

全液压自动送钻技术控制系统的研究

闫保永^{1,2}

(1. 中煤科工集团重庆研究院有限公司, 重庆 400039; 2. 瓦斯灾害监控与应急技术国家重点实验室, 重庆 400039)

摘要: 本文结合全液压力头式地面煤层气钻机的结构特点, 根据给进机构数学模型及钻压控制经验公式, 建立钻压控制模型, 设计模糊 PID 控制器并进行了仿真分析。通过改变门限钻压值和岩石可钻性系数值大小, 模拟钻进过程中地层变化和被控对象参数变化对系统的影响, 经过仿真分析得出系统的响应速度快, 超调量小, 具有较好的适应能力和抗干扰能力。因此, 用模糊控制来实现恒钻压控制是可行的, 对实现钻机的自动化、智能化控制具有一定的指导意义。

关键词: 钻机; 自动送钻; 模糊控制

中图分类号: P634.3; TD41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672 - 7428 (2016) 06 - 0064 - 04

Study on the Control System of Full Hydraulic Auto-drilling/YAN Bao-yong^{1,2} (1. Chongqing Research Institute of China Coal Technology and Engineering Group, Chongqing 400039, China; 2. State Key Lab. of Gas Disaster Monitoring and Control as well as Emergency Technology, Chongqing 400039, China)

Abstract: The drilling pressure control model was established based on the structural characters of full hydraulic driving head ground coalbed gas drilling rig, feed mechanism mathematical models and drilling pressure control experience formulae; the fuzzy PID controller was designed and simulation analysis was carried out. By adjusting the coefficients value of threshold pressure value and rock drillability value, the influence of the different strata and the parameters of controlled objects in drilling courses on auto-drilling system were simulated and the simulation analysis indicates that this system has good adaptability and anti-interference ability with high response speed and small overshoot. Therefore, it is feasible to realize constant drilling pressure by fuzzy control, which has guiding value for automation and intelligent control of drilling machine.

Key words: drilling rig; auto-drilling; fuzzy control

0 引言

地面钻井抽放瓦斯是一项煤与瓦斯共采的绿色开采技术, 发展前景十分广阔^[1]。该技术在美国及澳大利亚的许多矿井得到了成功应用, 我国铁法矿区、淮北矿区、晋煤集团等都成功地对该技术进行了应用。地面钻机作为钻孔施工的重要装备, 直接决定地面抽采技术能否成功推广应用。目前施工用的地面钻机, 一般为全液压力头式钻机, 其给进机构主要由给进滑板、增速机构、给进油缸等组成^[2]。采用电液比例技术、负载反馈技术实现钻进过程的精准控制^[3-4]。全液压自动送钻控制系统要求在安全、经济的运行条件下钻进系统可以根据孔底钻头钻压的变化, 自动进行调节。恒钻压钻进控制是自动送钻技术的重要目标^[5], 也是目前的研究热点和重点。

目前自动送钻技术的研究多是结合石油钻机的

盘式刹车系统。相关论文已经探讨了智能控制在自动送钻技术中的应用^[6-10], 比如基于广义小脑模型神经网络、基于对角神经网络的控制方案; 也有论文提出利用工业控制计算机 PLC 对钻机辅助电动机进行自动送钻控制, 仿真效果都要优于传统的 PID 控制。本文将结合地面钻机, 阐述全液压自动送钻技术钻压控制系统的设计与仿真, 将回转器转速和扭矩的变化、钻井液压力和流量的变化对钻压的影响加以考虑并做仿真分析。

1 系统建模

1.1 给进系统工作原理

地面钻机给进系统的工作原理图如图 1 所示, 图 1 左半部分是给进系统的液压原理图。该给进机构的液压系统采用电液比例方向阀进油节流调速回路,

收稿日期: 2015 - 12 - 18

基金项目: 国家科技重大专项资助项目(编号: 2011ZX05040 - 004)

作者简介: 闫保永, 男, 汉族, 1984 年生, 助理研究员, 硕士, 从事煤矿钻探装备研制及推广工作, 重庆市九龙坡区科城路 6 号 505#, cqmk0803@163.com。

