

MBBR 用于呼市某污水厂提标改造工程的设计与运行

高伟楠¹, 周 川¹, 纪海霞¹, 程树辉¹, 王洪刚¹, 吴 迪²

(1. 北京市市政工程设计研究总院有限公司, 北京 100082; 2. 青岛思普润水处理股份有限公司, 山东 青岛 266555)

摘 要: 呼和浩特市某污水处理厂设计规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 原采用 CAST 工艺, 出水主要指标均劣于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 B 标准, 为使出水水质达到一级 A 标准, 提标改造工程采用了 MBBR + 活性砂滤池工艺。提标改造工程完成至今已运行 2 年多, 在进水水质远超设计值的情况下, 其处理出水水质依然能够达到一级 A 标准, 具有较好的处理效果。改造后, 平均出水 COD、BOD₅、氨氮、TN、TP 分别为 23.5、4.5、1.58、12.3、0.28 mg/L; 系统在实际进水各主要指标的最大冲击负荷超过设计值 200%, 以及呼市冬季平均水温在 8~12℃ 时, 亦具有良好的处理效果, 表明系统具有较好的耐冲击及耐低温性能; 平均总氮去除率超过 80%, 回流比不超过 300%, 好氧区填料上反硝化菌群丰度为 11.44%, 揭示好氧过程中可能存在着同步硝化反硝化现象; 系统内主要的硝化菌群、反硝化菌群数量高于改造前, 且填料上硝化菌群丰度达到 14.6%, 高于活性污泥中的 6.98%, 优势菌属分别为 *Nitrosomonas* 和 *Nitrospira*; 同时检出系统中有 ANAMMOX 菌存在。

关键词: 污水厂; 提标改造; MBBR; 低温; 强冲击; 高通量测序; 厌氧氨氧化

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)10-0053-07

Design and Operation of a WWTP Retrofitting via MBBR in Hohhot City

GAO Wei-nan¹, ZHOU Chuan¹, JI Hai-xia¹, CHENG Shu-hui¹, WANG Hong-gang¹,
WU Di²

(1. Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Beijing 100082, China; 2. Qingdao Spring Water Treatment Co. Ltd., Qingdao 266555, China)

Abstract: A WWTP in Hohhot City had design treatment capacity of $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, with CAST as the biological process. The main indexes of the effluent were inferior to the class B grade I standard of the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002). MBBR and active sand filter technology was adopted to improve the effluent quality level to the class A grade I. WWTP had been retrofitted for more than two years. In the case that the influent water quality was far worse than the design value, the effluent water quality could still achieve the design expectation, e. g. the class A, and the system had a good treatment effect. After the retrofitting, the average effluent COD, BOD₅, ammonia nitrogen, TN, TP were 23.5 mg/L, 4.5 mg/L, 1.58 mg/L, 12.3 mg/L, 0.28 mg/L, respectively, which could meet class A grade I standard. Although the maximum impact load of the main indexes exceeded the design value by 200% and the average water temperature was 8 - 12℃,

the process also had good treatment effect and good resistance to impact and low temperature. The average TN removal of the process was over 80% , and the reflux ratio was less than 300% . The abundance of denitrifying bacteria in the aerobic zone was 11. 44% , which indicated that the simultaneous nitrification and denitrification occurred in the aerobic process. The number of main nitrifying bacteria and denitrifying bacteria in the system was higher than that before retrofitting. The abundance of nitrifying bacteria on the suspended carrier reached 14. 6% , which was higher than 6. 98% in activated sludge. The dominant nitrifying bacteria was *Nitrosomonas* and *Nitrospira* ; there were also ANAMMOX bacteria in the process.

