

基于工业物联网的污水处理厂 远程监控技术研究

刘晓悦,王泰达,王兴楠,马伟宁,汪启佳

(华北理工大学 电气工程学院,河北 唐山 063200)

摘要:通过修改参数和程序,可以解决MBR工艺与UF技术在污水处理过程中维护与运行检修成本高的问题。利用工业物联网技术,PLC控制系统采集现场数据,并通过智能网关将数据传至云平台,实现远程污水处理参数调整和远程控制,达到实时监控的目的,有效解决污水处理厂在偏远地区的远程维保问题。方案在镇安县某污水处理厂进行实际验证,实现了远程监控。工业互联网在污水厂的应用,降低了运维成本。

关键词:MBR工艺;UF技术;工业物联网;PLC控制系统;污水处理;智能网关

中图分类号:TP393 **文献标识码:**A **DOI:**10.19457/j.1001-2095.dqcd19770

Research on Remote Monitoring Technology of Sewage Treatment Plant Based on Industrial Internet of Things

LIU Xiaoyue, WANG Taida, WANG Xingnan, MA Weining, WANG Qijia

(School of Electrical Engineering, North China University of Science and Technology, Tangshan 063200, Hebei, China)

Abstract: By modifying parameters and procedures, the high maintenance and operation cost of the MBR process and UF technology in the sewage treatment process can be solved. Utilizing industrial internet of things technology, the PLC control system collects field data and transmits the data to the cloud platform through the intelligent gateway to realize remote sewage treatment parameter adjustment, remote control, real-time monitoring, and effectively solve the problem of remote maintenance of the sewage treatment plant in remote areas. The scheme was actually verified in a sewage treatment plant in Zhen'an county, and remote monitoring was realized. The application of industrial internet in wastewater plants reduces operating and maintenance costs.

Key words: membrane bio-reactor (MBR) process; ultra filtration (UF) technology; industrial internet of things; programmable logic controller (PLC) control system; sewage treatment; intelligent gateway

随着科技水平的提高以及人们环保意识的增强,我国污水处理技术发展迅速。据国家统计局统计,截止2017年底,我国已建成污水处理厂3 552座,其中城市污水处理厂2 039座,县城污水处理厂1 513座。城市污水处理能力高达14 919万 m^3/d ,县城污水处理能力达3 036万 m^3/d ^[1]。污水处理行业在我国发展迅速,是能源密集型产业,与人们的日常生活密不可分。

伴随日益成熟的污水处理技术以及迅速增长的污水处理厂数目,高额的污水处理厂运维成本以及数据的远程可视化困难等问题接踵而至。

实现远程运维可以节省大量差旅、人工费用,极大地降低了售后服务成本。同时随着工业4.0时代的到来,以及《中国制造2025》战略的推进,急需将高新技术运用到污水处理的每个环节,这样才能对产水设备实时监控,对水量水质数据进行把控。

现如今污水处理技术得到了大范围推广,但相关的专业技术人员有限,很难做到每个污水处理厂配置专业的人员对污水处理设备进行运行、管理和维护,如若出现问题,现场的操作人员难以解决。同时根据对我国污水处理厂设备故障

基金项目:国家自然科学基金(51574102,51474086)

作者简介:刘晓悦(1965—),女,博士,教授,Email:luckxysy@qq.com

率进行统计分析,发现70%的问题可以通过远程监控系统进行维护和维修。因此实现污水处理厂的远程监控维保是势在必行的^[2]。

本文设计了基于工业物联网的无线远程监控系统,为解决污水处理厂远程维保问题提供了一个最佳解决方案。通过采用工业物联网智能网关,融合多传输协议搭建工业云平台,实现网络覆盖面广以及实时在线^[3]。所以,利用工业物联网技术设备互联互通的特点,对离散的污水处理厂及污水处理装置进行监控产生了巨大的数据分析优势。

1 工业物联网技术核心

工业物联网是将物联网技术应用到工业中的一门新兴科学技术。工业物联网深度融合了物联网、互联网、HMI(人机交互)、云计算、大数据等智能技术,在信息交互上达到了工业级标准。工业物联网是一种网络物理系统,集成计算机软件、硬件以及物理设备,能够感知物理世界的变化情况,是实现网络与设备之间亲密互动的智能系统。

