

基于 V 型滤池的净水厂自动控制系统设计*

张 奇 (马鞍山职业技术学院自动化系, 安徽 马鞍山 243031)

许金萍 (中钢集团马鞍山矿山研究院有限公司, 安徽 马鞍山 243001)

杨 明 (合肥供水集团, 安徽 合肥 230000)

摘 要

结合某净水厂的净水工艺, 给出整体自动控制系统构架, 并讨论了 V 型滤池的工艺流程以及其自动控制系统设计, 包括相关 I/O 单元设计和整体 PLC 控制单元设计以及相关软件设计思路, 该系统在实际应用过程中收效良好。

关键词: 净水工艺, PLC, V 型滤池, PID 控制

Abstract

In this paper, the purification process of a water purification plant, given the overall control system architecture, and focuses on the V-filter process and its automatic control system design, including the related I/O cell design and the overall design of PLC control units and related software design idea, the system is effective in practical application process.

Keywords: water purification process, PLC, V-filter, PID control

某新型净水厂设计出一套适合我国现状的以 V 型滤池为主, 基于反冲洗工艺的净水厂自动化控制系统。这一系统可以连续、可靠地完成净水厂的各项工艺流程, 同时保证出厂水各项水质指标, 降低了净水生产成本, 减轻了工人的劳动强度。该系统很好地实现了净水工艺, 在应用中也达到了良好收效。

1 某水厂净水自动控制系统构架

设计净水厂工艺总体流程如下: 源水首先经过一级泵房, 由管道泵入水厂, 再引入混凝池, 设置药剂投加进行混凝反应, 该过程由四台加药计量泵控制进行; 混凝后的水进入对应四座平流沉淀池, 沉淀池底的污泥由排泥泵定期排出; 沉淀池出水由集水管引入到 V 型滤池(根据本厂净水量设置 10 组)通过反冲洗工艺进行过滤; 滤后水再通过管道引入至清水池, 在清水池通加氯机对清水进行加氯, 其目的为杀菌消毒, 最后清水池清水通过二级泵房加压后送至该市供水管网, 其中沉淀池排泥泵为一池一泵, 二级泵房配有 5 台送水机组, 高低压配电系统也安放在二级泵房。

根据现场设备 I/O 点的分布状况, 对该系统设计出网络框架, 包含局域网、485 网、Internet 以及 FCS 网络。针对 V 型滤池的工作流程及工艺, 设计思路如下:

1) 设计通过微型 PLC 作为单组滤池的控制单元, 10 个 V 型滤池共需要 10 组控制单元, 而公共控制单元则选取一台小型 PLC 实现控制, 通过 485 网络或工业以太网, 对这 10 套控制单元进行组网。

2) 根据该净水厂整体工艺要求, 现设计出加药 PLC 分站、加氯 PLC 分站、滤池 PLC 分站、配电 PLC 分站、送水 PLC 分站总共 5 个 PLC 分站, 通过光纤环网实现连接构成一级控制网络(基于工业以太网)。每个分站上位机用组态软件或触摸屏作为现场人机界面以实施现场监控。

3) 加药分站根据现场环境要求, 设计排泥控制子站由工业无线电台通过无线传输实现 485 网络组网, 主要实现对排泥机(四台)进行控制及管理; V 型滤池分站负责控制过滤及反冲洗工艺, 单组滤池控制子站共设 10 个; 送水分站和加氯分设为独立分站; 配电分站构成 DeviceNet 网络, 由 18 套智能电力仪表完成数据传输与交换, 可实现对整厂配电系统的实时监测^[1]。

该净水厂自动控制系统网络构架图如图 1 所示。

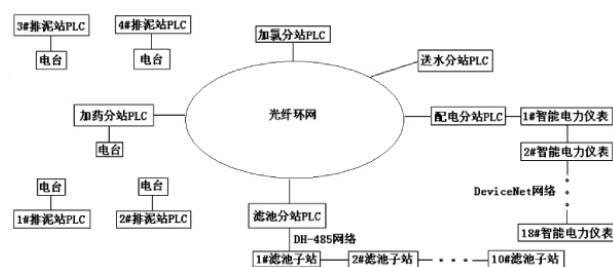


图 1 净水厂自动控制系统网络构架图

2 V 型滤池自动控制系统设计

V 形滤池是整厂净水工艺的关键, 是均质滤料与气水反冲洗滤池合二为一的组合物, 主要工艺流程为过滤流程、气水反冲洗流程两个^[2]。

2.1 单组滤池控制单元的 I/O 点设计(共 10 组)

