

文章编号: 1002-0268 (2001) 03-0079-04

汽车电动助力转向技术的发展现状与趋势

林 逸, 施国标

(吉林大学, 吉林 长春 130025)

摘要: 综述国外汽车电动助力转向的研究现状, 介绍电动助力转向的工作原理、结构及其特点, 分析电动助力转向的性能及目前面临的主要问题, 并展望电动助力转向的发展趋势。

关键词: 汽车; 电动助力转向; 发展

中图分类号: U463.4

文献标识码: A

Development Status and Tendency of Electric Power Steering

LIN Yi, SHI Guo-biao

(Jilin University, Jilin Changchun 130025 China)

Abstract: EPS (Electric Power Steering) is a new electronic technology for automotive. This paper summarizes the status of EPS and introduces the principle, structure and traits of EPS. The key technology and performance of EPS are analyzed. The present problem of EPS is pointed out. The expected tendency of EPS is discussed.

Key words: Automobile; Electric power steering; Development

0 前言

继电子技术在发动机、变速器、制动器和悬架等系统得到广泛应用之后, 国外汽车电动助力转向 (Electric power steering, 简称 EPS) 已部分取代传统液压动力转向 (Hydraulic power steering, 简称 HPS)。电动助力转向已成为世界汽车技术发展的研究热点^[1~8]。EPS 用电动机直接提供助力, 助力大小由电控单元 (ECU) 控制。它能节约燃料, 提高主动安全性, 且有利于环保, 是一项紧扣现代汽车发展主题的高新技术, 所以一经出现就受到高度重视。国外汽车公司对 EPS 的研究已经有 20 多年的历史, 但是以前一直没有取得大的进展, 其主要原因是 EPS 的成本太高。近几年来, 随着电子技术的发展, 大幅度降低 EPS 的成本已成为可能, 加上 EPS 具有一系列优点, 使得它越来越受到人们的青睐。

1 汽车电动助力转向技术发展概况

电动助力转向最先应用在日本的微型轿车上。

1988 年 2 月日本铃木公司首次在其 Cervo 车上装备 EPS^[1], 随后还用在了其 Alto 车上。在此之后, 电动助力转向技术如雨后春笋般得到迅速发展。日本的大发汽车公司、三菱汽车公司、本田汽车公司, 美国的 Delphi 汽车系统公司、TRW 公司, 德国的 ZF 公司, 都相继研制出各自的 EPS。比如: 大发汽车公司在其 Mira 车上装备了 EPS, 三菱汽车公司则在其 Minica 车上装备了 EPS^[1]; 本田汽车公司的 Accord 车目前已经选装 EPS, S2000 轿车的动力转向也将倾向于选择 EPS^[2]; Delphi 汽车系统公司已经为大众的 Polo、欧宝的 318i 以及菲亚特的 Punto 开发出 EPS^[2]。

TRW 从 1998 年开始, 便投入了大量人力、物力和财力用于 EPS 的开发。他们最初针对客车开发出转向柱助力式 EPS, 如今小齿轮助力式 EPS 开发也已获成功。1999 年 3 月, 他们的 EPS 已经装备在轿车上, 如 Ford Fiesta 和 Mazda 323F 等^[3]。Mercedes-Benz 和 Siemens Automotive 两大公司共同投资 6 500 万英镑用于开发 EPS, 他们的目标是到 2002 年装车, 年产 300 万套, 成为全球 EPS 制造商。他们计划开发出适用于汽

车前桥负荷超过 1 200kg 的 EPS，因此货车也将可能成为 EPS 的装备目标。

经过 20 几年的发展，EPS 技术日趋完善。其应用范围已经从最初的微型轿车向更大型轿车和商用客车方向发展，如本田的 Accord 和菲亚特的 Punto 等中型轿车已经安装 EPS，本田甚至还在其 Acura NSX 赛车上装备了 EPS^[4]。EPS 的助力型式也从低速范围助力型向全速范围助力型发展，并且其控制形式与功能也进一步加强。日本早期的 EPS 仅仅在低速和停车时提供助力，高速时 EPS 将停止工作。新一代的 EPS 则不仅在低速和停车时提供助力，而且还能在高速时提高汽车的操纵稳定性。如铃木公司装备在 Wagon R+ 车上的 EPS 是一个负载-路面-车速感应型助力转向系统^[2]。由 Delphi 为 Punto 车开发的 EPS 属全速范围助力型，并且首次设置了两个开关，其中一个用于郊区，另一个用于市区和停车。当车速大于 70km/h 后，这两种开关设置的程序则是一样的，以保证汽车在高速时有合适的路感。这样即使汽车行驶到高速公路时驾驶员忘记切换开关也不会发生危险。市区型开关还与油门相关，使得在踩油门加速和松油门减速时，转向更平滑。

