

汽车轻量化

在倡导低碳经济的今天，汽车轻量化已经成为全球汽车发展的潮流。汽车轻量化可提高汽车的动力性，提高燃油经济性，减少碳排放量。当前主要的举措是使用铝镁、复合材料和塑料等新型材料，整车或车身、发动机、底盘等结构优化设计，以及液压成形、热成形、激光拼焊等汽车轻量化新技术、新工艺等。但关键的问题是如何在保证汽车的强度和安全性能的前提下，让汽车健康“瘦身”，从而达到节能减排效果。本期策划带您一起走近汽车轻量化，一探究竟。

策划：邵蕊





■ 重庆长安汽车股份有限公司/刘建才 曹 渡 李 剑 李时成 刘 波 李晓青

塑料复合材料在汽车轻量化中的创新应用

汽车工业已成为我国国民经济发展的重要支柱产业之一。中国市场经过多年的高速发展，2009~2012年连续四年成为全球汽车销量第一，且未来仍具备巨大的增长潜力。汽车在给人们带来方便的同时，也产生了能耗、安全和环保等重大问题，节能减排刻不容缓，汽车轻量化是实现节能减排的有效且直接可行的途径。

汽车轻量化的背景和意义

由决定油耗的因素可知，汽车行驶阻力除空气动力学阻力之外，滚动阻力、爬坡阻力、加速度阻力都和汽车质量成线性关系。空气阻力（对油耗贡献约25%）与整备质量无关联，而大约油耗的75%与整车质量有关（滚动阻力对油耗贡献约35%，加速阻力和爬坡阻力对油耗贡献约40%）。世界铝业工程协会研究表明，车身质量每减少10%，可降低油耗6%~8%，燃油效率提高5.5%，排放降低5%~6%；汽车整备质量每减少100kg，百公里油耗降低0.3~0.6L。

从降低整车油耗的四个标准途径来说（见表1），改善发动机性能，提高燃烧效率对降低整车油耗的影响是最大的，但是经过多年发展，动力技术更新换代难度已经很大。减轻汽车自重，进行汽车的轻量化设计，节能效果排第二位，涉及面广，可以带动原材料和零部件等汽车产业的发展。提升汽车的空气动力学

性能，降低滚动阻力，风阻系数主要由车型决定，不可能所有车都像赛车一样风阻系数降得很低。提高动力传动效率，减小功或动力传递损失。可见，通过轻量化技术来降低整车油耗是最有效的方法之一（仅在动力性能之后），带动产业化发展效果也最明显。

表1 降低整车油耗的标准途径及效果 （单位：%）

降低整车油耗的标准途径	提高性能10%对整车油耗降低的影响
发动机效率	10
汽车重量	5
滚动阻力	2~3
动力传动效率	1~2

因此，汽车轻量化技术已成为世界汽车技术发展的重要方向，开展汽车轻量化技术的研究与应用不仅是汽车节能减排的需要，也是提高自主开发能力和产品竞争力的需要，是调整产品结构和产业化结构的需要。

纤维复合材料轻量化技术

实现汽车轻量化主要有两大途径：一是结构优化设计，二是采用轻质材料及其相应成形工艺的应用（见图1）。

而轻质材料又可分为金属（合金）和纤维复合材料（又称塑料复合材料）两类。与金属（合金）材料

汽车轻量化

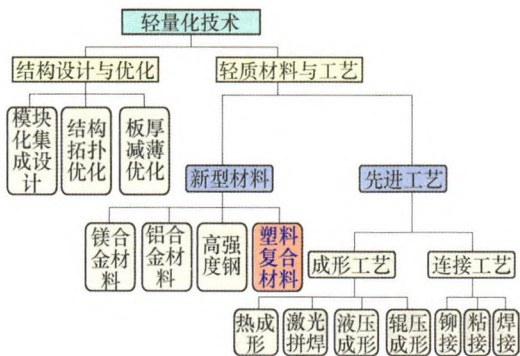


图1 轻量化技术实施路径

相比，纤维复合材料在汽车零部件上的应用具有以下优势。

(1) 密度小、比强度高，轻量化效果明显 表2是钢、铝及复合材料的性能对比，例如碳纤维复合材料抗拉强度一般都在3500MPa以上，是钢的7~9倍，抗拉弹性模量为230~430GPa，也远远高于钢。而其密度（质量）却只有钢材的1/7，铝合金的1/3，减重效果尤为明显。简言之，若整车减重要实现250~350kg以上的目标，纤维复合材料轻量化技术在整车上的应用是必由之路。

表2 钢、铝及复合材料的性能对比

材料类别	刚度/质量 比值	强度/质量 比值	弯曲强度 /质量比值
碳纤维复合 材料	115	747	322
玻纤增强复 合材料	33	363	184
钢材	100	100	100
铝	96	160	200

