

# 轻量化发展白皮书

White Papers of Lightweight Development

2022



中国（德国）研发创新联盟-轻量化专业委员会编辑  
CFEID e.V. - LIGHTWEIGHT PROFESSIONAL COMMITTEE EDIT

# 序一

亲爱的白皮书的读者们：

我谨代表中国（德国）研发创新联盟，在此为联盟轻量化专委会白皮书的发布，表示热烈祝贺！

中德两国政府均将轻量化技术列入国家发展战略，大力推进系统轻量化、结构轻量化以及轻量化新材料的创新和应用。联盟成立至今，根据当前世界科技创新、学科交叉融合发展的特点，紧紧依靠中德两国的科学技术资源，坚持问题需求为导向，解决企业发展瓶颈问题，开展多元化开放式合作，适应国际科技新变化。积极整合创新资源，不断拓展创新宽度与深度，增强创新能力，夯实创新基础，确保国际合作创新的可持续发展。

联盟以“共商、共建、共享”为宗旨，坚持“正当其时，舍我其谁”的理念，成立轻量化专业委员会。专委会作为中德两国科技创新和友好交流的桥梁，是一个提供中德两国轻量化技术、信息、资源、人才对接的平台，将发挥中德两地资源优势，进一步加强中德两国间在轻量化技术领域的合作共赢，促进民间轻量化技术交流创新，满足两国轻量化技术需求。

发表轻量化白皮书，是专委会信息交流平台搭建的重要一环。白皮书中涵盖了专委会简介、中德两国轻量化技术发展简介以及专委会成员单位简介。希望能够通过这份白皮书，扩大专委会在行业内的影响力，并将专委会的现阶段成果汇报给行业内企业以及相关政府机构，为专委会未来的发展打下坚实的基础。

最后，感谢参与白皮书编撰的各位同仁！感谢你们为联盟和专委会的付出，感谢你们为中德研发创新工作的努力！



雷宪章  
德国国家工程院院士  
中国(德国)研发创新联盟主席  
2022 年 5 月

## 序二

积极推动汽车轻量化发展，助力“双碳”目标实现

（2022年6月20日在轻量化专委会第二次会员论坛上的发言）

尊敬的各位来宾、各位专家、各位同仁，朋友们：

大家好！

感谢主办方的盛情邀请，非常有幸出席中国（德国）研发创新联盟轻量化专委会“轻量化专题交流”论坛，非常高兴通过云端在线上和各位新老朋友见面，探讨和推进汽车轻量化发展应用事项，对进一步推动汽车产业低碳可持续发展具有重要的现实和战略发展意义。首先，我谨代表中国汽车工业协会，热烈祝贺论坛会的顺利召开！

中国（德国）研发创新联盟轻量化专委会，本着共商、共建、共享的宗旨，致力于中德两国科技创新合作和交流，搭建中德两国轻量化技术、信息、资源、人才的对接平台，非常值得肯定！

众所周知，21世纪汽车制造业呈现出电动化、智能化、网联化和共享化的发展趋势，在此大背景下，汽车轻量化是实现汽车新四化的重要举措，也是实现汽车节能减排的重要技术路径，有效助推汽车产业的可持续发展。汽车轻量化不仅关系到车辆的节能、减排、安全、成本等诸多方面，同时也对世界能源、自然资源和环境具有深刻的影响，成为汽车设计、汽车材料应用技术发展的主导方向和世界汽车发展的趋势。下面我简要讲几点供大家批评指正：

### 一、汽车轻量化能够减少损耗、提高效率，这是全汽车产业一致共识。

对于传统燃油车，轻量化通过减重可以降低二氧化碳的排放。据测算，传统燃油车整备质量每减少100kg，每百公里油耗可降低0.3-0.6L，二氧化碳排放可减少约6-14克/km。对于新能源汽车，轻量化构造可以降低电动车的重量，提高电动车的行驶里程。电动车整备质量每减少10%，续航里程将提升5-6%，以整备质量1500kg、续航500km的新能源汽车为基准，汽车整备质量每减少150kg，续航里程提升25km。此外，轻量化趋势下，整车的制动性能、加速性能以及最大时速等参数也会得到较好的表现。

### 二、轻量化是汽车产业绿色转型的重要手段，新能源汽车轻量化是未来发展的重点方向。我们将坚定不移。

随着国内外主要国家陆续发布实现碳中和的承诺，汽车节能减排压力增加，加速了轻量化技术发展步伐，汽车轻量化未来的关键是多材料设计，且从一开始便融入产品的开发和生产方案中，采用智能设计、新工艺和数字化的价值创造链，在减重的同时保证安全、提高性能、增加舒适度。实现汽车轻量化主要通过整车优化结构设计、使用轻量化材料和加强制造工艺创新，在遵循轻量化原则的前提下，不断地挖掘轻量化潜力，展现新的生命力。

### 三、中国汽车产业持续关注轻量化发展和应用，并将持续强力推进。

中国作为全球汽车产销第一大国，汽车制造业是国民经济的支柱产业，伴随着能源短缺和环境污染问题的日益凸显，在国家“双碳”目标约束下，轻量化成为汽车行业碳减排关注的焦点。《节能与新能源汽车技术路线图 2.0》提出轻量化系数总体目标，要求 2025 年/2030 年/2035 年燃油乘用车轻量化系数分别降低 10%/18%/25%，纯电动乘用车轻量化系数分别降低 15%/25%/35%；轻量化领域近期以完善高强度钢应用体系为重点，中期以形成轻质合金应用体系为方向，远期以形成多元材料混合应用体系为目标。

### 四、中国汽车轻量化逐步向纵深方向快速发展，还将强化力度、加快速度。

近年来，燃油乘用车呈现出小排量发动机高效化且车身轻量化趋势，但与汽车发达国家相比仍有较大差距，主要体现在：

一是汽车轻量化材料、工艺和结构设计技术难以达到国际一流，目前高端轻量化材料仍然大多依赖国外发达国家和地区（美日欧，德英法韩），国内车企轻量化正向设计追赶难度仍然较大；

二是国内汽车轻量化材料数据库尚未打通共享，轻量化标准和评价体系还不完善；

三是部分轻量化新技术、新材料在汽车产业链难以应用。从数据看，中国自主品牌轿车的整备质量约比发达国家同类轿车平均重 8%~10%，商用车平均重 10%~15%。

### 五、“双碳”目标下，汽车轻量化需从技术、标准和产业链合作方面实现突破，这是我们的共同使命。

一是加强汽车轻量化材料、工艺和设计等科学研究，攻克轻量化短板瓶颈、关键共性技术和工艺，提升整车轻量化正向研发和设计水平。

二是建议整合各大车企数据库和行业轻量化数据系统，推动国内汽车轻量化数据库共享，完善汽车轻量化标准和评价体系。

为此，建议中德创新联盟轻量化专委会进一步发挥积极作用，加强汽车产业链上下游企业合作，引导国内轻合金、碳纤维、复合材料和先进成型工艺等突破市场瓶颈，实现优质国产材料的汽车应用。

## 六、真诚倡议，携手推动中国汽车轻量化发展和应用迈向新阶段。

汽车轻量化是汽车厂商重要的竞争力之一，是汽车产业的重要发展方向，也是一个国家技术先进程度的重要体现之一。在环保节能和激烈的市场竞争环境下，越来越多的整车、零部件厂商开始追求轻量化。中国汽车轻量化虽然起步较晚，但借助着国家“双碳”战略目标要求和中国制造的产业链优势，主流车企轻量化技术不断应用，国内汽车轻量化发展迅速，未来可期。让我们携手努力，共同推进中国汽车轻量化发展迈向新阶段。

各位专家、各位同仁，中德研发创新联盟轻量化专委会成立以来，对促进两国技术合作与进步，推动汽车产业尤其是新能源汽车轻量化技术发展方面发挥了重要作用，“汽车轻量化专题论坛”对汽车轻量化材料发展前景、产品轻量化设计等都做了很好信息、成果分享，并对中国汽车轻量化发展发表真知灼见。真诚地期待中德专家共同努力推动中国汽车轻量化发展，促进汽车产业低碳可持续高质量发展。

各位来宾、各位专家、各位同仁，让我们凝聚力量，贡献智慧，为开创中国汽车轻量化、低碳化发展的新局面而共同努力！

分享信息、分享成果、分享观点、分享智慧，祝本次论坛会取得圆满成功！同时，祝中德研发创新联盟轻量化专委会运行顺利，取得更好成效，为促进中德研发创新合作和交流、汽车轻量化发展和推广运用做出更大贡献。

祝各位来宾、各位专家健康平安，顺心愉快！

谢谢大家！



叶盛基  
中国汽车工业协会总工程师  
中国汽车工业协会副秘书长  
2022年6月

## 目录

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 序一 .....                      | 1  |
| 序二 .....                      | 2  |
| 第一章中国汽车轻量发展报告.....            | 7  |
| 一、概述.....                     | 7  |
| 二、基本情况.....                   | 8  |
| 三、轻量化技术及其发展现状.....            | 12 |
| 四、中国汽车轻量化方向.....              | 13 |
| 五、国家政策支持.....                 | 14 |
| 六、吉林通用集团在轻量化方面的研究与应用.....     | 15 |
| 第二章中国轨道交通装备轻量化复合材料应用发展报告..... | 18 |
| 一、绪论.....                     | 18 |
| 二、轨道交通轻量化复合材料国内外发展与应用现状.....  | 18 |
| （一）国外发展现状.....                | 18 |
| （二）背景国内发展现状.....              | 21 |
| （三）小结.....                    | 23 |
| 三、轨道交通复合材料市场前景与经济性分析.....     | 23 |
| （一）市场前景.....                  | 23 |
| （二）经济性.....                   | 23 |
| （三）小结.....                    | 24 |
| 四、总结.....                     | 24 |
| 第三章德国轻量化发展简介.....             | 25 |
| 一、德国国家轻量化计划与目标.....           | 27 |
| 二、德国主要轻量化团队和机构.....           | 28 |
| （一）“欧洲轻量化之父”胡芬巴赫院士团队.....     | 28 |
| （二）德国德累斯顿工业大学轻量化及复合材料学院.....  | 30 |
| 1. 概况.....                    | 30 |
| 2. 九大研究团队.....                | 31 |
| 3. 研发装备.....                  | 33 |
| （三）德国德赢技术公司.....              | 34 |
| （四）德国巴登符腾堡州轻量化局.....          | 35 |
| 第四章中德轻量化领域合作典型案例.....         | 36 |
| 一、背景与历程.....                  | 36 |
| 二、合作成果.....                   | 38 |
| （一）合作模式.....                  | 38 |
| （二）项目成果.....                  | 38 |
| （三）人才培养.....                  | 40 |
| （四）技术转移.....                  | 41 |
| （五）社会效应.....                  | 41 |
| 第五章中国（德国）研发创新联盟轻量专业委员会.....   | 42 |
| 联盟轻量化专委会部分成员.....             | 42 |
| 参考文献.....                     | 59 |
| 轻量化发展白皮书 2022 编委会.....        | 60 |



## 图表

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 图表 1 各汽车厂家部分镁合金零件.....       | 11 |
| 图表 2 新能源汽车销量占比.....          | 13 |
| 图表 3 新能源汽车市场竞争格局.....        | 14 |
| 图表 4 产品设计和生产工业.....          | 15 |
| 图表 5 产品轻量化实例展示.....          | 16 |
| 图表 6 铝锻轻量化案例分享.....          | 16 |
| 图表 7 钢锻轻量化案例分享.....          | 17 |
| 图表 8 日本典型复合材料车体实例.....       | 18 |
| 图表 9 韩国碳纤维复合材料应用情况.....      | 19 |
| 图表 10 韩国碳纤维复合材料车体研究方案.....   | 19 |
| 图表 11 韩国铁研碳纤维复合材料地铁转向架.....  | 19 |
| 图表 12 欧洲碳纤维复合材料零部件.....      | 20 |
| 图表 13 欧洲各类复合材料车体.....        | 21 |
| 图表 14 欧洲试制的复合材料转向架.....      | 21 |
| 图表 15 下一代地铁碳纤维复合材料车体.....    | 22 |
| 图表 16 碳纤维复合材料车体.....         | 22 |
| 图表 17 碳纤维复合材料枕梁.....         | 23 |
| 图表 18 在德国企业中推广轻量化的阻碍和风险..... | 27 |

## 第一章

# 中国汽车轻量化发展报告

作者：李吉宝

### 一、概述

轻量化技术对汽车产业的可持续发展具有重要意义，不仅关系到车辆的节能、减排、安全、成本等诸多方面，同时也对世界能源、自然资源和环境具有深刻的影响，它已成为汽车设计和汽车材料应用技术发展的主导方向。汽车轻量化技术是轻量化设计、轻量化材料、轻量化制造技术的集成应用。具体而言，实现轻量化的途径有三种。一是通过整车优化结构设计，如采用优化设计除去零部件的冗余部分（使零部件薄壁化、中空化），部件零件化、复合化以减少零件数量，设计全新的结构等。二是优化材料设计，主要是采用轻量化材料以减轻零部件质量。两者相辅相成，互相作用。轻量化材料是指用来减轻汽车自重的材料，它有两大类：一类是低密度的轻质材料，如铝合金、镁合金、钛合金、塑料和复合材料等，主要用于发动机气缸体、转向盘骨架等非结构件；另一类是高强度材料来降低钢板厚度，如采用高强度钢。三是采用先进的制造工艺，使用基于新材料加工技术而成的轻量化结构用材，如连续挤压变截面型材、金属基复合材料板、激光焊接板材等。

目前，我国与汽车发达国家现有汽车轻量化水平有很大的差距，我国自主品牌轿车的自质量约比发达国家同类轿车平均重 8%~10%，商用车平均重 10%~15%。我国在节能和新能源汽车开发中，尤其是电动汽车（包括纯电动、混合动力和燃料电池汽车）开发中，汽车轻量化问题也十分突出。另外，国务院 2012 年发布的《节能与新能源汽车产业发展规划（2012-2020 年）》提出，到 2020 年，当年生产的乘用车平均燃料消耗量降至 5.0 升/百公里，节能型乘用车燃料消耗量降至 4.5 升/百公里以下；商用车新车燃料消耗量接近国际先进水平。规划目标能否实现，与汽车轻量化技术水平是分不开的。由此可见，我国汽车轻量化大有潜力可为。

新能源汽车轻量化是未来汽车行业发展方向之一，特别是对于时下发展迅速的新能源汽车而言，重量的减轻直接意味着续航里程的增加。研究发现，对纯电动汽车而言，整车重量降低 10kg，续驶里程可以增加 2.5km。所以越来越多的整车、零部件厂商都开始重视轻量化。

