

· 计算机技术 ·

基于节能的鼓风曝气系统溶解氧稳定智能控制方法

赵冬泉^{1,2} 佟庆远² 李 宁² 陈吉宁¹

(1 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084; 2 北京清华城市规划设计研究院, 北京 100084)

摘要 目前,国内大多数采用活性污泥法的城市污水处理厂的曝气控制系统普遍存在着溶解氧浓度波动大、曝气量冗余大、曝气单元能耗高等问题。介绍了一种基于气量动态变化反馈控制原理与 PID 反馈控制原理的鼓风曝气系统溶解氧稳定智能控制方法,该方法可以使曝气池适应污水处理厂进水水量和水质的变化,保持溶解氧浓度的稳定,对污水处理厂稳定安全的运行和降低系统能耗均有显著效果。该方法对于采用鼓风曝气的活性污泥法工艺具有良好的普适性和有效性,并在实际应用中取得了很好的效果。

关键词 城市污水处理厂 鼓风曝气系统 溶解氧 自动化控制 智能控制 节能降耗

Intelligent control of dissolved oxygen concentration in energy saving-based blast aeration system

Zhao Dongquan^{1,2}, Tong Qingyuan², Li Ning², Chen Jining¹

(1. Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. Urban Planning & Design Institute of Tsinghua, Beijing 100084, China)

Abstract :Most blast aeration systems in municipal wastewater treatment plants using activated sludge treatment technique have problems such as fluctuation of dissolved oxygen concentration, aeration rate redundancy and higher energy consumption for unit aeration. This article presents an intelligent control method based on feedback control mechanism of air dynamic variation and PID control method that stabilizes the dissolved oxygen concentration in blast aeration system. This approach allows the aeration tank to be adapted to the fluctuation of influent quantity and quality, which maintains a stable concentration of dissolved oxygen. As a result, it has remarkable effects for steady and safe operation of wastewater treatment as well as energy saving. This approach can be applied to blast aeration with activated-sludge technique universally, and has been proved to be very effective in practical application.

Key words :Municipal wastewater treatment plant; Blast aeration system; Dissolved oxygen concentration; Automatic control; Intelligent control; Energy saving

0 引言

在当前污水处理领域中,活性污泥法是应用最为广泛的处理工艺之一,该工艺以曝气池为核心处理设备,在曝气作用下,曝气池混合液得到足够的溶解氧并使存活在活性污泥上的微生物降解有机物,使污水得到净化^[1]。其中,曝气池中溶解氧浓度的

稳定控制是提高城市污水处理厂生化单元运行效率、保持污水处理厂出水水质达标、降低曝气系统能耗的必要条件。曝气池中溶解氧浓度的高低直接影响有机物的去除效率,并在活性污泥法污水处理过程中影响活性污泥的生长,也是影响运行费用和出水水质的重要因素,所以在活性污泥法处理系统的

运行中溶解氧浓度是过程控制的重要控制参数^[2]。在污水处理过程的不同工况下(如:进水水量、水质发生变化、供气系统管压发生变化、环境温度发生变化等),对曝气池各段分支供气管道上的阀门的开度进行快速有效的调节,保持溶解氧的稳定,对工艺的过程控制和降低曝气单元的能耗具有重大的现实意义^[3~6]。

现有技术中的控制方法不能实现在污水处理厂进水水量和水质时刻发生变化的过程中,保持曝气池溶解氧浓度的稳定,因而影响污水处理厂的处理效率、增大曝气系统的能耗。本文介绍了一种基于气量动态变化反馈控制原理^[7]与PID(比例-积分-微分)控制方法^[8]的鼓风曝气系统溶解氧稳定智能控制方法,并将该方法应用于实际污水处理厂的曝气单元,取得了良好的控制效果。

1 现有控制方法

目前,国内大多数以活性污泥法为处理工艺的城镇污水处理厂的曝气系统采用了衡量控制、溶解氧仪-阀门简单PID控制或人工就地控制。衡量控制是根据污水处理厂的进水水量、水质变化规律和工程师的经验,人为设定各个阀门的开度,并且避免进行频繁的调节。简单控制回路采用了PID进行调节控制,根据曝气池中溶解氧检测仪的溶解氧测定值与溶解氧设定值进行比较,将两者偏差通过PID运算后输出电动阀门的开度信号,然后通过阀门的行程控制器进行相应调节,进而控制池内的溶解氧浓度。人工就地控制通过操作人员对当前工艺运行情况和溶解氧测定值与设定值的偏差分析,根据经验人为对阀门开度进行调节,从而控制池内的溶解氧浓度。这三种现有控制方法存在的问题见表1。

