

A Study on Computer Monitor System of Oil Combination Station Based on S7-300 Soft-Redundancy and PID Control

Jingtian XU^{1,4}, Shugang LI², Nailu ZHANG¹, Changxing JIANG³

¹School of electronic engineering, Xi'an Shiyou University, 710065, Shaanxi, China;

²Electrical Repair workshop of Dushanzi Refinery, 833600, Xinjiang, China

³Changqing oil field 3rd Gas Factory Information Center, 017300, Neimenggu, China;

⁴Energy School, Xi'an University of Science and Technology, 710054, Xi'an, Shaanxi, China;

E-mail: jtxu@xsyu.edu.cn; lisg@xust.edu.cn; mlzh@xsyu.edu.cn

Abstract: In the paper, a new design of computer monitor system is proposed, which is based on S7-300 soft-redundancy technology. It has realized whole redundancy of computer monitor system except I/O module of ET200. Combined with field process of combination station, hardware scheme of monitor system adopted the redundancy scheme of dual-monitor computer, dual-PLC and dual-industrial Ethernet. At last, working principle of this redundancy system and PID control are introduced. By practical operation, the monitor system can fit in with the bad environment in field with high reliability.

Keywords: Profibus; redundancy; monitor system; combination station

基于 S7-300 软冗余及 PID 控制的油田联合站计算机监控系统研究

徐竟天^{1,4}, 李树刚², 张乃禄¹, 蒋昌星³

¹西安石油大学电子工程学院 710065; ²西安科技大学教务处, 陕西省西安市 710054;

³长庆油田采气三厂信息中心 017300; ⁴西安科技大学能源学院, 陕西省西安市 710054;

E-mail: jtxu@xsyu.edu.cn; lisg@xust.edu.cn; nlzh@xsyu.edu.cn

摘要: 提出了一种基于西门子公司 S7-300 PLC 软冗余技术的计算机监控系统设计方案, 实现除 ET200 上 I/O 模块之外的整个监控系统的完全冗余。结合联合站的工艺流程, 监控系统硬件采用双监控计算机、双 PLC 及双工业以太网的冗余方案。最后, 介绍了整个冗余系统的工作原理, 详述了 S7-300 PLC 实现 PID 控制的原理。通过现场实际运行, 该监控系统能很好地适应了现场的恶劣环境, 具有很高的可靠性。

关键词: Profibus; 冗余; 监控系统; 联合站

1 引言

油田联合站是集原油计量、油水分离、污水处理、原油及天然气集输等多个工艺流程为一体综合性生产设施, 其工艺主要包括输油脱水、污水处理、注水以及天然气集输等工艺环节。

本项目来源于延长油田股份有限公司定边采油厂韩渠联合站计算机监控项目。由于现场条件恶劣, 风沙很大, 计算机、PLC 等硬件设备内部经常因积沙造成损坏, 本文采用基于西门子 S7-300 的软冗余系统, 提高了联合站监控系统的可靠性, 提高了生产管理水平, 消除了生产事故隐患, 确保了油田集输系统的平稳、安全、

高效运行。

2 系统简介

2.1 生产工艺简介

联合站生产工艺大概分为原油集输、污水处理两大部分。原油集输过程中, 从各个单井或是汽车输送过来的油(液)首先进入联合站的油气水三相分离器, 在这里实现气体和液体的分离。天然气从三相分离器上部逸出后进入除油器, 经冷凝后外输, 而油水混合液从三相分离器下部流出经过换热器进入沉降罐, 沉降罐上层分离出大部分的原油, 经过沉降罐的二次油水分离后, 原

油已经几乎不含水了，不含水的原油进入净化油罐，等待外输。沉降罐下层含油污水输出到污水区，进行污水处理。含油污水经物理除油、混凝除油和过滤这 3 种方法，分别除去悬浮固体、乳化油和胶体、分散油及浮油。污水处理要对水中的悬浮固体、分散油及浮油、胶体和乳化油的含量等多项指标进行严格监控，在达标后可再次将水注入地层驱油。

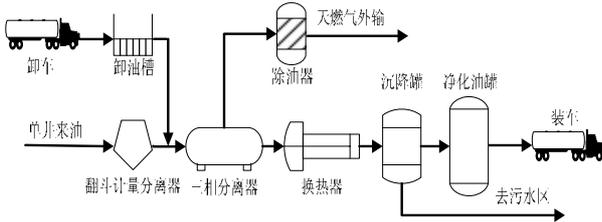


Figure 1. Schematic diagram for production process of combination station
图 1. 联合站生产工艺示意图

