

运行与管理

# 工业园区污水处理厂提标扩建后的精细化管理

原建光

(康达环保水务有限公司, 河南 焦作 454000)

**摘要:** 针对某工业园区污水处理厂提标扩建后运行电耗和药剂消耗高的问题,对主要工段能耗进行分析,采取泵类设备安装变频器,合理控制生物池 DO 值,提高臭氧反应器的转换效率,同时严控进水异常指标,优化 A/O 工艺碳源等措施,在保证出水水质达标的前提下,显著降低了运行成本。

**关键词:** 工业园区; 污水处理厂; 提标扩建; 精细化管理; 节能降耗

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)02-0119-04

## Analysis of Energy Efficiency of a Wastewater Treatment Plant in an Industrial Park after Technical Reform

YUAN Jian-guang

(Kangda Environmental Protection Water Co. Ltd., Jiaozuo 454000, China)

**Abstract:** In view of sewage treatment plant operation problems after upgrading and expansion, the energy consumption of main section was analyzed. Some practices were taken, including installing frequency converter to pumps, reasonably controlling DO in biological tanks, increasing conversion efficiency of ozone reactor, strictly controlling the abnormal influent quality, and optimizing carbon source of A/O to reduce the operation cost significantly with qualified effluent.

**Key words:** industrial parks; wastewater treatment plant; upgrading and expansion; fine management; energy saving and consumption reduction

截至2018年6月底,全国设市的城市污水处理厂共5 220座(不含工业和乡镇污水处理厂),污水处理能力达到 $2.28 \times 10^{12} \text{ m}^3/\text{d}$ ,在《水污染防治计划》(水十条)实施的大背景下,全国重点区域及重点流域对污水处理提出了更高的要求,污水处理厂提标增效成为业内关注的热点<sup>[1-3]</sup>。

目前,我国污水处理厂的主要运行费用是电费和药剂费用,城镇污水处理电耗约为 $0.25 \sim 0.40 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ ,一些工业园区的废水处理电耗可能高达 $0.6 \sim 0.8 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ 。随着国家和地方要求污水处理厂的排放标准不断提升,更加严格的出水标准导致处理工艺链条越来越长,药剂的投加量和种类大

幅增加,处理成本大幅提升,企业的成本压力越来越大。今后污水处理企业必须尽快提升精细化管理水平,通过技术革新和工艺优化来降低运行成本。

污水处理厂实现节能降耗和控制生产运行费用,主要可从以下4个方面开展工作:①开展各环节能耗调查。加强对污水处理各环节及全流程的能耗分析,突出重点耗电环节分析,通过建立行业能耗基准,动态评价各生产环节的能耗状况,确定节能降耗潜力。②实施提效改造。采取一系列改造措施,提升设备运行效率,实现节能降耗。③实现精细化运营。通过运行优化,使污水处理主要单元都处于高效运行状态,避免低效提升、过度曝气。④通过大量

的生产性试验,采用低成本废液部分替代现用碳源。

针对某工业污水处理厂进水成分复杂,处理难度大,运行中存在能耗高、药剂使用种类多、使用量大的问题,通过合理控制工艺参数,调整运行模式,不断创新,大胆尝试,在保证出水水质达标的前提下,对降低成本有一定的效果。

## 1 工程概况及能耗分析

该工业园区污水处理厂为 BOT 项目,总设计规模为  $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,分两期建设,一期工程为  $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,于 2009 年 10 月正式投入商业运行,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 B 标准;二期提标扩建项目于 2016 年 7 月正式运行,采用 A/O(MBBR) + 高效沉淀 + 臭氧催化组合工艺,工艺流程见图 1。

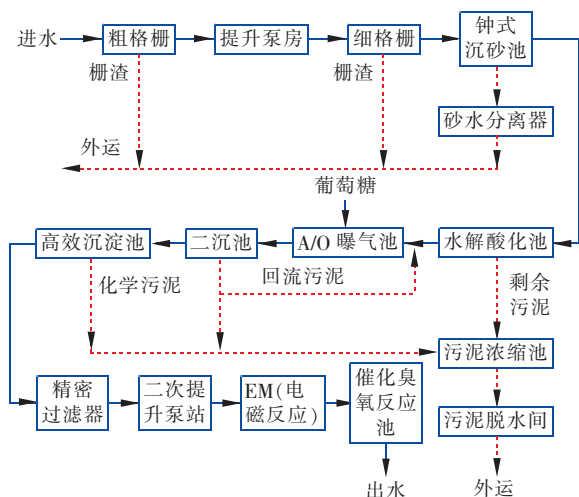


图1 废水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process

二期项目建成投运后,总处理规模为  $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,出水水质执行一级 A 标准。政府委托第三方核定污水处理服务费为 2.45 元/ $\text{m}^3$ ,其中政府核定的水价明细中电费、药剂费两项合计为 0.953 1 元/ $\text{m}^3$ ,实际发生费用超出核定成本。核定电费和各种药剂消耗明细见表 1。

