

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.24.018

奥贝尔氧化沟曝气机协同实现溶解氧自动控制

李建华, 马庆奎, 赵健
(文登创业水务有限公司, 山东 威海 264400)

摘要: 对某污水处理厂氧化沟系统中多个曝气机进行协同调度,将定频曝气机周期性间歇控制和变频曝气机的PID控制相结合,运用PLC和上位机的类人工智能控制,实现了对现有氧化沟表面曝气的溶解氧自动控制。实际运行数据表明,曝气机协同控制的溶解氧控制精度高,水质改善效果显著,对同类工程有一定的借鉴意义。

关键词: 奥贝尔氧化沟; 溶解氧; 自动控制

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)24-0097-05

Automatic Control of Dissolved Oxygen through Aerator Coordination in Orbal Oxidation Ditch

LI Jian-hua, MA Qing-kui, ZHAO Jian
(Wendeng Capital Water Co. Ltd., Weihai 264400, China)

Abstract: The multiple aerators in oxidation ditch system of a sewage treatment plant was coordinately scheduled to achieve automatic dissolved oxygen (DO) control of surface aerating in oxidation ditch by combining periodic intermittent control of fixed-frequency aerator with proportional integral derivative (PID) control of variable frequency aerator and artificial intelligence-like control of programmable logic controller (PLC) and upper machine software. According to operating data, the automatic DO control is more precise and it can improve wastewater treatment effectiveness while saving energy, which provides reference for similar projects.

Key words: Orbal oxidation ditch; DO; automatic control

统计资料显示,全国现有污水处理厂中,有超过29%采用氧化沟处理工艺^[1]。现有的氧化沟工艺,为降低能耗,一部分已经改为底部曝气,而大部分仍延用原设计的表面曝气方式。在表面曝气氧化沟中,大部分对溶解氧(DO)的控制,仍采用人工调节或者半自动控制方法,已经不能满足更为严格的水质要求。因此,通过技术改造,实现DO自动优化控制,进一步节能降耗、提升水质,势在必行。

1 工程概况

某污水处理厂于1995年由中國市政工程華北設計研究院設計,採用奧貝爾氧化溝處理工藝,處理水量為 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,設計出水執行《污水綜合排放標

准》(GB 8978—1996)的二級標準。氧化溝分南、北兩座,於2000年8月正式通水運行。單座氧化溝設WA型和WB型單速轉碟曝氣機共14台。其中WA型(外溝)單速轉碟曝氣機8台,電機功率30 kW,編號為WA1~WA8;WB型(內、中溝同軸)單速轉碟曝氣機6台,電機功率37 kW,編號為WB1~WB6。對側曝氣機均順序編號。實際運行中,氧化溝出水水質可達到《城鎮污水處理廠污染排放標準》(GB 18918—2002)的一級B標準。

2014年,面對新的環保要求,出水指標要由一級B標準提升為一級A標準,為此,在氧化溝處理工藝後面,又增加了深度處理工藝段,並在氧化溝外溝

DO值,进而自动启停定频曝气,来实现DO的自动控制。检测周期可由上位机设置,默认值10 min检测一次。其次,对增加或减少定频曝气机运行数量带来的曝气量冲击,由2台变频曝气机通过PID控制进行补充调节,以尽可能实现DO控制的平滑调节。

具体来说,对于内沟整体的曝气量控制,可以表示为定频曝气机曝气量与变频曝气机曝气量之和,即:

$$W_{\text{总}} = W_{\text{定频}} + \Delta W_{\text{变频}} \quad (1)$$

式中: $W_{\text{定频}}$ 为4台定频曝气机的开关控制量; $\Delta W_{\text{变频}}$ 为2台变频曝气机的PID控制量。

开关控制中的阈值由知识库决定,由于氧化沟中DO的模型可以近似为带时滞的一阶系统^[2],开关控制中的高频项被滤除,使得其本身就能做到稳定控制。加上合适的PID控制辅助,可以达到较高的控制精度。

