

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2026.03.010

一种新型滤料在乡镇净水厂中的应用可行性研究

段龙武, 张馨

(辽宁省城乡建设规划设计院有限责任公司, 辽宁 沈阳 110000)

摘要: 传统滤料在处理复杂水质原水时存在效率低和维护成本高等局限性,亟待开发新型滤料以提高净水效率和降低运营成本。基于此,探讨了一种以煤焦渣和活化沸石为主要成分的新型滤料的过滤吸附及絮凝沉降性能,并以辽宁某乡镇地表水净水厂沉淀池出水为研究对象,通过新型滤料与传统石英砂滤料的过滤对比实验,评估该新型滤料的过滤效能及过滤周期等关键运行参数。新型滤料经高温烧结而成,主要成分为硅、铁、铝、碳,在8.15~12.80 m/h高滤速条件下,其过滤水量较传统石英砂滤料提升约16%~60%,且出水浊度低于0.5 NTU,出水 Al^{3+} 浓度为0.16~0.19 mg/L,均优于传统石英砂滤料。因此,新型滤料具有替代传统石英砂滤料的潜力,能够提高过滤水量及工艺运行效果。

关键词: 净水厂; 新型滤料; 饮用水; 过滤效率; 过滤周期

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2026)03-0065-05

Feasibility of Applying a New Packing Medium in Rural Water Purification Plants

DUAN Longwu, ZHANG Xin

(Liaoning Urban and Rural Construction Planning and Design Institute Co. Ltd., Shenyang 110000, China)

Abstract: Traditional packing media exhibit limitations in treating complex water quality raw water, including low filtration efficiency and high maintenance expenses. Therefore, there is a pressing need to develop new packing media to enhance water purification performance and reduce operational costs. The performance of a new packing medium—primarily composed of coal coke slag and activated zeolite—in terms of filtration, adsorption, and flocculation sedimentation for drinking water purification was systematically evaluated. Using the effluent from the sedimentation tank of a surface water purification plant in a town in Liaoning Province as the source water, a comparative filtration experiment was conducted between the new packing media and conventional quartz sand to assess key operational parameters, including filtration efficiency and filtration cycle. The new packing media were sintered at high temperature and its primary components were silicon, iron, aluminum, and carbon. Under filtration velocities ranging from 8.15 m/h to 12.80 m/h, the filtration capacity of the new packing media increased by approximately 16% to 60% compared to conventional quartz sand. Furthermore, the effluent turbidity was lower than 0.5 NTU, with Al^{3+} concentration of 0.16~0.19 mg/L, both parameters demonstrating superior performance relative to traditional quartz sand. Therefore, the new packing media has the potential to replace traditional quartz sand, as it can enhance both the filtration capacity and the overall process performance.

Keywords: water purification plant; new packing media; drinking water; filtration efficiency; filtration cycle

随着经济的发展和乡村振兴战略的推进,乡镇居民的生活水平逐渐提高,对饮用水水质要求也随之增加,提高乡镇净水厂的净水效果已成为迫切需要解决的问题^[1]。在常规地表水源净水厂处理工艺流程中,混凝、沉淀、过滤和消毒是主要步骤^[2],其中过滤被认为是核心部分,对工艺的整体处理效果具有重要影响^[3-4]。然而,由于技术和经济条件的限制,乡镇净水厂常面临处理效率低、运行成本高和设备维护困难等问题^[5]。特别是在滤料选择和使用方面,传统的滤料如石英砂虽然应用广泛,但其存在吸附能力弱、密度大、反冲洗频繁等缺点^[6],常导致处理效果不佳和运行成本较高。

近年来,新型滤料在净水厂运行中的应用研究逐渐受到关注。杨雷^[7]发现,以活化沸石为主要原料制作而成的新型滤料,在配合投加硫酸铝的条件下能够有效去除水体中的砷。张长利等^[8]发现,利用细胞固定化技术制备的新型滤料,在高滤速条件下可实现对水体中锰污染物的高效去除。目前,国内针对新型滤料的研究主要侧重于去除微污染物及特殊污染物方面,缺乏对净水厂主流工艺中石英砂的替代研究。为了提高乡镇净水厂的整体处理效果并降低运行成本,开发和应用新型滤料成为了重要研究方向。