中国汽车轻量化起步较晚，借助中国制造的产业链优势，中国汽车产业发展迅速，但是与国外品牌相比，自主品牌面临巨大挑战（技术、成本、品牌等），



不过中国主流车企大力推进轻量化技术应用，对整车质量进行管控，正在以实际行动为“双碳”国家战略做出贡献。

与国外品牌车型相比，中国汽车在轻量化技术研究储备和应用有一定差距，整车铝镁合金和高分子材料等轻量化材料应用比例较低。但是近年来很多车企在车型开发过程中的重量管理和轻量化技术进行不断创新和升级，在汽车轻量化材料、先进的加工工艺、结构优化的设计等方面有了长足发展，整车重量和轻量化的市场竞争力逐渐提高，重量管理体系逐渐成熟。

## 二、基本情况

### （1）轻量化的概念

轻量化这一概念最先起源于赛车运动，它的优势其实不难理解，重量轻了，可以带来更好的操控性，发动机输出的动力能够产生更高的加速度。

由于车辆轻，起步时加速性能更好。随着“节能环保”越来越成为广泛关注的的话题，轻量化也广泛应用到普通汽车领域，在提高操控性的同时还能有出色的节油表现。汽车的油耗主要取决于发动机的排量和汽车的总质量，在保持汽车整体品质、性能和造价不变甚至优化的前提下，降低汽车自身重量可以提高输出功率、降低噪声、提升操控性、可靠性，提高车速、降低油耗、减少废气排放量、提升安全性。

### （2）轻量化的主要指导思想

在确保稳定提升性能的基础上，节能化设计各总成零部件，持续优化车型谱。

汽车的轻量化，就是在保证汽车的强度和安全性能的前提下，尽可能地降低汽车的整备质量，从而提高汽车的动力性，减少燃料消耗，降低排气污染。有关研究数据表明，若汽车整车质量降低 10%，燃油效率可提高 6%~8%；若滚动阻力减少 10%，燃油效率可提高 3%；若车桥、变速器等机构的传动效率提高 10%，燃油效率可提高 7%。由此可见，伴随轻量化而来的突出优点就是油耗显著降低。汽车车身约占汽车总质量的 30%，空载情况下，约 70%的油耗用在车身质量上，因此车身的轻量化对减轻汽车自重，提高整车燃料经济性至关重要。同时，轻量化还将在一定程度上带来车辆操控稳定性和一定意义上碰撞安全性的提升。车辆行驶时颠簸会因底盘重量减轻而减轻，整个车身会更加稳定；轻量化材料对冲撞能量的吸收，又可以有效提高碰撞安全性。因此汽车轻量化已成为汽车产业发展中的一项关键性研究课题。

### （3）轻量化的设计理念

汽车轻量化是汽车产业的发展方向之一，也是一个汽车厂商和国家技术先进程度的重要标志。2019 年我国汽车保有量是 2.5 亿辆，预计到 2025 年将突破 2.8

亿辆，我国大气污染中，汽车尾气排放所占比例已超过 70%，汽车燃油消耗和二氧化碳的排放量直接相关，1 升的燃油会产生 2.5 千克二氧化碳，目前我国汽车的平均油耗水平与发达国家相比仍有很大的差距。实验证明，汽车本身重量约占燃油总消耗的四分之一，若汽车整车重量降低 10%，燃油效率可提高 6%~8%；汽车重量降低 1%，油耗可降低 0.7%；汽车整备质量每减少 100 千克，百公里油耗可降低 0.3~0.5 升，二氧化碳排放可减少约 10 克/公里。这意味着：只有通过科学的方式，降低汽车自重，就可以有效减少燃油消耗。油耗的降低，意味着汽车的排污量的降低。因此，减轻汽车自重，对于燃油汽车，是节能环保的最有效措施之一。而在驾驶方面，汽车轻量化后其加速性能也将得到提高。由于降低了汽车质量，碰撞时产生的惯性小，制动距离也将减少，整个需要被吸收转移的能量就会减少。同时，轻的汽车制动效果好，便于主动安全控制。另外，根据 2016 年国家发布《节能与新能源汽车技术路线图》，新能源汽车是发展方向。到 2030 年，新能源汽车销量占整个汽车销量的 40%。作为节能轻量化的汽车，铝合金零件是新能源汽车产业的基础。由此可见，汽车轻量化的节能环保效益绝不亚于汽车发动机节油技术。当前，由于环保和节能的需要，汽车的轻量化已经成为世界汽车发展的潮流。

汽车是我国国民经济的重要经济支柱之一，是达到十万亿产值的红海产业。但是汽车产业也面临严峻的能耗和环保问题。汽车轻量化是汽车产业绿色转型的重要支撑。近年来，随着国内外主要国家陆续发布实现碳中和的承诺，汽车节能减排的压力剧增，加速了轻量化技术发展步伐，这对于汽车轻量化水平的发展具有积极的推动作用。

#### （4）轻量化所需材料

使用新型材料据统计,汽车车身、底盘(含悬架系统)、发动机三大件约占一辆轿车总重量的 65%以上。其中车身内外覆盖件的重量又居首位。因此减少汽车白车身重量对降低发动机的功耗和减少汽车总重量具有双重的效应。为此,首先应该在白车身制造材料方面寻找突破口。具体可以有如下几种方案:(1)使用密度小、强度高的轻质材料,像铝镁合金、塑料聚合物材料、陶瓷材料等;(2)使用同密度、同弹性模量而且工艺性能好的截面厚度较薄的高强度钢;(3)使用基于新材料加工的轻量化结构用材,如连续挤压变截面型材、金属基复合材料板、激光焊接板材等。

有色金属材料铝具有良好的机械性能,其密度只有钢铁的 1/3,机械加工性能比铁高 4.5 倍,耐腐蚀性、导热性好。其合金还具有高强度、易回收、吸能性好等特点。汽车工业运用最多的是铸造铝合金和形变铝合金。运用形变铝材制造车身面板的技术已经比较成熟,包括发动机罩、行李箱罩、车门、翼子板等。保险杠、

轮毂和汽车结构零件也广泛使用铝合金材料。运用铝合金也面临不少问题,比如,铝合金加工难度比钢材高,成型性还需继续改善;由于铝导热性好,导致铝合金的焊接性能差;不能像钢板那样采用磁力搬运等。其中,关键是成本问题,目前铝价还比较高,成本控制对铝合金的运用非常重要。镁合金具有与铝合金相似的性能,但是镁的密度更低,它们的密度之比为 1.8 : 3,是当前最理想、重量最轻的金属结构材料,因而成为汽车减轻自重、以提高其节能性和环保性的首选材料。但其铸造性差,后处理工艺复杂,成本高。我国的镁资源非常丰富,储量占世界首位。但是国内用量很少,尤其汽车行业用量极少,因此前景非常广阔。而西方工业发达国家对铝基、镁基的金属基复合材料的开发与应用,已达到了产业化阶段。用高强度钢替代原使用材料,能适当减小零件尺寸。世界上广泛通过进一步提高合金钢、弹簧钢、不锈钢等钢种的比强度和比刚度,以及粉末冶金配件具有的多孔密度低、精度高、成本低等特点,来作为汽车轻量化的措施。采用高强度钢板在等强度设计条件下可以减少板厚,但是车身零件选定钢板厚度大都以元件刚度为基准,因此实际板厚减少率不一定能达到钢板强度的增加率,不可能大幅度地减轻车重。高强度钢板在汽车上应用的目的主要有 3 点:增加构件的变形抗力,提高能量吸收能力和扩大弹性应变区。由于运用高强度钢板的经济性和相对容易性,因此应大力提倡在汽车上运用高强度钢板。现在各国都在加速高强度钢和超高强度钢在汽车车身、底盘、悬架、转向等零部件上的运用。

塑料和复合材料与相同结构性能的钢材相比,塑料和复合材料一般可减轻部件的重量在 35%左右。低密度与超低密度片状成型复合材料的发展提供了更多的潜力,在重量减轻与强度方面达到甚至超过了铝材,整体成本通常更低。塑料是由非金属为主的有机物组成的,具有密度小、成型性好、耐腐蚀、防振、隔音隔热等性能,同时又具有金属钢板不具备的外观色泽和触感。目前,塑料大都使用在汽车的内外饰件上,如仪表板、车门内板、顶棚、副仪表板、杂物箱盖、座椅及各类护板、侧围内衬板、车门防撞条、扶手、车窗、散热器罩、座椅支架等。而后逐渐向结构件和功能件扩展。例如发电机及其相关系统、冷却系统。

其他轻量化材料精细陶瓷是继金属、塑料之后发展起来的第 3 大类材料。其发展史只有 20 年左右,但具有优良的力学性能(高强度、高硬度、耐腐蚀、耐磨损等)和化学性能(耐热冲击、抗氧化、蠕变等)。作为轻量化材料用于汽车零件,不仅直接起到轻量化的作用,更因其优良的耐热性、耐腐蚀性和耐磨性,用于汽车发动机燃烧室及热交换器等零件,使功率提高,油耗大大下降,从节能角度看则间接地起到轻量化效果。蜂窝夹层材料是早已在飞机上采用的材料,其最大特点是刚性高、比强度高、密度低。目前应用在汽车上的实例还不多,但应用研究在不断前进,将来会较多地得到运用。随着轻量化材料技术,包括生产工艺、装配、连接、材料

性能等的不断发展和成熟,针对不同轻质材料的不同性能,进行多材料混合结构设计,即同一部件的组成零件可由不同材料制造,以实现所用的材料与零件功能达成最佳组合,已经成为未来汽车设计发展的方向。

镁合金是目前使用的最轻的金属结构材料。采用镁合金可在使用铝合金的基础上再减轻 15%-20%。目前镁合金制品的 62%应用在汽车产业上,汽车产业中镁合金用量较多的国家和地区主要是北美、欧洲、日本。现阶段镁合金在汽车上的应用主要集中于车身、发动机和内饰三大部分。

| 汽车厂家 | 用镁合金制造的部分汽车零件   |
|------|---|
| 通用   | 气缸盖、滤油器、空气滤清器壳、配电器、挡泥板支架、烟灰盒门、转向盘柱、前大灯罩、前大灯托架、发动机罩格栅、进气格栅中心座、前大灯框架、配电器、挡泥板支架、离合器壳、制动器 |
| 福特   | 离合器踏板托架、转向柱定位机构、分动器壳  |
| 克莱斯勒 | 变速器壳体   |
| 大众   | 曲轴箱、变速器壳体、增压器壳、正时齿轮、离合器壳  |
| 沃尔沃  | 节气门连杆、手制动连杆、车门外把手   |
| 奔驰   | 座椅架   |
| 奥迪   | 仪表板   |
| 保时捷  | 风扇、风扇架、车轮   |

图表 1 各汽车厂家部分镁合金零件

### 三、轻量化技术及其发展现状

目前汽车轻量化技术还处于很不成熟的阶段,未来将有很大发展前景。

汽车轻量化的技术内涵是:采用现代设计方法和有效手段对汽车产品进行优化设计,或使用新材料在确保汽车综合性能指标的前提下,尽可能降低汽车产品自身重量,以达到减重、降耗、环保、安全的综合指标。然而,汽车轻量化绝非是简单地将其小型化。首先应保持汽车原有的性能不受影响,既要有目标地减轻汽车自身的重量,又要保证汽车行驶的安全性、耐撞性、抗振性及舒适性,同时汽车本身的造价不被提高,以免给客户造成经济上的压力。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。一方面汽车轻量化与材料密切相关;另一方面,优化汽车结构设计也是实现汽车轻量化的有效途径。

与汽车自身质量下降相对应,汽车轻量化技术不断发展,主要表现在:轻质材料的使用量不断攀升,铝合金、镁合金、钛合金、高强度钢、塑料、粉末冶金、生态复合材料及陶瓷等的应用越来越多;结构优化和零部件的模块化设计水平不断提高,如采用前轮驱动、高刚性结构和超轻悬架结构等来达到轻量化的目的,计算机辅助集成技术和结构分析等技术也有所发展;汽车轻量化促使汽车制造业在成形方法和联接技术上不断创新。目前,国内汽车轻量化材料正在加速发展,新型智能材料逐渐在汽车制造中得到应用。车用高性能钢板、镁合金已在汽车上有所应用。如上海大众桑塔纳轿车变速器壳体采用镁合金。随着镁合金材料的技术进步及其抗蠕变性能的进一步改善,自动变速器壳体以及发动机曲轴箱亦适合改用镁材料制造。若曲轴箱由铝改为镁,则可减轻 30%左右。传统的轿车车身结构是钢车身,现今也越来越多地采用高强度钢、精练钢、铝合金和夹层钢车身结构,其制造工艺有柔性化板材辊轧、剪拼焊接工艺技术、薄壁制造技术等。不锈钢与强度较高的碳钢相比,表现出不少优点,例如延展性更好、强度更高、更适合形状复杂的覆盖件成形。

上世纪 80 年代,重庆汽车研究所就开展了双相钢研究;一汽轿车、奇瑞汽车公司也在轿车车身上进行了高强度钢板的初步应用试验。在结构设计方面可以采用前轮驱动、高刚性结构和超轻悬架结构等来达到轻量化目的,国内已从主要依靠经验设计逐渐发展到应用有限元等现代设计方法进行静强度计算和分析阶段。目前出现了一批拥有自主知识产权的汽车车身模具开发技术,如湖南大学与上汽通用五菱在薄板冲压工艺与模具设计理论方面开展了较深入的研究;北京航空航天大学开发了 CAD 系统 CAXA,并已经开展了客车轻量化技术的研究,利用有限元法和优化设计方法进行结构分析和结构优化设计,以减少车身骨架、发动机和车身蒙皮的重量等。

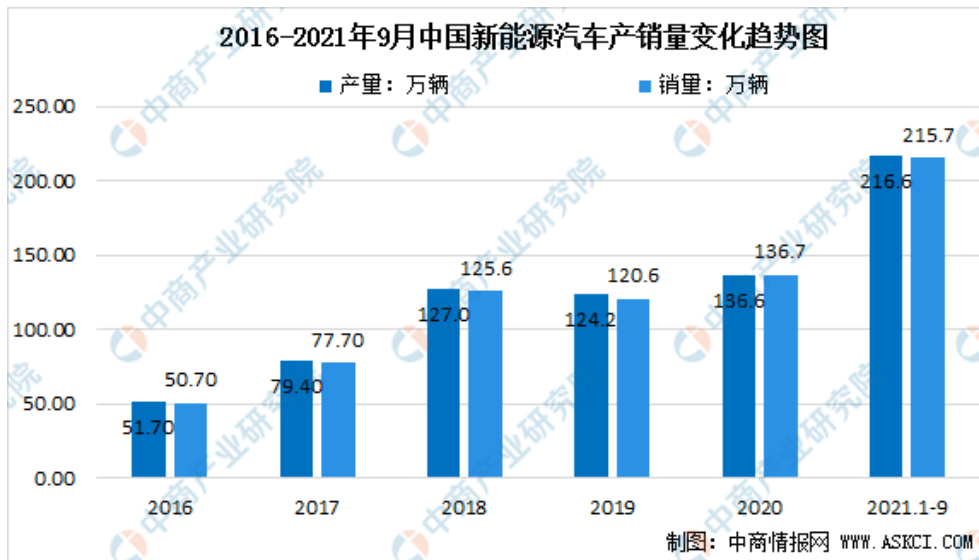
## 四、中国汽车轻量化方向

### （1）做新能源汽车轻量化产业链

目前，在政策和市场的双重驱动下，新能源汽车呈现井喷式发展，人们对整车的轻量化要求越来越高。在新能源汽车轻量化产业链中，上游是轻量化的主要原材料，包括高强度钢、铝合金、镁合金、碳纤维复合材料以及改性塑料。这些材料将构成新能源汽车安全件、车身、底盘、发动机、座椅、行李架、变速杆、内饰、外饰以及方向盘等。

