

2000 米全液压岩心钻机下放钻杆过程中 液压系统热平衡分析

张旭, 冉恒谦, 刘凡柏, 李文秀

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北廊坊 065000)

摘要:钻机在下放钻杆过程中,做了大量负功,钻杆势能几乎全部转化为钻机液压系统的热能,这部分热量是很大的,将对钻机的液压系统造成极大危害。因此,对整个能量转化和散热过程进行分析非常必要。通过对下放钻杆过程的能量转化和液压系统发热、散热过程进行较详细的分析,提出了有等差数列形式热量输入的液压系统的散热函数,并以实测和计算数据验证了散热器的选型。

关键词:下放钻杆;液压系统;能量转化;热平衡

中图分类号:P634 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2010)11-0029-03

Analysis on Heat Balance of Hydraulic System of 2000m Full-hydraulic Core Drilling Machine in the Process of Drill Pipe Sending/ZHANG Xu, RAN Heng-qian, LIU Fan-bai, LI Wen-xiu (The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: Drilling machine does a lot of negative work in sending drilling pipes down into the well. Nearly all the potential energy of the drilling pipe converts into the huge thermal energy of the hydraulic system. Therefore, it is necessary to analyze the process of energy conversion and heat radiation. This paper analyzes the complete process, proposes a heat radiation function of the hydraulic system with the arithmetic progression heat importation and validates the rational selection of radiator with measured and calculated data.

Key words: drilling pipe sending; hydraulic system; energy conversion; heat balance

1 热平衡分析的必要性

当钻孔深度为 2000 m,使用 $\varnothing 71$ mm 钻杆钻进时,钻机在下放钻杆过程中,钻杆从地表到达孔底,有大量的能量发生转化,由钻杆的重力势能转化为液压系统的热能。若此部分热量不能及时散去而存在于系统中,将使液压系统温度升高。若温升超过许用值,将对系统造成极大危害,具体表现在:(1)降低液压胶管和密封件的使用寿命,加速老化;(2)使油液粘度降低,泄露增加;(3)容易造成油液融进气体,使“气蚀”现象更加严重;(4)引起热膨胀,造成不同运动副间配合间隙变化,破坏润滑油膜,使动作不灵或卡死,加速磨损等。因此,对此过程进行能量转化和散热效果分析是非常必要的。

本文依托国家“863”项目“2000 米地质岩心钻探关键技术与装备”,探索性地对钻杆下放过程中钻机液压系统的热平衡进行分析,探究在钻杆下放过程中的能量转化过程,检验钻机散热系统的能力。文中所用数据均来自山东乳山金青顶金矿区的

ZK43-1 钻孔试验示范工程现场。

2 2000 m 全液压岩心钻机及其液压回路

钻机为我所设计研制的 YDX-5 型全液压岩心钻机,设计能力为采用 N 规格的绳索取心钻具钻进深度 < 2000 m。目前已成功完成山东乳山金青顶矿区 ZK43-1 试验示范钻孔项目,终孔深度为 2212.80 m。该钻机液压系统可分为辅助系统和工作系统。辅助系统包括行走、起塔、塔架滑移、支腿伸缩等回路;工作系统包括钻机正常钻进时的有效动作回路,如动力头旋转、提放钻杆、扶正、给进、孔口夹持、泥浆泵等回路。液压绞车原理如图 1 所示。

该绞车的刹车系统为动态、静态双重刹系统。其工作原理是:提升重物时,控制阀处于左位,高压液压油通过单向阀,驱动液压马达旋转,提升重物,低压液压油经散热器流回油箱;下放重物时,控制阀处于右位,高压液压油通过控制阀,首先打开刹车缸(静态刹车),然后打开刹车阀,高压油流经马达,驱

收稿日期:2010-06-18;修回日期:2010-09-29

基金项目:国家“863”计划重点项目“2000 米地质岩心钻探关键技术与装备”(项目编号:0607;课题编号:2007AA060701)

