

基于目标函数的钻压优化模型建模方法

史玉升, 梁书云

(华中理工大学机械学院, 武汉 430074)

[摘要]研究了如何把过去由地质人员离线确定优化钻压的模型变为自动送钻中在线实时的钻压优化模型。以综合钻井成本最低为准则,建立了钻井成本目标函数,讨论了影响钻井成本的因素,给出了钻压优化模型的约束条件,在以上基础上建立了钻压优化模型,并给出了钻压优化模型在线实时求解过程中有关参数的确定方法,最后总结了基于目标函数钻压优化模型建模方法优缺点和适用范围。本研究对科学自动优化钻井具有参考价值。

[关键词]钻压优化模型 目标函数 综合钻井成本 在线实时

[中图分类号]P634 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2000)02-0007-03

截止到目前为止,从实际生产应用来看,优化模型主要用于钻井参数的优选,而没有用于实时控制的钻进系统中去,实时控制最优化钻进目前还处于实验室研究阶段。究其原因,牵涉众多,但其中重要的原因之一是没有一个切实可行的用于实时控制的优化模型。因此研究如何把已有的钻井参数优选模型用于实时控制,并探讨新的更实用的钻井参数实时优化模型,对真正实现科学优化钻进具有重要意义。

从最优化钻井技术应用的实践来看,在钻进过程中,最优规程与钻头牙齿磨损和轴承磨损(即钻头寿命)有关,随着磨损的加剧,对应的最优参数也在变化,所以整个钻井过程中要不断地调整钻井参数,以使钻进过程始终在最优的状态下进行。这种连续计算、连续调节的过程只有依靠计算机自动控制才能真正实现。

具有优异性能的盘式刹车的优点^[1]之一是易于进行计算机控制,这为钻进过程最优化自动送钻的实施提供了良好条件。但由于经费、技术等条件的限制,目前还不能进行多参数优化自动送钻的研究,为此,我们首先进行单参数(钻压)优化自动送钻的研究,待取得技术储备和经验后,再向多参数优化方向发展。

要钻压优化自动送钻,就必须建立钻压优化模型,把过去由地质人员离线确定钻压变为由钻压优

化模型在线实时产生。本文论述了一种基于目标函数的钻压优化模型建模方法。

1 基于目标函数的钻压优化模型建模方法

科学钻井要求的内容是多方面的,有最低成本的指标,也有质量、速度、进尺、工时等其它方面的指标。我们选择最低成本指标来建立钻压优化模型。

1.1 目标函数

选择钻井成本函数作为目标函数,即

$$C = \frac{C_B + C_R(T_T + t)}{Y} \quad (\text{元}/\text{m}) \quad (1)$$

式中: C —进尺成本,元/m; C_B —钻头成本,元/只; C_R —钻机作业费,元/h; T_T —一起下钻接单根时间, h; t —钻头的工作时间, h; Y —该钻头取得的进尺, m。

最优化准则为综合成本最低,其指导思想是:钻进中各种技术措施的组合,只要能取得最低的钻进成本,则这种措施便是最合理的技术措施。从(1)式可以看出,如欲取得最低的钻进成本,在钻头成本和钻机作业费不变的条件下,必须尽可能取得较多的进尺,但同时又花费较少的工时,即在尽可能少的时间内,打更多的进尺。因此,钻进成本目标函数包含了进尺高和钻速快的内容。

考虑有关变量对钻进成本的影响,(1)式变为^[2]

$$C = \frac{C_R \left[\frac{T_E A_f (PN + ON^3)}{1000(D_2 - D_1 W)} + H_f + \frac{C_1}{2} H_f^2 \right]}{\left[\frac{C_1}{C_2} H_f + \frac{C_2 - C_1}{C_2} \ln(1 + C_2 H_f) \right] C_H C_P K (W - M_0 + C_E E_H) N} \quad (2)$$

