

液压电梯控制系统的仿真与实验

张丽珍

(上海水产大学, 200090)

路甬祥

(中国科学院, 北京 100823)

摘要 由于液压电梯电液流量控制系统是一典型的非线性、变负载、变液容和变粘度的工程控制系统,它的性能直接影响到液压电梯系统的舒适性。为了研究电液流量控制系统的运行特性,本文建立了液压电梯系统的变参数数学模型,并转化为相应的计算机模型,对它的运行特性进行了仿真和实验研究,分析比较了在流量反馈和速度反馈两种控制方式下液压电梯系统的运行特性。

关键词 液压电梯,控制系统,运行特性,仿真

液压电梯在安装灵活性及舒适性等方面具有电动曳引式电梯无法比拟的优点,且随着电液比例技术的应用,液压电梯技术日益成熟,系列化产品门类更加齐全,市场逐年扩大[杨华勇等,1994]。液压电梯目前大部分采用电液比例控制系统,而电液比例系统是一非线性系统,又是一时变系统[史维祥等,1995],它的性能直接影响到电梯产品的质量和系统的舒适性等,为此有必要研究它的运行特性。由于液压电梯系统是一个十分复杂的系统,它的性能取决于多种因素,在设计和运行阶段用解析法来分析远远不能解决问题。而仿真在方案设计、参数选择和性能优化等方面都有独到的优势。在确定了液压系统的方案以后,仿真可对系统的动、静态特性进行预测。本文建立了电液控制系统及其电梯负载环节的数学模型,并在典型的液压电梯电液流量控制系统的数学模型的基础上进行计算机仿真,并分析了控制系统的性能特性,且进行实验验证,以便获得速度平稳、高响应、高精度及舒适的液压电梯控制系统。

1 液压电梯系统的数学模型

液压电梯控制系统的一个重要组成部分是专用流量—电反馈电液比例复合流量控制集成阀块,它由一个插装式电液比例三通流量阀和一个插装式电液比例二通流量阀复合而成,三通流量阀控制电梯的上升速度,二通阀控制下降速度。上升和下降过程控制方式相同,就是要控制电梯轿厢严格按给定的运行曲线运行。这里仅就上升过程进行讨论,图1为上升过程的工作原理图。

由图1可得到上升过程开环系统的数学模型。

1.1 比例阀的电压流量

比例电磁铁线圈的电压方程

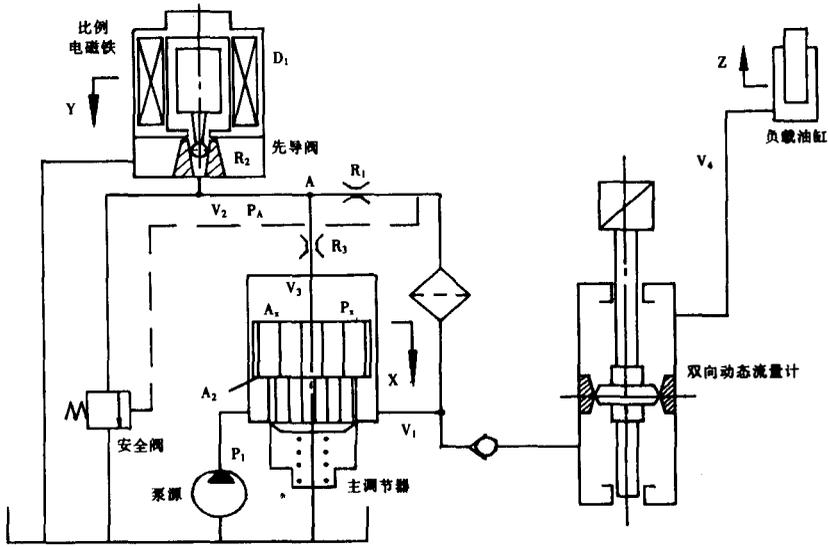


图1 轿厢上升时的工作原理图

Fig. 1 Working schematic diagram of the car during going up

$$u = R \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt} \tag{1}$$

比例电磁铁的力方程

$$F_{em} = K_{iF} \cdot i - K_{yF} \cdot Y \tag{2}$$

$$T_i \frac{dF_{em}}{dt} = \frac{K_{iF}}{R} \cdot u - F_{em} + K_{yF} (T_i \frac{dy}{dt} - Y) \tag{3}$$

