

包头市城市污水水质指标的统计学分析

朱信成¹ 肖作义¹ 肖明慧^{1,2} 段连均² 康文庆² 谷兆全² 范荣华² 杜瑞³

(1.内蒙古科技大学能源与环境工程学院,内蒙古 包头 014010;

2.包头市排水产业有限责任公司,内蒙古 包头 014030;3.包头市北郊水质净化厂,内蒙古 包头 014010)

摘要 以包头市污水处理厂2015年全年进水实测数据为基础,应用统计学方法分析了包头市城市污水中6个水质指标(COD、BOD₅、SS、氨氮、TN和TP)的概率分布、变化规律和相关关系。结果表明,包头市污水处理厂进水中,除COD呈正态分布外其他5个水质指标均服从偏态分布,COD、BOD₅、SS、氨氮、TN和TP全年中间值分别为428.00、288.00、155.00、67.35、89.85、9.57 mg/L,各水质指标均随季节变化明显。COD和BOD₅、COD和SS、BOD₅和SS、氨氮和TN间存在较明显的一元线性关系。进水BOD₅/COD(质量比)平均值高于0.45,BOD₅/COD>0.45的累积分布概率为96.6%,说明包头市城市污水可生化性较好。BOD₅/TN(质量比)平均值为3.32,BOD₅/TN<4.00的累积分布概率为59.7%,说明有污水反硝化碳源不足的现象存在。进水BOD₅/TP(质量比)平均值为31,且全年BOD₅/TP>20的累积分布概率为93.0%,满足生物除磷要求。

关键词 城市污水 水质 特征 统计分析

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2017.06.021

Statistical analysis of quality characteristics of municipal wastewater in Baotou City ZHU Xincheng¹, XIAO Zuoyi¹, XIAO Minghui^{1,2}, DUAN Lianjun², KANG Wenqing², GU Zhaoquan², FAN Ronghua², DU Rui³. (1. Academy of Energy and Environment Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou Inner Mongolia 014010; 2. Baotou Drainage Industry Co., Ltd., Baotou Inner Mongolia 014030; 3. Northern Suburban Water Purification Plant, Baotou Inner Mongolia 014010)

Abstract: The annual measured data of inlet water of sewage plants in Baotou City in 2015 was taken as the basis and the statistical method was applied to analyze the probability distribution, change rule and correlativity of 6 pollutant indexes (COD, BOD₅, SS, ammonia nitrogen, TN and TP) in the urban sewage of Baotou City. According to the result, BOD₅, SS, ammonia nitrogen, TN and TP in the inlet water of sewage plants in Baotou City complied with a skewed distribution except that COD showed a normal distribution. The annual medians of COD, BOD₅, SS, ammonia nitrogen, TN and TP were 428.00, 288.00, 155.00, 67.35, 89.85 and 9.57 mg/L. Various indexes significantly varied with the seasons. There was an obvious one-dimensional linear relationship between COD and BOD₅, COD and SS, BOD₅ and SS, ammonia nitrogen and TN. The average value of BOD₅/COD (mass ratio) in inlet water was higher than 0.45 and the cumulative probability of BOD₅/COD>0.45 was 96.6%, which indicated good biodegradability of inlet water quality. The average value of BOD₅/TN (mass ratio) was 3.32 and the cumulative probability of BOD₅/TN<4.00 was 59.7%, which showed poor carbon source for denitrification. The average value of BOD₅/TP (mass ratio) in inlet water was 31 and the cumulative probability of BOD₅/TP>20 reached 93.0%, which showed that the inlet water satisfied the requirements of biological phosphorus removal.

