

碳纤维复合材料在海洋中的应用

碳纤维复合材料是由碳纤维与树脂、金属、陶瓷等基体复合制成的纤维增强材料，因其具有重量轻，强度高，耐高低温等优良特点，近年来广泛应用于航空航天、体育休闲、高铁汽车、土木建筑等领域。碳纤维复合材料在质轻高强的同时，还具有优良的耐疲劳性、耐腐蚀性以及比强度高导致的优良施工性能等，使得它在对于材料性能有着特殊要求的海洋领域的应用前景同样不可小觑。近年来，碳纤维复合材料在船舶制造、海上能源开发、海洋工程修复等领域发挥着越来越大的作用。

一、在船舶上的应用

相比于传统的造船材料，碳纤维复合材料具有天然的优势。首先，碳纤维复合材料具有良好的机械性能。用其制造船体，具有质轻低油耗的特性，而且建造工艺相对简单、周期短、成型方便，因此施工和维护费用远低于钢制船舶。同时由于碳纤维与树脂基体的界面能有效的阻止裂纹扩展，故材料具有良好的耐疲劳性能；此外，由于碳纤维表面的化学惰性，船体具有水生生物难以附生，耐腐蚀的特性，这也是船舶建造选材非常重要的因素之一。因此，碳纤维复合材料在船舶制造方面，具有其独特的综合性能优势，目前在这一领域正在得到广泛的应用，同时，从应用领域拓展方面带动了碳纤维产业的发展。

1.1 军事舰船

碳纤维复合材料具有良好的声、磁、电性能：透波、透声性好，无磁性，因此可以用于提高军舰的隐身性能。在舰船的上层建筑中使用复合材料不仅可以减轻船体的重量，而且通过在夹层中嵌入有滤波功能的频率选择层，就可以在预定的频率下发射和接受电磁波，从而屏蔽敌方的雷达电磁波。例如1999年挪威海军建造的“skjold”级巡航艇采用了由聚氯乙烯泡沫芯层、玻璃纤维和碳纤维夹层组成的夹芯复合材料，这种设计既提高了强度重量比，具有良好的抗冲击性能，也使得低磁性、抗红外能力以及抗雷达扫描等特性大大增强。2000年服役的瑞典Visby级护卫舰整舰都采用了碳纤维复合材料，具有减重，雷达、红外双重隐身的特殊功能。

以碳纤维增强的复合材料桅杆在舰船上的应用逐渐兴起。美国 2006 年服役的 LPD-17 舰船采用了碳纤维/巴尔萨芯先进复合材料的综合桅杆，与原有的开放式桅杆不同，LPD-17 采用了一款全新的全封闭式桅杆/传感系统 (AEM/S)，这种碳纤维复合材料桅杆上半部覆盖频率选择表面材料 (FSS)，可让本身具有特定频率的波穿过，下半部能反射雷达波或由雷达吸波材料所吸收。因此具有良好的雷达隐身及探测功能。此外，各种天线和有关设备都统一组合装备在该结构内，不易被腐蚀，更有利于设备的保养。欧洲海军研制出类似的封闭综合传感器桅杆，这种桅杆是由纳米技术制造的玻璃纤维与碳纤维复合后作为增强体而制成。它可以让各种雷达波束和通信信号相互之间不受干扰地通过，并且损耗极低，2006 年这种先进技术桅杆 ATM 被使用在英国海军“皇家方舟”号航母上。

碳纤维复合材料还可应用在舰船的其他方面。例如，在推进系统上可用作螺旋桨和推进轴系，减轻船体的振动效应和噪声，多用于侦察舰和快速巡航舰。在机械和装备上可用作方向舵，某些特殊的机械装置和管道系统等。此外，高强度的碳纤维绳索在海军军舰的缆绳和其他军用物品上也有较为广泛的应用。

1.2 民用游艇

大型游艇一般为私人所有，价格昂贵，要求质量轻，强度高，耐用性好。碳纤维复合材料可以应用于游艇的仪器表盘和天线，方向舵以及甲板、船舱、船舱壁等增强结构中。传统的复合材料游艇主要由玻璃钢制成，但是由于刚度不足，满足刚度设计要求后往往船体过重，而且玻璃纤维是致癌物质，国外逐步禁用。如今的复合材料游艇中碳纤维复合材料的使用比例大大增加，有的甚至全部采用碳纤维复合材料。例如 Baltic 公司建造的超级游艇“巴拿马”号双桅船，船身和甲板采用了以碳纤维/环氧树脂为蒙皮、Nomex 蜂窝和 Corecell™ 结构泡沫为芯材的夹层结构，船身长达 60m，但总重只有 210t。波兰双体船厂 Sunreef Yachts 建造的碳纤维双体帆船 Sunreef 80 Levante 采用了乙烯酯树脂夹层复合材料，PVC 泡沫和碳纤维复合材料，桅杆吊杆均是定制的碳纤维复合材料，只有部分的船身使用了玻璃钢。空载重量仅有 45t。速度快，油耗低，性能卓越。

2014年建成的“中科·联亚”号游艇是目前中国唯一的一艘全碳纤维游艇。它是由碳纤维和环氧树脂结合而成的复合材料打造的绿色游艇，比同类型玻璃纤维游艇重量轻了30%，并且强度更高、速度更快、油耗更低。

此外，游艇的支索和缆绳多采用高强度的碳纤维绳索以确保安全。由于碳纤维既具有高于钢铁的拉伸模量和几倍乃至数十倍的拉伸强度，又具有纤维的可编织性能，以此作为基体材料制作碳纤维绳索，恰好可弥补钢丝绳和有机高分子绳索的不足。

