

PLC 多级控制在粪水资源再生系统中的应用

刘亮东 王书茂 代峰燕

(中国农业大学工学院,北京 100083)

摘要 为了以粪水为原料生产有机肥、再生水和沼气,并利用沼气进行发电,同时解决由于粪水排放造成的污染,设计了采用可编程控制器(S7-200 PLC)作为数据采集器及控制器的粪水资源再生控制系统。该系统主要由絮凝设备、升流式厌氧污泥床、膜生物反应器和臭氧除菌设备等组成,实现了粪水中固体与液体的彻底分离,并可进行两级水处理;以 LABWindows CVI 为远程管理软件平台,采用智能化温/湿度计、化学需氧量(COD)传感器及生化耗氧量(BOD)传感器测控参量,实现了对设备不间断监测、远程控制等。粪水资源再生系统实际生产结果表明:日处理粪水约 400 t、日生产完全脱水有机肥 15 t,再生水化学需氧量小于 120 mg/L、悬浮固体小于 30 mg/L、pH 7~8,处理后的粪水满足循环水使用标准及国家二级排放标准。

关键词 粪水处理;资源再生;LAB Windows CVI;PLC;数据采集

中图分类号 TP 332;X 703

文章编号 1007-4333(2005)06-0084-04

文献标识码 A

Multilevel PLC of a resource regeneration system

Liu Liangdong, Wang Shumao, Dai Fengyan

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract To produce plant food, regenerative water and electric power from manure; and control the environmental pollution by dung bath a PLC controller was designed for a dung resource regeneration system. The system is made up of a flocculation device, a UASB and a MBR and is controlled by the self-designed PLC. The practical use of this system shows that it can dispose of 400 t dung and produce 15 t plant food in which COD is less than 120 mg/L and SS less than 30 mg/L and pH value is about 7—8.

Key words dung dispose; resource regeneration; LAB Windows CVI; PLC; acquisition

粪水资源再生是一项正在兴起的新技术。以粪水为原料可以生产肥料、再生水和沼气,并可利用沼气进行发电。目前国内对粪水的处理方法大多采用格栅将体积较大的杂物过滤后直接排入下水道,排放物中的化学需氧量(COD)、生化耗氧量(BOD)和悬浮固体(SS)^[1]等污染物含量指标超过国家标准的30倍。有些粪水处理厂采用常温厌氧消化处理,但COD和SS指标仍然超过国家标准规定的2倍多。目前我国粪水资源再生技术处于起步阶段,尚未形成行业标准,而引进国外技术和设备价格昂贵不利于普及。基于此,笔者设计了采用可编程控制器(PLC)^[2]为数据采集器及控制器的粪水资源再生控制系统,与絮凝设备、升流式厌氧污泥床和膜生物

反应器^[3]等设备相配套完成粪水资源的再生。

1 粪水资源再生系统总体设计

粪水资源再生系统主要由生产设备本体、控制器、传感器、网络、管理计算机及设备故障手机短信报警系统等组成(图1)。

系统采用分散控制^[4]的方式,利用RS-485以长距离通信的优点,现场可编程控制器采用串行RS-485自由口模式;为了降低设备成本、便于不同型号的设备进行系统集成、并满足将系统接入Internet的要求,采用MAXM DE-311串口设备联网服务器进行协议转换,将RS-485串口设备^[5]通过TCP/IP协议^[6]与操作站计算机进行数据交换,这

