

文章编号: 1671-7848(2008)03-0310-03

基于混合式网络结构的控制系统设计及应用

李志宏

(太钢不锈钢股份有限公司 自动化公司, 山西 太原 030003)



摘 要: 针对太钢原有原料场自动控制系统网络经常无规律性地发生中断故障的现象以及太钢不锈钢工程建设的需要, 设计了基于施耐德 Quantum 系列 PLC 混合式网络结构的自动控制系统。介绍了该系统的组成, 阐述了基于 S908 协议的同轴电缆网络和基于 Modbus Plus 协议的光纤网络的设计过程, 开发了基于积分分离和斜率逻辑判断功能的智能 PID 预配料控制算法。现场运行结果表明, 该系统运行稳定, 自动化程度高, 维护方便, 解决了原系统网络无规律性地发生中断的问题, 从而确保生产正常运行。该系统的成功应用, 对同行业的生产进步将起到示范和推动作用。

关键词: 混合式网络; 网络设计; 智能 PID 算法

中图分类号: TP 27

文献标识码: A

Design and Application of Control System Based on Composite Network Architecture

Li Zhi-hong

(Automation Corporation, Taigang Stainless Steel Co Ltd, Taiyuan 030004, China)

Abstract: To the irregular interrupt malfunction phenomena of the foregone automation system network of the raw material field and the needs of the stainless steel engineering of Taigang, the automatic control system is designed based on the composite network architecture of Schneider Quantum series PLC. The composition of the system is introduced, and the design processes of the coaxial-cable network based on S908 protocol and the optical fiber cable network based on Modbus Plus protocol are presented. The intelligent PID control algorithm for compounding material beforehand based on the function of integral separating and slope rate logic judgement is developed. The field running status shows that the system has features of stable running, high automation grade, convenient operation and little maintenance, and that the irregular interrupt malfunction of the foregone system network is solved. Therefore production is running in an orderly way. The system will promote demonstration and impulse function to production advancement of the same trade.

Key words: composite network; network design; intelligent PID algorithm

1 引言

太钢原有原料场自动控制系统采用施耐德 Quantum 系列 PLC 双电缆结构, 即在具有两个电端口的 RIO 处理器上连接两根线性的电缆, 并沿着分开的路线至不同的远程 I/O 分站。虽然, 双电缆结构能加长系统网络总长度, 但双电缆结构系统信号通过电缆传输, 易受电磁干扰以及电缆分布不合理等因素影响, 造成原系统网络经常无规律性地发生中断故障, 导致系统重负荷停车、重负荷启车情况, 而重负荷启车经常导致胶带机的减速机快速轴断裂、皮带崩断, 进而导致矿粉飞溅扬尘, 污染环境, 这样, 既损坏设备, 又严重影响生产。事实证明, 在控制系统设备分布距离长达 5 km 的太钢原料场自动系统采用双电缆结构, 从技术上而言是不

合理的。在太钢 150 万吨不锈钢工程建设中, 烧结原料场自动控制系统设备分布距离将延长到 6 km, 解决控制系统网络中断故障已迫在眉睫。为此, 在设备尽量利旧、尽量少增加投资的原则下, 新设计了基于施耐德 Quantum 系列 PLC 的混合式网络结构的自动控制系统。同时, 根据原料场新增加预配料工艺, 设计了基于积分分离和斜率逻辑判断功能的智能 PID 控制算法。

2 自动控制系统设计

1) 中央处理器选择 控制站采用新一代施耐德 Quantum 系列 PLC 高性能 140 CPU 53414A 控制器, 以确保控制系统的稳定性和快速性。该控制器具有 Modbus 接口和 Modbus Plus 接口。

