

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.09.019

食品工业废水委托水质净化厂处理的实践与探究

杨明雪, 高娜, 李凌云, 朱信超, 廖思帆, 邬甘霖
(深圳市光明区环境水务有限公司, 广东 深圳 518000)

摘要: 以深圳市M水质净化厂为例,探讨工业废水委托水质净化厂处理的成效。通过对比试点前后水质净化厂进水主要污染物负荷、B/C、C/N、C/P及其他特征污染物的变化情况,发现试点后水质净化厂的出水水质可稳定达标排放,食品工业废水中含有的动植物油、阴离子表面活性剂(LAS)也未对水质净化厂进水水质造成明显影响。进水B/C、C/N、C/P没有出现规律性提升。但从理论上分析,食品工业废水仅占同时期M水质净化厂处理水量的0.46%,然而BOD₅负荷却占到进水总负荷的7.41%,还是对水质净化厂进水BOD₅的提升做出了一定贡献。

关键词: 水质净化厂; 协同处理; 食品工业废水; 减污降碳

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2023)09-0122-05

Practice and Exploration of Outsourced Treatment of Food Industrial Wastewater in Sewage Purification Plant

YANG Ming-xue, GAO Na, LI Ling-yun, ZHU Xin-chao, LIAO Si-fan, WU Gan-lin
(Shenzhen Guangming District Environmental Water Co. Ltd., Shenzhen 518000, China)

Abstract: The effectiveness of outsourced treatment of industrial wastewater in M sewage purification plant in Shenzhen was discussed. The changes of the main pollutant load, B/C ratio, C/N ratio, C/P ratio and other characteristic pollutants in influent of the sewage purification plant were compared before and after the pilot outsourced treatment of food industry wastewater in M sewage purification plant. The quality of effluent from the pilot sewage purification plant stably met the discharge standard, and the animal and vegetable oil and LAS contained in the food industry wastewater did not significantly affect the influent quality of the sewage purification plant. The influent B/C ratio, C/N ratio and C/P ratio did not show regular increase. The theoretical analysis indicated that the food industry wastewater only accounted for 0.46% of the influent of M sewage purification plant in the same period. However, the BOD₅ loading rate accounted for 7.41% of the total influent loading rate, which still made a certain contribution to the improvement of influent BOD₅ entering into the sewage purification plant.

Key words: sewage purification plant; collaborative treatment; food industrial wastewater; pollution and carbon reduction

我国传统的工业废水治理模式是工业企业自建污水预处理设施,将工业废水处理至满足《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)、地方标准或其他行业标准,之后通过市政管网排入污水处理厂进行深度处理。但进入“双碳”时代后,工业废

水经过预处理达到较严的排放标准再纳管,已然不是最经济高效的减排手段^[1]。一方面,工业废水执行标准过严,企业污水处理设施建设和运行成本较高;另一方面,大部分污水厂进水BOD₅普遍偏低,为了提高脱氮除磷效率、实现达标排放,还需要

补充碳源。工业废水重复低效处理所引发的高能耗、高物耗和碳排放都是当下亟待解决的问题。

自2020年以来,国家各部委陆续发布了与工业废水治理相关的政策文件,《生态环境部关于进一步规范城镇(园区)污水处理环境管理的通知》(环水体[2020]71号)明确了工业污水中不含有毒有害物质的园区,可将污水就近依托城镇污水处理厂进行处理。《啤酒工业污染物排放标准》(GB 19821—2005)修改单指出,允许酒类制造企业与下游污水处理厂通过签订具有法律效力的书面合同,共同约定水污染物排放浓度限值,并作为环境监督执法的依据。因此,试点食品工业废水委托水质净化厂处理模式是工业废水综合治理与碳减排协同推进的新趋势,对水质净化厂运行情况进行分析,并评估食品工业废水对水质净化厂进水的影响,对于保障工业废水的高效处理及水质净化厂的稳定达标运行具有重要的现实意义,可为协同处理工业废水的水质净化厂提供参考。

1 项目概况

1.1 工业废水委托水质净化厂处理试点概况

以减污降碳为核心,深圳市大力推动工业废水委托水质净化厂处理模式,市、区两级政府均发布了试点工作方案。自2021年6月起,第一批允许委托类3家食品工业企业陆续开始了试点。由于食品废水可生化性好且无有毒有害物质,食品工业企业

