

# 城镇污水处理厂升级改造对水质的改善作用探讨

许世伟 张荣兵 顾 剑 石 磊 彭登富

(北京市排水集团有限责任公司京北分公司, 北京 100192)

**摘要** 调研分析了北京市目前运行的几座污水处理厂的出水水质, 并与升级改造后出水应达到的水质进行比较, 找到其中差距及存在的问题, 为升级改造工程提供相应的数据支持。在此基础上分析了三种升级改造工艺对水质的改善作用, 并对污水处理厂的升级改造提出建议。

**关键词** 污水处理厂 升级改造 水质标准 膜生物反应器(MBR) 曝气生物滤池(BAF) 填料滤池

## 0 前言

近年来, 随着我国城镇化进程的不断加快, 许多城镇污水处理厂发展迅速, 排放标准不断严格, 《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 中一级 A 标准规定氨氮、总氮和总磷指标分别为 5(8)、15、0.5(1) mg/L<sup>[1]</sup> (括号内为水温  $\leq 12$  °C 时的限值), 这给已运行的污水处理厂带来很大压力。

在金融危机后, 政府提出 4 万亿拉动内需的投资计划, 其中一部分是城市基础设施的建设, 同时又要求节能减排达到一定标准, 对于城市来说减少 COD 排放总量是一项硬指标。这使不少省市不断提高污水排放标准, 对于传统的活性污泥法(包括 A/O、氧化沟、SBR、A<sup>2</sup>/O 及其改进工艺) 来说, 多指标同时达到一级 A 的要求有较大困难, 因为脱氮和除磷本身是一对矛盾, 当采用较高负荷运行时, 除磷效果好, 但是总氮和氨氮的去除效果不佳; 当采用较低负荷运行时, 总氮和氨氮的去除率提高, 但是除磷效果会受到影响。如何解决这一问题, 成为众多设计者潜心研究的关键。北京市对排放水质的要求更为严格, 拟定近三年全面升级城中心污水处理厂, 部分水质要求达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) IV 类水体要求。

本文通过对目前北京市运营的几座污水处理厂出水水质情况的介绍和对升级改造后要达到的水质标准进行比对, 找出其中的差距, 并对升级改造提出建议。

## 1 北京市污水处理厂升级改造计划及运营现状

经过几十年的努力, 北京的排水基础设施有了很大发展, 北京市水务局规划中心城区污水处理厂升级改造工程完成后, 每年将有近 10 亿 m<sup>3</sup> 的优质再生水用于城市河湖补水、园林绿化、工业循环用水、市政杂用及农业灌溉等。北京城市排水集团按照北京市委、市政府的要求, 积极践行污水“全收集、全处理、全回用”使命, 高质量、高标准、高速度地完成城八区污水处理厂升级改造的建设任务; 在建设期内不影响原有设施运行, 不影响污染物减排任务。工程出水水质应达到《城市污水再生利用 景观环境用水水质》(GB/T 18921—2002) 部分水质满足《地表水环境质量标准》的 IV 类地表水水质要求, 其中总氮要求参照“集中式生活饮用水地表水源地”的有关标准制定, 为建设绿色北京发挥积极作用。

表 1 是北京市运营的几座污水处理厂设计水质与目前实际进出水水质情况(主要是三项常规和氮磷指标)。从表 1 可以看出, 目前北京市污水处理厂出水水质全部达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 中一级 B 标准。

## 2 升级改造后预期达到的水质

按照北京市市政府启动全市所有污水处理厂的升级改造计划, 中心城区 9 座污水处理厂全部进行升级改造, 加快推进郊区污水处理厂和污水收集管网建设, 新城升级改造和新建 21 座再生水厂, 出厂水质将全部提高至地表水 IV 类标准即: DO  $\geq 3$  mg/L, 高

锰酸盐指数  $\leq 10$  mg/L,  $COD_{Cr} \leq 30$  mg/L,  $BOD_5 \leq 6$  mg/L,  $NH_3-N \leq 1.5$  mg/L,  $TP \leq 0.3$  mg/L (湖、库  $\leq 0.1$  mg/L),  $TN \leq 1.5$  mg/L,  $LAS \leq 0.3$  mg/L, 粪大肠菌群  $\leq 2$  万个/L。提高出厂水质和加快污水处理设施建设, 将加快全市污水资源化进程, 促进宝贵的水资源实现良性循环利用。

