

液压机械无级传动控制系统的分析

曲文君,高永强

(临沂师范学院 工程学院,山东 临沂 276005)

摘要:分析了发动机的工作特点,确定传动系统所采取控制方法和策略,以达到工程车辆最佳运转工况,更好地发挥工程车辆的动力性、经济性,实现液压机械连续无级传动装置的无级调速功能,使发动机工作在最佳工作点上。

关键词:液压机械;无级传动;节能;自动变速

中图分类号: TH137 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-5276(2009)06-0040-03

Analysis of Control System of Hydraulic-mechanical Variable Transmission

QU Wen-jun, GAO Yong-qiang

(College of Engineering, Linyi Normal University, Linyi 276005, China)

Abstract: The paper analyses the characteristics of the engine and determines the control methods and strategies of transmission system to achieve the best operating conditions and the better dynamic and economy of Engineering Vehicles. The variable transmission of the hydraulic-mechanical transmission is realized and the engine can operate in the best state.

Key words: hydraulic-mechanical variable transmission; energy conservation; auto-shift

0 引言

液压机械无级传动系统主要应用于工程车辆上,如大型的轮式装卸车和履带式挖掘机等。工程车辆主要是在牵引工况下工作,其工作环境复杂、多变,作业特点为低速、重载,载荷急剧变化,变化范围大,随机性强。为了提高对重载、超载的适应能力,需要对发动机及传动系统采取自动控制系统,实现自动调节。目前工程车辆动力传动系统的发展趋势是充分利用发动机功率,节约能源以及获得良好的行驶性能,使发动机不受负载变化的影响,始终工作在最大功率点,提高车辆的传动效率、燃油经济性和整车综合性能,减轻了驾驶人员的劳动强度,并降低对驾驶人员的技术要求,使驾驶员集中精力操作工作装置,以提高生产效率。将液压技术与电子技术、控制技术有机地结合在一起,提高了现代工程车辆自动化、智能化、效能化的程度。

本文将研究柴油发动机的性能,分析发动机的工作特点,确定传动系统所采取控制算法和策略,以达到工程车辆实现最佳运转工况的目标,更好地发挥工程车辆的动力性经济性。

1 发动机工作特性与控制目标

柴油发动机是动力机械,工作时带动从动机械运转,按从动机械的工作要求,发动机的功率和转速有时会不断变化,其变化规律也是各种各样的。要想使柴油机最佳动力性和最佳经济性区域工作,必须与工程机械实现合理匹

配,使之适应外界负荷的变化。因此柴油机在运转中保持转速稳定是非常重要的,只有在稳定工况下工作才能输出其最大功率,而只有当发动机发出的转矩与外界阻力矩相平衡时,才能保持稳定运转。

1.1 柴油机工作特性

柴油机在稳定工况下运转时,发出的驱动转矩等于从动机械的阻力矩。柴油机工作时的转矩受到最低稳定转速和最高工作转速的限制。转速低于最低稳定转速时,柴油机转速和功率波动大,甚至熄火停机,柴油机最高转速受到运动零件惯性负荷等因素的限制。要分析柴油机在各种工况下的性能,全面反映柴油机特性,以柴油机转速为横坐标,输出扭矩或汽缸平均有效压力为纵坐标,得出若干条等燃料消耗曲线和等功率曲线,得到柴油机的万有特性曲线(图1)。此曲线可以表示各种转速和负荷情况下燃料经济性。从图中可以看出,在最内层的等油耗曲线为柴油机的经济工作区域,曲线可以表示各种转速和负荷情况下的域,曲线越向外,油耗率越高,经济性越差。在柴油机的每个运行功率下,等功率曲线和等油耗曲线的切点为该功率下的经济工作点。各经济工作点的连线即为柴油机的经济工作曲线(图1中点划线)。柴油机工作时,将工作点设定在经济工作曲线附近,就会提高燃油利用率,达到节能目的。