收稿日期:2004-11-20 修回日期:2005-07-06

作者简介:刘亮东,讲师,主要从事机械电子工程研究,E-mail:lld62336512@126.com

样 PLC 和现场设备通过以太网形成的透明通路,可直接接入 Internet 进行远程数据交换;另外,将系统

中 PLC 及温度计等其他智能化设备作为网络节点,使得系统具有包容性便于扩展其功能。

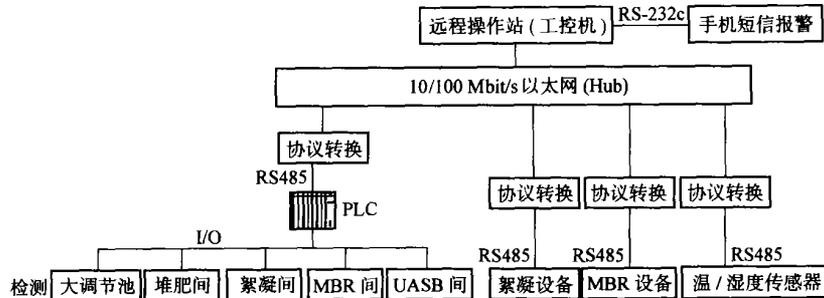


图 1 粪水资源再生系统的组成

Fig. 1 Control system of dung resource regeneration

本设计优点是:1) 絮凝设备实现了粪水中固体与液体的彻底分离;2) 采用升流式厌氧污泥床(UASB)^[1]和浸没式中空纤维膜生物反应器(MBR)^[2]进行 2 级水处理,使生产的再生水达到循环水使用标准;3) 设计 PLC 作为底层数据采集器及控制器,控制系统具有较高的可靠性;4) 设计远程计算机与 PLC 及设备之间采用多级分级通信模式^[7],并以局域网作为通信媒介,使系统既能进行计算机网络化远程控制又能脱机进行本地控制,增强了系统的可靠性和可扩展性;5) 采用 LABWindows CVI^[8]为远程管理软件平台,使得应用软件的开发周期缩短,工程造价降低。

1.1 生产设备本体

生产设备本体的组成:用于存储原料粪水的调节池和用于存储固/液分离后液体的小调节池(各 1 个)、粗过滤格栅(1 个)、将固、液体分离的 3 kW 絮凝机(3 台)、堆肥槽(6 条)、升流式厌氧污泥床(1 个);沼气动力发电机(2 台)、浸没式中空纤维膜生物反应器和臭氧除菌装置(各 1 台)。原料粪水及固、液分离后的液体均采用 4 kW 水泵及管道输送,固体通过螺旋输送机送至堆肥槽进行干燥。

1.2 系统工作原理

城市粪水送入调节池进行存储,为防止结碱在调节池内设计间歇工作式循环泵。首先,粪水经格栅过滤将其中的塑料瓶或衣物等较大的杂物清除后,由絮凝机进行固体与液体的分离,其中固体送入堆肥车间高温干燥生产有机肥料,液体则送入 UASB 进行厌氧消化将有机物转化为沼气;然后,污水进入 MBR 进行蛋白质水解;最后,处理水通过臭氧除菌装置生产出可循环使用的再生水,沼气则用来驱动发电机,提供部分厂区自用的电力。

2 多级网络化控制系统的设计

2.1 传感器配置方案

在调节池、UASB 水池、MBR 水池及无菌水池内安装水位传感器,由 PLC 自动调节控制液位;因絮凝车间、堆肥车间及 MBR 车间对温度和湿度的要求比较高,特安装智能化温/湿度计,用于温/湿度检测及对排风或加湿装置进行控制;在絮凝机上安装流量传感器,用于监控絮凝加药流量和统计絮凝产量;在 UASB 的污泥床、悬浮层及三相分离器内分别安装温度传感器及 pH 值传感器控制 UASB 的运行,安装 COD 传感器用于控制 UASB 运行负荷;在 MBR 设备上安装有膜出口压力传感器、膜出口流量传感器,用于控制循环速率,安装 COD 传感器及 BOD 传感器监控去除效率;在处理水池处安装流量传感器,用于再生水产量统计。

2.2 PLC 控制系统设计

用可编程控制器采集数据并进行粪水再生的过程控制,包括:调节池、水泵、风机、絮凝机、升流式厌氧污泥床、浸没式中空纤维膜生物反应器(MBR)等设备;数据通过局域网络上传至远程计算机,并通过由虚拟仪器构建的软件包进行数据处理和设备控制,当设备发生故障时手机短信报警等。系统对控制器的要求是,性价比高、可靠性好、易于扩展,并且有良好的开发环境,能进行数据处理。PLC 具有以下优点:1) 输入信号可以是开关信号也可以是模拟信号;2) 输出端口负载能力强;3) 连接线简单;4) 通用性强,可靠性高,环境适应性好;5) 操作简单,可维修性好,开发周期短。基于 PLC 的这些优点,设计采用了 S7-200 PLC^[11]作为底层数据采集及控制器,以局域网为通信媒介,LABWindows CVI 为远程