与下游M水质净化厂约定仅保留调蓄池、隔油池或应急池等必要预处理设施和在线监测设施,协商放宽排放浓度限值(基本为企业正常工况下的生产废水原水水质)排至水质净化厂。

1.2 食品工业企业概况

深圳市某区现有食品工业企业12家,以乳制品制造、含乳饮料和植物蛋白饮料制造、肉制品及副产品加工、其他方便食品制造、焙烤食品制造等门类为主。采用自建污水处理设施或第三方拉运处理的污水处理模式。其中,经纳管进入M水质净化厂的企业有3家,排污许可证允许排放量共计 $1\,559.5\text{ m}^3/\text{d}$ 。食品工业废水通常有机物和固体悬浮物含量高、B/C值高、污水可生化性好,且不含有毒有害物质;固体悬浮物可能会含有蛋白质、淀粉、油脂、胶体物质等;此外,还可能含有溶解在污水中的盐、糖类、醇类、脂类、有机酸等。

1.3 水质净化厂概况

深圳市M水质净化厂一、二期工程设计处理规模均为 $15\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,总设计处理规模为 $30\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。主要进水来源为市政污水管网(生活污水和工业废水)和箱涵水,此外二期工程还包括 $4.25\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 专管的工业废水。水质净化厂主要采用强化脱氮 A^2/O +磁混凝高效沉淀处理工艺,二期工业废水物化处理系统采用高效沉淀+铁基臭氧催化氧化处理工艺(见图1)。

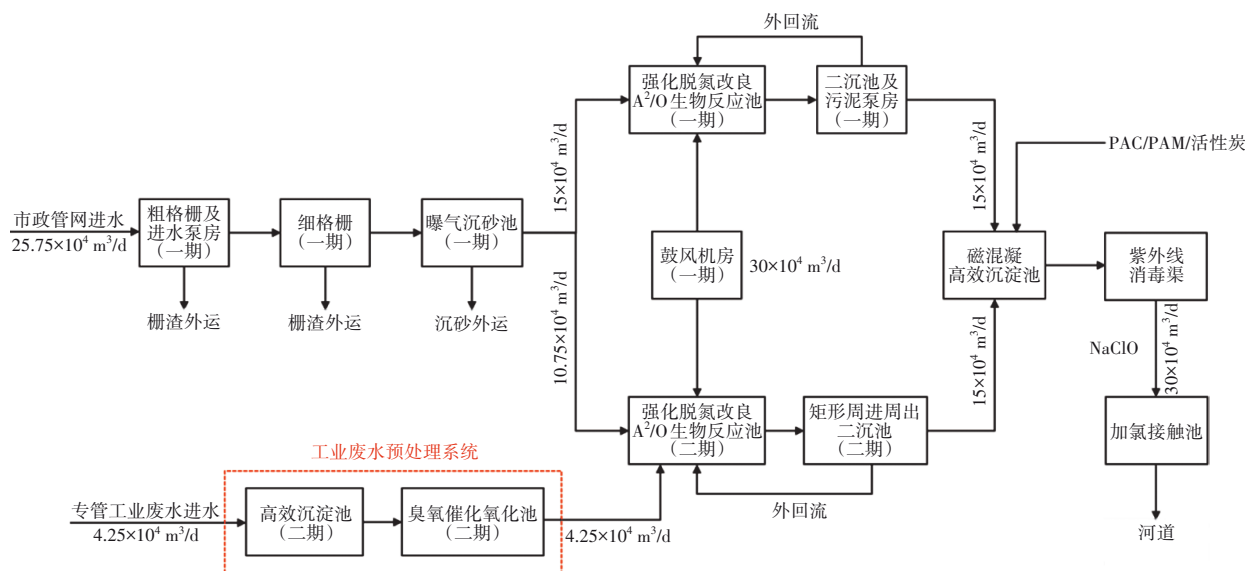


图1 M水质净化厂工艺流程

Fig.1 Treatment process of M sewage purification plant

污水经水质净化厂处理后,出水水质执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类水标准

和《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准两者的较严者($TN \leq 10 \text{ mg/L}$)。污水处理过程中产生的污泥经离心机和板框机脱水至50%后进行外运处理。

