

沙滩车电动助力转向系统故障诊断分析研究

张 玮

身份证号码 3212841988****0237

摘要：沙滩车即全地形车，电动助力转向系统是这种车型的必备功能结构之一。本研究以电动助力转向系统的研究现状为理论参考，分别进行了故障诊断功能的架构设计、模型建立与处理策略设计，以阻断电流为故障处理示例，提出了轻度故障时的缓慢阻断模式，为故障诊断功能模块提供技术参考，以此推动我国沙滩车电动助力转向系统故障诊断领域的发展。

关键词：电动助力转向系统；故障诊断；沙滩车

引言

基于模型的汽车电动助力转向故障诊断

电动助力转向系统 (electric power steering, EPS) 是汽车结构中用以优化行驶体验的关键设备之一^[1]。良好的 EPS 系统可有效提升驾驶员的舒适程度，凭借内置传感器获取内部故障的实时信息，增强行车的安全性。沙滩车是全地形车的常用称呼，并不转指沙滩行驶中采用的汽车，而是广泛代指所有全地形四轮越野机车，可跨越绝大多数无道路野外地形。正因如此，沙滩车对驾驶舒适性与安全性的要求极高，在颠簸路段能保持基本的稳定状态是这类车辆的核心性能。EPS 系统的状态监测功能与故障诊断功能便是实现这一性能的技术基础。

1 电动助力转向 (EPS) 系统的研究现状

21 世纪初至今，EPS 系统的研究一直是我国汽车领域的研究热点之一，在 20 余年的研究历程中一直有新的研究成果问世，将该领域的技术水平推向新的高度。李重重 [2] 等以汽车半主动悬架 (Semi-Active Suspension, SAS) 与电动助力转向集成系统为研究内容，将小波分析法应用于集成系统传感器与故障诊断中，结果表明小波分析方法可有效实现预期目标，监测得出的故障类型与发生时间准确性较高，验证了 EPS 故障诊

断系统的有效性。陶婕^[3]以电动叉车 EPS 系统的传感器故障诊断与容错控制为研究对象，建立了 EPS 系统故障模型，基于粗糙理论设计故障诊断算法、观测器、故障传感器和容错控制器，仿真结果证明这些设计内容均取得了较为可观的效果。姚志刚^[4]以模型建立与设计为基本方法，利用故障模式、影响及危害性分析法 (Fault Mode Effect And Criticality Analysis, FMECA) 增强了故障模型的合理性，最终通过结构最小型超定方程集 (MSO sets)、残差设计与故障诊断与识别 (FDI) 系统的建立与运行验证了研究结果的有效性。

综上所述，EPS 系统故障诊断领域的研究价值较高，应对其技术理论与实践内容进行研究，本研究以沙滩车为研究对象，对其 EPS 系统的故障诊断功能进行分析研究。

2 沙滩车电动助力转向 (EPS) 系统故障诊断架构设计

EPS 系统故障诊断器应具备基本的诊断功能、辅助转向功能、助力转向功能与信息收集功能^[5]。诊断系统是故障诊断器的核心，能够检测各组成元件的工作状态，及时监测与定位突然出现的故障，通过 OBD 诊断接口获知故障诊断结果，EPS 控制器诊断功能的基础模块图如图 1 所示。

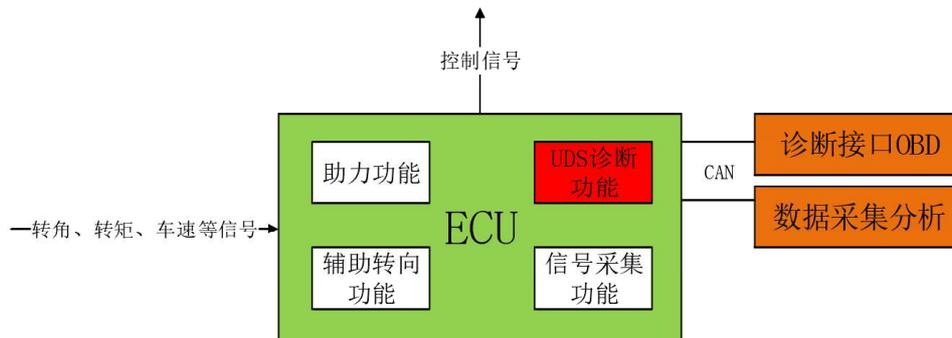


图 1 EPS 控制器诊断功能结构图

如图 1 所示，诊断协议的模块实现思路为：当应用层收到服务端传输的输入信号时，将该信号经由网络层、数据链路层和层与层之间的接口传递至 CAN 底层节点，由此传给电子控制单元 (ECU) 模块；当节点收到输入信号时，将该信号经由各接口、数据链路层与网络层传递至应用层，由此实现数据的双向传输。具体的软件架构

