周合喜, 刘春楠, 安娜, 等. 深圳市水质净化厂出水再生利用水质评估[J]. 净水技术, 2022, 41(11):85-93.
ZHOU H X, LIU C N, AN N, et al. Water quality assessment of effluent recycling in WWTPs in Shenzhen City[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(11): 85-93.

扫我试试?

深圳市水质净化厂出水再生利用水质评估

周合喜[1,2],刘春楠[1],安　娜[1],肖维贵[1],张金松[1,*]
(1. 深圳市水务<集团>有限公司,广东深圳　518000;2. 清华大学环境学院,北京　100084)

摘　要　双碳背景下污水再生利用上升到新的发展高度。深圳作为全国严重缺水城市之一,2021 年遭遇建市以来最严重缺水,全市正多措并举解决用水缺口,其中城市杂用水实现 100%替代应急方案。再生水水质保障是再生水安全利用的前提,为此,文中以深圳市原特区内 8 座水质净化厂为例,评估出水再生利用达标状况,并提出水质改善措施。结果表明,水质净化厂出水再生利用色度、TDS、余氯和埃希氏大肠菌群指标存在超标或不达标,DO 指标存在不达标风险。水质综合评估显示,出水再生利用综合水质较优。基于 5 项超标/不达标风险因子,提出水质改善管理优化措施、工程提升措施及短期非工程措施,以扩大再生水使用范围和用量,缓解目前全市面临的抗旱保供水紧张局面。

关键词　水质净化厂　出水　再生利用　水质评估　水质改善措施
中图分类号: X703　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1009-0177(2022)11-0085-09
DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2022.11.012

Water Quality Assessment of Effluent Recycling in WWTPs in Shenzhen City

ZHOU Hexi[1,2], LIU Chunnan[1], AN Na[1], XIAO Weigui[1], ZHANG Jinsong[1,*]
(*1. Shenzhen Water Group Co., Ltd., Shenzhen　518000, China;*
2. School of Environment, Tsinghua University, Beijing　100084, China)

Abstract　The reuse of recycling water has reached a new development level under "dual carbon" goals. As one of the cities with severe water shortage at home, Shenzhen suffered from the most serious water shortage since the establishment of the city, and the city was taking multiple measures to solve water shortage, among which urban miscellaneous use achieved 100% replacement emergency planning in 2021. Quality assurance of reclaimed water is the premise of safe utilization of reclaimed water. Therefore, eight wastewater treatment plants (WWTPs) in the original Shenzhen Special Zone were taken as the main evaluation object, the status of effluent recycling up to standard was evaluated and water quality improvement measures was put forward. Results showed that the chroma, TDS, residual chlorine and *Escherichia coli* index of effluent recycling in WWTPs exceeded or failed to reach the standard, and DO index was a risk of sub-standard. The comprehensive assessment of water quality showed that the comprehensive water quality of effluent recycling was better. Based on the five risk factors of exceeding standard/not up to standard, management optimization measures, engineering upgrading measures and short-term non-engineering measures were put forward for water quality improvement to expand the scope of reclaimed water use and dosage, which could alleviate the tension of drought-fighting water supply.

Keywords　wastewater treatment plants (WWTPs)　effluent　recycling　water quality assessment　water quality improvement measures

[收稿日期]　2022-02-16
[基金项目]　深圳市科技创新委员会应用示范和可持续发展专项(KJYY20171012140149523,KCXFZ202002011008448)
[作者简介]　周合喜(1989—　),男,博士,主要从事城镇污水处理与再生利用、工业废水处理与资源化及污泥处理处置研究工作,E-mail:hexi725@163.com。
[通信作者]　张金松(1963—　),男,正高级工程师,主要从事水务行业技术管理工作,E-mail:zhangjinsong@waterchina.com。

2021 年 1 月,国家发展改革委等十部门联合印发《关于推进污水资源化利用的指导意见》,明确到 2025 年,全国地级及以上缺水城市再生水利用率达到 25%以上,京津冀地区达到 35%以上。到 2035 年,形成系统、安全、环保、经济的污水资源化利用格局。该指导意见的出台标志着污水再生利用上升为国家行动计划,是污水处理进入资源化利用新阶段的重要标志。《"十四五"城镇污水处理及资源化利用发展规划》提出,系统规划城镇污水再生利用设施,合理确定再生水利用方向,推动实现分质、分对象供水,优水优用。"十四五"期间,新建、改建和扩建再生水生产能力不少于 1 500 万 m^3/d。《"十四五"节水型社会建设规划》强调,完善污水资源化利用政策体系,制定"1+N"实施方案。缺水地区坚持以需定供,分质、分对象用水,推进再生水优先用于工业生产、市政杂用、生态用水。《关于加强城市节水工作的指导意见》要求,着力提高城市用水效率,推动再生水就近利用、生态利用、循环利用。2021 年 10 月,国务院发布《2030 年前碳达峰行动方案》。在节能减排、绿色发展的政策背景下,我国再生水利用将得到更快的发展。

