

新能源汽车轻量化技术发展现状与展望

李先洲

(广汽传祺汽车有限公司, 广州 511434)

【欢迎引用】李先洲. 新能源汽车轻量化技术发展现状与展望[J]. 汽车文摘, 2025(3): 17-23.

【Cite this paper】LI X Z. Development Status and Prospects of Light Weight Technology for New Energy Vehicle[J]. Automotive Digest (Chinese), 2025(3): 17-23.

【摘要】轻量化是提高新能源汽车续航里程的关键技术之一, 确保制造成本轻量化之间的平衡, 是各大车企面临的考验。通过收集、整理轻量化制造、装配和设计技术, 从车身、内外饰、底盘及三电领域典型零件举例阐述可实现的技术方案。研究认为实现轻量化一般采用轻质材料替代和部件结构优化, 其中钢铝混合车身、一体化压铸和零部件集成设计是目前热点, 也是实现整车减重技术发展的方向。

关键词: 新能源汽车; 轻量化; 制造工艺; 装配技术

中图分类号: U466 文献标志码: A DOI: 10.19822/j.cnki.1671-6329.20230273

Development Status and Prospects of Light Weight Technology for New Energy Vehicle

Li Xianzhou

(Guang Zhou Automobile Group Motor Co. Ltd., 511434)

【Abstract】Lightweight is one of the key technologies to improve the range of new energy vehicles. How to achieve a balance between cost and weight reduction is a challenge faced by major car companies. By collecting and organizing lightweight manufacturing, assembly, and design technologies, feasible technical solutions are explained through examples of typical parts in the body, interior and exterior decorations, chassis, and three electrical fields. Research suggests that lightweight materials and component structure optimization are generally used to achieve light weighting. Among them, steel aluminum hybrid body, integrated die-casting, and component integration design are currently hot topics and also the direction for the development of vehicle weight reduction technology.

Key words: New energy vehicle, Light weight, Manufacturing process, Assembly technique

0 引言

汽车轻量化要求在确保车身刚度、强度和安全性基础上, 最大限度减轻车身质量, 以提升整车性能, 降低能耗和用车成本。汽车在行驶过程中需克服滚动阻力、爬坡阻力、加速阻力以及空气阻力。研究表明, 上述阻力与车辆质量存在显著的正相关性^[1], 其中, 空气阻力约占总阻力的25%。通过采用流线型车身设计、全密封风窗玻璃、隐藏式雨刮器以及封装下地板等措施, 可以将风阻降低。若要进一步减小空气阻力, 需投入大量资金与技术, 设计更为流畅低矮的车身, 且不适用于对内部空间具有较大需求的车型。

而其余阻力类型与车辆质量成正比^[2], 因此, 轻量化被视为降低能耗的重要策略之一。

轻量化材料的发展趋势为以铝、镁取代钢, 以塑料取代钢和碳纤维复合材料, 而成本和成熟的加工技术将对新材料的推广应用产生重要影响^[3]。欧美、日本和韩国等地区已制定了轻量化技术路线和相应法规, 并投入大量资金进行相关研究。美国侧重通过改进材料提高生产效率, 综合考虑材料的成本、性能、可回收性和使用量。欧洲则主要侧重应用高强度钢、镁合金和碳纤维复合材料。例如, 大众和奥迪通过采用铝替代钢, 使车身质量减轻40%, 若采用镁合金可实现49%的减重效果, 采用碳纤维复合材料则可达到

52%的减重效果。日本侧重材料和加工工艺的创新,通过材料技术的进步实现减重目标。中国采用高强度钢、铝及复合材料以实现轻量化目标。

目前汽车制造企业发布的轻量化技术路线主要围绕新材料应用,其中结构优化设计减重和轻量化制造技术的研究较少。此外,对新能源汽车底盘轻量化的具体技术路线尚缺乏明确可参考的方案。本文结合新材料在轻量化方面的应用前景,阐述与之匹配的轻量化制造工艺,同时对目前关注较少但对轻量化贡献较大、创新难度较高的系统集成设计和轻量化结构设计展开了研究。

1 轻量化制造工艺概述

车辆轻量化制造的实现主要依赖激光焊接、一体化压铸、镁合金压铸、液压成形以及超高强度钢热冲压成形等工艺技术。目前,传统汽车制造企业普遍采用高强钢激光焊接技术,而新兴汽车制造商以及国内中高端电动汽车则倾向于采用铝合金一体化压铸技术。

