谌知和,曾强,翟月月.啤酒废水资源化利用研究[J].环境科学与技术,2024,47(S1):221-225. Shen Zhihe, Zeng Qiang, Zhai Yueyue. Research on the resource utilization of beer wastewater[J]. Environmental Science & Technology,2024,47(S1):221-225.

啤酒废水资源化利用研究

谌知和[1], 曾强[2*], 翟月月[1]
(1.湖北省生态环境厅随州生态环境监测中心,湖北 随州 441300;
2.湖北省生态环境监测中心站,湖北 武汉 430000)

摘 要:为探索研究啤酒废水不经预处理直接进市政污水处理厂的影响和效果,实现碳废物综合利用、变废为宝,文章以青岛啤酒(随州)有限公司为例,通过对企业产生的综合废水和随州市污水处理厂上一年运行数据进行分析,预测啤酒废水资源化利用将对污水处理厂的影响。在项目实施后,对运行一年的数据进行了分析总结评价。结果表明:预测值和实际结果基本一致,啤酒废水资源化利用后污水处理厂进水COD浓度增加了18.93%,污水运行中碳环境得到改善,运行更加稳定,出水TN浓度由9.50~20.77 mg/L降为8.78~12.7 mg/L,且90%运行时间低于10.0 mg/L,去除率提高了16.78个百分点,CO_2排放减少2 816 t/a,节约成本111.12万元/a。

关键词:啤酒废水; 市政污水处理厂; 资源化利用
中图分类号:X703.1 **文献标志码**:A **doi**:10.19672/j.cnki.1003-6504.1427.23.338 **文章编号**:1003-6504(2024)S1-0221-05

Research on the Resource Utilization of Beer Wastewater

SHEN Zhihe[1], ZENG Qiang[2*], ZHAI Yueyue[1]
(1. Suizhou Ecological Environment Monitoring Center, Hubei Provincial Department of Ecology and Environment, Suizhou 441300, China;
2. Hubei Provincial Ecological Environment Monitoring Center Station, Wuhan 430000, China)

Abstract: In order to explore the impact and effectiveness of beer wastewater directly entering municipal sewage treatment plants without pre-treatment, and achieve comprehensive utilization of carbon waste and turning waste into treasure, the article takes Qingdao Beer (Suizhou) Co., Ltd. as an example, analyzes the comprehensive wastewater generated by the enterprise and the operating data of the Suizhou sewage treatment plant in the previous year, and predicts the impact of beer wastewater resource utilization on the sewage treatment plant. After the implementation of the project, data from one year of operation was analyzed, summarized, and evaluated. The results showed that the predicted values were basically consistent with the actual results. After the utilization of beer wastewater as a resource, the COD concentration in the wastewater treatment plant increased by 18.93%. The carbon environment during wastewater operation was improved, and the operation was more stable. The TN concentration in the effluent decreased from 9.50~20.77 mg/L to 8.78~12.7 mg/L, and 90% of the operationtime was less than 10.0 mg/L, with the removal rate increased by 16.78 percentage points. CO_2 emissions decreased by 2 816 tons/year, whihe saving 1.111 2 million yuan/year in costs.

Key words: beer wastewater; municipal sewage treatment plant; resource utilization

据国家统计局统计数据显示,2020年中国啤酒累计产量达到3 411.1×10^7 L[1],按照1∶3酒废水比计算,全年将产生1亿m^{3}啤酒废水。啤酒废水中含有较多的有机物[2],且生化性极好,不含有毒有害物质,是一种非常优质的碳源,但排放时需进行预处理才能通过市政管网排入市政污水处理厂进行深度处理。国内大部分城市污水处理厂面临现状是进水有机质浓度偏低、C/N比不能满足脱氮需求[3],特别是污水处理厂提标升级后,为了更好的脱氮,需向缺氧池或反硝化滤池内大量投加碳源,来保证出水总氮达标排放[4]。这样就出现了啤酒企业每年需投入资金对生产废水进行预处理,在降低了水质可生化性的同时也白白浪费了优质碳源,而下游污水处理厂却因为碳源不足“吃不饱”,从而需要外购碳源,不仅增加了运行费用,而且购置的碳源乙酸钠长期使用还会对设备和构筑物产生一定腐蚀作用[5]。