先导阀芯力平衡方程

$$M_y \frac{d^2y}{dt^2} = F_{em} - P_A \cdot a - K_{flowy} \cdot P_A - D_y \frac{dy}{dt} \tag{4}$$

主阀芯力平衡方程

$$M_x \frac{d^2x}{dt^2} = P_x \cdot A_x - P_1 \cdot A_2 - C_{Fx} (X_0 + X) - K_{flowx} \cdot P_1 - D_x \frac{dx}{dt} \tag{5}$$

V₁腔的流量连续性方程

$$\frac{V_1}{EB} \frac{dP_1}{dt} = Q_P - G_1 \sqrt{P_1 - P_A} + A_2 \frac{dx}{dt} - B_x \cdot X \cdot \sqrt{P_1} - G_4 \cdot \sqrt{P_1 - P_A} \tag{6}$$

V₂腔的流量连续性方程

$$\frac{V_2}{EB} \frac{dP_A}{dt} = G_1 \sqrt{P_1 - P_A} - B_y \cdot y \cdot \sqrt{P_A} - G_3 \cdot \sqrt{P_A - P_x} \tag{7}$$

V₃腔的流量连续性方程

$$\frac{V_3}{EB} \frac{dP_x}{dt} = G_3 \sqrt{P_A - P_x} - A_x \cdot \frac{dX}{dt} \tag{8}$$

以上各式中，

a—先导阀芯压力作用面积；

A_x、A₂—主阀芯上、下压力作用面积；

B_x, B_y —主阀及先导阀口的液导;
 C_{F_x} —主阀弹簧的弹性系数;
 D_x, D_y —阻尼系数;
 EB —工作油液有效体积弹性模量;
 F_{em} —电磁铁的输出力;
 G_1, G_3, G_4 —分别为 R_1, R_3 和单向阀的液导;
 i —线圈电流;
 K_{flow_x}, K_{flow_y} —主阀和先导阀处的液动力系数;
 K_{iF}, K_{yF} —电磁铁的电流、位移力增益;

L —线圈电感;
 M_x, M_y —主阀芯、先导阀芯质量;
 P_1, P_A, P_x —各容腔压力;
 Q_p —油泵供油量;
 R —线圈电阻及放大器输出电阻之和;
 $T_i = \frac{L}{R}$;
 u —输入电压;
 V_1, V_2, V_3 —各容腔体积;
 X_0 —主阀弹簧预压缩量;
 X, Y —主阀芯位移、电磁铁的输出位移。

1.2 液压缸—负载动力方程

液压缸流量方程

$$\frac{V_4}{EB} \frac{dP_4}{dt} = G_4 \sqrt{P_1 - P_4} - A_h \cdot \frac{dZ_1}{dt} \quad (9)$$

式中, V_4 —液压缸等效容积(包括连接管道和进油腔的体积); P_4 —液压缸等效容腔的压力; A_h —液压缸有效作用面积; Z_1 —柱塞位移。

轿厢的受力方程

$$M_j \frac{d^2 Z}{dt^2} = 2T - M_j \cdot g - F_f - r \frac{dZ}{dt} \quad (10)$$

$$Z = 2Z_1 - \Delta L \quad (11)$$

$$T = K_2 \cdot \Delta L \quad (12)$$

式中, M_j —轿厢及载重等的等效质量; F_f —轿厢与导轨的摩擦力; T —钢丝绳中张力; r —粘性摩擦系数; K_2 —钢丝绳及绳头弹簧的等效刚度; ΔL —等效弹簧的拉伸长度。

液压缸柱塞的受力平衡方程

$$M_h \frac{d^2 Z_1}{dt^2} = P_4 \cdot A_h - M_h \cdot g - 4T - D_h \cdot \frac{dZ_1}{dt} - F_p - K_1 (Z_1 - Z_2) \quad (13)$$

