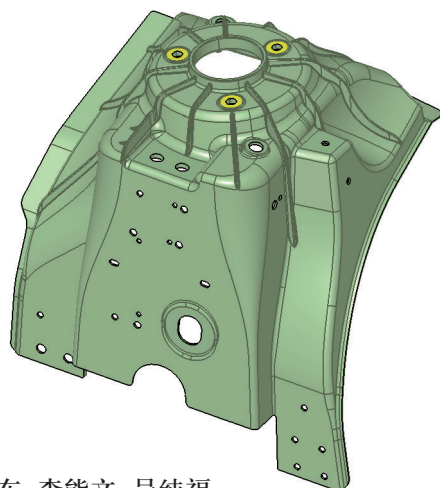


铝合金压铸车身 前减振塔座的设计



□ 广州汽车集团股份有限公司汽车工程研究院/郑中心 杨宏 陈东 李能文 吴纯福

以某前减振器塔座为研究对象，以铝合金一体铸造替代传统钣金焊接总成减轻质量为目的，确定铝合金压铸塔座的设计方案。在满足所有功能要求和制造可行性要求的前提下，实现减重25%的目标。

从未来发展趋势来看，汽车的用材正向低密度、高性能的方向发展。高强钢、铝镁合金和复合材料等都在车身上有具体的应用案例，未来车身发展的主要趋势也将是多种材料的混合车身。受传统钣金车身生产线的约束，相对复合材料而言，铝镁合金等轻质金属材料与传统四大工艺的融合度更高。目前市面上的高端车型，比如宝马5系，奔驰E级，奥迪A6，凯迪拉克CT6和路虎，大量使用铝合金材料实现减重目标。

对于结构复杂的车身连接区域，如：前后轮罩等，传统钢制车身一般用多块钢板冲压成形后进行多道焊接工序而获得，而利用铝合金薄壁压铸一体成形技术，代替了传统多钢件焊接结构，集成多个安装点于一体，在减重的同时提高安装点的位置精度。本文以某新能源车设计开发的铝合金压铸减振塔

座为例，从结构设计、工艺可行性分析及性能验证等方面展开，介绍满足性能要求和减重目标的零部件开发过程。

材料选择策略

传统的钢制塔座由减振器安装板、安装加强板、轮罩及安装支架等拼焊而成，如图1a所示，一般质量大约在4~5kg之间。在满足同样性能要求的前提下，把钢制拼焊前减振塔座改成铝合金压铸成形后，替代钢制多个零部件，使用一个零部件即可获得复杂的拼焊结构，如图1b所示，质量一般在3~3.5kg之间，减重效果可达约25%。

对于减振器塔座这样形状复杂的大型车身薄壁件而言，为减少充填时裹入气体，降低气孔和热处理时近表面气泡鼓起等风险，汽车行业多采用真空高压铸造技术。一般而言，为了确保其铸造性能，避免

出现浇注不足或冷隔等缺陷，需要铝液保证足够的充填速度和凝固时间，一般使用凝固潜热高的铝硅合金材料。

作为车身连接区域的结构件，减振器塔座在材料选择上，除要求保证一定强度，其塑性也要求尽可能的好，以避免在铆接时开裂。材料足够的抗拉强度和屈服强度是零件整体强度得到保证的基本条件，因此需要加入镁和锰等元素进行改良。经过行业内一些车型的不断探索和验证，目前各种性能指标较为均衡并且技术比较成熟的材料是AlSi10MnMg。

材料足够的拉伸断后延伸率和折弯角可以确保零件材料有良好的塑性，是铝合金零件在铆接时铆接点不发生开裂的前提条件。一般而言，高压铸铝件的断后延伸率都低于3%。因此，除了从成分设计上进行变质处理，为了进一步提高塑

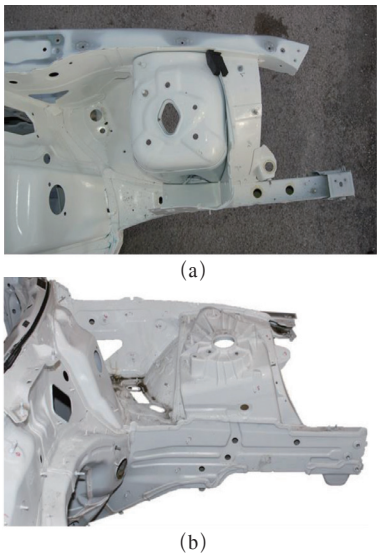


图1 奔驰钢制拼焊塔座和铝制压铸塔座对比

性，在固溶处理后，还需要对产品进行过时效的稳定化处理（T7热处理），使产品在长期服役的条件下形状和尺寸变化能够保持在规定范围内。表1所示为铝合金减振器塔座材料经热处理后的性能要求。

