

饮用水处理中颗粒物数量变化及粒径分布规律

林 涛,王磊磊,陈 卫,李 敏

(河海大学环境科学与工程学院,江苏 南京 210098)

摘要 结合水厂实际水处理工艺及活性炭深度处理装置,试验研究砂滤池和活性炭滤柱出水中颗粒物数量变化及粒径分布规律.试验结果表明,过滤周期内砂滤池出水中颗粒物总数平均为 148 个/mL,其中粒径大于 $2\mu\text{m}$ 颗粒物的数量平均为 27 个/mL,其粒径主要分布在 $2\sim 15\mu\text{m}$ 之间.砂滤池初滤水中粒径大于 $2\mu\text{m}$ 颗粒物含量较高,前 10 min 内其数量高于 50 个/mL.砂滤池出水的浊度变化滞后于颗粒物数量变化,且二者之间的相关性差($R^2 < 0.1$).与砂滤池出水(164 个/mL)相比,活性炭滤柱出水中颗粒物数量水平(561 个/mL)显著提高,其中粒径大于 $2\mu\text{m}$ 颗粒物数量达 153 个/mL,出水中粒径在 $2\mu\text{m}$ 和 $2\sim 7\mu\text{m}$ 之间的颗粒物数量增多最为明显.

关键词 饮用水处理;颗粒物;粒径分布;砂滤池;活性炭

中图分类号 :TU991.21

文献标识码 :A

文章编号 :1000-198X(2008)03-0326-04

近年来,欧美等国家多次爆发因病原性原生动物穿透滤池而引发大规模水媒传染疾病的恶性事件^[1].调查表明,事件发生时砂滤池出水浊度指标良好($< 0.5\text{ NTU}$),说明仅以浊度作为致病原生动物的卫生安全指标难以保障饮用水安全^[1].病原性原生动物如贾第鞭毛虫囊和隐孢子虫卵(以下简称“两虫”)的检测耗时长,对供水安全评价具有滞后性,作为其替代指标的颗粒物成为饮用水处理领域研究的热点.美国对水中“两虫”与颗粒物数量相关关系进行了深入研究^[2],发现当水中粒径大于 $2\mu\text{m}$ 的颗粒物数量超过 100 个/mL 时,水中存在“两虫”的几率很大.为了确保水质,美国很多水厂对砂滤池出水中大于 $2\mu\text{m}$ 颗粒物数量都控制在 50 个/mL 以下,宾夕法尼亚州规定出水中 $3\sim 18\mu\text{m}$ 的颗粒物数量小于 10 个/mL.

在我国山东、安徽等地的微污染水源水中已检测发现“两虫”类致病原生动物的存在,对饮用水的安全构成潜在威胁.目前,我国对饮用水处理过程中颗粒物研究刚刚起步,尚缺乏有效的评价和控制技术体系.本文结合水厂实际水处理工艺及活性炭深度处理装置,探讨砂滤池及活性炭过滤出水中颗粒物数量变化及粒径分布规律.

1 试验条件和方法

试验在水厂进行,原水为长江下游段水源水.试验期间原水水质指标:浊度 $50\sim 70\text{ NTU}$,高锰酸盐指数 $2.4\sim 2.7\text{ mg/L}$,氨氮 $0.3\sim 0.52\text{ mg/L}$,细菌总数 $300\sim 350\text{ CFU/mL}$.试验采用的工艺流程:集水井→折板絮凝池→平流沉淀池→V 形砂滤池→活性炭滤柱.水厂 V 形砂滤池的滤后水浊度常年稳定达标,年均值低于 0.5 NTU .本试验以颗粒物数量作为供水生物安全评价指标,对滤后水中颗粒物数量变化及粒径分布规律进行研究.试验工艺参数如下:V 形砂滤池滤速 8 m/h ,砂层厚度 1.2 m ,气水联合反冲洗,活性炭滤柱 EBCT 18 min ,炭层厚度 1.2 m ,气水联合反冲洗.采用美国 IBR 公司生产的颗粒计数仪,其粒径检测范围 $20\sim 100\mu\text{m}$.

2 试验结果及分析

2.1 砂滤池过滤周期内颗粒物数量变化规律

水厂砂滤池反冲洗周期为 70 h,在 1 个过滤周期内砂滤池出水中颗粒物数量和浊度变化如图 1 所示.由图 1 可见,在过滤周期内砂滤池出水中颗粒物总数平均为 148 个/mL,砂滤池过滤前期出水中颗粒物水平较

高,分别为 277 个/mL(开始过滤)和 197 个/mL(1 h 内平均值),此后出水中颗粒物的数量呈下降趋势,波动幅度在 80 ~ 160 个/mL 之间.在 56 h 后出水中颗粒物逐渐增加,过滤周期结束(70 h)时,其数量已达到 170 个/mL.整个过滤期间,砂滤池出水浊度均低于 0.5 NTU,且浊度值与颗粒物的数量变化 2 个指标之间相关性差($R^2 < 0.1$).因此,以浊度作为监控参数难以实现颗粒物的有效控制.

