

变频器在国内石油钻机中的应用

高成海

Gao, Chenghai

摘要:文章介绍了变频器在石油钻机的应用。对钻井工艺特点,控制方案,系统组成及注意事项做了简要论述。

关键词:石油钻机 变频器 系统

文章编号:1008-0570(2004)02-0025-03

1 钻井工艺简介

钻井过程分为起落井架,钻进,泥浆循环,钻具更换,下套管,测井等几大工序。主要分为绞车,转盘和泥浆泵等。绞车由滚筒、齿轮箱、离合器、制动器、电机和控制设备组成,用来起落井架,提升和下放钻杆、套管。随着井深的增加,钻具越来越长,重量迅速加大,绞车的负载也越来越大。我国目前已有 7000m 深的油井,其钻具近 600t 重。由于每钻进约 9m 就要提升下放钻杆 1 次,因此绞车作业时间也随着井深的增加而占整个作业时间的比例越来越大。为降低成本,希望在野外或海上的作业时间越短越好,这不仅要求绞车能高速运行,平稳起停,以保证不损坏钻井设备并提高井的质量,还要求驱动设备具有良好的动态特性。如果在内线井区作业,电源可与井区电网相连,下放钻杆时电机工作在发电状态,能量可回馈电网,节能效果显著。

转盘和绞车可共用同一套驱动系统和电机,钻杆加长后,驱动部分切换到转盘,由转盘带动钻具旋转,实施钻进作业,司钻工通过调节转盘转速和压力来改变钻进速度。转盘正常工作时为正转,处理卡钻时需反转以收回钻头,为防止钻杆正转时折断或反转时脱扣,要求电机输出转矩平稳,调节灵活且设定限幅值,同时电机的刹车部件也是必不可少的。

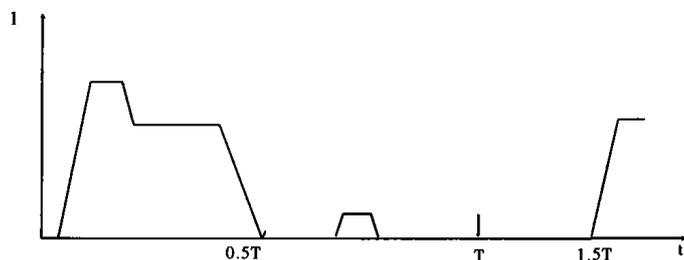


图 1

泥浆泵相当于整个钻井设备的“心脏”,它所输出的泥浆的作用类似于人体内的血液。泥浆从钻杆内部自

上而下注入,流过钻头后,再从钻杆和井壁的缝隙自下而上流出,在这一过程中,泥浆协助钻头冲击地壳,冷却钻头,带出碎屑,而更重要的是通过在泥浆中掺入重晶石粉等物质可保持井下一定的压力,以避免井喷,象血液在人体内循环,运送营养,带走废物。泥浆泵的压力和冲数分别与驱动电机的输出转矩和速度成正比。

绞车负载示意图如图 1 所示。

2 系统配置

1998 年我们为新疆石油管理局钻井公司的可打 3200m 深度的一套钻井设备配置了变频器。所用产品为 Siemens SIMOVERT MASTER—DRIVES 6SE71 电压源型变频器柜。

动力系统由 3×800kW 柴油发电机组构成,3 台机组并网于 3 相,600V/50Hz 交流母线。

传动部分由 3×6SE7141 整流柜(3×800kW)供电给公共直流母排,4×6SE7135 逆变柜(4×400 kW)和 2×6SE7136 逆变柜(2×450 kW)共 6 台逆变柜接到直流母排上,每台逆变柜各驱动 1 台 400kW 的电机。4 台电机 2 台 1 组共驱动 2 台泥浆泵,另 2 台电机为绞车和转盘共用,详见图 2。

