北京北小河污水处理厂改扩建及再生水利用工程介绍

李　艺　李振川

(北京市市政工程设计研究总院, 北京　100082)

摘要　北小河污水处理厂改扩建工程总规模10万 m^3/d, 其中扩建工程6万 m^3/d, 出水有5万 m^3/d 直接回用, 另外1万 m^3/d 经反渗透(RO)处理后用作奥运公园水体补给水及场馆杂用水。这是目前国内市政污水处理中最大规模应用MBR工艺的工程。介绍了工程的主要设计参数及运行情况, 重点对MBR工艺和RO工艺的处理效果、能耗情况进行分析。MBR工艺处理后出水水质优良, 可直接达到回用标准, RO工艺生产的高品质再生水水质优异, 在奥运期间起到了很好的示范作用。

关键词　北小河污水处理厂　MBR工艺　RO工艺　再生水　北京

1　工程概况

北小河污水处理厂位于朝阳区北小河北岸, 建于1990年, 处理规模4万 m^3/d, 采用传统活性污泥工艺, 并对污泥进行消化处理, 工程占地6.07 hm^2。2006年7月北小河污水处理厂改扩建及再生水利用工程开工建设, 工程总规模10万 m^3/d, 总流域面积109.3 km^2。工程主要内容分为两部分: ①扩建6万 m^3/d污水处理设施采用MBR工艺, 出水达到回用要求, 其中1万 m^3/d 的出水再经过RO深度处理后作为高品质再生水, 直接供给奥运公园水体补水及场馆杂用水。②原4万 m^3/d 污水处理设施改造, 出水排入北小河。扩建工程于2008年7月建成投产, 根据工期安排, 4万 m^3/d 改造工程的土建部分目前还未实施。以下重点介绍6万 m^3/d 扩建工程的设计及运行情况。

2　水质标准

2.1　进水水质标准(见表1)

表1　扩建工程进水水质

指标	BOD_5 /mg/L	COD_{Cr} /mg/L	SS /mg/L	NH_3—N /mg/L	TN /mg/L	TP /mg/L
数值	280	550	340	45	65	10

2.2　出水水质标准

本工程扩建规模6万 m^3/d, 其中5万 m^3/d 出水排入城市再生水管网, 执行《城市污水再生利用城市杂用水水质》标准(GB/T 18920—2002)中车辆冲洗水质要求。另外1万 m^3/d 出水经RO处理后作为奥运公园高品质用水, 由于目前还没有相应的体育场馆再生水水质标准, 高品质再生水水质暂参照《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中Ⅱ类水体的主要标准(除TN外)。设计出水水质见表2。

表2　扩建工程出水水质

指标	浊度 /NTU	溶解性总固体/mg/L	BOD_5 /mg/L	NH_3—N /mg/L	总余氯 /mg/L
数值	5	1 000	10	10	管网末端≥0.2

3　工艺流程

改扩建工程的工艺流程见图1。污水首先进入集水池, 经过间隙8 mm的格栅后由提升泵提升至曝气沉砂池, 然后分别进入4万 m^3/d 的改造系统及6万 m^3/d 的扩建系统, 再经1 mm的细格栅后进入MBR池, 经紫外线消毒后其中5万 m^3/d 进入清水池, 臭氧脱色后通过配水泵房输送至厂外再生水利用管网向用户供水, 另外1万 m^3/d 出水进入RO系统, 生产的高品质再生水由独立的清水池经水泵提升输送至奥运公园。

