

压力容器用复合材料性能及应用研究

尹红

(哈电集团(秦皇岛)重型装备有限公司 河北 秦皇岛 066206)

摘要:当前,我国工业已迈向绿色、低碳、高质量发展的新阶段。随着新材料、新技术以及新工艺应用在压力容器制造过程中,低碳环保、高性能、高质量的压力容器备受关注。尤其新型复合材料的出现并得到广泛应用后,新材料具有较强的比强度和比模量以及抗疲劳性、减震耐磨、耐热抗裂等性能优势。因此,压力容器制造企业通过加强对复合材料性能的分析与研究,进而选择出环保、高性能的复合材料应用到企业生产中,有助于制造出性能更优的压力容器,满足生产生活的需要。

关键词:压力容器;复合材料;性能;应用

0 引言

随着复合材料技术的逐渐成熟,具有优良性能的复合材料被广泛应用。作为工业生产中的重要设备压力容器,复合材料压力容器必将是压力容器制造企业重点发展的方向。通常而言,压力容器的性能与质量取决于其成熟的制造技术和工艺,更重要的是在于所使用的材料,材料的性能往往起着决定性的作用。现阶段随着压力容器种类的增多,用途更加广泛,而性能的差异决定着压力容器应用范围的不同。在过去较长时期内,国内压力容器所使用的材料大多是金属材料,外壳是金属钢板,内衬是具有一定防腐性能的合金板材,显得体大而重,给运输、安装等带来较大困难,尤其特殊行业或者复杂环境下长期工作的压力容器还会存在危险系数增大的可能性。如今,压力容器应用了复合材料,在保证其性能和质量的基础上,还能有效降低压力容器的体重,提高压力容器应用的灵活性。复合材料带给压力容器制造企业的是更多的发展机会。因此,认真对复合材料性能进行分析研究十分有必要。

1 复合材料压力容器的优良性能分析

在对复合材料压力容器的性能优势分析之前,先了解复合材料的形成很有必要。单从复合材料名称上可以看出使用的材料不是单一构成的,它必须将两种或多种物理性、化学性不同性质的材料进行优化组合,并通过先进材料制造技术进而形成一种性能优良的全新材料。在形成之前,它的造型、结构、性能等都是事先根据需要进行专业的设计,在设计时还需要保持不同组合材料各自的性能优势,主要是使材料之间能形成有利相互关联或互补,从而确保组成的复合材料各项性能优于单一构成材料。当前,复合材料主要是由金属、聚合物以及

无机胶囊等组成,根据复合材料使用基体材料性能的不同,复合材料主要分为金属复合材料和非金属复合材料两大类。从复合材料的形成可以看出,复合材料比传统材料比强度更高和比模量更好。因此,将性能优良的复合材料作为压力容器的制造材料,所制造的压力容器同样会具有优良的性能。

复合材料压力容器的优良性能主要体现在以下四方面。

(1) 韧性度强。通常压力容器的韧性与容器的材料有很大关系,传统钢制压力容器在高压作用下抗疲劳性能比较有限,易使材料韧性度受到破坏,造成破坏主要是容器内液化气体介质装的过量、容器内超高温超高压运行、容器外壳用材不当、容器安装质量不达标以及维护不当所致。而复合材料压力容器则能有效增强材料韧性,主要是复合材料压力容器的基体材料和增强材料能有效结合,大大增强材料的韧性度。在压力容器应用的过程中,它的载荷不会因压力过大而导致容器裂纹的扩张,进而能及时将载荷在容器内进行平衡传递。

(2) 超强耐腐蚀性能。在耐腐蚀性能上,传统金属结构的压力容器想要增强耐腐蚀性能,相关材料必须经过特殊处理之后才能起到较强的防腐蚀作用。与复合材料相比,复合材料有着超强的耐腐蚀性能,在制造压力容器中复合材料不用特殊处理就能达到压力容器的耐腐蚀性能要求,压力容器可直接用于工业生产。

(3) 密度小,轻量化。复合材料一般都具有密度较小的特点,主要是在制造复合材料时,所选用基体材料一般本身都是密度较小的金属或一些聚合物等,与增强材料有效结合之后,复合材料的密度会变得更小。由于复合材料压力容器多采用很薄的金属内衬或者非金属内衬,外表再用纤维缠绕所构成,从而有效减轻压力容器的整体质量。

(4) 失效可监控,比强度高。复合材料之所以具有超高的比强度,主要是在材料组合过程中会加一些增强材料,例如纤维产品。在复合材料应用中,当纤维缠绕压力容器出现裂纹、纤维断裂等情况时,它不会立即爆破,而是发生泄漏,层间会止裂,而外层仍然能起到承压作用,为妥善安全处理争取了一定的时间。由于纤维材料具有较高的强度和韧性,加上与基体材料的有效结合,自然会使复合材料强度增强。因此,复合材料制造的压力容器具有高强度性。

(5) 制造简单,成本低。复合材料压力容器在制造中,使用纤维材料的碳纤维成本较低,它与不锈钢等贵重金属相比,纤维材料制造的压力容器,能有效降低焊接量且焊接容易,复合材料压力容器使用专用的纤维缠绕机床缠绕,机械化程度高,可有效降低成本。

