

城市污水处理厂运行稳定性评估方法初探

苏 魏 杜鹏飞* 陈吉宁
(清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

摘 要 城市污水处理厂的运行稳定性,直接关系到其运行的成本和对环境的影响。然而,如何判断并改进污水厂的运行稳定性,尚缺乏深入的探讨。通过建立计算机辅助决策支持系统,引入统计学方法,探讨了城市污水处理厂运行稳定性的评估方法。污水处理厂运行稳定性的一个重要表征就是污水厂各工艺单元的各项指标和监测数值处于相对平稳的范围,因此,可以借鉴统计学的原理和方法,构建评估的指标和标准体系,对各常规监测指标长时段的监测数据进行统计分析,寻找时间序列的散布特征,判别工艺单元运行的稳定性,从而评估污水处理厂长期运行状况和趋势,为污水处理厂的管理与维护提供指导意见,改进其运行的稳定性。

关键词 稳定性 集中度 偏离度 差异度

中图分类号 X703.1 文献标识码 A 文章编号 1008-9241(2005)08-0084-04

Discussion on evaluation of operational stability of a municipal sewage plant

Su Wei Du Pengfei Chen Jining

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

Abstract The operational stability of a municipal sewage plant will determine the treating cost and will have direct impacts on the environment. However, no further discussion has been put forward on how to judge the operational stability of a plant. Some statistics' methods will be used to help discuss the operational stability of a plant, by setting up a computer aided decision support system. One important character to describe the operational stability of a plant is that all the monitoring data of each unit are centralized in a comparatively small range. Therefore, by using some statistics' theory and methods, an evaluation system of indexes and standards are established. By statistic analysis on the distributing characteristics of long-term monitoring data, the operational stability of treating process will be judged. Furthermore, the operational stability of a plant will be improved by obtaining the suggestions on the management and maintenance after the evaluation on the long-term performance.

Key words stability; centralization; deviation; variability

1 结构特征及主要参数

污水处理厂的运行与维护是一项技术性很强的复杂工作,需要专门的技术人员来完成,特别是对于事故的诊断与处置,往往需要专家的介入。因此,人们一直在寻求以计算机技术来辅助污水厂运行维护的控制和管理,部分地替代专家的作用^[1]。目前已形成一些评估和诊断理论,可帮助专业人员方便而准确地发现事故或隐患的所在,大大提高工作效率,确保污水处理厂运行的稳定性^[2]。这些评估和诊断理论可大致分为2类:第1类评估系统种类较多,也比较成熟,其核心思想是通过实时监控污水厂各工艺单元的运行状况,运用机理模型,模拟和调控各种操作参数,提供优化的操作和控制策略,以保证污

水处理厂整体工艺运行的稳定性,比如参数优化和运行问题的解决、在线实时监控和排除外部干扰(冲击负荷、有毒物质)等^[3,4];第2类评估系统尚处于尝试阶段,旨在通过分析污水厂长期运行的费用、效率和稳定性,来识别其设计、运行或管理方面的缺陷,并给出改进策略^[5]。后者与前者的最大不同是它借助统计学中的时间序列分析方法,全面衡量污水处理厂的长期运行状况和趋势,对工艺的改进和维护提供指导意见,而不能作为污水处理厂实时参数控制的直接依据。

收稿日期:2004-03-04; 修订日期:2004-04-22

作者简介:苏魏(1978~),男,硕士研究生,主要从事污水处理厂运行评估研究。E-mail:suwei97@tsinghua.org.cn

* 通讯联系人,E-mail:dupf@tsinghua.edu.cn

本文基于第 2 类评估和诊断系统,从时间序列分析的角度出发,应用统计学的理论和方法,构建污水厂运行稳定性评估的指标和标准体系,并结合实例检验评估结果的可靠性。

2 稳定性评估的指标和标准的选取

建立反映污水处理厂稳定性的评价指标体系和分析方法是较为复杂的基础性工作。评估结论的可靠性,在很大程度上取决于评估指标和评估标准的选取。虽然处理工艺和处理过程存在很大的复杂性和不确定性,但是大量的监测指标历史数据却能反映出处理工艺单元的运行规律,因此,可以通过分析由监测指标的历史数据构成的时间序列的散布特征,评估污水处理厂的长期运行的稳定性。

