

集成化净水装置净水效果试验研究*

张 勤, 周建忠, 张 智

(重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045)

摘要:根据三峡库区小城镇水源特点,开发了集成化净水装置,并对该装置的净水效果进行了试验研究。试验结果表明该装置对氨氮、亚硝酸盐氮、有机物和浊度等均有较高的去除效果,其中氨氮和亚硝酸盐氮的去除率分别为52.94%~63.54%和66.67%~81.82%, COD_{Mn} 的去除率为41.86%~56.27%,其出水浊度均在0.5 NTU以下。

关键词:集成化净水装置; 给水处理; 强化絮凝; 强化过滤

中图分类号:TU991.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7329(2005)05-0078-05

Experimental Research on Purification Efficiency of the Integrative Apparatus for Water Purification

ZHANG Qin, ZHOU Jian-zhong, ZHANG Zhi

(Key Laboratory of Ecological Environment in the Three-Gorges Reservoir Area, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: According to the characteristics of water source of small towns in the Three-Gorge Reservoir Area, an integrative apparatus for water purification was developed and studied on its purification efficiency. The results show that the apparatus has higher efficiency in removing ammonia nitrogen and nitrite nitrogen with removal rate of 52.94%~63.54% for the former and 66.67%~81.82% for the latter, and 41.86%~56.27% of COD_{Mn} removal is achieved. The effluent turbidity is maintained below 0.5 NTU.

Keywords: integrative apparatus for water purification; water treatment; enhanced flocculation; enhanced filtration

随着城镇化的蓬勃发展,在带动农村和小城镇复苏和兴起的同时,周边环境也受到了严重的污染。近年来,污染的范围与程度均有迅速蔓延和加重的趋势^[1]。因此,农村和小城镇的饮用水安全问题应引起人们的高度重视。而库区移民迁建城镇多为山地城镇,居住点分散且规模较小,经济水平与国内沿海发达地区相比还有较大差距;小城镇水源多为支流、水塘,水源水质具有季节性变化大,且易受到不同程度污染的特点;在库区的许多城镇,水处理的技术及管理水平也还相当落后,给水处理基础设施不足。因此,开发占地少、投资省、管理简单、运行费用低、效果稳定的水处理并能保障饮用水水质的成套技术对三峡库区移民工程及库区农村和小城镇开发具有重要的现实意义。

目前,我国自来水厂采用传统净水工艺,虽以去除浊度为主要目的,但随着浊度降低,吸附于胶体颗粒的有机物以及溶解度较低的微量有机物也可相应降低,各种微生物和病毒也能随浊度的去除而减少^[2-4]。因此,强化常规工艺的去污能力,以适应三峡库区小城镇的水源特点,无疑是经济、简便的。

本文对集成化净水装置处理三峡库区源水的处理效果进行了中试研究。该试验装置采用了强化常规工艺中的絮凝环节和变速流过滤形式进行强化过滤,从而提高了对有机污染物的净化效果。

* 收稿日期:2004-02-25

基金项目:国家“十五”重点科技攻关课题(2001BA604A01-05-01)

作者简介:张 勤(1957-),男,重庆长寿人,副教授,主要从事水资源规划与利用研究。

1 试验条件与方法

1.1 试验水源及装置

本试验在重庆市某净水站进行,以长江水为水源。试验时间从2004年4月8日到2004年6月15日,试验期间原水水质如表1所示。

表1 试验期间原水水质概况

水温/°C	浊度/NTU	色度/度	pH值	COD _{Mn} /mg·L ⁻¹	NH ₃ -N/mg·L ⁻¹	NO ₂ ⁻ -N/mg·L ⁻¹	NO ₃ ⁻ -N/mg·L ⁻¹
17.2~23.4	37.7~1 005.0	10~30	6.7~7.2	2.58~5.83	0.15~1.05	0.013~0.069	2.8~5.5

