

深井超深井钻机自动送钻研究探讨

夏志明¹, 刘世家¹, 单国峰¹, 姜海峰¹, 薛军²

(1. 吉林省地质技术装备研究所, 吉林 长春 130103; 2. 吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026)

摘要: 自动送钻的目的是使钻头对井底的钻压保持设定的恒压值, 实现最优化钻井的目的。当前深井超深井钻机自动送钻是通过绞车、天车、游动滑车、钢丝绳、大钩来进行的, 由于绞车、游动系统存在动载, 钢丝绳振动, 大钩送钻速度明显不均匀, 使井底钻压不稳定, 难以实现较准确送钻。阐述了绞车游动系统送钻的工作原理和液压盘式刹车自动送钻、辅助电机自动送钻方法。提出精确自动送钻的理想方案是采用液压缸送钻系统, 采用无绞车液压缸升降式钻机, 液压缸系统自动送钻并担负起下钻具任务; 也可用绞车起下钻具, 液压缸自动送钻方案, 彻底消除绞车、游动系统对自动送钻的干扰。

关键词: 自动送钻; 液压盘式刹车; 辅助电机; 液压缸

中图分类号: P634.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2012)02-0045-04

Study on Automatic Bit Feed of Deep and Ultra-deep Drilling Rig/XIA Zhi-ming¹, LIU Shi-jia¹, SHAN Guo-feng¹, JIANG Hai-feng¹, XUE Jun² (1. Jilin Institute of Geology Technical Equipment, Changchun Jilin 130103, China; 2. College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China)

Abstract: The purpose of automatic bit feed is to keep the designed constant pressure value of bit weight at the bottom hole and achieve optimized drilling. The current automatic bit feed of deep and ultra-deep drilling rig is realized by winch, top pulley, swimming pulley, wire rope and hook; as the dynamic load of winch and hoisting system, the vibration of wire rope and the obvious uneven speed of bit feed by hook make bit weight at the bottom hole unstable and accurate bit feed is difficult. The paper describes the working principle of bit feed by hoisting system and the methods of automatic bit feed by hydraulic disc brake and auxiliary motor. It is put forward that the ideal solution for accurate automatic bit feed is to use the hydraulic cylinder system. By hydraulic cylinder lift rig without winch system, hydraulic cylinder system can automatically fulfill bit feed and round trip; and winch and hydraulic cylinder can be separately used for round trip and automatic bit feed to eliminate the interference of winch and hoisting system to automatic bit feed.

Key words: automatic bit feed; hydraulic disc brake; auxiliary motor; hydraulic cylinder

1 概述

自动送钻是使钻头对井底的钻压保持设定的恒压值, 达到最优钻速, 以延长钻头寿命、降低钻井成本, 实现最优化钻井目的。

钻井中, 地质条件不变, 钻头类型选定后, 影响钻井质量和钻速的因素是钻压和转速, 所以要求钻机的送钻(给进机构)的性能必须能根据地层性质、钻井方法、钻头类型和直径无级的调节轴心压力(钻压), 并能在钻压调定后, 井内情况未发生变化的条件下保持钻压基本稳定不变; 能无级调节送钻速度, 并能保持与瞬时机械钻速相适应, 以保证获得最高的钻井效率。地质岩心钻机大多是采用液压缸给进机构, 绞车起、下钻具, 液压缸给进系统能实现恒钻压、连续、平稳的自动送钻效果。可实现加、减压钻进, 通过液压油压力传感器可直接得知井底钻压, 控制方便而精确。液压缸送钻系统结构简单, 传

动效率高, 易实现自动化作业, 是先进的自动送钻系统。传统的深井超深井钻机自动送钻是通过绞车、天车、游动滑车、钢丝绳、大钩系统送钻和起、下钻具。在钻掘深井超深井中, 钻具自重一般均超过钻压值, 因此钻机主要是在减压工况下工作, 这类钻机采用钻具自重给进系统, 只能减压钻进, 不能进行加压钻进, 如需要加筒的转速即绞车的放绳量来实现。这种滑车游动压钻进须加接钻铤。钻压的调节是通过控制绞车滚系统存在动载和随机载荷影响送钻精度, 使钻压不稳定。绞车游动系统从死绳端感知大钩载荷, 经计算才能间接的得出井底钻压值, 计算中还要计入天车、滑轮组效率。传动复杂而不精确。

