

纯电动车制动真空助力系统设计

□ 一汽丰田技术开发有限公司/韩厚禄

通过对真空助力系统重新进行设计校核及实车验证，使得整车制动性能达到了设计要求，为今后EV车制动系统的设计开发提供了一定的参考作用。

为减轻驾驶强度，传统燃油汽车（包括总质量在1.1t以上的轿车及6t以下的商用车）制动助力系统均采用真空助力形式，通过借助真空源发动机等，驾驶员在制动时施加较小的踏板力便可获得较大的制动力。

纯电动车（Electric Vehicle，简称EV车）的制动助力系统采用真空助力形式时，相比燃油汽车，由于没有发动机作为真空源，仅由人力施加的踏板力无法满足制动需求，因此需对真空助力系统进行改造。目前大多数纯电动车均采用电动真空泵作为真空源。对于此类车型，电动真空泵提供的真空度大小直接影响着整车的制动性能。

某型EV车是以公司内部某款汽油车作为原型车，在此基础上开发的一款纯电动车产品。在样车试验评价阶段，发现整车的制动距离未达到设计目标，因此必须进行整改。通过理论分析与试验验证，确认到设计初期设定的电动真空泵工

作的限值偏低是导致制动距离长的主要原因。因此重新调整真空度限值，再次进行试验验证，最终使得整车制动性能满足设计要求。

真空助力系统原理概述

图1为某型汽油车的制动系统布置图，采用带有真空助力器的X型管路布置双回路液压制动系统，前后行车制动器均为盘式制动器，驻车制动系统采用中央驻车手柄及

盘中毂式制动器结构。真空助力器安装于制动踏板和制动主缸之间，由制动踏板通过推杆直接操纵。

图2为EV车的真空助力系统布置图。采用电动真空泵作为真空源，电动真空泵与真空助力器之间连接有真空储气罐，确保车辆的连续制动性能，并可延长电动真空泵的寿命。电动真空泵控制模块集成在整车EVCU中，通过真空度传感器检测的真空度信号控制电动真空

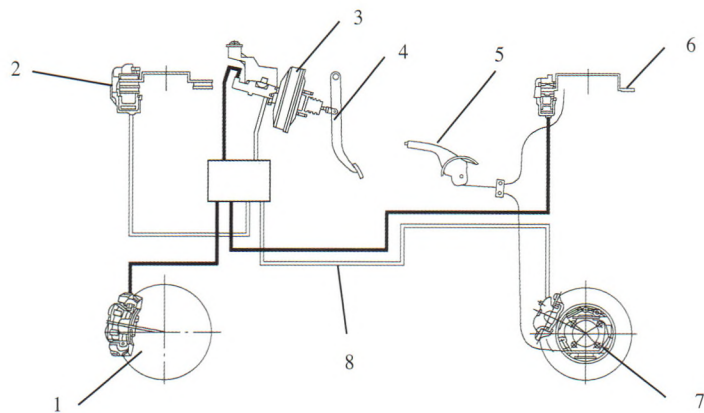


图1 汽油车制动系统布置图

1.左前卡钳及制动盘 2.右前卡钳及制动盘 3.真空助力器 4.制动踏板 5.驻车手柄 6.右后卡钳及制动盘 7.左后卡钳及制动盘 8.制动管路

泵的启停。当车辆启动后，真空度传感器监测真空助力器外侧管路中的真空度，若真空度低于设定的下限值时，电动真空泵启动；达到设定的真空度上限值时，真空泵停止工作。车辆行驶过程中，驾驶员实施制动踩下制动踏板后，由于真空助力器的膜片压缩真空室，使助力系统的容积变小，根据理想气体定律，助力器及储气罐的压强变大，即真空度下降，当真空度低于电动真空泵开启的下限值时，电动真空泵启动为整车的真空助力系统提供真空。