2.1 评估指标的选取

稳定性是对稳定程度的描述,是指特定时间段内监测指标的监测数值的波动情况。如果监测数值比较稳定地分布在一个较小的数值范围之内,异常数值的发生几率较小,则说明污水处理厂运行稳定性好;反之,则说明稳定性不好。

为了评估污水厂运行的稳定性,笔者定义了集中度、偏离度和差异度等 3 个评估指标,分别采用标准差系数、偏度和极差系数等统计学指标加以量度^[6]。其定义和基本含义如下:

(1)集中度:时间序列中各变量(各时点的监测指标的监测数值)在中心位置附近的集中程度。可以采用标准差系数来直接量度数据的集中度,其表达式如下:

$$V_{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N}} / \bar{X}$$

式中, V_{σ} 为标准差系数; $\bar{X}$ 为时间序列平均值; X_i 为时间序列第 i 个变量数值; N 为时间序列中变量个数。

(2)偏离度:时间序列中各变量分布的偏斜程度。偏离度使用偏度(偏态系数,三次中心动差的相对数)量度。

$$\beta_3 = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^3}{N} / \left(\sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N}} \right)^3$$

式中, β_3 为时间序列的偏度;

(3)差异度:时间序列中各变量最大波动的相对范围。差异度使用极差系数度量。

$$V_R = (X_{\max} - X_{\min}) / \bar{X}$$

式中, V_R 为时间序列的极差系数; $X_{\max}$ 为时间序列中数值最大的变量; $X_{\min}$ 为时间序列中数值最小的变量。

集中度、偏离度和差异度分别从不同侧面描述时间序列的散布特征,其中,集中度是衡量稳定性的主要指标,偏离度和差异度作为辅助。偏离度用于判断多数靠近平均值的监测数值集中于小于平均值还是大于平均值的方向上。差异度表示监测数值相对最大变动范围,代表极端情况时序列的不稳程度。

2.2 评估标准的选取

为了描述监测指标时间序列的集中度、偏离度和差异度的优劣程度,分别给三者划分 3 个等级:A、B、C。其中 A 表示最优;B 表示出现异常情况,但程度不高;C 表示最劣,不能接受。

3 个等级的临界值的确定,主要考虑 2 方面的因素:1)表述集中度、偏离度和差异度的各统计学指标的数理特征;2)综合研究和分析多个污水处理厂的常年监测指标以及运行情况。使用统计学方法,对多个污水处理厂的运行情况分类,分别统计出稳定性好、中、差的数据范围,通过与污水处理专家和污水处理厂的技术工程师进行反复讨论,最终确定出各临界点的最优数值。采用 AB 法的污水处理厂出水 BOD₅ 的集中度、偏离度和差异度的等级区分临界如表 1 所示。

表 1 AB 法出水 BOD₅ 稳定性各指标等级评估临界值
Table 1 Critical value of evaluation indexes for stability of outflow BOD₅ of AB process

等级	集中度	偏离度	差异度	等级描述
A	$V_{\sigma} \leq 0.5$	$\beta_3 \leq 0.5$	$V_R \leq 1$	正常
B	$0.5 < V_{\sigma} \leq 1$	$0.5 < \beta_3 \leq 3$	$1 < V_R \leq 1.5$	可以接受
C	$V_{\sigma} > 1$	$\beta_3 > 3$	$V_R > 1.5$	异常

同时,定义一项评估原则:偏离度和差异度的等级评估结果不会优于集中度的评估结果。这是由于稳定性主要由标准差系数大小决定,偏度和极差系数是对时间序列的稳定性特征描述的补充,当标准差系数数值较大的时候,根据三者之间的数理关系可以发现,偏度和极差系数也会相应增大。因此,在评估特定出水指标时间序列时,可能出现评估的结论,也就是集中度、偏离度和差异度的组合是有限的,具体的评估结果对照如表 2 所示。