Key words: WWTP; retrofitting; MBBR; low temperature; strong impact; high-throughput sequencing; ANAMMOX

近年来,我国大部分地区均迎来了一波污水厂新建及提标改造的热潮。与新建工程不同,污水处理厂提标改造,往往受制于污水处理厂实际情况,在不新增用地及尽量利用原有工艺的基础上进行,工艺占地以及工艺与其他单元的兼容性成了制约工艺选择的一项重要因素。现阶段,我国大多数污水处理厂核心工艺(生物池)均为 A^2/O 工艺及其变种,而移动床生物膜反应器(MBBR)工艺可在无需额外增加占地、不改变原有工艺路线的情况下,实现深度脱氮^[1],具有较好的应用前景。

呼和浩特市某污水处理厂即采用 MBBR 工艺进行升级改造。

1 项目背景

该污水厂采用 CAST 工艺,于 2004 年设计,2007 年建成投产,设计规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,处理后

的尾水中, $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 排入附近的西河作为景观河道用水, $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 经三级处理后回用为工业或市政杂用水,原出水标准均劣于一级 B 排放标准,需提标至一级 A 标准。现况 CAST 出水氨氮不理想,且现况设计未考虑 TN,本次提标改造的核心任务即对 CAST 脱氮能力进行强化。

2 升级改造技术分析

2.1 设计水质

为确保设计能够满足处理标准的要求,依据厂区提供的数据对进水水质进行了重新核定,为节省投资,选取 95% 涵盖率的进水水质作为设计水质,当进水水质超过该涵盖率时,通过调整运行工况予以解决,提标前后的设计进、出水水质对比见表 1。采用 MBBR + 活性砂滤池工艺对污水处理厂进行提标扩建。

表 1 进、出水水质

Tab. 1 Influent and effluent quality

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

项 目	BOD_5	COD	SS	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	TN	TP
原设计进水水质	150	350	180	—	30	4
原二级出水(景观)	20	100	20	20	—	1
原三级出水(杂用)	10	70	10	10	—	1
改造前出水均值	12.71	48.56	14.49	15.39	—	2.06
现设计进水水质	160	430	270	48	55	5.5
现设计出水水质	10	50	10	5(8)	15	0.5
改造后进水均值	227	521		41.07	66.31	9.07
改造后进水 95% 涵盖率	507.83	1 136.06		59.10	98.64	17.59
改造后进水 80% 涵盖率	370.63	835.49		50.30	82.85	13.43
改造前冬季出水均值	12.90	50.27		15.92	—	2.54
改造后冬季出水均值	5.12	26.30		2.38	13.94	0.33

2.2 原生化池设计参数

CAST 生物池,包括生物选择区、中央进配水渠、主反应池、出水渠、配水井、中水出水井及曝气系

统几部分。总平面尺寸为 $115.7 \text{ m} \times 64.45 \text{ m}$ 。设计污泥浓度为 4 000 (最低水位) ~ 5 900 (最高水位) mg/L 。

① 选择区,污水通过 DN800 进水管进入中央渠道,经堰分流到两个选择区;为防止选择区沉泥,池底设穿孔曝气管。选择池的功能主要是防止污泥膨胀,同时活性污泥含有的过量磷可以在选择器中得到释放,为后续主曝气段的生物吸磷创造条件。2座,单池净尺寸为 $54\text{ m} \times 7.25\text{ m}$,池有效水深为 5.7 m ,有效容积为 $2\,231.55\text{ m}^3$,停留时间为 1.5 h 。

② 中央进水管,污水经选择池后经堰进入中央进水管。为防止沉泥,池底设穿孔曝气管,渠净宽为 2.1 m ,有效水深为 5.7 m 。

③ 主反应池,进水管内的污水经固定堰、 $0.8\text{ m} \times 0.8\text{ m}$ 电动板闸进入主反应池,每座主反应池内设污泥回流泵回流至选择区进水堰后,剩余污泥泵提升剩余污泥至贮泥池,反应池处理后的水经滗水器汇至出水总渠,滗水器滗水范围为 1.8 m ,出水渠上设 $0.8\text{ m} \times 0.8\text{ m}$ 电动板闸两个。污水在主反应区内完成去除有机物、硝化/反硝化、除磷等生物处理过程。主反应区采用盘式微孔曝气系统,为活性污泥微生物提供氧气。另每个主反应池设集水坑一座,滗水器端设事故排出口;主反应池 8 座,单池净尺寸为 $54\text{ m} \times 13\text{ m}$,池内高水位水深为 5.5 m ,低水位水深为 3.75 m ,停留时间为 14.8 h 。