《环境科学与技术》编辑部:(网址)http://fjks.chinajournal.net.cn(电话)027-87643502(电子信箱)hjkxyjs@vip.126.com
收稿日期:2023-08-10;修回2023-09-13
作者简介:谌知和(1972-),男,高级工程师,硕士,从事环境监测工作,(电子信箱)624928771@qq.com;*通讯作者,男,高级工程师,主要从事环境监测工作,(电子信箱)47882610@qq.com。

经查阅相关文献，近年有专家学者研究了啤酒废水作为污水处理厂的补充碳源可行性[6-8]，在实际应用中则选取糖化车间高浓度冲洗水作为研究和应用对象来探讨对城市污水处理厂的影响[9-11]，而对啤酒企业产生的综合废水（生产和生活废水）资源化利用对城市污水处理厂的影响研究较少。文章以青岛啤酒(随州)有限公司（以下简称市啤酒厂）为例，将啤酒综合废水（以下简称啤酒废水）直接引入随州市污水处理厂(以下简称市污水处理厂)，从理论预测和实际利用来2个角度分析探索啤酒废水资源化利用可行性和效果，为实际利用提供数据支撑，并为酒类废水科学管理提供依据。

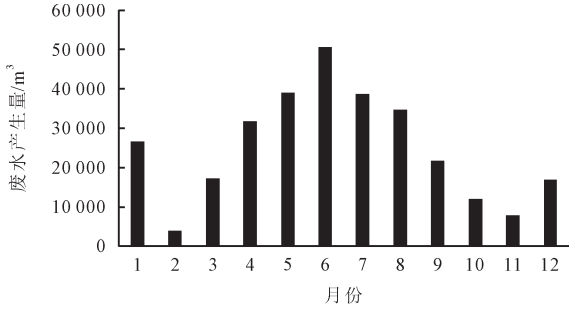
1 材料与分析

1.1 市啤酒厂废水现状

市啤酒厂2016年12月18日建成投产。设计生产能力2×10^8 L/a（共二期），实际生产能力1×10^8 L/a（一期），企业员工180人，不设住宿，生活废水占生产废水约2%。企业自建一座3 000 m^3/d污水处理站，包含集水池、初沉池、调节池、厌氧罐、接触氧化池、絮凝池、二沉池、生物池、应急池，采用AAO工艺对产生的废水进行预处理，执行《啤酒工业污染物排放标准》和《污水排入城镇下水道水质标准》pH（6~9）和COD（≤300 mg/L）控制标准。预处理后废水通过市政管网排入市污水处理厂进行深度处理。企业建有化验分析室，每天4次定时对集水池、调节池、厌氧罐和总排口中pH、COD、BOD_5、SS、NH_3-N、TP、TN、色度、VFA进行检测分析。

1.1.1 啤酒废水产生量

2020年全年产生废水量为29.76万 m^3，日均处理水量为992 m^3。啤酒企业为季节型生产企业，其最小废水产生量在2月，为3 805 m^3，最大废水产生量在6月，为50 373 m^3（图1）。

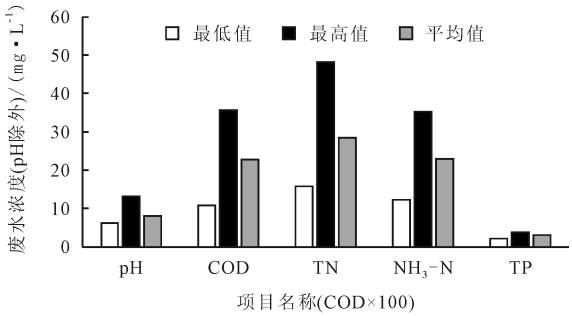


数据来源：青岛啤酒(随州)有限公司。

图1 啤酒厂2020年每月废水产生量

1.1.2 啤酒废水污染物含量

本次研究选取未经生化处理的调节池废水水质数据，共选取pH、COD、NH_3-N、TP和TN等5项指标进行分析（图2），分析方法见表1。经统计，浓度变化比较大的是pH和COD，pH范围在6.1~13.1之间，COD范围在1 080~3 560 mg/L之间，超过《啤酒工业污染物排放标准》和《污水排入城镇下水道水质标准》控制标准。



