

电动汽车轻质材料连接工艺的探讨

□ 广州小鹏汽车科技有限公司/覃 鑫 江崧 刘建

本文介绍了铝合金、镁合金、工程塑料、玻璃纤维、碳纤维等轻质材料在电动汽车中的应用范围，并重点探讨了铆接、激光焊接、冷金属过渡技术、电极带式电阻点焊、搅拌摩擦焊等先进连接工艺在电动汽车轻质材料的应用。

随着国内外法规对汽车燃料消耗量的要求日渐严格，新能源汽车产业兴起的目标就是节约汽车对能源的消耗。然而，采用动力电池为能量来源的纯电动汽车，需要背负庞大的动力电池部件，车身质量至少增加300kg以上。整车质量越大能耗就越多，因此轻量化技术是电动汽车节能减排的重要手段之一。

电动汽车质量降低10%，对应续航里程提高5.5%。电池动力技术无法有巨大突破的现状下，轻量化成为提高续航里程的有效措施。虽然，现阶段大量的轻质材料已经开发出来了，但要想在汽车行业中实现产业化应用，连接工艺的解决至关重要。

车身轻量化技术的应用

从国内外汽车轻量化技术的发展来看，通常会采用结构薄壁化、中空化、小型化等方式优化结构设计，实现结构的轻量化。但最有效

的手段是采用轻质材料代替目前的钢制材料，如铝合金、镁合金、工程塑料、玻璃纤维、碳纤维等。然而，轻质材料在减轻车身质量的同时，也对连接工艺带来了挑战。随着先进制造技术的发展，已经逐渐找到其连接的解决方法如：铆接、激光焊接、CMT、铝合金点焊、搅拌摩擦焊等。

铝合金密度只是低碳钢的三分之一，代替钢材成为车身用材，可降低50%质量，整车质量至少可以降低10%。而且，铝材再制造性、抗腐蚀性、结构设计柔性都比低碳钢好。因此，铝合金在汽车行业中具有代替低碳钢的趋势，成为车身制造的主要材料。在国内外电动车企业中，特斯拉Model S已经开发出全铝车身（见图1），同时采用点焊、铆接、冷金属过渡技术等工艺获得性能好的轻量车身。正是特斯拉出色的轻量化技术，弥补了电池带来的质量，使得其具备高续航

里程的优势。

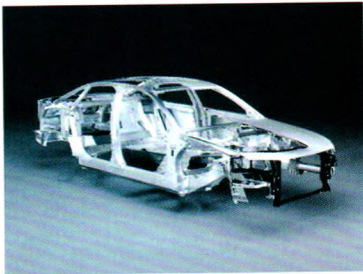


图1 Model S全铝车身

碳纤维增强复合材料（Carbon Fiber Reinforced Polymer，见图2），其密度通常在1.7g/cm³左右，远远低于制造业常用的钢材。在高达2 200℃的环境下，CFRP依然能够保留室温强度，并且断裂韧性、抗疲劳性、抗蠕变性、伸拉强度和弹性模量等性能都有着突出的表现。因此，碳纤维复合材料受到汽车企业的青睐，希望使用其作为汽车用材。但由于其造价高昂，只有少量的豪华品牌在应用，如宝马i3大量应用碳纤维增强复合材料作为车身材料，使其整车质量只有1 224kg。

但是，真正阻碍碳纤维在汽车行业推广应用是无法使用传统的焊接工艺进行连接。



图2 碳纤维增强复合材料

轻质材料应用对连接工艺的挑战

传统汽车中，车身的连接工艺主要是点焊和CO₂焊，其中点焊以其高效率、低成本、便于实现自动化生产的突出优点占到车身制造的75%左右。点焊和CO₂焊连接方法面对轻质材料的应用存在的问题：

(1) 电阻点焊工艺对于轻质材料的焊接质量很难保证，尤其是铝、镁合金材料的连接。对比低碳钢和铝合金材料物理性能见表1，铝合金和低碳钢的物理性能的差异较大，焊接相同厚度的薄板，铝合金的焊接电流是碳钢的4倍；铝的导热性能良好，为获得足够的输入

