

陶瓷学院科技艺术学院

本科生毕业设计（论文）

题 目 汽轮机润滑油温模糊调节
 系统的仿真研究

院 系： 工 程 系

专 业： 自 动 化

姓 名： 陈 忱

学 号： 201030455144

指导教师： 吴 德 道

摘 要

汽轮机在工作时，如果没有润滑油和顶轴油的作用，那么高速旋转的转子和轴承之间将会产生非常大的摩擦力，这种摩擦作用所产生的巨大热量将会烧毁轴承瓦片，造成重大事故。随着汽轮机转子的高速旋转，润滑油温度将会不断上升，如果不及时给润滑油降温，那么温度高达一定程度的润滑油照样会烧毁轴承瓦片。所以润滑油在汽轮机系统运行中起着举足轻重的作用。在目前的电站汽轮机系统中，通常是用循环水来冷却润滑油的，润滑油温度的调节主要靠人工不断地调整通过冷油器的循环水入口门开度来完成的。这不但影响调节精度，而且还容易引发事故。本文对汽轮机润滑油的实际工作流程和作用作了具体分析。由于汽轮机润滑油系统的真实数学模型具有参数不确定性、非线性等特点，而且这种模型很难建立，所以本文选择了模糊控制方案。在对模糊控制的基本原理和基本设计过程作深入分析的基础上，详细地设计了汽轮机润滑油温度的模糊控制算法。为了通过计算机数值仿真对本文所设计的模糊控制算法进行检验，本文又根据工程实际经验，建立了润滑油温度系统的非线性数学模型。本文的最后部分还用 MATLAB 程序进行了仿真，通过对仿真程序的调试，确定了相对最佳的设计参数，并且由此证明了模糊控制的可行性与有效性。

关键词： 汽轮机 数学模型 模糊控制 仿真

ABSTRACT

The steam turbine at work, without lubricating oil and the role of jack lubricating oil, then the high-speed rotation between the rotor and the bearings will have a very large friction, the friction generated by this great heat will burn bearing tile, resulting in major accidents. With high-speed rotating steam turbine rotor, lubricating oil temperature will rise, if no put the lubricating oil coolt in time, then the temperature up to a certain extent still could burn bearing tiles. Therefore, the operation of lubricating oil in the steam turbine system plays an important role. In the current power plant steam turbine system, usually to cool lubricating oil with circulating water, lubricating oil temperature is regulated manually adjusted continuously through the cycle of water lubricating oil cooler entrance door opening to complete. It would not only affect the regulation accuracy, but also easy to cause the accident. In this paper, I analyze the lube system concretely, and on the basis of the analyzing, I set up a basal frame of function model of the system. Because the function model has uncertain parameters and possesses large inertia, so I adopt fuzzy control to get over it. Also in this paper, I have shown the rationale and the course of design of fuzzy control. In the last section of this paper, a simulation by MATLAB is offered. By debugging the simulation program, the relatively optimal parameter is confirmed, and by this case, we can see that fuzzy control is not only feasible but also effective.

KEYWORDS: steam turbine mathematical model fuzzy control simulation

目 录

1 绪论	2
1.1 国内外温度控制系统发展概况	2
1.2 模糊控制的概述	4
1.3 论文的主要内容	6
2 汽轮机润滑油系统	7
2.1 汽轮机润滑油系统的组成	7
2.2 冷油器工作原理简介	7
2.3 采用模糊控制方法的必要性	9
2.4 本章小结	9
3 模糊控制理论与应用	10
3.1 传统控制和模糊控制的比较	10
3.2 模糊控制	10
3.3 模糊控制器的设计方法	13
3.4 本章小结	20
4 汽轮机润滑油模糊控制系统设计	21
4.1 建立汽轮机润滑油系统数学模型	21
4.2 设计模糊控制器	23
4.3 模糊化	24
4.4 润滑油温模糊控制器的仿真结果与分析	28
4.5 本章小结	31
5 结论	32
致谢	33
参考文献	34

1 绪论

汽轮机在工作时，如果没有润滑油和顶轴油的作用，那么高速旋转的转子和轴承之间将会产生非常大的摩擦力，这种摩擦作用所产生的巨大热量将会烧毁轴承瓦片，造成重大事故。所以润滑油在汽轮机系统运行中起着举足轻重的作用。随着汽轮机转子的高速旋转，润滑油温度将会不断上升，如果不及时给润滑油降温，那么温度高达一定程度的润滑油照样会烧毁轴承瓦片。

在电站汽轮机系统中，通常是用循环水来冷却润滑油的，润滑油温度的调节主要靠人工不断地调整通过冷油器的循环水入口门开度来完成的。将润滑油温度控制在一定的范围之内具有重要的意义，如果润滑油温太高，将会引起剧烈的轴振甚至烧瓦，如果润滑油温太低，那么就会引起汽轮机的油膜振荡事故，影响汽轮机正常做功。

目前，国内绝大多数电站汽轮机的润滑油温调节都只是停留在人工调节的水平，这不但影响调节精度，而且还容易引发事故。润滑油温调节系统的精确建模十分困难，本课题旨在研究润滑油温模糊自动控制系统的设计与仿真，为电站自动化程度的进一步提高提供理论基础。近几年来，汽轮发电机组容量不断增大，蒸汽参数不断提高，国外先进技术的引进，机组的本体结构及技术性能较大的飞跃，这些都对油系统提出了新的要求。随着大容量的火电机组相继投入运行，对润滑油系统的要求也在不断提高，因为它直接关系到机组运行的平稳，可靠和安全。

1.1 国内外温度控制系统发展概况

1.1.1 国内温度控制系统发展概况

润滑油油温温度控制系统在国内各行各业的应用虽然已经十分广泛，但从国内生产的温度控制器来看，总体发展水平仍然不高，同国外的日本、美国、德国等先进国家相比，仍然有着较大的差距。目前，我国在这方面的总体技术水平还处于20世纪80年代中后期水平，主要以常规的PID控制器为主要成熟产品，只能适应一股温度系统控制，对于难于控制滞后、复杂、时变温度系统，并不适用。而适应于较高控制场合的智能化、自适应控制器，国内技术还不十分成熟，其中形成商品化并广泛应用的控制仪表也更为稀少。^[1]

目前，我国在温度等控制器与国外的差距主要表现在如下几个方面：

(1)我国国内大部分企业规模小、产品结构单一，工艺设备差。造成技术力量不集中，导致研发能力不强，制约技术发展。

(2)商品化产品以PID控制器为主，智能化仪表少，这方面同国外差距较大。目前，国内企业对复杂的及精度要求高的温度控制系统大多只能依靠进口温度控制器。

(3)温度控制用关键技术、相关算法及控制软件方面的研究较国外滞后。例如：在仪表控制参数的自整定方面，由于国外技术保密及我国开发工作的滞后，但还没有开发出性能可靠的自整定软件。有许多对象都具有非线性、时变性和大滞后性的特点，对于这样的对象的控制问题，控制参数大多靠人工经验及现场调试来确定。这些是控制理论中的难点，其中差距是我们必须努力克服的。

随着我国经济的发展，我国政府及企业对此都非常重视，对相关企业资源进行了重组，相继建立了一些国家、企业的研发中心，同时企业自身也越来越重视自身的发展，使我国汽油机油温控制系统得到迅速的发展。

1.1.2 国外温度控制系统发展概况

自70年代以来，由于工业过程控制的需要，特别是在微电子技术和计算机技术的迅猛发展以及自动控制理论和设计方法发展的推动下，国外温度控制系统发展迅速，并在智能化、自适应、参数自整定等方面取得显著成果。而选择模糊控制方案，针对汽轮机润滑油系统的真实数学模型具有参数不确定性、非线性等特点可更好的完成汽轮机润滑油系统的自动控制。^[2]他们主要具有如下的特点：

(1)能够适应于大惯性、大滞后等复杂温度控制系统的控制。

(2)能够适应于受控系统数学模型难以建立的温度控制系统的控制。

(3)能够适应于受控系统过程复杂、参数时变的温度控制系统的控制。

(4)这些温度控制系统普遍采用自适应控制、自校正控制、模糊控制、人工智能等理论及计算机技术，运用先进的算法，适应的范围广泛。

(5)这些温度控制系统具有参数自整定功能。借助计算机软件技术，具有对控制对象控制参数及特性进行自动整定的功能。有的还具有自学习功能，能根据历史经验及控制对象的变化情况，自动调整相关控制参数，以保证控制效果的最优化。

(6)温度控制系统具有控制精度高、抗干扰力强、鲁棒性好的特点。目前，国

外温度控制系统及仪表正朝着高精度、智能化、小型化等方面快速发展。^[3]

1.2 模糊控制的概述

1.2.1 模糊控制的概念

模糊控制是智能控制的一个重要分支，它不需要建立被控对象的数学模型，适合于对复杂系统如非线性，时变，滞后系统的控制，同时对被控制对象特性参数有较强的鲁棒性，控制效果好且所需设备简单。^[4]近年来，模糊控制方法在非线性和系统中得到了广泛的应用，并且成功地解决了许多复杂的工程问题。^[5]

模糊控制具有的突出特点：

(1) 模糊控制是一种基于规则的控制，它直接采用语言型控制规则，出发点是现场操作人员的控制经验或相关专家的知识，在设计中不需要建立被控对象的精确的数学模型，因而使得控制机理和策略易于接受与理解，设计简单，便于应用。

(2) 由工业过程的定性认识出发，比较容易建立语言控制规则，因而模糊控制对那些数学模型难以获取，动态特性不易掌握或变化非常显著的对象非常适用。

(3) 基于模型的控制算法及系统设计方法，由于出发点和性能指标的不同，容易导致较大差异；但一个系统语言控制规则却具有相对的独立性，利用这些控制规律间的模糊连接，容易找到折中的选择，使控制效果优于常规控制器。

(4) 模糊控制是基于启发性的知识及语言决策规则设计的，这有利于模拟人工控制的过程和方法，增强控制系统的适应能力，使之具有一定的智能水平。

(5) 模糊控制系统的鲁棒性强，干扰和参数变化对控制效果的影响被大大减弱，尤其适合于非线性、时变及纯滞后系统的控制^[6]。

1.2.2 模糊控制的发展概述

随着科学技术的发展，人们要处理的对象越来越复杂。其中，模糊性是复杂现象的一个突出表现。然而，人们在了解、掌握和处理模糊现象时，使用传统的数学工具会遇到实质性的困难。1965 年，控制理论专家扎德教授(L.A.Zadeh)首先提出了模糊集合的概念，使得用数学描述模糊现象成为可能。在 1973 年，他又提出用计算机进行模糊逻辑判断的方法。此后，模糊集合发展十分迅速，它渗透到许多领域，出现了一些十分引人注目的新兴交叉学科，模糊控制就是其中之

