

氢燃料电池汽车对车身结构的影响

文 | 刘明星

日本、韩国的车企一直押宝氢燃料电池汽车（FCEV），对抗中美以锂电动力电池为驱动的技术路线。很多冲压企业关心氢燃料电池车身结构会发生哪些变化，本文试图简要回答，简而言之，主要源于其动力系统的差异。FCEV 与纯电动汽车（BEV）共享电动机、电控和辅助电池，但核心区别在于氢燃料电池堆（Fuel Cell Stack）和高压储氢罐（Hydrogen Tank）的集成。这些组件取代了 BEV 中的大型电池组，导致车身布局从“电池中心化”转向“氢系统分布式”设计。

具体变化包括：

储氢系统布局调整：高压储氢罐（通常为碳纤维复合材料罐，压力达 700bar）多布置在车底或车尾，以优化重心和空间利用。相比 BEV 的底盘平铺电池包，FCEV 的罐体更紧凑（体积小 50 ~ 70%），但需额外管道和阀门连接，占用后备箱或侧舱空间。

燃料电池堆位置：电池堆（体积相当于小型行李箱）常置于前舱或底盘中部，取代传统发动机舱。这要求车身前部加强隔热和通风设计，以管理热量（电池堆运行温度 60 ~ 80℃）。

整体底盘强化：需增加氢气泄漏检测传感器、紧急切断阀和碰撞保护结构，确保罐体在侧碰或追尾时不破裂。车架可能采用模块化“滑板式”平台，但需预留氢管路接口。

这些变化使 FCEV 车身更注重安全冗余和分布式布局，而非 BEV 的集中式电池集成。

冲压工艺影响：

局部刚性提升导致冲压难度增加：为保护储氢罐和燃料电池堆，车身需在罐体周围（如底盘纵梁、侧围、后纵梁）设置高强度“防撞笼”结构。这些区域常采用超高强钢（UHSS，抗拉强度 $\geq 980\text{MPa}$ ）或热成型钢

（PHS，1500 ~ 2000MPa），冲压时需更高吨位压力机（ ≥ 1200 吨 vs 传统 800 吨），模具磨损加剧（寿命降 30 ~ 50%），裂纹风险上升，或者采用辊压工艺成形（局部加热或者整体加热辅助成形）。

复杂几何形状增多：氢管路穿行需在地板、门槛梁预留圆形 / 椭圆形通孔或凹槽，传统矩形冲压难以实现，需引入激光切割 + 二次冲压或多工序渐进模，工序数增加 20 ~ 40%，节拍变慢（从 8 ~ 10 SPM 降至 5 ~ 7 SPM）。

轻量化与冲压矛盾：为抵消氢系统重量，车身广泛采用铝合金（如 5xxx/6xxx 系）或镁合金覆盖件（引擎盖、尾门），但铝板回弹大（3 ~ 5° vs 钢的 1°），需伺服压力机 + 热冲压（HFQ）工艺，模具成本涨 2 ~ 3 倍，且需新建铝专线，避免钢铝混线污染。

氢安全冗余设计：罐体安装支架需抗氢脆，冲压件表面需镀锌 / 镀铝硅涂层，增加前处理工序（酸洗 + 磷化），冲压油需兼容后续涂装高温烘烤（200℃），否则油残留引发涂层气泡。



对车身轻量化的影响

方面	正面影响	负面影响
重量分布	储氢罐体积小、重量轻（碳纤维罐密度低），允许底盘减重 10 ~ 20%，重心更低，提高操控性。	氢系统总重（罐 + 堆 + 管道）可能增加 50 ~ 100kg，抵消部分轻量化收益，尤其在中重型车。
材料与能效	氢系统效率高（并到轮效率 25 ~ 35%），轻量化可放大续航（每减重 10kg 增续航 5 ~ 10km）。	高压罐需厚壁复合材料，初期成本高；氢脆风险要求额外防护层，增加局部重量。
整体车辆	适用于长途重载场景，轻量化提升经济性（燃料消耗降 5 ~ 15%）。	相比 BEV 的结构电池（电池兼作车架），FCEV 轻量化难度大，当前整车质量高 10 ~ 20%。

这些变化使 FCEV 车身更注重安全冗余和分布式布局，而冲压工艺从“高节拍标准化”转向“高精度定制化”。

是否类似把电池包部分替换成氢能储存罐？

是的，类似但不完全相同。将 BEV 的电池包部分替换为氢能储存罐是 FCEV 设计的核心转变，但涉及更多系统级调整：

相似点：两者均为电动驱动，电池包 / 储氢罐都位于底盘，提供能量存储。FCEV 的储氢罐重量（约 100 ~ 200kg，视车型）与中型 BEV 电池相当，都影响车身下沉重心，提高稳定性。

不同点：

体积与形状：储氢罐呈圆柱或椭圆形（多为 3 ~ 5 个串联），更易适应不规则空间，而电池包为矩形平板，需大面积底盘。

辅助组件：FCEV 额外需燃料电池堆（约 50 ~ 100kg）、氢气增压器和冷却系统，总系统重量可能与 BEV 相当，但分布更散（罐体 + 堆体）。

转换影响：直接替换需重设计氢气供应路径和安全壳体。实际中，FCEV 平台（如丰田 Mirai）从 BEV 架构演化，但优化了氢管路以减少泄漏风险。

冲压差异：BEV 电池托盘多为大型铝挤压 + 冲压拼焊件（单片 ≥ 2m × 1.5m），而 FCEV 罐体支架为小型高强钢冲压件（尺寸 ≤ 0.8m），但需深拉伸（深度 ≥ 150mm）+ 多角度翻边以包裹罐体，模具分块数增加，废料率升 15%。

总体上，这种“替换”简化了 FCEV 的能量存储，但增加了氢气管理复杂度。

对车身轻量化的影响

FCEV 的车身轻量化（即在保证强度、安全前提下降低质量，以提升能效）受氢系统影响较大，与 BEV 相比更具挑战性，但也带来机遇。

总体影响：负面为主（系统复杂导致净重增），但通过优化可转为正面，尤其在商用车领域。

汽车主机厂针对这些影响的措施

汽车主机厂（如丰田、本田、现代、上汽）针对车身变化和轻量化挑战，采取多维度措施，推动 FCEV 商业化。重点是安全优化、材料创新和系统集成，结合政策支持（如中国燃料电池示范应用）：

结构优化：采用模块化平台（如丰田的“滑板式”底盘），预留氢罐接口，便于从 BEV 转换。增加有限元分析（FEA）模拟车架强度，确保碰撞时罐体移位最小化。

轻量化技术：推广碳纤维增强塑料（CFRP）和铝合金车身，目标减重 15 ~ 25%。例如，现代 Nexo 使用高强度钢 + 复合材料，罐体壁厚减薄 20% 而安全不变。

安全与集成措施：集成氢泄漏传感器和多层防护（如双壳罐体），并优化管道布局减少摩擦损耗。本田强调“氢脆”防护，使用钛合金管路。

研发与合作：主机厂与供应商（如 Swagelok）合作优化元件选型，降低成本 30%。中国主机厂（如一汽）通过国家示范项目，测试轻量化原型，提升效率。

政策响应：响应财政补贴，加速小型化电池堆（体积减 30%），并探索绿色氢生产以间接支持轻量化经济性。

这些措施使 FCEV 车身更高效，预计到 2030 年，轻量化将使整车质量接近 BEV 水平。MFC