

高技术前沿

漂移过弯、紧急刹车、切换方向……今年端午节，一年一度的龙舟比赛在我国广东、广西等地如火如荼地举办。如果仔细观察参赛选手手里的船桨，就会发现，不少队员拿的船桨是用碳纤维复合材料制成的。凭借“重量轻强度大耐腐蚀”等优点，碳纤维船桨受到了参赛选手们的追捧。实际上，制造船桨只是碳纤维复合材料应用的一个“微例证”。

环绕我们的日常生活，大到航空航天材料，小到电脑、手机、平板等设备的散热结构，都能发现碳纤维的身影。那么，为什么大家如此热衷于碳纤维复合材料？碳纤维复合材料有何特点？未来的发展前景如何？请看本期解读。

碳纤维：材料界里“黑黄金”

丛士杰 李 芮 赵旭峰



2024年4月，第四届中国国际消费品博览会上，观众在参观碳纤维自行车。

新华社发

奇妙的诞生之旅

提起“碳”，人们并不陌生。碳元素既能以有机化合物的形式广泛存在于石油、煤、木炭等物质中，也能以单质的形式存在，构成金刚石、石墨等多种物质。这些由碳元素构成的不同物质，之所以呈现出不同的形态，在于它们内部的碳原子排列组合不同：在金刚石内部，碳原子经过一定的排列组合，形成一种特定结构，使金刚石成为自然界中天然形成的最硬物质；在木炭内部，碳原子的排列方式决定了其硬度低的特点，人们将木炭拿在手里，很容易就能把它折断……

与此同时，在由碳元素构成的众多物质或材料中，有一种含碳量超过了90%的纤维材料，凭借“重量轻强度大”的特点吸引了世界各国热切关注的目光，它就是——碳纤维。

事实上，碳纤维的发现极具戏剧性。19世纪80年代，爱迪生在发明电灯泡时，迟迟找不到适合做灯丝的材料。一次，愁眉不展的他将废弃的手稿随意丢入火盆。就在这时，奇妙的事情发生了——他意外地发现，纸张在充分炭化后仍然能够发出很亮的光！

爱迪生受到启发，随后，他尝试使用植物纤维作为灯丝材料进行实验，发现用植物纤维制成的碳丝具有良好的耐热性，发光亮度也不错。放眼当时整个世界，这次实验是人类首次制备碳纤维的成功实践。

至此，人们对碳纤维的研究开始起步。

1950年，美国一家碳化物公司注意到爱迪生的研究，并在其成果基础上，使用沥青作为原材料制取碳纤维。利用这种方法制得的碳纤维质轻且耐热，后来被应用于战机制造以及火箭发射上。

1959年，结合自己的研究方向，日本大阪工业研究所的一名研究员发明了“以聚丙烯腈纤维制取碳纤维”的方法。在实际操作中，科研人员将含碳的聚丙烯腈纤维作为原料，放在稀有气体的环境中，在一定的压强下进行强热炭化，制取得到碳纤维。后来，日本东丽公司在此基础上开展进一步成果转化研究，使得碳纤维具有更均匀的结构以及更高的强度。这种碳纤维含碳量在90%以上——成千上万根碳丝无间隙地固定在一起，形成一束直径为5-10微米的圆柱体，并在圆柱体外层以有机涂层作为保护。

在碳纤维内部，碳原子之间的结合非常牢固，这样的微观结构赋予了碳纤维强大的力学和化学性能：它的质量比合成金属轻，却比其坚固；拉伸强度远超高强度的钢材；耐腐蚀性更是比其他

多种材料望尘莫及。基于此，碳纤维一经问世就炙手可热，被材料界寄予厚望。

我国碳纤维工业的起步可以追溯到1962年，总体上与日本碳纤维的研发同步进行，但由于掌握核心技术的“碳纤维强国”对我国实行严密的技术封锁，导致一段时间内没有取得重大进展。2000年后，我国开始大力发展碳纤维产业；2005年，我国第一条百吨级T300生产线投产；2012年，加快发展碳纤维并提高规模化制备水平被列入“十二五发展规划”；2016年，我国中复神鹰碳纤维公司千吨级T800原丝生产线投产；2021年，我国碳纤维产量已达2.9万吨……

“21世纪新材料之王”