1.1 车身激光焊接

车身质量占整车质量40%~60%,采用薄板高强度钢激光焊接可以实现减重16%,提高燃油经济性10%。激光焊接效率高且变形小,目前几乎所有汽车制造商均采用了激光拼焊。先进高强度钢(Advanced High Strength Steel, AHSS)屈服强度更高,在抗碰撞、耐腐蚀、耐疲劳以及成本方面具有明显优势。然而,若材料抗拉性和抗剪切性提升,其变形性和可焊性将下降。国外正在开发性能更优异的第2代和第3代高强度钢。车身97%的部件可使用高速钢(High Speed Steel, HSS)和AHSS,其碰撞评价可达五星水平^[4]。例如,长城的柠檬平台在轻量化方面采取了较为全面的方法,涵盖了设计、材料选择、结构优化以及工艺实施等层面,该平台高强度钢的使用比例超过70%。通过采用一体化热冲压成形技术及不等厚钢板,在确保结构强度的同时实现了车身轻量化。

1.2 铝合金一体化压铸

2020年9月,马斯克在特斯拉“电池日”推广的一体化压铸技术可以有效取代先冲压、再焊接技术^[5]。该技术采用一个大型压铸件取代多块钢板冲压件,极具经济效益和环保意义。未来下车体可由4个一体化压铸件组成:前舱、后舱、乘员舱和电池集成到底盘(Cell To Chassis, CTC)一体化。中国电动汽车百人会副理事长董扬曾指出,特斯拉采取一体化压铸,开新技术之先河,必将对汽车制造技术产生深远影响^[6]。

特斯拉采用8种真空一体化压铸零部件,其中Model Y A柱由13个零件集成为1个压铸件,B柱内板由11个部件集成,后纵梁由原22个零件集成,前部的防护罩由6个子零件集成,已实现结构设计优化。Model S和Model X车身和前后悬架也用铝代钢。国内新势力也积极采用一体化压铸技术,蔚来ET5后底板用C611铝合金一体压铸,强度上升的同时减重30%。ES8除了使用全铝车身,底盘、悬架、轮毂、制动系统以及电池组外壳也采用铝材质(7003系列)。小鹏G6采用前后一体式压铸铝车身,集成零件161个,整车扭转刚度比传统车身提升50%^[7]。除造车新势力外,传统汽车制造商如一汽、长安、东风、长城、吉利、奇瑞以及比亚迪等也开始布局一体化压铸。2023年1月15日长安首个一体化前机舱铸件产出;东风也在布局一体化压铸,上海交大中标了其车身结构件材料项目^[8]。特斯拉一体压铸前后底板如图1所示。

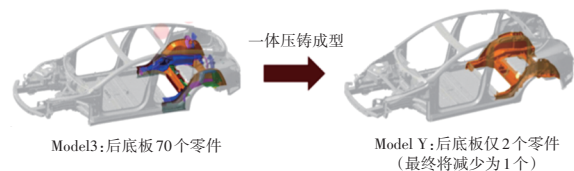


图1 特斯拉一体压铸后底板

1.3 铝合金热冲压成形工艺技术

在汽车轻量化材料的研究与应用中,采用铝合金代替传统钢材制造白车身可减重30%~40%。然而,以往铝合金的成本较高,主要应用于高端车型。随着成本降低,铝合金的应用逐渐扩展至20万以下车型。对于价格较低的车型,通常采用钢铝混合结构,以实现减重、车身强度和成本之间平衡。不同价格区间车型在轻量化材料选择和技术应用方面存在差异。目前,10万元以下车型主要采用钢材;10~20万元价格区间的车型以钢材为主、辅以少量铝和玻纤增强塑料;20~35万元价格区间的车型在钢材基础上增加了铝合金和玻璃纤维增强塑料的应用;35万以上车型,白车身结构多以铝合金为主。

