

城市污水处理厂进水规律表征与模型校核

肖剑波¹ 卢培利^{1,*} 张文阁² 张代钧¹

(1. 重庆大学环境科学系, 重庆 400044; 2. 重庆水务集团公司, 重庆 400015)

摘要 进水水量水质的负荷变化是影响污水处理厂运行调控的重要因素。污水处理厂的进水特性时刻在变化,但从长期来看,其存在一定的变化规律。为研究污水处理厂进水规律,并探究建立对应水质水量预测模型的方法,分析了季节、天气及日类型对大渡口污水处理厂进水各指标的影响,在此基础上构建进水数学模型,并引入校核系数 η 对水量、COD、BOD₅、TN、NH₄⁺-N和TP等参数进行校核,校核后各参数的模拟值与实测值相关性系数分别为80.6%~85.4%(2008年),83.3%~87.3%(2009年)。研究结果可为污水处理系统计算机仿真和调控策略研究提供数据基础。

关键词 水质水量;进水规律;仿真模拟

中图分类号 X703 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2016)08-4244-07 DOI 10.12030/j.cjee.201503066

Characterization of municipal WWTP influent pattern and model verification

XIAO Jianbo¹ LU Peili^{1,*} ZHANG Wenge² ZHANG Daijun¹

(1. Department of Environmental Science, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. Chongqing Water Group Corporation, Chongqing 400015, China)

Abstract Load changes of water quantity and quality characteristics of influent are important factors affecting the control and operation of sewage treatment plants, and they change continually. However, in the long view, the changes follow general rules. To study the influent laws of sewage treatment plants and explore the methods of establishing a prediction model of water quality and influent flow, the influence of the season, weather, and the type of daily on the Dadukou sewage treatment plant influent were analyzed. From this analysis, an influent mathematical model was constructed, and the water quantity, COD, BOD₅, TN, NH₄⁺-N, and TP were evaluated using the checking coefficient η . The correlation coefficients of simulated and measured values of the parameters after checking were 80.6% to 85.4% for 2008 and 83.3% to 87.3% for 2009. The results of this research provide a data basis for computer simulation of regulation strategy for wastewater treatment systems.

Key words quality and quantity of water; influent pattern; analogue simulation

进水的水质水量特征是污水处理工艺设计、运行及调控的基础。污水水质受多因素影响,因此,城市污水处理厂实际进水水质与设计水质可能存在较大差异,这将对城市污水处理厂的正常运行和管理产生不利影响^[1-3]。污水处理厂进水负荷的动态变化,体现在水质和水量的波动与变化上,污水处理厂的进水特性时刻在变化,但大量的研究表明^[4-7],进水水量水质各指标在时间和空间尺度上存在一定的变化规律;同时,进水特性的不同也对废水处理工艺及操作运行条件提出了不同的要求^[8-9]。因此,对进水特点和规律的研究与把握有助于采取适宜的策

略,提高污水系统运行效率,改善出水水质并使出水持续达标^[10-11]。目前进水特性已逐渐得到研究人员的重视,开始应用于拟建污水处理厂进水指标的设计与确定,用以弥补直接参考相关规范制定进水参数的不足^[2,12]。此外,进水水量水质规律可为仿真模拟提供先决条件,在此基础上,研究人员利用GPS-X、BioWin等仿真软件预测工艺处理效果并给出咨询建议,已在国内外多个污水处理工艺中得到实践与应用^[13-17]。

本研究综合应用数学统计分析法和实验分析法,利用长期日常监测数据和短期的现场密集测试

基金项目: 重庆市自然科学基金资助项目(cstc2013jjB20002);中央高校基本科研业务费科研专项理工类跨学科重点项目(CDJZR13245501)

收稿日期: 2015-03-09; **修订日期:** 2015-06-02

作者简介: 肖剑波(1990—),男,硕士研究生,研究方向:水污染控制理论与技术。E-mail:1120502402@qq.com

* 通讯联系人, E-mail: lupl@cqu.edu.cn

数据进行统计分析,揭示进水各指标的分布特点及变化规律。基于进水特征的研究结果,构建进水模型。这类模型可用于生成进水文件,为仿真模拟及制定污水处理厂调控策略提供数据基础,其统计分析及建模方法可为其他污水处理厂提供借鉴。

