

关于污水厂碳源药剂精准投加系统的实际应用

张志平, 王国瑞, 周继柱, 马 凯, 李雁鸿

神美科技有限公司, 河北 河间
Email: zhangzhiping@shenmeikeji.com

收稿日期: 2021年5月7日; 录用日期: 2021年6月8日; 发布日期: 2021年6月16日

摘 要

本文通过碳源药剂精准投加系统单点位控制与污水厂传统人工控制加药量对比、碳源药剂精准投加系统单点位控制与双点位控制对比, 在安徽某污水厂进行生产性对比实验, 来研究碳源药剂精准投加系统在实际应用过程中的优势。结果表明: 碳源药剂精准加药系统单点位相较人工控制加药量的方式, 去除单位总氮可降低0.51 kg碳源, 脱氮成本降低了0.59元/kg, 吨水成本降低了8.33%; 碳源药剂精准加药系统双点位控制相较单点位控制方式, 去除单位总氮可降低1.33kg碳源, 脱氮成本降低了1.54元/kg, 吨水成本降低了14.29%。碳源药剂精准投加系统可在保证污水厂出水稳定达标的前提下, 实现水厂的降本增效, 具有较高的市场推广价值。

关键词

生物脱氮, 外加碳源, 精准加药, 降本增效, C/N

About the Actual Application of the Precision Casting System of Carbon Source Pharmaceuticals in Sewage Plants

Zhiping Zhang, Guorui Wang, Jizhu Zhou, Kai Ma, Yanhong Li

Smedic Technology Co. Ltd., Hejian Hebei
Email: zhangzhiping@shenmeikeji.com

Received: May 7th, 2021; accepted: Jun. 8th, 2021; published: Jun. 16th, 2021

Abstract

This paper studies the advantages of carbon source pharmaceutical precision dosing system in the

actual application process by comparing the single-point control with the traditional manual control dosing volume of the sewage plant, the single-point control and two-point control of the carbon source pharmaceutical precision casting system, and carrying out the productive comparison experiment in a sewage plant in Anhui. The results showed that the single-point phase of carbon source pharmaceutical system could reduce the total nitrogen per unit by 0.51 kg, the cost of nitrogen removal by 0.59 yuan/kg, and the cost of tons of water by 8.33%. The two-point control method of carbon source pharmaceutical precision dosing system can reduce the total nitrogen per unit by 1.33 kg, the cost of de nitrifying by 1.54 yuan/kg and the cost of tons of water by 14.29%. Carbon-source pharmaceutical precision casting system can ensure to achieve cost reduction and efficiency increasing of the sewage plant on the premise of the outlet is stable and up to the standard.

Keywords

Biological Removal of Nitrogen, Additional Carbon Source, Precise Dosing, Cost Reduction and Efficiency Increase, C/N

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

污水处理的需求是伴随着城市的诞生而产生的,随着城市人口的集中和工农业的发展,水体的富营养化问题日益突出[1]。引起富营养化的营养元素有碳、磷、氮等,其中,氮和磷是引起藻类大量繁殖的主要因素。为遏制水环境不断恶化的趋势,一大批污水处理设施在我国城市及城镇相继投资建成并投入运行,大大改善了不断污染的河流、湖泊及地下水资源。但是由于去除机理和水质特点和工艺缺陷等问题,污水处理设施的污水净化工艺对化学需氧量(COD)、生化需氧量(BOD₅)、氨氮、总磷(TP)、悬浮物(SS)的去除效果良好,而对总氮(TN)的去除效果不理想[2]。而且在总氮排放标准上国家和地方近几年又不断提出了新的严格要求,所以脱氮压力和成本日益增长。

国内由于绝大部分污水处理厂受季节、降雨、时间、居民用水习惯、工业水掺杂等因素影响,进水C/N比值(BOD₅/总氮)普遍偏低,总氮去除的反硝化过程中常需要添加碳源,外投加碳源是C/N较低的污水生化处理厂运行中必不可少的药剂投加过程。但是因为存在进水水量、进水总氮浓度和进水总氮浓度等指标的波动情况,污水处理厂为了保证出水的稳定达标合格,针对反硝化脱氮的碳源药剂不得不人工控制调整加药量,但人工控制调整加药量的过程中,因为水质波动、工艺流程复杂、结果反馈滞后和每个人的经验水平不同等因素,造成了碳源药剂投加成本的浪费和出水指标的不稳定性[2]。