5.1 定频曝气机的控制

内沟的其他定频曝气机,按设定的DO数值,周期性(优选10 min)判别DO高低,顺序启停,与变频的曝气机联动调控DO。定频曝气机顺序控制界面见图2。



图2 定频曝气机顺序控制界面

Fig.2 Sequence control interface of fixed-frequency aerator

控制软件特色功能:①开停顺序。可选择适合的开机顺序,优化运行。②选控仪表。规避DO仪表的故障对自控系统的影响,软件提供了仪表选项。③控制方式。夜间出现DO仪表探头被垃圾覆盖导致数据异常时,可选择南、北沟互为备用,不影响自控系统正常运行。④强增/强减。在设备检修或重大水质异常波动时,人工可随时干预自动状态,以弥补自动控制的周期性判断的不足。⑤DO持续下降预警。系统报警功能灵活,提醒值班人员及时发现控制异常。

5.2 变频曝气机的控制

将南沟WB2、WB3和北沟WB8、WB9增加变频

调速,用西门子S7-300 PLC的标准控制模块,实现自动调控内沟DO的PID控制(见图3)。2台曝气机的频率调整范围为25~50 Hz,当二者同步变频调整时,其调整范围超过了1台定频机的曝气量,可实现曝气量的平稳过渡。

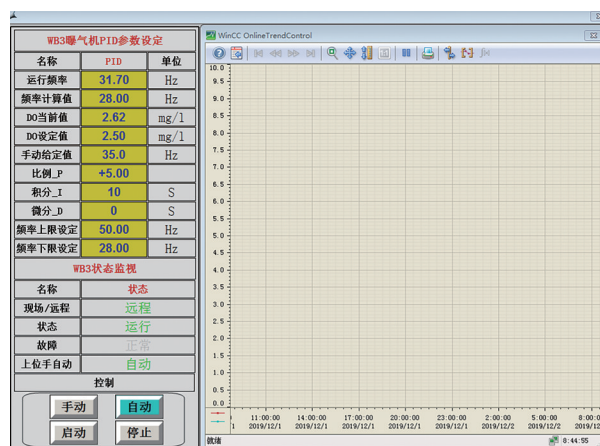


图3 变频曝气机PID控制界面

Fig.3 PID control interface of variable frequency aerator

氧化沟DO自动控制软件经反复调试,于2019年5月正式投入运行。DO控制改造后的运行数据表明,DO控制偏差较小,达到了预期效果,并彻底消除了中、内沟的污泥淤积现象,使池容得到充分利用。本次改造对改善出水TN指标,实现精细化工艺调控发挥了重要作用^[3-4]。

在改造过程中,还充分利用表面曝气特有的流动力,将荧光法DO传感器的安装由固定式改为随动摇摆式,以避免青苔缠绕探头,影响DO数据的采集,使DO数据的准确性进一步提高。

6 DO控制实施效果

该污水处理厂自行研究开发的氧化沟DO自动控制系统,实现了精准曝气,稳定了生产工艺运行,改善了出水指标。以DO、污染物指标、电耗等为主要技术指标,来对比分析技术改造前后的数据变化和运行效果。为突显冬季的运行情况,电耗和水质统计数据包含了两个冬季的数据引用。

6.1 DO控制对比

南沟改造前、后DO控制对比见图4(北沟类似)。以2019年9月的DO数据为例,对于南氧化沟,内沟DO设定值1.5 mg/L,实际运行平均值1.48 mg/L,其中低于设定值95%的数据占11.4%,低于设定值90%的数据占4.26%,高于设定值105%的

数据占4.4%,高于设定值110%的数据占1.3%;对于北氧化沟,内沟DO设定值1.5 mg/L,实际运行平均值1.5 mg/L,其中低于设定值95%的数据占6.7%,低于设定值90%的数据占2.5%,高于设定值105%的数据占5.6%,高于设定值110%的数据占3.7%。由此可见,DO运行数据偏差小,达到了预期的改造效果。

