

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.11.030

碳纤维复合材料的发展及应用

张菡英, 刘明

(山东师范大学, 济南 250014)

摘要: 碳纤维复合材料作为一种先进的复合材料, 由于其优异的轻质高强性能和很好的耐疲劳、耐腐蚀、耐高温、易加工成型等特性, 所以除了可以应用于航天、航空、军事等高尖技术领域外, 近年来在机械电子、建筑材料、交通运输、化工、医疗器械等日常应用行业也得到了迅速发展。从几个不同领域分别阐述了碳纤维复合材料的应用及其发展前景。

关键词: 碳纤维复合材料; 应用

中图分类号: TQ327.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)11-0132-04

Development and Applications of Carbon Fiber Reinforced Polymer

Zhang Hanying, Liu Ming

(Shandong Normal University, Jinan 250014, China)

Abstract : As one of the advanced composite material, carbon fiber reinforced polymer(CFRP) is well known due to its abilities of lightweight, high robustness, high aseismic, anti-fatigued and resistance to high temperature. Recently, CFRP has quickly development not only in high technical fields of aviation, space and military industry, but also in common applications of machinery electronics, building materials, transportation, chemical industry and medical apparatus. The present and future applications of CFRP in different fields were discussed.

Keywords : carbon fiber reinforced polymer; applications

碳纤维复合材料(CFRP)问世于20世纪四、五十年代,最早由美国开始制造。1950年,在美国空军基地,人们在2000℃的高温下首次通过牵引人造丝制备得到了CFRP,随后CFRP进入到了高速发展时期。1959年美国联合碳化物公司以粘胶纤维为原丝制成纤维素基CFRP;1969年日本东丽公司研制成功高比强度和高比模量的碳纤维。碳纤维的生产,在国际上一直由美、日两国主导,目前日本东丽、东邦和三菱人造丝三家日本公司,占据世界70%以上的高性能军用碳纤维生产份额,而以Akzo和Zoltek为代表的美国公司,则占领了低端碳纤维的生产市场^[1]。

碳纤维在我国的发展自“六五”以来一直是国家重点研发和实施科技产业化的攻关项目,经过三十多年的发展,目前碳纤维T300的生产从设备到产品已实现百分之百国产化;2008年开始兴建的T700碳纤维产业化生产线,目前年产量可达300t,主要设备的国产化率达98%;2012年7月我国又建成了首条T800碳纤维产业化线。但比起美日两国来说,我国的差距仍然很大,在产量和高端产品上远远不能满足国防和国民经济的需求。

1 CFRP的特性

与其它材料比,CFRP具有如下特性^[2]:

(1) 比强度、比模量高:CFRP的比强度比钢高5倍,比

模量也比钢高。

(2) 密度小,强度高:CFRP的密度是其它金属材料密度的0.5倍左右。高性能的CFRP强度能达到钢材的十几倍^[3-5]。

(3) 抗疲劳特性好:CFRP的疲劳极限是拉伸强度的70%~80%,远大于一般金属的疲劳极限(40%~50%)。

(4) 抗震性能好:CFRP中基体纤维界面可以吸收较大的震动能量,因此抗震性能好。

(5) 可设计性强:CFRP具有各向异性,可以通过改变各铺层的方向和层数来得到满足强度、刚度和各种特殊需求^[5]。

(6) 高温性能好:CFRP在400℃的高温下强度和弹性模量几乎无变化,而铝合金在400℃下强度显著下降,弹性模量几乎下降到零。

(7) 成型性好:易于大面积整体成型。

2 在我国航天领域的应用

CFRP由于耐高温、比强度高和比模量高等力学特性而在航空航天领域被作为结构材料使用。主要应用有卫星结构、运载火箭、精密支撑结构件以及空间站大型结构桁架和太阳能电池机架等^[2]。

联系人: 张菡英, 副教授, 主要从事化工机械与材料研究

收稿日期: 2015-08-29

2.1 卫星结构

CFRP 在卫星结构上的应用主要包括卫星外壳、卫星主体承力结构、卫星天线结构、太阳能电池阵基板、桁架结构、复杂曲面天线、各种仪器安装结构板等^[2],见表1。

表1 国内卫星应用 CFRP 的结构件

结构件名称	最大件尺寸/mm	产品结构要素
波纹承力筒	高 1983; 锥段大端内径 1162	碳纤维波纹筒、对接框、 环框、纵桁组成
太阳能电池阵 基板	1755×2581	碳纤维网格面板、 铝蜂窝芯子
夹层结构板	1668×158;1250×1985	碳纤维面板、 铝蜂窝芯子
喇叭天线	高约 280,大端直径约 250	CFRP 本体,镀铜、金等
支撑筒	高约 300,大端直径约 140	CFRP、双锥两端法兰
连接架	2581×750;2581×890	碳纤维方管、 钛合金接头
消旋支架	高 580;大端外径 887	八根碳纤维管(长 652)、铝合金接头
电池梁	工字型,750×54×44	碳纤维和钛合金 混杂结构

