

# 活性炭深床滤料浮滤池处理高藻水源水的研究

张声<sup>1</sup>, 张晓健<sup>2</sup>, 刘洋<sup>3</sup>, 郭振通<sup>1</sup>

(1, 北京金州工程有限公司, 朝阳区安园甲8号, 北京 100101)

(2, 清华大学 环境科学与工程系, 北京 100084)

(3, 北京市规划委员会 市政交通工程管理处, 西城区南礼士路60号, 北京 100045)

**摘要** 活性炭石英砂双层深床滤料浮滤池是一种新型的给水处理组合工艺, 它的特点是: 气浮过滤一体化; 活性炭石英砂双层深床过滤; 常规处理和深度处理一体化。该工艺优点: 节约占地面积; 在显著提高最终出水水质的同时省掉了砂滤池; 运行方式灵活。利用活性炭石英砂双层深床滤料浮滤池处理高藻原水效果比较理想: 出水浊度 0.16~0.22 NTU; 出水 UV<sub>254</sub> 0.017~0.027 cm<sup>-1</sup>, 去除率 28.9~51.4%; 出水耗氧量 0.82~1.15 mg/L, 去除率 41.2~57.0%; 出水藻总数  $6.41 \times 10^5 \sim 1.48 \times 10^6$  个/L, 去除率 85.4~90.3%。

**关键词** 溶气气浮, 活性炭, 浮滤池, 高藻

在饮用水处理领域, 水体藻类滋生会产生很多问题:

(1) 增加处理工艺的复杂程度。一般来说, 仅用常规工艺无法做到达标处理, 需增加预处理或强化常规工艺来改善处理效果。

(2) 增加处理成本, 即增大能耗、药耗, 缩短滤池运行时间, 增加反冲频率和反冲水量, 从而影响水厂供水可靠性, 严重时可能引起水厂停产。

(3) 增加水的嗅味和色度, 恶化饮用水的观感和口感。

(4) 危害饮用水水质的安全性。藻类及其分泌物是水中天然有机物的重要来源, 是消毒副产物的重要前体物, 从而会产生饮用水消毒的化学风险。如果某些藻类穿透滤池进入管网, 它可以促进细菌的繁殖及管道、水处理构筑物上生物膜的形成, 从而恶化水质, 加速构筑物、管道结垢和腐蚀, 甚至可能促成线虫、吸血虫等较大有机体在管网中的生长, 造成水表、水龙头、阀门堵塞。一些藻类会产生藻毒素, 成为饮用水水质安全性的又一障碍, 对于可能的藻毒素种类以及处理方法, 目前还在研究中。

目前, 中国主要湖泊水库的富营养化问题依然突出, 不少地区的水源水经常呈现高藻性状, 所以在中国对于高藻水源水的处理既是难点也是重点。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验装置介绍

试验装置属中式规模, 包括混凝剂投加、两级絮凝池、气浮池和滤柱, 试验装置图参见图1。絮凝池和气浮池合建在一起, 絮凝池采用机械搅拌, G值均为 70 s<sup>-1</sup>。絮凝池长、宽、高分别为 1.50 m、0.60 m、2.50 m, 气浮池长、宽、高分别为 1.60 m、0.60 m、2.50, 滤柱直径为 0.2 m, 高度分别为 2.60 m, 装填 2.00 m GAC (YF-3), GAC 的主要参数见表1。

试验期间, 原水水温 21~23℃, pH 值 8.0~8.3。原水流量为 12 m<sup>3</sup>/h, 气浮池的溶气水回流比为 10%, 溶气罐压力为 0.52 MPa, 滤柱水力负荷为 13.8 m/h。采用“万水”混凝剂, 投加量为 2.0 mg Al<sup>3+</sup>/L。

表 1 颗粒活性炭的主要参数

| 产品编号 | 碘值<br>(mg/g) | 磨损系数<br>(%) | 有效粒径<br>(mm) | 不均匀系数 | 湿度<br>(%) | 可溶性<br>灰分<br>(%) | 密度<br>(Kg/L) |
|------|--------------|-------------|--------------|-------|-----------|------------------|--------------|
| YF-3 | 972.3        | 91.02       | 1.42         | 1.32  | 0.65      | 0.5              | 0.514        |

