

某乘用车仪表横梁总成轻量化替代设计

文 | 肖伟、廖洋、龙曲波 · 东风武汉实业有限公司

随着各国法规对于汽车燃油效率的要求越来越高，迫使主机厂及零部件供应商寻求更轻的材料如铝、镁合金等材料来替代原始钢材以达到减重的效果。本文为实现某乘用车仪表板横梁轻量化目标，对原钢制结构总成进行了铝合金及镁合金结构方案代替，并依据相关的安全性及NVH目标要求及测试要求对总成进行相关的结构优化设计及CAE仿真模拟；结果表明铝合金方案与镁合金方案替代设计分别实现了45%及49%的轻量化目标，并且满足整体模态、碰撞安全目标。

引言

随着我国对环保问题的愈加重视，特别是本轮实施的国六排放标准较欧标更为严苛，对中国车市上流通的产品设置了极高门槛。其中，汽车轻量化是一条应对严苛法规的必要手段。

本文对某品牌乘用车钢制仪表板横梁骨架总成进行了两种方案的轻量化替代设计，其中，铝合金方案采用了主体型材挤压和部分支架铝合金冲压件焊

接；镁合金方案采用了一体化高真空压力铸造方案；两种方案的结构在满足客户 NVH 性能及安全性能的基础上，实现了汽车部件的轻量化。

轻量化方案设计

钢制仪表横梁骨架概述

某乘用车钢制仪表横梁骨架总成如图 1 所示，主要由管梁、左 / 右侧围支架、H/VAC 安装支架、B&C 踏板安装

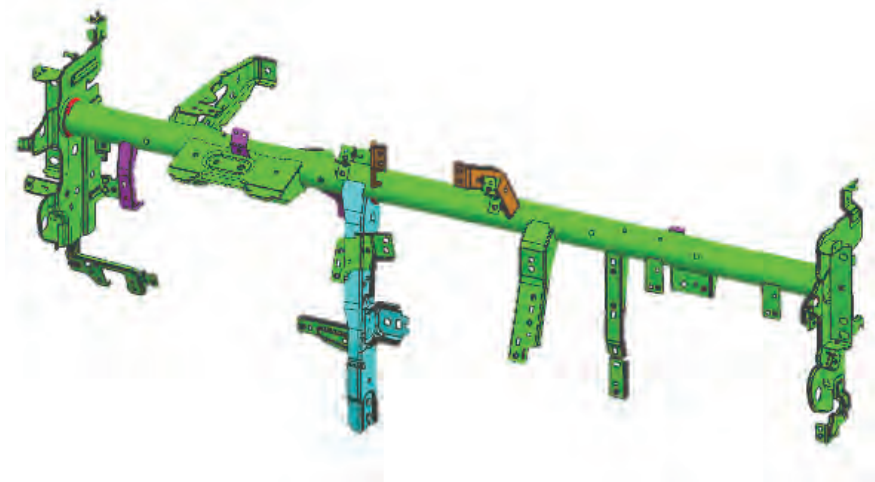


图 1 钢制仪表横梁骨架

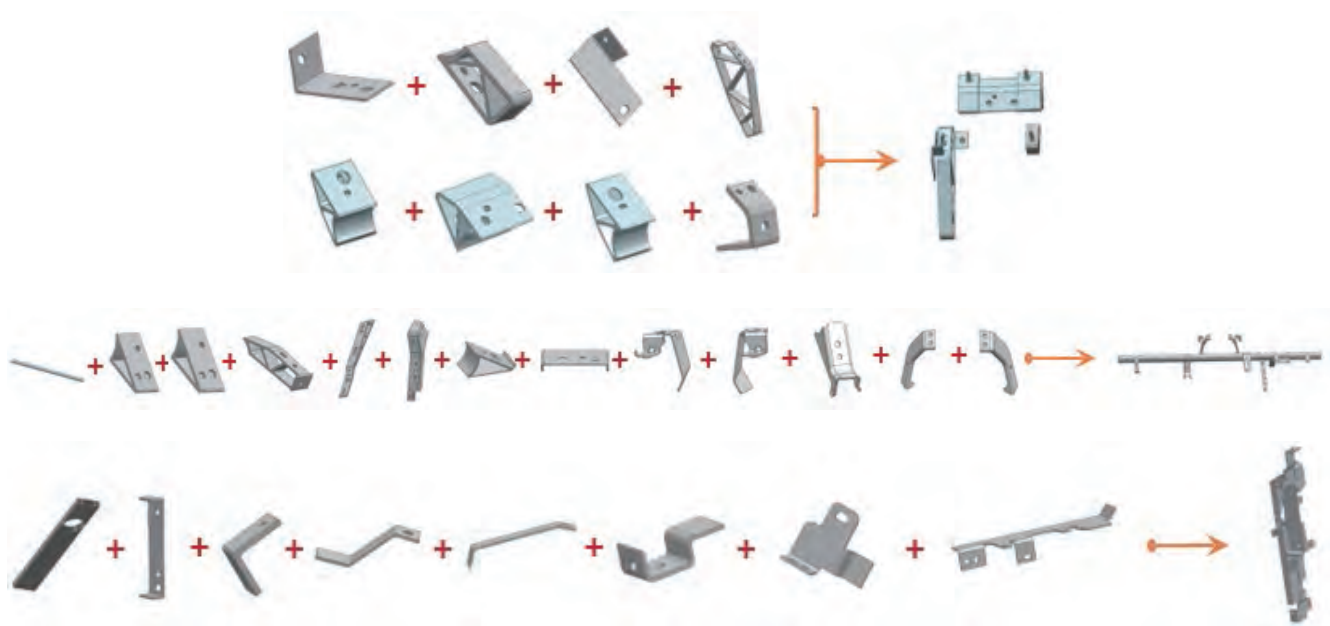


