

电动叉车的电动助力转向 (EPS) 应用

徐 翔, 宋文斌

(浙江杭叉工程机械集团股份有限公司, 浙江 杭州 311305)

摘要:为解决国产电动叉车转向功能普遍采用液压助力转向系统而带来易漏油、结构复杂等问题,将电动助力转向(EPS)技术引入电动叉车转向系统设计中。通过 EPS 典型系统组成部分的分析,研究了 EPS 三种控制方式的原理,提出了在叉车上如何应用 EPS 的方法,并进行了样机试制试验。试验结果表明采用该 EPS 系统的电叉运行平稳,可靠性好,转向性能佳,可替代传统液压转向系统。

关键词:电动;叉车;液压助力转向;电动助力转向

中图分类号:TH246;TH123

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2010)11-0033-04

A discussion on the application of EPS on electric forklift truck

XV Xiang, SONG Wen-bin

(Zhejiang Hangcha Engineering Machinery Co., Ltd., Hangzhou 311305, China)

Abstract: In order to solve the problems of easy leaking and structural complexity on steering system of home-made electric forklift due to general use of hydraulic power steering system, electric power steering(EPS) technology was introduced into the design of steering system on electric forklift. After the analysis of the components of EPS typical system, the principal of three-control methods in EPS system was established. A method was presented to the application of EPS methods on forklift, and it was tested on the model machine. The experimental results show that the EPS system can replace the traditional hydraulic steering system for its smooth operation, good reliability and excellent steering performance.

Key words: electric; forklift truck; hydraulic power steering; electric power steering(EPS)

0 引 言

近年来,电动叉车在中国市场上随着交流技术的成熟和推广应用,主机厂越来越多的应用了交流变频控制技术和交流电机,交流电机的优点逐步得到客户认可,市场份额也逐年加大,特别是中高端客户在作业强度大、作业效率要求高的场合下,对交流电叉车的认可程度较高。交流电叉车包括以下两种类型:交流行走系统+直流油泵系统,简称半交流;另一种是交流行走系统+交流油泵系统,简称全交流。但是交流电的应用只局限于行走和油泵提升功能,对于叉车转向这一重要功能,交流电的应用基本上还处于零,中国市场上叉车普遍采用了液压助力转向,而未采用更为先进

的电动助力转向(EPS)。

2000 年左右,德国 Jungheinrich 公司在推出的前移式叉车产品上,率先装备了 EPS 系统。近 10 年来,随着叉车 EPS 电控、高效永磁电机或交流电机,大速比、小尺寸减速箱技术的成熟以及成本的下降,更多品种的电叉装备了 EPS 系统,如三支点、四支点平衡重式电叉、托盘堆垛车、托盘搬运车、拣选车、牵引车。在国际市场上,2007 年以后欧洲和日本公司推出的新产品,70% 以上装备 EPS 系统,而国内还处于研究初期,极少有国内公司生产装备 EPS 系统的电叉。现代叉车普遍采用电气动力转向(EPS)和电气液压动力转向(EHPS),这也是国际叉车发展趋势之一^[1-3]。

本研究详细叙述电叉专用 EPS 系统的组成部分、

原理、分类和系统集成应用经验。该 EPS 系统可广泛应用于前移式叉车、堆垛搬运车、三支点叉车等后驱后转车型,平衡重式叉车也有广泛应用。

1 电叉专用 EPS 系统组成部分

一个典型电叉专用 EPS 系统原理图如图 1 所示,它由转向信号输入、EPS 控制器、转向电机 + 减速箱组成的执行机构、机械转向机构和转向轮等五大部分组成。这个 EPS 系统是独立安装的动力模块,可以轻松替代原有液压助力转向机构,易于安装和升级原有液压助力转向车型。

