

文章编号:1004-1478(2011)02-0071-04

# 基于 PLC 的大功率水泵 均衡运行与软启动技术

卢万银, 陈小林

(安徽国防科技职业学院 机电工程系, 安徽 六安 237011)

**摘要:**针对某排涝泵站多台大功率水泵采用自耦降压启动方式对电网冲击较大的问题,采用 S7—200 PLC 作为控制器,结合软启动器 ATS48C41Q,通过对设备运行时间的比较,确定了运行方案,从而实现了 1 台软启动器拖动 4 台水泵的均衡运行和软启动。该技术降低了成本,提高了效率,具有推广价值。

**关键词:**水泵;电气控制;均衡运行;软启动技术

**中图分类号:** TB663

**文献标志码:** A

## Equilibrium operation and soft start-up technology of high-power pump based on PLC

LU Wan-yin, CHEN Xiao-lin

(Dept. of Mech. and Electr., Anhui National Defence Vocational College, Luan 237011, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of drainage pump station for more than high-power pumps impacting largely the power, the operation program was determined using S7—200 PLC as a controller, combining the soft starter ATS48C41Q and comparing the running time of equipment, thus a soft start dragging 4 blanced operation and soft-start pump was achieved. This technology reduces the cost and improves efficiency, having value for promotion.

**Key words:** drainage pump; electrical control; balanced running; soft-start technology

## 0 引言

某排涝泵站有 7 台水泵,原有 3 台机组的轴功率为 50 kW,随着周边环境的改变和水利建设资金的大量投入,泵站不断扩建,先后安装了 4 台轴功率为 229 kW 的排水泵,型号为 WQ2650—24—250。功率为 50 kW 的水泵采用自耦降压启动,对电网波动造成的影响不是很大,但自从使用了同样采用自耦

降压启动的 229 kW 排水泵以后,对电网的冲击就非常大,经常造成电压过低致使其他设备不能正常工作的现象。软启动器技术与变频器技术均能实现电机的软启动,前者的成本远低于后者<sup>[1-2]</sup>,施耐德软启动器 ATS48C41Q 的采购成本约为 3.5 万元,而变频器 ATV38HC28N4X 的采购成本为 14 万元。经论证,笔者确定 1 台软启动器拖动 4 台 229 kW 排水泵的方案,以解决多台大功率水泵同时启动对电网

收稿日期:2011-01-13

作者简介:卢万银(1969—),男,安徽省金寨县人,安徽国防科技职业学院副教授,硕士,主要研究方向为计算机控制技术、控制理论与控制工程。

冲击较大的问题.使用软启动器启动电动机时,晶闸管的输出电压逐渐增加,电动机逐渐加速,直到晶闸管全导通,电动机工作在额定电压的机械特性上,实现平滑启动,降低启动电流,避免启动过流跳闸.待水泵达到额定转速时,启动过程结束.PLC具有多个计时器,很容易记录各台设备的运行时间<sup>[3-6]</sup>,通过对各台设备运行时间的比较,确定了运行方案,可以实现设备的均衡运行,从而延长了设备的使用寿命.为了实现一拖四的控制技术,本文拟选用小型PLC作为控制器,结合软启动器ATS48C41Q,以相对简单的方式和较低的成本,实现大功率水泵的均衡运行和软启动.

## 1 电气设计

### 1.1 主回路设计

主回路设计如图1所示.