数据来源：青岛啤酒(随州)有限公司。

图2 啤酒厂生产废水浓度

表1 分析指标和方法

序号	污染物项目	分析方法
1	COD	《水质 化学需氧量的测定 重铬酸钾法》(HJ 828-2017)
2	NH_3-N	《水质 氨氮的测定纳氏试剂分光光度法》(HJ 535-2009)
3	TN	《水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法》(HJ 636-2012)
4	TP	《水质 总磷的测定钼酸铵分光光度法》(GB 11893-1989)
5	pH	《水质 pH值的测定 电极法》(HJ 1147-2020)

1.1.3 啤酒排放废水水质

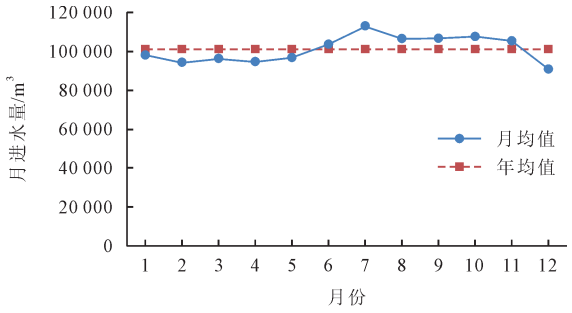
啤酒废水经预处理后出水水质比较稳定，均值pH为8.4，COD为22.4 mg/L，NH_3-N为1.8 mg/L，TP为0.23 mg/L，TN为17.2 mg/L。

1.2 市污水处理厂基本现状

市污水处理厂占地总面积10 km^2，污水处理设计总规模10万 m^3/d，最大处理量12万 m^3/d，处理工艺采用AAO工艺，提标升级工艺采用高密沉淀池+纤维转盘滤池，出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002)一级A排放标准，建有化验分析室，每天定时对进水口和总排口废水中pH、COD、NH_3-N、TP、TN等指标进行检测分析。

1.2.1 市污水处理厂处理量

2020年处理污水总量为3 638万m^3，平均每天处理水量为101 058 m^3，月进水水量比较稳定，基本保持在设计总规模的10%之内（图3）。



数据来源：随州市污水处理厂。

图3 2020年市污水处理厂月进水量

1.2.2　市污水处理厂进水水质

选取进水中pH、COD、NH_3-N、TP、TN共计5项指标进行分析。经统计，进水中pH均值为7.20，COD均值为123.6 mg/L，NH_3-N均值为17.34 mg/L，TP均值为2.47 mg/L，TN均值为20.88 mg/L（表2）。

1.2.3　市污水处理厂出水水质

选取出水中pH、COD、NH_3-N、TP、TN共计5项指标进行分析。经统计，出水水质中pH均值为6.91，COD均值为21.6 mg/L，NH_3-N均值为2.45 mg/L，TP均值为0.16 mg/L，TN均值为12.78 mg/L（表3）。

1.3　啤酒废水资源化利用预测

1.3.1　对市污水处理厂进水水质影响预测

表2　市污水处理厂进水水质

序号	污染物项目	c/(mg·L^{-1})	均值/(mg·L^{-1})
1	COD	111.0~140.1	123.6
2	NH_3-N	13.15~21.84	17.34
3	TN	15.61~25.64	20.88
4	TP	1.78~3.24	2.47
5	pH	6.82~7.47	7.20

表3　市污水处理厂出水水质

序号	污染物项目	c/(mg·L^{-1})	均值/(mg·L^{-1})	去除率/%
1	COD	18.3~35.4	21.6	82.52
2	NH_3-N	0.29~4.61	2.45	85.87
3	TN	9.50~20.77	12.78	38.79
4	TP	0.11~0.24	0.16	93.52
5	pH	6.84~7.31	6.91	/