深圳市作为全国严重缺水城市之一,2020 年全市人均水资源量为 166 m^3,仅为全国平均水平的 1/13,86%的供水依靠东江水源工程和东深供水工程从东江引水。2020 年全市用水总量为 20.6 亿 m^3,其中,从市外引水 17.83 亿 m^3。虽全市多年平均降雨量为 1 830 mm,但降雨时空分布不均,80%以上集中在每年 4 月—10 月。全市河流呈明显的雨源型河流特征,雨季是河,旱季成沟,缺乏动态补充水源,河流普遍受到污染[1]。此外,由于 2020 年、2021 年连续两年干旱,深圳主要水资源地东江流域遭遇 1963 年以来最严峻旱情,新丰江、枫树坝和白盆珠三大水库水位长时间处于历史低位,总蓄水量为近 30 年来同期最少,给深圳今冬明春供水带来了不利影响。2021 年 11 月 17 日,深圳市启动水利抗旱Ⅳ级应急响应。据预测,今冬明春期间,深圳市城市平均用水量缺口约为 100 万 m^3/d,其中,可通过深圳市本地饮用水源水库应急储备水量解决 50 万 m^3/d 的缺口,剩余 50 万 m^3/d 缺口需通过各种办法节约用水来解决。

为此,深圳市制定抗旱保供水工作方案,多措并举来解决用水缺口。其中,开放部分河道及临时建设再生水取水点,制定绿地浇洒、道路及地面冲洗自来水替代方案,实现 100%全替代。再生水利用是城市水资源重要的"开源"路径和缓解水资源供需矛盾的最有效方式。再生水等非常规水资源的开发已成为国际公认的城市第二水源,可在一定程度上替代常规水资源。截至 2020 年底,全市基本完成对现有水质净化厂的提标改造工作,改造后的水质净化厂执行《水质净化厂出水水质规范》(DB 4403/T 64—2020)标准,除 TN 外,部分指标满足地表水Ⅳ类标准,能够满足河道生态补水、市政杂用、低品质工业用水的需要。据市水务局统计,2020 年全市水质净化厂产生 15.6 亿 m^3 的部分指标满足Ⅳ类水的出厂水,这些水资源如能充分加以利用,将有效缓解深圳市水资源短缺的局面。

2020 年深圳市再生水利用量为 13.69 亿 m^3,再生水利用率为 72%,其中绝大部分用于河道补水,少量用于城市绿化、道路清扫、工业冷却(仅上洋水质净化厂尾水供应华电国际电力股份有限公司深圳公司工业冷却用水)[2]。再生水水质保障是再生水安全利用的前提条件,尽管当前深圳市紧急启用中水城市杂用替代方案,但水质净化厂尾水水质能否满足再生水利用标准要求仍是未知数。因此,开展再生水水源水质评估,对于明确水质净化厂再生水利用对象和扩大使用范围具有重要的指导意义。

1　研究方法

1.1　评估标准

目前,深圳市再生水主要用于河道补水和市政杂用,依据再生水利用遵循"以用定质、以质定用"的原则[3],再生水水质执行国标《城市污水再生利用 景观环境用水水质》(GB/T 18921—2019)和《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920—2020),其中,河道补水执行观赏性景观环境用水河道类指标限值,市政杂用执行城市杂用水中城市绿化、道路清扫、消防、建筑施工指标限值。

1.2　评估对象

本文以深圳市原特区内罗湖、福田、南山和盐田四区所属 8 座水质净化厂(A、B、C、D、E、F、G 厂和 H 厂)为主要评估对象,以此扩展到全市水质净化厂。

1.3　评估方法

本文采用综合水质标识指数法来开展水质综合

评估,以定量反映水质状况[4]。综合水质标识指数主要由整数位和 3 位或 4 位小数组成,表达式如(1)。

$$I_{wq}=X_1+0.1X_2+0.01X_3+0.001X_4 \quad (1)$$

其中:I_{wq}——综合水质标识指数;

X_1——综合水质类别,当水质因子优于再生水利用标准时,X_1 取 1,否则取 2;

X_2——综合水质在水质类别区间内所处的位置,由计算得出,见参考文献[4];

X_3——劣于再生水利用标准的指标数目;

X_4——综合水质类别差异,当 $X_2=0$,X_4 取 0,否则取 1。

特别地,基本要求、嗅为描述性指标,埃希氏大肠菌群要求为未检出,无法计算得出,因此,定义当 3 个指标满足再生水利用标准时,$X_1+0.1X_2$ 取 1.0,否则取 2.0。

1.4 评估过程

以深圳市原特区内 8 座水质净化厂为典型样本,搜集 8 座水质净化厂 2019 年 6 月—2021 年 6 月共两年的出水水质季度监测报告(其中 C 厂为新投产,出水水质监测数据从 2020 年 6 月起),因城镇污水处理厂出水排放标准与再生水标准指标存在差异,再生水水质评估缺项的色度、基本要求、嗅、TDS、浑浊度、DO、余氯和埃希氏大肠菌群 8 项指标安排于 2021 年 9 月采集 3 次出水,每周一次,由深圳市排水监测站进行检测。将搜集到的报告和补测数据汇总,以再生水利用标准为依据,分析 8 座水质净化厂出水再生利用达标状况,评估各厂出水综合水质状况。基于出水再生利用水质风险,提出再生利用水质改善措施及建议。

2 结果和讨论

2.1 深圳市水质净化厂现状

截至 2021 年底,深圳市建成水质净化厂 38 座,处理规模达 629.5 万 m^3/d。其中,27 座水质净化厂执行部分指标满足地表水Ⅳ类排放标准,设计处理能力为 400.5 万 m^3/d,占比 63.6%;5 座水质净化厂执行部分指标满足地表水Ⅴ类排放标准,设计处理能力为 90 万 m^3/d,占比 14.3%;其余 6 座水质净化厂执行国家一级 A 排放标准,设计处理能力为 139 万 m^3/d。主体生化工艺采用 AAO 及其改良、SBR 及其改良、MBR、活性污泥法、MBBR 和 BAF,水质净化厂数量分别为 25、3、4、1、2 座和 3 座,其中 AAO 及其改良工艺(包括多模式 AAO、多级 AO、改良 MUCT 等)占比最大,设计处理规模为 413 万 m^3/d。