一。

模糊控制是以模糊集合论、模糊语言变量以及模糊逻辑推理为基础的计算机控制方法。它主要是模仿人的控制经验，而不依赖于控制对象的模型，实现了人的某些智慧，是一种典型的智能控制。同时提出了“隶属函数”这个概念来描述现实事物的模糊性程度，从而突破了古典集合理论中属于或不属于的绝对关系，它使自然语言作为算法语言直接进入计算机程序，使计算机具有处理模糊性事物的能力，使模糊控制得以实现。1965年，控制理论专家扎德教授 (L.A.Zadeh)在《Fuzzy Set》、《Fuzzy Algorithm》和《A Retionnale for Fuzzy Control》等著作中首先提出了模糊数学和模糊控制的概念，为处理模糊问题提供了数学工具。1974年，自动控制专家马丹尼(E.H.Mamdani)首先把模糊控制实际用于锅炉和蒸汽机的控制上，实用效果良好。此后 20 多年，模糊控制理论在化工、冶金、工业窑炉、水处理、机器人控制、工业过程、家用电器以及高技术领域内获得了广泛的应用，并取得了一系列的成功，显示了模糊控制巨大的应用潜力与优越性。如用模糊控制器来控制温度，其控制效果比人工控制好；英国教授拉特福德(Ruterford)和卡特(Carter)用模糊控制器对烧结工厂的原料混合渗透律进行了控制，它与传统的 PID 控制器的性能是相当的，但它对环境的变化具有较好的鲁棒性；1983年，日本学者将其应用于汽车速度的控制，并取得了成功；90 年代，日本推出大量的模糊控制家用电器产品，并且广泛地用于其它控制技术之中。

我国近年来也十分重视智能控制理论和应用的研究。1993，1997 年在北京，西安分别召开了“全球华人智能控制与智能化大会”。1995 年中国智能自动化学术会议暨智能化专业委员会成立大会在天津召开，并决定每年召开一次学术会议。应该指出，在模糊控制，仿人智能控制及可拓控制的研究方面，我国已经形成自己的特色，为发展完善和推动智能控制的研究起到了重要作用^[7]。

1.2.3 模糊控制器的设计过程

- 1 确定模糊控制器的模糊变量：输入变量为实际温度 T_r 与给定值 T 之间的误差 e 和误差变化 e_c ，输出变量 u 。
- 2 精确量的模糊化：选定论域，利用隶属度赋值表进行模糊化。
- 3 列模糊控制规则表。

4 建立模糊控制查询表。

1.3 论文的主要内容

论文根据课题要求，分章节的对汽轮机润滑油温度模糊调节系统进行了建模、设计模糊控制器以及应用 MATLAB 程序进行了仿真。

第二章主要介绍汽轮机润滑油系统及其工作原理，包括汽轮机润滑油系统的组成、冷油器的结构及工作原理以及选择模糊控制方法的必要性。

第三章主要介绍模糊控制理论与应用的基本内容，包括模糊数学、模糊控制的基本原理、模糊推理以及模糊控制器的设计步骤等。

第四章主要介绍汽轮机润滑油温模糊控制系统的数学模型的建立、模糊控制器的设计、仿真程序的编写和参数调整等。

论文的最后是课题的总结和结论。

2 汽轮机润滑油系统

2.1 汽轮机润滑油系统的组成

对于大多数汽轮发电机组而言，润滑油系统的总体结构相差不大。机组正常运行时，主轴带动的主油泵提供压力油，驱动注油器从润滑油箱吸油，以一定的压力和流量向轴承供油。图1为润滑油系统结构图。系统主要有主油泵、高压备用油泵、交流润滑油泵、直流润滑油泵、射油器、冷油器、去轴承、润油阀等组成。系统不仅为汽轮机和发电机各轴承和盘车装置提供润滑油，而且还为发电机密封油系统提供高压和低压密封油，同时还为危急遮断系统提供压力。

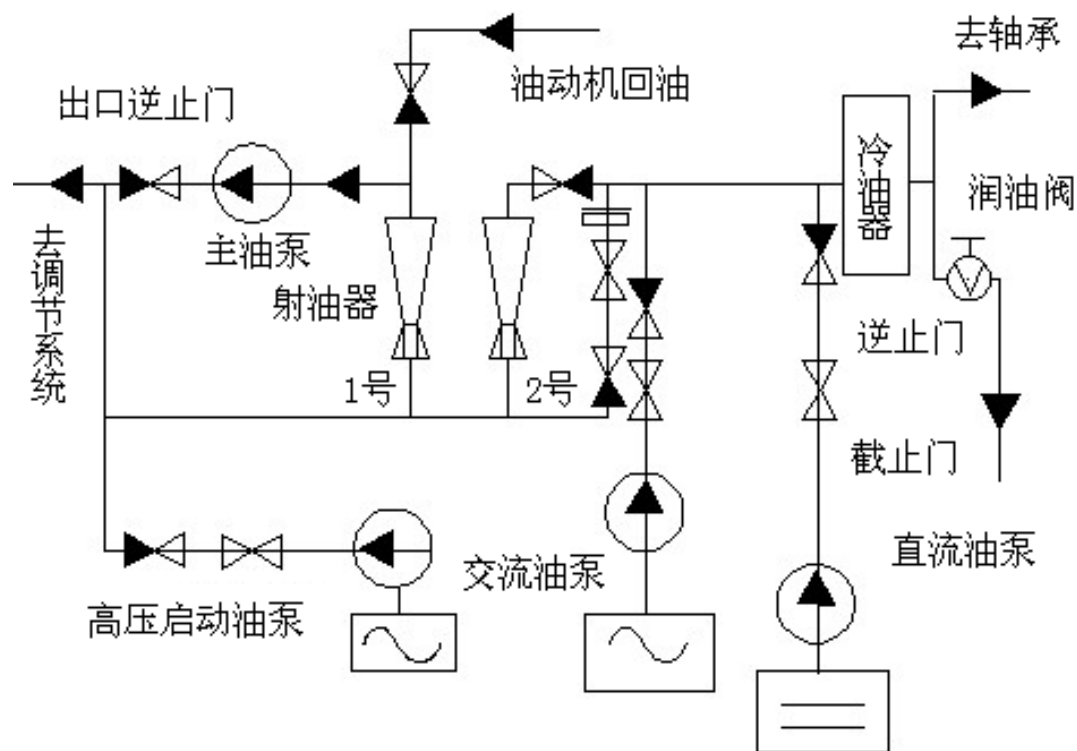


图 2-1-1 润滑油系统结构图^[8]

2.2 冷油器工作原理简介

在汽轮机中，润滑油系统属于附属系统，但它是必不可少的。汽机主轴高速旋转会引起轴瓦升温，为不断带走热量并减小摩擦，需要循环流动的润滑油，而润滑油也不断升温，所以还需冷却水来冷却润滑油。润滑油系统由四部分构成：油动力源、冷油器、顶轴油路和轴瓦油路。其中，油动力源包括主油箱及

其中内含的两个射油器、一个高压动力油泵、一个交流润滑油泵和一个直流润滑油泵。冷油器的冷却介质为循环流动的冷却水。顶轴油路由两个并联的顶轴油泵和顶轴联箱构成。轴瓦油路包含 9 个轴瓦。如图 1 所示，油动力源由一个油泵等效代替，顶轴油路部分起到支撑汽机主轴的作用。

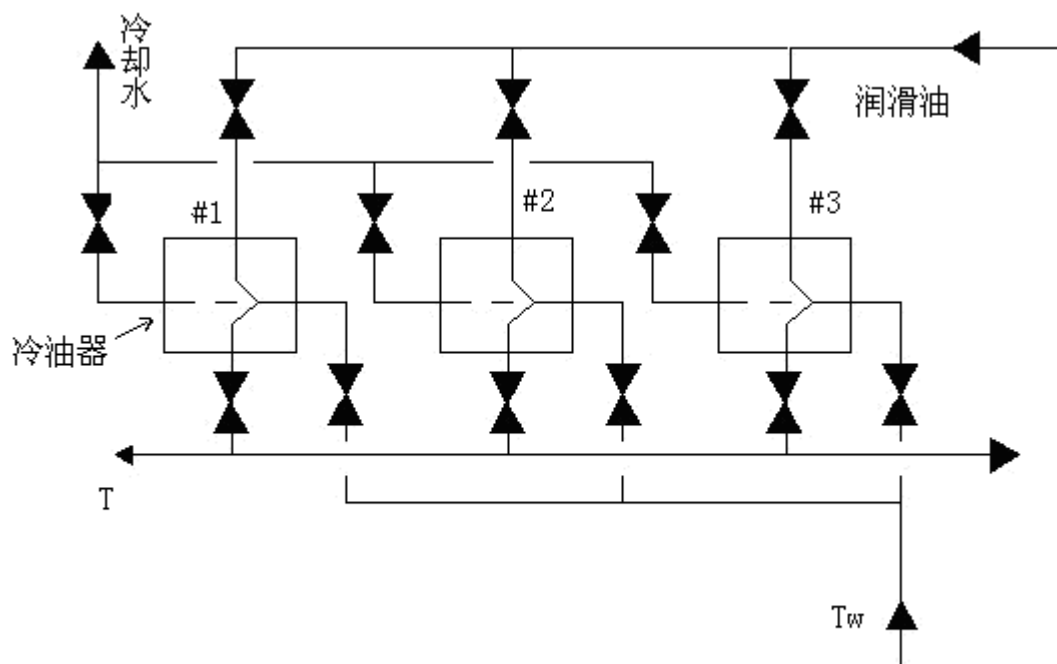


图 2-2-1 润滑油局部冷油器工作图

在电站汽轮机系统中，通常是用循环水来冷却润滑油的。冷油器部分的工作原理如图 2-2-1 所示，总共采用 3 路冷油器。正常工作状况下，启用 2 路，备用 1 路。该系统的热源主要是汽轮机主轴高速旋转引起摩擦所产生的。汽轮机在工作时，如果没有润滑油和顶轴油的作用，那么高速旋转的转子和轴承之间将会产生非常大的摩擦力，这种摩擦作用所产生的巨大热量将会烧毁轴承瓦片，造成重大事故。所以润滑油在汽轮机系统运行中起着举足轻重的作用。随着汽轮机转子的高速旋转，润滑油温度将会不断上升，如果不及时给润滑油降温，那么温度高达一定程度的润滑油照样会烧毁轴承瓦片。

