

燃料电池观光车底盘异响故障分析及处理

于蓬，倪淮生，沈春娟

（嘉兴德燃动力系统有限公司，浙江嘉兴314000）

摘要：以某11座燃料电池观光车为研究对象，对其出现的底盘异响故障进行了分析及处理。首先进行不同方向的转向实验，确定驱动电机系统、助力转向系统、机械干涉三种可能存在的噪声源；然后利用控制变量法，对噪声源进行逐一排查，确定故障源于右前轮电机控制系统长期不受控，因而导致机械系统扭曲变形。最终，提出了更换轮毂电机的解决方案。该套完整的故障分析处理的思路及过程，能够为类似的工程实际问题提供有效参考。

前言

随着全球资源短缺、环境恶化等问题的日益严重，世界各国都在积极进行新能源汽车的研制和开发。燃料电池汽车由于其零排放、能量转换效率高的特性，被认为是全球能源与环境问题的理想解决方案之一，拥有广阔的发展前景[1-3]。中国政府也积极重视燃料电池汽车的研发工作。目前，中国已有多款燃料电池客车、燃料电池轿车样车推出，先后在北京奥运会、上海世博会、全球环境基金与联合国发展计划署（GEF/UNDP）共同支持的燃料电池城市客车商业化示范活动、新加坡青奥会等开展了示范运行[1]。与传统燃油汽车类似，燃料电池汽车的振动噪声问题关系到乘客舒适性、驾驶平稳性。

本文针对某燃料电池观光车存在的底盘异响问题，进行了故障排查与分析，并提出最终解决方案，故障分析、解决的一系列流程对于工程实际应用有一定的参考价值。本文研究对象为某11座燃料电池观光车。该车曾参与上海世博会新能源汽车研发与应用示范项目，承担世博会的园区载客工作，燃料电池观光车单车耗氢1.375kg/(100km)[2,4]。

1 燃料电池观光车故障描述及检查

1.1 燃料电池观光车故障描述

燃料电池观光车在转向时，出现的问题描述如下：左转时，方向盘打满，在颠簸路面出现转向不足，并有部件摩擦感，平顺路面没有该问题；向右转方向盘时，偶发底盘振动，振动主要发生在右侧车轮及相关连接部件处；随着右转，振动情况加剧，方向盘向右打满后，振动情况最为剧烈。

1.2 底盘检查实验及分析

1.2.1 转向实验

操纵燃料电池观光车左转，当离地间隙较大时（即行驶在颠簸路面上时），左侧悬架下支架上加强筋（如图1所示）与轮毂内侧紧固螺栓（如图2所示）产生干涉，干涉情况如图3所示。



图 1 加强筋



图 2 紧固螺栓



图 3 干涉情况

操纵燃料电池观光车右转，方向盘未打到底时，即出现底盘右前方振动问题，并伴随噪声，分析可得，可能存在的噪声源为：驱动电机系统，助力转向系统，机械干涉。

1.2.2 噪声源排查

采用控制变量法，对以上三种可能的噪声源进行逐一排查，过程如下。

- 1) 车辆不上高压电，人力推动车辆，驾驶员向左向右打方向盘：左转或者右转均未产生问题，只有在右转到底时有机械摩擦感觉；
- 2) 车辆上高压电，但不踩油门，同上步骤，结果与上步骤相同，说明转向助力系统不存在问题；
- 3) 车辆上高压电，踩油门，在稍微右转时出现振动现象，随着右转的角度增大，振动不衰减，有持续振动源输入。



图 4 底盘部件与制动器接触



图 5 制动器接触造成的伤痕

将车辆吊起检查，右转到底时，左侧车轮由于制动盘与车架接触（接触图如图4、长期接触造成的制动器磨损如图5所示），造成自动刹车，左侧车轮在不踩油门的情况下，人力难以旋转，踩油门时可以强行旋转；

检查过程中发现，右侧车轮出现的问题最为严重：挂前进挡/倒退档，不踩油门时候，其他车轮不转动，右前方车轮出现自行转动或者无规律的脉动；挂前进挡/倒退档，踩油门时候，其他车轮按照期望转动，右前方车轮出现停止转动、反向转动，或者无规律的脉动；在两种情况下，用手调整右侧轮毂电机的电源输入线（如图6所示），可以在驾驶员不操作油门的情况下，控制车轮的转动，但规律不明显。



图 6 右侧电机输入线

1.2.3 燃料电池观光车转向过程受力分析

采用示意图对车轮及车轴的受力情况进行简化分析。基于以上实验过程及结果，燃料电池观光车在进行前进/后退、左转、右转时，受力情况如图7所示。其中， F 为驱动力， L 为车辆的轮距， R_0 为车辆的轮胎半径， O 为车辆转向中心。

