

• 城镇给排水 •

净水厂回用水中的四角角星鼓藻繁殖原因与控制方法探讨

刘志泉¹ 崔福义¹ 马 华¹ 何文杰² 阴沛军²

(1 哈尔滨工业大学城市水资源与水环境国家重点实验室, 哈尔滨 150090;

2 天津自来水集团有限公司, 天津 300040)

摘要 为研究夏季净水厂回用水中藻类繁殖问题, 对天津某水厂各水处理单元内藻类含量变化进行调查, 结果表明净水厂废水回用有可能导致四角角星鼓藻繁殖, 构成新的污染源, 原水与回用水混合后经预氯化—混凝沉淀—过滤工艺处理, 沿程四角角星鼓藻可占藻类总量的 16%~60%, 是各单元处理后水中残留的主要藻类之一, 并且少量四角角星鼓藻可穿透滤池, 影响供水安全。对该藻繁殖原因分析研究表明, 铁浓度 0.6~2 mg/L 时四角角星鼓藻具有较快生长速率, 混凝剂投加造成生产废水中铁残留量较高是四角角星鼓藻在回流池获得竞争优势的主要原因。

关键词 废水回用 藻类繁殖 铁 四角角星鼓藻

Reasons for the square-pointed star desmids reproduction in the water treatment plant reclaimed water and its control

Liu Zhiquan¹, Cui Fuyi¹, Ma Hua¹, He Wenjie², Yin Peijun²

(1. State Key Laboratory of Urban Water Resource and Environment, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2. Tianjing Water Group Co., Ltd., Tianjing 300040, China)

Abstract: Taking the square-pointed star desmids as case study, this paper studied the algae reproduction in the reclaimed water of water treatment plant. The variance of algae in water processing units of a water treatment plant in Tianjing were studied and the results showed: the reclaimed water in water treatment plant might be the cause of the square-pointed star desmids reproduction and produce the new pollution; if the mixture of raw water and reclaimed water was treated by the combination of prechlorination-coagulation and sedimentation-filtration, the proportion of square-pointed star desmids in all algae could be 16% to 60% and be the main remaining algae in processing units; small quantity of square-pointed star desmids could penetrate the filter and do harm to the water quality. Analysis of the reproduction of this kind of algae showed that the square-pointed star desmids could reproduce rapidly when the iron content was between 0.6~2 mg/L, and the high content of remaining iron in production wastewater caused by coagulant was the main reason for the advantage of square-pointed star desmids in the competition.

Keywords: Reclaimed water; Algae reproduction; Iron; Square-pointed star desmids

在净水厂生产过程中, 沉淀池排泥及滤池反冲

洗会产生大量生产废水。随着水资源日益匮乏, 为了提高原水及混凝剂利用效率, 人们对净水厂生产废水合理回用问题越来越关注, 并对废水回用方式、方法以及效果进行大量研究^[1~3]。与此同时, 废水

国家自然科学基金(50778048); 国家自然科学基金创新研究群体(50821002); 广西重点实验室研究基金(桂科能 0804K014)。

回用可能带来的安全问题也日益受到重视,但是以往的研究主要集中于回用水中有机物^[4~6]、金属元素以及微生物^[7~9]等方面,对于废水回用所带来的藻类增加问题鲜见报道。实践中发现,被水处理去除的藻类随回用水再次进入原水并且可能在回用途径中发生异常增殖,干扰水处理系统的正常运行。藻类在回用水的循环中自身积累,使问题愈演愈烈,在夏季高藻期时尤为突出。本文针对在天津某水厂生产中发现的废水回用过程中四角角星鼓藻大量繁殖的实际问题,分析该现象发生原因,对回用水中藻类积累以及繁殖与控制等问题进行了初步探讨。