在电站汽轮机系统中，通常是用循环水来冷却润滑油的，润滑油温度的调节主要靠人工不断地调整通过冷油器的循环水入口门开度来完成的。将润滑油温

度控制在一定的范围之内具有重要的意义，如果润滑油温太高，将会引起剧烈的轴振甚至烧瓦，如果润滑油温太低，那么就会引起汽轮机的油膜振荡事故，影响汽轮机正常做功^[9]。

2.3 采用模糊控制方法的必要性

本系统的控制难点在于所有系数实际上都是未知的，而且带有不确定的时变特性。在这种情况下利用常规的 PID 控制是行不通的，因此考虑选用模糊控制方案。

2.4 本章小结

本章介绍了汽轮机润滑油系统，着重介绍了汽轮机润滑油系统的组成，特别是冷油器进行油温调节的方法，以及采用模糊控制的原因。

3 模糊控制理论与应用

3.1 传统控制和模糊控制的比较

传统PID控制是通过调整参数获得良好控制效果的，但参数整定值只具有一定局域性的优化值，全局控制效果不是很理想。模糊控制器是近年来发展很快的一种新型控制器，它能方便地将专家的经验与推理输入计算机中，使计算机在控制时可以像人一样思考并解决问题，从而达到控制被控对象的目的。

传统控制是经典控制和现代控制理论的统称，它们主要特征是基于数学模型的控制。其复杂性表现为高度的非线性，高噪声干扰，动态突变型以及分散的传感元件与执行元件，分层和分散的决策机构，多时间尺度，复杂的信息结构等，这些复杂性都难以用精确的数学模型（微分方程或差分方程）来描述。除上述复杂性外，往往还存在着某些不确定性，不确定性也难以用精确数学方法加以描述。然而，对这样复杂系统的控制性能的要求越来越高，这样一来，基于精确模型的传统控制就难以解决上述复杂对象的控制问题。所以人们把人工智能的方法引入控制系统中来。经过近20年的研究发展，把人工智能的方法和反馈控制理论相结合，解决复杂系统的控制难题是行之有效的。

从上面的论述不难看出，传统控制和智能控制的主要区别就在于不确定性和复杂性及达到高的控制性能的能力方面，显然传统控制方法在处理复杂性、不确定性方面能力低且有时丧失了这种能力。相反，智能控制在处理复杂性、不确定性方面能力高。用拟人化得方式来表达，即智能控制系统具有拟人的智能和仿人的智能，这种智能不是智能控制系统中固有的，而是人工赋予的人工智能，这种智能主要表现在智能决策上。这就表明，智能控制的核心是去控制复杂性和不确定性，而控制的最有效途径就是采用仿人智能控制决策。

传统控制为了控制必须建模，可以说是一种基于被控对象精确模型的控制方式，这种方式可谓“模型论”，它适于解决线性，时不变等相对简单得控制问题。而模糊控制方式是对于“模型论”可称之为“控制论”，这种控制论实际上是模糊决策。模糊控制适用于非线性、不能确定精确数学模型的复杂控制问题。因此，智能控制无疑是控制理论发展的高级阶段。

3.2 模糊控制

3.2.1 模糊控制的定义

模糊控制是以模糊集合论、模糊语言变量及模糊逻辑推理为基础的一种计算机数字控制。从线性控制和非线性控制角度分类,模糊控制是一种非线性控制。从控制器的智能性看,模糊控制属于智能控制的范畴,而且它已成为目前实现智能控制的一种重要而又有效地形式。

3.2.2 模糊控制系统的组成

前面已经指出,模糊控制属于计算机数字控制的一种形式。因此,模糊控制系统的组成雷同于一般数字系统,其方框图如图 3-2-1 所示。

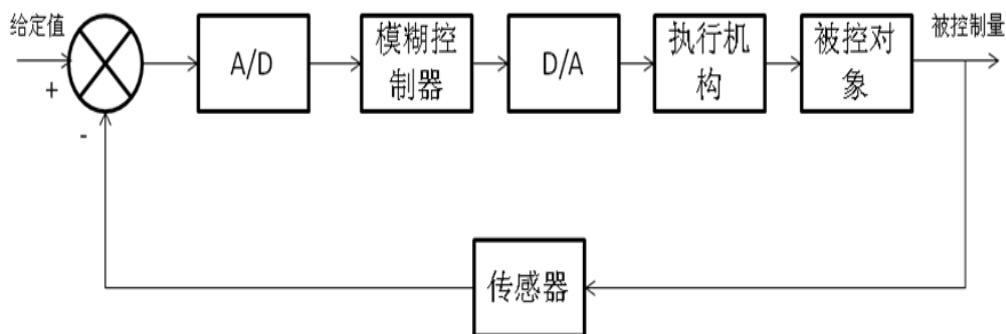


图 3-2-1 模糊控制系统框图

模糊控制系统一般可以分为四个组成部分：

(1) 模糊控制器：实际上是一台微计算机，根据控制系统的需要，既可选用系统机，又可选用单板机或者单片机。

(2) 输入/输出接口装置：模糊控制器通过输入/输出接口从被控对象获取数字信号量，并将模糊控制器的输出数字信号经过数模变换，将其转变为模拟信号，送给执行机构去控制被控对象。

在 I/O 接口装置中，除 A/D、D/A 转换外，还包括必要的电平转换线路。

(3) 广义对象：包括被控对象及执行机构，被控对象可以是线性或非线性的、定常或时变的，也可以使单变量或多变量的、有时滞或无时滞的以及有强干扰的多种情况。

还须指出，被控对象缺乏精确数学模型的情况适宜选择模糊控制，但也不排斥有较精确地数学模型的被控对象，也可以采用模糊控制方案。

(4) 传感器：传感器是将被控对象或各种过程的被控制量转换为电信号（模拟的或数字的）的一类装置。

3.2.3 模糊控制的基本原理

模糊控制的基本原理可由图 3-2-2 表示，它的核心部分为模糊控制器，如图中虚线框中部分所示。模糊控制器的控制规律由计算机的程序实现，实现一步模糊控制算法的过程是这样的：微机经中断采样获取被控制量的精确值，然后将此量与给定值比较得到误差信号 E （在此取单位反馈）。一般选误差信号 E 作为模糊控制器的一个输入量。把误差信号 E 的精确量进行模糊量化，误差 E 的模糊量可用相应的模糊语言表示。至此，得到了误差 E 的模糊语言集合的一个子集 \underline{e} （ \underline{e} 实际上是一个模糊向量）。再由 \underline{e} 和模糊控制规则 \underline{R} （模糊关系）根据推理的合成规则进行模糊决策，得到模糊控制量 \underline{u} 为

$$\underline{u} = \underline{e} \circ \underline{R} \quad (3-1)$$

式中 \underline{u} 为一个模糊量。

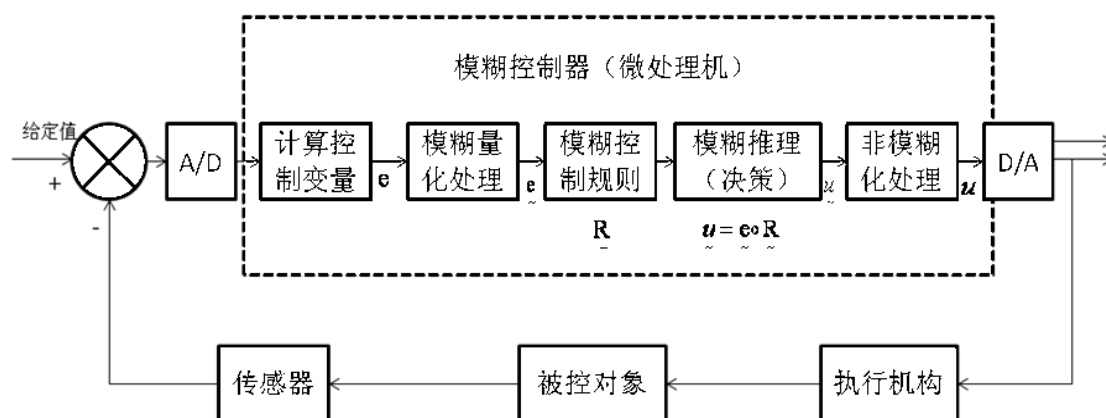


图 3-2-2 模糊控制原理图

为了对被控对象施加精确控制，还需要将模糊量 \underline{u} 转换为精确量，这一步在图 2-2-2 框图中称为非模糊化处理（亦称清晰化）。得到了精确的数字控制量后，经数模转换变为精确的模拟量送给执行机构，对被控对象进行一步控制。然后，中断等待第二次采样，进行第二步控制……。这样循环下去，就实现了被控对象的模糊控制。

综上所述，模糊控制算法可概括为下述四个步骤：

- （1）根据本次采样得到的系统输出值，计算所选择的系统的输入变量；
- （2）将输入变量的精确值变为模糊量；
- （3）根据输入变量（模糊量）及模糊控制规则，按模糊推理合成规则计算控制量（模糊量）；

（4）由上述得到的控制量（模糊量）计算精确的控制量。

3.3 模糊控制器的设计方法

模糊逻辑控制其建成为模糊控制器，因为模糊控制器的控制规则是基于模糊条件语句描述的语言控制规则，所以模糊控制器又成为模糊语言控制器。

模糊控制器在模糊自动控制系统中具举足轻重的作用，因此在模糊控制系统中，设计和调整模糊控制器的工作是很重要的。

模糊控制器的设计包括以下几项内容：

- （1）确定模糊控制器的输入变量和输出变量（即控制量）；
- （2）设计模糊控制器的控制规则；
- （3）确立模糊化和非模糊化（又称清晰化）的方法；
- （4）选择模糊控制器的束缚变量及输出变量的论域并确定模糊控制器的参数（如量化因子，比例因子）；
- （5）编制模糊控制算法的应用程序；
- （6）合理选择模糊控制算法的采样时间。

