



文章栏目：学术短评

DOI 10.12030/j.cjee.202012082

中图分类号 X703

文献标识码 A

刘书明. 饮用水管网输配过程中颗粒物与微量污染物的复合污染效应及其水质风险[J]. 环境工程学报, 2021, 15(1): 1-2.  
LIU Shuming. Complex pollution effect and water quality risk of particles and micro-pollutants in drinking water distribution system[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2021, 15(1): 1-2.

# 饮用水管网输配过程中颗粒物与微量污染物的复合污染效应及其水质风险

刘书明<sup>1,2</sup>

1. 清华大学环境学院, 北京 100084

2. 《环境工程学报》青年学术委员会, 北京 100085

作者简介: 刘书明(1976—), 男, 博士, 教授。研究方向: 供水管网漏损管理、供水管网优化设计与管理、管网水质保障、水能关系等。E-mail: [shumingliu@tsinghua.edu.cn](mailto:shumingliu@tsinghua.edu.cn)

经过水厂处理后达标的出厂水需要经过管网系统输送到用户。作为给水系统中的重要环节, 饮用水管网输配过程的系列复杂反应可对用户龙头水质产生重要影响。管网“黄水”是典型的饮用水输配过程中发生的水质恶化问题, 也是自来水公司受到客户水质投诉最常见的问题。管网“黄水”产生的原因主要包括 2 个方面: 一是管网中铁质管材腐蚀产生的管垢成分(铁颗粒物)的释放; 二是出厂水残余锰在管网中氧化形成的锰沉积物(锰颗粒物)的释放。然而, 管网“黄水”问题通常被认为只是感官性状问题, 对于“黄水”中所含颗粒物及其与水中微量污染物的复合污染导致的健康危害目前尚不清楚。针对上述问题, 中国科学院生态环境研究中心石宝友研究员领衔的研究团队取得了重要研究进展, 相关成果发表在《Water Research》等环境领域主流期刊<sup>[1-4]</sup>。

在以铁颗粒物为主的“黄水”潜在健康危害研究中, 该团队一方面从实际供水管网获取以铁颗粒物为主要组分的沉积物, 另一方面在实验室合成了不同物质共存条件下的铁颗粒物(FeOOH), 通过系列大型仪器表征、细胞毒性测试和密度泛函理论计算等证实了管网中微量有机污染物可以影响铁颗粒物的形成过程并导致颗粒物毒性。主要结论包括: 1) 管网铁颗粒物与微量有机污染物(全氟化合物、消毒副产物等)复合可产生显著的细胞毒性, 其主要机制是微量污染物与铁颗粒物通过特定的共价键结合方式强化电子转移, 利用溶解氧产生羟基自由基而导致细胞损伤<sup>[1-2]</sup>(图 1); 2) 微量有机污染物能够显著提升铁颗粒物的比表面积, 从而增强颗粒物对水中污染物的富集性能<sup>[3]</sup>; 3) 微量有机污染物与铁颗粒物的结合能改变管网微生物群落结构特征, 从而带来潜在的微生物风险<sup>[2]</sup>。上述发现对于全面认识“黄水”中铁颗粒物的危害具有重要意义。

在以锰颗粒物为主的“黄水”潜在健康危害研究中, 发现游离氯氧化 Mn(II) 而原位形成的锰颗粒物能够结合并大量富集水中的微量有机污染物, 而预先形成了的锰颗粒物对微量有机污染物的富集作用可忽略不计<sup>[4]</sup>。Mn(II) 在锰颗粒物的表面羟基与微量有机污染物全氟辛酸(perfluorooctanoic acid, PFOA) 之间的架桥作用使二者结合在一起, 由此生成的 MnO<sub>x</sub>-PFOA 颗粒物比纯的 MnO<sub>x</sub> 颗粒更易团聚, 从而更倾向于沉积到管壁上(图 2)。当水力扰动或水质发生变化后, 管壁附着的沉积物