6系高合金含量铝合金的抗拉强度可超过350 MPa,而7系铝合金的抗拉强度超过500 MPa,达到了中高强度钢的标准,从而有效地解决了铝合金强度不足的问题。为了提升生产效率,热成型与冷模淬火(Hot Forming and cold-die Quenching, HFQ)技术得到广泛应用,其具有成本低且效益高的优点,是一种有效的改善铝合金强度的方法。HFQ工艺的步骤主要包括固溶热处理、热成型与淬火以及时效处理,具体流程为:将板材加热至固溶温度,随后迅速移至室温冷

模中冷却成形、淬火并保持压力。通过优化 Al-Cu、Al-Mg-Si 以及 Al-Zn-Mg(7系)合金成分,可以提升冲压件的耐腐蚀性。自 2016 年起, HFQ 技术已应用于阿斯顿·马丁和莲花汽车的车身结构件、封闭件以及电动系统外壳。如 Fischer 公司采用铝热成型技术生产一体式车门框,该车门强度及尺寸稳定性均较高。四川成飞集成吉文汽车采用整体热冲压,将 A 柱、B 柱和门槛加强板等部件集成为一体式门框,车身质量减轻了 40%。

1.4 镁合金压铸与塑性成形

镁的密度仅为铝的 2/3、钢的 1/4,且强度与刚性显著优于其他材料,因此其在零部件制造领域得到广泛应用。奔驰首次将镁合金应用于敞篷车的座椅结构,福特、丰田和现代等汽车制造商也相继采用镁合金代替传统钢板^[9]。长安的一款纯电动汽车采用 AM50 镁合金作为其座椅骨架结构,使整车质量减轻 9 kg^[10]。

镁晶体为密排六方结构,其塑性变形能力较弱,受到外力撞击时易破碎,且不耐腐蚀,影响寿命^[11]。镁合金的成型方法包括压铸和塑性成型^[12]。压铸可以有效解决压铸过程中出现的缺陷,而塑性则通过热处理和形变强化等技术提升材料性能。然而,镁的变形难度远高于钢、铝和铜,采用传统的塑性成型方法的成品率通常较低。因此,开发先进的塑性成型技术已经成为当务之急^[13]。目前,上汽集团自主研发的第 2 代三合一电驱动总成壳体采用 AZ91D 镁合金材料,是全球首款采用半固态射出工艺量产的镁合金壳体。其壳体质量为 13.7 kg,采用 4 000 T 大型半固态注射成型机,采用镁粒子吸入注射机料筒,在不完全熔化镁粒子、无保护气体的条件下,进行注射成型,实现零件强度提升 10%,延伸率提升 50%。目前铝合金电机壳体平均质量为 20 kg,改为镁合金壳体可实现减重 1/3,大幅提升电机功率密度,同时成本降低 40%。在当前竞争激烈的市场环境下,该策略为车企提供了更具竞争力的成本优势,镁合金电机壳体将成为车企的主流选择。

1.5 液压成形

液压成形通常通过 2 种加热技术实现:(1)采用内部加热的方式,将金属材质放入容器通过专用模具进行加热。(2)采取外部加热的方式,将材质加热至超出预期的温度,从而实现材质的加固。液压成形技术能够有效提升材质的强度、刚性和耐磨性,可以广泛应用于汽车悬架、排气系统的生产过程中^[14]。图 2 为内高压成型示意。

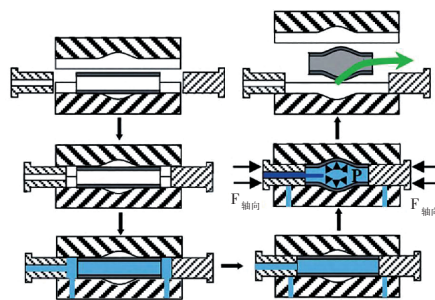


图 2 液压成形示意

通过优化设计提供更稳定的内部压力,该方法能够显著提升成型效果,减小模具的使用,降低生产成本^[15],已广泛应用于汽车底盘部件(如前副车架、扭力梁和控制臂)。例如,福特新蒙迪欧车型的 A 柱和 B 柱均采用 DP1000 钢管进行加固,车身质量减轻 2.1 kg。同时,为提升侧面安全性,还增加了 2 个加强板以提升其抗撞击特性。在中高端电动汽车领域,已开始应用铝合金生产副车架和控制臂,旨在进一步实现整车轻量化。