3 评估的策略

稳定性的评估采取逆向评估的策略。所谓逆向

表 2 稳定性评估对照表

Table 2 Corresponding results of stability evaluation				
集中度	偏离度	差异度	评估结果	备注
A	A	A	1	(1) 稳定性好,
A	A	B	1	时间序列集中在
A	A	C	2	平均值附近,无
A	B	A	1	异常数值出现;
A	B	B	2	(2) 稳定性较
A	B	C	2	好,多数数值相
A	C	A	×	对集中,个别值
A	C	B	3	异常,或者数值
A	C	C	3	分散均匀;
A	C	C	3	(3) 稳定性一
B	B	B	3	般,时间序列比
B	B	C	4	较分散,并且异
B	C	B	3	常值较多;
B	C	C	4	(4) 稳定性差,
C	C	C	4	时间序列分散
				度高

注：×表示不会出现的情况

评估是指从工艺最后一个单元构筑物,逐个向前检查,直到第 1 个单元构筑物为止。以 AB 法污水处理厂为例,首先检查 B 段曝气池的稳定性,然后是中沉池、A 段曝气池。经过逆向评估,通过分析监测指标时间序列的散布规律,以判断各工艺单元运行的稳定性和导致不稳的因素。

4 污水处理厂稳定性评估实例

对某污水处理厂进行稳定性评估,其处理工艺为 AB 法(B 段为 T 型氧化沟),评估的时间范围是 2002 年 1 月 3 日至 2002 年 6 月 25 日,并且以 BOD₅ 为例,进水 BOD₅ 和 A 段曝气池、中沉池和 B 段曝气池的出水 BOD₅ 曲线如图 1~图 4 所示。对 B 段氧化沟、中沉池、A 段曝气池的 BOD₅ 处理稳定性的评估过程和结果如表 3 和表 4 所示。

