

污水处理厂溶解氧自动控制系统的运行优化

马金峰, 王佳伟, 张胜海, 甘一萍, 刘立超
(北京城市排水集团有限责任公司, 北京 100022)

摘要: 生化反应池曝气量的自动调节是污水厂节能降耗的重要手段。介绍了广州市西朗污水处理厂溶解氧自动控制系统的运行优化经验, 指出控制鼓风机出口压力解决喘振现象是实现溶解氧自动控制的必要前提。研究了基于压力控制的鼓风机喘振控制方法和基于 PD 调节的溶解氧控制方法, 得到了 PID 控制器的主要参数设定值: 比例增益、微分增益、积分动作时间、响应临界值分别为 1.05 、 0.200 、 10% 。运行表明, 鼓风机的出口压力稳定在 $0.070 \sim 0.073$ MPa, 好氧一段和好氧二段的溶解氧分别控制在 (1.2 ± 0.3) mg/L 和 (1.0 ± 0.3) mg/L, 有效避免了鼓风机的喘振, 实现了对溶解氧的稳定控制。提出并试验了基于出水氨氮控制的低溶解氧运行策略, 好氧一段和好氧二段的溶解氧设定值分别为 $0.7 \sim 1.3$ mg/L 和 $0.7 \sim 1.9$ mg/L, 与传统的溶解氧控制值 ($2 \sim 3$ mg/L) 相比节能效果较为明显。

关键词: 污水处理厂; 溶解氧; 自动控制; 鼓风机; 氨氮

中图分类号: X703 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2010)11-0017-04

Operation Optimization of Dissolved Oxygen Automatic Control System in Wastewater Treatment Plant

MA Jin-feng WANG Jia-wei ZHANG Sheng-hai GAN Yi-ping LIU Li-chao
(Beijing Drainage Group Co. Ltd., Beijing 100022, China)

Abstract The automatic regulation of aeration rate in biochemical tank is an important means for energy saving and consumption reduction in WWTP. The experience in operation optimization of dissolved oxygen automatic control system in Guangzhou Xilang WWTP was introduced. Solving the surging phenomenon of blower by controlling outlet pressure was emphasized as a prerequisite to achieve automatic control of dissolved oxygen. Tests on blower surge control based on pressure control and dissolved oxygen stability control by PD adjustment were carried out. The main setting parameters for PID controller were obtained, including proportional gain of 1.0, differential gain of 0.2, integral response time of 200 ms and critical response value of 10%. The operation results show that when the blower outlet pressure stabilizes at 0.070 to 0.073 MPa and the dissolved oxygen in the first and second aerobic zones is controlled at (1.2 ± 0.3) mg/L and (1.0 ± 0.3) mg/L respectively, the blower surge can be effectively avoided and the stable control of dissolved oxygen can be achieved. An operation strategy on low dissolved oxygen control based on ammonia nitrogen in the end of aerobic zone was proposed. The dissolved oxygen in the first and second aerobic zones is controlled at a range of 0.7 to 1.3 mg/L and 0.7 to 1.9 mg/L, and more energy is saved compared with the traditional dissolved oxygen control value of 2 to 3 mg/L.

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2006BAC19B01)

Key words wastewater treatment plant dissolved oxygen automatic control blower ammonia nitrogen

近年来随着国家“节能减排”工作的深入开展,污水处理厂的稳定运行及节能引起了大家的普遍关注。目前,生活污水普遍采用活性污泥法进行处理,主要的节能措施包括进水流量、曝气量、内外回流量的优化调控等,其中曝气量的调节是一个非常关键且行之有效的办法^[1]。由于城市污水处理系统存在着来水水量、水质不稳定的特点,导致处理过程中生化池的需氧量时刻在变化。因此,为保证处理效果的稳定,要求生化池的溶解氧控制在相对稳定的范围,即曝气系统要根据进水水量、水质的变化及时进行调整,使供氧量满足进水负荷的要求,实现生化池溶解氧的自动控制。同时,实现生化池溶解氧的自动控制也可获得很好的节能效果。国外的研究和工程应用表明,实现生化反应池曝气量的自动调节是污水厂节能降耗的重要手段^[2]。国内在这方面的研究刚刚起步,污水处理厂的溶解氧自动控制的经验还很少^[3]。笔者以广州市西朗污水处理厂为例,在介绍实现生化池溶解氧自动控制的过程与方法的基础上,提出了消除鼓风机喘振的方案,以及基于出水氨氮控制的溶解氧设定方法,旨在实现溶解氧自动控制系统的优化运行。