试验期间过滤周期内颗粒物粒径变化见图 2.由图 2 可知,砂滤池出水中大于 $2\mu\text{m}$ 的颗粒物数量平均为 27 个/mL,低于美国现行滤池出水中大于 $2\mu\text{m}$ 颗粒物数量要求控制在 50 个/mL 以下的安全标准.但出水中大于 $2\mu\text{m}$ 的颗粒物粒径主要分布在 2 ~ $15\mu\text{m}$ 之间,其中 2 ~ $7\mu\text{m}$ 的颗粒物占总数的 87%,其数量已高于宾夕法尼亚州规定的出水中 3 ~ $18\mu\text{m}$ 颗粒物数量小于 10 个/mL 的安全标准.病原性原生动物的“两虫”虫卵的大小在 2 ~ $10\mu\text{m}$ 之间^[3],所以,砂滤池对控制“两虫”生物风险作用有限.另外,试验中发现砂滤池的出水浊度变化明显滞后于颗粒物变化.在过滤 56 h 后出水中颗粒物数量开始增加,但浊度仍然稳定在 0.4 NTU 左右.当过滤结束时其出水浊度增加至 0.52 NTU,此时颗粒物数量已上升至 170 个/mL 左右.美国很多水厂的实际运行情况同样表明,颗粒物计数仪通常比浊度仪提前 5 ~ 10 h 显示出水水质的异常变化^[4].可见以颗粒物数量作为砂滤池出水的控制参数更能有效地反映水质变化情况.

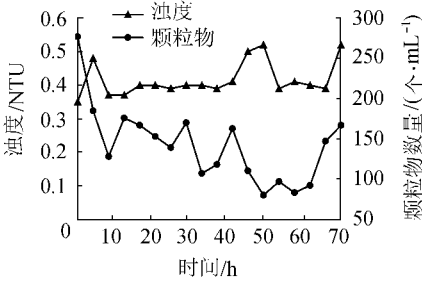


图 1 过滤周期内砂滤池出水颗粒物数量和浊度变化

Fig.1 The amount of particles and turbidity in effluent from a sand filter during a filter cycle

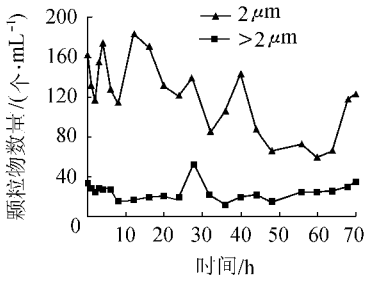


图 2 过滤周期内砂滤池出水不同粒径颗粒物数量变化

Fig.2 The amount of particles with different size in effluent from a sand filter during a filter cycle

分析砂滤池出水中颗粒物数量变化规律的主要原因在于:反冲洗结束时,砂滤池存在“成熟期”,导致初滤水中颗粒物含量较高.随着砂滤池恢复正常运行,砂滤池的截留作用增强,对颗粒物(尤其是大于 $2\mu\text{m}$ 的颗粒物)去除效能增加.过滤周期内大于 $2\mu\text{m}$ 颗粒物的数量降低趋势明显,而粒径小于 $2\mu\text{m}$ 的颗粒物基本呈波动变化.当砂滤池接近“纳污”极限时,出现颗粒物穿透现象,此时不同粒径的颗粒物均有增加,进一步证明砂滤池主要对大于 $2\mu\text{m}$ 的颗粒物起截留作用,而这部分颗粒物水平与病原性原生动物的密切相关.因此,以出水中大于 $2\mu\text{m}$ 颗粒物的数量水平作为砂滤池反冲洗控制参数,对保证水质安全很重要.

2.2 初滤水中颗粒物数量变化规律

试验期间,颗粒物在初滤水中变化结果见图 3 和图 4.由图 3 可见,过滤初期滤后水中大于 $2\mu\text{m}$ 颗粒物含量较高,前 5 min 内其数量平均为 62 个/mL,高于美国现行砂滤池出水颗粒物数量控制的安全标准;10 min 后数量降至 50 个/mL 以下的水平.可见对前 10 min 内初滤水有效控制对保障水质生物安全很有必要.随着砂滤池恢复正常运行,砂滤层对颗粒物截留作用主要表现为对大于 $2\mu\text{m}$ 颗粒物的去除,这一现象与整个过

