

几种典型再生水处理工艺出水水质对比分析

冯运玲 戴前进 李 艺 方先金

(北京市市政工程设计研究总院, 北京 100082)

摘要 通过对北京市目前运行的4种典型再生水处理工艺中的主要处理单元出水水质进行监测, 得到各种再生水处理工艺对主要水质指标的去除情况。结果表明, 4种再生水处理工艺出水基本能满足设计及使用要求; TN和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度仍然是影响多数再生水厂最终出水水质的限制性指标; 再生水用于地下水回灌时水质要求较高, 尤其是其中的“井灌”对水质要求很高, 一般的沉淀过滤、超滤及MBR工艺较难满足要求。

关键词 再生水 水质标准 处理工艺 膜生物反应器

Comparative analysis on effluents of several typical wastewater reclamation processes

Feng Yunling, Dai Qianjin, Li Yi, Fang Xianjin

(Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute, Beijing 100082, China)

Abstract: We got the main water quality removal efficiencies of the four typical wastewater reclamation processes running in Beijing by monitoring the effluents of the main treating units. The results showed that effluents of the four wastewater reclamation processes can meet the design and use requirement basically. TN and $\text{NH}_3\text{-N}$ are still the limited items to final effluent qualities of the water reclamation plants. The reclaimed water quality is required more strictly when it is used for groundwater recharge, especially for injection recharge, and normal filtration and MBR processes are very difficult to meet it.

Keywords: Reclaimed water; water quality standard; Treatment process; Membrane bioreactor

近年来, 随着水资源短缺问题的日渐突出及国家政策法规的颁布实施, 我国的再生水事业得到了迅猛发展, 再生水利用量逐年提高。据统计, 2007年北京市再生水用量达到4.8亿 m^3 , 2008年北京市再生水利用量提高了近30%, 达到6.2亿 m^3 , 占北京市总用水量的17.6%。随着再生水用量的增加和使用对象的多样化, 国家相应出台实施了再生水不同使用领域的相关水质标准。北京目前再生水主要使用对象为工业(如热电厂)、景观环境、市政杂用等。为满足各种使用对象的水质要求, 采用了多种再生水处理工艺和技术。本文针对北京市目前运行的4种典型再生水处理工艺, 通过实测数据, 对各工艺出水水质进行了分析, 并与现行的4种再生水回用标准进行了对比, 以期为今后再生水厂不同处理工艺的选择、设计、运行控制及管理提供参考。

1 典型再生水处理工艺

目前, 国内已建设的再生水厂较多选用的处理工艺是借用传统的净水工艺, 即混凝、沉淀和过滤工艺, 随着膜技术的发展, 不少发达地区再生水厂开始推行膜处理工艺, 如超滤膜技术、膜生物反应器(MBR)工艺、反渗透(RO)技术及其组合工艺等。本文重点结合北京市再生水工程实际情况, 对目前北京市正在运行的4种典型再生水处理工艺出水进行测定和分析, 其4种工艺分别如下:

(1) 工艺1(混凝、沉淀和过滤): 二级出水 \rightarrow 混凝 \rightarrow 臭氧脱色 \rightarrow 机械加速澄清池 \rightarrow V型滤池 \rightarrow 紫外线消毒 \rightarrow 出水。

(2) 工艺2(MBR工艺): 城市污水 \rightarrow 曝气沉砂池 \rightarrow MBR \rightarrow 臭氧脱色 \rightarrow 二氧化氯消毒 \rightarrow 出水。

(3) 工艺3(MBR+RO工艺): 城市污水 \rightarrow 曝气

沉砂池 → MBR → RO → 二氧化氯消毒 → 出水。

(4) 工艺 4(二级 RO 工艺): 二级出水 → 过滤器 → 紫外消毒 → 微滤 → 一级 RO → pH 调节 → 二级 RO → 加氯消毒 → 出水。

2 测定方法

2.1 取样点及取样频率

取样点设置在再生水厂进水及有代表性的各处理单元出水。考虑本文中所检测再生水厂水质及水量相对稳定,故取样频率为 3~7 次。

2.2 化验方法

根据现行城市污水再生利用水质标准及《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)等规定的化验方法进行水样的化验。

目前已经颁布实施的城市污水再生利用水质标准包括:《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920—2002),《城市污水再生利用 景观环境用水水质》(GB/T 18921—2002),《城市污水再生利用 地下水回灌水质》(GB/T 19772—2005),《城市污水再生利用 工业用水水质》(GB/T 18923—2005),《城市污水再生利用 农田灌溉用水水质》(GB 20922—2007)。