2. 污水厂碳源药剂投加过程中存在问题

恒定过量投加:进出水波动范围大,药剂投加量以最高值恒定,出水均值较低,药剂过量的投加方式。

延时过量投加:以出水指标变化来调整加药量时,因系统工艺流程较长,导致出水指标波动较大控制结果滞后的投加方式。

波动过量投加:当人工控制加药量随着水质波动进行调整时,因工艺流程与数据检测的滞后性,为保证出水数据稳定合格而过量的投加方式[3]。

3. 碳源药剂精准投加系统

3.1. 系统介绍

碳源药剂精准投加系统是适用于污水处理厂水处理药剂使用运行过程中，一整套的提高药剂投加效果、自动精准加药、降低吨水药剂成本、指标实时管控的水处理药剂综合解决方案技术。该系统的能够极大的减少因进水水量及总氮浓度无规律波动造成的碳源药剂过量投加情况，同时可以大大增强系统抗波动的冲击性和出水稳定性。实现碳源药剂的精准自动投加，提高了药剂投加效率，实现了药剂成本的控制及降低。系统由药量投加分析算法、水质指标在线监测模块、自动智能控制系统 PLC、药剂精准投加模块、数据传输及存储、可视化智能化管理模块组成[4] [5]。系统组成及流程图见图 1。

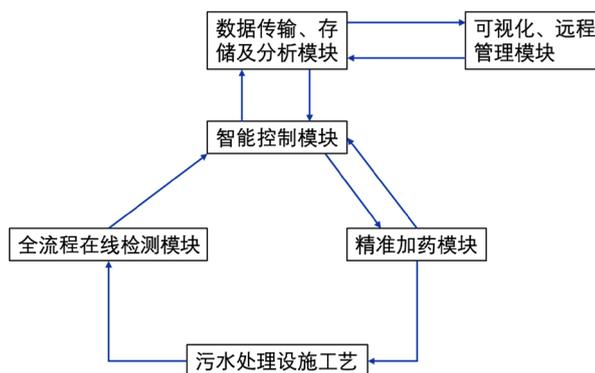


Figure 1. The composition and flow chart of the precision casting system of carbon-sourced pharmaceuticals

图 1. 碳源药剂精准投加系统组成及流程图

3.2. 系统机理

加药分析算法：根据现场工艺、药剂效率影响因素、工艺沿程水质指标等数据分析，制定加药点设置及运行参数条件优化；同时，根据药剂筛选结果定制药剂组分[6] [7] [8]；

在线监测模块：工艺沿程关键数据测试点的计算及确定、在线数据监测上传；

智能控制模块 PLC：根据在线监测数据，以及历史曲线和在线实时指标数据曲线拟合计算系统；对水质的变化实现预判、精准调控加药；

精准加药模块：通过 PLC 控制、变频加药控制等设备，实现数据联动式、自动、精准投加及控制；

智能化管理模块：工艺沿程在线监测数据、加药等数据的实时显示并上传存储；实现对工艺流程处理药剂应用的远程化、智能化管理[9] [10]。

3.3. 系统算法

加药算法计算公式： $D = (a/A) \times \alpha \times d + (b/B) \times \beta \times d + (c/C) \times \gamma \times d + (e/E) \times \theta \times d$

——碳源药剂投加需求量 D ，碳源药剂投加量基值 d ；

——水量基值 A 、前置反馈生化池硝氮基值 B 、后置反馈滤池进水硝氮基值 C 、后置反馈滤池出水总氮 E ；

——动态水量监测值 a 、前置反馈硝氮浓度监测值 b 、后置反馈滤池进水硝氮监测值 c 、后置反馈滤池出水总氮监测值 e ；

—— α 为水量与碳源投加量的波动关联影响系数、 β 为前置反馈硝氮浓度与碳源投加量的波动关联影

响系数、 γ 为后置反馈滤池进水硝氮监测浓度与碳源投加量的波动关联影响系数、 θ 为后置反馈滤池出水总氮监测浓度与碳源投加量的波动关联影响系数[11]。

其中： $\alpha + \beta + \gamma + \theta = 1$ 。

4. 碳源药剂精准投加系统试验案例

4.1. 工艺介绍

安徽某水厂一期主体工艺采用微曝氧化沟处理工艺(南北 2 组)及深床滤池深度处理工艺,污水经外部收集管网送至厂区后,经过粗格栅截留污水中的悬浮污染物以保护后续处理系统正常运行。污水经提升泵房提升后依次进入细格栅、沉砂池,去除污水中的无机性砂粒。再依次进入厌氧池、缺氧池、好氧池进行生物处理[12] [13] [14] [15]。最后由二沉池进行泥水分离,上清液进入深床滤池及消毒池然后排放[16] [17]。具体工艺流程见图 2(出水污染物浓度以均值来判定合格标准)。