笔者探讨了一种以煤焦渣和活化沸石为主要成分的新型净水滤料,该滤料经高温烧结而成,主要成分为硅、铁、铝和碳,具有多孔状结构,过滤吸附和絮凝沉降作用良好,兼具锰砂、石英砂和活性炭的多重功效。实验以辽宁某乡镇地表水净水厂沉淀池出水作为研究对象,考察了新型滤料在运行过程中对浊度和 Al^{3+} 的去除效果,同时对新型滤料在提高滤速、增加产水量等方面进行了研究,旨在为新型滤料用于净水厂过滤提供参考。

1 材料和方法

1.1 原水水质

为了更好地还原净水厂实际运行条件,对比滤料的净水特征,在辽宁某乡镇净水厂进行现场实验,实验进水为该水厂沉淀池出水。水厂水源主要来自水库,原水浊度为10~50 NTU,水温为18~

25℃,pH为7~8, Al^{3+} 浓度为0.18~0.45 mg/L。现状处理工艺为旋流穿孔絮凝池→斜管沉淀池→普通快滤池(石英砂滤料),反冲洗方式为气水反冲洗,反冲洗周期为10~13 h,混凝剂采用聚合氯化铝(PAC),投加量为15 mg/L。然而,该水厂出水存在一些问题,主要表现为滤后水存在异味,且铝盐混凝剂投加不当导致了 Al^{3+} 浓度出现超标现象。此外,每天进行两次反冲洗的频率过高,这不仅增加了运行成本,还可能影响水质和处理效果。

1.2 滤料参数

新型滤料呈颗粒状,煤焦渣含量为70%~90%,活化沸石含量为10%~30%。滤料的基本理化性质:密度为800 kg/m³,粒径为0.5~1.5 mm,吸附容量为2.5 mg/g,孔隙率为50%,反洗膨胀率为40%~50%。其制备步骤包括粉碎、焙烧、浸泡、烘干、混合。该滤料已取得国家涉水产品卫生许可批件,批准号为辽卫水(2020第0115号)。新型滤料应用方式灵活,既可用于小流量压力式过滤罐,亦可用于大流量重力式过滤池。目前,该滤料在铁岭、通辽、哈尔滨等地区的净水实际工程中均有应用。该滤料推荐设计滤速为5~10 m/h,反冲强度为7 L/(s·m²)。滤料具有良好的过滤吸附和絮凝沉降作用,同时兼有锰砂、石英砂、活性炭的多重功效^[9]。

1.3 工艺流程

实验工艺流程如图1所示。

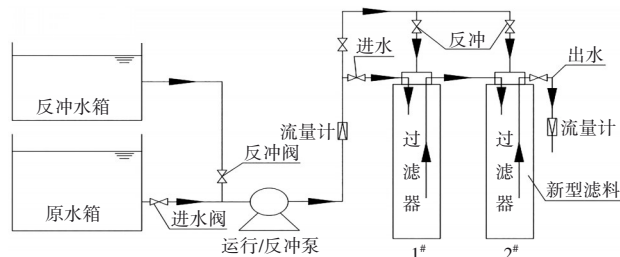


图1 实验工艺流程示意

Fig.1 Schematic diagram of experimental process

为了更好地模拟水厂运行情况,新型滤料过滤净水实验装置设有1 m³原水箱1个,不锈钢运行反冲泵1台,直径为250 mm、高为1 050 mm的玻璃钢反应絮凝沉淀罐1个,直径为250 mm、高为1 050 mm的不锈钢过滤器2个,其内装有新型滤料,双罐

串联安装(压力式过滤),滤层总厚度约为1.3 m。出水处安装管式流量计,双罐运行参数保持一致。

1.4 实验设计

为了考察新型滤料的过滤效果,以水厂沉淀池出水为研究对象,1[#]、2[#]滤柱串联工作,作为实验组。水厂沉淀池出水直接进入滤柱,过滤流量为0.35 m³/h,滤柱滤速为8.15 m/h,相当于单座滤池处理量为4 440 m³/d。作为对照组,选用水厂现用的石英砂滤池出水,其过滤流量为180.00 m³/h,单座滤池处理量为4 320 m³/d,滤料粒径为0.9~1.2 mm,滤料层填充总厚度为1.3 m,石英砂滤池与实验滤柱运行工况基本一致。实验装置连续运行24 h,以考察新型滤料对浊度和Al³⁺的去除效果,每隔4 h取样一次并检测相关指标。

