

小型城镇污水厂节能降耗措施与实践

张红春, 唐国华, 张嘉惠, 李 培, 王凯丽, 张仁珍
(昆山市污水处理有限公司, 江苏 苏州 215301)

摘 要: 针对小城镇污水处理厂出水标准提高和节能降耗之间矛盾, 建立涵盖污水处理厂效能综合评估、管理节能、控制节能、设备节能等节能降耗途径的综合节能方案。以昆山某污水处理厂为例, 从设施精简、设备更新、控制优化, 依次开展节能降耗工作, 在污水稳定达标排放的情况下用电单耗降低 32.5%, 为小型城镇污水处理厂节能降耗提供可借鉴的范例。

关键词: 节能降耗; 效能综合评估; 控制优化

中图分类号: X703.1

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)09-0131-05

0 引言

近年来, 随着国家对污水排放标准要求提高, 许多地方大力推进污水处理厂提标改造^[1-2]。2019 年住房和城乡建设部等三部委联合印发了《城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021 年)》^[3], 在此大政策环境背景下, 江苏省颁布实施了《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》(DB 32/1072—2018), 明确要求江苏省太湖地区城镇污水处理厂在一级 A 排放标准基础上进一步提高排放标准^[4-6]。污水处理厂出水执行标准的提升, 将直接提高污水处理能耗。

对于建造时间较长的小型污水处理厂, 在面临多次提质增效及技术改造后, 仍要保证污水厂正常运行, 且需实现投入少、节能效果好等问题。

现以昆山某污水处理厂效能提升改造工程为例, 在污水处理厂排放标准和节能降耗要求提高的情况下, 通过设施精简、设备更新再到控制优化, 依次开展节能降耗工作, 实现污水处理厂节能降耗。

1 效能综合评估

1.1 效能综合评估方案

1.1.1 评估目标

污水处理厂运行效能评估的目标是明确污水处理厂运行过程中存在的核心问题, 提出污水处理厂优化运行和节能降耗的潜力和方向, 为污水处理厂

整体效能的提升提供基础数据和判断依据。

1.1.2 评估原则与思路

污水处理厂运行效能评估的原则是范围明确、数据有效、评价客观、结论可靠, 评估思路如图 1 所示。

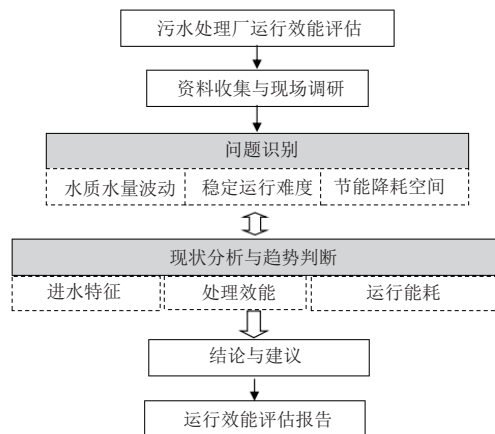


图 1 评估线路图

1.1.3 评估内容

根据污水处理厂历史运行资料和现场调研信息, 对污水处理厂的进水水质特征、处理效能、运行能耗进行系统评估, 明确污水处理厂运行过程中存在的核心问题, 提出污水处理厂节能降耗的潜力和方向。

1.2 示例污水厂案例

1.2.1 污水处理厂概况

该污水处理厂总体规模 3 万 m³/d, 一期现有工程规模为 2 000 m³/d, 二期、三期现有工程规模均为 4 000 m³/d; 四期、五期工程建设规模均为 1 万 m³/d, 处理工艺采用“A₂/O 工艺 + 微絮凝工艺”, 日平均处理水量为 1.34 万 m³/d, 进出水水质情况如表 1 所列。经过处理后尾水排放至朝南港, 出水水质标准满足

收稿日期: 2021-12-22

作者简介: 张红春(1974—), 男, 学士, 高级工程师, 从事污水处理企业运营管理工作。

《2018 苏州特别排放限值》。

表 1 2019 年污水处理厂进出水水质平均值一览表 单位:mg/L

2019 年	COD _{Cr}	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP	SS
进水	287.00	165.00	30.00	33.10	3.70	204.10
出水	15.00	1.80	0.75	7.00	0.12	4.00