产品结构设计

前减振塔座最主要的功能是为底盘减振支座总成提供安装点，从车身坐标系来看，主要承受Z方向上车身重量和从地面通过减振支座传导至车身的冲击载荷，同时需要保证在X方向和Y方向有足够的动刚度。因此，结构型式一般为上部小下部大的塔状结构，以利于结构稳定；同时为了更好地承受Z向载荷，满足受力结构最优原则，在考虑出模所需1.5°脱模斜度的条件下，塔座的每个面尽量做成平直面。由于不同区域的承受载荷不一致，不同部件的材料选择和用材料厚度定义也不一样，表2所示为钢制拼焊塔座总成不同区域部件的材料及厚度分布。

从表2中可以看出，为保证安

装区域刚度，顶部区域的减振器装配区域采用GC420高强度加强板进行补强，而轮罩则选用GC270普通低碳钢。按照等效原则，在满足零件结构性能前提下，尽可能地利于减重，初步定义铝合金压铸塔座在减振器安装区域的壁厚为6mm，与车身连接区域的壁厚为2.5mm，过渡区域的壁厚为3mm。铝合金压铸成形塔座的基本结构型式截面如图2a所示，同时考虑与周边部件的搭接，满足最小铆接面积，该铸铝塔座的概念设计数据如图2b所示。

产品结构优化

1.产品结构优化分析

为了提高结构效率，减轻结构

质量，优化设计无疑是结构设计轻量化的重要手段。常用的方式是在塔座受力恶劣区域加大壁厚和布置加强筋，通过增加截面的惯性矩，以较小的质量增加，来保证塔座的结构设计最优。

在铸铝塔座概念设计数据的基础上，以结构最大刚度为设计目标，在对结构整体刚度贡献大的区域布置加强筋，考虑整车扭转、弯曲及碰撞工况下有限元分析的性能指标进行优化设计。通过三种工况下塔座的载荷分布图，如图3所示，可以看出，塔座上部分支座安装点区域和下部分搭接前后端应力集中，对这些位置应适当增加壁厚或布置加强筋来增加局部强度和刚度。

表1 经热处理后材料性能指标

抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	拉伸断后延伸率 (%)	折弯角 (°)
≥180	≥120	≥10	≥60

表2 钢制拼焊塔座总成材料及壁厚分布

部件名称	安装板	安装加强板	左前轮罩	固定支架1	固定支架2
材料	GC420LA		GC1700	GD52D+ZF	GD52D+ZF
屈服强度/MPa	480～590		≥270	270～420	
密度/(kg/m ²)	7 860				
壁厚/mm	2		1.2	2	1.5
质量/kg	1.242	0.824	2.193	0.097	0.071
	总计4.427				
图示					

2.加强筋布置

对于压铸件而言，随着壁厚的增加，铸件内部气孔、缩孔、缩松等缺陷增加，因此在进行铸件结构增强时优先考虑增设加强筋。目前对于汽车板壳结构加强筋的分布和尺寸设计有较多研究，包括基于材料密度分布的自适应成长法、基于等效原理的结构设计和基于形态形成机理的拓扑优化设计等。由于结构优化算法中材料为连续分布，只能提供加强筋的位置和方向设计思路，而对于具体的符合工程习惯的加强筋截面形状尺寸设计，还需要结合结构的力学特征和设计工程师的经验才能得到。为了保证强度和减少不必要的材料使用，按照工程经验，通常加强筋顶部厚度应该大于2.5mm，底部厚度通常不超过6mm，且尽量做成内凹弧形，如图4所示。

对于铸铝塔座而言，结合产品结构优化分析结果，为提高塔座上下载荷的承受能力，需要在沿着塔座向下的大面上布置纵向加强筋；同时为了增加翻边强度，要求在翻边的根部做加强筋局部加强，以减小热处理后变形风险。图5a和图5b为初步完成加强筋布置后塔座结构示意图。