2 绞车、游动系统送钻工作原理及方法

2.1 工作原理

图1为减压钻进用绞车来调节钻具自重送钻系

收稿日期: 2011-07-26

作者简介: 夏志明(1953-), 男(汉族), 吉林长春人, 吉林省地质技术装备研究所所长, 吉林省探矿机械厂厂长, 高级工程师, 探矿工程专业, 从事管理和产品研发工作, 吉林省长春市高新区超越大街1188号, www.jltk-machine.com。

统示意图。钻具通过顶驱装置与游车系统、天车与绞车相连。钻进过程中,随着孔底钻头破碎岩石,钻具向下延伸,控制绞车的拉力 F' , 通过游车系统平衡部分钻具的重力 Q , 于是孔底钻压 C 被减小, 通过死绳端压力变送器可知孔底钻压, 调节死绳端拉力 F 就可以调节钻压值。在图 1 中 F 与 Q 的关系是:

$$F = \frac{Q - C}{m\eta}, \text{ 即 } C = Q - Fm\eta$$

式中: F ——死绳拉力, kN; Q ——钻具重力, kN; C ——钻压 kN; m ——有效钢丝绳数; η ——滑车系统效率。

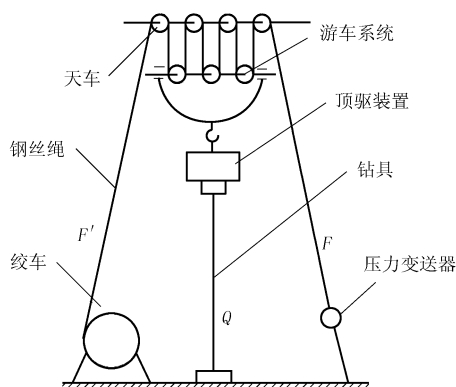


图1 减压钻进自动送钻系统示意图

由上式可知: 钻具重力一定, 死绳拉力即可反应出钻压值, 绞车、游动系统自动送钻就是根据死绳拉力感知大钩载荷, 测得的实际钻压值与输入设定的钻压值对比结果送入处理器, 由处理器控制, 使实际钻压趋于理想钻压。

2.2 自动送钻方法

2.2.1 液压盘式刹车自动送钻

液压盘式刹车是用以取代手动带式刹车, 它的制动效能稳定, 提高了钻机的安全性和使用的可靠性, 降低了司钻的劳动强度, 同时由于采用了液压系统作为操作动力, 可以方便地实现液压控制和电气控制操作。

图 2 为液压盘式刹车的制动执行机构, 主要包括工作钳、刹车盘和钳架 3 部分。工作钳由常开式单作用液压缸、复位弹簧、杠杆及刹车块组成。工作钳的工作原理是: 当液压缸输入压力油时, 产生一个推力, 通过杠杆将推力作用于刹车盘, 产生正压力, 在压力下产生摩擦力, 即制动力, 用油压力大小控制制动力的大小。

图 3 为盘刹自动送钻基本原理图。自动送钻过程中, 以恒钻压为主要控制参数, 以智能控制器为核心, 以盘式刹车为执行机构, 通过实时控制绞车滚筒

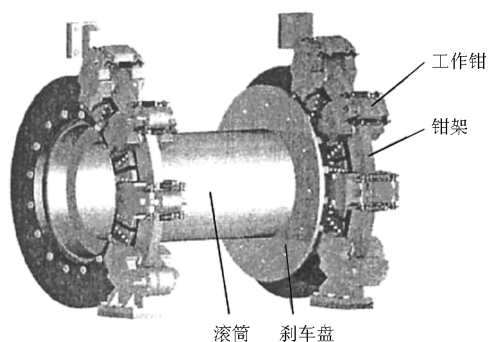


图2 盘刹制动执行机构

刹车盘制动力矩, 在钻机钻进过程中实现钻柱均匀、平稳下放的微量控制, 最终达到实时控制钻压的目的。在正常钻进过程中, 系统通过钻压传感器实时跟踪实际钻压的变化情况, 当实际钻压偏移期望钻压值时, 控制器经分析计算后调整控制输出, 控制绞车滚筒放绳量, 通过钻柱传递调整实际钻压, 使其回到期望钻压值上, 钻压始终保持在设定的钻压波动范围内变化。