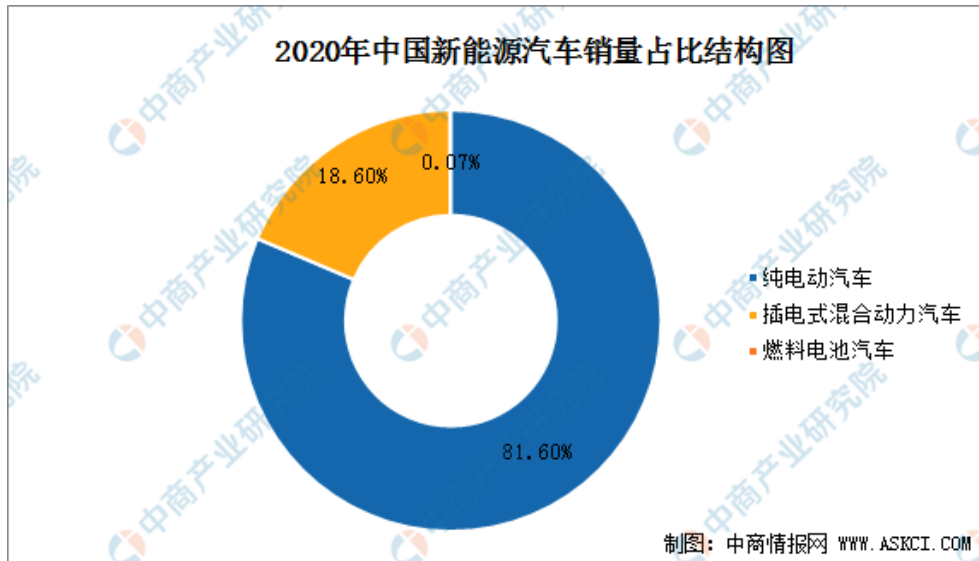
### （2）现如今新能源汽车市场规模

中国已成为全球最大的新能源汽车市场。近年来，新能源汽车在中国的销量增长已超过燃油车。2020年中国新能源汽车产量为136.6万辆，销量为136.7万辆。2021年1-9月，新能源汽车产销分别完成216.6万辆和215.7万辆，同比分别增长1.8倍和1.9倍。



图表 2 新能源汽车销量占比

从细分能源类型来看，2020年我国纯电动汽车销量达111.6万辆，占总新能源汽车销量的81.6%；插电式混合动力汽车销量达25.1万辆，占总新能源汽车销量的18.6%；燃料电池汽车销量达1000辆，占总新能源汽车销量不足0.1%。



图表 3 新能源汽车市场竞争格局

目前，新能源汽车行业内部已经奠定了基本的竞争格局，头部效应凸显。比亚迪从传统车企发展成为我国新能源汽车的龙头企业，吉利、长城及广汽等传统车企极力追赶，市场份额持续提升，造车新势力蔚来及理想等致力于打造中高端车型，但面临特斯拉大降价的竞争压力。

从中国新能源汽车行业的市场份额来看，我国新能源汽车行业市场集中度还处于较低水平。比亚迪市占率最高，达 13.4%。其次特斯拉中国、上汽乘用车、广汽埃安、长城、奇瑞、蔚来、理想、吉利、小鹏的市场份额分别为 10.1%、5.6%、4.4%、3.9%、3.2%、3.2%、2.4%、2.1%、1.9%。

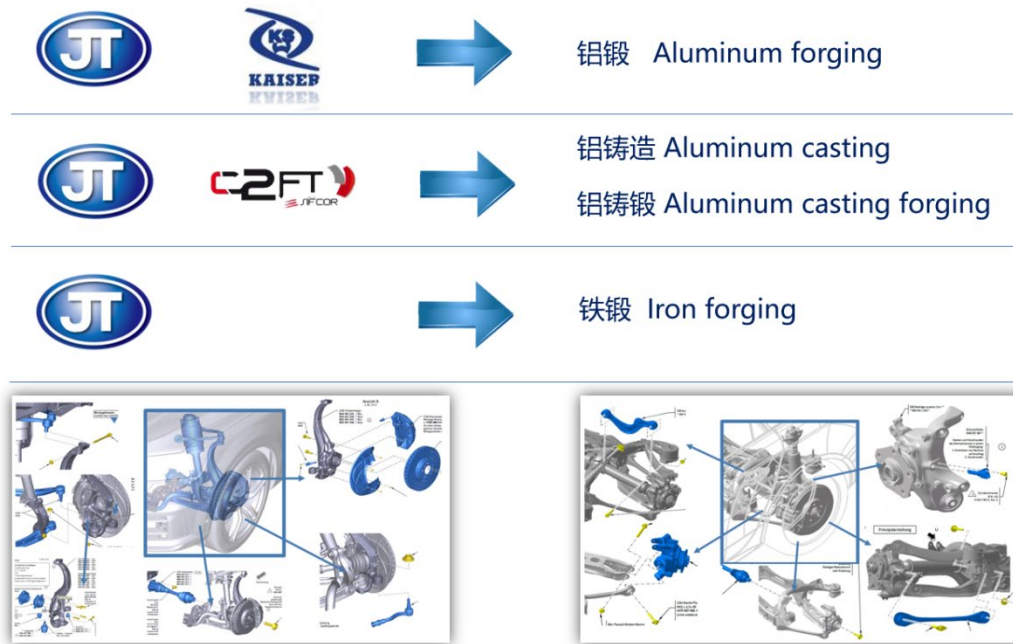
## 五、国家政策支持

汽车轻量化方向的研究在“十三五”列入国家重点研发项目计划及汽车产业联合基金项目；2017年起，工信部联合财政、保监部门推进重点新材料首批次应用保险补偿机制，涉及铝板、镁合金轮毂、高性能复合材料、玄武岩纤维、碳纤维复合材料、高性能稀土永磁材料、新型新能源材料等；国家节能与新能源汽车方向新材料生产应用方向示范平台建设项目。中国新能源汽车规划目标是用十年时间，达到累计产销量 500 万，2015 年起，新能源车爆发性增长。2018 年 2 月 13 日，由财政部牵头，四部委联合发布了《关于调整完善新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知》。对于续航能力小于 250 公里的新能源汽车，未来补贴可能完全取消，对于续航能力大于 300 公里的新能源汽车，补贴不会下降反而上升。

## 六、吉林通用集团在轻量化方面的研究与应用

近几年来，吉林通用集团子公司长春凯撒铝业根据趋势着手研究与操作零部件的轻量化，其主要体现为“锻造铝合金”技术。并有完整的产品设计和生产工艺，提供全面的轻量化解决方案，并具备同步研发能力。

- 完整的产品设计和生产工艺，提供全面的轻量化解决方案，并具备同步研发能力  
Complete products design and process , provide overall lightweight solution plan, and has the synchronous R&D ability



图表 4 产品设计和生产工业

关键技术：

锻造铝合金具有质量轻、强度高，所以更容易实现轻量化，使汽车底盘重量大大减轻。具有更优良的抗腐蚀性和硬度，使用寿命更长。具有良好的导热性和非磁性、更好的散热性能。产品采用锻造工艺，在产品内形成连续的流线，提高特定方向上的力学性能；产品采用抛丸工艺，在产品表面产生压应力层，提高产品疲劳强度；锻造铝合金的模具消耗仅为锻造钢件的 10%。

技术指标：

对于锻造铝合金控制臂，它的密度只有钢件的 34%，是轻量化的重要指标。抗拉强度更强，大约在 340Mpa-400Mpa 之间，是安全性能的重要指标。比强度大、比刚度大、疲劳强度高、比弹性模量大、更易于用在汽车领域当中。塑性好，机械加工余量小，仅为普通铁锻件加工余量的 20%，大大节约成本和时间。与铸造产品相比，产品的强度更高，可以采用更小的壁厚；延伸率高，不易脆性断裂，



安全性更高。

• 产品轻量化实例展示 Product lightweight example display

| 产品名称<br>Product name | 成型工艺<br>Forming process               | 轻量化前重量<br>Before (g) | 轻量化后重量<br>After (g) | 减重百分比<br>Percent weigh (%) | 轻量化前后对比<br>Contrast |
|----------------------|---------------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|
| 控制臂<br>Control arm   | 铝锻 → 铝锻<br>Forging → Forging          | 1780                 | 1469                | 17                         |                     |
| 转向节<br>Front knuckle | 铁铸 → 铝锻<br>Casting → Forging          | 12100                | 4100                | 66                         |                     |
| 车轮支架<br>Rear knuckle | 铝铸 → 铝铸造<br>Casting → Casting forging | 3890                 | 3460                | 11                         |                     |
| 轮毂轴<br>Hub shaft     | 铁锻<br>Forging                         | 2372                 | 1978                | 17                         |                     |

图表 5 产品轻量化实例展示

3.1 锻铝轻量化案例分享 Forging aluminum lightweight case sharing

轻量化前 Before lightweight

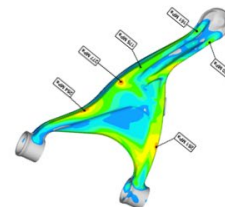
- 生产工艺：铝合金锻造
- 原材料：6A82
- 机械性能：屈服强度  $R_{p0.2} \geq 355\text{Mpa}$
- 抗拉强度  $R_m \geq 380\text{Mpa}$
- 延伸率  $A_5 \geq 10\%$
- 硬度  $HB \geq 100$
- 零件重量：1780g

工况载荷及边界条件与对标车相同，周边条件比对标车更苛刻  
The operating load and boundary conditions are the same as those of the standard vehicle, and the peripheral conditions are more severe than those of the standard vehicle



轻量化后 After lightweight

- 生产工艺：铝合金锻造
- 原材料：6110A
- 机械性能：屈服强度  $R_{p0.2} \geq 340\text{Mpa}$
- 抗拉强度  $R_m \geq 375\text{Mpa}$
- 延伸率  $A_5 \geq 10\%$
- 硬度  $HB 100 \sim 130$
- 零件重量：1469g



轻量化设计优化前后对比  
Comparison before and after optimization of lightweight design

图表 6 铝锻轻量化案例分享

### 3.4 锻钢轻量化案例分享 Forging steel lightweight case sharing

#### 轻量化前 Before lightweight

- 生产工艺：锻造
- 原材料：TL1438
- 机械性能：抗拉强度 Rm 780-930/mm<sup>2</sup>  
硬度 HB 230~276
- 零件重量：2372g
- 局部感应淬火



#### 轻量化后 After lightweight

- 生产工艺：锻造
- 原材料：TL1438
- 机械性能：抗拉强度 Rm 780-930/mm<sup>2</sup>  
硬度 HB 230~276
- 零件重量：1978g
- 局部感应淬火



**1 2** 轻量化设计优化前后对比  
Comparison before and after optimization of  
lightweight design

图表 7 钢锻轻量化案例分享

与市场同类产品相比，本产品重量更轻，占用空间更小，机械性能更强，硬度更好，抗疲劳性和抗腐蚀性更优良，而且导热性好，易于机械加工、抗冲击性好，使用安全性能高，成本相比之前产品下降、价格更低等。

汽车行业轻量化未来发展可从理念的创新、科技的突破、材料的研发、技术的拐点入手，通过控制学、工程力学、材料力学、空气动力学、结构力学、数字孪生、流体力学、固体力学、现代储能技术等现代科技、知识和工艺的发展，改变汽车行业的设计和工艺。

实心变成空心或空心化、网格化，刹车、下坡、转向储能，车平衡减少配重；（数千块电池代替一块电池），做到即使材料不变也可以实现轻量化。

## 第二章

# 中国轨道交通装备轻量化复合材料应用发展报告

作者：高玉龙

### 一、绪论

经过多年技术攻关与工程化应用，轻量化复合材料在航空航天、国防军工、汽车等领域得到了广泛应用，为轨道交通等高端装备领域的应用奠定了良好的技术基础。并且随着应用规模逐步扩大，终端应用成本也大幅下降，为轨道交通领域的应用创造了良好条件。世界主要轨道交通装备企业联合专业复合材料设计制造企业积极开展碳纤维复合材料应用研究与试验验证工作，研制范围涵盖非承载结构、次承载结构到主承载结构。我国轨道交通装备碳纤维复合材料应用虽起步较晚，但发展迅速。以中国中车为代表的轨道交通装备企业正积极推动碳纤维复合材料的工程化应用。

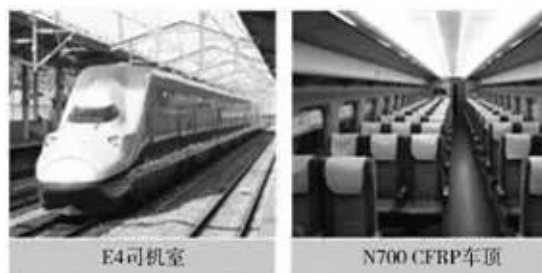
### 二、轨道交通轻量化复合材料国内外发展与应用现状

#### （一）国外发展现状

世界主要轨道交通装备企业联合专业复合材料设计制造企业积极开展碳纤维复合材料应用研究与试验验证工作，研制范围涵盖非承载结构、次承载结构到主承载结构。

##### （1）日本碳纤维复合材料应用情况

日本在碳纤维复合材料车体研制方面进行了循序渐进的探索，取得了显著的成绩。1999年研制的E4司机室采用碳纤维复合材料复合材料，实现减重30%，并有效改善了变形问题，降低了噪声和震动；2005年在N700系列列车上采用碳纤维复合材料制造了车顶，减重500kg，降低重心，提高了气密强度。



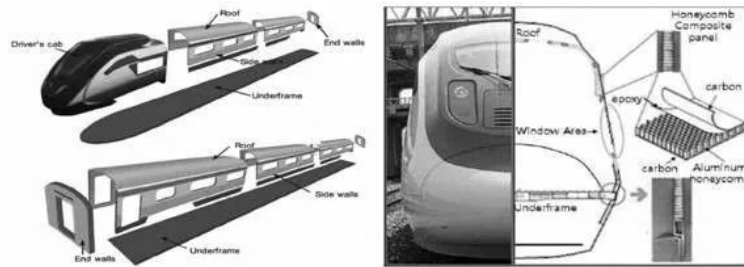
图表 8 日本典型复合材料车体实例

日本在复合材料转向架的研发方面优势明显。1989 年日本铁路试制成功碳纤维复合材料转向架构架，该构架侧梁为碳纤维层压材料叠层结构，板厚 16.4mm，横梁采用缠绕成型，构架自重 0.3 t，比普通钢制构架减轻 70%，设计最高时速 160 公里。2014 年，川崎重工最新研发的 efWING 转向架将刚性焊接构架改为采用碳纤维侧梁的柔性构架。主承载部件侧梁形似弓形弹簧，取消传统二系弹簧，比传统金属侧梁减重约 40%。