2.2 大型运载火箭

近年来,CFRP 在我国多种大型运载火箭结构中得到了广泛的应用,如火箭的排气锥体、发动机的壳体、盖、喷管以及整流罩等,由于其耐高温、比强度高、比模量高等特性,从而有效地减轻了运载火箭的质量,对于提高火箭发射有效运载量有显著的提高。其具体应用详见表2。

表2 国内运载火箭应用 CFRP 的构件

结构件名称	结构要素	应用
卫星接口支架	碳纤维蒙皮、桁条、对接框、弹簧 支架、开口加强的卫星支架	CZ-2E 火箭
梁	碳纤维“工”形截面整体成型	火箭结构
“K”形梁	碳纤维工字型截面梁、构成组合梁、 形成外圆直径 3000 mm	仪器舱结构
加筋壳	碳纤维蒙皮、桁条、环框、对接框、 开口加强的加筋结构	火箭结构
有效载荷支架	碳纤维蒙皮、铝蜂窝芯子构成的 夹层结构	CZ-2C/FP 支承有效载荷
环向加强框	碳纤维帽形加强框, 各类直径均可实现	箭体加筋壳 结构
“井”字梁	四根变截面工字型梁整体成型而 成,形成外圆直径 2700 mm	CZ-2C/FP 分配载荷
整流罩	碳纤维蒙皮、铝蜂窝芯子夹层结构, 直径达 4.2 m,长 11 m	CZ-3 火箭、 CZ-2E 火箭

2.3 空间相机

空间相机为满足轻量化、高精度、高分辨率的要求,其选用的材料要求机械稳定性好、热稳定性高、机械加工性能好等,CFRP 由于其密度小、比强度高、抗震、耐高温、稳定性好等特性是空间光学相机材料的理想选择^[3-5]。

CFRP 在我国应用于空间相机目前主要有空间光学相机结构和光学反射镜两方面。

CFRP 在空间光学相机结构中的应用一是遮光罩和蒙皮,这类结构件要求质量越轻越好;另一应用是相机主、次镜连接的高精度联接件,这类联接件对稳定性及安装精度要求

都很高,以能确保相机在轨获得清晰的图像。我国近年发射的某卫星中搭载的高分辨率空间相机,采用的就是由 CFRP 制成的相机框架,该相机框架具有很高的稳定性。

空间光学相机中的光学反射镜采用 CFRP,可以减轻反射镜质量并提高其稳定性,从而使空间相机轻量化。目前,国内正在研制将 CFRP 为基底再增加适合光学反射的材料以用于光学相机反射镜的制造^[5]。

3 在建筑桥梁领域的应用

CFRP 因其密度小、比强度高、耐久性好等优点,近年来在桥梁工程中得到了越来越多应用。

CFRP 应用于建筑桥梁产品主要形式有片材、筋材、型材等。

CFRP 片材包括布材和板材,主要应用于结构的补强及加固,如用于钢筋混凝土、预应力混凝土桥梁的加固和修复。

CFRP 筋主要用于混凝土结构中替代钢筋,因 CFRP 优异的耐腐蚀性,用 CFRP 筋代替钢筋可以减少锈蚀产生的破坏,提高结构寿命。另外因 CFRP 具有的高强度,用 CFRP 筋代替钢筋,可以减少筋的数量,从而减轻结构质量。

CFRP 拉索由于其密度与温度变形系数远小于钢丝,这样用 CFRP 制斜拉索因自重所导致的弹性模量的损失将远远小于钢斜拉索。CFRP 拉索主要用于桥梁等大跨度结构建设中的拉索或吊索。

另外,CFRP 由于能以较大长度供应而无需搭接,能施加预应力,可与混凝土、砖石、钢、木材等牢固粘结等特点,已被越来越多用在现有桥梁的修复加固中。如用轻质 CFRP 板对混凝土梁进行外部加固及用 CFRP 带材对墩柱进行抗震加固等^[6-9]。

