

拖拉机液压机械无级变速传动系统速比匹配策略

徐立友^{1,2} 周志立² 张明柱² 李言¹

(1. 西安理工大学机械与精密仪器工程学院, 西安 710048; 2. 河南科技大学车辆与动力工程学院, 河南 洛阳 471003)

摘要 为实现发动机的最佳动力性和燃油经济性, 提出了拖拉机液压机械无级变速传动系统速比匹配策略。利用发动机试验测试结果, 采用多项式拟合法建立了发动机模型。根据发动机的转速调节特性, 在拖拉机液压机械无级变速传动系统确定的速比范围内, 给出了实现发动机最佳动力性和最佳经济性工况运行时的目标速比。对装备液压机械无级变速器后的拖拉机与原拖拉机的牵引性能进行比较, 结果表明: 装有液压机械无级变速器后拖拉机在任何牵引力时, 发动机都在接近于满负荷点工作, 拖拉机生产率和燃油经济性有所提高。本研究所提出的速比匹配策略是合理的。

关键词 拖拉机; 液压机械无级变速传动; 发动机模型; 速比匹配

中图分类号 S 219.032.1

文章编号 1007-4333(2006)04-0094-05

文献标识码 A

Speed ratio matching strategies of hydro-mechanical continuously variable transmission system of tractor

Xu Liyou^{1,2}, Zhou Zhili², Zhang Mingzhu², Li Yan¹

(1. College of Mechanics & Apparatus Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;

2. College of Vehicle & Power Engineering, Henan University of Science & Technology, Luoyang 471003, China)

Abstract To realize the optimal power and the best fuel economy performance of an engine, the speed ratio matching strategies of a tractor with hydro-mechanical continuously variable transmission (HMCVT) system were studied. The engine output torque model and fuel consumption model were established based on the engine test results. On the basis of the engine rotary speed feature, the target speed ratios of HMCVT system in the numerical table were given, which realized the optimal power and the best fuel economy performance within the speed ratio range of the HMCVT system. The tractive performances from the tractor equipped with HMCVT and the original tractor were compared. The results showed that a tractor assembled with HMCVT could gain a continuously variable speed and the engine worked near full load under any traction load. As a result, the tractors with the HMCVT would improve themselves productivities and fuel economies. The speed ratio matching strategies are reasonable.

Key words tractor; hydro-mechanical continuously variable transmission; engine model; speed ratio matching

拖拉机无级变速传动通过控制其传动系统的速比保证发动机在理想工况下运行, 从而提高拖拉机的动力性和经济性^[1]。拖拉机液压机械无级变速传动(HMCVT)系统的速比调节是通过控制变排量液压元件和定排量液压元件的排量比实现的。

目前, 国内外对车辆无级变速传动系统匹配的研究主要集中在汽车上^[2~6], 针对拖拉机的研究尚

未见报道。拖拉机不仅在结构方面与汽车存在差异, 而且作业环境恶劣, 工况多变, 外界负荷波动频繁, 要求传动系统的速比能适时地变更以适应负荷和行驶阻力的变化, 从而保证拖拉机的动力性和经济性。作为拖拉机液压机械无级变速传动系统匹配研究的一部分, 本研究旨在解决拖拉机液压机械无级变速传动系统速比匹配策略问题, 以期对拖拉机

收稿日期: 2006-02-21

基金项目: 河南省高校杰出科研人才创新工程项目(2002 KYCX010)

作者简介: 徐立友, 讲师, 博士研究生, 主要从事车辆工程技术研究, E-mail: xlyou1974@tom.com; 周志立, 教授, 博士生导师, 主要从事车辆工程技术研究, E-mail: zzli@mail.haust.edu.cn

控制方法的确定提供理论依据。

1 发动机模型

1.1 发动机输出转矩

发动机是一个较为复杂的系统,一般认为发动机输出转矩是油门开度和转速的函数。可以利用发动机试验数据,采用多项式拟合的方法构造发动机稳态输出转矩与油门开度和发动机转速的关系式:

$$M_e = -171.2419 + 0.0157n_e + 22.0189 - 2.9423 \times 10^{-4}n_e^2 + 0.0021n_e - 0.2705 - 5.2062 \times 10^{-7}n_e^3 + 1.5758 \times 10^{-5}n_e^2 - 2.5194 \times 10^{-4}n_e^2 + 0.0011^3 \quad (1)$$