图表 9 韩国碳纤维复合材料应用情况

韩国铁路行业在纤维复合材料的应用方面也取得显著成绩。2010 年投入商业化运营的韩国 TTX（TitleTrain eXpress）摆式列车是碳纤维复合材料车体最成功的案例，采用 4 动 2 拖 6 节编组，设计速度 200km/h，运营速度 180km/h。TTX 列车是在法国阿尔斯通公司向韩国转让第二代 TGV-A 高速列车成套技术后，由韩国铁道研究院（KRRRI）于 2001 年开始研制。研究初期采用的方案为车顶、侧墙及端墙采用复合材料层合板制备，底架采用中空挤压铝合金型材制备，并且两部分通过弹性胶黏剂和螺接的方式连接起来构成整体车体结构。



图表 10 韩国碳纤维复合材料车体研究方案

转向架研制方面，韩国铁路研究院在 2011 年研制了碳纤维复合材料地铁转向架，较钢制构架减重 30%左右（约 635 kg），目前仍在各种测试试验阶段。



图表 11 韩国铁研碳纤维复合材料地铁转向架

### （3）欧洲复合材料应用情况

欧洲复合材料技术基础雄厚，在轨道车辆上应用广泛，积累了丰富的经验，从非承载的内饰件到头罩吸能元件、过渡车钩、受电弓等零部件到司机室、车体、转向架等大型部件均有不同程度的尝试。

英国 Intercity125 是最早采用 FRP 整体成型的驾驶室端盖机车之一，芯材为聚氨酯泡沫，外蒙皮整体成型，内蒙皮三件拼合，整个司机室较传统钢结构减重 30%~35%，同时抗击能力优良，耐 0.9kg 钢块 300km/h 的冲击。意大利 ETR500 型高速列车上，内部结构边墙、天花板和行李舱采用高比刚度复合材料夹层板（两层 Tedlar 聚氟乙烯塑料薄层中夹有 Nomex 蜂窝芯材），头部采用 Kevlar 纤维和环氧树脂模压成型，刚性和抗冲击性良好，列车时速 300 公里。法维莱受电弓采用芳纶纤维复合材料，减重 30%~40%，空气动力学性能良好。德国福伊特公司（Voith）研制的 Galea 车前碰撞吸能元件，总质量约 90 kg，满足防火、噪声、隔热等要求，已用于 200 km/h 以上的城际列车。此外，Voith 研制的应用于故障列车牵引操作的碳纤维增强复合材料过渡车钩，结构极其紧凑，总质量仅 23 kg，比钢铁过渡车钩减重达 50%，单人就可携带进行安装。



图表 12 欧洲碳纤维复合材料零部件

欧洲的车体复合材料结构多样，制造工艺异彩纷呈。庞巴迪研制的旅客捷运系统车体，由 6 个玻璃钢模块组成，底架采用不锈钢，通过胶粘和螺栓连接形成整体承载结构，总长 12 m，运行速度 80km/h，载容量 100 人。瑞士辛德勒公司应用玻纤和碳纤维绕成的车体，车辆减重 10%，运行时速 140 公里。磁悬浮列车采用铝板夹泡沫芯的三明治结构，可以承受 350 kN 的压缩、280 kN 的拉伸载荷。瑞典斯德哥尔摩地铁列车，侧墙、地板和顶盖均为不锈钢三明治夹 PMI 泡沫芯结构，端梁嵌入在三明治结构中。侧墙的总厚度减少 120 mm，增加了室内空间。



图表 13 欧洲各类复合材料车体

欧洲对转向架的压制同样采用材料-结构一体化设计，但仅限于研究测试阶段，尚未投入大规模商业化应用。德国 20 世纪 80 年代中期开发的 HLD-E 型转向架是世界上第一台复合材料构架（FVW 构架）的转向架，时速 200 公里，并通过了静态模拟试验和耐久性试验。随后又相继开发了 HLD-L 型和 HLD-300 型转向架。2012 年，雷丁大学成功研制了 GFRP 转向架，其构架结构为上、下两构架型式，各包括两根侧梁和一根横梁，各构架分别采用整体成型。



图表 14 欧洲试制的复合材料转向架

## （二）背景国内发展现状

国内纤维增强复合材料在轨道交通领域的应用研究起步较晚，但发展迅速，目前已完成了次承载件和零部件的研制与应用。

### （1）中车青岛四方股份公司

碳纤维复合材料司机室头罩 2011 年应用于时速 500 km/h 高速试验车，其冲击性能和力学性能优良，减重 30%。

碳纤维设备舱裙板 2013 年应用于城际动车组，较铝合金裙板减重 30%，冲击性能、阻燃性能优异。

中国标准动车组碳纤维复合材料设备舱于 2015 年研制完成，初步探索在高速列车大型结构件上的应用。采用模块化设计结构，可单件、也可模块整体拆装。较铝合金结构减重 35%，可承受振动、地面效应及冲击和高温、高湿、风雪侵蚀，各项性能指标不低于铝合金设备舱性能。

联合中德研发中心开展复合材料地铁列车研制。新一代地铁车辆采用先进的碳纤维技术，车体、转向架构架、司机室、设备舱及设备机体等均使用碳纤维复合材料制造，是大规模应用碳纤维复合材料的地铁车辆。特别是成功突破碳纤维

大型复杂件结构设计、制造成型等关键技术，实现了碳纤维复合材料在车体、转向架构架、司机室等车辆主承载结构上的全面应用。与采用钢、铝合金等传统金属材料相比，新一代碳纤维地铁车辆的车体、司机室、设备舱分别减重 30%以上，转向架构架减重 40%，整车减重 13%。



图表 15 下一代地铁碳纤维复合材料车体

### （2）时代新材

牵引逆变器，轨道车辆的核心动力部件，柜体的主要作用是保证柜体内电气元件的能正常工作，同时，提供在车体上以及柜体内各种电气元件的安装接口。碳纤维柜体采用整体成型和胶接工艺大大减少零件数量，组装方便，产品尺寸精度高，密封效果好，采用碳纤维和预埋金属网结构满足电磁屏蔽的要求，较传统碳钢柜体减重 60%以上，较铝合金柜体减重 15%以上。

操纵台主要作用是保护内部电气元件的正常工作，提供在车体上的安装接口和操纵台内各种电气元件的安装接口。操纵台中控面板采用碳纤维材料制作，操纵台碳纤维板比传统玻璃产品减重 50%以上。碳纤维板采用整体模具成型大大减少零件数量，组装方便，产品尺寸精度高。目前每年预计至少将有 50 列车的订单。

### （3）株机

2015 年，研制完成了碳纤维复合材料车体，采用 5.5mm+29mm+5.5mm 的碳纤维增强复合材料泡沫夹芯结构，成型后的碳纤维车体重量为 1181kg，原有不锈钢结构的车体重量为 1520kg，实现减重 22.3%。



图表 16 碳纤维复合材料车体

#### （4）唐山

碳纤维枕梁替代受力情况恶劣的低地板轻轨车枕梁（铝合金材质），完成对其的方案设计、仿真分析、样件试制及试验验证等，同时对其与车体主结构的连接方案进行设计及验证。



图表 17 碳纤维复合材料枕梁

#### （三）小结

碳纤维复合材料可应用于高速磁浮、高速动车组、城轨地铁、城际车辆、货车、轨道承载梁等轨道交通领域的大部分主要、次要承载结构及内外装饰等非承载结构，减重效果显著。随着原材料成本的逐步降低及工艺技术的提升，碳纤维复合材料产品全寿命周期成本优势逐渐显现，替代金属材料市场潜力巨大，应用前景广阔。

### 三、轨道交通复合材料市场前景与经济性分析

#### （一）市场前景

碳纤维复合材料可应用于高速磁浮、高速动车组、城轨地铁、城际车辆、货车、轨道承载梁等轨道交通领域的大部分主要、次要承载结构及内外装饰等非承载结构，减重效果显著。仅从动车组和城轨车辆来看，根据市场预测，未来几年中国年均动车组需求 200 列以上，城轨车辆 5000 辆以上，若实现 10%的碳纤维复合材料替换率，预计年均轨道交通碳纤维复合材料需求量超过 2 万吨。

#### （二）经济性

轨道交通车辆碳纤维复合材料部件的全寿命周期成本主要包括新造成本、运营成本、检修维护成本。新造成本方面，目前碳纤维复合材料部件新造成本高于传统金属结构，随着原材料价格的逐步降低及工艺技术的快速发展，碳纤维复合材料应用成本不断下降，并且一体化成型可大幅降低焊接、铆接等工作量，在产



品批量逐步增大的情况下，碳纤维复合材料部件的新造成本将降至与传统材料相当的水平。运营成本方面，应用碳纤维复合材料可大幅降低全寿命周期运营能耗。例如，中国标准动车组若实现 12% 的碳纤维复合材料替换，每列可实现减重 13 吨，按照 30 年运营寿命测算，预计每列全寿命周期可节电 1600 万千瓦时，节省电费约 1300 万元。检修维护成本方面，碳纤维复合材料具有高强度、高模量、耐腐蚀、耐疲劳的优异特性，可大幅降低车辆部件及轨道的检修维护频次，可有效降低用户的检修维护成本。

根据应用实践，轨道交通车辆采用中低强度等级碳纤维原材料，在相同强度性能条件下，可实现 30% 以上的减重效果，应用成本有望控制在 500 元/公斤以内。以四方股份时速 350 公里标准动车组采用复合材料司机室、设备舱等部件进行预测，重量降低 30%，新造成本约为原来的 140%，但全寿命周期节能及检修维护等方面经济性明显，将抵消新造成本的增加。以设备舱为例，经预测，碳纤维复合材料设备舱全寿命周期成本比金属设备舱降低 50% 以上。

### （三）小结

随着原材料成本的逐步降低及工艺技术的提升，碳纤维复合材料产品全寿命周期成本优势逐渐显现，未来应用前景广阔。

## 四、总结

高性能复合材料具有高比强度、高比刚度等优点，在新一轮科技革命和产业变革中扮演着重要角色，成为解决轻量化与列车性能矛盾的关键材料，是轨道交通装备新材料应用领域不断优化提升的一个重要方向。

中国轨道交通等高端装备制造业的快速发展将为碳纤维复合材料等新材料的发展应用提供巨大的实践平台。按轨道车辆用复合材料份额占比 10~30% 计，可形成每年万吨市场规模，预计达航空、航天领域总和的数十倍，需求巨大。

中车四方股份将持续推动先进复合材料在轨道交通及相关领域应用，期待继续在轨道交通车辆复合材料中试线平台建设和产业化进程中得到相关政策和资金项目支持。在实现中国轨道交通装备等高端产品技术革新的同时，推动中国碳纤维复合材料产业链健康发展。

## 第三章

### 中德国轻量化发展

作者：陈力禾、莫凡

#### 一、德国国家轻量化计划与目标

轻量化是自然界万物生长最重要的法则之一。在自然界中，轻量化的本质是：“遵循自然的原则，以最少的消耗，取得最大的功效”。毋庸置疑，在实现人与自然的和谐发展中，轻量化的原则将起到日益重要的作用。轻量化是如此重要，业已上升为德国的国家战略。德国联邦经济与能源部（现更名为德国联邦经济与气候保护部，以下简称“联邦经济部”）已经将轻量化与人工智能并列为“德国2030”工业战略中的核心技术。德国联邦经济部在2019年汉诺威工业博览会上举办了首届轻量化论坛，时任联邦经济部部长艾特迈尔先生亲自出席论坛并发表了开幕讲话。在讲话中，他特别强调：“轻量化是创新的强大驱动力，有助于提高资源和能源效率”“轻量化与未来的驱动力相结合，将改变游戏规则”。德国联邦经济部国务秘书贝克尔女士在接受德国专业媒体采访的时候表示：“轻量化是一种跨领域的技术，也是创新的动力。这是活力和不断发展的代名词。”

迄今为止，“德国制造”的轻量化走在了世界的前列，特别是在汽车、金属和电气工业、航空航天和机械工程等高附加值行业，轻量化直接决定了德国企业面向未来的进一步发展。在国际比较竞争中，德国企业由于具有广泛的技术能力和出色的国际网络而处于有利地位。然而，依然有很多发展的需求还需要得到满足。例如，经典的材料轻量化方法，即用部件采用比性能更高的轻质材料代替，已经不能满足需要。当今需要的是材料混合方向的智能轻量化解决方案。这就要求在所有材料类别以及制造工艺（例如：增材制造）领域进行开发。

德国联邦经济部期望通过更多的一致性行动来推动跨行业的合作，为创新的轻量化理念提供重要的推动力。为此，联邦经济部于2020年4月9日通过《联邦公报》宣布了“轻量化技术转移计划”，随后收到了科学界和工业界有关方面的大量询问。截至2020年5月1日，已经有551个项目合作单位提交了118个项目建议。这些项目提案加起来申请了约2亿欧元的资金。这是现有规划资助资金的三倍多。旺盛的需求凸显了联邦经济部轻量化项目计划的吸引力，也是这个新资助项目的一个有力开端。除大学和研究机构外，参与项目建议书的公司数量也高于平均水平。大公司和中小企业占据了项目伙伴的三分之二，并提供了大量自有资金。截止第一个阶段，已有超过250家德国中小企业参与了所提交的项目

建议书。如此高的参与度证实了这一点：轻量化的关键技术对于中小型企业来说具有重要的经济意义，以期实现气候友好型的可持续发展。在轻量化中，未来重要的市场是在新材料和新的生产方式方面打开的。在这里，中小企业可以采取决定性的步骤进一步发展，特别是在数字化和自动化领域。在这种情况下，数字化在加快向整体性、更高效的流程发展方面也起着关键作用。这是德国产业面向未来的轻量化的特别重点。

通过“轻量化技术转移计划”，联邦经济部一方面推动技术开发项目，其重点主要放在三个方向：数字化和自动化，可持续性和循环利用，创新设计原则；另一方面，联邦经济部也支持轻量化项目，这些项目通过资源效率和替代以及通过使用新的设计技术和材料来帮助减少温室气体排放。

对于德国联邦经济部来说，“轻量化技术转移计划”主要关注的是贴近市场的项目，以及在轻量化领域更多的交流，因为在这些领域的市场需求量很大，而且可以期待迅速成功。具体而言，这意味着项目将首先支持改进尚未上市的产品、流程和服务，以及促进跨学科知识和技术转化的措施。该项目框架的对象是中小企业和原始设备制造商以及大学和科研机构。根据项目和项目实施者的不同，补助金额从 15%到 80%不等。德国联邦经济部和各个联邦州经济部下属的专业机构在全德国范围内召集企业、大学与研究机构的专家贡献想法与创新理念，并多次在柏林举办“轻量化技术转移计划”交流大会。该方案是将自身视为轻量化倡议和联邦政府其他资助方案的量身定制的补充，旨在创造框架条件，使工业基地德国成为轻量化的领先市场。