如图 2 所示。



图2 EPS系统软件架构图

3 沙滩车电动助力转向 (EPS) 系统故障诊断模型建立

沙滩车搭载的EPS系统普遍包括转向盘、转向柱、

由图3进行数学建模,可得到如下所示的EPS故障模型,式中的具体参数如表1所示。

$$\begin{cases}
 e_1: T_{sm}(t) = K_s \left(\theta_h(t) - \frac{x_r(t)}{r_p} \right) \cdot f_{T_s} \\
 e_2: \ddot{\theta}_c(t) = \frac{1}{J_c} (T_h(t) - T_{sm}(t) - C_h \dot{\theta}_c) \\
 e_3: \ddot{x}_r(t) = \frac{1}{M_r} \left(\frac{T_{sm}(t) + N_1 \cdot T_a(t)}{r_p} - F_r(t) - B_r \dot{x}_r(t) \right) \\
 e_4: T_a(t) = K_m \left(\theta_m(t) - \frac{N_1 x_r(t)}{r_p} \right) - f_{T_a} \\
 e_5: \ddot{\theta}_m(t) = \frac{(K_m J_m(t) - T_a(t) - B_m \dot{\theta}_m(t))}{J_m} \\
 e_6: U(t) = (L_m \dot{I}_m(t) + R I_m(t) + K_b \dot{\theta}_m(t)) \cdot f_U \\
 e_7: \beta(t) = \frac{1}{Mv(t)} \left(-(K_r + K_f) \beta(t) + \frac{K_r x_r}{N_2 r_p} - \frac{(a_f K_f - a_r K_r)}{v(t)} \gamma(t) \right) \\
 e_8: \gamma(t) = \frac{1}{I_z} \left((a_f K_f - a_r K_r) \beta(t) + (a_f^2 K_f + a_r^2 K_r) \cdot \frac{\gamma(t)}{v(t)} - a_f \frac{K_f x_r}{N_2 r_p} \right) \\
 e_9: F_r(t) = \frac{T_p \cdot K_f \left(-\beta(t) - \frac{a_f \gamma(t)}{v(t)} + \frac{x_r(t)}{N_2 r_p} \right)}{r_p} \\
 e_{10}: U(t) = K_p T_{sen}(t) + K_D \dot{T}_{sen}(t)
 \end{cases}$$

图3 EPS故障模型公式

转向架、转矩传感器、助力电机、ECU等基本组成部分^[6]。各结构间的实际布置方案如图3所示。

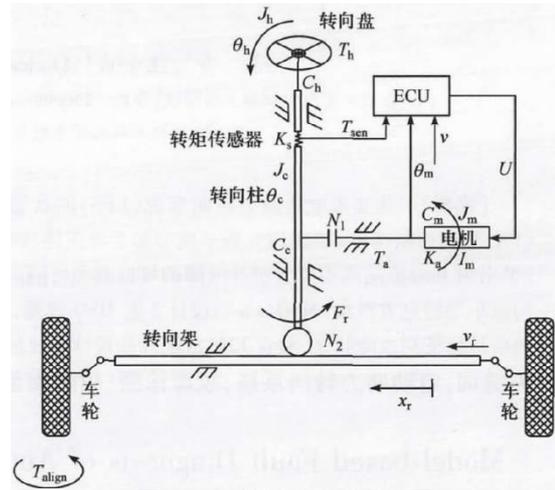


图3 EPS系统转向机构结构图

表1 EPS系统模型参数统计

符号	符号含义	数值
Ka	电机转矩系数	0.6463N·m·A ⁻¹
Br	等效弹簧刚性系数	650N·m ⁻¹ ·s
Ch	转向盘阻尼系数	0.3N·m·s
Kr	后轮胎侧偏刚度	1000N·rad ⁻¹
Kf	前轮胎侧偏刚度	1000N·rad ⁻¹
Ks	转向柱刚性系数	90N·m·rad ⁻¹
M _r	转向架和齿轮总成质量	30kg
Lm	电动机电感	0.00027H
Km	电动机扭转刚度	3.12N·m·rad ⁻¹
R	电动机电阻	0.172Ω
r _p	修奥齿轮分度圆半径	0.01m
N ₂	转向轴到前轮传动比	20
N ₁	电机到转向轴传动比	17.0
J _c	转向盘转动惯量	11.4kg·m ²
B _m	电机黏性阻尼系数	0.0034N·m·rad ⁻¹
M	车辆总质量	740kg
K _b	电动机反电动势常数	0.02V·s·rad ⁻¹
I _z	车身绕Z轴转动惯量	4000kg·m ²
T _p	轮胎拖距	0.036m
J _m	电动机惯性矩	0.002kg·m ²
a _f	前轴到车辆质心距离	0.6m
a _r	后轴到车辆质心距离	0.8m