以制造企业生产过程执行系统(manufacturing execution system, MES)、数据采集与监视控制系统(supervisory control and data acquisition, SCADA)以及工业互联通讯技术为核心,构建分布式污水处理厂信息组态网络结构,采集污水处理过程中需要的数据,数据的采集包括数字量I/O和模拟量I/O。数字量主要包括进水泵、格栅、沉砂池、沉淀池、浓缩池、排泥池、回流污泥泵、曝气池、污泥处理及紫外线消毒池等^[4],即每道工序所涉及的工艺数据。模拟量主要包括进水出水量、COD(chemical oxygen demand)被氧化的还原性含量、NH₃N氨氮含量、总氮含量、总磷含量等数据^[5]。采集的这些数据通过PLC传输至工业物联网智能网关模块,然后通过互联网将数据发送至云端服务器,这样可以实现具有权限的无范围约束的远程监控^[6]。

2 系统工艺流程及设计方案

2.1 污水处理工艺

城市污水处理厂污水处理技术采用MBR(membrane bio-reactor)曝气生物滤池工艺。具体流程如下:城市污水首先经过粗格栅将污水中体积较大的物质去除,然后污水注入提升泵房的集水池,通过提升泵将污水注入沉砂池。在沉砂池

中沉淀下来的污泥和细小沙粒进入污泥池,经过除臭间(污泥脱水间)处理后将干泥外运。经过沉砂池的污水流入气浮池,将浮于表面的杂质去除,流入生化池,通过曝气对有机物进行降解和硝化处理。生化池的污水流入MBR膜池,通过MBR技术对污水进行过滤,过滤完成后,流入紫外线消毒池,完成消毒,水可以正常排放。其工艺流程如图1所示。

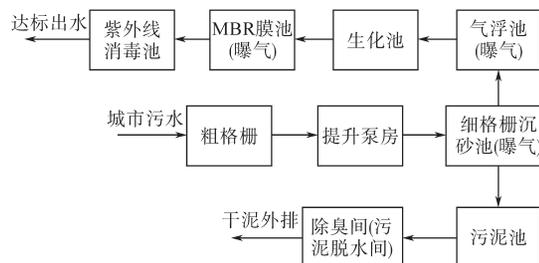


图1 MBR曝气生物滤池工艺流程
Fig.1 Membrane bio-reactor aerated biological filter process

2.2 系统网络配置方案

本方案中工业物联网智能网关通过串口或以太网接口与PLC或其他控制器进行连接,并通过无线4G通信网络、网线接入、Wi-Fi等通讯方式将数据传输至阿里云平台上。在云平台上可进行数据采集、监控组态、报警设置、曲线查询、统计分析等功能的部署,使用者可在远端计算机或者手机上通过Web或APP方式进行访问、查询、监控相关数据。并可以在云端计算机上通过远程维护客户端远程连接PLC,进行上下载、修改程序等操作。系统的网络配置结构图如图2所示。

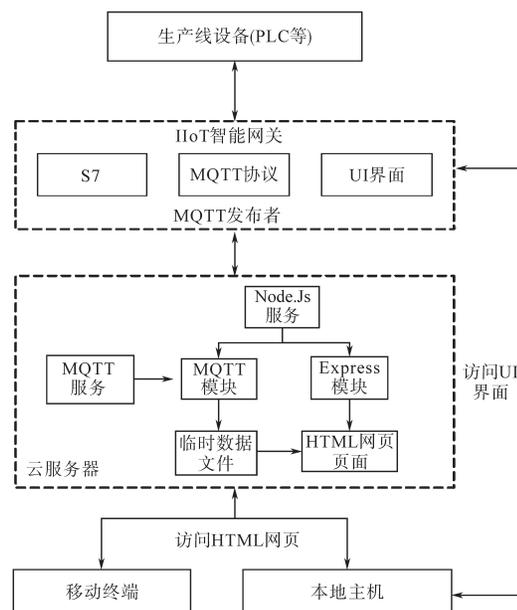


图2 系统网络配置结构图
Fig.2 System network configuration structure

2.3 技术路线

利用PLC稳定性能好、执行效率高的特点,收集污水处理过程中的各开关量、模拟量。采用梯形图进行逻辑编程,对进、出水阀等元件进行控制,将采集的各种数据进行处理,通过智能网关传至云服务器。在云平台上利用接收的数据建立数据库,采用云计算通过最优控制算法建立最优节能分析模型。同时结合污水处理设备和工艺参数进行综合决策,将决策结果以指令方式发送至底层PLC,实现污水处理过程中的闭环控制,达到节能降耗的目的^[7]。技术路线图如图3所示。