从理论上说，对于任何一种材料、产品和工艺方法，在遵循轻量化原则的前提下，都会不断地挖掘出其轻量化潜力，从而使其展现出新的生命力，这对于传统的制造业尤其具有极大的吸引力。而对于从事轻量化的工程技术人员来说，要做到这一点，则需要在具有扎实的理论基础与技术功底的同时，还要不断地学习吸收各种新的技术和知识并能创造性地加以应用。联邦经济部的官员表示，越早在教育中确立轻量化的主题，轻量化创新的知识基础和核心竞争力就越广泛、越持久。扩大大学、非大学和商业部门的教育和进修机会无疑发挥了重要作用。同时，也要尽早提高年轻的学生对高新技术的认识，激发人们对高新技术的热情。

对于联邦经济部的“轻量化技术转移计划”来说，技术转移是头等大事。轻量化已经在各行各业和材料学科中得到实践。研究中也有很多盈利的方法，但很多方法还没有在工业界实施。联邦经济部期待通过“轻量化技术转移计划”进一步加强部门之间、材料之间、科学与工业之间的交流，从而极大提高轻量化技术转化效率。为此，联邦经济部积极支持“轻量化技术转移计划”和轻量化倡议的知识和技术转化，以便在这种独特的横向技术中建立必要的网络。但其他问题，

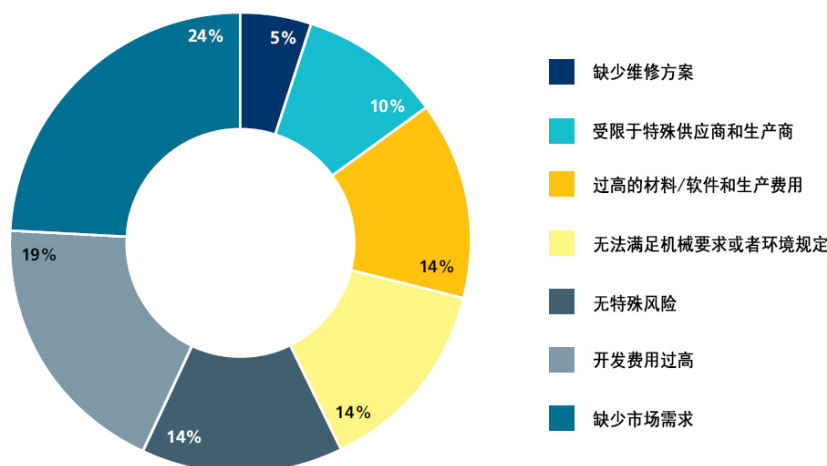
如可持续发展和回收利用，也给轻量化企业带来了挑战。如果要对整个生命周期的能源和资源效率做出真正的贡献，提高轻量化材料的可回收性以及开发和优化高质量的回收解决方案是必不可少的。在这些领域，“轻量化技术转移计划”则是以支援身份介入的。

联邦经济部希望通过制定正确的方针，进一步加强德国轻量化的地位。在这些点上，“轻量化技术转移计划”也有倡议。联邦经济部已经完成了轻量化战略的要点制定过程。在这一过程中，来自工业界和科学界的代表自下而上地提出了6个行动领域的42项具体措施，以改善国家轻量化的框架条件。联邦经济部希望将这些建议作为轻量化战略的可能基础，从而以捆绑式的努力，通过轻量化进一步加强德国作为商业地点的地位，并将其发展成为轻量化技术的国际领导者。

工业领域的数字化转型也是联邦经济部的重要课题，这一点在联邦经济部发布的《2030年工业战略》中也有体现。数字化是人工智能、量子计算等未来技术使用的基本前提。因此，对于轻量化等关键技术来说，拓展和捆绑相应的能力将是至关重要的。这样才能更好地挖掘潜力，建立数字化的增值链。具体到实践，这意味着要增加提供、使用和进一步发展数字技术，如材料数据库、建模、跨过程模拟和自学习过程。因此，“轻量化技术转移计划”还通过为数字化和自动化领域的项目提供定向资助，支持轻量化建设。

虽然受到了新冠疫情的影响，联邦经济部的“轻量化技术转移计划”还是于2021年如期启动了。在未来10年内，联邦经济部将提供约3亿欧元用于支持具体的轻量化项目。其目的是将轻量化带入广泛的工业应用，从而提高创新和创造价值的潜力，并有助于实现可持续性和气候保护目标。

针对下图中德国企业引入轻量化的障碍和风险，“轻量化技术转移计划”项目将起到很好的促进作用。



图表 18 在德国企业中推广轻量化的阻碍和风险

从根本上明确地说明，轻量化是改变游戏规则的技术之一，因为它对生产价值链的影响很大。这始于所用的原材料，最终的材料，延伸到包括进一步加工技术（例如连接技术）在内的生产过程，并最后到达最终产品。后者应可重复使用或至少是可回收的。此外，通过轻量化减轻重量，可以减少能源和原材料的需求和排放。因此，轻量化对德国作为工业基地的竞争力有双重影响。这并不限于出行移动领域。轻量化还将带动其他部门在材料使用、使用寿命和报废阶段的制度变革。尤其是在出行领域，替代驱动技术的轻量化概念设计将为该行业的转型做出重大贡献。概念轻量化是指一种构造方法，该构造方法首先考虑并分析产品的使用阶段，哪些功能实际上是使用所必需的，哪些功能未使用，因此是多余的。省略这些功能可以节省多达 100% 的重量。最终，这种方法意味着更少的功能可以做更多的事情。这种方法非常有颠覆性，因为它放弃了必须始终开发新功能才能在竞争中生存的原则。概念轻量化设计就是要注重本质，以节约成本，从而提高竞争力。

现代化的轻量化已经不仅是材料替代那么简单。根据德国巴登符腾堡州轻量化局的最新研究表明：轻量化未来的关键是多材料设计，即混合轻量化与概念轻量化。新的轻量化方法从一开始就要融入产品的开发和生产方案设计中。在这一阶段，最终产品 70-80% 的重量就已经确定下来了。要做到这一点，仅通过采用轻量化材料是无法实现的。轻量化是以一种新的方式来思考产品。采用智能设计、新工艺和数字化的价值创造链，可以节省材料、时间和成本。采用轻量化，可以降低成本，提高生产率和加工精度。

来自德国巴符州中小企业的经验表明，仅通过拓扑优化，就可以将装备中静态构件的制造成本降低近 7%，其主要原因是减少了约三分之一的材料使用。相关的商业案例还表明，开发成本可在几个月后就会平摊掉，并在中期产生更高的回报。只有轻量化才可以在改善产品的同时，还能有效地利用资源，并符合“更少的材料会产生更多的价值”的指导原则。

未来，轻量化产业转化的重点在于概念轻量化与整个产业链的数字化，即轻量化与工业 4.0 的无缝结合。

## 二、德国主要轻量化团队和机构

### （一）“欧洲轻量化之父”胡芬巴赫院士团队

“欧洲轻量化之父”胡芬巴赫院士（Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E.h. Dr. h.c. Werner Hufenbach），德国国家科学与工程院院士、德国国家电动汽车轻量化研发

首席科学家、德国总理新能源开发与应用专项顾问、德累斯顿工业大学高级教授、德累斯顿工业大学轻量化及复合材料学院（ILK）创始人、英国罗尔斯罗伊斯航空发动机（德累斯顿）工程技术大学（UTC）校长（2006-2016）。他创立了国际著名的“德累斯顿系统轻量化模式—合适的材料用于合适的地方，既经济又环保！”已成为国际轻量化行业的标杆。德累斯顿建立了完整的研发、设计、制造、检测轻量化产业链，在培养众多轻量化创新人才的同时，他和他的团队不仅是英国罗罗航空发动机轻量化研发基地和全球材料检测认证中心，而且直接服务空客、奔驰、宝马、保时捷、大众、奥迪、库卡机器人、蒂森克虏伯、西门子、船舶等各大企业，为它们提供轻量化技术支持。他的团队具有轻量化和复合材料第三方检测认证资质。

胡芬巴赫院士是德国轻量化制造领域不可多得的奇才（中国科技日报，2016年6月14日）。他早年就读于德国克劳斯塔尔技术大学，获得博士学位，并成为该校的年轻教授。1993年他放弃了到科研条件很好的亚琛工业大学担任教授机会，来到了更具挑战的德累斯顿工业大学，创建轻量化及复合材料学院。他曾先后担任德国教研部“碳纤维复合材料飞机旋翼研究”项目、德国研究基金会“高性能发动机纺织增强材料复杂应用”、“用于机械和车辆制造轻量化的纺织复合材料结构和制造技术”等多个重大项目负责人。迄今为止，他已拥有109项发明专利（他领导的团队拥有690多项发明专利），已发表文章和书籍708篇（册），由他的团队在开发功能集成系统轻量化制造工艺，以及多种材料设计方面具有世界领先水平，已被广泛应用在德国车辆制造和航空领域，他在欧洲轻量化制造领域享有盛名。

1997年胡芬巴赫院士利用德累斯顿工业大学平台，发起并搭建了“德累斯顿国际轻量化论坛”，向德国乃至全球介绍推广轻量化理念、交流研究成果和未来发展趋势。这是一个跨行业、跨部门和跨产品的国际轻量化专业顶级盛会。通过这个平台，国际轻量化的产学研机构走到了一起，共同推动轻量化制造的发展。胡芬巴赫院士组织发起这个每年一度的论坛已有25年，其影响力不断扩大。2013年以来，胡芬巴赫院士团队从市场获得的科研经费一直名列德国大学第一。

胡芬巴赫院士是从金属材料开始走上轻量化道路的，所以不仅是对复合材料及其应用有深刻的理解和实践，而且对金属材料同样有深刻的研究和应用实践。其团队很早就开始了智能材料、增材技术和数字孪生的开发与应用，已积累了丰富的经验。胡芬巴赫院士技术解析能力很强，同时他也知道什么人可以解决什么问题。他可以根据需求，快速确定研发重点，以及迅速组成研究队伍完成工作。

胡芬巴赫院士还是中德高科技产业合作奠基人、中国人民的老朋友，十分热爱中国。中国领导人评价他为“有真本事，愿意拿出真东西合作，能落地！”2017年1月受到习近平主席的亲切接见。

胡芬巴赫院士是2016年中华人民共和国国际科学技术合作奖获得者、中国改革友谊奖章候选人、中国改革开放四十周年突出贡献奖候选人、中国国家新能源汽车技术创新中心首席科学家、中国（德国）研发创新联盟轻量化专业委员会名誉主任。胡芬巴赫院士从2003年起担任了同济大学中德学院的客座教授，从此与中国结下了不解之缘，他参与了中国汽车和轨道交通的许多研发和咨询项目。2015年他与中国中车青岛四方机车车辆股份有限公司、中国中车工业研究院联合成立了“中德轨道交通技术（德累斯顿）联合研发中心（简称中车德累斯顿研发中心）”，首批开发的“全球首辆全碳纤维轻量化列车”于2018年9月由中国中车在柏林国际交通展上全球首发，引起了轰动。高铁和时速600公里高速磁浮轻量化项目相继展开。中车德累斯顿研发中心已被科技部列为中德科技创新合作的标杆，是科技部和中国中车重点支持的海外研发创新聚智平台。

2017年与北京新能源汽车股份有限公司联合成立了“中德汽车轻量化工程技术（德累斯顿）有限公司”。“不仅催生了一批优秀研发成果，促进了卓越科学家之间的交流，为中德两国科研与产业界合作注入了新动力！”（万钢，2017年11月20日）。

胡芬巴赫院士表示，科技合作也是架在不同国家、民族和文化之间沟通的桥梁！在中国科技部的支持下，与世界轨道交通市场领导者中国中车的合作进展顺利，创新工程师团队不断壮大，创新产业链不断完善。中德创新团队特别自豪的是，创新成果荣获欧洲铁路联盟最高奖项“2020年 ERCI 创新奖”。与中国中车合作的第一批创新成果已经在德国著名的德累斯顿交通博物馆公开展出。长期以来我们的合作无论过去、现在、还是将来都秉持“开放和信任”的原则，以促进我们的共同利益。只有在高瞻远瞩和拥有勇气的人领导下，才能发现和完成具有巨大创新潜力的项目。不是每个人都能认识到未来的机会。经验表明，无论是在德国还是在中国，裹足不前的人是无法成功的。希望我们能够成为中国企业在欧洲的一个聚智创新平台，双方建立更加紧密联系，相互交流与合作，将我们很多的创意、专利和技术，联合开发成产品或服务，一同推向市场。

## （二）德国德累斯顿工业大学轻量化及复合材料学院

### 1. 概况

德累斯顿工业大学轻量化及复合材料学院(ILK, 以下简称: 学院)由胡芬巴赫院士成立于 1994 年。经过 28 年的努力, 团队由成立之初的 15 人发展成为一个拥有 1 位院士和 3 位教授的 240 名研究人员, 九大研究团队, 是国际轻量化领域领头羊, 始终站在行业技术研发的最前沿。

学院工作主要分为轻量化技术教学和研究两部分。教学部分, 作为德国具有领先地位的理工类精英大学, 学院与时俱进不断更新自己的教学方案, 对学生的培养也紧随时代发展, 注重与工业生产相结合, 随学随用, 避免了课堂知识落后于实践的情况, 平均每年约为行业输送 80 余名硕士毕业生, 同时积极支持毕业生创业, 建立毕业生网络, 进一步稳固了行业人才发展, 壮大行业规模。研究方面则主要围绕被称之为“多材料组成的功能集成型轻量化系统”这一特色的德累斯顿模式展开, 包含了材料、设计、仿真、原型生产、测试、质量管理和成本控制等在内的一条完整的研发链。围绕这一德累斯顿模式, 学院的核心竞争力在于高性能轻量化结构和样件的生产, 以及轻量化系统的开发, 设计和优化。而且根据不同的结构技术特性要求, 所用材料包括了从钢到铝、镁、钛以及塑料、陶瓷和利用短纤维、连续纤维或编织物增强的复合材料在内的所有门类。

开展自主研究的同时, 学院也与其他外部机构广泛开展合作, 不断在国际舞台上展现自己的专业创新研发能力。其与英国罗尔斯罗伊斯航空发动机、弗朗霍夫研究学会等诸多知名企业和研究机构常年保持良好合作关系, 包括中国中车和同济大学等在内的中国企业机构。此外学院作为东道主, 在德累斯顿已经成功举办了 25 届国际轻量化大会, 与行业翘楚共同分享轻量化领域的最新技术, 探讨未来的发展趋势。为各方交流合作提供了一个广阔的平台。其中第 20 届特地邀请中国作为伙伴国联合举办了题为“应对数字时代挑战”的轻量化专题大会。

