

氧化环境工艺中反硝化反应智能模糊控制器的模拟研究

余 淼*, 丁廷发

(重庆三峡职业学院, 重庆 404155)

摘要:以控制工程原理为基础,利用模糊-PID控制算法对液位控制数学模型进行分析,并以某污水处理厂的液位控制为研究对象,以进水流量为控制参数,将模糊-PID控制运用其中,通过液位控制对进水量进行调节,对该控制算法是否符合实际运行工况进行验证。结果表明,在液位控制系统使用前,由人工对进水量进行控制,造成液位、进水量具有较大的波动,其中液位最小值和最大值变化范围接近49.5%,液位具有较大的变化范围,并有最大值、最小值出现。在使用液位控制系统后,液位幅度变化趋缓显著,波动基本在设定参数范围内,进水量比使用前有非常大的改善,总体变化平稳,液位误差控制范围在9.5%左右,未有较大的波动出现,表明模糊-PID液位控制系统的鲁棒性、稳定性较好,控制效果达到了预期。

关键词:反硝化;模糊控制器;液位控制;仿真

中图分类号:X703.1

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2018)02-0206-04

DOI:10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2018.02.050

Simulation study of intelligent fuzzy controller for denitrification in oxidation process

YU Miao*, DING Ting-fa

(Chongqing Three Gorges Vocational College, Chongqing 404155, China)

Abstract: The mathematical model of liquid level control is analyzed by using the fuzzy-PID control algorithm based on the principle of control engineering. The fuzzy -PID control is applied to study the liquid level control in a sewage treatment plant by taking the influent flow as control parameter. Adjusting the influent amount by controlling liquid level is used to verify whether this fuzzy-PID control algorithm can meet the practical operational working condition or not. The results show that without liquid level control system, manual control on influent amount can cause both the level and influent amount to fluctuate greatly with the minimum and maximum of level varying in the range close to 49.5%, reflecting that the liquid level can change in a large range and will have the maximum value and the minimum value. After the use of liquid level control system, the varying amplitude of liquid level moderates significantly, basically in the setting parameter range. The influent amount appears a great improvement with smooth changes in overall and the error control locates in the range of 9.5% or so, without large fluctuations. It represents that the fuzzy-PID water level control system has good robustness and stability and can achieve the expected control efficiency.

Key words: denitrification; fuzzy controller; liquid level control; simulation

废水脱氮是根据生物脱氮原理,将废水中有机氮转化为氨氮,再通过硝化反应,将氨氮转化为硝态氮,然后经过反硝化反应将硝态氮进行还原,使其形成气态氮,然后逸出,达到废水脱氮^[1]。若废水中的氮仅为硝态氮,则通过反硝化作用可完成脱氮。反硝化反应指的是在硝化过程中,通过反硝化菌作用,产生的亚硝酸盐或硝酸盐被还原成气态氮的过程^[2]。在进行污水处理时,过程自动化控制包括优化微生物生长环境、微生物新陈代谢水平,提高系统稳定性和可靠性,降低水厂维护成本,水质排放达到标准^[3-6]。目前,在现代污水处理控制系统中,核心是自动控制系统的智能仪器仪表^[7]。欧美等国家污水自动化处理水平较高,研究污水生化处理过程的控制也较多,与发达国家相比,我国还有一定的

差距^[8]。

本文中以控制工程原理为基础,利用模糊-PID控制算法对液位控制数学模型进行仿真、分析,并以某污水处理厂的液位控制为研究对象,以进水流量为控制参数,将模糊-PID控制运用其中,通过液位控制对进水量进行调节,对该控制算法是否符合实际运行工况进行验证。

1 同步硝化反硝化技术

同步硝化反硝化是指硝化反应、反硝化反应同时发生,在一个反应器中,好氧环境和缺氧环境同时存在时,硝化过程、反硝化过程能同时进行。同步硝化反硝化过程能够在生物滤池、流化床、生物转盘生物膜系统中发生。生物脱氮工艺需要经过硝化过