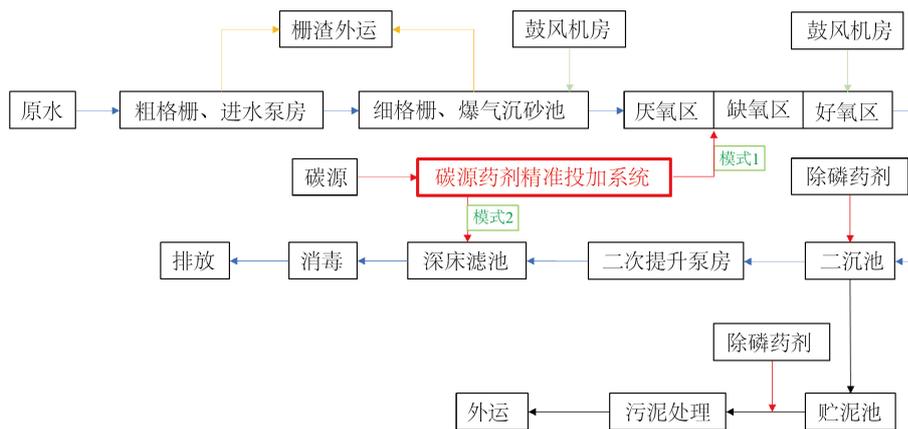


Figure 2. Water plant process flow chart
图 2. 水厂一期工艺流程图

4.2. 水质要求

水厂进出水设计值及实际值见表 1。

Table 1. Water plant access water quality requirements
表 1. 水厂进出水水质要求

水质指标	CODCr	BOD5	SS	NH3-N	TP	TN	pH
设计进水水质	≤350	≤160	≤120	≤47	≤5	≤70	6~9
实际进水水质	146~246	58~98	233~286	17~36	1.23~8.62	20~40	6~9
要求出水水质	≤20	≤6	≤10	≤3(5)	≤0.3	≤5	6~9
实际出水水质	12~15	2.3~3.5	3~8	0.28~0.76	0.03~0.19	3.4~4.8	6.88~7.18

4.3. 碳源药剂精准投加系统阶段一试验方案

4.3.1. 阶段一试验方法

开启碳源药剂精准投加系统模式 1, 和人工控制在南北生化池采取平行试验的方式进行对比(只开起

生化池加药)。

2020年11月22日~2020年12月11日:南池(人工控制)、北池(精准加药)。

2020年12月12日~2020年12月31日:南池(精准加药)、北池(人工控制)。

4.3.2. 阶段一试验条件

南北池进水量 43,000 m³/d、外回流 80%、内回流 200%、好氧末端溶解氧不高于 2 mg/L、污泥浓度控制在 5000 mg/L。

4.3.3. 阶段一试验评价指标

进出水化学需氧量(COD)、进出水总氮(TN)、碳源投加量、脱氮成本、吨水运行成本。

4.3.4. 阶段一试验数据图

由图 3 可以看出,碳源药剂精准投加系统与人工控制加药量的试验对比期间进水 BOD₅/TN 分别为 2.19~3.78 (平均 2.97 < 4),波动较大且出水总氮要求≤5 mg/L,需补充碳源以保证出水 TN 达标。

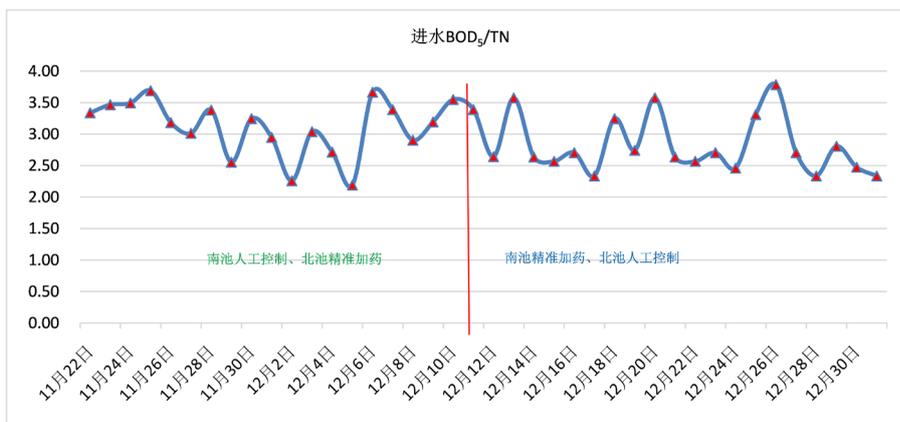


Figure 3. Inlet BOD₅/TN comparison chart

图 3. 进水 BOD₅/TN 对比图

由图 4、图 5 对比可以看出,碳源药剂精准投加系统相较人工控制加药量的模式下,碳源投加量日均值降低了 0.5 t/d、出水 TN 均值降低了 0.18 mg/L。