1 研究方法

以典型城市污水处理厂为研究对象,采用进水实测数据,分析 2008—2009 年五日生化需氧量(BOD_5)、化学需氧量(COD)、总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮(NH_4^+-N)和水量等指标变化规律,在此基础上建立进水模型及完成模型校核。各水质指标按照标准分析方法^[18]进行测试。该污水处理厂设计进水指标及浓度分别为 COD $360\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, BOD_5 $180\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, TN $35\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, NH_4^+-N $30\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, TP $4\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 进水水量 $49\,992\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ 。数据分析与作图采用 matlab 及 origin 8.0。

2 结果与讨论

2.1 进水总体统计特征

根据气候特点,选取大渡口污水处理厂 2008 年 3 月 1 日至 2009 年 2 月 28 日进水常规监测数据作为 2008 年进水数据,以及 2009 年 3 月 1 日至 2010 年 2 月 28 日数据作为 2009 年进水数据进行统计分析,考虑对照。2 年各有 365 d 监测数据,将这些实测数据分别按从小到大顺序排列,构建经验分布函数,得到污水厂进水水量和水质变化的累积频率分布如图 1 所示。

以进水水量与 COD 为例,根据样本的均值和标准差构建累积正态分布函数(图 1),可见样本累积频率分布与初始累积正态分布函数较为类似,可认为,该污水处理厂进水指标符合正态分布函数关系,其他进水指标的统计结果也表现出类似特征。计算初始累积正态分布函数与样本累积频率的差方和,大部分指标的差方和都大于 1,初始累积正态分布函数与样本累积频率(实际分布)还存在一定的偏差,进水各指标数值所占区间仅为正态分布的一部分,故其概率分布属于偏态分布,分析结果与孙艳等^[7]及孙迎雪等^[19]对污水处理厂进水各指标特性的统计结果相一致。若直接采用样本的平均值和方差则难以准确地拟合实际样本分布,故考虑利用 matlab 优化正态分布的 α 与 σ^2 值,其中初始累积正态分布接近实际分布的参数无需优化,图 1 所示优化后的累积正态分布函数更加符合实际样本分布的特点。

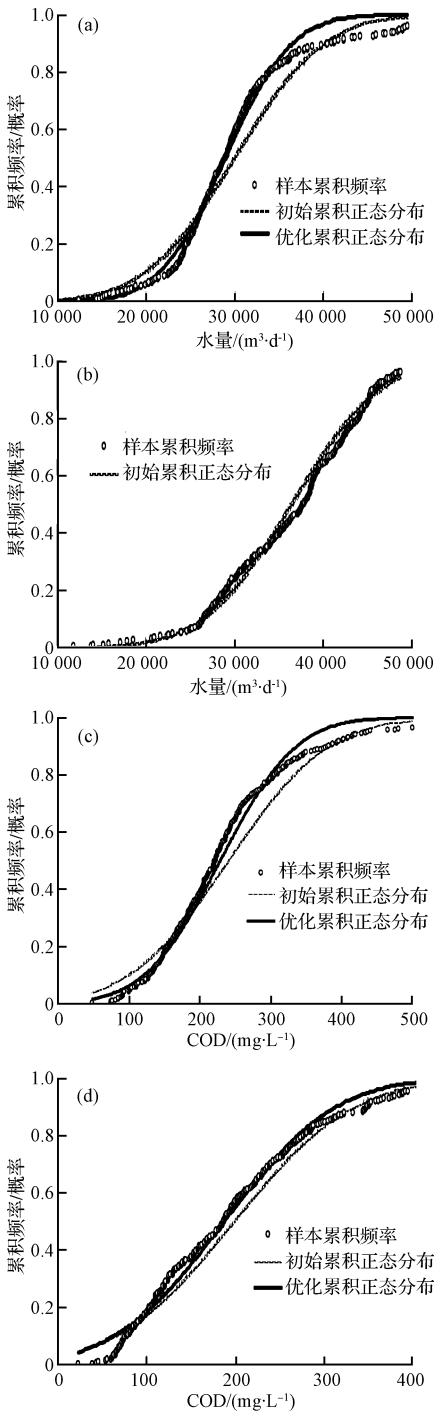


图 1 2008 年水量(a)、2009 年水量(b)与 2008 年 COD(c)、2009 年 COD(d)分布特征
Fig.1 Distribution of water inflow in 2008 (a), 2009 (b) and COD in 2008 (c), 2009 (d)

2.2 进水规律研究

2.2.1 季节条件影响

根据实际气候特点,依次人为划分为春季(3—5月),夏季(6—8月),秋季(9—11月),冬季(12—2月)。为了综合比较分析,将 2 年的日常监测数据

按季节顺序对水量、TP、COD、BOD₅、TN 和 NH₄⁺-N 等进水指标进行考察。实际进水指标值具有波动性,为了便于研究其整体分布规律,将 2 年进水各指标数据以 7 d 等距进行滑动平均处理后得出的时序分布能较好体现其分布规律,以水量和 COD 为例的季节分布图如图 2 所示。

