

文章编号: 1002-0268(2003)06-0143-04

电动转向系统助力特性研究

王 豪, 许镇琳, 张海华, 尚 
(天津大学电气工程与自动化学院, 天津 300072)

摘要:以装在中型轿车上的齿轮轴式电动转向系统为研究对象,建立该系统的三自由度动态模型,分析影响转向助力特性的变量,提出简化的转向阻力计算公式及助力增益与车速关系。以实车参数为基础,得到非线性的助力特性图。通过分析该图,表明该助力特性符合实际系统的控制规律,为系统的设计与控制提供依据。此外,本文的研究方法对求不同车型的助力特性有较好的通用性。

关键词:汽车;电动转向;助力转向;助力特性

中图分类号: U463.4

文献标识码: A

Studies on Assist Characteristic of Electric Power Steering System

WANG Hao, XU Zhen-lin, ZHANG Hai-hua, SHANG Zhe

(School of Electrical and Automation Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract A pinion-type electric power steering (EPS) equipped on a sedan is reached in this paper. A three-freedom dynamic model of this system is created. The variables affect assist character is analysed. The formulas of simplified steering resistance force and the relationship of assist gain and vehicle speed are presented for the first time. Assist character is found based on the parameters of a sedan at last. This assist character is fit to the control rule of the EPS system through analyzing this character. This assist character figure offers reference for system design and control. Furthermore, this research method has generality for assist character of different kinds of vehicles.

Key words: Vehicle; Electric power steering; Assist steering; Assist character

0 引言

电动转向系统作为一种新型的转向系统,与其它转向系统相比,具有以下突出的优点:(1)提高燃油经济性;(2)依据转速提供可编程的、可变的助力特性;(3)按需提供助力;(4)自诊断及保护实现高可靠性。

电动转向系统的结构示意图如图1所示。由转向传感器、车速传感器、微电脑控制单元(ECU)、电机和助力机构等组成。系统工作时,转向传感器把转向盘的输入信号(转向力矩和旋转速度)送入ECU。车速传感器采集的车速信号也送入ECU。ECU根据两信号值,依据助力特性,计算出所需的助力力矩,控制助力电机。

在实现助力转向过程中,当转向盘力矩已知时,

助力电机提供多大的力矩才是最合适,这是实现该控制系统的核心,亦即准确求出助力特性。该助力特性反映了转向盘力矩和助力电机提供的助力力矩之间的关系。目前,国内外对该系统的控制策略研究较多,而对助力特性研究却较少。文献[1]~[4]只给出了助力特性图而没有具体的计算公式。文献[2]~[5]从转向路感方面给出了转向助力的定性描述。该系统中的助力特性受多因素的影响,文献[6]只给出了线性的助力特性图。

本文通过建立三自由度动态数学模型,分析影响助力特性的变量,以实车参数为基础,得到了非线性的助力特性图,并对该特性图进行了分析。此外,本文的研究方法对求不同车型的助力特性有较好的通用性。

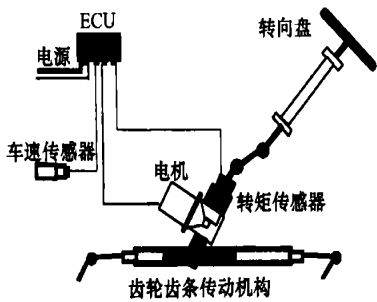


图 1 电动转向系统结构示意图

1 动态模型的建立

电动转向系统的动态模型示意图如图 2 所示。依据牛顿运动定理，该系统的运动方程如下

$$J_s \ddot{\theta}_s = T_d - K_s \left(\theta_s - \frac{x}{r_s} \right) - b_s \dot{\theta}_s \tag{1}$$

$$m \ddot{x} = \frac{K_s}{r_s} \left(\theta_s - \frac{x}{r_s} \right) - b \dot{x} - F_{TR} + \frac{G K_m}{r_s} \left(\theta_m - \frac{G x}{r_s} \right) \tag{2}$$

$$J_m \ddot{\theta}_m = T_m - K_m \left(\theta_m - \frac{G x}{r_s} \right) - b_m \dot{\theta}_m \tag{3}$$

式中， T_d 为转向盘力矩； x 、 m 、 b 分别为齿条的位移量、质量和阻尼系数； θ_s 、 J_s 、 K_s 、 b_s ，分别为转向轴的旋转角、转动惯量、刚性系数、阻尼系数； r_s 为齿轮半径； θ_m 、 J_m 、 K_m 、 b_m ，分别为电机的旋转角、转动惯量、刚性系数及阻尼系数； G 为电机至齿轮轴的减速比； F_{TR} 为轮胎转向阻力及回正力矩等作用于齿条上的转向阻力。

