

电子控制金属带式无级变速器

王长周¹, 宋锦春¹, 郝彦军², 宋涛²

Electronically Controlled Metal V-Belt Type CVT

WANG Chang-zhou¹, SONG Jin-chun¹, HAO Yan-jun², SONG Tao²

(1. 东北大学 机械工程与自动化学院, 辽宁 沈阳 110004; 2. 上海宝钢工程技术公司 冶炼部, 上海 201900)

摘要:金属带式 CVT 是目前最具有发展前景的 CVT, 其控制方式有机液式和电液式两种。该文介绍了金属带式 CVT 的工作原理, 并针对实际应用过程中机液式无级变速器的缺点, 设计了电子控制金属带式无级变速器 (ECVT) 的电液比例液压系统, 建立了系统数学模型, 并在此模型的基础上, 进行了常规 PID 控制和模糊控制的仿真研究。仿真结果的表明, 模糊控制更能够保证无级变速器电液伺服系统具有很好的动态性能和系统精度; 电子控制方法可以使 CVT 在各种工作状态下保持最佳的传动比和圆滑的过渡。

关键词: CVT; 金属带; 电液比例系统; 模糊控制

中图分类号: TH137 文献标识码: B 文章编号: 1000-4858(2007)12-0055-03

前言

金属带式无级变速器 (CVT) 属于摩擦传动式, 是目前最具发展前景的 CVT。机液式无级变速器比传统的机械传动变速器有了很大的提高, 但在实际应用过程中由于受到机液系统的限制, 有传递功率不足、平滑性差及高自由度控制能力差等缺点。针对机液控制方式存在的问题和不足, 本文提出了电子控制无级变速器^[1,2]。

1 金属带式 CVT 的工作原理

金属带式 CVT 的工作原理如图 1 所示。发动机输出的动力经输入轴传到主动轮上, 主动轮锥盘通过与金属带的 V 型摩擦片的侧面接触产生的摩擦力向前推动摩擦片, 这样就使后一个摩擦片推压前一个摩擦片, 二者之间产生推压力。该推压力形成于接触弧的始端, 至终端逐渐增大, 且这种推力经金属带的摩擦片作用在从动轮上, 由摩擦片通过与从动轮锥盘的接触产生的摩擦力带动从动轮旋转, 这样就将动力传到了从动轴上。其传动的一个重要特征就是摩擦片的推挤作用。