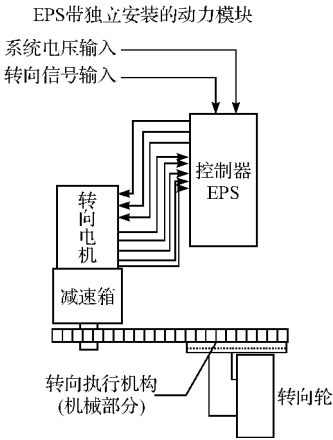


图 1 EPS 系统总览

下面本研究简要介绍系统的各个模块：

(1) 转向电机。它是用于输出车辆所需的转向扭矩,一般使用 PM(永磁)电机或交流电机($P=300\text{ W} \sim 600\text{ W}$)带一个高速比($i=30 \sim 55$)的整体式减速箱以放大转向扭矩。一般说来,转向电机的选型要求为:免维护的交流电机或 PM 电机,要求效率高、扭矩大。减速箱和转向电机整体式轴向串联安装,以缩小安装尺寸,并提供电机位置的反馈信号用于电机整流和转向角度计算。

(2) 传感器。EPS 系统可以接收转向机械部分的信号反馈,通常包括以下几个传感器：

- ① 电位计的模拟信号输入或者 Joystick 信号;
- ② 从多个编码器输入的两相(正交)脉冲;
- ③ 输入接近传感器,限位开关和类似开/关信号设备。

(3) 转向执行机构(机械部分)。这部分一般设计成为减速器轴伸处直接套小齿轮,带动大齿圈传动,或者使用更为简单的链轮—链条传动系统。

(4) EPS 电控,这里不做介绍。

(5) 转向轮,这里不做叙述,同液压助力转向系统

中转向轮一样,没有任何区别。

2 电叉专用 EPS 控制原理

转向控制方式可以分为绝对位置控制、位置差控制、速度控制 3 种方式^[4-7],这 3 种方式均可实现 EPS 控制。

(1) 绝对位置控制方式(如图 2 所示)。在这种控制方式里,转向角度命令来自于 Joystick 手柄信号、其他类似模拟量输入或者数字角度传感器信号,这些命令信号均来自于叉车主控制器,EPS 电控通过来源于转向机械机构或电机的位置反馈,动态地调整电机位置以维持所要求转向角度。为了使整个叉车系统电控集中管理,“转向机械位置”也可以通过 CAN 总线连接到主控制器上。

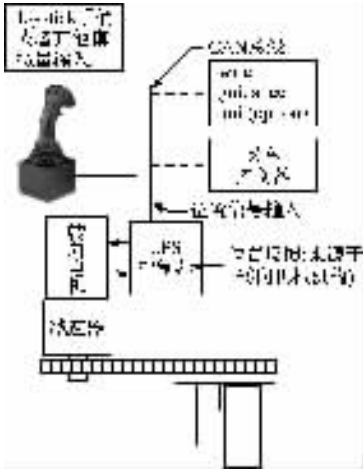


图 2 绝对位置控制

(2) 位置差控制方式(如图 3 所示)。在这种控制方式时,有以下公式：

$$P(\text{转向请求位置}) = P_0(\text{初始位置}) + K \times \text{输入转向速度}$$

这里的输入转向速度可以通过转向传感器获得, K 为固定系数(可通过计算转向圈数,获得具体数值),在这种模式下,EPS 控制器可以动态地调整电机位置以维持转向角度请求。

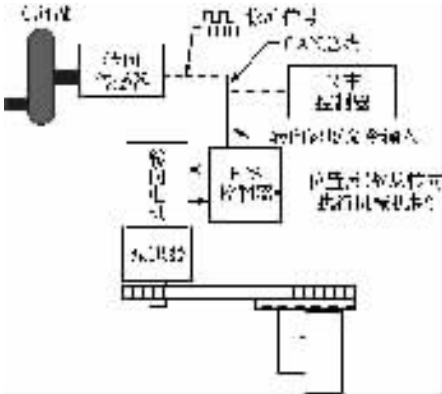


图 3 位置差控制

这种 EPS 控制方法原理简单可靠、成本低、性能价格比高。

(3) 速度控制方式(如图 4 所示)。这种控制方式基本原理同“位置差控制方式”,但是增加了通过 CAN 总线连接的叉车速度信号。这样,叉车速度信号与转向传感器信号一起参与了 EPS 运算,转向请求角度与车辆速度关联,这就大大增加了该种控制方式的精确性和安全性,特别对于高空作业车、人上位三向堆垛机、人上位拣选车等安全性要求较高的电动车辆,尤其需要这种控制方式;缺点是成本高、系统复杂。该典型 EPS 三维模型组件如图 5 所示。