1 材料与方法

1.1 水厂净水工艺

该厂以引滦水为原水,处理水量 12 000 m³/d,处理流程如图 1 所示,各工艺单元水力停留时间见表 1,研究期间原水水质见表 2。

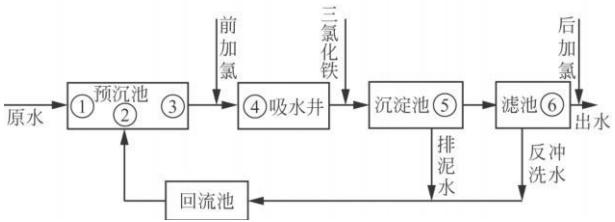


图 1 水厂工艺流程示意

表 1 构筑物水力停留时间

构筑物名称	水力停留时间	构筑物名称	水力停留时间
预沉池	72 h	滤池	10 min
吸水井	20 min	回流池	12 h
沉淀池	25 min		

表 2 原水水质参数范围

项目	数值
藻含量/10 ⁴ 个/L	230~ 6 600
水温/℃	22~ 29
pH	7.7~ 8.4
浊度/NTU	5~ 19
碱度(以 CaCO ₃ 计)/mg/L	95~ 135
高锰酸盐指数/mg/L	3.3~ 4.35
氨氮/mg/L	0.021~ 0.56
总磷/mg/L	0.044~ 0.057
总铁/mg/L	0.11~ 0.18

1.2 取样点与水质数据分析阶段划分

取样点沿水处理流程设置,分别在原水进口①、回流水进入预沉池混合处②、预沉池出口③、吸水井进口④、沉淀池出口⑤、滤池出口⑥取样(见图 1)。

本研究于 2007 年 7 月至 8 月间进行,在各取样点每天取样检测。研究期间原水藻类含量由低至高,藻类组成由绿藻占优逐步转变为蓝藻占优,依据原水藻类变化情况,对检测结果分三个阶段(7 月 1~ 4 日,7 月 21~ 25 日,8 月 11~ 15 日)取算数平均值作图分析。其中第一阶段原水中以绿藻为主,藻类含量较低;第二阶段原水中蓝藻所占比例增加,藻类含量上升明显;第三阶段原水中以蓝藻为主,藻类含量较高,并且总量相对稳定。

1.3 藻类培养方法

藻种取自回流池出水(四角角星鼓藻含量 3 070 × 10⁴ 个/L,相对含量 97.01%),用蒸馏水稀释至 375 × 10⁴ 个/L 后,于玻璃水箱中培养。营养液按照 Knop 改良培养液中各营养盐比例稀释至标准浓度的 5% (铁单独投加)。

1.4 检测方法

藻类检测采用显微镜计数法,采集水样 1 L,加鲁哥氏碘液固定。从该水样中取 500 mL,用醋酸纤维素膜(孔径 0.65 μm)过滤。然后将带有浮游植物的滤膜放入 50 mL 烧杯中,加高纯水定容至 30 mL。将该盛有滤膜的烧杯放入超声波清洗器中(CBL, C5860A 型)振荡 10 min 后取出。用微量移液器吸取 0.1 mL 样品注入 0.1 mL 藻类计数框(中科院武汉水生所定制),在显微镜(OLYMPUS, BX41 型)10×40 倍镜下分类计数,其中,对群体水华微囊藻也按细胞计数。镜检 50 个视野,分别对各门藻类计数,再折算出 1 L 水样中的藻类数量。