系统工作压力由电液比例溢流阀按实际工况进行调节。图 1 右半部分是给进系统机械示意图。液压缸与动力头联接在一起,活塞杆下端与底座固定。这种结构的液压缸无杆腔通入压力油为提升状态,液压缸能产生较大的上顶力,提升能力强,且有利于处理孔内事故,不过提升速度较慢。

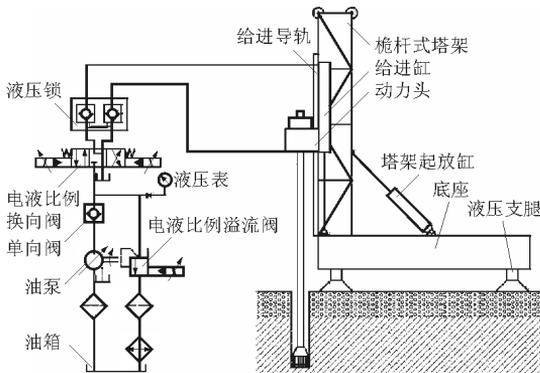


图 1 给进系统工作原理图

工况进行建模仿真。减压钻进时的数学简化模型就是对称阀控非对称缸的液压动力机构,如图 2 所示。非对称缸两腔的有效作用面积不相等,在正反两方向上静、动态性能不同。很多学者注意到了这一点,并对阀控非对称缸的建模问题重新进行了分析^[11-13]。

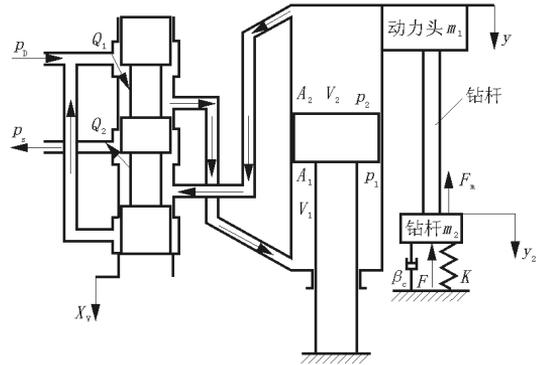


图 2 钻杆为刚性体时阀控缸原理图

建模时,将电液比例方向阀视为一个比例环节,放大倍数设为 K_v ;将钻杆视为一个刚性系统。根据流体力学知识,分别列出节流方程、流量连续性方程、力平衡方程并进行拉氏变换可得钻进系统方框图如图 3 所示。

1.2 系统数学模型分析

地面钻井施工时,根据钻孔深度不同,有加压钻进、减压钻进两种工况,因地面钻孔深度一般较大,减压钻进施工时间长,限于篇幅,本文仅对减压钻进

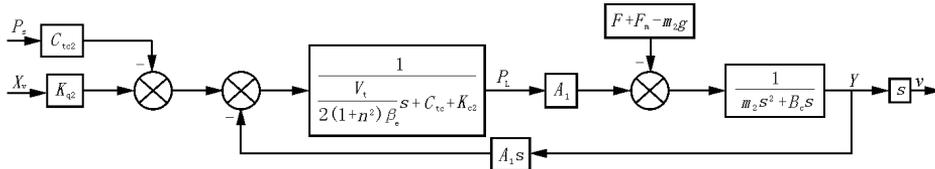


图 3 钻进系统钻速控制方框图

P_s —进油口压力,Pa; X_v —阀芯位移,m; C_{tc2} —液压缸内泄漏系数,(m^3/s)/Pa; K_{q2} —流量增益, m^2/s ; P_L —负载压力,Pa; V_1 —液压缸有效容积, m^3 ; n —液压缸无杆腔与有杆腔活塞面积之比; β_e —液压油弹性模量, N/m^2 ; C_{tc} —综合泄漏系数,(m^3/s)/Pa; K_{c2} —流量压力系数,(m^3/s)/Pa; A_1 —液压缸有杆腔活塞面积, m^2 ; F —钻杆受到地层反作用力,N; F_m —钻井液对钻杆的浮力,N; m_2 —钻杆质量,kg; B_c —钻进过程中的阻尼系数, $N \cdot s/m$

在均匀地层钻进过程中,为了减少钻头磨损,一般采取恒钻压钻进工艺。针对某一特定地层来说,为了获得恒钻压钻进,需要给进油缸给进压力恒定。由于其它参数的影响,如回转器转速、水力参数等,会使钻速发生变化,使得钻压发生变化,因此需要实时的调节给进速度。本文中,就是通过调节给进速度,使给进速度与所需钻速相匹配。如遇到地层改变,需要改变钻压,就要调节给进油缸给进压力,针对不同的地层,建立钻进工艺的专家数据库,就可以实现自动钻进。

