

BMC-400 型反井钻机多台电机软启动控制系统设计与实现^①

谢 正^② 李百茹² 林海涛¹

(1. 中国矿业大学(北京), 北京 100083; 2. 华北科技学院, 北京 东燕郊 101601)

摘 要: 根据由多台三相异步电动机组成的 BMC-400 型反井钻机动力系统的具体需求, 并以此分析结果, 阐述了以西门子 S7-200 和 Sirius 3RW40 软启动器为核心的多台电机软启动控制系统的设计和实现方法。

关键词: 反井钻机; 动力系统; 软启动; 电机保护

中图分类号: TD421.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7169(2008)03-0074-03

反井钻机是一种利用反井法开凿井筒的钻井设备。其工艺原理是将钻机安装在水平巷道或地面, 先自上水平巷道或地面向下水平巷道钻一个导孔。当导孔钻透以后, 在下水平巷道内卸去导孔钻头并接上扩孔钻头, 然后沿导孔提升扩孔钻头, 自下而上扩孔, 直到钻头穿透上水平巷道, 井筒钻进即结束。反井钻机可用于钻凿煤矿井下煤仓、通风孔、各种暗井及延伸井筒等。该种施工方法可以大幅度提高建设速度, 并且具有施工安全、劳动条件好等诸多优点。

最新研制的 BMC-400 型反井钻机可钻井深为 400 m, 设计导孔直径 270 mm, 设计扩孔直径 1400-2000 mm, 额定拉力为 2450×10^3 N, 最大拉力 3000×10^3 N。该钻机系统构成如图 1。

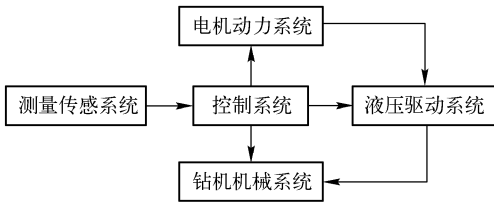


图 1 BMC-400 型反井钻机的系统构成

由系统图可见: 电机动力系统为液压驱动提供原动力; 液压驱动系统则驱动钻机机械系统工作; 测量传感系统对设备和工艺参数进行检测监视, 操作人员则据此通过控制系统对钻机进行操作。

1 电机动力系统组成及控制需求分析

BMC-400 型反井钻机电机动力系统由 7 台三相异步电动机组成, 额定电压均为 380 V。各电机基本参数及用途如表 1 所示。

表 1 反井钻机动力系统组成

电 机		功 能
1 [#] 、2 [#] 油泵	75 × 10 ³ W, 380 V	为液压马达和液压缸供油, 为钻机钻进和换钻杆提供动力
3 [#] 油泵	18 × 10 ³ W, 380 V	为液压缸和辅回路供油
清水泵	80 × 10 ³ W, 380 V	导孔钻井中提供洗井液, 排除破碎岩屑
1 [#] 、2 [#] 潜水泵	4 × 10 ³ W, 380 V	提供液压系统冷却用水
控制油泵	2 × 10 ³ W, 380 V	液压控制动力和滤油

分析表中电机参数可得出如下结论:

1) 1[#]、2[#]油泵和清水泵的功率容量较大, 若对这些电机采用直接启动, 则会在启动时产生较大的启动电流。该启动电流将造成电网压降较大, 会对电网、电动机本身及其负载机械设备正常工作带来不利影响。1[#]、2[#]油泵和清水泵要采用软启动方式启动, 以保护电机设备。启动完毕, 电机正常运行时由接触器将软启动器旁路。

2) 1[#]、2[#]潜水泵及 3[#]油泵、控制油泵的电机容量较小, 可以采取直接启动方式进行启动。

3) 由于在施工现场, 环境较恶劣, 因此, 所设计的软启动控制系统必须具备对电机有较为全面的运行保护功能。这些保护主要包括: 短路保护、过载保护、断相保护、过/欠电压保护。除此以外, 对电网相序和软启动故障也需进行相应的检测报警及进行显示。

2 多台电机软启动控制系统设计及实现

依据电机动力系统组成及配电需求, 实现电机软启动和电机运行保护两项目标, 确定了以下技术方案。

① 收稿日期: 2008-06-05

② 作者简介: 谢正(1982-), 男, 安徽安庆人, 中国矿业大学(北京)机电学院硕士研究生, 主要从事工业自动化控制方面研究。

2.1 电机软启动

动力电机中, 1#、2#油泵和清水泵共三台电机需要采取软启动。由于反井钻机钻进工艺并不要求三台电机同时启动, 所以方案中采取“一拖三”的软启动实现方案, 即三台电机分时复用同一台软启动器启动。这种启动方法的基本原理如图 2 所示。

