

城市污水处理厂进水动态特性及其影响研究

静 贺¹ 邱 勇¹ 沈童刚¹ 王志强¹ 施汉昌¹ 张荣兵² 文 洋²

(1 清华大学环境科学与工程系环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084;

2 北京城市排水集团有限责任公司清河污水处理厂, 北京 100192)

摘要 城市污水处理厂进水负荷的大幅度变化会对污水处理厂的安全稳定运行造成较大影响, 使污水处理工艺很难保持在最佳的运行状态。针对污水处理厂进水动态变化特性, 研究其变化规律、形成原因及其对污水处理厂运行的影响, 结果表明, 污水处理厂的进水水量存在周期性变化, 进水水质变化属正态分布, 而且水质指标间显著关联。在掌握动态特性的基础上, 提出了基于动态模拟评价降雨等冲击负荷影响污水处理厂运行的指标和方法。

关键词 污水处理厂 进水 动态特性 工艺模拟

0 前言

我国地表水体的富营养化现象严重, 因此需要提高污水处理厂的处理效果, 大幅削减污水处理厂出水污染物浓度, 改善接纳水体环境。

由于污水处理厂在实际运行过程中进水水量、水质变化十分明显, 因此在设计中一般采用稳态设计加上变化系数来保证其稳定运行。这种情况下, 一方面, 污水处理厂的建设和运行成本会大幅度提高, 另一方面, 进水动态特性的显著变化依然会影响污水处理厂的稳定运行^[1,2]。

污水处理厂进水负荷的动态变化, 体现为水质和水量的快速波动和长期变化, 这种变化可以分为规律性来源和冲击负荷来源两类。规律性来源引起的动态变化具有可重复性, 如由于居民生活规律引起的水质、水量昼夜差异、管网提升泵站编组运行造成的水量阶梯形变化、工业生产规律性排放的废水等。规律性来源负荷一般由管网和构筑物的结构与运行策略、污水处理厂提升泵编组运行等因素决定。冲击负荷来源引起的动态变化一般持续时间短, 变化幅度大, 不具有可重复性, 往往对活性污泥系统造成破坏性的后果, 例如暴雨引起的进水水量增高、工业废水的无规律集中排放等。进水动态变化的影

“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAC19B01)。

4 结论

(1) 芦村污水处理厂提标改造后, 冬季在厌氧池前增加了回流污泥反硝化池, 将传统的 A^2/O 工艺改造为 $A-A^2/O$ 工艺。好氧池中投加了填料, 形成了活性污泥与生物膜的复合工艺。对于除磷, 采用了生物除磷与化学除磷相结合的除磷方法。

(2) 在不新建生物池的条件下, 污水处理厂二沉池出水的 TN 、 COD_{Cr} 、 NH_3-N 、 TP 和 SS 浓度均比改造前有所降低, 二沉池出水满足 DB 321072—2007 标准。

(3) 脱氮效果还可以通过牺牲生物除磷、投加快速碳源等途径继续得到优化。

参考文献

- 1 万年红. A^2/O 工艺的改良与设计应用. 中国给水排水, 2003, 19(8): 81~83
- 2 张自杰, 林荣忱, 金儒林. 排水工程. 第4版. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999
- 3 郑兴灿, 李亚新. 污水除磷脱氮技术. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998
- 4 Chen S, Li W, Ji B, et al. Impacts of suspended sediment on the ecosystem in Lake Michigan: A comparison between the 1998 and 1999 plume events. Journal of Geophysical Research, 2004, 109(5): 1~18

& 通讯处: 300074 天津市河西区气象台路 99 号

E-mail: z1165211@163.com

收稿日期: 2010-04-28

响因素多、形成规律复杂,对此进行研究有助于认识污水处理厂的进水特性、提高污水处理厂的运行效率和水平、改善污水处理厂的出水水质。

本研究以北京市某城市污水处理厂为例,研究了污水处理厂进水水量和水质的动态变化特性,并分析了降雨冲击负荷对出水水质的影响。

1 研究材料和方法

1.1 研究材料

污水处理工艺包含多种过程,其动态变化周期包括分钟、小时、天、周、季度等,根据采样定理^[3],过程的变化周期决定了采样的频率,污水处理厂进水的流量变化非常快,可以数分钟为周期测量;而水质变化比较缓慢,可以小时为采样周期。以北京市某污水处理厂为例,该厂采用传统 A²/O 工艺,无初沉池。进水水量数据获取时间范围为 2006 年 11 月~2007 年 2 月,2007 年 6~9 月,采样周期为 1 min,通过流量计自动测量。进水水质数据的获取时间范围为 2007 年 9 月 18~30 日,采样周期为 1 h,取样点为曝气沉砂池出水,化学分析指标包括化学需氧量、总氮、氨氮、总磷,采用国标法测试。