(6) 可设计性强。复合材料压力容器除了内衬,其他可根据功能的需要灵活改变压力容器内外层材料的设计,满足各种应用的需求,还能通过改变不同的铺设角度来满足容器的工作强度的需要。

2 复合材料压力容器的类型及结构

目前,压力容器从结构形式上可分为五种类型。

(1) 全金属结构的压力容器;

(2) 采用大部分钢或铝金属以及一些玻璃纤维复合材料环向进行缠绕,结构载荷共同分担的压力容器。

(3) 金属内胆用纤维复合材料完全包缠,即使用碳纤维复合材料对铝金属内胆完全包缠,容器结构载荷由碳纤维复合材料承担的压力容器。

(4) 全复合材料结构,一般采用聚酰胺(PA)或高密度聚乙烯(HDPE)为压力容器的内胆,在内胆外边缠绕碳纤维或者碳纤维与玻璃纤维混合的复合材料,结构载荷由复合材料承担的压力容器。

(5) 结构为全复合材料,无内胆的压力容器。

从复合材料压力容器的五种类型中可以看出,复合材料压力容器应用了具有良好加工性、耐腐蚀性、高韧性、高强度等特点的金属内衬,还可用质量轻、安全性良好以及可设计性强等优点的塑料内衬。在相同容积和相同压力的情况下,复合材料压力容器重量大概是钢质压力容器的 $1/3 \sim 2/3$ 。通常纤维缠绕复合压力容器的结构是由内衬层、纤维缠绕增强层以及外部保护层组成。

2.1 内衬层复合材料压力容器

复合压力容器实际应用中除较强压力作用下能有足够的强度外,还要有良好的气密性,压力容器是种特殊的承压设备,无论是强度还是气密性出现问题,都会带来一定的危害。纤维复合压力容器的结构离不开内衬层,内衬层主要起到保护容器气密性的作用。它的材料选择会直接影响到压力容器的性能,当前,可作为复合

压力容器内衬层材料的有金属和塑料两种,可根据复合压力容器的设计性能来选择气密性良好的材料作为内衬材料。

2.2 纤维缠绕增强复合材料

复合材料压力容器通常是采用纤维缠绕增强材料提高压力容器的承载力。目前,碳纤维、玻璃纤维等是具有高性能的增强材料。复合材料压力容器通过纤维缠绕增强材料的应用,压力容器在受到高压的情况下,依然可具有足够的强度和稳定性。实践表明,纤维在压力容器是主要承载体,与树脂具有良好黏结性,同时树脂还能使压力容器的载荷在纤维之间进行快速分布与传递。因此,复合材料压力容器在提高结构承载力选材时,可选用强度高、弹性好的玻璃纤维、碳纤维和性能良好的环氧树脂组成复合材料,能有效增强压力容器的载荷能力。

2.3 外部保护层

复合材料压力容器在安装或生产应用中为了提高压力容器抗外载荷冲击能力,通常情况下,会在压力容器外表面采用一定措施保护压力容器。例如采用高强度及抗冲击性能好的玻璃纤维复合材料在容器表面进行多层缠绕,同时做好外涂层表面处理来有效保护压力容器。

3 复合材料在压力容器的应用

现阶段,随着工业技术水平的提升,复合材料制造技术的成熟,复合材料种类的增多,压力容器的应用材料也多了起来。压力容器在制造时可根据其用途和性能合理选择材料进行生产。复合材料无论性能还是制造工艺都优于传统单一材料;另外,在强度上、耐腐蚀性、耐高温以及可设计性方面,复合材料优势较大。从而可看出,压力容器应用复合材料是压力容器制造企业正确的发展方向。因此,复合材料在压力容器中的应用值得研究。当前,复合材料生产的压力容器主要有纤维缠绕复合材料压力容器、复合钢板压力容器、功能梯度材料压力容器等。

3.1 纤维缠绕复合材料压力容器

纤维材料是一种较特别且灵活性的应用材料,它具有良好的韧性和可设计性,还是典型非均匀的各向异性的材料,能通过不同材料的配比和叠放方式的改变,从而使纤维材料的力学性能。在实际应用中,纤维材料可用在不同环境或复杂多变的生产场景中。纤维材料能将受到的结构应力通过纤维缠绕的方式均匀有效地分散出去,进而避免材料因结构应力不均而导致材料断裂或者疲劳等问题。在压力容器制造中,纤维材料的应用,使压力容器在结构设计上具有灵活性,同时能提高压力容器的适应性。但纤维材料在受到外力和其他载荷作用力时,由于自身的特性易导致其变形,从而大大降低材料