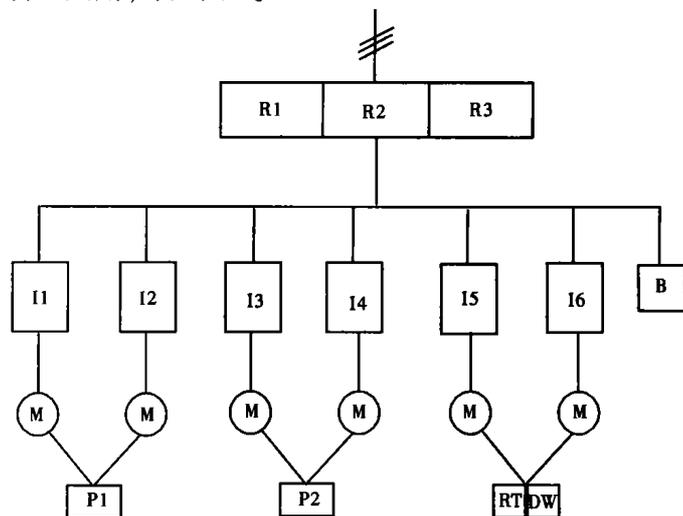


图 2

1) 电源采用柴油发电机供电,要求有足够的电压稳定性和频率稳定性。柴油发电机的额定容量一般小于传动装置容量的 5~10 倍,属于“小电网”供电,换相缺口大。SIMOVERT MASTERDRIVES6SE71 变频器

可保持2—3s的主回路电压等待时间,以克服柴油机瞬时掉电和换相缺口。

2)根据多电机传动情况,采用了公共直流母排方案,这样如果有1个传动装置工作于发电状态时,可通过中间回路进行能量交换,仅使用1个总制动电阻。

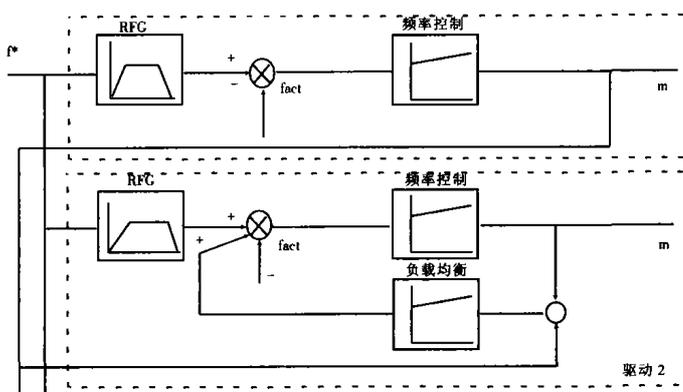


图3

3)在直流母排上配备自振荡二极管,以免1台逆变器上的直流侧熔断器断开或回馈能量时在母排上产生过电压而影响其它逆变器。此外,逆变器内部软件中还有Vdmax调节器以避免直流母排因过电压跳闸。

4)同单台变频器传动相比,安装尺寸较小,因为网侧元件,如熔断器、接触器、开关及网侧进线电抗器等可以集中使用1次。并在机械结构上采取了适应现场恶劣环境的措施。

5)所选逆变器功率相同并可设置4套给定数组和电机数组,在故障时可方便地互相切换,互为备用。随着绞车/转盘的切换,可实现电流限幅和整套控制数据的自动转换。

6)同一设备的2个变频器之间采用光纤快速(11Mbit/s)通讯和双速度环方案。在无编码器反馈条件下安全得到有力保证,又使驱动1台设备的2台电机的负载电流静态偏差小于1%,远远优于钻机国家标准规定的10%,控制方案详见图3。

7)如钻机可接入大电网,则可考虑将电能回馈电网,但要事先确认电网的稳定性,以免逆变桥在电网波动时过流。

钻机采用绞车,转盘联合驱动,泥浆泵独立驱动的形式。钻机主机通过二档分动直角箱,将动力分成两路,一路通过链条驱动滚筒工作;另一路驱动转盘工作。泥浆泵组由交流电机通过皮带传动驱动泥浆泵工作。绞车由滚筒轴,绞车架,机械刹车,电磁涡流辅助刹车,链条箱,转盘驱动轴,二档直角分动箱,交流电动机,润滑系统等组成。钻井平台上配有司钻台,所有控制都可在司钻房台完成,并设有麦克风和故障警笛。