Keywords: municipal wastewater; water quality; characteristics; statistical analysis

由于经济快速发展,城市人口逐渐增多,城镇居民的用水量逐年增大,工业废水排放量也迅速增加,导致城市污水问题日益严重。如何有效缓解城镇水污染及水资源短缺是城市发展建设中需要着重考虑的关键问题^[1-2]。城市污水处理厂是有效解决城市污水问题的重要手段,对城市污水进行收集处理并利用既可减轻水体污染,还能缓解水资源紧张^[3-5]。

城市污水的水质特征决定着污水处理厂的工艺类型,充分熟悉污水水质特点对于节省污水处理厂工程建设、运行费用及提高污水处理效果具有重要意义^[6-7]。本研究以包头市为例,研究了城市污水水质特征,尤其对COD、BOD₅、SS、氨氮、TN和TP的变化规律和概率分布进行了统计学分析,获得了各水质指标间的相关关系,为包头市和北方其他城市污

第一作者:朱信成,男,1991年生,硕士研究生,研究方向为城市污水处理技术。

表 1 包头市污水处理厂进水水质指标统计¹⁾

Table 1 Influent quality index statistics of wastewater treatment plant in Baotou City
mg/L,有效样本数除外

水质指标	有效样本数	平均值	标准差	极小值	极大值	中间值	P25	P75
COD	714	437.51	78.29	230.00	668.00	428.00	382.00	486.25
BOD ₅	702	292.59	64.44	134.00	438.00	288.00	246.00	342.75
SS	714	160.07	27.41	108.00	251.00	155.00	140.00	175.00
氨氮	714	65.33	11.95	34.40	89.80	67.35	56.93	74.68
TN	714	88.97	12.61	52.40	117.00	89.85	80.75	99.63
TP	713	9.99	3.99	2.77	50.80	9.57	8.22	11.40

注: ¹⁾P25、P75 分别代表数据从小到大排序后位于 25%、75% 位置的数值。

水处理厂污水处理工艺选型、提高污水处理效能提供科学依据。

1 污水处理厂进水水质

以包头市所有污水处理厂 2015 年全年进水作为研究对象,水质数据来源于各污水处理厂每日进水的实测数据,采用 SPSS 21.0 软件对水质数据进行统计学分析。2015 年包头市污水处理厂进水水质指标统计结果如表 1 所示。

由表 1 可见,包头市污水处理厂进水 COD、BOD₅、SS、氨氮、TN、TP 分别为 230.00~668.00、134.00~438.00、108.00~251.00、34.40~89.80、2.77~50.80、52.40~117.00 mg/L,全年中间值分别为 428.00、288.00、155.00、67.35、89.85、9.57 mg/L,标准差分别为 78.29、64.44、27.41、11.95、3.99、12.61 mg/L,可见包头市污水处理厂进水污染物浓度的波动较大。

根据 SPSS 21.0 软件规定,当有效样本数不足 2 000 时,正态分析以 Shapiro-Wilk 检验结果为准。污水处理厂进水指标的 Shapiro-Wilk 检验结果如表 2 所示。

表 2 进水指标的正态检验分析

Table 2 Normality test of influent quality indexes

水质指标	统计量	自由度	显著性经验值
COD	0.987	714	0.054
BOD ₅	0.986	702	0.032
SS	0.958	714	0
氨氮	0.967	714	0
TN	0.979	714	0.002
TP	0.640	713	0

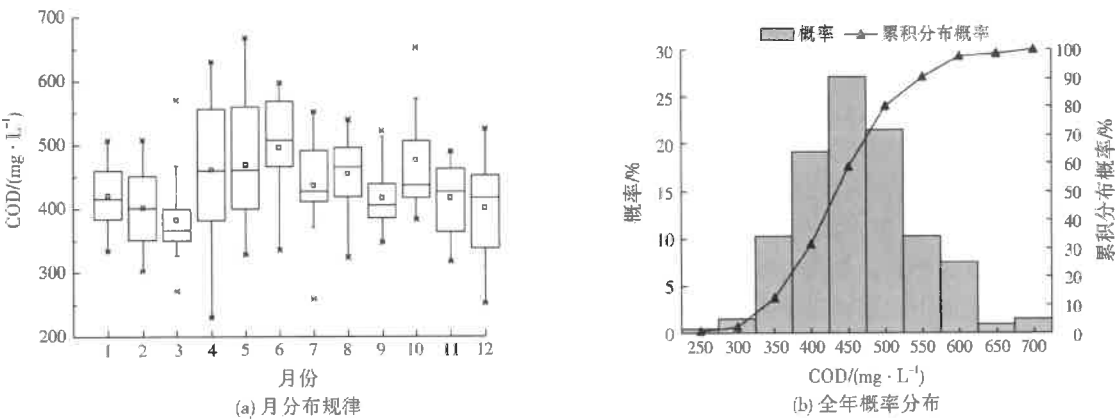
由表 2 可见,COD 的显著性经验值大于 0.05,表明进水 COD 浓度服从正态分布,其他各项水质指标的显著性经验值均小于 0.05,因此 BOD₅、SS、氨氮、TP、TN 均不服从正态分布。