式中, M_h —液压缸柱塞及滑轮的等效质量; F_p —柱塞与缸的摩擦力; K_1 —液压弹簧刚度; Z_2 —相应的流入 V_4 腔的流量换算成的位移。并且

$$\frac{dZ_2}{dt} = \frac{Q}{A_h} = \frac{G_4 \cdot \sqrt{P_1 - P_4}}{A_h} \quad (14)$$

根据数学模型, 利用变步长四阶龙格—库塔法编制相应的计算机仿真程序, 仿真模型中充分考虑了系统变参的特点。图2为开环系统的仿真曲线, 横坐标为时间, 纵坐标为轿厢的速度。

2 液压电梯的控制方式

由图2可看出, 轿厢的速度随着载荷和柱塞位置的变化而变化的幅值较大, 开环系统的抗干扰能力较差, 运行性能差, 一般达不到设计要求, 所以开环控制很少被采用, 一般都采用闭环控制。本文研究两种闭环形式。

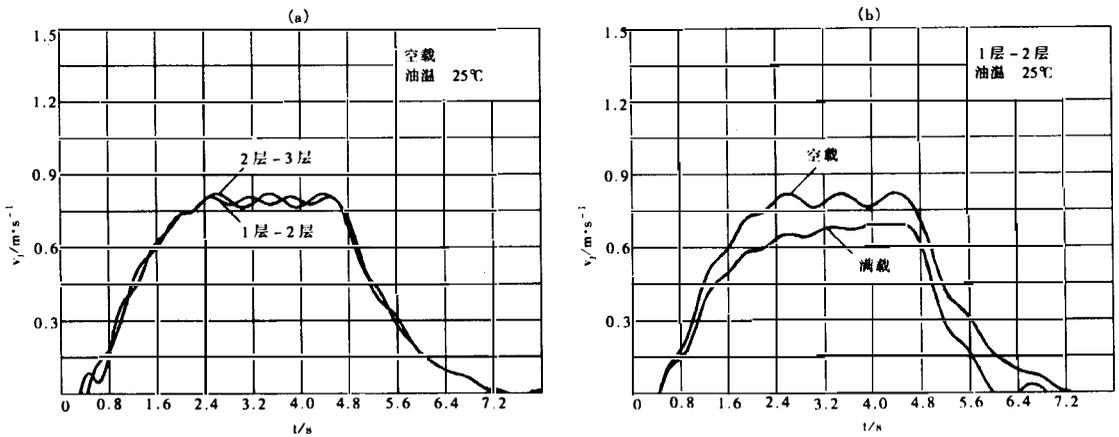


图2 开环系统的轿厢运行速度曲线

Fig. 2 Running velocity curves of the car under open loop control

(a) 柱塞在不同位置; (b) 不同载荷。

2.1 流量反馈控制

流量反馈控制是目前普遍采用的控制方式,其控制结构框图如图3所示。

采用流量反馈的方法,可以校正阀的性能,以减小摩擦和死区的影响,提高流量静特性和负载特性,改善动态响应。

2.2 速度反馈控制

流量反馈控制虽然采用了流量反馈局部闭环的形式,但轿厢运行速度仍不能排除象油温变化、负载变化等闭环外非线性因素的干扰。理想的方式是直接检测轿厢速度,将速度信号反馈到比例放大器上,调节阀开口的大小以便精确地控制油缸流量的变化,从而使轿厢速度有很好的跟随性,便电梯具有良好的舒适性。

以前由于技术所限,传感器落后,液压电梯系统只能采用流量小闭环。而随着速度传感器的发展,鉴于对目前液压电梯控制技术的现状和发展趋势,结合我国液压电梯的发展情况,使用速度传感器已成为可能,从而使大闭环得以实现。图4为液压电梯速度反馈控制系统的简化结构框图。