从表1可以看出,这三种现有的方法存在明显的缺陷,不能稳定控制具有多变量、高相关、非稳态、大滞后等特点的污水处理系统中的溶解氧浓度,不能使曝气量的大小随污水处理厂进水水量和水质的变化规律而变化,从而导致曝气量与实际需气量相比冗余过大,造成曝气池内溶解氧浓度发生波动,这会对污水处理工艺的运行造成一定的干扰,并且使得曝气单元能耗较高。

2 智能控制方法

本文中讨论的鼓风曝气系统溶解氧稳定智能控

表1 现有控制方法及其存在问题

控制方法	存在问题
衡量控制	不能及时反映污水处理厂进水负荷(水量、水质)的变化;不能反映微生物生长环境的变化造成的需氧量变化;不能反映物理环境变化(如曝气盘堵塞、管压扰动、水位流速变化等)造成的需氧量变化和沿池的分布规律变化;实际供气量一般大于反应池需气量,鼓风机能耗较高
溶解氧仪-阀门简单PID控制	由于时间延迟,造成溶解氧浓度波动大;溶解氧设定值较高,过大的冗余造成生化单元能耗较高;溶解氧浓度波动造成生物环境不稳定,影响出水水质
人工就地控制	局部的阀门调节会影响其他供气支管的供气量,调节难度很大;人工控制的效果与操作人员的经验有密切关系;控制的可靠性比较低,容易产生调节过度的情况;如果进行频繁的调节,容易造成溶解氧浓度的波动

制方法是基于气量动态变化反馈控制原理与PID控制方法进行研究和开发的。PID控制原理是目前在工业过程控制领域应用最广泛的方法之一^[8],PID控制是三种控制行为的结合:比例(P)、积分(I)、微分(D)。使用PID控制可以建立在线监测仪表和在线控制执行机构之间的反馈调节关系,从而保证执行的有效性和可靠性。

气量动态变化反馈控制原理是基于对气体流量的监测和统计,实现对供气量的控制,使之符合曝气池中的实际需气量^[7]。该原理的特点如下:

(1) 通过气体流量的变化,反映曝气池由于进水量、水质而导致的处理负荷变化、曝气池中物理环境变化以及微生物生长状况的差异等因素而导致的实际所需气量的变化。

(2) 根据气体流量计的历史监测数据,对气量变化规律进行统计和校准,在一定程度上可以降低对仪器测量精度的要求。

(3) 在气体流量统计量发生变化时,及时调整PID的相关控制参数,从而适应污水处理厂的负荷变化。

(4) 各个控制单元之间建立协调联合控制机制,使得各个曝气单元的供气量差异符合曝气池中需氧量沿廊道水流方向的变化规律。

利用PID算法和气量动态变化反馈控制原理,参照图1所示的流程,可以实现曝气单元的智能控

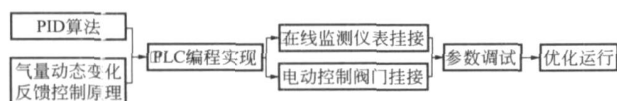


图1 智能控制方法实现流程

制。在该控制方法实施后,可以使得曝气单元适应污水处理厂进水水量和水质的变化,保持曝气池中溶解氧浓度的稳定,对污水处理厂稳定安全的运行和降低系统能耗均有显著效果。具体而言,该智能控制方法具有以下优点:

(1) 保持曝气池各段的曝气量能满足生化反应的需要,保持工艺的的稳定运行。本控制方法中各个电动阀门的开度将依靠气体流量计测定的当前值 and 变化趋势进行调节,从而使得各个供气支管的曝气量恰好能满足当前曝气池中各段生化反应所需空气量,有利于微生物种群的生长繁殖,从而保证生化单元工艺的的稳定运行。

