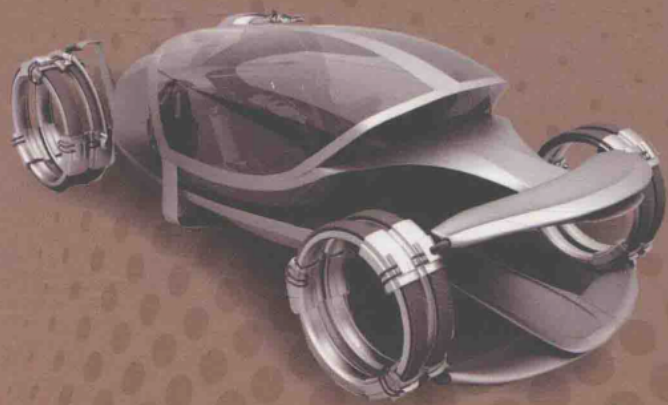


“十二五”国家重点出版物出版规划项目

# 汽车轻量化车身新材料 及其应用技术

*Advanced Materials for Light -Weight Vehicle  
Body and Process Technology*

何莉萍 著



湖南大学出版社

“十二五”国家重点出版物出版规划项目

# 汽车轻量化车身新材料 及其应用技术

何莉萍 著

湖南大学出版社

## 内 容 简 介

本书围绕绿色低碳汽车车身材料,着重论述了车用高强度钢、铝镁合金、碳纤维和天然纤维增强复合材料的种类、特性、研发与应用现状以及先进的成型加工技术;并从工程技术角度阐述了这些新材料组成结构—工艺—性能的相互作用关系及其发展趋势;描述了各类新材料的典型代表及其在汽车车身中的应用。

本书可供汽车整车和零部件制造企业、汽车原材料生产企业,特别是从事汽车新材料、新工艺、新技术研发的工程技术人员、高等院校师生、政府决策和行业管理相关部门人士阅读或参考。

---

### 图书在版编目(CIP)数据

汽车轻量化车身新材料及其应用技术/何莉萍著.

—长沙:湖南大学出版社,2016.9

ISBN 978-7-5667-1179-3

I. ①汽… II. ①何… III. ①汽车轻量化—车体—工程材料

IV. ①U463.82

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第189034号

---

## 汽车轻量化车身新材料及其应用技术

QICHE QINGLIANGHUA CHESHEN XINCAILIAO JIQI YINGYONG JISHU

---

作 者:何莉萍 著

责任编辑:刘 锋 张建平 责任校对:全 健 责任印制:陈 燕

印 装:长沙鸿和印务有限公司

开 本:787×1092 16开 印张:14.5 字数:384千

版 次:2016年9月第1版 印次:2016年9月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5667-1179-3

定 价:60.00元

---

出 版 人:雷 鸣

出版发行:湖南大学出版社

社 址:湖南·长沙·岳麓山 邮 编:410082

电 话:0731-88822559(发行部),88821343(编辑室),88821006(出版部)

传 真:0731-88649312(发行部),88822264(总编室)

网 址:<http://www.hnupress.com>

电子邮箱:[presszhangjp@hnu.cn](mailto:presszhangjp@hnu.cn)

---

版权所有,盗版必究

湖南大学出版社凡有印装差错,请与发行部联系

# 序

可持续发展及发展绿色低碳经济是当今世界的重大课题。汽车产业迫切需要解决能源问题、环境问题、安全问题、可回收和循环再利用问题。节能减排已经成为汽车工业低碳发展的革命性课题。汽车轻量化技术是汽车产业实现节能减排和资源节约的重要途径之一，也是汽车产业未来发展的趋势和重要研发方向。汽车轻量化技术包括汽车结构的合理设计和轻量化材料的使用两大方面。因此，深入系统地总结汽车制造轻量化材料及其工艺技术研究成果，不仅具有重要的科学意义，也是急需的，对汽车产业结构转型与升级发展意义重大。

本书内容丰富，以汽车车身轻量化技术中新材料及其应用技术为主线，全面系统地阐述了汽车车身轻量化材料的基础和应用基础理论以及基于新型汽车材料制造汽车零部件的成型加工技术理论和方法，特别是作者团队近十年在车用绿色复合材料领域的一些独具创新和特色的研究成果。本书具有以下特点：

(1) 全面性。本书深刻理解了不同车身轻量化材料适用于不同车身零部件的技术特点，因而不孤立阐述单一汽车轻量化材料，结合车身材料轻质、节能环保和可回收发展趋势，涵盖了多种汽车车身轻量化材料，如高强度钢、铝镁合金、碳纤维复合材料和绿色复合材料等。

(2) 系统性和学科交叉性。不同于以往大多数轻量化材料书籍，作者在阐述各种车身轻量化材料时不局限于轻量化材料本身涉及的基础和应用基础理论，率先尝试了将汽车车身新材料与其在汽车零部件上应用的成型加工技术相融合，体现了材料学科、车辆学科、力学等多学科的交叉融合，以及大科学研究的完整性和系统性。