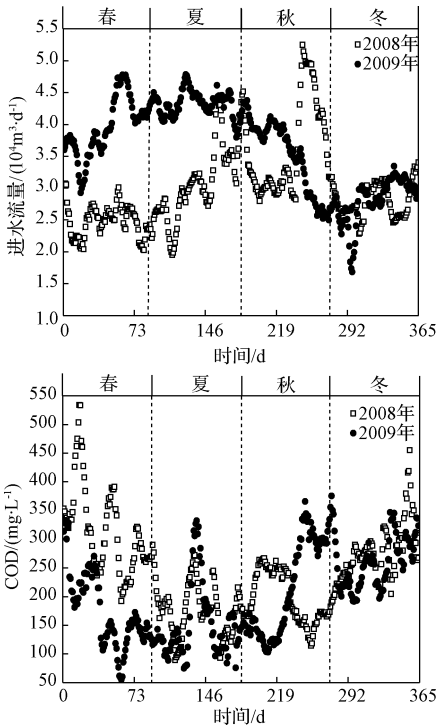


图 2 2008 年和 2009 年进水水量与 COD 季节变化分布
Fig.2 Distribution of the influent inflow and COD in 2008 and 2009

由图 2 可知,2008 年和 2009 年水量水质的变化规律基本一致,进水水质浓度 2009 年相对 2008 年整体较低,而水量整体较大。COD 特征表现为中间低两头高,春季和冬季浓度相对夏季和秋季要高,BOD₅、TP、TN 和 NH₄⁺-N 也表现出相类似的特征,而水量变化与水质变化则相反;此外,春季与冬季,夏季与秋季之间各指标变化差别不大,可能是重庆地区的冬春、夏秋季节不如北方地区分明所致。

表 1 为各季节下的各指标平均值及变异系数。变异系数表示稳定度,变异系数越大表明该指标越不稳定,出现的波动则越明显。夏季秋季水量平均值较高,水量最大,而春季水量最小。对比 COD、BOD₅、TP、TN 和 NH₄⁺-N 这 5 个水质指标在各个季节的平均值,总体特征表现为春季冬季浓度较高处理难度较大,需要加大处理力度,夏季则较低。比较各指标变异系数可知,夏季水量水质最不稳定,波动幅度大,可能因为夏季天气的多变性,最可能对处理

工艺造成不良冲击。
总体上,2009 年进水情况好于 2008 年,随着污水管网系统建设的日趋完善,2009 年进水相对较稳定。通过与污水厂进水设计值相比较,2 年的进水量与水质指标中,TN 和 TP 的浓度大幅超出设计进水水质,最高分别达 58.86% 和 25%,在污水处理实际过程中需加强脱氮除磷的处理措施,才能确保出水的全面达标。

表 1 进水水量水质数值分析
Table 1 Numerical analysis of influent inflow and quality

项目	年份	指标	数值				
			春	夏	秋	冬	全年
水量	2008	平均值/ (m ³ ·h ⁻¹)	24 497	31 535	35 589	28 392	30 027
		变异系数	0.19	0.26	0.24	0.16	0.26
	2009	平均值/ (m ³ ·h ⁻¹)	40 012	43 232	34 363	28 363	36 524
		变异系数	0.14	0.10	0.18	0.19	0.21
TP	2008	平均值/ (mg·L ⁻¹)	5.00	3.32	3.57	4.55	4.10
		变异系数	0.29	0.34	0.27	0.30	0.35
	2009	平均值/ (mg·L ⁻¹)	2.88	2.80	3.60	4.60	3.00
		变异系数	0.40	3.79	0.65	0.43	2.26
COD	2008	平均值/ (mg·L ⁻¹)	313.6	172.3	198.3	283.6	240.7
		变异系数	0.34	0.44	0.29	0.44	0.46
	2009	平均值/ (mg·L ⁻¹)	163.3	151.8	221.8	257.4	198.3
		变异系数	0.49	0.74	0.47	0.33	0.53
BOD ₅	2008	平均值/ (mg·L ⁻¹)	102.7	133.2	88.3	80.6	108.6
		变异系数	0.47	0.38	0.59	0.36	0.38
	2009	平均值/ (mg·L ⁻¹)	61.5	52.1	87.0	100.1	75.1
		变异系数	0.46	0.48	0.48	0.36	0.51
TN	2008	平均值/ (mg·L ⁻¹)	55.6	35.9	39.9	48.8	44.9
		变异系数	0.17	0.25	0.19	0.16	0.26
	2009	平均值/ (mg·L ⁻¹)	32.1	29.1	37.0	49.1	36.8
		变异系数	0.28	0.40	0.23	0.21	0.34
NH ₄ ⁺ -N	2008	平均值/ (mg·L ⁻¹)	35.8	23.4	25.6	30.9	28.9
		变异系数	0.20	0.32	0.25	0.15	0.28
	2009	平均值/ (mg·L ⁻¹)	20.1	17.1	22.7	28.0	22.0
		变异系数	0.27	0.36	0.17	0.20	0.30