1.2 研究方法

进水水质和水量数据本质上是一种信号流,因此可使用信号处理的方法研究其规律。首先,对动态数据进行基本的统计学分析,获取基本的统计信息,如均值、方差、分布特征等;其次,将水量和水质的动态变化数据用时间序列格式进行描述,进行变量相关性的分析,并研究相关性的实际含义;第三,使用频谱分析方法解析动态变化的周期性,具体的计算方法可采用离散傅立叶变换^[4,5];最后,使用季节因素分析法分解时间序列的变化因素,分析其变化规律^[6,7]。

为了评估进水动态变化对污水处理厂运行的综合影响,本研究提出基于动态模拟和情景分析的方法来评价动态负荷对污水处理工艺的影响,工具为基于国际水协的活性污泥系统模型(ASM)的工艺数值模拟(EnvironSim 公司的 BioWIN 软件)。首先,根据污水处理厂的构筑物 and 工艺参数建立概化模型;其次,结合文献数据,测定进水组分,确定进水 COD 等的组分参数;第三,根据出水水质数据估计关键的动力学参数和化学计量常数,对较为敏感的

氨氧化菌(AOB)最大比增长速率等 6 个参数进行校准^[8];最后,通过模拟检验,确定模型可以预测工艺出水情况。评价过程借鉴国际水协 Benchmark 模型的水质评估标准,结合我国城市污水处理厂排放标准^[9],将出水水质波动作为评估进水动态变化的影响,提出综合水质参数指标 EQ 如下:

$$EQ = \sum_i \frac{C_i}{S_i} \quad (1)$$

式中 EQ——无量纲数,反映水质的整体好坏;

i ——水质指标,包括 COD_{Cr}、NH₃-N、TN 等;

C_i ——第 i 种水质指标的出水浓度, mg/L,由实际监测或者数值模拟得到;

S_i ——第 i 种水质指标的出水排放标准,根据污水处理厂实际考核标准确定。

在此基础上,将长期的持续变化规律作为对照状态,就可以计算和比较污水处理厂出水情况,从而定量评估进水动态变化的影响,为对策分析提供基础。式(2)的 DEQ 即表达了进水动态变化后出水水质的总体变化情况。

$$DEQ = EQ_0 \times T - \sum_0^T EQ_t \quad (2)$$

式中 EQ_t ——实测进水动态变化条件下的出水水质综合值,无量纲;

T ——观测周期, d;

EQ_0 ——对照状态下的无量纲出水水质综合值。

将 EQ_t 确定为标准对照状态则 DEQ 为零;当进水变化导致出水水质变差时,则 DEQ 为负值。可以根据 DEQ 的数值来反映污水处理厂的稳定运行,负值越大则表示污水处理厂运行的稳定性越差。

2 结果与讨论

2.1 水量动态变化特性

以北京市某污水处理厂为例,进水水量没有明显的分布特征,数据离散度高。对进水水量数据进行频谱分析,结果如图 1 所示。

由图 1 可见进水水量波动最强的频率分别为 0.000 694 min⁻¹,即周期为 1 d;次之的周期为 0.5 d 和 0.33 d。对水量时间序列进行滤波分析^[10],可以分离出 1 d、0.5 d 以及 0.33 d 周期变化的进水曲线,可分别呈现出早晚两高峰以及早中晚三个高峰,基本

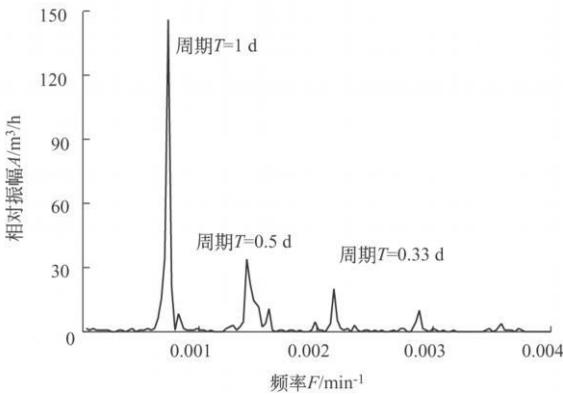


图1 进水水量动态变化的频谱分析结果

反映了居民日常生活中的用水规律。将进水水量数据按日周期平均,可以得到每日水量的动态变化规律,如图2所示。日内流量呈现明显的高峰和低谷,高低间的变化由提升泵的启停造成,反映了泵房运行策略对进水水量的直接影响。由于流量数据在高低两个水平上集中,所以进水水量不符合正态分布。