其他指标按照《水和废水监测分析方法》(第四版)进行检测。

2 结果与分析

2.1 常规工艺流程中四角角星鼓藻的含量变化

各阶段藻类含量变化如图 2~ 图 4 所示。

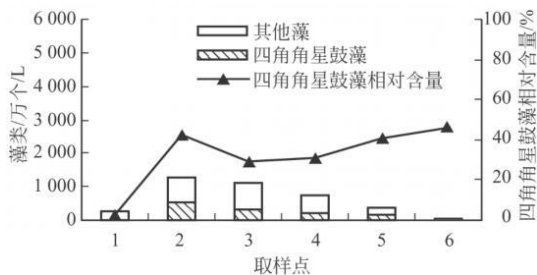


图 2 第一阶段藻类含量沿工艺变化

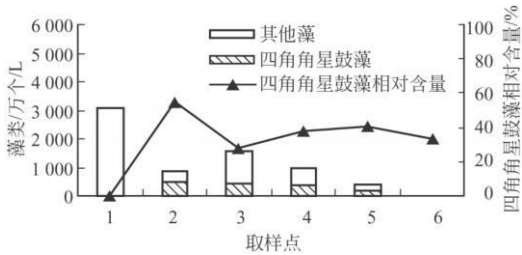


图3 第二阶段藻类含量沿工艺变化

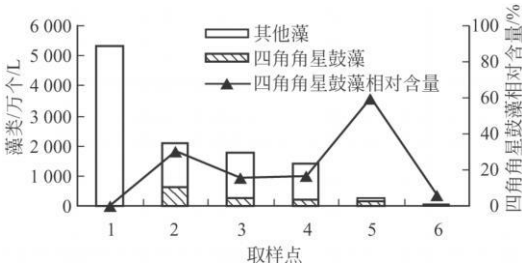


图4 第三阶段藻类含量沿工艺变化

从图2~图4可知,原水(取样点①)藻类总含量各阶段变化幅度较大,由 260×10^4 个/L上升至 5300×10^4 个/L,但四角角星鼓藻含量一直保持在极低水平,试验期间平均含量不足 10×10^4 个/L,最高仅为 12×10^4 个/L,相对含量最高不超过藻类总量的3%;当原水与回流池出水混合后(取样点②)四角角星鼓藻含量突然增加,可占藻类总含量的28%~42%,可见四角角星鼓藻主要来自于回流池。混合后水流至预沉池出口时(取样点③)四角角星鼓藻含量有所降低,在藻类中所占比例也有所下降,经过预氧化(取样点④)一混凝沉淀(取样点⑤)一过滤(取样点⑥)后,藻类整体得到有效去除,沿程藻类总含量以及四角角星鼓藻含量均有较大幅度降低,但四角角星鼓藻一直在藻类总体中占有较高比例,相对含量多在20%~40%,最高可达60%,是水处理后残留藻类的主要藻种之一,特别是四角角星鼓藻可穿透滤池,研究期间滤后水中均有四角角星鼓藻存在,影响供水水质。

试验期间,原水中藻类含量变化幅度较大,各阶段藻类整体去除规律也有所不同,但是四角角星鼓藻含量变化并未受明显影响,一直在较小范围内变动。四角角星鼓藻在原水中是一种常见但并不占优势地位的藻类,而在各水处理构筑物内却成为优势藻类之一,当原水与回流池出水混合后,该藻含量稳定

在 $500 \times 10^4 \sim 650 \times 10^4$ 个/L范围内,随水处理过程进行,含量逐步降低,预氧化后约为 300×10^4 个/L,混凝沉淀后约为 140×10^4 个/L,过滤后为 $2 \times 10^4 \sim 12 \times 10^4$ 个/L,三个水质阶段变化趋势相同,并且各阶段四角角星鼓藻含量差距较小(见图2~图4)。四角角星鼓藻去除规律不受原水藻类变化影响,但在原水与回流池出水混合后该藻含量突然增加,证明回流池是该藻的主要增殖地。这一现象说明四角角星鼓藻在回流池中有着自身独特的增殖规律。