1.6 超高强度钢热冲压成形

热冲压成形技术可以将钢材加热至形成奥氏体状态,然后通过冲压和淬火处理,实现均匀的马氏体成型。该工艺可以解决高强钢冷冲压成型中拉裂及回弹量较大的问题。由于材料在高温下的塑性和变形抗力较低,从而使回弹率也较低,因此,该技术在车身上零件的生产中得到广泛应用以提升其机械性能。热冲压成形技术融合了热处理与高温成型技术,可以提升产品的耐久性、稳定性、耐磨损以及耐腐蚀,尤其适用于那些对性能要求严格、功能复杂、要求使用寿命较长且易维护的部件^[16]。目前,热冲压成形技术存在被铝合金一体压铸取代的趋势,但传统汽车制造商仍采用该技术。

2 汽车轻量化连接技术

传统汽车车身的制造工艺以点焊为主,随着新能源汽车车身结构明显变化、轻量化要求不断提高,传统的焊接工艺已无法满足车身性能设计要求^[17]。在选用新材料开展车身轻量化设计时,需确保铝镁合金等异种金属材料的焊接质量,有效避免焊接后出现变形现象。因此,新能源汽车在优化车身材料选型及进行轻量化设计时,必须配套研发更高级的连接技术,确保整车达到轻量化效果的同时满足可靠性的要求,包括激光焊接、搅拌摩擦焊、冷金属过渡技术、带极点焊技术、锁定铆钉、自冲铆接技术以及热熔自攻铆接技术^[18]。

2.1 激光焊接技术

激光焊接技术原理是以激光为能量载体,在辐射作用下将金属熔化,从而达到良好的焊接效果,具有焊缝变形小、效率高和焊接强度高的优势。较为常用的激光焊接技术包括激光钎焊技术和激光填丝熔焊技术^[19]。激光钎焊技术利用液态钎料润湿母材后,利用互扩散效应进行焊接,应用在车身顶盖及行李厢部位具有良好的焊接效果。激光填丝熔焊技术是将熔化的附件焊丝填充在板件角接位置,利用激光将母材熔化为液态金属,冷却后形成可靠连接。在新能源汽车轻量化设计中,铝合金材料和高强度钢料的应用会导致传统点焊方式无法满足连接质量要求,需采用激光焊接方式进行车身结构连接,以有效提升车身强度。

2.2 搅拌摩擦焊技术

搅拌摩擦焊是一种固相连接方法,通过采用高速转动搅拌头与工件摩擦产生热量和变形,使材料软化。此过程中,焊接母材处于未熔化状态,通过搅拌头的挤压作用结合在一起。随着热量降低,熔融金属凝固,从而实现材料的连接^[20]。搅拌头包括夹持部分、轴肩和搅拌针。搅拌针与工件摩擦产生热量,并在其周围形成螺旋状的塑性层。材料在搅拌头的旋转驱动下填充到搅拌头运动后侧形成的空腔中,形成焊缝。可分为缝焊和点焊,缝焊主要用于型材或较厚板材,如副车架、电池托盘、电池箱体和电机壳体。点焊主要用于铝合金薄板,应用于前围板、后门框和发罩内板等部件的制造^[21]。

2.3 冷金属过渡技术

冷金属过渡是基于短路过渡原理形成的新兴焊接技术,其利用焊丝机械回抽方式实现熔滴过渡,并完成不同材质材料的连接。冷金属过渡技术在焊接作业中的应用可以有效解决钢与铝合金材料连接时接头部位产生的脆性问题,同时可以减少焊缝凸起。冷金属过渡焊接为熔化极惰性气体保护焊(Melt inert-Gas welding, MIG)或金属焊条氩气保护焊(Metal Argon Gas, MAG)的一种,主要焊接钢和铝,可实现铝合金薄板及钢铝混合车身的焊接,主要用于车门内板和顶盖部位,在特斯拉 Model S 车身结构中得到有效应用^[22]。

2.4 带极点焊技术

带极点焊技术是一种通过在电极与工件之间增加电极带实现焊接的方法。在焊接过程中,电极施加压力使电极带与工件接触,从未完成焊接操作。该技术可以在当前焊接流程完成后,自动转移至下一个焊

