

# 坑道钻机性能试验台模糊控制系统的研究

丁景祥

(煤炭科学研究总院西安研究院,陕西 西安 710054)

**摘要:**论述了钻机性能参数测试台模糊控制的理论基础;介绍了坑道钻机检测检验试验台测控模糊控制系统的原理、组成、性能指标、测试参数、抗干扰设计以及运行情况;分析了钻探测控模糊控制应用技术的发展前景。

**关键词:**坑道钻机;性能参数;检测;试验台;模糊控制

**中图分类号:**P634.3<sup>+</sup>1;O231 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2009)03-0031-05

**Study on Fuzzy Control System of Test Bench for Tunnel Drilling Rig Performance/DING Jing-xiang** (Xi'an Branch of China Coal Research Institute, Xi'an Shanxi 510054, China)

**Abstract:** The paper presented the theoretical basis of fuzzy control on test bench for drilling rig performance parameters; discussed the fuzzy control system of test bench for tunnel drilling rig on principle, composition, performance index, testing parameters, anti-interference design and operation condition; and analyzed the development prospect for fuzzy control on drilling measuring and controlling.

**Key words:** tunnel drilling rig; performance parameter; testing; test bench; fuzzy control

从钻探系统所涉及的内容可知,测控系统作为钻探工程的眼睛、感觉器官和调节机构,担负着重要任务。是了解控制各项工作进行情况的有力工具,随着科学技术水平的不断提高,测控系统的功能日臻完善,钻探测控系统逐步发展成为钻探工程不可缺少的重要装备。现在的测控系统,它不只是单一完成指示情况的任务,并将能帮助人们“思维”和“判断”及“处理”情况,从而调节控制生产工作的进行,进一步把控制技术结合起来,实现自动化钻探。

煤矿井下使用的坑道钻机有其特殊性,性能参数检测检验是确保井下钻探和井下安全的重要一环,有着很重要的意义。为此,我们设计并建立了1500 N·m坑道钻机测试试验室,它是目前国内最大的坑道钻机测试试验台,设计采用了新的模糊控制系统,技术先进,测试功能齐全,可解决所有坑道钻机性能参数测试问题。

## 1 钻机性能参数测试台模糊控制的理论基础

钻探参数的控制数学模型是很复杂的,有些可以写出数学控制模型,有些则无法写出控制的数学模型,如钻压、钻速等,它们与钻进压力、钻具摩擦力、冲洗液、冲洗液浮力、地层、岩石、操作者经验等因素相关。钻探工程属于不具有任何数学模型的受控过程,在人的手动操作下确往往能正常运行,并达

到一定的预期结果的过程。人的手动控制策略是通过操作者的学习、试验以及长期经验积累而形成的,它可通过人的自然语言加以叙述。可借助下述定性的、不精确的及模糊的条件语句来表达:若不进尺,则增加压力;若循环不畅,则加大泵压和流量;若钻速太快,则降低钻压等。因此,它属于一种语言控制。由于自然语言具有模糊性,故这种语言控制也称为模糊语言控制,或简称模糊控制。近几年,在钻探参数控制中进行尝试应用。

模糊控制理论具有易于掌握、输出量连续、可靠性高、能发挥熟练专家操作的良好自动化效果等优点。对于经典模糊控制系统稳态性能的改善、模糊集成控制、模糊自适应控制、专家模糊控制与多变量模糊控制的研究,特别是针对复杂系统的自学习与参数或规则自调整模糊系统方面的研究,尤其受到重视。目前,将神经网络和模糊控制技术相互结合,取长补短,形成一种模糊神经网络技术。在智能控制中,如果把神经网络看作是思维型优化控制的话,那么模糊控制的特色是一种语言性的决策控制。

模糊控制的实质是将相关领域的专家知识和熟练操作人员的经验,转化成模糊化后的语言规则,通过模糊推理与模糊决策,实现对复杂系统的控制。一个复杂受控系统往往具有非线性、大时滞、不确定性和时变性,单纯依靠基于认为信息的有限多条模