在三相分离器中，需要对其油室液位进行恒值控制，本文采用经典 PID 控制算法，通过使用 S7-300 中的 PID 控制器实现模拟量闭环控制。

2.2 监控系统简介

联合站监控系统包括各种罐、分离器液位检测、三相分离器气相出口压力检测、三相分离器液位控制、换热器原油管线温度检测、卸车及装车流量瞬时检测、厂区可燃气体浓度检测及污水处理部分监测等。系统监控点数见表 2。

控制系统主要实现对站内工艺生产运行参数进行集中监测、控制和管理。包括画面显示、监督和报警、记录文档、参数修改、人员管理、报表功能等。

Table 1. Point number of monitor system
表 1. 系统监控点数

监控点类别	监控物理量	监控点数	输入输出信号
AI	液位	10	4~20mA
	压力	6	4~20mA
	温度	10	4~20mA
	流量	3	脉冲信号
AO	气体浓度	8	4~20mA
DI	液位控制	3	4~20mA
	泵运转状态	6	0, 24V
DO	开关状态	4	0, 24V
	泵启停信号	6	0, 24V
	报警信号	4	0, 24V

3 监控系统硬件方案

鉴于联合站监控系统的重要性及甲方要求，该项目计算机监控系统方案采用了基于西门子公司 S7-300

PLC 的软冗余方案。在软冗余方案中处理器成双使用，当主处理器出现故障时，通过事先在 CPU 模块程序中编制监控程序和数据交换处理程序实现数据同步，完成切换。

3.1 软冗余系统硬件组成

基于西门子公司 S7-300 PLC 的软冗余方案一般必须具备下列模块及设备：

1) CPU 模块

S7-300 系列一般只有 CPU31X-2DP 型号够实现软件冗余，但无硬件冗余的功能。S7-400 全系列的 CPU 都可以应用于软冗余系统；但只有 S7-400 H 系列的 CPU 可以应用于硬件冗余方式。

2) CP 通讯处理器系列

PLC 的 CPU 模块与上位监控主机采用 PROFIBUS 协议通讯时选用 CP342-5 PROFIBUS 通讯模块。若采用 Ethernet 协议通讯时需选用 CP 343-1 通讯模块，但要与 SCALANCE X005 工业以太网交换机配合使用^[1]。

3) ET200M 分站

ET200M 是在工业现场经常使用的 PROFIBUS DP 分布式从站，ET200M 分站主要由电源、IM153 系列接口模块、适于 ET200M 的所有 I/O 模块、导轨等组成。S7-300 系列 PLC 的软冗余方案必须要带有 ET200M 分站，并且有特殊要求：

①必须要有两块 IM153 系列接口模块，分别通过 PROFIBUS 总线连接不同 CPU 模块。

②为支持热插拔，导轨必须选有源总线导轨，并且要选用有源总线模板。这样其上的 I/O 模块才会支持热插拔功能。

4) 软冗余软件

软件方面除了 S7-300 编程软件 SIMATIC Step 7 外，还需要西门子软冗余软件包的支持。软冗余软件包含有冗余功能所必须的程序块库，不同系统结构的例子程序和软冗余使用手册，可以大幅减轻 PLC 冗余编程的难度。

3.2 软冗余系统硬件设计方案

监控系统现场上位监控计算机选用两台台湾研华工控机 (IPC-610H) 和两台 22 寸液晶显示器构成监控计算机双机冗余，同时配合两台西门子公司高性能 PLC 一起实现对联合站生产过程工况的实时监控。两台上位监控计算机和 PLC 之间的通讯连接采用工业以太网，并以工业以太网作为冗余网络将整个系统有机地结合在一起。监控系统硬件结构图见图 2。