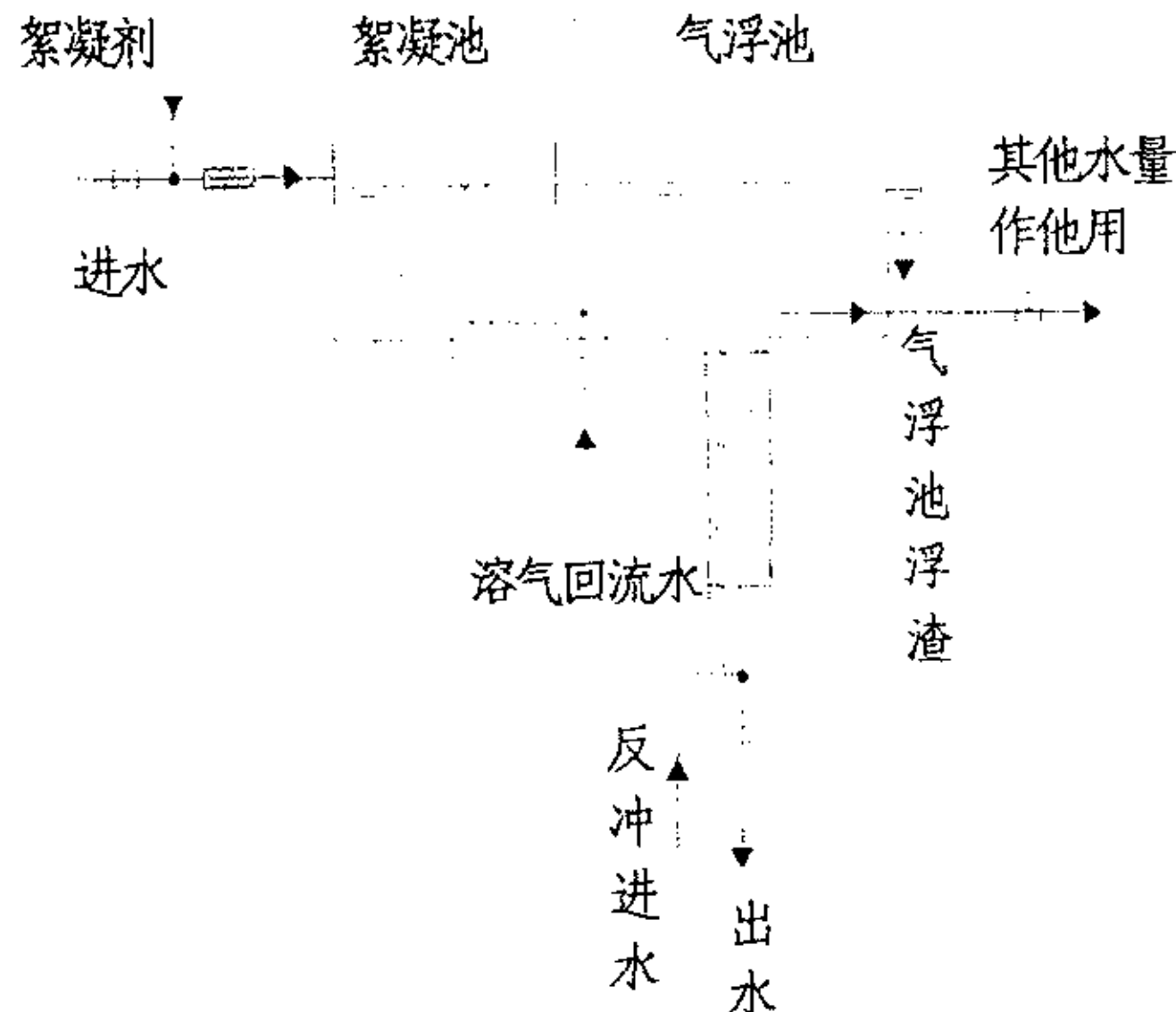


图 1 试验工艺示意图

## 1.2 分析项目、测定方法及主要仪器

本研究的分析项目有：浊度、 $UV_{254}$ 、好氧量、藻计数。通过 400 倍显微镜观察进行藻计数。 $UV_{254}$  的测定借助于 Hach 公司的 DR/4000U 分光光度计，浊度的测定借助于 Hach 公司的 2100P 便携式浊度计。采用酸性高锰酸钾氧化法测定好氧量。测定  $UV_{254}$  之前用玻璃纤维膜（Whatman, GF/C）过滤水样。

## 2 活性炭石英砂双层深床滤料浮滤池工艺

活性炭深床滤料浮滤池工艺是常规浮滤池工艺的发展（如图 2 所示），其主要特点有：

(1) 气浮过滤一体化。即将溶气气浮单元与过滤单元组合在一个构筑物中，溶气气浮单元在上方，过滤单元在其正下方，气浮单元分离区截面与过滤单元截面相同。

(2) 活性炭深床过滤。滤床深度为 2.0m，滤料是粒径较大的活性炭。

(3) 常规处理和深度处理一体化。由于在本工艺中气浮单元之后直接是活性炭过滤，省掉了常规的砂滤池，所以本工艺是常规处理和深度处理一体化。

活性炭石英砂双层深床滤料浮滤池具有以下优点：

节约占地面积。

(2) 在显著提高最终出水水质的同时，省掉了砂滤池，从而有可能节约初期投资和运行费用。

(3) 运行方式灵活。在原水水质条件较好时，本一体化工艺可以以直接过滤的形式运行，而在原水水质条件较差时，则以正常形式运行，并且，由于气浮工艺启动快、允许间歇运行，因此，比较容易实现两工艺的切换。

