

压力容器设计及制造过程中降低应力集中的措施

张雪森（惠生工程（中国）有限公司北京分公司，北京 100102）

摘要：现如今，在社会快速发展的环境下，压力容器的设计和制造工作逐渐受到了更多关注的目光。压力容器的安全性和经济性是基本要求，其中安全性是核心问题，并且与压力容器的设计息息相关。压力容器设计的核心问题是研究容器在外载荷作用下，能有效地抵抗变形和破坏的能力。因此，对压力容器进行较为充分的载荷和应力、应力和变形分析，是压力容器设计的重要理论基础。本文以压力容器设计及制造过程中降低应力集中的措施开始分析，并提出下文几点内容作为参考。

关键词：压力容器；设计及制造；降低应力集中

0 引言

最近几年，国家的工业现代化取得了很大的进展，使得石油资源在生活中成为不可缺少的重要组成部分之一，对人们的生活以及社会的发展有着很大的作用。而在石油的不断发展期间，压力容器的使用受到了人们的高度重视，并且国家对压力容器的发展也是非常关注。国家在发展工作中已经制定出压力容器设计和制造的相关体系，为国家的发展奠定了一定的基础。但是，随着社会不断的发展和进步，压力容器的设计和制造中逐渐出现了一些问题，给相关人员的工作造成很大的影响。其中影响最大的问题就是应力集中，这一问题限制了压力容器的整体发展进程。因此，相关人员在工作中要对压力容器的设计和制造工作实行全面的分析，并采取有效的解决方法，使压力容器可以得到不断的进步。

1 容器的主要论述

容器的设计和制造工作具有一定的难度，在工作中将容器进行类型的区分，可以帮助设计人员在工作中从多个角度去出发思考问题，将容器设计和制造工作中的重点全部掌握，为后续的工作做出有效的铺垫。由于技术不断的趋向成熟状态，使得容器的类型逐渐增加，开始能够适应在不同的环境中使用。可见，容器的工作有了一定的进展。从容器自身的承受压力等级来看，可以将容器分成不同的种类，其中主要有低压、中压以及高压等，用户根据容器自身的等级和使用环境来做出正确的判断，从而做好容器的选型工作。

2 容器自身的主要特点分析

2.1 具有极高的安全标准要求

容器和其他容器之前存在很大的差异性，这种容器在应用中主要在特种设备使用中，而且容器经常会在一些高温、低温等这种环境中应用，所以对容器自身的质量有着很大的要求。并且，一些有毒、易燃易爆的高风险液化气体就被储存在容器当中，一旦容器自身发生故障，那么直接将会引发不可估量的安全事故，给相关人员造成严重的伤害，还会导致经济出现大

量的损失。针对这种情况来看，设计人员在工作中必须要加强对容器设计的重视程度，要始终坚持安全的原则，在工作中严格遵守国家的相关法律。同时，还要对容器的制造过程实行全方位的监管，避免工作人员在工作中出现问题，来降低容器自身的安全性能，并埋下大量的安全隐患。只有这样，才能控制容器自身具备良好的安全性能，防止在使用期间出现一些事故的形成。

2.2 具有良好的专业性

容器具有很大的作用，所以容器的设计和制造工作相对于其他的设备有较大的难度。通常在容器的设计和制造工作中具有一定的专业性，在工作中需要专业的知识和技术。正是这种原因，所以对设计人员有很高的要求，设计人员自身必须具备足够的专业能力，并且还需要存在丰富的工作经验，才能胜任这份工作。比如，在容器的设计和制造工作中主要包含：冶金工业、机械加工方面知识等，还需要设计人员在工作中可以了解化学、质量控制等方面的知识，才能保证容器的设计和制造工作顺利完成。因为容器的设计和制造工作之间的所有环节存在很大的关联性，所以任何一个缺点都会直接影响到容器自身的设计和制造工作进度，并降低工作的质量和效率。由此可见，设计人员和制造相关人员在工作中不仅需要详细掌握工作的所有流程，还需要熟练的使用国家的相关法律及标准来保证产品的生产工作，并在工作中可以促进沟通，从而保证容器的设计和制造工作都能够始终具备良好的安全性，便于维护相关人员的安全。