3 不同处理工艺出水水质分析

3.1 工艺 1 出水水质情况

该工艺进水为污水处理厂氧化沟工艺二级出水,水质较好且稳定,基本水质指标均达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》二级以上标准,个别指标甚至达到一级 A 标准。主要进水水质指标为: $COD_{Cr} < 25 \text{ mg/L}$, $BOD_5 < 5 \text{ mg/L}$, $SS < 25 \text{ mg/L}$, $TN < 15 \text{ mg/L}$, $NH_3 - N < 4.5 \text{ mg/L}$, $TP < 1.5 \text{ mg/L}$ 。

再生水出水水质指标为:

(1) COD_{Cr} 为 $15 \sim 20 \text{ mg/L}$, $BOD_5 < 2 \text{ mg/L}$, TN 为 $5 \sim 11 \text{ mg/L}$, $NH_3 - N$ 为 $0.3 \sim 4.5 \text{ mg/L}$, TP 为 $0.1 \sim 0.7 \text{ mg/L}$ 。 TP 去除率为 $50\% \sim 90\%$,其他指标去除率均在 50% 以下。以上指标中除 COD_{Cr} 及 $NH_3 - N$ 不满足地下水回灌水质要求外,其余指标均满足现有再生水回用标准。

(2) 色度为 $7 \sim 26$ 倍(稀释倍数法测定),浊度 $< 3 \text{ NTU}$ 。测定前期色度偶有不满足地下水回灌中井灌用水要求,测定后期增加臭氧脱色后满足现有再生水回用标准。

(3) 微生物指标: 满足工业、农灌用水、地下水回灌(井灌用水除外)及景观用水(娱乐性水景类用水除外)。用于市政杂用及其他场合时微生物偶有超标,需加强消毒处理。测定前期只进行了紫外线消毒,后期添加臭氧脱色后微生物指标明显好转,但总大肠菌群仍偶有超标。可见补充加氯消毒是必要的。

(4) 用于地下水回灌时,应该对 $NO_2^- - N$ 、硫化物、石油类等指标加强处理。

3.2 工艺 2 出水水质情况

该工艺进水为城市污水,测定期间主要进水水质指标为: $COD_{Cr} 230 \sim 650 \text{ mg/L}$, $BOD_5 60 \sim 250 \text{ mg/L}$, $SS 240 \sim 280 \text{ mg/L}$, $TN 60 \sim 70 \text{ mg/L}$, $NH_3 - N 40 \sim 55 \text{ mg/L}$, $TP 6 \sim 7 \text{ mg/L}$ 。

再生水出水水质指标为: $COD_{Cr} 12 \sim 22 \text{ mg/L}$, $BOD_5 < 2 \text{ mg/L}$, $TN 8 \sim 15 \text{ mg/L}$, $NH_3 - N < 1 \text{ mg/L}$, $TP < 0.5 \text{ mg/L}$,去除率均在 90% 以上。色度 $7 \sim 10$ 倍,浊度 $0.7 \sim 1.5 \text{ NTU}$;盐类去除率一般不到 30% ;总大肠菌群基本在 3 个/L 以下。以上指标除 COD_{Cr} 及 $NH_3 - N$ 不满足地下水回灌中的井灌水质要求外,满足其他现有再生水回用标准。

3.3 工艺 3 出水水质情况

该工艺进水同工艺 2。

再生水出水水质指标为: $COD_{Cr} < 10 \text{ mg/L}$, $BOD_5 < 2 \text{ mg/L}$, $TN < 1 \text{ mg/L}$, $NH_3 - N < 0.025 \text{ mg/L}$, $TP < 0.025 \text{ mg/L}$,去除率均在 96% 以上;色度为 7 倍,浊度 $< 0.6 \text{ NTU}$;盐类去除率基本在 90% 以上;测定期间出水中均为未检出大肠菌群。再生水出水水质满足所有回用标准,测定的所有指标基本均达到了 III 类水体的要求。

与工艺 2 相比可以看出,MBR 能高效去除水中污染物,基本控制指标的去除率均在 90% 以上,而非基本控制指标去除率相对较低,如对盐类去除率一般不到 30% ;RO 对非基本控制指标去除效果非常明显,尤其盐类去除率一般都大于 90% ,而基本控制指标的去除率多数更是高达 99% 以上。

MBR 和 RO 膜对细菌都有很好的截留作用,除 MBR 出水中检测出 3 个/L 总大肠菌群数外,其余均未检出,但考虑到出水在管网输送过程滋生细菌等因素,MBR 和 RO 出水在进入再生水管网前添加消毒剂是必要的。

