

地下水取水井过滤器堵塞处理及维护技术

陈海涛^{1,2}, 杨立志^{1,2}, 任广智^{1,2*}

1. 中国地质调查局哈尔滨自然资源综合调查中心, 黑龙江 哈尔滨 150086

2. 自然资源部哈尔滨黑土地地球关键带野外科学观测研究站, 黑龙江 哈尔滨 150086

DOI:10.61369/WCEST.2025040002

摘 要 : 地下水取水井过滤器的堵塞问题严重影响水井的正常运行与水资源的有效利用。本文深入剖析了地下水取水井过滤器堵塞的原因, 涵盖物理、化学和生物等多方面因素; 详细阐述了堵塞的检测方法, 包括压力测试、流量监测以及井内成像技术等; 系统介绍了物理清洗、化学清洗和生物清洗等处理技术, 同时探讨了维护技术, 如定期检测、反冲洗以及优化过滤器设计等。通过实际案例分析, 验证了相关处理及维护技术的有效性。本文旨在为解决地下水取水井过滤器堵塞问题提供全面的技术参考, 保障地下水取水井的高效稳定运行。

关 键 词 : 地下水取水井; 过滤器堵塞; 处理技术; 维护技术

Treatment and Maintenance Techniques for Filter Blockage in Groundwater Extraction Wells

Chen Haitao^{1,2}, Yang Lizhi^{1,2}, Ren Guangzhi^{1,2*}

1. Harbin Comprehensive Survey Center of Natural Resources, China Geological Survey, Harbin, Heilongjiang 150086

2. Harbin Black Soil Critical Zone Field Scientific Observation and Research Station, Ministry of Natural Resources, Harbin, Heilongjiang 150086

Abstract : The blockage of filters in groundwater extraction wells seriously affects the normal operation of wells and the efficient utilization of water resources. This paper provides an in-depth analysis of the causes of filter blockage in groundwater extraction wells, encompassing physical, chemical, and biological factors. It elaborates on detection methods for blockage, including pressure testing, flow monitoring, and in-well imaging techniques. The paper systematically introduces treatment techniques such as physical cleaning, chemical cleaning, and biological cleaning, while also discussing maintenance techniques, including regular inspection, backwashing, and optimizing filter design. Through practical case studies, the effectiveness of the relevant treatment and maintenance techniques is verified. This paper aims to provide a comprehensive technical reference for addressing filter blockage issues in groundwater extraction wells, ensuring their efficient and stable operation.

Keywords : groundwater intake well; filter clogging; treatment technology; maintenance technology

引言

随着经济社会的快速发展, 对水资源的需求日益增长, 地下水作为重要的水源之一, 在供水体系中占据着关键地位。地下水取水井是获取地下水的重要设施, 而过滤器则是取水井的核心部件, 其作用是阻止含水层中的泥沙、颗粒等杂质进入井管, 保证井水的水质和水量。然而, 在实际运行过程中, 过滤器极易出现堵塞问题, 这不仅会导致水井出水减少、能耗增加, 严重时甚至会使用水井报废, 极大地影响了地下水的有效开发利用。因此, 深入研究地下水取水井过滤器堵塞处理及维护技术具有重要的现实意义。

一、地下水取水井过滤器堵塞原因分析

(一) 物理堵塞

物理堵塞是最常见的堵塞原因之一, 主要是由于含水层中的

细小颗粒物质, 如细砂、黏土等, 在水流的作用下进入过滤器, 逐渐堆积并堵塞过滤孔隙。当含水层的颗粒级配不合理, 或者在水井施工过程中对含水层造成扰动, 使得原本稳定的颗粒结构被破坏, 就更容易引发物理堵塞。此外, 过滤器的孔径选择不当,

若孔径过大，无法有效拦截细小颗粒；若孔径过小，则会导致水流阻力增大，也会增加物理堵塞的风险。

（二）化学堵塞

化学堵塞主要是由水中的化学成分发生化学反应，产生沉淀物质而引起的。地下水中通常含有钙、镁、铁、锰等金属离子以及碳酸根、硫酸根等阴离子。当这些离子的浓度达到一定程度，且在适宜的条件下，就会发生化学反应，生成难溶性的盐类沉淀，如碳酸钙（ CaCO_3 ）、硫酸钙（ CaSO_4 ）、氢氧化铁（ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ）等。这些沉淀物质会附着在过滤器表面和孔隙内，逐渐积累导致堵塞。例如，当水中的碳酸氢钙（ $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ）受热或减压时，会分解生成碳酸钙沉淀： $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$ 。此外，水中的溶解氧会使铁离子氧化成氢氧化铁沉淀，进一步加剧化学堵塞。