程、反硝化过程。

2 模糊-PID 控制

在污水池,液位变化随时发生,液位系统特点是滞后性与时变性,常规 PID 的缺点是波动较大、超调量大、参数调整复杂等,液位控制系统若使用常规 PID,控制精度可能较低。对于模糊控制而言,不依赖于数学模型,可根据实际操作经验,完成控制,对于非线性、时变的、复杂的系统能够适用。将常规 PID 控制器和模糊控制器进行并联控制,从而建立液位模糊-PID 控制系统。图 1 为模糊-PID 控制器工作原理。

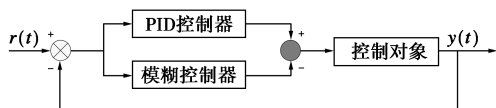


图 1 模糊-PID 控制器工作原理

2.1 模糊控制器语言变量

模糊控制器的模糊变量有 3 个,即液位变化率 (EC)、液位差 (E)、控制泵的变频器输出频率 (U)。输入模糊变量为 E 和 EC ,输出模糊变量为 U ,模糊控制器通过 PLC 编程得到实现。

2.2 模糊论域和隶属函数

根据污水厂实际运行的液位变化情况,3 个控制变量的论域量化包括液位差变量 EC 隶属度的选择、液位变化率变量的建立、输出液位变量 U 赋值表。

2.2.1 液位差变量 EC 隶属度的选择

液位差 E 为 $\{-5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4,$

$5\}$,即 6 档 11 级,模糊子集语言值选取为 $\{NB$ (负大), NM (负中), NS (负小), PS (正小), PM (正中), PB (正大) $\}$;液位变化率 EC 为 $\{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$,即 5 档 7 级,模糊子集语言值选取为 $\{NB$ (负大), NS (负小), Z (零), PS (正小), PB (正大) $\}$ 。

采用三角函数,对控制变量、液位变化率进行计算。根据操作者现场工作经验,对液位差变量模糊子集 PB 、 PM 、 PS 、 NS 、 NM 、 NB 的隶属函数进行确定,同时建立模糊查变量隶属度,表 1 为液位差变量 EC 隶属度。

表 1 液位差变量 EC 隶属度

EC	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
PB	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.8	1.0
PM	0	0	0	0	0	0	0.2	0.8	1.0	0.8	0.2
PS	0	0	0	0	0.2	0.8	1.0	0.8	0.2	0	0
NS	0	0	0.2	0.8	1.0	0.8	0.2	0	0	0	0
NM	0.2	0.8	1.0	0.8	0.2	0	0	0	0	0	0
NB	1.0	0.8	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0

2.2.2 液位变化率变量的建立

基于偏差 e 液位变量 E 选取原理,在 EC 隶属度表中,选取 EC 论域 $Y = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$ 为偏差变化率 e 的语言变量,选取 EC 的语言值为 $\{PB, PS, Z, NS, NB\}$ 。在模糊子集 $\{PB, PM, PS, NS, NM, NB\}$ 的隶属函数确定后,进行液位变量 EC 隶属度的建立。表 2 为液位变化率变量 EC 隶属度。

(上接第 205 页)

在优化条件下,得到塔顶采 α -紫罗兰酮(或替代物质 A)质量分数为 68% 以上,塔底采出 β -紫罗兰酮(或替代物 B)的质量分数为 95% 以上。2 种方法所得结果相近,且符合生产目标,精馏操作参数也基本符合生产条件。这为后期 α -紫罗兰酮和 β -紫罗兰酮精馏分离的进一步研究和精馏塔设计提供了可靠的数据依据,并验证了在 Aspen 数据库缺少物质时,使用替代物质法和物性估算法进行模拟的可行性和可靠性。

参考文献

[1] Kashid M N, Yuranov I, Raspail P, et al. Cyclization of pseudo ionone to β -ionone: Reaction mechanism and kinetics [J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2011, 50(13): 7920-7926.