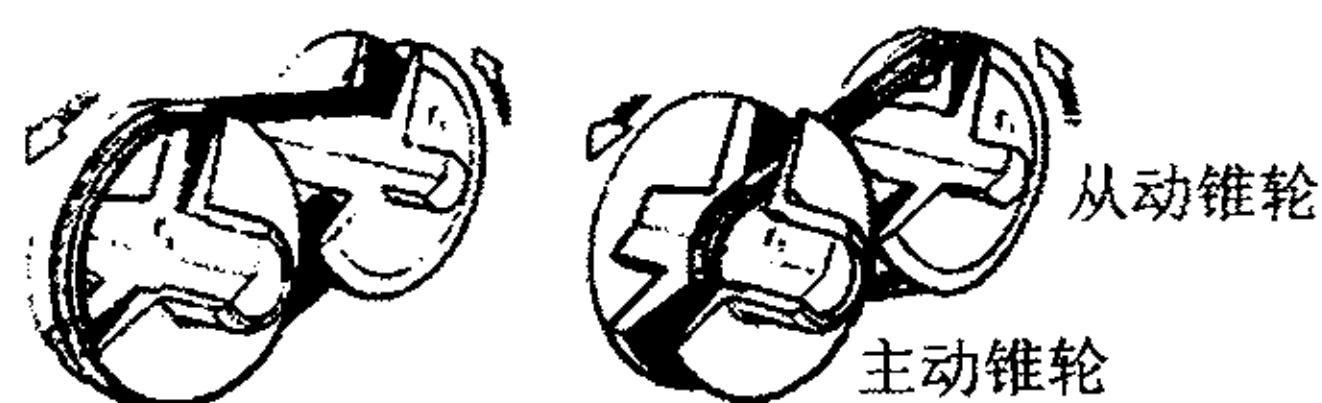


图 1 金属带式 CVT 原理图

金属带的主动轮、从动轮皆由可动锥盘部分和不可动锥盘部分构成, 它们的中心距是固定的。工作中, 当主、从动轮的可动锥盘作轴向移动时, 金属传动带的工作半径发生改变, 从而引起传动比的改变。可动锥盘的轴向移动量是根据发动机的使用要求进行调节, 通过液压控制系统分别调整主、从动轮上作用液压缸的压力来实现的。由于锥盘工作节圆半径可连续调节, 所以可实现传动比的无级变化, 即实现无级变速。

2 ECVT 控制系统的组成

电液比例控制系统中的电液比例阀是介于开关阀和伺服阀之间的一种液压元件。与电液伺服阀相比, 其优点是价廉、抗污染能力强; 与开关阀控制系统相比, 不但控制性能得以提高, 而且使系统更为简化^[3]。无级变速器液压控制系统采用电液比例控制可以很好地满足汽车经济性、方便性和舒适性的要求。

电子控制金属带式无级变速器的控制原理如图 2 所示。系统采用的电液比例控制系统为单压力液压回路, 即速比控制和夹紧力采用同一压力源。为了保证对速比的可控性, 则要求主动轮液压缸的面积必须大于被动轮液压缸的面积。本系统主要由两个比例压力

收稿日期: 2007-05-14

作者简介: 王长周 (1981—), 男, 河南商水人, 助教, 主要从事液压传动与控制方面的教学和科研工作。

阀、液压泵、主/被动轮液压缸和电子控制块组成。作为电子控制的输入信号,使用发动机转速传感器和转矩传感器,主动带轮的位移传感器,被动带轮的压力传感器,也可以加入主动带轮旋转传感器、被动带轮旋转传感器、车速传感器以作为后备信号。通过测量发动机的转速来调整速比,从而控制发动机转速满足要求。控制输出是控制变速控制、侧压控制的输出,用来控制系统所需的压力和流量。