(3) 学术性和前瞻性。本书中低成本碳纤维制造技术及其车身应用工艺技术，以及低成本、可回收绿色复合材料制造和应用技术等均具有前瞻性。


(4) 工程应用的实践性。本书对于各种汽车轻量化材料都尽可能详细地阐述从材料遴选、设计制造到零部件的成型加工技术，以及工艺—性能的相互关系。这些内容对于汽车零部件产业的工程研发具有重要参考价值。

随着人类科技的不断进步和发展，车辆工程与其他学科的交叉融合必将越来越密切。我们期待作者团队能在现有工作基础上进一步创新发展，在汽车材料—结构—工艺—性能一体化先进设计制造中取得新的成果。

中华民族的汽车工业强国之梦需要一代又一代人的不懈努力与奋斗。我希望并相信本书的出版问世，能为我国轻量化材料及其在车辆工程领域的研究以及复合型人才培养方面

提供有价值的参考；祝愿并相信其会对推动我国汽车产业向高端、绿色和低碳发展起到重要作用。

中国工程院院士



2016年4月21日

# 前 言

汽车工业作为我国国民经济的重要产业，近年来取得了飞速的发展。汽车工业在快速发展的同时，也面临着环境污染，资源匮乏以及安全问题。汽车节能、环保、安全不仅是国际汽车工业的发展方向，也是我国汽车产业政策的要求。减少汽车燃料消耗以及降低汽车排放对环境的污染已经成为汽车工业可持续发展所急需解决的主要问题。因此，研究与开发高性能、轻质、环保、可回收汽车材料及其应用关键技术是汽车工业未来发展的重要方向，也是实现汽车轻量化，降低排放和节约资源能源的有效途径之一。

为此，本书围绕绿色低碳汽车未来发展方向，以轻量化、节能、环保和可回收汽车材料为主题，重点分析论述了高强度钢、铝合金、镁合金、碳纤维复合材料和绿色复合材料等先进汽车车身轻量化新材料及其应用工艺技术。以往关于汽车新材料的书籍大多侧重于一类材料，并且重点在于论述材料本身。本书不仅涵盖了未来汽车车身主要应用新材料涉及的基础理论知识和近年来国内外各类新材料最新的研发工作和成果，更大的特色在于在阐述新材料研发的同时，更侧重于新材料在轻量化车身零部件制造应用中所涉及的工程应用工艺技术和前瞻技术，并从工程技术的角度较为详细地论述了工艺参数对制件产品性能的影响，分析了材料结构—工艺—性能之间的相互作用关系，将材料学科和车辆工程技术学科有机地融为一体，体现了学科交叉性和技术前瞻性。为了突出重点，本书内容不包含汽车动力、涂层、发动机部件以及新能源汽车（如燃料电池、电动汽车等）能源材料。

中国民族汽车产业正走着一条艰辛的创新强国之路。在此，谨以此书呈献给从事汽车新材料和新工艺、汽车技术研究开发的高等院校师生、科研院所和企事业单位工程技术人员以及政府决策部门、行业管理部门相关人士。希望本书对汽车轻量化车身新材料的进一步研发和产业化应用产生积极影响，为我国材料和车辆工程交叉学科领域的研究与开发以及复合型人才培养作出有益探索。

鉴于作者认知不足以及汽车新材料及其技术的不断发展，书中难免出现偏颇和错误之处，敬请广大读者不吝赐教，批评指正。

何莉萍

2016年7月10日于长沙

# 目 次

第一章 汽车新材料及其技术水平综述 .....	1
1.1 引 言 .....	1
1.2 国外汽车轻量化、节能环保、可回收材料技术发展水平 .....	2
1.3 我国汽车轻量化、节能环保、可回收材料技术发展水平 .....	3
1.4 汽车新材料应用的发展趋势 .....	4
参考文献 .....	10
第二章 高强度钢材料及其应用技术 .....	11
2.1 引 言 .....	11
2.2 高强度钢材料分类 .....	12
2.3 国外汽车高强度钢材料研发与应用现状 .....	15
2.4 国内汽车高强度钢材料研发与应用现状 .....	20
2.5 高强度钢先进成形加工技术与应用 .....	21
2.6 典型的高强度钢材料 .....	47
2.7 车用高强度钢材料及其技术发展趋势 .....	62
参考文献 .....	64
第三章 铝合金材料及其应用技术 .....	71
3.1 引 言 .....	71
3.2 铝合金材料及其应用现状 .....	71
3.3 铝合金材料的分类 .....	74
3.4 铝合金材料先进成形加工技术与应用 .....	79
3.5 国内外汽车铝合金材料发展趋势 .....	95
3.6 典型汽车铝合金材料 .....	96
参考文献 .....	99
第四章 镁合金材料及其应用技术 .....	104
4.1 引 言 .....	104
4.2 国内外汽车镁合金材料研发与应用现状 .....	105
4.3 镁合金材料的分类 .....	110
4.4 汽车镁合金材料的成形技术与应用 .....	111
4.5 国内外汽车镁合金材料的发展趋势 .....	125
4.6 典型车用镁合金材料 .....	127
参考文献 .....	130