根据 V 型滤池工艺流程, 单组滤池的 I/O 点分配如下: 水位开度和清水阀的开度需要采集 AI 信号, 故需 2 个 AI 点, 滤后水浊度亦为 AI 信号, 根据工艺要求将其放在公共控制单元; 滤池阀门共 6 台, 反应各阀门的运行状况需要位置信号和故障信号, 该处需配置 18 个 DI 点; 清水阀作为调节阀需配置一个 AO 点; 除清水阀以外的 5 台阀门为开关控制方式, 为其配置 10 个 DO 点。

2.2 公共设备控制单元 I/O 点设计

滤后水浊度巡检功能由公共设备控制单元负责, 水冲洗电机、鼓风机及变频器等等设备控制气水反冲洗流程, 清水库水位需要在线监测, 因为滤池一旦有反冲洗要求, 控制方案需要启动设备进行冲洗控制与管理。

由于对于大部分 I/O 信号而言, 可以从滤池本身的相关设备获得, 故只需要配备少量的检测仪表就可以满足系统需求, 本方案也解决了在线水质检测仪表价格较高的实际问题。

2.3 系统网络及 PLC 控制单元设计

鉴于供水生产的重要性, 对供水生产的可靠运行就有着很高要求。在进行系统设计的时候采取风险分散原则, 将控制系统进行分区, 对于由硬件故障而可能产生的不利影响要考虑全面。根据 I/O 点的分布及安全要求, 在本系统中采取二级 PLC 控制方式, 选取了 10 套 MicroLogix 1500 微型 PLC 分别作为单组

* 安徽省教育厅省级教学质量与教学改革工程项目(省级精品课程, 序号 83)

滤池的控制单元，而公共控制单元则选用 AB 公司 SLC 5/05 的小型 PLC 负责控制，再通过对应的通讯模块，将上述设备组成 DH-485 网络。现场人机界面通过一块工业用触摸屏实现实时监控。网络结构图如图 2 所示。

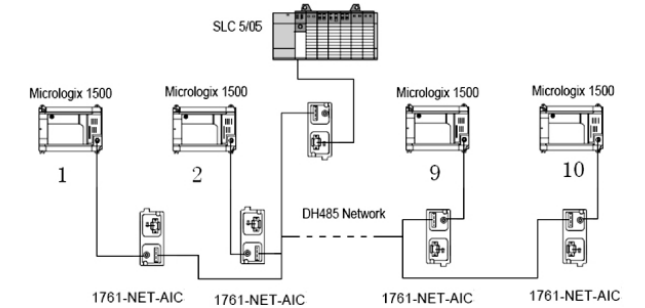


图 2 V 型滤池分站的网络结构图

V 型滤池控制系统硬件设计采用 DH-485 网络构架。整个 V 型滤池控制系统结合 V 型滤池工艺特点，首先设计出公共控制单元及单组滤池的 I/O 点，再根据相关控制站本身的控制要求，对各个 PLC、控制模块、检测仪表、执行机构的 I/O 连接进行设计；施行分散控制，集中管理的整体设计思路。另外人机界面的设计上，考虑成本，没有采用组态软件，而选用了触摸屏。V 型滤池控制系统框图如图 3 所示。

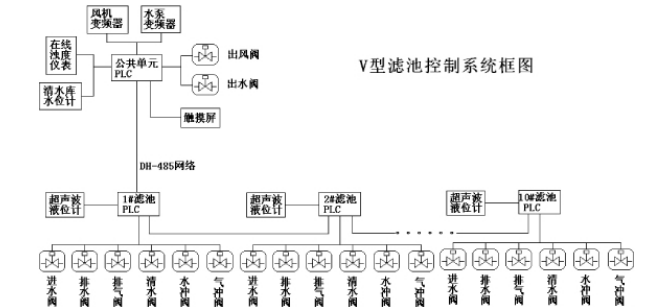


图 3 滤池 PLC 控制系统框图

3 单组 V 型滤池控制系统软件设计

单组滤池过滤过程的算法设计：由于过滤控制控制目的和对象比较单一，控制系统采用单回路闭环控制方式即可，应用 AB 公司的 RSLogix500 软件。通过 PID 指令就可以实现该功能。该指令的输出是如压力、温度、流速或者液位等物理性质的过程量。本设计中主要应用 PID 控制原理对清水阀进行过程控制。PID 指令常用模拟量模块的输入进行闭环控制并向模拟量输出模块提供输出控制量。PID 指令能在定时方式或 STI 方式下操作。在定时方式下，指令按用户选择的速率周期性地更新它的输出。在 STI 方式下，指令应该放在 STI 中断子程序中。然后 PID 指令在每次 STI 子程序被扫描时更新它的输出。STI 时间间隔和 PID 循环更新速率必须相同，以使方程正确地执行。[3]