④ 主要参数,泥龄 19 d ;负荷(不含沉淀期)为 $0.058\,5\text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$;实际需氧量为 $13.1\text{ tO}_2/\text{d}$;剩余污泥为 $9.34\text{ tDS}/\text{d}$,含水率为 99.4% , $1\,557.3\text{ m}^3/\text{d}$;回流比为 25% ;周期为进水曝气 2 h 、沉淀 1 h 、滗水 1 h ,周期时间为 4 h ;每日周期数:6 个。

2.3 改造设计

由于厂区用地紧张,综合考虑工程投资等因素,本次改造应在保证出水水质的前提下,利用现况设施,减少新增工程量,降低造价,节约成本,同时尽量为今后再次提标留有余地。采用 MBBR 工艺能够同时满足上述条件,契合本工程的设计思路。

① CAST 时序的调整,由于现况氮素去除能力不足,出水氨氮偏高,需尽量延长曝气时间,提升氨氮的硝酸盐氮转化率,根据现场的实际运行经验,一般沉淀时间在 30 min 即有良好的沉淀效果,因此本次改造对曝气阶段和沉淀阶段时间进行调整,为保险起见,将沉淀时间缩短至 40 min ,曝气时间提高至 80 min ,同时在进水阶段即进行曝气,每日仍运行 6 个周期。以上时序在实际运行中可根据实际情况

进行,如滗水时间为峰时计算值,在进水为均时流量时可缩短;现况每周运行时间为 4 h ,当进水量较少时可将其每个周期时间延长。

② 主反应区的重新划分,由于对进水阶段进行了限制性曝气,原主反应区反硝化功能进一步弱化,为保证反硝化效果,将主反应区重新划分为好氧区和缺氧区,并增设内回流泵,使反硝化作用发生在 CAST 的全周期内。

③ 悬浮载体,MBBR 工艺的核心^[2]是实现悬浮载体的充分流化,以达到强化处理污染物的目的,因此,该工艺实质是涉及生物填料、池体设计、曝气系统、拦截筛网、推进器、填料投加与打捞设备的有机统一;为提高硝化、反硝化效果,本次设计在主反应区好氧区及缺氧区均投加填料,以增强硝化及反硝化功能。投加 SPR-I 型悬浮载体,填充率为 39% ,悬浮载体直径为 $(25 \pm 0.5)\text{ mm}$,高为 $(10 \pm 1)\text{ mm}$,挂膜后密度与水接近,有效比表面积大于 $450\text{ m}^2/\text{m}^3$,符合《水处理用高密度聚乙烯悬浮载体填料》(CJ/T 461—2014)行业标准。

3 改造效果

2016 年 4 月,污水厂完成提标改造。

3.1 改造后实际进水水质及水量

在改造后的 2 年多时间里,如表 1 所示,95% 涵盖率的实际进水水质远劣于设计进水水质,甚至超过了《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015), BOD_5 、COD、TP 的进水平均值亦劣于设计进水水质,可以说,进水水质对污水厂造成了极大的压力。污水厂实际进水量为 $35\,000 \sim 40\,000\text{ m}^3/\text{d}$,为设计水量的 $70\% \sim 80\%$,尚未达到满负荷运行,水量对污水厂带来的压力不大。以 80% 进水涵盖率实际进水水质、 $40\,000\text{ m}^3/\text{d}$ 的进水量计算(考虑 1.3 变化系数),污水厂实际 BOD_5 、COD、TN、TP 进水负荷分别为设计值的 142% 、 119% 、 93% 、 150% ,以 95% 保证率计算,则甚至超过设计负荷近一倍,实际进水远超设计负荷,水质对污水厂运营带来极大的压力。

