

# 基于 PLC 的三维调整机同步控制系统设计与实现

刘庆贵<sup>1</sup>, 马魁<sup>2</sup>

(1. 武汉地铁集团有限公司, 武汉 430017; 2. 武昌工学院 土木工程学院, 武汉 430065)

**摘要:** 为了解决目前分段造船模式采用人工肉眼合拢准确率低的现状, 提出了三维调整机多机同步控制的思路, 设计了基于西门子 S7-200 PLC 和工业无线以太网的同步控制方案; 在同步控制系统方案中, 利用 PLC 对工况数据进行读取和计算, 并将计算结果转化为各维度油缸的位移值, 同时各油缸内置位移传感器将动作结果反馈给 PLC 形成闭环控制, 从而保证同步控制的精确性; 利用工业无线以太网作为数据的传输媒介, 在保证数据传输稳定的前提下, 操作者可以灵活变化位置; 实验中将 4 台机器组成一个系统, 分别对 X、Y、Z 三个方向的油缸进行同步位移测试, 结果显示系统能够准确地进行平移、顶升动作, 动作过程中每台三维调整机同方向油缸同步误差满足设计要求, 实现了同步控制的效果。

**关键词:** 三维调整机; PLC; 同步控制; 工业无线以太网

## Design and Implementation of Three Dimensional Adjusting Machine Synchronous Control System Based on PLC

Liu Qinggui<sup>1</sup>, Ma Kui<sup>2</sup>

(1. Wuhan Metro Group Co., Ltd., Wuhan 430017, China; 2. Wuchang Institute of Technology, Wuhan 430065, China)

**Abstract:** In order to solve the present situation of low accuracy of artificial joint closure in segmented shipbuilding mode, put forward a multi machine synchronous control method of three-dimensional adjustment machine, design the synchronization control scheme based on Siemens S7-200 PLC and industrial wireless Ethernet. In the scheme of synchronization control system, read and calculation condition data by using PLC, and the calculation results were transferred into the dimensions of the cylinder displacement value, while the cylinder built-in displacement sensor will be the result of the action of feedback to the PLC closed-loop control, so as to ensure the accuracy of synchronous control. Using industrial wireless Ethernet as the transmission medium of data, the operator can change the position flexibly, which is convenient and practical. In the experiment, a system composed of 4 machines, respectively X, Y, Z of cylinder three directions were tested, the results show that the system can be stably moving, lifting action, the same direction of the cylinder synchronization error of each machine meets design requirements in the action process, achieved synchronous control effect.

**Keywords:** three dimensional adjusting machine; PLC; synchronous control; industrial wireless ethernet

## 0 引言

随着中国船舶工业的迅速发展, 造船技术和质量不断提高, 目前造船采用的都是现代造船总装模式, 这种模式在前期船体设计时就采用了模块化设计, 将船体分解成一段一段的模块, 建造时用大型吊车将各个分段移到船台合拢位置, 利用吊车对分段进行空间姿态调整, 最后在船台合拢成型<sup>[1]</sup>。因此, 对于对接合拢的精度要求很高, 虽然目前在造船过程中采用工程机械对接合拢替代了传统了人工肉眼对接合拢操作, 但是准确度和效率确十分低下, 自动化程度低。

数控三维调整机就是专为“分段总装造船法”船体分段合拢工艺而设计, 可以实现分段船体的横向、纵向、上下 3 个维度, 六个方向的多自由度移动, 可以自由地调整分段船体的姿态。大型吊车只需将船体分段初步吊装到位, 然后通过船体分段三维调整机进行精确定位, 因此可大大减少大型吊车的占用时间。

本文设计的基于 PLC 的三维调整机同步控制系统以西门子 S7-200 PLC 为核心, 配制无线工业以太网模块进行数据

传输, 控制三维调整机 XYZ 三个方向的油缸, 对船体分段进行同步顶升、平移工作。利用三维调整机可以大大提高船体分段对接的高效性, 实现高精度、高质量地对接、合拢操作<sup>[2]</sup>。同时三维调整机自带行走轮和吊装孔, 在平整的场地上, 只需通过手柄上的走轮控制按钮即可控制三维调整机的前进、后退, 转向通过转动手柄来控制, 搬运、移动都十分方便, 不受场地限制<sup>[3]</sup>。