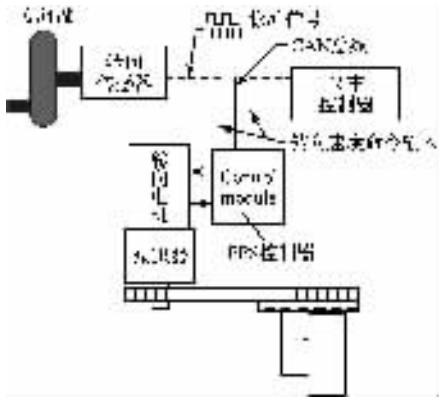


图 4 速度控制



图 5 一个典型的 EPS 模型

3 电叉专用 EPS 系统设计关键—转向反馈和初始化复位

在叉车用 EPS 系统中,转向反馈和初始化复位功能是两个重要的设计元素,绝大多数仓储设备和前移式叉车使用霍尔型接近开关来实现位置反馈,当钥匙开关打开时,进行初始化复位(以保证驱动轮的方向和车辆行走方向是一致的);而对于平衡重式叉车,初始化复位不可能实现,因此需要一个绝对位置传感器来实现相应的复位功能。

3.1 初始化复位

下面本研究通过举例说明原始位置偏左于垂直位置状态下,如何进行初始化复位,如图 6 所示。

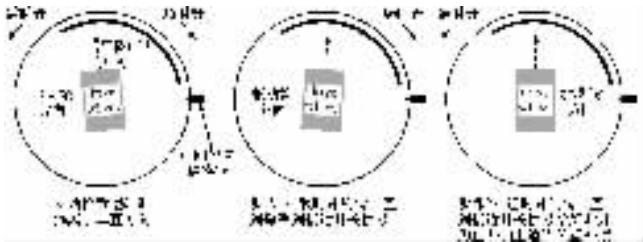


图 6 原始位置偏左于垂直位置状态下,如何进行初始化复位

上一次叉车关机时候,比如驱动轮方向偏左于垂直中心面,开机时 EPS 自检(检测接近开关信号是闭合还是断开),顺时针旋转直到探测到接近开关信号,并稍微过头一点;然后马上逆时针旋转,直到接近开关信号恰好断开为止,并加上适当的位置补偿(这个数值是固定的),这样驱动轮的方向就和垂直中心面是一致的了,反之亦然。这样保证车辆开机后,驱动轮始终处于直线行驶位置,避免了司机下车看轮胎位置的麻烦。

以上过程就是 EPS 自检中的“初始化复位”过程,可以精确定位上面公式里的 P_0 (初始位置)。

3.2 转向反馈

在上述公式里“输入转向速度”这个参数是由转向传感器实现并提供的,但是一般系统应用时将转向传感器和扭矩反馈做在一起,统称为扭矩反馈器(TFD),如图 7 所示。可提供持续的、可变的反馈扭矩,靠近终点时反馈扭矩明显增大,以模拟驾驶员的手感,避免司机误操作。

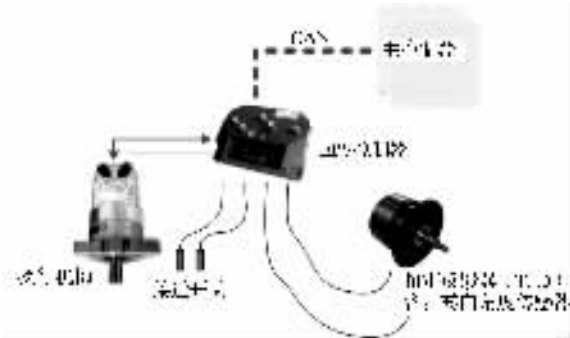


图 7 TED 扭矩反馈器

4 结束语

随着仓储设备、前移式叉车、三支点叉车越来越广泛的应用,电动叉车上使用 EPS 助力转向将会越来越(下转第 64 页)