## 2. 九大研究团队

(1) 轻量化结构团队: 现代轻量化结构解决方案不再是零件材料的简单替代。新想法的实现需要依靠一个整体产品开发战略。因此学院轻量化结构团队的研究人员正在有条不紊地专注于整体系统和功能空间的开发, 旨在展示整个轻量化结构的潜力。

(2) 计算方法与仿真团队: 为了降低研发成本, 提高研发效率, 轻量化结构也需要不断挖掘材料的潜能。计算机辅助设计在此起到决定性的作用, 并且在未来的开发过程中变得愈加重要。沿着整个开发链的计算方法和仿真的协同在开发高效的轻量化结构过程中起着关键作用。该团队的优势在于通过耦合过程、材料和跨尺寸模拟方法, 来开发和提供面向实际应用的仿真方法, 再将其与商业软件相结合, 最终用于多材料设计中的高效轻量化材料、结构和系统的设计。同时



学院在实验分析、工艺设计和施工领域的独特技术优势也可以直接集成到仿真模型和对结果的评估中，所得设计成果更加精确、高效和可靠。

(3) 热塑性工艺团队：在多材料设计中生产功能集成型轻量化结构需要拥有高效的、资源节约型的工艺链。学院的热塑性工艺团队便致力于此。得益于工艺开发中心（PEZ）中丰富的设备，研究人员可以高效开发最新地制造工艺，并能在类似工业批量生产的条件下对新工艺进行全自动化测试和调整。同时该团队还具备使用连续过程模拟来支持工艺开发的能力。

(4) 热固性工艺和预成型团队：主要为创新预成型工艺进行相应的过程表征、建模仿真、工艺开发以及对新材料、半成品和相关加工技术的开发和研究。此外，活性复合结构的生产是其另一个研究重点，有针对性地使用热固性塑料作为基质系统，并特别针对聚氨酯的相关加工工艺进行了深入研究。得益于全面的技术装备，团队可以自由选用例如预浸料加工、灌注和注射工艺、编织等多种加工技术来验证自己的设计。

(5) 连接技术团队：一个开放和跨学科工作和交流的平台，专门针对连接技术领域的特定应用问题开发面向客户的解决方案。能够以目标为导向灵活应用现有的方法，并能根据需要，开发新的解决方案及其应用潜力。团队正致力于建立起一套与材料无关的，从构造技术基础到分析和描述连接区域的材料结构和力学特性，再到连接过程或加工过程中的应力状态的建模的整体开发办法。

(6) 检测方法和材料模型团队：特定工艺过程中的材料特性以及变形、损伤和失效过程的相关知识和数学描述对于轻量化结构和轻量化系统的设计至关重要。学院拥有广泛的测试设备可以全面记录材料和组件的特性。比如通过分析半成品或者子结构的强度和刚度特性，在对结构和系统进行相当复杂的负载测试，进而确定成品材料的热力学性能。在材料模型领域，该团队专注于对增强和非增强材料的工艺-结构-性能关系的解释和描述。并以此为基础，致力于在材料测试和部件测试的标准化建立，开发新的有损、无损检测方法，以及应对新材料和多材料功能复合型结构的检测技术挑战。正是得益于一批在测试方法和材料模型方面经验丰富、专业素质过硬的研究人员，才使得如此繁杂的测试工作得以成功实施。

(7) 功能集成整合团队：对学院而言，功能整合首先意味着高度的跨学科性。该团队的研究人员汇集了来自各个领域的专业人才，例如轻量化结构工程师、电气和机电一体化工程师以及计算机工程师等。学院会有针对性地结合机械、电子和软件进行开发，以期始终站在该领域的最前沿。团队研究人员除了关注整合不同功能的部件，或者减少组件数量以外，还特别关心由不同行业材料协同作用时产生的边际效应问题。如何让诸如轻量化结构、电子系统和软件领域的专家密

切合作且“说一种通用语言”是这个行业的最大挑战，也是最大魅力所在。

(8) 特殊材料和工艺团队：多材料设计中的轻量化结构—这是学院的研究理念。学院的研究人员致力于使用材料的特性来实现功能的最大化，现代轻量化解决方案已远远超出了单纯的材料替代的范畴。增材制造工艺的高定制化与常规技术相结合，纤维增强材料的性能、仿生结构的适应性、金属材料的良好失效行为和陶瓷的耐热性正在不断开辟新的应用领域和难以想象的潜力。这种技术和材料特性的有意识融合是特殊材料和工艺团队的关键能力。团队的研究重点是量身定制的纤维功能化和增材制造工艺（GeFe），例如连续纤维增强 3D 打印、用于塑料节能交联的电子束技术、金属基复合材料（MMC）、陶瓷基复合材料（CMC）和磁性混合材料（MMM）。

(9) 中性轻量化团队：该团队主要对轻量化结构背景下的跨学科可持续发展问题进行研究。他们会全面检查产品系统，并在工程、经济学、环境和社会科学的界面开发面向未来、面向应用的解决方案。在轻量化结构的研发中，除了技术和经济标准外，生态和社会方面的要求也明确包含在整个产品和材料生命周期中。中性轻量化结构的积极愿景是资源中性循环经济。为此，该团队与 ILK 其他团队合作，重点研究下列几个方向：面向可持续发展的轻量化系统开发流程，轻质材料的回收，轻量化结构和复合材料结束的资源节约型生产技术，采用可再生资源材料制成的轻量化结构，轻量化产品的和技术的生命周期分析。

### 3. 研发装备

学院主办公楼除了办公区域以外，同时建有材料物理实验室、摩擦学综合试验台、声学测试中心、结构动力学和诊断实验室等多种实验室。学院拥有三个大型测试研发中心以及于 2022 年 6 月中旬最新投入运营的德国国家轻量化验证中心（LEIV）。

(1) 轻量化创新中心（LIZ）：该中心除配备有材料力学实验室外，还有大型结构测试场，可对比如汽车，商用车以及轨道车辆进行结构性测试。同时配备有高达 27m 的落塔，撞击测试面积可达  $2.5 \times 2.5 \text{ m}^2$  和计算机断层扫描设备。其顶楼还配置了 CAE 培训和发展中心，除了能满足对学生和研究人员的 CAE 技能培训，还拥有进行大型仿真运算的 HPC 高性能计算能力。

(2) 聚合物应用中心（KAZ）：该中心主要配备了与聚合物产品的加工方法和复合材料的应用处理相关的演示设备，例如 6 米直径的编织机，高性能热压罐，5 轴缠绕机等大型设备。

• 工艺开发中心（PEZ）：该中心重点关注复合材料的多种多样的加工工艺。配备有例如具有红外线加热场的全自动生产线，冲压和注塑设备，挤出和拉挤生产

线，LFI 系统，用于喷涂浸渍、湿压和模腔发泡的 PUR 技术设备，用于环氧加工的 RTM 系统等一系列加工设备。

（3）轻量化验证中心（LEIV）：该中心是为了将环境友好型，资源节约型的循环轻量化研究成果快速转化为工业实践而设立的一个多方合作平台。尤其是中小型企业（SME）将从中获益。通过这种方式，学院正在为向环保循环经济的必要转型做出自身的贡献。

### （三）德国德赢技术公司

德国德赢技术公司（简称：德赢科技）是专业的轻量化技术工程服务公司，2004 年创建于德国巴登符腾堡州阿伦市，现为德国德赢控股公司全资子公司。2009 年大连德赢科技发展有限公司成立，主要从事汽车与船舶轻量化工程开发与产业化项目。2016 年沈阳德赢科技公司成立，主要从事宝马供应链德国轻量化中小企业落地中国项目。

德赢科技的核心竞争力是轻量化技术与产品尤其是铝镁合金产品的工程开发与产业化应用。公司在德国长期从事铝镁合金汽车结构件与底盘件的工程开发项目，德国轻量化技术领域里的众多企业与研发机构有着长期良好的业务合作关系，为中国与德国客户提供轻量化工程技术系统性解决方案。

德国德赢技术公司是德国大众集团研发中心镁事业部中国事务的战略合作伙伴，也是大众汽车集团的供应商。

大连德赢科技发展有限公司是国家科技部镁合金专项“十二五”项目中唯一的东北地区民企参加单位。公司曾经主导了一汽红旗 H7 车型大型铝镁合金关键结构件与底盘件的工程开发服务。

作为欧洲镁协会常务理事单位与中国科技部镁项目专家工作组单位，德赢科技公司主导实施了中欧中德镁合金重大合作项目，深度参与中国科技部镁产业中长期发展规划、863 计划、“十五”到“十二五”规划的起草与实施工作，为中德中欧在镁产业领域的人才交流与技术合作做出了重要贡献。

自 2009 年起，德赢科技历经十余年，打造了国内唯一基于德国轻量化技术知识体系的轻量化技术网平台，由以下内容组成：

1. 轻量化技术网（始于 2009 年，[www.lightweight-design.com.cn](http://www.lightweight-design.com.cn)）
2. 轻量化技术微信公众号（始于 2014 年）
3. 《轻量化技术》电子期刊（2014-2019）（2020 年起为专题报告）
4. 轻量化技术译丛（2010-2020 出版德国轻量化系列译著四部）
5. 轻量化技术培训（始于 2010 年）

## 6. 轻量化技术年会（始于 2014 年）

中德轻量化技术年会首次于 2014 年在沈阳举办，2016 年起成为德国巴登符腾堡州轻量化局在亚太地区唯一官方指定会议。2019 年在山东邹平举办的第 6 届中德轻量化技术年会由央视二套天下财经频道进行了报道。2022 年第 9 届中德轻量化技术年会暨展会适逢中德建交 50 周年，将与国家级展会辽宁国际投资贸易洽谈会（辽洽会）联合举办，并将永久落户辽洽会。

在国内普及德国轻量化技术理念的同时，德赢科技与巴符州轻量化局合作，致力于德语区轻量化技术中小企业在中国的技术转移与市场化，先后协助多家德国轻量化技术创新型企业落地国内以及技术在国内的成功转化。

2022 年起，德赢科技携手德国巴登符腾堡州轻量化局在国内联手实施“中德轻量化城市”示范项目，展示人车城一体化、生产生活生态一体化的未来轻量化碳中和绿色城市先进理念，推进中德合作引领的人类命运共同体发展。

### （四）德国巴登符腾堡州轻量化局

成立于 2013 年的德国巴登符腾堡州轻量化局是德国唯一在联邦州政府层面设立的轻量化行业官方机构，网络内企业 2000 多家，行业协会 150 家，高校研究机构 200 余家，并与加拿大、荷兰、奥地利等相关机构联合打造了世界上最大的轻量化网络联盟。巴符州轻量化局也是欧洲轻量化协会的发起单位。巴符州轻量化局致力于保护和推广巴符州中小企业的技术，协助巴符州的企业和机构寻找客户，打造专业培训服务平台。

2016 年起，巴符州轻量化局作为联合主办单位在中国举办中德轻量化技术年会，中德轻量化技术年会成为巴符州轻量化局在中国乃至亚太地区唯一官方指定的年会。2018 年起，巴符州轻量化局在中德轻量化技术年会前后组织德国轻量化企业中国行考察活动。2019 年，在中德科技大会期间，巴符州轻量化局与中国德国研发创新联盟签署了战略合作协议。2021 年起，巴符州轻量化局代表德国与中国、加拿大合作伙伴联合轮流举办全球轻量化峰会。

## 第四章 中德轻量化领域合作典型案例

作者：高玉龙

### 中德轨道交通技术（德累斯顿）联合研发中心有限公司

#### 一、背景与历程

中国中车青岛四方机车车辆股份有限公司（以下简称“中车四方”）紧跟国家战略方向与国际技术发展趋势，以轨道交通装备新材料应用技术的升级需求为突破口，在中国科技部、驻德大使馆及中国中车的大力支持下，2014年10月，在中德两国总理共同出席的第七届中德经济技术合作论坛上，与德累斯顿工业大学签署共建“中德轨道交通技术联合研发中心”合作框架协议，纳入李克强总理访德的一揽子成果。

2015年5月，中车四方、中车研究院与被誉为“欧洲轻量化之父”胡芬巴赫院士的FutureTrans公司在德国德累斯顿合资成立中德轨道交通技术联合研发中心。时任科技部部长万钢致贺信，时任科技部国际合作司司长靳晓明参加挂牌仪式并致辞。

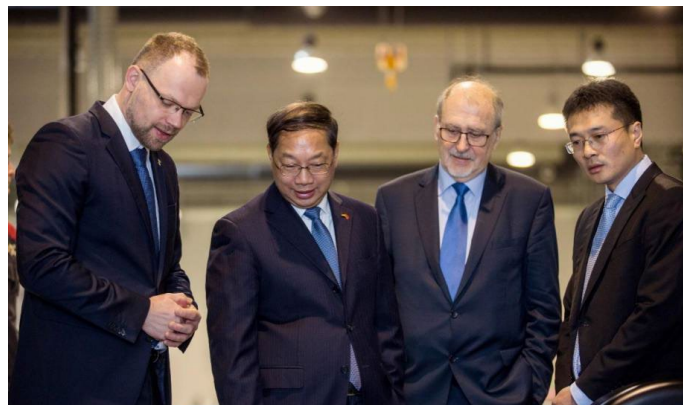


2016年4月，时任中国科技部部长万钢视察中德联合研发中心，指示将研发中心作为海外聚智平台，纳入国家高速列车技术创新中心系统规划和建设，创新合作模式、实施协同创新。



2017年1月，胡芬巴赫教授荣获“2016年度中华人民共和国国际科学技术合作奖”，以表彰他对中国科技事业所做贡献。

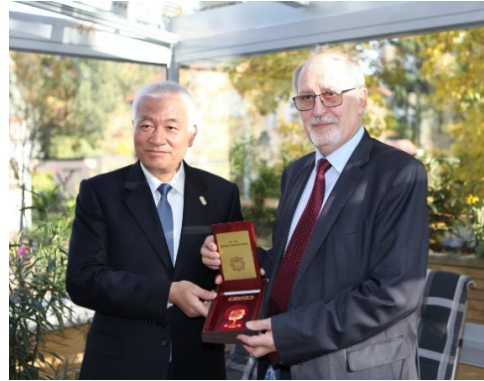
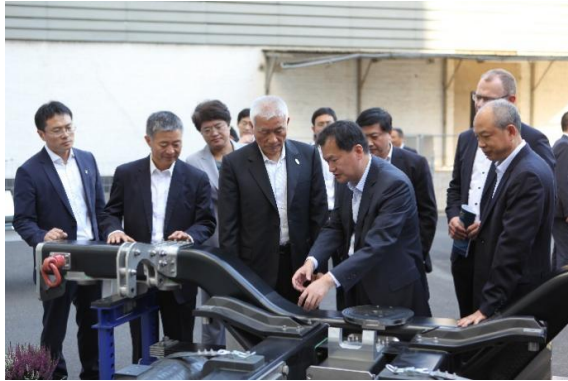
2018年1月，时任中国驻德大使史明德视察中德联合研发中心，肯定研发中心在中德科技合作与人文交流方面取得的成果。