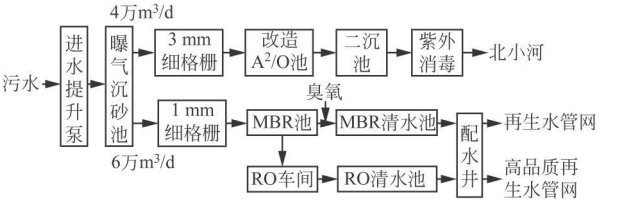


图1　改扩建及再生水利用工程工艺流程

4　扩建工程主要设计参数

4.1　MBR系统

4.1.1　预处理系统

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

预处理系统主要由提升泵前 8 mm 格栅、曝气沉砂池及筛孔直径 1 mm 转鼓式细格栅组成, 拦截污水中较大杂质、砂粒及纤维毛发等, 确保后续系统的稳定运行。

4.1.2 MBR 生物池

MBR 生物池主要由厌氧池、缺氧池、变化区、好氧池组成。生物池分为 4 系列, 每系列均可独立运行。变化区内同时安装潜水推进器和曝气头, 可以根据进水水质、处理效果、季节变化以及出水水质需求, 转换为缺氧区或好氧区。主要设计参数如下:

(1) MBR 池停留时间: 厌氧段 HRT 1.5 h, 缺氧段 HRT3.8 h, 好氧段(含变化区) HRT8.6 h; 总 HRT 13.9 h, 总 SRT 17 d。

(2) MBR 池污泥负荷 0.067 kgBOD$_5$/(kgMLSS·d)。

(3) 回流比: 缺氧池至厌氧池 100%, 好氧池至缺氧池 500%(变频调节), 循环比 500%。

(4) 污泥浓度: 厌氧段 3 650~ 4 200 mg/L, 缺氧段和变化区 6 700~ 7 700 mg/L, 好氧段 8 000~ 9 200 mg/L, 膜池内 10 000~ 11 500 mg/L, 剩余污泥量 16.5 t/d。

4.1.3 膜系统

膜系统共设 8 个膜池, 每个膜池设计安装 38 个膜组件, 预留 4 个膜组件位置。每个膜组件内装 16 个 MEMCOR 的 B30R 膜元件(PVDF 中空纤维膜), 单个元件的膜面积为 37.6 m^2。设计通量见表 3。

表 3 单个膜元件设计通量

项目	理论通量/L/(m^2·h)	实际通量/L/(m^2·h)
60 000 m^3/d	13.7	14.8
峰值(3 250 m^3/h)	17.8	19.3

每个膜池对应 1 台柱塞阀、1 套混合液分配管和 1 台透过液泵, 透过液泵单台泵流量 Q= 442 m^3/h, 扬程 H= 10.4 m。

整个膜系统安装 2 台清洗水泵、2 台中和水泵、2 台膜池清空泵、4 台剩余污泥泵; 安装 2 台空压机、配套冷干机及相应的过滤器和储罐; 膜系统配套的擦洗鼓风机 4 用 1 备, 单台风量为 Q= 228 m^3/min, 升压 35 kPa。

膜系统运行一段时间后需要进行化学清洗。膜系统的加药装置包括次氯酸钠加药装置、柠檬酸加药装置、亚硫酸氢钠加药装置、氢氧化钠加药装置。化学清洗有两种方式: 维护性清洗和恢复性清洗。

维护性清洗(MC): 清洗持续时间较短, 采用较低的化学药品浓度、清洗频率较高。其目的在于保持膜的透水性和延长恢复性清洗周期。维护性清洗间隔为 1~ 2 个星期, 清洗采用的药剂为次氯酸钠。

恢复性清洗(CIP): 清洗持续时间比维护性清洗长、采用化学药品浓度较高, 清洗频率较低。其目的在于恢复膜的透水性。每 3 个月采用次氯酸钠清洗一次, 每 6 个月采用柠檬酸清洗一次。恢复性清洗时产生的废液均输送到中和系统。

维护性清洗和恢复性清洗的周期均可在实际运行中根据膜的污堵情况进行调节。

4.2 RO 系统

RO 系统共设有 3 套, 采用一级二段式, 每套系统的膜压力容器排列方式为 24∶ 12, 共 36 只压力容器, 每只压力容器内装 6 支反渗透膜, 每套系统共有 216 支反渗透膜。

每套 RO 系统对应 1 台 RO 原水提升泵(过滤加压泵)、1 台保安过滤器、1 台 RO 高压泵。RO 原水提升泵单台泵流量 Q= 170 m^3/h, 扬程 H= 46 m; 保安过滤器单台流量为 167 m^3/h, 过滤精度为 5 μm; RO 高压泵单台泵流量 Q= 170 m^3/h, 扬程 H= 130 m。