2 水质指标特征分析

2.1 COD 特征分析

2015 年进水 COD 月分布规律及其全年概率分布情况如图 1 所示。

从图 1(a)可见,1—12 月进水 COD 的平均值和中间值互有大小,除 10 月两者相差稍大外各月平均值和中间值总体相近,各月进水 COD 的中间值在 368.00~507.00 mg/L,随季节有明显变化,其中 6 月进水 COD 中间值最大,3 月最小。从图 1(b)可



注:在图(a)箱体图中箱体上下两端分别对应 P25 和 P75,箱体中的线段对应中间值,箱体内部空点对应平均值,箱体两端线段端点对应的数值为极值,外部散点为异常值。图 2 至图 6 同。

图 1 COD 月分布规律及其全年概率分布

Fig.1 Monthly distribution and annual probability distribution of COD

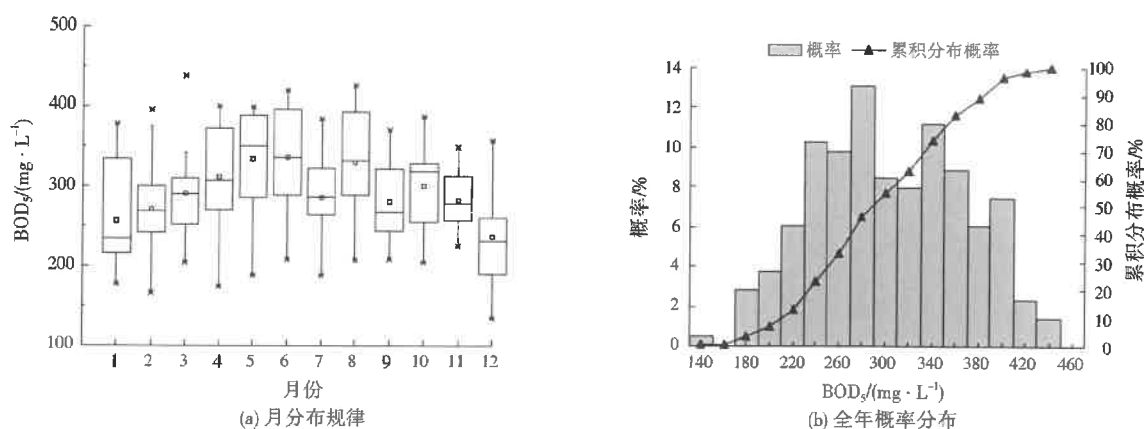


图2 BOD₅月分布规律及其全年概率分布
Fig.2 Monthly distribution and annual probability distribution of BOD₅