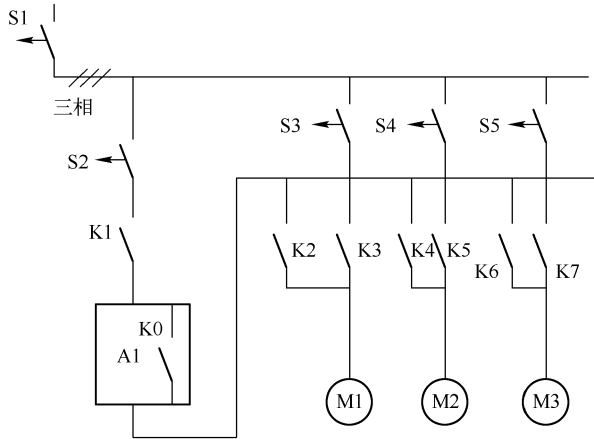


图 2 软启动器复用原理

图 2 中 $S_1 \sim S_5$ 为空气断路器, $K_1 \sim K_7$ 为接触器, A_1 为软启动器。当欲使某一电机启动时, 仅需按照一定次序开闭相应断路器和接触器即可完成该台电机的软启动和运行控制。需指出的是本系统中软启动器不能同时用于启动两台电机。具体实现时所选用器件及参数见表 2。

表 2 实现软启动所用器件

器件型号	基本参数
软启动器 (西门子 Sirius 3RW40)	启动时间 0~20 秒可调; 匹配电机额定电流 80~230A 可调; 启动电压: 40%~100% 可调; 启动电流: 130%~500% I_N 可调
接触器 (施耐德 LD1 型)	660 V 275 A(3台) 660 V 170 A(4台)
PLC (西门子 S7-200 CPU226)	24 数字量输入, 16 数字量输出

电机启动时对接触器和软启动器的逻辑控制是由 PLC 实现的。PLC 也是实现电机保护的核心器件。

2.2 电机运行保护

采用测量元件和 PLC 可对三台电机的过载、短路及断相等故障实现监视和保护。

1) 过载及短路保护

电动机正常运行时, 其负载不允许超过电机额定功率, 过载运行将使电动机的绕组温升过高

甚至会导致电动机的损坏。而电机短路是过载故障的最严重状态。可以通过电流互感器实时检测电机运行电流, 将互感器上取得的、与运行电流成正比的电压模拟信号送入 PLC 由 PLC 对其幅值进行判断比较, 依据保护动作时间与工作电流大小成反比的反时限原则对电机实施过载保护。依据电机绕组发热特性确定的反时限保护动作特性如表 3 所示。

表 3 反时限保护动作特性

故障类型	电 流	保护动作时间
过载	$I < 1.05 I_N$	长时间不动作
	$1.05 I_N < I < 1.5 I_N$	1-3分钟 (可设)
	$1.5 I_N < I < 6 I_N$	8-16秒 (可设)
短路	$I > 6 I_N$	< 200 毫秒 (可设)

本系统对电机的过载保护信号测量和处理是按如下流程工作: 由安装在电机进线端上的变比为 400 A / 0.1 A 精度 5% 的电流互感器对运行电流采样, 电流信号通过 20 欧采样电阻转换为 0~10 V 电压信号送入 PLC S7-200 的 A/D 扩展模块 EM231, 并将模拟量转化为数字量。经 S7-200 用户程序判断, 若发生过载故障, 则 PLC 启动相应的反时限保护运算程序, 按表 3 要求断开电机的接触器, 对电机实现过载及短路保护。

2) 断相保护

电机运行中, 若出现供电线路断线、变压器缺相、电机定子绕组断线等情况时, 就会造成电机的单相运行, 即电机出现断相故障。此时会引起电机三相电流极度不平衡, 有可能造成电机绕组过热, 烧毁电机。所以要对电机实施断相保护。

系统采用电子电路来实现断相保护的。其方法是将三相电机每一相电流大小与测量所得工作平均电流比较。三相平均电流测量电路及断相检测电路的基本原理如图 3、图 4 所示。