文章采用加权平均法预测市啤酒厂废水作为碳源直接排入市污水处理厂对进水水质影响。计算公式如下：

$$C=(Q_1(C_1-C_0)+Q_2C_2)/Q_2 \quad (1)$$

式（1）中，C表示啤酒废水资源化利用后对市污水处理厂进水浓度影响预测值，mg/L；C_0表示啤酒废水经预处理外排浓度，mg/L；C_1表示啤酒废水直排浓度，mg/L；C_2表示市污水处理厂当前进水浓度，mg/L；Q_1表示啤酒废水量，m^3/d；Q_2表示市污水处理厂进水量，m^3/d。

考虑到啤酒生产的不同时段，废水中会含有一定量的酸和碱，若不进行中和可能会对市政管网产生影响，为稳妥起见，要求市啤酒厂废水进入调节池进行简单中和调节，故以下预测暂不考虑pH，同时预测时未考虑废水自然降解环节影响。经计算：啤酒废水资源化利用后市污水处理厂进水浓度中COD均值145.7 mg/L，提高了17.90%；NH_3-N均值17.55 mg/L，提高了1.21%；TP均值2.50 mg/L，提高了1.10%；TN均值20.99 mg/L，提高了0.53%。均不超过市污水处理厂进水设计浓度限值。

表4　综合利用对市污水处理厂进水水质浓度影响预测

序号	污染物项目	c/(mg·L^{-1})	均值/(mg·L^{-1})	影响程度/%
1	COD	130.8~165.2	145.7	+17.90
2	NH_3-N	13.31~22.10	17.55	+1.21
3	TN	15.69~25.78	20.99	+0.53
4	TP	1.82~3.34	2.50	+1.10

1.3.2　市污水处理厂污泥增加量预测

经查阅相关统计数据资料，1 kg COD会产生0.35 kg含水率在60%的污泥。

$$Q=0.35\times Q_1(C_1-C_0) \quad (2)$$

式(2)中,Q表示啤酒废水资源化利用后市污水处理厂增加污泥量,t/a;C_0表示出口浓度,以市污水处理厂外排执行一级A标准计,mg/L;C_1表示进口浓度,以市啤酒厂废水直排浓度计,mg/L;Q_1表示啤酒废水量,m^3/a。

经测算,市污水处理厂将新增污泥232 t/a。

2 结果与分析

2.1 资源化利用对市污水处理厂水质实际影响

2.1.1 对市污水处理厂进水水质实际影响

2021年10月青岛啤酒(随州)有限公司废水资源化利用项目在经过前期论证和适应性测试的基础上开启了1 a的试运行。根据市污水处理厂提供的一年检验数据,进水COD浓度均值为147.0 mg/L,提高了18.93%;NH_3-N均值为17.50 mg/L,提高了0.92%;TP均值为2.49 mg/L,提高了0.81%;TN均值为21.02 mg/L,提高了0.67%(表5)。

表5 综合利用对市污水处理厂进水水质浓度实际影响

序号	污染物项目	c/(mg·L^{-1})	均值/(mg·L^{-1})	影响程度/%
1	COD	124.6~162.1	147.0	+18.93
2	NH_3-N	13.63~23.81	17.50	+0.92
3	TN	15.42~26.10	21.02	+0.67
4	TP	1.70~3.45	2.49	+0.81

2.1.2 对市污水处理厂出水水质实际影响

啤酒废水资源化利用后市污水处理厂出水水质比以前更加稳定,主要表现在TN上。未综合利用前出水中TN数值在9.50~20.77 mg/L范围内波动较大,为了防止超标必须投加碳源,而投加碳源进行反硝化脱氮需要时间过程和精准计量,控制不好易引起出水超标。自引入啤酒废水后,污水处理厂出水中TN浓度变化范围降至8.78~12.7 mg/L间,且90%运行时间低于10.0 mg/L(表6),去除率由38.79%提高至55.57%,提高了16.78个百分点,大大降低了TN超标排放的风险。从运行结果看引入啤酒废水对NH_3-N和TP去除影响不明显。