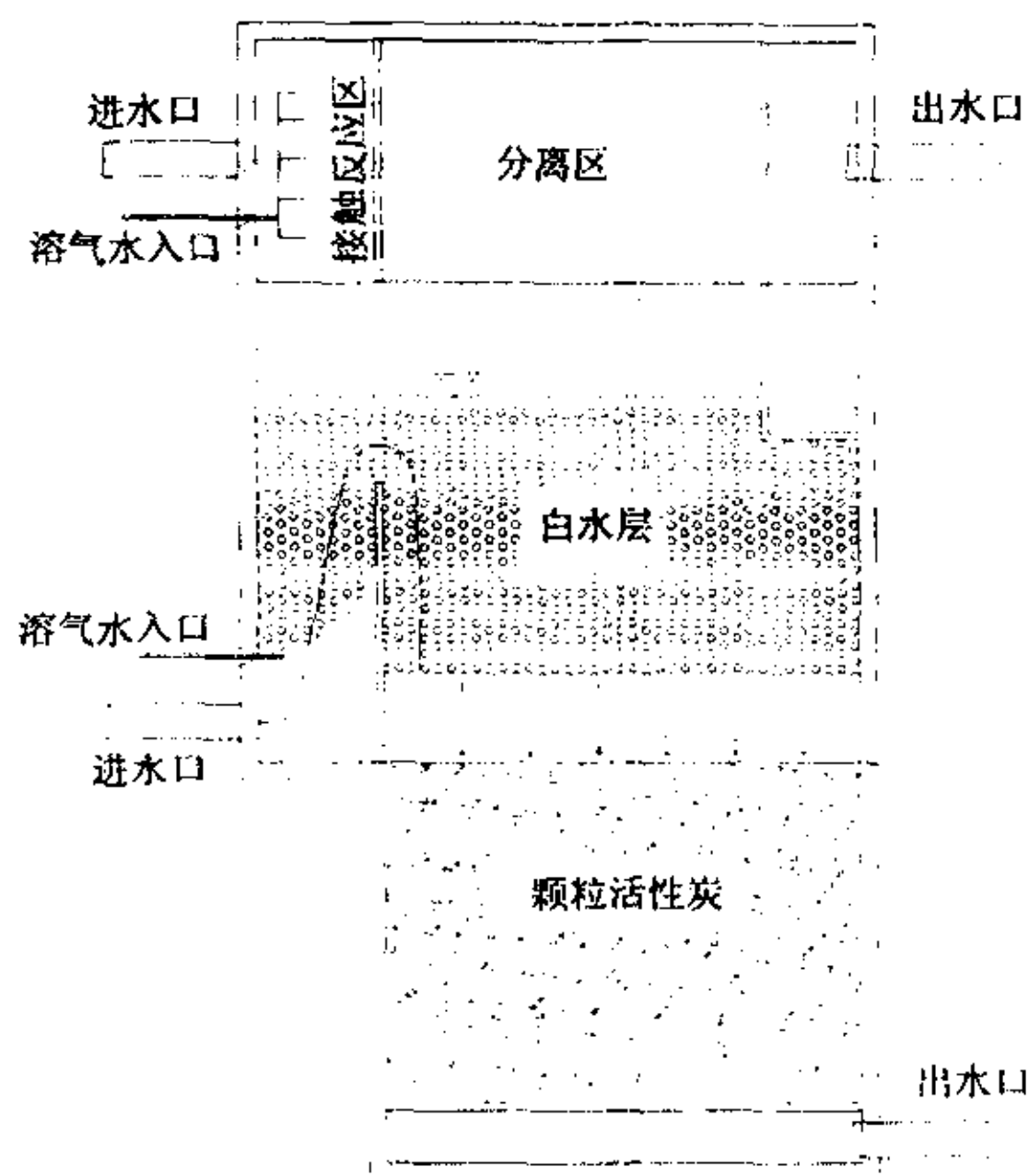


图2 活性炭石英砂双层深床滤料浮滤池示意图

### 3 结果与讨论

高藻条件下活性炭深床浮滤池工艺连续运行效果的考察包括以下水质指标：浊度、 $UV_{254}$ 、耗氧量、藻总数。

#### 浊度

图3为活性炭深床浮滤池工艺对高藻原水浊度的去除。原水水温为 $12.1\sim 21.5^{\circ}\text{C}$ ，呈下降趋势，原水浊度在 $2.62\sim 5.93\text{NTU}$ 之间波动，气浮出水浊度为 $0.24\sim 0.54\text{NTU}$ ，滤后水浊度为 $0.16\sim 0.22\text{NTU}$ 。结果显示，本工艺对于低浊高藻原水有良好的浊度去除效果，工艺出水浊度一般小于 $0.20\text{NTU}$ ，满足设定要求。

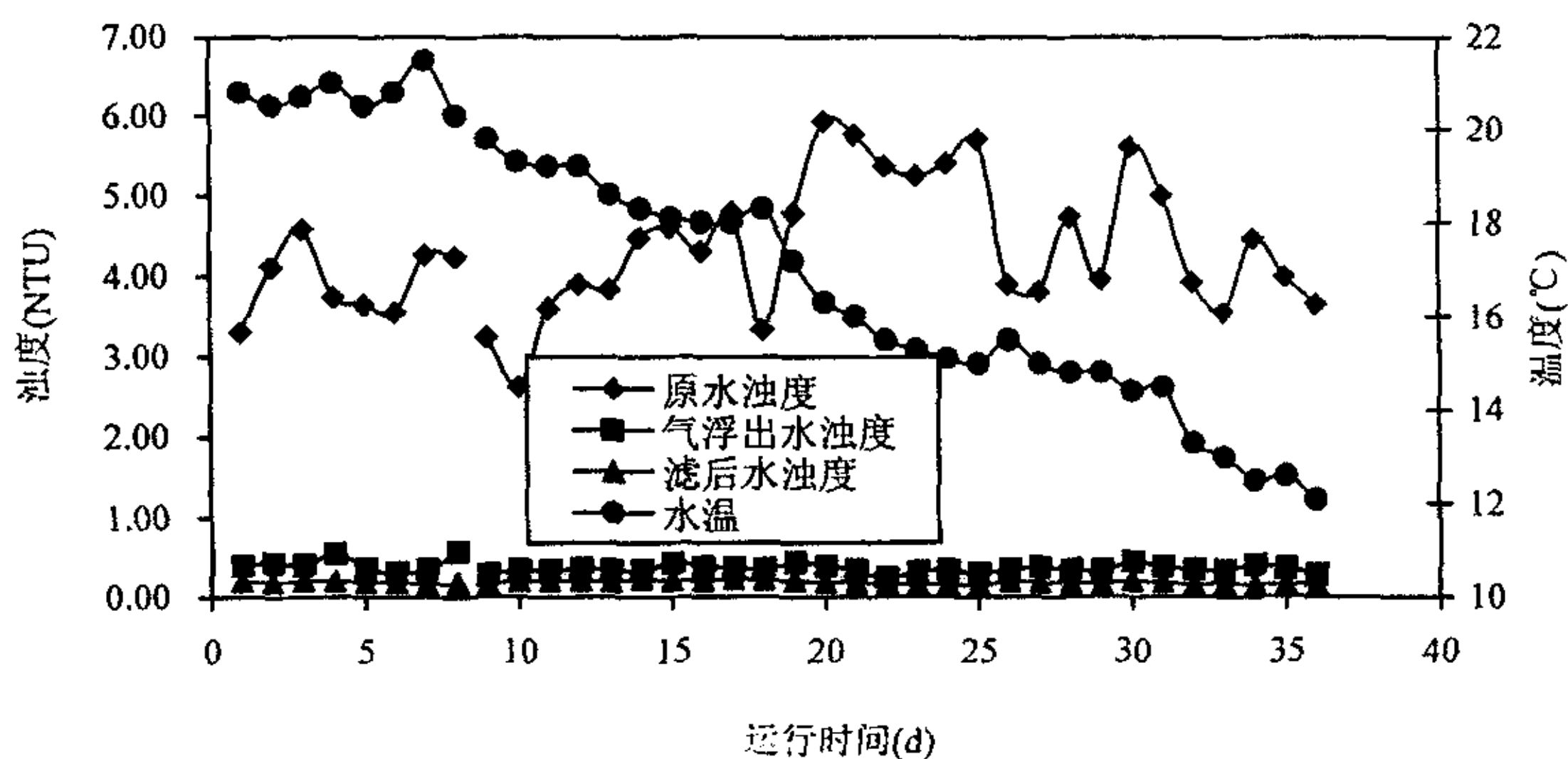


图3 活性炭深床浮滤池工艺对高藻原水浊度的去除

试验原水属于低浊水，含颗粒物较少，絮凝剂投量较低时形成的絮体少、细、轻，从而使絮体之间的碰撞几率小、难于沉淀，溶气气浮工艺通过引入大量的微气泡强化絮体之间、絮体与气泡之间的碰撞，并且细、轻的絮体也比较易于上浮，这样，溶气气浮工艺对于低浊水就有较好的浊度去除效果，所以试验中，