本文讨论在某一特定地层,液压缸给进压力恒定的情况下,钻压模糊控制系统适应地层岩性的变化、对象参数的变化的能力。根据修正杨格模式^[5],得到

钻压与钻速之间的关系方框图如图 4 所示。

$$\frac{M(s)}{V(s)} = \frac{1}{1/K} + \frac{W(s)}{s}$$

图 4 钻压与钻速关系方框图

K —岩石可钻性系数,与岩石硬度、泥浆密度、水力参数、回转器转速及钻头磨损等有关的系数; M —岩石门限钻压,t; W —井底钻压,t; V —钻进速度,m/s

由于该关系是根据钻孔实践得出的经验公式,因此在进行钻压控制时,选用模糊控制比较适合钻压控制的特点。

1.3 钻压模糊 PID 控制器的设计

为使系统获得较好的控制性能,设计 PID 控制器。经过参数整定,并考虑到减压钻进时的仿真

情况,最后确定常规的 PID 调节器中各参数值为: $K_p=3, T_i=0.08, T_d=0.02$ 。

采用了二维模糊控制器,将钻压偏差 E 和钻压偏差变化率 EC 作为钻压模糊控制器的输入变量, U 作为钻压模糊控制器的输出变量^[14-15]。在本文中的模糊控制器设计中,将输入 $E、EC$ 和输出 U 的值选取如下: $(E、EC、U)$

$$E = EC = U$$

$$= \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$$

根据现场钻井经验,可以得到模糊控制器的输出控制表,如表 1 所示。

表 1 钻压模糊控制器的输出(变量 U)控制表

钻压偏差 E	钻压偏差变化率 EC												
	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	-6	-6	-6	-5	-5	-5	-5	-4	-3	-3	-1	-1	0
-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-4	-3	-3	-1	-1	0
-4	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-4	-3	-3	-1	-1	0
-3	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-3	-2	-1	0	0	1
-2	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-2	0	1	1	1	1
-1	-3	-3	-3	-3	-3	-2	-2	-1	1	2	3	3	3
0	-3	-3	-3	-3	-1	-1	0	1	1	3	3	3	3
1	-3	-3	-3	-2	-1	1	2	2	3	3	3	3	3
2	-1	-1	-1	-1	0	2	3	3	3	3	3	3	3
3	-1	0	0	1	2	3	4	4	4	4	4	4	4
4	0	1	1	3	3	4	5	5	5	5	5	5	5
5	0	1	1	3	3	4	5	5	5	5	5	5	5
6	0	1	1	3	3	4	5	5	5	5	6	6	6

在工程应用中,为了获得较快的响应,常常通过

查表的方式进行控制。例如,当 E 为 $-1, EC$ 为 -2 , 对应控制输出量 U 为 -3 ;当 E 为 $3, EC$ 为 0 , 则控制输出量 U 为 4 。模糊控制器根据输入量大小,通过查模糊控制规则表来得出控制输出量进行控制。

2 减压钻进时钻压控制的仿真分析

由减压钻进钻速控制方框图(图 3)和钻压与钻速的关系方框图(图 4),可在 MATLAB 中建立减压钻进钻压控制的仿真框图(图 5)。

在仿真中,给定钻压值与加压钻进时相同,为 3.5 t 。减压给进是阀芯位移为负,我们理解为电液比例阀的 B 端通电,如果设 A 端通电的电流为正,那么 B 端通电的电流就为负。

由于减压钻进时,孔深较大,系统钻压响应较慢,所以取零阶保持器的累加周期为 0.1 s 。系统的仿真曲线如图 6 所示。从图 6 可以看出,系统响应速度较快,为 0.4 s ;有超调,超调量为 0.6% ;以 0.001 的精度进行仿真,系统不存在稳态误差。

上面的仿真结果反应了在单一均匀地层中正常钻进过程中的情况,仿真结果表明模糊控制取得了较好的控制效果。下面我们来分析地层岩性的变化,即改变门限钻压来模拟对系统响应的影响。