4 在假肢上的应用

假肢质量的减轻对于佩戴者而言至关重要,它可以减轻运动时所消耗的能量并提高穿戴效果。CFRP 由于具有高的比强度、比刚度,低的密度和可设计性强等特点,因此特别适合作为制备高性能假肢的材料^[10]。

4.1 假脚

假脚主要用来支撑身体质量,20 世纪 80 年代出现了储能脚,它可以使脚在支撑前期储存能量,后期释放能量,被认为是假脚设计的突破点。

目前世界上流行的 20 种储能脚,都是以 CFRP 制造的。美国的飞毛腿假肢,其假脚采用 CFRP 制备。由截肢的运动员穿戴后百米最好速度可达到 11.74 s。此外,英国布莱齐福特集团的英中耐假脚、德国奥托博克公司的 Trias 弹性脚等也是用 CFRP 制成的。

4.2 踝关节

踝关节在对膝关节的支撑稳定性上有着重要的作用,

同样的也可以用 CFRP 制备^[11]。例如,德国奥托博克公司制备的碳纤维踝关节可以弹跳。台湾德林公司有碳纤维固定脚跟足踝,万向足踝等人工踝关节。

4.3 膝关节

膝关节是除脚板外另一个重要的假肢零件,也可以用 CFRP 制备^[12]。与铝合金关节,钛合金关节相比,CFRP 关节既具有质量轻,强度好的特性,价格又比钛合金关节低廉。因此 CFRP 被大范围的应用于制备膝关节。例如德林公司有九种碳纤维膝关节。英国布莱齐福特公司也有 CFRP 制备的智能关节。

4.4 接受腔

接受腔的作用是容纳残肢,传递残肢对假肢的作用力以及连接假肢和残肢的部件。它既要承担质量,又要控制假肢,悬挂假肢。

接受腔按制备材料可分为硬性接受腔和软性接受腔,瑞典研究的 ISNY 软性接受腔适用范围较广。它具有包容残肢部分和支撑体质量部分。前者用柔软的聚乙烯板制成,后者用碳纤维-玻璃纤维混编增强树脂制成。这种接受腔既可以适应肌肉变性和需要,增大与肌肤的接触面,又达到了支撑体质量和传递力的需求。

5 在风电叶片上的应用

风能是全球的一种重要能源,每年有 1 700 太瓦。然而目前全球每年只利用了 0.02 太瓦。《全球风能展望 2010》报告称,2020 年风能可以满足全球能源 12% 的电力需求,2030 年可达到 22%,成为主要能源。我国近年风电得到了很大发展,其累计装机分布见表 3^[13]。

表 3 我国近年风电累计装机分布

MW			MW		
地区	2009 年	2010 年	地区	2009 年	2010 年
内蒙古	9 196.16	13 858.01	江苏	1 096.75	2 370.05
吉林	2 063.86	2 940.86	福建	567.25	833.7
河北	2 788.1	4 921.5	北京	152.5	152.5
辽宁	2 425.31	4 066.86	浙江	234.17	298.17
甘肃	1 187.95	4 943.95	上海	141.9	269.35
黑龙江	1 659.75	2 370.05	湖北	26.35	69.75
山东	682.2	2 370.05	海南	196.2	256.7
宁夏	1 002.56	1 182.7	山西	320.5	947.5
新疆	569.34	1 363.56	河南	48.75	121
广东	1 096.75	888.78	云南	120.75	430.5

注:数据来源于中国风能协会

发电叶片作为风力发电机的关键部件,占总成本的 20%。CFRP 具有的优良特性使得它在叶片制备中占据了重要地位。它在制备叶片方面有着如下的优势:

5.1 叶片大型化和轻量化

由于 CFRP 具有低密度,高强度,高模量等性能,大型碳纤维叶片的质量大大减轻,而其强度、刚度却显著提高。荷兰戴尔弗理工大学制备了直径 120 米的风机叶片,碳纤维的