1.2.2 污水厂现状分析评估

根据昆山某污水处理厂的 2019 年的历史运行资料和现场调研信息,对该污水处理厂进水特征、处理效能、运行能耗进行系统评估。

1.2.2.1 进水特征

通过对该污水处理厂过往数据统计,得出进水特征数值如表 2 所列。

表 2 污水处理厂进水特征数值表

2019 年	BOD ₅ /COD _{Cr}	BOD ₅ /TN	BOD ₅ /TP	SS/COD _{Cr}	SS/BOD ₅
最大值	0.99	17.49	107.78	0.73	1.73
最小值	0.29	1.13	14.54	0.35	0.39
平均值	0.58	5.05	44.93	0.50	0.90

由表 2 可知:

BOD₅/COD_{Cr} 比值的波动范围为 0.29~0.99,平均值为 0.58,表明该厂的进水可生化性整体较好,但存在进水可生化性较低的风险。

BOD₅/TN 比值的波动范围为 1.13~17.49,平均值为 5.05,表明该厂生物脱氮碳源水平总体较高。

BOD₅/TP 比值的波动范围为 14.54~107.78,平均值为 44.93,表明该厂的生物除磷碳源水平不高。

SS/COD_{Cr} 与 SS/BOD₅ 比值的波动范围较大,变化范围分别为 0.35~0.73 和 0.39~1.73,平均值分别为 0.52 和 0.90,表明该厂进水 SS 中无机组分的比例较高。

1.2.2.2 处理效能分析

(1)工艺处理效能分析。

2019 年该污水处理厂在当前运行工况下,出水 COD_{Cr}、BOD₅、SS、NH₃-N、TN、TP 浓度均 100%满足设计要求(GB 18918—2002 中的一级 A 标准),且出水浓度均较稳定,达标率均为 100%(见表 3)。

(2)设施处理效能分析。

通过对污水处理厂生化系统的设计资料汇总,实际进水水质与设计进水水质的校核,各期生化段构筑物设计处理能力和最大处理能力详见表 4 所列。

根据对生化系统处理水量的评估和主要处理构筑物进行仿真模拟核算(见图 2),一至五期最大总处

表 3 污水处理厂处理效能数值表

2019 年	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TP	TN
平均去除率/%	92.57	98.54	96.00	98.65	96.65	74.07
出水最大值/(mg·L ⁻¹)	27.00	2.90	7.00	1.42	0.30	12.90
出水最小值/(mg·L ⁻¹)	8.00	1.00	3.00	0.05	0.03	2.52

表 4 该污水处理厂各期生化系统设计处理量一览表

序号	生化处理系统分期	池深/m	好氧段有效容积/m ³	设计处理能力/(m ³ ·d ⁻¹)	核算最大处理能力/(m ³ ·d ⁻¹)
1	一期生化处理系统	5.50	1 037	2 000	3 000
2	二期生化处理系统	5.50	2 037	4 000	6 000
3	三期生化处理系统	5.50	2 037	4 000	6 000
4	四期生化处理系统	4.80	5 130	10 000	12 000
5	五期生化处理系统	6.50	7 024	10 000	14 000