2) 控制系统混合式网络结构 综合考虑太钢

原料场各种因素,新系统设计为混合式网络结构的自动控制系统。混合式网络由基于 Modbus Plus 协议的光纤网络和基于 S908 协议的同轴电缆网络构成。光纤网络用于控制系统中离控制站距离远、线路存在电磁干扰的 I/O 站^[1];同轴电缆网络用于控制系统中离控制站距离近、现场设备多的 I/O 控制站^[2]。上位监控系统设置 3 台操作站(其中 1 台兼做工程师站),操作站主机采用 IBM 高性能磁盘阵列服务器,实现了每台操作站内部操作系统和应用软件载体—硬盘的冗余。操作站和 PLC 通过以太网,以 100 M 的速度进行高速通信,确保了监控画面模拟设备的快速响应性。3 台操作站互为备用,使得监控系统安全可靠^[3],最大程度上保障了生产的连续性。

系统结构,如图 1 所示。

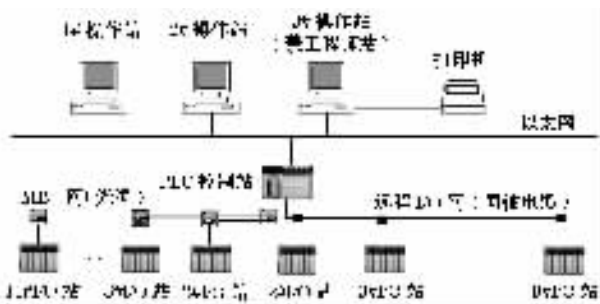


图 1 系统结构

Fig.1 Architecture of the system

①S908 协议的同轴电缆网络设计 Quantum RIO 单通道主站接口模板 140 CRP 931000 和远程 I/O 分站接口模板 140 CRA 931000 使用基于 S908 协议的联网 I/O 配置,通过同轴电缆通讯,无中继器时通讯距离最远可达 4 572 m,速度达 1.5 M,Quantum 控制器最多支持 31 个 RIO 分站。鉴于 Quantum RIO 此性能,本系统采用 Quantum RG11 电缆作主干缆,设计主站接口模板 140 CRP 931000 共连接 8 个远程 I/O 分站。这 8 个远程 I/O 分站主要控制新建二次混匀料场的设备,这些设备距离控制站比较近、数量较多。

Quantum 远程站设计安装要求远程站的信号衰减 $dBloss < 35$ dB。 $dBloss$ 的计算公式如下:

$$dBloss = TCA + DCA + TDA + (NOS \times 6 \text{ dB}) + (NOT \times 0.8 \text{ dB})$$

式中, TCA 为干缆信号衰减 $dBloss$; DCA 为分站电缆衰减 0.3 dB; TDA 为分站分支器衰减 14 dB; NOS 为分离器数量; NOT 为首末节点之间分支器数量。

系统前置处理器和末端远程 I/O 分站之间距离为 1 268 m,网络主干缆 RG11 电缆规定衰减为 0.787 dB/100 m。

$$TCA = 0.787 \times 12.68 = 9.98 \text{ dB}; DCA = 0.3 \text{ dB};$$

$$TDA = 14 \text{ dB}; NOS = 0; NOT = 6.$$

RIO 网络总衰减为

$$dBloss = 9.98 + 0.3 + 14 + (0 \times 6) + (6 \times 0.8) = 29.08 \text{ dB}$$

可见, $dBloss = 29.08 \text{ dB} < 35 \text{ dB}$,同轴电缆网络衰减符合要求,设计合理。

②Modbus Plus 协议的网络设计 本系统 CPU 的 Modbus Plus 端口作为 Modbus Plus 网络主站节点,并通过光纤中继器 490NRP25400 或 490NRP25300,组成 MB+ 光纤网。

a) 网络中继器数量计算 Modbus Plus 网络系统允许的总失真被限制为 200 ns。

由光纤中继器产生的失真为每盒 10 ns, Modbus Plus 电气接口产生的失真为 40 ns(接收—传送)。

确定链接中继器数量 n 的公式为

$$n = (200 \text{ ns} - X \times L - 40 \text{ ns}) / 10 \text{ ns}$$

式中, X 为光缆规定的失真值; L 为光路中光缆总长度(km)。

本系统光缆总长度为 5 893 m。所用光缆为 62.5/125 μm ,规定的失真值 X 为 5.0 ns/km。计算最大中继器数量如下:

$$n = \frac{200 \text{ ns} - (5 \times 5.893) \text{ ns} - 40 \text{ ns}}{10 \text{ ns}} = 13.0535$$