3 容器的设计和制造工作发展的主要情况

容器的设计和制造工作一直以来受到国家的高度重视，为了满足国家在快速发展中的需求，开始加大对容器的设计和制造工作力度。目前，国家的容器的技术已经逐渐形成成熟的状态，已经可以运用到各种不同的领域当中，做出贡献。据了解得知，在容器的设计和制造工作中，最重要的就是容器自身的结构设计，只有保证结构的质量符合标准才能投入实际生

产中去。一旦设计人员在工作中没有对结构进行良好的设计,那么就会不能满足压力容器的使用需求,并会导致一些事故的发生。

4 压力容器的设计和制造工作中应力集中问题的主要分析

通常来说,压力容器的设计和制造工作非常关键,这两项工作直接会决定容器后期的使用情况。一些缺口、孔洞或者形状突变的结构会造成应力集中的问题,应力集中会引起容器的脆性裂口和疲劳破坏,降低容器自身的安全和稳定性。

4.1 应力集中的问题分析

由物体的应力实测和有限元的计算可以证实,在物体上存在着缺口、小孔洞、沟槽或存在形状突变或受到刚性约束的条件下,受载后在上述部位附近的应力值较之远离处应力值大得多。这种应力集聚增大的现象称之为应力集中。根据对压力容器的设计和制造工作中出现的应力集中问题分析得出,这种情况主要属于弹性力学的问题,而且只要应力集中在压力容器的设计的制造工作中出现,那么就会降低压力容器的安全和稳定性,给容器当中埋下大量的安全隐患。压力容器的壳体壁厚、承受的载荷、材料的变化都会增加应力集中问题的发生机率。应力集中问题对压力容器存在极高的破坏力,这种问题的发生会降低压力容器的性能,导致结构断裂、破损,甚至停工停产,造成经济损失。

一般在压力容器的设计和制造工作环节中,相关人员需要完成很多焊接和切割等相关工作,才能将压力容器顺利完成。这些工作流程对于容器的制造有着很大的联系,工作之间也是具有一定的连接性。如果在这些工作流程之中存在问题,那么就会造成压力容器的形状发生很大的变化,并形成应力集中的问题发生,进而对工作造成破坏。另外,这种问题还会逐渐降低容器自身的所有性能,不能保证在使用期间的安全和稳定,并带来很大的风险。因此,设计人员和制造人员在工作中一定要正确的看待应力集中的问题,还要在工作中做好充分的准备,降低应力集中问题的发生机率,才可以更好的完成压力容器的所有相关工作。

4.2 压力容器自身的应力集中问题形成的主要因素分析

要想尽快将压力容器的应力集中问题有效的解决,那么相关人员在工作中就要对这一问题进行详细的分析,才能将根源因素全部找到,从而便于制定出有效的解决方法来化解。接下来主要从两个方面分析:首先,在设计的方面上来看,形成这一问题的主要原因就是压力容器自身结构的设计工作中存在不合理的因素,所以造成应力集中的问题发生在容器当中。压力容器的设计工作中,从应力分析角度考虑,一般采用各类回转壳体 and 成型封头,而尽量少用矩形容器和平盖封头,只有工

艺特殊要求下或是常压、低压时才采用平盖封头。从应力分布情况分析,封头受力从最好到最差的排列顺序依次为:半球型封头、椭圆形封头、蝶形封头、球冠形封头、锥形封头、紧缩口封头和平封头。而从受力、制造和消耗材料等方面综合考虑,压力容器用封头最宜采用椭圆形封头。