另外,柴油机转矩曲线比较平直,遇到外界阻力变化时,转速波动范围较大,适应性较差。当负荷突然减少时,转速会急剧增高,如不及时减少供油量就会造成飞车,致使柴油机损坏,所以柴油机上一概加装调速器,使柴油机在负载变化情况下保持转速的稳定。实际上,调速器不可

作者简介:曲文君(1967—),男,满族,内蒙古赤峰人,讲师,硕士,主要从事机械工程的教学工作。

能将柴油机转速控制在不变的恒定值,而是随外负载的变化有一定的偏差。柴油机的调速特性是指当调速器操纵手柄处于一定位置时,在调速器起作用的情况下,功率、转矩、燃油消耗率等与转速和负荷之间的变化关系。

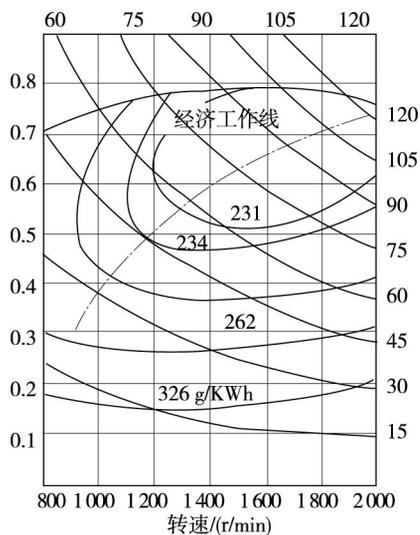


图 1 柴油机万有特性曲线

工程车辆作业中更多时候发动机是工作在部分负荷之下的,必须将部分负荷状态引入模型。通过大量的研究表明,无论是发动机的外特性曲线还是部分负荷特性曲线,发动机输出转矩均是发动机油门开度和发动机转速的函数,即:

$$M_e = f(\alpha, n_e) \quad (1)$$

式中: M_e —— 发动机输出转矩, $N \cdot m$;

α —— 发动机油门开度;

n_e —— 发动机输出转速, r/min 。

1.2 柴油机调速特性

柴油机工作时的调速特性曲线如图 2 所示。曲线 1, 2, 3, 4 即为柴油机油门处于不同位置时的调速特性。由于工程机械车辆作业工况复杂,为了保证柴油机在负荷变化幅度较大的情况下以稳定的速度作业,提高生产率,柴油机的调速器具有全程式调速的特性,即当调速器的调速手柄固定于某一位置工作时,它可以随负载的大小变化而自动调节供油量,使柴油机的转速在允许的范围内稳定运转。当外负载发生变化时,柴油机的输出扭矩就会发生变化,转速也相应地发生改变。如果工作在调速曲线段,其调速器会改变油门开度,从而稳定柴油机的转速。

假设柴油机工作在油门位置 3 所确定的部分负荷调速特性曲线 $ABCD$ 上,当外负荷变化时,引起柴油机输出扭矩发生变化,其工作点在调速特性曲线 $ABCD$ 上移动,带来柴油机转速的改变。对于每条调速特性曲线,都存在一个最大功率点(如图 2 中 C 点),柴油机在此点(对应的转速 n_c)运转时,发出的功率最大。有些最大功率点的带载能力太差,很容易导致发动机熄火,所以最大功率点经常留有一定的功率余量;另外,还存在一个经济工作点(如图 2 中 B 点),柴油机在此点(对应的转速 n_b)运转

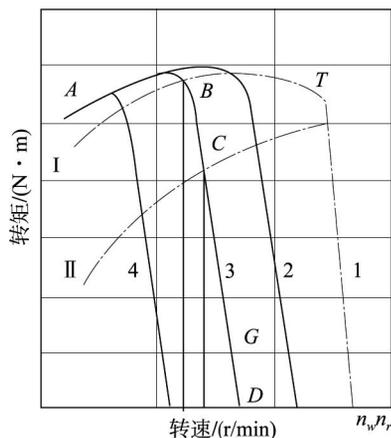


图 2 柴油机调速特性曲线

时,耗油率最低。

柴油机加装不同的调速器后,就有不同的调速特性,而速度特性、负荷特性和万有特性则表示柴油机的内在特征,尤其是万有特性曲线,更是综合反映了柴油机的速度和负荷特性,因此,万有特性结合调速特性就能全面反映柴油机的工作特性,为柴油机高效节能工作和柴油机与液压机械传动系统的功率匹配提供有效依据。

