

机械连接技术在白车身轻量化中的应用

□ 北京奔驰汽车有限公司 / 高勇 谢添 张海滨

阐述了汽车行业白车身轻量化发展趋势，随着压铸铝件和冲压铝板在白车身上的比重增加，新的机械连接技术和复合连接技术不断引入白车身制造过程。介绍了国内外汽车轻量化过程中新型机械连接技术的原理以及实际生产过程中常见质量缺陷及控制方法，为汽车白车身轻量化过程中不同连接技术的选择提供有益的借鉴。



随着人们对空气质量和环境污染重视程度的不断提高，汽车尾气排放标准越来越严苛。各个国家开始致力于新能源汽车的研发，并对燃油汽车的性能进行不断地改善和提高。汽车的燃油性能和尾气排放情况与汽车的整备质量有着直接的关系，其中白车身的质量占了整备的30%~45%，当车身质量增加15%时，可增加8%~10%的能量消耗。因此，白车身轻量化尤为重要，势在必行。

近年来，压铸铝件和冲压铝件在白车身上的应用越来越广泛，钢-铝材料的连接很难由传统的点焊来完成，因此白车身生产过程中引进了大量的机械连接技术和复合连接技术，在降低白车身质量的同时，提高了白车身的连接强度。同时，机器人自动化涂胶技术与机械连接技术的复合连接形式，以及在线监控系统的实时监控，都为白车身轻量化起到了积极的推进作用。

2016年，合资品牌全新捷豹

XFL全铝车身已经实现国产化，奔驰新一代C级和E级轻量化白车身也已更新换代，这都标志着合资品牌汽车轻量化和机械连接技术的应用已经成熟并得以实践推广，连接技术的生产工艺达到了同行业尖端水平。目前，白车身轻量化中主要使用的机械连接技术，有半空心自冲铆、压铆、射钉铆、FDS技术及拉铆等。

铝件的使用

复合材料连接的大量使用标志着汽车轻量化进程的新时代。其中，铝件的使用大大降低了白车身总质量，同时也降低了燃油消耗，减少了汽车废气排放。尤其是在豪华车的白车身生产线得到了大量应用。

国内外汽车行业，豪华品牌奔驰SL级、C级和E级，奥迪A8和A6，宝马BMW7和凯迪拉克CT6等车型中压铸铝件和冲压铝件已经大量使用，铝件优异的塑性使得汽车

碰撞试验中的吸能效果显著提高，扭转刚度可提高约40%。同时压铸铝件的使用减少了传统点焊装配零件的数量，便于一次成型并保证了后期装配精度。以奔驰C级车为例，上一代C级车前减震塔总成件需要11个零件焊接组成，总重量为9.22kg，新一代C级车左右前减震塔各为一个压铸铝件即实现了所有功能要求，重量仅为6kg，如图1所示。新一代C级车白车身总质量降低约30kg，铝件比例从0.2%提高到7.6%，车身轻量化系数达到2.26。同行业中，凯迪拉克CT6车型白车身铝合金使用量达到了62%，白车身重量仅为305.6kg。全新捷豹XF全铝车身质量已达到283kg，其中5

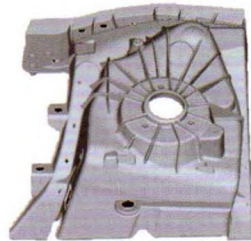


图1 压铸铝件的应用

系和6系铝合金以及压铸铝件比例50%左右。

传统焊接方式无法实现钢-铝板材、铝-铝板材的高强度连接，因此，新型机械连接技术和自动化机器人涂胶复合连接应势发展，逐渐成为白车身轻量化进程中最重要连接方式。全新捷豹XFL全铝车身上，仅半空心自冲铆就达2 700多个，在铝件的连接工艺中起到了巨大的作用。新一代奔驰C级车实现了575个机械连接点，同时，复合涂胶长度达到170m，在降低白车身重量的同时对车身强度的提高起到了积极的作用。

半空心自冲铆

半空心自冲铆是一种采用半空心铆钉实现钢-铝、铝-铝连接的加工工艺。特制材料或形状的铆钉在铆枪撞针的作用下，刺穿顶层板材后，在凹模的反作用下与底部板材形成咬边结构，从而实现金属板材的连接，其工艺过程如图2所示。目前，英国Henrob铆枪能够实现最大16mm的铝板连接，以及最大8mm的钢板连接，已经开始在国内含铝白车身领域得到了应用。