理能力可达到 4.1 万 m³/d,该厂处理设施具有较大的调节空间。

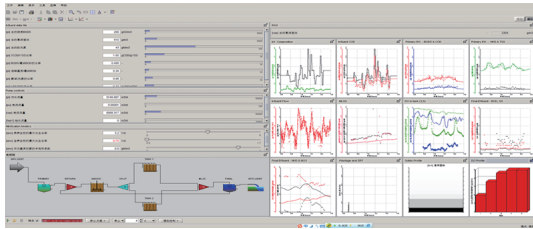


图 2 对生化系统主要处理构筑物仿真模拟核算图示

(3)运行能耗分析。

a. 整体能耗分析。

该污水处理厂 2019 年的月均水处理用电量如表 5 所列。2019 年第二季度的月均水处理用电量明显偏高,第二季度比第四季度多耗电 13.38%。

表 5 污水处理厂月均水处理用电量表

2019 年	第一季度	第二季度	第三季度	第四季度
月均水处理用电量/(万 kW·h)	26.88	27.43	24.22	23.76

该污水处理厂 2019 年的日均电单耗如图 3 所示,可以看出运行能耗波动较大且具有一定的规律性。该厂日均水处理电单耗的变化范围为 0.365~1.616 kW/(h·m³),平均值为 0.672 kW/(h·m³);7 月~11 月的日均水处理电单耗处于低谷状态,12 月~4 月处于峰值状态。

b. 能耗组成分析。

在对各工艺单元进行能耗分析时,发现如图 4 所示的情况,生物处理段电能耗占整个污水厂能耗的 67.35%,预处理段能耗约占 27.17%,污泥处理段及其他约占全厂能耗的 5.48%。说明该污水厂在生物处理段和预处理段有节能空间。

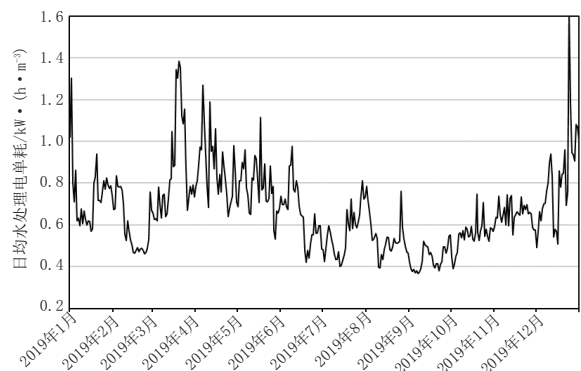


图 3 2019 年污水厂用电单耗分布图

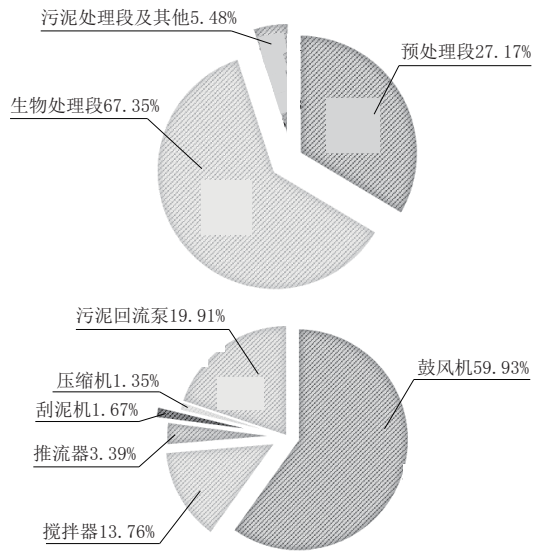


图 4 污水处理厂能耗分布图

在对污水厂设备进行能耗分析发现, 鼓风机的能耗占比最大为 59.93%, 其次是回流泵为 19.91% 左右。众所周知, 鼓风机在污水厂运行中属于常开设备, 且占比总能耗最大, 优化鼓风机运行, 可以很大程度上节能, 表 6 为风机设备运行现状统计表。