1 溶解氧自动控制系统

西朗污水处理厂位于广州市荔湾区,是广东省重点市政基础设施建设项目,也是国内首个采取 BOT 方式运作的污水处理工程项目。设计处理能力为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 占地面积为 11 km^2 ,服务面积约 50 km^2 ,服务人口约 60 万。该厂于 2001 年 12 月 21 日动工建设,2004 年 4 月 30 日通水运行。为了保证出水水质长期处于良好的状态,从 2005 年开始该厂实施了生化反应池溶解氧的自动控制。

西朗污水处理厂采用改良 A^2/O 工艺^[4],其分为两个系列,每个系列由预缺氧段、厌氧段、缺氧一段、缺氧二段、好氧一段、好氧二段组成(见图 1)。供气系统采用 KA22SV-GL225 型鼓风机,供气管道采用枝状管网,主干管有 4 个电动阀门,分别用以调节 A、B 两个系列好氧一段和好氧二段的供气量。该系统采用 4 个西门子 DR21 PID 控制器,分别调节上述 4 个电动阀门。在好氧一段、好氧二段的末端分别设有在线溶解氧仪,用以检测水中含氧量,并将

信号送至 DR21 控制器,经与设定值比较、运算后调节供气管道阀门的开启,从而调节供气量,实现溶解氧的自动控制。鼓风机压力控制和溶解氧自动调节控制既是两个独立的过程,同时又相互影响。只有在实施鼓风机压力控制的基础上,才能实现溶解氧的自动调节控制并达到节能目标。

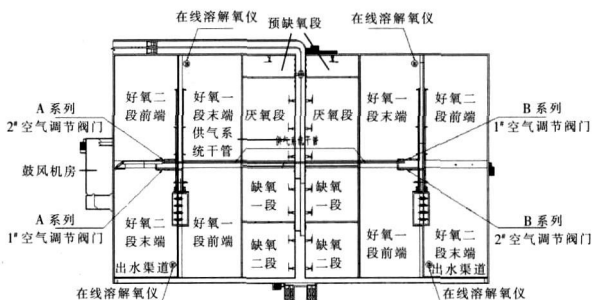


图 1 西朗污水处理厂溶解氧自控系统的布置

Fig. 1 Layout of dissolved oxygen automatic control system in Xilang WWTTP

2 鼓风机喘振控制

溶解氧自动控制系统投入运行后,空气管道阀门会实时调节,空气管道阻力曲线发生实时变化,进而导致管道压力也实时变化。为避免由管道压力频繁变化带来的鼓风机喘振等故障,西朗污水处理厂采用鼓风机压力调节系统,使鼓风机根据管道压力自动调节进、出口导叶,改变供气量,维持压力稳定(见图 2)。

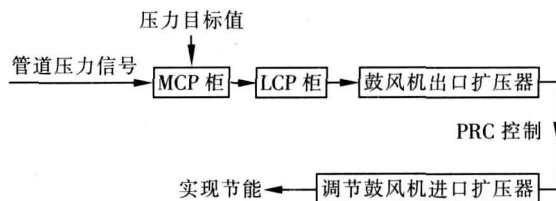


图 2 鼓风机压力调节系统

Fig. 2 Schematic diagram of blower pressure control system

该系统首先在主控制柜(MCP)设定鼓风机的运行压力的目标值,同时检测管道内的实际压力,MCP 柜内 PID 控制器对目标值和实测值进行比较、运算,给出鼓风机出口扩压器开/关信号,并输出至鼓风机就地控制柜(LCP),实现对鼓风机出口导叶的调节。而鼓风机出口导叶与进口导叶通过 PRC 控制系统实现联动,当出口导叶动作时进口导叶也会相应动

作,从而实现鼓风机根据管道压力调节进、出口导叶,避免了管道压力的频繁变化引起的鼓风机喘振等故障,同时使鼓风机的出口压力保持稳定,保证其在较高的效率下运行,有利于节能。实际运行表明,由于进水负荷的变化造成出口导叶开度在 0~50% 之间波动,并引起鼓风机工作电流在 20~40 A 的范围内波动,但鼓风机的出口压力稳定在 0.070~0.073 MPa,有效避免了鼓风机的喘振。

3 溶解氧的稳定控制

污水处理厂实现溶解氧自动控制的方法主要包括:PID控制、P-FUZZY-PI控制和自适应专家系统控制^[5,6]。目前国内应用较多且较为成熟的技术,是以PID控制来实现对溶解氧的自动调节,该方法在西朗污水厂得到了应用。PID溶解氧控制方式实现起来较为简单,投资较少,主要设备有电动阀门、带自动清洗功能的在线溶解氧仪以及PID控制器。其控制过程如下:首先设定PID控制器的需氧量(w),同时通过在线溶解氧仪检测生化池中实际的溶解氧浓度(x),对两者进行比较、运算后给出输出(y),用以调节空气管道的阀门开度(见图3)。