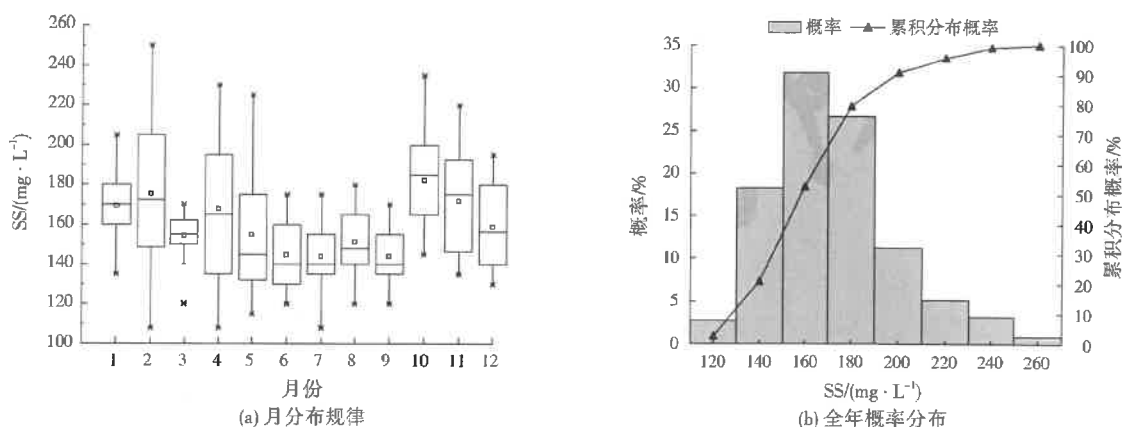


图3 SS月分布规律及其全年概率分布
Fig.3 Monthly distribution and annual probability distribution of SS

见,进水 COD 呈正态分布,主要分布在 350.00~550.00 mg/L,该区间累积分布概率达 87.6%,进水 COD 为 600.00 mg/L 时的累积分布概率为 95.0%。

2.2 BOD₅ 特征分析

2015 年进水 BOD₅ 月分布规律及其全年概率分布情况如图 2 所示。

由图 2(a) 可见,除 5 月、8 月、10 月外,其他各月进水 BOD₅ 平均值均大于或等于中间值,进水 BOD₅ 中间值分布在 231.00~350.00 mg/L,随季节变化明显,其中 5 月进水 BOD₅ 中间值最高,12 月最低。由图 2(b) 可见,进水 BOD₅ 呈正偏态分布,主要分布在 240.00~400.00 mg/L,该区间的累积分布概率为 72.9%,进水 BOD₅ 为 400.00 mg/L 时的累积分布概率为 95.0%。

2.3 SS 特征分析

2015 年进水 SS 月分布规律及其全年概率分布情况如图 3 所示。

由图 3(a) 可见,除 1 月、3 月、10 月、11 月外,其

他各月进水 SS 平均值均大于中间值,进水 SS 中间值分布在 140.00~185.00 mg/L,随季节变化明显,其中 6 月、7 月、9 月进水 SS 中间值最小,10 月最大。根据图 3(b),进水 SS 呈正偏态分布,主要分布在 140.00~200.00 mg/L,该区间的累积分布概率为 69.0%,而 SS 为 219.00 mg/L 时的累积分布概率为 95.0%。

2.4 氨氮特征分析

2015 年进水氨氮月分布规律及其全年概率分布情况如图 4 所示。

由图 4 可见,除 2 月、3 月、4 月外,其他各月进水氨氮的平均值均小于中间值,进水氨氮中间值分布在 48.30~74.55 mg/L,随季节变化明显。其中,10 月进水氨氮中间值最大,3 月最小。由图 4(b) 可见,进水氨氮呈负偏态分布,主要分布在 55.00~85.00 mg/L,该区间的累积分布概率为 75.2%,氨氮为 83.20 mg/L 时累积分布概率达到 95.0%。