梁结构使其结构减轻了 40%。

5.2 叶片耐疲劳性

由于叶片要长时间在室外环境,甚至恶劣环境中工作,材料很容易受到损伤。CFRP 具有良好的抗疲劳性能,可以使得制备的叶片良好的适应恶劣气候。

5.3 风机的稳定性和高效性

CFRP 制备的叶片可以大大降低质量和增大刚度。这样可以改善空气动力学性能,减少塔和轮轴的负担,提高能量利用率。

6 在高压储氢容器的应用

高压储氢是将氢气以气态的形式通过压缩储存在高压容器中。它成本低廉,冲放气速度快,可以于常温下使用,具有广泛的应用。然而这种方法具有两大缺点:一是储氢的巨大压力导致其危险性较大;二是增大储氢压力会使得整个操作过程变得复杂并增加储氢容器成本。CFRP 所具有的独特性能使得它成为高压储氢容器的优良材料之一,它具有如下优势^[14]:

质量轻,单位质量储氢密度高。CFRP 由于其较低的密度,较高的比强度和比刚度,使得容器不用增加容器壁厚就能达到抗高压的效果,从而提高储存气体密度,这是一般金属制容器所不可比的。

抗爆,可监控。CFRP 具有多层结构,如果内部出现裂缝,也不会迅速扩展到外层,使人们具有妥善处理它的时间。并且一旦内部有裂纹产生,设置在外部的在线报警装置会立刻示警,从而达到自动监控的作用。

易制造,低成本。由于 CFRP 制备的高压储氢容器壁厚不需要太厚,从而便于加工焊接。其次,CFRP 成本相对较低,BPAmoca 公司牌号为 T650/35 的碳纤维,其拉伸强度为 4 280 MPa,每磅售价仅为 20.9 美元。

容器设计灵活。CFRP 具有各向异性,可以按照需求来灵活改变内外层材料的功能,适应各种应用需求。同时也可以在内外层加上监控装置或者其它特殊功能装置。

7 结语

随着高新技术产业和产品技术升级,人们对于 CFRP 需求将不断增加。目前已有众多 CFRP 高新技术产品不断进入市场,如 CFRP 加固混凝土结构技术、油田用 CFRP 抽油杆、CFRP 压缩天然气瓶、CFRP 制节能环保汽车、CFRP 体育休闲用品等。CFRP 已从最初的航空航天等高科技领域逐步渗透到工业生产和国计民生的各个领域^[15-16]。随着科技的进一步发展,CFRP 将有着更加广泛的应用前景,并为我们的生活带来更多的便利。

参考文献

- [1] 周先雁,等.中南林业科技大学学报,2007,27(5):26-32.

- Zhou Xianyan, et al. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2007, 27 (5):26-32.
- [2] 李威,等. 中国光学, 2011, 4(3):201-212.
Li Wei, et al. Chinese Optics and Applied Optics Abstracts, 2011, 4(3):201-212.
- [3] 丁亚林,等. 光学精密工程, 2003, 11(3):287-290.
Ding Yalin, et al. Optics and Precision Engineering, 2003, 11(3):287-290.
- [4] 田海英,等. 光学技术, 2003, 29(6):704-706.
Tian Haiying, et al. Optical Technique, 2003, 29(6):704-706.
- [5] 安源,等. 材料导报, 2012, 26(11):1-4.
An Yuan, et al. Materials Review, 2012, 26(11):1-4.
- [6] Stoll F E, et al. Composite Structures, 2000, 49(2):191-200.
- [7] 曾宪桃,等. 桥梁建设, 2000(2):66-70.
Zeng Xiaotao, et al. Bridge Construction, 2000(2):66-70.
- [8] 赵宗桂. 甘肃科技, 2002, 18(5):12.
Zhao Zonggui. Gansu Science and Technology, 2002, 18(5):12.
- [9] 吴海军,等. 重庆交通学院学报, 2004, 23 (1):1-5.
- Wu Haijun, et al. Journal of Chongqing Jiaotong University, 2004, 23 (1):1-5.
- [10] 崔海坡,等. 中国组织工程研究与临床康复, 2009, 13(25):4 913-4 915.
Cui Haipo, et al. Journal of Clinical Rehabilitative Tissue Engineering Research, 2009, 13(25):4 913-4 915.
- [11] 钱伯章. 高科技纤维与应用, 2010, 35(2):29-33.
Qian Bozhang. Hi-Tech Fiber & Application, 2010, 35(2):29-33.
- [12] Scholes S C, et al. Journal of Engineering in Medicine, 2009, 223 (H1):13-25.
- [13] 李峰. 材料开发与应用, 2011, 26(6):86-88.
Li Feng. Development and Application of Materials, 2011, 26(6):86-88.
- [14] 郑传祥,等. 化工学报 (S):1-4.
Zheng Chuanxiang, et al. Journal of Chemical Industry and Engineering(S):1-4.
- [15] 张晓虎,等. 纤维复合材料, 2004, 24(1):50-53.
Zhang Xiaohu, et al. Fiber Composites, 2004, 24(1):50-53.
- [16] Connell S J. Sampe Journal, 2002, 38(4):46-55.