深圳市原特区内 8 座水质净化厂(表 1)总设计规模为 193 万 m^3/d,占全市总处理规模的 30.7%,其中 3 座水质净化厂执行部分指标满足地表水Ⅳ类排放标准,设计处理规模为 57 万 m^3/d,占原特区内设计规模的 29.5%;1 座水质净化厂执行部分指标满足地表水Ⅴ类排放标准,设计处理规模为 30 万 m^3/d,占原特区内设计规模的 15.5%;其余 4 座水质净化厂执行国家一级 A 排放标准,设计处理规模为 106 万 m^3/d。其主体生化工艺多采用 AAO 及其改良和 MBR(合计 7 座),仅 G 厂采用 BAF 工艺。

表 1 深圳市原特区内水质净化厂概况

Tab. 1 General Situation of Original WWTPs in Shenzhen Special Zone

净化厂名称	设计规模/($m^3\cdot d^{-1}$)	执行标准	主体工艺	污水性质
A 厂	30 万	部分指标满足地表水Ⅴ类标准	AAO/氧化沟+微絮凝+V 型滤池	生活污水
B 厂	40 万	部分指标满足地表水Ⅳ类标准	MBR	生活污水
C 厂	5 万	部分指标满足地表水Ⅳ类标准	MBR	生活污水
D 厂	40 万	一级 A	强化脱氮 AAO+纤维转盘滤池	生活污水
E 厂	56 万	一级 A	改良 MUCT+高密度沉淀池	生活污水
F 厂	5 万	一级 A	MBR	生活污水
G 厂	5 万	一级 A	BAF+Actiflo 高效沉淀池	生活污水
H 厂	12 万	部分指标满足地表水Ⅳ类标准	AAO+高效沉淀池	生活污水

2.2　出水排放标准与再生水标准对比

深圳市水质净化厂出水排放标准与再生水利用标准的指标对比如表 2 所示。目前深圳市水质净化厂主要执行部分指标满足地表水Ⅳ类水标准、部分指标满足地表水Ⅴ类水标准和一级 A 排放标准,实际出水水质均优于一级 A 排放标准,考核水质指标 12 项。再生水利用中观赏性景观环境用水(河道类)涉及水质指标 9 项,城市杂用水(城市绿化、道路清扫、消防、建筑施工)涉及水质指标 11 项。再生水利用标准与出水排放标准交叉衔接指标 8 项,其中 7 项指标限值等同于一级 A 标准限值,意味着当水质净化厂出水优于一级 A 排放标准时,对应的 7 项水质指标均满足再生水利用要求。观赏性景观环境用水(河道类)中色度指标限值提高到 20 度,严于一级 A 排放标准。再生水利用标准特有水质指标 7 项,因再生水应用场景不同,水质指标及限值不同。因此,除 8 项交叉衔接指标外,其余 7 项水质指标也需纳入再生水水质评估。

表 2　出水排放标准与再生水标准指标对比

Tab. 2　Comparison between Effluent Discharge Standard and Reclaimed Water Standard Index

水质指标	水质净化厂排放标准			城市污水再生利用	
	一级 A	部分指标满足地表水Ⅴ类水标准	部分指标满足地表水Ⅳ类水标准	观赏性景观环境用水(河道类)	城市杂用水(城市绿化、道路清扫、消防、建筑施工)
COD_{Cr}/(mg·L^{-1})	50	40	30	-	-
BOD_5/(mg·L^{-1})	10	10	6	10	10
SS/(mg·L^{-1})	10	10	8(10)[b]	-	-
动植物油/(mg·L^{-1})	1	1	0.5	-	-
石油类/(mg·L^{-1})	1	1	0.5	-	-
阴离子表面活性剂/(mg·L^{-1})	0.5	0.5	0.3	-	0.5
TN/(mg·L^{-1})	15	15	10(15)[b]	15	-
氨氮/(mg·L^{-1})	5(8)[a]	2(4)[a]	1.5	5	8
TP/(mg·L^{-1})	0.5	0.4	0.3	0.5	-
色度/度	30	30	15	20	30
pH 值	6~9	6~9	6~9	6~9	6~9
粪大肠菌群/(个·L^{-1})	1 000	1 000	1 000	1 000	-
基本要求	-	-	-	无漂浮物,无令人不愉快的嗅和味	-
嗅	-	-	-	-	无不快感
TDS/(mg·L^{-1})	-	-	-	-	1 000(2 000)[c]
浑浊度/NTU	-	-	-	10	10
DO/(mg·L^{-1})	-	-	-	-	≥2
余氯/(mg·L^{-1})	-	-	-	-	总氯≥1(出厂),≥0.2(管网末端)[d]
埃希氏大肠菌群/[MPN·(100 mL)$^{-1}$ 或 CFU·(100 mL)$^{-1}$]	-	-	-	-	无[e]

注:-表示此项无要求;[a]括号内数值为水温≤12 ℃时的控制指标;[b]括号内数值为提标改造水质净化厂的排放限值;[c]括号内数值为沿海及本地水源中 TDS 含量较高的区域的指标;[d]用于城市绿化时,不应超过 2.5 mg/L;[e]大肠埃希氏菌不应检出