考虑到四角角星鼓藻在原水中含量极低,而随废水回用在水处理过程内部得到积累,并对水处理工艺正常运行造成不利影响,四角角星鼓藻在水处理过程中的增殖问题尤为值得重视。

2.2 回流池中四角角星鼓藻的增殖情况

预沉池中段原水与回流池出水混合后四角角星鼓藻含量突然增加,表明回流池出水中该藻含量较多,对回流池进出水中藻类进行检测,其结果如图5、图6所示。

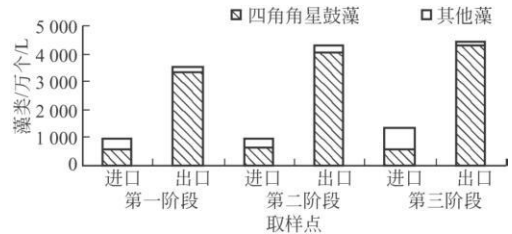


图5 回流池中藻类含量变化

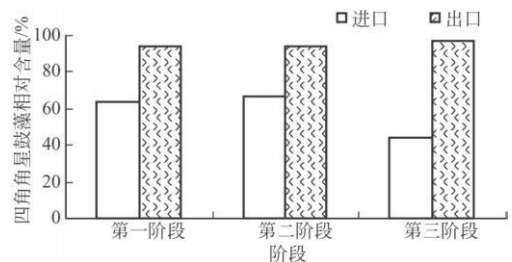


图6 回流池中四角角星鼓藻相对含量变化

从图5知,回流池进口处藻类总量约为 1000×10^4 个/L,四角角星鼓藻含量不超过 700×10^4 个/L,而在出口处藻类总量显著增加,主要表现为四角角星鼓藻含量急剧增加,不同阶段检测结果均超过 3000×10^4 个/L,最高可达 4280×10^4 个/L,是入口处的5倍以上,其他藻类含量较少,甚至低于回流池进口含量。四角角星鼓藻在回流池大量生长繁殖,具有明显的竞争优势,不仅表现在数量上快速增长,而且该藻在藻

类总体中所占比例同样显著增加,从进口的60%左右增加到出口的93%以上,最高可达97%(见图6)。

在回流池快速繁殖的四角角星鼓藻随回用水与原水混合,经水处理工艺后其中部分四角角星鼓藻又随生产废水排放再次回到回流池,并在回流池继续繁殖,形成在水处理流程内部的循环过程,这一过程中四角角星鼓藻的危害因其在回流池中快速繁殖的特性而得到放大,藻类含量不断积累,持续地对水处理工艺运行以及供水水质安全造成威胁。

2.3 四角角星鼓藻增殖原因分析

2.3.1 回流池适合藻类生长的一般条件

该水厂出于节水目的将排泥水及反冲洗水进行回用,并设置回流池利用自然沉淀去除回流水中部分杂质。为充分发挥沉淀作用,回流水在池中停留时间长达12 h(见表1),为藻类生长提供了充足的时间,值得注意的是由于池体较宽,部分回流水在池中存在滞留,实际停留时间高于12 h,使藻类可能在局部出现大量生长。此外,回流池露天设置,日照充足,为藻类繁殖提供了必要的光照条件。反冲洗水以及排泥水中含有大量被水处理所去除的有机以及无机物质,这些杂质在回流池中通过沉淀作用沉积,为藻类生长提供了必要的营养物质。综合以上因素,该水厂回流池可提供藻类生长所必备的物质条件,使藻类在池内大量繁殖成为可能。

2.3.2 四角角星鼓藻在回流池具有竞争优势的特殊条件

考虑到原水中四角角星鼓藻含量极低,而在回流池中该藻又成为绝对优势藻种,在回流池出水处相对含量甚至接近100%,可见回流池中必然存在某种原水中所不具备的条件使该藻具备竞争优势,从而成为回流水中主要藻种。将原水与回流池出水常规水质参数进行对比发现,回流水中铁含量可达0.58 mg/L,约为原水铁浓度(0.14 mg/L)的4倍,而其他参数变化不大(见表3),因此水中铁元素含量变化有可能是四角角星鼓藻在回流池大量繁殖的主要原因。