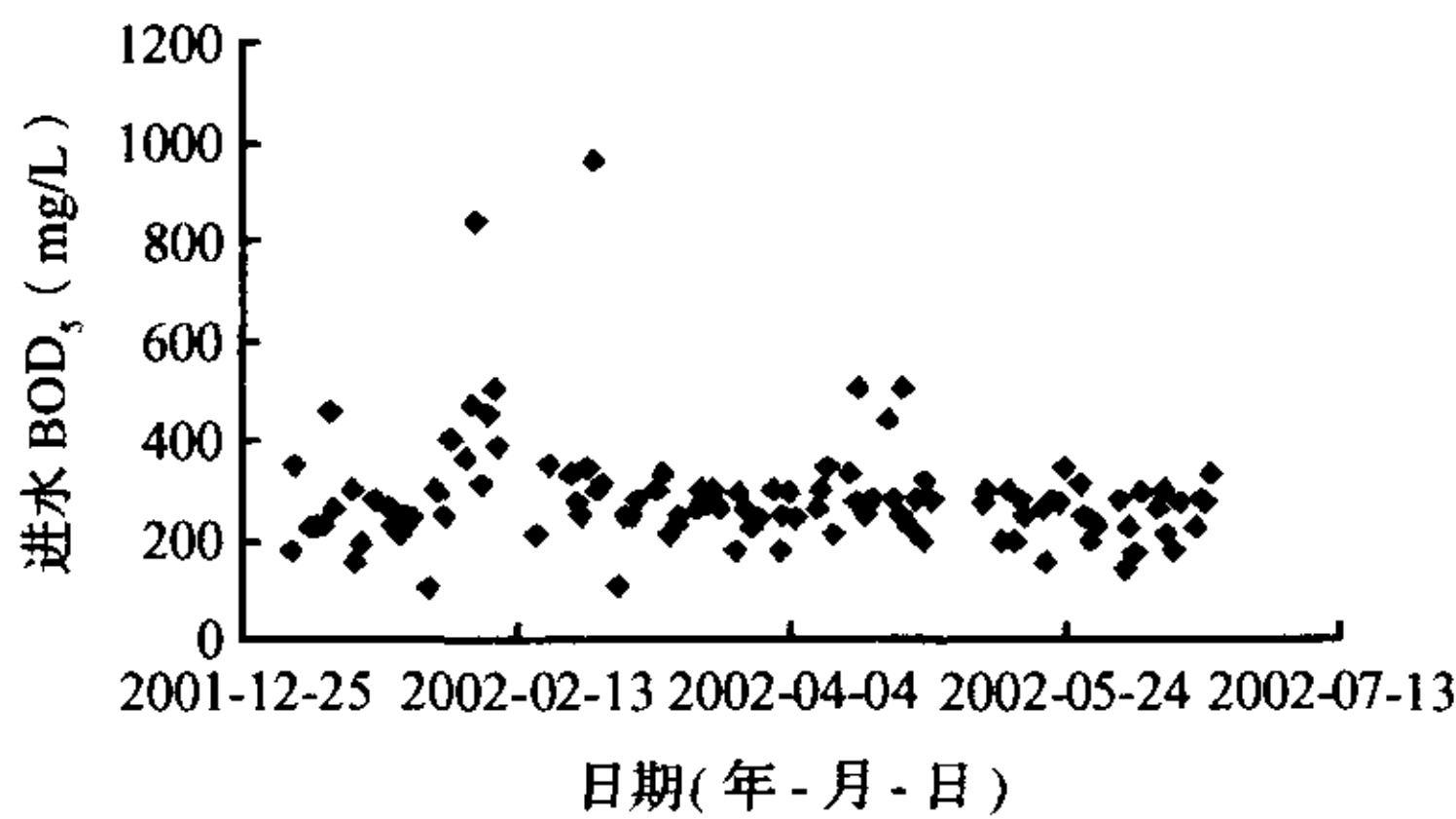


图 1 进水 BOD₅ 分布特征

Fig. 1 Distribution characteristic of inflow BOD₅

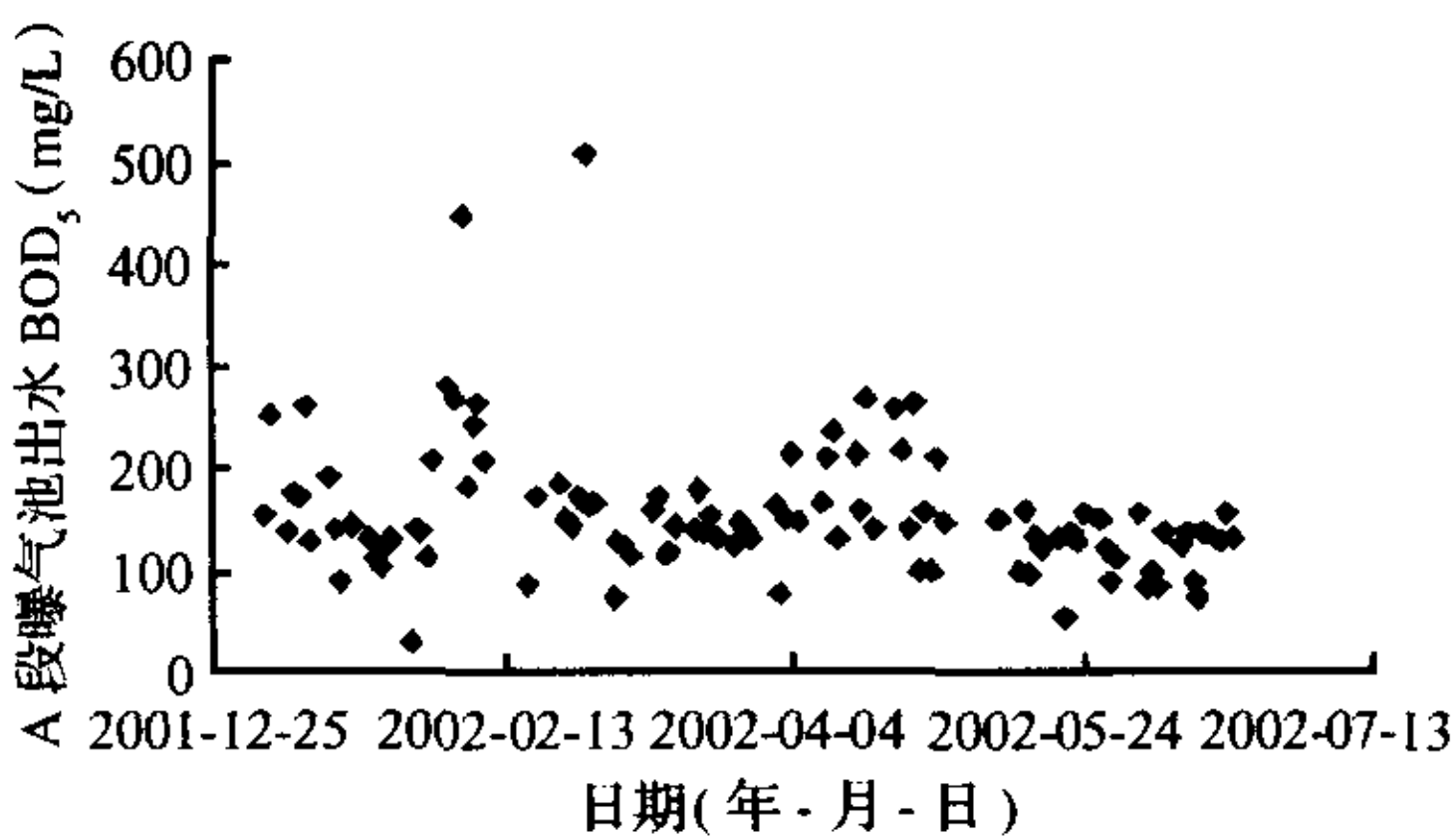


图 2 A 段曝气池 BOD₅ 分布特征

Fig. 2 Distribution characteristic of outflow BOD₅ in aeration tank A

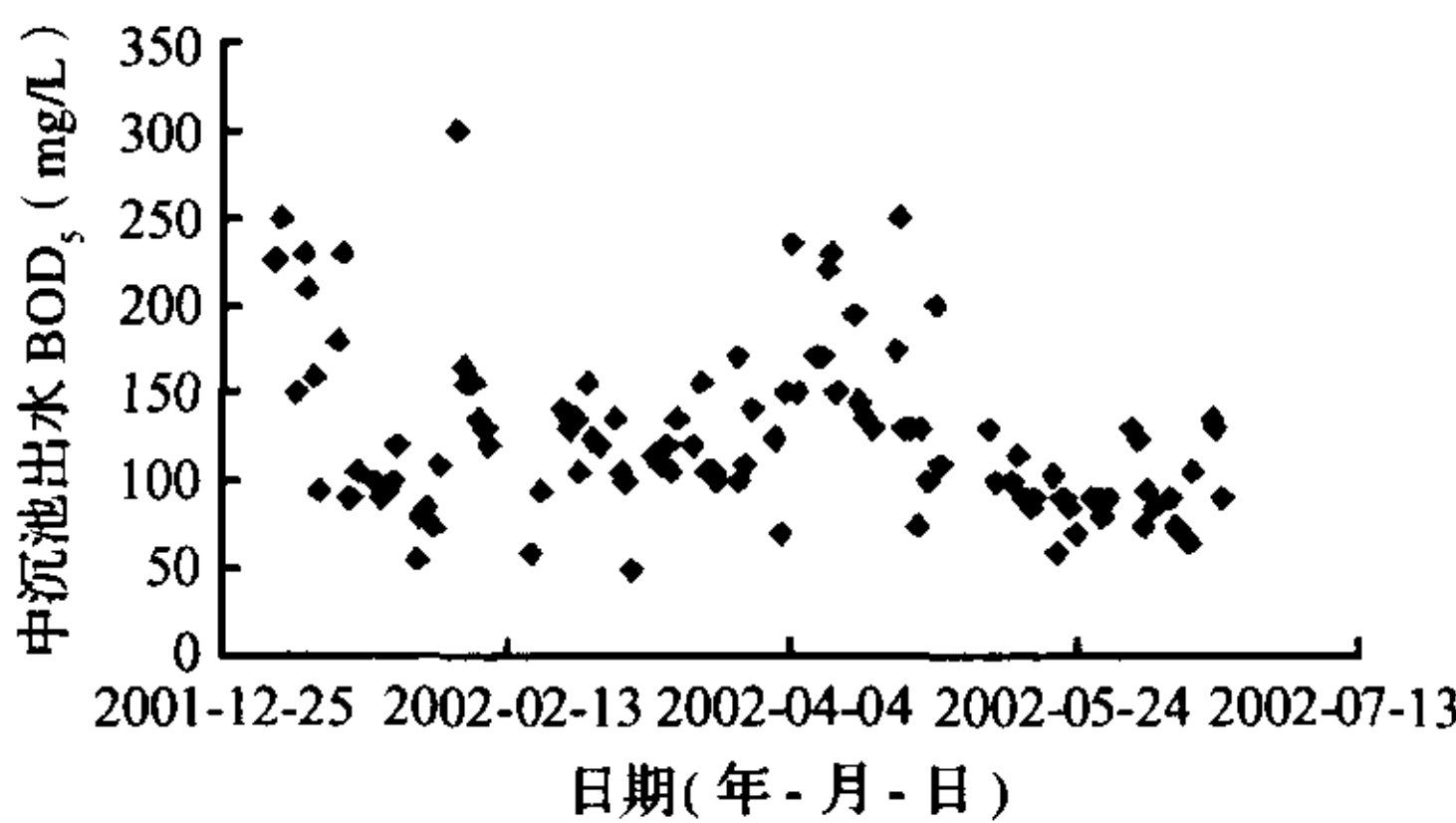


图 3 中沉池出水 BOD₅ 分布特征