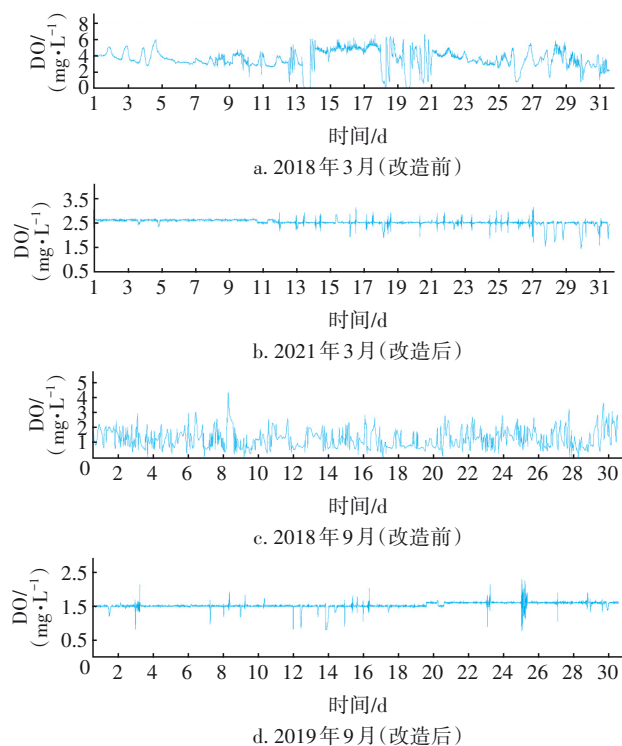


图4 改造前、后的DO控制对比

Fig.4 Comparison of DO control before and after reconstruction

6.2 DO控制对出水水质的改善

氧化沟改造前、后出水水质对比见表1、2。

表1 2018年1月—2019年4月氧化沟进、出水水质(改造前)

Tab.1 Influent and effluent quality of oxidation ditch from Jan. 2018 to Apr. 2019 (before reconstruction)

项 目	COD		NH ₃ -N		TP		TN	
	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
2018年1月	411	103.5	36.4	12.46	7.38	3.30	49.8	30.2
2018年2月	297	91.2	37.2	32.56	4.30	2.22	47.0	37.4
2018年3月	352	67.2	35.1	4.68	5.42	1.60	45.5	19.7
2018年4月	348	52.6	35.1	2.81	6.40	1.42	46.2	17.2
2018年5月	315	32.5	31.5	0.84	5.15	1.27	42.5	7.5
2018年6月	305	23.8	35.9	0.73	5.44	1.07	43.9	12.6
2018年7月	231	22.2	30.9	0.59	3.79	0.43	38.1	15.8

续表1 (Continued)

项 目	COD		NH ₃ -N		TP		TN	
	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
2018年8月	280	23.1	33.0	0.55	5.12	0.64	39.6	13.7
2018年9月	204	24.9	29.0	0.92	3.95	0.68	36.5	24.9
2018年10月	282	26.3	37.1	0.65	5.06	1.20	46.1	19.6
2018年11月	278	32.4	31.1	0.96	5.02	1.54	42.1	10.6
2018年12月	298	55.2	37.2	3.96	4.93	0.99	48.0	14.8
2019年1月	347	83.2	37.2	2.85	5.49	1.77	48.2	14.9
2019年2月	305	87.4	36.3	8.56	5.15	2.17	48.2	28.1
2019年3月	368	74.3	34.9	2.13	5.34	0.93	47.6	14.7
2019年4月	328	47.3	36.5	0.97	5.41	0.72	46.7	12.8
平均值	309	52.9	34.6	4.76	5.21	1.37	44.8	18.4

注: 对COD、NH₃-N、TP、TN去除率分别为82.90%、86.20%、73.70%、58.90%。

表2 2020年1月—2021年4月氧化沟进、出水水质(改造后)

Tab.2 Influent and effluent quality of oxidation ditch from Jan. 2020 to Apr. 2021 (after reconstruction)

mg·L⁻¹

项 目	COD		NH ₃ -N		TP		TN	
	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
2020年1月	326	35.7	36.8	1.65	4.79	1.12	45.4	17.6
2020年2月	323	48.2	37.2	2.77	4.49	1.00	45.7	25.0
2020年3月	367	42.7	36.2	1.61	4.93	0.87	44.3	13.7
2020年4月	429	36.8	38.0	0.62	5.90	0.79	46.0	6.7
2020年5月	383	30.1	31.5	0.59	5.00	0.81	39.1	5.7
2020年6月	274	29.3	31.1	0.75	4.94	0.65	39.0	7.2
2020年7月	208	25.6	26.8	0.67	3.25	0.65	35.9	8.1
2020年8月	214	26.2	25.0	0.36	3.42	0.75	34.6	7.7
2020年9月	244	32.5	28.4	0.55	3.49	0.85	36.6	7.5
2020年10月	306	33.9	37.7	0.68	4.25	0.68	46.2	14.6
2020年11月	330	35.2	33.5	1.09	4.32	0.49	41.5	11.1
2020年12月	347	33.9	37.4	0.90	3.81	0.64	47.3	14.4
2021年1月	468	44.3	38.7	4.37	4.96	0.54	48.3	13.5
2021年2月	469	43.6	37.0	2.87	7.49	0.68	46.2	10.4
2021年3月	454	51.0	38.1	1.20	7.20	0.98	47.5	9.0
2021年4月	361	39.0	29.2	1.00	5.53	0.85	41.1	8.7
平均值	344	36.8	33.9	1.36	4.86	0.77	42.8	11.3

