

污水处理厂自动控制系统的全流程策略与方法

邱 勇, 施汉昌, 曾思育, 何 苗
(清华大学 环境科学与工程系, 北京 100084)

摘 要: 污水处理厂自动控制系统是污水处理工艺稳定运行的保障, 必须适应进水负荷和生物反应的过程动态特征。分析了污水处理厂常见构筑物的运行特点和单元控制策略, 提出了基于进水负荷动态变化的全流程控制策略, 并讨论了全流程自控系统的实现途径。

关键词: 污水处理厂; 单元过程控制; 全流程控制

中图分类号: TU992 文献标识码: B 文章编号: 1000-4602(2011)02-0016-04

Strategy and Realization of Full-flow Process Control System in Municipal Wastewater Treatment Plants

QIU Yong, SHI Han-chang, ZENG Si-yu, HE Miao

(Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Automatic control system in a municipal wastewater treatment plant (WWTP) is important to ensure the stable operation of the wastewater treatment process, and it should be compatible with the dynamics of the influent variations and biological reactions. The operational features of the common facilities in a municipal WWTP as well as their unit control methods are analyzed. The full-flow process control strategy was proposed based on the dynamic influent loadings. The realization methods of the full-flow process control system are discussed.

Key words: wastewater treatment plant; unit process control; full-flow process control

我国城镇污水处理厂排放标准日趋严格, 对污水处理工艺的运行与控制提出了更高要求。良好的污水处理厂自动控制系统可以保障设备的连续稳定运行, 还可以实现节能降耗, 因此在工艺升级改造中受到关注^[1]。但是, 我国多数污水处理厂的自动控制系统目前还停留在“只监不控”或“多监少控”的状态, 还不能适应污水处理工艺升级改造的需要。

近年来, 污水处理过程控制的 ICA 技术(仪器化、控制化和自动化)开始应用于工程实践^[2]。一些大型污水厂采用泵房液位控制、溶解氧控制、化学除磷控制等技术和策略, 达到了稳定出水水质和节

能降耗的效果^[2,3]。典型案例如英国 Peel Common 污水厂的 WTOS 实时控制系统、我国上海白龙港污水厂采用的 BIOS 生物处理智能控制系统等。然而, 以上技术多为实现局部较优的单元控制技术, 且较少考虑市政排水管网对污水厂工艺运行的影响。因此, 污水厂实现全流程自动控制具有重要意义。

1 污水处理厂进水负荷的特征

污水处理厂的进水负荷可以表征排水管网污染物进入处理系统的速率和总量。进水负荷的动态变化既是排水管网的运行结果, 又是污水处理工艺的初始条件, 并且影响到污水处理各个单元的运行效

果。因此,进水负荷可以综合反映污水输送、处理和排放的全流程特征。

污水处理厂的进水负荷一般指容积负荷或污泥负荷,其动态特性表现为进水水质和水量的快速波动和长期变化。这种变化源于居民生活规律、工业废水排放、气候和地理条件等因素,且明显受到排水管网运行、提升泵站运行等的影响^[4]。根据进水负荷动态变化的来源,可以分为规律性变化和冲击性变化,其中规律性变化指进水负荷具有一定的每日周期性和季节性,而冲击性变化主要指降雨、毒性物质等引起的水量和水质突变。根据进水负荷变化的类型,可以分为水量型变化和水质型变化。我国多数污水处理厂的进水负荷主要受进水水量波动的影响,水质变化一般呈正态分布;而少数进水水量平稳的污水处理厂则受水质变化的影响较大。

为了控制不同来源和类型的负荷变化,需要采取有针对性的控制策略。如规律性负荷和水质型负荷的变化幅度较小、频率较快,可以采用反馈环节进行控制;而冲击性负荷与水量型负荷的变化则相反,其控制策略需要加入一定的前馈预测和补偿。

在识别进水负荷动态特性时,一般需要通过连续分时采样和水质检测来获取长期的进水负荷数据,然后使用统计分析、相关性分析、频谱分析和季节因素分析等数学方法进行因素提取和综合分析。