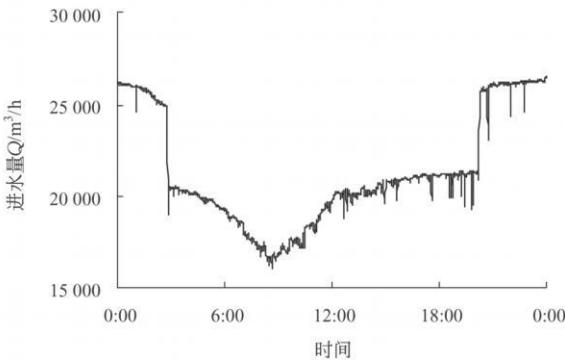


图2 进水水量的日内时变化规律

2.2 水质动态特性

根据进水水质浓度数据的单参数 Kolmogorov - Smimov 检验,发现进水水质变化属于正态分布。根据正态分布的物理含义^[11],影响进水水质变化的因素非常多,而且每个因素所起的作用都不太大。这与城市排水管网来源众多的特征相吻合。对进水水质数据的频谱分析表明,水质变化也存在 1 d 的周期性,但是 0.5 d 和 0.33 d 的周期性不强。将进水水质数据按日周期平均,得到进水水质的时变化规律,如图3和图4所示。

从图中可见,进水 COD_{Cr}和总氮都存在上午浓度低、下午和夜间浓度高的变化规律。双变量相关性检验表明:进水水质之间的关联性显著($p < 0.01$),这

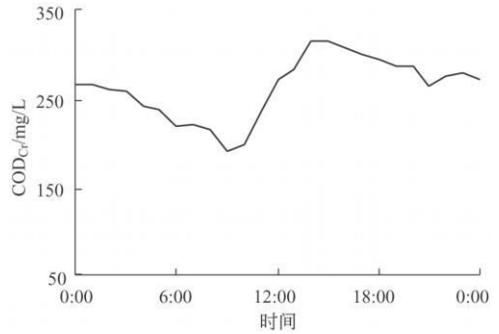


图3 进水 COD_{Cr}的日内时变化规律

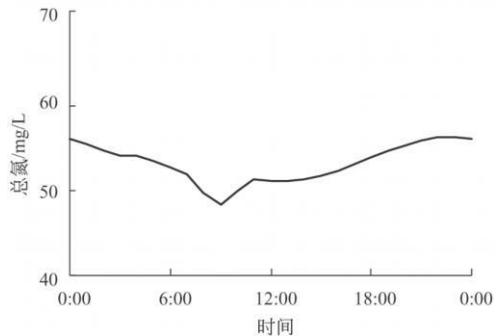


图4 进水总氮的日内时变化规律

说明变量具有相似性,可能有相同的来源。这与城市污水中 COD_{Cr}、总氮等污染物来自相似的居民排水的事实一致。

2.3 进水冲击负荷的影响和评估

本研究中污水处理厂上游存在合流制管网,降雨过程后进水水量会明显增加,因此着重研究降雨对工艺运行的影响。以未降雨情况下的进水水量周期性变化规律为参照,降雨引起的水量增加可以表征冲击负荷的强度。通过对 2007 年 6~9 月期间 14 场雨的降雨量和进水增量的回归分析^[12],发现两者存在明显的线性关系,如图5所示。这表明可以根据降雨量来大致预测增加的进水水量,即冲击负荷的强度。

在式(1)中,给定 COD_{Cr}、氨氮、总氮、总磷和 SS 的考核标准 S_i 为 60 mg/L、5 mg/L、20 mg/L、1.5 mg/L 和 20 mg/L,将出水水质用无量纲的 EQ 来表示。在式(2)中,以未降雨时的出水 EQ_0 为参照,降雨历时(进位取整)为影响时间 T ,计算降雨对出水水质的影响 DEQ 值。为了比较不同冲击负荷对工艺运行的影响,使用 BioWIN 平台模拟了 14 场降雨情景下的出水水质,结果如图6所示。可以看到,进

