

交流变频钻机能实现升降钻具机械化

刘宝林, 桂暖银

(中国地质大学 北京 科学钻探国家专业实验室 北京 100083)

摘 要 根据升降钻具的负载特点 动力驱动系统必须具备的 2 个基本特性是硬的机械特性和近似恒功率的调速特性。给出了交流变频驱动钻机升降钻具机械化的技术方法和实例。

关键词 钻机 升降钻具机械化 交流变频驱动

中图分类号 :P634.3+1 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-3746(2000)03-0042-04

Mechanized Tripping with AC Inverter Driving System/ LIU Bao-lin, GUI Nuan-yin(China University of Geo-sciences, Beijing 100083, China)

Abstract : According to the load of tripping, driving system of drill should have rigid output performance and regulating performance approximate to constant power. Mechanized tripping method with AC inverter driving system and it's examples is discussed.

Key words :drilling rig; mechanized tripping; AC inverter driving system

地质钻机采用交流变频驱动在简化钻机结构、实现宽范围无级调速、节约能耗和实现安全钻进等方面具有许多优越性能。实验研究表明交流变频驱动能很好地适应回转钻进过程的工作负载特性。与直流电机或液压驱动钻机相比,交流变频驱动钻机的性能更好,而且易于实现,维护保养方便,价格上也具有竞争力。因此,对于回转钻进过程来说,采用交流变频驱动是一种非常理想的动力驱动系统。

钻探工作的另一重要工作过程是升降钻具。特别是在中深孔情况下,升降钻具往往占主导地位。因此,动力驱动系统的选用必须同时考虑钻进过程和升降钻具过程的负载特性,还要兼顾事故处理和扫孔等其它特种工作的需要。通过本文的论述,证明了交流变频驱动系统同样能很好地适应升降钻具过程,并能够达到升降钻具过程的机械化。其关键技术是采用了交流变频驱动系统和磁制动器。

1 升降钻具过程的负载特性及对动力驱动系统基本性能的要求

升降钻具时的负载转矩具有 3 个特性:在升降某一立根过程中的恒转矩负载特性;在回次起下钻过程中的转矩递增(减)负载特性和负载的波动性。

根据升降钻具的负载特点,钻机动力驱动系统

应具备以下 2 个基本特性。

(1)硬的机械特性。机械特性反映的是动力机本身的转速随负载转矩变化而变化的一种关系,是动力机的运行线。它与负载线的交点决定了动力机的瞬间转速和转矩。如果机械特性太软,当负载转矩波动时会造成转速的波动而引发有害振动。

(2)近似恒功率的调速特性。为了充分发挥动力机的功率和提高生产效率,在负载较大时(钻孔内的立根数较多),应采用低速升降;而当负载转矩较小时,应采用较高速升降。通过对直流电机、液压马达和交流变频驱动的分析,它们的调速特性基本是一致的,即在额定转速以下为恒转矩调速,在额定转速以上为恒功率调速。如果单独依靠动力机本身来实现全程的恒功率调速是不可能的。但是,机械变速箱则是一个真正的恒功率调速系统,缺点是有级调速。如果将无级调速的动力机与简单的机械变速箱相结合就是一种先进和比较合理的驱动方式。目前在大多数的无级调速钻机上都保留了机械变速箱这一环节,其原因就在于此。因此,交流变频驱动也需要一个简单的变速箱。

尽管恒功率的调速特性与机械特性在数学表达或曲线形式上十分类似(图 1),但两者之间具有本质上的差别,绝对不能混淆。

收稿日期:1999-06-01

作者简介 刘宝林(1959-),男(汉族),吉林榆树人,中国地质大学(北京)教授,科学钻探国家专业实验室副主任,探矿工程专业,硕士,主要从事大陆科学钻探和环境科学钻探施工技术研究、钻机无级调速和钻进过程微机检测与控制技术研究,北京市海淀区学院路 29 号,13301008339 桂暖银(1963-),男(汉族),安徽贵池人,中国地质大学(北京)副教授,探矿工程专业,博士,科学钻探国家专业实验室专职人员,科研方向是科学钻探钻机无级调速和机械 CAD (010)82328581。