表6 综合利用对市污水处理厂出水水质浓度实际影响

序号	污染物项目	c/(mg·L^{-1})	均值/(mg·L^{-1})	去除率/%
1	COD	18.6~34.5	22.1	84.97
2	NH_3-N	0.28~5.05	2.71	84.51
3	TN	8.78~12.72	9.34	55.57
4	TP	0.09~0.25	0.15	93.98

2.1.3 资源化利用对市污水处理厂污泥实际影响

啤酒废水资源化利用后市污水处理厂增加了污泥产生量。根据市污水处理厂提供的一年数据统计,全年增加污泥量为208 t,接近预测值232 t。

2.2 资源化利用减少了碳排放量

啤酒废水进行资源化利用后,市啤酒厂生产废水变成了市污水处理厂的“粮食”,不需要进行预处理,因此可以减少市啤酒厂污水处理站甲烷产生量,而甲烷是产生温室气体的物质之一,其增温效应是二氧化碳的21倍[12]。参照国家发展改革委组织编写的《中国造纸和纸制品生产企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)》计算废水厌氧处理二氧化碳减排量。

$$E=(A\times(B-C)\times10^{-6}-D)\times H\times I \quad (3)$$

式(3)中,E为厌氧废水甲烷产生量,m^3;A为水处理量,m^3;B为进口COD浓度,mg/L;C为出口COD浓度,mg/L;D为污泥中COD,t;H为甲烷系数,采用指南推荐值0.25;I为修正因子,采用指南推荐值0.8。

$$G=E\times F \quad (4)$$

式(4)中,G为甲烷折合二氧化碳排放量,t;F为甲烷的全球变暖潜势(GWP)值,取值21。啤酒废水资源化利用后减少了2 816 t二氧化碳排放。

2.3 资源化利用产生的经济效益

2.3.1 啤酒厂节约成本费

啤酒废水资源化利用后,减少了自建污水处理站运行所需电费和人工成本以及设备维护费用。根据企业财务报表对比显示,一年共节约42.78万元,折算为污水处理成本1.28元/m^3。

2.3.2 市污水处理厂节约成本费

市污水处理厂在引入市啤酒废水后,碳源得到改善,运行更加稳定,外加碳源大幅较少,出水水质中TN浓度波动大幅减小且降低明显,人员劳动强度得到一定改善。根据企业财务报表对比显示,一年共节约68.34万元,折算为节约污水处理费0.019元/m^3。

3　结论与讨论

3.1　结论

以青岛啤酒(随州)有限公司和随州市政污水处理厂为研究对象,通过对啤酒企业产生的废水以及污水处理厂进出水基本情况进行分析,预测资源化利用效果,收集统计运行1 a的数据对预测效果进行了检验,实际效果和预测效果基本一致,探索并证明了啤酒废水资源化利用在技术上可行,在经济和社会效益上效果明显,利于企业双方互惠互利、合作共赢。

(1)改善了污水处理厂的碳源环境,提高了TN去除率。啤酒废水为糖化、糊化、蒸煮过程二次蒸汽冷凝水,包装线上漏损酒液,设备清洗废水,包装线杀菌废水以及生活废水。主要成分是麦糟、酒花残渣、酵母菌残渣、粗蛋白、糖类、氨基酸、醇、残余啤酒、淀粉、洗涤碱[13]。啤酒废水资源化利用后提高了市污水处理厂进水中的C/N比,改善了污水处理厂的碳源环境,促进了微生物的新陈代谢及生物活性,利于活性污泥生长。引入啤酒废水后市污水处理厂出水口TN浓度由9.50~20.77 mg/L降至8.78~12.7 mg/L,且90%运行时间低于10.0 mg/L,去除率由38.79%提高至55.57%,提高了16.78个百分点。实践证明啤酒废水是一种优质的反硝化碳源。

(2)节约了资源,增加了经济效益。啤酒废水资源化利用后,啤酒厂减少了自建污水处理站运行所需电费和人工成本以及设备维护费用42.78万元/a,折算为污水处理成本1.28元/m^3。市污水处理厂减少外购碳源68.34万元/a,折算为污水处理费0.019元/m^3,不包含乙酸钠投入对污水处理设备和构筑物的腐蚀作用而引起的间接费用,企业双方节约成本111.12万元。