3 变频器

6SE71 变频柜内部配备 SIEMENS 全数字工程型变频器,整流部分采用晶闸管,逆变器采用了 IGBT 功率元件,直流母排上由电容作为储能元件。变频器各项功能可随软件灵活设置,实现对同步或异步电机的控制,控制方式也包括 V/f,有无测速机的磁场定向控制等。根据工艺要求,选用无速度传感器的矢量控制方案,拖动异步电机,精度可达到 0.1f 转差,速度响应时间为 20ms,转矩响应时间可达到 5ms,确保准确快速的调节,同时简化系统,增加可靠性。

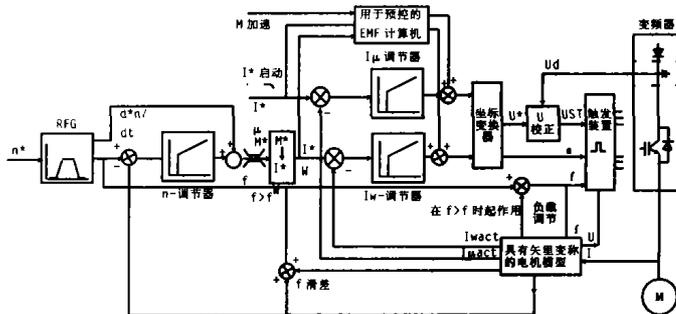


图4

3.1 简单工作机理

6SE71 变频柜采用的控制方案如图4所示。

励磁电流 I_{μ} 和转矩电流 I_w 经过电流调节后,再完成电流—电压变换、直角坐标/极坐标变换进入触发装置。具有矢量变换的电机模型功能块主要由三相/二相变换器、矢量变换器、电机模型(电流模型和反电动势模型)几部分组成。电枢电流实际值和励磁电流实际值由检测出的三相电流经三相/二相变换后,再与触发装置模块过来转子磁链空间相位角 θ_1 一起通过矢量变换产生。

$$\text{输出电流 } I_{ax} = K(\sqrt{I_{\mu}^2 + I_w^2})$$

$$\text{输出转矩 } M_{ax} = KI_w \psi_R$$

转子磁链 ψ_R 由电流模型或反电动势模型计算得到。在频率小于 f_c 时采用电流模型法,反之为反电动势模型法, f_c 在参数辨识时确定。电流模型是根据异步电机的定子电流求 ψ_R ,但随着磁通饱和或电机绕组温度的变化,要对模型中的参数进行调整,才能保证运算精度,因此只在低速时采用。而反电动势模型是从电机端电压中减掉绕组的电阻压降,再将电机的反电动势积分得出 ψ_R ,反电动势在电机转速为额定转速的10%以下时运算不准,一般在速度提高后使用。变频器在运行时可自动转换,这也确保了矢量控制的精度。转速实际值由定子电压和电流检测值经电流模型和反电动势模型计算得出。

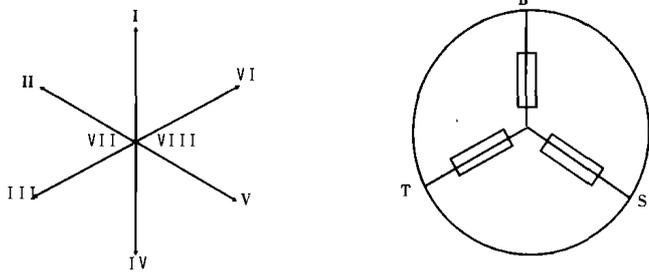


图 5

电流模型计算出的滑差频率 f_{slip} 与实际频率 f_{act} 组成同步频率 f , 输入触发装置。

3.2 PWM 调制

6SE71 变频柜采用异步空间矢量调制。在一定的脉冲频率下, 通过此种方式可使电机的谐波电流减到最小, 以减轻损耗和转矩脉冲。在这种情况下 IGBT 通断后电机三相绕组产生的电压矢量在空间旋转, 通过调节“占空比”和相邻矢量的值使电压矢量的数值和电压相角可调, 这样输出电压可达到最大值的 87%。