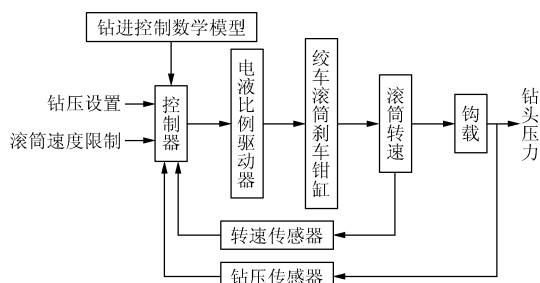


图3 盘刹自动送钻基本原理图

由于盘式刹车只是改手动为自动, 同样存在机械磨损问题, 多个刹车块工作不同步, 动作灵敏性差, 使刹车力难以控制, 直接影响自动送钻的性能。

2.2.2 辅助电机自动送钻

当前深井超深井钻机利用绞车提下钻具, 大多采用辅助电机自动送钻。

辅助电机送钻是在绞车的后部或前部加装一个小交流变频电动机, 电机经大减速比减速, 使辅助电机驱动绞车的单绳拉力与主电机驱动绞车的单绳拉力相同, 大钩的送钻速度在 $0 \sim 0.01$ m/s 之间变化。

图 4 为绞车传动示意图, 该绞车传动分为 2 个系统, 即由 2 台主电机为动力的主传动系统和由 1 台辅助电机为动力的自动送钻系统。主传动系统由 2 台主交流变频电动机作为动力输入左、右齿轮变速器, 经两挡变速传递给滚筒轴。自动送钻系统由 1 台小功率交流变频电动机驱动, 经大传动比减速将动力传递到右箱送钻输入轴, 再经右齿轮变速器

减速后带动滚筒轴实现自动送钻。

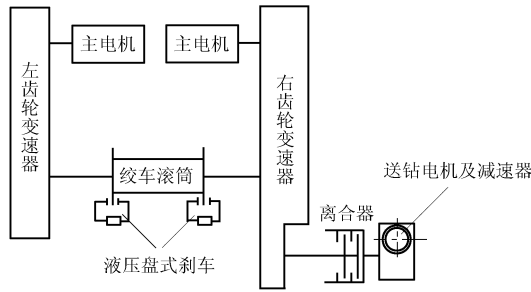


图 4 绞车传动示意图

图 5 为辅助电机自动送钻基本原理图。基本原理:通过控制辅助电机的转速达到控制钻压和钻速的目的。在钻井过程中,钻压通过死绳作用于压力变送器,转换成电压信号,经过 A/D 变换,传感器输出液压信号,再通过压力信号的采样值与钻压给定值进行比较运算,输出控制量通过 D/A 转换,再通过该信号控制变频调速单元,输出可变的频率电压信号来控制绞车辅助电机的转速,即绞车滚筒转速,达到恒钻压稳速送钻的目的。辅助电机自动送钻反应灵敏,若主电机发生故障,辅助电机可以作为应急用,活动钻具并可慢速提起最大钻柱重力。

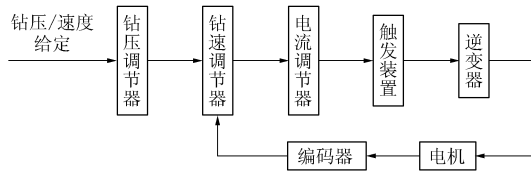


图 5 辅助电机自动送钻基本原理图

3 绞车、游动系统难以实现较精确送钻

绞车、天车、游车、钢丝绳系统和大钩等组成的游动系统是一个庞大而复杂的机电传动系统,每一个部件都对自动送钻产生干扰。钻柱是一个细长杆,是一个弹性体;钻井中钻柱回转,由弯曲产生离心力与井壁间的摩擦力;钢丝绳为柔索类;井架是一个钢结构件,也是一个弹性体;天车、游车、绞车与钢丝绳间有接触力;钢丝绳缠绕不均;电动机的转动惯量等,使得在送钻过程中产生动载,又由于随机载荷的存在,加剧了送钻中的不平稳,滚筒、大钩速度呈现明显的不均匀,使自动送钻控制精度下降,灵敏度和准确度受到影响,很难实现较精确的自动送钻。