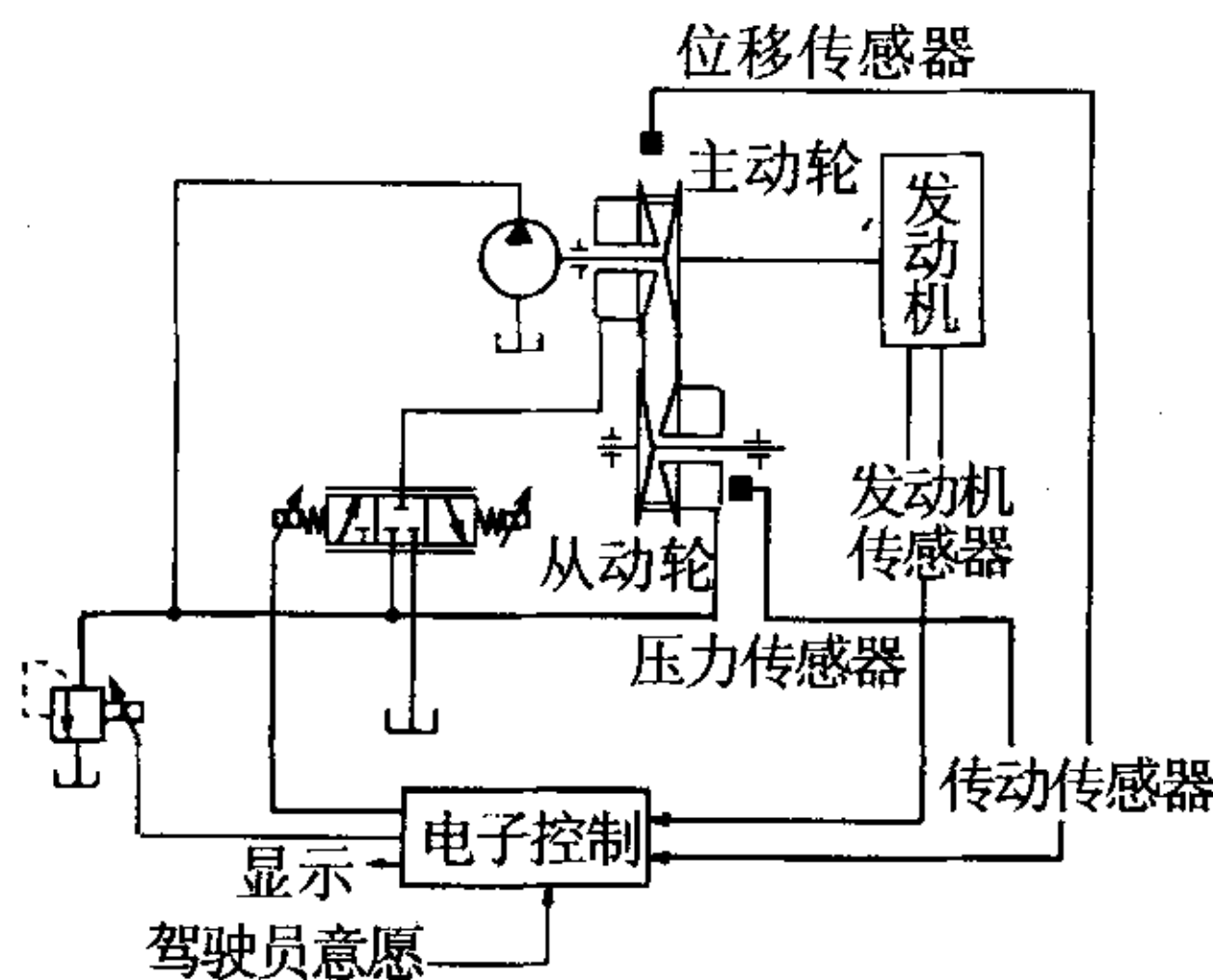


图2 ECVT的控制原理图

3 系统数学模型

无级变速器系统模型主要包含阻力模型和液压控制系统模型。以阻力模型的输出作为控制目标,通过液压系统的模糊控制或PID控制策略控制液压系统的位移,从而达到控制速比的目的,使发动机的转速稳定在一个速度范围之内。

简化后的液压系统传递函数^[4]见图3a。

线性化后的阻力数学模型为:

$$LF = -5.9501 - 2.6772x_1 + 2lgn$$

式中 $LF = \lg F_1$; $x_1 = \lg(R_{从max} - 0.5x_p / \tan\alpha)$ 。

则系统总的传递函数框图见图3b。

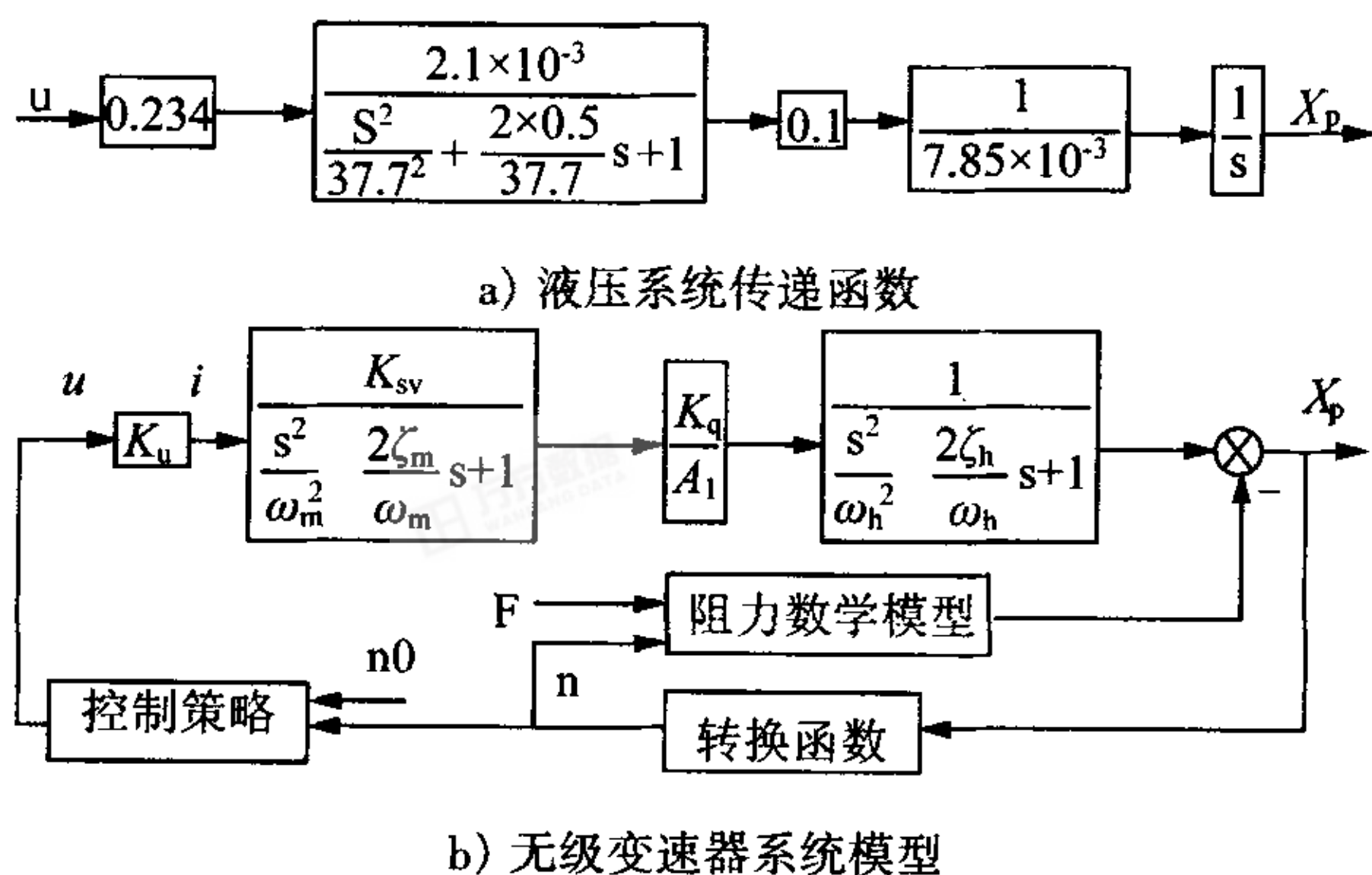


图3 系统数学模型

行驶阻力发生变化时的系统动态响应。假定初始时刻汽车在经济转速范围内工作。当汽车行驶阻力减小时,在发动机油门不变的情况下,发动机转速先随阻力的减小而增大,之后,由于速比发生变化,发动机转速随速比减小而减小为原值或原值附近的某一数值;相反,当汽车行使阻力增大时,在发动机油门不变的情况下,发动机转速先随阻力增大而减小,之后,由于速比发生变化,发动机转速随速比增大而增大为原值或原值附近的某一数值。为了体现汽车在整个行驶过程中的各种变化,仿真输入信号设计为梯形波信号。水平表示阻力均匀,斜坡表示阻力的变化。梯形波信号如图4所示。