1.5 检测项目及方法

水温采用水温仪测定;pH采用便携式pH计测定;Al³⁺浓度采用原子吸收分光光度计测定;浊度采用浊度仪测定。

2 结果与讨论

2.1 新型滤料过滤效果

2.1.1 对浊度的去除效果

运行期间,不同滤料的滤后水浊度均小于1.0 NTU,满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)要求。新型滤料处理后的出水浊度均小于0.5 NTU,对浊度的去除率相对稳定,显示出良好的运行效果。与传统石英砂滤料相比,新型滤料在浊度去除方面的整体效果较优,且具有较强的稳定性。新型滤料对浊度的去除原理与石英砂基本一致,均主要依靠滤料颗粒间隙的机械筛滤作用及其表面的吸附作用,但新型滤料的孔隙率要高于石英砂,因此对浊度的整体去除效果优于石英砂。

2.1.2 对Al³⁺的去除效果

不同滤料对Al³⁺的去除效果如图2所示。可以看出,新型滤料对Al³⁺的去除效果明显优于石英砂。新型滤料对Al³⁺的去除率达到68.9%,且新型滤料滤后水中Al³⁺浓度稳定在0.16~0.19 mg/L,满足GB 5749—2022要求。运行12 h后,石英砂滤料出水Al³⁺浓度为0.23~0.26 mg/L,随着运行时间的增加,出水Al³⁺浓度呈现下降趋势。新型滤料在运行4 h时出现较大变化,出水Al³⁺浓度增至0.30 mg/L,这是因为刚结束反冲后,初滤水中Al³⁺浓度较高,随着

过滤时间的增加,出水Al³⁺浓度亦呈现稳定的下降趋势。分析原因,这是因为新型滤料为多孔状结构,孔隙率达50%以上,比表面积较大,吸附能力强,对Al³⁺具有良好的吸附性能。新型滤料在对Al³⁺的去除过程中,无需使用其他配合药剂,只通过滤料本身的过滤吸附作用即可实现对Al³⁺的有效去除,使用过程简单、运行管理方便、无需增加额外的药剂,可应用于乡镇净水过程。

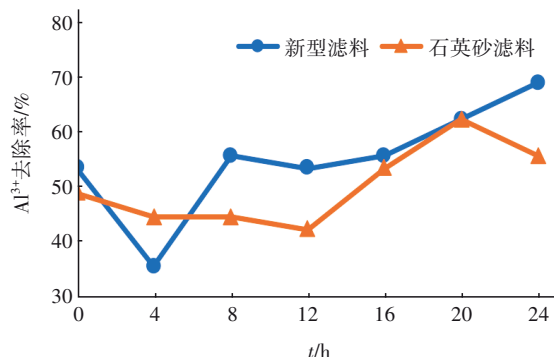


图2 不同滤料对Al³⁺的去除效果

Fig.2 Removal effect of Al³⁺ by different packing media

2.2 新型滤料过滤水量效果

2.2.1 不同滤速条件下的过滤效果

新型滤料具有良好的吸附过滤和絮凝沉降作用,能够在较高的滤速下运行。为了探索新型滤料在不同滤速条件下对浊度和Al³⁺的去除效果,设置了A、B两种工况。A组:滤速为9.31 m/h,过滤流量为0.40 m³/h,折合单座滤池处理量为5 088 m³/d;B组:滤速为10.48 m/h,过滤流量为0.45 m³/h,折合单座滤池处理量为5 724 m³/d;以现状水厂石英砂滤池作为对照组,滤池过滤流量保持在180.00 m³/h,滤速为8.00 m/h。实验连续运行24 h,考察不同滤速条件下新型滤料对Al³⁺和浊度的去除效果,其间每4 h进行一次取样测试。对Al³⁺的去除效果见图3。

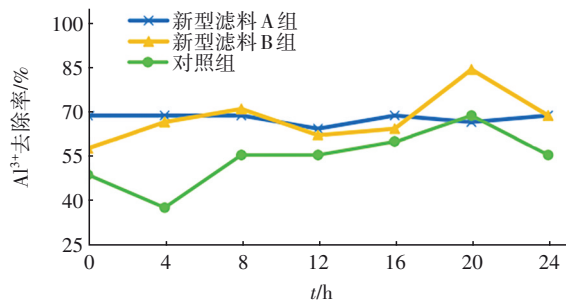


图3 不同滤速条件下对Al³⁺的去除效果

Fig.3 Removal effect of Al³⁺ under different filtration velocities

从图3可以看出,新型滤料对 Al^{3+} 的去除效果明显优于石英砂滤料,去除率保持在70%左右, Al^{3+} 平均出水浓度为0.14 mg/L,较石英砂降低30%。当新型滤料滤速调整为9.31和10.48 m/h时,对浊度去除效果的稳定性及出水水质均略优于石英砂,两种滤料的出水浊度均小于1.0 NTU。