3.2 改造后处理效果

COD 及 BOD_5 的处理情况分别见图 1、2。改造后,COD 去除效果显著提升,出水 COD 由改造前一年的平均 38.7 mg/L 降至 23.5 mg/L ,且稳定低于 50 mg/L ,出水 BOD_5 值低于 10 mg/L ,平均值由改造前一年的 9.7 mg/L 降低至 4.5 mg/L 。

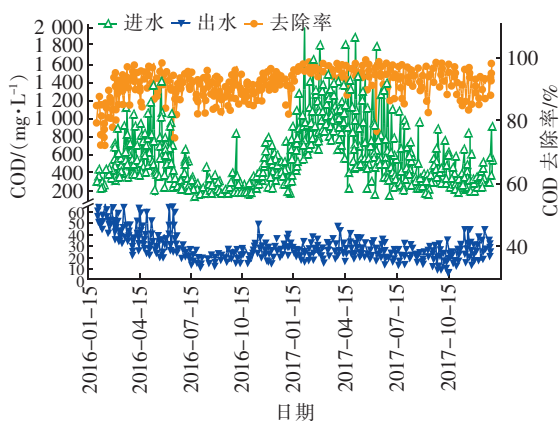
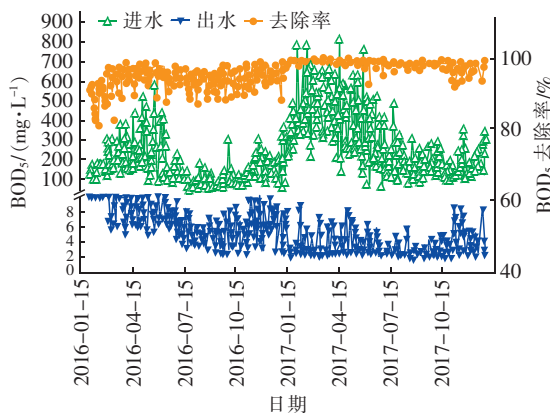


图1 改造后 COD 处理效果

Fig. 1 Treatment effect of COD after retrofitting

图2 改造后 BOD₅ 处理效果Fig. 2 Treatment effect of BOD₅ after retrofitting

根据工艺流程,污水厂仅设置 CAST 池一处氮素去除单元,氨氮及总氮的处理情况分别见图3、图4。改造后,进水氨氮略高于设计进水,且浓度相对稳定,出水氨氮由改造前一年的平均 17.3 mg/L 降至平均 1.58 mg/L 左右,并稳定低于 5 mg/L。并且改造后,进水 TN 在冬季远超设计值,出水总氮也降至 15 mg/L 以下,平均值为 12.3 mg/L。系统的等效内回流比为 200% ~ 300%,理论上 TN 去除率最多为 75%,但实际 TN 去除率多维持在 80% 以上,推测 CAST 的好氧区内有同步硝化反硝化发生。

本工程除磷采用生物除磷辅以化学除磷。生物除磷效果的提高能够有效降低化学除磷药剂投加量,同时提高总磷达标率。改造后,总磷的去除情况如图5所示。经过一段适应期后,总磷的出水指标稳定在 0.5 mg/L 以下,平均为 0.28 mg/L。经现场了解,PAC 加药量变化不显著,这也从侧面证明,改造后生物除磷作用得到了强化。

