

# 燃料电池汽车动力系统集成及框架设计

冷如波 周庆伟 凌天钧 何健 周锋

(上海汽车集团股份有限公司新能源汽车事业部)

**【摘要】** 中国燃料电池汽车离产业化还有较大的差距,动力系统集成度低是原因之一。文章研究动力系统一体化设计方法,并在一款燃料电池汽车上得到实现。这种集成框架式的设计方法为其它燃料电池汽车动力系统集成提供范例。

**【关键词】** 燃料电池 汽车 动力系统

## 0 引言

随着全球能源危机状况和温室气体排放日益严重,各国政府和汽车公司都在积极寻求解决方案。新能源汽车在解决这两大问题方面具有广阔的前景,因此受到普遍重视。各国政府和汽车公司都在新能源汽车的研发工作中投入了大量的人力和物力。2001年,中国确立“十五”国家高新技术研究发展计划(863计划)电动汽车重大专项项目,明确了中国的电动汽车战略发展基本原则,提出“三横三纵”研发布局。

燃料电池汽车作为一种新能源汽车,具有节能、零排放、无污染、效率高等优点。但是燃料电池系统成本高、基础设施投入大、整车装配工艺差等都是阻碍燃料电池汽车产业化的重要因素。在国家863计划的支持下,国内燃料电池汽车的研发取得较大进展,但是整车的装配工艺性差,这一问题没有得到根本改观。造成燃料电池汽车整车

汽车动力总成技术研发,建立适当的研发体制与国外竞争,还是有希望的。反之,如果“妄自菲薄”或“盲目乐观”,不下大功夫去改变现状,将会走下

装配工艺性差的主要原因是动力系统集成度比较低。燃料电池汽车动力系统主要包括电驱动系统、动力控制单元(PCU)、电堆、燃料电池空气系统、水系统以及氢气系统(FCS)等。这些系统的主要特点是零部件比较多而零散,单个系统的集成度很低,这些都不利于产业化。为了实现燃料电池汽车的产业化,提高动力系统集成度是必须解决的问题。

本文的主要研究目的是针对目前燃料电池汽车动力系统状况,研究如何提高集成度。并针对某款燃料电池汽车动力系统进行一体化集成设计,采用框架式设计来提高动力系统集成度,从而提高整车的装配工艺性。并对动力系统集成框架进行结构分析和优化设计,为燃料电池汽车动力系统集成提供范例。

## 1 燃料电池汽车动力系统集成

### 1.1 集成设计目标

坡路。也许自主汽车企业不得不重回依靠外国技术的老路。现在应该到了认真思考发展中国汽车动力总成的关键时候了!

(杨嘉林)

燃料电池汽车动力系统集成设计的目标是将燃料电池汽车动力系统的 FCS、PCU、驱动电机、减速器、水泵、水箱、增湿器、空调压缩机及其控制系统集成为一个刚性整体,并整体通过三个悬置固定于车身的前舱内。动力系统集成设计要求具有良好的装配、拆卸以及维护工艺性。

## 1.2 集成设计方案

根据集成设计目标,将动力系统零件分为上下两层布置。上层为 FCS、PCU、增湿器、水箱;下层为驱动电机、减速器、空气压缩机及其控制器、空气滤清器、水泵。各零件通过框架结构相互连接在一起。