注: 对COD、NH₃-N、TP、TN去除率分别为89.30%、96.00%、84.10%、73.60%。

对氧化沟DO实施精准控制后,氧化沟出水水质改善明显。出水COD平均值由改造前的52.9 mg/L下降到36.8 mg/L,去除率由改造前的82.90%提高到89.30%;出水NH₃-N平均值由改造前的4.76 mg/L下降到1.36 mg/L,去除率由改造前的86.20%提高到96.00%;出水TN平均值由改造前的18.4 mg/L下降到11.3 mg/L,去除率由改造前的

58.90%提高到73.60%,冬季水质严重恶化情况也得到了有效控制。

DO精准控制后,水质大幅改善的原因分析如下:

① DO手工调节,因值班人员不可能每时每刻紧盯电脑,导致实际DO值出现较大的浮动,容易出现曝气或严重欠曝气的情况。

② 实施DO自动控制后,可以通过上位机电脑设定DO值,实现DO的微调。运行中可逐渐筛选出最优的控制数据,并方便随季节水温的变化而做出相应调整。

③ 氧化沟微生物的性状,除受进水条件影响外,DO是极其重要的外部因素。实现DO的自动控制后,连续稳定的DO条件,有利于微生物健康生长,并长期保持,确保生物处理工艺连续稳定。

6.3 电耗对比

氧化沟改造前(2018年1月—2019年4月)电耗平均为0.405元/m³,改造后(2020年1月—2021年4月)电耗平均为0.371元/m³,单位处理电费成本下降8.4%,节约电费约32万元/a。

7 结语

该污水处理厂实施的DO自动控制的技术改造,充分利用了现有设施条件,投资少,运行稳定可靠,水质改善效果显著;减轻了人工劳动强度,在降耗和提质增效方面也取得了良好的成绩,达到了较为理想的预期效果。该改造项目是多曝气机设备协同控制在氧化沟表面曝气领域的典型应用,今后该项技术可考虑完善出水氨氮指标的反馈控制,使系统进一步智能化。

参考文献:

[1] 魏彬,杨慧敏,张晓正,等. 污水处理厂曝气总量精确

控制方法的研究与应用[J]. 中国给水排水, 2016, 32(6): 94-98.

WEI Bin, YANG Huimin, ZHANG Xiaozheng, et al. Research and application of precise control method of total aeration rate in sewage treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(6): 94-98 (in Chinese).

[2] 安坤,柳春平,毛建东. 氧化沟系统中溶解氧智能控制系统的研究[J]. 中北大学学报(自然科学版), 2006, 27(6): 504-507.

AN Kun, LIU Chunping, MAO Jiandong. Research on DO intelligent control system in oxidation ditch system [J]. Journal of North University of China (Natural Science Edition), 2006, 27(6): 504-507 (in Chinese).

[3] 杨小艳,杨志,查智. 污水处理中基于仿人智能的DO参数控制策略[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2006, 29(1): 101-104.

YANG Xiaoyan, YANG Zhi, ZHA Zhi. Control strategy of DO parameter based on human simulated intelligence in the wastewater treatment process [J]. Journal of Chongqing University (Natural Science Edition), 2006, 29(1): 101-104 (in Chinese).

[4] 王志勇. 预估智能控制系统在污水处理中的应用研究[J]. 工业控制计算机, 2014, 27(1): 44-45, 48.

WANG Zhiyong. Intelligent control system with predictive model in wastewater treatment [J]. Industrial Control Computer, 2014, 27(1): 44-45, 48 (in Chinese).

作者简介:李建华(1970—),男,福建莆田人,大学本科,高级工程师,主要从事污水处理项目建设、运营、科技研发、市场分析工作。

E-mail: 418349528@qq.com

收稿日期: 2022-10-07

修回日期: 2022-11-05

(编辑:衣春敏)