

# 一种水负载控制系统的应用设计

陈晓波 甘茂愿 陆彬

中国船舶集团公司第七〇三研究所无锡分部，江苏无锡，214151；

**摘要：**针对传统的按钮加接触器加异步电机驱动的水负载运行方式，设计了一种运用可编程控制器（PLC）通过输出脉冲信号控制伺服装置驱动水负载运行的系统，实现了水负载的自动加减载及负载功率预测等功能。同时针对水负载控制方式，设计了水负载的手动控制、半自动控制及自动控制等方式，减少人员的投入，节约了试验时间及试验成本。验证了水负载自动控制系统的实用性和可行性。

**关键词：**水负载；可编程控制器；脉冲信号；伺服系统；自动控制

DOI: 10.69979/3041-0673.26.01.029

## 引言

水负载是柴油及汽发试验重要的耗能设备。传统的水负载运行是通过点动操作按钮控制接触器合、分，实现拖动电机的正/反转，进而实现升/降三相对称电极在水池中的深度，从而改变水负载的功率。但是带动极板升降的机械传动机构减速比是固定，点动按钮时间过长，导致负载功率过大，超过需要的功率，引起负载的超调。点动时间过短，导致整个加载过程时间增加，增加了试验时间。水负载控制方式主要是手动控制，水负载加减载控制精度完全取决于加载人员操作的快慢，负载控制精度低，偶然性大。试验时，1位操作员可以同时控制2套水负载，现在柴油机电站试验至少需要4套水负载，大型电力系统试验往往需要配置6套或者更多套的水负载，因此需要投入更多的人力。传统的控制方式已不能满足大型试验的要求。

针对传统的水负载运行及控制方式，本文提出了一种水负载控制的方案，实现了水负载的功率预测及自动加减载功能；同时实现了负载的手动、半自动及自动的控制方式，解决了1人同时控制多套水电阻的运行，具有一定的实际应用价值。

## 1 系统总体构成

系统主要由上位机系统、测控系统、伺服系统及信号转换系统等组成。上位机与测控系统通过以太网连接，主要用于发送指令，显示负载参数等。测控系统主要将信号转换系统传来的数据进行分析及处理，接收上位机指令，并发送脉冲指令控制伺服系统运行等。伺服系统驱动水负载丝杠，从而带动水负载极板的上下运动。信号转换系统采集功率预测功能回路中变压器二次侧及水负载电气主回路中的电压、电流等参数，并将电气参数转换成4~20mA标准信号传递至测控系统。系统结

构框图如图1所示。

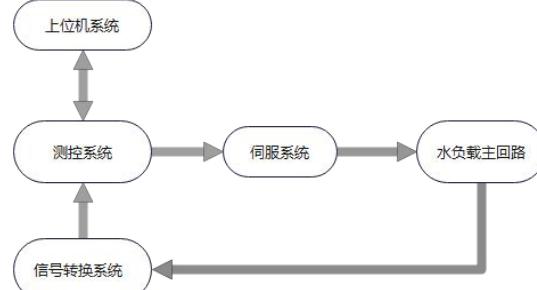


图1 系统结构框图

## 2 负载系统功能原理

上位机发送功能指令给PLC，PLC接收到指令后控制接触器、断路器的分合以及发送脉冲指令控制伺服驱动器，同时采集电量变送器传输来的电气信号，每个电量变送器传输的电气信号包括3相电压，3相电流，功率及频率共8个电气量。系统的原理图如图2所示。