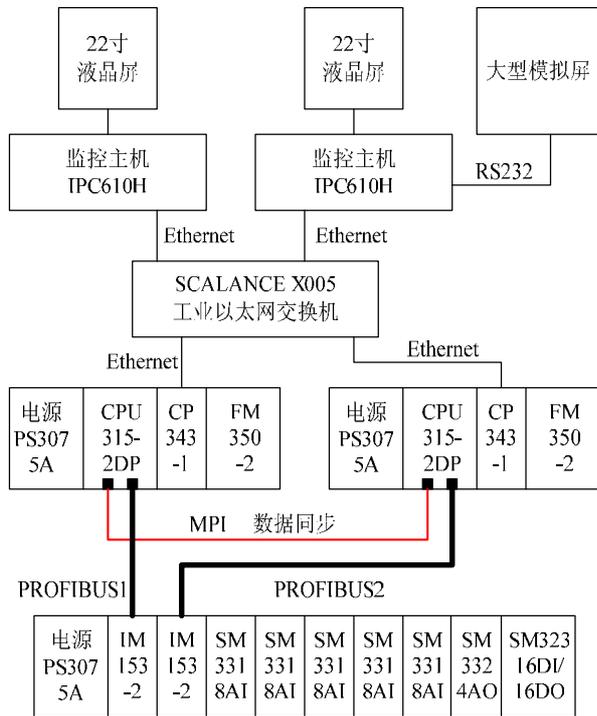


Figure 2. Hardware structure diagram of monitor system
图 2. 监控系统硬件结构图

监控系统有两套完全独立的西门子的 PLC 的 CPU 模块、IM153-2 模块及相应的 PROFIBUS 总线，构成冗余体系。PLC 的 CPU 模块选用 S7-315-2DP 模块，该模块带有两个接口，一个是 MPI 接口，另一个是 PROFIBUS 总线接口。两个 CPU 模块 MPI 接口连接，构成主系统与备用系统的数据同步通讯链路。两个 CPU 模块分别通过各自 PROFIBUS 总线接口与 ET200M 从站连接，构成主系统、备用系统与从站的通讯链路。

现场各种物理量信号通过传感器转换为 4-20mA 电流信号，然后通过 ET200M 从站上的各种 I/O 模块采集进 PLC，PLC 对数据经过计算与处理，一方面向 ET200M 从站上的控制模块输出控制信号，另一方面将相应数据传送给上位监控计算机。

由监控系统硬件结构图可见，系统是由两套独立的 S7-300 PLC 系统组成，监控系统软冗余能够实现：

- 1) 上位监控计算机及以太网线路的冗余；
- 2) 主机架电源、背板总线等冗余；
- 3) PLC 处理器冗余；
- 4) PROFIBUS 现场总线网络冗余（包括通讯接口、总线接头、总线电缆的冗余）；
- 5) ET200M 站的通讯接口模块 IM153-2 的冗余。

监控系统唯一未能实现冗余的是 ET200M 从站上的 I/O 模块^[2]。

3.3 冗余系统工作原理

在软冗余系统进行工作时，A、B（A 为主系统，B 为备用系统）控制系统独立运行，由主系统的 PLC 掌握对 ET200 从站中的 I/O 控制权。A、B 系统中的 PLC 程序由非冗余（Non-duplicated）用户程序段和冗余（Redundant Backup）用户程序段组成，主系统 PLC 执行全部的用户程序，备用系统 PLC 只执行非冗余用户程序段，而跳过冗余用户程序段。软冗余系统内部的运行过程参考图 3。

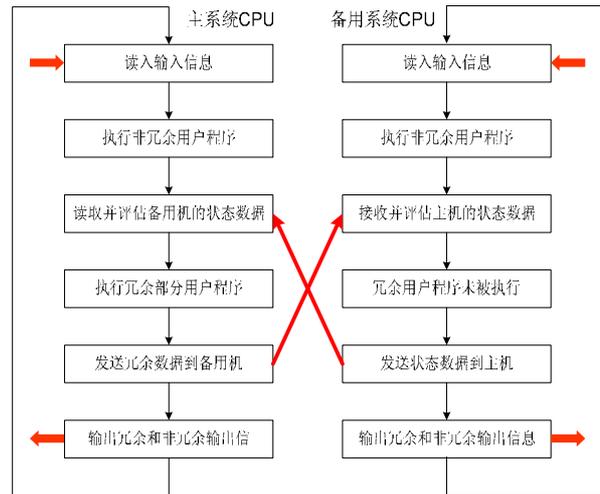


Figure 3. Internal running process of soft-redundancy system

图 3. 软冗余系统内部的运行过程

4 PID 控制的实现

4.1 油室闭环控制系统原理

油室液位闭环控制系统的原理图见图 4。液位计将测到的液位实际值送入 PLC，与 PLC 中的液位设定值进行比较，其误差经过 PID 运算后，输出计算后的 PID 控制信号。该信号控制变频器的输出频率，变频器的输出频率通过变频调速去控制输出泵的电机转速，从而实现输出泵的流量变化，使得油室液位保持恒定。

