

盾构刀盘变转速液压驱动系统*

浙江大学流体传动及控制国家重点实验室 郑久强 龚国芳 胡国良 杨华勇

摘要: 设计了盾构刀盘变转速液压驱动系统。采用 AMESim 仿真工具对该系统进行了仿真建模分析。仿真结果表明刀盘变转速液压驱动系统能够实现泵输出流量随系统负载改变而改变,即负载适应。该系统液压回路简单,噪声低,调速范围宽,节能效果好。有望在盾构刀盘驱动系统中得到广泛应用。

关键词: 变转速 盾构刀盘 仿真

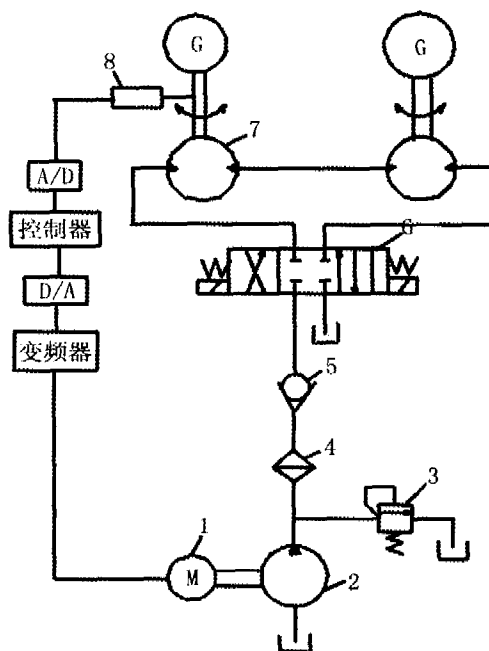
盾构掘进机是一种用于地下隧道工程开挖的复杂机电系统,具有开挖切削土体、输送土渣、拼装隧道衬砌、测量导向纠偏等功能。近年来,随着城市化进程加快,我国城市市政工程建设规模越来越大。北京、上海、广州与深圳等主要城市都已相继开始了地铁工程的建设。在城市地铁隧道施工中,由于受到施工场地、道路交通等城市环境因素的限制,传统的施工方法难以胜任,只能依赖对城市正常机能影响较小的隧道施工方法——盾构施工法。因此,盾构隧道施工及盾构技术越来越受到关注。可以预见,盾构隧道施工及盾构掘进机产业在我国的发展前景非常广阔^[1]。

刀盘是盾构掘进机的重要组成部分,是进行掘进作业的主要工作机构。盾构刀盘驱动系统具有功率大、功率变化范围宽的特点。负载是随断面的土质状况变化的,切削硬岩和切削软土所需的切削力矩及转速的变化很大。如果采用阀控马达系统的形式,系统功率必然按所需的最大功率设计,在遇到欠负载工况时,系统效率低下,大量的功率将通过热的形式耗散,使系统发热严重。若采用变频电动机直接驱动刀盘系统,则设备费用高,控制技术复杂。采用传统的变排量泵控马达刀盘液压驱动系统,存在变排量控制机构复杂、对介质要求较高、噪声大、小流量时电机和泵仍作高速运转及调速范围有限等问题。回路存在较大的溢流损失和节流损失,液压系统的功率效率很低。本文设计的盾构刀盘变转速液压驱动系统综合了变频电动机直接驱动刀盘系统与变排量泵控马达系统两者的优点。即利用变频器驱动的负载敏感节能效果与泵控马达驱动的传递功率大、控制精度高、安装空间小与能源消耗低,适用于运动复杂、工作环境恶劣等情况的特点。因此该系统具有结构简单,节能效果明显等特点^[2-5]。

1 盾构刀盘变转速液压驱动系统原理

变转速刀盘液压驱动系统是一种通过改变电动机的转速来改变泵输出流量而达到调速的方式。它与改变变量泵排量方式不同,是通过交流变频调速实现执行元件的调速。在这种调速方式中,液压泵可以选用价格低廉、可靠性高的定量泵。

变转速刀盘液压驱动系统原理简图如图 1 所示。本系统主要由变频器、电动机 1、定量泵 2、阀块组 6、管路、驱动液压马达 7、减速机、速度传感器 8、大小齿轮、A/D 转换器、控制器、D/A 转换器、主轴承及密封件等组成。



1.电动机 2.主驱动泵 3.溢流阀 4.过滤器 5.单向阀
6.电磁换向阀 7.马达 8.转速传感器

图 1 盾构刀盘变转速液压驱动系统原理简图

* 国家杰出青年基金资助项目(编号 50425518)和国家“863”高技术研究发展计划资助项目(编号 2003AA420120)

三相电源接入变频器的输入侧,经过变频器的控制信号,将特定频率特定电压的正弦电压信号供给异步电动机1,电动机1带动主驱动泵2旋转,主驱动泵2输出一定流量的压力油,压力油经过滤清器4、单向阀5及换向阀6驱动双向定量马达7做回转运动,从而驱动刀盘的转动。

