

卷染机模糊控制系统设计¹⁾

毛剑琴 茅洪波 张建刚

(北京航空航天大学第七研究室 北京 100083)

摘 要 采用模糊逻辑控制器设计控制规律,提出了对具有明显耦合作用的二输入/二输出系统的一种模糊控制器设计方案,即“在线规则自调整”和“主从交替”策略.在模糊控制系统中采用了变频调速器作为执行元件控制张力和线速.以卷染机为控制对象,用8098和两台变频调速器实现了整个模糊控制系统,样机运行的测试结果表明,该模糊控制系统设计是成功的.

关键词 二输入/二输出,模糊逻辑控制器,卷染机.

1 问题提出

模糊控制是近20年来形成的一个方兴未艾的新领域,对航空航天与工业过程控制中一些复杂问题的解决显示出重要作用.

卷染机控制的目的是在系统运行中,保持织物线速度和张力稳定在设定值.卷染机主传动一般采用直流电机或滑差电机及磁粉离合器或液压设备,分别驱动前后布辊来产生所需的线速度和张力.由于直流电机和滑差电机的可靠性较差,难以适应印染行业在高酸碱、高湿度的条件下工作的需要,国内的磁粉离合器或液压设备质量不过关,这些因素一直影响着卷染机系列产品的闭环控制质量.从国外的情况看,采用液压驱动方式较多,结构复杂,维护困难,且价格昂贵.为解决这一长期存在的技术难题,以满足国内市场及出口创汇的需求,开发研制了变频调速驱动卷染机的模糊控制系统.

由于该系统是一个二输入/二输出系统,且织物的卷径时刻在变化.同时由于织物上浸有染液,因此转动惯量不仅随织物卷径的变化而变化,而且难以计算.交流电机是非线性系统.线速度和张力间存在相互影响.因此系统是一个二输入/二输出、有耦合、时变的、非线性系统.应用常规的控制理论进行设计,难以获得满意的控制效果.又由于被控系统的特殊性,不允许有大的超调,增加了系统设计的难度.这一类复杂控制对象难以用精确的数学模型描述,属于 ill-defined 问题.智能控制方法是解决这一类问题的有效途径之一^[1].考虑到工程的实用性,决定采用模糊控制方法作为首选方案^[2-4].

2 控制对象的描述

2.1 物理模型

1)本文的工作属于国家自然科学基金重点项目.

收稿日期:1995-06-27

如上所述,本文首先对卷染机控制提出了一种新的原理,即基于变频调速技术的模糊控制原理.变频调速技术是一项近年来迅速发展的技术,它正成为工业控制系统技术革新的内容之一.

采用变频调速模糊控制原理的卷染机由以下五个部分组成:1)卷染机主体;2)主传动系统(变频调速器+异步电动机);3)传感器和测试仪表;4)模糊控制系统;5)供电系统.

卷染机主体的物理模型如图1所示.布辊1,2分别由两台电动机拖动,若布辊先顺时针方向转动,织物从布辊1上展开,最后卷取到布辊2上.在这一过程中,布辊1为开卷机,布辊2为卷取机.当织物全部卷到布辊2上时,两布辊改换方向运转.这时布辊1改为卷取机,布辊2变为开卷机.织物由布辊2卷曲到布辊1上.如此往复.在此过程中卷取机布辊直径越来越大,转速越来越慢,而开卷机则正好相反.