收稿日期:2008-09-17; 改回日期:2009-01-15

作者简介:丁景祥(1952-),男(汉族),陕西西安人,煤炭科学研究总院西安研究院高级工程师,自动控制专业,从事钻探自动化、测试控制系统研究工作,陕西省西安市西影路102号。

糊规则,很难完善地描述和适应复杂受控对象的多变性。在控制过程中自动地修改、调整和完善模糊控制规则,来提高模糊控制系统的控制性能,逐步达到良好的控制效果,成为自学习、自适应模糊控制理论研究的主要内容。全面综述和系统的分析自调整模糊控制器的研究动向与发展概况,并给出一种启发式自调整模糊控制算法,控制级和规则调整级采用同样的模糊推理策略,便于模糊控制器的实现,也增强了自适应模糊控制器的鲁棒性。模糊模型就是指描述受控系统性能的一组模糊规则,尽管它可以有多种表示形式,但都属于非线性模型,宜于用来表达非线性时变系统。模糊模型的辨识在控制、规划、决策、统计和分析等领域得到广泛应用。模型基于系统局域线性化,在模糊规则结论部分用线性多项式表示,用来拟合受控对象非线性特性,具有逼近能力强和结构简单等特点,模糊辨识中被广为采用,成为复杂受控系统建模的有效方法。

系统稳定性的研究:稳定性分析对于任何一类控制系统都是十分重要的,模糊控制系统也不例外。由于模糊控制器是一种基于规则的语言型控制器,难以用数学式子来描述,因此对它的各种性能分析也相当困难。早期对模糊系统的稳定性理论研究,主要是针对开环模糊控制系统模型进行稳定性分析。此后,针对单变量闭环模糊控制系统模型分析了其稳定性,并给出了系统稳定性条件。最近针对一类常见的非线性系统,基于超稳定性理论,提出一种模糊自适应控制器设计方案。该方案在模型匹配条件下能保证闭环系统的渐近稳定性;当模型匹配条件不满足时,通过引入一个辅助控制量是系统仍能保持稳定。

模糊控制器的硬件实现:常规的模糊控制器由计算机软件编程实现,这样要提高其实时性势必是有困难的。在VLSI上实现了用于实时模糊控制推理的芯片,该模糊芯片可并行处理16条规则。它由规则库存储单元、推理芯片、控制单元和输入-输出接口4个部分组成,仿真研究表明该推理机每秒能处理25万条模糊逻辑推理,比常规的软件实现要快1万倍,因而为模糊控制实时应用提供了强有力的硬件支持。

模糊内模控制向智能化方向发展的途径之一:将模糊逻辑理论和内模控制技术相结合的模糊内模控制方法。其核心问题是怎样建立被控对象的模糊内部模型,通过模糊辨识的方法建立被控系统的内部模型。

模糊系统和神经网络在信息处理过程中,均表现出很强的容错能力。模糊系统擅长处理定性的知识,能使人们的熟练操作经验和专家知识以规则的形式存于模糊系统中,用来解决那些具有不确定性、模糊型的复杂系统控制问题,但它缺乏自学习能力。模糊规则和隶属度函数的确定,依赖于专家知识与熟练操作人员的经验;而神经网络却具有较强的自学习能力,可以直接从系统的输入、输出数据中学习得到其网络结构模型。但神经网络学习完成后,其由权值所描述系统模型很难被人们直观理解,不能加入对象的先验知识,也不能做必要的修改。模糊神经网络在复杂系统模型辨识和控制中的应用,用模糊逻辑增强神经网络的功能。模糊遗传算法控制,将遗传算法引入模糊控制中,可以利用寻找模糊控制器的各项最优参数,输入-输出空间的模糊域划分、模糊规则数的选择、规则的连接和模糊集的隶属度函数寻优等,是模糊控制系统具有自组织、自校正和自学习功能。