式(1)(2)(3)分别为转向轴、齿条轴和电机的动态方程。

式(3)中的 T_m 为电机的电磁力矩，其值决定于电机的给定电流大小。在本系统的计算中， T_m 值由力矩传感器给出，可表示如下

$$T_m = K_a K_s \left(\theta_s - \frac{x}{r_s} \right) \quad (0 \leq K_a \leq K_a^{\max}) \tag{4}$$

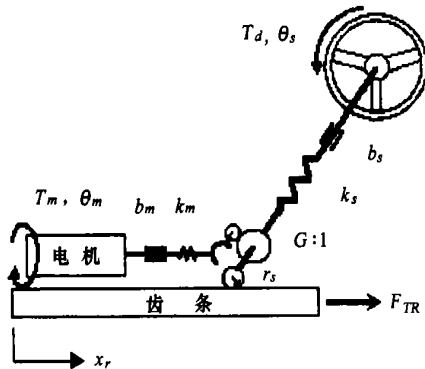


图 2 电动转向系统的动态模型

式中， K_a 是转向助力增益。该值定义了转向路感，即汽车在不同的行驶速度时，在相同的转向角情况下，由于电机提供的助力值大小不同，使转向盘力的大小发生变化，驾驶员不但感到转向轻便，同时又能充分感受到路面的信息。因此，合理选择 K_a 可得到不同的转向路感。

2 电动转向助力特性分析

2.1 转向阻力 F_{TR} 的简化

转向阻力 F_{TR} 主要受转向时车轮与地面的摩擦力、回正力矩及转向系统中各种摩擦力和力矩的影响，同时它还与车速、路况、转弯半径、风阻以及转向盘的转速等有关。因此，用公式准确描述转向阻力 F_{TR} 有相当大的困难。文献 [3] 从理论上给出了计算 F_{TR} 的近似公式，但实际应用十分不便。本文从理论与实际应用出发，给出了以下的简化计算公式

$$F_{TR} = K_x x + F_r \tag{5}$$

式中， K_x 为弹性系数； F_r 为路面对轮胎产生的随机扰动。

在实际计算中， F_r 作为一随机信号加入到系统中，使计算更接近于实际情况。

2.2 助力力矩 T_a 分析

T_a 与车速和转向盘的输入力矩有关

$$T_a = f(T_d, v) \tag{6}$$

式中， T_d 为转向盘力矩； v 为汽车速度。在不同汽车速度下， $T_a - T_d$ 为一族非线性曲线，该族曲线表征了电动转向系统的助力特性。

在实际控制系统中，转向助力 T_a 如 (7) 式所示

$$T_a = G K_m \left(\theta_m - \frac{G x}{r_s} \right) \tag{7}$$

但是 θ_m 、 x 在实际的应用中不易测得，其值最终决定于 T_d ，而 T_d 则可由转向力矩传感器测得。

由式 (3) (4) 及 (7) 可知，该族非线性的助力曲线由不同的助力增益 K_a 决定。由于不同车型的参数不同，在不同车速下所需要提供的助力值大小不同。依据对已有实车参数的拟合，本文提出了 K_a 与车速 v 的关系表示如下

$$K_a = t e^{-kv} \quad (0 \leq v \leq v^{\max}) \tag{8}$$

式中， t 、 k 为系数，根据不同车型以及不同电动转向系统取不同的值。 K_a 随车速 v 的增大而成指数减小。增大 K_a ，相应地增加了电机提供的转向助力。因此， K_a 描述了驾驶员的转向路感。由于不同类型

的汽车转向路感不同, 所以式 (8) 的函数关系应当根据不同车型具体确定。

2.3 K_a 值分析

K_a 值的选取必须满足式 (4) 中规定的条件。如果该值过大, 易引起系统的不稳定。

对式 (1) ~ (3) 及式 (5) 进行拉普拉斯变换后, 得到以下传递函数

$$H_c(s) = \frac{\theta_s}{T_d} = \frac{d_x d_m r_s^2 + G K_m (K_a K_s - G K_m)}{A_c(s) r_s^2} \quad (9)$$

$$\text{式中, } A_c(s) = D(s) + (d_s - K_s) \frac{G K_a K_s K_m}{r_s^2}$$

$$D(s) = d_m d_s d_m - \frac{d_m K_s^2}{r_s^2} - \frac{d_s G^2 K_m^2}{r_s^2}$$

$$d_s(s) = J_s s^2 + b_s s + K_s$$

$$d_m(s) = J_m s^2 + b_m s + K_m$$

$$d_x(s) = m s^2 + b_x s + \frac{K_s + G K_m}{r_s^2} + K_x$$

该传函 H_c 定义了转向系统的跟随性能。通过对多项式 $A_c(s)$ 的分析, 可得到满足系统稳定的条件:

$A_c(s) = a_6 s^6 + a_5 s^5 + \dots + a_0$ 的所有根的实部为负。

由赫尔维茨稳定判据可知: $\Delta_3 > 0$, $\Delta_5 > 0$ 。由这两个不等式可得到

$$K_a K_s < G K_m + \frac{J_m^2 b_m K_s^2}{G J_s^2 b_m K_m} + \frac{m b_s r_s^2 (J_s K_m - J_m K_s)^2}{G K_m J_s^2 (J_s b_m + J_m b_s)} \quad (10)$$

式(10)中后两项含有小参数 J_m 、 r_s , 所以 K_a 可表示为

$$K_a < K_a^{\max} \approx \frac{G K_m}{K_s} \quad (11)$$

由此式可以看出, 助力增益 K_a 的取值只有满足式(11)时该系统才能稳定工作。

2.4 助力特性图分析

以装有齿轮轴驱动型电动转向系统的中型轿车为研究对象。电机采用 1 000W 的直流电动机, 测得电动转向系统的参数如下: $r_s = 6.67\text{mm}$, $G = 18.33$, $K_x = 117\ 647$ (以 $F_{TR}^{\max} = 8\ 000\text{N}$ 为基准), 线角传动比 $i = 41.90$ 。输入信号为 T_d , 输出信号为 T_a 。根据式 (1) ~ (5) 及式 (7) ~ (8), 通过对三自由度动态模型仿真, 得到如图 3 所示的顺时针转向助力特性图, 逆时针助力特性图与其左右对称。该助力特性图有如下特点:

(1) 随着 K_a 值的不同, 得到不同的助力曲线 $T_a - T_d$ 。 K_a 值越大, 提供的转向助力相应增加, 即随着车速的变化, 该系统能够提供不同的助力特性。依据该中型轿车转向时所需转向力的大小, 式 (8) 用如下式表示

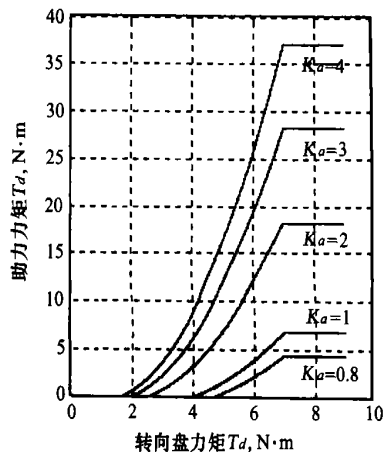


图 3 电动转向系统助力特性

$$K_a = 4.6546e^{-0.013v} \quad (12)$$

($0 \leq v \leq 160\text{km/h}$)

该式能较好地反映不同车速时的助力关系比。需要说明的是, 随着车速的提高, 提供转向助力越小而且助力的起始点随着车速的提高而增大。这也说明当车速增大到一定程度时, 一般的转向不需要提供助力, 真正提供助力的时机是在急速转向时提供较小的助力。

(2) 在转向力矩较小的区域, 提供的转向助力较小或为零, 且在不同车速时, 提供的助力时机不同, 这就保持了较好的转向路感; 在常用的快速转向行驶区间, 助力效果明显, 转向轻便, 降低了驾驶员劳动强度。

(3) 不同车速时, 提供的转向助力增益不同。原地转向或车速较低 ($K_a^{\max} = 4$) 时, 转向助力增益较大, 转向最轻便。

(4) 当转向盘力矩 $T_d \geq 7\text{ (N·m)}$, 助力力矩 T_a 将保持不变。这与如图 4 所示的力矩传感器输出特性有关。当其扭角大于 8° ($T_d = \text{N·m}$) 时, 输出电压不再发生变化, 相应助力力矩 T_a 也不会发生变化。这

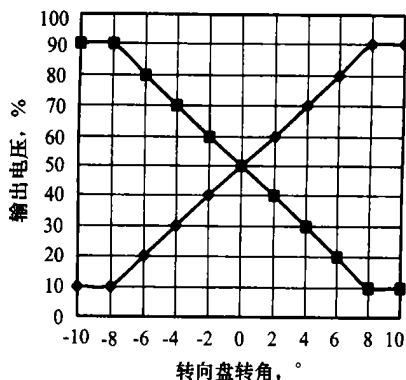


图 4 转矩传感器输出特性

使得电机电流不致过大而烧毁电机。

(5) 改变不同的电动转向系统的参数, 应用该方法, 可得到不同的助力特性。

3 结论

(1) 仿真所得的线角传动比 $i = 41.887$, 如图 5 所示, 与实际相差微小, 说明建立的动态数学模型准确。因此, 仿真所得的非线性助力特性真实地反映了动态转向过程中的助力情况。