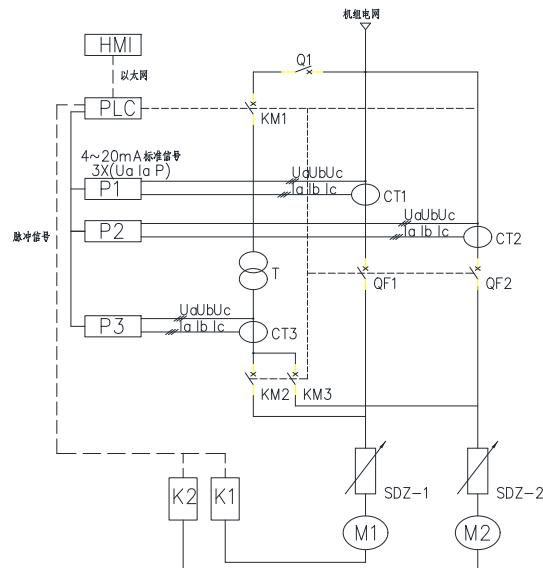


图2 系统原理图

## 2.1 功率预测功能原理

功率预测功能回路供电由试验机组电网供电，通过降压变压器将电网电压降到10V左右低电压，PLC控制交流接触的吸合，选择需要预测的水负载。同时分别通过电量变送器测量电网电压以及变压器二次侧的电压、电流，并转换成标准的电流信号传输至PLC，可以得到电网电压U实，变压器二次侧电压U预以及变压器二次侧功率P预。通过触摸屏上虚拟按钮手动控制水负载电机加减载，将水负载运行至需要的目标功率P目，实现水负载功率预测。水负载功率预测功能电气原理图如图3所示。

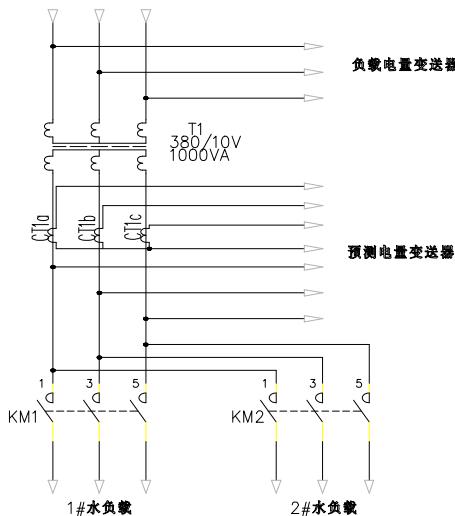


图3. 水负载功率预测功能电气原理图

$$\text{根据公式 } P = \frac{U^2}{R} \quad (1)$$

$$\text{由公式1可得 } R = \frac{U^2}{P} \quad (2)$$

由于水负载的极板在同一位置，水负载的阻值不变可得

$$\frac{U_{\text{预}}^2}{P_{\text{预}}} = \frac{U_{\text{实}}^2}{P_{\text{目}}} \quad (3)$$

$$\text{由公式3可得 } P_{\text{目}} = \frac{U_{\text{实}}^2}{U_{\text{预}}^2} \times P_{\text{预}} \quad (4)$$

## 2.2 负载自动加减载功能原理

在上位机中设置目标功率，目标功率P目与负载实际功率P实进行比较，当P目>P实时，伺服电机运行方向为正转，负载进行加载运行，当P目<P实时，伺服电机运行方向为反转，负载进行减载运行。同时根据P目与P实的差值及通过后期调试可知负载丝杠旋转1圈的功率为PN，可以计算负载丝杠预计需要旋转的圈数S，

$$S = \frac{|P_{\text{目}} - P_{\text{实}}|}{P_N} \quad (5)$$

已知负载减速机的减速比为m，负载丝杠的牙距d，设定伺服驱动器中的指令单位为ΔL（1个脉冲，丝杠移动的距离），可以得出负载丝杠旋转1圈需要的脉冲数量n

$$n = \frac{d}{\Delta L} \times m \quad (6)$$

由公式5和公式6可得，负载丝杠运行S圈需要的脉冲数量n总，

$$n_{\text{总}} = n \times S = \frac{d}{\Delta L} \times m \times \frac{|P_{\text{目}} - P_{\text{实}}|}{P_N} \quad (7)$$