PID 指令的基本方程为：

输出=Kc[(E)+1/T1 ∫ (E)dt+TD * D(PV)/Dt]+bias

标准的增益常数如表 1 所示。

表 1 PID 指令标准增益常数表

项	范围 (由低到高)	参考
控制器增益 KC	0.1 至 25.5	比例系数
	0.01 至 327.67	
幅原项 1/T1	25.5 至 0.1 (分钟每循环)	积分系数
	327.67 至 0.01 (分钟每循环)	
比率项 TD	0.01 至 2.55 (分钟)	微分系数
	0.01 至 327.67 (分钟)	

在进行程序设计时，在梯级上已经放置一条 PID 指令后，要出入控制块，过程变量和控制变量的地址。

控制块(Control Block)是一个文件，它存储指令操作必需的数据。文件长度固定为 23 个字；在本设计中，过程变量(PV)为滤池水位(整定后)；控制变量(CV)为清水阀输出量(整定后)。

PID 方程通过向清水调节阀发送输出信号来控制过程。设定点和过程变量(水位信号)输入之间的偏差越大，输出信号就越大，反之亦然。附加值(前馈或偏置)可当作偏移加到输出控制。PID 计算的结果(控制变量)将驱动控制过程变量使其趋向设定点。

4 现场人机界面简介

该水厂 V 型滤池运行控制系统在现场采用了 AB 公司的人机界面：PanelView1000，并通过 PanelBuilder32 软件进行编程和上传下载。再通过 1761-NET-AIC 通信模块与系统的 DH-485 网络实现连接，对公共控制单元的相关运行数据以及单组 V 型滤池的运行数据进行采集。采用的开发平台是基于工业 PC 运行的 PanelView Builder 软件，将完成的图形下载至 PanelView1000 即可运行[4]。

净水厂 V 型滤池运行控制系统人机界面示例图 4 所示。



图 4 系统人机界面图

5 系统的运行效果分析

该水厂整体净水工艺流程中最主要环节即为 V 型滤池的过滤及反冲洗流程，在整个净水过程中既担当净水的主要任务，又负责承上启下的过渡作用，其主要功效为净水作用(去除滤前水当中的微小颗粒以及污物)，去除率的高低是反映该 V 型滤池工作效果的重要指标。另外在 V 型滤池的自动控制系统中，采用 PID 控制方式的清水调节阀在过滤过程中，滤池水位的波动幅度、单位时间动作次数、反冲洗控制运行、滤池滤后水浊度变化情况的稳定

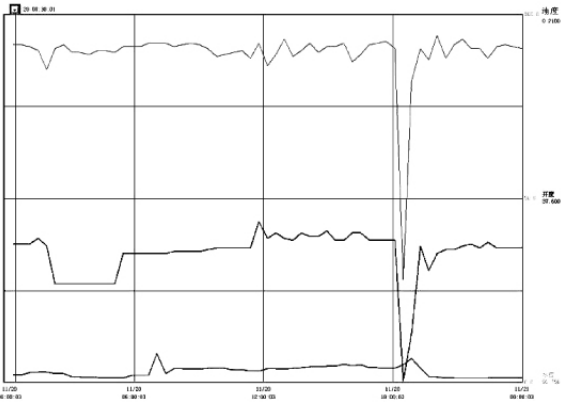


图 5 V 型滤池运行参数图

(下转第 42 页)

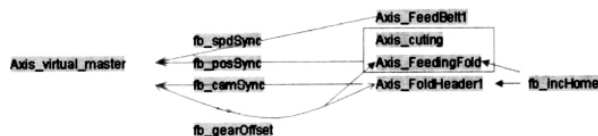


图2 程序结构图

进行寻参并设置编码器相应的角度值, 人机界面如图3所示。

电机选择界面实现对各台电机进行选择使用, 在整台机器没有单台电机手动操作按钮的情况下, 可以利用整机的控制功能操作单台电机, 方便手动调试和排除故障。



图3 运行控制界面

进行速度同步的轴, 结合分切湿巾长度的参数和输送辊的直径参数, 可以计算出速度同步的比例系数, 从而控制输送辊的速度。

由于材料牵引和输送辊对材料是靠摩擦力进行输送的, 存在打滑的现象, 特别是高低速的摩擦系数的不同, 需要对速度同步的比例系数进行微调。速度比例设置界面可以对速度同步高低速的比例系数分别进行微调, 对各个轴同步比例系数的单独调整可以改变各级材料牵引的张力, 对总的比例系数的调整可以修正实际的分切长度和设定值之间的偏差。

压叠装置是整台设备核心的部分, 首先压叠输送保证把分切好的湿巾等间距输送到压叠头底下, 压叠头再把湿巾向下压送到接料器上, 接料器根据设置的接料数量进行接料和推料。其中压叠输送和压叠头的位置可以进行相应的设置, 即把主轴和从轴之间的相位差进行一定的偏置。