2.2.2 天气条件影响

天气条件有多种类型,但对污水处理厂进水影响最直接的是雨水天气,因此,将天气条件分为雨天和非雨天研究其对该污水处理厂进水的影响。以

2008 年为例,2008 年 3 月 1 日至 2009 年 2 月 28 日一年间共有雨天 66 d。以时间为序对雨天和非雨天水量水质年变化规律对比研究,雨天与非雨天水量水质年变化规律具有较好的一致性,2008 年水量与总氮的对比分析如图 3 所示。

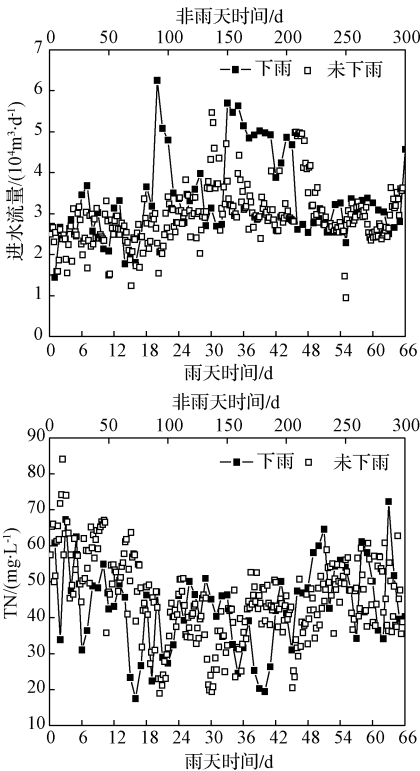


图 3 2008 年水量和总氮雨天与非雨天的年变化规律对比

Fig. 3 Comparison of annual variation of water inflow and TN on rainy day and non-rainy day of 2008

表 2 为水量水质雨天与非雨天年均值对比,其中 τ = 雨天/非雨天,为雨天相对非雨天的比值,反映雨水对各指标的影响,2 年差别较小,雨天带来的影响较稳定。雨天水量大于非雨天,COD、BOD₅、TN、NH₄⁺-N 和 TP 这 5 个水质指标雨天浓度低于非雨天,可能是雨水部分涌入污水管道导致进水水量增加,同时也给部分水质指标带来了稀释作用。

2.2.3 日类型影响

日类型划分为工作日与休息日,休息日包括周末与节假日。根据是否周末,将 2008 年 3 月 1 日至 2009 年 2 月 28 日日常监测数据划分为周末 105 d,非周末 260 d。通过计算得出周末与非周末水量水质各指标的年平均值,如表 3 所示,对比可见周末与非周末差别很小,说明周末对进水基本无影响。

2009 年 12 月 17 日至 2010 年 1 月 10 日共 25 d,其中 1 月 1 日至 1 月 7 日为节假日,每天在 01:00、03:00、05:00 和 07:00—24:00 的每个整点采样,共 21 个水样,测试 COD、TN、NH₄⁺-N、TP 和 TKN。将各指标每天的小时测试值取平均,结果见图 4。测试结果显示,进水水质指标的变化规律具有一定的相似性,进水各污染物浓度指标及水量情况在 1 月 1 日至 1 月 7 日期间出现波峰,说明假期排放的生活污水浓度及流量会有一定程度的增加。节假日效应的时间连续 1 周,将 1 月 1 日至 1 月 7 日数据提取作为节假日,其余 18 d 作为非节假日,取均值进行分析,结果见表 4, γ = 节假日/非节假日。