3.顶针布置

为了确保塔座的铸造性能和产品致密性，需要增大压射比压，但过高的压力使压铸模受熔融合金流的冲刷，增加了合金粘膜的风险。因此为了零件出模需要，除了应设计足够和尽可能大的脱模斜度，以减少推出力，还需要在零件脱模方向的投影面内均匀布置顶针结构。

如图6所示，为了保证铸件被

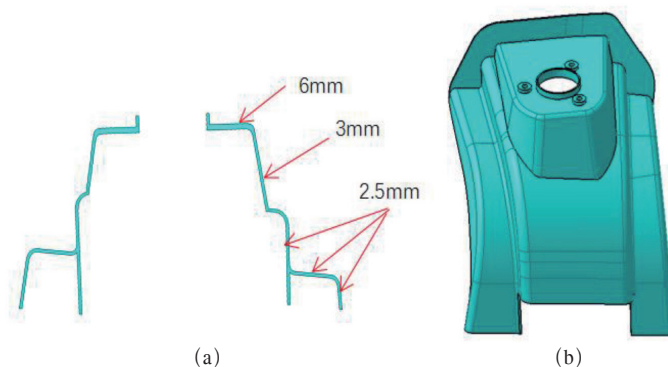


图2 铝合金压铸塔座结构形式截面和概念设计

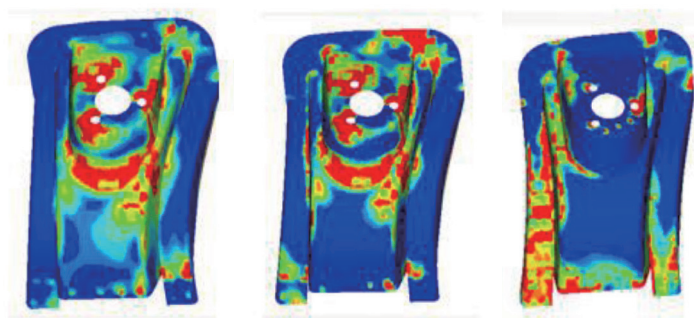


图3 铝合金压铸塔座载荷分布图

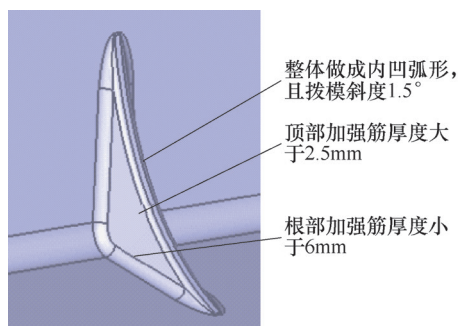


图4 加强筋示意图

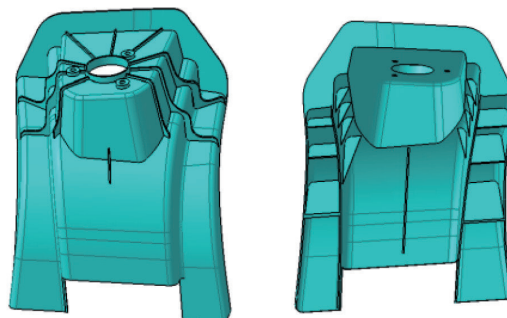


图5 加强筋布置

顶出时受力均匀，顶针位置尽量布置在加强筋相交的位置或者与脱模方向一致的立面上，同时顶针之间的距离根据需要通常要求60~100mm。为了满足顶出需要，脱模斜度一般定义为 1.5° ，顶针的端部通常做成直径为10mm的圆面，顶针自身的高度尽量矮，保证脱模斜度传递之后尽可能减小重量。

产品工艺分析

1. 成型模拟仿真分析

铝合金压铸减振塔座在设计完成之后，为了验证所设计的零件压铸制造可行性，需要进行成型性模拟仿真分析，确保所设计的塔座在浇铸时，铝液能充分均匀填充模具所有空间，并且没有明显的冷隔、缩孔等缺陷产生，流畅的填充过程是铸件产品良好内部质量的基本保证。

模流分析的填充对比如图7所示，铸件顶部进浇区域填充平稳，充填前沿无明显发散现象，满足顺序填充的目的。在填充末端铝液降温较大，温度靠近固相线，具有冷隔风险。应对此问题，可以在温度较低的区域适当增加渣包，或调整工艺参数，如加大内浇口处的填充速度，或调整模具温度等，可以解决此问题。所设计塔座压铸模流填充质量可以得到良好的保证。