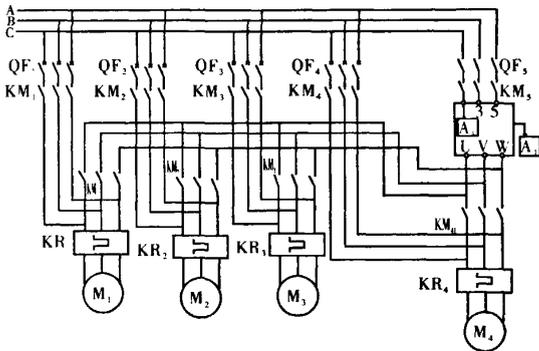


图1 一拖四软启动主回路

图1中 $QF_x(x=1,2,\dots,5)$ 为断路器,起过流保护和断开主回路作用; $KM_1, KM_2, KM_3, KM_4$ 分别为4台水泵旁路启动控制接触器,同时具有欠压保护作用,当电网电压过低时,接触器能够自动由闭合状态断开; $KR_1, KR_2, KR_3, KR_4$ 为热保护继电器,分别于4台水泵过载时对其进行保护.当水泵过载时,热保护继电器内双金属片动作,推动推杆使热保护继电器常闭触点断开,致使相应接触器线圈断电,水泵停止运行; $A_1$ 为软启动器, $KM_5$ 为控制软启动器运行的接触器; $KM_{11}, KM_{21}, KM_{31}, KM_{41}$ 为4台水泵软启动控制接触器,同时具有欠压保护作用.

水泵启动过程:以水泵 $M_1$ 为例, $QF_1, QF_5$ 断路器闭合,总运行时间最少的水泵 $KM_{11}$ 接触器闭合,软启动器接触器 $KM_5$ 闭合,水泵 $M_1$ 经 $A_1$ 软启动器启动,当达到额定转速后, $KM_{11}$ 接触器和 $KM_5$ 接触

器均断开,对应的直接启动接触器 $KM_1$ 闭合,水泵 $M_1$ 完成由软启动到运行的过程.当排水量不足,需要启动其他水泵时,判别3台未启动水泵总运行时间最少的水泵(以 $M_2$ 为例), $KM_{21}$ 接触器闭合, $KM_5$ 闭合,水泵 $M_2$ 经 $A_1$ 软启动器启动……如此顺序执行.

水泵停止过程:判别运行时间最长的水泵(以 $M_1$ 为例),相应 $KM_1$ 接触器线圈断电,水泵 $M_1$ 停止运行;当还需要停泵时,再次判别运行时间最长的水泵(以 $M_2$ 为例),相应 $KM_2$ 接触器线圈断电……如此顺序执行.

### 1.2 控制回路设计

控制回路设计如图2所示.

图2只画出 $M_1$ 水泵的控制回路原理图, $M_2, M_3, M_4$ 原理与 $M_1$ 相同,只需改变元器件标号. $SA_1$ 为软启动器手动、自动切换开关,当其处于0位置时软启动器不受控制;处于1位置时软启动器手动控制;处于2位置时软启动器自动控制. $SA_2$ 为水泵现地、远程控制切换开关,当 $SA_2$ 处于0位时可进行远地PLC控制,处于1位时可现地开启 $M_1$ 水泵,处于2位时可现地开启 $M_2$ 水泵,处于3位时可现地开启 $M_3$ 水泵,处于4位时可现地开启 $M_4$ 水泵. $KA_1, KA_2, KA_3, KA_4$ 为相应现地、远程控制中间继电器,远程启动对应PLC的输出点为 $Q_{0.0}, Q_{0.1}, Q_{0.2}, Q_{0.3}$ . $SB_x(x=1,2,3,4, SB_1$ 为 $M_1$ 水泵软启动的启动控制按钮)为水泵软启动的启动控制按钮,对应的PLC远程启动输出点为 $Q_{0.4}, Q_{0.7}, Q_{2.0}, Q_{2.3}$ ;  $SB_{x1}(x=1,2,3,4, SB_{11}$ 为 $M_1$ 水泵直接启动控制按钮)为水泵直接启动控制按钮,对应的PLC远程控制输出点为 $Q_{0.0}, Q_{0.1}, Q_{0.2}, Q_{0.3}$ ;  $SB_{x2}(x=1,2,3,4, SB_{12}$ 为 $M_2$ 水泵直接启动运行的停止按钮)为水泵直接启动运行的停止按钮,对应的PLC远程控制输出点为 $Q_{0.5}, Q_{1.0}, Q_{2.1}, Q_{2.4}$ .  $LD_1, LD_2, LD_3, LD_4$ 分别为4台水泵运行时间指示灯,对于处于非运行状态的水泵,当总的运行时间最小时,对应的指示灯点亮,运行时间由PLC进行统计,对应的PLC输出点为 $Q_{0.6}, Q_{1.1}, Q_{2.2}, Q_{2.5}$ .  $SB_0$ 为软启动器急停按钮, $SA_3$ 为软启动器手动启动、停止切换开关.控制回路用到软启动器内部2对触点 $R1A$ 和 $R1C, R2A$ 和 $R2C$ ,当软启动器启动时触点 $R1A$ 和 $R1C$ 导通,水泵软启动并开始计时,软启动主回路断开停止计时,此时触点 $R2A$ 和 $R2C$ 导通,三相电压通过主回路器件