第五章 碳纤维复合材料及其应用技术 .....	135
5.1 复合材料概况 .....	135
5.2 碳纤维概况 .....	141
5.3 碳纤维的种类 .....	142
5.4 碳纤维的性能特点 .....	143
5.5 碳纤维制造工艺 .....	143
5.6 碳纤维增强树脂基复合材料的应用优势 .....	151
5.7 碳纤维增强树脂基复合材料制造技术 .....	152
5.8 CFRP 在汽车上的应用现状与发展趋势 .....	159
参考文献 .....	160
第六章 绿色复合材料及其应用技术 .....	163
6.1 引言 .....	163
6.2 绿色复合材料简介 .....	163
6.3 天然纤维活性羟值的测定方法 .....	169
6.4 天然纤维的改性方法 .....	172
6.5 天然纤维复合材料成型技术 .....	188
6.6 天然纤维/树脂基复合材料的数值仿真研究 .....	199
6.7 绿色复合材料其他工程应用性能研究 .....	211
6.8 绿色复合材料发展趋势 .....	213
参考文献 .....	215
后 记 .....	221



# 第一章 汽车新材料及其技术水平综述

## 1.1 引言

汽车工业是我国国民经济的重要支柱产业，目前中国汽车工业正处于飞速发展时期。据中国汽车工业协会统计，2009年中国汽车产销分别为1 379.10万辆和1 364.48万辆，同比增长了48.30%和46.15%，从而成为世界第一汽车生产和消费大国。2010年，国内汽车产量达到1 826.47万辆，同比增长32.44%，占全球总产量的比重达到23.53%；汽车销量达到1 806.19万辆，同比增长32.40%，中国汽车产销量蝉联世界第一。2011年，我国汽车市场实现了平稳增长，汽车产销量双超1 840万辆，再次刷新全球历史纪录。

目前，我国现有汽车整车生产企业数量有100多家，而年收入在500万人民币以上规模的汽车零部件厂商有4 000多家，年收入在1亿元人民币以上的汽车零部件厂商460家。有专家预计未来5年内，国内将会出现4~6家大型汽车零配件企业独占鳌头的局面，并最终形成2~3家汽车制造厂统领汽车市场的格局。除了国内企业之外，美国阿尔文美驰、日本电装、德国博世等世界级零部件巨头都已进入中国市场，其市场份额也已超过15%。

随着汽车制造业的蓬勃发展，汽车对人类社会的影响也日益深刻，尤其是对能源和环境。据统计，美国的汽车消耗了其石油产品的50%以上，所排放的CO<sub>2</sub>约占人为CO<sub>2</sub>排放总量的1/4。而随着汽车保有量的逐年上升，石油资源消耗和CO<sub>2</sub>的排放呈现持续增长态势。能源短缺及环境污染问题已成为制约汽车产业可持续发展的突出问题。汽车节能、环保、安全既是国际汽车技术的发展方向，也是我国汽车产业政策的要求。减少燃料消耗和降低对环境的污染已成为汽车工业发展和社会可持续发展急需解决的关键问题。为此，各国制定了车辆每公里CO<sub>2</sub>排放法规以应对汽车环境污染问题，如图1.1所示。由图可见，欧洲的法规最为严厉，预计到2021年，CO<sub>2</sub>排放接近100g CO<sub>2</sub>/km，到2030年CO<sub>2</sub>排放接近60g CO<sub>2</sub>/km。预计到2021年，日本、美国、中国分别约为105g CO<sub>2</sub>/km、120g CO<sub>2</sub>/km和135g CO<sub>2</sub>/km<sup>[1]</sup>。

汽车轻量化是实现节能、减排的重要技术措施之一。世界铝业协会的报告指出，汽车自重每减轻10%，燃油消耗可降低6%~8%。因此，汽车轻量化对于节约能源、减少排放、实现可持续发展战略具有十分积极的意义<sup>[2-5]</sup>。轻量、节能、环保和可回收成为国内外汽车工业发展的重要方向。例如，德国制定了《产品回收法规》，日本等国提出了减少、再利用及再生的3R (Reduce、Reuse、Recycle) 战略，美国提出了再制造 (Remanufacture) 及无废弃物制造 (Waste-free Process) 的新理念。