模流分析的型腔填充卷气分布

如图8a所示，铝液刚进入内浇口时左侧产品前端部分区域有卷气风险，但随着充填的进行，左侧产品前端气体被挤出型腔外；模流分析的追踪粒子对比如图8b所示，追踪粒子的充填顺序基本一致。

2. 连接工艺

由于铝合金和钢在导热率、导

电率及熔点等方面的差异，以及熔化焊时导致的零件变形和界面脆性相，具有较高工艺兼容性和良好经济性的传统电阻点焊技术难以实现铝合金与钢的可靠连接。冲压铆接（Self-Piercing Rivet, SPR），尤其是半空心自冲铆接技术已成为在汽车轻量化结构制造领域内应用最为广泛的连接方式。半空心自冲铆接是一种用于连接两种或两种以上金属板材的冷连接技术，通过半空心铆钉穿透铆钉端板材之后，在铆模的作用下铆钉尾部的中空结构扩张刺入铆模端板材，产生咬边效果来实现连接。

但是对于连接点的某一侧为封闭腔体时，SPR需配合凹模实现的双边连接工艺无法应用，例如塔座与机舱前纵梁的部分连接点。目前广泛采用的单边连接方法是流动钻铆（Flow drill screw, FDS）工艺，该工艺利用流钻螺钉的高速旋转软化被连接材料，同时将螺钉旋入材料实现螺纹联接。

图10为铝合金塔座与周边件搭接示意图，SPR主要用于减振塔座和侧围前纵梁、塔座后连接板以及机舱前纵梁翻边的连接；螺栓固定主要用于塔座下搭接边后脚与机舱前纵梁后部分区域连接；FDS主要用于塔座下搭接边前脚与机舱前纵