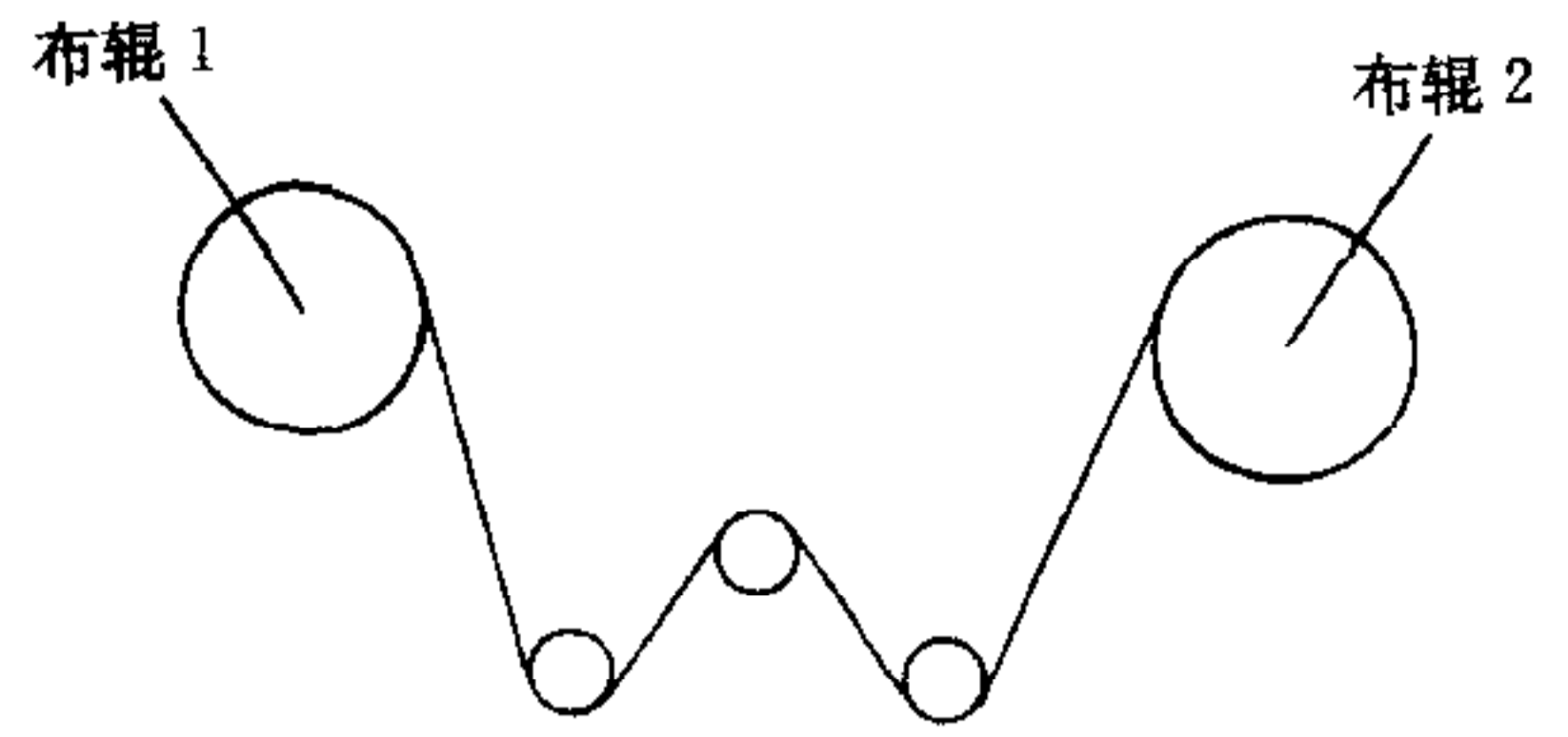


图1 卷染机主体物理模型图

对于交流电机,一般有以下式成立:

$$T - T_f = J \frac{d\omega}{dt} \tag{1}$$

T 为电机的电磁转矩, $T_f \approx D\omega$ 为阻尼转矩, J 为折算到电机轴上的转动惯量. 因此可以建立起染机系统的动态方程

$$\begin{cases} T_1 - T_{f1} - F \cdot \frac{R_1}{K} = J_1 \frac{d\omega_1}{dt} + \omega_1 \frac{dJ_1}{dt}, \\ T_2 - T_{f2} - F \cdot \frac{R_2}{K} = J_2 \frac{d\omega_2}{dt} + \omega_2 \frac{dJ_2}{dt}. \end{cases} \tag{2}$$

T_1 为卷取电机电磁转矩, T_2 为卷放电机电磁转矩, F 为张力, K 为转速比. R_1, R_2 分别为布辊半径.