另外,从制造的方面来看,就是制造工业的理想性较差,进而引发了应力集中的问题。因为环境的不同,所以对压力容器的要求也是存在一些差距的。如,在一些特殊的环境当中,要求压力容器自身必须带有棱角,才能够在环境中应用。但是,具体的工作中,制造人员要是在工作中对压力容器的棱角处理不合理,或者出现效果较差的情况,还是会给压力容器形成应力集中的问题,导致压力容器不能在环境中使用。

5 降低压力容器应力集中问题的有效方法

压力容器的设计和制造工作对于容器后续的使用起到决定性的作用,所以要想在工作中更好的应用压力容器,就应该尽快采取有效的解决方法将应力集中问题全部解决,才能高效完成相关工作。

5.1 不断优化压力容器的设计工作

对于介质为易燃易爆的压力容器、低温容器以及承受交变载荷的压力容器,应尽量减小由于局部结构不连续而引起的峰值应力,从而避免脆性破坏或疲劳破坏,因此,对焊缝余高限制就比常温容器为严,规定应在接管端部打磨成圆角,不应使用不连续的或点焊接的焊缝,且容器的支座应设置垫板,不得直接焊在壳体上,不得在受压元件上划刻或敲打材料标记或焊工钢印等导致产生缺口效应的划痕。另外,焊后热处理可以松弛焊接残余应力,软化淬硬,改变组织形态,减少含氢量,尤其是提高某些钢种的冲击韧性,改善力学性能。

要想降低应力集中问题的发生机率,那么设计人员和制造人员在工作中就尽量不要使用平盖封口和矩形截面的容器,就可以不断提升压力容器自身结构的密封性能,减少应力集中问题。平盖封口主要是在特殊的环境中,或者需要将压力容器在低压或者常压的状态下使用,才能运用平盖封口的方法,不然就会降低压力容器自身的使用性能。除此之外,对于应力集中问题的形成分析得知,在压力容器的封口环节中需要结合工作的需求来选择正确的封头顺序。如果没有特殊要求的状态下,相关人员只要使用椭圆形封头就可以保证压力容器自身的安全和稳定性不会受到任何的影响。

5.2 减小两个连接件之间的刚度差

压力容器的设计和制造工作中,必须要减小两个连接件之间的刚度差,才能降低变形情况的发生,以此来减少应力集中问题的出现。针对这一问题,在压力容器的设计和制造工作中,相关人员应该在荷载作用下,来

对工作之间的刚度进行有效的优化。主要是因为元件的刚度和材料自身的性能、厚度等之间存在很大的联系，能够导致应力呈现出一种不连续的情况，从而有效的化解应力集中问题带来的影响，并保证压力容器自身可以具备良好的安全性和稳定性。其次，由于压力容器边缘应力集中的问题之中存在局部性，所以在设计和制造工作中，相关人员应该对局部工作做出相应的处理，还要不断的调整结构的情况，才可以不断的加强压力容器自身的质量。在这项工作中，相关人员需要格外注意的是，压力容器边缘焊接工作的质量，通过合理的焊接技术将容器边缘进行全面的处理，使质量符合压力容器自身的需求，有效的防止边缘出现应力集中问题。另外，为了能够降低边缘用力，相关人员要将较厚的圆筒在一定范围内削薄，做成平缓过渡。等到工作人员将焊接工作完成之后，要对相应的工作设备元件实行全面的无损检测和表面检测，保证焊接接头质量。

5.3 优化压力容器的棱角

压力容器自身的棱角设计工作需要结合实际情况来完成，才可以将棱角的应力集中降低在最低的状态当中，并且在工作中最好加大各类过渡型圆弧的圆角半径，这样才能将尖锐的拐角处于一种倒棱和倒圆的现象。所有这些措施都有助于降低在受到反复载荷作用时所不希望出现的应力集中问题。比如在压力容器接管处进行倒圆，可使此处的应力集中降低 30% 左右。并且，相关人员在工作中将压力容器内部的尖锐金属全部去除，有助于降低应力集中问题的形成。同时，工作人员还要不断降低局部不连续情况引发的应力集中问题，否则会对脆性材料造成影响。因此，在压力容器的设计和制造工作中，需要减少棱角，保证压力容器的相关工作可以顺利完成，以此来提升容器的安全和稳定性能。