## 1 三维调整机系统介绍

三维调整机主要由行走、油缸和控制系统三部分构成。如图 1 所示。三维调整机为相对独立单元, 可联动也可单独手动操作。顶举和平移为液压驱动, 联机时油缸位置为闭环控制, 手动时为开环控制。行走由液压阀控制液压马达驱动, 能够实现前进、后退、紧急停止及加减速起停等功能, 行走速度手动给定。为了保证整个系统的安全性, 行走与顶举采用了分时操作。

控制系统输入部分采集操作信息, 通过遥控按钮盒或多机同步控制箱控制 X 向、Y 向、Z 向的油缸伸缩, 以此来调整船体位置。

单台三维调整机安装有 3 个油缸, 分别为主油缸 (船体高度 Z 方向), 两个副油缸 (船体宽度 Y 方向和船体长度 X 方向), 每个方向的油缸内安装有直线位移传感器, 用来检测油

收稿日期: 2017-03-27; 修回日期: 2017-04-21。

作者简介: 刘庆贵(1984-), 男, 湖北武汉人, 硕士, 工程师, 主要从事自动控制系统的研究开发和项目管理工作方向的研究。

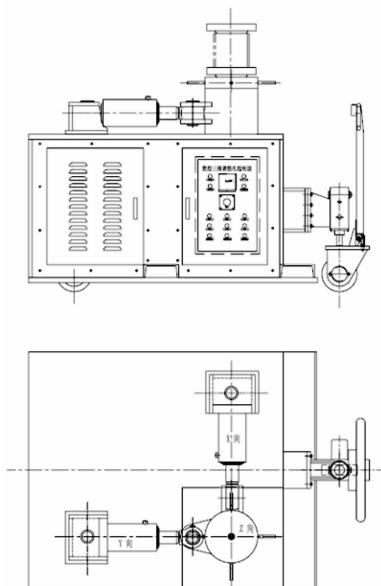


图 1 数控三维调整机机身结构图

缸的位移值, 主油缸安装有压力传感器, 用来检测主油缸内压力。在调整过程中, 各个油缸直线位移传感器信号用来确定当前油缸的具体位置, 内置式直线位移传感器选用耐高压型 (耐压值为 700 bar), 并在油缸极限位置安装耐高压型限位开关 (耐压值为 700 bar), 当油缸伸缩到极限位置时限位开关动作, 控制系统得到信号后停止运行以保护设备安全。每台三维调整机都有独立的控制的控制系统<sup>[4]</sup>, 控制系统由 S7-200PLC 作为控制器, 每台控制器配置一个以太网模块和无线工业以太网客户端<sup>[5]</sup>, 控制系统安装于机身结构内, 控制面板留有按钮和指示灯, 可以进行本地控制, 机身设置有触摸屏, 在整个操作过程中, 可以通过安装在机身面板的触摸屏实时查看当前油温、油压、XYZ 向油缸等设备实时参数, 触摸屏界面如图 2 所示。

设备编号	三维调整机控制系统				当前用户
0					work
油箱温度	0.0	℃	X轴实际值	0.0	mm
系统压力	0.0	MPa	Y轴实际值	0.0	mm
顶升压力	0.0	MPa	Z轴实际值	0.0	mm
X轴速度设定	0.0	mm/s	X轴速度	0.0	mm/s
Y轴速度设定	0.0	mm/s	Y轴速度	0.0	mm/s
Z轴速度设定	0.0	mm/s	Z轴速度	0.0	mm/s
系统总览	单机参数	报警信息	用户登录	退出登录	

图 2 机身触摸屏界面

三维调整机在工作时每四台为一组, 可以多组同时工作, 系统预留了 48 台接口, 可以方便后续进行扩展。所有的三维调整机全部由一个同步控制箱控制。

## 2 三维调整机控制系统设计

控制系统主要由西门子 PLC 控制器、传感器及触摸屏等构成硬件平台, 通过 PLC 程序控制各个电磁换向阀来实现 X 向、Y 向、Z 向的油缸伸缩, 以此来调整船体分段位姿。

