

粉末活性炭应用研究

蒋 峰

范瑾初

(上海市政工程设计研究院)

(同济大学)

摘 要

在烧杯试验和小试基础上考察了粉末活性炭处理污染原水的工艺方法和技术关键。试验结果表明:木屑炭由于中孔发达,较适合应用于给水处理。粉末活性炭的最佳投加点是絮凝中端。该工艺可有效避免吸附与混凝之间的竞争,并保证充足的吸附时间。建议粉末活性炭的投加量为 $10\sim 15\text{mg/L}$,该条件下 COD_{Mn} 可达20%左右的较稳定去除效果,TTHM和ABS可去除50%以上,酚可去除掉30%以上。此外,粉末活性炭的投加对混凝产生了一定的负影响,出水浊度和无机炭浓度有一定增加,实用中应尽量避免。

关键词 粉末活性炭;絮凝期;吸附;最终三卤甲烷值(TTHM)

1 前言

近年来,饮用水源污染问题愈加突出。特别是种类繁多的有机物使饮用水中出现异常的色、嗅、味,并可能对人体产生急性或慢性、直接或间接的致病作用,有的还有致畸、致癌和致突变作用。这些有机物引起了人们对饮用水水质安全性的担忧。

建设部将“粉末活性炭吸附技术”列为“八五”攻关课题。由同济大学承接,探索针对淮河水系主要污染河段——淮南段污染原水粉末活性炭处理的技术关键和工艺特点。本研究为前期工作,主要在烧杯试验和小试基础上,寻求粉末活性炭吸附的合适工艺形式和设计参数。

2 研究方法和水质测试项目

试验主要采用模拟实际工艺的吸附试验方法,步骤如下:

① 将原水置于配有搅拌机的大烧杯中以中速搅拌30min(150r/min),模拟吸水并至混凝前的管道中混合和吸附的水力条件。

② 加入液体碱式氯化铝40mg/L左右。

③ 快速搅拌1min(250r/min),模拟快速混合阶段。

④ 中速搅拌4min(200—100r/min),模拟穿孔旋流絮凝池中水力条件。

⑤ 慢速搅拌25min(50—30r/min),模拟网格隔板絮凝池和沉淀池前部水力状况。

⑥ 静置沉淀10min。

⑦ 上清液经60cm厚砂滤柱过滤,滤速统一控制在5m/h左右。为保证过滤条件的统一,每次过滤前将砂滤柱反冲干净。

⑧ 分析滤液水质。

小试规模为 $2\text{m}^3/\text{h}$,采用机械搅拌混凝,G值在30~60/s。絮凝池停留时间0.5h,沉淀池停留时间0.5h。沉淀池出水经60cm厚砂滤柱($\varnothing 20\text{cm}$)过滤。出水进行测试分析。

研究内容包括:优选合适的粉末活性炭炭种;对不同投加工艺比较评价;对污染物去除效果考察。针对粉末活性炭的处理目的,主要测试项目为: COD_{Mn} ,TOC,UV消光值,TTHM, CCl_4 ,酚,ABS,IC, NH_4^+-N ,浊度,色度,pH值

和水温。

3 试验结果与分析

3.1 优选适合淮河污染原水的粉末活性炭炭种

本试验针对5种炭种(包括椰壳炭、木屑炭和煤质炭)进行了技术指标测试和模拟静态吸附试验(不加絮凝剂)的测试。有关数据见表1和图1。结果表明,对淮河水中有有机污染物,椰壳炭、煤质炭的吸附效果比木屑炭差。其中2#木屑炭去除率较高、效果稳定、为最佳炭种,后续模拟各投加工工艺平行选炭试验亦得出相同结论。对此分析,可能是由于淮河水源中有机物的吸附主要发生于大孔和中孔,椰壳炭虽然微孔最为发达但中孔、大孔的表面积不如木屑炭丰富,这一点从亚甲基兰吸附值可得到反映,而煤质炭吸附性能较差,比较下来木屑炭最为适合处理此类污染原水。

表1 试验采用炭种技术指标

炭 号	1#	2#	3#	4#	5#
炭 种	煤质炭	木屑炭	木屑炭	木屑炭	椰壳炭
粒子目数(目) >90%	200	200	200	200	200
堆积比(g/mL)	0.479	0.274	0.294	0.286	0.423
灰 分(%)	12.05	4.81	5.40	1.60	5.85
水 份(%)	6.80	4.55	17.73	13.03	14.3
碘 值(mg/g)	989.6	969.5	960.0	974.8	1077.3
亚甲基兰吸附 值(mg/g)	65	210	205.5	217.5	120
价格(元/kg)	2.8	3.2	5.0	7.0	10.0
产 地	太原	贵溪	上海	上海	上海

