

冲击式钻机的微机模糊控制

江 秀 汉

(西安石油学院仪器与自动化系)

摘 要

以往的冲击式钻井是凭人的感觉来判断钻具在井下的工作状况,容易失误而引发事故。所研制的微机控制冲击式钻机操作指导系统利用模糊控制原理,能对钻具的正常、绳松和空顿三种状态作出及时准确的判断,并指导司钻作相应的提绳和给进操作。还能对断钻头、断绳和卡钻三种故障进行检测和报警。

关键词: 模糊控制; 模糊语言; 模糊逻辑; 模糊集合; 模糊子集; 冲击式钻机; 脉冲式传感器。

一、引 言

冲击式钻机被广泛用于石油钻井、水文、地质勘探及建筑等领域,特别是浅油层,低渗透率油田。在美国的油田中使用着七百多部冲击式钻机。它的最大钻井深度可达一千五百米。这种钻机的应用历史已经相当长了,但迄今为止,国内外都是靠人工扶绳的感觉、眼睛观察、耳听声音,再根据经验来判断钻具在井下的工作状况。这不仅使工人的劳动强度大,精神高度紧张,而且在钻井深度达二百米以上时,判断不及时、不准确,从而导致误操作,引起事故的发生,严重影响了钻井效率。

我们研制的微机控制冲击式钻机操作指导系统,运用了模糊控制原理。它能及时准确地判断钻具在井下的工作状态,并指导司钻做相应的操作。还能对一些故障进行检测和报警。通过在油田使用表明,系统性能稳定可靠,具有较强的抗干扰能力,操作简便,容易安装和调试。

二、系统的组成和工作原理

系统的组成如图1所示。主要由Z80微型计算机、传感器和位于控制盒上的开关、按钮及各种显示灯组成。

冲击式钻机是由电机通过曲柄连杆机构带动游梁上下往复运动,从而使钻具随之提升和放下。钻头冲击井底岩石,使其破碎,图2给出了它的工作原理示意图。冲击若干次后,要松开绞车的刹车,将钢绳释放一段,谓之给进。给进量太大会减小冲程,影响钻

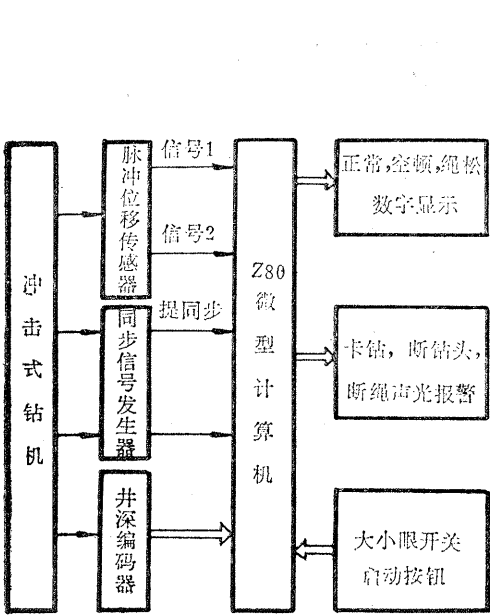


图 1 系统组成

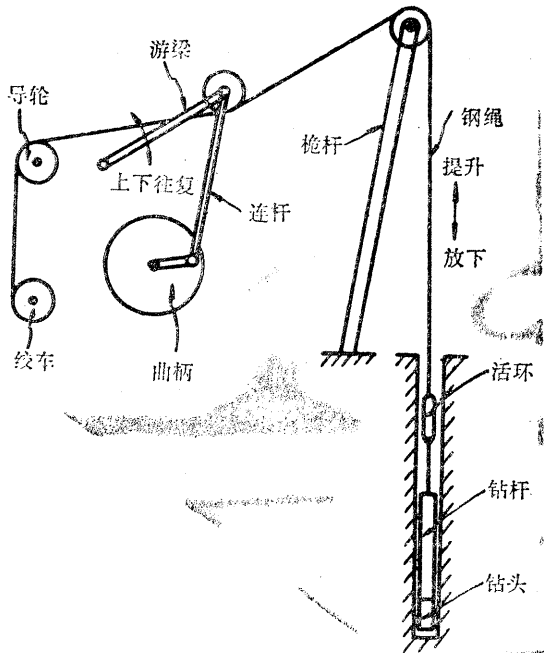


图 2 冲击式钻机工作原理示意

进效率，这种工作状态称为绳松。若不及时给进，钢绳过紧甚至钻头不能触及井底，这叫空顿。它不仅影响钻进效率，还常引发断绳事故。模糊控制要解决的问题就是：利用模糊控制方法判断钻具是工作在正常、绳松还是空顿状态，绳松和空顿的呈度，并给司钻提供提绳或给进多少的指示。

脉冲式位移传感器用来间接测量钢绳张力，如图3所示，在钻机的游梁上有一缓冲机构，在钢绳张力作用下，弹簧被压缩，使导杆产生位移，位移大小与钢绳张力成正比。与导杆固连的传感器动子运动到位置1和2的定子正上方时，可分别给出一个脉冲信号。这两个位置及它们对应的钢绳张力是可以预先确定的，也可根据需要来调整。