作者简介:张旭(1985-),男(汉族),河北迁安人,中国地质科学院在读硕士,地质工程专业,研究方向为地质勘探设备,河北省廊坊市金光道 77 号,jancy001@126.com。

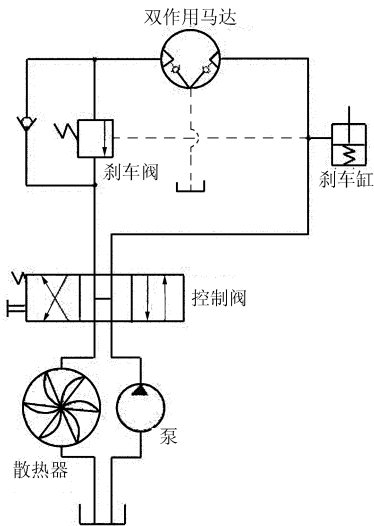


图1 YDX-5型钻机液压绞车回路原理图

动马达旋转下放重物,低压油经刹车阀、散热器流回油箱。刹车阀打开的宽度的大小可控制下放重物时的速度。当控制阀处于中位时,压力下降,刹车阀关闭,负载运动停止,摩擦刹车启动并在刹车阀关闭时控制负载。负载下降和停止过程中产生的所有热量都被液压油吸收了。

3 下放钻杆过程能量转化分析

3.1 基本数据

ZK43-1 试验示范钻孔项目中, $\varnothing 114$ mm 钻杆钻进 390 m, $\varnothing 89$ mm 钻杆钻进 1462 m, $\varnothing 71$ mm 钻杆钻进 2212 m 终孔。经计算, 2212 m $\varnothing 71$ mm 钻杆质量最大, 其总质量为: $G = 8.13 \text{ kg/m} \times 2212 \text{ m} = 17983.56 \text{ kg}$ (其中 8.13 kg/m 为杆体单位质量); 所受浮力:

$$F_f = \rho_y g v = \rho_y g \frac{G}{\rho_g} = 1000 \times 9.8 \times \frac{17983.56}{7800} = 22.5 \text{ kN}$$

式中: F_f ——钻杆所受浮力; ρ_y ——泥浆密度, 取 1000 kg/m^3 ; ρ_g ——钻杆密度, 取 7800 kg/m^3 。

除去浮力影响, 经计算钻杆单位质量为 7.10 kg/m ; 钻机桅杆高 12.3 m , 一次可提升立根长度 $L_0 = 9 \text{ m}$, 2212 m 所需总立根数: $2212 \div 9 = 245.77$, 圆整为 245 根, 单根立根质量: $G_0 = 7.10 \times 9 = 63.9 \text{ kg}$ 。

3.2 下放过程简述

钻杆水平放置于地上, 由主卷扬将装有钻头的第一根钻杆提起至孔口上方, 下放到孔内。当钻杆上端下放至孔口夹持器时, 由夹持器夹紧, 完成一个下放回次, 此过程钻杆质心下降 9 m 。主卷扬再提起第二根钻杆, 将之与第一根拧紧后再下放至孔口夹持器, 此过程钻杆质心亦下降 9 m 。夹持器夹紧

钻杆后主卷扬再提起第三根钻杆按上述步骤进行。当下放完第 245 根钻杆后, 完成整个作业流程。也就是说, 第一个下放回次 1 根立根质心下降 9 m , 第二个回次 2 根立根质心下降 9 m , 第三个回次 3 根立根质心下降 9 m 。依此类推, 第 n 个回次则 n 根立根质心下降 9 m 。经现场统计, 单个回次作业用时 90 s , 提起、拧紧钻杆过程用时 70 s ; 下放过程用时 18 s , 刹车过程用时 2 s 。