式中: M_e 为发动机转矩, $N \cdot m$; n_e 为发动机转速, r/min ; 为发动机油门开度, %。由式(1)可绘制出发动机输出转矩与油门开度和转速的关系曲面(图1)。

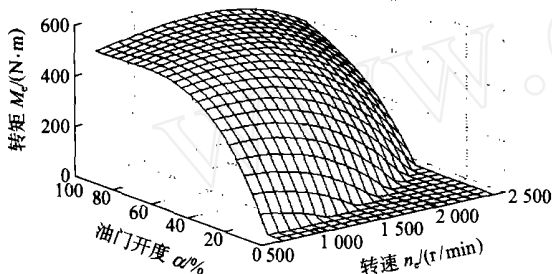


图1 发动机输出转矩与油门开度和转速的关系

Fig. 1 Relation of output torque with throttle opening and rotary speed of engine

1.2 发动机燃油消耗率

发动机负荷特性曲线给出了在不同转速下负荷与有效燃油消耗率的关系。根据每个发动机转速下的负荷特性曲线获得不同转速下发动机功率与比油耗的关系,利用样条插值拟合出发动机有效燃油消耗率与发动机转速和转矩的关系式:

$$g_e = 273.1283 + 0.0545n_e - 0.1904M_e - 4.2014 \times 10^{-5}n_e^2 - 2.2902 \times 10^{-4}n_eM_e + 5.7659 \times 10^{-4}M_e^2 + 2.111 \times 10^{-8}n_e^3 - 6.1675 \times 10^{-8}n_e^2M_e + 4.5146 \times 10^{-7}n_eM_e^2 - 7.1193 \times 10^{-7}M_e^3 \quad (2)$$

式中: g_e 为发动机有效燃油消耗率, $g/(kW \cdot h)$ 。由式(2)生成发动机燃油消耗率与转矩和转速的关系曲面(图2)。利用发动机的数值模型可得到发动机万有特性图(图3)。

图3中,曲线 ABC 是发动机的外特性,斜线 AU 、 BFS 、 CGT 为不同油门位置时的调速特性。

A 、 B 和 C 点分别为对应的最大功率输出点。在不同油门位置下,发动机虽然可以工作在最大功率点,但是在有些最大功率点(如 B 、 C 点)抗过载能力差,容易导致发动机熄火。所以在不同油门位置下,最大功率点的设定应为图3中的 A 、 F 、 G 点,这样就使得每一个最大功率点都留有一定的过载余量(如 $M_e = M_{eC} - M_{eG}$),而不至于导致发动机熄火。

M_e 大小视不同油门位置的具体工作特性而定,油门越大,过载余量越小。因此,习惯上将 AFG 曲线称作发动机最佳动力性工作线,即 D 曲线。

在万有特性曲线上将具有相同功率的最小燃油消耗率点连接起来,可得到发动机最佳燃油经济性工作线。图3中的 AST 曲线,亦即 E 曲线。

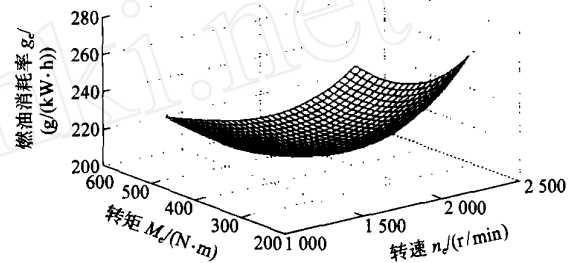
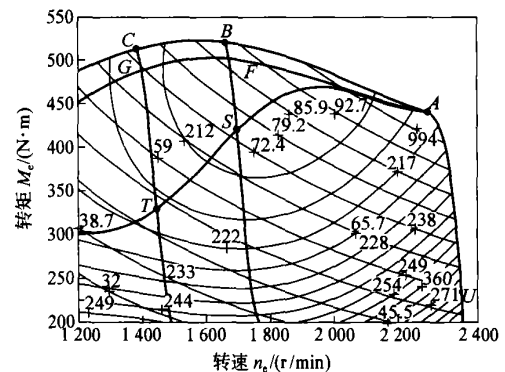