表 1

开关状态	L1	L2	L3
U1	+	-	-
U2	+	+	-
U3	-	+	-
U4	-	+	+
U5	-	-	+
U6	+	-	+
U7	+	+	+
U8	-	-	-

当要求 90% 以上输出电压时, 则采用“边缘调制”在 60° 时的方波波形上设置 1 个或几个槽口以消除电流峰值。逆变器中 IGBT 的通断状态如表 1 所示, 相应的电压矢量图如图 5 所示。

3.3 自检测, 自设定

由于全数字控制变频器内部软件可灵活配置, 利用其本身的硬件设备, 通过执行固定的子程序使变频器输出各种电压、电流信号, 再对采样数据计算处理可完成内部自动参数设置、静态电机识别、空载试验和调节器优化, 得出精度较高的电机参数。这是调速系统功能的一大扩充, 既简化了现场人员的工作, 也为提高交流调速系统的性能提供有力保证。这些测试包括: 接地测试可知所接电机(包括导线)是否有接地故障, 以及逆变器中损坏的功率器件; 还有脉冲测试, 漏破测试, 空载测量以及根据负载特点完成的 n/f 节器的优化。

4 其它技术特点和注意事项

1) 针对钻井工艺特点, 可利用变频器内部功能完

成负载限制和动态功率限制功能。由外部操作随意调节电流限幅和柴油机的输出功率报警值, 切实保证柴油机安全。

2) 编制变频器内部软件功能块实现零位锁定, 确保打井过程中变频器不因小故障而停机, 杜绝因此类原因引起的卡钻。

3) 完成脚踏开关的快提钻杆功能, 并禁止其反向工作, 缩短工作周期。

4) 采用变频器内部控制软件实现允许两台电机并联驱动绞车, 而转盘仅允许单台电机驱动, 避免转矩过大扭断钻具。

5) 电流环的前馈控制保证快速动态响应。

6) 利用变频器内部自由功能块可完成泥浆泵电机断带保护。

7) 操作面板可作为手持终端, 每个面板可存储 8 套参数。

8) 控制线缆可采用总线方式, 大大减小线缆数量, 提高设备可靠性。

9) 模块化的结构, 可采用水冷方式, 适应更加恶劣的环境。

10) 免费的 SIMOVIS 调试、故障诊断软件, 适合进一步通讯和自动化。

此外, Siemens 公司还可提供以 IGBT 元件作为整流功率部分的变频器, 彻底实现无谐波, 功率因数可控, 并可在 5% 额定输入电压下输出额定转矩。还应注意以下几点: 1) 电气柜内的元件应有足够的强度, 耐腐蚀, 所有连接件和紧固件应有防松措施。2) 井场使用的电缆应为耐热, 耐油, 耐寒, 柔软且可承受较大机械外力的阻燃型电缆。电缆在防护性能较好的电缆桥架上, 桥架应为可折叠式。电缆和对应的连接端应有牢固的标记, 接头做防护以免机械损伤和附着物引起接触不良, 并且要有良好的密封。3) 井场环境多属“2”类危险区, 司钻台和泥浆泵操作台除了加热去湿设备外还应做正压防爆处理, 密封性好, 选用防锈材料。以上的设备均应有较高的防护等级。

5 结束语

在钻机技术更新、改造过程中, 采用先进的变频器应是优先考虑, 颇具推广价值的方案。在实际应用中, 应充分使用变频器软件功能, 大大简化外部线路, 提高了控制水平和对设备的保护, 因其性价比高、工艺先进、稳定可靠、维护简单而获得用户的高度评价。它将大大推动我国石油机械的技术进步。

(西门子电气传动有限公司) 高成海