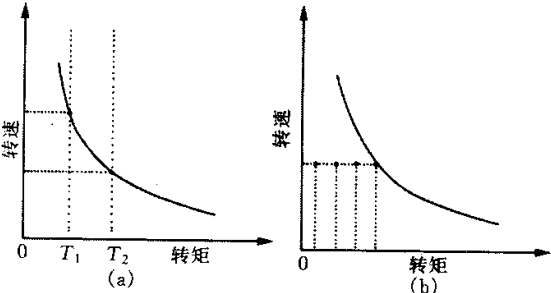


图 1 恒功率机械特性与调速特性的差别

(a) 恒功率机械特性(串激直流电机);

(b) 恒功率调速特性(机械变速箱+交流变频)

图 1(a)中的曲线与负载的交点决定了瞬时转速和转矩。当负载转矩在 T_1 和 T_2 之间变化时,转速变化范围很大。转速不能稳定运行在一点上。图 1(b)中的曲线只是反映了动力系统的一系列额定工作点。在最大转矩范围内无论负载转矩如何变化,转速都能稳定运行在一点上。转速的波动很小。根本原因就是采用了具有硬机械特性的动力机。

由以上分析可知,只有硬的机械特性才能使转速稳定运行。特别是在负载转矩波动较大的情况下更是如此。

2 交流变频+机械变速箱驱动系统的特性

(1)硬的机械特性。当采用磁通控制时交流变频调速的机械特性是一组平行线,如图 2(a)所示,在整个调速范围内保持硬度不变。而他励直流电机在弱磁调速时的硬度变软,如图 2(b)所示。图中 T_N 代表额定转矩。

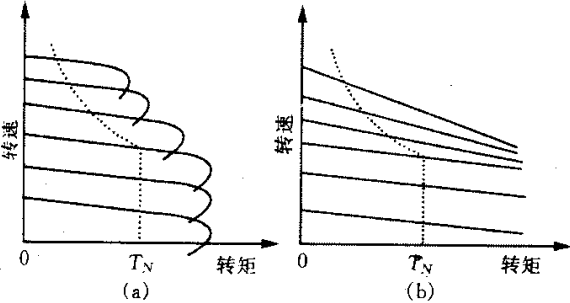


图 2 变频驱动与直流电机机械特性的比较

(a) 交流变频驱动 (b) 他励直流电机

(2)近似恒功率的调速特性。机械变速箱的作用主要是为了提高输出转矩。

(3)很强的频繁带载起动能力。由于钻机上取消了摩擦离合器,要求交流变频驱动系统必须具备很强的频繁带载起动能力。特别是在深孔条件下起动转矩要求更大。如图 3 所示为交流变频驱动系统的起动性能。起动转矩可以达到额定转矩的 150%

(最大可达 180%)。起动时间在 0 ~ 3600 s 范围内可调。这样就可以减小起动过程中的冲击和振动。

(4)方便的正反转功能和四象限运行。机械变速箱取消了反转挡。通过变频器改变电机的转向来实现钻具提升和下放^[1](如图 4 所示)。而且在下放钻具时,电机处于反向回馈制动运行状态,一方面能提供 100% 的额定制动转矩,来有效控制钻具的下放速度;另一方面将钻具的位能转化为电能回馈给电网,节约能量消耗。

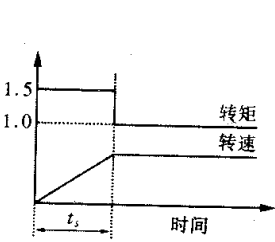


图 3 交流变频驱动起动特性
(t_s 为加减速时间)

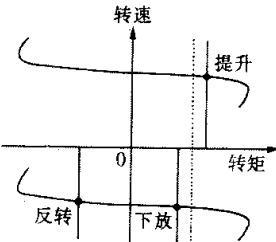


图 4 交流变频驱动的四象限运行

(5)过载保护性能。原来钻机上的摩擦离合器在一定程度上可以起到过载保护作用,但其调节和维护比较困难。取消离合器后,过载保护则由变频器来承担。通过变频器上的参数设置可以调节电机最大输出转矩和变频器的最大输出电流,调节范围是额定值的 0 ~ 200%。可以根据负载条件适当设置定值。该过载保护功能既可防止孔内断钻和地表设备损坏等事故的发生,又可根据速度的变化提前发现孔内异常情况。此外,变频器本身还有其它一系列的自动保护功能,如过压、欠压保护等。