图2 发动机燃油消耗率与转矩和转速的关系

Fig. 2 Relations between fuel consumption and torque and rotary speed of engine



下发动机均能在最大功率的转速下工作,则油门开度与转速的关系即为最佳动力性转速调节。图4示

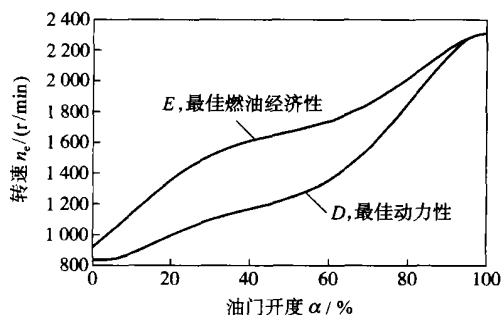


图4 发动机转速调节特性

Fig. 4 Regulating feature of engine rotary speed

出发动机转速调节特性,曲线D和E分别为发动机最佳动力性和最佳燃油经济性转速调节特性曲线。

2 无级变速传动系统速比匹配

图5示出拖拉机液压机械无级变速传动系统匹配图。通过控制发动机的油门开度及调节传动系统的速比使发动机工作在最佳动力性工作线D或最佳经济性工作线E上。在实际工作中,发动机工作点应落在由最低稳定工作转速线*l*、外特性线*w*及调速特性线*t*所包围的区域内,接近或者在最佳动力性工作线D或最佳经济性工作线E上。

对于拖拉机液压机械无级变速传动系统,发动机有效工作范围内的每一点都与拖拉机驱动图中的

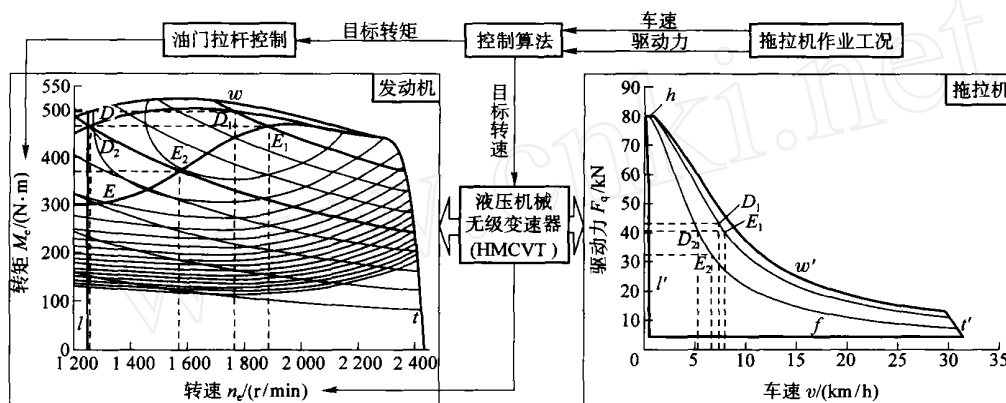


图5 无级变速传动系统匹配图

Fig. 5 Matching sketch of HMCVT system

驱动力和车速一一对应,具体表达为

$$F_q = \frac{M_e i_c 1}{r_d} \quad (3)$$

$$v = \frac{0.377 n_e r_d}{i} \quad (4)$$

式中: F_q 为拖拉机驱动力, kN; r_d 为驱动轮动力半径, m; i 为传动系统的传动比; c 为传动系效率; v 为车速, km/h; 1 为履带驱动段效率, 对轮式拖拉机 $1 = 1$ 。

参考文献[6]和[7]的计算方法,将发动机有效工作范围内的每个点对应到拖拉机驱动特性图上(图5)。曲线*l*、*w*和*t*分别对应发动机理想工作边界线*l*、*w*和*t*,直线*h*为受地面附着力限制时拖拉机所能提供的最大驱动力线,直线*f*为拖拉机克服滚动阻力所需的最小驱动力线。

由图5可见:在稳定状态下,当拖拉机以一定的速度作业时,在动力性最佳或燃油经济性最佳的前

提下,发动机理想工作线(D或E线)上存在唯一1点与拖拉机的作业状态对应。在发动机万有特性图上,任一点的工作状态都是确定的,发动机油门开度、理想转速和转矩以及无级变速传动系的速比是一一对应的。根据事先确定的发动机油门开度与输出功率间的对应关系,控制发动机的油门开度,同时调节传动系统的速比,使发动机稳定在特定的工作点工作。