管理软件平台,协调控制絮凝机、升流式厌氧污泥床、浸没式中空纤维膜生物反应器等设备进行工作。

2.2.1 输入/输出点的配置

PLC 外部有信号输入端子和信号输出端子,在可编程控制器内部,与其相连的分别是输入继电器和输出继电器,其中开关信号输入、输出继电器的编号由基本单元开始,连接顺序分配 8 进制数码(如: I/Q0.0~0.7 I/Q1.0~1.7 ..I/Q29.0~29.7 I/Q30.0~30.7);模拟信号输入/输出编号由扩展的第 1 个模拟量模块开始,允许扩展最多 28 路模拟信号输入/输出,连接顺序为偶数数码(如: AI/AQ0、AI/AQ2、AI/AQ4 ..)。信号输入端子是可编程控制器接收信号的窗口,分别接入水位传感器、设备状态、设备故障信号、手/自动开关信号、温度信号和 COD 信号等;信号输出端子是可编程控制器向外部负载发送信号的窗口,分别连接水泵、加湿阀、生产设备启/停控制开关等。以中央控制 PLC 为例,其主要输入/输出点分配见表 1。

表 1 控制系统中主要输入/输出点配置

Table 1 Input and output ports

名称	对应点	控制
输入继电器	I0.0	调节池潜水泵(4 kW)运行状态
	I0.1	调节池潜水泵自动状态
	I0.2	调节池潜水泵故障状态
	I0.3	调节池循环泵(4 kW)运行状态
	I0.4	调节池循环泵自动状态
	I0.5	调节池循环泵故障状态
	I0.6	小调节池 5# 泵强制停泵
	I0.7	臭氧发生器工作状态
	I1.0	35 强制停机
	I1.1	冷却水低水位
	I1.2	冷却水流开关
	I1.3	沼气储气柜容量上限
	I1.4	沼气储气柜容量下限
	输出继电器	Q0.0
Q0.1		调节池循环泵输出
Q0.2		调节池停泵、泵故障报警输出
Q0.3		储水池泵停泵、故障报警输出
Q0.4		MBR 设备间加湿阀控制输出
Q0.5		堆肥车间加湿阀控制输出
Q0.6		沼气储气柜容量上下限报警电铃

续表 1

名称	对应点	控制
扩展模拟量输入	AIW0	堆肥车间湿度信号输入
	AIW2	UASB 污泥床水温信号输入
	AIW4	UASB 悬浮层水温信号输入
	AIW6	UASB 三相分离器水温信号输入
	AIW8	调节池水位信号输入
	AIW10	储水池水位信号输入
	AIW12	UASB 池水位信号输入
	AIW14	储水池 COD 信号输入
AIW16	再生水流量信号输入	

2.2.2 设备控制与算法

1) 随机误差的消除。

信号采集过程中温度传感器、COD 传感器及流量传感器的测量数据中存在着由于环境因素导致的随机误差,可采用叠加平均法予以消除。计算公式为 $\bar{x}_i = \bar{x}_{i-1} + \frac{x_i - x_{i-1}}{i}$, 式中 i 为当采样数, $i = 2, 3 \dots$ 。

2) 流量计算。

累计总流量计算公式为 $Q_i = Q_{i-1} + Q_i$, 其中: Q_i 为当前流量, Q_{i-1} 为前次的总流量。

3) 升流式厌氧污泥床(UASB)容积负荷控制^[1]。

容积负荷是指单位体积的 UASB 每天所承受的有机物 COD 的量,通常单位为 $g/(L \cdot d)$ 。负荷控制旨在获得较高的有机物去除率,同时获得尽可能高的沼气产率。UASB 内负荷与产气率及有机物去除率关系见图 2。