本节介绍模糊控制器设计的基本方法和基本原则。

3.3.1 模糊控制器的结构设计

模糊控制器的结构设计是指确定模糊控制器的输入变量和输出变量。在手动控制过程中，人所能获取的信息量基本上三个：

- （1）误差；
- （2）误差的变化；
- （3）误差变化的变化，即误差变化的速率。

由于模糊控制器的控制规则是根据人的手动控制规则提出的，所以模糊控制器的输入变量也有三个：即误差、误差的变化和误差变化的变化，输出变量一般选择控制量的变化。

模糊控制器输入变量的个数称为模糊控制器的维数。一般情况下，有一维、二维、三维等。其具体结构如下图3-3-1所示：

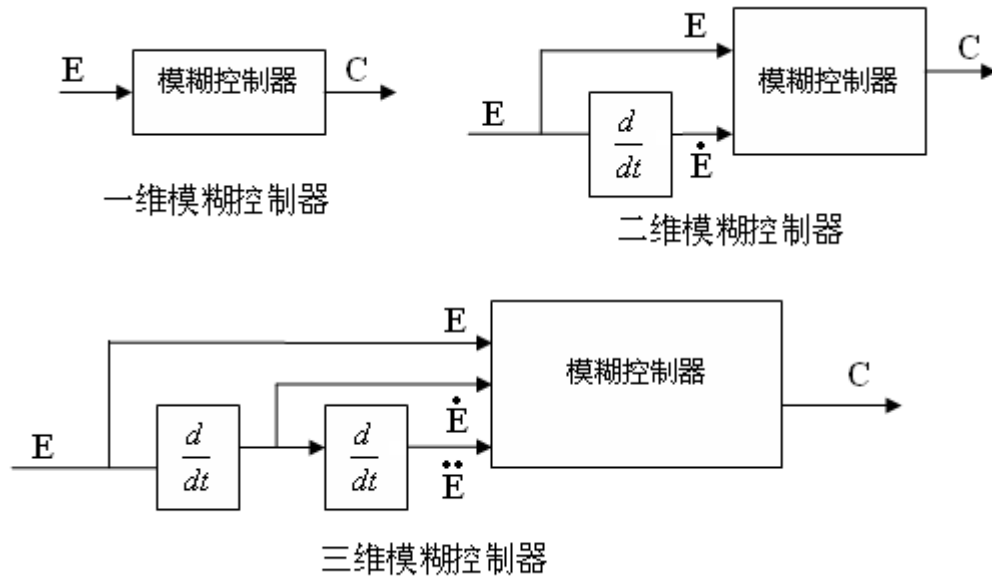


图 3-3-1 模糊控制器的结构

3.3.2 模糊控制规则设计

1 模糊控制器的结构设计

模糊控制规则的设计是模糊控制器的关键，一般包括三部分设计内容：选择描述输入和输出变量的词集，定义各模糊变量的模糊子集及建立模糊控制器的控制规则。

(1) 选择描述输入和输出变量的词集

模糊控制器的控制规则表现为一组模糊条件语句，在条件语句中描述输入输出变量状态的一些词汇（如“正大”、“负小”等）的集合，称为这些变量的词集（亦可以称为变量的模糊状态）。

人们在日常生活中，一般都用“大、中、小”三个词汇来描述模糊控制器的输入、输出变量的状态。由于人们的行为在正、负两个方向的判断基本上是对称的，将大、中、小再加上正、负两个方向并考虑变量的零状态，共有七个词汇，即

{负大，负中，负小，零，正小，正中，正大}；

一般用英文字头缩写为

{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB}。

选择较多的词汇描述输入、输出变量，可以使定制控制规则方便，但是控制

规律则相应变得复杂。选择词汇过少，使得描述变量变得粗糙，导致控制器的性能变坏。描述输入、输出变量的词汇都具有模糊特性，可用模糊集合来表示。因此，模糊概念的确定问题就直接转化为求取模糊集合隶属函数的问题。

（2）定义各模糊变量的模糊子集

定义一个模糊子集，实际上就是要确定模糊子集隶属函数曲线的形状。将确定的隶属函数曲线离散化，就得到了有限个点上的隶属度，便构成了一个相应的模糊变数的模糊子集。隶属函数曲线形状较尖的模糊子集其分辨率较高，控制灵敏度也较高；相反，隶属函数曲线形状较缓，控制特性也较平缓，系统稳定性较好。常见的隶属度函数曲线有：高斯型隶属度函数、sigmoid 函数型隶属度函数、Z 型隶属度函数、[]型隶属度函数、S 型隶属度函数、梯形隶属度函数和三角形隶属度函数。一个模糊控制器的非线性性能与隶属度函数总体位置分布有密切关系，而每一个隶属度函数的宽度和位置又确定了每个规则的影响范围，他们必须互相重迭。相对来说，隶属度函数的形状对一个模糊控制器的功能的影响是很关键的。

（3）建立模糊控制器的控制规则

模糊控制器的控制规则是基于手动控制侧策略，而手动控制侧策略又是人们通过学习、试验以及长期经验积累而逐渐形成的，存贮在操作者头脑中的一种技术知识集合。手动控制过程一般是通过对被控对象（过程）的一些观测，操作者再根据已有的经验和知识，进行综合分析并做出控制决策，调整加到被控对象的控制作用，从而使系统达到预期的目标。

手动控制的作用同自动控制系统中的控制器的作用是基本相同的，所不同的是手动控制决策是基于操作者经验和知识，而控制器的控制决策是基于某种控制算法的数值运算。

利用模糊集合理论和语言变量的概念，可以把利用语言归纳的手动控制策略上升为数值运算，于是可以采用微电脑完成这个任务以控制人的手动控制，实现所谓的模糊自动控制。利用语言归纳手动控制策略的过程，实际上就是建立模糊控制器的控制规则的过程。

选取控制量变化的原则是：当误差大或较大时，选择控制量以尽快消除误差为主；而当误差较小时，选择控制量要注意防止超调，以系统的稳定性为主要出

发点。

模糊控制规则表

EC E \ D	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO
NM	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	PS
NS	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	PS	PM
ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	PS	PM	PB
PS	ZO	ZO	ZO	PS	PM	PB	PB
PM	ZO	ZO	PS	PM	PB	PB	PB
PB	ZO	PS	PM	PB	PB	PB	PB

图3-3-2 模糊控制规则表

2 精确量的模糊化方法

将精确量（数字量）转换为模糊量的过程称为模糊化（fuzzification），或称为模糊量化。经计算机计算出的控制变量均为精确量，须经过模糊化处理，变为模糊量，以便实现模糊控制算法。

	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
PB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7	1.0	0.7	0.2
PM	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.7	1.0	0.7	0.2
PS	0	0	0	0	0	0	0	0.9	1.0	0.7	0.2	0	0
O	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0
NS	0	0	0.2	0.7	1.0	0.9	0	0	0	0	0	0	0
NM	0.2	0.7	1.0	0.7	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
NB	1.0	0.8	0.4	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

模糊化一般采用如下两种方法：

（1）把精确量离散化方法

一般情况，如果把[a,b]区间的精确量 x ，转换为[-n,+n]区间的离散量 y ——模糊量，其中 n 为不小于 2 的正整数，根据上图由三角形相似易推出：

$$\frac{y}{x-(a+b)/2} = \frac{2n}{b-a} \quad (3-2)$$

$$\text{即 } y = 2n[x-(a+b)/2]/(b-a) \quad (3-3)$$

如果算出的 y 不是整数，可以把它归为最近的整数。

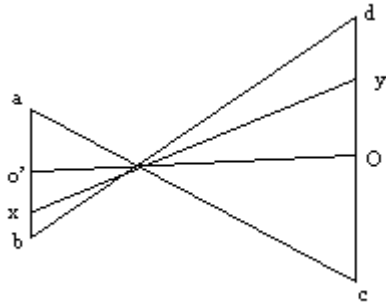


图3-3-3 模糊化方法图示

3 模糊推理及其模糊量的非模糊化方法

在模糊控制的原理框图中，对建立的模糊控制规则要经过模糊推理才能决策出控制变量的一个模糊子集，它是一个模糊量而不能直接控制被控对象，还需要采取合理的方法将模糊量转换为精确量，以便最好的发挥出模糊推理结果的决策效果。把模糊量转换为精确量的过程称为清晰化，又称非模糊化(defuzzification)、去模糊化、解模糊化、反模糊化，或称为模糊决策、模糊判决。

模糊推理及其模糊量的非模糊化过程有多种方法，现综合介绍如下：

- ①MIN—MAX—重心法
- ②代数积—加法—重心法
- ③模糊加权型推理法
- ④函数型推理法
- ⑤加权函数型推理法
- ⑥选择最大隶属度法
- ⑦取中位数法

4 论域、量化因子、比例因子的选择

(1) 论域及基本论域

模糊控制器的输入变量误差、误差变化的实际范围称为这些变量的基本论域。显然基本论域的量是精确量。设误差的基本论域为 $[-x_e, x_e]$ ，误差变化的基本论域为 $[-x_c, x_c]$ 。被控制对象实际所要求的控制量的变化范围，称为模糊控制器输出变量（控制量）的基本论域，设其为 $[-y_u, y_u]$ 。控制量的基本论域内的量也是精确量。

设误差变数所取的模糊子集的论域为

$$\{-n, -n+1, \dots, 0, \dots, n-1, n\}$$

误差变化变量所取的模糊子集的论域为

$$\{-m, -m+1, \dots, 0, \dots, m-1, m\}$$

控制量所取的模糊子集的论域为

$$\{-l, -l+1, \dots, 0, \dots, l-1, l\}$$

有关论域的选择问题，一般选误差论域的 $n \geq 6$ ，选误差变化的论域 $m \geq 6$ ，选控制量的论域 $l \geq 7$ 。这样能满足模糊集论域中所含元素个数为模糊语言词集总数的二倍以上，确保诸模糊集能较好地覆盖论域，避免出现失控现象。

（2）量化因子及比例因子

当由计算机实现模糊控制算法进行模糊控制时，每次采样得到的被控制量需经过计算机计算，便得到模糊控制器的输入变量误差及误差变化。为了进行模糊化处理，必须将输入变量从基本论域转换到相应的模糊集的论域，这中间须将输入变量乘以相应的因子，从而引出量化因子的概念。量化因子一般用 K 表示，误差的量化因子 K_e 及误差变化的量化因子 K_c 分别由下面两个公式来确定，即

$$K_e = n / x_e ; \quad (3-4)$$

$$K_c = m / x_c \quad (3-5)$$

此外，每次采样经模糊控制算法给出的控制量（精确量），还不能直接控制对象，还必须将其转换到为控制对象所能接受的基本论域中去。输出控制量的比例因子 K_u 由下式确定，即

$$K_u = y_u / l \quad (3-6)$$

（3）量化因子及比例因子的选择

设计一个模糊控制器除了要有一个好的模糊控制规则外，合理地选择模糊控制器的输入变量的量化因子和输出变量的比例因子也是非常重要的。实验结果表明，量化因子和比例因子的大小及其不同量化因子之间大小的相对关系，对模糊控制器的控制性能影响极大。量化因子 K_e 及 K_c 的大小对控制系统的动态性能影响很大。 K_e 选的较大时，系统的超调也较大，过渡过程较长。 K_c 选的较大时，超调量减小，但系统的响应速度变慢。此外，输出比例因子 K_u 的大小也影响着模糊控制系统的特性。 K_u 选择过小会使系统动态响应过程变长，而 K_u 选择过大会导致系统振荡^[1]。