图2 铝合金结构

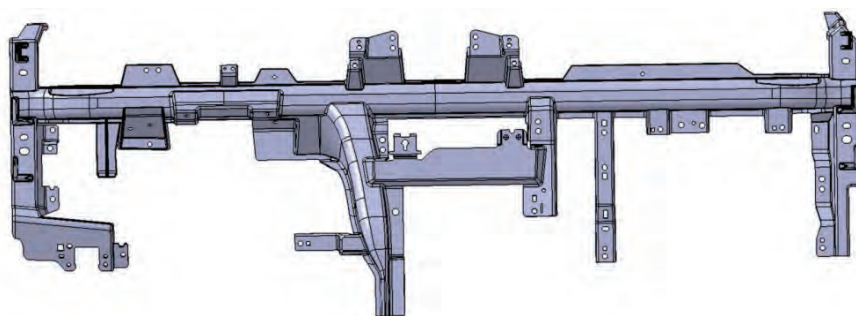


图3 镁合金结构

支架、仪表板安装支架、转向系统安装支架组成，共计 37 个零件。各支架采用不同厚度的钢板冲压后焊接到钢管横梁上，小支架厚度分布主要有 1.4mm、1.6mm，部分强度及刚度要求较高区域采用 2.0mm 及 3.2mm 厚度。该仪表横梁总成质量为 8.1Kg，在开发全新平台新能源车型时，对仪表板横梁的重量

做了相关要求。

铝合金 / 镁合金轻量化方案结构替代

铝合金方案选择

铝合金材料由于其良好的挤压性能，因此可以设计成截面复杂的型材结构，从而实现在轻量化的同时，拥有不低于钢制件的强度和刚度；在综合各系

材料及竞品车型材料选用的基础上，选择了 6061-T6 铝合金，其强度在铝合金中仅次于 2 系及 7 系铝合金，高强度有助于进一步减小壁厚减重；由于部分支架结构比较复杂，挤压工艺无法实现，因此少部分支架选择冲压成型；6061-T6 加工性能极佳、优良的焊接特点及电镀性、良好的抗腐蚀性、韧性高及加

表 1 轻量化方案与原始钣金结构工艺对比




方案	材料类型	主要结构	成型工艺	连接工艺
铝合金方案				
	铝合金 6061-T6	型材、冲压件	铝合金挤压、冲压；型材拉弯，机加工	MIG 焊、铆接工艺、钢铝螺栓连接
钣金方案				
	DC01	钣金冲压	冷冲压	电阻点焊、气体保护焊
镁合金方案				
	镁合金 AM60B	铸件	铸造	