热量，所需的焊接时间大约仅为碳钢的三分之一。因此，焊接铝合金时，需要消耗较大能量且焊接质量难以保证。

(2) 传统的CO₂焊接铝合金、镁合金等轻质材料时，容易出现焊后变形、热影响区脆化、对于薄板件还容易出现焊穿、过烧等质量缺陷。

综上，传统的连接工艺已经无法满足电动汽车轻量化的要求，必须开发出更为先进的连接工艺手段才能满足汽车轻量化技术推广应用的发展需求。

轻量化连接技术

1.轻量化技术开发层次

通过对轻质材料在汽车行业中的应用现状分析，汽车企业一般根据自身的生产成本要求和技术水平，将轻质材料的应用一般分为4层级（见图3）。

第1层级：铝合金覆盖件开发，少量铝合金覆盖件的应用，可一定程度的减少整车质量。

第2层级：铝合金外覆盖件的成熟应用，铝合金覆盖件比重显著增加，可较大程度的减少整车质量。

第3层级：全铝车身开发应用，车身外覆盖件全部应用铝合金（铝板材）、铝型材、铸铝，并开始应用到车身结构件，轻量化效果显著。

第4层级：异种材料的混合应用阶段，以铝合金为主要车身材料，铝型材、铸铝件大量应用到车身结构件，高强度、软钢、碳纤维为辅助用材。

2.轻量化材料连接技术

针对以上不同的轻量化技术的应用水平，轻质材料对应的开发的先进连接工艺见表2。

目前在国内外汽车生产企业中，如图4所示，轻质材料的先进连接工艺可细分为：铆接、激光焊、CMT、搅拌摩擦焊等9种。

考虑到产业化应用水平和企业的制造成本，在电动汽车生产企业的轻质材料的连接工艺中引进最为

表1 低碳钢和铝合金的材料物理性能

材料	熔点℃	比热 J·kg ⁻¹ ·℃ ⁻¹	密度 Kg·m ⁻³	热导率W·m ⁻¹ ·K ⁻¹	线膨胀系数10 ⁻⁶ ·K ⁻¹	电阻率 μ Ω·cm	弹性模 GPa
低碳钢	1500	500	7980	16.3	16.6	73	206
铝合金	660	900	2700	220	23.6	2.63	71

表2 不同轻量化水平对应的先进连接技术

白车身发展阶段	先进连接工艺	主要应用部位
铝合金覆盖件开发	无铆连接、锁铆连接	机盖、翼子板
铝合金外覆盖件成熟应用阶段	热熔自攻丝（FDS）、激光焊接、铆接 螺母螺栓	后背门、车门、顶盖
全铝车身开发应用阶段	CMT焊接、铝合金点焊	白车身骨架等承重件
异种材料的混合应用阶段	搅拌元素焊接（FEW）、Δα—SPR锁 铆连接	混合材料应用的白车身

焊丝的回抽运动帮助熔滴脱落，从根本上消除了产生飞溅的因素。整个焊接是高频的“热—冷—热”交替转换过程，每秒钟转换达70次，大大降低了焊接热输入量，从而可实现0.3mm以上薄板的无飞溅、高质量焊接。



图7 CMT工艺原理示意

CMT由于其热输入量低，能精确控制热输入量、无焊接飞溅、间隙容忍性好等特点，被广泛用于汽车铝合金等轻质材料焊接，如特斯拉、大众、宝马、现代的车身、汽车座椅、排气系统、转向柱、铝制付车架、铝制保险杠、铝车门、铝仪表架等产品。

(4) Deltaspot电极带式电阻点焊工艺。电阻点焊是目前汽车上应用最多最主要的焊接工艺，一般的车身电阻焊焊点在4 500个左右。但这种工艺方法多年来发展缓慢，已远不能满足轻量化汽车新材料的应用。其原因是多方面的，一是因为铝合金的电阻远小于钢，需要4倍于钢的焊接能量；二是因为电极极易被污染，300个左右的点焊就需要更换或修磨电极，生产的连续性受到影响；另外，通水强冷的电极无法实现焊点缓冷，易出现焊后裂纹。

如图8所示，Deltaspot电阻点焊技术发明解决上述问题。其原理非常简单，就是在电极与工件之间增加一条电极带，焊接时电极压住电极带接触工件进行焊接，当一个焊点完成后，电极带自动转动到下一个位置。这种方式意味着电极同工件接触表面总能保持干净，每个焊点都是用“全新的”电极，每次焊接开始都有高质量的焊接条件，从而保证100%质量重复精度。

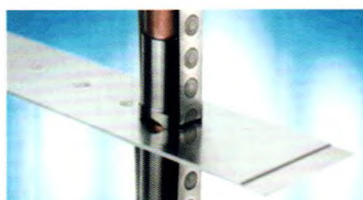


图8 Deltaspot工作原理

EltaSpot 是针对汽车行业而设计的，除采用电极带外，焊钳是伺服的，可精确调整每个焊接阶段的压力。这种焊接工艺非常适合汽车的铝及铝合金、铬镍不锈钢、钛、镁、复合材料、钢和铝的异种材料等轻质材料焊接；可以用于厚度或材料类别相差较大工件；也可以一次焊接多达5层的工件。EltaSpot技术开创了电阻焊在汽车行业应用的前所未有的前景，尤其是新能源汽车的全铝车身。

(5) 搅拌摩擦焊。搅拌摩擦焊接（FSW）是基于摩擦连接技术开发出来的一种固相连接工艺。90

年代初国内已经创建了专门开发和推广应用这种工艺的研究中心。采用搅拌摩擦工艺焊接铝合金材料，其机械性能、冲击韧性、成型性能等指标都远高于普通熔焊工艺，因此被汽车行业所推崇。目前搅拌摩擦焊逐渐被应用到汽车的车门预成型件、车体框架、发动机、底盘支架、轮毂等地方。

结语

目前我国正在大力推动汽车电动化推，但轻量化方面的发展一直滞后。随着轻量化技术的发展，将给汽车行业带来设计理念、工艺、装备等方面颠覆性的变化，原有的技术存量将被逐渐淘汰。我国电动汽车企业要想“弯道超车”，除了政府的大力推广扶持，更应该在关键技术上有所作为。 **AUTO1950**



覃鑫

广州小鹏汽车科技有限公司焊装工艺高级工程师，从事工作：白车身焊装工艺开发，先进工艺开发，数字化工厂及智能化制造。

（上接第19页）

在这一阶段，通过150kW级高比功率密度燃料电池系统的应用，动力系统可靠性持续提升，可靠性超过传统燃油汽车。通过量产燃

料电池商用车，提升整车性能，降低成本。在燃料经济性方面，中国典型城市公交工况下氢气消耗率小于6.0kg/100km。续航里程超过600km，整车冷启动温度低于

-40℃，寿命提高至100万千米，达到全面产业化指标要求，同时进一步控制整车成本在60万元以内。

AUTO1950