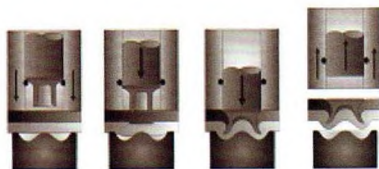


图2 半空心自冲铆工艺过程

半空心自冲铆技术不需要对板材进行预打孔，其连接强度普遍高于传统的冲孔铆接。铆点的抗拉脱性能大大提高了铝件连接点的失效吸能能力，最大限度地吸收碰撞过程的变形量，避免了传统点焊碰撞

失效过快的缺陷，保证了汽车被动安全性能。传统点焊和半空心自冲铆工艺失效吸能状态对比，如图3所示，直径5mm的铆点在变形过程中连接强度的保持能力明显优于点焊。

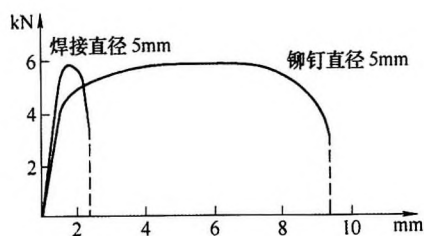


图3 半空心自冲铆与点焊变形吸能对比

半空心自冲铆早在1994年就在奥迪A8铝制白车身上大量使用，铆点数已经达到1 100个，2000年宝马Z8全铝车身也已使用1 000个铆点，2012年奔驰SL级全铝车身使用1 200个铆点，2016年全新捷豹XFL的铝合金材料在白车身中的比例达到了国内最高的75%，半空心自冲铆铆点达到2 754个，全自动机器人铆接设备已达到232套。

在实际生产过程中，往往需要对机械连接技术的连接情况进行实时监控，并且作断面成型分析。各连接点的成型情况与其强度情况直接相关。图4为装焊车间生产过程中半空心自冲铆常见缺陷：铆钉高度超差、咬边不足、底部破裂和封闭端厚度不足等。

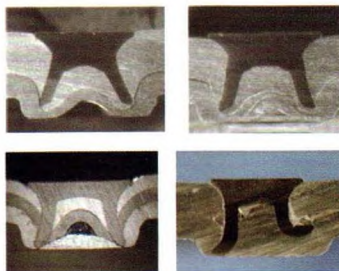


图4 半空心自冲铆生产常见缺陷

通常，首先要检查铆接方向是

否符合“从薄到厚、从硬到软”的基本原则；其次需要合理匹配铆钉和凹模类型，以及板材厚度是否发生波动。在经过试验铆点之后重新确定铆接压力和速度，可有效地控制铆接质量。对于已经生产出的车身，还需要考虑铆点是否所处于车身湿区，进行必要的返修措施。

近年来，随着汽车轻量化进程的不断发 展，半空心自冲铆连接技术，已经从豪华车逐渐延伸至中低端车型以及互联网品牌车型。除了凯迪拉克CT6、沃尔沃V90、奥迪A4和奥迪Q3等车型已经使用，中国品牌乐视汽车和长城汽车都有望引进半空心自冲铆技术，提高产品竞争力，跻身高端连接技术领域。因此，该技术将会成为国内全铝车身和新能源汽车的新宠。

压铆

压铆连接技术是利用板材本身能够塑性变形的特性，在特定冲头和凹模的作用下，使得多层薄板产生互相嵌套咬合的结构，从而实现板材连接的技术。在引进冲压铝板的情况下，想要实现薄钢板和铝板的连接，压铆连接技术常常配合涂胶技术应用于非承载区域零件的连接。在连接过程中，板材组织得到细化，硬度提高，承载能力增强。与其他机械连接技术相比，压铆无需消耗铆钉或螺钉，能够实现高效率自动化加工生产，并且与涂胶技术复合连接时，强度得到进一步加强。常见压铆点的结构如图5所示。