还记得电影《速度与激情3》中炫酷的350Z跑车的车身吗？还记得2022年北京冬奥会上闪耀夺目的火炬吗？还记得我国国产大飞机C919的惊艳亮相吗？它们的制作材料中，都包括碳纤维。凭借优异的性能，碳纤维不断拓展应用领域，被人们称作“21世纪新材料之王”和“黑黄金”。

——航空航天领域。与常见的以金属元素为主的高强度材料相比，碳纤维最显著的特点就是在保证了材料强度的同时，大大减轻了构件重量。以一束1米长的某型碳纤维为例，其重量只有0.5克，但其强度可以承担500公斤左右的力量。手指粗的一束碳纤维，就可以拉动两架飞机。

2020年5月，长征五号B运载火箭在文昌航天发射场点火升空。其中，火箭助推器的壳体表面就大量采用了碳纤维泡沫夹层结构材料，使其能够在高温高压下正常运作。据悉，与应用金属材料相比，应用碳纤维可以减重50%左右；与普通复合材料相比，可以减重30%左右。

目前，由精细丝束碳纤维复合而成的材料已经广泛应用于人造卫星、固体火箭发动机壳体 and 战斗机材料领域。4月15日，印度国家航天机构——印度空间研究组织宣称，其成功研发应用于火箭发动机的轻质碳纤维材料，可以有效减轻火箭发动机喷嘴67%的重量。

——海上装备制造领域。首先，凭借超高的抗腐蚀能力，碳纤维在军舰制造领域得到了广泛运用。经过不同的编织工艺加工，碳纤维可与特定树脂等材料结合，进而制造出轻量化、高强度的舰体、桅杆、舰桥的结构部件。有了这种结构部件，不仅可以减轻舰船重量，提高舰船移动速度和灵活性，还可以增强舰船的抗拉强度和抗冲击性能，减少海水腐蚀以及海洋生物附着舰船，提高舰船的作战效率和生存能力。

其次，还有一些特殊的碳纤维，能

够显著提高舰船抵抗雷达扫描的能力，进而加强舰船的隐蔽性。比如，瑞典“维斯比”护卫舰在制造中大量使用了碳纤维复合材料，这些复合材料可以大幅降低雷达的反射面，有效提升护卫舰的隐身性能。

——工程制造领域。与机械部件中经常使用的不锈钢相比，碳纤维的拉伸强度约为不锈钢的10倍，单位重量的承受强度约为不锈钢的40倍，但密度仅约为其四分之一。凭借优异的拉伸强度，如今碳纤维被广泛应用于大型桥梁的搭建中。一般情况下，用于搭建桥梁的碳纤维，其拉伸强度最高可以达到3000MPa以上，如果应用的是高强度级别的碳纤维，拉伸强度的数值还可以翻倍。

——体育休闲领域。这是碳纤维较早得到规模化商用的领域。比如高尔夫球杆、网球拍、自行车架、滑雪板等，利用碳纤维复合材料制作的高尔夫球杆重量只有50克左右。相信随着人们体育消费水平、消费追求逐步提升，能够提升体验感的高性能体育产品将越来越受到人们青睐，碳纤维体育用品将会占据更大的市场份额。

事实上，碳纤维的广泛应用，不仅带来了应用领域的“轻量化”，还带来了“节能减排”的附加效果。

比如，空客A350广泛使用碳纤维用作飞机构件的材料，碳纤维在整个飞机的总含量占比超过了50%。这使得飞机的重量大大减轻，进而带来燃油量的降低，在降低运营成本的同时减少了碳排放。

又比如，近年来在汽车领域，碳纤维复合材料不断应用于汽车车身、制动盘、发动机等构件，使汽车部件重量大大减轻，大幅提升车辆性能和续航里程，进而节约燃油减少了二氧化碳的排放。在如今“碳中和”的背景下，在汽车制造中应用碳纤维已经成为未来汽车的一个主要发展方向。