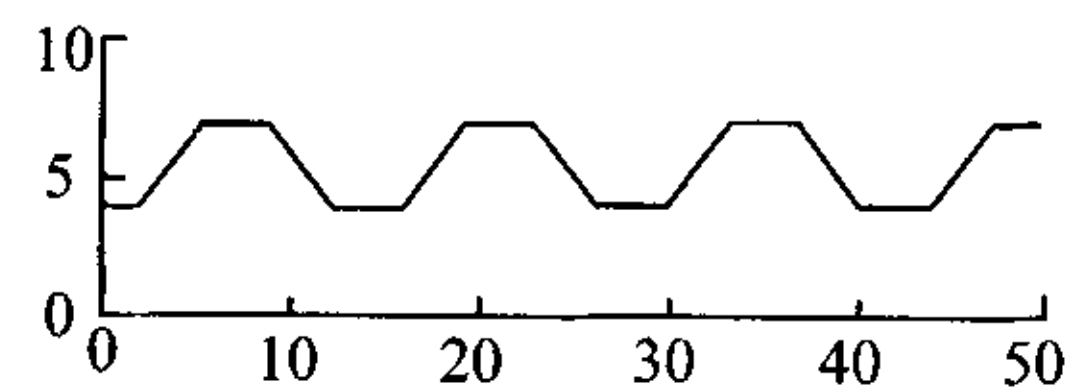


图4 梯形波输入信号

4.2 液压系统仿真研究

无级变速器系统具有本质非线性。随着液压缸活塞杆运动方向的改变,系统的开环增益发生变化。同时液压缸的外负载变化较大,因而系统一些参数变化较大。利用常规PID控制器很难保证系统一直具有很好的动态性能和系统精度。模糊控制基本不依赖于系统的数学模型,它具有很强的自调节能力,能够不断地在线调整系统参数,从而使得系统的性能指标达到最佳^[5]。