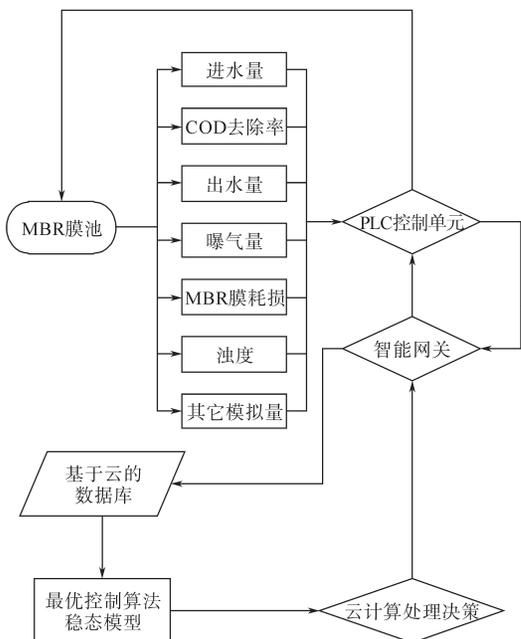


图3 技术路线图

Fig.3 Technology roadmap

2.4 设计实现目标

本设计方案可实现使用者远程随时随地对生产现场、设备的情况进行监控,并对现场突发情况做出相应操作。设备运维时,可远程对设备的状况进行查看,并可对一些参数、程序进行远程修改。一些非硬件性故障可以不用到达现场即可解决,为分布范围较广较偏僻的污水处理厂节省维护费用。并且硬件故障也可从远程监控数据中分析得出具体原因,相对于到达现场维护有更好的针对性,节省维护时间。

采用云平台搭建数据库,可以为污水处理厂的使用者提供数据预测^[8]。通过数据预测未来水处理情况的趋势,为水厂带来更快的响应速度、更高的效率、更低的成本及更具远见的洞察力。

3 云平台的通讯实现

3.1 云平台网络通讯设计

本方案采用阿里云作为云端服务器。阿里云与西门子的工业物联网网关兼容性好,采集西门子PLC在稳定性上较其它云服务器要好^[9]。

3.1.1 使用Node-red, MQTT和IO模块

Node-red可视化“流”编辑器,是一种基于“流”的编程工具,它有一个可视化编辑器,允许将节点连接在一起创建流。Node-red擅长于快速应用程序开发,并充当连接事件到动作,或传感器到执行器的粘合剂。

配置Node-red IO节点,打开Node-red编程界面选择“intel_gpio digital input”节点,并拖拽至编辑面板中,双击该节点,选择合适的IO管脚及中断触发模式,如图4所示。

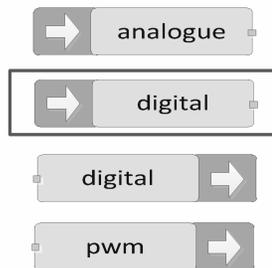


图4 配置Node-red IO节点

Fig.4 Configuring a Node-red IO node

配置Node-red MQTT节点。首先选择“MQTT output”节点,并拖拽至编辑面板中,双击该节点,点击编辑按钮,添加新的MQTT-broker,填写MQTT-broker信息,填写MQTT节点信息,连接两个节点,点击Deploy按钮,部署Node-red程序。