水增量越大,水质恶化程度越明显,进水增量与DEQ值呈线性相关。

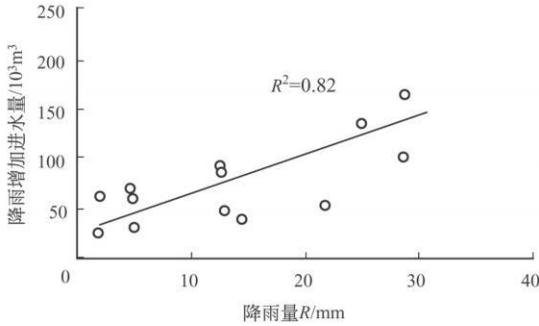


图5 降雨量与雨后污水处理厂进水增加量的关系

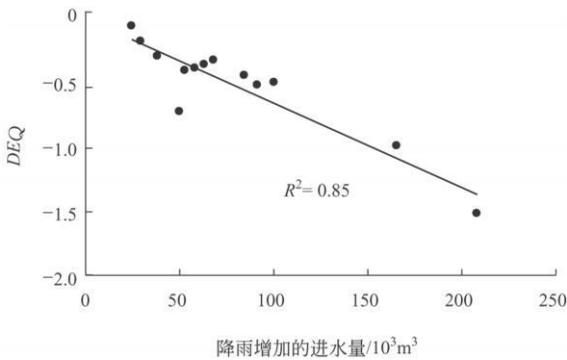


图6 降雨后进水量增加量与出水污染程度变化指数的关系

根据多个情景的模拟分析和实际运行的经验,确定当 $|DEQ| \leq 0.5$ 时,进水变化对出水水质变化的影响可以忽略; $0.5 < |DEQ| < 2$ 时,个别出水指标存在超标的可能性,需要调整回流、曝气等工艺参数,提高工艺系统的运行稳定性; $|DEQ| \geq 2$ 时,出水各指标极有可能超标,系统运行稳定性较差,不仅需要调整污水处理工艺,还需要对进水水量等运行条件进行调整,以减轻对处理工艺运行效果的影响。因此,结合图5和图6结果可见,当该地区降雨量低于25 mm时,降雨增量不会对出水水质产生明显影响;当降雨量高于25 mm时,有可能出现较高的进水增量,需要根据情况对工艺运行控制进行调整。

3 结论

本研究通过现场数据采集和试验,利用数学统计分析、信号处理方法等工具提出了研究污水处理厂进水动态特性的方法,并应用于实际污水处理厂进水动态变化特性的分析特性描述、规律分析、原因分析、影响分析等研究,主要获得如下结果:

(1) 污水处理厂的进水水量具有明显的1 d、

0.5 d和0.33 d周期性,存在高低水平变化,提升泵房的影响明显;进水水质有1 d的周期性,呈现正态分布,受随机影响因素多,不同水质参数具有同源性。

(2) 通过动态模拟和情景分析,提出了降雨冲击负荷对污水处理工艺影响的定量描述方法,并评估了降雨事件对污水处理厂工艺运行稳定性及出水水质波动影响的量化指标,可供实际工艺运行作为参考。

参考文献

- 1 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.中国给水排水,2001,17(5):1~5
- 2 张日霞,王社平,张兴兴.城市污水处理厂进水量变化系数与栅渣量调查分析.给水排水,2009,35(1):41~43
- 3 刘文生,李锦林.取样技术原理与应用.北京:科学出版社,1981
- 4 徐进军,付孙钟.频谱分析在周期拟合中的应用.测绘信息与工程,2001,(3):20~22
- 5 朱家富.傅立叶变换在工程应用中的演变.重庆文理学院学报(自然科学版),2009,28(1):48~52
- 6 Chatfield C. The Analysis of Time Series: An introduction (Second Edition). Chapman and Hall Ltd, 1980
- 7 王沁.时间序列分析及其应用.成都:西南交通大学出版社,2008.117~119
- 8 徐丽婕.基于ASM2D的污水处理厂运行决策支持系统的研究:[学位论文].北京:清华大学环境科学与工程系,2006
- 9 国家环境保护总局,国家质量监督检验检疫总局.GB 18918—2002 城镇污水处理厂污染物排放标准.北京:中国环境出版社,2002
- 10 Colprim J, Rigola M, Poch M. Real WWTP influent flow data analysis by scale extraction using wavelet transform. Computing and Control for Water Industry, Devon(UK), 1999. UK: John Wiley & Sons, Inc., 1999. 139~145
- 11 Shao J. Mathematical Statistics. New York: Springer, 1999
- 12 Mines R O, Lackey L W, Behrend G H. The Impact of Rainfall on Flows and Loadings at Georgia's Wastewater Treatment Plants. Water Air Soil Pollut, 2007, 179: 135~157

& 通讯处:100084 北京市海淀区清华园1号清华大学
中意环境节能楼424房间

电话:(010)62796953

E-mail:jingh04@mails.thu.edu.cn

收稿日期:2010-05-06

修回日期:2010-05-27