

粉末活性炭处理水源水的投加优化与协同效能研究

封 焕 杨振鸿 范晓娟 冯 阳

西安城乡水务有限公司 陕西 西安 710000

【摘要】：针对极端天气下城市供水系统面临的挑战，以及常规水处理工艺对溶解性有机污染物去除能力不足、加大药剂投加量会导致铝含量控制难和成本上升的问题，本研究以黑河金盆水库水源水为对象，采用高锰酸钾-粉末活性炭联用技术方案，通过混凝搅拌实验，探究粉末活性炭的药剂选型、最佳投加量以及与高锰酸钾联用的合理时间间隔，以浑浊度、高锰酸盐指数、氨氮和锰为关键评价指标，旨在为该联用技术在实际水厂的推广应用提供理论指导与数据支撑，从而提升水厂水处理能力，保障城市供水安全。

【关键词】：粉末活性炭；高锰酸钾联用；水源水处理；投加优化；混凝实验；供水安全

DOI:10.12417/3083-5526.25.10.007

1 研究背景

今年以来，极端天气呈现频发态势，高温干旱与强降雨交替出现，对城市供水系统的稳定运行构成严峻挑战。鉴于7月份杭州市发生城市供水异常事件后，相关单位高度重视供水安全保障工作，第一时间启动供水系统潜在风险全面排查工作。当前各水厂普遍采用“混凝-沉淀-过滤-消毒”常规处理工艺，该工艺在去除水中悬浮物、胶体及细菌方面效果显著^[1]，但在应对有机污染物(特别是溶解性有机污染物)时，存在明显技术局限性，污染物去除能力较弱。为改善上述工艺短板，部分水厂在实际运行中，尝试通过加大加药量的方式强化处理效果，实践表明，这不仅导致出水中铝含量的控制难度大幅增加，同时造成水厂的制水成本显著上升，难以实现经济性与处理效果的平衡^[2]。

基于上述背景，相关单位深入研判当前水源水处理过程中可能存在的类似风险，拟采用投加高锰酸钾-粉末活性炭联用的技术方案，以黑河水源水为研究对象，研究高锰酸钾-粉末活性炭联合工艺去除水中污染物的效能，开展针对性混凝搅拌实验，重点探究粉末活性炭吸附工艺的药剂选型、最佳投加量以及高锰酸钾联用的合理时间间隔，旨在为该联用技术在实际水厂中的推广应用提供坚实的理论指导与数据支撑。通过上述研究，进一步指导高锰酸钾-粉末活性炭联用在实际处理流程中高效应用，从而切实提升各水厂水处理能力，推动水质持续改善，为城市供水安全提供有力保障。

2 实验材料与方法

2.1 主要实验设备

本次实验所用主要设备包括混凝搅拌机、恒温水浴锅、浊度仪、磁力搅拌器、电子天平、紫外分光光度计等。

2.2 生产药剂

本次实验涉及生产药剂共分为四类，具体为混凝剂(聚合氯化铝)、助凝剂(复合型硅酸钠)、高锰酸钾溶液及粉末活性炭，其中，混凝剂、助凝剂与高锰酸钾溶液均为当前水厂生产运营过

程中的实际在用药剂；粉末活性炭作为本次实验的重要研究对象，将围绕其对工艺效能的影响展开重点分析。

本次实验选取两种粉末活性炭样品作为研究对象，相关单位样品编号分别设定为1号、2号，两类样品材质统一为煤质，外观状态均为黑色粉末状。关于两种粉末活性炭样品的主要性能指标，其情况详见下表，指标限值采用《煤质颗粒活性炭净化水用煤质颗粒活性炭》(GB/T7701.2-2008)。

粉末活性炭技术参数对比表

序号	项目	单位	限值	检测结果	
				1号	2号
1	碘吸附值	mg/g	≥800	921	906
2	亚甲基蓝吸附值	mg/g	≥120	185	135
3	水分	w/%	≤5	2.383	4.3
4	比表面积	m ² /g	/	942	908
5	粒度(200目过筛率)	w/%	/	96.3	95