柴油机在工作过程中,每个调速位置都对应一个最大功率点和一个最小油耗点。将柴油机的调速特性曲线和万有特性曲线联合,就可以得到柴油机的经济工作线(图 2 中的 I)和最大功率工作线(图 2 中的 II)。柴油机在最大功率工作线工作时,对应此调速位置的最大功率点;在经济工作线工作时,对应此调速位置的最佳节能工作点。在实际应用过程中,为了方便计算出每个油门位置最大功率点和最佳节能工作点对应的转速,对图 2 中的经济工作线 I 和最大功率线 II 分别进行线性化近似处理,可以得到:

$$N_e = k_e \cdot \alpha + c_e, \quad (2)$$

$$N_p = k_p \cdot \alpha + c_p, \quad (3)$$

式中: N_e —— 发动机最佳节能工作点转速;

N_p —— 发动机最大功率点转速;

α —— 发动机油门开度。

1.3 转速稳定与柴油机节能分析

工程车辆所用的柴油发动机,瞬态工况下若进气滞后于供油就会使柴油机燃烧质量下降。工程车辆工作时负荷变化剧烈,引起发动机扭矩也随之产生很大变化,如果超出了全程式调速器的调节范围,就会使发动机转速急剧下降,为了稳定发动机转速只有增大油门开度加大供油量。而增加供油量时,供气量还保持在上一个循环水平,这样势必造成燃烧不充分,燃油消耗增加。柴油机在转速变化时耗油率变化剧烈,主要是因为转速剧烈变化引起柴油机的燃烧状况变坏。图 3 为某工况下,转速变化时,柴油机的油耗波动情况。

由此可以看出,柴油机的转速稳定对于系统是非常重要的。工程机械车辆在工作过程中,如果对外负载的多变性和不可预测性没有采取控制措施,则常常会带来柴油机

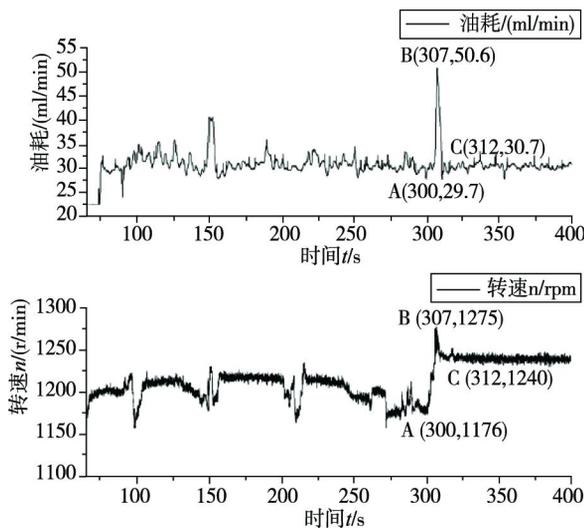


图3 转速变化时柴油机油耗波动情况

转速的长时间反复剧烈变化,引起闷车、燃油经济性能下降等现象。为了改善柴油机燃烧状况,节约能源,应该控制柴油机转速稳定在设定的最佳工作点附近,如图1中经济工作线上的最小油耗点等。

控制系统设计的目标就是在一定的油门开度下,通过调节变速器的传动比,调整输出转速,以使发动机工作在最大功率下或者最低油耗下的转速,使发动机的输出功率与传动系统所需的功率相匹配,提高动力性和燃油利用率,提高整个动力系统的效率。