取回流池出水进行藻类培养试验,以柠檬酸铁铵调节铁浓度,结果如图7。

从图7中可知,当铁浓度0.1 mg/L时,该藻生长缓慢,而在铁浓度0.6~2 mg/L时具有较快生长速

表3 原水与回流池出水水质对比

项目	原水	回流池出水
水温/℃	27.7	27.8
pH	7.90	8.12
浊度/NTU	13.02	5.98
碱度(以CaCO ₃ 计)/mg/L	103.65	99.45
高锰酸盐指数/mg/L	3.75	4.13
氨氮/mg/L	0.032	0.033
总磷/mg/L	0.050	0.052
总铁/mg/L	0.14	0.58

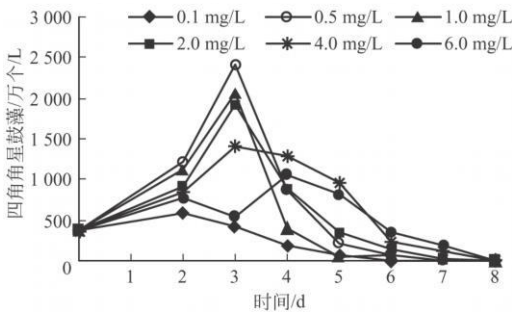


图7 不同铁浓度下四角角星鼓藻的生长曲线

率,并且最大含量也较高,其中铁浓度为0.6 mg/L时,四角角星鼓藻生长状况最好,最大含量达到 2.415×10^4 个/L,当铁浓度继续升高,该藻生长逐渐遭到抑制,生长速率较慢,但整体生长状况仍好于铁浓度0.1 mg/L时。该试验证明铁对四角角星鼓藻生长具有重要作用,铁浓度无论过低还是过高,对于四角角星鼓藻繁殖均造成不利影响,特别在低浓度铁条件下该藻几乎无法生长。该结论恰好与实际情况吻合,原水中铁浓度较低,研究期间平均值为0.14 mg/L,此条件下铁对四角角星鼓藻生长起限制作用,因此,该藻在原水中含量极低;由于水厂使用三氯化铁作为混凝剂,大量含铁污泥以及被滤池截留杂质随排泥水、反冲洗水进入回流池,部分铁元素通过溶解-沉淀平衡重新释放到水中,使回流池中铁浓度升高,试验期间回流池出水铁浓度平均达到0.58 mg/L,处于四角角星鼓藻生长所需最佳铁浓度范围内,在此条件下四角角星鼓藻得以大量繁殖,并且通过对营养物质竞争达到对其他藻类生长的限制作用,最终成为回流池绝对优势藻种。

3 控制回用水中藻类增殖方法的讨论

四角角星鼓藻细胞外有胶质包被,对细胞形成保

护作用,并且该藻顶角明显倾斜向上形成四个突起部分,可能会阻碍氧化剂与其接触,表现出耐氧化性。因此,水处理工艺中预氧化难以有效灭活,也使后续混凝沉淀同样难以取得良好效果。四角角星鼓藻具有浮游特性,能够有限调整自身在水中的停留位置,也为混凝沉淀工艺、气浮工艺去除该藻增添了难度。四角角星鼓藻由于表面顶角外伸,当与滤料接触时互相结合较为紧密,使反冲洗时难以被有效洗脱,容易在滤料中积累,增加过滤水头损失,缩短过滤周期以及滤料使用时间。同时,由于该藻细胞体部较小,使其在滤层中有可能逐渐向下层转移,最终穿透滤料^[11]。因此回用水中四角角星鼓藻大量繁殖并与原水混合后重新进入水处理流程,对水处理单元正常运行造成不利影响,需要选择合适手段进行控制。