2 污水处理过程的单元控制

污水处理过程一般包括提升泵房、初沉池、生化段、二沉池、化学除磷、深度处理等单元构筑物,功能有所差别,进水负荷变化造成的影响也各不相同,因此对应的控制策略也不同。

2.1 提升泵房的运行与控制

由于排水管网实时调度的难度较大,因此提升泵房需要采取合理的提升泵编组策略,主动适应管网来水的流量变化。提升泵的选型是编组策略的决定性因素,需要综合考虑流量控制与能源效率的关系。使用多台小流量提升泵,可提高编组的灵活性,实现流量变化的平稳过渡,缺点是能源利用效率偏低。使用大流量提升泵可以提高能源利用效率,但一般需要增加变频装置来适应流量变化。

提升泵定型后,其提升水量还与格栅前液位、集水井液位和提升出口液位有一定的函数关系。提升泵编组的数学含义就是使用不同编组形成的流量分段函数逼近连续变化的管网来水流量。在工程实践

中,一般根据集水井液位进行分段控制或模糊控制,控制效果受提升泵选型、排水管网特性等影响较大。

2.2 初沉池的运行与控制

初沉池的运行比较容易受到水量波动的影响,从而改变泥层厚度和初沉出水水质。初沉池的控制参数是停留时间和排泥量,延长停留时间、降低排泥量有助于难降解有机质在初沉池泥层中的水解和发酵反应,可以提高初沉池出水的有机质浓度和易降解组分比例,多用于进水碳源含量较低的情况^[5]。初沉池的良好运行能有效降低无机组分,改善后续生化单元的进水水质,但目前还缺乏有效的在线监测设备,对相关控制技术的重视也不够。

2.3 生化处理单元的运行与控制

生化处理单元的过程参数包括曝气量和内回流等,过程特点是惯性大、滞后明显、难以精细控制。以曝气量控制为例,由于进水负荷的变化,微生物状态也时常发生变化,导致氧平衡过程的动态特性也随之多变。因此,单参数的反馈控制回路很难稳定控制溶解氧浓度,容易出现震荡、超调等现象。此外,多个调节回路之间存在较强的耦合关系,相互间的影响和干扰明显,难以达到调节目标。

目前,比较成熟的策略是以曝气量或者管道压力作为中间变量的串级反馈控制算法。串级反馈结构分离了相对快速的曝气过程和相对缓慢的氧传质与消耗过程,能较好地实现溶解氧浓度的稳定控制^[6]。此外,很多关于模糊控制、神经网络、专家系统等溶解氧控制算法的研究成果^[7],可以在工程实践中加以尝试和完善。内回流的控制与进水负荷相关,根据进水水量和水质组分特征,动态调节内回流泵,可以在一定条件下改善总氮的去除效果^[6]。

2.4 二沉池的运行与控制

二沉池的过程控制主要包括泥位、外回流和排泥量。控制二沉池泥位可以获得比较稳定的泥水分离效果,改善二沉池的出水水质。控制外回流可以改变系统内的活性污泥浓度,获得稳定的生物量或污泥负荷。控制排泥量可以改变系统的污泥龄^[6]。二沉池的控制需要和生化单元控制统一考虑,可以根据进水流量的变化,对泥位进行预警判断,对回流泵和排泥泵进行实时控制。

2.5 化学除磷过程的运行与控制

由于生物除磷过程的局限性,污水处理厂往往需要增加化学除磷单元来实现出水总磷达标。目前

一般采用恒量投加化学除磷药剂的方法,容易浪费药剂、影响污泥活性等。化学除磷控制技术包括磷负荷前馈控制技术、出水磷浓度反馈控制技术等^[6]。在控制策略方面,可以根据工艺特点选定合适的加药点,分析化学药剂的性能,然后根据磷的浓度或者负荷变化动态控制药剂的投加量。

2.6 深度处理单元的运行与控制

深度处理单元包括过滤、消毒、高级氧化等工艺,一般是成套化设备,有独立的控制系统。目前,深度处理单元的水力学控制技术(如反冲洗控制、液位控制等)比较成熟,但是在水质学控制方面尚有不足,还不能准确估计污染物的去除量。此外,如果需要在整个工艺流程的范围内合理分配污染物的去除比例,就需要全流程的统筹考虑。