试验装置采用不锈钢材料制作,外形为一直径1.5 m,高1.9 m的圆柱体,内筒为一倒置的圆台,整个装置由生物预处理区、混凝区、沉淀区、变速过滤区等四部分组成。其具体外观和内部构造分别见图1和图2。

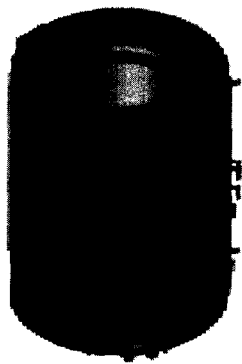


图1 试验装置外观图

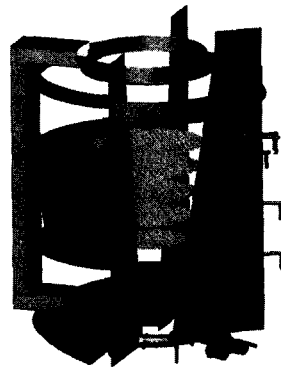


图2 试验装置内部构造图

原水经进水管进入配水区后进入生物预处理区,然后从底部的出水孔进入混合区,利用混合区内设置的分隔板进行混合;水流向上直接进入混合区上方的网格絮凝区,絮凝出水通过集水管至斜板沉淀区进行沉淀,沉淀区出水由集水槽集水至变速过滤区进行过滤,过滤区设置多孔介质,在下部设反冲洗进水管;经处理的水由过滤区下部的出水管出水。

滤池中的填料选用酶促填料,该填料表面具有大量的微孔。本试验装置中,滤料粒径为1.18~2.36 mm,均匀系数为1.3~1.5,孔隙率为0.46,滤料层高1 050 mm;承托层采用卵石,由下至上各层粒径分别为2.36~4.75 mm,4.75~9.5 mm,9.5~13.5 mm,各层高度均为70 mm。

1.2 分析指标及测定方法

试验以氨氮(NH₃-N)、亚硝酸盐氮(NO₂⁻-N)、硝酸盐氮(NO₃⁻-N)、高锰酸钾耗氧量(COD_{Mn})及浊度等参数作为处理效果评价指标。NH₃-N、NO₂⁻-N和NO₃⁻-N分别采用奈斯勒法、重氮化法和隔还原法且均用HACH DR/2400分光光度计测定,COD_{Mn}采用酸式高锰酸钾滴定法测定,浊度采用HACH2100P浊度仪测定。

2 试验结果与分析

2.1 对浊度的去除效果

饮用水水质一般值得考虑提高的是浊度和细菌学指标,一般情况主要风险尚存在这些指标上^[5],故浊度指标必须严格加以控制。在设计流量40 m³/d的条件下,浊度及其去除效果分别见图3和图4。

由图3可知,原水浊度为37.70~833.00 NTU,混凝沉淀后浊度降为1.74~5.57 NTU,过滤后出水浊度为0.09~0.49 NTU,优于国家生活饮用水水质标准规定的1.0 NTU。在浊度的去除过程中,混凝