2.5 TN 特征分析

2015 年进水 TN 月分布规律及其全年概率分

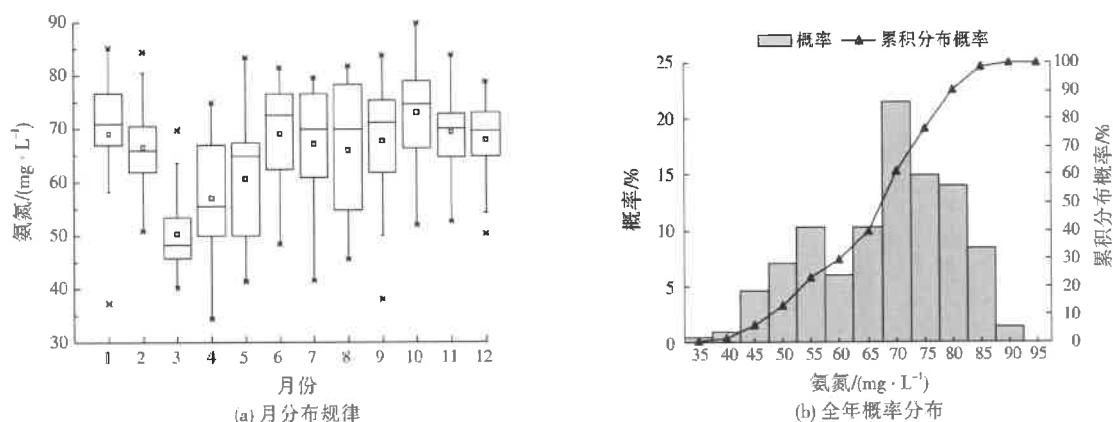


图4 氨氮月分布规律及其全年概率分布

Fig.4 Monthly distribution and annual probability distribution of ammonia nitrogen

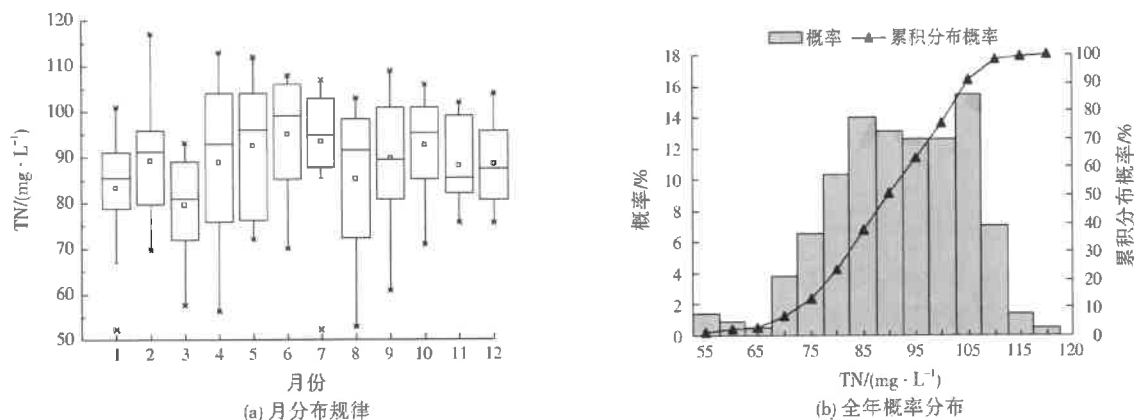


图5 TN月分布规律及其全年概率分布

Fig.5 Monthly distribution and annual probability distribution of TN

布情况如图5所示。

由图5可见,除9月、11月、12月外,其他各月进水TN的平均值均小于中间值,进水TN中间值分布在80.90~99.10 mg/L,随季节变化明显,其中6月进水TN中间值最大,3月最小。由图5(b)可见,进水TN呈负偏态分布,主要分布在80.00~105.00 mg/L,该区间的累积分布概率为67.8%,TN为107.00 mg/L时的累积分布概率达到95.0%。

2.6 TP特征分析

2015年进水TP月分布规律及其全年概率分布情况如图6所示。

由图6(a)可见,除6月、7月外,其他各月进水TP的平均值均大于或等于中间值,进水TP的月中间值分布在7.40~11.60 mg/L,随季节变化明显,其中6月进水TP中间值最大,3月最小。由图6(b)可见,进水TP呈正偏态分布,主要分布在10.00~15.00 mg/L,该区间的累积分布概率为91.3%,TP为14.00 mg/L时的累积分布概率达到95.0%。