采用变频器后线速和张力与控制电压呈现出非线性及关联性,其数学表达相当复杂.由于卷径 R 出现在 J 中,且在整个卷染过程中是一个变量,难以精确地数学表达.因此该系统是一个二输入/二输出、时变的、非线性系统.

2.2 控制系统框图

该系统控制的目的是使织物在卷染的过程中,始终保持在设定的线速度和张力的允许误差范围内.其控制框图如图2所示.

模糊控制器应包括以下三个基本组成部分:

- 1) 精确量的模糊化,把语言变量的语言值化为某适当论域上的模糊子集;
- 2) 模糊控制算法的设计,通过一组模糊条件语句构成模糊控制规则,并计算模糊控制规则决定的模糊关系;
- 3) 输出信息的模糊判决,即模糊量的精确化.

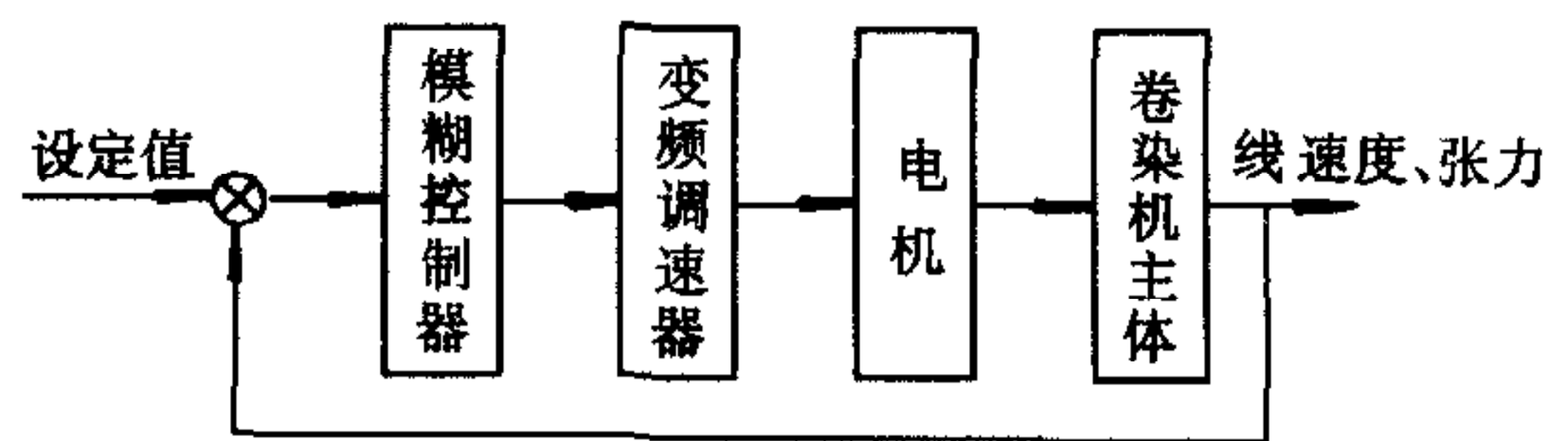


图2 卷染机控制框图

3 模糊控制系统设计

3.1 总体控制策略

模糊控制提供了一种将基于专家经验的语言化控制策略,转化为自动控制策略的机制.在目前的发展水平上,专家经验依然是模糊控制的核心.因此如何获得专家经验,并将其转化为自动控制策略,是模糊控制器设计的核心部分.

控制规则的获取,是通过手动操作两台变频器的转速,一台控制线速度,一台控制张力来实现的.

在总体控制策略中,采用了“主从交替”和“在线规则自调整”控制策略.

“主从交替”控制策略旨在解决两个控制变量的交互作用.“在线规则自调整”策略旨在针对不同的工作区间,采用不同的控制律以优化控制品质.