问题描述

该EV样车在试验评价阶段，试验人员路试时发现样车在制动时

的制动距离偏长，具体试验结果见表1所示。

通过表中的试验数据可知，以相同踏板力制动时，EV样车的制动距离在空载时已接近《GB7258 机动车运行安全技术条件》及《GB21670乘用车制动系统技术要求及试验方法》规定的限值，满载时的制动距离已不满足GB要求，且与原型车的制动距离差距较大。同时，平均减速度也明显比GB要求值及原型车小。

原因分析

对比EV样车、原型车的整车及制动系统参数，相比原型车的主要变化点为：

- (1) 整车质量及前后轴荷变

化。

- (2) 真空助力系统新设。

其中，对于变化点（1），通过对制动力分配的计算校核，以及对原型车分别在空载和满载时，按照与EV样车相同的配重进行实车测试，试验结果为整车质量及前后轴荷的变化对制动距离的影响较小，本文不再详细论述。因此，着重从变化点（2）即电动真空助力系统入手，分析问题产生的原因。

图3（a）所示为汽车在水平路面上制动时的受力示意图，忽略了汽车的滚动阻力、空气阻力以及旋转质量减速时产生的惯性力偶矩。图3（b）所示为单个车轮受力示意图。

根据整车制动减速度、制动系统零部件的特性参数、真空助力器特性曲线等信息，可以推算出EV样车的真空助力系统的真空度。具体计算过程如下所示。

真空助力器的结构及性能曲线如下图4所示。真空助力器内部的气室分为真空室（通过真空管路与真空源相连）与大气室（与大气相通），所能够提供的助力大小取决于真空室与大气室的压力差。

根据以上计算流程，将踏板力、制动减速度等参数代入算式，计算出所需要的真空度限值范围。同时，在动态（50km/h行驶）空载工况下，对比检测EV样车及原型车的真空助力器的真空度。具体结果见下表2所示。

由计算结果及实车检测可知，EV样车真空助力器的真空度的下限值相比原型车小，且上限值未达到设计要求。即电动助力系统提供的制动助力偏小，是导致EV样车制动距离偏长的主要原因，因此有必要

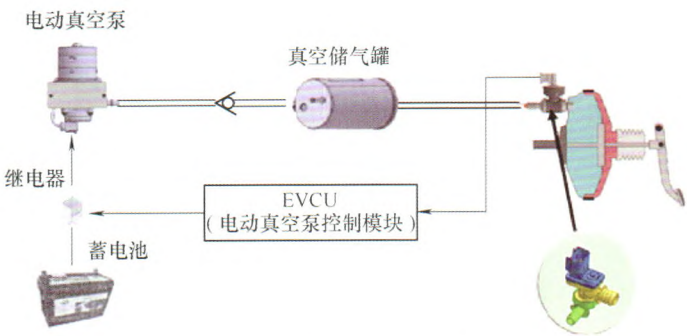


图2 EV车真空助力系统布置图

表1 EV车样车制动性能试验结果

项目	试验结果	EV样车	原型车	法规要求	
				GB7258	GB21670
空载时	制动初速度 $v/(km\cdot h^{-1})$	50.0	49.7	≥ 49.0	$v_{max} \leq 200$
	制动距离 S/m	18.5	10.3	≤ 19.0	$v=50$ 时， $S \leq 21.8$
	平均减速度 $g/(m\cdot s^{-2})$	5.90	9.66	≥ 6.2	≥ 5.76
	踏板力 F/N	392	394	≤ 400	65-500
满载时	制动初速度 $v/(km\cdot h^{-1})$	50.2	50.4	≥ 49.0	$v_{max} \leq 200$
	制动距离 S/m	20.1	14.1	≤ 20.0	$v=50$ 时， $S \leq 21.8$
	平均减速度 $g/(m\cdot s^{-2})$	5.51	8.12	≥ 5.9	≥ 5.76
	踏板力 F/N	494	495	≤ 500	65-500