5 采样时间的选择

选择采样时间问题是计算机控制中的共性问题，模糊控制也属于计算机控制的一种类型，因此，对模糊控制而言，也有合理地选择采样时间的问题。

香农采样定理给出了选择采样周期的上限，即

$$T \leq \frac{\pi}{\omega_{\max}} \quad (3-7)$$

式中 ω_{\max} 为采样信号的上限角频率。

在此范围内，采样周期越小，就越接近连续控制。但选择采样时间还要综合考虑各方面因素，如：

从执行机构来看，有时要求输出信号保持一定的时间，因为执行机构本身有个相应过程，从这一点看，采样时间必须大于执行机构的响应时间。

从控制系统随动以及抗干扰的性能那个要求方面看，希望采样时间短些为好。

从计算机控制算法所需要的时间来看，在一个采样周期内，必须完成一个控制步的计算量。用汇编语言编制的应用程序执行起来要比一般高级语言快的多，因此如用一般高级语言编程，采样时间不能太小。

从计算机计算精度来看，采样周期的选择还与计算机字长有关。为了保持相同的计算机精度，对于较小的采样时间，则需要较长的计算字长，或者说，至少要在最低有效位上反映出信息的变化。

从上面分析可以看出，各方面因素对采样时间的要求是不同的，甚至是矛盾的。

从模糊控制系统中，其输入变量为误差和误差变化，而这两个变量又是通过两次采样时隔得到的。因此，为了获得较精细的控制规律，应使误差变化的值较大，从这一点来看，采样周期不能太短。但从一次响应过程中的控制作用的次数来看，一般不能低于五次，否则，会使控制不精细。因此，在模糊控制系统中选择采样时间受到误差变化的最大值与一次响应过程中控制次数两方面的制约，在实际控制系统设计中，选择采样时间要综合考虑各方面因素进行折中考虑。在系统调试过程中，通过对不同采样时间进行实验，从中确定本系统的最佳采样周期。或者根据系统动态特性需要采用变采样时间的方法，用以改善控制系统的性能。

3.4 本章小结

本章介绍了模糊控制的基本思想，模糊控制系统的组成和模糊控制的基本原理。并着重介绍了模糊控制器的设计方法，包括模糊控制器的结构设计，规则模糊控制规则和常见的设计方法。为本课题的模糊控制器设计打下理论基础。

4 汽轮机润滑油模糊控制系统设计

4.1 建立汽轮机润滑油系统数学模型

汽轮机润滑油温调节系统的精确建模十分困难，建立润滑油温模糊控制系统的数学模型，采用模糊控制方法，调节系统润滑油温度。其控制原理，如图 4-1-1 所示。本课题中，采用的是二维模糊控制器。一般情况下，一维模糊控制器用于一阶被控对象，由于这种控制器输入变量只选误差一个，它的动态控制性能不好。所以目前被广泛应用的是二维模糊控制器，这种控制器以误差和误差变化为输入变量，以控制量的变化为输出变量。

从理论上讲，模糊控制器的维数越高，控制越精细。但是维数过高，模糊控制规则变得过于复杂，控制算法的实现相当困难。这是选用二维模糊控制器的原因。

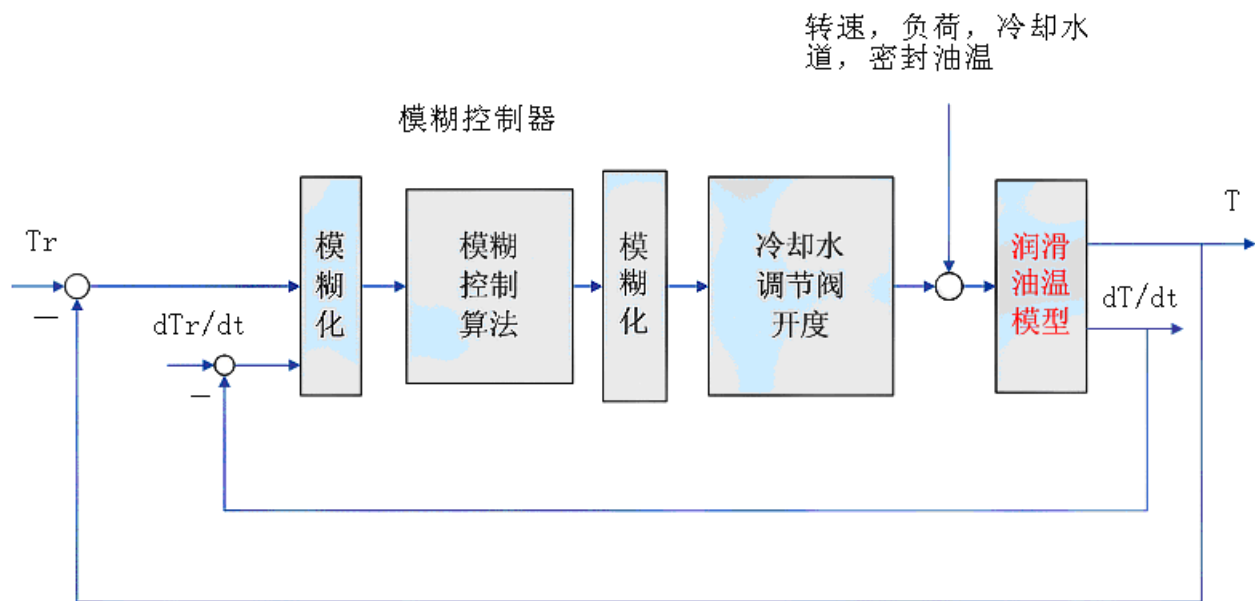


图4-1-1 润滑油温模糊控制框图

图 4-1-1 可见：润滑油温除了受到冷却水调节门开度影响以外，还受到汽轮机转速、负荷、冷却水入口温度以及密封油温度等因素的影响，动态过程十分复杂，而且具有不确定、大惯性等现象。润滑油温调节系统的数学模型大致上可以用传递函数描述为：

$$T(s) = \frac{k_n}{s+k} n(s) + \frac{k_p}{s+k} p(s) + \frac{k_w}{s+k} T_w(s) + \frac{k_e}{s+k} T_e(s) + \frac{k_d}{s+k} f[D(s)] \quad (4-1)$$

其中 s 表示 Laplace 变换的积分变量； n 表示汽轮机转速(r/m)； p 表示汽轮机负荷(MW)； T_w 表示冷却水温度($^{\circ}\text{C}$)； T_e 表示密封油温度($^{\circ}\text{C}$)； D 表示冷却水调节阀开度(100%)； f 表示不确定的非线性函数； k 表示润滑油温调节系统的惯性系数； k_n 表示汽轮机转速对润滑油温的影响系数； k_p 表示汽轮机负荷对润滑油温的影响系数； k_w 表示冷却水入口温度对润滑油温的影响系数； k_e 表示密封油温度对润滑油温的影响系数； k_d 表示冷却水调节阀开度对润滑油温的影响系数。

[10]

本系统的控制难点在于所有系数 k ， k_n ， k_p ， k_w ， k_e ， k_d 实际上都是未知的，而且带有不确定的时变特性。在这种情况下利用常规的 PID 控制是行不通的，因此考虑选用模糊控制方案。[11]

本系统的被控制量是润滑油温度 T ，而 n ， p ， T_w ， T_e 实际上是系统的干扰信号，一般情况下，4 个干扰信号的变化范围是已知的，分别为 $n:0 \rightarrow 3000 \text{ r/m}$ ， $p:0 \rightarrow 200 \text{ MW}$ ， $T_w:15 \rightarrow 30^{\circ}\text{C}$ ， $T_e:30 \rightarrow 50^{\circ}\text{C}$ [10]。系统的信号传递关系，如图 4-1-2 所示。

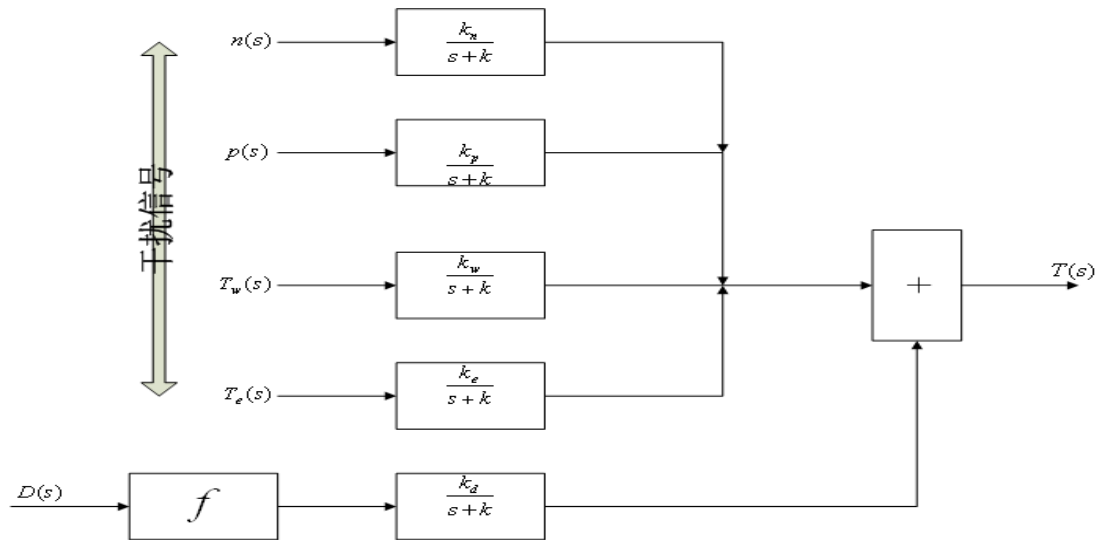


图4-1-2 润滑油温调节系统信号传递关系图

为了便于仿真计算，假设模型（1）的真实参数为：

$$k = \frac{k_n}{k'_n} + \frac{k_p}{k'_p} + \frac{k_w}{k'_w} + \frac{k_e}{k'_e} + \frac{k_d}{k'_d} \quad (4-2)$$