3.2 “主从交替”逐次逼近控制策略

多变量模糊控制的复杂性之一,在于其隶属度函数描述的复杂性.至今未有完整的理论依据.卷染机控制系统中两个控制量之间的交互作用是不可忽略的.故这一二输入/二输出的系统不能近似为两个单入/单出系统来设计.然而,分析表明,两个控制变量之间的相互影响又是不对称的,即线速度对张力的作用远大于张力对线速度的影响.具体地,由于力与速度的变化率有关系,所以张力对速度有影响,但在张力没有引起变频器过流时,张力对速度的影响很小,可以忽略.而速度对张力的影响则非常大,每当速度有较小的变化,都会引起张力的较大变化.

在设计中,以线速度为“主”控制变量,以张力为“从”控制变量,进行交替控制.在某一时间间隔内,若二者均远离设定值,则先对线速度进行控制,此时,忽略张力对线速度的影响.然后再对张力进行控制,同时将线速度的影响作为补偿;若二者均已达到设定值附近时,则在以后的运行过程中,为达到设定值附近的允许误差范围,二者可分别进行控制,忽略两个控制变量间的相互作用.又由于控制对象的特殊性,要求张力不允许有大的超调,故采取主从逐次逼近模糊控制策略.

在全部控制过程中,以线速度为“主”的作用明显的.

3.3 “在线规则自调整”的控制策略

由于卷染机的卷径是时变的,故整个运行过程都需要控制.系统可划分为两个工作区间:当系统输出与设定值差别大时,控制的目的是尽快地减少输出与设定值间的差距.这是第一个工作区间.这种情况往往发生在系统启动阶段;当系统输出一旦达到设定值附近的误差允许范围内,这时控制的目的是在运行过程中尽量保持输出在这一范围内.这是第二个工作区间.由于系统具有可变参数,故这一过程也是需要不断控制的.

需要说明的是,在实际控制规律设计中,并不是完全按误差的允许范围来划分的,而是根据主控变量线速度的输出值与设定值间的误差,将控制过程分为小偏差控制与大偏差控制.所谓小偏差控制,即误差在一定的范围之内,反之,则为大偏差控制.“小偏差” E_m 阈值是根据操作员的经验和现场调试确定的.适当的阈值,将能达到既保证控制质量,又节约能源的作用.

当系统处于不同的工作区间时,规则可自行调整,选择相应的控制规则.因此,我们称

之为在线规则自调整模糊控制. 所采用的模糊控制机制如表1所示:

表1 规则自调整模糊控制律

	速度控制	张力控制
大偏差控制	开关控制	带补偿器模糊 bang-bang 控制
小偏差控制	模糊 bang-bang 控制	基本模糊控制

为了尽快使卷染速度达到设定值, 对于线速度采用了开关式双模控制的策略. 开关式双模控制策略是: 当 $\|e_v\| \geq E_m$, 控制量取有非灵敏区的开关控制; 当 $\|e_v\| < E_m$ 时, 采用模糊 bang-bang 控制, 提高系统的阻尼程度, 使其响应具有小超调, 甚至无超调, 其结构图如图3所示.