2.3 分析项目及检测方法

为全面评估粉末活性炭处理效果，实验确定4项关键分析指标，具体为浑浊度、高锰酸盐指数、氨氮和锰，浑浊度采用散射法、高锰酸盐指数采用酸性高锰酸钾滴定法、氨氮采用水杨酸盐分光光度法、锰采用甲醛肟分光光度法进行测定，且4项指标检测方法参照《生活饮用水标准检验方法》(GB/T 5750-2023)，实验过程中需要用到的实验室药剂包括：高锰酸钾标准溶液、草酸钠标准溶液、(1+3)硫酸溶液、氨氮测试试剂及锰测试试剂。

3 实验过程

本实验所用水源水取自黑河金盆水库，该水源在水库泄洪期间，原水浑浊度、高锰酸盐指数、氨氮和锰变化较大，以这些指标为关键评价指标，重点探究粉末活性炭药剂的最佳投加

量、选型以及和高锰酸钾的时间间隔，最终实现强化混凝对原水净化效果的目的。

3.1 粉末活性炭最佳投加量及选型

实验步骤：分别量取 1L 原水置于混凝搅拌仪的 6 个烧杯中，结合生产实际，确定药剂投加量如下：聚氯化铝 28mg/L、复合型硅酸钠 14mg/L，其中 1 号烧杯作为空白组，1-6 号实验组，设定投加不同量的粉末活性炭，以探究不同投加量对水样的处理效果。

实验程序：以 100r/min 搅拌混合 2min(同步投加粉末活性炭)，以 400r/min 快速搅拌 20s(同步投加聚氯化铝)，以 180r/min 中速搅拌反应 2min(同步投加复合型硅酸钠)，以 150r/min 慢速搅拌反应 3min，以 60r/min 搅拌反应 15min，在烧杯中静置 30min 后于液面下 2cm 处取上清液，用于后续指标检测，对浑浊度和高锰酸盐指数的检测结果见下表。

粉末活性炭投加量对浑浊度和高锰酸盐指数检测结果汇总表

原水情况：浑浊度 334NTU、高锰酸盐指数 9.99mg/L。							
项目		1	2	3	4	5	6
粉末活性炭投加量(mg/L)		0	10	20	30	40	50
1 号	浑浊度(NTU)	0.95	1.37	0.99	0.69	0.90	0.74
	高锰酸盐指数(mg/L)	2.55	2.31	2.15	2.07	1.95	1.79
2 号	浑浊度(NTU)	0.85	0.83	0.77	0.89	1.18	0.80
	高锰酸盐指数(mg/L)	2.43	2.27	2.27	2.03	1.87	1.79

通过对比 1-6 号烧杯浑浊度、高锰酸盐指数的去除率可知：粉末活性炭的投加对去除浑浊度和高锰酸盐指数有一定效果，且随粉末活性炭投加量的增加，浑浊度的去除率整体维持稳定状态，高锰酸盐指数的去除率呈上升趋势；进一步结合沉淀后水样的色度指标综合分析，确定粉末活性炭最佳投加量均为 30mg/L；两种粉末活性炭的处理效能表现一致，因此 1 号和 2 号粉末活性炭对浑浊度、高锰酸盐指数的处理效果相同。

3.2 与高锰酸钾的时间间隔

实验步骤：各取 1L 原水置于混凝搅拌仪的六个烧杯中，结合生产实际，确定各种药剂投加量如下：聚氯化铝 28mg/L、复合型硅酸钠 14mg/L、高锰酸钾 0.4mg/L、1 号粉末活性炭 30mg/L，其中 1 号烧杯作为空白组，不投加高锰酸钾与粉末活性炭。针对 2-6 号实验组，设定不同的粉末活性炭与高锰酸钾的投加时间间隔，以探究不同时间间隔对处理效果的影响。

实验程序：先以 100r/min 搅拌混合 2min(同步投加高锰酸钾与粉末活性炭)，随后调整转速至 400r/min 快速搅拌 20s(同步投加聚氯化铝)，再以 180r/min 中速搅拌 2min(同步投加复合型硅酸钠)；接着以 150r/min 慢速搅拌 3min，之后降至 60r/min

继续搅拌 15min。搅拌结束后，待烧杯内水样静置 30min，于液面下方 2cm 处采集上清液，用于后续指标检测，其对浑浊度和高锰酸盐指数的检测结果见下表。

时间间隔对浑浊度和高锰酸盐指数的检测结果

原水情况：浑浊度 250NTU、高锰酸盐指数 8.80mg/L。						
项目	1	2	3	4	5	6
时间间隔 (min)	/	0	5	10	15	20
浑浊度(NTU)	1.77	1.72	1.68	1.60	1.55	1.63
高锰酸盐指数(mg/L)	2.60	2.48	2.56	2.52	2.40	2.52