图 7 是系统在 M 值为 2 t 时的仿真曲线,从图中可以看出,系统响应时间很快,约为 0.25 s ;有超调,超调量为 0.8% ;在稳态的时候没有什么变化,

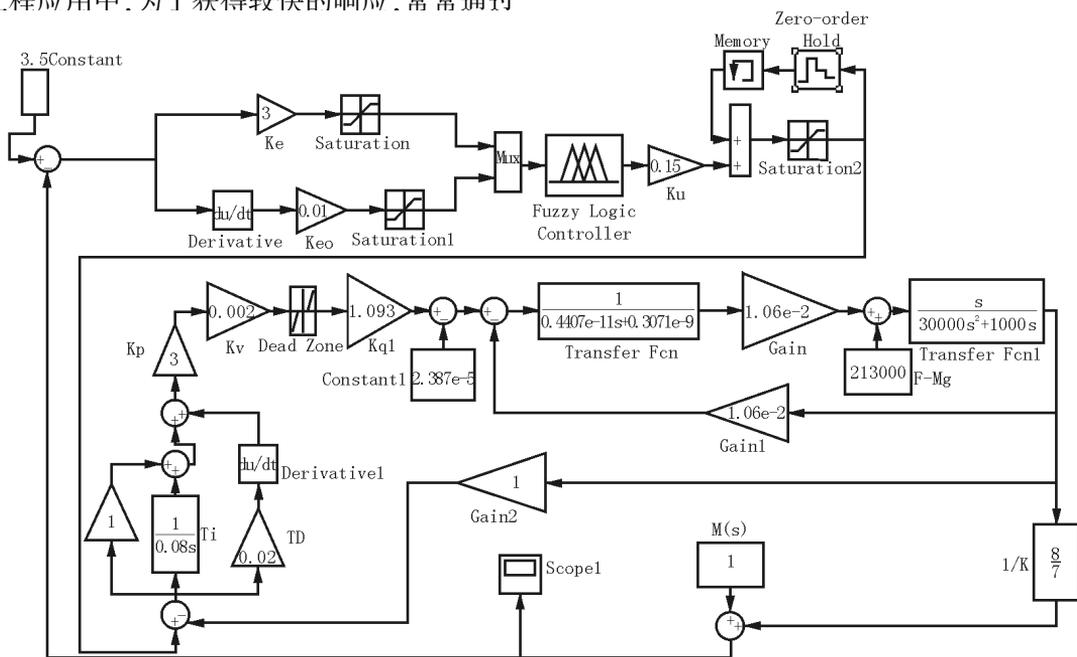


图 5 减压钻进时钻压模糊控制系统仿真框图

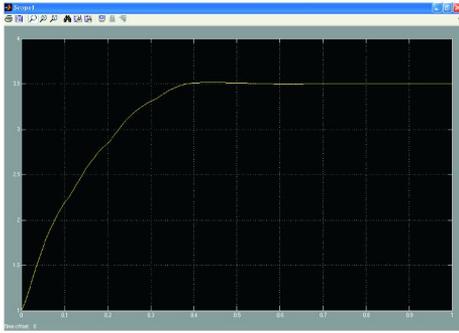


图 6 钻压模糊控制系统响应曲线

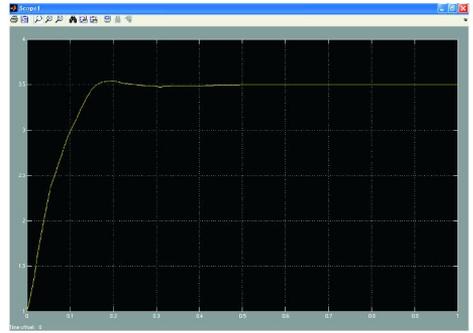


图 9 1/K 为 15/7 时钻压的响应曲线

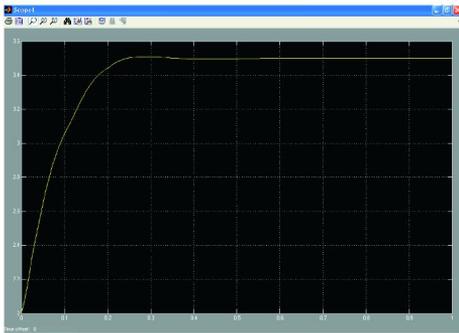


图 7 门限钻压为 2 t 时钻压的响应曲线

(1) 钻进过程中, 钻压值与多个参数有关, 而各个参数又是不断变化, 要建立钻压控制的精确数学模型是很困难的, 因此用模糊控制来实现恒钻压控制具有一定的可行性。