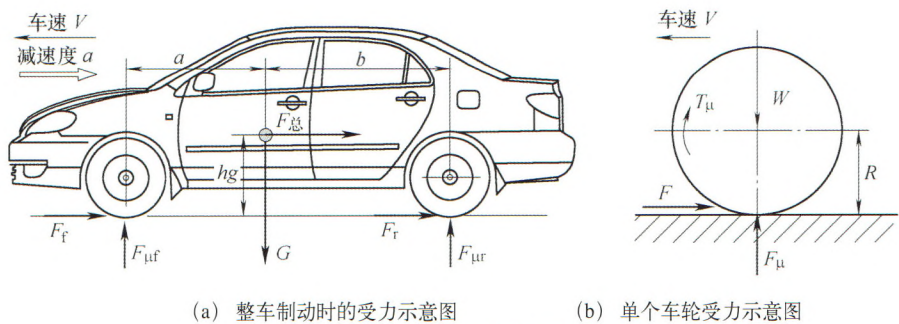


图3 整车及单个车轮受力示意图

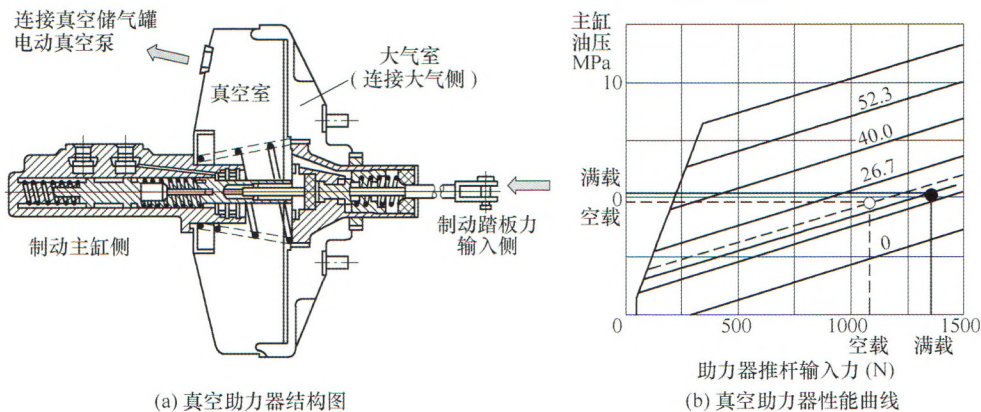


图4 真空助力器结构及性能曲线图

重新设定电动真空泵启停时的真空度限值。

对策检讨及试验验证

1.对策检讨

通过计算校核，重新设定了电动真空泵工作的真空度下限值。结合真空泵部品的抽真空能力、储气罐容积、助力器尺寸、真空管路容积等系统参数，将真空度范围由原来的[-30kPa, -70kPa]提高到[-50kPa, -70kPa]。EV样车电动真空泵的控制策略及性能曲线见图5所示。

2. 试验验证

真空度调整后，抽取7台EV样车进行试验验证，制动距离及真空度见表3所示。

表2 EV样车真空度计算校核及实车检测结果对比

工况	EV样车真空度		原型车真空度参考	结果分析
	设计值/kPa	实测值/kPa	实测值/kPa	
50km/h制动，空载	下限-30 上限-70	下限-28 上限-45	下限-60 上限-75	EV样车实测真空度的下限值相比原型车小。且上限值未达到设计要求。

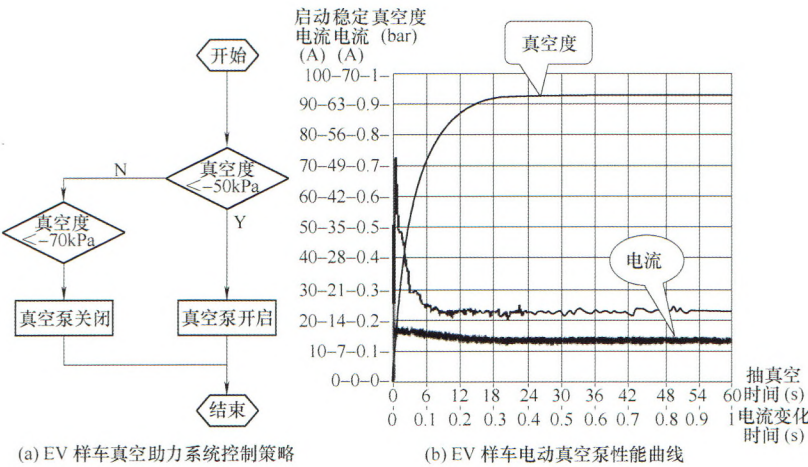


图5 EV样车真空助力系统 (下转第61页)