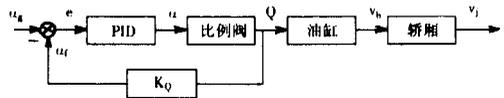


图3 流量反馈控制的结构框图

Fig. 3 Structural diagram of flow feedback control

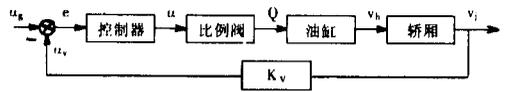


图4 速度闭环控制的结构框图

Fig. 4 Structural diagram of velocity feedback control

3 仿真及实验结果

本文的实验(张丽珍,1995)是在一台2:1侧置式的运行于一幢三层建筑内的液压客梯上进

(1)张丽珍,1995.液压电梯舒适性评价方法研究和液压电梯集成CAD软件的开发.博士学位论文,浙江大学。

行的。

3.1 流量反馈的结果

流量反馈控制的仿真运行曲线和测试曲线见图5, (a)、(b)为仿真结果, (c)为实测曲线。

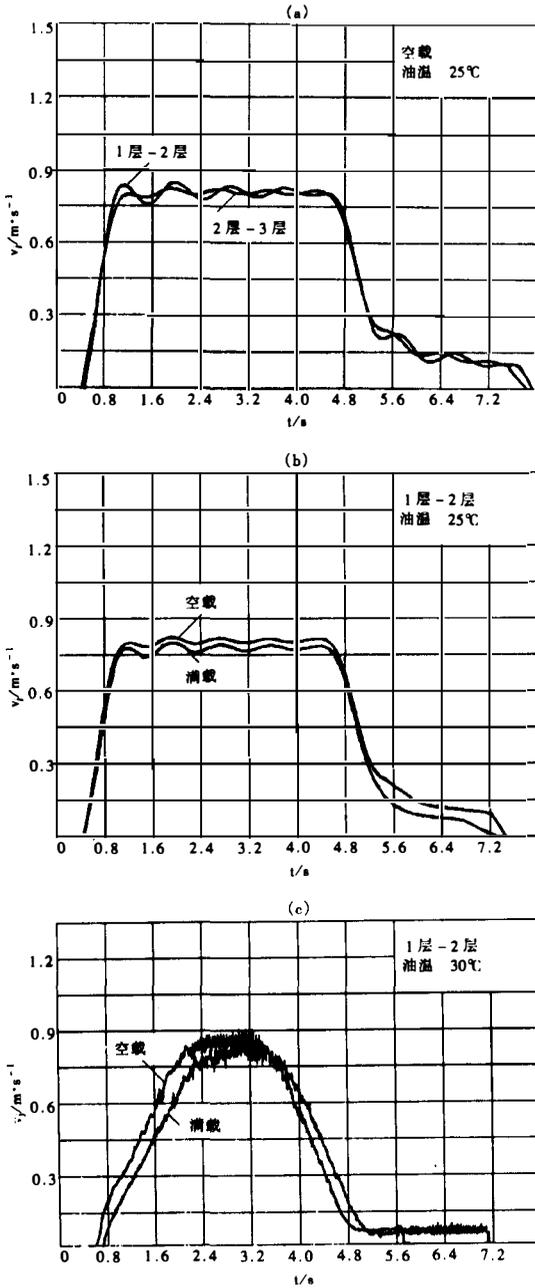


图5 流量反馈时轿厢的运行曲线

Fig. 5 Running velocity curves of the car under flow feedback control

(a)不同位置; (b)不同载荷; (c)实测曲线。

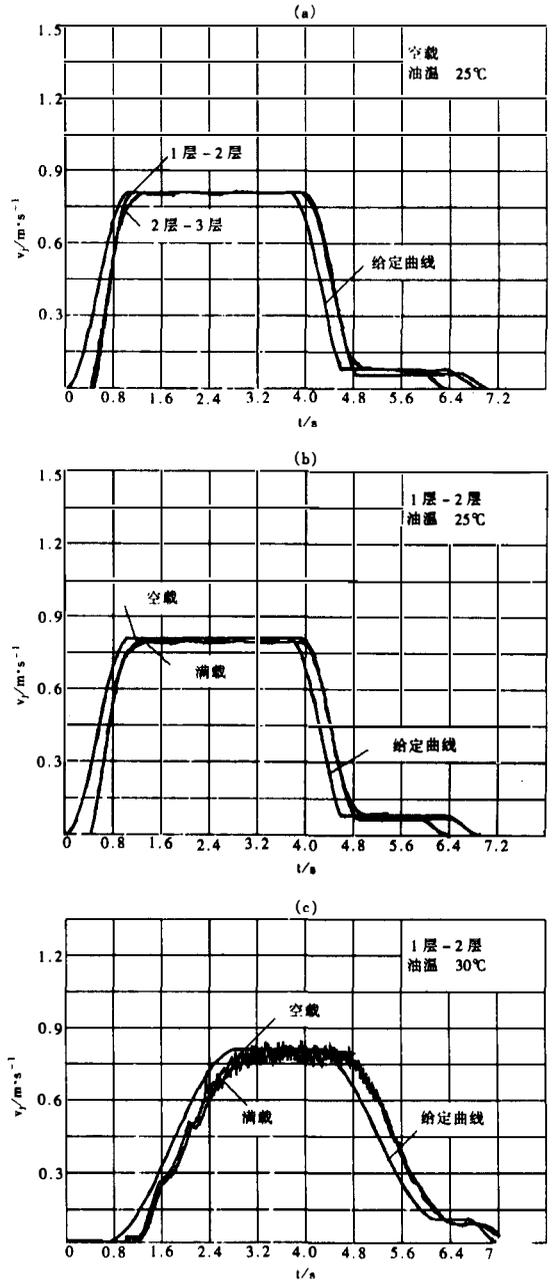


图6 速度反馈时轿厢的运行曲线

Fig. 6 Running velocity curves of the car under velocity feedback control

(a)不同位置; (b)不同载荷; (c)实测曲线。

比较图5(a)和图2(a)、图5(b)和图2(b)可发现,系统的运行性能较开环有了很大的提高,速度波动较小,跟随性能好。但轿厢的速度在外干扰的作用下,仍有一定的波动,且在不同负载下的速度不稳定。