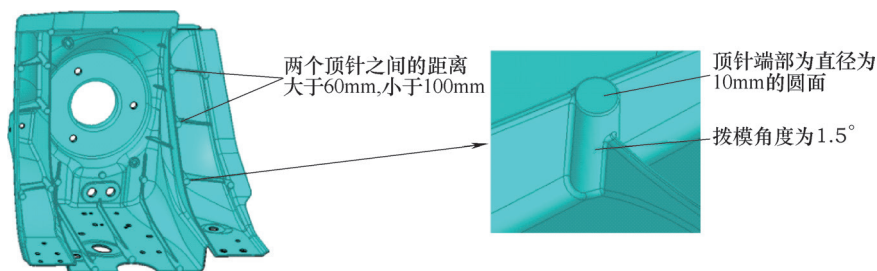


图6 顶针布置

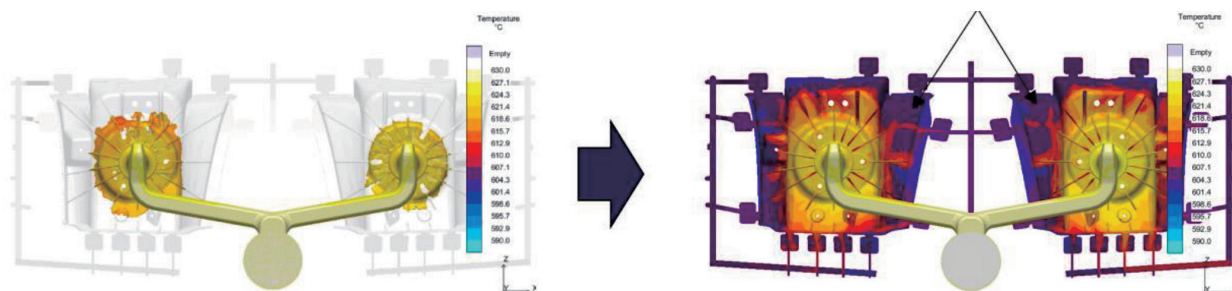


图7 铝液填充

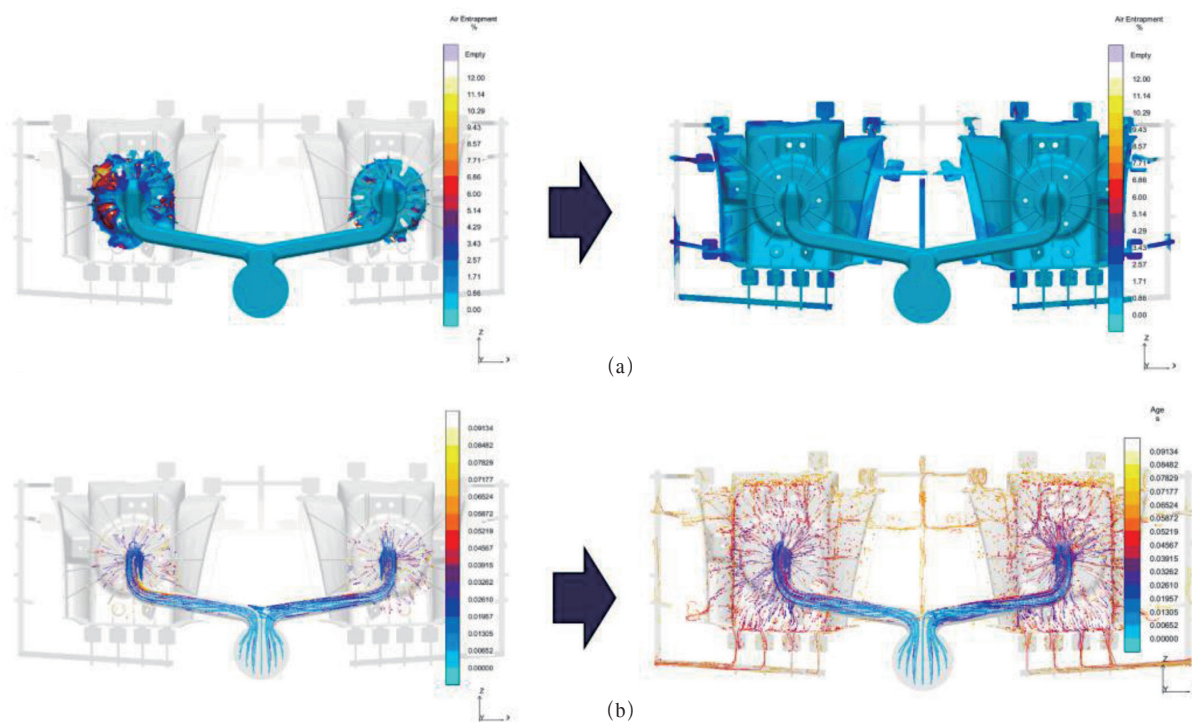


图8 型腔填充卷气分布和粒子追踪

梁连接。

除此之外，为了满足周边零部件的装配需求，铝合金压铸塔座上根据需要往往还会布置铆接螺母，铆接螺栓，内置螺纹套，弧焊螺钉等，或者直接在零件本体上铸造无

螺纹的光孔后采用自攻螺栓固定。

产品性能分析

1.强度和耐久分析

车辆在行驶过程中，前减振塔

座会受到通过前轮传导来自地面的冲击，这就需要塔座具备一定的强度来抵抗由于冲击载荷导致的变形，车身在前轮三倍轮轴载荷，后轮一倍轮轴载荷的冲击工况下，目标要求塔座最大塑性变形小于所设定目标值。经过CAE模拟分析，强度分析结果满足设计目标。

车辆在综合工况下行驶一定里程后，部分区域会发生蠕变开裂，所以要求所设计的塔座需要具备一定的里程的疲劳耐久特性。加入实测载荷谱，经过底盘动力学迭代以及测试的材料S-N曲线进行疲劳仿真分析，最弱点循环耐久换算成综合工况满足大于10万千米设计目标。