(6)效率特性。在低速运行时,变频电机的机械损耗相对较小。因此,在整个无级调速范围内,电机都能保证在较高的机械效率下运行。当变频器内置交流电抗器时,电网侧的因数接近于 1。对电网的污染很小。

3 实现升降钻具机械化的基本原理

升降钻具过程可以分为 3 种运行状态 (1)提升钻具(正向电动运行)(2)下放钻具(反向回馈制动运行)(3)悬吊法具(停止运行)。

提升钻具时,电动机正向电动运行,电机从电网吸取能量,最后转化为钻具的势能增加。调节变频器的输出频率可控制钻具提升速度。该运行状态容易实现,而下放钻具和悬吊钻具是技术难点。

下放钻具时钻柱位能减少,转化为其它形式的能量。在手动抱闸操作的情况下,这部分位能的减

少,通过制带与轮毂之间的摩擦而转化为势能,同时对制带造成磨损,工人劳动强度也很大。而在交流变频驱动时,可以使电动机运行在反向回馈制动状态,钻具的位能减少转化为电能。在转化过程中,交流变频系统起着两方面的作用:将电能回馈电网,可以节约能量消耗;电机能提供 100% 的连续制动转矩,能有效地控制钻具的下放速度。

目前,一些比较知名的变频器生产厂商都开发了回馈装置。国内的有关厂家也在开发这一功能。这就使交流变频驱动系统在吊车、起重机类机械上的应用有了更广阔的前景。

悬吊钻具是必不可少的环节。如果要使交流变频驱动系统本身具备这一功能,就必须采用矢量控制方法,设备投入较大,目前还不适合我国的国情。因此,可以采用一个电磁制动器与变频器自动配合工作,在设备投入增加不多的前提下,可靠地实现钻具悬吊,实现升降钻具机械化的目标。变频器控制系统如图 5 所示。

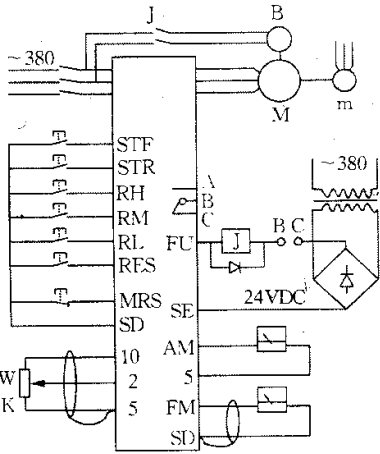


图 5 变频器控制系统示意图

STF—正转按钮;STR—反转按钮;RH/RM/RL—高/中/低三速按钮;MRS—紧急停车按钮;SD—数字地;10—内部+5V 电源;2—速度调节;5—模拟地;A、B、C—故障输出继电器接点;FU—频率检测(集电极输出);SE—集电极输出公共地;AM—模拟信号输出(可以监测频率、电流等参数);FM—频率输出;j—继电器;B—电磁制动器;M—三相交流电机;m—风扇电机

为了操作更加方便,在升降钻具时主要使用 STF、STR、RH、RM 和 RL 等 5 个控制按钮。升降和悬吊钻具 3 种状态下的时序如图 6 所示。

3.1 电磁制动器

电磁制动器 B 的结构原理如图 7 所示,是一种弹簧抱紧、电磁铁松开式结构。当突然停电等异常发生时,制动器可以抱住电机输出轴,以防升降钻具过程中发生跑钻等事故。电磁制动器主要由电磁