(2) 适应城市污水处理厂进水水质和水量的变化,保持曝气池中溶解氧浓度的稳定。本控制方法中根据分布在各个供气支管上气体流量计测定值的历史统计规律,反映污水处理厂进水水质和水量变化的综合结果,并通过溶解氧测定仪的测定值进行阀门开度的修正调节,使得即使在污水处理厂进水水质和水量发生剧烈变化的情况下,曝气池中的溶解氧浓度仍然能保持稳定,测定偏差稳定在设定值 ± 0.3 mg/L。

(3) 降低曝气单元的能耗,节省曝气单元运行费用,目前的控制技术由于不能稳定地控制曝气池中的溶解氧浓度,为了保证工艺稳定运行和较好的处理效果,一般采用提高溶解氧浓度设定值的方法;而采用本系统中的方法可以降低溶解氧浓度的设定值,减少鼓风机实际输送的气体质量,从而降低曝气单元的能耗。

3 工程实例介绍

3.1 智能控制工程概况

以北京市某污水处理厂中的一个实际运行的曝气池作为研究对象,该曝气池处理能力约为 4 万 m^3/d ,池长 95 m,池中设计水深 6.5 m,其中曝气区域分为四个子区,每个子区采用 DN300 的独立空气管供气,每个子区的空气干管上安装有电动阀门,每个子区安装了溶解氧测定仪,原系统在可编程序

控制器上实现了溶解氧和电动阀门的 PID 反馈控制。参照图 1 中所示的流程,修改原系统中简单的闭环反馈控制程序,采用智能控制方法进行控制。

3.2 运行效果

在智能控制方法实施后,该曝气池第一个子区的溶解氧浓度曲线变化规律如图 2 所示,从图 2 中可以明显地看出,在控制策略为智能方法后,溶解氧的浓度被控制在一个比较稳定的水平,避免了溶解氧浓度升高到 5 mg/L 造成的供气量增加,降低了曝气单元的能耗水平。经过初步估算,该曝气池的供气量将比控制之前减少 15%~20%,如果在全厂实施该控制模式,并对鼓风机的运行状况进行优化,可以实现全厂耗电量减少 8%~10%。

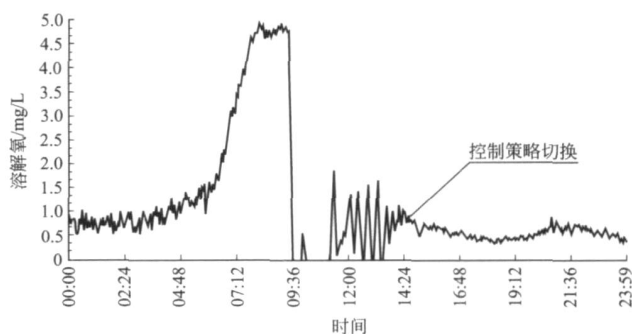


图2 溶解氧浓度在实施控制策略前后的变化

对该曝气池中第四个子区的溶解氧浓度在智能控制前后各 15 天内的逐分钟数据进行统计分析,其分布规律见图 3。从图 3 中可以看出,在实施智能控制方法后,溶解氧浓度的波动范围明显变小。溶解氧浓度的实际值在设定值 1.5 mg/L 的 ± 0.2 mg/L 内所占的比例由 32.1% 提高为 81.9%,统计规律显示溶解氧浓度的实测值明显向设定值 1.5 mg/L 集中。

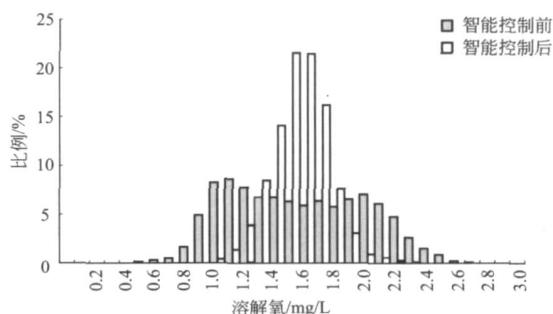


图3 智能控制前后各 15 天的逐分钟溶解氧浓度统计

将该曝气池与其他未采用智能控制方法并列处理系列曝气池的第四个子区 2007 年 12 月 8 日的溶解氧浓度变化曲线进行对比,如图 4 所示。从中可以看出,采取简单 PID 控制,会造成溶解氧浓度的波动和不稳定。而实施智能控制方法后,溶解氧浓度基本控制在设定值(1.5 mg/L)的 ± 0.3 mg/L 区间内。通过对比,说明该方法可以明显改进工艺处理的稳定性,在工程实际中可以降低溶解氧浓度的设定值,从而达到安全运行和节能降耗的目的。