大部分的浊度去除是发生在气浮单元。试验期间原水水质有一定变化，特别是水温持续下降，但活性炭深床浮滤池工艺出水浊度一直比较稳定，这说明试验工艺可以接受一定范围内污染物负荷和混凝效果的波动。

UV<sub>254</sub>

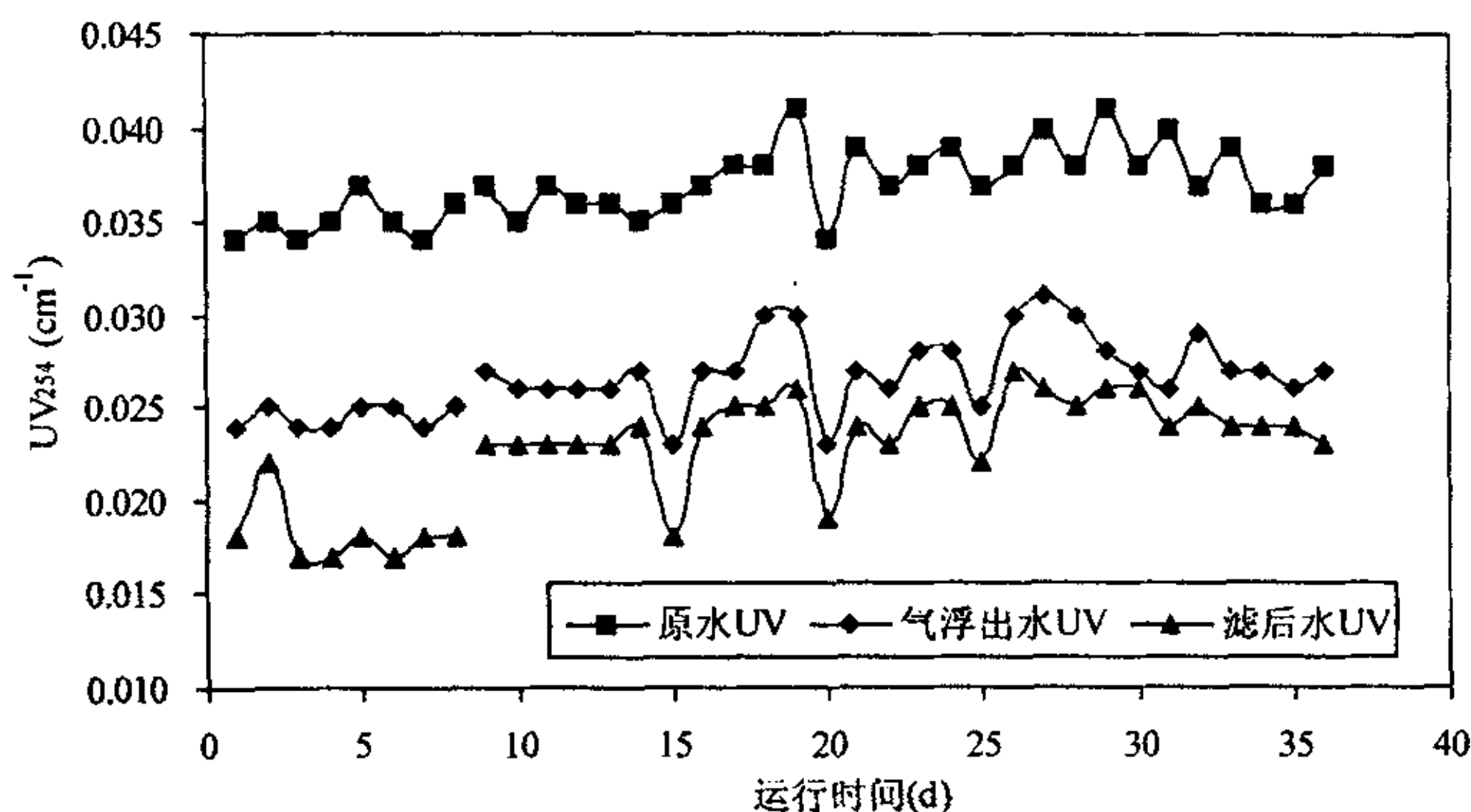


图 4 活性炭深床浮滤池工艺对高藻原水 UV<sub>254</sub> 的去除

图 4、5 为活性炭深床浮滤池工艺对高藻原水 UV<sub>254</sub> 的去除。

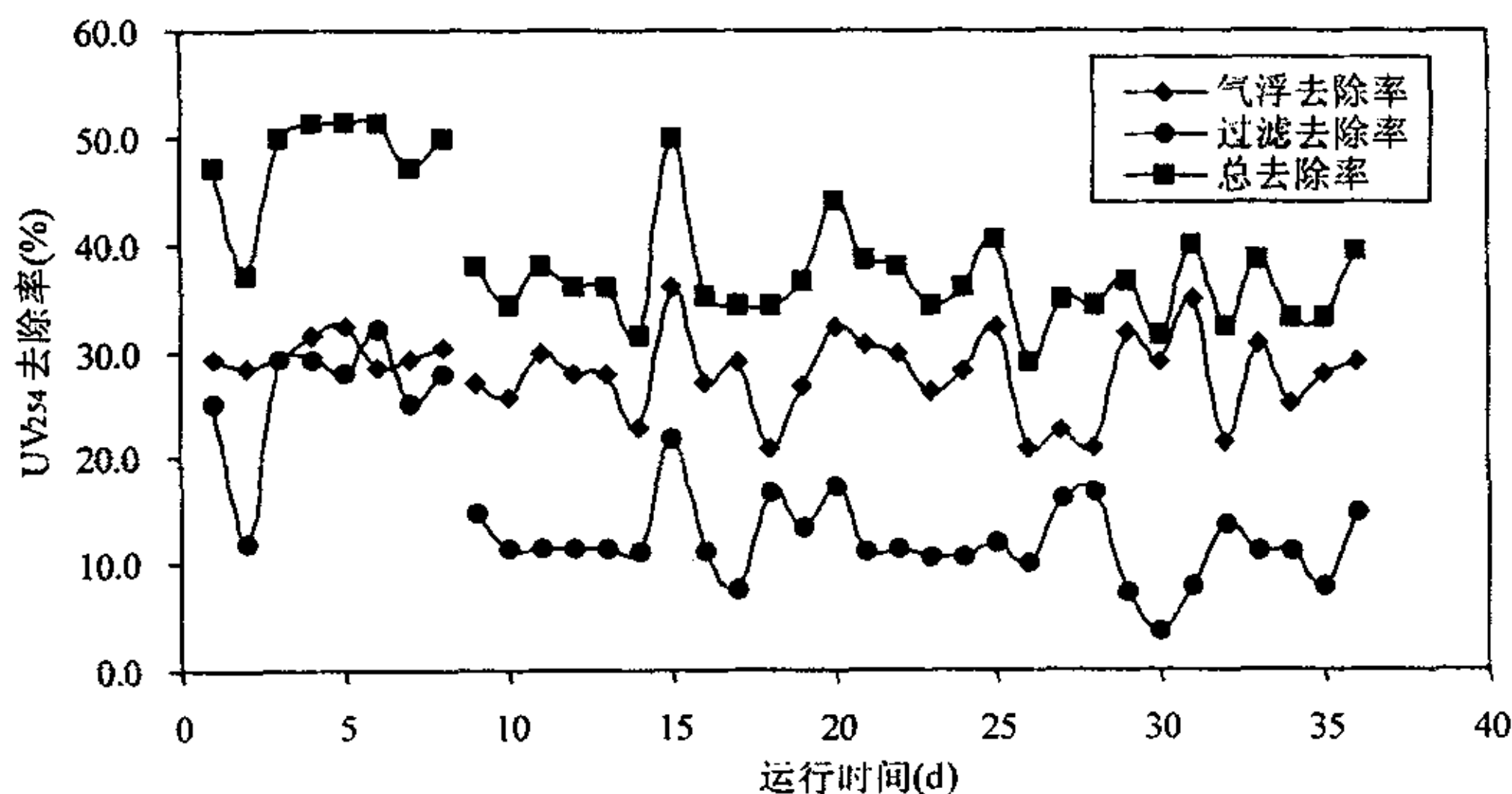


图 5 活性炭深床浮滤池工艺对高藻原水 UV<sub>254</sub> 的去除率

原水 UV<sub>254</sub> 在 0.034~0.041cm<sup>-1</sup> 之间波动；气浮出水 UV<sub>254</sub> 为 0.023~0.031cm<sup>-1</sup>，气浮去除率为 21.1~36.1%，平均为 30%左右；滤后水 UV<sub>254</sub> 为 0.017~0.027cm<sup>-1</sup>，前一阶段过滤去除率为 12.0~32.0%，平均为 30%左右，后一阶段过滤去除率为 3.7~21.7%，平均为 10%左右；前一阶段总去除率为 37.1~51.4%，平均为 50%左右，后一阶段总去除率为 28.9~50.0%，平均为 37%左右。气浮效果比较稳定，所以活性炭深床浮滤池工艺对 UV<sub>254</sub> 去除效果的变化主要是因为过滤单元。就过滤单元对 UV<sub>254</sub> 的去除效果来说，

后一阶段的较差,这主要是因为随着系统运行时间的延长,活性炭吸附性能在下降。因此,就活性炭深床浮滤池工艺对  $UV_{254}$  的去除来说,随着系统运行时间的延长,过滤单元的贡献会逐步减小。

#### 耗氧量

图 6、7 为活性炭深床浮滤池工艺对高藻原水耗氧量的去除。