5.4 焊缝应远离应力集中处

对于压力容器设计过程中相关焊缝的处理来说，必须要重点从焊缝选择的位置入手进行优化分析，切实保障焊缝能够满足于压力容器应用需求的同时，避免对后续的应用造成不良影响和干扰，基于这一点，焊缝的设置就应该尽可能的远离应力集中处。在应力集中处存在着较为复杂的压力容器应力特点，应力状态比较混乱，如果在该位置设置焊接处理的话，就会容易造成在后续的应用过程中出现一些损坏现象，因此，在压力容器的前期设计中，必须要针对这些焊缝的位置进行恰当设计，选择合适的位置进行焊接操作。

5.5 制造过程中降低应力集中措施

以下几点为制造过程中可采取的降低应力集中的措施：容器焊接完成并检验合格后进行消除应力热处理，以便消除在组装及焊接过程中产生的应力集中；焊接过程中严格控制焊接线能量，通过以小电流多道焊来实现；

不许强力组装与成型，不得在设备上刻打钢印及材料标记；焊接区域内，包括对接接头表面不得有裂纹、气孔和咬边等缺陷，不应有急剧的形状变化，呈圆滑过渡；壳体上开接管孔及打坡口时尽量使用开孔机，保证坡口表面光洁度，以便在焊接过程中焊接接头受热均匀减少焊接过程中应力集中；对材料表面作喷丸、辗压、氧化等处理，以提高材料表面的疲劳强度。

5.6 全面提升设计人员的工作能力和专业素质

压力容器的设计工作中，最重要的就是设计人员，人员可以直接对这项工作起着决定性的作用。要想不断提高压力容器设计工作的质量和效率，那么就需要全面提升设计人员自身的工作能力和专业素质，才能达到目标。设计人员在工作中，不仅需要具备充足的相关知识，还要便于掌握国家的相关法律条款，保证生产工作可以顺利完成。在实际的工作中，单位可以对设计人员实行正规的培训，并保证定期都对设计人员培训，才能不断的促进设计人员的工作能力。设计人员在培训当中，经过不断的学习，既可以增长相关知识的积累，又能够丰富自身的实践经验，便于更好的开展压力容器的设计工作。并且，不断的实践和学习，设计人员在工作中就可以更加灵活的使用相关知识，从而更好的控制特定设计工作中的标准，让压力容器可以使用在不同的环境当中。另外，单位还可以积极引进大量的优秀型设计人才，组建一支设计团队，为设计工作注入全新的力量，进而工作中可以带领原有设计人员共同进步，并提高设计工作的质量和效率。

6 总结

综上所述，压力容器在设计的过程中，不可避免的需要开孔（孔边可引起 3 种应力：局部薄膜应力、弯曲应力、峰值应力）以及有支撑等附件（造成局部应力，应力集中），这些都会对压力容器的几何结构产生连续性破坏，并且会在开孔和支承部位产生局部应力集中的现象。应力集中容易引起容器的疲劳破坏和脆性裂口，这些将影响容器的安全性，一旦发生事故将可能造成灾难性后果。降低应力集中的措施有以下几点，若无特殊情况尽量使用椭圆封头，不采用平封头结构；对于结构不连续、几何突变引起的边缘应力和边缘弯矩要尽量避免；同材料厚度不同的结构焊接要在合理范围内削薄厚的一边，并对焊接接头进行检测，保证接头质量；制造过程中对一些棱角要进行倒角、倒圆等。

参考文献：

- [1] 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.
- [2] 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.