Fig. 3 Distribution characteristic of outflow BOD₅ in sedimentation tank

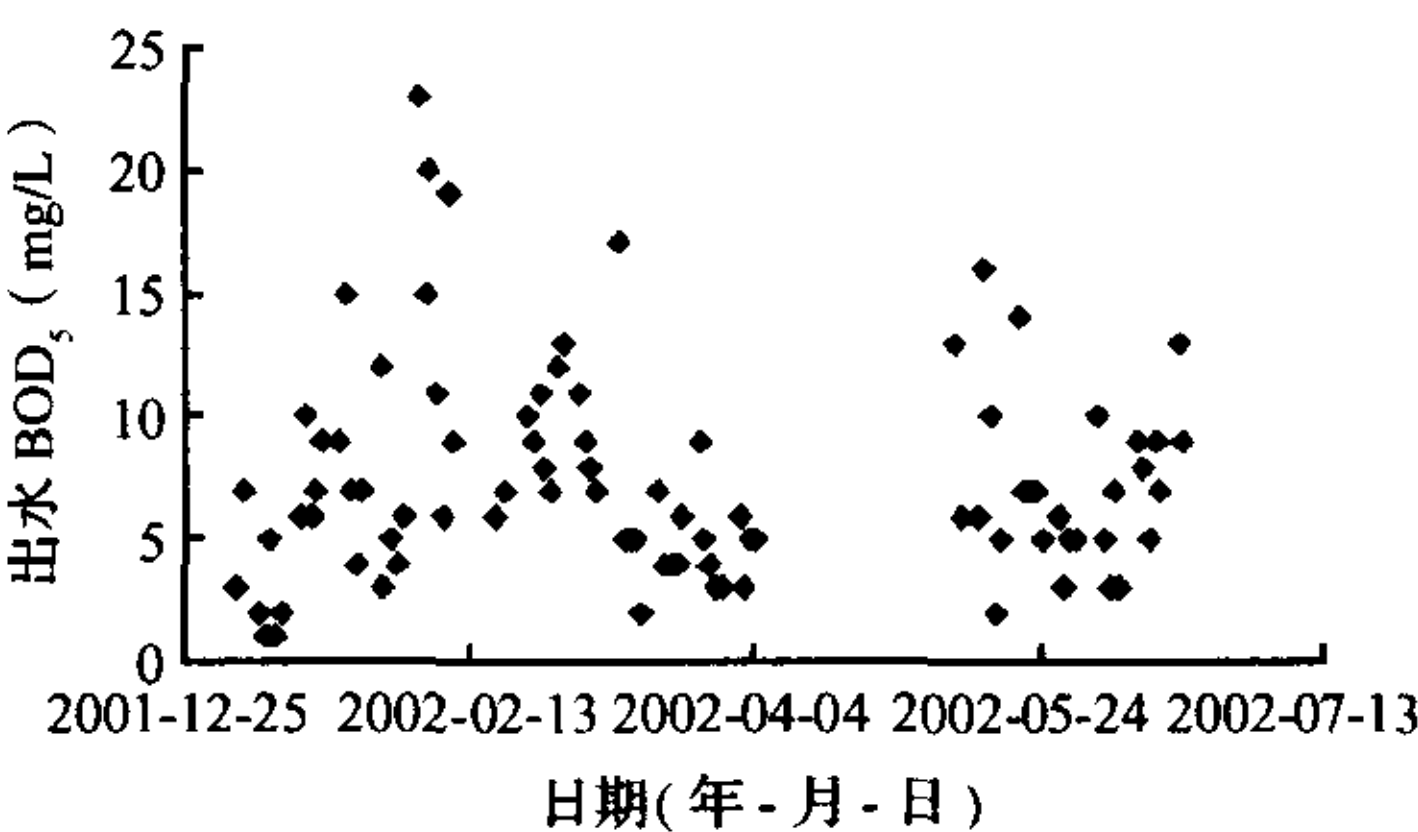


图 4 B 段曝气池出水 BOD₅ 分布特征

Fig. 4 Distribution characteristic of outflow BOD₅ in aeration tank B

表 3 BOD₅ 处理稳定性的评估过程

Table 3 Evaluation of stability of BOD ₅				
指 标	A 段曝气池	中沉池	B 段曝气池	评估标准
标准差系数	0.41	0.38	0.45	0.5,1