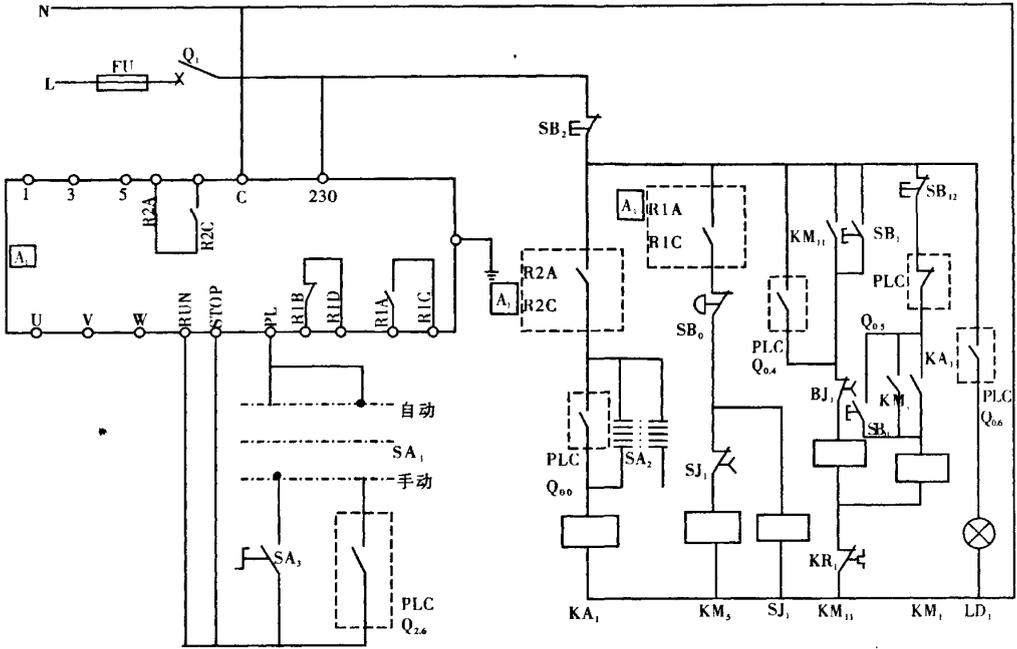


图2 一拖四控制原理图

(以  $M_1$  水泵为例)  $QF_1$  断路器、 $KM_1$  接触器、 $KR_1$  热继电器施加到水泵  $M_1$  上,水泵  $M_1$  以额定转速运行。

### 1.3 控制器设计

该系统需要 PLC 数字量输入点数为 8 点,分别为软启动器的手动、自动转换信号占用 1 点,4 台水泵的远程控制信号占用 1 点、水泵 PLC 控制启动信号占用 1 点,水泵 PLC 控制停止信号占用 1 点,水泵的热保护输入信号占用 4 点。需要 PLC 数字量输入点数为 17 点,分别为远程直接启动占用 4 点,远程直接停止信号占用 4 点,4 台水泵的软启动器启动信号占用 4 点,运行时间指示信号占用 4 点,软启动器远程启动占用 1 点。笔者选用西门子 S7-200 系列小型 PLC 作为控制器,内部定时、计数器丰富,控制功能完全满足该系统要求。CPU 选用型号为 CPU224,自带有 14 点数字量输入,10 点数字量继电器输出,扩展 1 块 8 点继电器输出模块 EM222,总输入点数为 14 点,总输出点数为 18 点。

## 2 控制流程设计

### 2.1 手动控制流程

以开启  $M_1$  水泵为例,  $Q_1$  合闸,  $QF_1$ ,  $QF_5$  合闸,  $SA_1$  切换开关置于手动位置,按下  $SB_1$  按钮,此时