2.3 出水再生利用达标状况分析

深圳市原特区内 8 座水质净化厂近两年出水水质与再生水利用标准对比如图 1~图 13 所示。对比再生水利用标准中 15 项水质指标及限值,评估期内(2019 年 6 月—2021 年 6 月)出水 BOD_5、阴离子表面活性剂、TN、氨氮、TP、pH 和粪大肠菌群均满足观赏性景观环境用水(河道类)和城市杂用水(城市绿化、道路清扫、消防、建筑施工)指标要求,其中 A、B、C、D、E、F、G 厂和 H 厂出水 BOD_5 平均值分别为 1.02、0.93、0.86、0.96、0.98、1.36、1.33 mg/L 和 0.93 mg/L,最大值不超过 2.80 mg/L,远低于再生水利用标准限值。城市杂用水对阴离子表面活性剂限值为 0.5 mg/L,各厂出水质量浓度均稳定在 0.1 mg/L 左右,仅 F 厂和 C 厂分别在 2019 年 9 月和 2020 年 9 月出现高值,但均未超标。除 C 厂外,各厂出水 TN 质量浓度基本处于 10 mg/L 以下,满足观赏性景观环境用水(河道类)指标限值(15 mg/L)。出水氨氮质量浓度基本低于 1 mg/L,远优于再生水利用水质要求。各厂出水 TP 质量浓度均低于 0.3 mg/L,满足观赏性景观环境用水(河道类)0.5 mg/L 限值要求。出水 pH 值均处于 6.5~8.0,满足水质标准要求。粪大肠菌群数除少数情况下高于 100 个/L 外,其他均稳定在 20 个/L,表明出水微生物指标满足再生水的使用要求。

出水色度满足城市杂用水(城市绿化、道路清扫、消防、建筑施工)限值要求,但 A 厂出水色度平均值为 26.7 度,超过观赏性景观环境用水(河道类)水质要求(20 度),超标概率为 2/3,可能受下坪填埋场渗滤液的不规范排入影响;另外,D 厂和 F 厂出水色度平均值分别为 18.0 度和 18.3 度,存在接近标准限值的情况,具有超标风险。深圳属沿海地区,TDS 指标限值要求为 2 000 mg/L,除 H 厂外,其他厂出水 TDS 质量浓度均低于 1 000 mg/L,H 厂因排水管网受海水倒灌影响较大,出水平均值为 2 337 mg/L,显著高于其他厂,超标概率为 3/3,因此出水不满足城市杂用水要求。各厂出水浑浊度平均值分别为 3.47、0.24、0.24、0.79、0.53、0.51、0.62 NTU 和 0.66 NTU,满足再生水利用水质要求。当再生水用于城市杂用时,出水 DO 质量浓度要求不低于 2 mg/L,各厂出水 DO 浓度均在限值以上,其中 E 厂和 F 厂出水 DO 浓度接近限值,存在不达标风险。

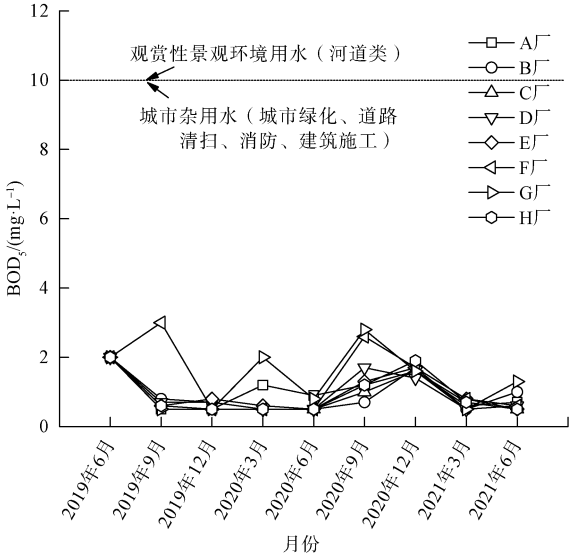

图 1 近两年出水 BOD_5 浓度与再生水利用标准对比

Fig. 1 Comparison of Effluent BOD_5 and Reclaimed Water Utilization Standards in Recent Two Years

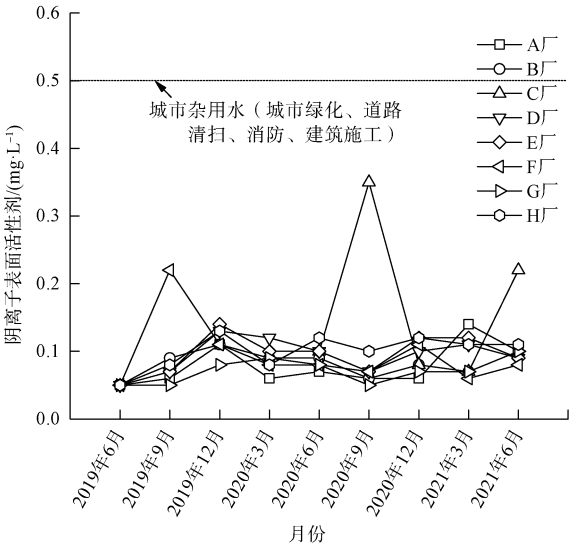

图 2 近两年出水阴离子表面活性剂浓度与再生水利用标准对比

Fig. 2 Comparison of Effluent LAS and Reclaimed Water Utilization Standards in Recent Two Years