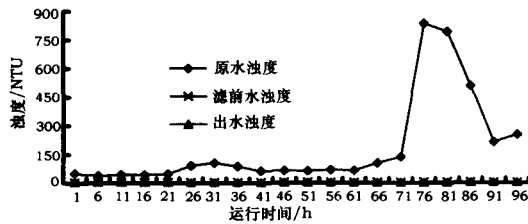


图3 浊度逐时变化曲线图

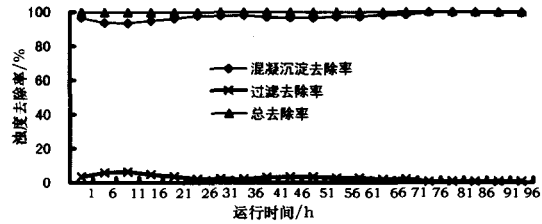


图4 浊度去除率逐时变化曲线图

沉淀阶段起主要去除作用。如图4所示,在以设计流量 $40 \text{ m}^3/\text{d}$ 的试验期间,浊度的总去除率为 $99.60\% \sim 99.94\%$,混凝沉淀阶段去除率就高达 $93.37\% \sim 99.43\%$,过滤阶段去除率仅为 $0.51\% \sim 6.30\%$ 。而从图4中可知,在本试验条件下,出水浊度受原水浊度变化的影响很小,处理效果比较稳定。这是因为试验原水浊度较高,所生成的矾花体积大、密实、强度大,而运行过程中,为提高混凝池内的絮体浓度,采用了混凝池内的污泥不排放运行方式。

不同流量下,本集成化净水装置正常运行时对原水浊度平均总去除率见图5。由图5可知,随着进水流量的变化,原水浊度的平均总去除率随着流量的增大而减小,但减小幅度在 0.1% 范围内,由流量为 $30 \text{ m}^3/\text{d}$ 时的 99.83% 减小到流量为 $50 \text{ m}^3/\text{d}$ 时的 99.75% 。

2.2 对 COD_{Mn} 的去除效果

在设计流量 $40 \text{ m}^3/\text{d}$ 的条件下,该集成化净水装置对 COD_{Mn} 的去除效果见图6。

由图6可知,原水 COD_{Mn} 浓度为 $3.27 \sim 4.54 \text{ mg/L}$,混凝沉淀后 COD_{Mn} 浓度降为 $1.95 \sim 3.10 \text{ mg/L}$,过滤后出水 COD_{Mn} 浓度为 $1.43 \sim 2.48 \text{ mg/L}$,满足国家生活饮用水水质标准规定的 3.00 mg/L 以下。在 COD_{Mn} 的去除过程中,混凝沉淀阶段也起主要去除作用。

如图6所示,在以设计流量 $40 \text{ m}^3/\text{d}$ 的试验期间, COD_{Mn} 的总去除率为 $41.86 \sim 56.27\%$,混凝沉淀阶段去除率达 $30.93 \sim 45.45\%$,过滤阶段去除率为 $9.09 \sim 19.60\%$ 。这是因为混凝沉淀过程中形成的高浓度絮体网状整体结构的絮凝层,对水中各类杂质和有机物均有较强的吸附截留作用,大大提高了对原水中溶解性天然高分子有机物的去除率。在常规工艺中过滤环节对 COD_{Mn} 的去除率较低的主要原因是常规工艺对于有机物的去除以悬浮物质和胶态物质为主,而对溶解性有机物去除率很低^[5]。由于大部分悬浮态、胶体态有机物在混凝沉淀环节已被去除,过滤环节对有机物的去除率也就相对比较低了。

不同流量下,该集成化净水装置正常运行时对原水 COD_{Mn} 平均总去除率见图7。由图7知,随着进水流量的增大,原水 COD_{Mn} 平均总去除率也随着增加,但其增加幅度不大,由流量为 $30 \text{ m}^3/\text{d}$ 时的 50.81% 增加到流量为 $50 \text{ m}^3/\text{d}$ 时的 56.06% 。这是因为在本试验条件下, COD_{Mn} 的去除主要是在混凝沉淀环节完成,进水流量增大,原水在更短的时间内与混凝剂相接触并发生反应,其混凝效果比流量低时相对较好,所形成的絮凝矾花更大、更密实,对 COD_{Mn} 具有