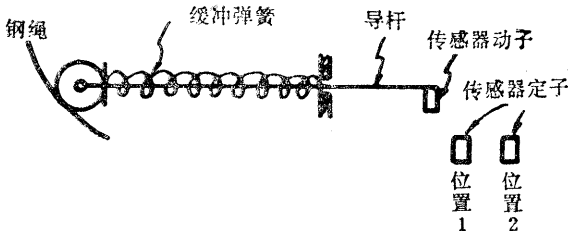


图 3 脉冲式位置传感器

两个同步信号发生器用来反映钢绳张力变化与钻机运动规律之间的关系。一个在游梁处于最高位置时给出信号，称为提同步。标志钻机开始提升钻具。另一个在游梁处在最低位置时给出信号，称为放同步，标志钻机开始放下钻具。

正常工作时, 提同步信号与信号1二者到来时刻之间有一个时间间隔 T 。当给进量过大时, 信号1到来时刻推迟, T 变大, 钢绳越松 T 越大。若不及时给进, T 变小, 绳越紧 T 越小。所以可根据 T 的大小来判断钻具工作在何种状态。

模糊控制算法经事先计算后, 以控制表形式存在计算机内, 在得到一个观测量 T 后, 经量化处理, 再查控制表、即可得到相应的操作指令, 显示在控制盒上, 司钻按指示操作钻机。

三、模糊控制器的设计

考虑到冲击钻井方式不需要连续给进的特点, 并尽力避免过于频繁的人工操作, 采用了单变量、少分档、多段条件语句控制规则。

人工控制的经验可描述为

若钢绳偏紧, 则给进, 越紧给进量越大;

若钢绳松紧合适, 则不给进;

若钢绳偏松, 则提绳, 越松提绳量越大。

1. 观测量和控制量

观测量: 时间间隔 T 。其辞集取为负大(NL)、负小(NS)、零(0)、正小(PS)、正大(PL)。对应的模糊子集为 $\tilde{T}_1, \tilde{T}_2, \tilde{T}_3, \tilde{T}_4, \tilde{T}_5$ 。负表示钢绳偏紧, 正表示偏松。传感器的量程为论域, 量化处理为 $\{-4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4\}$ 。经实践调整, 使用下面的语言变量 T 赋值表1。

表 1 语言变量 T 赋值表

		-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
$\tilde{T}_5$	PL	0	0	0	0	0	0	0.1	0.6	1.0
$\tilde{T}_4$	PS	0	0	0	0	0.1	0.6	1.0	0.6	0
$\tilde{T}_3$	0	0	0	0	0.6	1.0	0.6	0	0	0
$\tilde{T}_2$	NS	0	0.6	1.0	0.6	0.1	0	0	0	0
$\tilde{T}_1$	NL	1.0	0.6	0.1	0	0	0	0	0	0

控制量: 给进或提绳量 C 。它可以在 -4 厘米到 $+4$ 厘米之间变化, 将其量化为 $\{-4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4\}$, 负表示提绳, 正表示给进。使用与观测量相同的辞集, 但对应的模糊子集记为 $\tilde{C}_1, \tilde{C}_2, \tilde{C}_3, \tilde{C}_4, \tilde{C}_5$ 。其赋值如表2。

2. 语言控制规则

根据人工控制经验, 控制规则可用多段条件语句给出如表3。

表 2 语言变量 $\tilde{C}$ 赋值表

		-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
$\tilde{C}_1$	PL	0	0	0	0	0	0	0.1	0.6	1.0
$\tilde{C}_2$	PS	0	0	0	0	0.1	0.6	1.0	0.6	0
$\tilde{C}_3$	0	0	0	0	0.6	1.0	0.6	0	0	0
$\tilde{C}_4$	NS	0	0.6	1.0	0.6	0.1	0	0	0	0
$\tilde{C}_5$	NL	1.0	0.6	0.1	0	0	0	0	0	0

表 3 语言控制规则

if	$\tilde{T}_1$	$\tilde{T}_2$	$\tilde{T}_3$	$\tilde{T}_4$	$\tilde{T}_5$
then	$\tilde{C}_1$	$\tilde{C}_2$	$\tilde{C}_3$	$\tilde{C}_4$	$\tilde{C}_5$

3. 控制决策

表3中每条规则相应的模糊关系为

$$\tilde{R}_1 = \tilde{T}_1 \times \tilde{C}_1 \quad \tilde{R}_2 = \tilde{T}_2 \times \tilde{C}_2 \quad \tilde{R}_3 = \tilde{T}_3 \times \tilde{C}_3 \quad \tilde{R}_4 = \tilde{T}_4 \times \tilde{C}_4 \quad \tilde{R}_5 = \tilde{T}_5 \times \tilde{C}_5$$