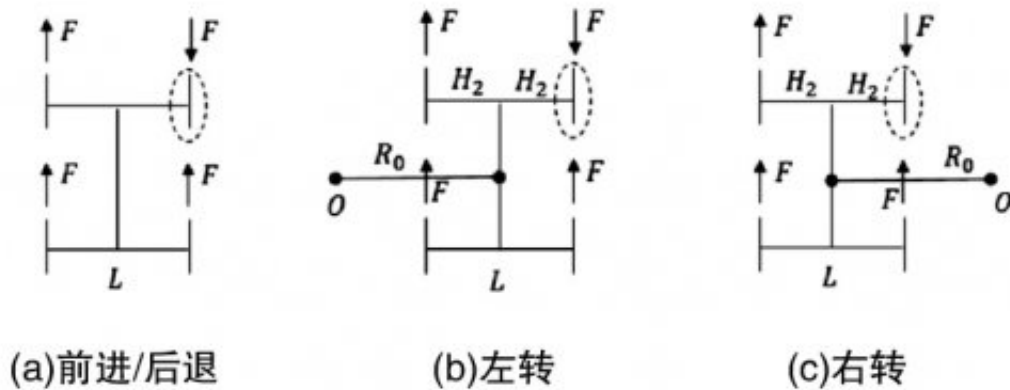


图7 燃料电池观光车受力情况

(1) 当燃料电池观光车前进/后退时，受力情况为：

$$F_{\text{前进}} = 2F < F_{\text{期望}} = 4F \quad (1)$$

$$F_{\text{后退}} = 2F < F'_{\text{期望}} = 4F \quad (2)$$

(2) 当燃料电池观光车左转时，受力情况为：

$$M_{\text{期望}} = \left(R_0 - \frac{L}{2}\right) \cdot 2F + \left(R_0 + \frac{L}{2}\right) \cdot 2F = 4R_0F \quad (3)$$

$$M_{\text{实际}} = M_{\text{左转}} - M_{\text{反抗逆转}} = \left(R_0 - \frac{L}{2}\right) \cdot 2F + \left(R_0 + \frac{L}{2}\right) \cdot F - \left(R_0 + \frac{L}{2}\right) \cdot F = 2R_0F - LF \quad (4)$$

其中，M 为车辆的电磁转矩。

由以上计算得知，左转时，实际情况与理想情况间产生的力矩差为：

$$\Delta M = M_{\text{期望}} - M_{\text{实际}} = 2R_0F + LF \quad (5)$$

(3) 当燃料电池观光车右转时，受力情况为：

$$M_{\text{期望}} = \left(R_0 - \frac{L}{2}\right) \cdot 2F + \left(R_0 + \frac{L}{2}\right) \cdot 2F = 4R_0F \quad (6)$$

$$M'_{\text{实际}} = M_{\text{右转}} - M_{\text{反抗逆转}} = \left(R_0 + \frac{L}{2}\right) \cdot 2F - \left(R_0 - \frac{L}{2}\right) \cdot F + \left(R_0 - \frac{L}{2}\right) \cdot F = 2R_0F + LF \quad (7)$$

由以上计算得知，左转时，实际情况与理想情况间产生的力矩差为：

$$\Delta M' = M_{期望} - M'_{实际} = 2R_0F - LF \quad (8)$$

而对于车辆的转向过程，都有：

$$F = \frac{M_{电磁转矩}}{R_{轮胎半径}} \quad (9)$$

根据以上分析，当 $F=0$ ，即用人力推动，不踩油门时，转向无振动噪声；当 $F>0$ ，即正常驾驶时，转向时因右前轮毂电机输出与驾驶期望不一致，产生相互作用与振动噪声。分析得出的结论与实际实验结果相同。

因此，经过实验及分析，初步判断问题源于：电机输入线长度不足，与悬架叉臂长期干涉（右转时存在，如图8所示），造成电源输入与电机定子处接触不良。



图 8 右侧叉臂与电源线紧密接触干涉

1.2.4问题排查及调试

将如图7中白色紧固件拧松，调整黄色电源线的角度与插入深度，可暂时消除右转向时的驱动电机失控现象。由于右侧车轮长期的接触不良、失控问题，造成的另一个结果是，右侧车轮在整车回正状态下，有10度左右的右转向，需要重新较调右侧车轮转角（如图9所示）。



图 9 驾驶员方向：右侧车轮转角偏差

2解决方案

根据异响产生的原因，提出以下五种解决方案。

（1）切割左侧车轮加强筋，消除车辆左转时左侧车轮内侧紧固螺栓与加强筋的部件干涉。但此举带来的问题是，破坏加强筋，降低悬架下支架的强度，考虑到只有在离地间隙过大时（较为颠簸路面）才会出现干涉，暂时可不处理。

（2）砂纸打磨左侧车轮制动钳，消除右转到底时的自行制动。但此举带来的问题是，降低制动钳的强度，造成局部应力集中，影响行车安全，建议暂时不处理。

（3）以上两个暂时不处理的问题的原因是右侧车轮驱动电机电源线长期接触不良，使得右侧车轮与其余几个车轮驱动情况不一致，并长期作用使底盘系统产生变形，应该更改电源线的长度、调整电源线的固定位置、加固电源线与电机定子的接触点。

（4）还可以解决振动问题的措施有直接断开右前部车轮的电机控制与电源输入，使其只具备转向功能而不具备驱动功能，带来的问题是影响整车的驱动性能。

（5）右侧车轮出现10度左右的转向误差，是因为右侧前轮电机长期不受控，与其他几个电机的作用力造成的，建议优化电机系统的同时重新调整右侧车轮的角度。

3结论

观光车底盘振动与异响的振动源是右侧电机不受控，造成其转矩输出与期望不一致（其他车轮输出与期望一致），长期错误运行造成底盘轻微变形，包括车轮角度偏差和局部干涉。建议电控工程师调整右侧驱动电机系统连接件。

4维修与结果

最终，为了简单直接地一次性从根源解决问题，对燃料电池观光车右前轮轮毂电机进行了更换，振动与噪声问题予以解决。

参考文献

- [1]刘宗巍,史天泽,郝瀚等.中国燃料电池汽车发展问题研究[J].汽车技术,2018(01):1-9.
- [2]李建秋,方川,徐梁飞.燃料电池汽车研究现状及发展[J].汽车安全与节能学报,2014,5(01):17-29.
- [3]Hwang J J, Wang D Y, Shih N C. Development of a Light weight Fuel Cell Vehicle[J]. Journal of Power Sources,2005,141 (1) :108-115.
- [4]世博园燃料电池观光车日均客流逾2万人次[J].电源技术,2010,34(07):622.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/166504.html>