图5(c)是实测的轿厢速度曲线,可以发现实测曲线与仿真曲线有很大的不同。这主要是因为流量反馈的实测曲线是在原有的 Beringer 公司生产的液压泵站上进行的,它已将流量传感器集成于流量阀中,因而它的具体参数,如给定运行曲线、PID(proportion-integral-differential)控制器的积分和微分时间常数等是未知的,它们的调定值与仿真中的参数值肯定有很大的差别,所以仿真曲线与实验曲线有很大的误差。另外,实验中的随机因素、外界干扰和油温等的变化在仿真中没有全部考虑,这也会带来误差。再有实测得到的数据没有经过任何处理,速度曲线上包含有噪声等干扰信号。尽管这样,从实测曲线中不难发现,在不同负载下,轿厢的速度不稳定,说明系统的抗干扰能力不理想,这与仿真结果是一致的。

3.2 速度反馈的结果

仿真和实验结果见图6。比较图6和图5可知,加上速度反馈后,系统的性能有了进一步的提高,轿厢速度具有很好的跟随性,运行较流量反馈时平稳,对干扰不敏感。在这种控制方式中,PID控制器是自己设计的,仿真和实验参数相同,因而它们的结果基本吻合。

对液压电梯来说,起动性能的好坏是衡量液压电梯性能的一个重要指标。在实验和仿真中发现,当机械系统静摩擦大,起动性能就无法调到最佳状态,存在死区(见图5和图6),起动时轿厢内乘客感到有微小的冲击感。为此,在起动过程中去掉积分作用,采用软驱动控制方法,即在电梯没有起动之前,用正弦曲线作为起动跟踪曲线,当轿厢开始动作时,再进入正常的运行控制。结果见图7,很明显死区有了改善,起动较平稳。并且在平层结束时,不立即关掉电信号,而是在关掉信号之前加一微小的正弦变化电信号,可使平层平稳,速度由平层速度缓慢变化到零,即所谓的软平层,从而提高舒适性程度。