2.动刚度分析

减振塔座在各种振动激励下，需要满足一定的动刚度来抵抗零件由于共振引起的失效，与白车身相关的振动频率主要在0~500Hz区

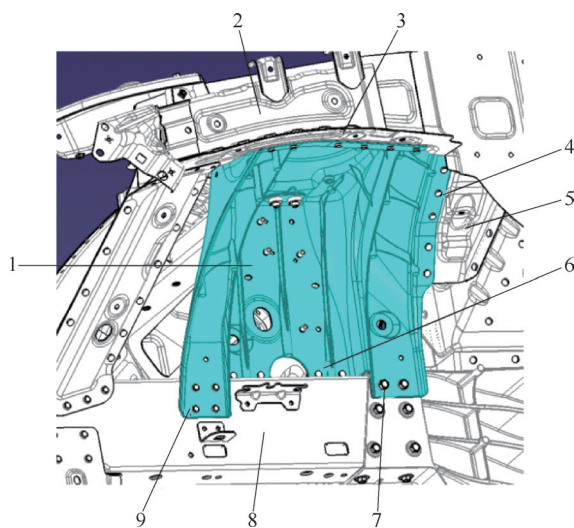


图10 塔座与周边件连接

1.塔座 2.侧围前纵梁 3、4、6.SPR连接5.塔座后连接板 7.螺栓联接
8.机舱前纵梁 9.FDS连接

间。通过CAE分析，如图11所示，左右塔座悬置接附点在X、Y、Z三个方向的动刚度曲线的加速度幅值基本都在目标参考线以下，动刚度曲线比较理想，满足设计目标。

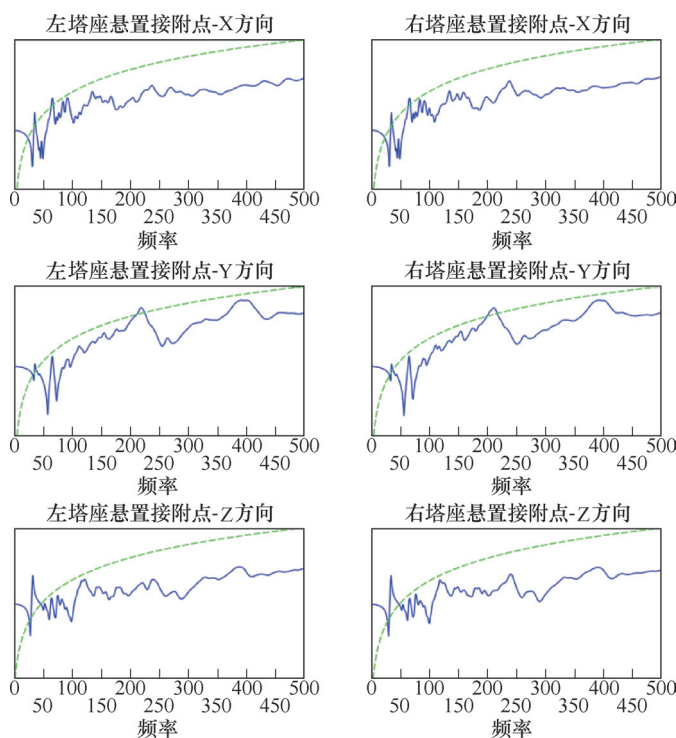


图11 前悬接附点动刚度曲线

结语

机舱减振塔座通过工艺和性能分析，产品充填过程顺畅，没有明显的冷隔、缩孔等缺陷产生，且在各种工况下满足强度和、耐久和动刚度要求，确保所设计的塔座满足制造和性能要求。最终所设计的铝合金铸铝塔座重3.28kg，可实现减重25%。 **AUTO1950**



郑中心，男，出生于1985年2月，毕业于东北林业大学机械设计制造及其自动化专业，2008年8月参加工作，现就职于广汽研究院车身工程部系统集成科，担任车身工程系统责任工程师。

（上接第61页）

上，通过操作台上的按钮，起动尾座压头将工件夹紧；按动控制焊接机头升降按钮，将焊接机头下降至工作高度，利用三维微调装置来调整焊枪和工件之间的相对位置，使两侧焊枪分别处于加强环和后盖焊缝处上的最佳位置。确认好焊枪及工件位置后，将尾座压头和焊枪恢复初始位置。

当焊枪位置确认好之后，切换

成自动焊接模式。按下起动按钮，尾座压头伸出将工件夹紧，然后焊接机头将焊枪移动至焊缝处并自动起弧，旋转定心机构带动工件旋转一周进行焊接。当两侧环形焊缝焊接完成后，焊接机头复位至初始位置，尾座压头后退，人工取下工件，完成加强环和后盖的焊接。按此循环进行。

结语

通过对设备多次优化，改进设计，该汽车后桥壳加强环后盖焊接设备目前已在生产线中批量使用。通过对焊后总成进行气密测试和对焊缝熔深进行剖切抽检，焊接质量100%达到图样标准要求，而且生产效率也比较高，最高可达到1.5min/件。 **AUTO1950**