3.1.2 云平台数据连接及传输

注册阿里云账号,在阿里云中ECS服务器上安装Linux系统,安装完成后使用PuTTY登录阿里云ESC服务器,如图5所示。



图5 登录ECS服务器

Fig.5 Login ECS server

安装Mosquitto, Mosquitto 是一款开源的MQTT-broker,在本应用案例中将使用Mosquitto

作为 MQTT-broker。Mosquitto 的最新版本为 1.4.14。

在 PuTTY 中输入以下命令进行编译安装:

```
wget http://mosquitto.org/files/source/mosquitto-1.4.14.tar.gz
tar zxvf mosquitto-1.4.14.tar.gz
cd mosquitto-1.4.14
make
make install
```

安装完成之后,在 PuTTY 中运行 `mosquitto -v` 命令,即可启动 Mosquitto 通讯管理界面。在 Node-red 的编辑面板中,可以看到“MQTT output”节点已经成功的连接至阿里云中的 MQTT-broker。

3.1.3 云平台数据订阅及使用数据

MQTT 采用发布者/订阅者的模式工作。在本应用案例中,Node-red 作为发布者向 MQTT-broker 发布传感器数据。Python 应用作为订阅者向 MQTT-broker 订阅传感器数据。在 Python 中,paho-MQTT 是一款优秀的 MQTT 客户端扩展库。在本应用案例中,将采用 paho-MQTT 作为 MQTT 客户端用于向 MQTT-broker 订阅数据。在 PuTTY 中运行 `pip install paho-mqtt`,即可安装 paho-MQTT。

结合 flask 的 Python 应用部分程序代码如下:

```
from flask import Flask, render_template, request
import json
import paho.mqtt.client as mqtt
MqttData = {
    "path1": 0,
    "path2": 0
}
def on_connect(client, userdata, flags, rc):
    # subscribe topic
    client.subscribe("path1")
    client.subscribe("path2")
def on_message(client, userdata, msg):
    # parse json message
    topic = msg.topic
    print topic
    if topic == "path1":
        MqttData['path1'] = MqttData['path1'] + 1
    elif topic == "path2":
```

```
        MqttData['path2'] = MqttData['path2'] + 1
    print MqttData
def create_app():
    # mqtt part
    client = mqtt.Client()
    #client.username_pw_set(username, password)
    client.on_connect = on_connect
    client.on_message = on_message
    client.connect('localhost')
    client.loop_start()
    app = Flask(__name__)
    return app
application = create_app()
@app.route('/', methods = ['GET', 'POST'])
def marbledemo():
    '''
    this function is for marble demo
    '''
    if request.method == "POST":
        data = {
            'pathNum1': MqttData['path1'],
            'pathNum2': MqttData['path2']
        }
        return json.dumps(data)
    else:
        return render_template('marbledemo.html')
if __name__ == '__main__':
    # flask part
    application.run()
```

3.2 云平台人机交互监控设计

云平台人机交互监控系统充当监控人员的角色,主要实现监控功能和故障预诊断功能。本设计采用阿里云平台显示,底层监控采用的是西门子 Wincc 人机交互软件。其中阿里云平台通过 Node-red 的 UI 界面进行监控,利用其动画连接、丰富的图库以及云平台数据库的建立,实现了数据库管理和数据通信管理。同时利用阿里云平台可直接调用现场 Wincc 监控界面。监控中心主要功能如下。

3.2.1 权限管理

实现远程监控的目的是为了降低维保成本,同时利用云计算的能力存储和运算分析污水处

理过程中的数据。远程监控对于安全等级要求也是非常严格的,不同层级的操作用户设置不同的登录名和登录密码。每一个操作者有单独的操作ID和响应的操作权限,用来保障系统安全。

3.2.2 通信管理

设计通信管理界面。由于现场设备较多,并且现存各个污水处理厂所使用的通信协议不同,设计通讯选择界面,通过不同的设备序列号,选择通讯模式,如图6所示。



图6 通信管理界面

Fig.6 Communication management interface

3.2.3 设备监控界面设计

通过设备监控界面可以实时观察到设备运行状态及各个MBR膜单元运行是否良好。每个设备的运行状态均由现场PLC控制单元采集并与云端进行信息交互,云平台可通过实时显示的设备状态进行控制决策。设备监控界面如图7所示。