(2) 集成度高 以前端模块为例，15个金属零部件简化为一个塑料前端骨架。

(3) 可成形复杂曲面，设计、造型自由度高。

(4) 减振性好，吸能性好 由于树脂基复合材料的振动衰减系数大，受冲击时能够吸收大量的冲击能，当汽车发生碰撞时，可避免或减少对人体的伤害，这对行车安全十分有利。如热固性（如环氧树脂）碳纤维复合材料粉碎锥及类似能量吸收结构可以吸收约120kJ/kg的能量，如果使用热塑性树脂则能吸收250kJ/kg，相比之下，钢材的吸收效率只有20kJ/kg。

(5) 成形工艺简单 复合材料通常可以采用注塑或模压等一次整体成形工艺，减少了后续机械加工过程。

此外，高强钢和铝合金等轻质材料来源于矿产资源，目前主要依赖进口。随着矿产资源的枯竭，原材料价格会越来越贵。而纤维复合材料的来源除了石油外，还可以从天然植物中获取，这是纤维复合材料向绿色环保材料发展的必然趋势，也是其可持续发展的最大优势。综上所述，大规模应用纤维增强复合材料轻量化技术是未来实现整车轻量化的最佳选择之一。

国外塑料复合材料的应用现状与发展趋势

世界能源危机和节能减排的大趋势，加速了已成熟的玻纤维增强复合材料（又称塑料复合材料）轻量化技术在整车上的应用（见表3）。塑料复合材料在整车上的用量（即在整车重量上的占比）可作为整车轻量化技术水平的衡量标准之一。

表3 各国塑料复合材料（以玻纤增强塑料为主）在整车上的用量

国家	单车用量/kg	重量比例（%）
德国	300~365	约22.5
美国、法国	220~249	约16.5
日本	126~150	约10
中国	90~110	约8

由表3可以看出，国外汽车品牌现在已经大规模使用塑料复合材料（主要是玻纤增强复合材料，如LFT、SMC等）和高性能的工程塑料等，而塑料复合材料在自主品牌汽车上的应用却相对较少。这也反映了整车轻量化技术水平的差距。

1.碳纤维增强复合材料

而要实现整车大规模减重，还必须实现碳纤维增强复合材料（简称CFRP）轻量化技术在整车上的应用。国外汽车业近年来已经开始专项资金投入和开展研究，其中传动轴、车顶、车体或底盘都有了CFRP的应用样件或样车（概念车）尝试。2009年奥迪和丰田的少量CFRP新款跑车投入了市场，2010年上半年宝马公司也小批量生产新型小轿车，其车体就采用了CFRP，若到2015年每年生产数十万辆，这将成为碳纤维生产的巨大市场之一。宝马汽车在2011年法兰克福车展首次发布的i3电动概念车和i8混动概念跑车，采用复合材料模块化设计的全碳纤维的座舱（LifeDrive



架构)，使i3的车身重量比传统电动车减轻了250~350kg，整车重量仅1250kg，并使车体的强度远大于普通的钢铁车身。宝马i8的整车重量仅1480kg。这两款車型分别于2013年和2014年上市，产量大约5万辆。

CFRP可广泛应用于汽车的各大主要系统：发动机系统、传动系统、制动系统、白车身及附件等。其主要应用的零部件有：

- 1) 发动机系统：挺杆、连杆、摇臂、油箱底壳、水泵叶轮和罩等。
- 2) 传动系统：传动轴、万向节、减速器及壳罩等。
- 3) 制动系统：刹车片。
- 4) 底盘系统：纵梁横梁、支架、车轮和板簧等。
- 5) 车体系统：发动机盖、翼子板、散热器罩、保险杠、车灯架、车厢、行李架、地板、门窗框架及尾翼/扰流板等。
- 6) 附件：排气筒、仪表板总成、方向盘、内饰等。

2. 各国情况

目前，世界各主要汽车生产国家，纷纷将纤维复合材料轻量化技术应用于汽车制造提升为国家近期的战略目标。在政府的支持下，世界一流的主机厂纷纷与原材料供应商联合起来（见图2），共同开展诸如碳纤维复合材料在汽车上的量产应用技术研究。

(1) 日本 碳纤维产业目标是在2015年之前在整车上开始大规模量产，使车体（比使用钢材）减重40%，CO₂排放减少30%。在政府的支持下，日产汽车、本田汽车和东丽公司将联手开发汽车车体用的新型碳纤维材料，合作企业还包括三菱丽阳和东洋纺织。东丽、东邦Tenax和三菱丽阳三家日本公司都成立了“飞机和汽车中心”，发展高附加值的CFRP下游产品。日本政府也非常支持该项计划，希望在全球开发环保车辆的趋势中取得领先地位。日本经济产业省计划未来五年向此计划投资20亿日元（约合1850万美元）。

(2) 美国 政府出台汽车行业发展计划，积极研究低成本、高产量的复合材料。

(3) 德国 在新一代汽车的发展规划中，已把轻量化作为“重中之重”之一列入“灯塔计划”，上升为国家战略，鼓励整车企业开发复合材料汽车，目前

CFRP的概念车越来越多展现在国际车展上，其中奥迪车已开始上市。

(4) 英国 2009年11月英国政府为推进纤维复合材料的研发，做出了2200万英镑的预算，不仅为推进材料的开发，还包括制造方法的改进和生产成本的降低、纤维复合材料结构等的研究。