表1 运行指标消耗明细

Tab. 1 Operation indexes consumption details

项 目	各项成本	
	政府核定	实际发生
电价/(元·kW·h <sup>-1</sup> )	0.709 2	
单位电耗/(kW·h·m <sup>-3</sup> )	0.616 3	0.682 4
电费/(元·m <sup>-3</sup> )	0.437 1	0.484 0
葡萄糖单价/(元·kg <sup>-1</sup> )	2.300 0	3.180 0

续表1 (Continued)

项 目	各项成本	
	政府核定	实际发生
葡萄糖投加量/(kg·m <sup>-3</sup> )	0.120 0	0.110 0
碳源费用/(元·m <sup>-3</sup> )	0.276 0	0.349 8
液氧价格/(元·kg <sup>-1</sup> )	0.800 0	0.950 0
液氧用量/(kg·m <sup>-3</sup> )	0.300 0	0.280 0
液氧费用/(元·m <sup>-3</sup> )	0.240 0	0.266 0
合计/(元·m <sup>-3</sup> )	0.953 1	1.099 8

## 1.1 设计及实际进水水质

该厂进水中工业废水占 85%,生活污水占 15%,收水面积约 15 km<sup>2</sup>,服务园区内企业有生物制药、火电、电解铝、铝加工和机械加工等。上游多数企业废水经过厂内污水处理站预处理,达到行业标准后外排,可生化性差(主要有有机污染物是茶多酚),色度重、盐分高,处理难度大。进水水质如表 2 所示。

表2 设计和实际进水水质

Tab. 2 Design and actual influent quality

mg·L<sup>-1</sup>

项 目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
设计进水	500	150	280	35	50	4
实际进水	270	32	300	26	60	3.2

## 1.2 能耗分布

该厂运行成本主要包括电耗和药耗两大部分,其中电耗占 30%(生物处理、臭氧部分约占 65%~70%,泵类占 25%,污泥处理、厂区照明及办公用电占 10%)。药剂(液氧、碳源、絮凝剂等部分)占成本 65%。

## 2 实施提效措施

该污水处理厂正式投入运行后,运行成本超出政府核定的运行费用约 0.146 7 元/ $\text{m}^3$ ,每天超支 7 335 元,针对政府核定的成本明细一一对照,找出差距,其中电费超 0.046 9 元/ $\text{m}^3$ ,日超支电费 2 345 元,主要药剂费超 0.099 8 元/ $\text{m}^3$ ,日超支药剂费 4 990 元,针对上述费用超支幅度,分析原因,找出解决方案。

## 2.1 节电措施

### 2.1.1 泵类设备安装变频器

离心水泵采用交流电动机恒速拖动,通过手动调节阀门或挡板调节流量,造成电能的浪费。若采用变频调速技术,以调节电动机转速的方式取代调节挡板或阀门,能够达到节电目的。因为这类负载

的输入功率和转速的 3 次方成正比,利用调速使流量减少,则异步电动机的输入电功率按立方规律下降,从而使电耗大大降低,节能效果十分显著。

该污水处理厂服务的对象是集聚区的工业企业,废水成分复杂,来水量无规律、波动大,泵房液位波动大,提升泵启动、关停频繁,效率低。通过对现有的提升泵、回流泵安装变频器,经变频器的调整合理控制流量,保证泵房的液位变化不频繁,使泵房在较高的液位下运行,降低了泵的扬程,达到了节能的目的。液位稳定改善了提升泵的工作环境,安装变频器后在同等流量的情况下,提升泵的电流比改造前降低 12 A,节电率达 16%;生物池污泥外回流泵、内回流泵分别加一台装变频器,合理控制回流比可达到节电的目的。泵类设备加装变频器改造完成后,经挂电表实测为 350 kW·h/d,可节约电费 246.0 元/d。