2.7 水质指标间的相关性分析

污水处理厂进水组分复杂多样,分析各种组分间的相关性将有助于提高污水处理厂的稳定运行效果^[8]。本研究对包头市污水处理厂2015年全年进水各项水质指标进行Pearson相关性分析,以确定不同水质指标之间的相关性,结果如表3所示。

由表3可见,COD和BOD₅、SS和COD、SS和BOD₅、氨氮和TN的相关系数大于0.6,表明两者间存在强相关性。COD和氨氮、COD和TN的相关系数在0.4~0.6,表明两者间存在中等程度的相关性。而SS和TP、SS和TN相关系数小于0.2,且未通过显著性检验,表明两者没有相关性。除此之外的其他组合相关系数均在0.2~0.4,表明两者之间仅存在弱相关性。经过Pearson相关性分析,为确定存在强相关性的各水质指标间的一元线性关系,用最小二乘法对4组水质指标进行回归计算,各水质指标间的回归方程及相关系数如下:

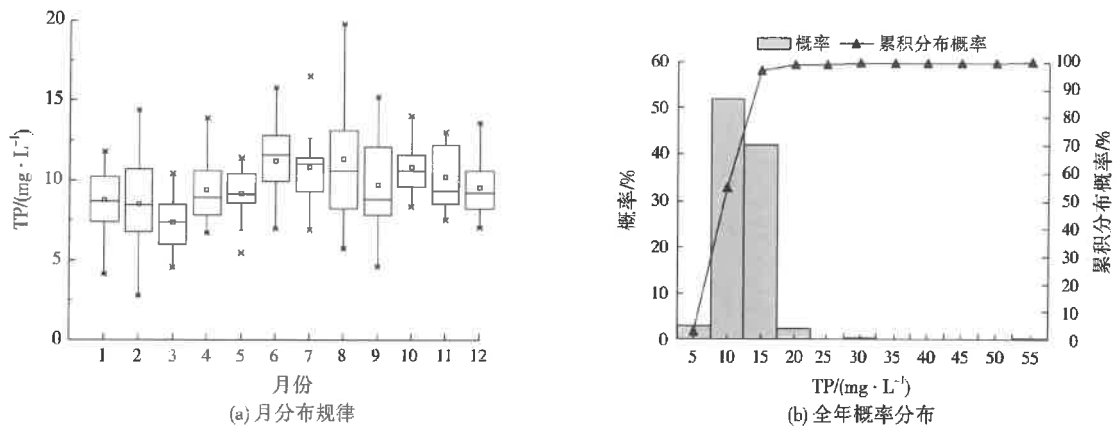


图 6 TP 月分布规律及其全年概率分布
 Fig.6 Monthly distribution and annual probability distribution of TP

表 3 水质指标 Pearson 相关性分析¹⁾
 Table 3 Pearson correlation analysis of water quality indexes

水质指标	COD	BOD ₅	SS	氨氮	TP
BOD ₅	0.829 *				
SS	0.853 *	0.842 *			
氨氮	0.529 *	0.350 *	0.220 *		
TP	0.263 *	0.242 *	0.118	0.383 *	
TN	0.527 *	0.373 *	0.050	0.786 *	0.315 *

注: ¹⁾ * 表示相关关系通过显著性检验。

$$c_{\text{COD}} = 113.9 + 0.76c_{\text{BOD}_5}, R^2 = 0.69 \quad (1)$$

$$c_{\text{COD}} = 281.5 + 0.45c_{\text{SS}}, R^2 = 0.73 \quad (2)$$

$$c_{\text{BOD}_5} = 176.8 + 0.29c_{\text{SS}}, R^2 = 0.71 \quad (3)$$

$$c_{\text{AN}} = 8.92 + 0.634c_{\text{TN}}, R^2 = 0.62 \quad (4)$$

式中: c_{COD} 、 c_{BOD_5} 、 c_{SS} 、 c_{AN} 、 c_{TN} 分别为进水 COD、BOD₅、SS、氨氮、TN 的质量浓度, mg/L。