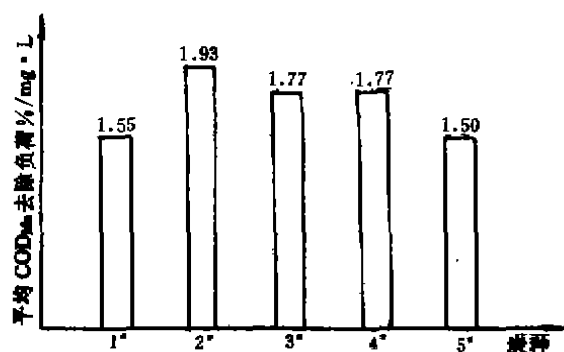


图1 模拟静态吸附试验各炭种平均去除负荷(烧杯试验)

3.2 不同粉末活性炭投加点比较

粉末活性炭的投加点一般选在吸水井、快速混合处或滤池的进口。由于淮南水厂采用两级加强絮凝工艺,即:

吸水井→网格穿孔旋流絮凝池→隔板絮凝池→沉淀池→滤池→清水池

穿孔旋流絮凝池也可满足粉末活性炭的混合条件。因此絮凝中端也作为平行比较投加点之一。

针对淮河原水,连续考察各投加点的有机物去除效果。当粉末活性炭投加量为10mg/L时,各投加点出水COD_{Mn}值见图2。滤前投加吸附时间不足,去除率甚低且很容易出现粉末活性炭穿透砂层现象,甚至使出水COD_{Mn}值增大。吸水井投加时吸附与混凝竞争比快速混合处投加更严重,出水COD_{Mn}值明显高于快速混合处投加点的出水。而絮凝中端投加时,出水COD_{Mn}值明显低于其它投加点出水。这说明30min可基本保证吸附的时间,另一方面表明粉末活性炭易吸附可混凝去除的部分有机物。另外,粉末活性炭被矾花包裹也对吸附性能有一定的影响。

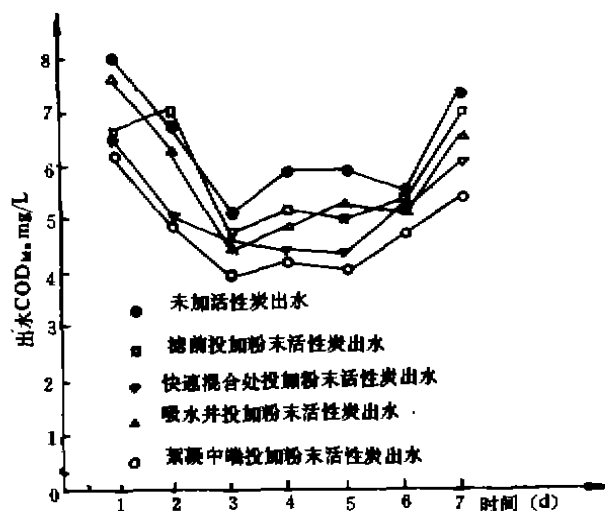


图2 投量10mg/L 各天不同投加点出水比较(烧杯试验)

不同投加点有机物去除率随投炭量变化的关系曲线(见图3),可以反映不同投加点的去除特性。吸水井投加起始去除率上升很慢,说明吸附与混凝竞争严重,粉末活性炭吸附了部分可混凝去除的有机物,这些有机物不但占有了

吸附位,而且阻塞了活性炭的大孔、中孔,限制了较小有机分子在孔隙内的迁移,对有机物的总去除率并无实质贡献;随投炭量的增加当 $>10\text{mg/L}$ 后,粉末活性炭有充分的吸附空间对混凝无法去除的小分子进行吸附、时间较长,因而去除率曲线上升较快,效果逐渐明显。快速混合处投加可部分避免与混凝的竞争,因而低投量时去除率提高比吸水并投加上升快,吸附的有机物较多;但由于逐渐形成的絮凝体会将粉末活性炭包裹起来,使之不能充分发挥吸附容量,去除率上升曲线一直较缓。絮凝中端投加即是在肉眼可见矾花形成后投加,这时混凝可去除的部分有机物已进入絮凝体,而且投入的粉末活性炭大都附着于絮凝体表面,可一直发挥对水中小分子有机物的吸附作用,受混凝竞争和絮凝体包裹的影响都很小,故去除率曲线随投炭量的增加上升得最快也最稳。