2.1.2 合理控制生物池溶解氧

生化池曝气耗电量经挂表计量,两台风机电耗为 6 100 kW·h/d,占该厂污水处理总耗电量约 20% 以上,A/O 工艺运行过程中好氧段溶解氧含量一般控制在 1.5~2.0 mg/L,MLSS 控制在 4 000 mg/L 以下,SVI 控制在 100 mL/g 左右,二沉池泥水分离良好。但实际该厂进水 DO 值高达 4 mg/L,氨氮平均在 26 mg/L,硝态氮高达 15 mg/L 以上,BOD<sub>5</sub> 低,如果风机连续开启,生物反应池 DO 值将达到 8.0~9.0 mg/L,过度曝气直接导致了能耗浪费,并会使污泥的沉降性变差,二沉池出水携带大量絮体,后续深度处理药耗量增加。为解决该问题,开始尝试风机间歇曝气,生物池 DO 含量每降低 0.1 mg/L,可节电 25 kW·h/d,运行中生物池可节电 1 560 kW·h/d,节省电费 1 106.352 元/d。

2.1.3 提高臭氧反应器的效率

该厂臭氧氧化系统需要产生臭氧 50 kg/h,才能保证出水达标,其中 3 台臭氧反应器耗电量经实测为 7 500 kW·h/d,该工序电耗为 0.15 kW·h/m<sup>3</sup>,电费为 0.106 38 元/m<sup>3</sup>,液氧费为 0.266 0 元/m<sup>3</sup>,臭氧制备费为 0.372 38 元/m<sup>3</sup>,在污水处理中占核算成本约 34%,是节能降耗的重点。该厂技术人员通过降低冷却水温度、气源投加 N<sub>2</sub>、控制合理脉冲密度等措施提高臭氧发生器工作效率,降低运行成本,具体运行数据见表 3。采用高频电源技术与微放电间隙相结合的臭氧发生器,以纯氧作为气源,通过

控制脉冲密度、循环水温度及进气源投加合适比例的氮气等措施,经过 2 个月的成本统计分析,臭氧的产量稳定在 50 kg/h,可确保水质达标。该工序经过挂表测试,电耗减少 635 kW·h/d,措施实施后液氧用量由 12.5 t 减少至 9.85 t。以上各项方案的落实,共节约 2 967.842 元/d,实现了臭氧发生器的高效运行。

表 3 臭氧发生器高效运行措施

Tab. 3 Efficient operation measures for ozone generator

措 施	效 果
冷却水温 >39 ℃,臭氧分解快,效率差,通过外冷却水滤网改造,增加循环水流速,板式散热交换率提高	冷却水温从 39 ℃ 降至 35 ℃,臭氧产气量提高 10%
纯氧作为气源的臭氧系统,加 4% 的 N <sub>2</sub> ,有效降低电极表面的腐蚀,延长放电管运行寿命,提高臭氧发生器工作效率	臭氧产量提高 4 kg/h
调整脉冲密度,提高臭氧发生器电源驱动频率,实现电能损耗最低	自控脉冲密度为 90%,臭氧浓度为 150 g/Nm <sup>3</sup> ,臭氧发生系统运行效率为 95%

2.2 强化进水水质监管

该厂重点服务对象是集聚区的工业企业,其常有偷排现象,导致进水经常超标,后续药剂和臭氧使用量增加,达标难度大,为此该厂提出了 4:3:2:1 的管理模式,即,40% 的精力抓好生产运行和达标排放,30% 的精力把控好各企业的排水水质,20% 的精力搞好员工团队建设,10% 的精力协调好与政府和环保部门的关系,确保进水符合要求。为控制好集聚区内主要企业的排水水质,经环保局同意,在两个排水企业大户厂区外的排水检查井处设计安装自动取样仪,每小时取一次水样,每天早上 8 点对水样进行化验分析,如有异常超标数据,及时向环保部门反映解决。通过近 6 个月的水样分析,进水水质明显改善,安装取样仪前、后进水水质对比见表 4。进水水质主要指标得到了改善,水处理主要药剂聚合硫酸铁(重点去除水中胶体物质 COD、总磷等有机污染物)投加量由 80 mg/L 降低到 45 mg/L,节约聚合硫酸铁 1.75 t(单价 325 元/t),节省费用 568.75 元/d。臭氧的作用是降解溶解性的 COD、脱除色度、消毒,因进水指标改善,催化臭氧池的进水 COD 由以前的 75 mg/L 降为 67 mg/L,正常情况下 1 mg 臭氧去除 0.86 mg/L 的 COD,1 g 的臭氧成本约