根据图3b所建立的无级变速器系统数学模型框图可建立起如图5所示的系统仿真模型^[6]。

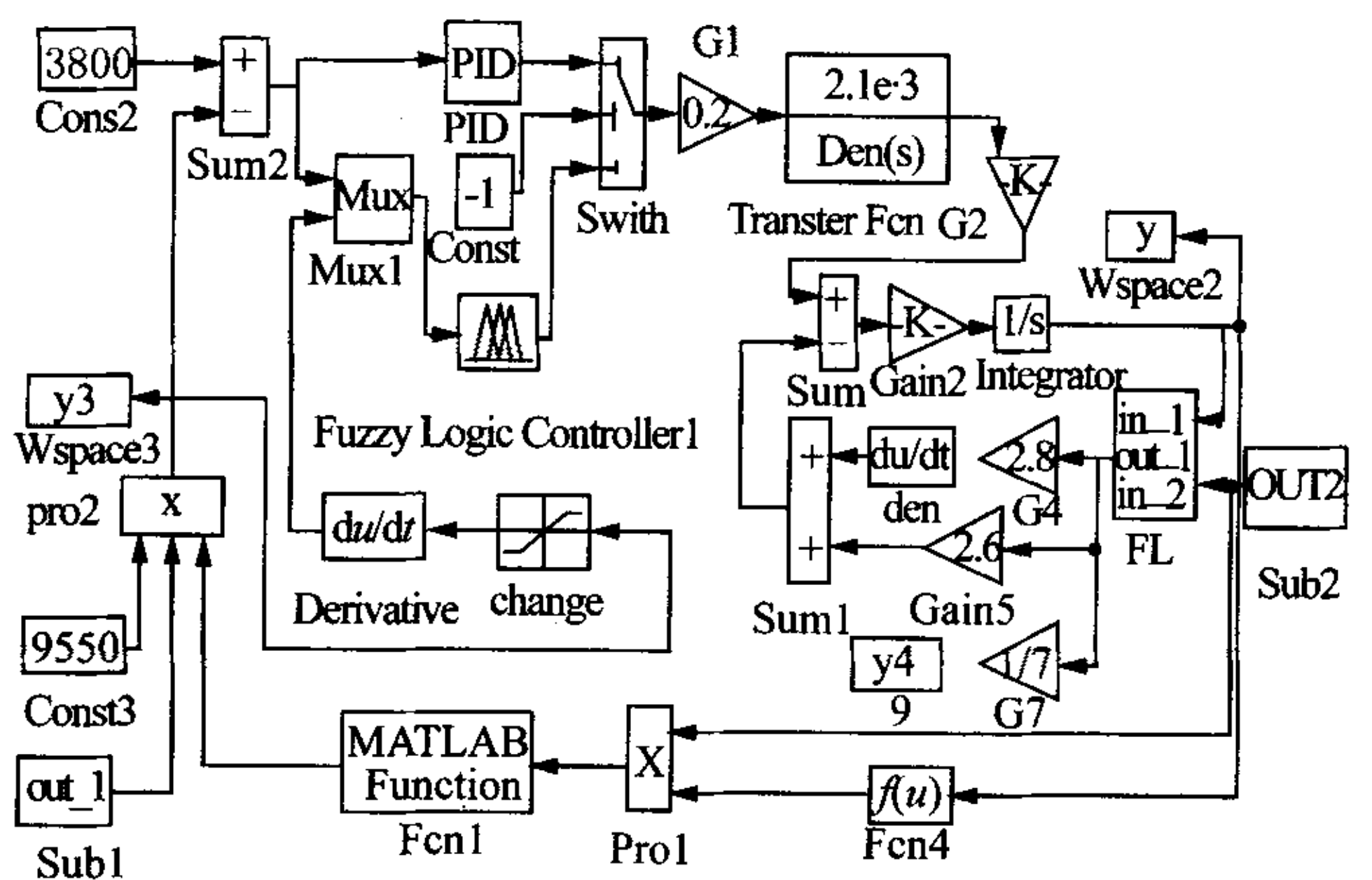


图5 液压控制系统仿真框图

4 仿真研究

4.1 输入信号的确定和实现

本文研究汽车在经济转速范围内稳定工作,汽车

仿真框图中 sub1 模块和 sub2 模块为系统的原始输入,其中 sub2 模块为发动机转矩输入信号模块,

sub1 模块为发动机功率输入信号模块。

在以下几种不同条件下, sub1 和 sub2 模块所代表的具体内容各不相同:

(1) 开始仿真阶段, 为了认识所建模型的效果, sub1 和 sub2 模块中放置设计好的具体数值来进行仿真, 此时 sub1 为一常数值 150 Nm, sub2 为一阶跃函数, 初始值为零, 终止值为 60 kW。这种情况下的仿真结果见图 6。