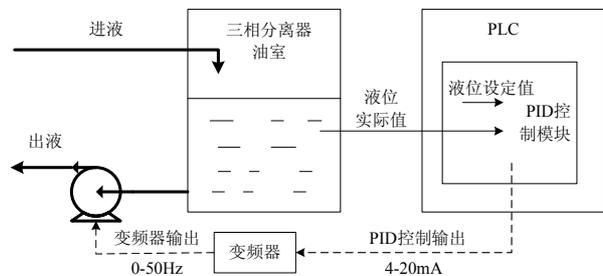


Figure 4. Schematic diagram of closed-loop control system
图 4. 闭环控制系统原理图

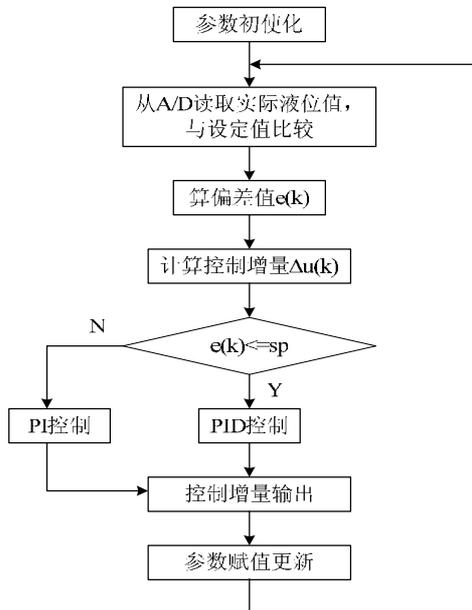


Figure 5. Flowchart of integral separation PID control algorithm
图 5. 积分分离 PID 控制算法的流程图

在 SIMATIC S7-300 PLC 中, 已经提供了 PID 控制模块, 通过设定 P 比例增益、 T_I 积分时间常数和 T_D 微分时间常数, 然后调用系统功能模块即可实现闭环 PID 控制。在主程序中, 用初始化脉冲将比例系数、积分时间常数、微分时间常数、设定值等送入 PID 的寄存器中, 这些参数随不同的控制对象的要求确定在 Hardware Config 界面里可以设置 OB35 的间隔时间, 这也即是 PID 的采样时间。

在 S7-300 的系统功能模块中, SFB41~SFB43 主要用于 PID 控制, 应在 OB100 和在循环中断 OB35 中调用 SFB41~43。在连续 PID 控制器 SFB41 中, SFB“CONT C”可以作为单独的 PID 恒值控制器, 或在多

闭环控制中实现级联控制器、混合控制器和比例控制器。

4.2 PID 控制算法流程图

图 5 是增量式 PID 控制算法中含有积分分离 PID 控制算法的流程图。OB35 是一个以固定时间间隔循环执行的组织块, 由于数字化 PID 的采样周期必须是等间隔的, 要用 OB35 定时中断来触发, 所以 PID 控制程序在 OB35 中实现采样时间到, 就执行 OB35, 进行 A/D 转换, PID 根据采集的信号计算出偏差和偏差变化率, 按照 PID 的控制规则计算控制量, 并将运算结果送给 D/A 转换器。PID 作为一种基本的控制算法已经比较成熟, 通过对设定值 PID 控制过程的设计及控制设计参数的调整可有效实现油室液位的自动控制。

5 结 语

本系统采用软冗余技术, 提高了联合站计算机监控系统的可靠性, 可以有效避免了因单个 PLC 停机而引起控制系统出现故障。本系统已在延长集团定边采油厂韩渠联合站成功投运, 具有较好的实时性和可靠性, 产生较大的经济和社会效益。

References (参考文献)

- [1] SHANG gao-ping, MA bo-yuan. Application of Profibus-DP Field Bus in Reverse Osmosis for Water Treatment [J]. Microcomputer Information, 2006, 2-1: 56-58.
商高平, 马伯渊. PROFIBUS-DP 现场总线在反渗透水处理中的应用. 微计算机信息[J], 2006, 2-1: 56-58.
- [2] Siemens Ltd., China, Industry Sector, Industry Automation & Drive Technologies. Explanation, Debugging and Application of Siemens PLC Software Redundancy System. 2004, 04.
西门子(中国)有限公司自动化与驱动集团. Siemens PLC 系统软件冗余的说明与实现. 2004, 04.