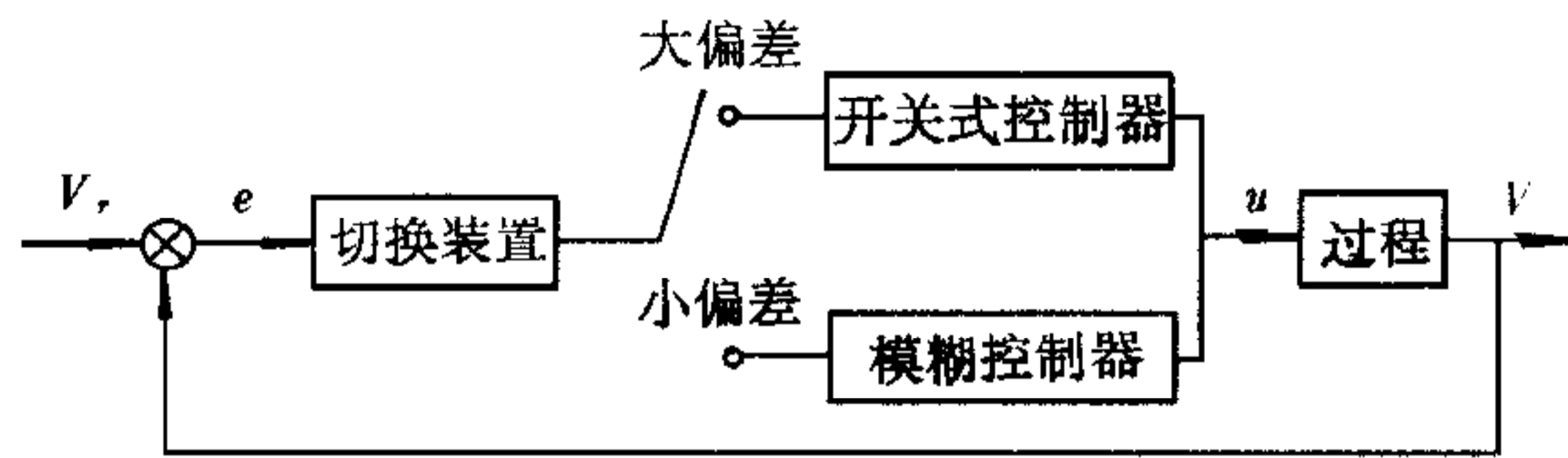
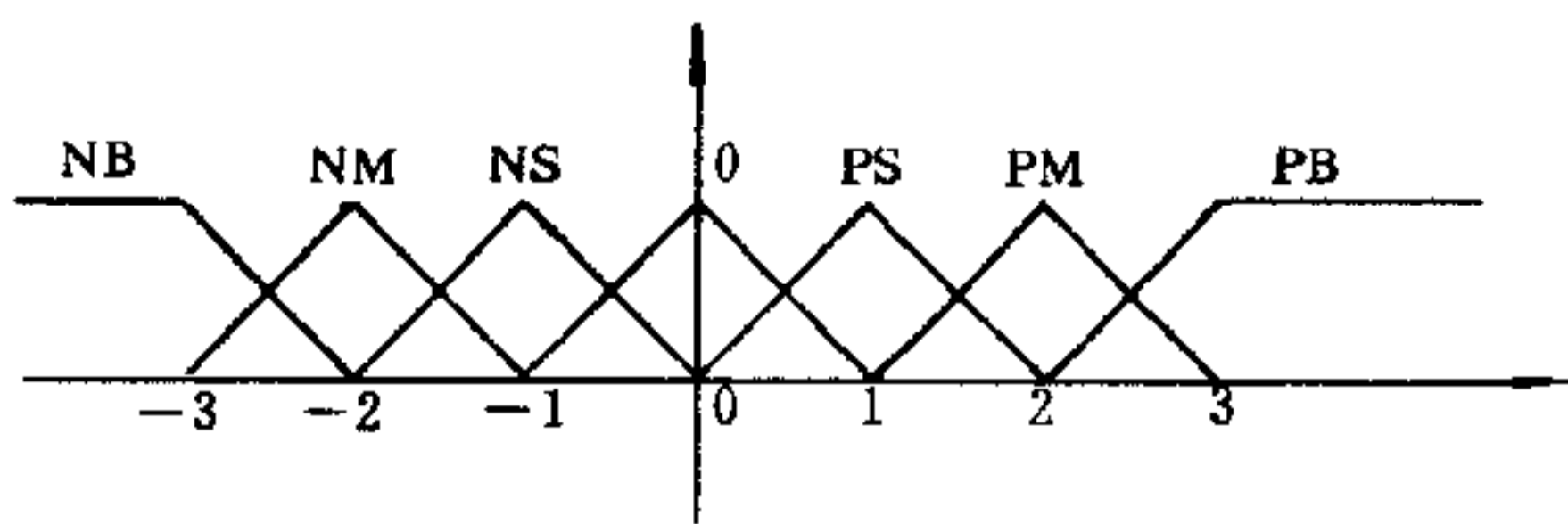