汽车工业的发展迫切需要适应其发展需求的轻量、环保、可回收汽车新材料及其科技产品。研发并应用轻量、节能环保、可回收汽车新材料既是国际汽车的发展方向，也是国

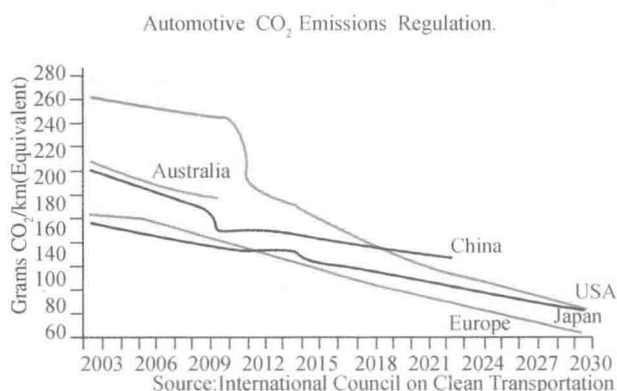


图 1.1 各国车辆每公里 CO<sub>2</sub>排放法规

际汽车产业政策的要求。2000 年欧盟颁布了《汽车材料回收法规》。2005 年 1 月 1 日起日本正式实施《关于报废汽车再资源化的法律》（《报废汽车再生利用法》）。美国颁发了《再制造、翻新和再利用汽车零部件工业指南》、《再制造材料建议公告》。2006 年 2 月我国国家发改委、科技部和环保部联合制定了《汽车产品回收利用技术政策》，要求 2010 年车辆可回收利用率达 80%~85%，材料的再利用率不低于 75%~80%。同年 3 月科技部高新技术产业司在重庆主持召开“汽车材料轻量化与无害化技术发展专题座谈会”将汽车材料的轻量化技术、无害化技术、可回收技术提到了新的高度。在这种大趋势的推动下，轻量化、节能环保、可回收材料的开发与应用已成为当前汽车新材料技术发展的主导和前瞻技术发展方向。高强钢、铝合金、镁合金和天然纤维增强聚合物生态复合材料是当前轻量化、节能环保、可回收汽车新材料的重要组成。因此，本书内容将紧密围绕高强钢、铝合金、镁合金和生态、轻量复合材料展开论述，以为汽车工业、汽车新材料产业的可持续发展提供参考。

## 1.2 国外汽车轻量化、节能环保、可回收材料技术发展水平

20 世纪 70 年代发生的石油危机，推动了国外汽车轻量化材料技术的发展。发达国家为了应对能源危机以及不断恶化的环境问题，相继出台了一系列的强制性法规和法令，以限制车辆的燃油消耗和尾气排放。因此，汽车厂商为了满足政策法规的要求，投入了大量的人力及物力用于研发节能环保、轻量化、可回收的材料。此外，各国政府为企业、大学以及研究机构提供了大量的资金支持，用于研发汽车轻量化材料，从而进一步促进了汽车轻量化发展。美国的 PNCV 计划（partnership for new generation of vehicles）明确提出选用新材料（包括高强度钢、镁、铝、钛合金、塑料及复合材料等）来实现汽车轻量化的目的。2002 年该计划在对研究方向进行重大调整后被重新命名为“自由合作汽车研究”（freedom co-operative automotive research）计划（目前还在进行中），以及国际钢铁协会组织的 ULSAB（ultra light steel auto body）和 ULSAB-AVC（advanced vehicle concept）等研究项目。

经过多年的发展，国外在汽车新材料技术的开发与应用领域取得了可喜的成果，在汽车新材料的开发、汽车零部件的设计、汽车零部件的制造工艺以及汽车材料的回收再利用等方面取得了突破性的进展，主要概况如下：

(1) 开发了高强度钢、镁合金、铝合金、碳纤维复合材料以及生态复合材料等汽车轻量化新材料，这些新材料大多数已经成功实现商业化。

(2) 在汽车零部件先进设计技术方面，制定了汽车零部件材料遴选标准，建立并完善了材料及其性能数据库，制定了汽车零部件设计指南。

(3) 开发了一系列基于汽车新材料的先进汽车零部件成型加工技术与装备。

(4) 研发了汽车新材料回收和再生技术。譬如：分捡汽车废旧材料的技术、合金材料的无公害熔炼以及回收再生技术、塑料回收与再生利用技术、天然麻纤维增强塑料制造技术及再生技术等。特别在天然麻纤维增强塑料生态复合材料制造、成型领域取得了重大进展，并已广泛应用于汽车内饰零部件和部分结构件，成为同时满足汽车轻量化、安全、环保、可回收的新型汽车材料。

### 1.3 我国汽车轻量化、节能环保、可回收材料技术发展水平

我国对汽车新材料的研发起步较晚，但随着国内汽车工业的迅猛发展，我国对汽车新材料的研发投入了大量资金支持，并已经取得了长足的进步。为满足先进汽车材料的国产化需要，在“九五”、“十五”和“十一五”期间，国家先后将“轿车新材料技术开发”、“超高强度高韧性铝合金研究开发和产业化关键技术”、“镁合金开发应用及产业化”、“汽车用聚烯烃材料单一化关键技术”等一批汽车新材料项目，列为国家“863”、“973”高新技术项目和国家科技攻关重大项目。通过不断努力，目前已经开发出了一系列国产汽车所急需的汽车新材料，从而有效地促进了我国汽车新材料的发展。

20世纪80年代，重庆汽车研究所就开展了对双相钢的研究。90年代以来，随着冶金生产技术的进步和汽车工业的发展，高强度钢在汽车中的应用得到了迅速发展。经过20多年的开发与生产，高强钢的开发已取得了明显的成就。高强度汽车钢板大都已形成系列产品，主要包括烘烤硬化钢（BH）、双相钢（DP）、含磷钢（RP）、微合金钢（MA）、高强度无间隙原子钢（IF），以及相变诱导塑性钢（TRIP）。近年来，宝钢汽车板的产量也得到了迅速的增长，能够供应我国汽车工业所需的几乎全部高强度钢和超高强钢。目前，一汽轿车、奇瑞汽车公司等也在轿车车身上进行了高强度钢板的应用研究。