城市杂用水要求剩余消毒剂总氯指标出厂水不低于 1 mg/L,管网末端余氯质量浓度不低于 0.2 mg/L,且用于城市绿化时,管网末端不高于 2.5 mg/L,对比出水水质发现,各厂出水均不符合标准要求,B、C 厂和 D 厂出水余氯为 0,不达标概率为 3/3,表明三厂仅采用紫外消毒,未采用 NaClO 联合消毒。A 厂

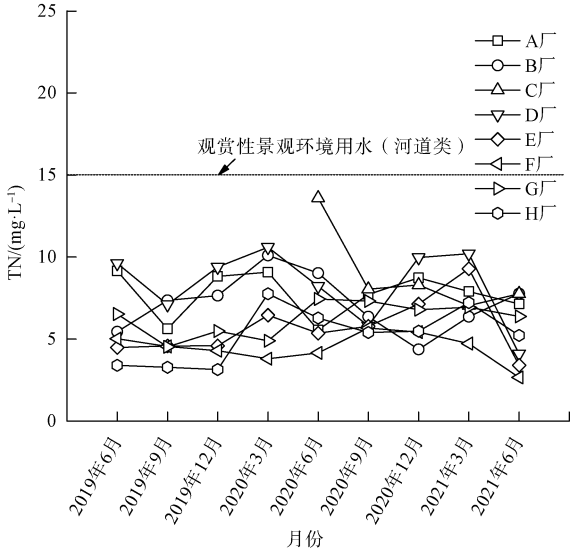

图 3　近两年出水 TN 浓度与再生水利用标准对比

Fig. 3　Comparison of Effluent TN and Reclaimed Water Utilization Standards of Eight WWTPs in Recent Two Years

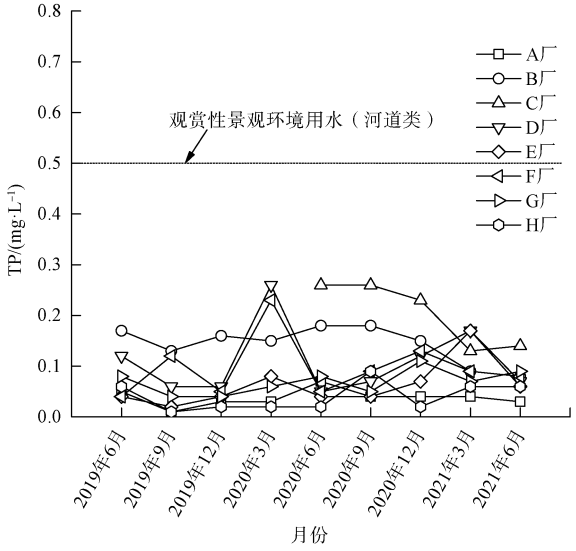

图 5　近两年出水 TP 浓度与再生水利用标准对比

Fig. 5　Comparison of Effluent TP and Reclaimed Water Utilization Standards of Eight WWTPs in Recent Two Years

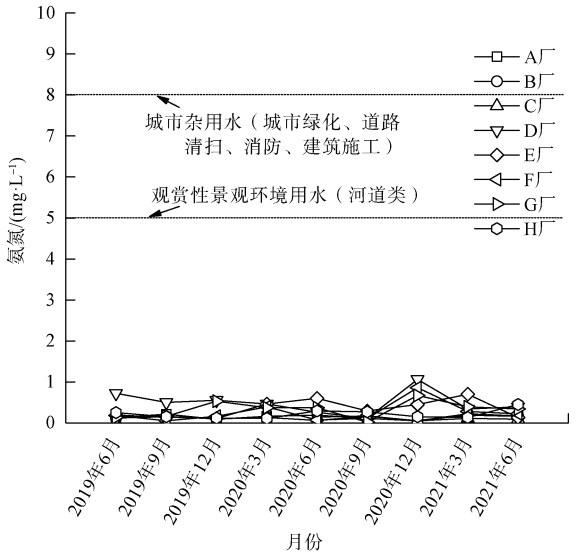

图 4　近两年出水氨氮浓度与再生水利用标准对比

Fig. 4　Comparison of Effluent Ammonia Nitrogen and Reclaimed Water Utilization Standards in Recent Two Years

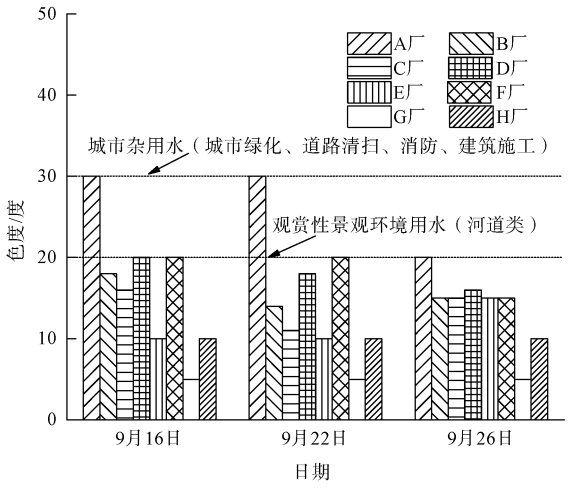

图 6　近两年出水色度与再生水利用标准对比

Fig. 6　Comparison of Effluent Chroma and Reclaimed Water Utilization Standards in Recent Two Years