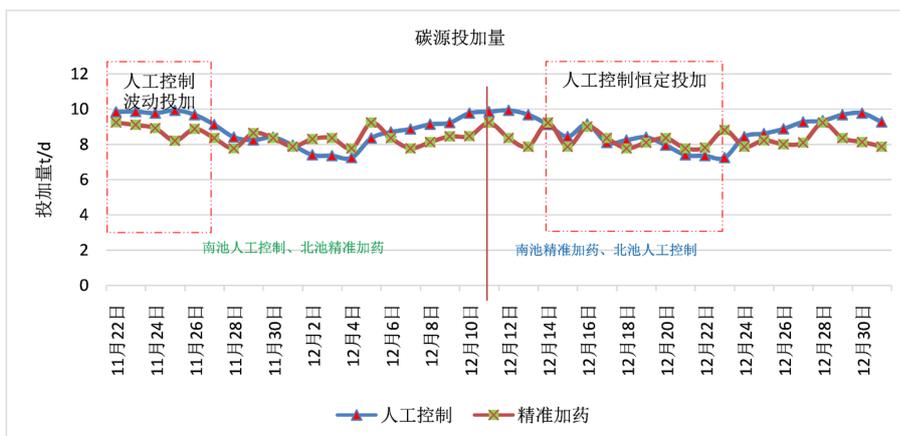


Figure 4. Comparison of carbon source additions

图 4. 碳源投加量对比图



Figure 5. Water TN comparison
图 5. 出水 TN 对比图

基于以上调试得出模式 1 单沟运行设置参数如表 2 所示。

Table 2. Precision dosing system mode 1 single trench operating parameters
表 2. 精准加药系统模式 1 单沟运行参数

控制参数	碳源投加量 L/h	进水水量 m ³ /h	进水 TN mg/L	进水 COD mg/L	生化池硝氮 mg/L	出水 TN mg/L
基值	350	1650	28	175	3.5	4
系数	/	0.2	0.1	0.1	0.3	0.3

由图 6、图 7 可以看出碳源药剂精准投加系统与人工控制加药量的试验对比期间：精准加药相较人工控制消耗 BOD₅/TN 均值降低了 0.08、吨水成本降低了 8.33%。