目前，经过长足的发展，碳纤维的身影已经广泛深入到人类生产生活的方方面面。它给我们带来的诸多改变，仍在持续深化中。

面临新的发展风口

正如人们常说“金无足赤”，被称作“黑黄金”的碳纤维也难免存在“瑕疵”。与众多优质特性相伴而来的，还有其相对复杂的生产工艺和流程。

公开资料显示，生产碳纤维一般要经过上百道工序，300多项关键技术、3000多个工艺参数，经过10多个系统的集成才能制作完成。

对碳纤维材料构件的回收利用也是一个挑战。碳纤维材料不会自然分解，如果在回收时采用高温焚烧方法处理，会释放有害物质，污染环境。这使

得人们不得不思考，未来如何有效地、可持续地处理碳纤维制品的废弃物。

不过，即便如此，随着高品质碳纤维生产的不断突破，以及相关领域高新技术的持续发展，碳纤维的发展仍有相当大的发展空间。补“短板”、拓“长板”，碳纤维或将迎来新的发展风口。

我们以碳纤维的军事应用为例。近年来流行这样一种说法，现代信息化战争既是高技术装备之战，更是高性能材料之战。现代武器装备的发展，隐身化、低能耗、高机动性等趋势，对碳纤维复合材料的要求越来越高。

当高品质的碳纤维复合材料遇到与之相匹配的高性能作战系统，二者叠加之后产生的作用力，使得碳纤维成为军事强国比拼尖端实力的重头戏。

应用于先进战机的构件。在战场上，战机每减轻1千克的重量，都意味着战机更高的机动性和飞行员更高的生存概率。目前，世界各大军事强国都在不遗余力地发展碳纤维在先进战机上的应用；从一开始在非重要部位使用碳纤维复合材料，到后来不断拓展，碳纤维复合材料在飞机上使用的比例越来越高。

据外媒报道，不久前，美国Boom超音速公司宣布XB-1超音速飞机在加利福尼亚州成功完成首次试飞。该飞机的大部分部件由碳纤维制成，凭借多种类型的碳纤维复合材料就能很大程度上满足飞机各个部件的性能需求。飞机在坚固、轻质结构中实现复杂的空气动力学设计，在有效载荷和生存能力方面也实现了新的突破。

应用于无人机制造构件。无人机在制造中使用碳纤维的比例同样非常高。美国的“捕食者”和“影子”无人机，对碳纤维等复合材料的应用比例甚至超过了90%。随着近年来无人机的飞速发展和战场地位作用的凸显，碳纤维复合材料正在迎来新的发展机遇。

应用于导弹制造。在伊拉克战争中，有一种名叫石墨炸弹的武器。这种石墨炸弹，本身爆炸的威力并不大，但其爆炸以后会产生很多能导电的细丝，这些细丝能够搭到电线上使电线短路，从而破坏当地的电网，造成电网瘫痪。据悉，这种细丝就是一种导电能力很强的碳纤维。炸弹释放的碳纤维细丝密度很小，可以在空中长时间飘浮，沉降下来就会给电网带来很大伤害，而且短时间内难以恢复。

今天，碳纤维材料的制备技术渐渐成熟，但世界各国仍在不停地展开科研攻关。作为一种“全能型”材料，军事应用只是其广泛用途中的“冰山一角”。我们有理由相信，未来随着人工智能、纳米技术等相关前沿技术的发展，碳纤维的强度、刚度、耐热性等性能有望实现更多突破，满足更多高端领域的需求，在人类科技进步和生产生活中发挥更加重要的作用。

空中汽车离应用还有多远

龚诗尹 王国山

5月25日，第四届中国智能汽车创新大会上，参展的小鹏汇天飞行汽车，首次飞越深圳南山CBD，向公众展现了未来城市出行方式的新图景。

活动现场，该飞行汽车从深圳人才公园广场垂直起飞，在公园上方绕行一周，飞行高度30米，全程采用自动驾驶模式。

事实上，空中汽车的概念并不是新鲜事物。

早在20世纪初期，“汽车+飞行”的种子就开始在人们心中萌芽。1917年，美国飞行家格·寇蒂斯尝试着制造了一辆装有有机翼和汽车发动机的“飞行汽车”，不过因为技术限制，仅实现了短距离的飞行式跳跃。

进入21世纪，随着新能源技术、无人驾驶技术和材料科学的发展，空中汽车正式开始由概念向现实转变。2014年，斯洛伐克Aeromobil公司推出了一款空中汽车，该汽车能自由切换“陆地驾驶”和“飞行”两种模式，可适应多种条件下的机场起飞和降落，并通过汽油发动机提供动力。