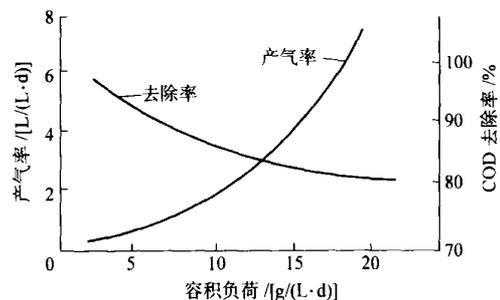


图 2 容积负荷与产气率及有机物去除率的关系

Fig. 2 Charge relation with marsh gas and organic wipe off rate

4) MBR 的控制。

控制膜两侧的压力范围为 2~17 kPa,平均渗透

流 $2 \times 10^{-2} \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

5) 设备监控与报警。

控制系统按照工艺流程的需要协调控制各生产设备的运行,当检测到运行当中的设备有故障时,立即通过网络和手机发出报警信号,并自动控制有故障的设备停车。

3 程序编制

程序编制分为底层 PLC 编程和 LABWindows CVI 编程。

1) PLC 程序。PLC 采用梯形图语言进行编程,程序主要完成初始化、数据采集及刷新、运算及设备控制、通信、中断服务等工作。程序执行流程见图 3。

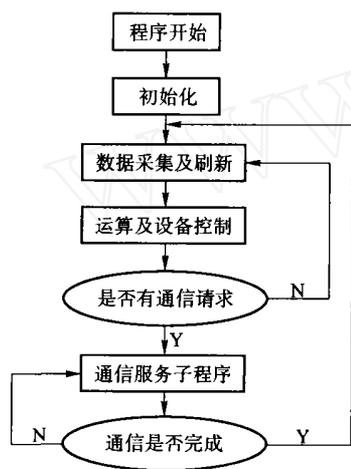


图 3 PLC 程序执行流程框图

Fig. 3 Program flow chart

2) LABWindows CVI 程序。LABWindows CVI 采用可视化的人机对话界面。在界面中可以查看升流式厌氧污泥床状态、浸没式中空纤维膜生物反应器状态、水泵状态及除菌臭氧器状态等,可直观的查看水位高低及流量、温度等信息。界面设计中采用了动画和立体图形,达到美观的效果。例如:对水位的监测是以实时动态的画面显示在屏幕上并用指示灯在屏幕上直观的显示设备的运行状态、故障状态等。LABWindows CVI 监控软件实现了对 PLC 的通信与控制^[9],自动记录故障和流量的历史数据供随时调用查看,监控生产过程中的设备情况、产品质量和产量,同时 LABWindows CVI 监控软件负责与 PLC 之间通信协议的处理、数据和命令的发送和接收,完成对 PLC 数据的计算、保存,以及对设备状况的判断、报警和报告的生成等。

4 结束语

本系统于 2003-11 在北京西海昊业粪水资源再生中心投入使用,日处理粪水 400 t 左右、生产完全脱水有机肥 15 t,副产品沼气用于驱动 1 台 2 kW 的沼气发电机进行发电。实践证明本粪水资源再生系统不仅能够生产有机肥、再生水和沼气,而且能够使污水中的 COD 去除率达到 97% 以上(常规厌氧消化处理 COD 去除率为 80% 左右),将再生水的 COD 控制在 120 mg/L 以下、悬浮固体(SS)控制在 30 mg/L 以下、pH 控制在 7~8 之间,满足循环水使用标准和国家二级污水排放标准^[10]。

系统安装了温度、湿度、流量等传感器,可以精确地进行产量和质量控制。控制系统具备互联网接口,可进行远程监控和异地远程数据互联,具有很大的扩展空间;系统采用絮凝设备、UASB、MBR、臭氧除菌设备等水处理设备和高性能 PLC 控制器,不仅能够满足粪水处理后的环保要求,而且能够利用生产肥料、再生水和发电带来的利润,使企业可以不依赖国家补贴生存和发展。

参 考 文 献

- [1] 周孟津,张榕林,蔺金印. 沼气实用技术[M]. 北京:化学工业出版社,2004. 44-54, 72-78
- [2] 陈虹,史旺旺,唐鸿儒,等. 基于 TCP/IP 网络的远程控制仿真系统的研究[J]. 计算机测量与控制,2005(2): 129-130
- [3] 约瑟 G 桑切斯·马可,西奥多 T 托迪斯. 催化膜及膜反应器[M]. 北京:化学工业出版社,2004. 162-199
- [4] 陈立定,吴玉香,苏开才. 电气控制与可编程控制器[M]. 广州:华南理工大学出版社,2001. 80-140
- [5] 任成燕,赵勇,陈小林. 利用 LABWindows CVI 实现电缆在线检测系统的串行通信[J]. 测控技术,2005(2): 76-79
- [6] 丘公伟. 可编程控制器网络通信及应用[M]. 北京:清华大学出版社,2000. 60090
- [7] 白焰,吴鸿,杨国田. 分散控制系统和现场总线控制系统[M]. 北京:中国电力出版社,2001. 16-127
- [8] 刘君华. 虚拟仪器编程语言[M]. 北京:电子工业出版社,2002. 10-80
- [9] 伍冬初,应群民. PLC 与变频器在热电厂循环水系统中的应用[J]. 机电工程,2005(2): 6-9
- [10] GB 8978—1988 污水综合排放标准