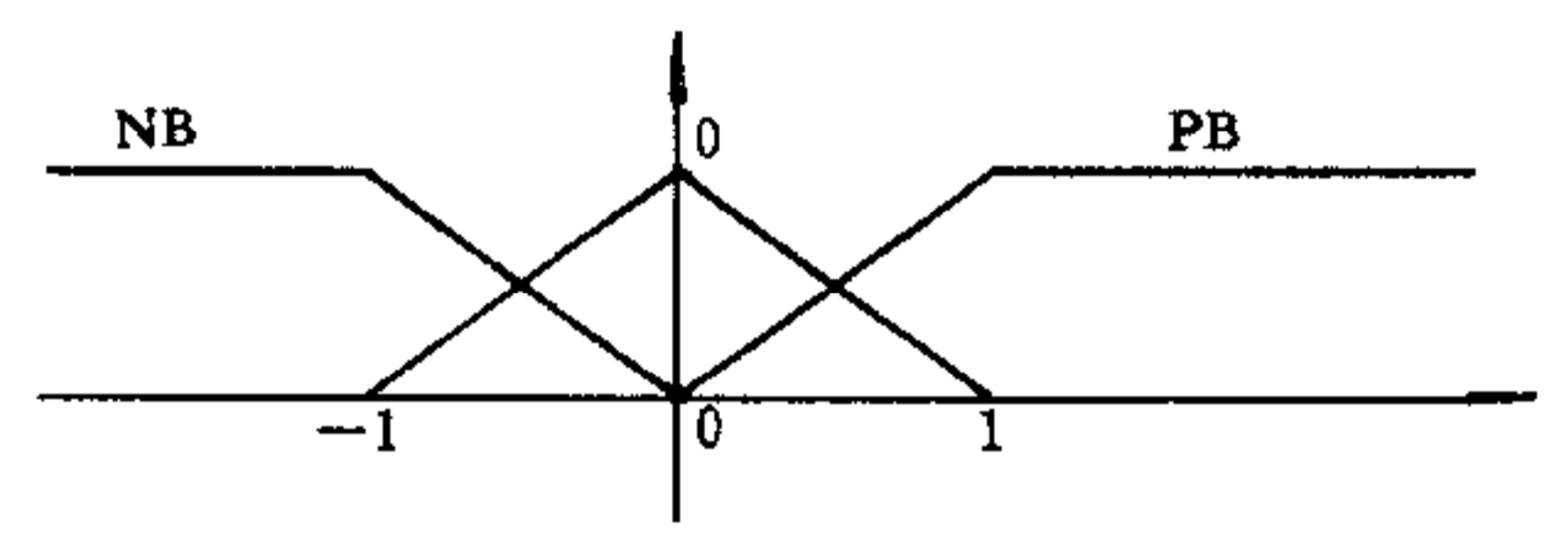
图3 速度双模控制框图

张力在大偏差控制中采用了有模糊补偿的模糊 bang-bang 控制器. 所谓模糊补偿, 是指其补偿值是线速度模糊集合的函数.

在小偏差控制中, 采用了基本模糊器结构. 其误差的隶属度函数及误差变化的隶属度函数见图4, 其控制规则见表2.



(a) 张力小偏差控制误差隶属度函数



(b) 张力小偏差控制误差变化隶属度函数

图4

表2 小偏差张力控制规则表

	NB	NM	NS	0	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NS	0	PS	PS
0	NB	NM	NS	0	PS	PM	PB
PB	NS	NS	0	PS	PM	PB	PB

应说明, 模糊控制中隶属度与控制规律的确定是设计的关键之一. 这实质上是模糊辨识问题. 其中含有专家知识的结晶. 卷染机模糊控制隶属度函数及控制规律是经过数月的现场调试确定的.