接位置,有效提升焊接效率,保证工艺稳定性,确保焊接质量达到设计要求^[23-24]。在应用带极点焊技术的过程中,需根据材料特性选择不同电阻性能的电极带,确保所输入的焊缝热量能够满足性能要求。例如,在将带极点焊技术应用于钢和铝等异种材料连接时,上下两电极间需选择合适的电极带,确保电极两端达到良好的热平衡。然而,在操作过程中,需将铜电极置于冷却循环水中,与母材保持良好接触,以避免因强冷引起的焊接材料裂纹。

2.5 锁定铆钉

锁定铆钉的原理主要包括内部锁紧和外部锁紧2种方法。内部锁紧方法通过钉芯上的特殊结构与铆壳内的相应结构相卡合,形成内部锁紧,锁紧结构外部不可见。外部锁紧则需配备专用的铆枪进行拉铆,拉铆过程时铆钉芯被拉进铆壳内,断钉处翻边形成可视的外部锁紧结构,便于检验连接的可靠性和紧固程度。锁定铆钉适用于钢结构与轻合金结构的连接,尤其是在新能源汽车钢铝混合车身的组装过程中,如前后一体压铸铝底板与钢制车身的连接,用于连接不同的金属部件,提高车身的强度和安全性。

2.6 自冲铆接技术

在进行车身材料连接时,若有2种或2种以上的金属板材需进行冷连接,多数情况下可以采用自冲铆接技术。铆钉在穿透各层材料后,能够在最底层实现流动延展,形成相互镶嵌的一侧平整和另一侧带凸起圆柱的结构形式^[25-26]。新能源汽车车身结构较传统燃油汽车存在较大差异,内外覆盖件装配,多利用自冲铆接替代点焊工艺。自冲铆接应用广泛、适用材质类型多、不会产生热效应、生产效率高、能耗成本低、安全环保,具有质量稳定的特点。与胶粘工艺组合应用,在发动机罩等覆盖件装配中应用较多。

2.7 热熔自攻铆接

在新能源汽车上主要应用于流钻螺钉(Flow Drill Screws, FDS)工艺。FDS是通过高速旋转的螺钉在工件表面摩擦生热,使金属软化并自攻丝拧紧的连接技术^[27]。工艺过程包括旋转(加热)、穿透、通孔、攻螺纹、拧螺纹和紧固6个阶段。该工艺可以在较小形变的情况下实现单边连接,适用于铝合金、钢等材料,如车身和底盘等部件的连接。

3 轻量化结构设计

汽车轻量化不是单纯的缩减体积或减轻质量,而是一种与安全性、稳定性、舒适性和耐撞性密切相关

的综合性设计策略,可以提升产品性能和可靠性。轻量化设计首先考虑是否满足部件的功能和可靠性需求,在已满足功能要求的前提下,可考虑直接进行轻量化。若无法满足功能时,需对功能进行完善,并保持质量不变。轻量化过程中需实现性能提升和质量减轻的双重目标,实现功能提升、质量减轻、结构优化和价格合理的均衡。在确保安全的前提下,设计方案应当尽量考虑轻量化,但安全余量不应过大。

采用轻质材料替代是实现轻量化的首要步骤,其关键在于进行合理的结构设计^[28]。对零部件厚大结构改薄壁化和实心结构改中空化时,可以利用自然界中的仿生学原理来指导结构设计的优化^[29]。设计优化包括尺寸优化和形状拓扑优化。尺寸优化原理是在结构类型、材料、外形以及布置边界给定的前提下,以满足刚度、强度和模态为约束条件,以质量最小作为目标,将尺寸作为设计变量,来搭建数学模型。通过将部件的造型作为设计变量进行优化,在确定零部件的结构类型、布置方式和材料的前提下,有效利用材料的特性,实现结构的轻量化,从而提升受力的均匀性。形状拓扑优化是在概念设计阶段,利用有限元分析和数学优化技术,在零部件周边布局尚未确定的情况下,根据给定的环境,通过对载荷、支撑以及其他相关因素的综合考量,调整结构的参数,从而实现最优的刚性,同时也能够有效地控制输出的位移和应力,从而实现预期的功能。

4 电动汽车典型部件轻量化

4.1 电驱和电控

目前电机、电控以及减速器等集成化设计为多合一电驱壳体,节省空间的同时实现轻量化目标,如比亚迪海豚的八合一、华为的 Drive One 七合一、上汽变速器 & 威迈斯七合一电驱总成均采用该策略。