信号异常。

表2是原始TP点和自学习后的TP点数据，从数据可以看出奇数离合器自学习前后TP点变化不大，而偶数离合器TP点有较大偏差，所以可以断定故障是由于实际压力不足导致。

表2 TP点自学习数据

	自学习前	自学习后
奇数TP点	0.333A	0.334A
偶数TP点	0.345A	0.425A

对于综合诊断来讲，到这一步已经是比较完善了，但是还可以更加深入一步分析，为后续质量分析提供指导。实际压力不足可以存在两个方面的因素：一是由于油路电磁阀压力调节不准确，二是因为油路问题导致的泄漏。从奇数离合器的正常表现来看，基本排除了主油

路压力问题，并且从数据上看，偶数离合器压力控制电磁阀电流信号无异常，所以可以判定是油路泄漏导致的。

对于这种压力轻微泄漏（而不是严重泄漏或无法建立），多数是由于油路中产生了较小的泄漏缝隙或裂纹，由于DCT360液压油路压力较低，并且该车行驶公里数较短，所以阀体和变速器壳体产生裂纹或空洞的可能性较小。从经验来看，台架校验曾经发生过由于清洁度问题导致的离合器密封环泄漏过大、离合器压力建立不足的故障，并且该离合器为断点前零件。

对此，基本可以给出结论：故障是由于实际压力建立不足导致，拆解分析时重点关注离合器偶数密封环槽的清洁度状况和密封环状

况。图5是质量分析中识别到的离合器焊渣及损坏的密封环照片。

结语

故障综合诊断是现场支持工程师所必备的能力，对工程师的综合知识和分析能力有很高的要求。当然，作为分析人员，不可能掌握所有的信息和知识，关键是要明确诊断思路和分析方法，能够根据故障表现和数据提出的合理假设，再运用现有的资源验证，逐步分解和排查，深入分析和研究，最终给出有价值的结论。 **AUTO1950**

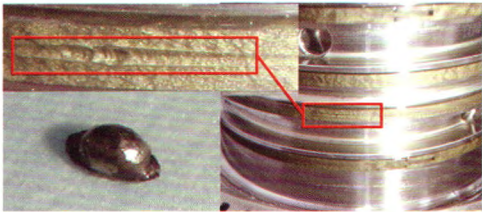


图5 离合器焊渣及损坏的密封环



杨克军
上海汽车变速器有限公司技术中心
DFMEA项目主管和PQCP产品质量问题解决系统项目主管

（上接第57页）

表3 EV样车真空度及制动距离试验结果

检测项目	工况	样车编号							备注
		1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	
真空助力器真空度/ kPa	空载	下限-45 上限-70							设计值下限-50, 上限-70
	判定	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	考虑到真空助力系统的单向阀及效率损失，实测值与设计值基本一致。
制动距离/ m	空载	12.9	10.7	11.8	11.7	11.8	10.4	11.4	GB7258要求 ≤19.0m
	满载	11.3	10.8	12.3	10.4	11.0	10.5	11.4	GB7258要求 ≤20.0m
	判定	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	满足GB要求

结语

影响整车制动能力的因素有诸多方面，本文通过理论分析与试验验证相结合，确认到EV样车真空度下限值偏低是导致制动距离偏长的主要原因，并重新设定了电动真空泵的真空度范围。该项对策方案有效可行，解决了整车制动距离偏长的问题。针对真空度分析所采用的理论分析和试验验证的思路及方法为今后类似的电动真空助力系统的设计开发提供了一定的参考作用。 **AUTO1950**