表 2 典型铝合金 / 镁合金材料对比

	钢	镁合金			铝合金	
Property	DC01	AZ91D	AM60B	AM50A	6061-T6	6063-T6
抗拉强度 (Mpa)	310	240	225	220	310	260
屈服强度 (Mpa)	180	160	130	125	275	155
延伸率 (%)	28	3	8	10	12	13
密度 (g/cm ³)	7.83	1.81	1.80	1.77	2.70	2.70
杨氏模量 (Gpa)	210	45	45	45	69	69

表 3 仪表横梁各项性能指标评价标准

总成工况	目标值
一阶横向模态	>36.5Hz
一阶垂向模态	>36.5Hz
转向柱后退量	X<39mm
B 踏板冲击 F-S 曲线	>2000N/5mm
转向柱冲击 F-S 曲线	>5600N/5mm

表 4 CAE 模拟转向柱共振频率结果比对

CAE 分析项目	CAE 目标值	钢制件实验值	铝合金模拟值	镁合金模拟值
一阶模态 (横向)	>36.5Hz	42.5Hz	43.8Hz	40.3Hz
一阶模态 (垂向)	>36.5Hz	48.75Hz	49.9Hz	52.5Hz

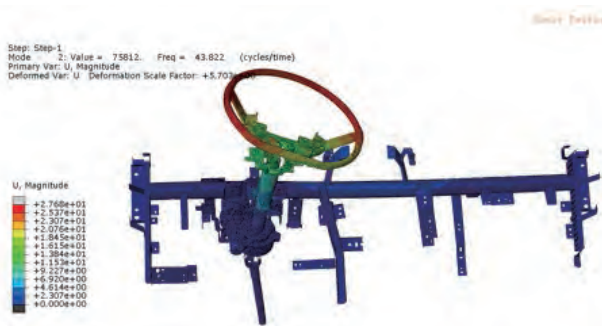


图 4 铝合金一阶横向模态

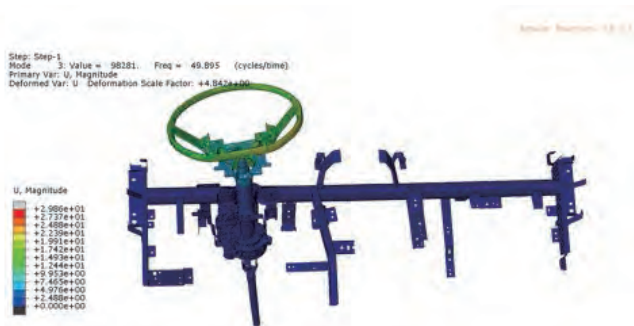


图 5 铝合金一阶垂向模态

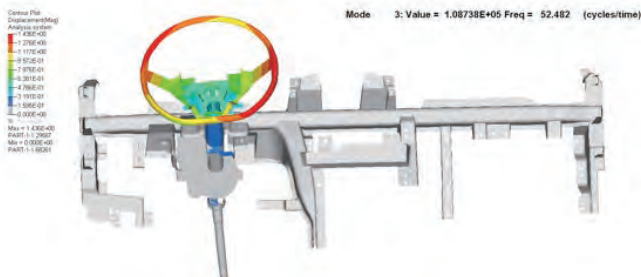


图 6 镁合金一阶横向模态

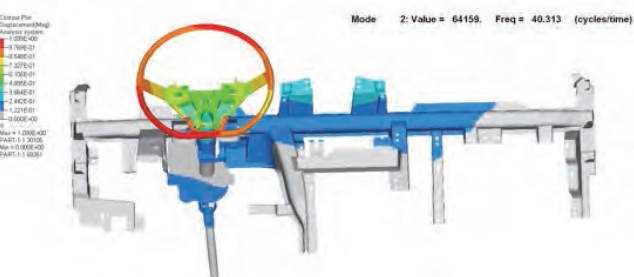


图 7 镁合金一阶垂向模态

工后不变形、材料致密无缺陷及易于抛光、上色膜容易、氧化效果极佳。铝合金结构主要部件及组成如图 2 所示。

镁合金方案概述

仪表横梁在工作过程中需要属于抗撞击的结构部件，其延伸率 (>10%) 和抗冲击性能需要有相关要求，选用镁合金时，由于 AM50A 和 AM60B 铝含量较低，由于随着铝含量的降低，