“九五”期间，我国开展了对车用铝合金材料以及车用铝合金生产工艺的研发，并取得了可喜的成果。例如：开发了高强高韧铝合金、耐热铝合金以及新型铝基复合材料等多种车用汽车铝合金新材料。同时，快速凝固、半固态成型等先进铝合金成型技术的研发工作也取得了突破性的进展。一汽等几大汽车生产厂家都建立了铝合金铸造生产线；湖南大学开展了对车用大型铝合金结构件整体铸造成形技术及关键设备的研发；西南铝业有限责任公司、一汽、重庆汽车研究所和东北大学等都对铝合金板材的成形性开展了大量的研究。

“十五”期间，我国将车用镁合金的应用与开发列为汽车材料领域的重点研发项目。东风、一汽、长安等国内汽车制造厂商均建立了汽车压铸镁合金的生产线；重庆汽车研究

所在汽车镁合金零部件的性能测试、材料疲劳试验以及计算机模拟仿真等方面开展了大量的研发工作；湖南大学、上海交通大学、重庆大学等高校对车用镁合金的耐蚀性、强韧化、抗高温蠕变性和阻燃性等开展了深入的研究。

“十五”、“十一五”期间，我国将汽车塑料及其单一化关键技术、轻量生态复合材料研发与应用列为国家高技术研究发展计划（863 计划）重点项目。其中，“汽车用聚烯烃材料单一化关键技术”是产学研相结合的“863”重点项目，中国石油天然气股份有限公司石油化工研究院、中国科学院化学研究所、中国石化股份有限公司扬子石化公司、湖南大学车身先进设计制造国家重点实验室、中国石化股份有限公司北京化工研究院、中国汽车工程研究院、中国第一汽车集团公司、浙江吉利控股集团有限公司、江南模塑科技股份有限公司组成了从材料设计、制造、应用研发到规范与标准制定的优秀科研团队。对于天然生物纤维/聚合物生态复合材料的研究与开发我国起步较晚，各科研部门尤其是一批高校，如华中科技大学、国防科学技术大学、湖南大学、四川大学、同济大学等，针对纤维提取、表面改性以及复合材料的制备与性能开展了一定研究，先后获得“863”计划、国家自然科学基金、上海市科委、Boeing 公司等支持，也有一定进展。

目前，我国汽车材料产业已经粗具规模，大量自主研发的新材料以及新技术已经成功实现商业化。我国车用高性能钢板、先进合金材料、高性能塑料等汽车材料对进口的依赖程度正在逐年下降。汽车铝合金材料（除板材外）及其成形技术能够基本满足当前国内汽车工业的发展需求。镁合金的研发与应用已经取得了初步的成果，车用镁铸件的生产已经初具规模。例如：上海大众桑塔纳轿车变速器壳体采用镁合金。碳纤维、天然纤维生态复合材料的研发已取得一定成果，部分材料得到了应用。

## 1.4 汽车新材料应用的发展趋势

轻量化技术是汽车发展的重要方向之一。减轻汽车自身的重量是降低汽车排放，提高燃烧效率的最有效措施之一。相关研究报告指出，汽车的自重每减少 10%，燃油的消耗可降低 6%~8%，排放降低 4%。为适应和满足汽车未来发展需要，世界汽车材料技术发展的主要方向是轻量化、环保和可回收再应用技术。因此，汽车新材料的应用发展态势主要体现在以下几方面：

### 1.4.1 钢铁材料仍占据主导地位

在今后很长一段时期内，钢铁材料在汽车材料中所占的比例将会保持相对稳定，但是其内部结构将会发生变化。其主要变化趋势是高强度钢和超高强度钢的用量将大幅度增加，而中、低强度钢和铸铁的比例则会逐步下降。高强度钢是一种具有很大竞争力的汽车轻量化新材料，与其他材料相比在耐蚀性能、抗碰撞性能以及成本等方面具有很大的优势。今后，高强度钢将会成为汽车钢铁材料的主要发展方向之一<sup>[2,4]</sup>。

### 1.4.2 铝及其合金材料在汽车中的应用范围将进一步扩大

铝是应用较早且技术日趋成熟的轻量化材料，它在汽车中的用量呈现不断增长的趋势。汽车中应用的铝主要以铝铸件为主，约占汽车用铝量的 80%。而铝冲压件、铝锻件以

及铝板在汽车中的用量较小。此外，由于铝挤压型材有较高的力学性能和成形性能，可以生产各种断面形状的型材，近年来在汽车上的用量开始迅速增加<sup>[6]</sup>。目前，在汽车轻量化的带动下，铝合金及其应用技术得到了迅猛的发展。各大汽车厂商不断推出了采用全铝车身以及铝密集型的新款汽车，这些新车中铝的用量不断增加。譬如，福特 P2000 铝的比例达到了 37%。而全新的奥迪 A8 轿车通过采用性能优异的大型铝铸件和液压成型部件，从而使汽车车身零件的数量从 50 个减少到 29 个，且车身框架完全闭合（如图 1.2）。这种车身结构不仅可以使车身的扭转刚度提高 60%，还能够比同类车型的钢制车身重减少 50%。目前，铝在汽车中的应用正朝车身零件及结构件的方向发展，其应用范围将会不断扩展，从而有望成为仅次于钢的第二大汽车材料。