图 6 表示无论是控制液压盘式刹车自动送钻还是控制辅助电机的自动送钻,钻压的变化值都可精确到 $\pm 5 \sim 3$ kN 或更小。

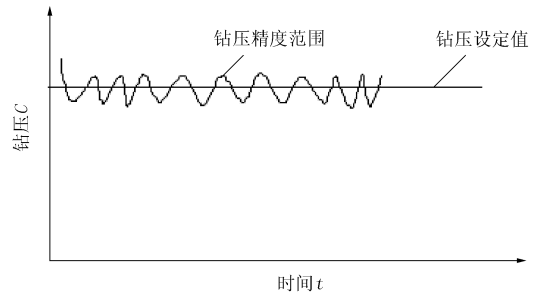


图 6 自动送钻控制精度

在实际送钻过程中,钻柱与井壁产生摩擦力,不同工况和送钻条件下摩擦力载荷大小不同,当采用不同钻柱组合时,其载荷也不同,该摩擦力载荷是一个随机载荷与原大钩载荷相加,在送钻中大钩载荷波动如图 7 所示。

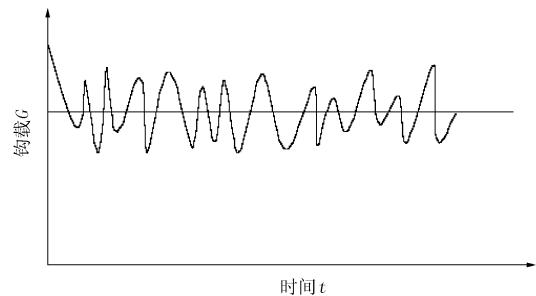


图 7 考虑钻柱摩擦钩载波动

考虑游动系统弹性,井架的弹性,大钩速度、大钩载荷以及绞车滚筒转速的不平稳性都有所增加,从图 8 可以看出,由于增加了系统弹性,使整个系统变得复杂,送钻过程中振动增大,系统的不稳定性进一步增加,因此对送钻系统中绞车的控制提出更高的要求。

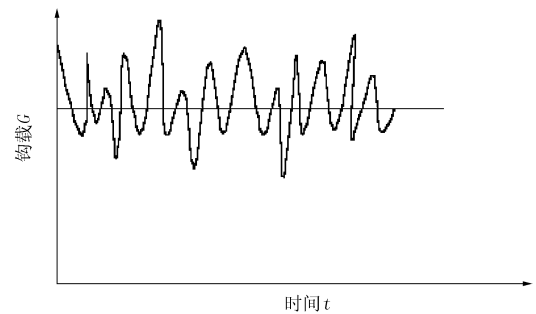


图 8 考虑系统弹性钩载波动

综上所述,由于游动系统是多个弹性体分散组合,增加了系统的弹性,使整个系统变得更加复杂,送钻过程中振动增大,加剧了送钻中的不平稳性,所以绞车、游动系统难以实现较精确的自动送钻。

4 深井超深井钻机精确自动送钻的建议

4.1 液压缸系统送钻,绞车起、下钻具

地质岩心钻机大多用液压缸作为给进机构,绞车起、下钻具,深井超深井钻机也可采取这种形式。如液压缸行程10 m,可使用9 m长钻杆单根钻进,绞车起下28 m钻柱。液压缸结构简单,效率高,工作可靠,寿命长,在实现往复运动中得到广泛应用。液压缸自动送钻彻底消除了绞车游动系统对自动送钻的干扰,它可实现连续、平稳的自动送钻,钻压、钻井速度可无级调节,易实现自动化作业。