表 6 风机设备运行现状统计表

序号	生化处理系统分期	能力评估		供气风机配置		启用年限	所在风机房
		处理水量 $/(t \cdot d^{-1})$	所需供风量 $/(m^3 \cdot min^{-1})$	风机类型	规格参数		
1	一、二期生化处理系统	5 000	29-33	1# 空气悬浮鼓风机	风量 23 m ³ /min、风压 70 kPa、功率 37 kW、变频	2017.12	二期鼓风机房
				2# 空气悬浮鼓风机	风量 23 m ³ /min、风压 70 kPa、功率 37 kW、变频	2017.12	
				3# 罗茨鼓风机	风量 17 m ³ /min、风压 6 000 mmHg、功率 30 kW、变频	2004	
2	三期生化处理系统	5 000	29-33	1# 罗茨鼓风机	风量 17 m ³ /min、风压 6 000 mmHg、功率 30 kW、变频	2006	三期鼓风机房
				2# 罗茨鼓风机	风量 17 m ³ /min、风压 6 000 mmHg、功率 30 kW、变频	2006	
				3# 空气悬浮鼓风机	风量 23 m ³ /min、风压 70 kPa、功率 37 kW、变频	2017.12	
3	四期生化处理系统	10 000	67-74	1# 罗茨鼓风机	风量 47.0 m ³ /min、风压 0.6 kgf/cm ² 、功率 75 kW、变频	2009	四期鼓风机房
				2# 罗茨鼓风机	风量 47.0 m ³ /min、风压 0.6 kgf/cm ² 、功率 75 kW、变频	2011	
				3# 罗茨鼓风机	风量 47.0 m ³ /min、风压 0.6 kgf/cm ² 、功率 75 kW、变频	2011	
4	五期生化处理系统	10 000	89-92	1# 空气悬浮鼓风机	风量 58 m ³ /min、风压 8 000 mmHg、功率 75 kW、变频	2020.9	四期鼓风机房
				2# 空气悬浮鼓风机	风量 58 m ³ /min、风压 8 000 mmHg、功率 75 kW、变频	2020.9	
				3# 空气悬浮鼓风机	风量 58 m ³ /min、风压 8 000 mmHg、功率 75 kW、变频	2020.9	

通过校核设计水质水量与实际水质水量与生化性系统供风量能力的匹配度返现, 厂区各期配置的鼓风机基本处于低负荷运行、且部分风机水泵老旧、高能低效, 直接导致曝气能耗较高。此外, 现有各期系统鼓风机供风能力满足超负荷进水处理要求, 从设备优化角度评估, 具备优化条件。

c. 运行药耗分析。

该污水处理厂药剂使用主要包括碳源、PAC、PAM 和次氯酸钠。2019 年该污水处理厂药剂投加数值见表 7 所列。该厂药耗投加量存波动, 但整体药剂使用量属于正常范围内。

表 7 污水处理厂运行药耗数值表 单位: kg

2019 年	PAC	PAM	碳源	次氯酸钠	污泥调理剂
日投加最小值	125	0.5	41	97	5.4
日投加最大值	2 800	14	1 407	1 677	46.5
日投加平均值	708	5	623	573	17.8

2 节能降耗措施

2.1 节能降耗策略

污水处理厂在提升污水、生物处理供氧及污泥处理等工艺过程中存在大量的能源消耗问题。常见的节能降耗措施包括提高污水厂运营管理、优化污水厂工艺控制、更换高效设备等方式。

2.1.1 提高污水厂运营管理

提高污水厂的运行管理, 实施科学化、制度化、精益化的管理, 提高员工的主观能动性, 保障污水处理设备稳定高效运行。通过管理节能措施引导、约束员工更加合理高效参与工作之中, 为节能降耗提供

执行保障。

2.1.2 优化污水厂工艺控制

优化污水厂工艺控制是实现污水厂节能降耗重要措施,主要通过优化曝气控制系统、优化加药控制系统、优化回流控制系统等方式实现。

2.1.3 更换高效设备

更换高效设备,淘汰使用年份较长、电机老化或自身能耗水平较高的设备,更换低能耗、高效率设备,提升设备运行效率、降低能耗。

2.2 示例厂节能降耗内容

2.2.1 节能降耗思路

该污水厂节能降耗思路是以“节能降耗”为导向,通过对该污水厂现场调研踏勘与历史运行数据资料、设计资料的分析,优化污水运行控制模式、调整设备配置,制定技术改造方案。

2.2.2 节能降耗措施

针对该污水处理厂能耗现状,制定节能降耗措施,分为设施精简、设备更新、控制优化三个阶段。

2.2.2.1 设施精简

根据对生化系统处理水量的评估和主要处理构筑物核算,该厂处理设施具有较大的调节空间,对各期的水量调配做出如下调整:

(1)关闭一期系统,二期保持原样,提升三期系统处理能力至 5 000 m³/d;提升四期运行进水负荷至 11 000–12 000 m³/d;提升五期运行进水负荷至 13 000–14 000 m³/d。

(2)在系统进水量低于 24 000 m³/d 时,仅启动四、五期系统运行;当进水超出 24 000 m³/d 逐步接近满负荷时,且进水浓度未出现明显下降时,同时启动三、四、五系统以保证处理效果。

设施精简可以每天节省约 2 800 kW·h,可节省能耗至少约 8.2%。

2.2.2.2 设备更新

结合水量调配和设施关停方案,在满足各期设施处理要求和设备之间兼容性的前提下,对现有鼓风机进行重新组合分配。

(1)将二期原 2# 空气悬浮鼓风机移动到四期期鼓风机房,1# 空气悬浮鼓风机和 3# 罗茨鼓风机不移动,由两用一备转为一用一备,二期风机功率由 74 kW 降低为 37 kW。

(2)四期泵房原 3 台罗茨鼓风机关停,增加了二期 2# 空气悬浮鼓风机。为了避免发生四期风量不足的情况,将五期泵房的 1# 空气悬浮风机引至四期,

气量不足时可开启。四期风机功率由 150 kW 降低为 37 kW。

(3)五期泵房原 2# 空气悬浮鼓风机关停,由两用一备转为一用一备,五期风机功率由 150 kW 降低为 75 kW。

在对风机优化配置过程中,对使用年份较长、电机老化或自身能耗水平较高的设备,进行能耗节约与投资平衡分析,适当互换部分设备,提升设备运行效率、降低能耗。

设备更新可以每天节省约 5 400 kW·h,可节省能耗至少约 15.9%。

2.2.2.3 风量优化控制

结合目前该污水处理厂风机自控程度较为简单,根据经验调控风量,因其智能化程度不高,要实现风量精确控制,需要时间和成本上较大投入,因此对风量优化控制分为两个阶段。

阶段一:前期是通过经验加理论实现风机的优化变频,控制 DO 浓度,风机优化配置后,在该污水处理厂现有曝气自控系统的基础上,通过工艺校核,对运行控制逻辑进行优化调整,如增加三~五期的 DO 浓度不超过 3.00 mg/L,最佳维持调控范围为 1~2 mg/L 等控制条件;

阶段二:实现精确曝气,根据污水厂实际进水负荷的变化及各控制单元溶解氧运行水平的需求,动态计算反应区最佳溶解氧浓度范围,通过对鼓风机总风量的调节及与流量调节阀门的联动,及时准确地分配与控制生物反应池的气量,以达到溶解氧稳定控制的需求,使生物池各反应段高效稳定运行,同时达到节能降耗的目的^[7],风量优化控制可以每天节省约 2 300 kW·h,可节省能耗至少约 6.8%。

2.3 节能降耗结果

该污水处理厂于 8 月 30 日–10 月 10 日期间进行节能调节,其中:9 月上旬(8 月 30 日–9 月 12 日)完成对风机重新组合、低效能设备更换和优化控制等措施,9 月中旬试运行,调节期间对每周的用电量进行统计,如图 5 所示。由图 5 可知,9 月中旬试运行后每周动力用电量呈明显下降趋势,节能调节前平均每周用电量为 73 047 kW·h,节能调节后平均每周用电量为 58 051 kW·h,降低了 14 996 kW·h。

进一步对该污水处理厂节能调节进行分析,如图 6 所示。

由图 6 可知,该污水处理厂节能调节期间用电单耗较调试前整体下降,期间用电单耗值范围为

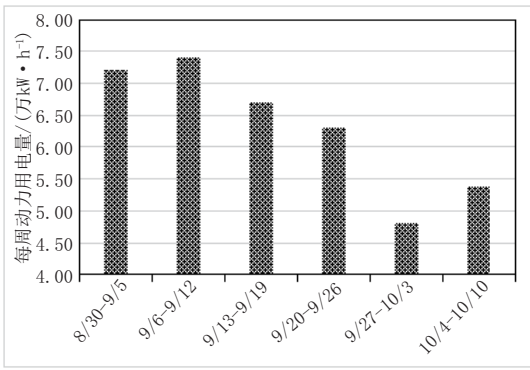


图 5 8 月 30 日 -10 月 10 日污水处理厂每周总动力用电量分布柱状图(单位:万 kW·h)