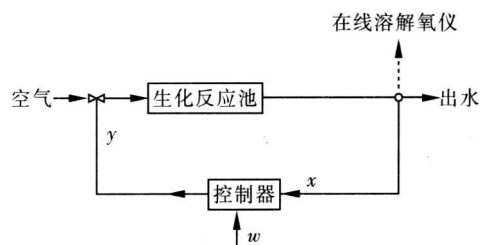


图3 溶解氧控制示意

Fig 3 Schematic diagram of dissolved oxygen control

PID控制器作为溶解氧控制的核心部件,其作用尤为重要。具体工作过程如下:控制器检测两个时段的溶解氧值(x_1, x_2),计算出溶解氧修正值(x),同时与溶解氧设定值(w)进行比较得出偏差,经过PID控制器运算给出输出(y),用以调节阀开度(见图4)。

在调节阀的过程中,阀门的开启和关闭是通过脉冲信号给出,控制器内部定义了脉冲时间间隔和脉冲长度等。由于PID调节受工况的影响较大,管道阻力、风机型号、生化池设计等因素都会影响其参数的设定,因此具体到某个厂则控制参数是不同的。经过半年的试验与摸索,得到了西朗污水处理厂PID控制器的主要参数设定值为:比例增益=1.0,微分增益=5.0,积分动作时间=200 ms,响应

临界值=10%。采用上述控制逻辑和参数后,对溶解氧的控制效果见图5。可知尽管进水水量有将近60%的变化,但是好氧一段和好氧二段的溶解氧分别控制在 (1.2 ± 0.3) mg/L和 (1.0 ± 0.3) mg/L,实现了对溶解氧的稳定控制。

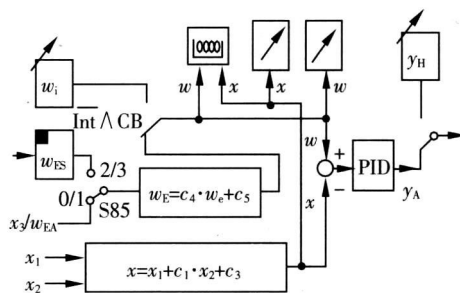


图4 PID控制示意

Fig 4 Schematic diagram of PID controller

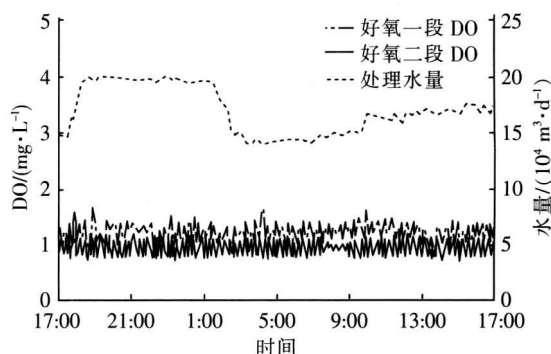


图5 对溶解氧的自动控制效果

Fig 5 Performance of dissolved oxygen automatic control

4 溶解氧控制的工艺调控

西朗污水处理厂的曝气系统采用上述控制逻辑和参数后,实现了对溶解氧的稳定控制,其设定值根据出水氨氮进行调整。在生化反应过程中,溶解氧首先参与BOD₅的去除,然后再进行硝化反应,故对NH₄⁺-N的去除效果可以反映出溶解氧是否充足。因此,在进行溶解氧设定时出水NH₄⁺-N浓度具有重要的参考价值。经过2008年的运行优化,在保证出水水质良好的情况下,西朗污水处理厂实现了基于出水氨氮控制的低溶解氧运行。溶解氧的设定值与出水氨氮的关系如图6所示。

1月29日的检测显示好氧出水的氨氮浓度呈上升的趋势,为提高硝化效果,将好氧二段的溶解氧从1.2 mg/L调整为1.7 mg/L,并在4 d后进一步调整为1.9 mg/L。到2月28日由于好氧段出水氨氮<0.5 mg/L,生化反应池的硝化效果已恢复正常,因此将好氧二段的溶解氧设定值从1.9 mg/L调整为