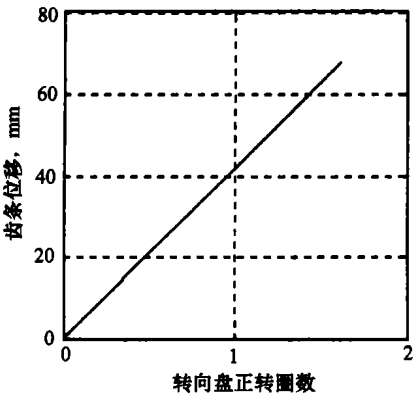


图 5 线角传动比平整度预测图

(2) 通过图 5 的线角传动比关系可说明简化的转向阻力计算公式具有实用性, 但是提出的助力增益与

车速之间的关系需依据不同车型所需的路感不同而定。

(3) 所得的助力特性图较好地反映了实际助力情况。该特性图可存入 ECU 中, 用于实际的控制系统中。该研究方法具有较好的通用性, 根据不同类型车型的参数, 可得到不同的助力特性。

参考文献:

[1] Rakan C Chaban, Le Yi Wang Control of Electrical Power Assist Systems: H-infinity Design, Torque Estimation and Structural Stability [J] . JSAE Review 2001, 435-444.

[2] Zaremba A, Davis RI Dynamic Analysis and Stability of a Power Assist Steering System [C] . Washington: Proc. ACC, Seattle, 1995: 4253-4257.

[3] Ji-Hoon Kim, Jae-Bok Song Control Logic for an Electric Power Steering System Using Assist Motor [J] . Mechatronics, 2002 (12): 447-459.

[4] Takayuki Kifuku, Shun'ichi Wada An Electric Power-steering System [R] . Mitsubishi Electric Advance, 1997.

[5] Zaremba A T, Liubakka M K, Stuntz RM. Vibration Control Based on Dynamic Compensation in an Electric Power Steering System [C] . Preprint of the Int. Conf. On Control of Oscillations and Chaos, St. Petersburg, 1997: 453-456.

[6] 郭新建, 等. 电动助力转向系统的研究与开发 [J] . 机械设计与制造工程, 1999, 28 (5) .

光纤分布式温度监测系统在公路隧道中的应用

截止到 2001 年底, 中国公路隧道总数已达 1 782 座, 总长度 704km, 是世界上公路隧道最多的国家。中国也是世界上隧道和地下工程最多, 最复杂, 发展最快的国家。同时隧道防火做为一个新的课题也一直是各级政府及专家所高度重视的问题。公路隧道火灾具有空间狭长且相对封闭、火场温度高 (可达 1 000 度以上)、烟雾大且具有毒性等特点, 因而造成人员疏散和火灾扑救异常困难。

光纤分布式温度监测系统是由火灾报警控制主机、DTS 主机、探测光缆、控制/反馈模块和手动报警按钮组成 (其中控制/反馈模块负责报警后直接联动隧道中相应区段中的水喷雾及排烟风机等消防设备)。值得一提的是 DTS 主机与隧道监控系统建立了通信关系, 有效地实现了对隧道内平均温度情况的检测, 提升了隧道的管理水平和信息化程度。

光纤分布式温度监测技术的主要特征 (1) 分布式温度测量, 能提供隧道的温度实时数据和剖面图, 及时掌握隧道内温度情况, 做到防患于未然; (2) 可以及时感应到因为火灾

初期阶段产生的大量烟雾上升而引起的温度变化, 从而实现早期报警; (3) 火灾定位及火势蔓延方向判断, 温度精度可达 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, 定位精度可达 0.25m; (4) 系统响应时间最快仅几秒钟; (5) 探测距离从 2~30km 可选; (6) 软件分区, 智能设置: 可设置最多 500 个防火分区, 可灵活采用多级定温和多级温升速率的报警方式, 可以多个区域设置不同的报警值; (7) 具有自我诊断能力: 断路检测和修复; (8) 多次巡回检测; (9) 远程监控: 通过远程事故控制中心的 PC 机来观察隧道内火情发生位置、所影响的区域、火势蔓延的方向以及现场的温度分布情况。这些信息对于救援工作来说是至关重要的 (10) 光纤探测器抗冲击, 耐腐蚀, 不受电磁干扰, 寿命长达 30 年; (11) 安装施工简单, 无须维护保养。 (5) (7) (9) 特点可杜绝系统发生误报。

光纤分布式温度监测技术于近两年被引入中国后, 已相继在中国多条隧道安装使用, 并得到了用户的肯定和好评。