二、在海洋能源开发上的应用

2.1 海底油气田

近年来，碳纤维复合材料在海洋油气开发领域的应用越来越广泛。海洋环境下的腐蚀，高压，水底暗流流动带来的强剪切作用对材料的耐腐蚀性，强度和疲劳性能提出了严格的要求。碳纤维复合材料在海洋油田开发中有着明显的质轻、耐久、抗蚀方面的优势：一个1500m水深的钻井平台，其钢制系缆的质量就达6500t左右，而碳纤维复合材料密度是普通钢材的1/4，若使用碳纤维复合材料取代部分钢材将显著减少钻井平台的载重负荷，节省平台的建造成本；抽油杆的往复运动，由于管外海水压力与管内压力不平衡极易引发材料的疲劳断裂，而用碳纤维复合材料即可解决这一问题；由于海水环境耐腐蚀，其在海水中使用寿命比钢材要长，且使用深度更深。

碳纤维复合材料可以用作油田钻井平台中的生产井管、抽油杆、储藏槽、海底输油管、甲板等部件。制造工艺分为拉挤成型工艺和湿法缠绕工艺。拉挤成型法一般用在普通管材和连接管上。缠绕法一般用作储槽和压力容器的表面，也可用在各向异性的柔性管道之中，其中碳纤维复合材料以特定的角度缠绕排列在铠装层之中。

碳纤维复合材料的连续抽油杆是一种类似胶片的带状结构，柔韧性很好。20世纪90年代由美国生产并应用。它是以碳纤维为增强纤维，不饱和树脂为基体材料，高温下交联固化后通过拉挤成型工艺生产制得。2001~2003年我国在纯梁油田中使用碳纤维抽油杆和普通钢制抽油杆做了试点，使用碳纤维抽油杆能明显提高出油量，减少电机的载荷，相比之下更节能。而且碳纤

维复合材料抽油杆比钢制抽油杆更耐疲劳，抗腐蚀性能更好，更适合应用在海底油田的开发中。

2.2 海上风电

海上风电资源丰富，是未来发展的重要领域，也是风电技术最先进、要求最高的领域。我国海岸线约 1800km，岛屿 6000 多个，东南沿海及岛屿地区风力资源丰富且易于开发。近年来大力促进海上风电能源的开发已经得到了有关部门的支持。风力发电叶片 90%以上重量由复合材料组成。海上风力大，发电功率大，势必要求更大的叶片和更优良的比强度和耐久度。显然，碳纤维复合材料能够满足开发大型化、轻量化、高性能、低成本的发电叶片的要求，和玻璃纤维复合材料相比更适合应用于海洋领域。

碳纤维复合材料在海洋风力发电中具有显著的优势。碳纤维复合材料叶片质量低，刚度大，模量是玻璃纤维制品的 3~8 倍；海洋环境下湿度大，气候多变，且风机 24h 工作。叶片耐疲劳性较好，能较好的抵御恶劣的天气；改善了叶片的空气动力学性能，减少对塔和轮轴的负载，从而使风机的输出功率更平滑更均衡，提高能量效率；利用碳纤维的导电性能，通过特殊的结构设计，可有效地避免雷击对叶片造成的损伤；降低风力机叶片的制造和运输成本；具有振动阻尼特性等。

三、海洋工程上的应用

碳纤维复合材料用于海洋工程建筑，主要利用其轻质高强耐腐的特性，以筋索材及结构件的形式，替代传统钢筋建材，解决海水侵蚀钢筋、运输路途遥远运输成本高的问题。国外已应用于海上岛礁建筑、码头、浮动平台、灯塔塔架等。碳纤维复合材料用作工程上修复始于 20 世纪 80 年代，日本三菱化学公司率先对碳纤维复合材料的力学性能和在工程加固方面的应用做了研究。最初的研究热点在于使用碳纤维复合材料对钢筋混凝土梁进行加固，后来发展到对各种土木工程的加固和补强上。碳纤维复合材料对海洋石油平台以及港口的修复只是它这类应用的一个方面。相关文献有很多。值得一提的是美国 DFI 公司使用碳纤维棒修复海军珍珠港码头的例子，当时的技术人员创新性地使用了碳纤维棒来修复补强，碳纤维棒修复的码头能承受 9t 重的钢材从 2.5m 高处掉下而不受损害，增强效果明显。

关于碳纤维复合材料在海洋工程应用方面，还有一类是海底管道或管柱的修复和补强。传统的维修方法例如焊接，焊缝改进，卡箍，灌浆等方法都有各自的局限性，且海洋环境下更制约了这些方法的使用。而碳纤维复合材料的修复主要是使用碳纤维布和环氧树脂等高强度高粘结性的树脂材料黏贴于修复表面，因此它薄而轻，高强，耐久性好，施工便利，适应不同的形状，具有显著的优势。

四、总结

碳纤维复合材料优异的性能使得它在海洋应用领域中有着广阔的应用前景，总体来说，相对于航空航天等领域的成熟应用，碳纤维在海洋领域中的应用相对起步较晚，同时，碳纤维的成本偏高也是制约其规模化应用的一个重要因素。随着海上军事的发展和海洋资源的开发，大力推进碳纤维在海洋领域的应用是发展的必然趋势，另一方面海洋领域对碳纤维复合材料需求的不断增大，也将从应用牵引方面促进碳纤维产业链的健康发展

来源：DT 新材料