2.2.2 高滤速条件下的过滤效果

为进一步考察新型滤料过滤水量的能力,增加新型滤料过滤工况C和D。C组:滤速为11.64 m/h,过滤流量为0.50 m^3/h ,折合单座滤池处理量为6360 m^3/d ;D组:滤速为12.80 m/h,过滤流量为0.55 m^3/h ,折合单座滤池处理量为6996 m^3/d 。实验连续运行24 h,其间每隔4 h进行一次取样测试。结果表明,在C组和D组运行条件下,新型滤料整体运行效果良好,运行期间对浊度的去除率均保持在98%以上,出水浊度均小于1.0 NTU;运行稳定后,对 Al^{3+} 的去除率保持在65%左右(如图4所示),出水 Al^{3+} 浓度基本保持在0.2 mg/L以下。

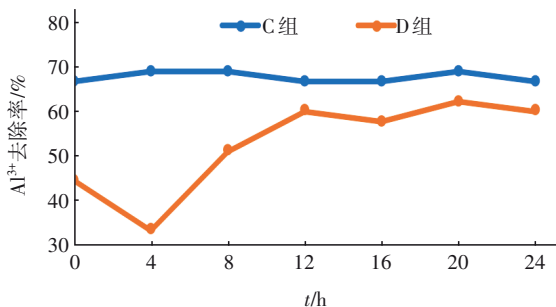


图4 高滤速条件下对 Al^{3+} 的去除效果

Fig.4 Removal effect of Al^{3+} under high filtration velocities

当滤速由11.64 m/h增至12.80 m/h且过滤处理水量提高10%时,滤后水浊度呈上升趋势,对浊度的去除率略有下降。当滤速增至12.80 m/h后,0~8 h范围内 Al^{3+} 去除率波动明显,这主要是因为增加滤速后对新型滤料表面的冲刷作用增强,影响其过滤能力。随着运行时间的增加,12 h后滤料吸附性能逐渐稳定, Al^{3+} 去除率保持在60%左右,出水 Al^{3+} 浓度稳定在0.2 mg/L以下。在保证出水水质达标的情况下,新型滤料的滤速可保持在9.31~12.80 m/h,比砂滤提高16%~60%,且出水水质良好。在地表水过滤时具有较高的滤速,这意味着在同等处理水量条件下滤池所需占地面积更小,工程造价更低,尤其在乡镇净水厂用地紧张的地区具有明显优势。

2.3 改善反冲洗周期以降低能耗

随着过滤介质的堵塞,系统需要更大的能量来维持水流^[10]。定期反冲洗可以降低因过滤介质堵塞导致的额外能耗,防止介质过早老化或损坏,恢复滤料过滤效能。在不影响水质的基础上适当延长反冲洗周期可以减少对滤料的磨损,降低维护和更换成本。

为了探究新型滤料的反冲洗周期,1#、2#滤柱串联运行,采用单水反冲形式,反冲洗强度为25 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,当装置出水指标接近限定值时进行反冲洗。反冲洗方式为单柱冲洗和双柱冲洗交替进行,单柱冲洗时间为3 min,双柱冲洗时间为8 min。对照组砂滤池采用现状水厂既定反冲参数,即采用气水反冲形式,反冲洗强度为11.5 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,冲洗时间为21 min。新型滤料与现状砂滤池同步运行120 h,反冲洗周期如图5所示。可知,不同滤料随着反洗次数的增加,呈现不同的反洗周期。同等过滤时间内,砂滤池反冲洗高达10次,总反洗历时210 min。实验组单、双柱交替仅反冲洗5次(3次双柱,2次单柱),总反洗历时30 min。可见,新型滤料的反冲洗周期明显优于传统石英砂,反冲洗用水量仅为传统砂滤池的31%。对于新型滤料的长过滤周期,反冲洗低能耗的特点不仅适用于水资源比较紧张的乡镇净水厂,也可以替换传统净水厂石英砂滤料,在同样的净水效果下,获得更经济、更高效的水处理净化效果。