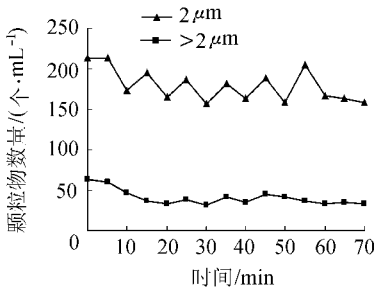


图 3 过滤初期出水中不同粒径颗粒物数量变化

Fig.3 The amount of particles with different size in effluent during the initial filtering stages

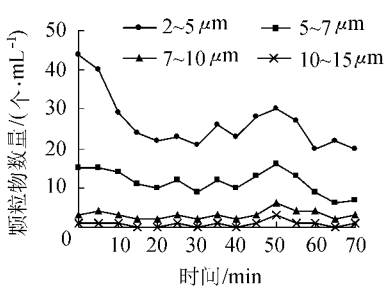


图 4 过滤初期出水中粒径大于 $2\mu\text{m}$ 颗粒物数量变化

Fig.4 The amount of particles with a size over $2\mu\text{m}$ in effluent during the initial filtering stages

滤周期内颗粒物的去除规律一致.图4反映出,初滤水中大于 $2\mu\text{m}$ 颗粒物主要由粒径分布于 $2\sim 7\mu\text{m}$ 之间的物质组成,其数量百分比为91%,其中粒径在 $2\sim 5\mu\text{m}$ 的颗粒物占总颗粒物(大于 $2\mu\text{m}$)63%以上.初滤水中大于 $2\mu\text{m}$ 颗粒物的组成变化与整个过滤周期基本一致,说明对于粒径在 $2\sim 15\mu\text{m}$ 之间颗粒物而言,砂滤池对这部分颗粒物的去除机理中范德华引力和化学键可能起主导作用.

2.3 活性炭滤柱出水中颗粒物数量变化规律

活性炭技术作为一种主要的深度处理技术已在许多国家得到应用,但已有研究表明,活性炭滤柱出水存在较大的生物安全隐患.试验中活性炭滤柱进水为砂滤池出水.试验结果见图5和图6.由图5可见,活性炭滤柱出水中颗粒物数量水平(均值561个/mL)比砂滤池出水(164个/mL)提高,其中大于 $2\mu\text{m}$ 颗粒物数量达153个/mL.颗粒物不同粒径分布的数据表明,与砂滤池出水相比,活性炭滤柱出水中粒径 $2\mu\text{m}$ 和 $2\sim 7\mu\text{m}$ 的颗粒物数量明显增多,这说明活性炭工艺对颗粒物的去除效能较差,而且由于炭层中大量生物颗粒和非生物颗粒的积累,这些颗粒物随活性炭滤柱出水一起流出,导致出水中颗粒物数量水平提高.已有研究^[5]证明,与砂滤池工艺相比,活性炭滤柱对隐孢子虫卵的去除效果较差,活性炭滤柱出水有“两虫”增多现象.另外也有研究^[6-7]证明,活性炭滤柱出水颗粒物中有炭粒存在,并对饮用水生物安全造成影响.试验中活性炭滤柱出水发现炭粒,粒径在 $2\sim 10\mu\text{m}$ 之间(图6),出水中炭粒数的变化在 $10\sim 100$ 个/L.

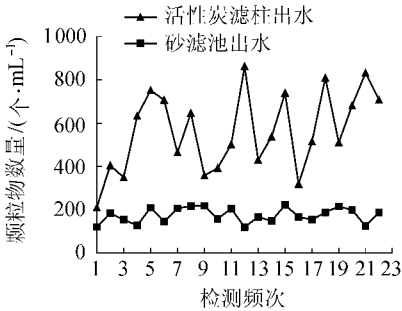


图5 活性炭滤柱和砂滤池工艺出水颗粒物数量
Fig.5 The amount of particles in effluents from a sand filter and from activated carbon filtration



图6 活性炭滤柱出水中炭粒照片(放大400倍)
Fig.6 Picture of carbon particles in effluent from activated carbon filtration(400 times enlarged)

2.4 颗粒物对饮用水生物安全的影响

研究^[6-7]表明,活性炭滤柱出水中的细菌多与细小颗粒物一起流出,由于受到颗粒保护,对各种不利环境有较强的适应性,对消毒有较大抗性,氯化消毒往往难以杀死这些微生物. William等^[8]通过试验证明,细菌可以附着在活性炭颗粒上而受到保护,尤其在颗粒质量浓度大于 $20\mu\text{g/L}$ 时,氯的消毒效率下降90%. Stewart等^[9]通过电镜扫描后发现,85%的炭粒上吸附了细菌,其中8%的炭粒上细菌数量达到了几百至上千个.投药量(pH值为7.0)为 1.5mg/L ,接触时间40min后氯和氯胺的消毒效率均低于50%. Camper等^[7]通过1年中对201个活性炭工艺出水水样的分析发现,41.4%的水样中出现异养菌吸附在活性炭颗粒上的现象,17%的水样中炭粒上出现大肠杆菌,有时甚至超出进水水质122~194倍,其中28%为粪大肠菌.经 2.0mg/L 的氯(pH值为7.4)30min灭活后,所有的微生物均能存活,包括可能为病原生物的肺炎克雷伯氏菌属、嗜水气单胞菌属、沙雷菌属和不动杆菌属等. Mark等^[10]对吸附在活性炭颗粒上的异养菌、大肠杆菌和肠道病原性微生物的灭活实验研究发现,在 2.0mg/L 的投加量下(pH值为8.1),接触时间1h(1h后剩余的有效氯为 $1.4\sim 1.6\text{mg/L}$),几乎所有微生物的灭活率均低于50%,而未被炭粒吸附的细菌在5min内其灭活率达到99.99%以上.