出水余氯质量浓度相对较高(0.5~1.0 mg/L),但仍不满足出厂水标准要求。E、F、G 厂和 H 厂出水余氯平均值分别为 0.03、0.03、0.67 mg/L 和 0.94 mg/L,不达标概率分别为 3/3、3/3、2/3 和 2/3。出水埃希氏大肠菌群除 B 厂和 F 厂符合标准要求外,其他各厂均存在超标情况,其中 D 厂超标最多,超标概率为 3/3。观赏性景观环境用水(河道类)基本要求为“无漂浮物,无令人不愉快的嗅和味”,城市杂用水(城市绿化、道路清扫、消防、建筑施工)对嗅的要求为“无不快感”,经对各厂出水评估,出水满足两项感官性状指标要求。

综上,深圳市原特区内 8 座水质净化厂出水再生利用 4 项指标(色度、TDS、余氯和埃希氏大肠菌群)存在不同程度超标或不达标情况,1 项指标(DO)存在不达标风险。由前文可知,8 座水质净化厂均执行一级 A 及以上排放标准,因此,扩展至全市水质净化厂,当出厂水作为再生水使用时,水质达

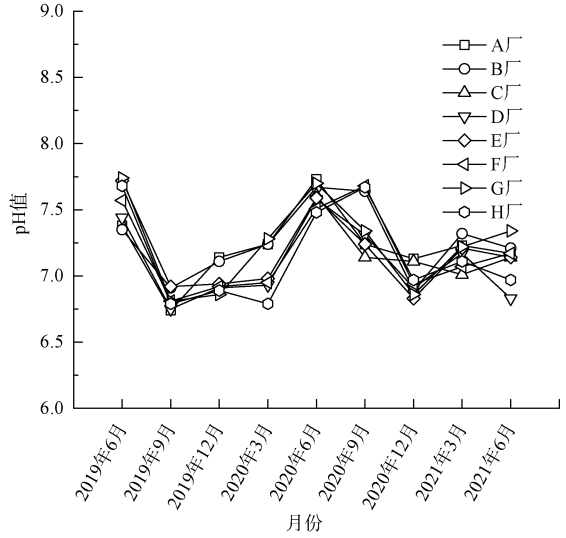

图 7 近两年出水 pH 值与再生水利用标准对比

Fig. 7 Comparison of Effluent pH Value and Reclaimed Water Utilization Standards in Recent Two Years

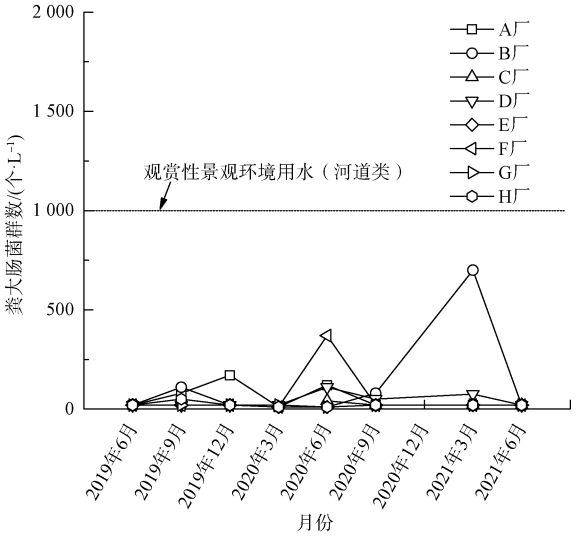

图 8 近两年出水粪大肠菌群数与再生水利用标准对比

Fig. 8 Comparison of Effluent *Escherichia coli* and Reclaimed Water Utilization Standards in Recent Two Years

标状况同样本数据。

2.4 水质综合评估

深圳市原特区内 8 座水质净化厂出水再生利用水质综合评估结果如下，A ~ H 厂的 I_{wq} 分别为 1.431、1.311、1.421、1.421、1.421、1.311、1.321、1.331。A、B、C、D、E、F、G 厂和 H 厂近两年出水水质综合水质标识指数 I_{wq} 在 1.311 ~ 1.431。根据前文定义可知，当 I_{wq} 越接近于 1.0 时，表明综合水质状况越优；当 I_{wq} 越接近于 2.0，表明综合水质状况越差。各厂出水 I_{wq} 均在 1.0 ~ 2.0，且靠近 1.0，表明各厂出水再生利用综合水质较优，且 B、F、G 厂和 H 厂出水综合水质优于其他四厂。出水再生利用 5 项超标/不达标风险因子中余氯和埃希氏大肠菌群对 I_{wq} 贡献最大，因此，通过加强再生水消毒控制，可以显著提高综合水质水平。

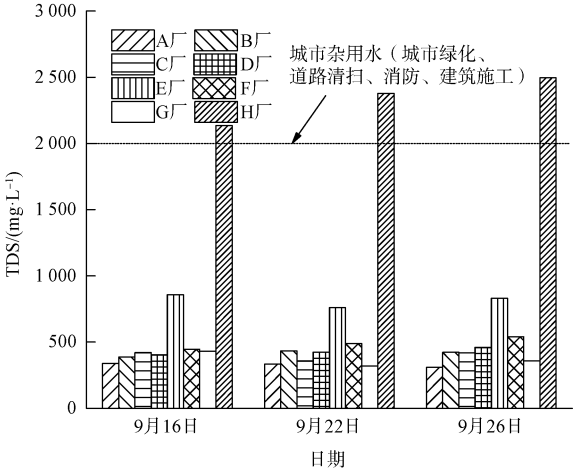

图 9 近两年出水 TDS 浓度与再生水利用标准对比

Fig. 9 Comparison of Effluent TDS and Reclaimed Water Utilization Standards in Recent Two Years