铁、底梁、侧连接杆和制动闸块、抱紧弹簧等组成。当电磁铁不通电时(变频器的输出频率小于 FU 信号的设定值,FU 信号处于不导通状态,继电器 J 不动作)左右两侧的连接杆在抱紧弹簧的作用下向内收紧,制动闸块抱紧制动轮使电机轴不能自由转动,实现制动和悬吊钻具。当升降钻具时,变频器输出频率大于 FU 的设定值时,FU 导通,继电器 J 动作,使电磁铁通电,其衔铁左移产生电磁推力,压缩抱紧弹簧,左右侧的连接杆向外张开,制动闸块松开制动轮,则电机可以带动负载正向或反向运转。电磁铁为节能型直流励磁,强力启动,弱电维持。

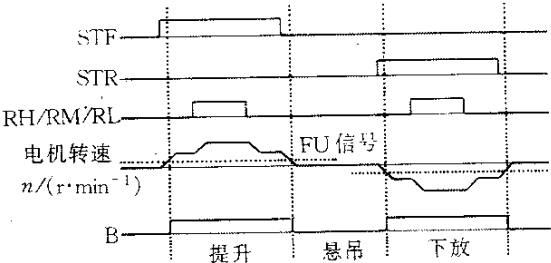


图 6 升降和悬吊钻具 3 种状态下的时序

3.2 卷扬机的结构

卷扬机的结构可以保留原来的游星轮传动机构,但在使用过程中,提升抱闸可以一直处于抱紧状态,而下放制动抱闸一直处于松开状态,卷扬机只有一个自由度。钻具的升降速度和停止(悬吊)完全由变频驱动系统和电磁制动器来控制。保留原来的卷扬机结构还有一个好处是作为过渡产品,既可以机械化升降,又可以手动升降,便于学习和掌握。

在经过一定的生产试验之后,通过改进设计,使机械化升降系统更加实用和可靠,而且工人的熟练程度有所提高。在这样的条件下,则可以对卷扬机的结构进行简化,取消游星轮传动机构,而只采用普通圆柱直齿轮传动即可。一方面可以提高传动效率和可靠性;另一方面可减轻卷扬机的质量,更便于制造、维护和保养。

3.3 升降钻具过程中冲击和振动负载的抑制

由钻塔、钢丝绳和孔内钻具形成了一个弹性振动系统。如果在启动、停止和加减速过程中操作不当,会产生很大的冲击负荷,引起整个弹性系统的振动,对设备和孔内的安全造成危害。以往采用手动抱闸操作时,经常会产生较大的冲击负荷和振动。

由拖动系统的动力学方程 $\Delta T = J \frac{dn}{dt}$ 可知:动载 ΔT 与系统的转动惯量 J 和转速变化率 $\frac{dn}{dt}$ 成正比。对于中深孔钻机(500~600 m),经过初步估算,为了使 ΔT 不超过额定负载的 50%, $\frac{dn}{dt}$

则不应超过 31 rad/s^2 。那么,对于变频驱动来说,当加减速参考频率为 50 Hz 时,加减速时间应不少于 5 s (如图 8 所示)。

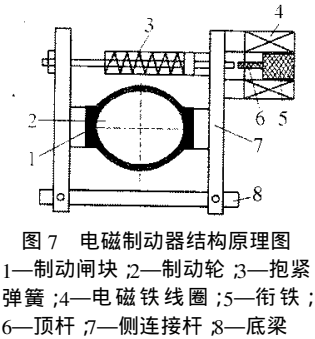


图 7 电磁制动器结构原理图
1—制动闸块 2—制动轮 3—抱紧弹簧 4—电磁铁线圈 5—衔铁 6—顶杆 7—侧连接杆 8—底梁

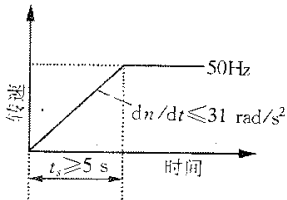


图 8 转速变化率的控制
(加减速时间的设定)

当采用手动抱闸操作时,由于操作人员水平不同,要准确控制加减速时的转速变化率是非常困难的,而且加减速时间过长会对制带造成过度磨损。图 9 给出了手动操作和交流变频驱动升降钻具时的动载情况。