RO 系统中包括化学清洗系统, 安装 2 台清洗水泵、1 台清洗过滤器及 1 个清洗水箱。

膜系统的加药装置包括氢氧化钠投加系统、还原剂投加系统以及阻垢剂投加系统。

在进水中添加阻垢剂, 防止被截留在膜表面的形成硬垢, 投加还原剂消除原水中的余氯; 在出水处投加氢氧化钠调整水的 pH。

RO 系统根据在线压力及电导率监测值决定是否需要进行化学清洗。根据污染物的不同, 可以采用 EDTA、柠檬酸、盐酸等药剂进行清洗。正常情况下, 清洗周期约为 3 个月; 试运行时设定为 1 个月, 每次浸泡、循环 1~ 2 h。

5 进出水水质分析及处理效果评价

扩建工程 2008 年 4 月通水进行试运行, 7 月开始正式运行。在调试运行阶段, 根据性能测试报告, 各种设备运行均达到了技术指标要求, 基本没有出现故障。截至 2009 年 1 月, 经过 7 个月的运

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

行,系统出水水质良好,达到设计目标。

5.1 进水水质分析

根据北小河污水厂 2008 年 1 月~ 2009 年 1 月监测分析,进水水质月平均值分别为: BOD_5 167~ 291 mg/L; COD_{Cr} 361~ 618 mg/L, SS 208~ 498 mg/L, TKN 47.5~ 78.5 mg/L, TP 4.6~ 8.3 mg/L,基本符合本工程设计的进水水质指标。

5.2 MBR 系统处理效果评价

5.2.1 浊度、悬浮性固体

自 2008 年 7 月扩建系统投入运行后,MBR 系统出水浊度及 SS 见图 2、图 3。由图可见,出水浊度月平均值 1.02~ 2.95 NTU,在线浊度仪检测 MBR 出水浊度< 0.2 NTU; 出水 SS 为 5~ 8 mg/L,膜系统对水中悬浮固体有良好的截留效果。

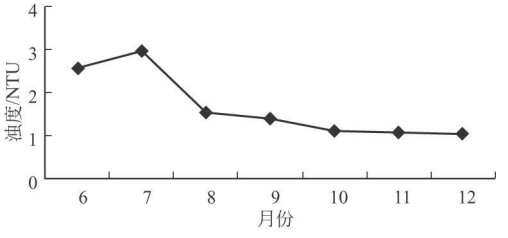


图 2 MBR 系统出水浊度情况

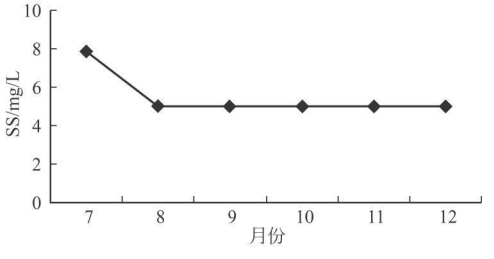


图 3 MBR 系统出水 SS 情况

5.2.2 BOD_5、COD_{Cr}

MBR 对 BOD_5、COD_{Cr} 的去除效果见图 4、图 5。污水处理厂进水 BOD_5 的月平均值为 167~ 291 mg/L,出水仅为 2~ 5 mg/L, MBR 系统对 BOD_5 去除率达 96% 以上。进水 COD_{Cr} 的月平均值为 361~ 618 mg/L,出水为 20.9~ 30 mg/L, MBR 系统对 COD_{Cr} 去除率达 92% 以上。可见, MBR 工艺将膜过滤系统应用于二级生物处理系统,代替沉淀池,进行泥水分离,能够提高生物系统的污泥浓度,进一步加强生物处理效果,出水生化指标优于传统活性污泥法。