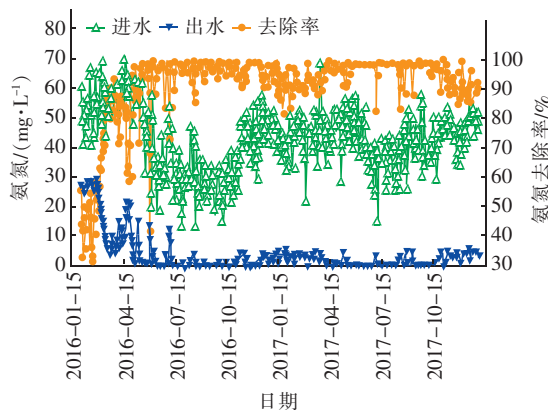


图3 改造后氨氮处理效果

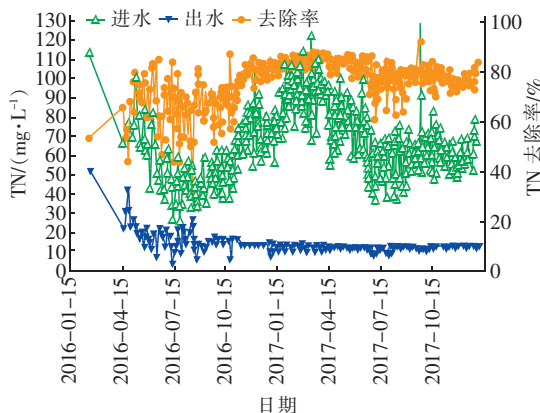
Fig. 3 Treatment effect of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ after retrofitting

图4 改造后总氮处理效果

Fig. 4 Treatment effect of TN after retrofitting

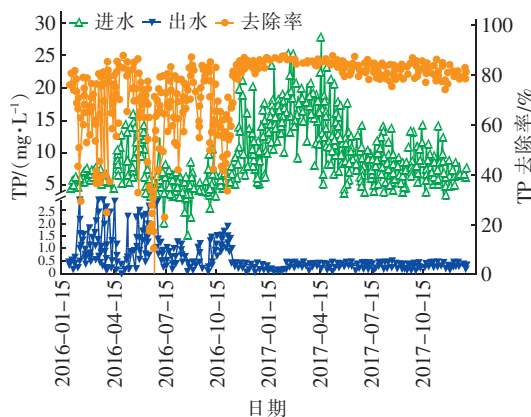


图5 改造后 TP 处理效果

Fig. 5 Treatment effect of TP after retrofitting

由于呼市地处北方,季节温差明显,因此对 CAST 的处理效果影响显著,改造前后冬季同期(11月一次年2月)平均出水指标对比如表1所示,改造后各主要指标值均明显优于改造前,提标改造效果

显著。尤其冬季最低水温维持在 $8 \sim 12\text{ }^{\circ}\text{C}$, MBBR 显示出较强的低温硝化效果。

系统在 2017 年冬季同时遭受了较大的水质冲击,但各项指标仍然稳定达标,原因主要在于:一方面,MBBR 对于抗冲击负荷的强化,生物膜依赖于浓度梯度传质,在进水水质增加的同时,也强化了生物膜传质速率,削减进水负荷;另一方面,进水 TN、TP 和 BOD_5 同步增加,整体上碳源充足,有利于脱氮除磷效果的强化。MBBR 较强的抗冲击能力已在多个工程中有过报道,北方某污水厂采用 MBBR 进行准 IV 类提标改造,改造后其抗冲击负荷有所提高^[3];另外,北方另一污水厂采用 MBBR 工艺,分别对其在低温及水质超负荷、水量超负荷的情况下进行研究,均能够实现出水的稳定达标,表现出了良好的抗冲击负荷性能^[4]。与本污水厂实际运行效果相似。

从设计角度,目前悬浮载体填充率为 39%,最大可填充至 67%,这为工艺的设计留有了较大余地,尤其是实际进水水质或水量与设计值有较大出入时,可以考虑增加悬浮载体填充率,进一步强化处理效果。并且,本项目采用 SPR-I 型悬浮载体,有效比表面积 $\geq 450\text{ m}^2/\text{m}^3$,若采用 SPR-III 型悬浮载体,有效比表面积 $\geq 800\text{ m}^2/\text{m}^3$,可进一步增加处理能力,因悬浮载体系统的硝化能力与生物膜面积相关,生物膜面积又与悬浮载体的有效比表面积及填充量(填充率)相关。

4 微生物分析

MBBR 为泥膜复合工艺,兼具活性污泥法及生物膜法的工艺特点,其生物膜及膜下污泥具有不同的生存环境,其细菌分布亦可能存在着明显差异。对冬季改造前(2015 年 12 月)活性污泥和冬季改造后(2017 年 12 月)的好氧生物膜及活性污泥分别进行了高通量测序。