[2] 沈润涛,胡四平,宋小华,等.由 α -环柠檬醛直接缩合制备 β -紫罗兰酮的研究[J].高校化学工程学报,2011,25(3):538-542.

[3] 李国祥,孟霞,艾萍,等.醋酸纤维素非对称膜的制备及对 α -、 β -紫罗兰酮的分离研究[J].化工科技,2008,16(1):5-7.

[4] 袁联群,董瑾,孟建良,等.从生产 β -紫罗兰酮的精馏副产物中分离回收 β -紫罗兰酮[J].上海应用技术学院学报:自然科学版,2004,4(4):290-293.

[5] 程劼,谢建春,孙宝国.超临界 CO_2 流体色谱分离 α -紫罗兰酮和 β -紫罗兰酮[J].食品与发酵工业,2008,34(10):10-12.

[6] 戚一文,方云进.物性估算在 ASPENPLUS 软件中的应用[J].浙江化工,2007,38(1):9-11.

[7] Eckert E, Vaněk T. New approach to the characterization of petroleum mixtures used in the modeling of separation processes [J]. Computers & Chemical Engineering, 2005, 30(2): 343-356.

[8] 孙兰义.化工过程模拟实训: Aspen Plus 教程 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.

[9] Vetere A. A simple modification of the NRTL equation [J]. Fluid Phase Equilibria, 2000, 173(1): 57-64. ■

表 2 液位变化率变量 EC 隶属度

EC	-3	-2	-1	0	1	2	3
PB	0	0	0	0	0	0.3	1.0
PS	0	0	0	0	0.3	1.0	0.3
Z	0	0	0.3	1.0	0.3	0	0
NS	0.3	1.0	0.3	0	0	0	0
NB	1.0	0.3	0	0	0	0	0

2.2.3 输出液位变量 U 赋值表

基于 EC 赋值表和液位变量 E 的原理,对液位变量 U 的论域可进行选择,得到 $\{-5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5\}$,语言值选取为 $\{PB, PM, PS, Z, NS, NM, NB\}$ 。在模糊子集 $\{PB, PM, PS, Z, NS, NM, NB\}$ 的隶属函数确定后,可进行液位控制变量 U 的隶属度的建立。表 3 为液位控制变量 U 的隶属度。

表 3 液位控制变量 U 隶属度

EC	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
PB	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.8	1.0
PM	0	0	0	0	0	0	0.2	0.8	1.0	0.8	0.2
PS	0	0	0	0	0.2	0.8	1.0	0.8	0.2	0	0
Z	0	0	0	0.2	0.8	1.0	0.8	0.2	0	0	0
NS	0	0	0.2	0.8	1.0	0.8	0.2	0	0	0	0
NM	0.2	0.8	1.0	0.8	0.2	0	0	0	0	0	0
NB	1.0	0.8	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0

根据模糊-PID 控制仿真得到仿真曲线,图 2 为模糊-PID 控制仿真曲线。

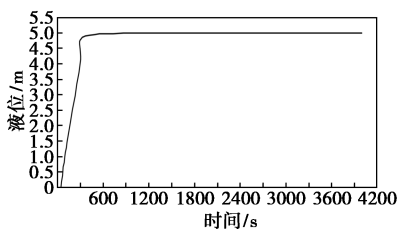


图 2 模糊-PID 控制仿真曲线

由图 2 知,液位在 $T=505$ s 时达到设定值,明显超调未出现,具有良好的稳定性。当控制结构和对象参数发生变化时,模糊-PID 控制鲁棒性和适应能力较好,控制精度良好,动态响应速度快,结合了模糊控制和 PID 控制的优点,控制效果响应时间短、超调量小、稳态精度高。