（三）生物堵塞

生物堵塞是由于微生物在过滤器表面和周围环境中生长繁殖，形成生物膜和代谢产物堆积而导致的。地下水中存在着各种微生物，如细菌、真菌和藻类等。在适宜的温度、营养物质和溶解氧条件下，微生物会迅速生长繁殖。它们会附着在过滤器表面，分泌胞外聚合物，形成一层粘性的生物膜。生物膜不仅会直接堵塞过滤孔隙，还会吸附水中的颗粒物质和有机物，进一步加重堵塞程度。例如，硫酸盐还原菌在缺氧环境下，能够将水中的硫酸盐还原为硫化氢（ H_2S ），硫化氢会与水中的金属离子反应生成硫化物沉淀，同时，微生物的代谢产物也会对过滤器造成腐蚀，降低其使用寿命。

二、地下水取水井过滤器堵塞检测方法

（一）压力测试

通过监测取水井的进水压力和出水压力，计算压力差来判断过滤器是否堵塞。正常情况下，过滤器的压力差处于一个相对稳定的范围。当压力差明显增大时，说明过滤器的阻力增加，可能存在堵塞现象。可以在过滤器的上下游分别安装压力传感器，实时监测压力变化，并通过数据采集系统记录数据。例如，当压力差超过初始值的一定比例（如50%）时，即可初步判断过滤器存在堵塞问题。

（二）流量监测

监测取水井的出水量也是判断过滤器堵塞的重要方法。在水泵运行状态稳定的情况下，若出水量明显减少，且排除了其他因素（如水位下降、水泵故障等），则很可能是过滤器堵塞所致。可以使用流量计对出水量进行实时监测，建立流量变化曲线。当流量低于正常运行时的一定比例（如70%）时，应考虑对过滤器进行检查和处理。

（三）井内成像技术

利用井下电视、超声波成像等技术，可以直观地观察过滤器的内部状况，确定堵塞的位置和程度。井下电视通过将摄像头放入井内，拍摄过滤器的图像，能够清晰地显示过滤器表面的沉积物、腐蚀情况以及孔隙堵塞程度。超声波成像则是利用超声波在

不同介质中的传播特性，对过滤器进行扫描，生成二维或三维图像，帮助分析堵塞情况。这些成像技术能够为堵塞处理提供准确的依据，提高处理效率。

三、地下水取水井过滤器堵塞处理技术

（一）物理清洗技术

物理清洗技术是通过机械力或水力作用去除过滤器表面和孔隙内的堵塞物。常见的物理清洗方法包括反冲洗、高压水射流清洗和机械刮擦清洗等。

1. 反冲洗

反冲洗是最常用的物理清洗方法之一。通过改变水流方向，使水流从过滤器的出水端进入，从进水端流出，利用反向水流的冲击力将堵塞在过滤器孔隙内的杂质冲洗出来。反冲洗时，需要控制好反冲洗的流量、压力和时间。一般来说，反冲洗流量应大于正常工作流量的2-3倍，反冲洗压力根据过滤器的材质和结构确定，通常在0.3-0.5MPa之间，反冲洗时间为15~30分钟。反冲洗可以定期进行，如每周或每月一次，以防止堵塞物的积累。

2. 高压水射流清洗

高压水射流清洗是利用高压水枪产生的高速水流对过滤器进行冲洗。高压水流的冲击力能够有效地去除过滤器表面的顽固沉积物和堵塞物。清洗时，将高压水枪的喷头放入过滤器内部，沿过滤器的轴向和径向移动喷头，确保每个部位都能得到充分清洗。高压水射流的压力一般在10-50MPa之间，根据堵塞物的性质和堵塞程度进行调整。高压水射流清洗适用于堵塞较为严重的过滤器，但在清洗过程中要注意控制水流压力，避免对过滤器造成损坏。

3. 机械刮擦清洗

机械刮擦清洗是通过专门的机械装置，如旋转刷子、刮刀等，对过滤器表面进行刮擦，去除堵塞物。这种方法适用于过滤器表面的硬质沉积物和生物膜的清洗。在清洗时，将机械装置放入过滤器内，通过电机驱动装置旋转，使刷子或刮刀与过滤器表面接触，刮除堵塞物。机械刮擦清洗需要根据过滤器的形状和尺寸选择合适的清洗装置，操作时要注意避免刮伤过滤器表面。