通过对比 1 号空白烧杯与其余实验组烧杯的处理数据可知：投加高锰酸钾和粉末活性炭后，浑浊度、高锰酸盐指数的去除率虽有小幅提升，但整体效果并不显著，对浑浊度、高锰酸盐指数去除率稍有效果，但效果不明显；进一步对比 2-6 号实验组烧杯的结果发现，随两者投加时间间隔的增加，浑浊度与高锰酸盐指数的去除率未呈现明显差异，即时间间隔对两项指标去除效果的影响较小。

3.3 粉末活性炭对铁、锰的去除率

实验步骤：分别量取 1L 原水置于混凝搅拌仪的 6 个烧杯中，结合生产实际，确定药剂投加量如下：聚氯化铝 24mg/L、复合型硅酸钠 12mg/L，其中 1 号烧杯作为空白组，1-6 号为实验组，设定投加不同量的粉末活性炭，以探究不同投加量对水样中锰的处理效果。

实验程序：先以 100r/min 搅拌混合 2min(同步投加粉末活性炭)，随后调整转速至 400r/min 快速搅拌 20s(同步投加聚氯化铝)，再以 180r/min 中速搅拌 2min(同步投加复合型硅酸钠)；接着以 150r/min 慢速搅拌 3min，之后降至 60r/min 继续搅拌 15min。搅拌结束后，待烧杯内水样静置 30min，于液面下方 2cm 处采集上清液，用于后续指标检测，其对浑浊度、锰、氨氮的检测检测结果见下表。

对浑浊度、氨氮的检测检测结果汇总表

原水情况：浑浊度 250NTU、氨氮 0.33mg/L。						
项目	1	2	3	4	5	6
粉末活性炭投加量(mg/L)	0	10	20	30	40	50
浑浊度(NTU)	2.12	2.15	1.90	1.49	1.89	1.12
氨氮(mg/L)	<0.03	<0.03	<0.03	0.03	0.03	0.03

通过对比 1 号空白烧杯与其余实验组烧杯的处理数据可知，投加粉末活性炭后，浑浊度的去除率虽有小幅提升，但整体效果并不显著，氨氮的去除率未呈现明显差异。

对浑浊度、锰的检测结果汇总表

原水情况：浑浊度 35.6NTU、锰 0.273mg/L。						
项目	1	2	3	4	5	6
粉末活性炭投加量(mg/L)	0	10	20	30	40	50
浑浊度(NTU)	2.40	1.57	1.70	1.15	1.92	2.02
锰(mg/L)	0.060	0.047	0.049	0.046	0.048	0.052

通过对比1号空白烧杯与其余实验组烧杯的处理数据可知，投加粉末活性炭后，浑浊度、锰的去除率虽有小幅提升，但整体效果并不显著。

参考文献：

[1] 庞雅丽.高锰酸钾与粉末活性炭联用去除水中臭味物质[D].北京:北京工业大学,2011.
 [2] 孙子为, 高乃云,王奕岚,等.预氯化与高锰酸钾预氧化处理长江芜湖段水源水[J].中国给水排水.2015,31(21): 118-123.

4 实验结论

通过上述实验可知：一是粉末活性炭的投加对去除浑浊度和高锰酸盐指数有一定的效果，且随粉末活性炭投加量的增加，浑浊度的去除率整体维持稳定状态，高锰酸盐指数的去除率呈上升趋势；二是进一步结合沉淀后水样的色度指标综合分析，确定粉末活性炭最佳投加量均为30mg/L；三是两种粉末活性炭的处理效能表现一致，故两家相关单位提供的粉末活性炭对浑浊度、高锰酸盐指数处理效果相同；四是采用高锰酸钾-粉末活性炭联用后，浑浊度、高锰酸盐指数的去除率虽有小幅提升，但整体效果并不显著；五是随两者投加时间间隔的增加，浑浊度与高锰酸盐指数的去除率未呈现明显差异，即时间间隔对两项指标去除效果的影响较小；六是投加粉末活性炭后，氨氮的去除率未呈现明显差异，锰的去除率虽有小幅提升，但整体效果并不显著。