钻探测试参数模糊自整定PID控制。为了满足在不同偏差 $E$ 和偏差变化率 $EC$ 对PID参数自整定的要求,利用模糊控制规则对PID参数进行在线修改,便构成了参数模糊自整定PID控制器。其实现思想实现找出3个PID参数与偏差 $E$ 和偏差变化率 $EC$ 之间的模糊关系,在运行中不断检测 $E$ 和 $EC$ ,再根据模糊控制原理来对3个参数进行在线修改,以满足在不同的 $E$ 和 $EC$ 时对控制参数的不同要求,使被控对象具有良好的动、静态性能,而且计算量小,易于用单片机实现。在按不同的 $E$ 和 $EC$ 下被控过程对参数 $K_p$ 、 $K_i$ 和 $K_d$ 的自整定要求,可简单地总结出以下规律:当 $E$ 较大时,应取较大的 $K_p$ 和较小的 $K_d$ ,以使系统相应加快,且使 $K_i=0$ 为避免较大的超调,故去掉积分作用。当 $E$ 中等时,应取较小的 $K_p$ ,是系统响应具有较小的超调,适当的 $K_i$ 和 $K_d$ ,特别是 $K_d$ 的取值对系统的相应影响较大。当 $E$ 较小时,应取较大的 $K_p$ 和 $K_i$ ,以使系统有较好的稳态性能, $K_d$ 的取值要恰当,以避免在平衡点附近出现振荡。模糊-PID控制器与常规PID控制器相比,它大大提高了系统抗外部干扰和适应内部参数变化的鲁棒性,减小了超调,改善了动态特性。与简单模糊控制器相比,它减小了稳态误差,提高了平衡点的稳定度。

模糊控制具有许多传统控制无法比拟的优点,主要有如下几点。

(1)使用语言方法,不需要精确数学模型,可不

需要掌握过程的精确数学模型。一般对于复杂的生产过程很难获取过程的精确数学模型,而语言方法却是一种很方便的近似。

(2)使用方便。操作人员易于通过人的自然语言进行人机界面联系,这些模糊条件语句很容易加入到过程的控制环节上。

(3)适应性强。采用模糊控制,过程的动态相应品质优于常规PID控制,并对过程参数的变化具有较强的适应性。

(4)程序短,所需存储器少。模糊控制系统一般只需很短的程序和较少的存储器,它比采用查表方法的控制系统需要的存储器少得多,比多数采用数学方法的控制系统需要的存储器也少得多。

(5)速度快。模糊控制系统可在很短的时间内完成复杂的控制任务,而如果是计算方法则需大量的数学计算工作。这样,可使用简单的8位单片机来完成可能需要32位或RISC处理器的控制功能。

(6)容易学习。对于具有一定操作经验、非控制专业的操作者,模糊控制方法易于掌握。

(7)开发方便、迅速。使用模糊逻辑控制,不必对被控对象了解非常清楚就可开始设计。调试控制系统,可先从近似的模糊子集和规则开始调试,再一步步调整参数以优化系统。模糊推理过程中的各个部件在功能上是独立的,因而可以简单地修改控制系统。例如可加入规则或输入变量,而不必改变整体设计,但对于常规的控制系,加入一个输入变量将改变整个控制算法。

## 2 坑道钻机检测检验试验台测控模糊控制系统

钻机的研制和生产过程中需要快速的找出当前钻机主要性能参数的静态、稳态、动态数值和变化趋势,需要找出钻机在使用中的薄弱环节,需要改进和加强的数值参数等。这就需要在室内试验室模拟野外工作环境,快速测试出这些动静态参数值和变化趋势曲线。帮助人们研制和生产出更合适在野外使用的钻机、钻探设备和钻探工艺。

模拟野外环境时,首先是钻机需要按一定规律变化动态回转和给进起拔加载,这种规律最适合用模糊控制的方法实现。在试验台进行钻机性能测试时,需要识别测试钻机的型号规格,配用相应的对应传感器来测量,同时施加对应的方法供工艺工作状态进行模拟和测试。这是采用模糊控制方法的独到之处。