从门水平分析(见图 6),填料和改造后污泥在门水平种类相近,但含量略有区别。变形菌门在污泥中的丰度更高,达到 70.7%,高于填料中的 47.8%;拟杆菌门在填料和污泥中含量相近,分别为 16.4% 和 13.5%;浮霉菌门、疣微菌门、酸杆菌门、硝化螺旋菌门、厚壁菌门、*Parcubacteria*, 填料上的丰度均显著高于污泥,尤其是浮霉菌门、绿弯菌门和硝化螺旋菌门,填料上分别为 9.5%、3.8% 和 7.0%,污泥上仅为 2.4%、0.7% 和 0.0%,差距极大,推测相关菌门更易形成生物膜。浮霉菌门是厌氧氨氧化菌

的来源,可能系统内有厌氧氨氧化过程^[5];绿弯菌门具有较好的生物除磷作用^[6];硝化螺旋菌门是主要的 NOB,且最新研究表明其具有单一细胞全程硝化功能^[7-9],即 Commamox。泥膜复合工艺并非简单的活性污泥和生物膜效果的叠加,从微生物层面,两者的微生物系统相互影响。两者大多数菌门的种类及丰度相似,显现出进水水质及运行条件的共同影响,同时也在部分菌门存在较大差异,显示出悬浮态和附着态微生物菌群的不同。

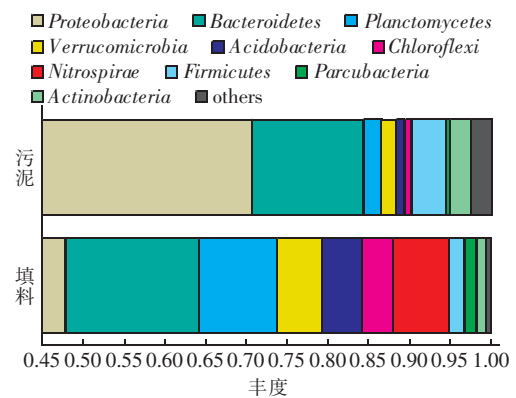


图6 优势菌门

Fig. 6 Dominant bacteria Phylum

从鉴别的菌属数量分析(见图 7),填料上有 519 个,改造后污泥中有 528 个,改造后填料和污泥共 652 个,其中共有菌属 394 个,改造前污泥 476 个,改造后系统的微生物菌落多样性更高,填料的加入带来了更丰富的微生物菌落结构,是系统抗冲击性能提高的微观表现。

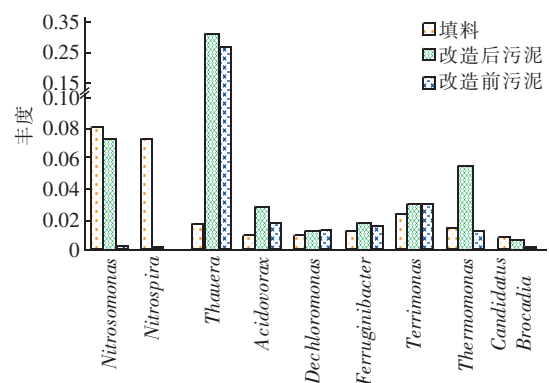


图7 优势菌属

Fig. 7 Dominant bacteria Genus

系统内主要的硝化菌群为 *Nitrosomonas* 和 *Nitrospira*, 填料中占比分别为 7.64% 和 6.96%, 改造后污泥中占比分别为 6.97% 和 0.01%, 改造前污

泥中占比为0.11%和0.00%。系统内增加悬浮载体后,载体上硝化菌群丰度远高于活性污泥,AOB和NOB合计填料上为14.60%,而污泥中仅为6.98%。造成这种现象的原因:一方面,冬季水温低,悬浮态微生物受温度影响大;另一方面,悬浮载体泥龄一般超过30 d,为硝化菌群的富集创造了有利条件。改造后的污泥中的硝化菌群含量远高于改造前,推测是悬浮载体生物膜脱落后对活性污泥具有接种作用,从而增加了活性污泥内硝化菌群的含量。