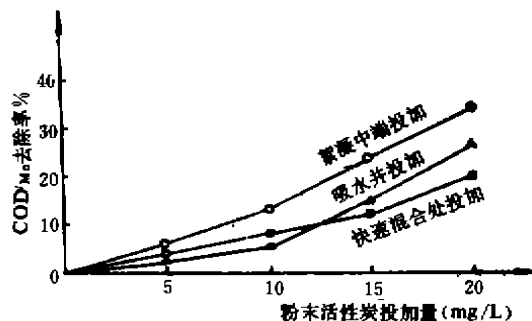


图3 不同投加点 COD_{Mn}去除曲线比较(烧杯试验)

原水 COD_{Mn} 7.48mg/L, pH 7.3, 浊度 120ntu, 未加粉末活性炭出水 COD_{Mn} 3.76mg/L

3.3 粉末活性炭净水效果评价

对絮凝中端不同粉末活性炭投加量进行了平行试验,测试结果见图4和图5。图4反映了不同投炭量出水的 COD_{Mn}、UV 消光值和 TOC 去除率之间的相关关系。虽然这三项指标侧重反映的有机物不一定相同,但在各种不同原水水质条件下,它们对有机物总量及其去除率所表达的相关性良好,均可作为总有机物去除的指标参数。图5反映了一段时期内粉末活性炭投量为 10mg/L、15mg/L 和 40mg/L 时的有机物去除效果,从小试数据看可分别达到 15%、20% 和 40% 的去除率。建议针对淮河污染原水

的水质情况,较明显的污染水质采用 15mg/L 的粉末活性炭处理;水质污染不太严重时采用 10mg/L 的粉末活性炭投加量;在严重污染状况(原水 COD_{Mn} 值超过 10mg/L)时,可考虑 40mg/L 的粉末活性炭投加量。

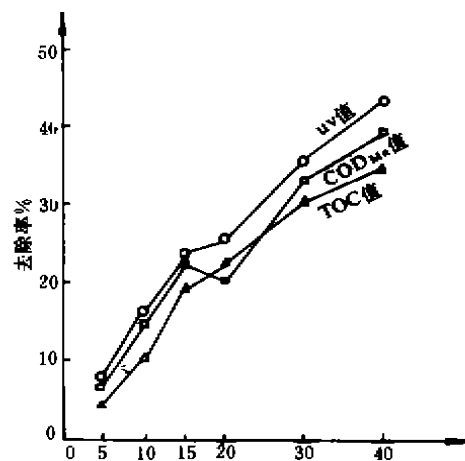


图4 粉末活性炭不同投量时有机物去除率(烧杯试验)

原水 COD_{Mn} 8.64mg/L, pH 7.2, 浊度 115ntu

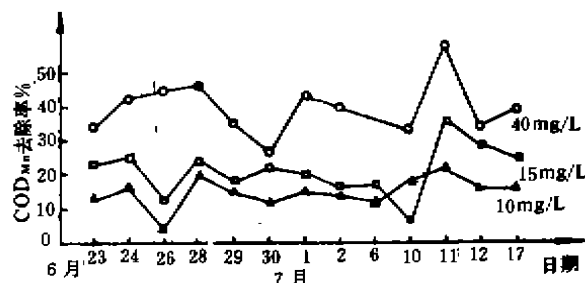


图5 粉末活性炭投量 10、15、40mg/L 时的 COD_{Mn}去除率(烧杯试验)

3.4 粉末活性炭对特种污染物的去除

不同水质下活性炭对三卤甲烷类物质的处理效果相差很大,为反映对该类物质的最终处理效果,本试验测试了最终三卤甲烷(TTHM₅)和四氯化碳(CCl₄)的去除率(见图6)。粉末活性炭对 TTHM₅ 有较好的去除效果,去除率随投炭量增加而上升,可达到 50% 以上。相比对 CCl₄ 的吸附效果较差,只能去除 10%。这一方面由于 TTHM₅ 前体比 CCl₄ 前体类物质多得多(常规工艺出水 TTHM₅ 为 0.117mg/L,而 CCl₄ 仅为 0.038mg/L;另一方面,粉末活性炭

对 TTHM₆ 的吸附性能也优于 CCl₄。

混凝对 ABS(烷基苯磺酸盐)和酚几乎没有任何作用,粉末活性炭却有很好的吸附作用(见图 7),对其去除效果都随投炭量的增加而明显改善。从去除曲线看,这两类物质的去除不受竞争吸附的影响,多种水质状况下的去除曲线十分吻合,仅与投炭量相关,证明 ABS 和酚的良好可吸附性。20mg/L 的粉末活性炭投量可将上述物质去除 50%,40mg/L 的投量可将近 80% 的去除率。