### 2.1 测试系统的组成

坑道钻机检测检验试验台的模糊控制系统由回转钻进测试加载装置、给进起拔力测试加载装置、坑道钻机测试模糊测控系统、信号传感器采集系统、信号处理系统等组成,可以实现测试方法、测试标准的修改和添加;人机界面,自动辨识。所有功能都用模糊控制来实现控制。

### 2.2 测试的性能参数

钻机检测的参数有:主轴转矩、主轴转速、钻进速度、累计进尺、给进/起拔力、油温度、机壳温度、马达温度、油泵温度、油缸温度、环境温度、系统压力、回油压力、马达进口压力、马达出口压力、油缸进口压力、油缸出口压力、输入功率、油泵流量、给进/起拔速度、冷却水压力,回转加载装置制动转矩、转速、吸收功率,钻机的输出功率、效率、钻机机身架应力变形参数等、机架应力应变及应变位移。液压泵站系统参数测试:泵压、泵压的调节范围、泵量、泵量的调节范围、液压的响应、液压的滞后等。

### 2.3 数据采集系统

数据采集系统是钻机测试系统的一个CAN现场总线网络节点,采集的数据通过CAN总线网络传送到上位机系统主控制器进行数据处理显示存储。根据钻机测试参数传感器的类型和测试范围,在钻探数据采集系统的键盘上,很方便地进行每一个数据通道模块的集成、零点的确定、测试量程范围、满度量程、显示量程的设定等。更换成传感器后,可方便的在面板上用数字电位器重新设定参数数据,使用非常方便。在钻机测试系统中配有上位工控机,操作设置更加方便。

### 2.4 系统原理

系统原理如图1所示。

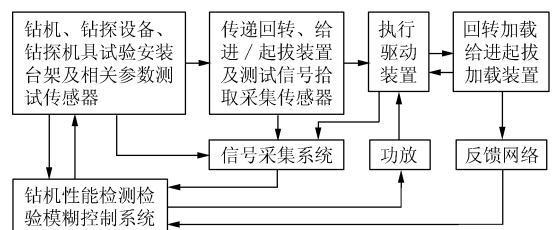


图1 坑道钻机检测检验模糊控制系统原理示意框图

### 2.5 坑道钻机测试主要技术性能指标

(1)温度通道;(2)压力通道;(3)流量通道;(4)给进/起拔力通道;(5)转矩通道;(6)转速;(7)功率;(8)其他参数:零点、范围、量程、满度、精度取决于对应的传感器;(9)回转加载吸收功率400 kW;(10)钻机、钻探设备、钻探机具机身应力应变测试;(11)钻机液压系统的响应和滞后参数的测试;(12)

环境状态参数测试;(13)钻机性能模糊控制系统具有自检和诊断故障的部位、元件、软件模块功能;(14)系统测控通道可扩展到1024个通道,满足多回路测控系统的监测和控制使用。

测试可分为人工指令单步分段测试和计算机模糊系统控制机械加载数据采集处理半自动和全自动测试。还可分为钻机部件性能参数研究试验测试,钻机组装调试测试、检验测试,试验综合测试、出厂检验测试、抽检测试等。回转和给进/起拔模拟加载都是模糊控制系统,根据人机对话的和谐方案来自动选点和选段选状态,在钻机回转加载电涡加载流曲线与磁粉加载曲线,在不同转速段的合成与转换满足坑道钻机低速大转矩的加载特性曲线时,模糊控制系统在此起着非常重要的作用。选参数自动完成测试工作、机械传递系数在不同状态时滞的测试补偿计算,这些只要在视窗口按照不同钻机标准进行设置,其余由计算机模糊控制系统按照设置进行自动测试。

## 2.6 对象与基本构成

### 2.6.1 对象

使用对象包括试验员与管理员。试验员是对试验的基本数据进行描述,管理员是对制定、修正管理的试验方案和其他高级管理以及多级别管理进行设定。

### 2.6.2 软件系统

软件使用,软件的启动、关闭及软件菜单;试验方法及步骤;设置试验方案和相关的重要术语;设计试验报告模板;数据查询与曲线分析;试验报告的生成、预览、打印;添加试验执行标准;校准传感器;检定传感器;对传感器进行线性修正;增加扩展单位及数据修约等;导入/导出及其他辅助功能;附录(介绍编辑试验标准时使用的各种参数);相关文档(根据提示或使用状态钻机检测检验模糊控制系统在提示窗口进行描述和提示)。