系统内主要的反硝化菌群为 *Thauera*、*Acidovorax*、*Dechloromonas*、*Ferruginibacter*、*Terrimonas*,填料中占比为11.44%,改造后污泥中占比为31.14%,改造前污泥中占比为18.12%;*Thauera*在填料和改造后的污泥中分别为1.65%、14.95%,可见该类菌属更易以悬浮态污泥生长富集;其余反硝化菌群在填料和污泥中的丰度差距不大。由于填料取自好氧区,但仍有11.44%的反硝化菌群,这为推测发生的同步硝化反硝化奠定了微观基础,也从微观角度揭示了较低回流比下实现较高TN去除率的原因。

此外,系统中 *Thermomonas* 含量较高,填料和改造后污泥中占比分别为1.38%和5.18%,这类菌属与有机氮的降解相关^[10],这与进水中有机氮较高的情况吻合。系统内的 *Candidatus Brocadia* 在填料和改造后的污泥中占比分别为0.82%和0.61%,该类菌属为厌氧氨氧化菌^[11],但其对整个系统脱氮贡献仍需进一步研究。

5 结论

① 采用以MBBR为核心工艺的处理流程实现了对呼和浩特市某污水处理厂的提标改造,改造后平均出水COD、BOD₅、氨氮、TN、TP分别为23.5、4.5、1.58、12.3、0.28 mg/L,出水水质能够满足一级A排放标准。

② 改造后,系统在实际进水各主要指标的最大冲击负荷超过设计值200%、冬季平均水温在8~12℃时,亦具有良好的处理效果,表明系统具有较好的耐冲击及耐低温性能。

③ 改造后,平均总氮去除率超过80%,回流比不超过300%,好氧区填料上反硝化菌群丰度为11.44%,揭示好氧过程中可能存在着同步硝化反硝化现象。

④ 改造后,系统内主要的硝化菌群、反硝化菌

群数量高于改造前,且填料上硝化菌群丰度达到14.6%,高于活性污泥中的6.98%,优势菌属分别为 *Nitrosomonas* 和 *Nitrospira*;同时检出系统中有ANAMMOX菌存在。

参考文献:

- [1] Mcquarrie J, Boltz J. Moving bed biofilm reactor technology: Process applications, design, and performance[J]. Water Environ Res, 2011, 83(6): 560-575.
- [2] 吴迪. MBBR在国内的工程应用与发展前景[J]. 中国给水排水, 2018, 34(16): 22-31.
Wu Di. Application and development prospect of MBBR in China [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(16): 22-31 (in Chinese).
- [3] 杨宇星, 吴迪, 宋美芹, 等. 新型MBBR用于类地表Ⅳ类水排放标准升级改造[J]. 中国给水排水, 2017, 33(14): 93-98.
Yang Yuxing, Wu Di, Song Meiqin, et al. Application of new MBBR in WWTP upgrading to meet class IV surface water standard [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(14): 93-98 (in Chinese).
- [4] 吴迪, 李闯修. 北方某污水处理厂Bardenpho-MBBR改造运行分析[J]. 中国给水排水, 2018, 34(9): 106-110, 115.
Wu Di, Li Chuangxiu. Operation analysis of Bardenpho-MBBR upgrading and retrofitting in a northern wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(9): 106-110, 115 (in Chinese).
- [5] 汪瑶琪, 张敏, 姜滢, 等. 厌氧氨氧化启动过程及微生物群落结构特征[J]. 环境科学, 2017, 38(12): 5184-5191.
Wang Yaoqi, Zhang Min, Jiang Ying, et al. Start-up and characteristics of the microbial community structure of ANAMMOX [J]. Environmental Science, 2017, 38(12): 5184-5191 (in Chinese).
- [6] Larsen P, Nielsen J L, Otzen D, et al. Amyloid-like adhesins produced by floc-forming and filamentous bacteria in activated sludge [J]. Appl Environ Microbiol, 2008, 74(5): 1517-1526.
- [7] Daims H, Lebedeva E V, Pjevac P, et al. Complete nitrification by *Nitrospira* bacteria [J]. Nature, 2015, 528(7583): 504-509.
- [8] van Kessel M A H J, Speth D R, Albertsen M, et al. Complete nitrification by a single microorganism [J].