从表 4 可见,节假日进水水质各指标浓度及流量相对较高。节假日影响较为明显,可使进水 COD 和含磷组分的浓度增加约 50%,总氮和凯氏氮组分

表 2 水量水质雨天与非雨天的年均值对比

Table 2 Comparison of annual average of water inflow and water quality on rainy day and non-rainy day							
年份	项目	水量/ (m ³ · d ⁻¹)	COD/ (mg · L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg · L ⁻¹)	TN/ (mg · L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N/ (mg · L ⁻¹)	TP/ (mg · L ⁻¹)
2008	雨天	34 099	229.9	229.9	43	26.7	3.88
	非雨天	29 128	242.9	242.9	45.3	29.4	4.15
	τ /%	117.07	94.65	94.65	94.92	90.82	93.49
2009	雨天	39 786	188.9	70.9	35.1	19.8	3.22
	非雨天	35 487	200.4	75.7	37	22.3	3.46
	τ /%	112.11	94.26	93.66	94.86	88.79	83.06

表 3 水量水质周末与非周末年均值对比

Table 3 Comparison of annual average of water inflow and water quality on weekend and working day						
项目	水量/ (m ³ · d ⁻¹)	COD/ (mg · L ⁻¹)	TN/ (mg · L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N/ (mg · L ⁻¹)	TP/ (mg · L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg · L ⁻¹)
周末	30 141	240.9	45.1	29.1	4.13	109.3
非周末	29 981	241.0	44.8	28.6	4.09	108.3

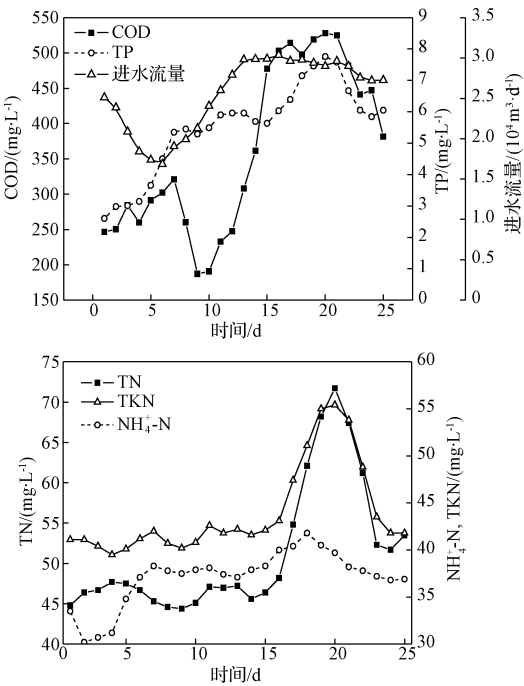


图 4 进水水质水量日变化曲线

Fig. 4 Diurnal variation of water inflow and water quality

表 4 节假日进水水质指标分析

Table 4 Numerical analysis of water quality on holiday

项目	COD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	TN/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TKN/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{NH}_4^+\text{-N}/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{BOD}_5/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TP/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
节假日	499.9	29 543	62.9	51.2	39.8	154.7	7.11
非节假日	330.1	24 023	47.4	41.3	36.3	121.6	5.07
$\gamma/\%$	151.5	123.0	132.6	124.1	109.7	127.2	140.2

分析 2009 年进水水温数据,均值为 22.22 ℃,与拟合函数的参数 α 相等;最高温 10% 天数和最低温 10% 天数的平均温度分别为 28.18 ℃ 和 17.26 ℃,它们与进水平均温度的差值跟拟合函数的参数接近; $\omega = 0.017\ 2$ 即 $2\pi/365$; $\varphi = -1.235$ 为初始相位,与计算时间的起点有关,同一计算起点初相不变。

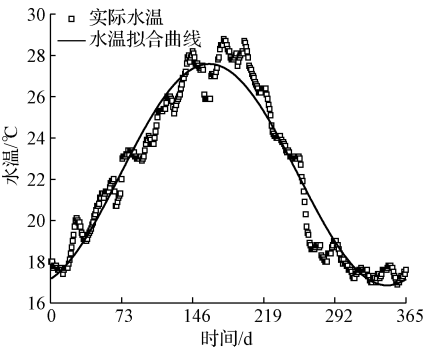


图 5 2009 年进水水温数据拟合结果

Fig. 5 Fitted result of influent water temperature in 2009

浓度增加约 30%,氨氮约 10%,流量约增加 23%。受节假日影响,总氮增加高于凯氏氮,并明显高于氨氮。

2.3 进水模型建立与校核

2.3.1 温度模型

LANGERGRABER 等^[20]运用傅里叶函数生成了可供污水处理厂动态仿真的进水数据。一级傅里叶函数可以取得较好的拟合效果,所以采用一级傅里叶函数建模既能达到良好的效果,又能减少模型的复杂程度,拟合函数如式(1)所示。

$$f(x) = a + b\sin(\omega x) + c\cos(\omega x) \quad (1)$$

式(1)简化可得:

$$f(x) = \alpha + \beta\sin(\omega x + \varphi) \quad (2)$$

式中 $\alpha, \beta, \omega, \varphi$ 为参数。

利用公式(2),根据误差最小原则,对 2009 年 3 月 1 日至 2010 年 2 月 28 日共 365 d 进水水温数据进行拟合,相关性系数为 95.23%,拟合效果较好,结果见图 5。得到 $\alpha = 22.22, \beta = 5.367, \omega = 0.017\ 2, \varphi = -1.235$ 。