由图3和4可知:无论是最佳动力性还是最佳燃油经济性,发动机油门开度和转速及发动机输出功率都存在一一对应的关系。在每一个发动机油门开度下,为保证拖拉机以不同的车速进行田间作业,应有相应的速比保证发动机在所要求的最优工作点运行。图6示出发动机最佳动力性和最佳燃油经济性变速器目标速比,它可以存储在传动系统控制器记忆单元中作为目标速比。根据拖拉机的实际作业情况通过调节无级变速系统速比就可以控制发动机

的工作点,使得拖拉机在最佳动力性及最佳燃油经济性工况下运行。

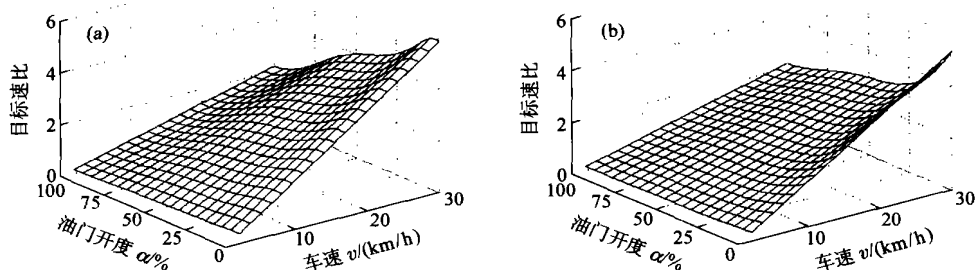


图 6 发动机最佳动力性(a)和最佳燃油经济性(b)变速器目标速比

Fig. 6 Target speed ratio of the optimal power and the fuel economy of engine

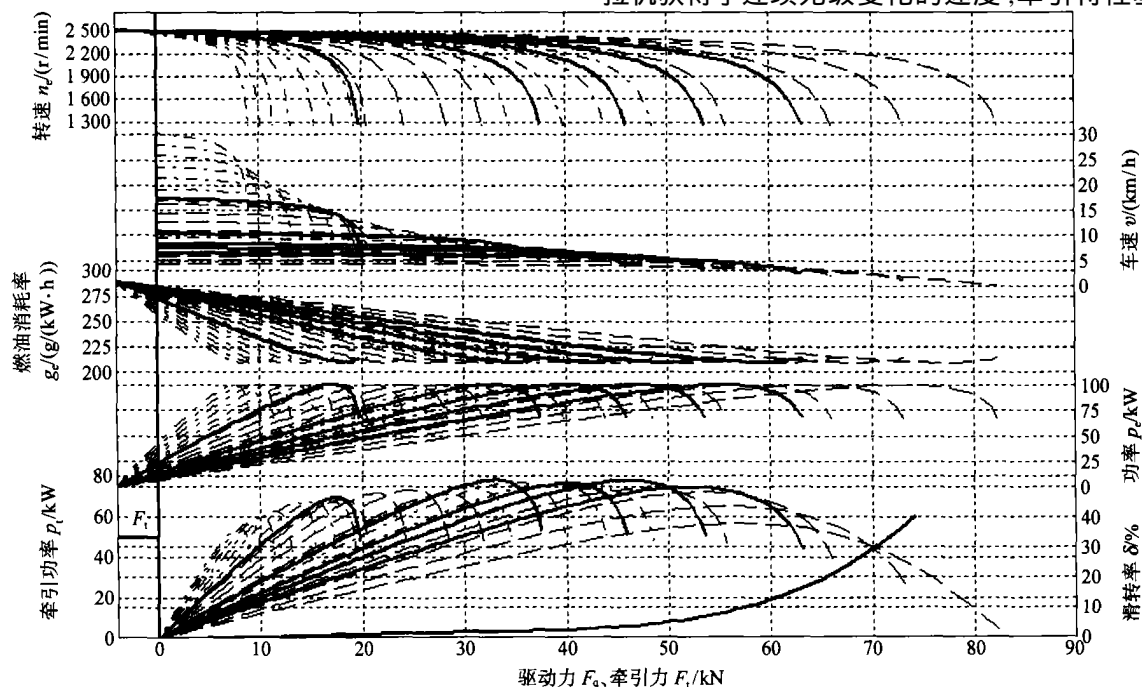
3 装备 HMCVT 后拖拉机牵引性能与原牵引性能之比较

以河南科技大学车辆工程研究所开发的用于东方红 1302R 橡胶履带拖拉机的液压机械无级变速器为研究对象,采用本研究提出的速比匹配策略,试验结果表明,发动机在理想工况下运行,能够达到提高拖拉机的动力性和燃油经济性的目的。