原水耗氧量主要在  $1.52\sim 2.23\text{mg/L}$  之间波动,并且整体上呈下降趋势;气浮出水耗氧量为  $0.96\sim 1.44\text{mg/L}$ ,气浮去除率为  $27.3\sim 42.0\%$ ,平均为  $37\%$  左右,且呈下降趋势;滤后水耗氧量为  $0.82\sim 1.15\text{mg/L}$ ,前一阶段过滤去除率为  $19.9\sim 33.3\%$ ,平均为  $25\%$  左右,后一阶段过滤去除率为  $10.6\sim 21.1\%$ ,平均为  $15\%$  左右;前一阶段总去除率为  $49.5\sim 57.0\%$ ,平均为  $53\%$  左右,后一阶段总去除率为  $41.2\sim 51.9\%$ ,平均为  $45\%$  左右。试验期间气浮去除率均呈下降趋势,主要原因是水温在持续下降,混凝效果受到一定影响。就过滤单元对耗氧量的去除效果来说,后一阶段的较差,同样,这主要是因为活性炭吸附性能在下降。

耗氧量和  $UV_{254}$  的结果表明,活性炭深床浮滤池工艺对有机物有较好的去除效果,这主要得益于溶气气浮工艺的高效性以及活性炭柱的吸附和生物作用。

活性炭深床浮滤池工艺中气浮单元对耗氧量的去除效果优于  $UV_{254}$ ,并且耗氧量去除效果受水温的影响大于  $UV_{254}$ ,出现这种现象的主要原因是:耗氧量反映的有机物包括悬浮、胶态和溶解性有机物, $UV_{254}$  反映的是溶解性有机物,而作为常规工艺的溶气气浮的去除对象主要是悬浮、胶态物质,所以气浮单元对耗氧量的去除效果要优于  $UV_{254}$ ,这样,当水温降低,混凝作用受到抑止时,与  $UV_{254}$  相比,耗氧量去除效果受到的影响就更显著。

活性炭深床浮滤池工艺过滤单元是以颗粒活性炭为滤料的常规过滤单元,其同时发挥常规处理和深度处理作用,一方面利用过滤作用截留水中的悬浮和胶态物质,另一方面,利用活性炭的吸附作用以及炭表面的生物作用去除水中的有机物。过滤作用主要是去除非溶解性有机物,而活性炭主要是吸附水中分子量、疏水性有机物,生物作用包括生物絮凝、生物降解等作用,去除对象以小分子量、亲水性有机物为主。