结构的稳定性和可靠性,这对压力容器的结构也会造成较大影响。因此,在设计压力容器过程中应将外力影响因素考虑进去,避免纤维材料自身的不足带来的各种问题。通过实践,纤维缠绕聚合物基复合材料制成的压力容器具有比强度高、比模量好、耐腐蚀性能强等优点。然而,纤维的耐高温性较差以及部分材料还会受到介质腐蚀等问题,纤维缠绕压力容器在制造时需要使用金属内衬和树脂。通常用作内衬材料的是铝合金或耐腐蚀的塑料,满足压力容器具有耐高温、高强度以及良好气密性等要求。在以往压力容器的设计中,复合材料选材主要是高强度纤维 T1700、T800、T1000 等,而现在则多会选用 F-12 纤维、RE14 纤维。通过此类纤维缠绕将张力保持在 150 ~ 200N, PV/W (容器特性系数) 为 37.02km, 纤维强度可达到 73.26%, 广泛应用在高应力的航天航空等领域。

3.2 复合钢板压力容器

复合金属材料通常是在保持金属自身良好性能基础上使两种或多种不同金属进行有效结合,让它们之间的性能形成有利相互关联或互补,从而提高金属材料的整体性能。常见的复合钢板就是一种应用较为广泛且具有代表性的复合金属材料。复合钢板的形成是将钢作为基体材料,然后再将不同性质的其他金属通过轧制、堆焊或者爆炸等方式与其结合,加工成新的复合材料,复合钢板在强度和耐腐蚀等性能上要明显高于单一金属材料。在压力容器制造中,复合钢板常常作为外压容器应用的主要材料,主要利用复合钢板较薄的耐腐蚀层和高强度钢板层对容器形成有效保护。当前,复合钢板压力容器以不锈钢为主,而以钛-钢、镍-钢、铜-钢等复合材料形成的复合钢板,制造压力容器应用较少,成本是主要因素。因此,复合钢板压力容器目前基体材料多以碳钢或合金钢为主,而覆盖层主要用不锈钢和高耐腐蚀性以及耐高温的涂层保护,这种结构的复合钢板常常被用来制造压力容器、化学品罐车、石油炼化罐等。在实际应用中,复合钢板压力容器的制造根据钢板材料厚度的不同可分为三种类型:①薄板型是板材厚度为 0.4 ~ 8 mm;②中厚板是板材厚度为 9 ~ 20 mm;③厚板型是板材厚度为 21 ~ 150 mm。随着复合钢板材料技术以及压力容器的制造工艺的发展,会有越来越多更严格规范的复合钢板压力容器在生产生活中得到应用。

3.3 功能梯度材料压力容器

压力容器在高温环境下,为了有效缓解材料内部因高温产生热应力对容器的不利影响,保持压力容器高强度、耐腐蚀、耐高温等性能。新型复合功能梯度材料经过相关科研技术人员的不懈努力在实践中开始得到应

用。在压力容器制造中,功能梯度材料能有效避免应力集中的问题,还能有效降低连接界面应力突变的产生的概率。该材料设计与加工同纤维材料特性具有相似性。用功能梯度材料制成的压力容器可根据实际需要加工成一种双层结构,并且是具有各向异性的梯度结构,其中间的中空层具有保温作用以及耐腐蚀性能,而在容器外层可根据外部环境及受力情况灵活使用不同的材料进行覆盖,从而实现压力容器的轻量化设计。现阶段,功能梯度材料压力容器的制造一般多采用热塑性树脂材料,其中聚醚醚酮(PEEK)具有典型的代表性,它是一种特别坚固的材料,有着优异的长期耐蠕变性,与碳纤维有良好黏合性,通过碳纤维的作用,PEEK力学性能及耐热性能都有显著提高。实践表明,经过 1000 个(-150 ~ 200 ℃)热循环后,PEEK 发生裂纹仅有 1 个/cm,而环氧树脂则有 8 个/cm。这表明 PEEK 抗热疲劳性能优于环氧树脂。然而,功能梯度材料压力容器当前还处在发展阶段,实际应用还没有实现普及,随着功能梯度材料技术的不断成熟,功能梯度材料压力容器将会有更多新的发展。

4 结语

压力容器是在多种新产品、新技术以及新工艺综合应用基础上发展起来重要的工业产品。近些年来,压力容器在工业发展中用途更加广泛,性能要求更高。作为压力容器制造企业必须要紧跟工业发展新时期的步伐,随着复合材料技术的成熟及广泛的应用,压力容器制造企业可获得更多新的发展机会,通过不断深入对复合材料性能的分析研究,有助于压力容器在制造中对复合材料进行优化选择,从而推动高性能的复合材料技术的不断发展,进而可制造出高性能复合材料的压力容器,服务好工业生产。

参考文献:

- [1] 张娟. 浅谈复合材料压力容器的性能[J]. 中国机械, 2014(5): 108.
- [2] 王婉君, 张鹏, 贺政豪, 等. 碳纤维复合材料压力容器的研究进展[J]. 现代化工, 2020(1): 68-71.
- [3] 任金锁. 压力容器壳体复合材料的研究应用与探讨[J]. 山西化工, 2020(4): 149-151.
- [4] 谢清泉, 朱美丽, 司慧涵. 压力容器用复合材料的性能与应用[J]. 现代制造技术与装备, 2014(2): 32-33.

作者简介: 尹红(1983.10-),女,汉族,河南信阳人,本科,工程师,研究方向:冶金工程材料理化分析。