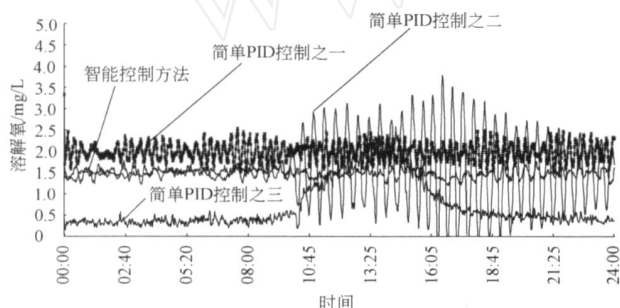


图4 并列处理系列曝气池第四个子区的溶解氧浓度对比

4 结论与建议

针对现有污水处理厂曝气单元控制方法不能实现在污水处理厂进水水量和水质时刻发生变化的过程中,保持曝气池溶解氧浓度稳定的问题,本文研究和开发了一种基于气量动态变化反馈控制原理与 PID 算法的鼓风曝气系统溶解氧稳定智能控制方法。

通过工程实例的分析发现,利用该智能控制方法,可以适应城市污水处理厂进水水质和水量的变

化,保持曝气池中溶解氧浓度稳定,保证生化单元处理工艺的的稳定运行,并且可以降低曝气单元的能耗,节省曝气单元运行费用。该工程实例的成功实施和运行,证明了本文中阐述的智能控制方法对于采用鼓风曝气的活性污泥法工艺具有良好的适用性和有效性,对于采用其他处理工艺的污水处理厂智能控制方法的研究和应用具有一定的借鉴意义。

参考文献

- 1 郭扬善.我国城市污水处理技术路线和适用技术分析.给水排水,1989,15(5):15~17
- 2 王小文.水污染控制工程.北京:煤炭工业出版社,2002
- 3 王显,吕庆兴.曝气池溶解氧浓度控制与节能.给水排水,1996,22(12):22~24
- 4 Ingildsen P, Jeppsson U, Olsson G. Dissolved oxygen controller based on on-line measurements of ammonia combining feed-forward and feedback. Wat Sci Tech, 2001, 45(4-5): 453~460
- 5 张禹卿.活性污泥系统溶解氧控制的计算机模拟研究.中国给水排水,1988,4(4):4~10
- 6 何世钧,王化祥,杨立功,等.城市污水处理系统溶解氧的控制.化工自动化及仪表,2003,30(1):36~38
- 7 陈吉宁,赵冬泉,佟庆远.一种城市污水厂曝气池溶解氧稳定智能控制方法及其装置.中国专利,200810100805.8.2008-02-22.
- 8 Olsson G, Nielsen M, Yuan Z, et al. Instrumentation, control and automation in wastewater systems. London: IWA Publishing, 2005

E-mail: zdq01@mails.tsinghua.edu.cn

收稿日期:2008-04-01

北京将投资建设生态工程

从 2008 年起至 2010 年,北京将建设 10 条生态景观大道,总长 240 km,工程总投资预计 3 亿元人民币。生态景观大道建设将以新城至中心城、新城至新城的联络线为重点。目前确定的重点建设道路包括京平、京包、西六环、机场二通道、机场南线和京承高速三期等 10 条,绿化面积将达 2 000 hm²。其中,京津高速第二通道、京津城际铁路、机场南线和京平高速公路的生态景观大道建设工程,将于 2008 年年内启动,其总长将达 138 km。

未来 3 年,北京市政府将投资 16 亿元,用于重要地表

水源区的生态建设工程。这一工程将涉及密云、怀柔 and 官厅三大水库周边及上游 15 条主要水源河道两侧的 32 个乡镇、250 个村。按照计划,这些区域将新建 19 处集中污水处理设施和 945 处小型污水处理设施;新增垃圾桶 8 384 个,垃圾站 447 处,建设库滨和河岸植物带 2 800 hm²。工程实施后,这些重要地表水源周边及上游水源河道两侧的污水和垃圾,将 100% 实现统一收集和无害化处理。

按照计划,2008 年北京还将实施 70 万农民安全饮水工程,使全市农民的安全饮水问题全部得到解决。