其中 $\mu_{\tilde{T}_i \rightarrow \tilde{C}_i}(x, y) = [\mu_{\tilde{T}_i}(x) \wedge \mu_{\tilde{C}_i}(y)]$

x, y 分别表示模糊子集 $\tilde{T}_i$ 和 $\tilde{C}_i$ 论域中的元素。

总的控制规为多段条件语句对应的模糊关系 R

$$R = \tilde{R}_1 \cup \tilde{R}_2 \cup \tilde{R}_3 \cup \tilde{R}_4 \cup \tilde{R}_5$$

将表1和表2所给值代入计算得

$$\tilde{R} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0.6 & 1.0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0.1 & 1.6 & 0.6 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0.1 & 0.6 & 1.0 & 0.6 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.6 & 1.0 & 0.6 & 0.1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1.0 & 0.6 & 0.1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

给定任一观测结果 $\tilde{T}$, 依照似然推理规则, 可得控制决策

$$\underset{\sim}{C} = \underset{\sim}{T} \underset{\sim}{O} \underset{\sim}{R}$$

4. 控制表

为了将上述的模糊决策变为执行机构的确切响应, 我们按最大从属度原则确定相应的控制量, 且将每个控制量取最接近的整数。取 $\underset{\sim}{T} = -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2,$

3, 4。计算后得表4。将其存入计算机, 以备钻机工作时随时查用。

表 4 控 制 表

观 测	- 4	- 3	- 2	- 1	0	1	2	3	4
控 制	4	3	2	1	0	- 1	- 2	- 3	- 4

5. 观测量的模糊化及控制量的判决

实践得知, T 的最大变化范围为 $0 \sim 800 \text{ ms}$ 。正常工作时 $T = 400 \text{ ms}$ 。因此观测量的量化公式为

$$T^* = 8 \left(\frac{T - 400}{800} \right)$$

*表示离散化。结果以最接近的整数表示计算后得

$$T^* = \{-4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4\}$$

控制量的判决过程不需要做比例变换, 控制表中的数字恰好符合要求操作人员应给进或提绳的厘米数。数字连同符号显示在控制盒的面板上, 供操作人员使用。例如, -3表示要提绳3厘米, 2表示给进2厘米。

四、几个问题的处理

1. 大眼和小眼情况

一口井开始所用的钻杆和钻头较粗, 因而钻具重量大, 井眼粗, 谓之大眼。井深达数百米时, 更换为较细的钻杆和钻头, 井眼变细, 谓之小眼。大眼时 T 的变化范围仅为小眼时的一半, 约 400 ms 。为了使用一个控制表, 将大眼时的观测量乘以放大因子2, 然后量化和查表。控制盒上有一大小眼开关, 由人工根据当时情况设置。

2. 井深变化的影响

随井深的增加, 井内钢绳重量也逐渐加重。使 T 的范围越来越小。实践表明, 大约每100米 T 要缩小 50 ms 。同样, 为了使用统一的控制表, 每钻进100米, 对观测量结果附加 50 ms 。井深由井深编码器给出。

3. 随机干扰的处理

由于轻微的卡钻, 井壁不规整等偶然因素的影响, 使观测量中常伴有干扰。我们采用剔点平滑的方法, 取最邻近的3次观测结果的平均值作为有用观测值参予控制。

4. 卡钻、断钻头和断绳的判定

钻机工作时,每分钟冲击次数为40~50次。因此,每2秒之内至少有一次冲击,出现一次放同步信号。否则必定卡钻。

正常情况下,每冲击数十次,就会发出给进信号,遇到坚硬岩层也不会超过一百次。因此,若连续正常冲击一百次后仍不发给进信号,则认为可能断钻头,包括脱扣。这时给以报警,供操作人员参考。

断绳后,游梁的负载大大减小,致使信号1不会出现,由此判定断绳。

信号2作为备用。

五、结 语

冲击式钻机的微机模糊控制系统充分利用了人工控制的经验,避免了盲目的试探性的操作,减少了事故,提高了钻井效率。系统还可对学徒工起示教作用,缩短了学徒工的实习时间。系统的成功应用为以后实现自动给进奠定了基础。

参 考 文 献

- 〔1〕 汪培庄,模糊集合论及其应用,上海科学技术出版社,(1983)。
- 〔2〕 楼世博、孙章、陈化成,模糊数学,科学出版社,北京,(1983)。
- 〔3〕 冯德益、楼世博等,模糊数学方法与应用,地震出版社,北京,(1983)。
- 〔4〕 L.A.扎德,模糊集合、语言变量及模糊逻辑,科学出版社,北京,(1984)。

Fuzzy Control for Percussion Drill by a Microcomputer

Jiang Xiouhan

(Department of Instrument and Automation, Xian Petroleum Institute)

Abstract

In the prst, an operator judged working state of a drilling tool in an oil well by his sense. It was often misjudged and caused accidents. the operation guide system for percussion drill which works on the basis of fuzzy control theory can decide accurately and timely three kinds of working state: a normal one, a slack steel rope and a tight steel rope. On the basis of above judgement, this system can also discover three kinds of accidents: the drilling head break, the steel rope break and drilling tool blocked.

Key words—Fuzzy control; Fuzzy language; Fuzzy logic; Fuzzy set; Fuzzy subset; Punchingdrill; Pulse sensor.