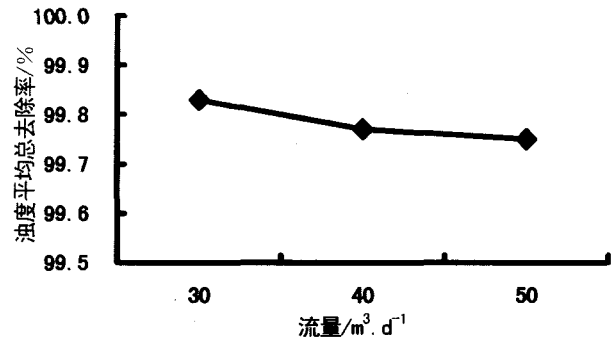
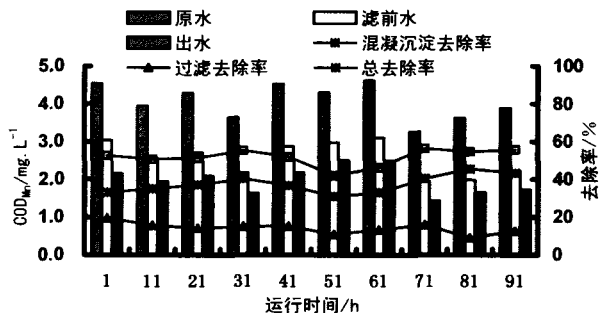
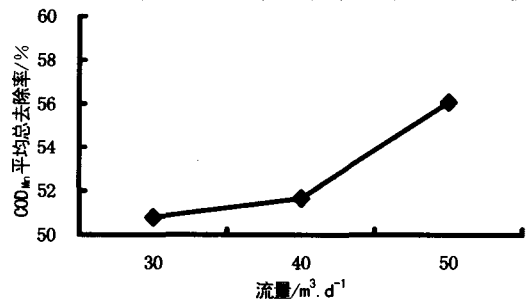


图5 浊度平均总去除率随流量变化曲线图

图6 COD_{Mn} 含量及其去除率逐时变化曲线图图7 COD_{Mn} 平均总去除率随流量变化曲线图

更好的吸附截留作用。

2.3 对 NH₃-N 的去除效果

在设计流量 40 m³/d 的条件下,该集成化净水装置对 NH₃-N 的去除效果见图 8。

由图 8 可知,原水 NH₃-N 浓度比较低,NH₃-N 浓度仅为 0.55 ~ 1.02 mg/L,混凝沉淀后浓度降为 0.32 ~ 0.53 mg/L,过滤后出水 NH₃-N 浓度为 0.23 ~ 0.48 mg/L,在 0.50 mg/L 以下,满足国家生活饮用水水质标准。与原水浊度的去除相同,在 NH₃-N 的去除过程中,混凝沉淀阶段也起主要的去除作用。如图 8 所示,在以设计流量 40m³/d 的试验期间,NH₃-N 的总去除率为 52.94% ~ 63.54%,混凝沉淀阶段去除率达 41.82% ~ 51.04%,过滤阶段去除率仅为 4.90% ~ 16.36%。

常规工艺对氨氮的去除主要集中在混凝沉淀单元。一方面是氯与氨氮发生化学反应生成氯胺系物质;另一方面则可能是某些胶体杂质或水中吸附了氨氮的杂质颗粒在混凝沉淀单元被去除^[6]。本装置没采用预加氯的处理方式,所以本装置对氨氮的去除主要是靠后者。

不同流量下,本集成化净水装置正常运行时对原水 NH₃-N 平均总去除率见图 9。由图 9 可知,随着进水流量的增大,原水 NH₃-N 平均总去除率无显著变化规律。其平均总去除率由流量为 30 m³/d 时的 66.37% 减小到流量为 40 m³/d 时的 59.10%,但又增大到流量为 50 m³/d 时的 64.64%。