3.3 能量转化过程

第 i 个回次下放钻杆时, 钻杆由静止到慢速下放, 再到静止, 此过程能量转化过程为: 下降过程中钻杆的重力势能转化为自身动能与液压系统的热能 (此部分热能较小, 为方便计算将其忽略), 停止过程中钻杆的动能转变为液压系统的热能, 最终钻杆的势能全部转变为液压系统的热能, 即液压系统发热 $q_i = W_i = iG_0gL_0$ 。

4 热平衡分析

4.1 发热过程

由分析可知, 钻杆在下放过程中, 其重力势能以等差数列的形式, 逐步转化为液压系统的热能, 如图 2 所示。

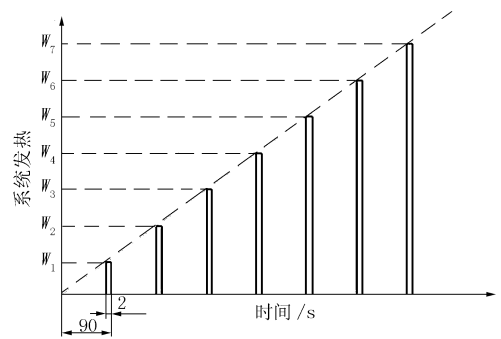


图2 前7个下放回次系统发热量

第 1 回次液压系统发热: $W_1 = 1 \times G_0gL_0 = 1 \times 63.9 \times 9.8 \times 9 = 5.636 \text{ kJ}$;

第 2 回次液压系统发热: $W_2 = 2 \times G_0gL_0 = 2 \times 63.9 \times 9.8 \times 9 = 11.272 \text{ kJ}$;

第 3 回次液压系统发热: $W_3 = 3 \times G_0gL_0 = 3 \times 63.9 \times 9.8 \times 9 = 16.908 \text{ kJ}$;

...

第 245 回次液压系统发热: $W_{245} = 245 \times G_0gL_0 = 245 \times 63.9 \times 9.8 \times 9 = 1380.82 \text{ kJ}$ 。

2 s 对于 90 s 是非常小的一个量, 故可认为系统中热量为最后瞬间产生, 方便后续计算。

4.2 散热过程

钻机液压系统的散热渠道有散热器、油箱、管路、阀块、泵、马达等,其中散热器是液压系统的主要散热渠道,本文只考虑散热器的散热,其他方式的散热忽略。

散热器散热功率 P (单位: kW/s):

$$P = KA\Delta t = 23 \times 56.3\Delta t/1000 = 1.3\Delta t$$

式中: K ——风扇冷却条件下散热系数,取 23; A ——散热器散热面积,厂家提供的数值为 56.3 m^2 ; Δt ——液压油与环境的温差,未知。

由上可知,散热功率 P 是一个瞬态量,单纯的用 $Q = Ps$ 来线性计算散热量是不科学的。为推导液压系统中剩余能量和散热功率随时间变化的函数,经测量,钻机工作环境温度 $40 \text{ }^\circ\text{C}$, 设此温度下系统能量为 0 J , 外界无能量输入,则有:

$$\frac{dQ}{ds} = -P = -1.3\Delta t = -1.3 \frac{Q}{cm}$$

式中: Q ——系统剩余热量, kJ; s ——时间, s; Δt ——液压油与环境的温差; c ——液压油比热容, $c = 1.88 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$; m ——系统中液压油质量, $m = 300 \text{ kg}$ 。

将上述微分方程移项积分,解之:

$$\begin{aligned} \frac{dQ}{ds} &= -1.3 \frac{Q}{cm} \\ \int \frac{dQ}{Q} &= \int \frac{-1.3}{cm} ds \\ \ln Q + M_1 &= \frac{-1.3}{cm} S + M_2 \end{aligned}$$

$$Q(s) = e^{\frac{-1.3}{cm} S + M_2 - M_1}$$

令 $e^{M_2 - M_1} = M$, 则有 $Q(s) = Me^{\frac{-1.3s}{cm}}$

$$P(s) = -Q'(s) = \frac{1.3M}{cm} e^{\frac{-1.3s}{cm}}$$

式中: $Q(s)$ ——系统剩余热量关于时间 s 的函数; $P(s)$ ——散热功率关于时间 s 的函数; M ——积分常数,当 $s=0$ 时, $Q(s) = M$, 故 M 是每个回次的初始热量。