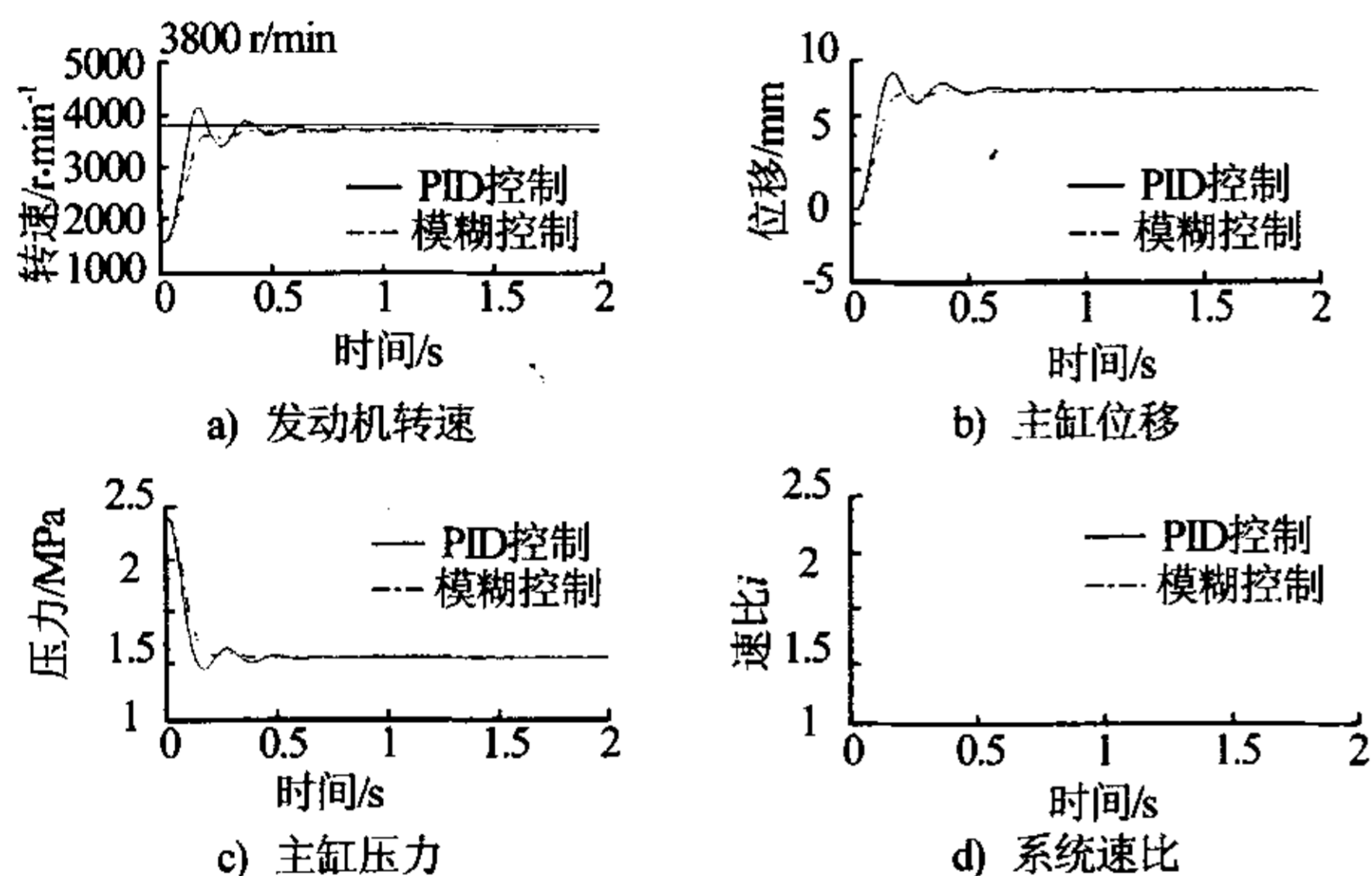


图 6 仿真曲线

由上面的仿真结果可以看出, 在路面阻力不变的情况下, 油门开度的变化即发动机功率的变化可以使发动机转速的变化在 0.7 s 的时间内稳定到预定发动机转速值的有效范围内。采用模糊控制策略的仿真效果比采用 PID 控制策略的仿真效果要好得多, 在相同条件下, 采用模糊控制策略使发动机转速稳定到预定值比 PID 控制策略所需时间短且超调量小, 但误差较大。系统对误差的要求不是第一位的, 因此采用模糊控制策略的性能要好一些。

(2) 其他条件不变, 行驶阻力发生变化, 发动机转矩相应地发生变化, 假设此时发动机功率不变, sub2 模块仍为一常数值, 而 sub1 模块为梯形输入信号, 此时的仿真结果如图 7a 所示。

由仿真结果可以看出, 虽然发动机转速变化很大, 即路面阻力变化很大, 但发动机转速还保持在给定值的误差范围内, 并且随着发动机转矩的变化, 转速也有一定的变化。随着转矩的增加, 发动机转速减小, 反之亦然。

(3) 其他条件不变, 发动机功率发生变化。由于行驶阻力没有发生变化, 即转矩不变, 设 sub1 模块为一常数值, 而 sub2 模块为一梯形输入信号, 其仿真结果如图 7b 所示。

由以上仿真结果可以看出, 虽然发动机功率变化很大, 即油门开度变化很大, 但发动机转速还保持在给定值的误差范围内, 并且随着油门开度的变化, 转速也有一定的变化。随着功率的增加, 发动机转速增加, 反之亦然。