实际生产线中，压铆质量缺陷主要包括咬边不足和底部厚度超差，通常，需要监控铆接过程压力

变化过程，防止铆接压力过大或过小。同时，调整铆接速度及铆接成型维持时间，可获得厚度合适并且断面咬合状态良好的铆点。

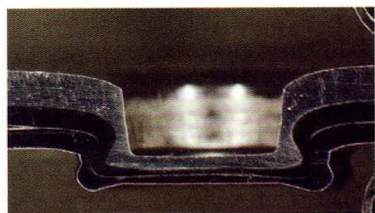


图5 压铆连接点截面图

压铆的应用在汽车行业的应用也比较早。1994年开始，奥迪A8车型就应用了压铆连接技术，实现了178个白车身压铆点连接。2005年，奔驰S级白车身采用全自动压铆连接设备实现了645个压铆点连接。随着汽车轻量化发展的不断前进，压铆连接技术已经在国内合资品牌北京奔驰全部车型和一汽奥迪部份车型得到应用，同时在中国品牌中也得到大量使用。2016年，全新C级车在覆盖件和白车身结构中，用18套全自动铆接设备实现了174个压铆点的连接，大大提高了覆盖件的生产效率和白车身轻量化的系数。

射钉铆

在白车身轻量化过程中，压铸铝件和钢板搭配使用时，常会出现密闭空腔的情况，在这种工况条件下，由于半空心自冲铆和压铆设备都需要带有C形框架的铆枪结构，必须双向加工才能实现板材的连接。此外，如果板材厚度较大时，往往需要采用射钉铆或FDS (Flow-Drill-Screw) 技术单向加工，从而实现板材的连接。

射钉铆技术是通过供钉系统

将带有螺纹倒刺的钉子送达铆枪的前端，通过气压对钉子施加一定的压力将其高速射入板材，依靠板材与钉子的摩擦力和夹紧力实现板材的连接。通常情况下，射钉的速度为20~40m/s，射钉压力在20kN以内。由于铝件的延展性良好，在钉子刺穿板材时，铝质会迅速填充螺纹，实现良好的结合。射钉铆连接点截面图如图6所示。目前，此连接技术在国内汽车行业仅北京奔驰车型在使用。

量产过程中，射钉铆质量控制主要考核铆钉端部与板材间隙值和退钉压力值。



图6 射钉铆连接点形貌图

FDS技术

FDS技术通常称为流钻螺钉或热融自攻钉技术，该连接技术是将带有螺纹的螺钉高速旋转刺穿板材，并通过形成螺纹联接实现板材连接的一种技术。螺钉实现联接的过程主要分为四个阶段，共6步，如图7所示。

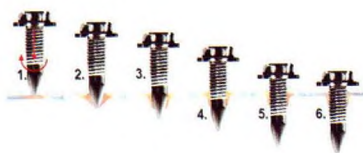


图7 FDS连接工艺过程

第一阶段（序号1），旋转的螺钉开始接触板材并对板材施加一定的压力。第二阶段（序号2-序号

3），随着转速和压力的提升，摩擦力增大，板材发生塑性流动，螺钉刺进板材。第三阶段（序号4），螺钉刺穿板材后，螺纹开始攻丝，被挤出的金属材料在背面形成堆积，延长螺钉咬合线程，扭矩形成。第四阶段（序号5-序号6），螺钉转速和轴向压力控制，螺纹紧固至目标扭矩，板材材料收缩填充螺纹，形成完整联接接头。该联接技术的优点为容易实现单向加工，螺钉螺纹可以重复拧紧便于返修，同时扭矩值较大，动态承载能力高，与涂胶技术复合连接时密封性好。

在线质量控制包括检查螺钉的完整性，螺钉端部与板材之间的间隙值，以及螺钉的扭矩状态。这几个方面与连接点的强度非常相关，设置不同的转速和时间尤为重要。

目前，凯迪拉克CT6车型已经大量使用FDS技术，白车身FDS连接点已经到750个。北京奔驰MRA平台各车型同样采用了大量FDS技术。未来，随着铸铝件在白车身上的比重提高，FDS技术在国内汽车行业会得到更大的发展。

结语

白车身轻量化过程中，压铸件的大量使用，实现铝质零件和钢质材料的连接，降低了传统焊接零件数量，提高了车身尺寸精度。同时，随着铝件大量使用，新型机械连接技术和复合连接技术得到快速发展，并且成为未来白车身制造工艺中必然发展趋势。这些连接技术在合资品牌中的不断成熟和推广，势必推进中国品牌的全铝车身和铝合金框架车身的快速发展。AUTO1950