偏 度	2.03	1.21	1.27	0.5,3
极差系数	1.35	1.99	2.97	1,2

表 4 BOD₅ 处理稳定性的评估结果

Table 4 Stability evaluation results of BOD ₅				
单元构筑物	集中度	偏离度	差异度	评估等级
A 段氧化沟	A	B	B	2
中沉池	A	B	B	2
B 段曝气池	A	B	C	2

从表 4 可以得出如下结论:A 段曝气池、中沉池和 B 段曝气池处理 BOD₅ 的稳定性较好;三者的集中度评估结果都为 A,说明工艺合理,使得处理后 BOD₅ 浓度能集中在一个相对稳定的范围之内;三者的偏离度都为 B,说明有个别的时点的浓度值偏高或者偏低从而影响偏度大小;B 段曝气池差异度为 C,说明出水的最大最小值相差大,这一现象主要由最小值的时点浓度过低引起,不能表明工艺存在问题。

污水处理厂的技术人员对工艺稳定性的判断为:出水 BOD₅ 全部达到国家标准,出水水质稳定;A 段曝气池、中沉池和 B 段曝气池在评估时段内使用情况良好,未发现异常;个别时点由于暴雨径流的冲击使得进水水质波动较大。

比较评估系统得出的结论与污水厂技术人员的判断,可以看到评估结论与技术人员的判断基本一致。

评估系统同时对 COD、SS、TP 和 TN 分别进行评估可以得出如下结论:对 COD、SS 和 TN 的处理稳定性好,而 TP 的处理效果不令人满意,B 段氧化沟的污泥龄大是导致处理 TP 稳定性差,达标率低的主要因素。

