



北京卢沟桥污水处理厂

城镇污水厂节能降耗 自动控制技术

□ 北京城市排水集团有限责任公司 甘一萍 王佳伟 常江 王洪臣

控制技术在国际水协会（IWA）获得认可将近30年，现已证明，应用自动控制技术可以使具有营养物质去除功能的污水处理厂节能10%~30%。由于生物营养物去除的复杂机理不断被认识，从而加深了对工艺过程的了解，也使实现对生物营养物的控制成为可能。污水处理厂的控制技术是保证污水处理厂出水水质稳定达标、降低污水处理能耗物耗、提高城市污水厂监控水平的重要技术支撑。

本研究在分析总结已有的控制技术基础上，提出了一种新的DO和氨氮浓度控制方式，并通过在灵活性较强的5F-A²/O中试工艺上的应用，测试了控制的实际效果。

污水厂ICA技术进展

1974年在美国的Clemson市举办了一次主题为“需要进行污水处理厂自动化的研究”的讨论会，确定了开发高效可靠传感

器、开发信息收集和处理设备、开发和评价控制策略等研究方向，标志着仪表、控制和自动化技术正式成为污水处理的一个新领域，在工程上开始实施单元控制。20世纪90年代开始随着污水处理对营养物去除变得越来越普遍，使污水厂的复杂程度大大增加，推动了ICA的快速发展。营养物和呼吸仪在线传感器被成功的开发、动态模型和模拟软件在开发控制策略和污水厂性能优化方面发挥了巨大的作用、神经网络和模糊控制等控制方法变得很普遍，单元过程控制日益成熟、全厂控制获得了快速发展、出现了半自动化运行的污水处理厂。进入21世纪后，在线传感器具有更好的稳定性和可靠性，离子膜技术的应用使在线传感器可以设置在反应器的任何位置，而不是仅仅能对沉淀池出水进行监测，新型生物传感器、化学传感器、氮成分在线传感器、UV分光光度计仪表开始应用。由于出水水质标准的不断提高，促使ICA技术在污水厂的应用快速发展。营养物浓度、有机物、SS和污泥层高度在很多污水厂成功应用，由此推动了进水控制、DO控制、间歇曝

气、内循环回流和剩余污泥排放、外加碳源控制、回流污泥控制、SBR 反应器反应时间控制以及沉淀控制等的发展。ICA 将来的发展趋势将随着越来越严格的 N 和 P 的排放标准引发的污水厂升级改造而继续向前发展。在仪表上,继续开发新的传感器技术,如软件传感器、集成芯片传感器、在线图像分析、石英晶体微量传感器、激光和超声波传感器、滴定传感器、荧光 DNA、抗体探针、以及其他类型的生物传感器,这些传感器将更多的获得有关生物本身的信息。在控制方式上,将逐步向更复杂的控制的方式发展,如模拟预测控制、模糊逻辑控制、神经网络控制、多变量统计分析、在线模拟等。但是,复杂性并不是 ICA 的目标,ICA 的目标是 KISS (keep it simple and stupid),即不仅要简单而且应该是傻瓜式的。

A²O 工艺中试控制

1. 中试工艺描述

中试设施为强化 A²O 工艺(5F-A²/O),分两个系列,每个按 3m³/h 设计,由水解酸化池、预缺氧区、厌氧区、缺氧 1 区、好氧 1 区、缺氧 2 区、好氧 2 区、脱氧区、二沉池等部分组成,每部分采用分格形式,每一格的名义水力停留时间为 1h。各区的水力停留时间可以根据需要改变。水解酸化池的出水可以进入预缺氧区、厌氧区、缺氧 1 区和缺氧 2 区。预缺氧区、厌氧区、缺氧 1 区和缺氧 2 区和脱氧池设有搅拌装置。水解酸化池和二沉池采用竖流式沉淀池,水解酸化池设有污泥循环泵。

2. 自控系统构成

本套控制系统采用三级控制模式,具体如下:操作终端为西门子工控机,内装西门子 Wincc 软件。控制系统核心为 PLC 控制柜。现场控制箱。现场控制箱设置现场 / 远程转换开关、启动按钮、停止按钮、工作指示和故障指示。该自控系统包括:水解池排泥泵、进水流量、分段进水、溶解氧、氨氮、泥龄、内外回流等的自动控制。