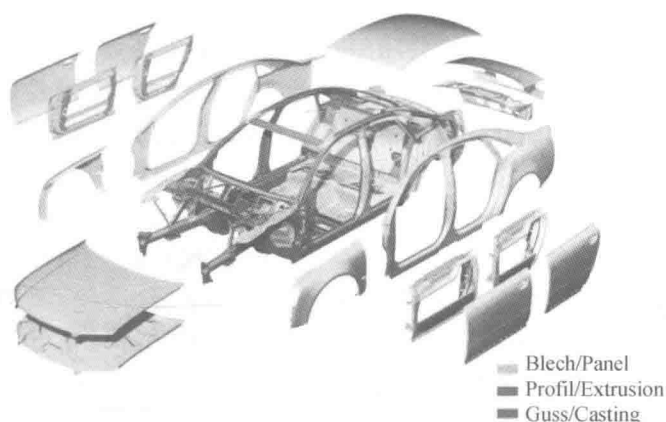


图 1.2 采用全铝框架结构的奥迪 A8 轿车车身

### 1.4.3 镁应用呈现快速增长态势

镁是比铝更轻的一种轻金属材料，它能够在铝减轻质量的基础上再减轻 15%~20%。在汽车轻量化的推动下，镁在汽车中的应用已经成为汽车材料领域的一个重要发展方向。目前，车用镁材料在汽车中的应用正以年均 20% 的增长速度迅猛发展。

目前，采用镁合金制造汽车底盘、车身、转向盘、座椅骨架、各种支架、仪表板骨架、进气歧管等汽车零部件已经成功实现工业化生产。而镁在汽车中应用的下一个目标是汽车发动机等动力系统的零部件，各大汽车厂商均加大了对镁合金在发动机等动力系统零部件上的研发<sup>[7]</sup>。

但是，镁在汽车中的大量应用还需解决一些现有不足和问题。例如，对车用镁材料的特性缺乏深层次的理解、欠缺车用镁材料的很多性能数据、车用镁零部件的防蚀技术有待提高、汽车镁零部件的设计以及使用经验存在不足等。

### 1.4.4 汽车材料以塑代钢和汽车塑料单一化发展

当今世界汽车材料正朝着轻量化、环境友好和可回收方向发展。因此，以塑代钢，增加塑料类材料在汽车中的使用量，便成为降低整车重量，增加汽车有效载荷的关键。目前，德国、美国、日本等国的汽车塑料用量已达到 10%~15%，有的甚至达到了 20% 以上。从现代汽车使用的材料来看，工程塑料不仅应用于汽车内外饰件，而且可应用于部分功能和结构件。近年来应轻量化大势所趋，各车企纷纷研发并采用了轻量化设计的车型，大幅

提高了塑料的使用率。例如,宝马2013年量产的BMW i3纯电动汽车,外壳材料为塑料、底盘材料为铝合金,与传统同类车型相比,实现减重250~350kg。在我国自主品牌中轿车和轻型车中,CA7220红旗轿车中的塑料用量为88.33 kg,上海桑塔纳为67.2 kg,奥迪为89.98 kg,富康为81.5 kg。

汽车工业的发展离不开汽车塑料化的进程,汽车的塑料化程度已成为衡量汽车工业发展水平的标志之一。目前,汽车中的油箱、水箱、发动机盖等组件越来越多地使用塑料。同时,汽车内饰新材料的发展也促进了汽车塑料化的发展进程。此外,汽车的高科技化,如防撞系统、导航系统、安全气囊等的应用使塑料在汽车上的应用范围日益广阔。在汽车塑料中,塑料品种繁多,而且许多为热固性材料,存在难以回收利用等问题。汽车轻量化、环保、可回收的趋势加速了汽车塑料单一化进程。

聚丙烯(PP)以其轻质、成型性好和可回收利用等特点和优势正逐渐成为车用塑料中用量最多的品种,在欧洲、美国和日本的汽车用塑料中都居首位。聚丙烯(PP)的密度小,易成型,耐热性和耐化学腐蚀性强,尤其是近年来,随着合金化、共聚、复合、共混、动态硫化等聚丙烯改性技术的发展,高超韧性、高流动性、高耐热性、高刚性等各种高性能聚丙烯相继问世,改性聚丙烯作为重要的新型结构材料,在汽车上的应用越来越广泛,用以替代较为昂贵的工程材料。此外,出于对环保和便于回收循环使用的考虑,汽车工业更强调使用互相兼容的塑料,车用塑料的种类趋向统一化,而聚丙烯利于回收再利用,而且综合性能/价格比高,逐渐成为汽车用塑料的主导产品。科技部“十一·五”支持的“863”重点项目“汽车用改性聚烯烃材料单一化关键技术”就着重研发聚丙烯单一化技术及其与天然纤维复合的轻量、环保、可回收汽车新材料。聚丙烯及其复合材料可广泛应用于汽车保险杠、仪表板、内外饰、空调系统部件、蓄电池外壳等,这些应用占全车聚丙烯用量的一半以上,其他应用还包括冷却风扇、方向盘、各种壳体等。据预测,五年内全世界汽车PP用量将增长50%。