2018年9月，中德联合研发中心与中车四方联合研制的碳纤维车体、构架等主承载结构，依托下一代地铁整车在柏林轨道交通展面向全球首发，获得行业广泛关注。



2019年10月，科技部部长王志刚赴中德研发中心考察，指出将研发中心打造成国际合作的样板和典范，在科技创新上走得更远，走得更好。



## 二、合作成果

自2015年成立至今，联合研发中心在合作模式、项目合作、人才培养、技术转移等方面取得诸多成果：

### （一）合作模式

中德联合研发中心由中德双方合资注册成立。研发中心设股东会，中德双方各派一名执行董事共同管理，目前现有员工23人，其中德方18人，中方5人。

联合研发中心面向全球聚智，开启联合创新的新模式，整合德累斯顿工业大学、弗朗霍夫研究所、德国艾玛公司、奥地利塞卡复材公司、西班牙卡布斯复材公司等外部创新资源，集合百家之长，实施联合攻关，构建了一个开放式的跨国创新平台，实现合作模式的创新。

### （二）项目成果

在中国科技部、驻德使馆以及德国萨克森州政府领导的大力支持和关心下，研发中心已承担Shift2rail欧盟研发合作项目1项，中国科技部重点研发计划1项，德国联邦铁路局联合研发项目1项，中德两国政府青年科学院项目1项，研发的碳纤维转向架获欧洲铁路集群2020年度欧洲ERCI创新大奖，一体化受电弓平台获得Set4Future“2022创新奖”。



依托科技部十二五国家科技支撑计划“下一代城市轨道交通列车关键技术及装备研制”项目，完成碳纤维复合材料列车司机室、设备舱、车体和转向架构架研制，较传统金属结构减重超 30%，并成功应用于下一代地铁列车，实现整车减重 13%，降噪 5-8dB，节能超 20%。经各项试验验证，产品综合性能优异，在 2018 年德国柏林轨道交通展上面向全球首发，在业内引起轰动效应，极大的提高了中国轨道交通装备制造企业的国际品牌影响力，并获第 21 届中国国际工业博览会科技创新大奖。



在产品研发的同时，还重点突破了基于碳纤维复合材料的大截面变曲率三维编织技术、自动化缠绕技术、大尺寸复杂结构共固化技术等先进成型工艺，申请国际专利 19 项，积极构建重点面向轨道交通车辆的“一站式”轻量化解决方案。



在成功研制下一代碳纤维地铁的基础上，依托科技部十三五国家重点研发计划战略性国合专项《基于碳纤维复合材料的复杂断面长大型材及构件关键技术研究》，完成长大多腔地板拉挤型材的结构设计和铺层优化，试制出长度 $\geq 30$ 米、宽度 $\geq 0.6$ 米、直线度 $\leq 3$ 毫米/10米的长大薄壁多腔复合材料型材，切实自主掌握了轨道交通过碳纤维复合材料复杂断面长大型材一体化成型技术，解决了轻量化复合材料大部件在批量化制造与应用时，所面临的高效、低成本、自动化等技术瓶颈。



### （三）人才培养

中德联合研发中心作为“中国中车海外人才培养基地（德国）”，围绕轻量化复合材料技术、欧洲先进的制造及管理技术，已累计组织举办各类培训和讲座 20 余场。

此外，在科技部的领导下，积极推进“德国中国研发创新联盟”建设，带动德国企业、高校、院所与中方共同深化交流与合作。

同时，中车四方选派熟悉轨道车辆的优秀工程师长期派驻德国（已累计选派 15 名），与德国专家共同开展项目攻关，集合双方之长，构建开放式的跨国协同创新平台。



## （四）技术转移

为承接中德研发中心成果，实现轻量化技术的平移，一方面，在国内配置一支约 40 人的技术与管理镜像团队，共同参与项目实施，实现跨国协同、立体化管控，技术高效转移与落地，完成了下一代碳纤维地铁等产品的研制，填补了国内技术空白；另一方面，依托国家高速列车技术创新中心，建立复合材料中试线，用于复合材料工艺研究及小批量生产试制，构建“德国研发，国内落地”的协同创新模式。目前已装备大型热压罐、拉挤机、模压机、大型五轴加工中心等大型设备 30 余台套，具备高质量热压固化、多型腔长大型材拉挤、高效模压等主流复材工艺能力，可实现车体侧墙、车顶、地板、边梁，以及司机室、设备舱等轨道车辆关键部件的中等批量自主制造。

中试线将作为中国中车复合材料产品研发和试验基地，以中国高铁“政、产、学、研、用”成熟的创新模式为基础，构建出从产品研发到产品应用、维护维修等全寿命周期管理的综合能力，为轻量化复合材料技术在轨道车辆上的工程化应用提供强力支撑。

## （五）社会效应

中德创新合作模式及研发成果广受全球媒体关注，中国政府网、新华社、人民网、科技日报、美国 ABC 广播公司、德国商报等国内外主流媒体争相报道。其中，研发中心的轻资产投入、以科研项目支撑获得核心技术的国际合作创新模式，荣获 2020 年全国国企管理创新奖一等奖。

时任科技部部长万钢、中国科技部部长王志刚，德国教研部、萨克森州政府主要官员，以及时任中国驻德大使史明德，驻德科技处公参尹军等领导，多次莅临研发中心视察，肯定研发中心创新模式与成果。2018 年，中国驻德使馆专门给科技部写信，褒奖研发中心在中德科技合作中的示范作用，并由科技部转呈总理，号召中央企业广泛学习。

此外，研发中心也拉动了当地经济与科技发展、促进了就业，实现了跨国合作、互利共赢，展现了中国深度参与国际科技合作的能力，以及负责任大国的形象。

## 第五章

### 中国（德国）研发创新联盟轻量化专业委员会

中国（德国）研发创新联盟（简称“CFEID”）是一家在德国柏林注册成立的中德组织，旨在增进中德研发创新相关公司、机构间联络，构建技术交流平台及前沿科技领域技术孵化平台，组建国际专家智库，为政府、企业间项目合作开展提供专业建议。联盟于 2022 年 4 月 12 日正式成立轻量化专业委员会（以下简称“专委会”）。专委会以“共商、共建、共享”为宗旨，坚持“正当其时，舍我其谁”的理念，致力于搭建中德两国科技创新和友好交流的桥梁，搭建一个提供中德两国轻量化技术、信息、资源、人才对接的平台，努力发挥中德两地资源优势，为联盟会员提供优质服务，满足两国轻量化技术需求。

#### 联盟轻量化专委会部分成员

名誉主任：雷宪章 院士



中国（德国）科研创新联盟主席、德国国家科学与工程院院士，国家特聘专家，国家电网特聘专家。中国电力联合会专家委员会副主任委员，天府永兴实验室首席科学家，欧中氢能与燃料电池协会理事长。

## 主任：莫凡 教授



中国（德国）研发创新联盟副主席兼轻量化专委会主任、博士、教授、博士生导师，著名轻量化一体成型和异形材料连接技术专家、著名高速磁浮交通专家。中德轨道交通技术（德累斯顿）联合研发中心协调人，“欧洲轻量化之父”胡芬巴赫院士团队核心成员，同济大学教授。

## 主任：李吉宝



李吉宝，中国（德国）研发创新联盟副主席、吉林省通用机械（集团）有限责任公司董事长、党委书记、总经理，吉林省工商联副主席，长春市总商会荣誉会长，研究员级高级工程师。国务院特殊津贴专家，吉林省拔尖创新人才、吉林省有突出贡献中青年专家，吉林省政府高级专家，大连理工大学、吉林大学、吉林财经大学等多所院校客座教授，中国汽车工业协会理事，吉林省企业家联合执行副会长，长春市汽车行业协会会长。全国优秀企业家，中国社会主义事业优秀建设者，吉林省劳动模范，吉林省卓越贡献企业家，吉林好人，吉林省双创领军人才、吉林省非公党建领军人才。2018年得到了习近平总书记接见。

## 副主任：高玉龙



中国（德国）研发创新联盟副主席、高级工程师，现任中车德累斯顿研发中心执行董事，中国复材学会轨交专委会委员。前期担任中车青岛四方机车车辆股份有限公司复合材料研发部主任，长期从事轨道交通车辆设计研发工作，2016-2019 年赴德国研发中心从事轨道交通车辆复材产品设计、研发工作，作为碳纤维复材车体项目负责人，完成下一代地铁碳纤维车体设计研发，碳纤维车体于 2018 年 9 月在柏林轨道交通展面向全球首发，获得行业广泛关注，并获 2019 中国国际工业博览会科技创新大奖。

## 副主任：陈力禾 博士



中国（德国）研发创新联盟成员、德国马格德堡大学机械工程系博士毕业，现任德国德赢控股公司董事长。中国轻量化技术网、中德轻量化技术年会与全球轻量化峰会创始人。现任机械工业出版社汽车技术领域专家咨询委员会委员、全球华人汽车精英联合会成员、德国华人汽车工程师协会常务理事。曾任德国巴登

符腾堡州混合轻量化技术委员会评审委员、德国弗劳恩霍夫系统可靠性与结构耐久性研究所和德国弗劳恩霍夫工业管理研究所顾问、欧洲镁研究协会常务理事、中国国家科技部十五重大科技攻关专项“镁合金应用及其产业化”专家工作组成员。

**副主任：山东魏桥创业集团**



中国（德国）研发创新联盟成员、全球铝业和纺织业两大领域的行业领军者。集团旗下现有 3 家上市公司（其中 2 家香港上市公司），在国内外建有 12 个生产基地，全球员工约 10 万名，为 120 多个国家和地区服务，已连续 10 年入围《财富》“世界 500 强”企业排行榜，连续 16 年入选《中国 500 最具价值品牌》排行榜，是最具全球竞争力的中国制造企业之一。魏桥德国有限责任公司是集团的欧洲总部，2020 年 2 月在德国杜塞尔多夫成立。魏桥德国的长期目标是致力于建立一个以铝产业为中心、覆盖整条铝产业价值链的网络和平台，从铝土矿开发、原铝和再生铝生产到铝应用，尤其关注铝轻量化（汽车、船舶、建筑、航空航天等领域的轻量化技术和工艺）、材料科学（铝合金、新材料等）以及低碳发展和循环再生，助力集团可持续发展和创新。

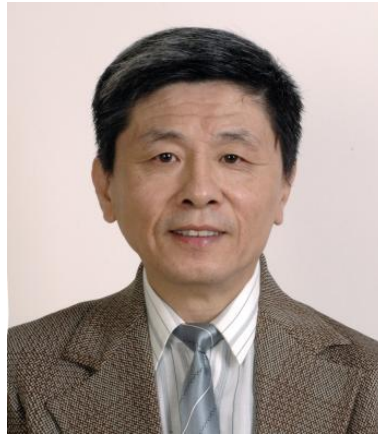
**秘书长：郝冠琦**



中国（德国）研发创新联盟副主席、秘书长。中汽研欧洲检测认证有限责任公司副总经理，曾任中国汽车技术研究中心有限公司德国代表处首席代表，负责中国汽车技术研究中心欧洲商务运营、公共关系、市场调研、平台建设和项目管理等工作，了解中欧汽车行业发展，作为国际智能网联汽车合作联盟、中德电动汽车创新支撑中心等国际重要组织核心成员，深度参与多项中欧汽车产业合作项目。

## 成员：

### 王立耀 教授级高级工程师



毕业于北京理工大学机电工程系，服务于央企大型企业集团，高级经理、教授级高级工程师。历任中国汽车工程学会常务理事、中国汽车工业协会理事、中国汽车工业协会专用汽车分会副理事长、中国汽车工业协会专家委员会专家、国家高档数控机床与重大基础装备专家委员会专家、中国物流与采购联合会装备专业委员会首席专家。从事汽车行业工作 40 余年，参与制定国家八五、九五、十五、十一五、十二五、汽车工业发展规划制定工作，主持实施了长安汽车、北奔重卡、北方尼奥普兰客车、北方重型矿用汽车及各类专用汽车发展规划、技术引进、合资合作、技术管理工作，对汽车工业有着深刻的理解。

在轻量化领域，作为项目负责人，主持完成世界首台首套 36000 吨大型垂直挤压机设计、制造工作，为工业领域轻量化使用大截面黑色金属、有色金属挤压型材及大型铝合金锻件奠定了坚实基础。

## 唐荻 教授



北京科技大学教授、博士，北京科技大学毕业，1993-1994 在 Uni Stuttgart，1999 年 RWTH Aachen 进修学习。曾任北京科技大学冶金工程研究院院长、高效轧制国家工程研究中心主任。现任北京科技大学钢铁共性技术协同创新中心首席科学家、高效轧制与智能制造国家工程研究中心首席科学家，中国金属学会理事、专家委员会成员、中国金属学会材料深加工分会主任委员。自 1984 年起即从事先进汽车用钢的研究与开发，承担过多项国家攻关项目，并且与宝钢、武钢、首钢、鞍钢、邯钢等企业在 IF 钢、IF 高强钢、BH 钢、DP 钢、TRIP 钢、热成形钢等方面完成过很多项目，在 IFU，Uni Stuttgart 期间从事汽车用铝板的摩擦学方面的研究，长期致力于汽车轻量化所使用的钢铁和其他金属材料的研发与性能优化。发表相关论文 200 余篇，完成专著三部《汽车用先进高强板带钢》、《高品质热轧板带钢理论基础及品种开发》和《轧钢过程节能减排先进技术》。

## 丰镇平 教授



博士，西安交通大学教授、博士生导师，热力叶轮机及动力装备专家。专长于热机气动热力学与热端部件冷却技术及其气热耦合设计优化等研究，现为国家航空发动机及燃气轮机专项基础研究专业组专家、教育部重型燃气轮机领域教



学资源及新型教材建设项目专家工作组组长。

## 胡正飞 教授



博士，同济大学材料科学与工程学院教授，博士生导师。中国机械工程学会材料专业委员会理事、机械工程材料学报编委。一直从事金属材料领域的科研和教学工作。主要从事高强度金属材料领域应用基础理论和工程实际问题研究，一是具有工程应用背景的新型合金材料的开发与应用；二是材料及结构的失效分析与评价，包括材料的使役行为、腐蚀失效等。关注与工程实际紧密结合的新材料开发与应用，长期跟踪重大工程领域的材料失效分析与评价方面研究。注重实验物理手段的运用，从材料的组织结构分析手段和数值模拟相结合的方法，深入理解材料组织结构与性能关系，并结合到新材料开发、材料工程应用评价、材料损伤与失效中去。承担或参与了国家“十一五”和“十二五”支撑课题、国家自然科学基金、973子课题、国家重点专项、上海市重点课题等项目研究工作。涉及超高强度合金、铝合金及铝合金复合材料、异种材料连接、电池能源材料等。