己内酰胺产能增长过快导致国内市场竞争激烈

在我国当前处于经济转型期、国内宏观经济增速放缓,以及国际原油价格持续低迷的背景下,己内酰胺已风光不再,市场价格一路下跌。据统计,今明两年己内酰胺新投产产能超过 200 万 t/a,而截至 2014 年年底,国内己内酰胺总产能仅为 200 万 t/a,未来几年该领域将存过剩风险。产能增长过快导致国内市场竞争激烈,给市场带来巨大压力。

我国己内酰胺生产起步较晚,长期以来一直依赖进口来满足国内市场需求。由于国内产能严重不足以及市场需求较大,一段时期内我国己内酰胺对外依存度达到 50%~60%,市场价格居高不下。2011 年创下 29 000 元/t 的历史最高价。

在己内酰胺相关产业高增长和高回报吸引下,近几年国内掀起了兴建己内酰胺装置的高潮。己内酰胺生产企业数量的不断增加,企业性质也由国企发展到民营、合资等多种形式。在企业类型上,煤化工、化肥、化纤企业也加入到己内酰胺的生产经营中。截至 2014 年年底,国内己内酰胺产能已突破 200 万 t/a。

随着国内己内酰胺产能的不断扩张,市场自给率逐年提升。化工在线统计数据显示,己内酰胺自给率从 2010 年的 44% 提高至 2014 年的 88%,短短几年就提高了一倍。与此同时,国内大幅扩能也抑制了进口货源的大量涌入,己内酰胺进口量从 2012 年的 70.7 万 t 降到 2013 年的 45.3 万 t,再到 2014 年的 22.3 万 t;今年 1~8 月累计进口量 15.6 万 t,同比下跌了 8.8%。尽管如此,己内酰胺扩能仍在继续。据不完全统计,2015 年到 2016 年期间新项目还在计划投产,包括山西兰花科创 20 万 t/a、内蒙古庆华 20 万 t/a 和巴陵恒逸 20 万 t/a 等,这些产能合计超过 200 万 t/a,基本等同

于在 2014 年基础上翻了一番。目前国内经济增速放缓,下游生产需求提升或将有限,随着新建及在建装置产能的逐渐释放,未来几年己内酰胺自给率仍将继续上升,将可能过剩。

由于供需关系的变迁,近几年己内酰胺行情走势并不乐观,市场价格不断走低,并且与原料苯之间的差价也在逐渐缩小。国内产能的快速扩张使市场货源供应增多,不仅加剧了市场竞争,也使己内酰胺市场价格跌幅大于原料苯跌幅。

然而,这些年国内新建的己内酰胺装置,在工艺先进性和产品质量等方面与国外还有差距。生产工艺技术有待提高,高档产品有待开发或成己内酰胺市场发展现状。业内人士指出,虽然己内酰胺产品在外观、包装等方面无明显区别,但是在下游不同行业的实际应用中,己内酰胺产品的部分质量指标值或者稳定性等方面有细微差异,会给应用带来影响。如在民用丝领域中,高速纺长丝对己内酰胺的质量指标要求就比较苛刻,而这部分产品的生产占 PA6 消费结构的 61%。尽管国产货价格低于进口货,但是下游民用丝领域的生产厂家考虑到产品质量,仍会选择价格更贵的进口货。

总体而言,目前我国己内酰胺市场发展整体仍处于较为正常的状态,但产能数量上的快速增长也令其前景堪忧。业内人士认为,未来国内己内酰胺产业发展重心已不再是数量的增加,而更应注重产品质量的提升,真正实现从量变向质变的跨越。
(和讯期货)

考泰斯落户武汉着力生产塑料油箱

不久前,全球燃油箱行业的龙头企业之一——考泰斯公司将其汽车燃油箱项目落户在武汉。这一工厂位于武汉开发区军山创业园,一期厂房 3 800 m²,投资 1 亿元人民币,二期可扩展到 7 500 m²,预计 2017 年投产,生产塑料燃油箱等产品,项目达产后,预计产值可达 5 亿元。(中国塑料机械网)