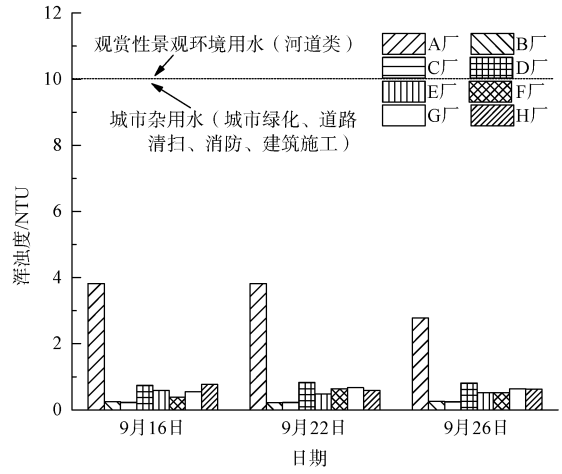

图 10 近两年出水浑浊度与再生水利用标准对比

Fig. 10 Comparison of Effluent Turbidity and Reclaimed Water Utilization Standards in Recent Two Years

2.5 再生利用水质改善措施

深圳市 38 座水质净化厂出水水质优于一级 A 排放标准，出水再生利用存在色度、TDS、余氯和埃希氏大肠菌群超标或不达标情况，DO 指标存在不

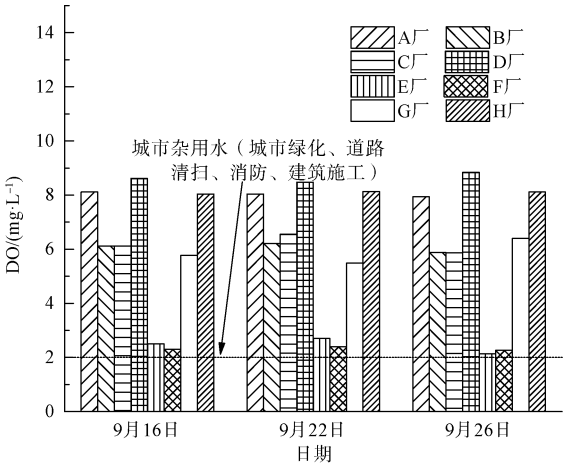

图 11　近两年出水 DO 浓度与再生水利用标准对比

Fig. 11　Comparison of Effluent DO and Reclaimed Water Utilization Standards in Recent Two Years

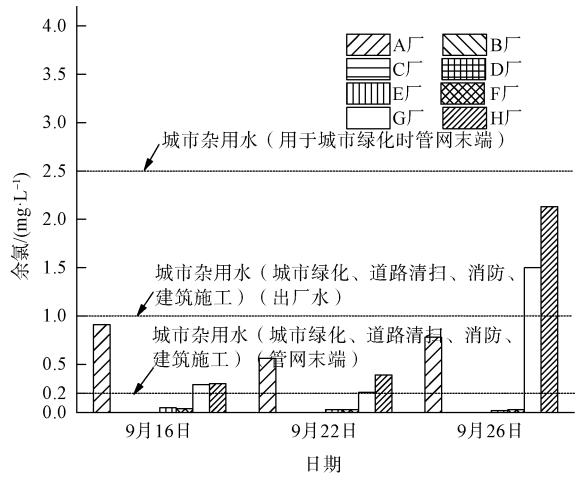

图 12　近两年出水余氯浓度与再生水利用标准对比

Fig. 12　Comparison of Effluent Residual Chlorine and Reclaimed Water Utilization Standards in Recent Two Years

达标风险。因此,针对 5 项超标/不达标风险因子提出水质改善措施(表 3),优化再生水使用用途,以扩大再生水使用范围和用量,缓解目前深圳市面临的抗旱保供水紧张局面。

城镇污水色度的深度处理工艺主要包括混凝、过滤、活性炭吸附、臭氧氧化、反渗透及其组合等技术[5]。一般地,城镇污水处理厂尾水色度能够满足再生水标准限值要求,深圳市 A、D 厂和 F 厂出水色度较高主要原因分别是受下坪填埋场的不规范排入和协同处理城市有机废弃物厌氧沼液影响。因此,管理层面上,一是加强下坪填埋场尾水排放管理及执法监督,杜绝未经处理或处理不达标渗滤液进入

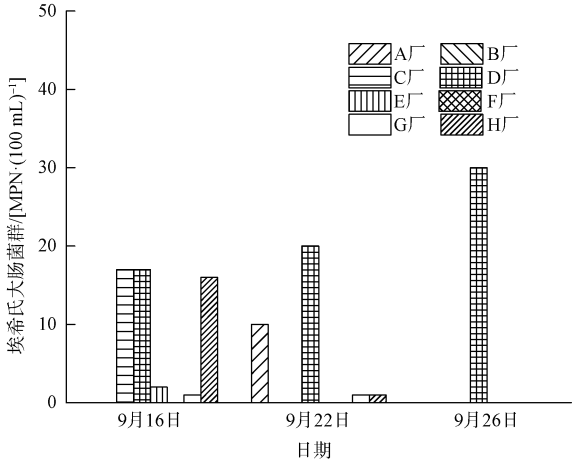

图 13　近两年出水埃希氏大肠菌群与再生水利用标准对比

Fig. 13　Comparison of Effluent *Escherichia coli* and Reclaimed Water Utilization Standards in Recent Two Years