图2 主机厂与碳纤维企业组成联盟

当前，全球碳纤维核心技术仍被少数发达国家控制，以美日为首的发达国家始终保持着对中国碳纤维行业严格的技术封锁。目前，尽管一些可大量应用的纤维增强塑料我国已开发出来，但其发展受到碳纤维价格、成形工艺技术和零件设计能力与模具设计能力的制约。相比合资品牌纤维复合材料的应用，自主品牌汽车零部件尚未大规模应用纤维复合材料。在推动汽车产业大规模采用纤维复合材料等方面进行国家层面的干预不仅必要，而且愈来愈显紧迫。

中国品牌汽车应对措施

复合材料尤其是碳纤维复合材料轻量化技术在汽车上的集成应用，将对传统汽车设计理念和制造技术带来革命性的冲击，如汽车车身制作，冲压、焊装、涂装和总装等传统制造工艺和管理模式可能出现彻底的改变。国外主要汽车厂商和核心供应商早已厉兵秣马，中国自主汽车行业必须未雨绸缪。

汽车中采用碳纤维等轻量化复合材料替代钢材实

际上是汽车工业的一次技术革命，对主机厂、零部件配套厂以及上下游的产业链都将产生深远的影响，传统材料和制造技术可能会逐渐萎缩甚至被淘汰，新型材料和新型制造技术将会逐渐发展壮大。国内汽车行业虽然认识到这个趋势，但各自为政，又由于自身相关技术积累薄弱和资金缺乏等因素的困扰，所以工作开展十分缓慢。综上所述，建议国家和政府行业主管部门应该就纤维复合材料轻量化技术在汽车上的集成应用，先在一二家大型自主品牌汽车企业适当投入，进行试点，取得成功经验后，统一规划，推广应用。通过项目开展，将可以打破国外技术垄断和封锁，突破碳纤维复合材料汽车零部件快速成形工艺技术瓶颈，形成快速制备碳纤维复合材料汽车零部件的批量生产能力，达到降低零部件生产周期和成本的目的——项目成果可以迅速在全行业推广，从而建立起先进复合材料“材料研发—原材料生产—零部件制造—整车集成应用—回收再利用”的全产业链（见图3）。

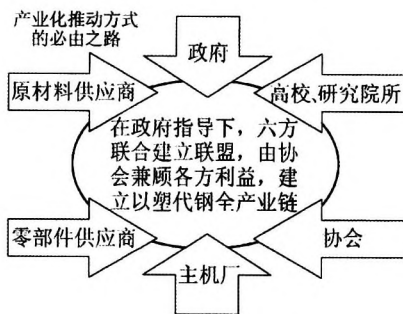


图3 以塑代钢全产业链

长安汽车轻量化技术研究思路

为了推动汽车轻量化技术研究及产业化应用工作，长安汽车在2013年5月启动了“塑料复合材料轻量化技术研究项目”，主要负责复合材料特别是碳纤维材料研究及产业化应用技术研究。其主要研究思路如图4所示，以塑化钢技术发展四部曲。

重点解决以下技术瓶颈：

- 1) 结构设计，主要包括材料、零部件和整车框架三个方面。
- 2) 制造技术——生产周期长，效率低。
- 3) 连接装配技术——设备改造和投资。
- 4) 维护技术。



图4 长安汽车塑料复合材料轻量化技术研究及应用思路

5) 间隙断差的保障能力。

6) 表面处理和涂装工艺技术（外观光洁度）。

7) 回收再利用技术。

8) 成本。碳纤维复合材料零件的成本30%~40%来自原材料，其余来自工艺。

长安汽车研究总院多方寻找合作资源开展碳纤维复合材料轻量化技术研究工作。为了加快推进碳纤维轻量化技术研究工作，长安汽车公司决定进行适当投入，开展碳纤维整车应用技术研究。项目目标为开发碳纤维“黑车身”并实现复合材料轻量化技术的产业化应用。项目分两个阶段进行：第一阶段：开展碳纤维整车轻量化仿真技术研究，探明碳纤维复合材料性能对整车CAE、碰撞、疲劳耐久、空气质量等的影响；突破碳纤维连接技术、表面涂装技术、快速成形工艺技术瓶颈，进行碳纤维关键件样件开发及试验验证，建立研究方法和标准体系。第二阶段：开展碳纤维样车试制及试验验证，规模化生产可行性分析。

目前，轻量化碳纤维复合材料应用技术已经引起了世界一流汽车主机厂的重视。长安作为中国自主品牌汽车，一贯重视汽车轻量化技术研究及应用工作，长安需主动扛起碳纤维复合材料在整车轻量化中产业化应用的大旗，引领自主品牌汽车轻量化的快速发展。

关键词：

塑料复合材料 汽车 轻量化

(收稿日期20131101)