2 分析与讨论

2.1 食品工业废水水量及水质分析

据统计,委托水质净化厂协同处理的3家食品企业工业废水的排放量为 $1\,299.46 \text{ m}^3/\text{d}$,其中一家乳制品制造企业的排水量占到了85%。根据试点企业水质监测数据统计,食品工业废水中易降解有机物和固体悬浮物含量普遍较高,COD浓度约为 $1\,400 \sim 3\,000 \text{ mg/L}$ 、 BOD_5 浓度约为 $650 \sim 1\,500 \text{ mg/L}$ 、SS浓度约为 $350 \sim 620 \text{ mg/L}$ 。乳制品制造、肉类加工废水的总氮浓度在 $60 \sim 70 \text{ mg/L}$ 之间;肉类加工废水的动植物油含量较高,约为 200 mg/L 。3家食品工业废水试点期间平均B/C、C/N、C/P值见表1。从表1可以看出,3家食品企业工业废水的B/C值均在0.5以上,C/N值超过23,C/P值均大于90,企业二甚至高达186,说明了食品工业废水具有良好的可生化性。

表1 3家食品企业工业废水的平均B/C、C/N、C/P值

Tab.1 Average B/C, C/N and C/P ratios of industrial wastewater from three food companies

项 目	废水类型	B/C	C/N	C/P
企业一	乳制品制造废水	0.53	23.76	94.75
企业二	肉制品加工废水	0.54	26.31	186.04
企业三	预制菜加工废水	0.50	23.71	93.11

2.2 水质净化厂进出水水量及水质分析

M水质净化厂设计处理规模为 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。2021年监测数据显示,上半年及下半年处理水量分别为 $250\,321$ 和 $282\,219 \text{ m}^3/\text{d}$,分别达到设计规模的约83.44%和94.07%。此外,各污染物出水浓度均稳定达到设计排放标准。2021年度M水质净化厂进水主要污染物浓度情况如图2所示。可知,进水污染物浓度均不同程度地超出了设计进水水质范围(图中垂直于横坐标的直线表示设计进水水质)。进水COD、SS、TN、TP浓度满足设计进水水质要求的累积频率分别为88.22%、87.67%、93.70%、97.53%,其中SS超设计水质的情况更普遍。城镇污水厂SS/ BOD_5 值通常为1.1~1.2,高比值为1.4~2.0,而超高值 >2.0 ^[2]。2021年M水质净化厂进水 BOD_5 、SS的平均浓度分别为96.33和 215.76 mg/L ,

SS/ BOD_5 值为2.24,该值偏高的主要原因是SS偏高,可能是由于箱涵水裹挟泥沙、施工场地黄泥水进入市政污水管网,以及工业废水接入水质净化厂所导致的^[3]。为了提高活性污泥系统效能,需要尽可能提升进水 BOD_5 。

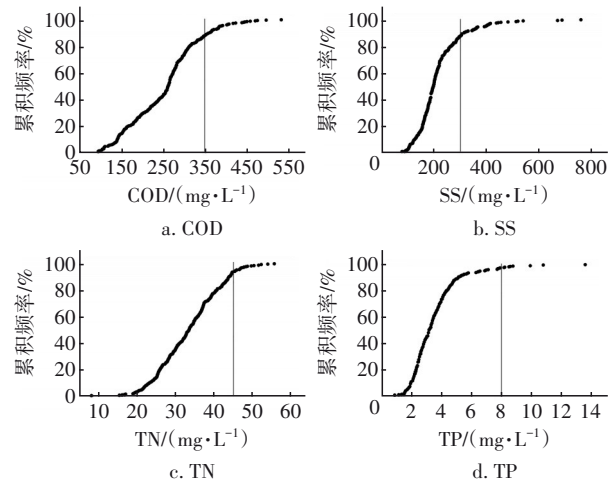


图2 2021年度M水质净化厂进水污染物浓度累积频率

Fig.2 Cumulative percentage of pollutants concentration of influent in M sewage purification plant in 2021

2.3 食品工业废水对水质净化厂的影响分析

2.3.1 进水可生化性提升

根据在线监测数据统计,2021年下半年3家纳管食品工业企业排放水量为 $1\,299.46 \text{ m}^3/\text{d}$,占同期M水质净化厂处理水量的0.46%。为了分析食品工业废水对水质净化厂的影响,选取试点前后水质净化厂进水水质进行分析,即2021年上半年(试点前)和下半年(试点后)。结果发现,2021年下半年进水各污染物负荷相较上半年有所下降,其中COD、 NH_3-N 、TN降幅均在10%以上,但 BOD_5 负荷仅降低了4.83%。造成该现象的原因可能有两点:一是其他提质增效相关措施在提升进水 BOD_5 方面取得了一定成效;二是上半年疫情反复,个别月份除保证民生外的工业企业暂时停产外,大水量低浓度的工业污水排放量降低、生活污水排放量增加。纳管食品工业废水仅占同时期M水质净化厂处理水量的0.46%,但COD和 BOD_5 负荷却分别占进水污染物相应负荷的5.68%和7.41%,还是为进水 BOD_5 的提升做出了一定贡献,说明食品工业废水富含有机碳,可为水质净化厂额外补充碳源。TN、TP负荷占比分别为1.18%和2.96%,食品工业废水使进水额外增加了氮磷营养物质,这是由于乳制品、肉制