2 EPS 的结构与特点分析

2.1 基本结构与工作原理

EPS 是一种直接依靠电机提供辅助扭矩的动力转向系统，其系统框图如图 1 所示^[3]。不同类型的 EPS 基本原理是相同的：扭矩传感器与转向轴（小齿轮轴）连接一起，当转向轴转动时，扭矩传感器开始工作，把输入轴和输出轴在扭杆作用下产生的相对转动位移变成电信号传给 ECU，ECU 根据车速传感器和扭矩传感器的信号决定电动机的旋转方向和助力电流的大小，从而完成实时控制助力转向。因此它可以很容易地实现在车速不同时提供电动机不同的助力效果，保证汽车在低速行驶时轻便灵活，高速行驶时稳定可靠。因此 EPS 转向特性的设置具有较高的自由度。

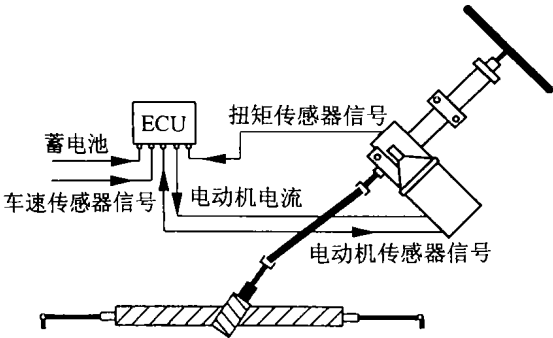


图 1 电动助力转向系统框图

2.2 EPS 的关键部件

EPS 主要由扭矩传感器、车速传感器、电动机、减速机构和电子控制单元等组成，表 1 给出了三菱 Minica 的 EPS 主要部件的技术参数^[1]。

2.2.1 扭矩传感器和车速传感器

扭矩传感器的功能是测量驾驶员作用在转向盘上的力矩大小与方向，以及转向盘转角的大小和方向。车速传感器的功能是测量汽车行驶速度。这些信号都是 EPS 的控制信号。扭矩测量系统比较复杂且成本较高，所以精确、可靠、低成本的扭矩传感器是决定 EPS 能否占领市场的关键因素之一。目前采用较多的是在转向轴位置加一扭杆，通过测量扭杆的变形得到扭矩。另外也有采用非接触式扭矩传感器^[8]。图 2 所示的非接触式扭矩传感器中有一对磁极环，其原理是：当输入轴与输出轴之间发生相对扭转位移时，磁极环之间的空气间隙发生变化，从而引起电磁感应系数变化。非接触式扭矩传感器的优点是体积小、精度高，缺点是成本较高。

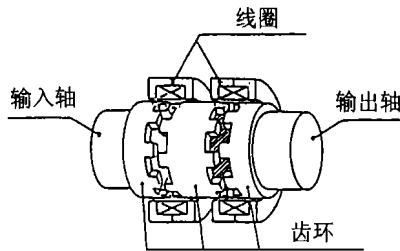


图 2 非接触式扭矩传感器

2.2.2 电动机

电动机的功能是根据电子控制单元的指令输出适宜的辅助扭矩，是 EPS 的动力源。多采用无刷永磁式直流电动机。电动机对 EPS 的性能有很大影响，是 EPS 的关键部件之一，所以 EPS 对电动机有很高要求，不仅要求低转速大扭矩、波动小、转动惯量小、尺寸小、质量轻，而且要求可靠性高、易控制。为此，设计时常针对 EPS 的特点，对电动机的结构做一些特殊的处理，如沿转子的表面开出斜槽或螺旋槽，定子磁铁设计成不等厚等。

2.2.3 减速机构

EPS 的减速机构与电动机相连（见图 3），起降速增扭作用。常采用蜗轮蜗杆机构，也有采用行星齿轮机构。有的 EPS 还配用离合器，装在减速机构一侧，是为了保证 EPS 只在预先设定的车速行驶范围内起作用。当车速达到某一值时，离合器分离，电动机停止工作，转向系统转为手动转向。另外，当电动机发生故障时，离合器将自动分离。