2.3.2 水量水质模型

气候条件对进水水质水量具有主要影响,以温度模型为基础建立进水水量水质模型。由于进水水质水量还受到天气和日类型的影响,所以模型中应加入天气影响因子和日类型影响因子。得到进水水量水质模型如式(3)所示。

$$f(x) = \tau\gamma[\alpha + \beta\sin(\omega x + \varphi)] \quad (3)$$

天气影响因子根据前面天气影响分析结果确定,雨天取表 2 中的值,非雨天取 1;日类型影响考虑节假日,节假日影响效应为 7 d,日类型影响因子由表 4 确定,非节假日取 1; α 为表 1 中的年平均值; β 根据概率统计结果,计算某参数最大与最小 10% 的均值,将 2 个值与年均值的差的绝对值取平均,所有 β 取值如表 5 所示; ω 同温度模型,取 $2\pi/365$; φ 亦同温度模型,2008 年 $\varphi = -1.253$,2009 年 $\varphi = -1.235$ 。

2.3.3 进水模型校核

利用式(3)对 2008 年进水 COD 浓度进行模拟,与实测值对比,结果如图 6 所示。模拟结果与实测值的相关性系数为 45.9%,一般认为,相关性系数

表 5 参数 β 取值
Table 5 Values of parameter β

年份	水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	COD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	BOD ₅ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TN/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	NH ₄ ⁺ -N/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TP/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
2008	14 827	191.4	83.2	14.3	20.5	2.54
2009	12 899	176.2	63.5	11.9	21.0	2.40

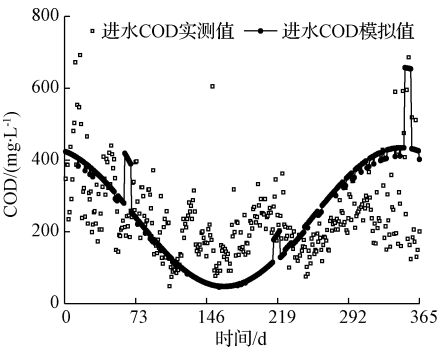


图 6 2008 年进水 COD 实测值及模拟结果
Fig.6 Simulated result of influent COD in 2008

达到 80% 为良好,模型得出的结果误差较大。式(3)是在温度模型的基础上提出来,但是季节的影响主要是温度差异但不等同于仅受温度这个单一因子的影响,因此,式(3)可能无法真实准确地反映季节对进水水质水量指标的影响。考虑对式(3)引入季节性校核参数,得到式(4)。

$$f(x) = \eta \tau \gamma [\alpha + \beta \sin(\omega x + \varphi)] \tag{4}$$

由式(3)的模拟值与实测值确定。将式(3)的模拟值分为春夏秋冬 4 个季节段,计算各季节的均值。用实测值各季节的均值除以模拟获得的季节均值得到的比值即为各季节的参数,各指标各季节的 η 值见表 6;基于校核后数学模型模拟得出进水各指标浓度的模拟值,利用 matlab 调用相关函数 corcoef,可分别得出各个指标的模拟值与对应实测值之间的相关性系数,如表 7 所示。

表 6 参数 η 取值
Table 6 Values of parameter η

项目	春		夏		秋		冬	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009
水量	1.01	1.16	0.75	0.82	1.00	0.93	1.58	1.49
COD	0.96	0.92	2.08	2.02	1.17	1.06	0.69	0.75
BOD ₅	0.73	0.62	3.25	2.26	1.15	1.08	0.46	0.49
TP	0.98	0.94	1.63	1.71	1.14	1.29	0.74	0.83
TN	1.10	0.98	1.08	1.06	1.01	1.14	0.86	1.05
NH ₄ ⁺ -N	0.97	0.87	1.91	1.58	1.21	1.38	0.68	0.71