3 污水处理工艺的全流程控制策略

随着城市化进程的加快和对污水处理要求的提高,越来越需要将污水的输送提升、一级处理、二级处理和深度处理视为一个流程加以系统分析和统筹考虑,这也对污水处理厂自控系统提出了全流程控制的要求。为了实现全流程控制,需要解决好以下问题:

① 进一步发展和完善单元控制技术。单元控制技术是全流程控制的基础。目前,提升泵房控制、溶解氧控制等单元过程控制技术,深度处理滤池、紫外线消毒等设备控制技术已经在大型污水处理厂开始工程应用。其他的单元控制技术(如初沉池控制、污泥浓度控制、化学除磷控制等),还需要进一步结合工程实践来提高技术的适用性。

② 提高在线仪表的可靠性,开发新型过程类仪表。在线水质测量仪表的价格昂贵、维护困难及其可靠性不足,是制约我国城市污水处理厂实时控制技术发展的因素之一。因此,需要提高在线水质仪表的质量和国产化水平,改变运行人员对在线测

定的水质数据信心不足的局面。此外,由于水质参数是状态变量,还不能快捷和直观地反映过程特征,因此还需要推广在线呼吸速率仪、在线沉降速率仪等价格低廉的新型过程类仪表,以适应过程控制的需要。

③ 研究不同系统边界的工艺优化运行策略。污水处理系统的控制策略可以分为生化单元控制、污水处理工艺优化运行和厂网联合优化运行等三个层次。不同的系统边界往往导致不同的优化结果,因此需要根据工艺分析得到的主要矛盾选取合适的边界进行研究和示范。例如,若影响出水水质不达标的主要因素是溶解氧的大幅度波动和二沉池运行的不稳定,应以生化单元为边界进行优化;若出水水质因管网来水特征多变或毒性物质影响等而不达标,则需要以厂网为整体进行研究。

全流程控制技术的路线设想见图1,虚框内容为需要研究和解决的技术问题。

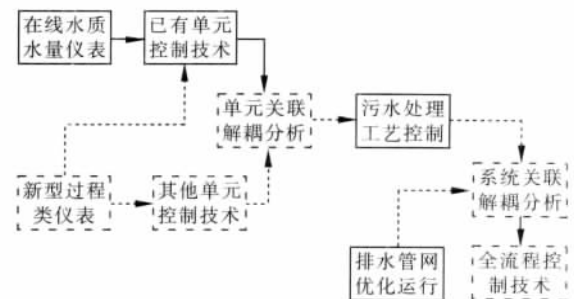


图1 实现污水处理厂全流程控制的技术设想

Fig.1 Technical requirements for full-flow process control in WWTPs

根据污水处理厂全流程控制的思想,提出基于进水负荷变化的全流程控制策略。该策略把进水负荷变化作为驱动性指标,将各个处理单元的实时控制算法串联起来,以反映各单元间的相互影响。某典型污水处理厂实现全流程控制的策略见图2。