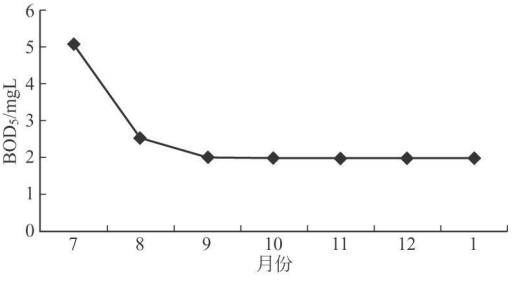


图 4 MBR 对 BOD_5 去除情况

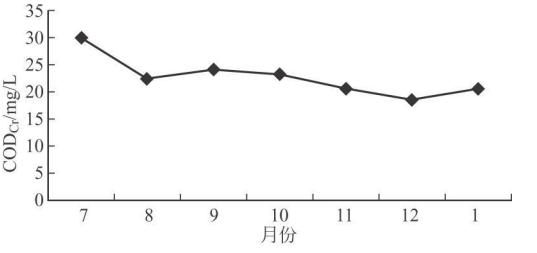


图 5 MBR 对 COD_{Cr} 去除情况

5.2.3 TN、NH_3—N

MBR 对 TN、NH_3—N 的去除效果见图 6、图 7。污水处理厂进水 TKN 的月平均值为 47.5~ 78.5 mg/L,出水 TN 9.65~ 15.2 mg/L,出水 NH_3—N 0.29~ 1.32 mg/L,出水 TN 平均值为 13.47 mg/L,基本可以满足< 15 mg/L。但随着水温的下降以及进水 TN 的上升, TN 的去除效果较之夏季有比较明显的下降。因此 MBR 系统出水 TN 达标与否受水温、原水碳源、进水 TN 等外部因素影响较大,其中水温对反硝化速率影响较为明显,从统计数据来看,当水温低于 18 ℃时, MBR 系统脱氮效率降低较明显。MBR 运行期间(包括冬季 11 月~ 次年 1 月) NH_3—N 出水月均值均低于设计出水水质 1.5 mg/L。

5.2.4 TP

MBR 对 TP 的去除效果见图 8。污水处理厂进水 TP 的月平均值为 4.56~ 8.28 mg/L,出水为

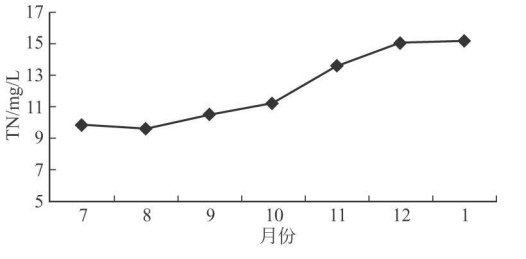


图 6 MBR 对 TN 的去除情况

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

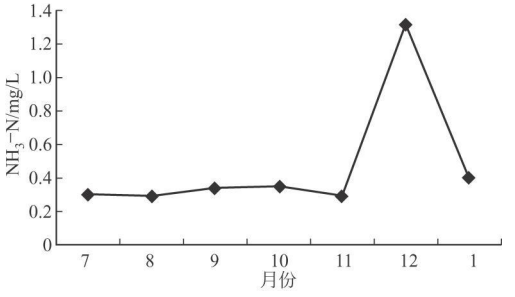


图 7　MBR 对 NH_3—N 的去除情况

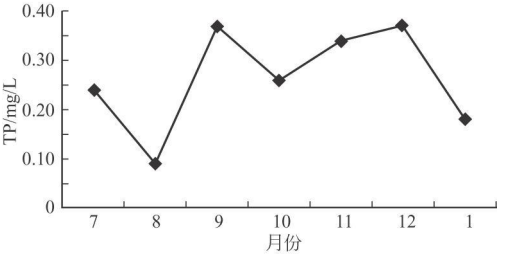


图 8　MBR 对 TP 的去除情况

0.086~ 0.37 mg/L, 去除率达 92% 以上。MBR 工艺采用生物除磷辅助化学除磷, 采用聚氯化铝(PAC) 作为化学除磷药剂。

5.2.5　其他

MBR 的膜过滤系统不能去除水中的溶解物质, 因此对于色度的去除能力有限, 出水色度能够达到 30 度以下标准。但是由于水中的溶解性物质会吸附于水中的颗粒物质上, 随着颗粒物质被膜截留, MBR 系统能够去除部分溶解性物质。