由式(1)至式(4)可见, COD 和 BOD₅、COD 和 SS、BOD₅ 和 SS、氨氮和 TN 之间具有较明显的线性关系。

3 水质指标比例关系特征分析

3.1 BOD₅/COD(质量比)特征分析

BOD₅/COD 是污水可生化降解性能的重要指标, 可以反映污水可生化降解的能力。对于城市污水而言, BOD₅/COD 大于 0.45 时说明污水可生化性较好, 适于生物处理^[9]。包头市污水处理厂进水 BOD₅/COD 概率分布如图 7 所示。

由图 7 可见, 进水 BOD₅/COD 主要分布在 0.45~0.95, 对累积分布概率曲线分析可知, 全年进水 BOD₅/COD 的平均值和中间值均为 0.67, BOD₅/COD 大于 0.45 的累积分布概率为 96.6%, 可见包头市城市污水具有良好的可生化性, 易于生物降解。

3.2 BOD₅/TN(质量比)特征分析

反硝化是城市污水处理过程中主要反应之一, 反硝化过程中碳源对于反应速率的影响巨大, 对脱氮效果起着决定性作用。通常污水 BOD₅/TN 在 4.00~6.00 时, 表明碳源含量满足生物反硝化的需求^[10]。包头市污水处理厂进水 BOD₅/TN 概率分布如图 8 所示。

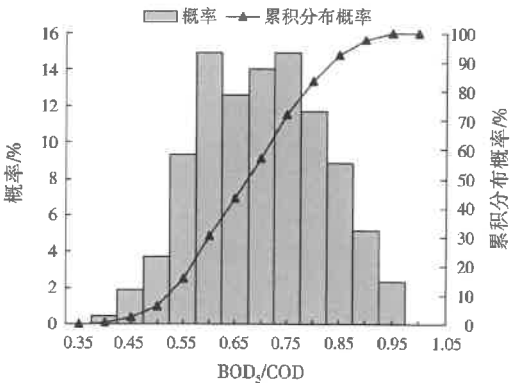


图 7 BOD₅/COD 的概率分布
 Fig.7 Probability of BOD₅/COD

由图 8 可见, 进水 BOD₅/TN 主要分布在 2.50~5.00, 对累积分布概率曲线分析可知, 全年进水 BOD₅/TN 的平均值和中间值分别为 3.32、3.34, 包头市污水处理厂进水 BOD₅/TN 小于 4.00 的累积

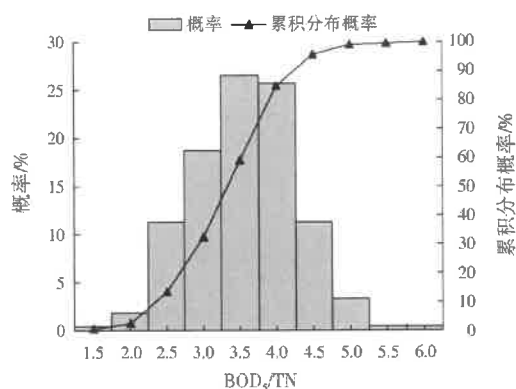


图8 BOD₅/TN的概率分布
Fig.8 Probability of BOD₅/TN

分布概率为59.7%, BOD₅/TN在4.00~6.00的累积分布概率为40.3%, 说明包头市污水处理厂进水反硝化存在碳源不足的情况, 必要时需在污水处理过程中外加碳源。

3.3 BOD₅/TP(质量比)特征分析

污水处理厂的除磷效果主要取决于污水处理系统内除磷菌所需发酵基质与含磷量的比值, 比值越大生物系统的除磷效率越高。本研究以BOD₅/TP作为衡量生物除磷可行性的指标, 当BOD₅/TP高于20~25时, 表明污水处理厂将有较好的除磷效果。包头市污水处理厂进水BOD₅/TP概率分布如图9所示。