$KM_{11}$  接触器线圈通电吸合,  $SA_3$  置于 1 位置,此时触点  $R1A$  和  $R1C$  导通,  $KM_5$  接触器线圈通电吸合,三相电经  $QF_5$ ,  $KM_5$ ,  $KM_{11}$  施加在  $M_1$  水泵上,水泵  $M_1$  软启动并开始计时 ( $SJ_1$  为时间继电器),计时时间到,  $SJ_1$  延时触点断开,  $KM_5$ ,  $KM_{11}$  线圈失电,主触点断开,软启动过程结束,  $SA_2$  切换开关置于 1 的位置,  $M_1$  水泵以额定频率 50 Hz 运行,完成  $M_1$  水泵的启动。在软启动过程中,如有意外情况,按下  $SB_0$ 。急停按钮,软启动过程结束,水泵运行过程中按下  $SB_{12}$  停止按钮,水泵结束运行。

### 2.2 自动控制流程

**2.2.1 PLC 地址分配** PLC 地址分配情况如表 1 所示。

**2.2.2 控制流程** 自动控制程序由主程序、自动开机子程序和自动关机子程序组成。在进行自动控制前做好如下设置:断路器  $QF_1$ ,  $QF_2$ ,  $QF_3$ ,  $QF_4$ ,  $QF_5$  闭合,单级断路器  $Q_1$  闭合;软启动器的手动、自动转换开关  $SA_1$  置于自动位置;4 台水泵的远程控制开关  $SA_2$  置于 0 位,即远程控制位;软启动器手动运行开关  $SA_3$  置于 0 位,即停止位。在自动控制过程中,急停按钮  $SB_0$ 、相应水泵停止按钮  $SB_{12}$  ( $x=1, 2, 3, 4$ , 如  $SB_{12}$  为  $M_1$  水泵停止按钮)具有最高优先级,能使自动运行的水泵停止运行;当水泵过载时启动相

应的热保护动作,水泵停止运行.

自动开机子程序(以  $M_1$  电机为例): 1) 判别 PLC 控制水泵启动按钮  $SB_6$  是否按下, 无则等待, 有则进行下一步; 2) 通过总运行时间比较, 确定未运行并总运行时间最少的水泵号  $M_1$ , 对应的 PLC 数字量输出点产生脉冲输出为  $Q_{0.4}$ ,  $M_1$  水泵对应的  $KM_{11}$  线圈通电主触点闭合; 3) 控制软启动器远程启动的 PLC 数字量输出点  $Q_{0.6}$  产生脉冲输出,  $KM_5$  线圈通电主触点闭合, 软启动器远程启动,  $M_1$  水泵执行软启动; 4) 判断软启动是否结束, 否则等待, 是则进入下一步; 5)  $KM_5$ ,  $KM_{11}$  接触器线圈断电, 水泵软启动结束; 6) 对应的 PLC 数字量输出点 ( $M_1$  水泵对应的为  $Q_{0.0}$ ) 产生脉冲输出,  $M_1$  水泵对应的  $KA_1$  线圈通电, 触点闭合导致  $M_1$  水泵对应的  $KM_1$  线圈通电, 主触点闭合,  $M_1$  水泵以额定转速运行; 7) 返回第 1) 步.