品工业废水含有较多蛋白质、脂肪胺等有机物。

2021年M水质净化厂进水月均B/C、C/N和C/P值的变化情况见表2。食品工业废水委托M水质净化厂处理后,水质净化厂进水B/C、C/N、C/P值均没

有表现出规律性的变化或明显异常,个别月份比值存在小范围波动是由于旱季和雨季水质差异化造成的,无法明确体现食品工业废水对水质净化厂提质增效的作用。

表2 2021年M水质净化厂进水月均B/C、C/N、C/P值的变化情况

Tab.2 Change of monthly average B/C, C/N and C/P ratios of influent in M sewage purification plant in 2021

项 目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
B/C	0.32	0.39	0.38	0.40	0.40	0.39	0.38	0.34	0.35	0.41	0.41	0.45
C/N	2.36	2.72	2.83	2.69	3.16	3.09	2.29	2.31	2.33	3.78	3.68	3.61
C/P	22.88	28.65	29.44	27.33	36.56	38.97	27.14	25.49	23.32	35.82	31.34	30.22

由表2可知,B/C值通常在0.3~0.4之间,C/P值在20~40之间波动,但是C/N值大部分月份均低于3.5的营养物比值评价标准^[4],表明在生物脱氮反硝化方面还是存在碳源缺乏的情况。值得注意的是,在均为旱季的月份中(10月—12月),进水B/C和C/N值均有小幅度提升,不能排除食品废水委托水质净化厂处理对改善进水可生化性、补充碳源具有一定的积极作用。

2.3.2 碳源投加量减少

2021年上半年M水质净化厂乙酸钠投加量为17 533 kg/d,而下半年为16 037 kg/d。由前述可知,下半年处理水量增大了12.74%,但乙酸钠投加量减少了8.5%。一方面,下半年深圳市属于雨季,由于水质净化厂接收部分来自箱涵的污水,处理水量明显升高,且箱涵水污染物浓度较低,碳源投加量有所减少;另一方面,食品工业废水在理论上可以减少碳源投加量,按BOD₅/TN值为4的去除比例来估算^[5],食品工业废水在扣除自身TN削减所需BOD₅的基础上,剩余BOD₅约为1.25 kg/d。目前M水质净化厂采用20%有效成分的乙酸钠作为碳源,乙酸钠的BOD₅当量为0.52,单价约为1 500元/t。在默认食品工业废水中BOD₅在管网中零损失的前提下,每天可节省乙酸钠药剂费用约18元,年累计约0.66万元。

2.3.3 其他特征污染物无明显影响

食品企业工业废水特征污染物主要为动植物油和阴离子表面活性剂(LAS)。M水质净化厂2021年特征污染物检测结果见表3。食品工业废水委托处理试点期间,进水中动植物油及阴离子表面活性剂浓度变化不明显,出水水质同样没有明显的变化,水质相对稳定,表明尽管食品工业废水含有较高的动植物油,但当委托处理水量较小时,暂不会

对水质净化厂产生明显影响。

表3 2021年M水质净化厂进出水特征污染物平均浓度

Tab.3 Average concentration of characteristic pollutants of influent and effluent in M sewage purification plant in 2021 mg·L⁻¹

项 目	动植物油	阴离子表面活性剂
进水	上半年	0.21
	下半年	0.10
出水	上半年	0.07
	下半年	<0.04

2.4 水质净化厂协同处理成效

通过水质净化厂协同处理食品工业废水,3家企业原废水处理设施暂停运行,节省的运行成本见表4。可知,共计节省费用约271.2万元/年,从而大幅降低企业废水治理成本,改善企业营商环境。

表4 3家食品企业费用节省概况

Tab.4 Overview of cost saving from three food companies

项 目	有无费用产生		3家食品企业共节省费用
	委托处 理前	委托处 理后	
水力	有	无	约0.7万元/月
电力	有	有	仅在线监测设备或提升泵等用电设备在运行,约3.2万元/月
药剂及物料	有	无	约4.4万元/月
污泥处置	有	无	约7.2万元/月
人工	有	有	1家企业完全不需要人工、2家企业专职运维人员转为兼职,约7.1万元/月