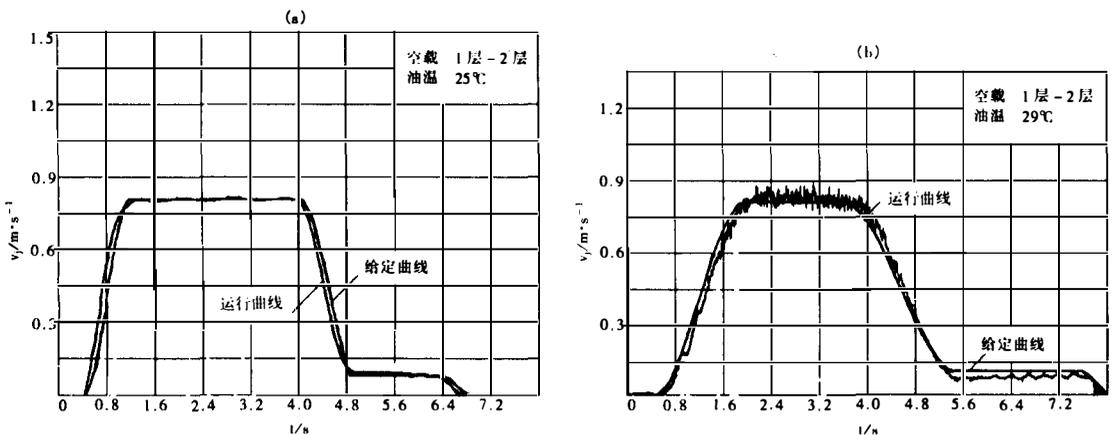


图7 带软起动的运行曲线

Fig. 7 Running velocity curves of the car with soft start

(a)仿真曲线; (b)实测曲线。

4 结论

(1) 仿真和实验结果基本吻合。在设计阶段,完全可以用仿真方法代替实验方法,且计算机仿真有较大的灵活性,花费少,并可缩短设计周期,节约费用。

(2) 流量反馈虽然能有效抑制阀环节的参数变化,但轿厢运行速度仍不能排除油缸及轿厢环节中一些闭环外因素的干扰。速度反馈可以较好地解决这一问题,可有效地抑制象油温变化、载荷变化等干扰对系统运行性能的影响,提高电梯轿厢的运行特性,相应地提高舒适性程度。由于在传统的流量反馈速度控制系统中,其流量传感器的性能对整个系统的控制性能影响较大,为了使流量传感器与流量阀在性能上保持好的匹配,常常将流量传感器集成于流量阀中成为专用的流量集成阀块,这种阀块结构复杂,制造困难,不利于国产化。而采用了速度反馈代替流量反馈后,系统可大大地减少流量阀等元件中非线性因素的影响,所以对流量阀的要求可适当放宽,简化其结构,易于加工,加速液压电梯中液压元件的国产化工作。另外,速度反馈控制中采用了电反馈、电补偿技术,这样很容易与现代控制策略(如变结构控制、模糊控制和神经网络控制等)相结合,以进一步改进液压电梯的静动态特性,从而提高乘坐舒适性。

参 考 文 献

- [1] 史维祥等,1995.电液伺服系统自适应控制的新发展.机床与液压,(1):12-15。
[2] 杨华勇等,1994.液压电梯的发展概况.中国机械工程,(2):65-67。

ON CONTROL SYSTEM FOR HYDRAULIC ELEVATOR WITH SIMULATION AND EXPERIMENT

Zhang Li-zhen

(Shanghai Fisheries University, 200090)

Lu Yong-xiang

(The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100823)

ABSTRACT The electric-hydraulic flow control system of hydraulic elevator is a typical nonlinear control system with changeable load, hydraulic capacity and viscosity. Its property affects the ride comfort of hydraulic elevator directly. In order to further study the running performance of electric-hydraulic flow control system, the mathematical models of hydraulic elevator with changeable parameters are set up and transformed into the corresponding computer models in this paper. The running performances of hydraulic elevator are studied through simulation and experiment, and are analyzed and compared under two control ways—flow feedback and velocity feedback.

KEYWORDS hydraulic elevator, control system, running performance, simulation