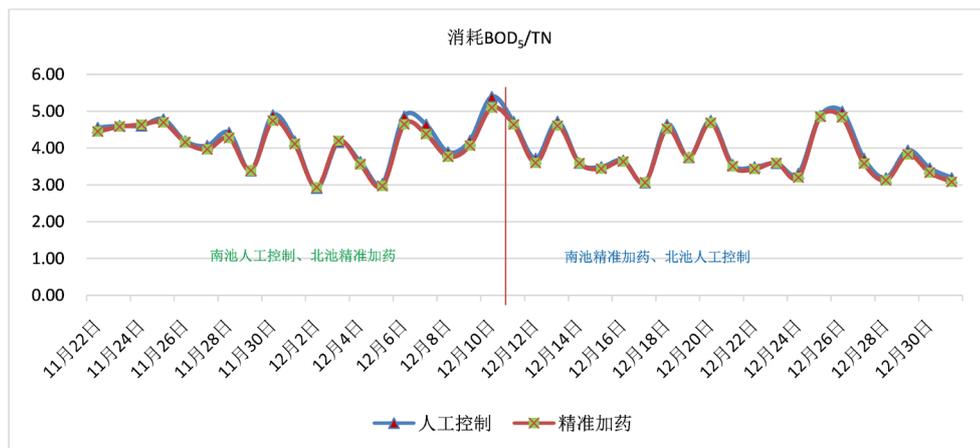


Figure 6. Consumption BOD₅/TN comparison chart
图 6. 消耗 BOD₅/TN 对比图

4.3.5. 碳源药剂精准投加系统阶段一试验数汇总表

阶段一试验期间数据汇总见表 3。

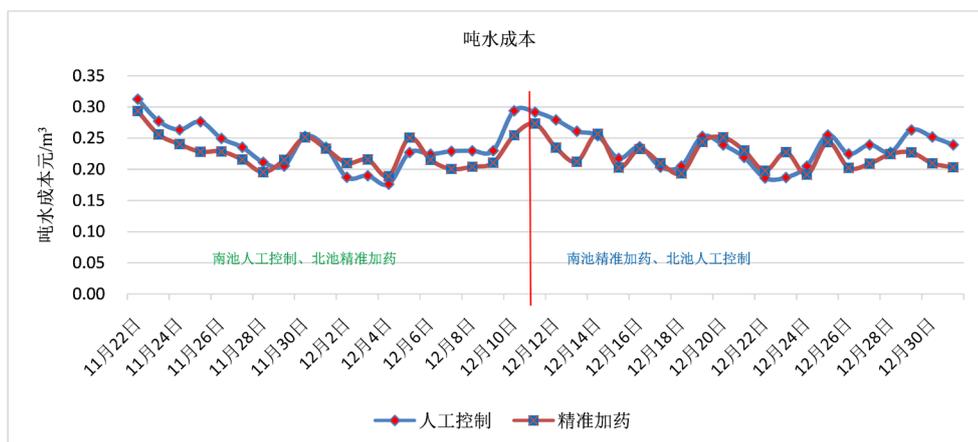


Figure 7. Cost comparison of tons of water
图 7. 吨水成本对比图

Table 3. A summary table of phase one test data
表 3. 阶段一试验数据汇总表

试验日期	2020.12.04~2020.12.31		
生物池	人工控制	精准投加	
碳源种类		复合碳源	
碳源 COD 值(mg/L)		20 万	
水量(m³/d)	43,117	43117	
进水(mg/L)	COD	175.6	
	TN	29.82	
出水(mg/L)	COD	12.5	13.13
	TN	4.29	4.10
加药量(t/d)	8.87	8.37	
供货单价(元/吨)		1150	
日脱氮量(Kg/d)	1102.75	1111.61	
消耗 BOD ₅ /TN	4.05	3.97	
脱氮量成本(元/kg)	9.25	8.66	
脱氮量降本(%)		6.38	
吨水处理成本(元/m³)	0.24	0.22	
吨水处理降本(%)	8.33		

备注：日脱氮量 = (进水 TN - 出水 TN) * 水量；消耗 BOD₅/TN = [(进水 COD * 0.5 - 出水 COD * 0.5) * 水量 + 碳源投加量 * 自身 COD 值 * 0.5] / 日脱氮量；脱氮量成本 = 加药量 * 单价 / 日脱氮量；脱氮量降本 = (脱氮量成本人工控制 - 脱氮量成本精准加药) / 脱氮量成本人工控制 * 100%；吨水处理成本 = 供货单价 * 加药量 / 水量；吨水处理降本 = (吨水处理成本(人工控制) - 吨水处理成本(精准加药)) / 吨水处理成本(人工控制) * 100%。

4.4. 碳源药剂精准投加系统阶段二试验方案

4.4.1. 阶段二试验方法

开启碳源药剂精准投加系统模式 1 (南北池均开启精准加药), 进行 7 天单点位控制投加碳源的生产性试验。

在开启模式 1 的基础上开启模式 2，进行 7 天双点位控制投加碳源的生产性试验，结合单点位控制进行综合对比。

4.4.2. 阶段二试验条件

进水量 86,000 m³/d、外回流 80%、内回流 200%、好氧末端溶解氧不高于 2 mg/L、污泥浓度 5000 mg/L。

4.4.3. 阶段二试验评价指标

进出水化学需氧量(COD)、进出水总氮(TN)、碳源投加量、脱氮成本、吨水运行成本。

4.4.4. 碳源药剂精准投加系统阶段二试验数据图

由图 8 可以看出 7 日单点位碳源药剂精准投加系统进水 BOD₅/TN 分别为 2.26~3.1 (平均 2.65)；7 日双点位碳源药剂精准投加系统进水 BOD₅/TN 分别为 2.11~2.89 (平均 2.44)；进水 C/N 基本相同无较大波动。