况, 主要矛盾落在  $COD_{Cr}$ 、 $BOD_5$ 、 $TN$ 、 $TP$  上。前两项指标在提高生物系统稳定性之后即可达到标准要求,  $TN$  和  $TP$  的去除需要在设计中考考虑加药环节。生物除磷效果好的前提下  $TP$  可以达到  $0.3$  mg/L 以下, 但是全年稳定性不好, 尤其是在汛期时, 降雨带来大量的溶解氧和低水质给原有的系统造成很大的水力冲击, 造成原有的生物除磷平衡破坏, 通过工艺调整又很难在短期内恢复, 所以在设计中需要增加化学除磷的设计。 $TN$  的达标是最难的, 即使设计方已经把标准提高到  $10$  mg/L, 依然很难达到, 从已经运行的 MBR 工艺出水水质看, 年均  $TN$  在  $11$  mg/L 左右, 所以改善的办法包括投加甲醇作为碳源, 或是延长泥龄降低负荷, 提高脱氮效率, 需要调研后方可下结论。

### 3 升级改造工艺对水质的改善作用分析

通过调研分析北京市污水处理厂升级改造拟采用的几种工艺出水水质, 可以了解升级改造对水质的改善作用。

#### 3.1 MBR 工艺

2008 年北京奥运会的召开为北京城市污水处理厂的升级改造提供了良好的机遇, 北小河污水处理厂由于离奥运场馆区最近, 所以最优先进行升级改造, 采用 MBR 工艺。浸没式膜组件放在单独的膜池中, 在渗透(出水)泵产生的真空条件下, 水穿过膜而完成过滤过程, 膜池取代了传统二沉池固液体分离和颗粒滤料滤池过滤的功能。表 2 为采用 MBR 工艺的污水处理厂水质分析。

对比 MBR 设计和实际出水水质情况, 正如前文所述, 各项指标很容易达标, 只是  $TN$  不能满足设计要求, 需要在运行中通过调整运行参数来达标。

#### 3.2 曝气生物滤池工艺

曝气生物滤池(Biological Aerated Filter, BAF)是 20 世纪 80 年代末在欧美发展起来的一种生物膜法污水处理工艺, 其特点是集生物氧化和截留悬浮固体于一体, 节省了后续二沉池, 其容积负荷、水力负荷大, 水力停留时间短, 所需基建投资少, 出水水质好; 运行能耗低, 运行费用省。

表 3 为某曝气生物滤池污水处理厂进出水水质分析<sup>[2]</sup>。

通过对比污水处理厂升级前后水质的变化情

表 1 北京市污水处理厂设计和实际进出水水质

项目	指标	设计进水 /mg/L	实际进水 /mg/L	设计出水 /mg/L	实际出水 /mg/L
污水处理厂一	$BOD_5$	200	206	$\leq 20$	9.19
	$COD_{Cr}$	400	437	$\leq 60$	42.7
	SS	250	264	$\leq 20$	11.7
	$NH_3-N$	25		$\leq 15$	3.65
	TP	8	6.12	$\leq 1/0.3$	0.314
污水处理厂二	$BOD_5$	200	188	$\leq 20$	8.96
	$COD_{Cr}$	350	397	$\leq 60$	40.6
	SS	250	230	$\leq 30$	12.1
	$NH_3-N$	25	45	$\leq 8$	2.1
	TN	40	62	$\leq 10$	12.96
污水处理厂三	$BOD_5$	200	164	$\leq 20$	8.06
	$COD_{Cr}$	300	348	$\leq 60$	35.4
	SS	250	241	$\leq 20$	10.3
	TN	40	55	$\leq 20$	27.9
	$NH_3-N$	30		$\leq 8$	0.671
污水处理厂四	$BOD_5$	204	179	$\leq 20$	10.3
	$COD_{Cr}$	457	379	$\leq 60$	48.7
	SS	240	223	$\leq 20$	13.4
	TN	41	64	$\leq 20$	17.1
	$NH_3-N$	25		$\leq 8$	4.83
污水处理厂五	$BOD_5$	280	191	$\leq 20$	< 2
	$COD_{Cr}$	550	413	$\leq 60$	24.74
	SS	340	261	$\leq 20$	< 5
	TN	65	55	$\leq 20$	11.63
	$NH_3-N$	45		$\leq 8$	0.48
	TP	10	6.19	$\leq 1.0$	0.28
	pH		7.62		7.66