4.2 电池结构

电池系统轻量化可从提高单体电芯的能量密度、减轻电池系统配件质量以及优化电池系统设计3个方面展开。

(1)提高单体电芯的能量密度。目前,电动汽车的动力电池主要采用锂离子电池,其形态包括圆柱、方形铝壳、软包3种类型,其中方形和圆柱形电池占主流。Tesla Model 3采用圆柱 21700 型号电池代替圆柱 18650 型号电池,使得电池系统中电芯数量减少了30%,相应地减少了焊接配件数量,实现整车电池质量减轻。此外,在保持模组结构件种类不变的情况下,

增加结构件尺寸可以容纳更多电芯,降低分摊至每个电芯结构件的质量,进而提高模组的成组效率。通过取消模组级别,将电池箱作为一个大模组进行设计,如上汽荣威和比亚迪某款乘用车采用容量超过 100 Ah 的三元电芯串联组合,电池箱体系统的成组效率超过 80%。通过整体排布提高电池箱体空间利用率,在箱体内部尽可能的布满电池,从而在箱体体积不变的条件下,增加电芯数量^[30]。采用固态电池取代液态电解质电池达到减重成为今后发展方向,目前国内华为、上汽、长安和广汽均发布了固态电池产业计划,预计 2030 年会批量装车。

(2)减轻电池系统配件质量。电池包中的结构辅件主要包括电池箱体、箱盖、塑料件以及串联轴。电池箱体材料采用高强度钢、铝合金和复合材料替代普通碳钢。相比钢材,铝合金的质量较轻,目前乘用车电池箱体大多采用此种材质,如蔚来 ES6 电池箱体。复合材料是指 2 种或 2 种以上的材料组合所组成的新材料,其中纤维复合材料对电池箱减重较为明显,针对奇瑞微型厢式车的电池箱体使用有限元软件分析对铝合金和环氧树脂复合材料 2 种材料进行结构强度分析,结果表明,电池箱体承载能力未降低的情况下,质量减轻 30%。对于模组的设计,如选择聚丙烯 (PolyPropylene, PP) 或者聚乙烯 (PolyEthylene, PE) 材料,可以实现质量减轻 10% 以上。串联轴的材料选型,串联轴的高压连接一般使用铜连接片,在满足过流能力的前提下,铝连接片质量更轻,成本更低。一般铜的安全载流量为 5~8 A/mm²,铝的安全载流量为 3~5 A/mm²,铝的密度约为铜的三分之一。若过流要求相同,采用铝连接片,可以实现质量减轻 30%。

(3)优化电池系统设计。一般电动汽车上搭载的电池包由电芯组装成为模组,再把模组安装电池包里,形成了“电芯-模组-电池包”的三级装配模式。传统的集成方式是电芯集成到模组 (Cell To Module, CTM),总的配置方式是电芯-模组-电池包-装车。但模组配置方式的空间利用率仅为 40%,很大程度限制了其他部件空间。目前电池一体化逐渐成为行业的应用方向,电池演变可分为模组标准化、电芯集成在电池包 (Cell To Pack, CTP)、电芯集成在底盘 (Cell To Chassis, CTC) 和电芯集成到车身 (Cell To Body, CTB) 3 个阶段^[31]。CTP 跳过标准化模组环节,直接将电芯集成在电池包上,省去了中间模组,有效提升了电池包的空间利用率和能量密度。CTP 最早由宁德时代于 2019 年提出,此后比亚迪、蜂巢能源等陆续发布了

CTP方案。其中具有代表性的是比亚迪的刀片电池, 将其单个电芯通过阵列的方式排布在一起, 然后像刀片一样插入到电池包里。2024年比亚迪已推出全新一代磷酸铁锂电池, 由于采用CTP方式, 体积比能量增加50%, 成本下降30%, 续航里程达到600 km。CTC将电芯直接安装至一体成型的底板上, 通过电池系统与底盘的高度集成, 减少零部件数量, 节省空间, 提高结构效率, 大幅降低整车质量。CTC成组效率达到90%以上, 空间利用率达到70%以上, 零件数量将减少至400个左右。例如特斯拉的CTC方案可以降低10%整车质量, 减少370个零件, 节约7%成本; 零跑CTC方案将减少20%零部件数量, 降低15%结构件成本, 提高25%整车刚度。未来CTC技术将与滑板底盘深度结合, 除了电池系统与底盘的集成, 电驱、电控、线控执行部件、动力域控制器等均将与底盘高度集成, 从而进一步降低能耗和成本。CTB采用三明治结构^[32], 将电池盖、电池板和托盘紧密结合在一起, 形成完整的车身组件, 海豹车型首次搭载了该技术。