材料的韧性逐渐增高，故与 AZ91D 相比，AM50A、AM60B 的韧性和塑性较好，具有更好的吸能效果，延伸率和抗冲击力大，可用于汽车上的方向盘、CCB、坐椅等；仪表板横梁形状复杂、体积庞大而且壁厚不均，要求承载各种仪器仪表，因此需具有较高的韧性和强度，所以相对不推荐选择 AZ91D。现在 AM50 不如 AM60 应用广泛，成本

相近但 AM60 强度相对稍高，因此选择 AM60 牌号。镁合金结构主要结构如图 3 所示，总体部分为镁合金一体化集成压铸。

轻量化替代方案对比分析

材料的成型依赖于材料的相关特性，选择不同牌号的材料会影响到后续零件的结构形式及成型、连接方式的选择，表 1 对比了铝合金 / 镁合金轻量化

表 5 ODB 偏置碰撞后退量结果对比

	工况	ODB		
	位移 (mm)	X	Y	Z
	限定值范围	<39	-13	0
钣金	Lower LH	19.98	9.30	-4.90
	Upper LH	22.80	1.69	-9.25
	Upper RH	29.85	1.39	-11.13
	Lower RH	30.30	9.81	-5.20
铝合金	Lower LH	19.10	10.07	-6.72
	Upper LH	22.66	1.74	-9.37
	Upper RH	30.05	1.35	-10.51
	Lower RH	30.18	9.74	-7.22
镁合金	Lower LH	22.74	1.48	-6.64
	Upper LH	27.18	0.34	-22.36
	Upper RH	22.46	1.3	-2.72
	Lower RH	22.56	0.58	-4.14

方案在材料选择、结构形式、成型工艺及连接工艺上的区别。表 2 对比了常用铝合金及镁合金牌号的性能参数对比。

仪表横梁总成性能对比分析

仪表横梁性能要求

仪表板横梁 (CCB) 是位于车辆前部, 仪表板 (IP) 下部的一个连接及支撑部件, 它是前舱仪表板的结构基础并焊接到 A 柱上; 仪表横梁 (CCB) 支撑着转向系统、安全气囊模块、音响、仪表板和空调系统。CCB 将这些组件集成到驾驶舱模块与车身相连。因此, CCB 必须满足以下 4 项性能要求, ① NVH 要求, 将振动降到最低; ② 碰撞安全性能, 发生碰撞后使转向柱, B 踏

板后退量尽可能小; ③ 足够的支撑刚度; ④ 耐久性能, 如足够长的疲劳寿命。

根据 C-NCAP 的评价章程, 仪表横梁在碰撞过程中主要作用是阻挡驾驶舱内固定在其上的零部件不对乘员有进一步的伤害, 因此主要评价指标为方向盘后退量及 B 踏板支架的刚度; 本文将已经经过实验和碰撞验证的钢制横梁为基础, 各项指标不低于钢制件的要求下, 进行轻量化设计评价。

NVH 性能方面, 主要是方向盘的共振频率, 由于仪表梁支架的刚度不足, 会使得固定其上的方向盘受到激励引起共振, 从而严重影响驾驶员的驾驶体验, 降低整车品质, 为了有效避免共振, 仪表横梁总成 (带转向柱) 的一阶横向和

一阶垂向模态均需要有一定的要求。表 3 列出了仪表横梁总成的各项性能要求。

仪表横梁性能对比分析

NVH 性能分析对比

根据表一的性能指标要求, 经过多轮结构及厚度优化后, 铝合金及镁合金仪表横梁的转向柱一阶共振频率如表 4 所示。

经过优化分析后的仪表横梁总成, 铝合金方案及镁合金方案结果均高于目标值, 铝合金方案结果也均高于原始钣金件的实验值, 镁合金方案一阶横向模态稍低于钢制件模态, 但是一阶垂向模态在三种方案里面最高。结果云图如图 4 ~ 7 所示。