[收稿日期]1999-09-18; [修定日期]1999-10-08; [责任编辑]王梅。
[基金项目]中国博士后基金资助。

其中, $T_E = C_B / C_R + T_T$, 令

$$J = C_H C_P K (W - M_0 + C_E E_H) N$$

$$S = \frac{A_f}{1000} \times \frac{P_b N + Q_b N^3}{D_2 - D_1 W}$$

$$E = \frac{C_1}{C_2} H_f + \frac{C_2 - C_1}{C_2^2} \ln(1 + C_2 H_f) \quad (3)$$

$$F = H_f + \frac{C_1}{2} H_f^2$$

则
$$C = \frac{C_R}{J E} (T_E S + F) \quad (4)$$

1.2 影响钻井成本的因素

- 1) 钻头类型 (价格、钻速系数、磨损系数);
- 2) 机械参数 (钻压、转速);
- 3) 水力参数 (泵压、排量);
- 4) 井底压差 (比重、排量)。

这里共包含了 6 个独立变量, 即钻头、钻压、转速、泵压、排量、比重。

其中比重是在地层压力预测的基础上, 根据钻井工艺的需要加以确定。钻头是根据钻井指标预测的结果加以评述。转速、泵压、排量和初始钻压是由优化计算决定。

从(2)式可以看出, 组成钻进成本目标函数的变量很多, 主要有以下几类^[3]:

- 地质方面的变量;
- 泥浆方面的变量;
- 机械措施方面的变量;
- 钻头材料与结构等方面的因素。

在以上这些变量或因素中, 地质因素是客观存在的因素, 人们只能认识它, 却不能改变它。钻头材料与结构参数是由制造厂家选定, 使用者亦无法改变它。因此, 掌握在钻井工作者手中的只有钻压、转速、工作时间 (或牙齿磨损量)、水力参数和压差影响五个方面。凭借这五个参数的匹配取得最低的进尺成本, 这就是钻井最优化在钻进过程中要解决的问题。本文只研究在其它参数不变的情况下, 如何调节钻压, 以使钻井成本最低。

1.3 约束条件

1.3.1 变量本身需要满足的约束条件

在钻压优化自动送钻中, 应当根据工艺及设备等方面的条件, 为有关钻井参数规定适当的取值范围^[3], 即目标函数的定义区间。其目的是为了保证安全、优质、低耗的生产要求。

(1) 钻压 W 小于钻头、钻具许用的最大钻压, 小于防斜打直措施要求的最大钻压, 大于使地层产生

体积破碎的门限钻压, 即 $W_{\min} \leq W \leq W_{\max}$ 。

(2) 转速 R 小于钻头许用的最高转速, 小于钻机排档要求的最高可用转速, 即 $R_{\min} \leq R \leq R_{\max}$ 。

(3) 纯钻时间 t 小于钻头最大许用时间, 即 $t < t_{\max}$ 。

(4) 泵压 P 小于地面循环系统和泥浆泵的最高许用压力, 即 $P_{\min} \leq P \leq P_{\max}$ 。

(5) 排量 Q 小于泥浆泵许用的最大排量, 大于两倍的钻屑下滑速度, 即 $Q_{\min} \leq Q \leq Q_{\max}$ 。

(6) 扭矩 M 在保证钻具安全的前提下, 才考虑钻进速度和质量, 即 $M_{\min} \leq M \leq M_{\max}$ 。

1.3.2 钻压与其它变量之间需要满足的约束条件

优化自动送钻中不仅要解决钻压本身的优化, 而且也要解决它与其它钻井参数之间的优配, 以便更好地发挥它与各种其它参数之间的配合与促进作用, 以达到最佳的钻进效果。

(1) 钻头轴承负荷约束。钻压和转速的配合, 应保证钻头的正常安全使用, 因此, 钻压和转速的乘积应当不大于钻头制造厂家规定的钻头轴承负荷数, 即 $WR \leq B_n$ 。

(2) 钻头进尺 Y 约束。钻头、机械参数、水力参数的配合应保证钻头打到预定的进尺指标, 以满足进尺和工程方面的要求, 即 $Y \geq Y_{\min}$ 。

(3) 钻头寿命 L 约束。为了使钻头打出较好的指标, 又保证井下安全, 钻压和转速的配合应使钻头具有合理的使用寿命, 即 $L_{\min} \leq L \leq L_{\max}$ 。

(4) 牙齿磨损量 H_f 的约束条件为: $0 < H_f \leq 1$ 。

(5) 轴承磨损量 B_f 的约束条件为: $0 < B_f \leq 1$ 。

(6) 钻速 V 约束。为了保证井眼畅通和防止钻速过快导致井斜等作业安全, 在一定的排量范围内, 应当限制机械钻速, 即 $V_{\min} \leq V \leq V_{\max}$ 。