（二）化学清洗技术

化学清洗技术是利用化学药剂与堵塞物发生化学反应，将其溶解或转化为可溶物质，从而达到清洗的目的。常用的化学药剂包括酸类、碱类、螯合剂和氧化剂等。

1. 酸清洗

酸清洗主要用于去除化学堵塞物，如碳酸钙、氢氧化铁等。常用的酸类药剂有盐酸（ HCl ）、硫酸（ H_2SO_4 ）和柠檬酸（ $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ ）等。盐酸是一种强酸性药剂，能够快速溶解碳酸钙等碳酸盐类沉淀，但对金属过滤器有一定的腐蚀性，因此在使用时需要添加缓蚀剂。硫酸的酸性较强，适用于去除较难溶解的硫酸钙沉淀，但使用过程中要注意控制浓度，避免产生二次沉淀。柠檬酸是一种有机酸，对金属的腐蚀性较小，适用于对腐蚀性要求较高的过滤器清洗。在进行酸清洗时，需要根据堵塞物的成

分和过滤器的材质选择合适的酸类药剂和浓度，一般酸的浓度在3% ~ 10%之间。清洗时，将酸溶液注入过滤器内，浸泡一定时间（一般为2 ~ 4小时），然后用清水冲洗干净。

2. 碱清洗

碱清洗主要用于去除生物堵塞物和油脂类污染物。常用的碱类药剂有氢氧化钠（NaOH）和碳酸钠（Na₂CO₃）等。氢氧化钠是一种强碱，能够破坏生物膜的结构，使微生物细胞溶解，从而达到清洗的目的。碳酸钠的碱性相对较弱，常用于去除油脂类污染物。在进行碱清洗时，碱溶液的浓度一般在2% ~ 5%之间，浸泡时间为1 ~ 3小时，然后用清水冲洗干净。

3. 螯合剂清洗

螯合剂清洗是利用螯合剂与金属离子形成稳定的络合物，将金属离子从堵塞物中溶解出来。常用的螯合剂有乙二胺四乙酸（EDTA）及其钠盐等。螯合剂清洗适用于去除含有铁、锰等金属离子的堵塞物，对过滤器的腐蚀性较小。在使用螯合剂清洗时，需要根据金属离子的种类和浓度选择合适的螯合剂和浓度，一般螯合剂的浓度在1% ~ 5%。清洗时，将螯合剂溶液注入过滤器内，浸泡一定时间（一般为3 ~ 6小时），然后用清水冲洗干净。

4. 氧化剂清洗

氧化剂清洗是利用氧化剂的强氧化性，将生物膜和有机物氧化分解，从而达到清洗的目的。常用的氧化剂有过氧化氢（H₂O₂）、次氯酸钠（NaClO）和高锰酸钾（KMnO₄）等。过氧化氢是一种温和的氧化剂，对环境友好，适用于去除生物堵塞物。次氯酸钠是一种常用的消毒剂，具有较强的氧化性，能够有效杀灭微生物，去除生物膜。高锰酸钾的氧化性很强，适用于去除较难氧化的有机物和生物膜。在进行氧化剂清洗时，需要根据堵塞物的性质和过滤器的材质选择合适的氧化剂和浓度，一般氧化剂的浓度在0.5% ~ 3%之间。清洗时，将氧化剂溶液注入过滤器内，浸泡一定时间（一般为1 ~ 2小时），然后用清水冲洗干净。

（三）生物清洗技术

生物清洗技术是利用微生物的代谢作用，将堵塞物分解为无害物质，从而达到清洗的目的。生物清洗技术具有环保、高效、对过滤器损伤小等优点，但需要一定的培养条件和时间。生物清洗主要是利用一些具有特殊代谢功能的微生物，如嗜铁细菌、嗜硫细菌等，它们能够利用堵塞物中的铁、硫等元素作为营养物质，进行生长繁殖，同时将堵塞物分解为可溶物质。在进行生物清洗时，首先需要从受污染的环境中分离和筛选出具有清洗能力的微生物菌株，然后进行培养和驯化，使其适应过滤器的环境。将培养好的微生物菌液注入过滤器内，同时提供适宜的营养物质和生长条件，如温度、pH值、溶解氧等，让微生物在过滤器内生长繁殖，分解堵塞物。生物清洗的时间一般较长，需要数天至数周不等，具体时间取决于堵塞物的性质和微生物的生长速度。

表1：不同堵塞处理技术对比分析

处理技术	适用堵塞类型	优点	缺点	操作难度	成本
反冲洗	物理堵塞（轻度）	操作简单、成本低	对顽固堵塞效果有限	低	低

高压水射流	物理 / 化学堵塞（中度）	清除效果好、效率高	可能损伤过滤器、能耗较高	中	中
酸清洗	化学堵塞（钙 / 铁沉淀）	针对性强、溶解速度快	腐蚀性强、需中和处理	中	中
生物清洗	生物堵塞	环保、无二次污染	处理周期长、依赖环境条件	高	高