其中 $k_n = 4.1 \times 10^{-5}$ ， $k'_n = 4.6 \times 10^{-2}$ ， $k_p = 4.12 \times 10^{-5}$ ， $k'_p = 0.6$ ， $k_w = 4.12 \times 10^{-4}$ ，

$$k'_w = 1.2, \quad k_e = 4.8 \times 10^{-5}, \quad k'_e = 0.99, \quad k_d = 9.5 \times 10^{-3}, \quad k'_d = 1。^{[8]}$$

而非线性函数 f 的数学表达式可以用以下形式表达：

$$f(D) = \begin{cases} 50 - 75D & 0 \leq D < 0.2 \\ 35 - 50(D - 0.2) & 0.2 \leq D < 0.4 \\ 25 - 25(D - 0.4) & 0.4 \leq D < 0.6 \\ 20 - 15(D - 0.6) & 0.6 \leq D < 0.8 \\ 17 - 10(D - 0.8) & 0.8 \leq D \leq 1 \end{cases}$$

非线性函数 f 可用图 4-1-3 描述

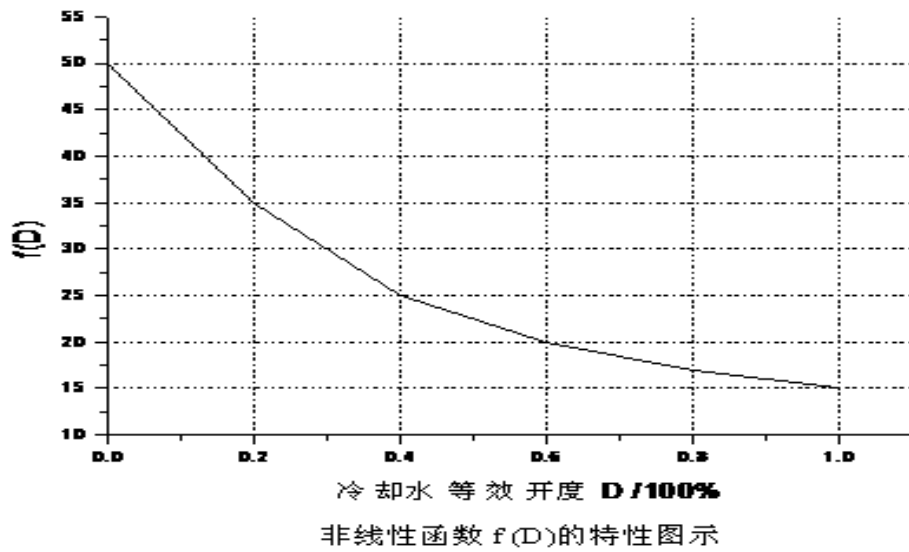


图 4-1-3 非线性函数 $f(D)$ 特性图^[12]

4.2 设计模糊控制器

建立了系统的模糊数学模型后，就要对润滑油温模糊控制器进行设计。本文采用二维模糊控制器，其输入变量分别是误差和误差的变化。

误差 e 定义为润滑油的温度设定值与测量值之间的差值：

$$e = T_r - T \quad (4-3) \quad ;$$

误差变化 \dot{e} 定义为：

$$\dot{e} = \frac{de}{dt} = \frac{d(T_r - T)}{dt} \quad (4-4) \quad ,$$

由于 T 与 T_r 不相关，也可以写成：

$$\square e = \frac{de}{dt} = \frac{d(T_r - T)}{dt} = \frac{dT_r}{dt} - \frac{dT}{dt} \quad (4-5) \quad。$$

模糊控制器的输出变量定义为冷油器中冷却水阀门的等效开度 D 。

4.3 模糊化

对于变量的模糊化来说，可以用隶属函数曲线来描述。而隶属函数曲线的形状的确定有一定的规则：隶属函数曲线形状较尖的模糊子集其分辨率较高，控制灵敏度也较高；相反，隶属函数曲线形状较缓，控制特性也比较平缓，系统稳定性好。因此，在选择模糊变量的模糊集的隶属函数时，在误差较大的区域采用低分辨率，在误差较小的区域采用较高分辨率，当误差接近于零时选用高分辨率的子集^[13]。

上面仅就描述某一模糊变量的模糊子集的隶属函数曲线形状问题加以分析，下面对同一模糊变量的各个模糊子集之间的相互关系及其对控制性能影响问题作进一步分析。

从自动控制的角度，希望一个控制系统在要求的范围内都能够很好地实现控制。模糊控制系统设计时也要考虑这个问题，因此在选择描述一个模糊变量的各个子集时，要使它们在论域上分布合理，即它们应该很好地覆盖整个论域。在定义这些模糊子集时要注意使论域中任何一点对这些子集的隶属度的最大值不能太小，否则会在这样的点附近出现不灵敏区，以至造成失控，使模糊控制系统控制性能变坏。

适当地增加模糊变量的模糊子集论域中的元素个数，如一般论域中的元素个数的选择均不低于 13 个，而模糊子集总数通常选 7 个。当论域中元素总数为模糊子集总数二至三倍时，模糊子集对论域的覆盖程度较好。

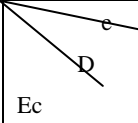
4.3.1 模糊控制规则表

不论是输入变量的模糊化还是输出变量的模糊化，其基本思想是先确定采用何种隶属函数（本课题用的是三角形和梯形），根据现有的常用的模糊控制规则来验证哪种隶属度函数比较合适，然后选用这种隶属度函数再来调节模糊控制规则，直到得到理想的模糊控制器输入/输出曲面为止。

学习模糊控制，首先要掌握一些基本的常用的控制规则，常用的温度控制的

模糊控制规则表^[14]如表 4-3-1 所示。

表 4-3-1 模糊控制规则表

	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PB	PB	PM	ZO	ZO
NM	PB	PB	PB	PB	PM	ZO	ZO
NS	PM	PM	PM	PM	ZO	ZO	ZO
ZO	PM	PM	PM	ZO	ZO	ZO	ZO
PS	PM	PS	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO
PM	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO
PB	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO

下面说明建立模糊控制规则表的基本思想。首先考虑误差为负的情况，当误差为负大时，若当误差变化为负，这是误差有增大的趋势，为尽快消除已有的负大误差并抑制误差变大，所以控制量的变化取正大。

当误差为负而误差变化为正时，系统本身已有减少误差的趋势，所以为尽快消除误差且又不超调，应取较小的空置量。由表4-3-1所示，当误差为负大且误差变化为正小时，控制量的变化取为正中。若误差变化正大或正中时，控制量不宜增加，否则造成超调会产生正误差，因此这是控制量变化取为0等级。

当误差为负中时，控制量的变化应该是误差尽快消除，基于这种原则，控制量的变化选取同误差为负大时相同。

当误差为负小时，系统接近稳态，若误差变化为负时，选取控制量变化为正中，以抑制误差往负方向变化，若误差变化为正时，系统本身有趋势消除负小的误差，选取变化为正小即可。

上述选取控制量变化的原则是：当误差大或较大时，选择控制量以尽快消除误差为主；当误差较小时，选择控制量要注意防止超调，以系统的稳定性为主要出发点。

在确定模糊子集时要注意相邻的两个模糊子集相交的那点的隶属度的值 α 应该在 0.4~0.8 之间，当 α 值较小时控制灵敏度较高，而当 α 值较大时模糊控制器的鲁棒特性较好，即控制器具有较好的适应对象特性参数变化的能力， α 的值过大时造成两个模糊子集难以区分，使控制的灵敏度显著降低。

4.3.2 输入变量和输出变量的模糊化

模糊控制器的输入信号为 $e = T_r - T$ ， $\dot{e} = \frac{dT_r}{dt} - \frac{dT}{dt}$ 。它们的论域分别为

$[-30, 30]$ 和 $[-1, 1]$ 。输出变量 D 的论域为 $[0, 1]$ 。语言值分别排列如下：

表 4-3-2 润滑油温偏差 e 的语言值分布

语义	负大	负中	负小	零	正小	正中	正打
符号	NB	NM	MS	ZO	PS	PM	PB
范围	-30 ~ -15	-15 ~ -5	-5 ~ 0	0	0 ~ 5	5 ~ 15	15 ~ 30

表 4-3-3 润滑油温偏差导数 de/dt 的语言值分布

语义	负大	负中	负小	零	正小	正中	正大
符号	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
范围	-1 ~ -0.7	-0.7 ~ -0.4	-0.4 ~ 0	0	0 ~ 0.4	0.4 ~ 0.7	0.7 ~ 1

模糊控制器的输出信号为 D ，其论域为 $[0, 1]$ ，语言值为：

表 4-3-3 冷却水等效开度 D 的语言值分布

语义	零	正小	正中	正大
符号	ZO	PS	PM	PB
范围	0	0 ~ 0.4	0.4 ~ 0.7	0.7 ~ 1

- 经仿真，得到输入变量 E （采用三角形隶属函数和梯形隶属函数），输入变量 EC （采用三角形隶属函数和梯形隶属函数）和输出变量 D 的隶属函数（采用三角形隶属函数）如图 4-3-1 所示，