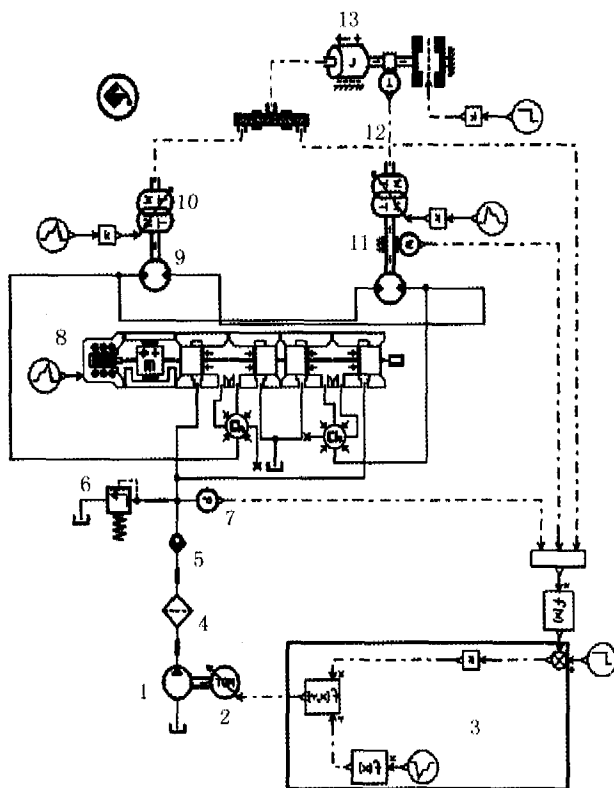
马达7的输出轴上安装有转速传感器8,其采集到的转速信号经过A/D转换后输入到控制器,在控制器里对采集到的转速信号进行分析处理,根据给定的曲线计算输出信号(即变频器的输入信号),通过变频器信号改变驱动泵的电动机的转速,从而实现泵输出流量随系统负载改变而改变,即负载适应。

由图1可知,变转速泵控马达调速系统中没有液压调速元件,与传统的节流调速回路或容积调速回路相比,液压回路得到了简化,成本也得到相应降低^[6-8]。

2 系统仿真建模

本系统采用AMESim仿真工具进行仿真建模。AMESim(Advanced Modeling Environment for performing Simulation of engineering systems)是法国Imagine公司于1995年推出的基于键合图的液压/机械系统建模、仿真及动力学分析软件。它为用户提供了一个时域仿真建模环境,可使用已有的模型和(或)建立新的子模型元件,构建优化设计所需的实际原型;采用易于识别的标准ISO图标和简单直观的多端口框图;方便用户建立复杂系统及用户所需的特定应用实例;可修改模型和仿真参数,进行稳态及动态仿真、绘制曲线并分析仿真结果。界面比较好、操作非常方便^[9,10]。

系统仿真模型如图2所示。定量泵1排量为260 mL/r,异步电机2最高转速1500 r/min;变频器3选用三菱变频调速器,控制方式为磁连追踪型PWM控制技术;溢流阀6设为24 MPa;电磁换向阀8采用4WEH 32 G6X/6AG24NTS2B08,用于控制双向马达的正反转;双向马达9排量为45.6 mL/r,最大转速为6200 r/min;减速机10减速比设定为476.8;模拟负载13分为硬岩、软岩两种工况,主要按刀具切削转矩、刀盘土腔内的搅动力矩、刀盘的推力载荷产生的旋转转矩、刀盘圆周面上的摩擦力矩和刀盘前表面上的摩擦力矩等进行计算。其转动惯量为15 kg·m²;其中变频器3、电磁换向阀8、模拟负载13因



1.定量泵 2.异步电机 3.变频器 4.过滤器 5.单向阀
6.溢流阀 7.压力传感器 8.电磁换向阀 9.双向马达
10.减速机 11.转速传感器 12.转矩传感器 13.模拟负载

图2 盾构刀盘变转速液压驱动系统仿真模型

在AMESim中没有可用的模型,所以要利用HCD(液压元件设计模块)建立其HCD模型,仿真时间10 s。

3 系统仿真分析

系统仿真是在液压油的粘温系数 λ 为0.043,油液动力粘度 μ_{t0} 为0.0282 Pa·s,参考温度 t_0 为40℃下进行的。图3、图4为刀盘系统在软岩工况下的转速与转矩曲线;图5、图6为刀盘系统在硬岩工况下的转速与转矩曲线;由图所示,当刀盘系统在软岩工况时,输出转矩加大,马达开口关小,系统压力增大,流量减小,输出转速低;当刀盘系统在硬岩工况时,输出转矩减小,马达开口变大,系统压力减小,流量增大,输出转速高。整个系统可实现两种工况,即软岩工况时的低速大转矩和硬岩工况时的高速小转矩,满足刀盘系统在不同土质工况下的转速要求。该系统刀盘转速响应快,没有超调,系统稳定性好,输出功率始终与负载所需功率相适应,能够使刀盘液压驱动控制系统适应掘进中的复杂工况,从而达