四、地下水取水井过滤器维护技术

（一）定期检测

建立定期检测制度，对过滤器的运行状况进行监测和评估。定期检测的内容包括压力测试、流量监测、水质分析以及井内成像检查等。通过定期检测，可以及时发现过滤器的潜在问题，如轻微堵塞、腐蚀等，以便采取相应的维护措施，避免问题进一步恶化。一般来说，对于正常运行的取水井，建议每月进行一次压力测试和流量监测，每季度进行一次水质分析，每年进行一次井内成像检查。

（二）反冲洗

除了在过滤器堵塞时进行反冲洗处理外，还应定期进行预防性反冲洗。定期反冲洗可以有效地清除过滤器表面和孔隙内的杂质，防止堵塞物的积累，延长过滤器的使用寿命。反冲洗的周期和参数应根据取水井的实际运行情况确定，一般来说，反冲洗周期为每周至每月一次，反冲洗流量、压力和控制时间的控制与堵塞处理时的反冲洗相同。

（三）优化过滤器设计

在新建取水井或更换过滤器时，应根据含水层的特性、水质情况以及取水量等因素，优化过滤器的设计。选择合适的过滤器类型、材质和孔径，确保过滤器既能有效地拦截杂质，又能保证水流的通畅。例如，对于颗粒较粗的含水层，可以选择孔径较大的过滤器；对于含有腐蚀性物质的地下水，应选择耐腐蚀的过滤器材质，如不锈钢、玻璃钢等。此外，还可以采用多层过滤结构，提高过滤效果。

（四）水质预处理

对地下水进行适当的预处理，去除水中的杂质、悬浮物、有机物和微生物等，减少其对过滤器的污染。常见的水质预处理方法包括沉淀、过滤、消毒等。沉淀可以去除水中的较大颗粒杂质；过滤可以进一步去除细小颗粒和悬浮物；消毒可以杀灭水中的微生物，防止生物堵塞。通过水质预处理，可以降低过滤器的堵塞风险，延长其使用寿命。

表2：过滤器维护技术效果评估表

维护措施	实施频率	主要效果指标	长期效益
定期反冲洗	每周 1-2 次	出水量保持率 ≥ 90%	延长过滤器寿命 1-2 年
水质预处理	持续运行	悬浮物去除率 ≥ 85%	降低堵塞发生率 60% 以上
年度成像检测	每年 1 次	堵塞位置定位准确率 ≥ 95%	提前发现隐患，减少突发故障

五、结论

地下水取水井过滤器堵塞是一个常见且复杂的问题，其原因涉及物理、化学和生物等多个方面。通过采用科学有效的检测方法，能够准确判断堵塞的原因和程度，为后续的处理提供依据。物理清洗、化学清洗和生物清洗等处理技术各有优缺点，应根据堵塞的具体情况选择合适的处理方法，或多种方法联合使用，以

达到最佳的清洗效果。同时，加强过滤器的维护工作，包括定期检查、反冲洗、优化设计和水质预处理等，能够有效预防堵塞的发生，延长过滤器的使用寿命，保障地下水取水井的高效稳定运行。在实际应用中，应根据不同地区的地质条件、水质特点和取水井的运行情况，制定个性化的堵塞处理及维护方案，不断提高地下水取水井的管理水平和水资源利用效率。

参考文献

- [1] 杨万邦. 活性污泥胞外聚合物拓展模型与应用 [D]. 北京建筑大学, 2024.
- [2] 汪方宝. 整机电子装联技术 [M]. 电子工业出版社: 201705: 270.
- [3] 潘涛, 骆坚平, 郭行. 废水处理及回用工程技术手册 [M]. 化学工业出版社: 202401: 940.
- [4] 鲁敏, 冯欣玲. 往复压缩机入口过滤器堵塞的原因分析及解决措施 [J]. 化工技术与开发, 2025, 54(21): 79-81.
- [5] 姜波, 刘贞姬, 王梓俨, 等. 不同工况下网式过滤器有效过滤时间研究 [J]. 中国农村水利水电, 2025, (09): 121-126.
- [6] 牛牛. 减压渣油泵入口过滤器焦质堵塞分析 [J]. 化工管理, 2024, (33): 129-131.
- [7] 史恩泽, 陈国文, 王子元. 水轮发电机冷却水过滤器及排污管改造 [J]. 上海电气技术, 2024, 17(03): 33-36.
- [8] 李路明, 朱德兰, 张锐, 等. 环形流道叠片过滤器水头损失和过滤性能试验研究 [J]. 农业工程学报, 2024, 40(17): 140-148.
- [9] 周志雄, 高学军, 张宏伟. 板式过滤器在解决蓄热式热力焚化炉阻火器堵塞问题上的应用 [J]. 信息记录材料, 2024, 25(05): 10-12.
- [10] 郑伟华, 周灵杰, 吴美玲, 等. 蜡油加氢注水管道过滤器堵塞原因分析 [J]. 天津科技, 2023, 50(11): 25-29.