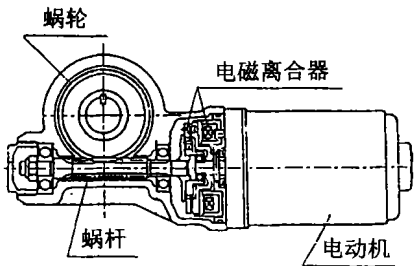


图 3 减速机构

2 2 4 电子控制单元

电子控制单元（ECU）的功能是根据扭矩传感器信号和车速传感器信号，进行逻辑分析与计算后，发出指令，控制电动机和离合器的动作（见图 3）。此外，ECU 还有安全保护和自我诊断功能，ECU 通过采集电动机的电流、发电机电压、发动机工况等信号判断其系统工作状况是否正常，一旦系统工作异常，助力将自动取消，同时 ECU 将进行故障诊断分析。ECU 通常是一个 8 位单片机系统，也有采用数字信号处理器（Digital Signal Processing，简称 DSP）作为控制单元^[3]。控制系统与控制算法也是 EPS 的关键之一，控制系统应有强抗干扰能力，以适应汽车多变的行驶环境。控制算法应快速正确，满足实时控制的要求，并能有效地实现理想的助力规律与特性。

三菱 Minica 的 EPS 主要部件的参数 表 1

部 件	参数类别	参 数
电动机	类型	永磁式
	额定电压（V）	DC12
	额定扭矩（kg·cm）	10
	额定电流（A）	30
离合器	类型	干式单片电磁式
	额定电压（V）	DC12
	绕阻（Ω）	19.5/20℃
	额定传递扭矩（kg·cm）	15/12V、20℃
扭矩传感器	额定电压（V）	5
	额定输出电压（V）	2.5（中间位置）
	最大阻抗（Ω）	2.18±0.66
车速传感器	输出电压（V）	9.5 以上/1000r/min
	内阻（Ω）	165±20/20℃
电控单元（ECU）	控制方式	单片机控制
	额定电压（V）	DC12
	工作电压范围（V）	10~16

2 3 EPS 的分类

根据电动机布置位置不同，EPS 可分为：转向柱助力式、齿轮助力式、齿条助力式 3 种，如图 4 所示。

转向柱助力式 EPS 的电动机固定在转向柱一侧，通过减速机构与转向轴相连，直接驱动转向轴助力转向。齿轮助力式 EPS 的电动机和减速机构与小齿轮相连，直接驱动齿轮助力转向。齿条助力式 EPS 的电动



图 4 EPS 电动机助力位置布置型式

机和减速机构则直接驱动齿条提供助力。

2 4 EPS 的特点

与液压动力转向相比它有以下特点：

(1) EPS 能在各种行驶工况下提供最佳助力，减小由路面不平所引起的对转向系统的扰动，改善汽车的转向特性，减轻汽车低速行驶时的转向操纵力，提高汽车高速行驶时的转向稳定性，进而提高汽车的主动安全性。并且可通过设置不同的转向手感特性来满足不同使用对象的需要。

(2) EPS 只在转向时电动机才提供助力（不像 HPS，即使在不转向时，油泵也一直运转），因而能减少燃料消耗。

(3) 由于直接由电动机提供助力，电动机由蓄电池供电，因此 EPS 能否助力与发动机是否起动无关，即使在发动机熄火或出现故障时也能提供助力。

(4) EPS 取消了油泵、皮带、皮带轮、液压软管、液压油及密封件等，其零件比 HPS 大大减少，因而其质量更轻、结构更紧凑，在安装位置选择方面也更容易，并且能降低噪声。

(5) EPS 没有液压回路，比 HPS 更易调整和检测，装配自动化程度更高，并且可以通过设置不同的程序，能快速与不同车型匹配，因而能缩短生产和开发周期。

(6) EPS 不存在渗油问题，可大大降低保修成本，减小对环境的污染。据 Delphi 公司称，1995 年传统的 HPS 系统在全世界占其所销售的汽车 75%，也就是 3 700 万辆汽车要消耗 4 000 万升液压油。如果电动助力转向系统全面进入市场，效益很可观。

(7) EPS 比 HPS 具有更好的低温工作性能。

3 EPS 的性能分析

3 1 转向轻便性

EPS 的基本目标是提高汽车停车泊位和低速行驶时的转向轻便性，高速行驶时的操纵稳定性。图 5 是 Alto 的原地转向曲线，EPS 为转向柱助力式，前轴负荷为 4kN，电动机最大电流为 20A。由图可知，装有 EPS