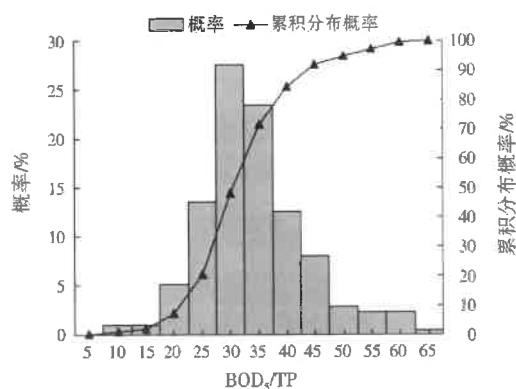


图9 BOD₅/TP的概率分布
Fig.9 Probability of BOD₅/TP

由图9可见, BOD₅/TP主要分布在20~45。对累积分布概率曲线分析可知, 全年进水BOD₅/TP的平均值和中间值分别31、30, 均高于25。其中BOD₅/TP>20的累积分布概率达到93.0%, 可见包头市污水处理厂进水水质完全满足生物除磷的需求。

4 结论

(1) 包头市污水处理厂进水COD呈正态分布, 进水BOD₅、SS、氨氮、TN和TP均服从偏态分布, COD、BOD₅、SS、氨氮、TN、TP全年中间值分别为428.00、288.00、155.00、67.35、89.85、9.57 mg/L, 各项水质指标随季节变化明显。

(2) 进水各项水质指标间除SS和TP、SS和TN无相关性外, 其余各水质指标间具有不同程度的相关性, 其中COD和BOD₅、SS和COD、SS和BOD₅、氨氮和TN具有强相关性, 4组水质指标间存在较明显的一元线性关系。

(3) 包头市城市污水可生化性极好, 进水水质完全满足生物除磷的需求, 但存在反硝化碳源不足的情况, 在设计处理工艺时需注意该问题。

参考文献:

- [1] 刘丽萍, 唐德善. 水资源短缺与社会适应能力评价及耦合协调关系分析[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(6): 13-19.
- [2] METCALFEDDY I, TCHOBANOGLOUS G, STENSEL H D. Wastewater engineering: treatment and reuse[M]. New York: McGraw-Hill, 2003.
- [3] 孙迎雪, 马磊, 吴光学, 等. 昆明市合流制排水区域污水处理厂进水水质特征分析[J]. 给水排水, 2013, 39(3): 135-139.
- [4] KRISTENSEN T, ÅTLAND Å, ROSTEN T, et al. Important influent-water quality parameters at freshwater production sites in two salmon producing countries[J]. Aquacultural Engineering, 2009, 41(2): 53-59.
- [5] QIN Xusong, GAO Furong, CHEN Guohua. Wastewater quality monitoring system using sensor fusion and machine learning techniques[J]. Water Research, 2012, 46(4): 1133-1144.
- [6] 徐圆青, 谢翠萍. 城市污水处理厂中水回用规划研究[J]. 工业水处理, 2013, 33(8): 11-13.
- [7] GANIGUÉ R, VOLCKE E I P, PUIG S, et al. Impact of influent characteristics on a partial nitrification SBR treating high nitrogen loaded wastewater[J]. Bioresource Technology, 2012, 111(1): 62-69.
- [8] 郑莉娟, 王中琪, 张清东, 等. 氧化沟工艺中污水监测指标的相关性分析[J]. 工业用水与废水, 2007, 38(6): 57-59.
- [9] 胡洪营, 赵文玉, 吴乾元. 工业废水污染治理途径与技术研究发展需求[J]. 环境科学研究, 2010, 23(7): 861-868.
- [10] 刘钢, 湛建宇, 黄荣新, 等. 新型后置反硝化工艺处理低C/N(C/P)比污水脱氮除磷性能研究[J]. 环境科学学报, 2013, 33(11): 2979-2986.

编辑: 丁 怀 (收稿日期: 2016-11-15)