5.3　RO 系统处理效果评价

RO 系统出水水质见图9、图 10。经过 RO 系统处理后, 出水中各项指标除 TN 外, 均可达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) 中 III类水体的

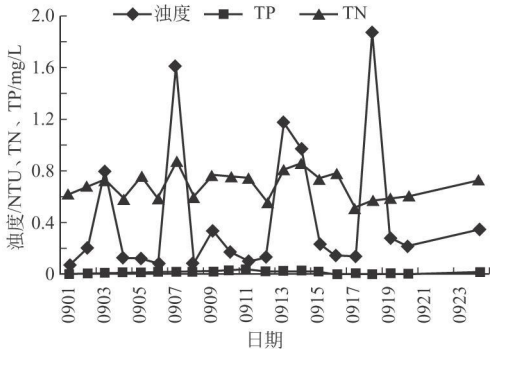


图 9　RO 出水浊度、TP、TN 情况

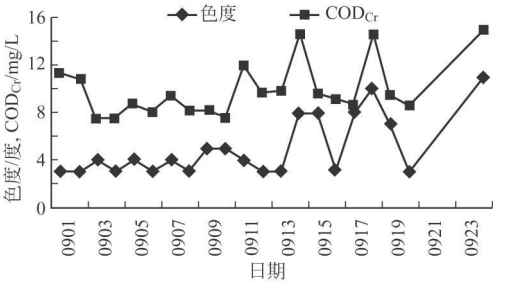


图 10　RO 出水色度及 COD_{Cr} 情况

要求。根据性能测试报告, RO 系统产水率保持在 75%, 脱盐率达到 98% 以上。

5.4　臭氧脱色处理效果评价

MBR 池出水色度为 25~ 30 度, 虽然满足再生水出水水质要求, 但与正常天然水体比较, 出水的黄色比较明显, 将其放入无天然补给水源的水体(湖泊、河流), 感官效果不佳。投加臭氧氧化后(投加浓度控制在 5 mg/L 以下), 臭氧可氧化水中的有机物, 使难降解有机物断链、开环, 很好地的改善感官性状指标, 出水色度能够控制在 15 度以下。

6　运行能耗分析

6.1　电耗

根据中标设备资料功能保证和 MBR 系统性能测试报告, 本工程电耗分析见表 4。

表 4　扩建工程电耗分析

项目	电耗/kW·h/m³		备注
	功能保证值	测试值	
MBR 系统	0.75	0.73	自 1 mm 细格栅至 MBR 出水, 不计配水泵房
RO 系统	0.788	0.64	不计配水泵房
UV 系统	0.041	0.039	

6.2　药剂消耗

药剂消耗主要包括除磷、膜化学清洗、消毒剂投加等, 详细分析见表 5。

7　主要技术特点

(1) 落实科技奥运理念, 采用先进工艺技术, 污水处理后直接达到再生水标准。MBR 是目前水处理领域中先进的处理技术。与传统的生物水处理技术相比, MBR 工艺具有以下主要特点: ①高效固液分离: MBR 工艺不需要二沉池, 膜分离出水浊度小于 1 NTU, 在生物反应和膜过滤的作用下, 出水直接达到再生水水质标准。②生物池内污泥浓度高、

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 5　扩建工程药剂消耗分析

工艺段	药剂种类	计算最大用量	一年计算最大用量
MBR 生物池	聚氯化铝(PAC)	2.9 t/d	1 059 t
MBR 膜池	次氯酸钠	217 kg/次 MC, 2.1 t/次 CIP	144 t
	柠檬酸	3.2 t/次 CIP	48.5 t
	亚硫酸氢钠(还原剂)	276 kg/次 MC	8.8 t
	氢氧化钠	6.8 t/次 CIP	109.4 t
RO 系统	阻垢剂	144 kg/d	51.8 t
	还原剂	61 kg/d	22 t
	氢氧化钠	8 kg/d	3 t
	非氧化性杀菌剂	36 kg/d	13 t