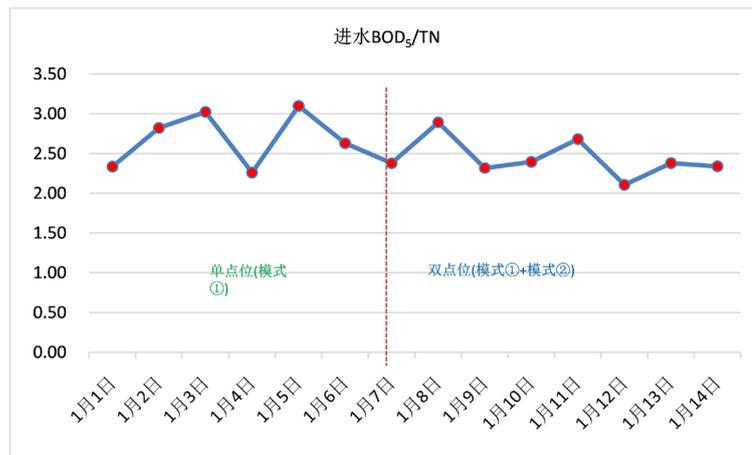


Figure 8. Inlet BOD₅/TN comparison chart

图 8. 进水 BOD₅/TN 对比图

由图 9、图 10 可以看出，碳源药剂精准投加系统双点位相较单点位模式下，碳源投加量日均值降低了 1.35 t/d、出水 TN 均值降低了 0.17 mg/L。

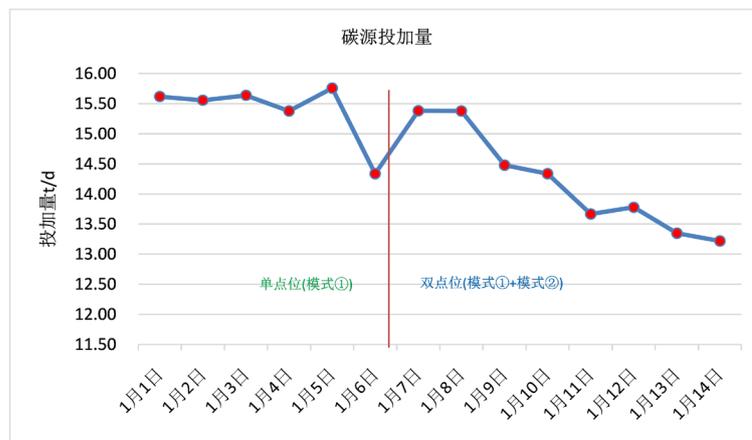


Figure 9. Comparison of carbon source additions

图 9. 碳源投加量对比图

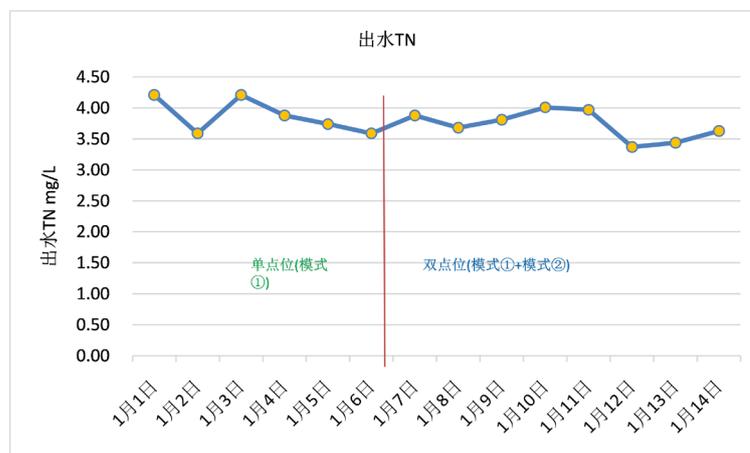


Figure 10. Water TN comparison
图 10. 出水 TN 对比图

基于以上调试得出以下精准加药运行设置参数如表 4、表 5 所示。

Table 4. Precision dosing system mode 1 double trench operating parameters

表 4. 精准加药系统模式 1 双沟运行参数

控制参数	碳源投加量 L/h	进水水量 m ³ /h	进水 TN mg/L	进水 COD mg/L	生化池硝氮 mg/L	出水 TN mg/L
基值	700	3750	28	175	3.5	4
系数	/	0.2	0.1	0.1	0.3	0.3

Table 5. Precision dosing system mode 1 plus mode 2 operating parameters

表 5. 精准加药系统模式 1 + 模式 2 运行参数

控制参数	碳源投加量 L/h	进水水量 m ³ /h	进水 TN mg/L	进水 COD mg/L	缺氧池硝氮 mg/L	好氧池出水硝氮 mg/L	出水 TN mg/L	总药量分配模式 1 占比%
基值	330	3750	28	175	3.5	6	/	60
系数	/	0.2	0.1	0.1	0.3	0.3	/	

控制参数	滤池碳源投加量 L/h	滤池进水水量 m ³ /h	滤池进水硝氮 mg/L	滤池出水硝氮 mg/L	出水 TN mg/L	总药量分配模式 2 占比%
基值	300	3750	6	3.8	4	
系数	/	0.2	0.2	0.3	0.3	