PLC发送计算得到的脉冲数量至伺服驱动器，设定脉冲频率，控制伺服电机的运行速度，从而实现水负载的匀速运行至需要位置。

## 3 系统硬件设计

系统硬件部分主要包括触摸屏、PLC、电量变送器、伺服驱动器等。

触摸屏采用昆仑通泰的TCP1061Hn触摸屏，是1套以Cortex-A8 CPU为核心的高性能嵌入式一体化触摸屏，采用了10.2英寸高亮度液晶显示屏和四线电阻触摸屏。

PLC采用西门子的S7-200 SMART PLC包括1块ST40 CPU模块，3块EM AE08模拟量输入模块。ST40 CPU模块集成1个以太网接口，同时自带3路脉冲输出点（Q0.0、Q0.1、Q0.3），脉冲频率最大可支持65535Hz，脉冲数量最大可一次输出2的31次方个脉冲。

电量变送器GMC公司的CAM系列电量变送器，该款变送器可测量3路电压和4路电流，同时集成了8路模拟量输出模块，8路输出可通过专用软件自由选择需要输出的电气量，精度等级可达到0.2级。

伺服驱动器选用了杭州之山的K1系列伺服驱动器，配置了2500线增量式编码器及脉冲控制模块。选用了符号加脉冲控制方式，实现伺服电机的正反转运行。

## 4 系统程序设计

### 4.1 上位机程序设计

上位机程序实现了指令的输出、对PLC运行状态的监视、对水负载的电气参数的管理，同时对负载状态进行判断，对负载数据进行分析，对异常状态及异常数据进行了报警提示。

上位机程序设计了4个界面，分别为手动控制界面、半自动/自动控制界面、报警记录界面及电气参数界面。

手动控制界面主要用于水负载的功率预测功能和

水负载手动加减载功能的操作。手动控制界面如图 4 所示。

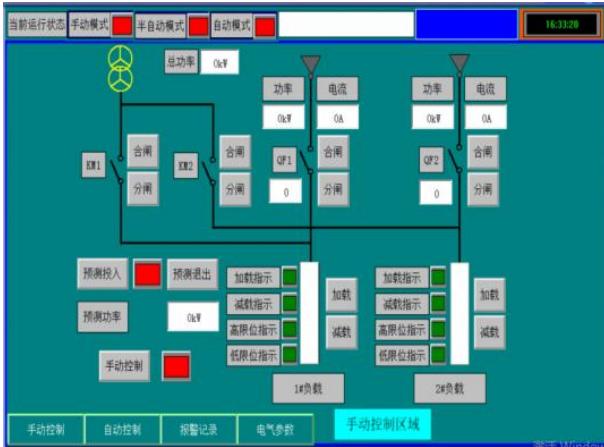


图 4. 手动控制界面

半自动/自动控制界面主要用于水负载的半自动和自动控制方式的运行。按下半自动控制按钮，系统进入半自动控制方式，2 套负载独立运行，在负载功率设定框中输入需要的负载功率，点击投入按钮，负载自动执行加减载运行控制程序。按下自动控制按钮，系统进入自动控制方式，2 套负载整体运行，在负载功率设定框中输入系统需要的负载功率和需要投入负载的数量，点击投入按钮，负载根据自动控制方式下的逻辑投入负载，并自动执行加减载运行控制程序。手半自动/自动控制界面如图 5 所示。



图 5. 半自动/自动控制界面

## 4.2 PLC 程序设计

### 4.2.1 主程序设计

PLC 主程序主要是进行负载运行方式的选择，主要分为手动控制、半自动控制及自动控制方式，plc 接受到上位机控制方式信号后，调用相应控制方式的子程序。主程序流程图如图 6 所示。