#### 1.4.5 纤维增强复合材料成为汽车新材料领域热点和亮点

纤维增强复合材料由于其优异的力学性能成为汽车新材料领域的热点和亮点。低成本碳纤维增强树脂基复合材料和天然纤维增强树脂基复合材料将是未来推动汽车产业升级换代和变革的重要材料。以纤维增强复合材料制造的车窗、车门、车轮、骨架乃至全塑汽车已逐步出现,成为汽车材料“以塑代钢”的重要推手。

由于碳纤维具有优异的力学性能,很好的耐热性,较好的导电性和电磁屏蔽性能等,因此在许多高新技术领域及民用领域得到广泛应用。碳纤维增强树脂基复合材料在汽车轻量化先进设计制造中具有十分明显的优势。车用碳纤维增强树脂基复合材料的密度一般为 $1.5\sim 2.0\text{ g/cm}^3$ ,只有普通钢材的 $1/4\sim 1/5$ 左右,比铝合金还要轻 $1/3$ 左右。然而,碳纤维复合材料的机械性能十分优异,其抗拉强度比钢材高 $3\sim 4$ 倍,刚度比钢材高 $2\sim 3$ 倍,复合材料的耐疲劳性比钢材高 $2$ 倍左右,重量比钢材轻 $30\%\sim 40\%$ ,热膨胀系数小 $40\%\sim 50\%$ <sup>[8]</sup>。

目前,碳纤维增强树脂基复合材料在汽车领域的主要应用包括:发动机系统中的连杆、推杆、摇杆、水泵叶轮,传动系统中的传动轴、离合器片、加速装置及其壳罩等,底盘系统中的悬置件、散热器、弹簧片、框架等,车体上的车顶内外衬、侧门、地板等。例如,大众汽车公司在2L车CC1研究项目中,采用了大量的碳纤维复合材料,其中用于车

身的比例就达到 45%<sup>[9]</sup>。据估计,碳纤维在汽车领域的使用量正以年均 34% 增长,到 2020 年将达到 23 000 吨<sup>[10,11]</sup>。

天然纤维增强聚合物轻量生态复合材料(natural fiber reinforced plastics,简称 NFRP)是利用天然生物质纤维与热塑性树脂基体或热固性树脂基体复合而成的一种新型材料。该类材料具有生态环保、可回收,质轻、高强、高模,耐冲击性强及成本低等优异特性,正成为汽车新材料研发的热点和重要发展方向之一。

德国的 BASF 公司选用剑麻、黄麻以及亚麻等天然纤维为增强纤维,与聚丙烯等热塑性聚合物复合,制备了天然纤维增强聚合物基复合材料,其面密度为 500~1 800 g/m<sup>2</sup>,厚度介于 2~13 mm 之间,针刺强度为 20~40 针/cm<sup>2</sup>,比玻璃纤维增强热塑性复合材料轻了 17% 左右。这种天然纤维增强复合材料具有加工简单,生产成本低等特点,可作为轿车的内饰件、吸噪声板、备用轮罩等。图 1.3 为奔驰轿车中使用天然纤维复合材料制作的零部件<sup>[12,13]</sup>。Bayer 与其子公司 Hennecke 公司合作研发了亚麻/聚氨基甲酸酯复合材料,并用其生产汽车装饰物。美国 Chrysler 公司采用天然纤维增强 PET 推出全塑料车身的汽车,使天然纤维增强塑料车身应用技术进入了经济车领域,成为全塑汽车的里程碑<sup>[14]</sup>。



图 1.3 使用天然纤维/树脂基复合材料制作的轿车内饰件<sup>[12,13]</sup>

#### 1.4.6 汽车轻量化、环保、可回收趋势加快了其他新材料在汽车领域中的应用

(1) 钛合金。在车用轻质金属材料中,钛的强度远远高于其他材料,其强度能够与合金钢相当,因而受到全球汽车工业广泛关注。此外,钛合金还能够在很多恶劣条件下工作,而在这些恶劣条件下铝、镁合金材料则无法满足汽车的性能要求。然而,钛合金材料价格高,加工条件复杂,极大限制了其在商用汽车中的应用。目前,汽车工业正在不断研发价格低廉的钛合金材料,并通过改进钛合金的加工工艺来降低汽车钛合金零部件的生产成本,从而促进钛合金在汽车工业的发展。随着制造成本的降低,很多汽车厂商已经成功将钛合金材料应用于批量生产的商业化轿车上<sup>[4]</sup>。美国在其新一代汽车研究计划中指出:钛在汽车上的可能应用主要分布在发动机零件和底盘零件上,每辆汽车仅底盘部件的潜在用钛量就达 9.9 kg。由于汽车用钛合金零部件的出色性能,发达国家的汽车用钛量持续增长,随着材料技术的进步,钛合金的生产和加工成本将不断降低,有望在汽车上得到更大