油缸的顶举和平移为液压驱动, 顶举和平移油缸内设置

有位移传感器, 主顶升回路中设置有压力传感器和压力表, 机身上设置有显示屏。联机时油缸为位置闭环控制, 手动时为开环控制。在调整过程中, 各位移传感器信号用来确定当前油缸的具体位置, 压力传感器用来计算主油缸的承载压力。

单台 PLC 控制系统数字量输入主要采集 3 个走轮收放限位开关信号, 滤堵信号, 热继保护信号及各个操作按钮信号。数字量输出主要控制行走轮的马达、行走轮的收放、油泵启停及相关指示灯等, 如图 3 所示。

行走保护: 行走轮收放控制充分考虑了安全保护措施, 3 个走轮上每个走轮分别设置了两个光电限位开关, 检测行走轮的位置。三维调整机行走之前, 走轮全部要放到位, 3 个走轮放下限位开关全部检测到走轮信号后才可以进行行走操作, 避免由于某个走轮未到位行走操作, 存在安全隐患。同理, 走轮收起限位开关全部检测到信号后, 整个三维调整机机身平稳扎实着地后才可以进行船体分段顶升平移等操作, 防止出现走轮支起的情况进行船体分段平移和顶升操作损坏走轮甚至出现安全事故。

单台三维调整机 PLC 控制系统模拟量输入主要采集油温、油压、油缸压力及位移信号。模拟量输出控制给定 XYZ 三个方向油缸的比例阀放大器的信号, 如图 4 所示。单台三维调整机 PLC 控制系统设计有良好的报警机制, 当油缸压力、油箱温度等超出预设安全值时, 系统会自动保护并进行声光报警, 直到故障排除后方可进行。

负载保护: 在单台三维调整机控制系统 PLC 内设定船体分段三维调整机的 Z 向油缸的最大压力值, 当压力传感器检测到的 Z 向油缸压力值大于设定的最大压力值时, PLC 的数字 I/O 接口的对应输出点断开、Z 向油缸顶升液压阀断电, Z 向油缸下降液压阀通电, 船体分段三维调整机的 Z 向油缸下降以保护油缸, 同时配合直线位移传感器信号实时判断油缸位置, 将油缸回落到零点位置进行保护。

闭环控制原理: 系统将用户设定的位移值转换成数值, 经过计算得到模拟量信号电压号, 下载到比例阀放大器驱动板驱动比例液压阀<sup>[6]</sup>动作, 油缸内置直线位移传感器实时检测位移值作为反馈值与设定值进行比对, 最终达到用户设定值完成调整工作。

三维调整机共有 3 种控制方式, 分别为: 本机按钮控制、单机遥控手柄控制及多机控制箱控制。

1) 本机按钮操作: 设备在场内地内短距离移动时, 可操作行走轮控制手柄上的油泵启停、行走轮升降和进退按钮控制设备在场内地内就位。油泵启动后, 可以通过进退按钮控制三维调整机在场内地内行走, 行走速度手动给定。到达指定位置后, 通过机身控制面板按钮控制油缸的平移、顶举动作。

2) 单机遥控手柄控制: 每台三维调整机配备有遥控操作手柄, 当三维调整机单独控制用于分段调整时, 可通过单机遥控手柄上的按钮控制平移及顶升油缸的运动。单机遥控手柄设有总急停、油泵启动、油泵停止、X 向伸出、X 向回缩、Y 向伸出、Y 向回缩、Z 向顶升、Z 向下降共 9 个按钮, 通过单机遥控手柄可以控制每台三维调整机在 XYZ 方向的调整, 也能够控制每台三维调整机油泵的开启、关闭和电源的紧急切断。

3) 多机控制箱控制: 多台三维调整机同步控制采用工业无线以太网通信的多机控制箱, 将多台三维调整机 PLC 通过工业无线以太网相连, 多机控制箱操作按钮通过数量字输入