4.2 无绞车液压缸升降式顶驱钻机

用液压缸升降机构取代传统的绞车,取消了笨重的绞车、天车、游动系统,使井架变得轻便,系统质量小,结构简单,是液压钻机发展方向之一。液压缸送钻结构形式:可采用双液压升降式,行程一般为10 m;液压缸—钢丝绳倍速机构,单液压缸行程15 m,顶驱行程30 m,可提升28 m钻柱;也可采用两组液压缸交替升降形式,单组液压缸行程15 m,总行程为30 m。

4.3 选用铝合金或碳纤维材料钻杆

选用铝合金钻杆或碳纤维钻杆,这类钻杆在钻进中具有明显的优越性。相同规格的钻杆,铝合金钻杆为钢钻杆质量的一半,因而减少顶驱或转盘的转矩及绞车的提升载荷,既节约动力,又减轻大钩动载,减轻对自动送钻的干扰。

碳纤维是一种力学性能优异的新材料,它的密度比铝小,不到钢的1/4,碳纤维增强树脂复合材料抗拉强度一般都在3500 MPa以上,是钢的7~9倍,比不锈钢还耐腐蚀,比耐热钢还耐高温。碳纤维将成为深井超深井钻杆新兴材料之一。

4.4 采用井底动力钻井

井底动力钻井是指利用高压泥浆在井底直接驱动涡轮钻具、螺杆钻具或液动锤进行钻进,与顶驱、转盘钻进相比,最大的优点是钻进时钻杆不转动,减小旋转钻柱消耗功率,钻杆磨损小,寿命长、减轻钻柱与井壁摩擦对送钻的干扰,减轻绞车游动系统对送钻的干扰,可提高送钻精度。

4.5 弱化游动系统对自动送钻的干扰

传统的自动送钻控制系统都采用PID控制技

术,自动送钻钻压控制系统在外界干扰下,振荡比较大,系统不稳定,因而在自动送钻这种时变、时滞和非线性条件下难以实现准确的控制。将灰色预测控制直接用于自动送钻控制系统中,可以充分体现预测控制的“超前控制”的功能,提前补偿误差,预测控制系统即使外界干扰情况下,系统能较快地达到稳定状态,跟踪效果好,这是因为在建模过程中是通过原始数据进行累加生成,这样累加的结果就可以大大弱化非线性干扰的影响。但是还不能从根本上消除游动系统对自动送钻的干扰。

5 结论

(1)深井超深井采用绞车提下钻具并兼作自动送钻,在辅助电机或液压盘式刹车自动送钻中钻压精度均可达到 $\pm 5 \sim 3$ kN,可满足钻进对钻压精度的要求。可是由于绞车游动系统的动载和随机载荷,使井底钻压不稳定,自动送钻精度下降,灵敏度和精度受到影响,难以实现较精准的自动送钻。

(2)液压缸自动送钻系统是深井超深井钻机自动送钻的首选方案。液压缸自动送钻系统工作平稳能保证恒压钻进,精度高,从根本上消除了绞车游动系统对自动送钻的干扰。

(3)弱化绞车游动系统对自动送钻的干扰,可采用强度高、密度小的铝合金钻杆或碳纤维钻杆。

(4)采用井底动力钻进,钻柱不转动,减轻钻杆与井壁间摩擦,减轻绞车游动系统对自动送钻的干扰,可提高送钻精度。

参考文献:

- [1] 孙宁,苏义脑,等. 钻井工程技术进展[M]. 北京:石油工业出版社,2006.
- [2] 张新旭,赵敏. 自动送钻技术研究进展[J]. 石油矿场机械, 2010,39(11):85-87.
- [3] 董怀荣,王联合,等. 交流变频电驱动钻机起升系统的模拟[J]. 石油钻探技术,2009,37(3):69-72.
- [4] 焦洁,田翠侠. 关于灰色预测控制的石油自动送钻钻压控制系统[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(2):21-24.
- [5] 王定亚,王进全,张福. JC-70DB两挡齿轮传动单轴绞车[J]. 石油机械,2007,35(6):25-27.
- [6] 张国山,郑明建. 石油钻机主电动机自动送钻系统的设计方案[J]. 石油机械,2003,31(5):14-17.