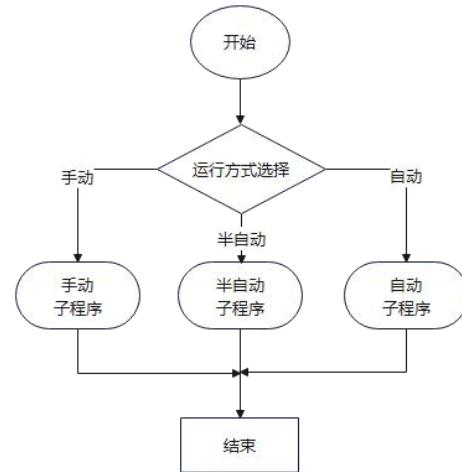


图 6. 主程序流程图

### 4.2.2 半自动子程序设计

在半自动模式下，2 套负载独立控制运行，在上位机上输入所需要负载的目标功率值，按下投入按钮，程序根据负载状态情况，进行半自动模式下运行。半自动控制流程图如图 7 所示。

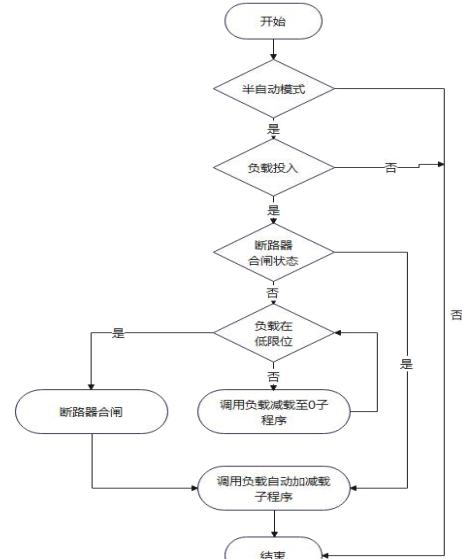


图 7. 半自动控制流程图

### 4.2.3 自动子程序设计

自动控制模式下，2 套负载根据投入负载的数量和选择负载的优先级，可以控制 1 套或者 2 套负载同时运行。

在自动模式下，输入需要投入负载的功率及投入负载的数量，程序自动平均分配功率。

当 2 台负载的断路器均不在合闸状态，投入负载数量为 1 台时，程序根据负载的优先级自动投入优先级高的负载，输入的目标功率自动分配到投入运行的负载上，后序程序按照半自动流程进行。

当有 1 台负载的断路器在合闸状态，投入负载数量也为 1 台时，程序不对优先级进行判断，将在网的负载

默认为优先负载，输入的目标功率自动分配到运行的负载上，后序程序按照半自动流程进行。

当2台负载的断路器均在合闸状态，投入负载数量为1台时，程序根据负载的优先级自动将输入的目标功率分配到优先级高的负载，后序程序按照半自动流程进行。优先级低的负载，自动执行负载减载至低限位程序，负载到低限位后，负载断路器分闸。