由上函数关系可知,系统散热功率是关于时间的指数函数,随着时间的延续而呈指数规律递减。

4.3 热平衡分析

第一回次: 由于初始热量 $M_1 = 0$, 故 $Q(s) = 0$, 但是最后瞬间系统发热 $Q_1 = 5.636 \text{ kJ}$;

第二回次: 初始热量 $M_2 = Q_1$, 90 s 散热后剩余热量 $Q = M_2 e^{\frac{-1.3 \times 90}{cm}} = 0.813M_2$ 。第 90 s 末尾系统发热 W_2 , 故回次最后时刻系统热量 $Q_2 = 0.813Q_1 + W_2$;

第 i 回次: 最后时刻系统热量 $Q_i = 0.813Q_{i-1} + W_i$ ($1 \leq i \leq 245$)

第 245 回次: 最后时刻系统热量

$$\begin{aligned} Q_{245} &= 0.813Q_{244} + W_{245} \\ &= 0.813(0.813Q_{243} + W_{244}) + W_{245} \\ &= 0.813[0.813(0.813Q_{242} + W_{243}) + W_{244}] + W_{245} \\ &= 0.813\{0.813[0.813(0.813Q_{241} + W_{242}) + W_{243}] + W_{244}\} + W_{245} \\ &\dots \\ &= W_{245} + 0.813W_{244} + 0.813^2W_{243} + 0.813^3W_{242} + \dots + 0.813^{243}W_2 + 0.813^{244}W_1 \\ &= 7250.3 \text{ kJ} \end{aligned}$$

经计算, 钻杆下放完毕时, 液压系统热能为 7250.3 kJ 。

此时液压油温升为:

$$\Delta t = \frac{Q_{245}}{cm} = \frac{7250.3}{1.88 \times 300} = 12.86 \text{ }^\circ\text{C}$$

液压油温度 $T = 12.86 + 40 = 52.86 \text{ }^\circ\text{C}$

考虑到钻机在使用过程中散热器受到油污和灰尘堵塞的影响, 散热效率会下降。按散热效率最大下降 50% 计算, 则同等工况下液压油温升:

$$\Delta t' = \Delta t \div 50\% = 25.72 \text{ }^\circ\text{C}$$

液压油温度 $T' = 25.72 + 40 = 65.72 \text{ }^\circ\text{C}$

至此, 钻杆下放过程中的热平衡分析完毕。

5 结论

本文对钻杆下放过程中能量转化和该过程中的液压系统热平衡进行了较详尽的分析, 同时也进行了大量的计算。由计算可知, 钻机在下放 2212 m $\text{O}71 \text{ mm}$ 钻杆过程中, 即便散热器被油污堵塞 50%, 液压系统最高温度也只有 $65.72 \text{ }^\circ\text{C}$ 。在施工现场, 当环境温度为 $35 \text{ }^\circ\text{C}$ 时, 钻机下放完全全部 2212 m 钻杆后, 测量液压油箱的温度为 $50.5 \text{ }^\circ\text{C}$, 与计算值比较吻合, 完全满足最高温度 $80 \text{ }^\circ\text{C}$ 的上限, 故此工况下液压系统的工作是良好的, 散热器的选型是合理的, 并有一定的散热功率储备。

参考文献:

- [1] 苏尔皇. 液压流体力学[M]. 北京: 国防工业出版社, 1979.
- [2] 蔡廷文. 液压系统现代建模方法[M]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [3] 王文斌, 等. 机械设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [4] 高富丽, 等. 我国地质钻探技术装备现状分析及发展建议[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 37(1).