3.4 工艺4出水水质情况

该工艺进水为 A²/O 工艺二级出水, 主要进水水质指标为: COD_{Cr} < 50 mg/L, BOD₅ < 6 mg/L, SS < 20 mg/L, TN < 25 mg/L, NH₃-N < 4 mg/L, TP < 3 mg/L。测定期间未对出水进行消毒处理。

该工艺出水指标满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006) 及现有再生水回用标准。出水应进行消毒处理, 以防止出水的二次污染。

从测定结果可以看出, 去除污染物总量中的 90% 以上是由一级 RO 膜完成的, 二级 RO 膜的去除量一般为去除总量的 10% 以下, 但有些指标如硫化物等指标只经过一级 RO 膜不太容易达标。故对于特定的高品质水水质要求, 可根据情况选用不同级数的 RO 处理工艺。

4 不同处理工艺的投资及运行费用

混凝、沉淀和过滤工艺技术相对成熟, 再生水厂总投资及运行费用相对较低, 应用较为广泛, 一般以污水处理厂的二级出水作为处理进水, 经加药混凝、沉淀和过滤, 使出水水质提高到再生水利用的标准, 但该工艺出水水质在很大程度上取决于进水水质。

随着社会的发展, 城市污水的水质越来越复杂, 而人们对再生水水质要求却逐年提高, 传统简单的工艺技术愈加难以满足要求。国外许多再生水处理工艺已经较多地采用膜处理技术。本文介绍的 4 种处理工艺中有 3 种为膜处理工艺。膜处理工艺出水水质好且稳定, 但由于膜系统占整个工程费用的比例较高, 且造价很高, 因此造成整个工程的工程投资偏高; 且膜过滤需要水泵提供压力, 维持膜两侧的压差, 用于过滤水透过滤膜, 因此整体运行电耗较高。另外, 按照目前的技术水平, 过滤膜一般使用 5~8 年后需要更换, 虽然膜的价格在逐渐下降, 但更换费用仍然很高。因此, 膜处理工艺的运行费用也较高。而且一般情况下, 随着出水水质的提高, 膜处理工艺的投资及运行费用也相应升高。

5 不同处理工艺运行中应注意的问题

混凝、沉淀、过滤工艺流程运行经验较为丰富, 管理较为简单。加药量的设定及滤池的反冲洗是影响运行效果的关键因素。

对于膜处理工艺, 应及时对膜进行气水反冲洗及化学清洗, 防止膜污染。考虑膜的使用寿命, 应严

格要求清洗药品的品质及浓度。

6 结论

(1) 对于混凝、沉淀、过滤工艺, 如果控制好进水的 TN 指标, 絮凝剂投加量合适, 且有较好的消毒措施, 该工艺出水水质可满足除地下水回灌以外的其他再生水回用标准。

(2) MBR 工艺出水水质较为稳定, 出水水质指标除 COD_{Cr} 及 NH₃-N 不满足地下水回灌中的井灌水质要求外, 满足其他现有再生水回用标准。MBR-RO 工艺出水水质满足所有回用标准, 测定的主要指标基本均达到了地表水 III 类水体的要求。

(3) 二级 RO 工艺出水可满足我国目前实施的《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006) 及现有再生水回用水质标准。

(4) 二级 RO 工艺去除的污染物 90% 以上是由一级 RO 膜完成的, 二级 RO 膜去除的污染物比例在 10% 以下, 但某些指标(如硫化物)只经过一级 RO 工艺不易达标。故对于特定的高品质水水质要求, 可根据情况选用不同级数的 RO 及 MBR-RO 处理工艺。

(5) 再生水用于地下水回灌时对水质要求较高, 传统的混凝、沉淀、过滤工艺很难满足要求。

(6) 未加氯消毒的再生水厂出水的微生物不太容易达标, 尤其是很难满足城市杂用水要求的总大肠菌群不大于 3 个/L 的标准。MBR 和 RO 膜虽对细菌具有很好的截留作用, 但考虑到出水在管网输送过程中滋生细菌等因素, MBR 和 RO 出水在进入再生水管网前添加消毒剂是必要的。

(7) 臭氧、二氧化氯联合消毒对出水中微生物指标的去除有较好的效果。

膜处理工艺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。混凝、沉淀及过滤工艺投资及运行费用低, 管理方便, 但出水水质不如前者。故进行再生水处理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 北京市西直门北大街 32 号市政大厦

电话: (010) 82216565

E-mail: fengyunling@bmedi.cn

收稿日期: 2010-10-15

修回日期: 2010-12-05