由 2.3 分析可知回流池提供了藻类生长所需的一般条件以及四角角星鼓藻具备竞争优势的特殊条件,是该藻在回用途径中繁殖的主要场所。为控制回用水中四角角星鼓藻繁殖,需要对回流池以及回用方式进行合理改造。不同铁浓度下四角角星鼓藻生长试验表明铁对该藻繁殖具有重要影响,过低或过高浓度铁对四角角星鼓藻生长繁殖起抑制作用,适当浓度铁则对增殖起促进作用。试验所在水厂使用三氯化铁作为混凝剂,废水回用过程中又缺乏必要的除铁措施,使回流水中铁含量较高是该藻在回流池成为优势藻类的主要原因。因此,通过更换铝盐混凝剂或者对回用水进行除铁处理,降低回用水中铁浓度可以消除四角角星鼓藻在回流池中的竞争优势,从而达到控制该藻繁殖的目的。然而,当四角角星鼓藻繁殖被控制后,回流池仍能提供藻类生长所需的必要条件,其他藻类有可能继续在池中生长繁殖。为彻底解决水回用中藻类繁殖问题,可采取两方面手段。①切断回用水中藻类循环途径。由图 5 可知,回流池进水处藻类含量约为 $1\,000 \times 10^4$ 个/L,大量藻类随水回用进入回流池,如果在回流池前增设回用水处理设施,对回用水进行除藻处理或者对藻类进行灭活,能达到控制藻类繁殖的目的;②破坏回流池中有利藻类繁殖的条件。由 2.3.1 分析可知,回流池可为藻类繁殖提供必要的水力停留时间、光照以及营养盐条件,如果采用增加回流池中流速,缩短水力停留时间,增设遮光设施等手段,同样能达

到控制藻类繁殖的目的。

4 结论

(1) 净水厂废水回用有可能导致四角角星鼓藻在回用过程中繁殖,构成新的污染源。原水与回用水混合后经预氯化—混凝沉淀—过滤工艺处理,沿程四角角星鼓藻一般占藻类总量的 20%~40%,最高 60%,是各单元处理后水中残留的主要藻类之一,并且少量四角角星鼓藻可穿透滤池,影响供水水质。

(2) 回流池是该藻繁殖的主要场所,四角角星鼓藻含量可由回流池进口的不足 700×10^4 个/L 增加至出口的 $4\,000 \times 10^4$ 个/L 以上,相对含量由 60% 左右增加至 93% 以上。

(3) 铁对于四角角星鼓藻生长繁殖有着重要影响,铁浓度 0.6~2 mg/L 时该藻具有较快生长速率,过高或过低铁浓度均对其生长造成不利影响,使用铁盐混凝剂是四角角星鼓藻在回流池大量繁殖并占据优势地位的主要原因,更换混凝剂或降低回流池中铁浓度可以达到控制该藻繁殖的目的。

(4) 切断回用水中藻类循环途径或者破坏回流池中有利藻类繁殖的条件可以达到控制回用水中藻类繁殖的目的。

参考文献

- 1 Reissmann F G, Uhl W. Ultrafiltration for the reuse of spent filter backwash water from drinking water treatment. *Desalination*, 2006, 198(1-3): 225~235
- 2 Tobiason J E, Edzwald J K. Full scale assessment of waste filter backwash recycle. *JAWWA*, 2003, 95(7): 80~93
- 3 Chidambara Raj C B, Kwong T E, Cheng W W, et al. Wash water in waterworks: contaminants and process options for reclamation. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, 20(11): 1300~1305
- 4 Gottfried A, Shepard A D, Hardiman K, et al. Impact of recycling filter backwash water on organic removal in coagulation-sedimentation processes. *Water Research*, 2008, 42(18): 4683~4691
- 5 Walsh M E, Gagnon G A, Alam Z, et al. Biostability and disinfectant by-product formation in drinking water blended with UF-treated filter backwash water. *Water Research*, 2008, 42(8-9): 2135~2145
- 6 Lou J C, Lin Y C. Assessing the feasibility of wastewater recycling and treatment efficiency of wastewater treatment units. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2007, 137(1-3): 1573~2959