Nature, 2015, 528(7583):555–559.

- [9] 姚倩, 彭党聪, 赵俏迪, 等. 活性污泥中硝化螺菌 (*Nitrospira*) 的富集及其动力学参数[J]. 环境科学, 2017, 38(12):5201–5207.

Yao Qian, Peng Dangcong, Zhao Qiaodi, et al. Enrichment of *Nitrospira* in activated sludge and kinetic characterization[J]. Environmental Science, 2017, 38(12):5201–5207(in Chinese).

- [10] Busse H-J, Kämpfer P, Moore E R B, et al. *Thermomonas haemolytica* gen. nov., sp. nov., a γ -proteobacterium from kaolin slurry[J]. Int J Syst Evol Microbiol, 2002, 52(2):473–483.

- [11] Bai Ren, Chen Xin, He Jizheng, et al. Erratum to: *Candidatus Brocadia* and *Candidatus Kuenenia* predominated in anammox bacterial community in selected Chinese paddy soils[J]. J Soil Sediment, 2015, 15(9):1977–1986.



作者简介:高伟楠(1989–),男,内蒙古锡林浩特人,硕士,工程师,主要从事给排水工程设计及水环境恢复研究等工作。

E-mail:494780017@qq.com

收稿日期:2018–11–26

(上接第 52 页)

雨淋系统和水幕系统为开式系统,发生火灾时,随着雨淋阀的开启,雨淋阀组控制的开式洒水喷头将全部喷水灭火,为了精确控制喷头的出流量和系统总用水量,应通过软件计算,确定供水管道的直径、消防水泵的扬程,复核系统设计流量、平均喷水强度、最不利点喷头的工作压力、各洒水喷头的配水均匀性等。

参考文献:

- [1] 张源远. 通辽大剧院给排水及消防系统设计[J]. 中国给水排水, 2015, 31(14):38–42.

Zhang Yuanyuan. Discussion on design of water supply, drainage and fire protection systems for Tongliao Grand Theatre[J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(14):38–42(in Chinese).

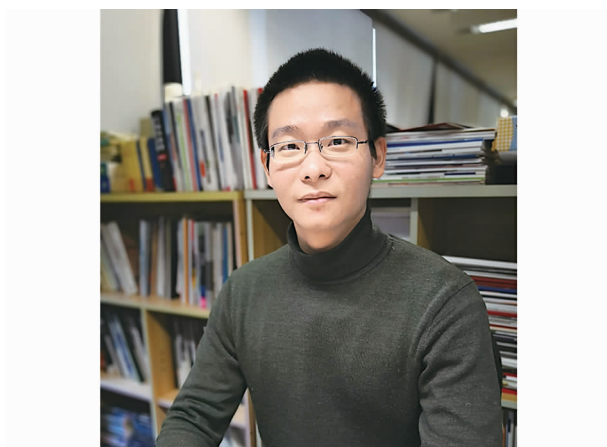
- [2] 易当皓. 诸暨保利剧院消防给水系统设计[J]. 中国给水排水, 2017, 33(12):51–55.

Yi Danghao. Design for the fire protection water supply system of Zhuji Poly Theatre[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(12):51–55(in Chinese).

- [3] 杨茜. 遵义市大剧院消防系统设计[J]. 给水排水,

2018, 44(3):82–85.

Yang Qian. Design of fire protection systems for Zunyi Grand Theatre[J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(3):82–85(in Chinese).



作者简介:尚家佳(1987–),男,安徽芜湖人,硕士,注册公用设备工程师,主要从事建筑给水排水设计工作。

E-mail:549798083@qq.com

收稿日期:2018–12–17