根据本系统 Modbus Plus 网络上控制站和分站总数量,确定光纤中继器数量为 11。

b) 中继器之间光缆线路信号衰减计算 光缆线路信号衰减是根据所对应光缆规定的光功率衰减预算进行的。光路中所用全部部件的总衰减不能超过所选光缆规定的光功率衰减预算。本系统采用 62.5/125 μm 的光缆,其衰减 3.5 dB/km,光功率衰减预算 11 dB。光功率衰减预算已考虑了系统 2 个 ST 型连接器 3 dB 的系统容限,故在计算衰减时仅考虑外部部件如实际光缆衰减。

本系统中中继器之间光缆线路最长的点对点之间距离为 1 100 m,所用光缆为 62.5/125 μm 。

光缆衰减为 $3.5 \times 1.1 = 3.85 \text{ dB} < 11 \text{ dB}$,光缆衰减没有超过光功率衰减预算值,设计合理。

3 预配料控制算法设计

鉴于 PID 调节适应性好、鲁棒性强^[4,5],本系统采用 PID 算法,并且,在常规 PID 算法的基础上引入积分分离和斜率逻辑判断功能,从而形成智能 PID 控制算法,以实现预配料控制。

设 K_C 为比例系数, T_S 为采样周期, T_I 为积分时间, T_D 为微分时间, $e(k)$ 为偏差信号,则 PID 控制器输出:

$$u(k) = K_C \{ e(k) + \frac{T_S}{T_I} \sum_{i=0}^k e(i) + \frac{T_D}{T_S} [e(k) -$$

$$e(k-1)] \quad (1)$$

$$u(k-1) = K_C \left\{ e(k-1) + \frac{T_S}{T_I} \sum_{i=0}^{k-1} e(i) + \frac{T_D}{T_S} [e(k-1) - e(k-2)] \right\} \quad (2)$$

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1) = A e(k) + B e(k-1) + C e(k-2) \quad (3)$$

式中, $A = K_C(1 + T_S/T_I + T_D/T_S)$; $B = -K_C(1 + 2T_D/T_S)$; $C = K_C T_D/T_S$ 。

考虑到偏差 $e(k)$ 较大时易引起系统稳定性下降, 故采取积分分离算法, 当 $|e(k)| > M$ 时, 取消积分作用, 即令 $T_I \rightarrow \infty$, 则式(3)中:

$$A = K_C(1 + T_D/T_S), B = -K_C(1 + 2T_D/T_S),$$

$$C = K_C T_D/T_S。$$

而 PID 控制器输出的控制量:

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k) \quad (4)$$

根据上一时刻的控制量, 可得出本时刻的控制量。本系统被控量是配比(也可以说是电子皮带秤上某一成分料种的瞬时流量), 手动给定量和自动给定量则分别从画面程序计算得到, 反馈量是实测

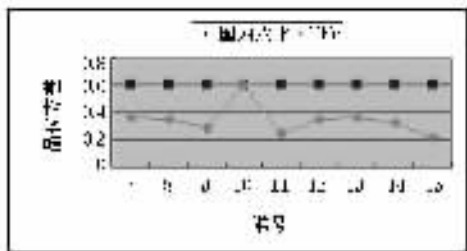


图 2 混匀矿品位方差

配料秤瞬时流量信号。手动方式时的给定信号和自动方式时 PID 控制器输出的控制量都要送至变频器, 调节电机的速度, 进而调节瞬时流量。手动方式时, 设变频器接收到的信号为 u_T , 手动给定量为 u_S , 则手动时 $u_T = u_S$ 。