(4) 其他条件不变, 发动机功率发生变化, 行驶阻力也发生变化。此时 sub1 和 sub2 模块都为梯形输入信号, 其仿真结果如图 7c 所示。

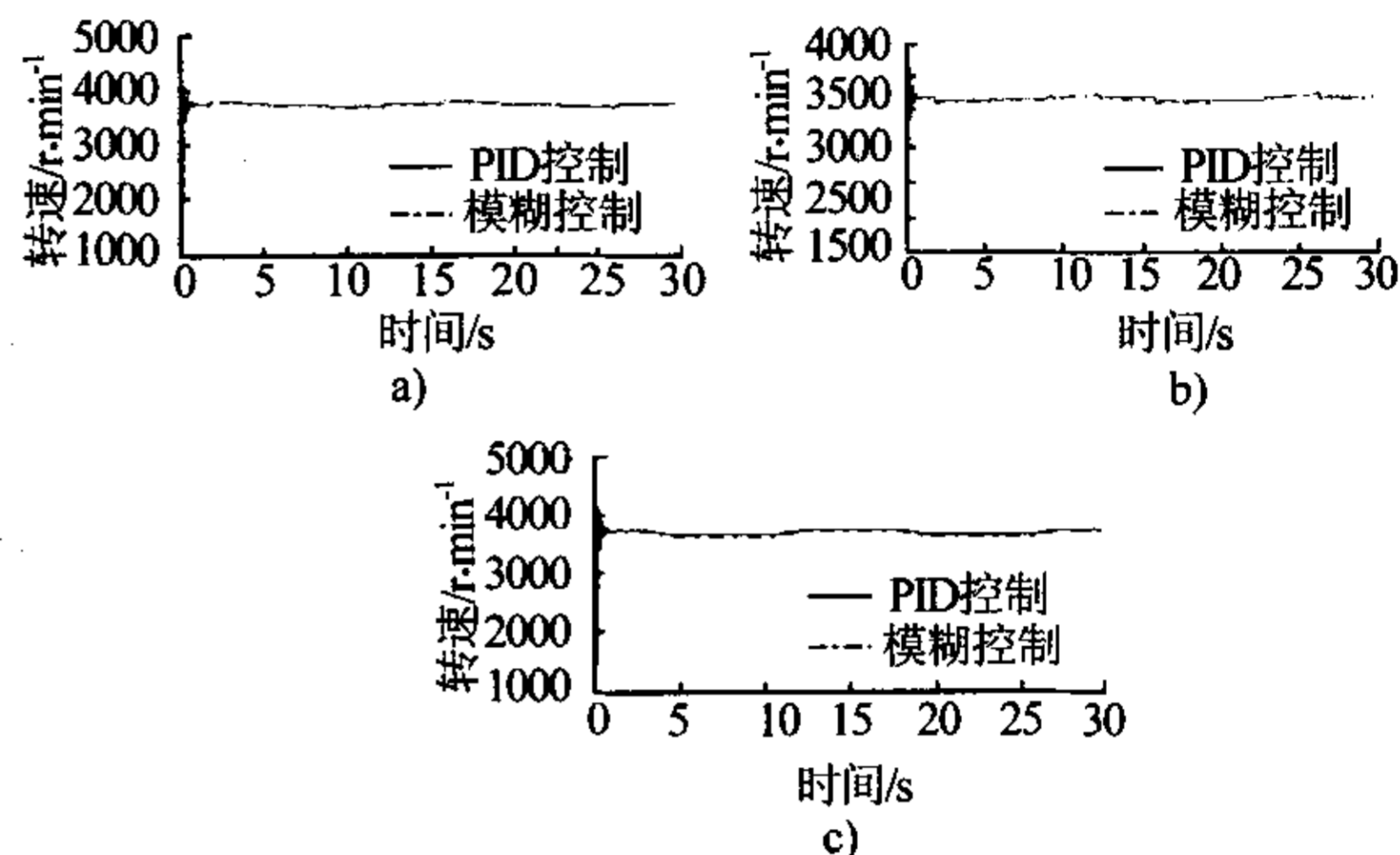


图 7 转速变化曲线图

由以上仿真结果可以看出, 发动机转速和功率同时变化, 发动机转速还保持在给定值的误差范围内, 并且随着油门开度和路面阻力的变化, 转速也有一定的变化。

5 结论

电子控制式无级变速器液压控制系统能达到预定的控制要求, 使汽车无级地实现速比变化; 采用模糊控制策略在响应速度和超调量两个方面比采用 PID 控制策略要好。电子控制机构可以使 CVT 在各种工作状态下保持最佳的传动比和圆滑的过渡, 使汽车始终在经济转速内运行。

参考文献:

- [1] Yasuhito Sakai. The "ECVT" electro continuously variable transmission[J]. Society of Automotive Engineers, 880481(1988).
- [2] Hyunsoo KIM, Hanlis SONG, Talchol KIM, Jongjun KIM. 304 metal belt CVT and engine optimal operation by PWM electro-hydraulic control[J]. SAE, Tech. Paper series 9636501.
- [3] 李连升, 等. 液压伺服理论与实践[M]. 北京: 国防工业出版社, 1990.
- [4] 路雨祥, 等. 电液比例控制技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1987. 11.
- [5] 李友善, 等. 模糊控制理论及其在过程控制中的应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1993. 6.