主要依靠电动垂直起降技术实现飞行的空中汽车，适用场景广泛，具有广阔的发展空间。

救援行动中，空中汽车可以更快抵达灾区，以更高效率运送救护力量和伤员。旅游观光中，空中汽车可以提供前所未有的独特视角和体验。运输货物时，空中汽车可以远离人群密集区运送危险品，有效保证人员安全。

然而，空中汽车的应用与普及还面临诸多挑战。

——实现轻量化。由于需要垂直起降，其飞行器必须具备较小的质量，以降低起飞和降落时的能耗。

——续航能力。现在的空中汽车续航能力相比陆地汽车还有不小的差距，如何提高更长时的续航，更便捷的能源补充，都是技术上的难关。

许多企业和研究机构积极与政府机构合作，共同寻求解决难题的办法。有的企业提出采用混合动力，即将燃油发动机与电池驱动相结合，以延长续航里程。例如，法国优越飞行技术公司开发的ATEA飞机采用了混合动力驱动方式，使用煤油和电油来降低油耗，从而增加续航里程。

——安全和管理。如何确保空中汽车在复杂的空中环境中安全运行，也是技术研发中必须着力克服的难题。此外，还需获得相关法律法规、空中交通管理体系的支持。截至目前，已有不少国家对于空中汽车的开发和商业化持开放态度，为一些公司颁发了适航证。

随着人工智能、6G网络等新技术的不断进步，空中汽车未来可能会实现智能辅助驾驶、多功能变形等技术革新，为人们提供更加便捷、高效、安全的交通方式。随着空中汽车商业化市场的不断扩大，空中汽车还将带动相关产业链的发展，如航空电子设备、新材料、新能源等产业，为全球经济发展注入新的活力。

热点追踪



斯洛伐克Aeromobil公司推出的空中汽车。

资料图片

趣问·新知

从林海雪原到江南水乡，从大漠戈壁到东海之滨，我国高铁跨越大江大河、穿越崇山峻岭、通达四面八方，“四纵四横”高铁网已成为中国铁路高质量发展的亮丽名片。

“道路千万条，安全第一条。”我们在驾驶或乘坐汽车出行时，经常会听到“请您系好安全带”的提示。同样，在乘坐飞机时，乘务人员也会提醒并监督我们系好安全带。人们不禁发出疑问，既然安全带能有效减少伤害、保障安全，为什么人们乘坐高铁时不用系安全带呢？

首先，高铁的运行和行驶，依托的都是安全系数更高的无砟式轨道。顾名思义，无砟式轨道指的是没有砟石的轨道，它由钢筋混凝土浇筑而成，完全杜绝了道砟飞溅的危险，具有良好的平顺性和稳定性，能够支持高达350公里/小时的速度行驶。同时，无砟式轨道本身相对平直，弯道半径很大，基本上没有小弯道。这能够确保列车基本沿着直线行驶，避免大幅度的横向或纵向震动。

其次，高铁通常为单线路运行，加速过程会受到严格控制，整个行程基本上都保持匀速行驶，以避免出现急刹车或碰撞的情况。因此，乘坐高铁时乘客不会感到摇摆或颠簸。有乘客曾在京沪高铁上做了一项小测试。在列车从静止状态加速到时速350公里/小时的过程中，他在列车的小桌上竖起一枚硬币，这枚硬币竟然一直保持稳定不倒。

再次，高铁使用的座椅是防撞安全座椅，在设计上可以保证乘客头部或胸部撞击座椅椅背时，座椅能够及时溃缩变形，防止乘客被卡住。比起配置安全带，这样设置的座椅更能有效保障高铁发生事故时乘客的安全。

此外，高铁上安全带反而会更容易不安全。根据欧洲铁路安全与标准委员会的调查显示，火车发生重大事故时，被束缚在座椅上的乘客受伤概率更大。这是因为，高铁一旦发生意外

高速行驶的高铁上，为什么不用系安全带

文兆阳 郑召兴

出轨，车厢结构往往会坍塌，如果乘客被安全带束缚不能及时躲避，很容易卡在变形的座椅中，造成很严重的伤害。从这一点出发，即使高铁的速度很快，乘客在乘坐时也没有系安全带的必要。