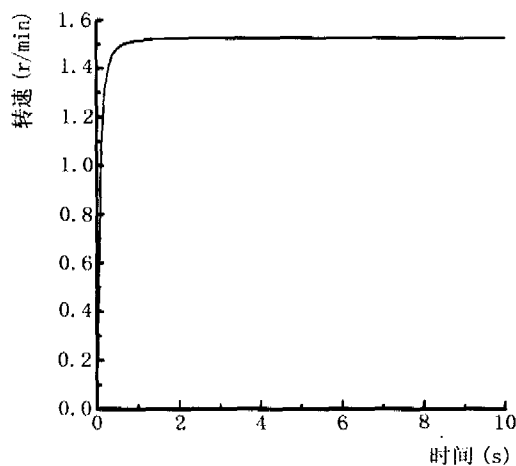


图3 模拟负载在软岩工况时刀盘转速曲线

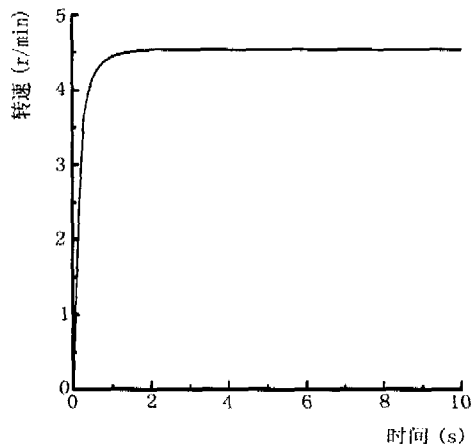


图5 模拟负载在硬岩工况时刀盘转速曲线

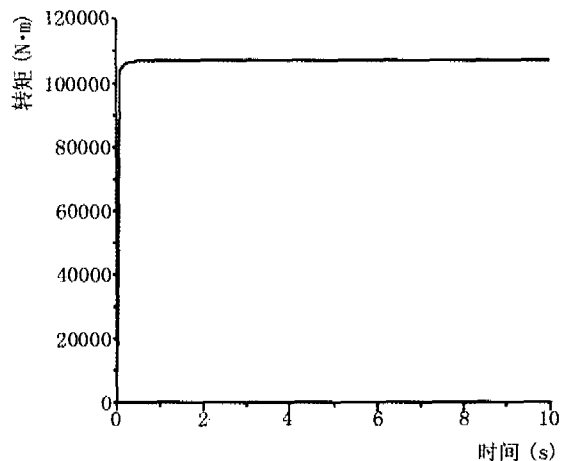


图4 模拟负载在软岩工况时刀盘转矩曲线

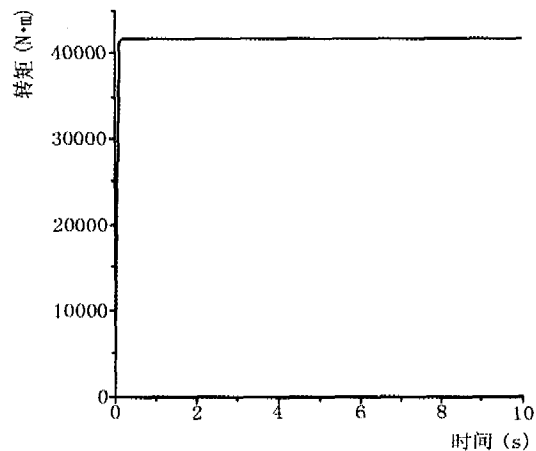


图6 模拟负载在软岩工况时刀盘转矩曲线

到节能效果。

4 结束语

将电机变频调速技术用于盾构刀盘液压驱动系统，能够较好地做到液压系统提供的功率和负载所需要的功率相匹配，减少了液压系统的能量损失，提高整个系统的效率。达到节能的目的。它是一种全局型的新型节能液压驱动方式。有望在盾构中得到广泛应用。

参考文献

- 1 庄欠伟.土压平衡式盾构电液控制系统集成技术及其应用[硕士论文].浙江大学,2005
- 2 邢彤,龚国芳,胡国良,杨华勇.盾构刀盘驱动液压系统设计.液压与气动,2005(4)
- 3 彭天好.变频泵控马达调速及补偿特性的研究[博士论文].杭州:浙江大学,2003
- 4 吴根茂,邱敏秀,王庆丰等.新编实用电液比例技术.杭州:浙江大学出版社,2004

- 5 彭天好,杨华勇,徐兵.变频液压技术发展及研究综述.浙江大学学报,2004(2)
- 6 路甬祥.液气气动技术手册.北京:机械工业出版社,2002
- 7 杨华勇,龚国芳.盾构掘进机及其液压技术的应用.液气气动与密封,2004(1)
- 8 Hu Guoliang,Gong Guofang,Yang Huayong, etc. Electro-hydraulic Control System of Shield Tunnel Boring Machine for Simulator Stand. The Sixth Interational Conference on Fluid Power Transmission and Control (ICFP'2005). Hang-zhou: 2005
- 9 秦家升,游善兰. AMESim 软件的特征及其应用.工程机械,2004(12)
- 10 李谨,邓卫华. AMESim 与 MATLAB/Simulink 联合仿真技术及应用.情报指挥控制系统与仿真技术,2004(5)

通信地址: 浙江大学流体传动及控制国家重点实验室 (310027)
(收稿日期:2005-10-15)