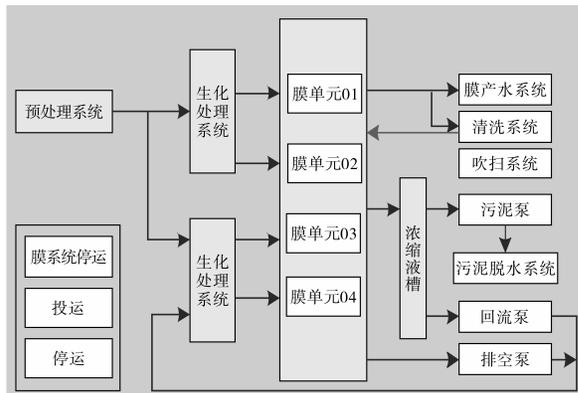


图7 设备监控界面

Fig.7 Device monitoring interface

3.2.4 数据监控

通过PLC采集数据,包括曝气空压机、进水流量计、出水流量计^[10]、汇管压力传感器开关、数字量I/O、模拟量I/O,将数据实时传送至云平台进行分析处理,并通过数据可视化的方式呈现在界面上。本设计采用的是数据表格显示以及数

据柱状图显示,方便监控人员实时查看。运行现场出现异常后,屏幕指示灯会显示不同颜色以提醒监控人员及时做出处理。数据以周期时钟记录,便于监控和管理人员查阅。实时数据组态监控如图8所示。

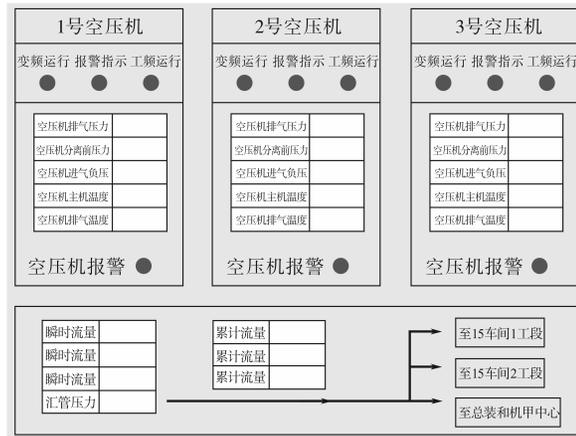


图8 实时数据组态监控

Fig.8 Real-time data configuration monitoring

3.3 改造方案前后对比

污水厂改造前运行需要雇请25名维护人员进行水质与水量监控的工作,每月定期雇请专业检修人员进行设备护理与检修,并且运行水厂需要支出高额的动力费;改造后,污水厂运行仅需雇请10名维护人员,直接通过远程监控监测水量与检测水质,完成采集数据的工作,通过计算来遥控水厂处理环节,开启更加精细化的运行模式。改造后,节省了时间与人力,大额缩减了动力与设备检修费用,大大降低了运行的成本。一年内同期运行成本对比如图9所示。

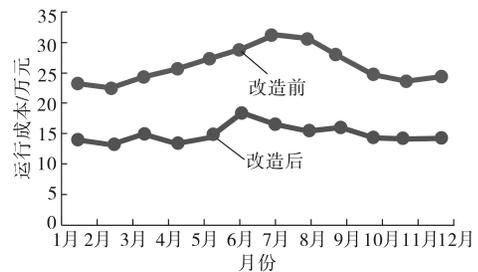


图9 运行成本对比

Fig.9 Operating cost comparison

4 结论

污水处理是现代社会的必然问题,使污水处理工艺更加智能化是污水处理厂的发展方向。工业物联网是智能制造时代的核心技术之一,利用工业物联网实现污水处理厂远程监

(下转第71页)

链定向控制策略,通过发电机建压实验、双PWM变流器并网实验数据,验证了所提控制策略的有效性。通过与传统基于 $d-q$ 旋转坐标系的SCIG转子磁链定向矢量控制比较,本文方法结构简单、物理意义明晰,特别是在微控制器代码执行效率方面有一定优势。