拖拉机牵引特性是研究和评价发动机、传动系、

行走机构和工作装置各参数间匹配合理程度的重要指标。根据中国一拖集团公司提供的东方红 1302R 拖拉机最大牵引功率试验结果及其发动机台架试验结果,利用文献[8]提供的拖拉机理论牵引特性绘制方法及计算程序,绘制出东方红 1302R 拖拉机理论牵引特性曲线(图 7),其中包括拖拉机主要作业速度挡(段)和原东方红 1302R 拖拉机 2 至 6 挡及装有 HMCVT 后拖拉机 3 至 6 段的牵引特性曲线^[9]。

由图 7 可见,装备 HMCVT 后东方红 1302R 拖拉机获得了连续无级变化的速度,牵引特性基本上



F_t 、 F_q 和 F_f 分别为牵引力、驱动力和滚动阻力, kN ; $F_t = F_q - F_f$ 。粗实线为原拖拉机各参数特性曲线,虚线及点划线为装备 HMCVT 后拖拉机各参数特性曲线。

图 7 东方红 1302R 拖拉机理论牵引特性曲线

Fig. 7 Theoretical tractive characteristic curves of Dongfanghong 1302R tractor

是原有级传动各相应曲线的包络线,在任何牵引力时,发动机都在接近于满负荷点工作,拖拉机生产率和燃油经济性较原拖拉机有所提高。

4 结束语

本研究在计算拖拉机驱动力时,考虑了传动系效率和驱动轮滑转率的影响,较真实地反映了拖拉机实际作业工况。根据发动机转速调节特性和拖拉机的参数,给出了在任何驱动力条件下拖拉机以最佳动力性和最佳经济性工况作业的目标速比。对装有 HMCVT 的拖拉机与原拖拉机的牵引性能分析比较表明,装有 HMCVT 的拖拉机在任何牵引力时,发动机都在接近于满负荷点工作,拖拉机的生产率和燃油经济性较原拖拉机有所提高。

参 考 文 献

- [1] 葛安林. 车辆自动变速理论与设计[M]. 北京:机械工业出版社,1993: 214~216
- [2] 方泳龙,王红岩,秦大同. 车辆无级变速传动系统匹配策略的仿真[J]. 农业机械学报,2000,31(4): 1~5
- [3] 张宝生,付铁军,周云山,等. 金属带式无级变速传动系统与发动机的匹配及其控制策略[J]. 吉林大学学报(工学版),2004,34(1): 65~70
- [4] 胡建军,秦大同,舒红. 金属带式无级变速传动系统速比匹配控制策略[J]. 重庆大学学报(自然科学版),2001,24(6): 12~17
- [5] Udaegawa T. Simulation approach to the effect of the ratio changing speed of a metal V-belt CVT on vehicle response[J]. Vehicle System Design, 1995, (6): 35~38
- [6] 王红岩. 金属带式无级变速传动系统分析、匹配与综合控制的研究[D]. 长春:吉林工业大学,1998
- [7] Zhang Mingzhu, Zhou Zhili, Xu Liyou, et al. Algorithm of the efficiency of continuously variable hydro-mechanical transmissions[C]. Proceedings of 7th Asia-Pacific Conference for Terramechanics of the ISTVS. Changchun: Jilin University Press, 2004: 493~501
- [8] 周志立,方在华,张文春. 拖拉机理论牵引特性的计算机辅助分析[J]. 洛阳工学院学报,1993,14(1): 1~6
- [9] 张明柱,周志立,徐立友,等. 农业拖拉机用多段液压机械无级变速器设计[J]. 农业工程学报,2003,19(6): 118~121