城市雨水资源化及其策略探讨——以上海市为例

王 珏

(华东建筑设计研究院有限公司, 上海 200002)

摘要 阐述了城市雨水资源化的涵义和作用,介绍了国内外城市雨水资源化的实践和经验,通过对上海地区特征、水资源和水环境条件、排水系统现状等具体情况分析,提出上海市的雨水资源化应将市政雨水的综合管理和建筑小区雨水的控制和综合利用相结合,提高城市防汛能力,加强径流污染控制,合理利用雨水资源。

关键词 城市 建筑与小区 雨水资源化 综合管理 雨水控制 综合利用

水是城市发展的命脉。作为城市发展高度依赖的基础资源环境条件,上海的水资源和水环境条件并不容乐观,与其城市发展地位、经济发展实力要求也不相协调。上海的水资源主要分为本地水资源和过境水资源两大部分。其中,本地水资源量(包括地下水量在内)不到过境水资源量的0.3%。如按本地水资源量计算,上海人均年水资源量不足200 m³,还不及目前用水量的1/4,远远不能满足用水要求;如加上过境水资源量,上海的人均年水资源量则可达56 550 m³[1]。可见,上海市水资源总量巨大,但本地水资源数量十分有限,主要依托长江、太湖等提供的丰富的过境水资源。另据历年上海市水资源公报对全市主要骨干河道的评价结果显示,优于Ⅲ类水质的水体比例一般在5%~10%,内河网水质一般在Ⅴ类~劣Ⅴ类[1]。因此,未来上海经济发展和城市化水平提高对水资源和水环境的巨大压力,将是上海可持续发展面临的重大挑战。

同时,在城市高速发展的过程中,上海也不可避免地存在着城市化引发的雨水问题。由于城市排水系统的设计标准和建设跟不上城市化发展水平,汛

期降雨量大而集中时,一方面排水不及时容易发生积水事件,给经济建设和居民生活带来不利影响;另一方面,大量污染物随雨水冲洗进入河道,造成水体污染。雨水问题不仅是制约城市和经济发展的一个重要因素,而且成为影响人民健康和生活环境的社会问题。

另外,从应对全球气候变化带来的风险、挖掘节能减排潜力考虑,雨水资源化有利于增加地面透水面积,优化城市微气候,降低城市热岛效应,直接减少建筑空调能耗和碳排放量,也是节能减排的一项重要而有实效的措施。

根据水资源环境现状和雨水资源的条件,对本地优质水资源稀缺而雨水资源丰富的上海来说,实现雨水资源化,进行雨水的综合管理,控制径流污染,合理规划、有效利用雨水资源,是缓解清洁水资源紧张局面、降低雨水径流污染、减轻城市排水系统压力、维护城市良性水循环、改善城市生态环境的重要途径。雨水资源化对缓解节能减排压力和建设资源节约型、环境友好型社会,对上海的城市发展向低碳生态城市转型具有重要意义。

- 7 Huck P M, Coffey B M. Effects of filter operation on cryptosporidium removal. JAWWA, 2002, 94(6): 97~110
- 8 吴灿东. 给水厂生产废水回用对水质安全性的影响. 给水排水, 2008, 34(8): 13~16
- 9 费霞丽, 崔福义. 净水厂滤池反冲洗水回用的贾第鞭毛虫和隐孢子虫的泄漏问题研究. 环境污染治理技术与设备, 2006, 7(5): 22~26
- 10 Graham N J D, Wardlaw V E, Perry R, et al. The significance of algae as trihalomethane precursors. Wat Sci Tech, 1998, 37(2):

83~89

- 11 胡鸿钧, 魏印心. 中国淡水藻类——系统、分类及生态. 北京: 科学出版社, 2006. 871~884

○ 通讯处: 150090 哈尔滨工业大学二校区市政环境工程学院 崔福义

E-mail: cuifuyi@hit.edu.cn

收稿日期: 2010 04 06