为了实现手动到自动的无扰切换, 在手动方式时, 应始终计算一跟踪补偿量 $r = u_S - u_k$, 其中, u_k 就是 PID 控制器输出的控制量 $u(k)$ 。当投入自动方式时, 令:

$$u_T = u_k + r = u_k + u_S - u_k = u_S \quad (5)$$

这样就实现了从手动到自动的无扰切换。

4 应用效果

①完全解决了原系统网络由于电磁干扰、电缆分布不合理等原因, 造成系统网络无规律性地中断的故障。新系统投运 10 个月以来, 网络故障次数为零。

②经预配料控制后的混匀矿品位方差小于 0.6, 硅含量方差小于 0.25, 达到了国内先进水平。混匀矿品位方差、硅含量方差分别如图 2, 图 3 所示。

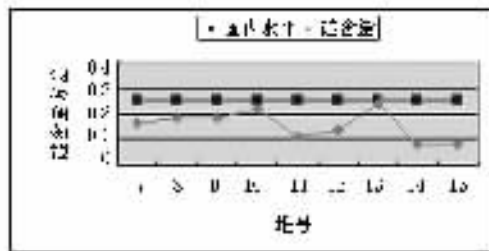


图 3 混匀矿硅含量方差

Fig.2 Square difference of quality of compounding ore Fig.3

Square difference of the content of silicon in compounding ore

③确保新旧烧结机和新旧高炉生产的稳定运行。

5 结 语

本控制系统采用了混合式网络结构及光纤网络技术, 预配料采用基于积分分离和斜率逻辑判断功能的智能 PID 双变频控制。系统整体性能先进, 推动了企业的技术进步。

本系统于 2006 年 5 月投入生产运行, 运行结果表明, 本系统运行稳定可靠, 自动化程度高, 维护方便, 解决了原系统网络无规律性地发生中断的故障, 从而确保了生产的正常运行, 避免了不必要的经济损失。此外, 本系统主控制系统与除尘系统联锁控制运行, 最大程度上促进了清洁生产、环境保护工作, 社会效益显著。

参考文献(References):

[1] Ito A, Furudate K, Fukai M. High-reliability next-generation supervisory and control system for power stations[J]. Hitachi Review, 1998, 47

(5):214-218.
 [2] Kresta J V, Marlin T E, MacGregor J F. Multivariable statistical monitoring of process operating performance[J]. Can J of Chem Eng, 1991, 69(2):35-47.
 [3] Miller P, Swanson R E, Hecker C F. Contribution plots: the missing link in multivariate statistical control[R]. Rochester, NY:37th Annual Fall Conference ASQC, 1993.
 [4] 朱善君, 翁樟. 可编程序控制系统原理·应用·维护[M]. 北京:清华大学出版社, 1993.(Zhu Shanjun, Weng Zhang. The theory, application and maintenance of programmable control system[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1993.)
 [5] 刘元扬, 刘德溥. 自动检测和过程控制[M]. 北京:冶金工业出版社, 2000.(Liu Yuanyang, Liu Depu. Automatic checking and process control[M]. Beijing: Metallurgy Industry Press, 2000.)
 [6] 王树文, 房俊龙. 烧结自动化监控系统的设计与研究[J]. 控制工程, 2006, 13(2):101-104.(Wang Shuwen, Fang Junlong. Research and design of the monitoring and controlling system for sintering automation[J]. Control Engineering of China, 2006, 13(2):101-104.)
 [7] 薛福珍, 田贵宾, 王海明, 等. 小型计算机控制系统的设计及应用[J]. 控制工程, 2006, 13(6):499-501.(Xue Fuzhen, Tian Guibin, Wang Haiming, et al. Design and application of small computer-controlled systems[J]. Control Engineering of China, 2006, 13(6):499-501.)
 [8] 姚晓峰, 陈晓侠, 张春光. 工业以太网和 CAN 总线系统的通信软件设计[J]. 控制工程, 2006, 13(3):217-219.(Yao Xiaofeng, Chen Xiaoxia, Zhang Chunguang. Design of communication software for Ethernet and CAN Bus system[J]. Control Engineering of China, 2006, 13(3):217-219.)