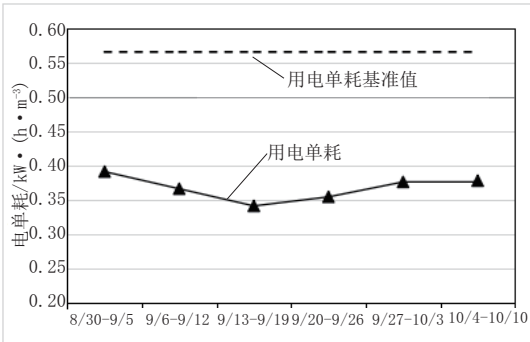


图 6 8 月 30 日 -10 月 10 日污水处理厂节能调节前后用电单耗对比图(单位: kW·h·m⁻³)

0.341~0.418 kW·h/m³, 平均值为 0.382 kW·h/m³, 相比用电单耗基准值 0.566 kW·h/m³(该污水厂 2018—2020 年用电单耗平均值)下降了 0.184 kW·h/m³, 降低了 32.5%。

3 结论与建议

3.1 结论

针对小型城镇污水处理厂出水标准提高和节能降耗之间矛盾,开展污水处理厂效能综合评估、管理节能、控制节能、设备节能等节能降耗途径的综合节能方案研究,得出如下结论:

(1)污水处理厂运行效能评估是节能降耗重要环

节,通过对污水处理厂的进水水质特征、处理效能、运行能耗进行系统评估,明确污水处理厂运行过程中存在的核心问题,提出污水处理厂节能降耗的潜力和方向。

(2)从节能降耗和效能提升角度出发,通过对污水处理厂实施管理节能、控制节能、设备节能等节能降耗措施,有助于实现污水厂节能降耗。

(3)以昆山某污水处理厂为例,通过对该厂能效评估发现各期生化池处理效率较低、大功率设备配置不合理等问题,针对性地采取设施精简、设备更新、控制优化等层层递进的节能降耗工作,在污水稳定达标排放的情况下用电单耗降低了 32.5%,每天节省 11 000 度电左右。其中:设施精简贡献占 8.2%、设备更新贡献占 15.9%、控制优化贡献占 6.8%。

3.2 建议

污水处理厂应充分利用信息化、数字化、智能化发展的理念和技术成果,建设智慧型污水处理厂,助力于污水厂实现智能化、精细化节能降耗。

参考文献:

- [1] 陈玮,高伟,徐慧伟,程彩霞,赵晔.《城镇污水处理考核暂行办法》对行业发展的影响分析[J].给水排水,2017,53(11):44-47.
- [2] 王凌.提质增效要求下的太湖流域污水处理厂系统性评估与改进方案分析——以镇江某污水处理厂为例[J].长春工程学院学报(自然科学版),2020,21(1):40-47.
- [3] 城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021 年)[J].城市道桥与防洪,2019(6):337-339.
- [4] 李澈,王燕,罗国兵,等.城镇污水处理厂一级 A 标准运行评估与再提标重难点分析[J].环境工程,2020,38(7):1-12.
- [5] 邹吕熙,李怀波,郑凯凯,等.太湖流域城镇污水处理厂进水水质特征分析[J].给水排水,2019,55(7):39-45.
- [6] 甘申东,余艳鸽.我国城市污水处理厂运行存在问题及解决对策研究[J].环保科技,2018,24(6):54-59.
- [7] 杨函蒙,胡湛波,王瑾,等.新型智能化曝气控制系统在生活污水 A/O 处理工艺中的应用[J].环境工程学报,2016,10(11):6.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smcdi.com