4.3 动力电池包

动力电池包主要由电芯及相关辅件组成, 对电池包高比能量是实现轻量化的主要途径。非承载式车身的箱体底板和侧壁可采用复合材料替代钢、铝, 通过电芯尺寸形状设计和布置来放置更多电芯以提高能量密度^[33]。特斯拉Model S的电池有16个模块, 相比之下, Model 3的长里程版仅为4个, 大幅节省了车身空间。目前, 电池盒的制作大多使用的都是铝合金或片状模塑料(Sheet Molding Compound, SMC)复合材料^[34], 其中应用最广泛的是纤维增强复合材料。与一般钢件相比, SMC复合材料电池包减重超过50%以上, 铝合金电池包减重达到30%以上。然而碳纤维价格昂贵, 目前全部取代金属材料尚不成熟。未来将更多地采用铝合金一体压铸集成到车身底板。

4.4 电机

高性能永磁和导磁复合材料可以实现电机轻量化。采用超薄高饱和复合材料硅钢片能提高电机功率体积比和密度, 通过电容与母排的集成实现电机小型化, 用宽禁带半导体缩小电机控制器尺寸。东风和红旗的轮毂电机, 取消传动机构, 动力直接分配到车轮上, 系统效率可以达到95.5%。

4.5 副车架

目前大部分新能源车副车架采用铝合金替代钢材。理想、蔚来、埃安采用挤压铝; 阿维塔、岚图、仰望和红旗采用铝合金低压铸造; 特斯拉采用一体化真空

压铸铝。由于铝副车架成本高于钢材, 为了降本, 未来将采用镁合金射出铸造替代铝合金。

5 结束语

新能源车轻量化制造技术主要通过一体化压铸和钢铝混合焊接技术实现, 而轻量化设计则利用设计软件和力学理论进行尺寸、形状和拓扑优化, 以确保在不影响刚度的前提下, 去除冗余部分, 提高材料利用率。一般而言, 采用新材料和新工艺会增加成本, 而结构优化由于未采用新材料, 减重的同时可以降低成本, 是轻量化最常用方法。应在确保安全性和性能不受损害或有所改善的前提下实施轻量化。系统化和一体集成轻量化技术, 是未来新能源汽车的发展方向。

参考文献

- [1] 王帅, 孙洋. 新能源汽车轻量化技术路线和应用策略[J]. 新能源汽车, 2019(10): 37-38.
- [2] 周志雄. 新能源汽车轻量化的关键技术[J]. 时代汽车, 2020(6): 61-62.
- [3] 王维. 车用材料现状及发展新趋势[J]. 新材料产业, 2018(10): 8-12.
- [4] 黄仕利. 新能源汽车轻量化的关键技术[J]. 新能源汽车, 2019(12): 77-79.
- [5] 李光霖, 刘新玲. 汽车轻量化技术的研究现状综述[J]. 材料科学与工艺, 2020, 28(5): 47-61.
- [6] 李先洲. 铝合金一体化压铸技术[J]. 汽车工艺与材料, 2023(7): 18-19.
- [7] 方坤鹏, 翟华, 吴玉程. 新能源汽车一体化铝合金压铸结构件成形工艺关键技术[J]. 中国铸造装备与技术, 2023(5): 33-34.
- [8] 陶永亮, 欧阳婷, 张宏. 一体化压铸给大型压铸模制造带来新机遇[J]. 模具制造, 2022, 22(7): 54-57.
- [9] LIU B, YANG J, ZHANG X. Development and Application of Magnesium Alloy Parts for Automotive OEMs: A Review[J]. Journal of Magnesium and Alloys, 2023(11): 15-47.
- [10] 郭锐. 我国应高度重视镁合金产业的战略地位[N]. 中国有色金属报, 2020-05-19(007).
- [11] 翁涛. 镁合金生产及其汽车零部件应用技术[J]. 工程技术与管理, 2020, 4(4): 215-217.
- [12] 唐靖林. 镁合金在汽车轻量化应用中的问题与建议[J]. 汽车工艺师, 2021(C1): 27-31.
- [13] 陈甜斌. 一种镁合金座椅骨架的强度性能研究[J]. 汽车工艺与材料, 2020(9): 20-21.
- [14] 马琳, 耿雷. 国外汽车轻量化材料应用经验借鉴[J]. 新材料产业, 2019, 19(6): 28-31.
- [15] 庄厚川, 石海鑫, 金科. 汽车轻量化热成形技术应用概