后，原地转向的力矩下降 40%。

3 2 操纵稳定性

汽车转向系一直存在着轻与灵的矛盾。为此，人们常将转向器设计成变传动比，在转向盘小转角时以灵为主，在转向盘大转角时以轻为主。但是，灵的范围只在转向盘中间位置附近，仅对高速行驶有意义，并且传动比不能随车速变化，所以这种方法不能从根本上解决这一矛盾^[9]，另外，转向力与路感也是相互制约的，转向力小意味着转向轻便，能减小驾驶员的体力消耗；但转向力过小，就缺乏路感。传统液压动力转向由于不能对助力进行实时调节与控制。所以协调转向力与路感的关系困难，特别是汽车高速行驶时，仍然会提供较大助力，使驾驶员缺乏路感，甚至感觉汽车发飘，从而影响操纵稳定性。由于 EPS 由电机提供助力，助力大小由电控单元（ECU）实时调节与控

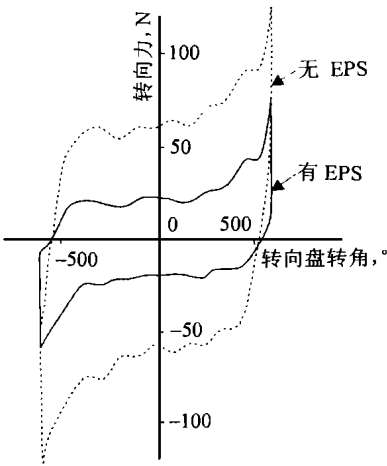


图 5 原地转向曲线

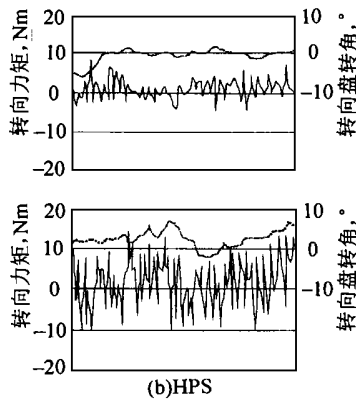


图 6 EPS 和 HPS 抑制路面冲击对比曲线

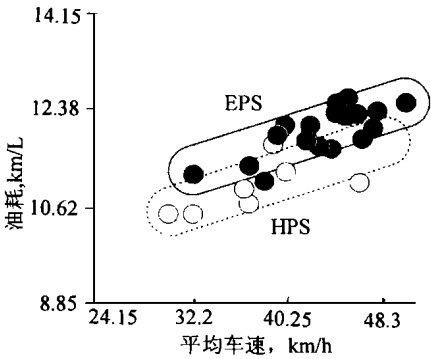


图 7 EPS 和 HPS 的燃料消耗测试结果

制，可以较好地解决上述矛盾。

由于电动机具有弹簧阻尼的效果，EPS 能减小不平路面对转向盘的冲击力和车轮不平衡质量引起的振动，图 6 中（a）、（b）分别是 EPS 和 HPS 抑制路面冲击能力的对比曲线。另外 EPS 能提高停车泊位时的助力跟随特性，这是因为电动机的起动时力矩最大，然后逐渐降低。这一特性非常符合汽车从静止到运动这一过程的转向力变化。

3 3 燃油经济性

EPS 只在转向时电动机才提供助力，而 HPS 即使在不转向时，油泵也一直运转，所以 EPS 能减少燃料消耗。图 7 为 1.6L 前轮驱动轿车在分别装备 EPS 和 HPS 时的燃料消耗测试结果^[4]。试验由同一驾驶员操作完成，行驶路况以郊区道路为主，以市区、山区等道路为辅。由图可知，在平均行驶速度 40km/h，EPS 比 HPS 节约燃料 5.5%。

3 4 助力特性

EPS 的助力规律属于车速感应型，主要有全速型和低速型两种。全速型是指 EPS 在任何车速下都提供助力。低速型是指 EPS 只在低速时才提供助力，当车速超过某一预定值时，EPS 停止工作。低速型在 EPS 的初期阶段用得较多，其优点是算法简单，对控制系统的硬件要求相对较低。缺点是不能改善汽车的高速操纵稳定性，而且当车速在切换点附近时，转向盘力矩会发生突变。全速型的优点是能改善汽车的高速操纵稳定性，缺点是算法相对复杂，对控制系统的硬件要求相对较高。Punto 和 Mira 采用了全速型助力规律，Alto 和 Minica 采用了低速型助力规律，车速切换点分别是 45km/h 和 30km/h。

4 EPS 今后的发展

当前 EPS 已在轻型车（轿车）上得到应用，其性能已得到人们的普遍认可。随着直流电机性能的改进，EPS 助力能力的提高，其应用范围将进一步拓宽，现在 3 升级的运动型跑车也有安装 EPS。EPS 代表未来动力转向技术的发展方向，将作为标准件装备到汽车上，并将在动力转向领域占据主导地位。据 TRW 公司预测，到 2010 年全世界生产的每 3 辆轿车中就有 1 辆装备 EPS。特别是低排放汽车（LEV）、混合动力汽车（HEV）、燃料电池汽车（FCEV）、电动汽车（EV）四大 EV 汽车将构成未来汽车发展的主体，这给 EPS 带来了更加广阔的应用前景。