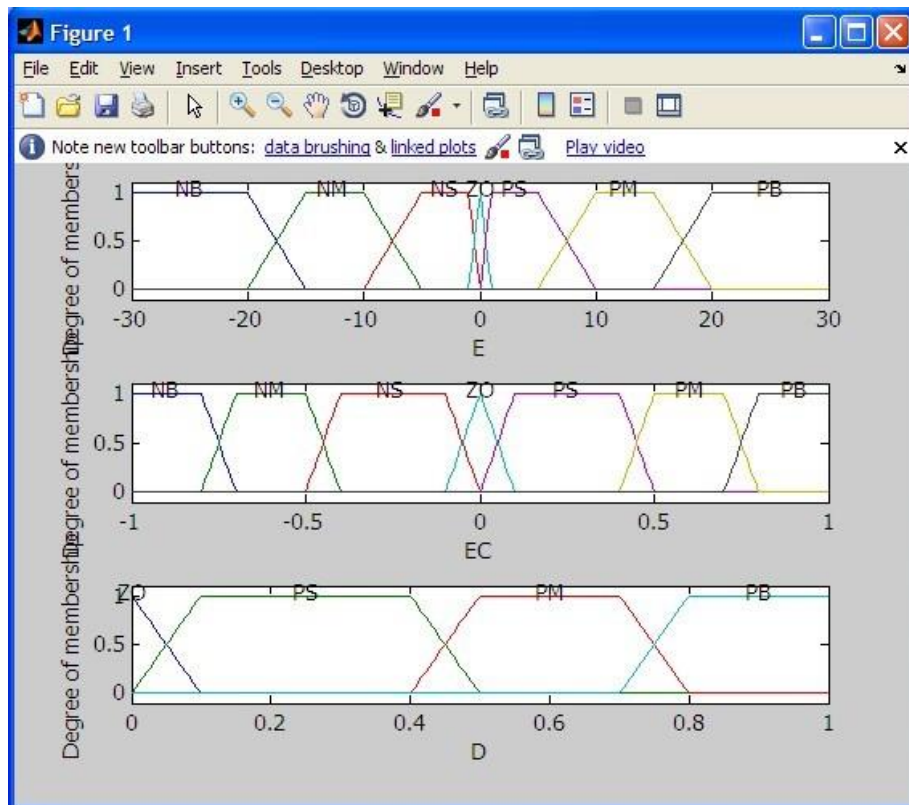


图4-3-1 隶属函数图（由上至下分别为E，EC，D）

4.3.3 输入变量和输出变量的模糊化

对输入变量和输出变量模糊化以后，根据一些温度控制系统的控制经验，可得相应的模糊控制规则。需说明的是，这些规则对汽轮机润滑油温的控制不一定是准确的，需要根据具体情况进行修改完善，以使控制效果达到最佳（控制规则表见表4-3-1）。

此外，可得模糊控制器的输入 / 输出曲面，从图中可见模糊决策。模糊控制器的输入 / 输出曲面如图4-3-2^[15]。

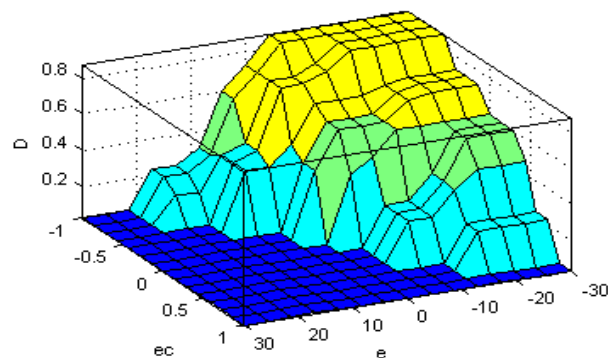


图4-3-2 模糊控制器的输入/输出曲面

4.4 润滑油温模糊控制器的仿真结果与分析

模糊控制设计完成后，要通过Madab程序进行仿真分析，以验证模糊控制的可行性与有效性。一般的工作情况下，润滑油进入轴承时的温度要求为 40°C ~ 50°C ，离开轴承时的温度应控制在 60°C ~ 70°C ，轴承中的最高油温不超过 75°C ^[16]。本系统的性能指标如下：

过渡过程时间小于 300 秒；

稳态误差小于 1°C 。

根据上述条件，假设各种干扰信号均为正弦信号，由前文介绍的干扰信号的幅值范围，假设它们的形式如下：

$$n(t) = 2000 * \sin t$$

$$p(t) = 90 + 10 * \sin t$$

$$T_w(t) = 20 * \sin t$$

$$T_e(t) = 40 * \sin t$$

经过多次调试，得到仿真程序见附录3。同时得到符合性能指标的仿真图4-4-1到4-4-4。

设定温度 $T_r = 45^{\circ}\text{C}$ ，初始温度 $T(1) = 70^{\circ}\text{C}$ 时，系统的仿真分析图如下图4-4-1所示。

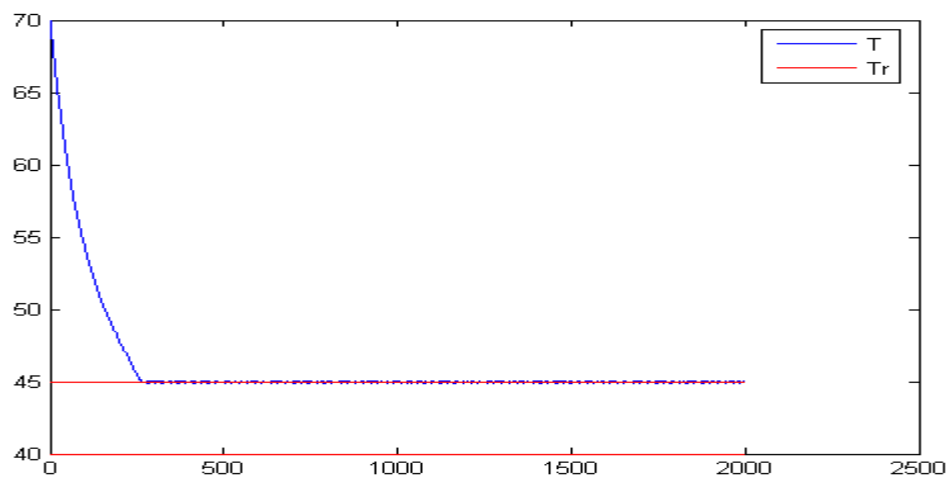


图4-4-1 仿真图1

设定温度 $T_r = 45^{\circ}\text{C}$ ，初始温度 $T(1) = 60^{\circ}\text{C}$ 时，系统的仿真分析图如下图4-4-2所示。

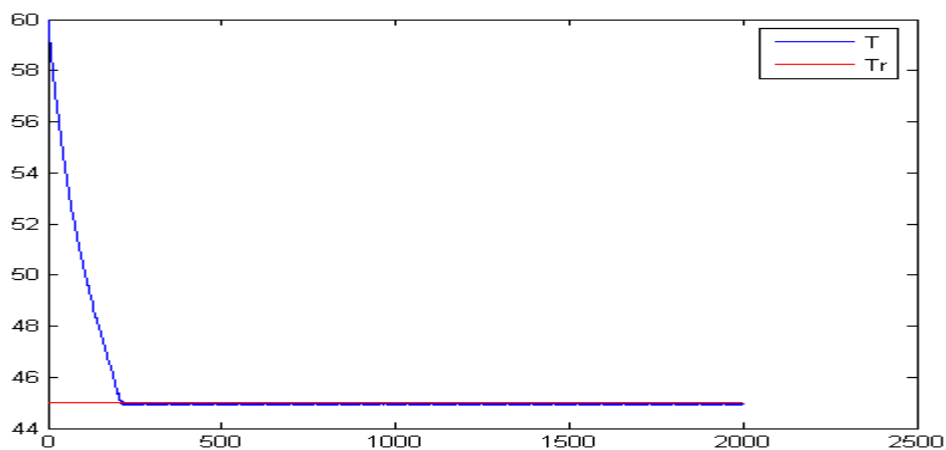


图4-4-2 仿真图2

设定温度 $T_r=40^{\circ}\text{C}$ ，初始温度 $T(1)=70^{\circ}\text{C}$ 时，系统的仿真分析图如下图4-4-3所示。

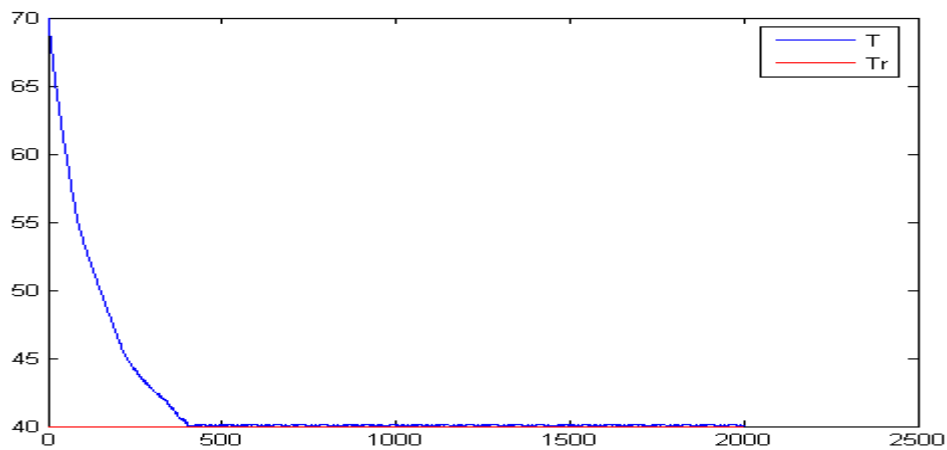


图4-4-3 仿真图3

设定温度 $T_r=40^{\circ}\text{C}$ ，初始温度 $T(1)=60^{\circ}\text{C}$ 时，系统的仿真分析图如下图4-4-3所示。

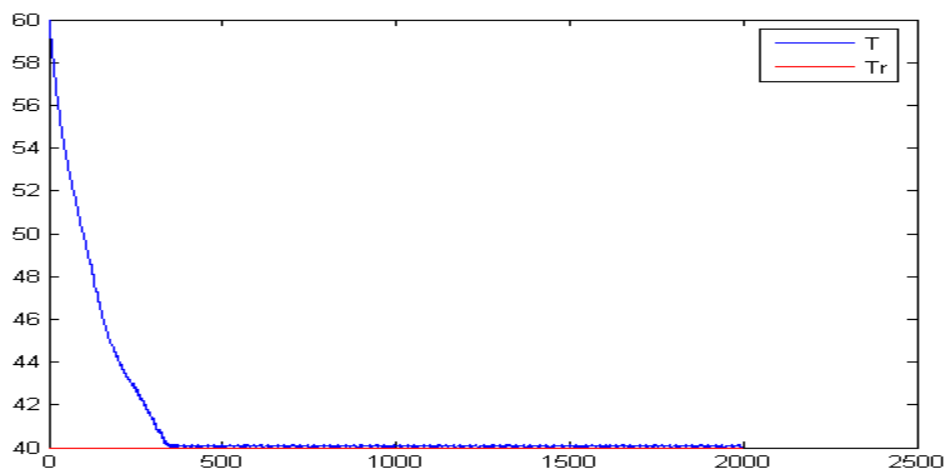


图4-4-4 仿真图4

Figure; plot(E); figure; plot(EC); figure; plot(D)

得到当 $T_r=40^{\circ}\text{C}$, $T(1)=70^{\circ}\text{C}$ 时, E、EC、D 的仿真图如图4-5-5、4-5-6、4-5-7 所示。