3 液位控制系统的应用实例

3.1 某污水处理厂概况

某污水处理厂是一个城市污水综合治理项目,属于中水回用工程,主要用于厂区河道补给、城市景

观用水、绿化灌溉。设计工艺为 AAO 法,该污水处理厂的剩余污泥在排入贮泥池后进入脱水机房,通过加入絮凝剂,在经过脱水机的浓缩和脱水后,泥饼的含水率小于 80.5%,出厂的水质指标均达到了《污水综合排放标准》二级排放标准。

3.2 污水处理厂工艺流程

该污水处理厂 AAO 生物脱氮除磷工艺可去除悬浮固体、一般有机物、磷和氮等营养物质,图 3 为 AAO 生物脱氮除磷工艺流程。

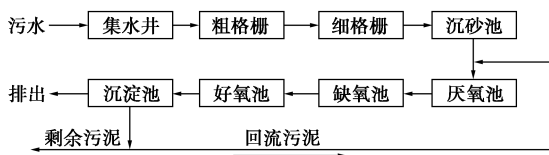


图 3 工艺流程图

由图 3 知,进厂的污水通过厂内集中水井进行收集,粗格栅对污水中大的漂浮物进行截留,潜水泵提升污水,依次进入细格栅、旋流沉砂池,在较大漂浮物、无机颗粒去除后,进入生物反应池,通过厌氧池、缺氧池、好氧池,完成有机污染物的降解,同时去除污水中磷和氮等有机营养物。经生物处理后,泥水混合物进入沉淀池,分离泥水后,将水排出,回流泵将污泥回流到生物池。

3.3 液位控制系统的组成

该污水处理厂液位控制系统组成主要包括软件部分、硬件部分。硬件部分包括变频器、PLC、离心式潜水泵、液位计;软件部分包括编程软件 CX-programmer、组态软件 RSView32。

3.3.1 离心式潜水泵

水泵为国产离心泵,主要组成包括泵体、叶轮、轴承、泵轴、填料函、密封环等。离心泵的核心是叶轮,工作原理是在启动泵时,叶轮进行高速运转,在叶轮中央,有真空状态形成,通过离心力的作用,污水沿着叶轮飞出,在叶轮中央为真空状态,由此不断将污水带出。

3.3.2 变频装置

变频装置为 Altivar 61 异步电机变频器,由施耐德公司生产。目前,常用控制过程参数方法有调节水泵转速、调节阀门开度。对于离心泵来说,泵转速和液体流量呈正比,泵转速的平方和压力呈正比,泵的转速 3 次方和轴功率呈正比。同时,调节阀门会提高系统压力,阀门、泵体密封性能会遭到破坏,通过调节转速会降低系统压力,从节能效果及保护设备考虑,调节水泵转速优势更大。

3.3.3 PLC

硬件 PLC 由欧姆龙公司生产,为模块式结构,主要包括电源、CPU、I/O 扩展方式、底板。特点是指令范围广、处理速度快、网络智能化高、软硬件兼容性好、协议宏功能强等。

3.3.4 液位计

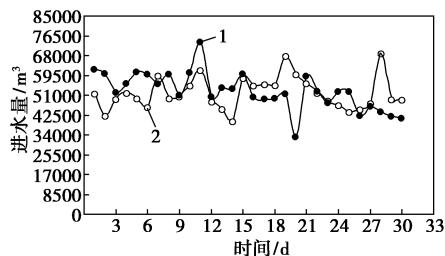
超声液位计为 E+H 公司生产,该液位计可测量块状物料物、颗粒尺寸大于 4.2 mm 的散粒固体的非接触性、连续液体。优点包括材料特性关系对其影响较小,测量方式为非接触性;温度传感器内置,能修正外部温度,外界温度发生变化时仍可提供准确测量值,液体最大测量范围为 7.5 m,固体为 4.0 m。

3.4 液位控制系统的实现

液位控制系统采用模糊-PID 控制算法,通过欧姆龙 PLC 子程序得到实现,主要完成查询控制量、计算 E 值和 EC 值、完成模糊控制量到精确控制量的转化,同时将其输出到 PID 控制器上。在程序开始时,超声波液位计测得的液位值由 PLC 获取,在取样时间内,进行液位偏差变化率、偏差量的计算,同时分别乘以各自量化因子,并将其转化为论域中的值,然后进行判断。