2008 年进水 COD 的模拟结果见图 7。图 7 显示,校核后的模型更能反映实际分布特征,但由于一方面实测值数量较多且难免存在一定的随机波动性,

方程难以精确拟合每一个数据点;此外,为降低复杂程度,拟合过程只采用一级函数,模型的简化导致不可能完全反映出水水质水量各指标的波动与变化,倘若增加函数的级数,势必增加大量的参数,反而不利于模型的建立,因此,模拟结果与实测值之间不可避免地存在一定误差,导致相关性系数难以进一步提高。

表 7 校核后模拟值与实测值相关性系数
Table 7 Correlation coefficients between calibrated simulated results and measured values

年份	水量	COD	BOD ₅	TN	NH ₄ ⁺ -N	TP	%
2008	80.6	84.6	83.2	85.1	85.4	83.8	
2009	83.3	86.1	84.7	86.9	87.3	84.5	

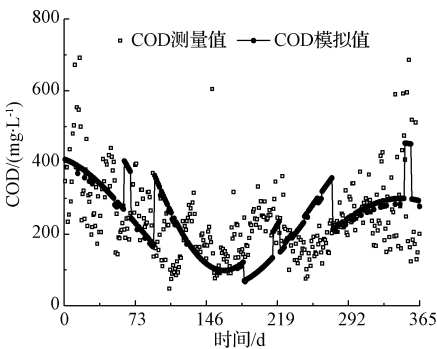


图 7 2008 年进水 COD 实测值及校核后模拟结果
Fig.7 Calibrated simulated result of influent COD in 2008

3 结 论

通过对污水处理厂 2008 年和 2009 年进水数据统计分析,比对样本累积频率分布与初始累积正态分布,所研究的城市污水处理厂进水指标符合正态分布函数关系。气候条件、天气、日类型 3 因素对进水水质水量变化均能产生影响。基于一级傅里叶函数拟合得到温度模型,其相关性系数为 95.23%,拟合效果较好,在此基础上相应引入天气影响因子和日类型影响因子建立进水水质水量模型,通过校核,模拟值与实测值相关性系数 2008 年为 80.6% ~ 85.4%,2009 年为 83.3% ~ 87.3%。根据分析结果建立了进水模型,可生成用于仿真模拟的水质水量文件,为评价污水处理厂现状及仿真模拟并提出优化策略提供基础,为其他污水处理系统探究进水规