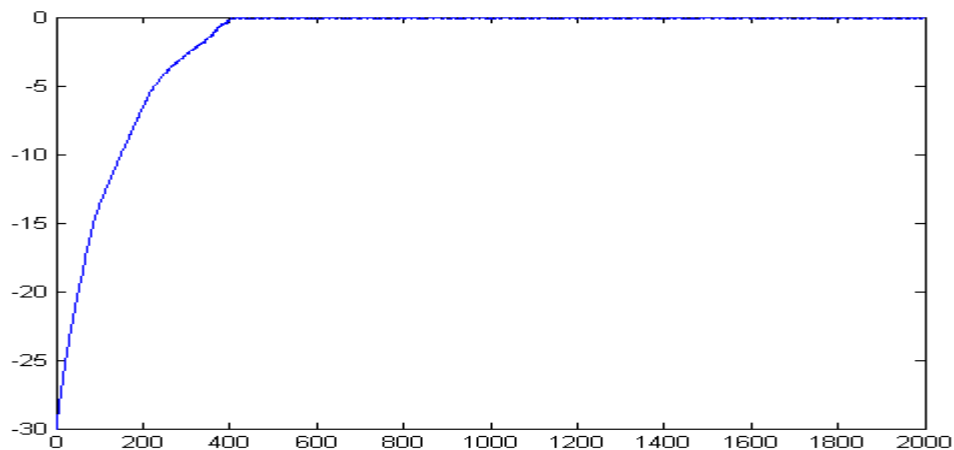


图 4-5-5 E 的仿真分析图

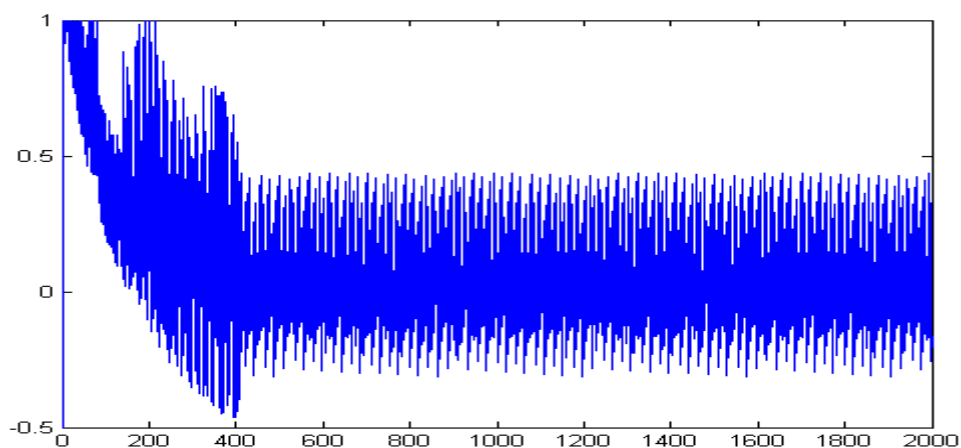


图 4-5-6 EC 的仿真分析图

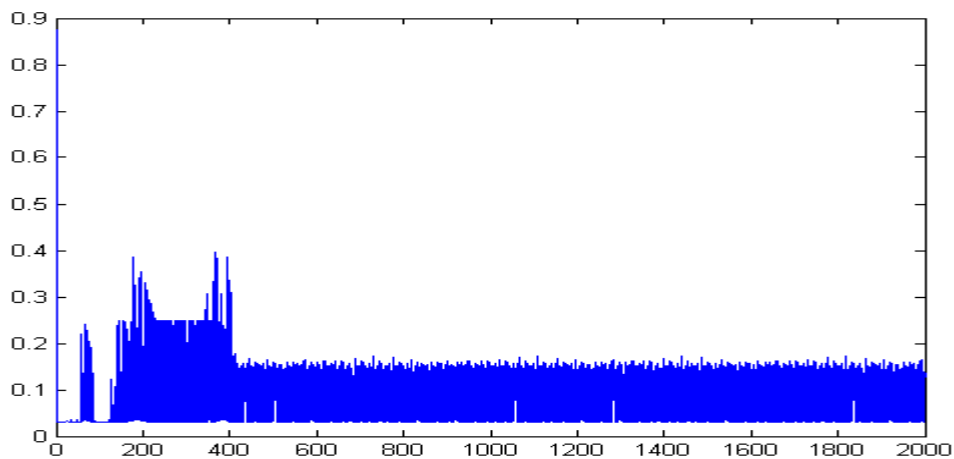


图 4-5-7 D 的仿真分析图

4.5 本章小结

本章主要是设计润滑油系统的模糊控制器，对润滑油温模糊调节系统进行了仿真分析，以验证模糊控制的可行性、可靠性以及有效性。根据模糊控制经验确定了模糊控制规则以及采样周期。然后采用了反复调试的方法对仿真结果进行分析，得到较好的仿真结果。所以，模糊控制对于本课题具有十分良好的控制效果。

5 结论

在实际的生产过程中,有许多对象都具有非线性、时变性和大滞后性的特点,对于这样的对象的控制问题,是控制理论应用中的难点问题,尤其是当系统不能得到精确的数学模型的时候,要想用传统控制方法解决问题就更加困难了。模糊控制是一种不依赖于被控对象的精确数学模型的控制方法,它具有广泛的应用。本论文针对汽轮机润滑油温度系统设计模糊控制器,并编程进行仿真。

在学习、分析和设计过程中,总结得到以下几点结论:

1. 汽轮机的油系统担任着润滑、控制、冷却和密封的作用。其正常工作是保证汽轮机组正常运转的必要条件。在电站汽轮机系统中,通常是用循环水来冷却润滑油的,润滑油温度的调节主要是靠人工不断地调整通过冷油器的循环水入口门开度来实现的。
2. 汽轮机的润滑油系统的数学模型具有非线性、时变性特点,精确的建模十分困难,因此用传统的 PID 控制方案不能达到预期的控制效果。而模糊控制对系统的描述是建立在自然语言的基础上,模糊控制允许使用不精确的数学模型,而且模糊控制可以对任意复杂的非线性函数建模,因此,本论文采用模糊控制方案。
3. 根据模糊控制规则编写的模糊控制器的控制效果达到了预期的性能指标,控制效果良好,实际温度能够稳定在设定值附近,误差远远小于规定值。
4. 应用 MATLAB 软件编写的程序简单直观,可修改性好,仿真方便快捷。

致谢

大学四年时光已经接近尾声，感谢一直关心与支持我的同学和朋友们！我的朋友，感谢你们的鼓励和帮助。还要感谢的是我寝室的姐妹王道梅、唐春红、吴思洋、李晓燕，四年来，我们朝夕相处，共同进步，感谢你们给予我的所有关心和帮助。同窗之谊，我将终生难忘！

在此要感谢我生活学习了四年的母校——陶瓷学院，母校给了我一个宽阔的学习平台，让我不断吸取新知，充实自己。

需要特别感谢的是我的父母。父母的养育之恩无以为报，他们是我十多年求学路上的坚强后盾，在我面临人生选择的迷茫之际，为我排忧解难，他们对我无私的爱与照顾是我不断前进的动力。

本课题在选题及研究的过程中得到吴得道老师的悉心指导。吴老师多次询问研究进程，并为我指点迷津，帮助我拓展研究思路，热忱鼓励。本论文的顺利完成，离不开各位老师、同学和朋友的关心和帮助。感谢吴得道老师、邵龙安老师、王新翠老师的指导和帮助；要感谢在整个论文写作过程帮助过我的每一个人。最主要感谢我的指导老师，吴得道老师，在整个过程中给我很大的帮助，在论文题目制定时，他首先肯定了我题目的大致方向，在论文制定过程中我的思路不是很清晰，经过老师的帮忙，让我具体写作时顿时清晰，在完成初稿时老师认真的看了我的文章，指出了我存在的许多问题，在此十分感谢吴老师的悉心指导。

“不积跬步无以至千里”，这次毕业论文能够顺利完成，归功于各位老师四年间的认真负责，使我能够很好地掌握专业知识，并在论文中得以体现。也正是你们长期不懈的自持和帮助才使得我的毕业论文能够顺利完成。最后，我想陶瓷学院工程系的全体老师们再次表示衷心的感谢：谢谢你们，谢谢你们四年的辛勤栽培！

参考文献

- [1]王赤夫,周山平,胡幼平.大型汽轮发电机组润滑油系统现状分析[J].湖南电力,1999,19(6):39-41
- [2]Linkers D A. Nie J. Constructing rule-based for multivariable fuzzy control byself-learning. Part I. System structure and self-learning. Int. J. System Science, 1993, 24(1):111-127
- [3]Bolognani S. Zigliotto M. Fuzzy Logic Control of a Switched Reluctance Motor Drive. IEEE Trans IndustryApplications, 1996, 32(5):1061-1068
- [4]甘世红,褚建新,顾伟.港口起重机变幅机构润滑油温度的 Fuzzy-PI 控制.上海海运学院学报,2001,12(4):16-17
- [5]周露,李东江,贝超, MATLAB 模糊逻辑工具箱的分析与应用.北京:科学出版社,2001,2(1):46-47
- [6]李丹,谢植,程杰,模糊控制在温度控制系统中的应用与发展.黄金学报,2000,2(4):294-297
- [7]李士勇编著.模糊控制、神经控制和智能控制论.2版.哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2006:1-24,254-284
- [8]郑艳.汽轮机润滑油系统数学模型及仿真[J].南京工程学院学报(自然科学版),2003,12(1):123-128
- [9]李建刚主编.汽轮机设备及运行.中国电力出版社,2006:50-87
- [10]李运泽,杨献勇.汽轮机长期动态模型及仿真.清华大学学报,2003,43(2):281-284
- [11]Moon. Un-ehul, Lee. Kwangy. Temperature control of glass melting fumaco with Fuzzy logic and conventional PI control Proceedings of the Amedcaa control conference,2000,(4):2720-2724
- [12]王鹏,史小平,余天星.汽轮机润滑油温模糊调节系统的仿真研究.控制工程,2007,14(3):236-239.
- [13]Exner O. How to get wrong results from good experimental data: a survey of incorrect applications of regression[J]. Journal of Physical Organic Chemistry, 1997, 10(11):797-813.
- [14]刘金琨编著.智能控制.北京:电子工业出版社,2005:69-73.
- [15]楼顺天,胡昌华,张伟.基于MATLAB的系统分析与设计—模糊系统[M].西安:西安电子科技大学出版社,2003:12-122
- [16]Lima CAM, Coelho A L V, Zu ben F J. Fuzzy systems design via ensembles of ANFIS[C]. Hawaii: Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on

Fuzzy Systems, 2002: 81-106.