耐冲击负荷: 膜的高效分离技术使生物处理系统设计不受沉淀池对污泥沉降特性要求的限制, 提高了生物池的活性污泥浓度, 在去除等量污染物的前提下, 可减小生物池的容积。③泥龄较长: 膜分离使污水中的大分子难降解污染物在生物池内有足够的停留时间, 从而极大地提高了难降解有机物的降解效率。生物池保持高容积负荷、低污泥负荷、较长泥龄的条件运行。④设备紧凑、占地面积小。实现自动控制、运行管理简单。

(2) 采用 RO 技术, 生产高品质再生水。反渗透膜工艺利用半透膜两侧的压力差去除水中的盐类和低分子物质, 截留物包括无机盐、糖类、氨基酸、BOD_5、COD_{Cr} 等。MBR 生物池出水经 RO 工艺处理后生产的再生水水质优异, 是传统处理工艺所不能达到的。该工艺受进水水质的影响小, 工艺系统设计严密、可靠, 在线监测及控制手段先进, 可提供安全、卫生、稳定的供水保障, 消除了用户对再生水的疑虑。反渗透膜采用芳香族聚酰胺复合材料抗污染膜, 提高了膜的抗污染性能, 可延长膜的使用寿命, 节省频繁更换膜的成本。

(3) 挖掘设施潜力、合理布局, 在现状 4 万 m^3/d 的用地范围内完成 10 万 m^3/d 改扩建工程。北小河污水处理厂位于建设成熟的亚运村地区, 周围均为建成区, 不可能新增占地实施改扩建工程。建设期间需要确保现状 4 万 m^3/d 处理设施正常运行, 不能外排污水对周边环境造成不良影响, 设计和实施难度大。通过选择先进的处理工艺、新型设备和改造现有构筑物, 在现状占地条件下, 完成了总规模 10 万 m^3/d 的改扩建工程, 节约了土地资源。

8　社会环境效益

北小河污水处理厂改扩建工程建成后, 可全面解决奥林匹克公园及流域范围内污水处理, 确保该地区的水环境质量。每年可生产 1 800 万 m^3 再生水及 360 万 m^3 高品质再生水, 用于景观水体补充水源、绿化等用途, 节约清洁水资源。高品质再生水回用于奥林匹克公园景观水体、体育场馆的绿化、冲厕等杂用水, 在奥运会期间起到良好的展示作用。

9　结论与建议

9.1　主要结论

北小河污水处理厂扩建系统建设规模 6 万 m^3/d, 为目前国内最大规模的 MBR 工艺工程应用。该工艺适用于工程用地紧张的改造和新建项目, 出水直接达到回用标准、出水水质优异, 项目具有创新性和示范作用。MBR－RO 工艺联合应用于城市污水再生处理工程, RO 工艺生产的高品质再生水水质优异, 可满足从高端用户到低端用户的广泛用途, 使再生水成为城市供水系统的组成部分。

9.2　建议

预处理系统设计直接影响 MBR 系统的处理效果, 实践证明, 在 MBR 系统前安装 1 mm 细格栅, 进一步拦截来水中的纤维等杂物对于保护膜过滤系统是非常必要的。

城市污水处理厂来水质、水量具有明显的不均匀变化特征, 设计时需充分考虑来水量和污染物冲击负荷对系统的影响, 在预处理系统、膜通量参数选择等方面考虑余量。特别是预处理系统, 应具备短时间承受高浓度峰值流量的能力。

MBR 系统虽然具有处理水质优异、节省占地等突出优势, 但其工程投资和运行费用较高, 在工艺选择时应根据原水及出水水质要求进行充分的技术经济论证, 根据工程特点选择适宜的处理工艺。

& 通讯处: 100082 北京市海淀区西直门北大街 32 号市政总院大厦 1612
E-mail: liyi@bmedi.cn
收稿日期: 2009-10-15

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net