当投入的负载数量为2台时，程序不对优先级进行判断，同时将目标功率平均分配至2台负载，后序程序按照半自动流程进行。自动控制流程图如图8所示。

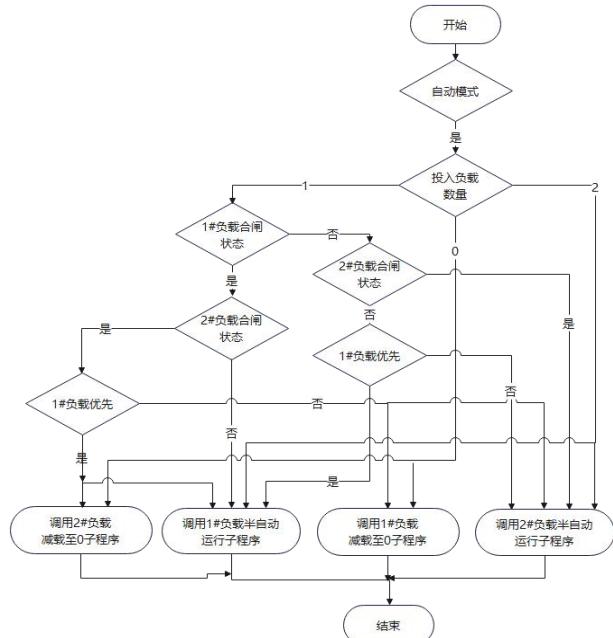


图8 半自动控制流程图

#### 4.2.4 负载自动加减载子程序设计

由于水负载受水温等外部影响，导致在同一位置，负载的功率不一致，因此在实际运行过程中，将负载分三个阶段进行功率调节，第一阶段采用伺服系统位置控制模式，将计算出的脉冲串数量发送至伺服驱动器，使负载功率调节到目标功率与实际功率相差50kW的位置。第二阶段为粗调阶段，采用固定脉冲频率，使负载丝杠1秒旋转1圈停1秒的方式运行，将负载目标功率与实际功率差调节至<10kW，第三阶段为精调阶段，采用负载丝杠1秒旋转1/5圈停1秒的方式运行，将负载目标功率与实际功率差调节至<3kW，负载自动加减载程序结束。

## 5 参数设定及系统调试结果

为了验证该系统的可行性，系统搭建完成后，首先进行了静态调试，手动测试了断路器、接触器的分合以及手动加减载运行，接触器分合功能正常，伺服电机运行稳定。

查看水负载说明书可知，负载减速机的变比为3:1，

负载丝杠的牙距为6mm，设定伺服驱动器中的指令单位为0.001mm，可得负载丝杠旋转1圈，伺服电机需旋转3圈，需要18000个脉冲。

静态调试完成后，使用了1台750kW柴油发电机组对该系统进行了验证，通过调试可得，负载丝杠旋转1圈，负载功率变化约15kW，在负载第一段位置控制阶段设定了脉冲频率为36000Hz（伺服电机6r/s）；在负载第二段粗调控制阶段设定了脉冲频率为18000Hz（伺服电机3r/s），脉冲数量设定了18000个；在负载第三段粗调控制阶段设定了脉冲频率为18000Hz（伺服电机3r/s），脉冲数量设定了3600个。PLC程序设定完成后，对负载自动加减载子程序进行了调试，将目标功率设定为500kW，约23秒后，负载功率保持在499kW，加载过程运行稳定，满足设计要求，负载加载过程趋势图如9所示。

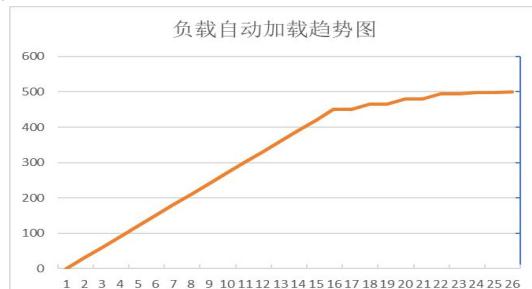


图9 负载加载过程趋势图

同时还对负载预测功能及半自动、自动控制方式进行了测试，测试结果满足均满足设计要求。

## 6 结论

本系统投入使用后，可以替换原来的水负载控制及运行方式，减少了人员的投入，节省了试验时间，降低了项目成本。同时，提高了负载控制的自动化水平。

## 参考文献

- [1]陈佳新、陈炳煌 电路集成机械工业出版社 2015-01-01
- [2]西门子（中国）有限公司 深入浅出西门子S7-200 SMART PLC 北京航空航天大学出版社
- [3]西门子（中国）有限公司 游辉胜 运动控制系统应用指南机械工业出版社
- [4]李红萍 MCGS 工业组态技术应用 北京邮电大学出版社
- [5]K1系列 交流伺服驱动器 用户使用手册

作者简介：陈晓波（1985-），男，江苏南通人，本科，高级工程师，主要研究方向为电气工程及其自动化设计、船舶电站试验。