由此可知,在本试验条件下,进水流量的变化对 NH₃-N 的去除效果影响较小。

2.4 对 NO₂⁻-N 和 NO₃⁻-N 的去除效果

在设计流量 40 m³/d 的条件下,该集成化净水装置对 NO₂⁻-N 和 NO₃⁻-N 的去除效果分别见图 10 和图 11。

由图 10 可知,原水 NO₂⁻-N 浓度为 0.019 ~ 0.033 mg/L,混凝沉淀后浓度降为 0.013 ~ 0.019 mg/L,过滤后出水 NO₂⁻-N 浓度为 0.005 ~ 0.09 mg/L,在 0.10 mg/L 以下,满足国家生活饮用水水质标准。在 NO₂⁻-N 的去除过程中,混凝沉淀阶段已不是起主要的去除作用,NO₂⁻-N 的去除主要是在过滤阶段完成。如图 10 所示,在以设计流量 40 m³/d 的试验期间,NO₂⁻-N 的总去除率为 66.67% ~ 81.82%,过滤阶段去除率 32.14% ~ 45.85%,混凝沉淀阶段去除率为 20.83% ~ 45.45%。由图 11 可知,在以设计流量 40 m³/d 的试验期间,原水 NO₃⁻-N 浓度为 2.80 ~ 3.70 mg/L,混凝沉淀后浓度降为 1.90 ~ 3.00 mg/L,混凝沉淀环节去除率为 16.67% ~ 32.14%;而出水 NO₃⁻-N 浓度比滤前水 NO₃⁻-N 浓度反而增加了,浓度升为 2.20 ~ 3.10 mg/L,过滤去除率为 -15.16% ~ -2.78%。该装置对 NO₃⁻-N 的总去除率为 13.89% ~ 21.43%,去除率较低。