由图 11、图 12 可以看出，碳源药剂精准投加系统双点位与单点位试验对比期间：双点位相较单点位消耗 BOD₅/TN 均值降低了 0.41、吨水成本降低了 14.29%。

4.4.5. 碳源药剂精准投加系统阶段三试验数汇总表

阶段二试验期间数据汇总见表 6。

5. 碳源药剂精准加药系统改造建设成本及对比分析

5.1. 碳源药剂精准投加系统改造建设成本

碳源药剂精准投加系统在现场原有加药系统基础上改造，成本见表 7。



Figure 11. Consumption BOD₅/TN comparison chart
图 11. 消耗 BOD₅/TN 对比图

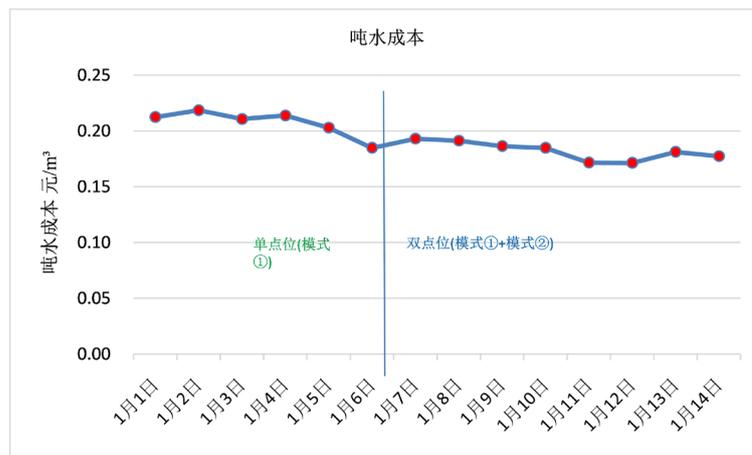


Figure 12. Cost comparison of tons of water
图 12. 吨水成本对比图

Table 6. Stage 2 test data summary table
表 6. 阶段二试验数据汇总表

试验日期	2020.12.04~2020.12.31	
生物池	单点位	双点位
碳源种类	复合碳源	
碳源 COD 值(mg/L)	20 万	
水量(m ³ /d)	86,372.43	89,333.86
进水(mg/L)	COD	153.14
	TN	29.2
出水(mg/L)	COD	12.29
	TN	3.87
加药量(t/d)	15.38	14.03

Continued

供货单价(元/吨)		1150	
日脱氮量(Kg/d)	2183.47		2457.71
消耗 BOD ₅ /TN	3.53		3.12
脱氮量成本(元/kg)	8.1		6.56
脱氮量降本(%)		19.01	
吨水处理成本(元/m ³)	0.21		0.18
吨水处理降本(%)		14.29	

备注: 日脱氮量 = (进水 TN - 出水 TN)*水量; 消耗 BOD₅/TN = [(进水 COD*0.5 - 出水 COD*0.5)*水量 + 碳源投加量*自身 COD 值*0.5]/日脱氮量; 脱氮量成本 = 加药量*单价/日脱氮量; 脱氮量降本 = (脱氮量成本单点位 - 脱氮量成本双点位)/脱氮量成本单点位*100%; 吨水处理成本 = 供货单价*加药量/水量; 吨水处理降本 = (吨水处理成本单点位 - 吨水处理成本双点位)/吨水处理成本单点位*100%。

Table 7. Carbon source pharmaceutical precision dosing system transformation construction cost table

表 7. 碳源药剂精准加药系统改造建设成本表

序号	工作内容项目	单位	数量	单价/万元	小计/万元	厂家	型号
1	硝氮在线监测仪器	台	4	13.5	54	哈希	NITRATAX sc
5	PLC 智能控制系统	套	1	6.5	6.5	神美	自制, 西门子组件
6	变频及控制柜	套	2	0.55	1.1	神美	自制
7	上位控制机	套	1	0.55	0.55	神美	自制
10	通信传输模块	个	1	0.3765	0.3765		
12	安装调试	—	1	2.5	2.5	—	—
合计(万元)				¥: 65.0265 (大写: 陆拾伍万伍零贰佰陆拾伍元整)			

5.2. 碳源药剂精准投加系统改造建设成本对比分析

在碳源药剂精准加药系统单点位控制方式下比人工控制方式脱氮成本降低了 0.59 元/kg, 以调试污水厂日平均进水量为 85,000 m³/d、日平均进水 TN 为 30 mg/L、日平均出水 TN 为 4 mg/L 为例, 则一年可节约药剂成本 475,923.5 元。