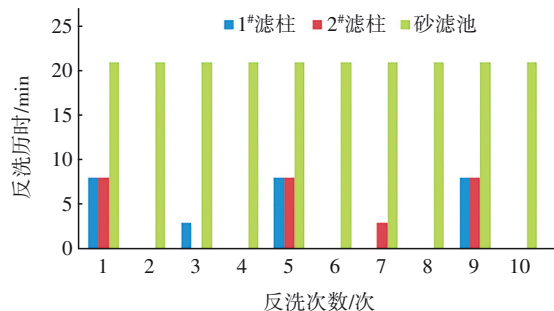


图5 不同滤料的反冲洗周期

Fig.5 Backwash cycles of different packing media

3 结论

① 新型滤料过滤后的出水浊度小于0.5 NTU,在不同过滤流量与滤速下对浊度的去除率稳定保持在98%以上,浊度去除效果的稳定性优于传统石英砂滤料。

② 新型滤料滤后水中 Al^{3+} 浓度为0.16~0.19

mg/L,滤后水水质优于国家饮用水卫生标准。在对 Al^{3+} 的去除过程中,无需增加额外药剂,运行管理方便,适合在乡镇净水工程中应用。

③ 新型滤料用于处理地表水源净水厂沉淀池出水时,在滤速为8.15~12.80 m/h、单水冲洗周期为24 h的工况下,过滤水量较传统石英砂提升16%~60%,且出水水质指标均满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)相关要求。

参考文献:

- [1] KHAN Z, RAHIMUDDIN F. Roughing filtration as an effective pre-treatment system for high turbidity water [J]. Water Science and Technology, 2011, 64 (7): 1419-1427.
- [2] 鲍寻. 自来水厂砂滤池改造的工程试验研究[D]. 南京: 东南大学, 2022.
BAO X. Engineering Test Study on Sand Filter Reconstruction in Waterworks [D]. Nanjing: Southeast University, 2022 (in Chinese).
- [3] 张晓娜, 何嘉莉, 陈丽珠, 等. 不同滤料滤池去除浊度和有机物的研究[J]. 供水技术, 2015, 9 (3): 19-22.
ZHANG X N, HE J L, CHEN L Z, et al. Removal of turbidity and organics by different filters [J]. Water Technology, 2015, 9 (3): 19-22 (in Chinese).
- [4] 蒋浩男, 李大鹏, 张雪, 等. 净水厂颗粒活性炭吸附池反冲洗水特征研究[J]. 给水排水, 2023, 49 (7): 8-13.
JIANG H N, LI D P, ZHANG X, et al. Study on characteristics of back-wash water from granular activated carbon adsorption tank in water purification plant [J]. Water & Wasterwater Engineering, 2023, 49 (7): 8-13 (in Chinese).
- [5] 彭进湖, 何孙胃, 陈丽珠, 等. 细砂滤料的过滤性能及运行效果[J]. 中国给水排水, 2021, 37 (1): 40-45.
PENG J H, HE S W, CHEN L Z, et al. Filtration performance and operation effect of fine sand filter [J]. China Water & Wasterwater, 2021, 37 (1): 40-45 (in Chinese).
- [6] SLAVIK I, JEHLICH A, UHL W. Impact of backwashing procedures on deep bed filtration productivity in drinking water treatment [J]. Water Research, 2013, 47 (16): 6348-6357.
- [7] 杨雷. 新型滤料在地下水除砷中的应用[J]. 化工管理, 2017 (30): 210.
YANG L. Application of new filter media in arsenic removal from groundwater [J]. Chemical Engineering Management, 2017 (30): 210 (in Chinese).
- [8] 张长利, 杨宏, 王景晶, 等. 新型生物除锰滤料处理含锰地下水研究[J]. 环境污染与防治, 2013, 35 (1): 69-72.
ZHANG C L, YANG H, WANG J J, et al. Study on the treatment of manganese containing ground water by a new type biological filtering medium [J]. Environmental Pollution & Control, 2013, 35 (1): 69-72 (in Chinese).
- [9] 肖贺文, 肖继民. 一种压力式磁化SS滤料过滤除铁除锰装置: CN201310724077.9 [P]. 2015-06-24.
XIAO H W, XIAO J M. A Pressure-type Magnetized SS Filter Media Filtration Device for Iron and Manganese Removal: CN201310724077.9 [P]. 2015-06-24 (in Chinese).
- [10] 郑红, 骆杉杉, 代荣. 大型水厂活性炭滤池独立反冲洗调试经验总结[J]. 给水排水, 2018, 44 (6): 55-57.
ZHENG H, TUO S S, DAI R. Independent recoil debugging experience of carbon filter in large water treatment plant [J]. Water & Wasterwater Engineering, 2018, 44 (6): 55-57 (in Chinese).

作者简介: 段龙武(1970—), 男, 辽宁沈阳人, 本科, 教授级高工, 主要研究方向为水处理理论与技术。

E-mail: 844235456@qq.com

收稿日期: 2025-07-18

修回日期: 2025-08-06

(编辑: 任莹莹)