碰撞安全性能分析对比

碰撞安全性能经过整车分解之后, 主要是前围连接支架在正碰及侧碰后的吸能, 以及转向柱支架的后退量, B 踏板支架的刚性阻止踏板入侵, 最大化保证碰撞发生后乘员舱的安全。

转向柱后退量结果对比

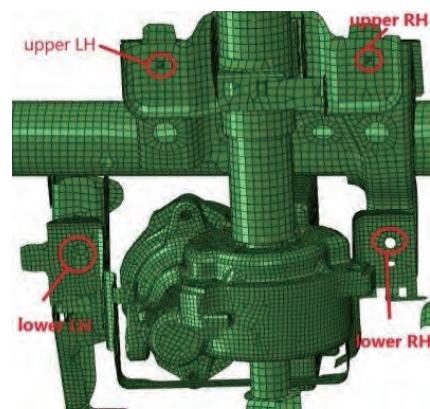


图 8 转向柱后退量考察点

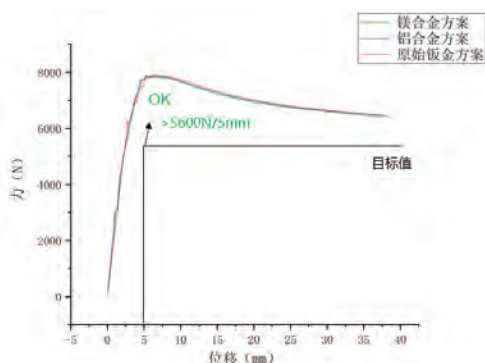


图9 铝合金与镁合金方案转向柱冲击 F-S 结果对比

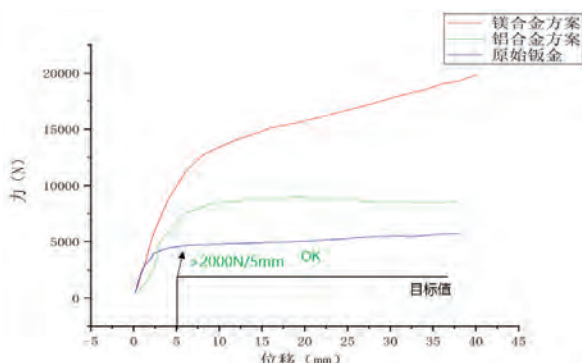


图10 B 踏板冲击 F-S 关系对比

表6 不同方案轻量化对比

方案	重量	减重率
钢制件	8.1	-
铝合金	4.3	45.4%
镁合金	4.1	49.1%

转向柱后退量主要考察转向柱在整车碰撞后仪表横梁整体是否有足够高的强度、刚度来抵抗变形，如果仪表横梁整体不能抵抗冲击，会导致方向盘后退量过大，从而导致驾驶员受伤，其指标主要为支架安装点四个位置的位移，如图8所示。

表5是在64KM/H的ODB碰撞工况下，转向柱支架安装点的后退量结果，结果表明，X向位移后退量铝合金及镁合金方案均低于要求值，满足碰撞安全规范。

转向柱冲击 F-S 关系结果对比

转向柱冲击主要考察转向柱在外力冲击作用时，转向柱安装支架是否有足够高的刚度支撑转向柱，其评价指标主要是特定点的力-位移曲线满足一定要求。铝合金及镁合金两种方案的结果对比如图9所示。

B 踏板冲击 F-S 关系结果对比

B 踏板支架没有相关的安装功能要求，其主要作用是保证在碰撞发生后有足够的刚度来抵抗踏板总成的冲击，保护驾驶员腿部安全。铝合金及镁合金两种结果的对比分析主要如图八所示。结果表明，铝合金及镁合金方案刚性均高

于原始钢制件，由于镁合金压铸一体化结构，其B踏板支架刚性最好。

基于以上性能分析，优化之后的铝合金及镁合金仪表横梁其轻量化比例相较于钢制件如表6所示。

结论

采用铝合金及镁合金材料轻量化替代的两种方案相较于原始钢制部件总成，分别实现了45.4%及49.1%的轻量化。性能方面，为了维持轻量化效果最大化，NVH性能及碰撞性能均与原始钢制件相当。MFC