4 沙滩车电动助力转向 (EPS) 系统故障诊断处理策略

沙滩车故障风险较高,在复杂地形行驶时发生故障轻则影响驾驶体验,重则危及驾驶者的生命安全,由此将故障类型分为轻度故障和重度故障两个级别。例如,行驶时发生电路短路现象,会造成局部电流超额并骤然升温,甚至因此起火,属于重度故障。常规故障处理法会采用切断电流的方式处理故障,虽然这种处理方式会严重影响驾驶体验,但总比好过起火危及生命的情况。利用常规方法切断电流后车辆的具体情况如图4所示。

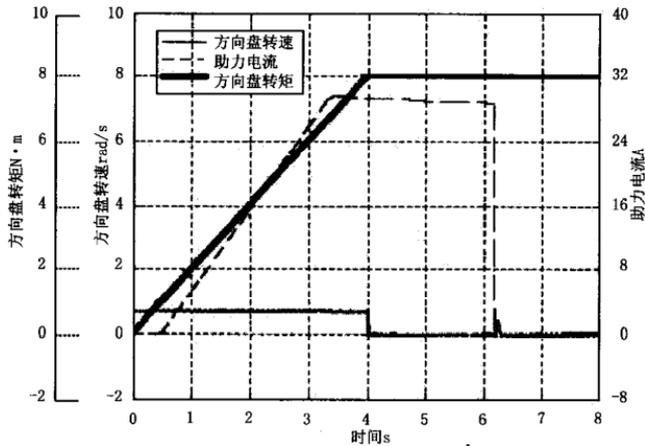


图4 切断助力电流的故障处理方式

但从图4可知,常规方法会导致电流骤降,垂直下降的电流会导致方向盘突然失去控制,反而会从另一个角度危及行车安全。本研究对这种情况进行了补充设计,在轻度故障发生时,不直接切断电流,而是采用控制助力电流的方式使其逐渐归零,既实现电流的阻断,又能为驾驶员留出反应时间,采用这种方式的助力电流变化趋势如图5所示。

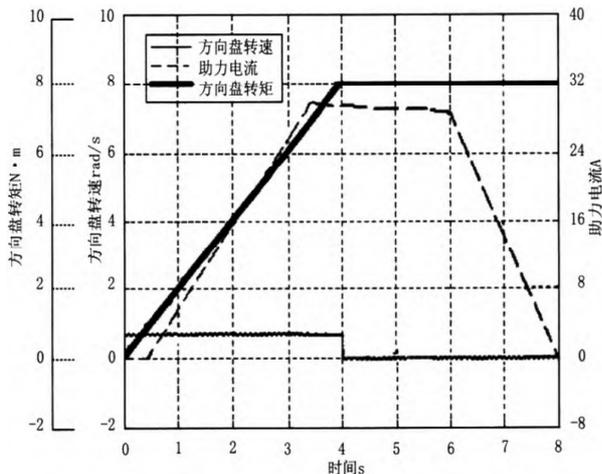


图5 逐渐归零助力电流的故障处理方式

由图5可知,助力电流会在4秒的时间内缓慢降低,

第4-6秒为预留给驾驶员的反应时间,方向盘转速会骤然归零,但不会立即摆正,会随着第6-8秒电流的逐渐减小缓慢摆正,从而避免“打手”等失控现象。在沙滩车的驾驶过程中,这几秒钟的时间便很可能避免1次翻车事故,有效提升驾驶员的驾驶安全。

5 结语

综上所述,沙滩车电动助力转向系统的设计与实现应以沙滩车的实际使用需求为基础,正视该车型与普通汽车不同的故障诊断需求。经过研究可知,沙滩车电动助力转向系统的故障处理仍需得到进一步的发展,本研究提出要将沙滩车的故障分为轻度故障与重度故障两种,针对故障的危害程度做出不同的反应,优化驾驶者的驾驶体验,保障其人身财产安全。

参考文献:

- [1] 林逸, 施国标, 邹常丰, 等. 电动助力转向系统转向性能的客观评价[J]. 农业机械学报, 2003, 34(4): 4-7.
- [2] 李重重, 熊江勇, 郑田娟, 等. SAS与EPS集成系统传感器和ECU的故障诊断方法[J]. 机床与液压, 2018, v. 46; No. 459(09): 62+163-165.
- [3] 陶婕, 肖本贤. 电动叉车EPS系统执行器与传感器的容错控制[J]. 电子测量与仪器学报, 2019, v. 33; No. 224(08): 91-99.
- [4] 姚志刚. 基于模型的汽车电动助力转向故障诊断系统研究[D]. 合肥工业大学, 2019.
- [5] 马铮, 周海鹰, 李小庆, 何细鹏. 基于模型驱动架构的电动汽车电动助力转向系统可靠性研究[J]. 汽车技术, 2020, No. 543(12): 40-46.
- [6] 李学璿, 梁爽. 一种电动助力转向系统变比传动机构的设计与研究[J]. 机械传动, 2020, v. 44; No. 287(11): 106-110.