操作不符合要求，可能导致压力容器使用过程出现应力集中的问题。为此，相关行业在降低压力容器应力集中方面，可以从专业化队伍组建的角度出发，比如做好人才引进工作，结合一些优秀的引才方案，组建高素质的设计队伍、生产队伍，以保障设计、生产阶段的规范性，实现降低应力集中目标。从人才培养出发，对现有设计人员、生产人员进行针对性培训教育，帮助设计人员、生产人员掌握降低应力集中的要点与方法，这样能避免设计、生产中出现问题，实现降低压力容器应力集中，保障压力容器的稳定、可靠使用^[10]。

四、结束语

综上所述，压力容器是化工、炼油等行业的关键设施，但使用过程可能由于设计、制造等方面原因，出现应力集中的问题，进而影响压力容器的使用效果。为此，文章从压力容器应力集中原因角度，提出一些建议，比如压力容器设计中，设计人员需要根据压力容器的用途进行合理选择封头；设计人员可以通过调整刚度差方式降低容器压力，避免压力容器发生不平衡的问题；相

关行业要分析设计、制造环节发生应力集中的问题原因，明确设计流程以及制造流程的标准要求，减少应力集中问题发生；相关行业可以将生产制造中引发应力集中的要素加入检测范围，通过检测方式及时找出问题，提升压力容器生产制造的质量；相关行业要对现有设计人员、生产人员进行针对性培训教育，帮助设计人员、生产人员掌握降低应力集中的要点与方法，这样能避免设计、生产中出现等问题。希望上述探讨与分析能为降低压力容器应力集中提供参考，保障压力容器的有效应用。

参考文献

[1] 王晓飞, 刘林. 浅析如何在压力容器设计制造过程中降低应力集中问题 [J]. 中国设备工程, 2024, (13): 88–90.

[2] 张翔兮. 压力容器设计及制造过程中降低应力集中的措施 [J]. 现代制造技术与装备, 2023, 59(09): 174–176.

[3] 薛光磊, 陈璐, 范国伟, 等. 压力容器设计及制造过程中降低应力集中的策略 [J]. 产业与科技论坛, 2023, 22(17): 54–55.

[4] 蒋?. 浅析如何在压力容器设计制造过程中降低应力集中问题 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 42(18): 104–105.

[5] 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(03): 5–7+18.

[6] 党亚茹, 张满航. 压力容器设计及制造过程中降低应力集中的措施 [J]. 石化技术, 2021, 28(02): 166–167.

[7] 沈愚, 刘科明. 压力容器设计及制造过程中降低应力集中的措施 [J]. 化工设计通讯, 2020, 46(06): 110–111.

[8] 朱沙沙, 史艳梅. 降低压力容器设计制造应力集中的措施 [J]. 化工设计通讯, 2016, 42(09): 62+83.

[9] 胡志肖. 浅析降低压力容器应力集中的措施 [J]. 中国科技信息, 2013, (03): 99.

[10] 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, (05): 39–40.