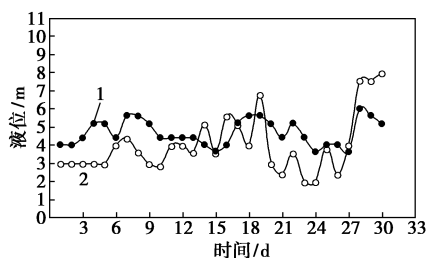
3.5 液位控制系统的应用效果

由图 4 和图 5 知,在液位控制系统使用前,由人工对进水量进行控制,这就造成液位、进水量具有较大的波动,其中液位最小值和最大值变化范围接近 49.5%,液位具有较大的变化范围,并有最大值、最小值出现。这主要是由于在人工控制时,具有一定的滞后性和随意性,在使用液位控制系统后,液位幅度变化趋缓显著,波动基本在设定参数范围内,就进水量而言,变化比使用前有非常大的改善,进水量总体变化平稳,人工控制滞后性、随意性缺点基本得到克服,确保了液位控制系统的稳定。从进水量和液位的变化趋势可以看出,在设定值周围,液位基本稳定,控制误差范围在 9.5% 左右,进水量也比较平稳,未有较大的波动出现,表明模糊-PID 液位控



进水量:1—未使用系统;2—使用系统

图 4 液位系统使用前后的进水量比较



液位:1—未使用系统;2—使用系统

图 5 液位系统使用前后的液位的比较

制系统的鲁棒性、稳定性较好,控制效果达到了预期。

4 结语

以控制工程原理为基础,利用模糊-PID 控制算法对液位控制数学模型进行仿真、分析,并以某污水处理厂的液位控制为研究对象,以进水流量为控制参数,将模糊-PID 控制运用其中,通过液位控制对进水量进行调节,对该控制算法是否符合实际运行工况进行验证。结果表明,在液位控制系统使用前,由人工对进水量进行控制,造成液位、进水量具有较大的波动,其中液位最小值和最大值变化范围接近 49.5%,液位具有较大的变化范围,并有最大值、最小值出现。在使用液位控制系统后,液位变化幅度趋缓显著,波动基本在设定参数范围内,进水量比使用前有非常大的改善,进水量总体变化平稳,液位误差控制范围在 9.5% 左右,未有较大的波动出现,这表明模糊-PID 液位控制系统的鲁棒性、稳定性较好,控制效果达到了预期。

参考文献

- [1] 王巍. 污水处理同步硝化反硝化研究[J]. 科技资讯, 2012, (6): 132-134.
- [2] 李贺, 袁林江. 污水中不同 COD 组分下 A/O 脱氮工艺的反硝化效率[J]. 环境工程学报, 2015, 9(4): 1613-1620.
- [3] 王艳青. 移动式一体化污水处理设备的研究进展和展望[J]. 环境保护与循环经济, 2014, 34(11): 40-42.
- [4] 黄俊勇. 基于化 C 的污水处理控制系统[J]. 电气传动自动化, 2012, 34(4): 42-44.
- [5] 王辉. 基于西口子 WinCC 的污水处理监控系统设计[J]. 自动化应用, 2015, (9): 87-88.
- [6] 王静. 污水处理曝气过程的智能融合控制技术[J]. 西南大学学报, 2012, 34(7): 120-124.
- [7] Aboud A R, Bao J, Du J. Non-biodegradable landfill leachate treatment by combined process of agitation, coagulation, SBR and filtration[J]. Waste Management, 2014, 34(2): 439-447.
- [8] 石裕浪. 基于模糊 PID 控制的 SBBR 分散式污水处理工艺控制系统研究[D]. 武汉: 武汉纺织大学, 2014. ■