6. 结论

通过碳源药剂精准加药系统单点位控制与人工控制加药量及碳源药剂精准加药系统单点位与双点位的对比可以看出:

- 1) 碳源药剂精准加药系统单点位相较人工控制加药量的方式, 去除单位总氮可降低 0.51 kg 碳源, 脱氮成本降低了 0.59 元/kg, 吨水成本降低了 8.33%。
- 2) 碳源药剂精准加药系统双点位控制相较单点位控制方式, 去除单位总氮可降低 1.33 kg 碳源, 脱氮成本降低了 1.54 元/kg, 吨水成本降低了 14.29%。
- 3) 碳源药剂精准加药系统可以减少因进水量及总氮指标浓度波动造成的碳源药剂过量投加情况, 同时增强系统抗冲击波动性和出水稳定性[18]。
- 4) 碳源药剂精准加药系统可以在保证出水水质稳定达标的前提下, 实现污水厂的降本增效, 具有较高的市场推广价值[19]。

参考文献

- [1] 李平, 吴刚. 城市水污染现状及其治理对策研究[J]. 环境与发展, 2020, 32(10): 57-58.
- [2] 许寅. 污水处理厂精细化管理下的优化运行控制策略探析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2020(20): 96-97.
- [3] 李易寰, 奚蕾蕾, 钟奕杰, 胡燊, 张慧旻, 吴振宇. 倒置 A~2/O 工艺运行效果及优化控制方案[J]. 环境工程, 2020, 38(3): 76-81+26.
- [4] 孙立柱, 王成琦, 沈永, 张越, 胡林芳, 许振平. 城市污水厂化学除磷自动控制运用[J]. 广东化工, 2020, 47(3): 143-144.
- [5] 罗长伟. 西北某污水处理厂提质增效工艺研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2019.
- [6] 郑怀礼, 李俊, 孙强, 赵瑞, 李关侠, 黄文璇, 丁魏, 肖伟龙. 城镇污水处理自动控制策略研究进展[J]. 土木与环境工程学报(中英文), 2020, 42(1): 126-134.
- [7] 贾玉柱, 赵月来, 刘成钰, 付建永. P-RTC 化学除磷智能实时控制系统在污水厂的应用[J]. 中国给水排水, 2019, 35(8): 87-90.
- [8] 袁永聪. 水厂加药自动控制系统设计分析[J]. 通讯世界, 2018(3): 344-345.
- [9] 安泳, 柯崇宜, 陈飞. 青岛娄山河污水处理厂自动加药系统研究[J]. 工业水处理, 2018, 38(2): 102-105.
- [10] 孙奎. 污水处理自动加药系统设计与应用[J]. 科技创新与应用, 2017(4): 27-28.
- [11] 周望, 韩相奎, 刘海燕, 高尚. 中小型污水处理厂自动控制系统及其节能降耗效能[J]. 工业水处理, 2015, 35(2): 106-108.
- [12] 王滢, 程洁红. 城镇污水处理厂脱氮除磷技术现状分析[J]. 江苏理工学院学报, 2017, 23(4): 72-77.
- [13] 董利鹏, 王晓玲, 谢添, 张芳, 高尚, 韩相奎. 寒冷地区改良 A~2/O 工艺污水处理厂的自动控制[J]. 中国给水排水, 2014, 30(12): 119-123.
- [14] 马伟芳, 郭浩, 姜杰, 韩冬梅, 聂超, 姚志军. 城市污水厂化学除磷精确控制技术与工程示范[J]. 中国给水排水, 2014, 30(5): 92-95.
- [15] 司文曦, 李辰, 马庆. 污水处理厂强化生物脱氮措施探析[J]. 中国给水排水, 2015, 31(16): 21-25.
- [16] 张驰. A/A/O 氧化沟工艺深度脱氮协同生物除磷研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2012.
- [17] 方月英, 徐锡梅, 恽云波, 关永年, 徐超, 叶星, 俞蕴芳, 陈子华, 吕弈成, 陈琳琳, Paul Wermter, 刘洪波. 反硝化生物滤池在污水深度处理中的应用[J]. 中国给水排水, 2019, 35(11): 97-102.
- [18] 陈征晶. 城市污水处理厂自控系统的优化设计[J]. 福建轻纺, 2009(8): 35-38.
- [19] 周继柱, 刘芳, 丁强, 宋胜男, 江瀚, 王光辉, 汪文, 朱国普, 张行, 石伟杰. 碳源药剂投加设备与投加方法[P]. 中国专利, CN111470628A. 2020-07-31.