0.016 元,处理水量为  $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,可减少臭氧使用量约 465 kg/d,节省电费和液氧费用 7 441.9 元/d。

表 4 外排水检测前、后水质

Tab.4 Water quality before and after drainage test

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项 目	COD		BOD <sub>5</sub>		SS		TN		NH <sub>3</sub> - N		TP	
	检测前	检测后	检测前	检测后	检测前	检测后	检测前	检测后	检测前	检测后	检测前	检测后
2017-01-07	265	205	21	30	240	220	65	55	34	28	3.4	2.8
2017-02-08	248	215	28	35	320	180	50	60	40	25	2.8	2.5
2017-03-09	223	195	34	32	180	210	78	54	30	20	2.4	2.7
2017-04-10	310	310	32	28	360	150	64	50	35	24	3.6	3.0
2017-05-11	270	220	40	36	300	160	55	52	34	26	3.4	2.2
2017-06-12	230	250	29	30	220	200	76	48	42	25	3.0	2.6

### 2.3 碳源种类创新,选择经济碳源

该厂外加碳源为固体葡萄糖,配制成液体劳动强度大,需安排 2 名专人负责,且葡萄糖价格为 3 180 元/t,葡萄糖添加量为 5.5 t/d,才能够保证总氮控制在 12 mg/L 以下,仅葡萄糖配制人工费为 400 元/d、葡萄糖费用为 17 490 元/d,实际脱氮费用为 0.357 8 元/ $\text{m}^3$ ,比政府核定成本 (0.276 元/ $\text{m}^3$ ) 高出 0.081 8 元/ $\text{m}^3$ 。为降低碳源费用,由环保部门协调,该厂利用当地啤酒厂过期啤酒、牛奶集团不合格牛奶作为碳源进行脱氮,每天收集废牛奶 1.5 ~ 2.0 t、废啤酒 3 t,与 2.3 t 葡萄糖进行混合,能够保证出水总氮 < 12.3 mg/L。采用这种模式运行,脱氮费用为 8 564 元/d,脱氮成本为 0.172 8 元/ $\text{m}^3$ ,比目前采用的方法节省 0.185 元/ $\text{m}^3$ ,比政府核定的 0.276 元/ $\text{m}^3$  节省 0.103 2 元/ $\text{m}^3$ ,仅碳源一项节省费用 5 160 元/d。

### 3 结语

该污水处理厂从精细管理、大胆创新,优化运营、提高技术装备、升级改造设备等环节出发,摸索一条适合自身污水水质和特点的工艺运行方案,电耗从 0.62 kW · h/ $\text{m}^3$  降低到 0.54 kW · h/ $\text{m}^3$ ,药剂费减少,节省成本 16 922.094 元/d,单方水成本减少 0.338 44 元/ $\text{m}^3$ ,实际运行成本降低为 0.761 36 元/ $\text{m}^3$ ,比政府核定的成本节省 0.191 74 元/ $\text{m}^3$ ,全年约节约 350 万元,实现了企业自身利益最大化。

### 参考文献:

- [1] 原建光,李成杰. 改良型 Carrousel 氧化沟沉泥问题的解决方法[J]. 中国给水排水,2009,25(14):136-138.  
Yuan Jianguang, Li Chengjie. The solution to the problem

of modified Carrousel oxidation ditch sediment[J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(14): 136-138 (in Chinese).

- [2] 原建光,孙娟,苑丽,等. 污水处理厂节能降耗的运行措施[J]. 中国给水排水,2013,29(18):149-150.  
Yuan Jianguang, Sun Juan, Yuan Li, et al. Operation measures of energy saving and consumption reduction in wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(18): 149-150 (in Chinese).
- [3] 原建光,赵迎春. 工业园区污水处理厂低负荷条件下 A/O 脱氮工艺的优化[J]. 中国给水排水,2017,33(8):136-138.  
Yuan Jianguang, Zhao Yingchun. Optimization of A/O denitrification process under low load conditions in the sewage treatment plant of the industrial park [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(8): 136-138 (in Chinese).



作者简介:原建光(1969-),男,河南卫辉人,本科学历,高级工程师,主要从事污水处理厂的运营管理工作。

E-mail: y-janguang@163.com

收稿日期:2018-09-14