4 运行结果与分析

用单片机8098实现了控制系统与整机一起进行现场调试。

系统是在最大卷径为1.0 m的条件下调试运行的,测试结果表明:张力在10—80 kg,速度在0.5—2.5 m/s的范围内,均能保持稳定,当张力设定值大于10 kg时,速度稳态误差绝对值为0.02 m/s,张力稳态误差绝对值在3 kg以内,完全满足性能要求;张力设定在10 kg时,速度出现波动,误差的绝对值为0.1 m/s,同时张力在0.8—20 kg范围内波动。造成这种原因的根源在于,张力检测辊和速度检测辊共享。当张力小于10 kg时,出现丢转现象,由此引起速度波动,导致张力波动。

从总的运行结果看,性能指标能满足要求,样机曾连续运行12小时,运行情况正常且稳定,没有发生一次不正常运行情况。部分测试结果见图5。

5 结语

从样机的运行数据及运行状况看,速度与张力可调范围较宽,可染织物容量大,运行稳定,且在低速时电机没有发热现象,适合用户连续作业的要求,无论在技术水平、性能指标,还是运行的可靠性方面均能满足生产要求。采用了模糊控制技术后,系统易于调整,降低了成本,提高了可靠性,简化了设计结构;采用了交流变频调速技术后提高了系统的可靠性,在调速性能上,也获得了近似直流电机驱动的效果。由于不需要冷却或液压装置,简化了机械结构,节省了能源。

卷染机是一典型的可逆卷绕过程,在造纸、轧钢等行业均有类似过程的控制问题,卷染机模糊控制系统的试验成功,为其它行业的过程控制提供了很好的借鉴。

参 考 文 献

- [1] 高为炳,霍伟,控制理论的发展与现状——兼论复杂系统的智能控制. 控制理论与应用,1994,11(1):99—102.
- [2] Chuen Chien, Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller-part I, fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller-part II. *Transactions of Man, and Cybernetics*, 1990, 20(2) MARCH/APPRY. 404—435.
- [3] 陈理君等,微机模糊控制. 武汉:武汉工业大学出版,1992.
- [4] Gupta M M, Kiszka *et al.*, Mutvariable structure of fuzzy control system, *IEEE on SMC*. 1986, 16(5):638—655.