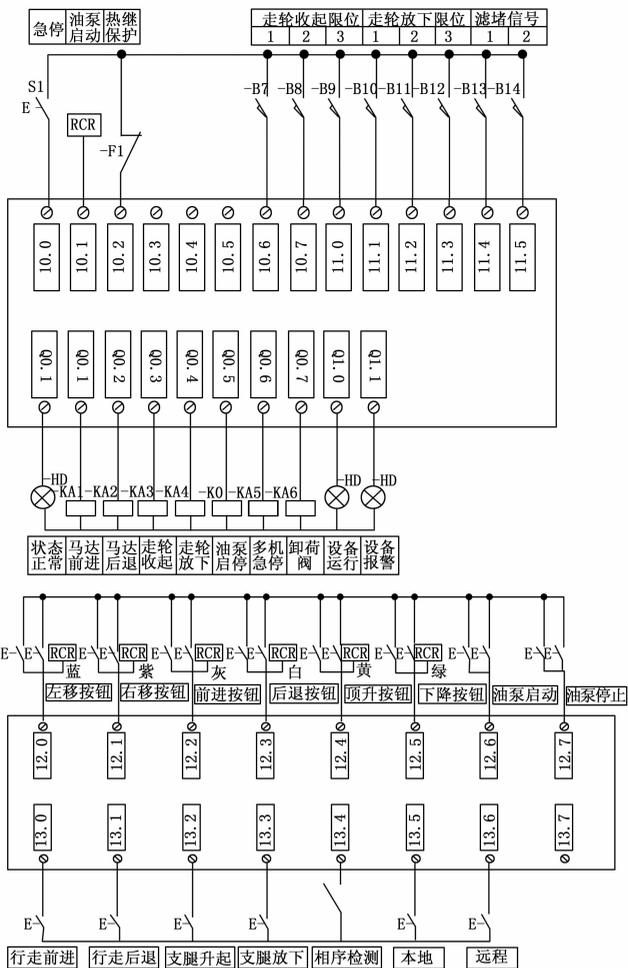


图 3 数字量接线原理图

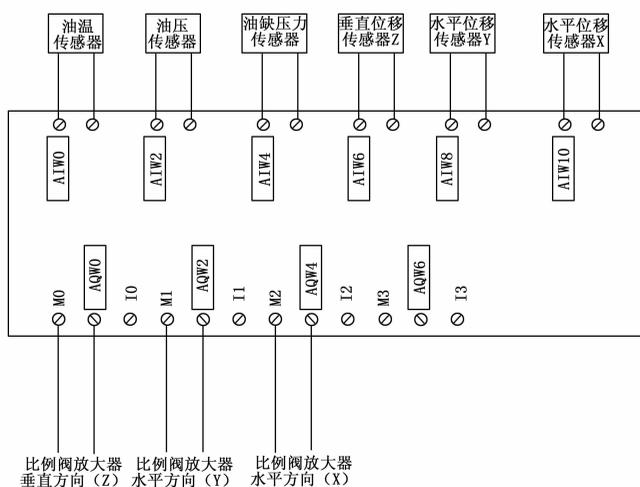


图 4 模拟量信号原理图

模块转换成工业以太网信号，达到通过一个多机控制箱能够同时控制多台或者分别控制一台三维调整机的目的。

### 3 无线同步控制系统实施

无线同步控制系统分为主端和客户端，主端为多机控制箱，多机控制箱原理图如图 6 所示，主要配置有 S7 一

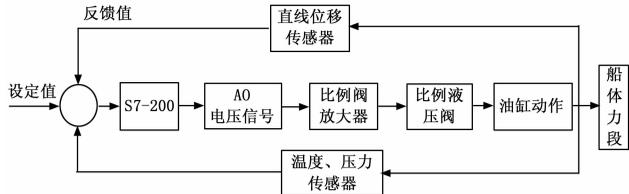


图 5 闭环控制原理图

200PLC、西门子人机交互界面 6AV6 643-0CD01-1AX1、DP 模块、以太网模块、菲尼克斯遥控主端 FL WLAN 24 AP 802-11，客户端即为单台三维调整机控制系统。