的应用。

(2) 泡沫材料。泡沫材料是一种新型的汽车轻量化材料，一般可以分为金属泡沫料（如泡沫铝）和非金属泡沫材料（如泡沫塑料）两大类。泡沫材料不仅可以减轻汽车零部件的质量，同时还具有隔热、降噪、减振、吸能以及良好的刚度与抗压缩等性能。因此，在汽车轻量化材料中，泡沫材料已经成为一个研究热点，其应用范围越来越广泛。

(3) 不锈钢。不锈钢在汽车中的应用已经有很长的历史，但是不锈钢作为汽车轻量化材料应用于汽车的结构零件是最近几年才开始研发的。一般认为，具有轻量化潜力的不锈钢主要是高强度不锈钢，比如 AISI200 和 AISI300 系列高强度奥氏体不锈钢。目前，高性能的不锈钢已经用于制造汽车保险杠、前侧防撞弓形梁、发动机支架、后挡板等汽车零部件。采用高性能不锈钢可以使汽车零部件的质量降低 30% 左右。但是，不锈钢高昂的生产成本，严重制约了不锈钢在汽车中的应用。目前，降低不锈钢的生产及使用成本主要有两个途径：一是开发价格低廉的不锈钢材料；二是优化不锈钢汽车零部件的设计与加工工艺。

(4) 生物塑料。生物塑料是利用可再生资源（如玉米和其他农作物）制造出的生物材料，因其具有生物降解性而越来越受到重视。这主要是因为采用先进技术生产的聚合物比石油基聚合物更具竞争性，并且消费者对环境友好型替代产品的需求持续增加。

丰田汽车公司正在利用含淀粉丰富的甜土豆（淀粉含量比玉米高 40%~50%）开发用于汽车部件的生物塑料。该公司采用 Enzymes 工艺从土豆中提取淀粉，然后将淀粉分解成葡萄糖，最后将葡萄糖发酵变成乳酸后聚合成聚乳酸。丰田汽车公司再将聚乳酸制成商品名为“Eco-Plastic”的生物塑料，并于 2003 年首次商业化应用于汽车。日本的 Toray 公司用 Ecodear 植物来源的乳酸纤维制作的汽车座椅面料手感光滑柔软（如图 1.4），而且这种生物塑料制品的广泛应用将会对地球变暖以及减少化学材料使用量做出巨大贡献。



图 1.4 生物塑料座椅

在英国，生物塑料生产商 NetComposites 公司已经从政府那里获得开发用于汽车结构部件的高性能植物基塑料的基金。该公司计划将生产的生物塑料用来制备车门、驾驶室顶和顶棚等零部件。

(5) 玻璃钢复合材料。玻璃钢复合材料作为新材料前沿的复合材料逐步替代汽车零部件中的金属产品以及其他传统材料，并取得更加安全和经济的效果。目前，玻璃钢复合材料主要应用于汽车中的车身部件、汽车结构件及功能零部件上。图 1.5 是玻璃钢复合材料在梅德赛斯-奔驰 Coupe 车型中的应用实例<sup>[15]</sup>。

其他新型复合材料在汽车中的应用层出不穷。图 1.6 为复合材料在重型载货汽车中的典型应用实例——MAN TG-A<sup>[15]</sup>。图 1.7 为欧曼 ETX 重型载货车中汽车复合材料应用实例。

总之，国内外汽车新材料的发展与应用已取得显著成效，并在汽车轻量化中发挥着愈来愈重要的作用。汽车轻量化新材料及其应用技术的不断发展，必将有助于推动汽车产业的可持续发展。



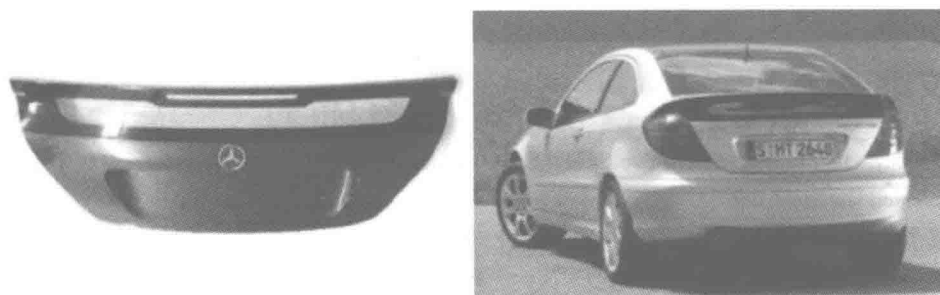


图 1.5 梅德赛斯—奔驰 Coupe 车型 SMC 后尾门

■ MAN TG-A

MAN TG-A



MAN TGA SMC truck bumper:34kg

- 保险杠
  - 驾驶室顶导流板
  - 侧导流板
  - 翼子板与脚踏板连体
  - 翼子板延伸板
  - 后翼子板外盖板
  - 后翼子板
  - 门板延伸板
  - 蓄电池盒盖板等
- (上述SMC部件合计185kg)

图 1.6 复合材料在重型载货汽车中的典型应用实例——MAN TG-A



图 1.7 欧曼 ETX 重型载货车中复合材料应用