3 结 论

- a. 过滤周期内砂滤池出水中粒径大于 $2\mu\text{m}$ 颗粒物的数量平均为27个/mL,但其粒径主要分布在 $2\sim 15\mu\text{m}$ 之间,砂滤池对控制“两虫”生物风险的作用有限.初滤水中大于 $2\mu\text{m}$ 颗粒物数量前10min内高于50个/mL,对前10min内初滤水的有效控制是保障供水生物安全的必要措施.
- b. 砂滤池出水的浊度变化滞后于颗粒物数量变化,且二者变化的相关性差,以浊度作为监控参数难以实现对颗粒物的有效控制.同时活性炭滤柱出水中颗粒物数量水平显著提高,且活性炭滤柱出水中的细菌多

与细小颗粒物一起流出 ,对饮用水生物安全造成影响.

参考文献 :

[1] COOK G C. Entamoeba histolytica and giardia lamblia infection : current diagnostic strategies[J]. Parasite ,1995(2) :107-112.

[2] HARGESHEIMER E E ,MCTIGUE N E ,MIELKE J E. Tracking filter performance with particle counting[J]. AWWA ,1998 90(12) 32-41.

[3] WLECHEVALLIER M W ,NORTON W D. Examining relationships between particle counts and giardia ,cryptosporidium ,and turbidity [J]. AWWA ,1992 84(12) 54-60.

[4] HATUKAI S ,BEN Y T ,REBHUN M. Particle counts and size distribution in system design for removal of turbidity by granular deep bed filtration[J]. Water Science and Technology ,1997 36(4) 225-230.

[5] PIERRE M ,ANNE K. C. Attachment and fate of carbon fines in simulated drinking water distribution system biofilms[J]. Water Research ,1997 31(3) 399-411.

[6] LECHEVALLIER M W ,HASSENAUER T S ,CAMPER A K. Disinfection of bacteria attached to granular activated carbor[J]. Applied Environment Microbiology ,1984 48(2) 918-923.

[7] CAMPER A K ,LECHEVALLIER M W ,BROADAWAY S C ,et al. Growth and persistence of pathogens on granular activated carbon filters[J]. Applied Environment Microbiology ,1985 50(10) :1378-1382.

[8] WILLIAM T ,KATHRYN F A. Enumerating and disinfecting bacteria associated with particles released from GAC filter-adsorbers[J]. AWWA ,1993 24(6) 70-80.

[9] STEWART M H ,WOLFE R L ,MEANS E G. Assessment of the bacteriological activity associated with granular activated carbon treatment of drinking wate[J]. Applied Environment Microbiology ,1990 56(8) 3822-3829.

[10] MARK W ,LECHEVALLIER M W ,THOMASS S ,et al. Disinfection of bacteria attached to granular activated carbor[J]. Applied and Environmental Microbiology ,1984 48(5) : 918-923.

Amount and size distribution of particles in drinking water treatment

LIN Tao , WANG Lei-lei , CHEN Wei , LI Min

(College of Environmental Science and Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract : The amount and size distribution of particles in the effluent from a sand filter or from activated carbon filtration in a drinking water treatment plant were investigated. The experimental results show that the average total amount of particles in the sand filter effluent during a filter cycle was 148 particles per milliliter , of which the amount of particles with a size over 2 μm , mainly between 2 μm and 15 μm , was 27 particles per milliliter. The amount of particles with a size over 2 μm was large in the initial filtrated water : it exceeded 50 particles per milliliter in the first 10 minutes. The change of turbidity in the effluent was subsequent to that of particle amount and there was a low correlation coefficient between them($R^2 < 0.1$). The total amount of particles was significantly higher in the effluent from activated carbon filtration than it was in the effluent from the sand filter : 561 particles per milliliter and 164 particles per milliliter , respectively. The amount of particles with a size over 2 μm in the effluent from the activated carbon filter reached 153 particles per milliliter , and the amount of particles with a size of 2 μm or between 2 μm and 15 μm increased most significantly.

Key words : drinking water treatment ; particles ; size distribution ; sand filter ; activated carbon