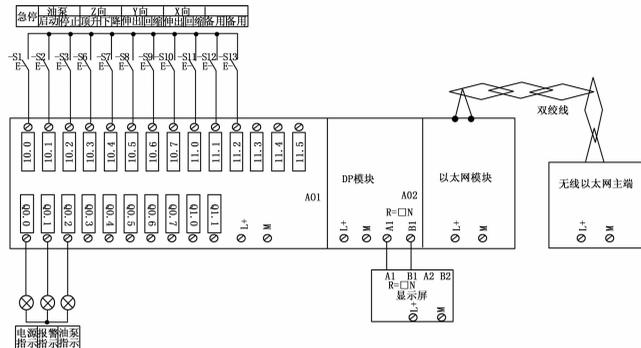


图 6 多机控制箱原理图

采用多机无线同步控制时，所有客户端将选择按钮打到远程模式，即可通过多机控制箱进行控制。操作时，首先进行油缸回原点操作，然后将船体分段通过大型吊车放在多台三维调整机上，之后进行预顶升操作，预顶升操作完成后，在多机控制箱触摸屏界面设置好各轴油缸位移值和各轴油缸速度，设置好同步位移差即可开始操作，多机控制箱操作界面如图 7 所示。

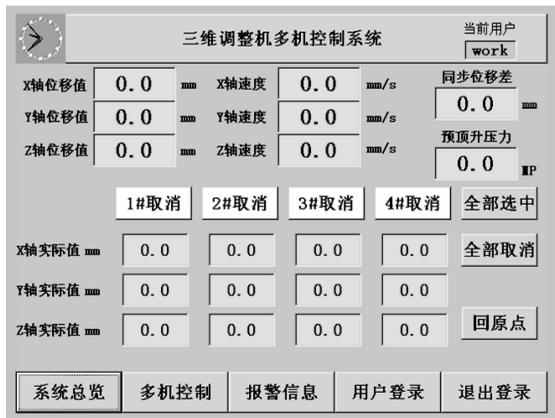


图 7 多机控制箱触摸屏主界面

回原点工作原理：当把机器布置到现场的时候，根据实际需要来选择是否进行回原点功能，回原点即 X、Y 油缸所在位置正好在油缸行程的中心位置，可伸可缩，操作时按住回原点按钮，等设备开始进行回原点动作时即可松开，机器自行完成回原点动作。

预顶升工作原理：设置预顶升压力值，顶升油缸内的压力传感器检测油缸的负载压力，当某台机器负载压力达到设

定值后, 停止顶升, 直到所有的机器都达到设定值后, 完成预顶升功能, 防止因为 Z 向油缸未接触分段船体就进行同步作业导致误差。

同步位移差工作原理: 例如四台机器同时进行 Z 轴顶升操作, 设定同步位移差为 10 mm, 当速度最快的超出最小的 10 mm 时, 速度最快的机器停止动作, 等位移差减小到 10 mm 内继续动作, 直到完成设定的位移值, 防止因为各台三维调整机油缸速度不一致引起船体分段倾斜。

本设计 1 台多机控制箱可以控制 4 台三维调整机, 这 4 台三维调整机可以同时控制, 也可以根据现场情况任意组合控制。

同步多机控制箱通过工业以太网信号采集到单台三维调整机传感器信号, 油温、油压、各个油缸所在位置等, 设置 3 个油缸的目标值, 下达命令后, 单台三维调整机根据收到的命令开始进行运动, 直到达到目标值后停止。在执行命令过程中, 如果某项数值达到报警值, 则机器会发出声光报警, 同时停止运行。

### 4 实验

将 4 台三维调整机全部选中, 首先执行回原点操作, 即各个油缸全部缩回至原点位置, 然后进行预顶升操作, 为了记录实验数据方便, 将此时各个油缸的位移值定为 0, 然后按如下参数进行设置:

- Z 轴位移值: 20 mm, Z 轴速度: 2 mm/s;
  - X 轴位移值: 10 mm, X 轴速度: 1 mm/s;
  - Y 轴位移值: 10 mm, Y 轴速度: 1 mm/s。
- 设置完后开始执行同步操作。

同步操作执行完后各个油缸的位移值如表 1 所示, 系统运行过程中无报警。

表 1 同步位移结束后各油缸的位移值 mm

车号	X 轴位移	Y 轴位移	Z 轴位移	报警
1	10.034	9.983	20.013	否
2	9.987	9.976	20.046	否
3	9.980	10.130	19.980	否
4	10.025	9.965	19.975	否