1.5 mg/L, 并逐步下降最终维持在 1 mg/L (没有进一步下调是为了避免污泥沉积)。2008 年生化反应池好氧一段和好氧二段的溶解氧设定值分别为 0.7~1.3 mg/L 和 0.7~1.9 mg/L, 与传统的溶解氧控制值 (2~3 mg/L) 相比则节能效果较为明显。利用便携式溶解氧仪测得的好氧二段 DO 值与运行设定值接近, 但 9 月—11 月的在线溶解氧仪显示值与实测值偏离了约 0.5 mg/L, 可见为保证溶解氧控制系统的长期稳定运行, 必须对在线溶解氧仪、电动阀门及时地进行维护, 避免因测量数据不准确、阀门动作不灵敏造成实测值偏离设定值。就总体运行效果而言, 采用以 PID 控制为核心的溶解氧自动控制调节和基于出水氨氮的设定溶解氧值, 可以使溶解氧保持稳定, 并获得较好的节能效果。

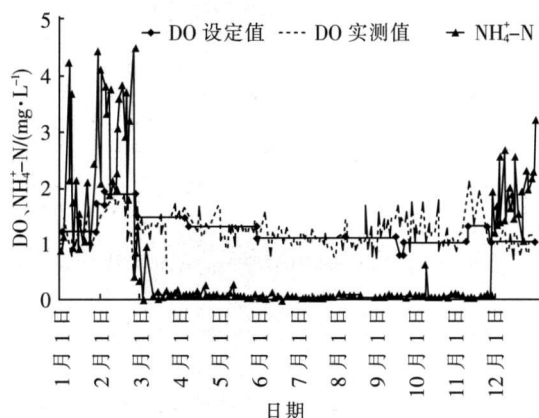


图 6 对好氧二段溶解氧与出水氨氮的控制效果

Fig 6 Control performance of dissolved oxygen and ammonia nitrogen in 2nd aerobic zone

5 结论

① 广州市西朗污水处理厂的溶解氧自动控制系统由溶解氧控制和鼓风机控制组成, 鼓风机压力控制是实现溶解氧自动调节的前提。

② 采用基于压力的控制方法后, 鼓风机出口压力稳定在 0.070~0.073 MPa, 有效避免了鼓风机的喘振。

的喘振。

③ 采用基于 PID 的溶解氧控制方法, 当将 PID 控制器的比例增益、微分增益、积分动作时间、响应临界值分别设定为 1.0、5.0、200 ms、10% 时, 好氧一段和好氧二段的溶解氧分别控制在 (1.2±0.3) mg/L 和 (1.0±0.3) mg/L, 实现了对溶解氧的稳定控制。

④ 实现了基于出水氨氮控制的低溶解氧运行, 好氧一段和好氧二段的 DO 设定值分别为 0.7~1.3 mg/L 和 0.7~1.9 mg/L, 与传统的溶解氧控制值 (2~3 mg/L) 相比则节能效果较为明显。

参考文献:

- [1] Olsson G, Nielsen M K. 污水系统的仪表、控制和自动化 [M]. 马勇, 彭永臻译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007
- [2] Omerth T B, Nielsen M K, Stamer C. Advanced computer control based on real and software sensors [J]. Water Sci Technol 1996, 33(1): 237-245
- [3] 夏文辉, 刘芬, 周雷. 污水处理厂曝气控制研究 [J]. 给水排水, 2009, 35(1): 121-125
- [4] 邹嘉乐, 张胜海. 改良型 A²/O 工艺处理城市污水的生物脱氮优化控制 [J]. 中国给水排水, 2009, 25(24): 1-5
- [5] Omerth T B, Eriksson J. International online support to process optimisation and operation decisions [J]. Water Sci Technol 2002, 45(4-5): 477-483
- [6] 杜树新. 污水生化处理过程建模与控制 [J]. 控制理论与应用, 2002, 19(5): 660-665

作者简介: 马金峰 (1980-), 男, 北京人, 本科, 助理工程师, 主要从事污水厂运行与管理工作。

E-mail wangjiawe@bdc.cn

通讯作者: 王佳伟

收稿日期: 2010-01-05

(上接第 16 页)

- [8] 卜建伟. 浸没式中空微滤膜处理滦河原水的中试研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2007
- [9] 张光辉, 郝爱玲, 张颖, 等. MBR 与 MCR 处理微污染原水的效果 [J]. 中国给水排水, 2004, 20(2): 47-50
- [10] Andersen D O, Alberts J J, Takacs M. Nature of natural organic matter (NOM) in acidified and lined surface war-

ters [J]. Water Res 2000, 34(1): 266-278

作者简介: 程家迪 (1984-), 男, 安徽黄山人, 硕士, 从事水和污水处理技术研究。

E-mail jiadidi13@163.com

通讯作者: 刘锐

收稿日期: 2010-01-22