（下转第 87 页）

人身体不同部位在被汽车前部碰撞的交通事故中的损伤程度, 以及为建立相应的法规提供一定的工作基础。

注: 本文的研究工作是作者在英国拉夫堡大学(Loughborough University)完成的, 得到了T. J. Gordon教授的大力协助和G. Zhou博士的精心指导, 在此向他们及研究组其他成员表示谢意。

参考文献:

- [1] Otte D. Influence of vehicle front geometry on the injury situation of injured pedestrians. Germany: Road traffic accident research, 1989.
- [2] Harris J, Lawrence G L, Hardy B. Test Methods to Evaluate the Protection Afforded to Pedestrians by Cars. Transport Road Research Laborator-

nies (TRRL) document wp/ vs/216, 1991-07.

- [3] [日] 佐腾武, 吴关昌, 陈倩译. 汽车的安全. 北京: 机械工业出版社, 1988.
- [4] European Experimental Vehicles Committee. Proposals for test methods to evaluate pedestrian protection for cars. Paris: EEVC Working Group 10 report, presented to the 13th ESV Conference, 1991-11.
- [5] SAE J211 INSTRUMENTATION FOR IMPACT TEST. SAE Handbook, 1984.
- [6] 王勳成, 邵敏. 有限单元法基本原理和数值方法. 北京: 清华大学出版社, 1996. ISBN7-302-02421-9.
- [7] Wiley C. Impact Dynamics. VAN NOSTRAND REINHOLD, New York, USA, 1982.
- [8] LS-DYNA version 940. KEYWORD input manual. Livemore Software Technology Corporation, 1997.

(上接第82页)

尽管EPS已达到了其最初的设计目的, 但仍然存在一些问题需要解决, 其中, 进一步改善电动机的性能是关键问题。因为电动机的性能是影响控制系统性能的主要因素, 电动机本身的性能及其与电动助力转向系统的匹配都将影响到转向操纵力、转向路感等问题。概括地说, 电动助力转向技术的发展方向主要为: 改进控制系统性能和降低控制系统的制造成本。只有进一步改进控制系统性能, 才能满足更高档轿车的使用要求。另外, EPS的控制信号将不再仅仅依靠车速与扭矩, 而是根据转向角、转向速度、横向加速度、前轴重力等多种信号进行与汽车特性相吻合的综合控制, 以获得更好的转向路感。未来的EPS将朝着电子四轮转向的方向发展, 并与电子悬架统一协调控制。

5 结束语

目前国外各大汽车公司都在研制EPS, 已完成批量生产EPS的技术储备。人们已普遍认识到了EPS的优越性, 所以现在EPS的市场增长很快。在未来10年, EPS将可能完全替代现有的转向系统。据专家

预测, 到2010年, 全球产量将达2500万套。所以EPS具有非常广阔的应用前景, 我国有必要加大投入进行研究开发。

参考文献:

- [1] Nakayama T, Suda E. The Present and Future of Electric Power Steering. Int. J. of Vehicle Design, 1994, 15 (3, 4, 5): 243-254.
- [2] Ken Rogers, William Kimberley. Turning Steering to Electric. Automotive Engineer, 2000, 108 (2): 39-41.
- [3] Kami Buchholz. TRW Demonstrates Electrically Powered Steering and Active Roll Control. Automotive Engineer, 1996, 104 (12): 42.
- [4] Yasuo Shimizu, Toshitake Kawai. Development of Electric Power Steering. SAE Paper No 910014.
- [5] Akhan M B, Munro I, Byatt M J, Toquet G. Electric Power Assisted Steering (EPAS). COLLOQUIUM DIGEST- IEE 0963-3308, 1997.
- [6] Scott A Millsap, E Harry Law. Handling Enhancement Due to an Automotive Variable Ratio Electric Power Steering System Using Model Reference Robust Tracking Control. SAE Paper No 960931.
- [7] Badavy A, Bolourchi F, Gaut S E. Steer™ System Redefines Steering Technology. Automotive Engineer, 1997, 105 (9): 15-18.
- [8] Ivan J Garshelis, Kristin Whiteny, Lutz May. Development of a Non-Contact Torque Transducer for Electric Power Steering Systems. SAE Paper No. 920707.