## 2 燃料电池汽车动力系统集成框架设计

根据总体布置方案及各零部件空间结构,集成框架设计整体方案确定为组立式立方框架结构,工艺方案为单件数控加工、批量压力铸造。

### 2.1 集成框架设计流程图 P-DGRAM

根据集成方案对框架的需求及整车性能要求,制定框架设计流程如图 1 所示。

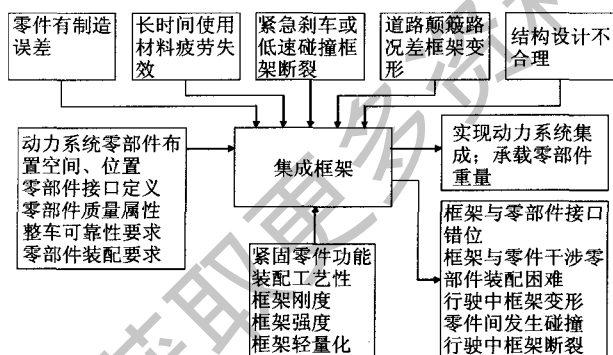


图 1 框架设计流程

### 2.2 集成框架的技术要求

根据整车性能要求和框架使用环境,由设计流程分析确定对框架设计的技术要求。

(1) 功能要求:满足总布置对前舱动力系统零部件的集成安装要求及装配工艺要求。满足集成框架与车身、副车架之间的悬置连接要求。

(2) 承载能力要求:能安全承载 330 kg 静载荷,及整车坐标下  $X$  向 11 g,  $Y$  向 3 g,  $Z$  向 5 g 的冲击载荷。

(3) 耐久性要求:满足整车 1.5 万 km 疲劳耐久性要求。

(4) 刚度要求:根据整车总体设计要求,框架在动态载荷下应有足够的刚度,以保证所固定的零部件之间无相互挤压和碰撞。设计参考标准为框架跨度内,静载下最大变形量不超过 0.2 mm,冲击载荷下最大变形量不超过 1.5 mm。

(5) 轻量化要求:在满足功能和性能的前提下,尽可能减轻集成框架重量。

### 2.3 集成框架的材料选择

(1) 材料使用性能:材料应该具有高比强度、良好的耐冲击性能、耐 75 °C 高温、耐腐蚀;

(2) 材料工艺性能:材料应该具有良好的机械加工性能、铸造性能;

(3) 材料经济性能:为满足轻量化要求,材料采用高性能轻质合金。

目前在汽车中应用的轻质金属材料主要有高强度钢、铝合金、镁合金材料等。其中 7050 铝合金材料较符合所需材料的使用性能、工艺性能及经济性能。综合以上因素,框架所选取的材料为 7050 铝合金。

### 2.4 框架详细结构设计

集成框架总成设计由 8 个单体框架和 14 个安装连接块组成。框架之间以螺栓连接,组装后成为一刚性整体。框架总成以 3 个悬置点分别固定在车身和副车架上,以实现动力系统一体化集成要求。

### 2.5 系统总成装配工艺方案

基于对动力系统集成方案的分析,框架结构设计时所确定的系统总成装配工艺分为上下两层,上层与下层分别装配分总成,然后完成动力系统总成的装配。工艺方案主流程如图 2 所示。

### 2.6 潜在失效模式及后果分析

在结构设计后期,为查找集成框架系统潜在的失效模式,针对框架系统做了 D-FMEA,经过分析、改进,减少了潜在失效发生的可能性。分析结果如表 1 所示。

表 1 集成框架 D-FMEA 结果

项目功能	潜在失效模式	潜在失效后果	产量度 S	潜在失效起因机理	频度 O	现行设计控制预防	现行设计控制深测	深测度 D	R. P. N.	建议措施	措施结果				
											采取的措施	S	O	D	R. P. N.
实现动力系统集成	框架与零部件接口错位	零件固定困难或无法固定	7	结构设计不合理,装配精度要求高	4	凭设计经验控制	设计评审	4	112	进行零部件装配分析,优化结构降低装配精度要求	进行零部件装配分析及结构优化	7	2	2	28
			7	零部件制造误差大	5	结构设计预留调整量	零件进货检验	3	105	对零部件接口尺寸进行制造公差控制	加强对零部件接口尺寸的控制	7	2	3	42
	框架与零部件干涉	零件无法安装	8	结构设计存在干涉	4	设计者自检总布置确认	设计评审	3	96	做DMU检查设计者、总布置、相关DRE多方检查	已做DMU检查及设计者、总布置、相关DRE多方检查	8	2	1	16
			8	输入数据检测不准或不完整引起数模和产品实物不一致	5	结构设计预留间隙	零件进货检验	4	160	相关DRE对零部件数模进行检查确认,确保数模实物一致性	要求相关DRE对零部件数模进行检查确认,确保数模实物一致性	8	2	3	48
	装配工艺差	零件装配较困难	6	设计时对工艺考虑不足,结构不合理	4	凭设计经验控制	设计评审模装验证	4	96	前期设计多与工艺、制造部门交流	前期设计与工艺、制造部门交流	7	2	3	42
	承载零部件重量	框架变形	零件发生碰撞损坏	8	结构设计不合理材料选择不当	3	设计评审	CAE分析	6	144	参考类似产品进行刚度实验	参考类似产品进行刚度实验	8	2	4
框架断裂		零件脱落,动力系统被破坏	9	结构设计不合理材料疲劳失效	3	设计评审	CAE分析	7	189	参考类似产品进行疲劳实验	参考类似产品进行疲劳实验	9	2	4	72