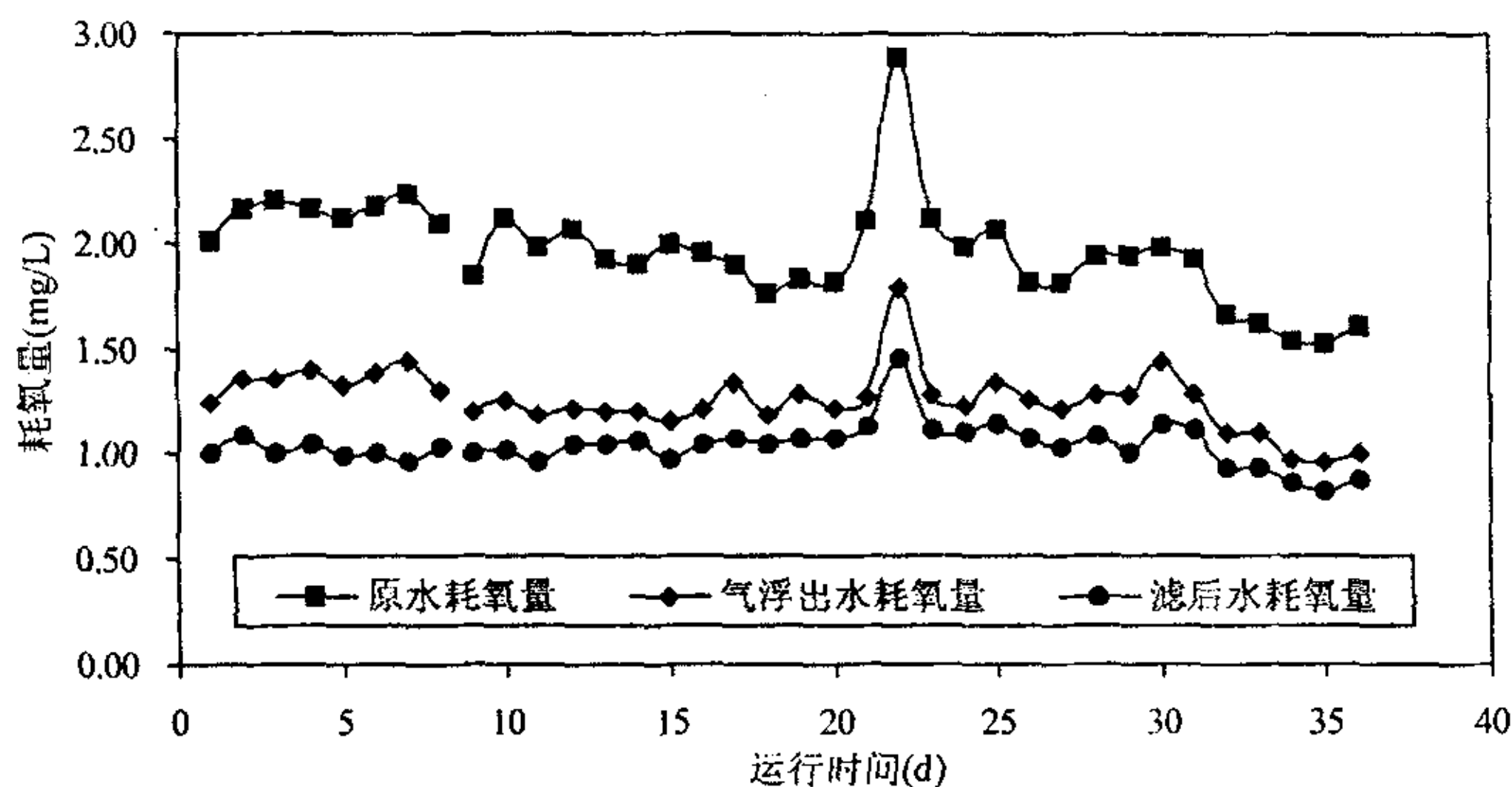


图 6 活性炭深床浮滤池工艺对高藻原水耗氧量的去除

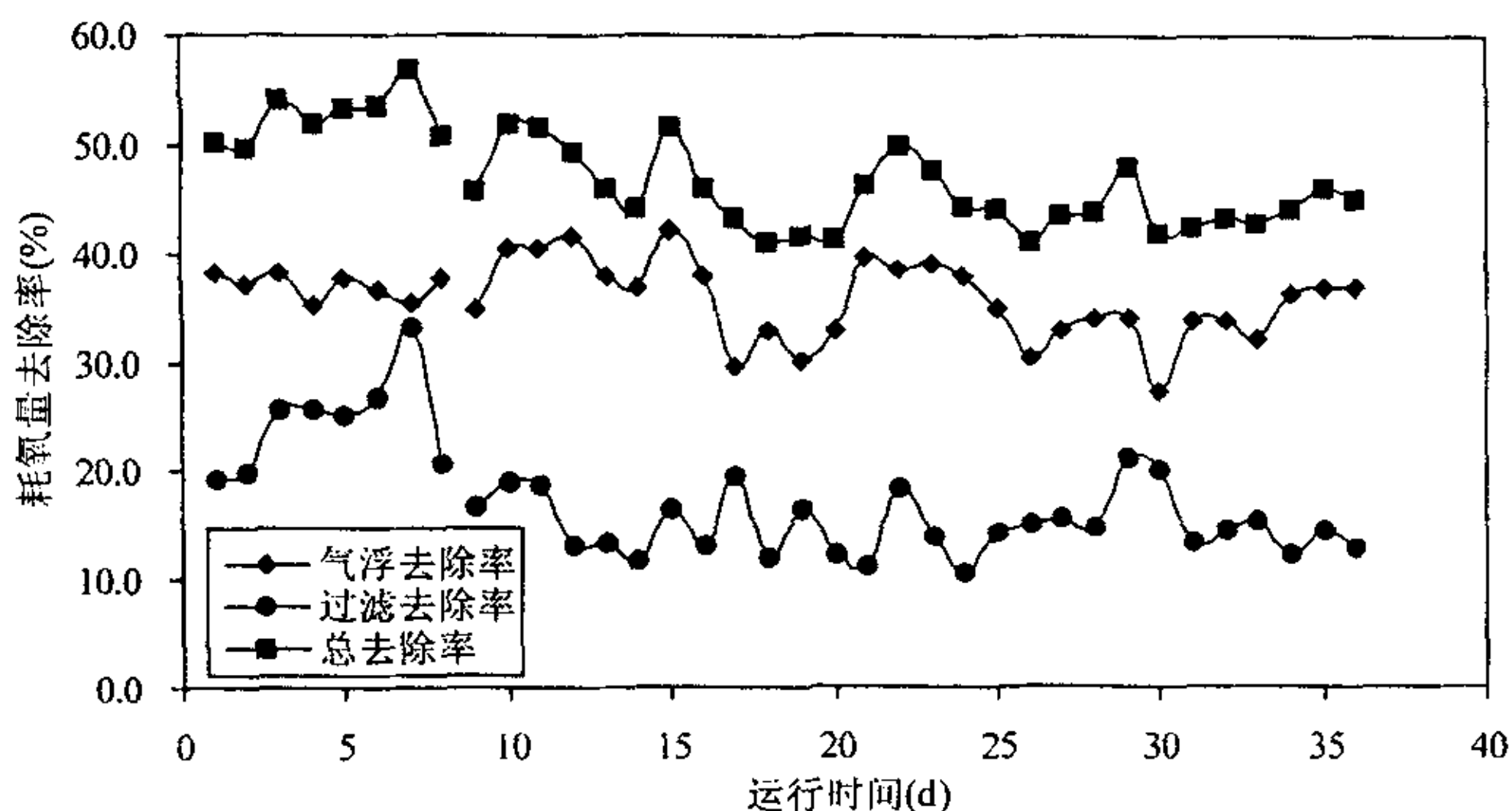


图 7 活性炭深床浮滤池工艺对高藻原水耗氧量的去除率

### 藻总数

图 8、9 为活性炭深床浮滤池工艺对高藻原水藻总数的去除。

当不调节原水 pH 时, 原水藻总数  $4.39 \times 10^6 \sim 1.51 \times 10^7$  个/L, 并且整体上呈下降趋势; 气浮出水藻总数  $7.39 \times 10^5 \sim 2.14 \times 10^6$  个/L, 气浮去除率比较稳定, 79.6~86.4%; 滤后水藻总数  $6.41 \times 10^5 \sim 1.48 \times 10^6$  个/L, 过滤去除率为 40.3~18.5%, 总体值在 26% 左右; 藻总数总去除率比较稳定, 85.4~90.3%。

结果显示, 活性炭深床浮滤池工艺对藻有较好的去除效果, 并且大部分藻是通过气浮单元去除, 而过滤单元对藻的去除效果并不理想, 这说明, 在试验混凝条件下, 原水中有某种藻类的表面化学性质并没有得到有效的改善。