表2 某 MBR 工艺设计与实际进出水水质

项目	BOD <sub>5</sub> /mg/L	COD <sub>Cr</sub> /mg/L	SS /mg/L	TN /mg/L	NH <sub>3</sub> -N /mg/L	TP /mg/L	粪大肠菌群 /个/L	浊度 /NTU	色度 /度
设计进水	280	550	340	65	45	10			
实际进水	191	463	261	55	38	6.19			
设计出水	6	30		10	1.5	0.3	500	5	15
实际出水	< 2	24.74	< 5	11.4	0.48	0.28(采用化学除磷)	未检出	< 2	27 (臭氧后 14)

表3 某曝气生物滤池工艺进出水水质

项目	BOD <sub>5</sub> /mg/L	COD <sub>Cr</sub> /mg/L	SS /mg/L	TN /mg/L	NH <sub>3</sub> -N /mg/L	TP /mg/L
设计进水	250	400	250		42	10
实际进水	170	372	160	43	26	2
设计出水	< 20	< 60	< 20		< 15	< 1
实际出水	< 5	< 30	< 5	12.6	1	0.65

对比曝气生物滤池设计和实际出水水质情况, TN 不能满足设计要求, 需要在后续工艺中设计脱氮装置, 初步采用投加反硝化碳源的方式即可满足要求。

### 3.3 填料滤池工艺

美国科罗拉多州布伦费尔德污水处理厂是安能国际(集团)第一个 HYBAS 工艺的应用实例。HYBAS 工艺将活性污泥工艺和 MBBR(流动床生物膜)工艺有机地结合在同一生物池中。采用该工艺技术改造现有活性污泥处理厂时具有许多明显的好处。例如, 在不新建曝气池(好氧池)情况下, 能够升级改造原污水处理厂到新的出水氮磷要求, 并且同时很好地解决了改造中的水力学问题。结合生物膜工艺后, 澄清池的固体负荷也有所降低, 这样又可以用作调整处理系统的澄清能力的一个额外的工具。表4为该工艺应用情况分析。

表4 某填料滤池工艺进出水水质

项目	BOD <sub>5</sub> /mg/L	COD <sub>Cr</sub> /mg/L	SS /mg/L	TN /mg/L	NH <sub>3</sub> -N /mg/L	TP /mg/L
设计进水	145		97	46	37	7
实际进水	140		100	45	35	6.5
设计出水	13		8	10	2	1
实际出水	< 5	< 30	< 5	< 10	< 0.5	0.6(未投加化学除磷药剂)

对比填料滤池设计和实际出水水质情况, 各项指标能满足设计要求, 但在该工程中实际进进水水质较低, 所以出水水质参考性有限, 需要在实际工程中不断调试和验证。

### 4 对污水处理厂升级改造的水质改善及建议

(1) 与《地表水环境质量标准》的IV类地表水水质要求中常规指标相比, 采用 MBR、BAF 和 HYBAS 三种工艺升级改造污水处理厂的出水 BOD<sub>5</sub>、SS、COD<sub>Cr</sub>、TP、氨氮、粪大肠菌群数等指标能完全达到标准中的要求, TN 由于技术水平的限制及来水远高于设计水质等影响不能达到标准要求, 即使设计单位调整出水 TN 在 10 mg/L 以内, 也还是有一定难度。

(2) 《地表水环境质量标准》的IV类水质要求中其他一些金属离子指标本文没有考虑在内, 重点放在分析常规指标, 所以比较结果具有片面性。

(3) 对升级改造的污水处理厂设计和施工部门要编制实施方案, 如何一步一步来实施, 对能不能成功改造一个污水处理厂是很重要的环节, 要提出工程改造分组分段改造的实施方案, 将对正在运行的污水处理厂的影响降到最低程度。

(4) 污水处理厂经过若干年运行整体环境很差, 化学和气体腐蚀对设备的损害很大, 需要对一些设备设施进行改造。其中增加功能完善的除臭收集和收集系统, 完善在线监测和控制设备, 提高污水处理的运行水平, 采用先进的控制方式, 有效控制一定的溶解氧分配水平, 降低供氧量, 降低能耗, 符合国家节能降耗、建设低碳社会的发展要求<sup>[3]</sup>。

### 参考文献

- 1 GB 3838—2002 地表水环境质量标准
- 2 黄绪达, 王琳. 青岛市麦岛污水处理厂扩建工程设计. 给水排水, 2007, 33(9): 9~ 11
- 3 张辰. 南方污水厂升级改造技术. 见: 2008 水业高级技术论坛. 北京, 2008

& 电话: (010) 62993278

E-mail: shiw\_eixu666@163.com

收稿日期: 2010-03-12

修回日期: 2010-04-26