- Analyzer based on Network Instrument Bus [C]//Proceedings of the 2006 IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications, 2006. New York: IEEE, 2006: 403 - 406.
- [2] 金小军. 网络式仪器总线研究 [D]. 杭州: 浙江大学机械与能源工程学院, 2003.
- [3] 陈静燕, 叶凌云, 宋开臣. 水下捷联惯性组合导航数据处理系统测试平台 [J]. 机电工程, 2009, 26(3): 6 - 8.
- [4] EIDSON J, LEE K. IEEE-1588 Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems [C]//Proceedings of the ISA/IEEE Sensors for Industry Conference. Houston: [s. n.], 2002: 98 - 105.
- [5] 刘明哲, 徐皓冬, 赵 伟. 基于 IEEE1588 的时钟同步算法软件实现 [J]. 仪器仪表学报, 2006(23): 2009 - 2011.
- [6] 宋 波, 孙 超, 姜守达. 一种基于 PTP 协议的局域网高精度时钟同步方法 [J]. 自动化技术与应用, 2010(1): 67 - 70, 74.
- [7] 陈永标, 方兴其, 岑宗浩. IEEE1588-协议中时钟同步性能的影响因素以及时间戳的生成方式分析 [J]. 微型电脑应用, 2009(4): 1 - 4.
- [8] NEAGOE T, HAMDI M, CRISTEA V. Frequency Compensated Hardware IEEE-1588 implementation [C]//IEEE International Symposium on Industrial Electronics. Montreal: [s. n.], 2006: 240 - 245.
- [9] LOSCHMIDT P, EXEL R, NAGY A, et al. Limits of Synchronization Accuracy using Hardware Support in IEEE 1588 [C]//2008 IEEE International Symposium on Precision Clock Synchronization for Measurement, Control and Communication. New York: IEEE, 2008: 12 - 16.
- [10] 范文晶, 王 海, 周 渭, 等. 一种基于均匀量化移相的精密时间间隔测量技术 [J]. 电子质量, 2009(2): 25 - 27.

[编辑: 李 辉]

(上接第 35 页)

普遍, 并有逐步替代传统液压助力转向的趋势。EPS 相对液压助力转向的优势如下:

(1) 取消了传统的全液压转向器, 彻底解决了液压元件易渗漏、管路多、易老化、油温高、结构复杂等缺点。

(2) 使用扭矩传感器代替转向器, 控制精确。司机可精确控制转向角度, 这对于在狭小空间内作业的叉车尤为重要。

(3) 方向盘处转向力小, 司机不易疲劳, 可使用超小直径人机工程方向盘, 易于整机布置。

(4) 装备 EPS 系统的电动叉车可实现液压助力转向无法实现的“开机初始化-自动复位”功能, 避免司机下车看轮胎初始位置的麻烦, 车辆安全性大大提高。

经样机试制结果表明, 该 EPS 系统采用“位置差控制方式”, 简单可靠, 在浙江杭叉 J 系列前移式电动叉车上得到了批量应用, 效果明显。经测试各项性能满足要求, 方向盘处转向力小 (仅为 $5 \sim 6 \text{ N} \cdot \text{m}$), 比传统液压助力转向 ($10 \sim 11 \text{ N} \cdot \text{m}$) 小 $45\% \sim 50\%$, 并带有终点扭矩反馈 (终点扭矩约为 $25 \text{ N} \cdot \text{m}$), 模拟了

司机转向终点处手感, 司机工作强度减弱, 客户反映良好, 该 EPS 系统有良好的市场前景, 可推广应用到仓储设备、三支点、四支点平衡重式电动叉车上。

参考文献 (References):

- [1] 金志号. 电动叉车的现状及发展趋势 [J]. 工程机械, 2004(10): 37 - 38.
- [2] 《汽车工程手册》编辑委员会. 汽车工程手册: 试验篇 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [3] 陈幕忱, 陆 植. 装卸搬运车辆: 机械设计、制造及其自动化与应用 [M]. 2 版. 北京: 人民交通出版社, 1999.
- [4] 张 莉, 张占仓. 交流电动叉车技术与发展 [J]. 工程机械与维修, 2005(9): 18.
- [5] 吴 锋, 杨志家, 姚伟栋, 等. 电动助力转向系统控制策略的研究 [J]. 汽车工程, 2006, 28(7): 676 - 680.
- [6] 周 平, 刘 峰, 方 凯. 电动叉车电动转向系统控制器的设计 [J]. 工程机械, 2004(5): 6.
- [7] KIM J H, SONG J B. Control logic for an electric power steering system using assist motor [J]. *Mechatronics*, 2002(12): 447 - 459.

[编辑: 张 翔]