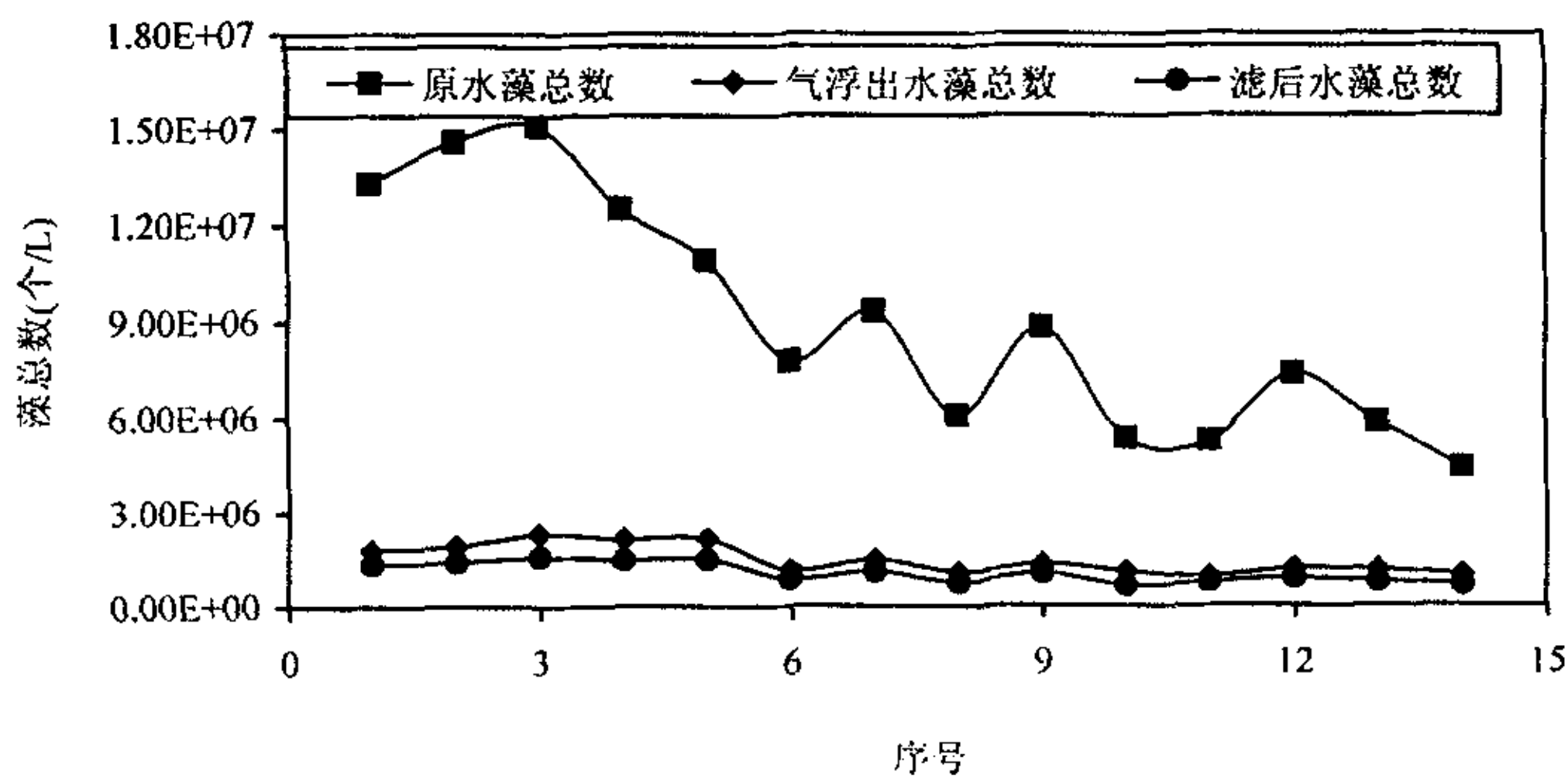


图 8 活性炭深床浮滤池工艺对高藻原水藻总数的去除

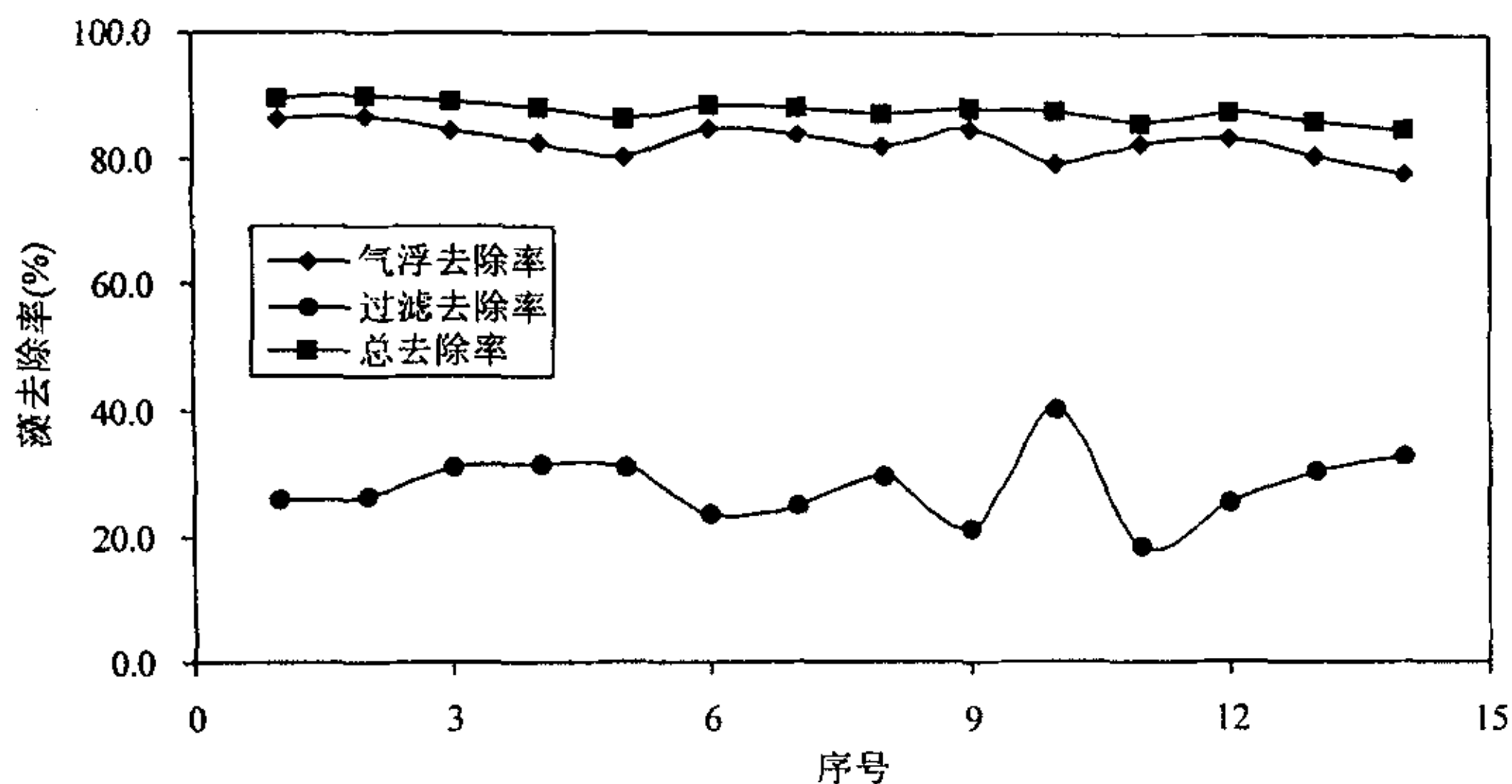


图 9 活性炭深床浮滤池工艺对高藻原水藻总数的去除率

#### 4 结论

(1) 活性炭石英砂双层深床滤料浮滤池工艺特点：气浮过滤一体化，活性炭石英砂双层深床过滤，常规处理和深度处理一体化。该工艺优点：节约占地面积，在显著提高最终出水水质的同时省掉了砂滤池，运行方式灵活。

利用活性炭石英砂双层深床滤料浮滤池处理高藻原水效果比较理想：出水浊度  $0.16 \sim 0.22 \text{ NTU}$ ；出水  $\text{UV}_{254} 0.017 \sim 0.027 \text{ cm}^{-1}$ ，去除率  $28.9 \sim 51.4\%$ ；出水耗氧量  $0.82 \sim 1.15 \text{ mg/L}$ ，去除率  $41.2 \sim 57.0\%$ ；出水藻总数  $6.41 \times 10^5 \sim 1.48 \times 10^6 \text{ 个/L}$ ，去除率  $85.4 \sim 90.3\%$ 。

#### 参考文献 (Reference):

- [1] APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water wastewater, 20th edition. American Public Health Association, Washington, DC 20005, USA. 1999.
- [2] Van der Kooij, et al. Determining the concentration of easily assimilable organic carbon in drinking water. J AWWA, 1982,74(10):1526-1531.
- [3] Hoson T. Growth characteristics of the musty odor producing algae. Wat. Sci. Tech., 1989,25(2): 81-88.
- [4] Jennifer L. Stauber, T. Mark Florence, Cheryl M. Davies, et al. Bioavailability of Al in alun-treated drinking water [J]. J. AWWA, 1999, 91(11):84 - 93.
- [5] Steve Reiber, Walter Kukull, Perri Standish-Lee. Drinking water aluminium and bioavailability [J]. J. AWWA, 1995, 87(5):86 - 97.