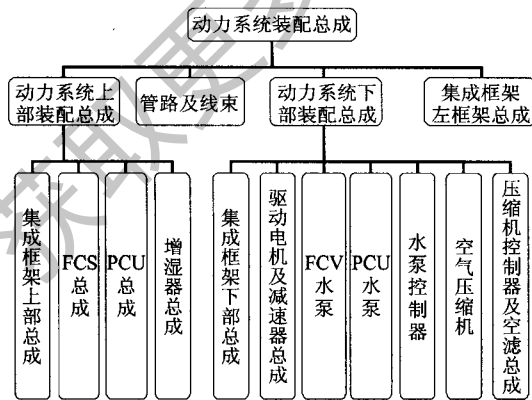


图 2 前舱动力系统装配工艺方案

2.7 集成框架的 CAE 分析及结构优化

为评价集成框架是否满足结构设计要求,采用 MSC. Nastran 2005 软件对框架的模态、静态强度、加速度冲击下强度状况进行分析判断,并优化当前设计。

(1) 建立框架的有限元模型

材料为 7050 铝合金,整个框架的有限元模型质量为 40.65 kg,把框架上承载的质量块以质量单元的形式加载在框架上,整个框架的承重为 327.8 kg。整个有限元模型质量为 368.5 kg。对框架与纵梁上的悬置连接处施加全约束,框架与副车架上的悬置连接处施加整车 X 方向的约束。

(2) 静载强度分析

该结构在静载下最大应力为 19.8 MPa,根据

UTS/2 的应力准则来评价,可以认为该框架满足行驶路程的耐久性要求。最大位移为0.168 mm,满足最大变形0.2 mm要求。

### (3) 模态分析

集成框架的一阶模态为 Z 向弯曲模态,模态频率为48.5 Hz。满足大于40 Hz的模态要求。

### (4) 冲击载荷强度分析

对该框架在 X 向11 g, Y 向3 g和 Z 向5 g交叉4组加速度载荷下进行分析。得到 Y 向3 g和 Z 向5 g交叉4组冲击载荷下的计算结果如表2所示。

表2 4组冲击载荷下的计算结果

分析工况	Y向加速度 (g)	Z向加速度 (g)	最大位移 (mm)	最大应力 (MPa)
A	+3	+5	0.956	116
B	+3	-5	0.828	116
C	-3	+5	1.14	155
D	-3	-5	0.634	80

### (5) 结构优化

根据以上分析结果,可以得出结论:该结构完全满足强度要求,并且有足够的余量进行减重优化。减重优化的主要制约点并不在于强度值,而是最大静载变形0.2 mm的约束。根据 CAE 分析结果,对框架的局部结构进行优化设计,优化后框架总质量减小14%。

## 3 讨论和结论

### 3.1 讨论

(1) 在该案例中,动力系统零部件的集成度太低,增加了框架设计难度和成本。提高系统本身的集成度是解决这个问题的关键。

(2) 为了减轻框架重量,在满足强度要求和制造工艺的情况下,可以考虑选择镁合金材料。

(3) 对于本案例的集成框架设计,在后续的设计工作中,还将进行刚度试验和疲劳试验,以进一步验证和强化设计。

### 3.2 结论

(1) 本文介绍了框架式的燃料电池汽车动力系统集成一体化设计思想,并在案例中的燃料电池汽车设计中得到实现。

(2) 案例中设计的集成框架满足车身模态要求,满足静载下的变形要求和应力要求,同时能够满足耐久性要求和冲击载荷下的强度要求。

### 参考文献

- 1 SG Chalk, JF Miller, FW Wagner. Challenges for fuel cells in transport applications; Journal of Power Sources, Volume 86, Issues 1-2, March 2000.
- 2 许惊.“十五”国家863计划电动汽车重大专项正式启动[J].中国科技产业,2002.03.
- 3 陈全世,仇斌,谢起成.燃料电池电动汽车[M].北京:清华大学出版社,2005.

### Abstract

In China, the industrialization of fuel cell vehicle has a long way to go. Too low integration degree of power train system is one of the factors to block FCEV industrialization. The paper proposes one method for the power train system integration design. As a sample, power train system integration is conducted for one FCEV using this method. This study can provide a paradigm for integration in other FCEV power train systems.