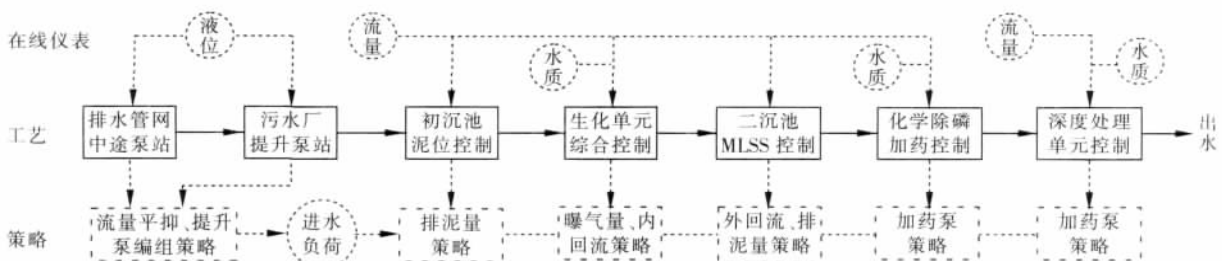


图2 基于进水负荷变化的全流程控制结构图

Fig.2 Concept of full-flow process control based on dynamic influent loadings

4 污水处理厂全流程自控系统的实现途径

污水处理厂的全流程自控系统可以通过监视控制系统或者组态中间件来实现,两种控制方式的结构如图 3、4 所示。

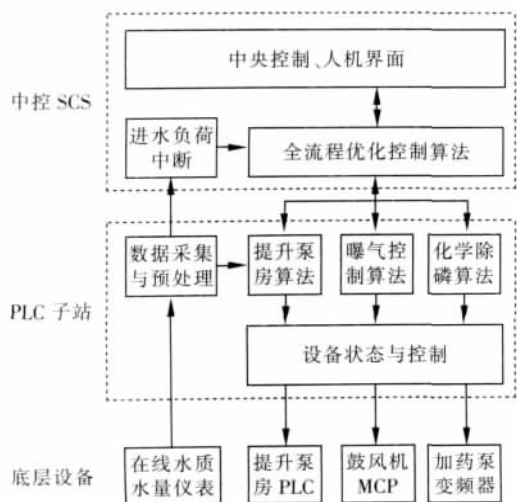


图 3 实现全流程控制的监视控制系统结构

Fig. 3 Supervising control system to realize full-flow process control in WWTPs

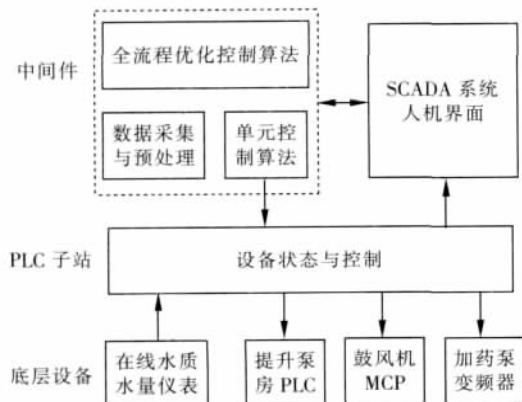


图 4 实现全流程控制的组态中间件结构

Fig. 4 Middleware configurations to realize full-flow process control in WWTPs

监视控制系统在中控计算机上实现全流程控制,在 PLC 子站中实现多数单元控制的功能。例如,根据进水负荷变化的类型和幅度,通过人机交互启动对应的全流程控制算法,相关指令送入 PLC 子站的单元控制算法,实现对设备的实时控制。监视

控制系统将全流程算法和单元控制算法分开实现,有助于提高系统的安全性和灵活性,比较适合新建工程采用。

组态中间件是一种适用于不同组态软件的通用控制平台,包括单元控制算法和全流程控制算法。中间件通过软件接口与组态软件数据库进行通讯,实现数据采集,并通过 OPC 协议与 PLC 设备通讯,实现对底层设备的控制。组态中间件对现有自控系统的改动较少,适合已有系统的升级改造。

5 结语

以动态系统和全流程的观点,统筹考虑城镇污水处理厂和市政排水管网的运行和控制,是我国污水处理技术发展的一个趋势。污水处理厂的进水负荷反映了污水输送、处理和排放系统的全流程特征,因此有必要对其动态特性进行长期和深入的研究。针对我国污水处理自控系统技术发展不足的现实,需要在深入理解污水收集系统和处理系统之间动态关系的基础上,研究和开发可靠的单元自控与全流程控制技术,为工艺的优化运行提供保障。

参考文献:

- [1] 王洪臣. 城市污水处理厂运行控制与维护管理 [M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [2] Gustaf Olsson. 污水系统的仪表、控制和自动化 [M]. 马勇等译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [3] 马勇, 彭永臻. 城市污水处理系统运行及过程控制 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [4] 龙腾锐, 冯裕钊, 郭劲松. 考虑不确定因素的污水厂日进水量预测法 [J]. 中国给水排水, 2001, 17(5): 1-5.
- [5] 郑兴灿, 李亚新. 污水除磷脱氮技术 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [6] Gustaf Olsson, Bob Newell. 污水处理系统的建模、诊断与控制 [M]. 高景峰等译. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [7] 刘建勇, 周雪飞, 薛罡, 等. 智能控制在污水处理中的应用现状及展望 [J]. 中国给水排水, 2002, 18(11): 22-25.

E-mail: qiuyong00@mails. thu. edu. cn

收稿日期: 2010-09-15