1.4 钻压优化模型

就(4)式, 求钻进成本函数 C 对钻压 W 的偏导数, 得^[2]

$$W = \frac{D_2}{D_1} + \frac{G}{F} - \sqrt{\frac{G}{F} \left(\frac{G}{F} + \frac{D_2}{D_1} - M_0 + C_E E_H \right)} \quad (5)$$

s. t $W_{\min} \leq W \leq W_{\max}; R_{\min} \leq R \leq R_{\max}; t < t_{\max}; P_{\min} \leq P \leq P_{\max}; Q_{\min} \leq Q \leq Q_{\max}; M_{\min} \leq M \leq M_{\max}; WR \leq B_n; Y \geq Y_{\min}; L_{\min} \leq L \leq L_{\max}; 0 \leq H_f \leq 1; 0 \leq B_f \leq 1; V_{\min} \leq V \leq V_{\max}$ 。

由(5)式并考虑以上各项约束条件, 就可以得到最优钻压 W^* 。

其中,
$$G = \frac{T_f A_f}{1000 D_1} (P_b N + Q_b N^3) \quad (6)$$

$$F = H_f + \frac{C_1}{2} H_f^2 \quad (7) \quad 2 \text{ 钻压优化模型中有关参数的确定 (表 1)}$$

表 1 求解钻压优化模型过程中有关参数的确定方法

类型	变量名称	变量性质	初始值确定法	工作值确定法
地质变量	研磨性系数 A_f	不可改变	现场试验	同初始值
	纯机械破碎下的门限钻压 M_0	不可改变	现场试验	同初始值
泥浆水力变量	水力转换系数 C_E	可以改变	现场资料统计	同初始值
	喷射水力功率 E_H	可以改变	离线优化设计	同初始值
	泥浆排量 Q (l/s)	可以改变	离线优化设计	实时测量
	泵压 P (kg/cm ²)	可以改变	离线优化设计	实时测量
机械变量	钻压 W (t)	可以改变	离线优化设计	实时优化控制
	转速 R (r/min)	可以改变	离线优化设计	实时测量
	钻速 V (m/h)	可以改变	离线优化设计	实时测量
	转盘功率 P_W	可以改变	现场确定	实时计算
	大钩载荷 W_F	可以改变	现场确定	实时测量
	井深 H (m)	不可改变	现场确定	实时测量
	扭矩 M	可以改变	离线优化设计	实时测量
	钻头工作时间 t (h)	可以改变	离线优化设计	实时测量
	起下钻时间 T_T (h)	可以改变	离线优化设计	实时测量
	牙齿磨损量 H_f	可以改变	$H_f = 0$	实时计算
	钻机作业费 C_R (元/h)	不可改变	现场确定	同初始值
钻头类型	钻头成本 C_B (元/只)	不可改变	制造厂家确定	同初始值
	牙轮钻头尺寸系数	不可改变	制造厂家确定	同初始值
	牙轮钻头类型参数	不可改变	制造厂家确定	同初始值

基于目标函数的钻压优化模型应用实例见表 2。

表 2 优化钻压求解实例

97/82,1,5 牙轮钻头的尺寸系数 D_2	6.44
97/82,1,5 牙轮钻头的尺寸系数 D_1	0.1433
97/82,1,5 牙轮钻头的类型系数 P_b	1.5
97/82,1,5 牙轮钻头的类型系数 Q_b	6.525×10^{-5}
研磨性系数 A_f	2.2767
转速 N	50(r/min)
钻头成本 C_B	900(元)
作业费 C_R	250(元)
该深度起下钻时间 T_T	5.75(h)
牙轮钻头的类型系数 C_1	5
门限钻压 M_0	-1(t)
牙齿最终磨损量 H_f	1
在以上参数下按式(5)求得的最优钻压 W	35.2565(t)

有关钻井模式的可靠性和精确程度比较高,则优化效果就比较好。但其建模过程非常复杂,而且很多参数对模型的输出结果都有较大的影响。这种建模方法是一种利用求偏导数寻求函数极值的经典方法,在没有确定的函数关系式时,这种方法显然无法应用。这种方法只适应于单钻头优化,不适应于全井和整个矿区的钻压优化。

[参考文献]

- [1] 高向前. 盘式刹车与带式刹车性能对比分析[J]. 石油矿场机械, 1993, 2(16): 8~13.
- [2] 郭学增. 最优化钻井理论基础与计算[M]. 北京: 石油工业出版社, 1987.
- [3] 郭学增, 宋均. 钻井工程应用程序汇编[M]. 石油天然气总公司钻井工程局, 石油大学北京研究生部, 1989: 1~9, 384~389.
- [4] 亚当斯, N.J. 钻井工程——整套油井设计方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992.