因为在压叠头压下湿巾时, 要保证以较高的速度完成压叠动作, 所以在机器低速运行时, 需要有相对较高的压叠速度。使用凸轮曲线功能, 在压叠区域 $160^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 区域内, 凸轮曲线的斜率需要根据实际的压叠效果进行放大, 如图4所示。

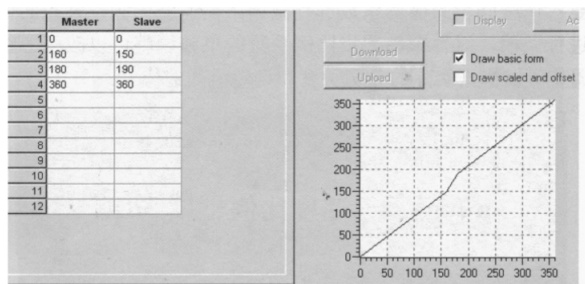


图4 描点绘制凸轮曲线

由于这样得到的凸轮曲线具有明显的拐点很不平滑, 导致

(上接第40页)

性等都是考察一个自动控制系统运行稳定性的重要依据。

图5为某组滤池以24小时为运行周期的运行曲线。包括清水阀开度、滤池水位以及滤后水浊度。其中红色线为滤后水浊度, 绿色线为滤池水位, 而棕色线则为清水调节阀的开度。

该厂V型滤池工艺目的是: ①对V型滤池实现恒水位控制; ②减少清水调节阀动作次数, 目的是为了延长其使用寿命; ③对V型滤池反冲洗过程进行控制与管理; ④提高滤池的工作效率; ⑤保证滤后水水质合格。

在整个净水厂的系统设计中, 提出了基于多PLC、多层网络构架的网络化结构思想, 表现为: 将控制过程分散到各网络节点, 可以降低系统的控制风险, 进而提高控制系统的安全性和可靠性, 还便于管理; 同时在V型滤池在反冲洗过程中采用PID

电机的运行冲击很大, 需要把曲线进行三次方的插补, 平滑后的曲线如图5所示。

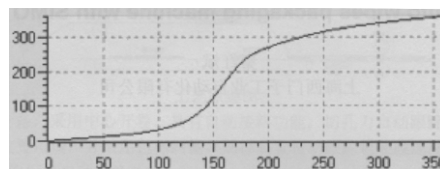


图5 平滑后的凸轮曲线

当设备到达一定的速度后, 就不需要凸轮加速压叠的效果了, 这时需要把当前的凸轮作用去掉, 需要再绘制一条斜率为1的凸轮曲线, 当实际速度达到设定的速度切换点后把凸轮同步切换到直线凸轮上, 如图6所示。

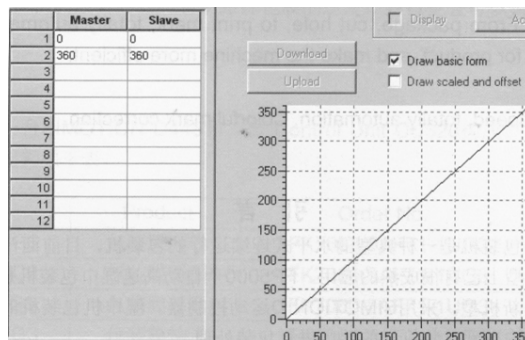


图6 恒速运行的凸轮曲线

4 结束语

折叠机采用了西门子的高性能SIMOTION控制系统, 简化了设备的编程和调试过程, 并提高了机器的整体性能。开放式的HMI界面设计、预置的设备参数和运行参数的自动调整等功能, 大大减少了操作人员的工作强度并提高了设备的运行效率。配套好的湿巾折叠机经过现场实际应用, 效果良好。

参考文献

- [1]姚永刚. 机电传动与控制技术[M]. 天津: 天津大学出版社, 2009
- [2]徐红升. 传感器与可编程控制技术应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009
- [3]舒志兵. 交流伺服运动控制系统[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006
- [4]SIMOTION D4XX commissioning and installation Manual[G]. Siemens AG, 2006
- [5]SIMOTION LAD/FBD programming and operating Manual[G]. Siemens AG, 2007

[收稿日期: 2011.2.25]

闭环控制思路, 解决了滤池运行过程中的复杂性问题, 简化了控制流程, 保证了滤池过滤功能的稳定, 提高了滤池反冲洗功能的实现, 在该工厂投产之后达到了很好的净水功效。

参考文献

- [1]Krstic M, Kanellakopoulos I, Kokotovic P V. Nonlinear and Adaptive Control Design[M]. 1995: 220-234
- [2]曹勇锋, 张朝升. V型滤池滤砂优选和反冲洗参数确定[J]. 广州大学学报, 2008(8): 64-67
- [3]Rockwell. SLC500 and MicroLogix1000 指令集参考手册[K]. 2005: 125-129
- [4]袁秀英. 组态控制技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003: 67-88

[收稿日期: 2011.3.24]