2 液压系统的控制原理

液压机械无级传动系统的液压系统由变量泵和定量马达组成,其转速控制是通过变量泵—定量马达伺服机构控制马达输出转速实现的,变量泵—定量马达伺服机构的稳定性、响应速度、误差以及相关参数对伺服机构的作用,都对整个变速器的性能有很大的影响。

变量泵—定量马达工作过程如下:由计算机发出的控制信号通过脉宽调制放大器推动电液比例阀工作,电液比例阀控制进出执行液压缸的流量,从而控制活塞杆的位移。活塞杆通过位移来改变变量泵斜盘倾角的角度,调节泵的排量,从而控制定量马达转速,以达到控制系统转速的目的。

液压系统中,泵的吸收功率为:

$$P = 2 \pi n M = \frac{1}{\eta_p} p_p Q = \frac{1}{\eta_p} p_p V n \eta_v \quad (4)$$

式中: P —— 泵的输入功率;

n —— 泵轴转速;

M —— 泵轴扭矩;

p_p —— 泵出口压力;

Q —— 泵的输出流量;

V —— 泵的排量;

η —— 总效率;

η_v —— 泵的容积效率。

由式(4)可分别实现泵的功率控制和流量控制。当

泵轴转速 n 不变时,由式(4)可知,功率控制实际上就是扭矩控制;由式(4)和式(5)可知,流量控制实际上就是泵的排量控制。泵控的目的就是通过控制调节泵的排量,进而控制泵尽可能多地吸收发动机的输出功率,减少能量的损失。

3 发动机与液压传动系统的匹配原则

发动机是车辆的一个总成,是车辆动力的来源。因此,整车的动力性和经济性既取决于发动机自身的性能,又依赖于发动机与车辆的合理匹配,尤其是发动机与传动系统(主要是变速器)的合理匹配。发动机与液压传动系统匹配的原则是:使发动机的转速及其输出扭矩适应外负载的变化而保持连续的变化,并将发动机的实际工作点匹配在相应转速下的最大功率输出点和最佳节能点附近。不考虑机械分流传动时发动机的匹配方程为:

$$p_p(t) = p \quad (5)$$

$$\text{即: } M_p(t) = M \quad (6)$$

泵的吸收扭矩等于发动机最佳工作点的输出扭矩 M ,又

$$M_p(t) = p_p(t) q_q(t) \quad (7)$$

式中: $p_p(t)$ 取决于负载,当负载变化时引起 $p_p(t)$ 和 $M_p(t)$ 的变化,当 $M_p(t)$ 偏离最佳工作点时泵与发动机不匹配,通过调节泵的排量 $q_q(t)$ 改变 $M_p(t)$,使 $M_p(t)$ 始终满足式(6),这就实现了发动机与泵的匹配。

由上面分析可知,当外负载发生变化时引起系统压力变化,改变液压系统泵的排量以适应其变化,保持对发动机的恒功率控制;同时,根据液压系统的压力变化控制发动机转速的变化,使发动机的功率可以充分得到发挥,并且燃油经济性最好,从而获得较高的工作效率。

4 小结

通过对液压机械无级传动控制系统的应用情况、工作特点、性能优点及发展现状的分析,指出有效控制液压机械无级传动系统,使之与发动机合理匹配,控制发动机工作时达到最佳经济性和最大效率性,是控制系统的控制目标,并对工程车辆使用的柴油发动机进行了特性分析并得出控制目标。

参考文献:

- [1] 余志生. 汽车理论 [M]. 北京:机械工业出版社,1999.
- [2] 秦有方,陈士尧,王文波. 车用内燃机原理 [M]. 北京:北京理工大学出版社,1997.
- [3] 王杰,王建玲,宋剑. 液压机械传动多领域虚拟样机加速性仿真研究 [J]. 机床与液压,2007(5):155-156.
- [4] 张宝彬,苑士华,赵然. 液压机械连续无级传动的控制系统研究 [J]. 车辆与动力技术,2003(4):1-3.

收稿日期:2009-02-09