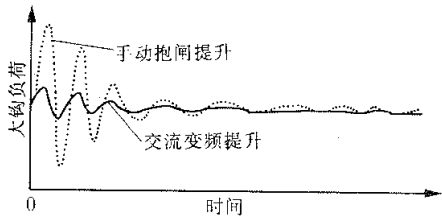


图 9 提升过程中的动载对比示意图

4 交流变频 CD-2 型地质钻机

该型地质钻机是原地矿部“九五”科技攻关课题,由科学钻探国家专业实验室和中国地质科学院勘探技术研究所合作承担。该钻机采用交流变频驱动技术后所具有的特点是:简化了钻机结构,拓宽了无级调速范围,实现了升降钻具机械化,减少了振动和冲击负荷以及具有明显的节能潜力;大大减轻了劳动强度;可将下放钻具势能反馈电网。

钻机的主要性能指标为:钻进深度 500 m ,回转器转速 $0 \sim 1228 \text{ r/min}$ (无级调速),回转器最大扭矩 $3 \text{ kN} \cdot \text{m}$,卷扬机提升速度 $0 \sim 1.67 \text{ m/s}$ (机械化升降,单绳),最大提升能力 30 kN ,电动机功率 22 kW (4 级,交流变频)。

钻机选用日本三菱电机公司的 FRA241E 型变频器,额定容量 32 kVA ,额定输出电压 $380 \text{ V}/50 \text{ Hz}$,额定输出电流 43 A ,额定输入电压 $380 \text{ V}/50 \text{ Hz}$,允许电压波动 $323 \sim 506 \text{ V}/50 \text{ Hz}$,允许输入频率波动 $\pm 5\%$,自重 48 kg 。其主要特点是 (1) 内置电源再生功能,是专为吊车、起重机等需要承受非常大的再生能量而设计的,可以四象限运行,适合于钻

机卷扬机的工作负载 (2) 可以提供 100% 的连续制动能力 (3) 不需要外接制动单元和制动电阻 (4) 新增一些专为吊车类机械而设计的控制调节功能 (5) 内置交流输入电抗器,可以使电网侧的功率因数接近于 1,还可以防止电源尖峰电压对变频器的危害; (6) 确保升降平滑运行。

该钻机选用的电磁制动器为节能型产品,强电启动,弱电维持,不仅可以产生较大的电磁推力,而且在操作频率和可靠性等方面都有所改善和提高。电磁铁技术指标为:额定行程 3.8 mm ,额定吸力 $800 \sim 1000 \text{ N}$,起动电流 $\leq 4 \text{ A}$,维持电流 $\leq 0.5 \text{ A}$,操作频率 12 次/min ,寿命 150 万次。电磁制动器额定数据为:制动轮直径 200 mm ,制动力矩 $160 \text{ N} \cdot \text{m}$,动作时间 $\leq 0.5 \text{ s}$ 。

为了操作方便,专门设计了一个手持操作盒,工人可以在比较方便的位置进行升降钻具的控制。

5 结论

(1) 升降钻具过程的负载对动力系统的要求与回转钻进过程是一致的,必须具备 2 个基本特性:①硬的机械特性;②近似恒功率的调速特性。

(2) 利用交流变频驱动系统的回馈制动运行来控制钻具的下放速度,利用电磁制动器来悬吊钻具,可靠地实现升降钻具机械化,对进一步简化钻机卷扬机结构、减轻劳动强度、提高升降钻具的效率和提高安全性等方面都具有重大实用价值。

(3) 交流变频驱动不仅能满足结论 (1) 中 2 条基本特性的要求,而且在简化钻机结构,起动、制动,过载保护,提高效率,减少振动,节约能耗和可靠性等方面都具有明显的优越性,特别是可以实现升降钻具的机械化。因此,钻机采用交流变频驱动具有非常好的发展前景。

(4) 交流变频 CD-2 型钻机的各项性能指标是比较先进的,在国内首次实现了升降钻具机械化,为我国新一代先进钻机的研制开辟了新的途径。证明了交流变频驱动系统在钻机上的应用是可行的。如果在新一轮国土资源大调查中进行推广应用,将会取得重大的经济效益和社会效益。

参考文献:

[1] 刘宝林,桂暖银.新型交流变频钻机的研制[J].探矿工程,1999 (增刊) 294-253.