在控制系统同步运行过程中, 各个油缸的实际位移值接近理论值, 同步运行过程平稳, 位移过程曲线如图 8~10 所示。

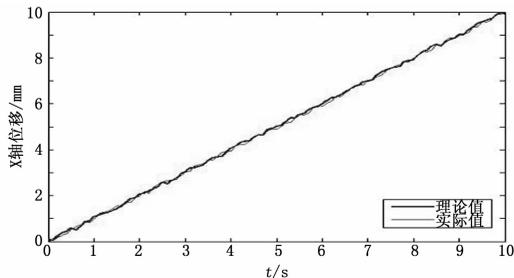


图 8 X 轴位移过程曲线

实验结果与分析: 从表 1 可以看出, 同步位移结束后, 4 台三维调整机 X 向油缸的位移值与设定值的差分别为 0.034 mm, -0.013 mm, -0.02 mm, 0.025 mm, Y 向油缸的位移

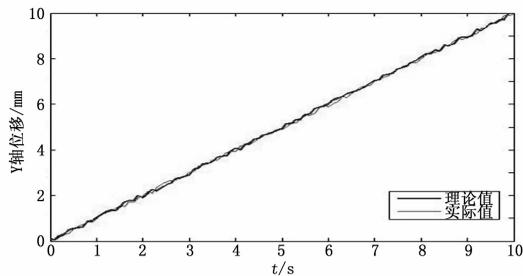


图 9 Y 轴位移过程曲线

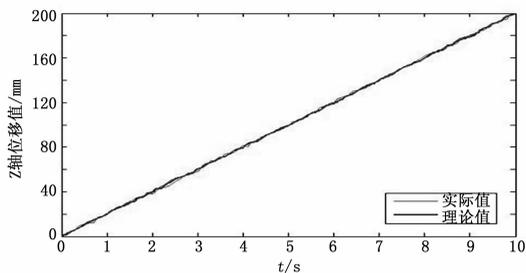


图 10 Z 轴位移过程曲线

值与设定值的差分别为 -0.017 mm, -0.024 mm, 0.13 mm, 0.035 mm, Z 向油缸的位移值与设定值的差分别为 0.013 mm, 0.046 mm, -0.02 mm, -0.025 mm。将各个油缸的位移差值取绝对值计算平均值, 可以得出 X 轴油缸平均误差为 0.023 mm, Y 轴油缸平均误差为 0.052 mm, Z 轴油缸平均误差为 0.026 mm, 虽然实际位移与设定值差值最大的为 3 号三维调整机的 Y 轴油缸, 误差达到 0.13 mm, 但是所有油缸平均误差均小于设计误差 0.1 mm, 因此各个油缸满足设计要求。通过对整个系统进行分析不难得出, 误差产生的原因来自比例阀动作的反应时间, 这是不可避免的, 在后续的研究中可以考虑改进算法, 对比例阀动作的反应时间进行补偿, 进一步减小误差。

### 5 结论

实验结果表明, 三维调整机同步控制系统能稳定准确地完成船体分段同步平移和顶升工作, 同步精度达到设计要求, 相比传统由人工肉眼对接合拢操作更加准确, 节省人力和大型吊机的占用时间, 提高了船体分段对接的准确性, 而且投入成本相对很低, 在生产企业具有工业应用推广价值。

#### 参考文献:

- [1] 刘文艳, 徐平. 大型舰船分段自动合拢系统 [J]. 仪器仪表用户, 2004, 5 (111): 13-15.
- [2] 郑雄胜, 芮晓松. 基于 PLC 的大型船体分段合拢对接控制系统 [J]. 船舶工程, 2011, 3 (33): 65.
- [3] 任刚. 船体分段三维测量及对位系统控制策略研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2013.
- [4] 刘俊. 基于可调谐的船体分段合拢自动对位技术研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2013.
- [5] 杜江, 吴益宇. 基于 S7-200 PLC 的工业以太网通讯应用 [J]. PLC&FA, 2008, 12: 84.
- [6] 聂兆明. 基于 PLC 的多缸同步运动控制系统 [D]. 西安: 西安工程大学, 2013.