### 2.6.3 操作系统

软件可适用于 WindowsXP、WindowsVISTA 的操作系统。

## 2.7 抗干扰设计

钻机在运行环境中对测试系统的干扰严重。对测试系统,主要是防止接地干扰。由于测试系统分布广,信号传输线长,所以其地线标准要求比较高,接地阻值  $< 4 \Omega$ 。为此,测试柜内部模拟信号地线和数字信号地线分开。因为数字信号波形具有陡峭的边缘,数字电路的地电流呈现脉冲变化,若将模拟

电路和数字电路共用一根地线,数字电路地电流通过公共地阻抗的耦合给模拟电路引入瞬态干扰,特别是电流大、频率高的脉冲信号,干扰更大。系统的模拟地和数字地最后汇集到一点上,与系统地相连。将动力电路的地线和测试信号电路的地线分开,串接地,任一电路的地电位都受到别的电路地电流变化的影响,使电路的输出信号受到干扰,离接地点越远,电路中出现的噪声干扰越大。并联接地,各电路的对地电位只与本电路的地电流和地线阻抗有关,没有公共阻抗耦合噪声。为使干扰最小,本系统在布线时把动力线和测试信号线分开,并采用并联接地方式。其次模糊控制软件实行模糊抗干扰方法,进一步加大抗干扰能力,提高系统运行稳定度。这些都是模糊控制技术软件来完成的。

## 2.8 系统运行情况

钻机模糊测试控制系统,从安装调试运行至今,使用4年多一直运行良好,检测检验数据准确可靠,人机界面和谐,抗干扰能力强,使用效果很好,达到了设计的目的和要求。

## 3 钻探测控模糊控制应用技术的发展前景

在模糊控制技术应用研究的前期,以大型机械设备和连续生产过程为主要对象,而目前已扩展到大众化机电产品,向复杂大系统、智能系统、人与社会系统以及生态系统等纵深方向拓展。在硬件方面进一步研制模糊控制器、模糊推理等专用芯片,并且开发模糊控制用的通用系统。随着面向特定对象的控制系统开发的迅速增长,以通用为目标的系统开发要求也渐趋迫切。目前对高速、小型、使用简便的模糊控制器件与以通用化为目标的模糊控制系统的需求也迅速增长。所谓模糊控制的通用控制器是指以模糊推理来决定控制动作的算法作为控制系统的核心,并且采用任何一条控制规则,均具有相应设定功能的一种调节作用。同时还把模糊控制用的通用控制器与其相关的通用软件统称为“模糊控制用的通用系统”。

## 4 模糊理论研究的新动向

今后控制理论面临的突出问题是既要继续发展自身理论,又要在应用方面留下实实在在的成果。就此,钻探测控模糊控制将有得天独厚的优势。并且钻探模糊控制——钻探模糊专家系统——钻探模糊控制工程将是构成未来系统——“人类友好系统”的重要途径。

机器设备的性能越高、越完善,对用户知识和熟练技术的要求也越高,要百分之百的发挥机器(系统)性能就越难,特别在与计算机相关联的技术中,有这种感受的倾向更为激烈。因此,从机器(系统)方面来说,应该具有迎合使用者的能力,这就要求构成一种“人类友好系统”。要求这种系统一方面对于人具有高度的“友好性”,另一方面要求对“谁”都是易于使用的。