3 结束语

用基于目标函数的建模方法建立的钻压优化模型,其优点是优化控制的过程是连续均匀的,如果各

A MODELING METHODS FOR THE OPTIMIZATION WEIGHT - ON - BIT MODEL BASED ON THE TARGET FUNCTION

SHI Yu - shens, LIANG Shu - yun

Abstract: How to change off - line optimization weight - on - bit (WOB) model into on - line real - time optimization WOB model during bit automatic feed is researched. Regard the lowest integrated drilling cost as criterion. the target unction of the drilling cost is established. Some factors to influence the drilling cost are discussed. The bounded factors of optimization WOB model are given. On the above basis. the optimization WOB model is established, the method to determine the pasameters concerned during solving optimaltion WOB model is given. The strong and weak points as well as the scope of application of the modeling method based on the target function for the optimization WOB model are summarized. This research has reference value to scientific automatic optimization drilling.

Key words optimization WOB model, target function, integrated drilling cost, On - line - real time

(下转第 12 页)

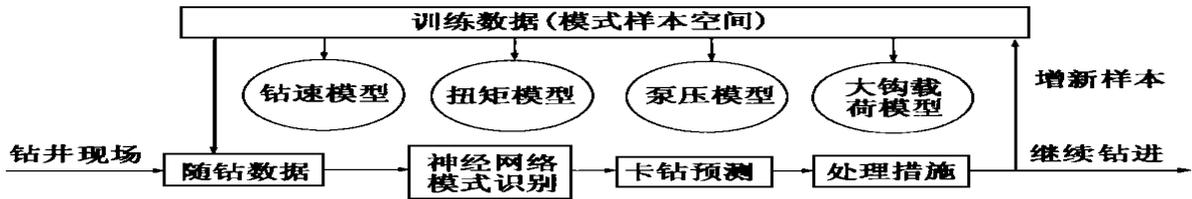


图3 神经网络卡钻预测系统示意图

测准确性。

[参考文献]

[1] 孙星云. 卡钻预测分析研究[D]. 北京:石油大学(北京)硕士论文,1989.

[2] 陈明. 神经网络模型[M]. 大连:理工大学出版社,1995.

[3] 中国神经网络1993年学术大会(论文集)[A]. 1993. 10. 5~9. 西安.

[4] 胡守仁. 神经网络应用技术[M]. 北京:国防科技大学出版社,1996.

STUDY ON ARTIFICIAL NERVE NET IN REAL - TIME PREDICTION OF STUCK DRILLING TOOLS

SHAN Zhi - gang, SHAO Wei - guang, CHEN Jun - tao

Abstract :BP model in artificial nerve net model is adopted to predict stuck operating mode in drilling well and artificial nerve net software in predicting system is developed in the paper.

Key words :stuck drilling tool , drilling well , drilling accident , nerve net , prediction



第一作者简介:

单志刚(1958年-),男。1982年在河北地质学院探矿工程系获学士学位,1985年在中国地质大学(武汉)获硕士学位,1992年在中国地质大学(武汉)获博士学位,1992年至1994年在德国 Clausthal 工业大学进修。现任石油大学继续教育学院院长、副教授,主要从事石油工程学科教学、科研和继续教育管理工作。

通讯地址:北京 石油大学 邮政编码:102200

(上接第9页)



第一作者简介:

史玉升(1962年-),男,副教授。1984年毕业于中国地质大学探矿工程专业,1989年和1996年分别获中国地质大学工学硕士和博士学位,1996年9月至1998年7月在石油大学(北京)从事博士后研究工作,现主要从事机电一体化和自动化方面的科研和教学工作。

通讯地址:湖北省武汉市 华中理工大学机械学院 邮政编码:430074