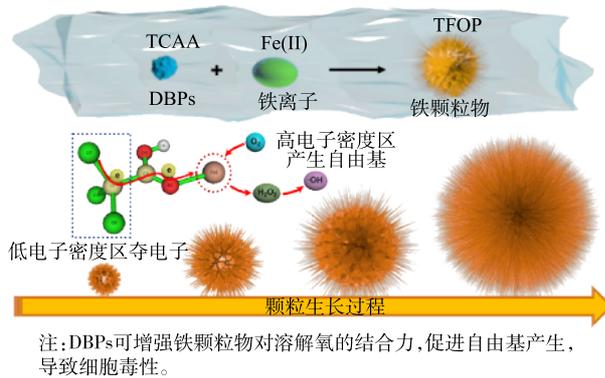


图1 DBPs对铁颗粒物的影响

Fig. 1 Influence of DBPs on Fe particles

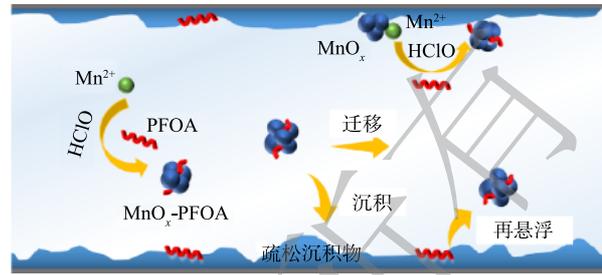


图2 PFOA与锰颗粒物的相互影响

Fig. 2 Interaction between PFOA and Mn particles

可被再释放到水中,并连同富集的PFOA一起到达用户龙头,进而对人体健康造成潜在危害。通常,PFOA浓度检测需要过滤掉水中颗粒物后,再进行前处理(固相萃取等),所以已有研究中报道的饮用水中PFOA的浓度并不是最终被消费者通过饮水摄入的总量,与颗粒物结合的全氟辛酸的相关风险被低估。因此,锰颗粒物的形成和再悬浮,不仅会导致传统认识中变色水的感官问题,也会由于为PFOA提供传输载体而带来潜在的健康风险。

综上所述,自来水管网“黄水”不止是感官性状问题,管网中的铁、锰等颗粒物还会在微量污染物的作用下引发进一步富集污染物并产生细胞毒性等潜在危害。该团队对于管网“黄水”中颗粒物复合污染效应及其风险的研究和发现对于全面认识管网“黄水”危害、保证饮用水安全具有重要的理论和实际指导意义。



石宝友,中国科学院生态环境研究中心研究员,中国科学院大学教授、博士生导师,主要研究领域为水质与水处理。以环境微界面水质学理论为基础,深入研究水处理工艺及管网输配的水质转化过程机制,建立水厂工艺和管网输配相协同的龙头水保障原理和技术体系;同时兼顾以新型功能材料为核心的混凝、吸附和催化等水与废水处理新技术研发。先后承担国家自然科学基金资助项目、国家高技术研究发展计划(863计划)、国家水体污染控制与治理科技重大专项、国家重点研发计划等科研项目20余项,获省部级科学技术奖2项。在《Water Research》等期刊发表学术论文150余篇。

## 参考文献

- [1] ZHUANG Y, HAN B, CHEN R, et al. Structural transformation and potential toxicity of iron-based deposits in drinking water distribution systems[J]. *Water Research*, 2019, 165: 114999.
- [2] ZHUANG Y, SHEN C, GU Y, et al. Effect of trichloroacetic acid on iron oxidation: Implications on the control of DBPs and deposits in drinking water[J]. *Water Research*, 2021, 189: 116632.
- [3] ZHUANG Y, HAN B, CHEN R, et al. Mechanism study on organic pollutant accumulation by iron-based particles in drinking water conditions[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2020, 396: 125157.
- [4] CHEN R Y, ZHUANG Y, YU Y, et al. Enhanced perfluorooctanoic acid (PFOA) accumulation by combination with in-situ formed Mn oxides under drinking water conditions[J]. *Water Research*, 2021, 190: 116660.

(本文编辑:张利田)