参考文献

- [1] Yaramasu V, Wu B, Sen P C, *et al.* High-power Wind Energy Conversion Systems: State-of-the-art and Emerging Technologies[J]. Proceedings of the IEEE, 2015, 103(5): 740-788.
- [2] Konstantopoulos G C, Alexandridis A T. Full-scale Modeling, Control, and Analysis of Grid-connected Wind Turbine Induction Generators with Back-to-back AC/DC/AC Converters [J]. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 2014, 2(4):739-748.
- [3] Tan K H. Squirrel Cage Induction Generator System Using Wavelet Petri Fuzzy Neural Network Control for Wind Power Applications[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2016, 31(7):5242-5254.
- [4] 王晗,王鹏,张建文,等.鼠笼型全功率风电变换器控制策略研究与实验[J].电力电子技术,2011,45(6):1-3.
- [5] Mesemanolis A, Mademlis C, Kioskeridis I. Optimal Efficiency Control Strategy in Wind Energy Conversion System with Induction Generator[J]. IEEE Journal of Emerging & Selected Topics in Power Electronics, 2013, 1(4):238-246.

- [6] Singh B, Murthy S S, Gupta S. STATCOM-based Voltage Regulator for Self-excited Induction Generator Feeding Non-linear Loads[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2006, 53(5):1437-1452.
- [7] 卢子广,王森,胡立坤,等.分布式发电并网逆变器的虚拟电机自然坐标控制[J].中国电机工程学报,2014,34(36):6435-6441.
- [8] Holtz J. Sensorless Control of Induction Motor Drives[J]. Proceedings of the IEEE, 2002, 90(8):1359-1394.
- [9] Leonhard W. Control of Electrical Drives[M]. Berlin: Springer-Verlag, 2001.
- [10] 赵仁德,王永军,张加胜.直驱式永磁同步风力发电系统最大功率追踪控制[J].中国电机工程学报,2009,29(27):106-111.
- [11] Stojic D, Milinkovic M, Veinovic S, *et al.* Improved Stator Flux Estimator for Speed Sensorless Induction Motor Drives [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2015, 30(4): 2363-2371.

收稿日期:2019-01-10

修改稿日期:2019-04-10

(上接64页)

控,实现在远端计算机或手机上监控设备运行相关数据,包括数据采集、监控组态、报警设置、曲线查询等功能。不仅解决了偏远地区的污水厂维保困难、维护成本高等问题,同时利用远程可视化充分提高了污水处理效率,实现了分散的“无人化”污水处理厂。通过数据库存储数据,解决了以往人工记录准确率低等问题,实现集中化数据分析管理,保证污水处理企业的集中化管理,具有巨大的经济和社会价值。本方案采用阿里云作为云平台,需要一定的平台维护费用,但对于污水处理厂远程维保的成本来说相对较低,节省了生产成本。

参考文献

- [1] 栢莺.我国水务市场规模到底有多大?[EB/OL].[2017-10-30]. https://www.xianjichina.com/news/details_53410.html.
- [2] 常辉.分布式污水处理监控系统的研制[D].安徽:合肥工业大学,2009.
- [3] 远程运维的大数据创新应用——数网星[EB/OL].[2017-02-

20]. http://www.sohu.com/a/126690641_615868.

- [4] 陈其伟,孙一兵,许光眉,等.基于物联网的太阳能农村污水处理技术应用[J].水处理技术,2015,41(6):116-118,122.
- [5] Jiri Skovranek, Martin Pies, Radovan Hajovsky. Use of the IQRf and Node-red Technology for Control and Visualization in an IQMESH Network[J]. IFAC PapersOnLine, 2018, 51(6):211-212.
- [6] 李明河,郭建忠,王健.基于GPRS的村镇污水处理远程监控系统设计[J].控制工程,2017,24(4):799-803.
- [7] 刘琪.污水处理厂远程监控系统的构建分析[J].居舍,2018,42(25):201-202.
- [8] 余蕊蕊,王丽香,郭新超,等.污泥龄对好氧MBR处理黄姜皂素厌氧出水影响[J].水处理技术,2018,44(7):69-73.
- [9] 王海.切入西门子MindSphere阿里云工业物联网再下一城[EB/OL].[2018-07-09]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1605521123258777194&wfr=spider&for=pc>.
- [10] 谢碧峰.控制网在自来水厂中的应用[J].水处理技术,2001,31(2):118-120.

收稿日期:2018-12-13

修改稿日期:2019-04-20