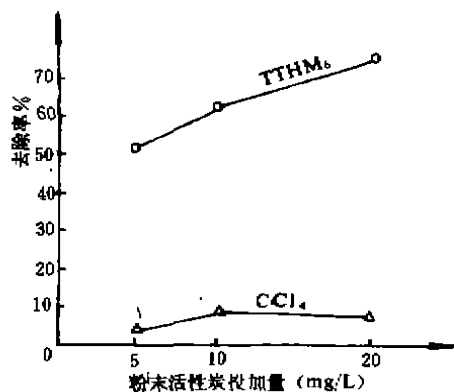


图 6 粉末活性炭对 TTHM₆ 和 CCl₄ 的吸附效果(小试)

原水 COD_{Mn}7.59mg/L,浊度 93ntu,常规工艺出水

TTHM₆0.117mg/L,CCl₄0.038mg/L

粉末活性炭对 NH₄⁺-N 也有一定的去除效果。在低混凝剂投量下,NH₄⁺-N 的去除效率呈现一定的非规则性;在较大的混凝剂投量下,NH₄⁺-N 出水浓度随活性炭投量的增加而有规则的减少。图 8 表示碱铝投量分别为 40mg/L 和 60mg/L 时,活性炭对 NH₄⁺-N 的去除率。从总体上看,粉末活性炭对 NH₄⁺-N 的去除率不高,可能是由于 NH₄⁺-N 与一些有机物的结合附着而被吸附去除。

采用 Ames 试验对致突变物质的去除效果进行了考察。结果表明,试验阳性结果主要表现在 TA₉₈菌株上,说明污染物质主要是通过碱基移码而诱变细菌的。在氧化酶 S₉ 作用下反应的致变性,经粉末活性炭 15mg/L 处理出水由强阳性(两 * 级)转化为弱阳性(一 * 级)。所以粉末活性炭对致突变性有一定的改善作用(Ames 试验结果见表 2)。

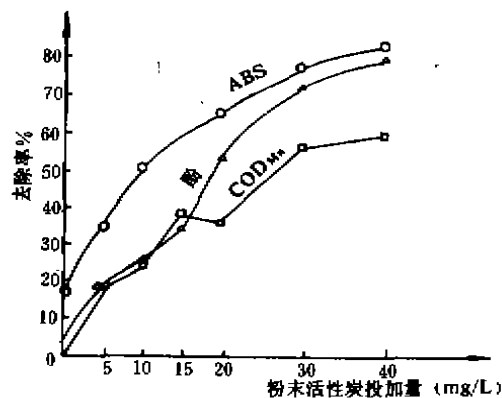


图 7 粉末活性炭对 ABS 和酚的吸附(小试)

原水 COD_{Mn}6.4mg/L,浊度 118ntu,

酚 0.016mg/L,ABS0.050mg/L

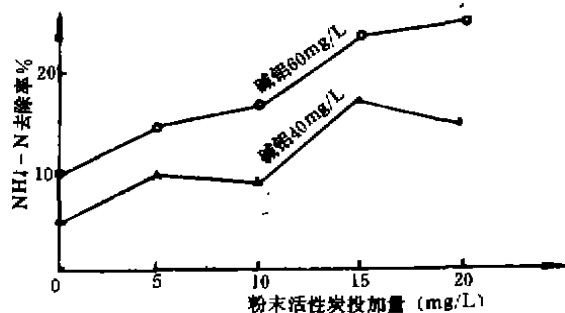


图 8 粉末活性炭投加量对 NH₄⁺-N 影响(烧杯试验)

原水 COD_{Mn}11.67mg/L,pH7.3,浊度 98ntu,

NH₄⁺-N0.62mg/L

表 2 投加 15mg/L 前后出水 Ames 试验回变菌落对照(小试)

DMSO 洗脱液量	TA ₁₀₀ +S ₉		TA ₉₈ +S ₉	
	投加 PAC	未投加 PAC	投加 PAC	未投加 PAC
0.50mg/L	119.7±2.1	121.7±4.0	49.7±2.1	51.0±2.6
1.00mg/L	120.7±2.5	123.7±4.2	75.0±4.6*	81.0±2.6**
2.00mg/L	124.3±2.1	127.0±4.0	98.0±4.0**	106.0±4.0**