## 崔勇 教授



中国（德国）研发创新联盟成员。斯图加特大学工程师博士、教授资格，博士生导师。中德轨道交通技术斯图加特联合研发中心执行董事及斯图加特交通科学有限公司发言人、合肥学院教授。研究方向为轨道交通及公共交通规划和控制，交通调度优化，机器学习，计算机模拟，交通领域建模，动力学仿真，列车车辆检修维护，传感器技术的应用，交通系统性能容量研究。曾主持中德合作高速磁浮（600 公里/小时）系统动力学仿真、在随机条件下轨道交通运营仿真模型的校准算法（德国科学基金会 DFG 项目）、铁路微观运营容量分析及瓶颈识别（德国铁路项目）、氢能源列车的应用与产业化研究等多项重大科研项目。

## 刘波 教授



国家重点研发计划“新能源汽车”总体专家组成员、中国汽车轻量化技术创新联盟专家委副主任、北京科技大学机械工程学院车辆工程系教授。原为重庆长安汽车股份有限公司研究员级高级工程师，材料与轻量化高级副总工，14 年汽

车主机厂从事汽车轻量化技术应用研究经历，长期从事汽车轻量化工作，曾经主持国家科技部科技支撑项目、工信部工业强基项目、重庆市杰出青年基金项目、重庆市产业类重点研发项目，研制开发了中国汽车品牌第一款镁合金座椅骨架、铝前碰撞横梁、超高强钢门槛加强件、铝前罩等高强轻质汽车零部件，获得省部级科技奖励 16 项，发表论文 10 余篇，获得国家“万人计划”科技创新领军人才，国务院特殊津贴专家，全国优秀科技工作者，中国兵器装备集团公司“科技带头人”，中国汽车工业优秀科技青年人才，重庆市产业技术带头人。目前主要从事新能源汽车车身设计与轻量化技术领域科学研究，并负责金属轻量化成形制造北京市重点实验室的工作，搭建轻量化成形制造研发平台。

## 刘维民 博士



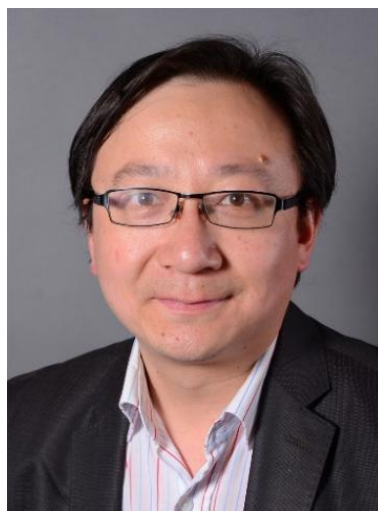
德国斯图加特大学化学系工程师博士。目前在上海领导上海优砺新材料科技有限公司。公司为德资背景、按 ISO 17025 标准建立的第三方实验室，关注汽车内外饰零部件涉及“表面”的性能测试，是很多主机厂认可的实验室。

## 柯南极



高级工程师，现任中国国家新能源汽车技术创新中心对外合作负责人。中国人工智能学会专委会委员，北京理工大学机械硕士专业学位校外导师，北京市高层次科技成果转化引进人才，北京市科委及国资委、天津市科技局入库专家。长期从事推动汽车电动化、轻量化、智能化创新工作，获得专利 40 余项，发表国际国内论文 7 篇。

## 刘天祥 博士



中国（德国）研发创新联盟成员、联盟碳中和与能源转型专业委员会委员、欧中氢能和燃料电池协会委员、机械工程博士、德国洪堡学者，德国科林工业技术有限公司主要负责人、高级经理和高级工程师。服务方向：氢能源制氢、储运技术、轻量化技术、碳回收碳中和技术、有限元和流体计算力学服务和咨询。在制氢、储氢、运氢、以及相关的轻量化技术等领域有较深入的研究。早年从事

计算摩擦学, 计算材料学, 多尺度计算等方面的科研、教学工作。学术成果突出, 出版专著一部, 发表学术论文 50 余篇, 其中 SCI10 余篇, 研究内容入选中国机械百科全书。

## 龚欣



德国工业传感系统隐形冠军 Engionic Femto Grating GmbH 销售经理和项目经理、柏林 MGB GmbH 医疗器械监管 MDR 负责人、浙江清华长三角研究院柏林技术中心高级技术顾问、留德中国物理学者学会理事, 欧中氢能和燃料电池协会理事。柏林自由大学物理化学系和马普物理化学电化学所攻读自然科学博士。主要从事方向: 光电子, 光谱, 激光微加工, 光纤传感, 微系统传感器, 工业测控与标准化, 医疗器械安全监管, 系统全栈开发, 算法实现, 多物理量模拟。德国和中国多所应用技术大学兼职讲授 光电系统开发, 能源系统技术, 数据分析, 全栈开发等技术课程。北京理工大学光电子学士, 德国 TU Clausthal 物理和物理技术硕士。曾就职于德国联邦材料研究与检测所 (BAM) 光纤传感组, 至今近 50 个工业项目经验。

## 孟宪明 博士



中国汽车技术研究中心有限公司轻量化技术首席专家。主要从事汽车轻量化、新材料新工艺（多材料车身结构设计、异种材料连接工艺、大型构件一体化成型工艺、先进复合材料成型工艺等）等关键共性技术研究及研发团队管理工作，具有丰富理论知识和工程化实践经验。主持及主承担国家级科研项目 4 项，省部级科研项目 4 项。申请发明专利 40 余项，授权发明专利 6 项，实用新型专利 26 项，授权软件著作权 20 项。制修订国家标准 6 项，发表论文 50 余篇，其中 SCI 收录 30 余篇，获得中国汽车工业技术发明一等奖 1 项，省部级科技进步二等奖 7 项。

## 郭金海 博士



上海复合材料科技有限公司高级工程师。研究领域为碳纤维增强树脂基复合材料在航天领域的应用。以项目申报促进国产碳纤维在型号上的应用主持或参与

过若干项国家 863 项目、上海经信委产学研项目等各个层次基金项目，基于博士期间的学习和资源，率先在航天八院推动国产碳纤维在卫星、运载火箭、航空等相关型号的预先应用研究。积极创新提升碳纤维复合材料制造水平开发出软式先进拉挤成型和预浸料多轴向先进拉挤成型技术；开发出高模量超薄预浸料；创新开发出 LAHSM 技术，高效制备航天异形构件高质量成型，相关产品应用于空间站、风云系列卫星等型号。相关技术获得授权发明专利 10 项，实用新型专利 3 项，另外有 15 项专利进入实审环节。借助型号发展创新优化产品质量组织实施一项集团级工艺振兴项目，若干项八院工艺改进和自主研发项目以及公司级工艺质量改进/攻关项目，显著提高复合材料制造水平和可靠性。开拓院外市场，实现军品融合积极拓展航天八院碳纤维复合材料在中国电子、中船重工、航天科工等院外单位的业务，形成了以透波天线罩、船用复合材料构件、高精度天线反射器、碳纤维油箱弹翼等拳头产品的批量化生产，为公司军民融合领域的业务产值做出贡献。

## 补鸿衫



中德研发创新联盟碳中和专委会委员、北京鸿衫投资管理公司执行董事，北京瀚海动能科技有限公司执行董事。长期从事科技成果引进、转化等相关咨询及投融资服务。担任北京中以创新生态联盟副理事长；担任北京发明协会发明创新大赛优秀项目创新创业导师、北京高创天成国际企业孵化器创业导师；担任民建海淀金融委委员。美国 SBTI 六西格玛(6 Sigma)黑带。美国乔治亚理工学院创新和技术商业化专业人士(ITCP)认证。基金投资从业资格，独立董事执业资格，并购交易师执业资格。曾担任科技部中以创新创业大赛评委、曾担任工信部集成电路创业大赛评委。曾任星晖国际投资管理有限公司合伙人，参与中航机电德国某

汽车核心零部件项目并购；具有丰富的大型企业集团变革管理经验、跨境项目管理经验、跨文化冲突管理能力，以及关键资源整合能力。具有对企业变革重组、商业模式构建、卓越运营管理等具有深刻的认识和丰富的实操经验，擅长微观开拓和宏观驾驭，富有敏锐洞察力、出色创新力和卓越领导力。

## 罗蔚峰 博士



罗蔚峰博士在多特蒙德工业大学机械系硕士（Dipl.-Ing）毕业后，直接留校参加金属材料科学的研究，同时从事教学与科研工作，并攻读博士学位。期间大量参加德国国家科学基金会（DFG）、德国工业研究协会联合会（AIF）、欧盟科研基金会以及大众汽车科研基金会资助的等等科研项目。大量的从事了在材料科学方面，以特种材料工艺提高材料性能的前提下，相应降低材料的用量，最终达到不降低总体性能的前提下，达到轻量化的目的。博士毕业后，加入到卡斯特林集团位于瑞士洛桑的全球技术开发部。继续从事材料及涂层技术的研究。同时代表公司担任德国焊接协会 DVS 中第二技术委员会“热喷涂及火焰加工技术”科研项目组评委，作为企业代表，审批 AIF 资助的科研项目的申请报告，并审核项目科研成果。后担任 Thermico 公司亚太事务总监和开发部及市场部总监。去年，加入到 AneCom AeroTest 公司，正式进入德国航空技术领域，专门负责为中国国内航空发动机及燃气轮机的开发设计提供技术支持和数据检测等服务。



## 程一卿



上海航空材料结构检测股份有限公司高级工程师。目前主要从事航空航天、轨道交通用碳纤维增强等各类先进复合材料性能分析表征与评价。负责的项目包括 C919 飞机复合材料设计许用值适航验证、CRJ929 宽体客机研制国外复合材料和国产复合材料工艺规范验证、性能鉴定和设计许用值等。具有丰富的先进复合材料应用与评价经验以及大型科研及工程应用项目管理经验。

## 陈锡嘉



德国德累斯顿工业大学轻量化及复合材料专业硕士。现任逸发粘接及复材研究院技术总监，负责复材及粘接领域的技术管理工作及长三角区域科研、检测、培训及认证相关客户的对接工作。在职期间带领技术团队完成多个中车一级子公司的复材及粘接科研项目，包括复合材料及粘接相关的结构设计、仿真计算、测试检测及模型试制工作，发表论文 5 篇，专利 2 项。曾为轨道、汽车、家电等行

业 50 余家客户提供咨询工作。主导并带领技术团队完成德国 Fraunhofer IFAM 的复合材料技术引进工作，作为项目对接人完成复合材料相关培训的落地、推广及运营工作。

## 肖胜卿



同济大学本科，研究生毕业于德累斯顿工大能源系，曾任开姆尼茨工大工程热力学 Phd 研究助理，现就职于博世集团，从事热泵产品研发。

## 吴雨晨



德国德累斯顿工业大学机械学院轻量化及复合材料专业硕士。主攻轻量化设计方向，对轻量化结构、轻量化材料尤其是纤维复合材料及其制作工艺有深入了

解。现就职于 ARRK Engineering GmbH，为汽车整车以及零部件设计的被动安全提供保障。

## Koller 集团



Koller 集团是一家国际领先的汽车轻量化部件供应商，生产轻量化批量产品和模具，具备先进的材料处理能力（蜂窝三明治，高端注塑、碳纤维、片状模塑料、复合材料等）。2017 年，复星子公司南京南钢钢铁联合有限公司完成对其控股收购，南京南钢集团持股 84.5%。并于同年在中国注册成立凯勒（南京）新材料科技有限公司，建立中国区生产基地和轻量化研究中心。凯勒作为集团核心成员，是 Koller 在亚太市场的重要战略布局，秉承专业、专注、精益求精的德国“工匠精神”，以德国多年的技术与实践经验积累为基础，以合作创新、轻赢未来的企业价值观为出发点，依托股东复星集团国际化资源整合能力，南京钢铁集团 60 余年产业深度，不断创新、突破，开发符合市场需求并且引领行业方向的高性价比轻量化解决方案与终端产品，为客户创造价值。目前主要产品包括碳纤维拉挤制品、碳纤维模压制品、电池包壳体总成、电池包托架、后备箱总成、前端模块、大灯支架、低压注塑立柱、模压底护板等。目前 koller 集团主要配套用户包括奔驰、宝马、大众、上汽、吉利、江铃福特等。

## 参考文献

- [1]唐靖林, 曾大本. 面向汽车轻量化材料加工技术的现状及发展[J].
- [2]金属加工, 2009, (11):11-16. [2]朱则刚. 铝合金复合材料在汽车轻量化上的应用. 轻金属
- [3]汽车轻量化技术发展现状初探. 汽车工艺与材料 2009(2).
- [4]马鸣图, 魏莉霞, 朱丽娟. 塑料复合材料在汽车轻量化中的应用. 化工新型材料, 2011(11).
- [5]李军, 陈云霞, 李中兵. 汽车轻量化应用技术探讨. 汽车工艺与材料 2010(2).
- [6]范子杰, 桂良进, 苏瑞意. 汽车轻量化技术的研究与进展. 汽车安全与节能学报, 2014年, 第5卷第1期.
- [7]高新华, 王昱昕, 李中兵等. 汽车轻量化技术在奇瑞轿车上的集成应用. 汽车工艺与材料, 2011(1).
- [8]向晓峰, 魏丽霞, 马鸣图. 汽车轻量化技术的应用. 汽车工程师, 2012(5).
- [9]孙凌玉. 车身结构轻量化设计理论, 方法与工程实例[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011:148-187.
- [10]马鸣图, 易洪亮, 路洪洲, 等. 论汽车轻量化[J]. 中国工程科学, 2009, 11(9).
- [11]王利, 陆匠心. 汽车轻量化及其材料的经济选用. 汽车工艺与材料, 2013(1).
- [12]陈一龙. 汽车轻量化技术发展及展望. 汽车工艺与材料, 2012(1).
- [13]姜超, 陈林, 黄国杰. 汽车轮毂材料的发展现状及制备工艺[J]. 金属热处理, 2007.
- [14]陈军. 镁合金在汽车工业中的应用分析[J], 材料研究与应用, 2010, 4(2).
- [15]孙方, 景林, 郭静. 镁合金在汽车轻量化方面的应用. 轻金属, 2008(7).
- [16]丁文江, 彭之明, 付彭怀, 等. 高性能镁合金发展现状与趋势[J]. 铸造纵横, 2008, (5)9-16.
- [17]曾大本. 面向汽车轻量化材料加工技术的发展动向. 汽车铸造业, 2011(2).
- [18]陈涛, 向宇, 李健, 余玲. 泡沫铝在汽车工业中的应用[J]. 轻金属, 2009.
- [19]冯美斌. 汽车轻量化技术中新材料的发展及应用. 汽车工程, 2006.
- [20]王广勇, 王刚. 高强度钢在汽车轻量化中的应用. 汽车工艺与材料, 2011(1).
- [21]杨挺. 汽车工艺中塑料材料应用的现状及展望. 化工新型材料, 2013(5).



## 轻量化发展白皮书 2022 编委会

顾 问：

雷宪章

叶盛基

主 编：

李吉宝

副 主 编：

莫 凡

陈力禾

高玉龙

赵庆发

编 委：

郝冠琦

柳 毅

蔡 颖

王文洁

张 扬

王嘉伟

审 核：

中国（德国）研发创新联盟主席团

责任编辑：

王帅琳

王立刚

张一鸣

美术编辑：

解 威