(3)减少了碳排放,增加了污泥量。资源化利用后,啤酒厂生产废水减少二氧化碳排放2 816 t/a,开辟了减污降碳新途径。市污水处理厂增加了污泥量208 t/a。

3.2　讨论

以随州啤酒厂为例,啤酒废水资源化利用能够让啤酒企业和市政污水处理厂实现互赢互利,有利于节能、减污、降碳、增效,值得在全国复制推广,同时我们希望更多的人参与进来,对其他酒类或者类似可以将生产废水进行资源化利用的行业进行探索研究,为我国早日走出高污染高能耗困局,实现绿色高质量发展,建设美丽中国做出自己的贡献。

[参考文献]

[1] 罗林. 2020年全年中国啤酒行业产量及进出口贸易情况[R]. 前瞻数据库, 2021-03-09.
Luo Lin. Annual Output and Import and Export Trade of China's Beer Industry in 2020[R]. Prospective Database, 2021-03-09.

[2] 李宛谊. 啤酒废水资源化研究进展[J]. 中国资源综合利用, 2021,39(10):141-144.

[3] 侯红娟,王洪洋,周琪. 进水COD浓度及C/N值对脱氮效果的影响[J]. 中国给水排水, 2005,21(12):19-23.
Hou Hongjuan, Wang Hongyang, Zhou Qi. Effect of influent COD concentration and C/N ratio on denitrification[J]. China Water & Wastewater, 2005,21(12):19-23.

[4] 张跃春,唐遂蓬,钱盛,等. 基于碳源投加对总氮去除效果影响的研究[J]. 广州化工, 2022,50(23):148-150.
Zhang Yuechun, Tang Suipeng, Qian Sheng, et al. Study on effect of carbon source addition on total nitrogen removal [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2022,50(23):148-150.

[5] 林雨倩,赵军. 碳源对污水处理系统脱氮除磷的影响[J]. 大众科技, 2014,16(2):39-41.

[6] 陈思远,李巧燕,赵璐,等. A^2/O工艺中啤酒废水作为外加碳源提高脱氮除磷的研究[J]. 中国甜菜糖业, 2016(2):46-48.
Chen Siyuan, Li Qiaoyan, Zhao Lu, et al. Study on increasing nitrogen and phosphorus removal from beer wastewater as an additional carbon source in A^2/O process[J]. China Beet & Sugar, 2016(2):46-48.

[7] 段怡彤,刘方婧,陈昊,等. 啤酒废水作为A^2/O工艺外加碳源的可行性研究[J]. 安徽农业科学, 2014,42(10):3009-3013.
Duan Yitong, Liu Fangjing, Chen Hao, et al. Feasibility study on beer wastewater as additional carbon source in A^2/O process[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2014,42 (10):3009-3013.

[8] 刘方婧. 啤酒废水为外加碳源对A^2/O工艺脱氮除磷的影响[D]. 哈尔滨:东北林业大学, 2014.

[9] 徐美中. 变废为宝,污水厂喝上了"青啤"[N]. 青岛晚报, 2021-05-21.

[10] 徐楠,宋广宇,孙治富,等. 啤酒废水作为生物质碳源减污降碳实践[N]. 中外酒业, 2022(6):1-4.
Xu Nan, Song Guangyu, Sun Zhifu, et al. Practice of Reducing Pollution and Carbon Reduction by Using Beer Wastewater as a Biomass Carbon Source[N]. Sino Foreign Liquor Industry, 2022(6):1-4.

[11] 徐楠,赵静,孙治富,等. 高浓度啤酒废水作为污水脱氮除磷工艺补充碳源的应用及经济分析[J]. 净水技术, 2023,42 (4):103-110.

[12] 庄贵阳,周宏春.《碳达峰 碳中和的中国之道》[M]. 北京:中国财政经济出版社, 2021.12,4.

[13] 沈淞涛,杨顺生,方发龙,等. 啤酒工业废水的来源与水质特点[J]. 工业安全与环保, 2003,29(12):3-5.