3.5 粉末活性炭投量对混凝影响

不同投炭量平行比较试验表明,有机物去

除率不总是随投炭量增加而有规则地上升,在投炭量为 20mg/L 左右去除率有时反而下降。

这一现象与水质关系密切,当采用生活污水配水为试验原水时几乎未出现该现象。据对一些相关指标的测定,发现投加粉末活性炭时沉淀水的浊度(沉淀 10min 后测定)及出水无机炭(IC)浓度均有非规则现象出现(见图 9)。在粉末活性炭投加量 $< 20\text{mg/L}$ 时,沉淀水浊度随投炭量增加而增大,这可能是由于粉末活性炭表面的负电荷影响了混凝的效果;当粉末活性炭投量 $> 20\text{mg/L}$ 以后,沉淀水浊度有逐渐减小趋势,与一些文献报道的粉末活性炭高投量下的助凝现象有一定的类似性。对出水无机炭的考察, 20mg/L 以下投量的去除效果随投炭量的增加而逐渐变差;投炭量继续增大,去除效果有缓慢回升趋势。从这两种与混凝关系密切的指标看,在粉末活性炭投加量较小时混凝受到了明显的负影响,并造成了 COD_{Mn} 去除的非规则现象,其具体机理和避免的可能性有待深入研究。

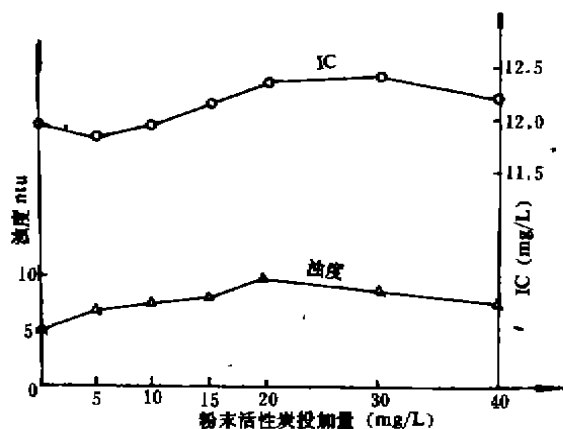


图9 不同粉末活性炭投加量下沉淀水浊度与无机炭浓度(烧杯试验)
原水 COD_{Mn} 8.64mg/L, pH 7.2, 浊度 115ntu

4 结论与建议

① 影响粉末活性炭效果的主要因素是粉末活性炭吸附与混凝的竞争和吸附时间的保证,协调这两方面因素是充分发挥粉末活性炭吸附能力的关键。混凝前投加粉末活性炭不可避免吸附与混凝之间的竞争,而且投加点越往前移,吸附的可混凝去除有机物越多,活性炭用量越大。只有在有条件采用较高粉末活性炭投加量场合,吸水并投加才有意义。滤前投加时,粉末活性炭与水的接触时间不足,而且易穿透滤料层。絮凝中端投加既可避免吸附与混凝之间的竞争,又保证了吸附时间,而且粉末活性炭附着于絮凝体表面,分离效果也较好。对淮河水而言,絮凝中端是粉末活性炭的最佳投加点。

② 从粉末活性炭对总有机物和各项污染物的去除效果和经济因素来看,投炭量可选用 $10\sim 15\text{mg/L}$,去除率在 20% 左右。在污染状况较严重时,可酌情增大投量至 40mg/L 。

③ 粉末活性炭对 TTHM₅ 有较好的去除效果,可达到 50% 以上;对 CCl_4 的去除率较低,仅有 10% 左右;对 ABS 和酚有很好的吸附性能,均可去除 80% 左右;对 NH_4^+-N 虽有一定去除效果,但不显著。从 Ames 试验看,粉末活性炭可有效改善水质致突变性。

④ 粉末活性炭对混凝存在负影响。对淮河水粉末活性炭投量在 20mg/L 时,负影响尤为明显,其具体机理有待深入探讨。

作者简介:蒋峰 工学硕士 设计人员

通讯处:200092 上海市国康路3号 上海市工程设计研究院给排水二室

欢迎订阅《西南给排水》(双月刊)

《西南给排水》杂志于1979年创刊,由中国市政工程西南设计研究院、四川省土建学会市政分会主办。它是专业性给排水技术刊物。主要刊登市政、工业与建筑给排水及水污染治理方面的科研设计、生产管理、施工安装的经验成果,介绍国内外在本技术领域的新技术、新设备与技术信息等。可供从事给排水与环境保护专业的科技人员、管理人员、技术工人以及中等和高等院校师生参考。《西南给排水》16开本,照排,每期48页,双月刊逢单月下旬出版。定价每份(全年六期为一份)18元。

编辑部地址:四川省成都市曹家巷81号 邮政编码:610081 电话:(028)3332152—2082 电报挂号:4123