市政排水管网;二是合理确定厌氧沼液的掺入比,减少有机显色基团的含量。工艺运行优化层面,一是加大水质净化厂尾水/再生水消毒单元 NaClO 投加量或接触时间(具体参数通过烧杯试验确定);二是强化混凝单元运行管理(混凝剂种类及投加量);三是加强过滤单元(尤其是砂滤)运行管理。此外,还可以采取工程改善手段解决,常用的工程措施是新增臭氧氧化接触池[6]。

污水中 TDS 的有效去除技术主要包括反渗透、电渗析、蒸馏和离子交换[7],基于城镇污水盐分的特点,反渗透是当前再生水利用中除盐的最经济高效工艺。考虑到再生水用于低端城市杂用(城市绿化、道路清扫、消防、建筑施工),而采用反渗透工艺能源消耗和运行成本较高,因此,不具备经济可行性。深圳市 H 厂出水 TDS 较高主要受海水倒灌排水管网影响,从管理上来说,需要实施盐田区排水管网提质增效,减少海水倒灌及入渗。短期内非工程改善措施对于 TDS 难以奏效,因此,依据再生水“以质定用”原则,应限制 TDS 超标再生水用于城市杂用,尤其是城市绿化(氯离子过高导致园林植物死亡)。

城市杂用水水质要求 DO 质量浓度不低于 2 mg/L,部分水质净化厂出水接近指标下限,一般通过设置复氧池或利用跌水曝气予以解决。对于水质净化厂运行管理,适当提高尾水水头以充分利用跌水复氧或适当提高好氧池 DO 浓度可能是有效措

施。作为再生水利用剩余消毒剂指标余氯和微生物学指标埃希氏大肠菌群是相互关联的,主要通过加大再生水消毒单元 NaClO 投加量或接触时间,使出水余氯质量浓度稳定在 1 mg/L 以上,管网末端余氯质量浓度在 0.2~2.5 mg/L(用于城市绿化)或者 0.2 mg/L 以上(用于道路清扫),同时埃希氏大肠菌群不得检出。如城市杂用采用环卫洒水车取水,则只需出水余氯质量浓度稳定在 1 mg/L 以上即可。

表 3 再生水利用水质风险因子及改善措施

Tab. 3 Water Quality Risk and Improvement Measures of Reclaimed Water Utilization

超标/不达标风险因子	管理优化措施	工程提升措施	短期非工程改善措施
色度	①加强下坪填埋场尾水排放管理及执法监督; ②合理确定厌氧沼液的掺入比; ③加大水质净化厂尾水/再生水消毒单元 NaClO 投加量或接触时间; ④强化混凝单元运行管理; ⑤加强过滤单元运行管理	新增臭氧氧化接触池	加大水质净化厂尾水/再生水消毒单元 NaClO 投加量或接触时间
TDS	实施排水管网提质增效	–	–
DO	①适当提高尾水水头以充分利用跌水复氧; ②适当提高好氧池 DO 浓度	新增复氧池	①适当提高尾水水头以充分利用跌水复氧; ②适当提高好氧池 DO 浓度
余氯和埃希氏大肠菌群	加大再生水消毒单元 NaClO 投加量或接触时间	–	加大再生水消毒单元 NaClO 投加量或接触时间

3 结论

(1)深圳市 38 座水质净化厂实际出水水质均优于一级 A 排放标准,其中 27 座水质净化厂执行部分指标满足地表水Ⅳ类水排放标准,占处理能力的 63.6%。再生水利用标准中 7 项指标限值等同于出水排放标准一级 A 标准限值,另外,再生水利用标准特有水质指标 7 项,因再生水应用场景不同,水质指标及限值不同,需纳入再生水水质评估。

(2)深圳市水质净化厂出水再生利用 4 项指标(色度、TDS、余氯和埃希氏大肠菌群)存在不同程度超标或不达标情况,1 项指标(DO)存在不达标风险。水质综合评估显示,出水再生利用综合水质较优,通过加强再生水消毒控制,可以显著提高综合水质水平。短期内再生利用水质改善措施以非工程管理优化措施为主,主要包括加大消毒单元 NaClO 投加量或接触时间及适当提高出水 DO 浓度。

(3)水质净化厂出水达到一级 A 排放标准及以上时,通过加强再生水消毒工艺管理,可以用于河道补水和市政杂用(城市绿化、道路清扫、消防、建筑施工),以提高污水再生利用水平,缓解缺水地区水资源短缺局面。

参考文献

[1] 深圳市水务局. 深圳基本水情[EB/OL]. (2022-04-24)[2022-02-16]. http://swj.sz.gov.cn/xxgk/zfxxgkml/szswgk/szjbsq/index.html.

[2] 胡爱兵, 杨少平. 深圳市非常规水资源利用现状、问题及策略[C]. 成都: 面向高质量发展的空间治理——2021 中国城市规划年会论文集(03 城市工程规划), 2021.

[3] 胡洪营. 中国城镇污水处理与再生利用发展报告(1978—2020)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.

[4] 王蕊. 北京地区典型再生水补水型河道水质评价及改善措施研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2021.

[5] 胡洪营, 吴乾元, 黄晶晶, 等. 再生水水质安全评价与保障原理[M]. 北京: 科学出版社, 2011.

[6] 许世伟, 张伟军, 李魁晓, 等. 城市污水再生处理过程中臭氧氧化脱色及稳定性研究[J]. 环境科学学报, 2014, 34(12): 2973-2978.

[7] 张继光, 李健, 陈双星, 等. 污水脱盐处理大规模回用的工艺技术研究——天津开发区污水处理厂污水回用工程[J]. 给水排水, 2001(10):1-6.