律、构建数学模型提供借鉴。

参考文献

- [1] 孙迎雪, 吴光学, 胡洪营, 等. 昆明市污水处理厂进水水质特征分析. 环境科学与技术, **2013**, 36(7): 147-152
SUN Yingxue, WU Guangxue, HU Hongying, et al. Characteristics of influent quality of municipal wastewater treatment plants of Kunming City. Environmental Science & Technology, **2013**, 36(7): 147-152(in Chinese)
- [2] 鞠兴华, 王社平, 彭党聪. 城市污水处理厂设计进水水质的确定方法. 中国给水排水, **2007**, 23(14): 48-51
JU Xinghua, WANG Sheping, PENG Dangcong. Determination methodology for design influent quality of municipal wastewater treatment plant. China Water & Wastewater, **2007**, 23(14): 48-51(in Chinese)
- [3] 羊寿生, 张辰. 城市污水处理厂设计中热点问题剖析. 给水排水, **1999**, 25(9): 1-3
YANG Shousheng, ZHANG Chen. Hot points on urban WTP design. Water & Wastewater Engineering, **1999**, 25(9): 1-3(in Chinese)
- [4] 静贺, 邱勇, 沈童刚, 等. 城市污水处理厂进水动态特性及其影响研究. 给水排水, **2010**, 36(8): 35-38
JING He, QIU Yong, SHEN Tonggang, et al. Study on the influent dynamic characteristics of municipal wastewater treatment plants and their impacts. Water & Wastewater Engineering, **2010**, 36(8): 35-38(in Chinese)
- [5] 胡爽, 连佐平. 重庆市城镇居民生活区污水水质特征分析. 环境科学与技术, **2012**, 35(8): 117-119
HU Shuang, LIAN Zuoping. Analysis of wastewater quality of residential areas in Chongqing. Environmental Science & Technology, **2012**, 35(8): 117-119(in Chinese)
- [6] 程静, 姜应和, 叶舟, 等. 武汉晒湖地区城市污水水质特征分析. 给水排水, **2004**, 30(7): 7-10
CHENG Jing, JIANG Yinghe, YE Zhou, et al. Characteristic analysis of municipal wastewater in Shaihu district, Wuhan city. Water & Wastewater Engineering, **2004**, 30(7): 7-10(in Chinese)
- [7] 孙艳, 张逢, 胡洪营, 等. 上海市污水处理厂进水水质特征的统计学分析. 环境工程学报, **2014**, 8(12): 5167-5173
SUN Yan, ZHANG Feng, HU Hongying, et al. Statistical analysis of influent quality characteristics of municipal wastewater treatment plants in Shanghai, China. Chinese Journal of Environmental Engineering, **2014**, 8(12): 5167-5173(in Chinese)
- [8] 张玲玲, 陈立, 郭兴芳, 等. 南北方污水处理厂进水水质特性分析. 给水排水, **2012**, 38(1): 45-49
ZHANG Lingling, CHEN Li, GUO Xingfang, et al. The characterization of influent water quality of north and south wastewater treatment plants. Water & Wastewater Engineering, **2012**, 38(1): 45-49(in Chinese)
- [9] GANIGUÉ R., VOLCKE E. I. P., PUIG S., et al. Impact of influent characteristics on a partial nitrification SBR treating high nitrogen loaded wastewater. Bioresource Technology, **2012**, 111: 62-69
- [10] 杨仙娥, 何延新. 城市污水水质水量变化及生活污染源污染特征研究. 环境科学与管理, **2012**, 37(11): 164-167
YANG Xian'e, HE Yanxin. Quality and quantity variation of municipal sewage and pollution characteristics of domestic pollution sources. Environmental Science and Management, **2012**, 37(11): 164-167(in Chinese)
- [11] 范先鹏, 熊桂云, 张敏敏, 等. 湖北省三峡库区农村生活污水发生规律与水质特征. 湖北农业科学, **2011**, 50(24): 5079-5083
FAN Xinapeng, XIONG Guiyun, ZHANG Minmin, et al. Study on rural domestic wastewater producing dynamics and characteristic of wastewater quality in Three Gorges Reservoir Area of Hubei Province. Hubei Agricultural Sciences, **2011**, 50(24): 5079-5083(in Chinese)
- [12] 周克钊, 周枚. 城市污水处理厂设计进水水质确定和出水水质评价. 给水排水, **2006**, 32(9): 26-30
ZHOU Kezhao, ZHOU Mi. Influent quality estimation and effluent quality evaluation of municipal wastewater treatment plants. Water & Wastewater Engineering, **2006**, 32(9): 26-30(in Chinese)
- [13] 艾海男, 何强, 张代钧, 等. 基于 COD 组分表征的 GPS-X 对污水厂的模拟. 重庆大学学报, **2011**, 34(5): 82-86
AI Hainan, HE Qiang, ZHANG Daijun, et al. The GPS-X simulation of a waste water treatment plant based on the characterization of COD. Journal of Chongqing University, **2011**, 34(5): 82-86(in Chinese)
- [14] 胡志荣, 军周, 甘一萍, 等. 基于 BioWin 的污水处理工艺数学模拟与工程应用. 中国给水排水, **2008**, 24(4): 19-23
HU Zhirong, JUN Zhou, GAN Yiping, et al. BioWin-based mathematical models for wastewater treatment processes and their engineering application. China Water & Wastewater, **2008**, 24(4): 19-23(in Chinese)
- [15] NUHOGLU A., KESKINLER B., YILDIZ E. Mathematical modelling of the activated sludge process: The Erzincan case. Process Biochemistry, **2005**, 40(7): 2467-2473
- [16] NASR M. S., MOUSTAFA M. A. E., SEIF H. A. E., et al. Modelling and simulation of German BIOGEST/EL-AGAMY wastewater treatment plants: Egypt using GPS-X simulator. Alexandria Engineering Journal, **2011**, 50(4): 351-357
- [17] ABDEL-KADER A. M. Studying the efficiency of grey water treatment by using rotating biological contactors system. Journal of King Saud University: Engineering Sciences, **2013**, 25(2): 89-95
- [18] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, **2002**
- [19] 孙迎雪, 吴光学, 胡洪营, 等. 昆明市分流制排水区域污水厂进水水质特征的统计学分析. 环境工程学报, **2013**, 7(8): 2885-2891
SUN Yingxue, WU Guangxue, HU Hongying, et al. A statistical study of influent quality of wastewater treatment plant with separate sewer system in Kunming city. Chinese Journal of Environmental Engineering, **2013**, 7(8): 2885-2891(in Chinese)
- [20] LANGERGRABER G., ALEX J., WEISSENBACHER N., et al. Generation of diurnal variation for influent data for dynamic simulation. Water Science and Technology, **2008**, 57(9): 1483-1486