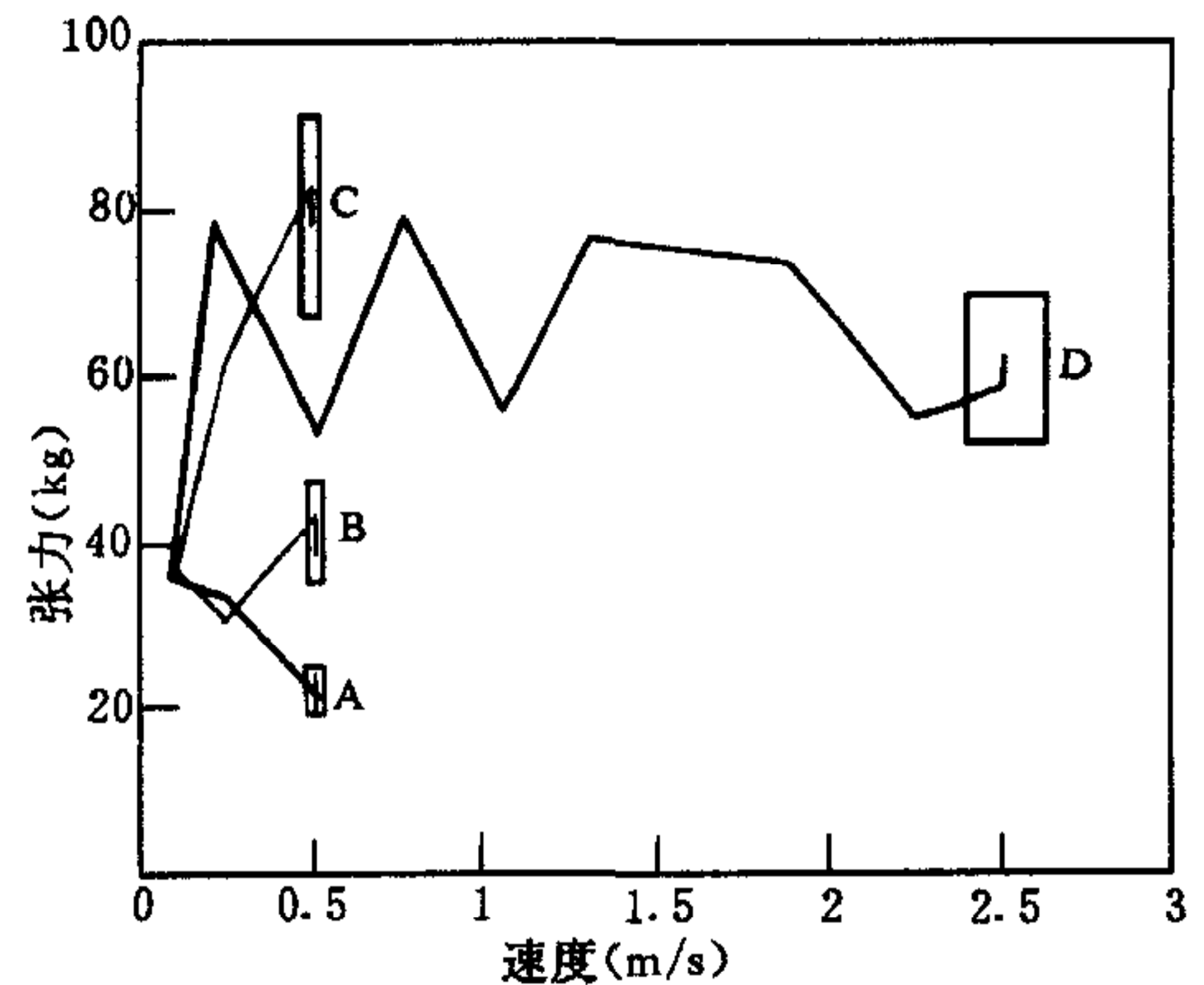


图5 张力与速度的设定值为:
A(20,0.5),B(40,0.5),C(80,0.5),D(60,2.5).

DESIGN A FUZZY LOGIC CONTROL SYSTEM FOR DYEING JIG

MAO JIANQIN MAO HONGBO ZHANG JIANGANG

(School of Astronautics, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083)

Abstract A fuzzy logic controller (FLC) of dyeing jig is developed in this paper. The plant is a multi-inputs/multi-outputs nonlinear system with time varying parameters. To deal with the coupling interactions between two control variables, the “principal-subordinate alternate” control strategy is proposed. Considering the nonlinearity and time varying parameters, the “on-line self tuning rules” are employed in the FLC control algorithm. Instead of hydraulic pressure control, the technique of frequency conversion governor (FCG) is applied. The hardware implement of two-input /two-outputs FLC is described and the real-time operating results of dyeing jig are given.

Key words Fuzzy logic controller, MIMO plant, dyeing jig, principal-subordinate alternative control strategy, on-line self-tuning rules.

毛剑琴 1964年毕业于北京大学数学力学系. 1982年获工学硕士学位, 1985年获工学博士学位. 现任北京航空航天大学第七研究室教授、博士生导师、中国自动化学会理事、IEEE 控制系统学会北京分会副主席. 主要研究领域有多变量控制理论及应用、智能控制、鲁棒控制、智能化辨识、控制系统的计算机辅助设计等. 在国内外发表论文50多篇.

茅洪波 1989年毕业于北京航空航天大学自动控制系. 1995年获北京航空航天大学工学硕士学位. 现在华北电力学院华沃公司从事技术开发工作. 主要研究领域为电力系统中的自动控制.

张建刚 1993年毕业于北京航空航天大学自动控制系, 现为北京航空航天大学博士生. 主要研究领域为控制理论与应用.