表 1 PLC 地址分配表

输入地址	元件符号	说明
$I_{0.0}$	$SA_1$	软启动器的手动、自动转换信号
$I_{0.1}$	$SA_2$	“0”位, 4 台水泵的远程控制信号
$I_{0.2}$	$SB_6$	PLC 控制水泵启动信号
$I_{0.3}$	$SB_7$	PLC 控制水泵停止信号
$I_{0.4}$	$KR_1$	$M_1$ 水泵过载热保护
$I_{0.5}$	$KR_2$	$M_2$ 水泵过载热保护
$I_{0.6}$	$KR_3$	$M_2$ 水泵过载热保护
$I_{0.7}$	$KR_4$	$M_2$ 水泵过载热保护
$I_{1.0}—I_{1.5}$		备用
输出地址	控制对象	说明
$Q_{0.0}$	$KA_1$	$M_1$ 水泵远程直接启动, 脉冲输出
$Q_{0.1}$	$KA_2$	$M_2$ 水泵远程直接启动, 脉冲输出
$Q_{0.2}$	$KA_3$	$M_3$ 水泵远程直接启动, 脉冲输出
$Q_{0.3}$	$KA_4$	$M_4$ 水泵远程直接启动, 脉冲输出
$Q_{0.4}$	$KM_{11}$	$M_1$ 水泵软启动器启动信号, 脉冲输出
$Q_{0.5}$	$KM_1$	$M_1$ 水泵远程直接停止, 脉冲输出
$Q_{0.6}$	$LD_1$	$M_1$ 水泵总运行时间最小时输出
$Q_{0.7}$	$KM_{21}$	$M_2$ 水泵软启动器启动信号, 脉冲输出
$Q_{1.0}$	$KM_2$	$M_2$ 水泵远程直接停止, 脉冲输出
$Q_{1.1}$	$LD_2$	$M_2$ 水泵总运行时间最小时输出
$Q_{2.0}$	$KM_{31}$	$M_3$ 水泵软启动器启动信号, 脉冲输出
$Q_{2.1}$	$KM_3$	$M_3$ 水泵远程直接停止, 脉冲输出
$Q_{2.2}$	$LD_3$	$M_3$ 水泵总运行时间最小时输出
$Q_{2.3}$	$KM_{41}$	$M_4$ 水泵软启动器启动信号, 脉冲输出
$Q_{2.4}$	$KM_4$	$M_4$ 水泵远程直接停止, 脉冲输出
$Q_{2.5}$	$LD_4$	$M_4$ 水泵总运行时间最小时输出
$Q_{2.6}$	$A_1$	软启动器远程启动
$Q_{2.7}$		备用

自动关机子程序(以  $M_2$  电机为例): 1) 判别 PLC 控制水泵停止按钮  $SB_7$  是否按下, 无则等待, 有则进行下一步; 2) 通过总运行时间比较, 确定运行并总运行时间最长的水泵号  $M_2$ , 对应的 PLC 数字量输出点 ( $M_2$  水泵对应的为  $Q_{1.0}$ ) 产生脉冲输出,  $M_2$  水泵对应的  $KM_2$  线圈断电主触点由闭合状态断开; 3)  $M_2$  水泵停止运行; 4) 返回第 1) 步.

### 2.3 控制程序

S7—200 PLC 中有记忆的定时器最大定时时间为 3 276.7 s, 显然无法满足电机一个检修周期的要求. 对此, 笔者采用将定时器与计数器组合的方式, 计数器最大计数值为 32 767, 定时器达到 3 000.0 s 时, 计数器加 1 计数, 同时对定时器复位, 通过该组合累计计时可达 27 300 h, 完全满足设备运行的计时要求. 针对 4 台电机的启动、停止, 可以采用比较各电机对应计数器当前值的方式, 当计数器当前值相等时, 再比较各对应定时器的当前值. 亦可通过子程序求得各电机运行的分钟数, 并送入对应的数据存储器, 然后对各存储器内容进行比较, 通过数据类型转换、算术运算等操作, 利用跳转指令确定执行某台电机开启、停止, 而跳过其他电机的开启、停止程序段.

### 3 结语

软启动技术不仅可以减小电网电压的波动, 不影响其他设备正常工作, 还可以节省设备投入的费用, 提高生产效率, 降低生产成本. 基于 PLC 的软启动技术可以广泛应用于自来水厂、泵站、污水厂以及大型企业的空压气站、冷冻站等, 具有推广价值.

### 参考文献:

- [1] 陈听杰, 俞海平, 施准备. 软启动软停机技术在大型水泵电动机组的应用[J]. 流体机械, 2007, 35(1): 46.
- [2] 罗裕强. 软启动技术在大功率水泵试泵中的应用[J]. 自控与监测, 2005(8): 89.
- [3] 吕世斌, 刘鸿利. 一种基于 PLC 的电机组软起停的程序设计[J]. 科技信息, 2009(31): 873.
- [4] 李传伟. 基于 PLC 控制的异步电动机软启动器的应用[J]. 机电电器, 2008(6): 55.
- [5] 卢万银, 吴红星. 基于 K200S 的压缩空气制备控制系统改造[J]. 压缩机技术, 2008(4): 33.
- [6] 吴秀丽. 排水泵站中的 PLC 控制系统应用[J]. 机电工程技术, 2007, 36(3): 102.