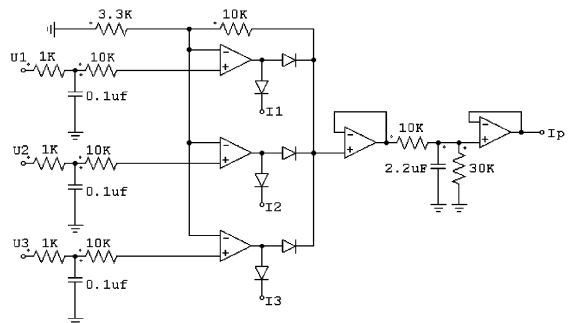


图 3 三相平均电流测量电路

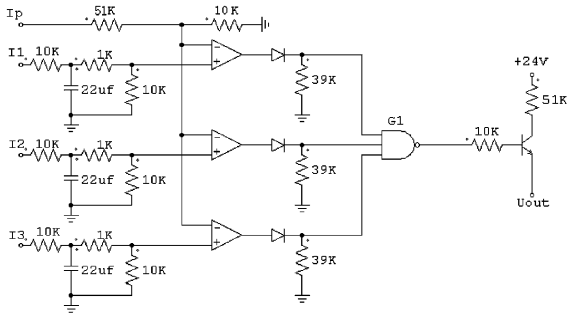


图 4 断相检测电路

图 3 中 U_1 、 U_2 、 U_3 是电流互感器输出端的 20 欧取样电阻上的电压信号，它与运行电流大小成正比。该电压信号依次经过 T 型滤波、整流、信号叠加和输出滤波，最后生成与运行交流电流成正比的直流电压信号 U_p

图 4 中，各相电流信号（与各相运行电流成正比） I_1 、 I_2 、 I_3 与平均电流信号 I_p 的 $1/3$ 比较，所得比较结果输出至与非门 G_1 。若有一相断相，则与非门 G_1 输出为 1，驱动执行电路，断开电机运行接触器。

3) 其他保护

相序错误会造成电机反转，本系统在电机启动前，用相序继电器对电网相序进行判断，若相序错误，则闭锁电机启动。

电机软启动时，可能会出现因泵、阀工作不正常等原因造成电机重载无法正常启动的现象。此时需及时停止软启动进程，保护软启动器。这种故障状态通过 PLC 对软启动过程计时来判断。若软启动时间超出规定时间，则判断为启动失败，PLC 发出指令，停止软启动进程。

本系统通过对电压的监视，保证当电压一旦超出允许波动范围，PLC 就发出停止工作指令。

以上所述保护均由 PLC 内相应的程序来完成。所有故障状态由 PLC 程序进行记忆。故障停

机后，PLC 将故障类别通过安装在柜门上的显示灯进行显示，以此告知操作人员有关故障的类型。

3 PLC 逻辑控制软件设计

低压柜 PLC(#1 从站): 完成 #1、#2 油泵和清水泵电机的软启动; 控制所有电机的起、停及运行监视和保护



控制柜 PLC(主站): 控制钻机; 控制、调节闭锁和钻进时的推进力, 测量并校正钻进时的钻孔推进力, 钻进工况控制



控制台 PLC(#2 从站): 采集控制面板上的主令控制信号输出至触摸屏, 对主要钻机参数显示、历史记录和故障报警

4 结语

本文所设计的 BMC400 型反井钻机多台电机软启动控制系统采用一台电子软启动器, 实现钻机主要动力井、抽油泵和清水泵等的多台驱动电机的软启动, 具有性能优异、工作可靠和体积小等优点; 采用工业用计算机—可编程序控制器 (PLC), 实现对上述三台电机及软启动器运行的控制、监视和保护, 使系统工作可靠、操作方便和易于维护、检修。目前, 该装置已在多个施工现场使用, 运行稳定, 保护装置工作可靠, 检修方便, 满足了钻机工作要求, 获得用户的好评。

参考文献:

- [1] 黎敬柏. 电液比例控制与数字控制系统 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1997
- [2] 立井井筒施工技术—中国凿井技术 50 年论文集 [M]. 北京: 北京煤炭工业出版社, 1999
- [3] 廖常初. PLC 编程及应用 (第二版) [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007

Design and Implementation of multi motor soft start control system of BMC-400 raise boring machine

XIE Zheng, LI Bairu, LIN Haitao

- (1. China University of Mining & Technology (Beijing), Beijing 100083
- 2. North China Institute of Science and Technology Yanjiao Beijing East 101601)

Abstract: The power system of BMC-400 raise boring machine is composed of seven three-phase induction motors. This article analyses the specific needs of the power control system in detail and describes the design and implementation of the multi motor soft start control system which is composed of Siemens S7-200 and Sirius 3RW40 according to the result.

Key words: raise boring machine; power systems; soft start; motor protection