5 结 论

(1)对各单元构筑物稳定性的评估与污水处理厂的实际情况基本吻合,因此评估是有效的。

(2)评估过程中对各指标时间序列的散布特征

和稳定性描述与污水处理厂运行维护的技术人员得出的经验判断基本一致。

(3)评估所选用的标准基本上是合理可行的。

建议在今后的工作中不断总结国内外污水处理厂的运行数据,以不断修正评估标准,另外,还需要加强理论分析,进一步从理论上解决评估方法的可靠性。

参 考 文 献

- [1] Enos L. Stover, Christopher K. Campana. Computerized biological treatment operational process control. *Water Science and Technology*, 1991, (24): 323 ~ 330
- [2] Gosta Ladiges, Artur Mennerich. Application and experience with expert systems for the operation of wastewater treatment plants. *Water Science and Technology*, 1996, (33): 265 ~ 268
- [3] K. Koskinen. Expert system as a top level controller for activated sludge process. *Water Science and Technology*, 1989, (21): 1809 ~ 1812
- [4] Gosta Ladiges, Rolf Kayser. On-Line and off-line expert systems for the operation of wastewater treatment plants. *Water Science and Technology*, 1993, (28): 315 ~ 323
- [5] H. ødegaard, A. F. Skrøvseth. An evaluation of performance and process stability of different processes for small wastewater treatment plants. *Water Science and Technology*, 1997, (35): 119 ~ 127
- [6] 周概容. 统计学原理. 天津:南开大学出版社, 1999

(上接第 41 页)

曲振动,表明有结构羟基存在,在 1100 cm⁻¹ 附近 M—OH—M 振动证明有铁羟基及其聚合态存在,且其形态区别于 PFS,其具体的结构特征还有待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] Flymm, C. M. Jr. The hydrolysis of inorganic iron (III) salts. *Chem. Rev.*, 1984, 84: 31 ~ 32
- [2] Spiro T. G., Allerton S. E., Renner J. The hydrolytic polymerization of iron. *J. Am. Chem. Soc.*, 1996, 88 (12): 2721 ~ 2726
- [3] Baes C. F. J. R. The hydrolysis of cations. *Wiley Interscience*, 1976, 38 (4): 156 ~ 159
- [4] Biedermann G. R. The hydrolysis of some tripositive ions. *Recl. Trav. Chim.*, 1959, 75: 716 ~ 720
- [5] 田宝珍. 铝铁共聚复合絮凝剂的研制及应用. *工业水处理*, 1998, 18 (1): 17 ~ 19
- [6] 许佩瑶, 卢素焕, 张振声, 等. 聚硅酸金属盐类混凝剂的

絮凝机理研究. *环境科学研究*, 2000, 13 (6): 26 ~ 29

- [7] 宋永会, 岳钦艳, 高宝玉. Ferron 逐时络合比色法研究聚硅硫酸铁中铁的形态. *油气田环境保护*, 1997, 7 (4): 4 ~ 7
- [8] 王东升, 汤鸿霄. 复合无机高分子絮凝剂的形态分布特征. *环境科学*, 2001, 22 (1): 94 ~ 97
- [9] 田宝珍, 汤鸿霄. Ferron 逐时络合比色法测定 Fe(III) 溶液中聚合物的形态. *环境化学*, 1989, 8 (4): 27 ~ 29
- [10] YoKoyam T., Tokashi Y., Tarutani T. Retarding and accelerating effects of aluminum on the growth of polysilicic acid particles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 1991, 141 (2): 559 ~ 562
- [11] 唐永星, 杨琨, 吴绍情, 等. 聚硅离子与聚铝离子在稳定胶体中的相互作用. *环境化学*, 1997, 16 (1): 60 ~ 63
- [12] 刘万毅, 吴尚芝. 复合增聚型铁铝无机高分子絮凝剂 PAFCs 的红外光谱研究. *宁夏大学学报*, 1996, 17 (2): 36 ~ 41
- [13] 于慧, 高宝玉. 红外光谱法研究聚硅氯化铝混凝剂的结构特征. *山东大学学报*, 1999, 34 (2): 198 ~ 201
- [14] 田宝珍, 汤鸿霄. 聚合铁的红外光谱和电导特征. *环境化学*, 1990, 9 (6): 70 ~ 79