真正作为“人类友好系统”,必须象人们彼此间相互讨论、相互交流的那样具有理解自然语言的能力。通过对话,觉察问题内在智慧,这就要求系统必须要有非常高的智慧。人类彼此之间所以能进行美好的对话,因为是有共同的语言、知识和思维方法,且具有模糊性,容易推敲对方意图与问题关键,而人与计算机的知识、结构、思维方法互不相同,各有所长,即使彼此间努力去逼近,还不如构成一个具有口译功能的第三子系统,在人(第一子系统)和计算机(第二子系统)之间周旋为好。这个第三子系统应该是人和计算机双方都能明白,具有共识,能够拥有推理意图的高度人工智能系统。国际权威人士认为“模糊控制工程”是未来“人类友好系统”的成功关键。因为,模糊理论是目前能用来表示现代水平自然语言的模糊意识的唯一理论,可以用它来构造定型的逻辑思维模型,而且在某种程度上,有可能表示被称为常识的“宏知识”。因此,模糊逻辑可以把人们的柔性思维模型化,通过严格的逻辑处理,就有可能构成人与计算机之间的第三子系统。

模糊控制技术作为智能控制的重要分支之一,它的最大特点是针对各类具有非线性、强耦合、不确定性、时变多变量复杂系统,在各个控制领域中得到

广泛应用,并取得良好控制效果。从1994年至今,模糊控制技术先后在钻进工艺试验室和坑道钻机性能测试及钻探设备、钻探机具制造专用设备的测控中应用。采用先进的全数字化模糊控制系统其调整、标定、传输、显示、识别、控制调节都为模糊数字智能完成,对钻探参数进行模糊测试控制,提高测控精度,带来更大的方便,受环境温度等影响更小,得到良好的控制效果,为钻探自动化控制系统积累了资料和经验,钻探工程的模糊控制系统应用前景广阔。

#### 参考文献:

- [1] 谢克成,等.自动控制原理[M].北京:电子工业出版社,2004.
- [2] 张碧波,等.设备状态监测与故障诊断[M].北京:化学工业出版社,2004.
- [3] 蔡自兴,等.智能控制[M].北京:电子工业出版社,2004.
- [4] 潘新民,等.微型计算机控制技术[M].北京:电子工业出版社,2003.
- [5] 雷森,等.微机自动检测与系统设计[M].北京:电子工业出版社,2003.
- [6] 方严军,等.检测技术与系统[M].北京:中国电力出版社,2006.
- [7] 刘君华,等.现代测试技术与系统集成[M].北京:电子工业出版社,2005.
- [8] 诸静,等.模糊控制理论与系统原理[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [9] 李志全,等.智能仪表设计原理及应用[M].北京:国防工业出版社,1998.
- [10] 孙传友,等.测控系统原理与设计[M].北京:北京航空航天大学出版社,2002.
- [11] 孟华,等.工业过程检测与控制[M].北京:北京航空航天大学出版社,2002.
- [12] 王仲,等.智能检测与控制技术[M].西安:西北工业大学出版社,2002.

(上接第30页)

$$v = 30 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}, Re_c = 2320; W_1 = 0.3$$

根据上述分析,用C++语言编程求解,求得本问题的最优解为:

$$d_1 = 0.048 \text{ m}, v_1 = 1.172 \text{ m/s}; d_2 = 0.034 \text{ m}, v_2 = 1.183 \text{ m/s}; d_3 = 0.027 \text{ m}, v_3 = 1.158 \text{ m/s}.$$

根据计算结果,参照相关标准,即可选定管路尺寸。

## 5 结语

通过优化得出的管路参数,有效地保证了管路的应用要求,同时兼顾了能量损失及体积2个因素,

该方法对钻机液压管路的选择设计具有一定的参考价值。

#### 参考文献:

- [1] 孙靖民.机械优化设计[M].北京:机械工业出版社,1998.
- [2] 吕凤翥.C++语言基础教程[M].北京:清华大学出版社,2001.
- [3] 吴信丽,曹文钢.电动叉车液压管路局部优化设计[J].机床与液压,2004,(11):102-103,137.
- [4] 刘顺安.液压传动与气压传动[M].长春:吉林科学技术出版社,1999,12.
- [5] 张也影.流体力学[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [6] 成大先,等.机械设计手册(第四版第4卷)[M].北京:化学工业出版社,2002.