3. DO 和氨氮控制方式

目前,国际上溶解氧控制已十分普遍,而基于高级传感器(氨氮、硝酸氮、磷酸盐或有机物)的控制才刚刚开始。DO 控制是活性污泥工艺中重要的控制变量,最初 DO 控制的目的是减少曝气量,节省能耗。控制 DO 浓度维持在预先选择的设定值已是一个成熟的技术,通过简单的 PI 或 PID 反馈控制很容易实现。应用开 / 关控制也可控制 DO 浓度维持在设定值附近上下限范围内。

随着营养物传感器的发展和出水水质要求的提高,曝气控制的关键在于如何在线调整供气量。其中大量研究集中于对间歇曝气系统的好氧阶段曝气时间的控制,包括应用氨氮、硝氮、ORP 和 / 或 pH 作为测定信号控制曝气时间。而对于连续流运行系统的研究相对较少,主要是利用氨氮在线确定合适的 DO 设定值,但是根据好氧池末端氨氮的测定值来调节好氧池前端的曝气量的反馈控制方式会造成系统性能较差或导致整个反应器运行不稳定,当好氧区反应器的水力停留时间和负荷变化的时间量度相比相对

长时,问题会更加严重。而根据好氧池前端的氨氮浓度调节好氧池曝气量的前馈控制方式,虽然降低了测定信号的滞后时间,但其存在的问题是,由于前馈控制需要通过一个相对简单的模型,因此不能直接控制好氧区反应器末端的氨氮浓度。更为重要的是,DO 控制对细菌种群和污泥沉淀性的影响还没有完全了解,DO 浓度的变化可能影响细菌的种群结构和细菌的性能。而且,在低 DO 浓度下,可能发生亚硝酸盐型 SND 现象,另外微生物的衰减速率也和 DO 浓度相关,DO 浓度也影响絮状污泥和丝状菌的竞争,从而影响污泥沉淀性能。

目前,虽然有一些关于好氧区体积在线控制的研究,但由于受到现存工艺的限制,首先仍然是调整 DO 的设定值,或者只是作了简单的模拟。由于本试验采用了较为灵活的 5F-A²/O 工艺,克服了污水处理厂缺乏足够灵活性的瓶颈。因此,本试验中采用改变好氧体积并维持 DO 基本不变的控制策略来分别控制出水氨氮浓度和曝气量,即当氨氮浓度测定值大于目标氨氮浓度范围时,则逐步开启第二段缺氧区的曝气,反之亦然。当采用体积调整后,氨氮浓度的测定值仍然超过最大设定值时,以 0.5mg/L 的幅度增加好氧池的 DO 设定值,反之亦然。采用该控制方式后,可以使 DO 和氨氮分别单独控制,简化了控制系统,提高了稳定性。同时,采用该控制方式可以满足反硝化对反应体积的需求,实现出水 TN 的控制,即当氨氮浓度测定值小于目标氨氮浓度范围时,说明硝化效果较好,出水的硝酸盐较高,因此内回流中的硝酸盐浓度较高,需要增加反硝化体积来实现完全反硝化,这时逐步关闭第二段缺氧区后的曝气,可以补充工艺对反硝化体积增加的需求,反之亦然。而且,采用该控制方式后,增加的非曝气体积可以实现 DO 在 0.5mg/L 以下,为反硝化创造良好的缺氧环境。而改变 DO 的浓度值的控制方式则不能实现反硝化所需的缺氧环境,难以实现对 TN 的控制。

结语

污水处理厂控制技术是保证污水处理厂出水水质稳定达标、降低污水处理能耗物耗的重要技术支撑。目前实施污水处理控制的主要瓶颈是工艺的灵活性较差,传感器的可靠性和稳定性已经基本解决。

本文提出了通过改变好氧体积控制出水氨氮浓度和维持 DO 基本不变控制曝气量的控制策略,不但可以有效控制出水氨氮浓度,而且可以使出水 TN 浓度基本维持在一定范围,同时利用普遍采用的溶解氧控制方式实现了 DO 的稳定控制,节省了能量。

在灵活性较强的 5F-A²/O 中试工艺上应用本文所述的控制方式,试验结果表明,溶解氧稳定控制在 3 ± 0.2 mg/L,氨氮浓度变化范围为 0.3~1.5mg/L,氨氮进水均值 49mg/L,出水均值 1.0mg/L,平均去除率 98%,TN 进水均值 58mg/L,出水均值 9.8mg/L,平均去除率 83%,TP 进水均值 8.0mg/L,出水均值 0.41mg/L,平均去除率 95%,出水可以稳定达到一级 A 出水标准。C