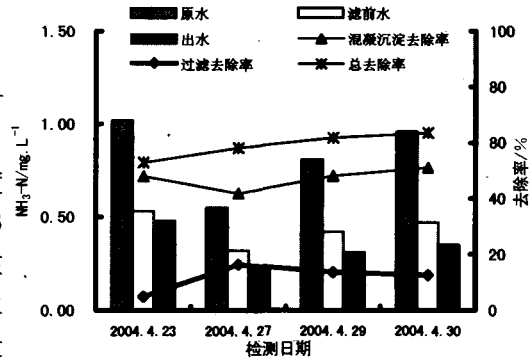


图 8 NH₃-N 去除率随流量变化曲线图

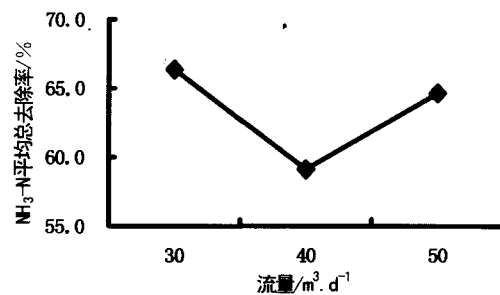


图 9 NH₃-N 平均总去除率随流量变化曲线图

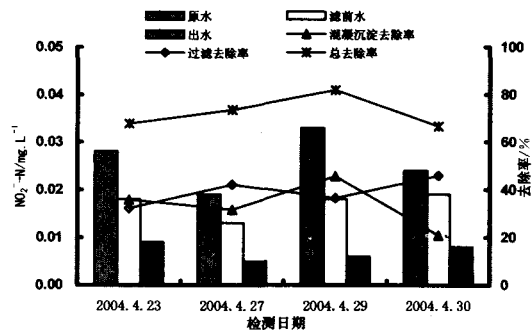


图 10 NO₂⁻-N 去除率随流量变化曲线图

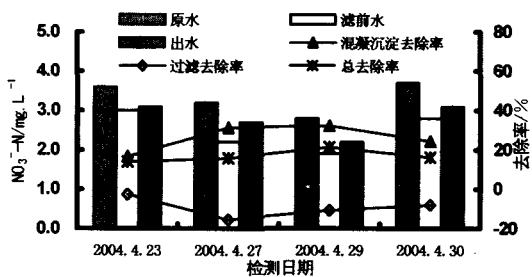


图 11 NO₃⁻-N 去除率随流量变化曲线图

去除 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 主要是在过滤环节完成,这是因为在过滤时,可能存在一定的氧化作用,使得部分 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 被氧化成 $\text{NO}_3^- - \text{N}$,从而 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 得到一定程度的去除, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 却表现出增长的现象,使其去除率较低。一不同流量下,本集成化净水装置正常运行时对原水 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 平均总去除率分别见图 12 和图 13。由图 12 可知,随着进水流量的增大,原水 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 平均总去除率无显著变化规律。其平均总去除率由流量为 $30 \text{ m}^3/\text{d}$ 时的 67.33% 增大到流量为 $40 \text{ m}^3/\text{d}$ 时的 72.51%,但又减小到流量为 $50 \text{ m}^3/\text{d}$ 时的 66.29%。由此可知,在本试验条件下,进水流量的变化对 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的去除效果影响较小。而由图 13 可知,随着进水流量的增大,原水 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 平均总去除率仍无显著变化规律。其平均总去除率由流量为 $30 \text{ m}^3/\text{d}$ 时的 10.33% 增大到流量为 $40 \text{ m}^3/\text{d}$ 时的 16.79%,但又减小到流量为 $50 \text{ m}^3/\text{d}$ 时的 11.78%。由此可知,在本试验条件下,进水流量的变化对 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的去除效果影响也较小。

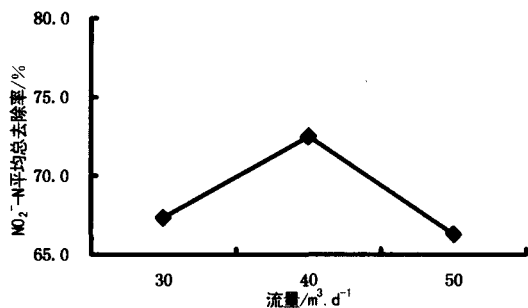


图 12 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 平均总去除率随流量变化曲线图

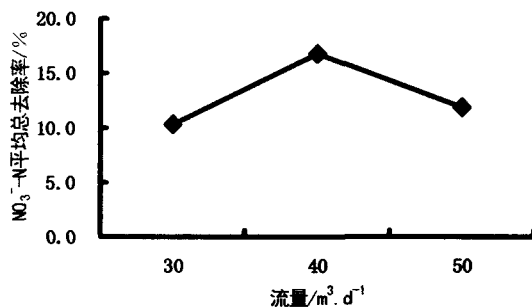


图 13 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 平均总去除率随流量变化曲线图

3 结论

1) 该装置对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 COD_{Mn} 、浊度等均有较好去除效果,其中 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 去除率为 52.94% ~ 63.54%, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 去除率为 66.67% ~ 81.82%, COD_{Mn} 去除率为 41.86 ~ 56.27%, 浊度去除率为 99.60% ~ 99.94%, 出水浊度均在 0.5NTU 以下。

2) 混凝沉淀环节在去除水中 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 COD_{Mn} 和浊度方面起着主要作用,而过滤环节在去除 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 方面起着主要作用。

3) 在本试验条件下,出水浊度很少受原水浊度和进水流量变化的影响,处理效果较稳定。

4) 在本试验条件下,原水 COD_{Mn} 平均总去除率将随进水量的增大略有增加;而原水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的平均总去除率随着进水流量的增大均无显著变化规律。

5) 采用变速流形式的滤池更能充分发挥深层滤料的作用,以保证出水水质。

参考文献:

- [1] 李贵宝. 中国农村水环境恶化成因及其保护治理对策[EB/OL]. 水信息网: <http://www.hwcc.com.cn/>, 2002. 8.
- [2] 周云, 何义亮. 微污染源净水技术及工程实例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [3] 王琳, 王宝贞. 优质饮用水净化技术[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [4] 石明岩. 给水处理常规工艺除污染特性初探[J]. 净水技术, 2003, 22(1): 19 - 21.
- [5] 肖羽堂等. 我国水资源污染与饮用水安全性研究[J]. 长江流域资源与环境, 2001, 10(1): 50 - 59.
- [6] 刘辉. 全流程生物氧化技术处理微污染原水[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.