- 述[J]. 汽车文摘, 2019(1): 8-11.
- [16] 刘智彬. 新材料在汽车轻量化技术中的运用探讨[J]. 时代汽车, 2021(12): 15-16.
- [17] 张捷. UG 软件在汽车车身 CAD 建模中的使用[J]. 内燃机与配件, 2021(19): 206-207.
- [18] 张琪. 汽车轻量化连接技术的应用现状与发展趋势[J]. 有色金属加工, 2019(48): 1-9.
- [19] 孙丽萍. 新能源汽车车身材料特性及发展现状浅谈[J]. 科技创新与应用, 2017(9): 166.
- [20] 杨雨露. 钢铝车身结构压胶复合连接工艺与失效机理研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2020.
- [21] 刘宇哲. 全铝与钢铝混合车身轻量化的连接技术探讨[J]. 工业加热, 2019(6): 57-58.
- [22] 杨金秀, 吕奉阳, 罗培锋, 等. 铝合金车身连接技术及应用实例[J]. 时代汽车, 2019(16): 115-117.
- [23] 杜坤, 吴卫枫, 魏庆丰. 车身轻量化材料及其连接技术分析[J]. 汽车工艺与材料, 2013(5): 18-23.
- [24] 赵治, 郝志莉. 纯电动汽车车身材料轻量化应用现状浅谈[J]. 汽车实用技术, 2020(7): 22-24.
- [25] 李福贵, 顾成波. 压铸及多材料连接工艺在新能源汽车车身中的运用研究[J]. 机械工程师, 2021(8): 60-62.
- [26] 陆建邦, 李贺强, 王崇. 新能源汽车车身材料及连接工艺概述[J]. 汽车工艺师, 2018(8): 54-56.
- [27] 姜立岩, 韩洪涛. 铝合金汽车轻量化及其焊接技术[J]. 内燃机与配件, 2021(7): 111-112.
- [28] 阮帅帅, 常亮, 苏依顺. 汽车轻量化设计探讨[J]. 时代汽车, 2020(10): 82-83.
- [29] 钟全能. 汽车结构设计的轻量化设计探讨[J]. 汽车实用技术, 2019(15): 153-154.
- [30] 龚明光, 朱顺良, 谢欢. 电动汽车锂离子电池系统轻量化技术现状及发展趋势[J]. 时代汽车, 2019(4): 89-92.
- [31] JIANG L F, ZHANG S Y, WANG Y Q, et al. An Exploration Into the Formation of a Bending Technique with A Wide-reaching Thickness. Ratio Thin-walled Tubes for Aerospace[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2019(102): 3037-3049.
- [32] 鲁春艳, 田菲, 万长东. 车载动力电池包的有限元分析及轻量化设计[J]. 机械工程与自动化, 2022(1): 84-87.
- [33] 孙海明. 纯电动汽车铝合金电池箱结构优化设计[J]. 电源技术, 2020, 44(6): 891-895.
- [34] 韦增磊. 浅述铝合金零部件对汽车轻量化的影响[J]. 中国设备工程, 2022(6): 139-141.
- [35] 孙海洋. 铝合金在现代汽车轻量化生产中的应用研究[J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(2): 135-138.
- [36] 钱余海, 吴庆芳, 雷浩. 汽车轻量化材料及工艺的研究进展[J]. 大众科技, 2022(2): 50-51.
- [37] 任丽宏, 徐英. 浅谈金属材料在汽车轻量化中的应用与发展[J]. 时代汽车, 2021(4): 38-39.

(责任编辑 梵玲)