3 结论与建议

3.1 结论

① 食品工业废水具有良好的可生化性,B/C、C/N、C/P值分别大于0.5、23、90。3家食品企业工

业废水委托M水质净化厂处理试点期间,动植物油、阴离子表面活性剂未对水质净化厂进水造成明显影响,出水水质稳定达标排放。委托处理试点前后水质净化厂进水B/C、C/N、C/P值未出现规律性提升,虽然在旱季进水B/C和C/N值有小幅升高,但没有明显的证据表明其变化主要是受食品工业废水的影响。从理论上分析,工业废水仅占同时期M水质净化厂处理水量的0.46%,然而BOD₅负荷却占进水总负荷的7.41%,还是对水质净化厂进水BOD₅的提升做出了一定贡献。由M水质净化厂进水B/C和C/N值小幅升高以及乙酸钠投加量减少,可以合理推测食品工业废水委托水质净化厂处理能在一定程度上改善污水可生化性,减少碳源投加量。

② 食品工业企业与下游水质净化厂协商约定间接排放浓度限值的新模式,不但能够降低企业污水处理设施建设和运行成本,而且可以改善水质净化厂进水的可生化性、提高氮磷去除效率、减少碳源投加量,从而实现减污降碳。从长远来看,工业废水委托水质净化厂处理模式不仅可以实现水质净化厂提质增效,还可以改善企业的营商环境,这将是生态环境领域服务经济稳定增长的一项创新举措。

3.2 建议

① 加强水质净化厂进水监管,增加工业废水特征污染物因子的检测,完善自行监测体系,做好进水动态评估,以保证污水处理工艺稳定运行。水质净化厂协同处理食品工业废水时,不能只考虑其具有较好的可生化性,仍需关注废水的碳、氮、磷比值,以及不可生物降解的有机物、动植物油、阴离子表面活性剂,这些都可能会对污水处理工艺运行和出水水质稳定达标产生影响。

② 加强委托企业的水质监测,可采用在线监测仪表或定期手工取样检测的方式,掌握水质异常波动,并与水质净化厂信息共享。由于食品工业废水排放标准放宽,其污染物浓度相较之前提升了数倍甚至数十倍,企业需更换调整与现状水质量程相匹配的在线监测仪器,且需注意对仪器探头或抽样管的维保,避免特殊污染物(如油污、奶精等)影响监测结果。

③ 基于试点工作取得了一定成效,针对食品行业废水放宽排放标准、接管至下游水质净化厂协

同处理的模式,望尽快出台相关支持政策,以便于在更多地区进行推广。

参考文献:

- [1] 孙永利. 城镇污水处理提质增效的内涵与思路[J]. 中国给水排水, 2020, 36(2):1-6.
SUN Yongli. Connotation and way of quality and efficiency improvement of municipal wastewater treatment [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36 (2):1-6 (in Chinese).
- [2] 王颖. 细微泥沙粒径对活性污泥MLVSS/MLSS的影响及预测研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2016.
WANG Ying. The Effect of Fine Grit Particle Size on Activated Sludge MLVSS/MLSS and Prediction Research [D]. Chongqing: Chongqing University, 2016 (in Chinese).
- [3] 尹海龙, 廉勃. 生活和工业融合区污水处理厂运行评估分析[J]. 中国给水排水, 2020, 36(21):87-92.
YIN Hailong, LIAN Qing. Evaluation and analysis of wastewater treatment plant operation in residential and industrial hybrid areas [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(21):87-92 (in Chinese).
- [4] 尹真真, 赵丽, 范围, 等. 城市生活污水厂处理工业废水的运营管理对策[J]. 中国给水排水, 2020, 36(24):54-59.
YIN Zhenzhen, ZHAO Li, FAN Wei, et al. Suggestions on operation and management of urban domestic sewage treatment plant handled industrial wastewater [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36 (24): 54-59 (in Chinese).
- [5] 姚伟涛, 肖社明, 张永祥. 改良Bardenpho工艺处理低BOD₅/TN混合污水工程设计[J]. 中国给水排水, 2018, 34(14):67-70.
YAO Weitao, XIAO Sheming, ZHANG Yongxiang. Project design of modified Bardenpho process for treatment of low BOD₅/TN mixed wastewater [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34 (14): 67-70 (in Chinese).

作者简介:杨明雪(1992-),女,湖北荆门人,硕士,工程师,主要从事污水处理工艺研发工作。

E-mail:evoyang0125@163.com

收稿日期:2022-09-21

修回日期:2022-12-16

(编辑:任莹莹)