(2) 通过改变门限钻压 M 值和岩石可钻性系数 K 值大小, 模拟钻进过程中地层变化和被控对象参数变化对系统的影响, 经过仿真分析得出, 本文设计的模糊控制器具有较好的适应能力和抗干扰能力。

参考文献:

- [1] 周德昶, 焦先军. 地面钻井抽采瓦斯技术的发展方向[J]. 矿业安全与环保, 2006, 33(12): 77 - 79, 88.
- [2] 冯德强. 钻机设计[M]. 湖北武汉: 中国地质大学出版社, 1993: 2 - 4, 316 - 327.
- [3] 关景泰, 温济全. 机电液控制技术[M]. 上海: 同济大学出版社, 2003: 1 - 6.
- [4] 吴根茂, 邱敏秀, 王庆丰, 等. 新编实用电液比例技术[M]. 浙江杭州: 浙江大学出版社, 2006: 1 - 12, 156 - 166.
- [5] 鄢秦宇. 岩土钻掘工程学[M]. 湖北武汉: 中国地质大学出版社, 2006: 88 - 100, 24 - 26.
- [6] 张运生, 杨帆. 基于广义小脑模型神经网络的钻机自动送钻系统控制与仿真[J]. 成都电子机械高等专科学校学报, 2007, 40(3): 6 - 9.
- [7] 王泮涛, 朱小平. 基于 DRNN 神经网络的石油钻机自动送钻系统智能控制研究[J]. 内蒙古石油化工, 2006, (12): 158 - 160.
- [8] 史玉升. 基于人工智能的自动送钻监控技术[J]. 石油机械, 2000, 28(1): 28 - 31.
- [9] 王平, 赵清杰, 杨汝清. 石油钻机智能送钻技术研究[J]. 石油机械, 2006, 34(12): 54 - 58.
- [10] 高岩. 石油钻机自动送钻智能控制系统[D]. 陕西西安: 西安建筑科技大学, 2004.
- [11] 许贤良, 刘利国. 关于负载压力和负载流量的讨论[J]. 机床与液压, 1995, (4): 214 - 216.
- [12] 聂松林. 对称伺服阀控制单出杆液压缸的特性分析[J]. 武汉冶金科技大学学报, 1997, 20(1): 86 - 90.
- [13] 肖志权, 邢继峰, 朱石坚. 长行程阀控非对称缸建模分析[J]. 流体传动与控制, 2007, (1): 19 - 22.
- [14] 诸静. 模糊控制原理与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005: 303 - 326.
- [15] 席爱民. 模糊控制技术[M]. 陕西西安: 西安电子科技大学出版社, 2008: 75 - 76.

系统也不存在稳态误差。从而说明该模糊控制系统有一定的抗干扰能力。

通过改变 K 值的大小, 可以模拟系统对于对象参数变化的适应能力。 $1/K$ 为 $5/7$ 时系统响应曲线如图 8 所示; $1/K$ 为 $15/7$ 时系统响应曲线如图 9 所示。与图 6 对比可知, K 值发生变化时, 对系统的响应时间影响较大, 但是都很快趋于稳定, 不存在稳态误差; 有超调, 超调量均小于 2%。这说明控制系统在对象参数发生变化时, 有较强的适应能力。

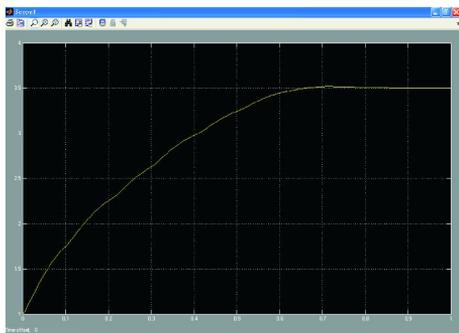


图 8 1/K 为 5/7 时钻压的响应曲线

3 结论

本文结合全液压动力头式地面钻机给进机构特点, 建立了给进机构数学模型, 通过设计模糊 PID 控制器并进行仿真分析, 得出以下结论: