

煤矿矿井废水回用至选煤厂的深度处理工艺设计与稳定性评估

白凡

陕西黄陵二号煤矿有限公司

DOI:10.12238/ems.v7i12.16461

[摘要] 煤矿矿井所产生的废水，其成分呈现出复杂的状态，其中包含悬浮物、重金属以及有机物等污染物。若将废水直接排放到环境中，会对环境造成一定危害；而若想将其回用到选煤厂，就必须要经过深度处理。本文综合考虑矿井废水的水质特点以及选煤厂对用水的要求，设计出一套“预处理-核心处理-深度净化”的三级处理工艺，并且选用混凝沉淀、超滤以及反渗透等技术组合起来使用。通过对处理后出水的悬浮物、化学需氧量 (COD)、重金属含量等指标进行监测，进而开展稳定性方面的评估，能够为矿井废水实现资源化利用给予一定的技术借鉴。

[关键词] 矿井废水；选煤厂回用；深度处理工艺；稳定性评估

引言

在煤炭的开采进程中所产生的矿井废水，属于煤炭行业的主要污染源之一。其水量较大，而且水质的波动程度也比较大，其中包含着大量的悬浮物、硫化物、重金属离子，并且存有少量的有机物。若不经过处理就直接排放，会对土壤、地表水以及地下水造成污染，进而对生态环境造成破坏。与此同时，选煤厂在生产时需要消耗大量的水资源，正面临着水资源短缺的压力。将矿井废水经过深度处理之后再回用到选煤厂，既能够达成废水减排的目标，又可以缓解水资源紧张的状况，这与绿色矿山建设的要求相契合。因此，进行将矿井废水回用到选煤厂的深度处理工艺设计以及稳定性评估方面的研究，具备重要的现实价值。

一、深度处理工艺设计的依据

开展矿井废水回用至选煤厂的工艺设计工作时，要将废水的水质特性与选煤厂的用水指标当作关键依据。矿井废水的水质在很大程度上受到地质条件以及开采工艺的影响，不同矿区产出的废水呈现出明显差异，其主要污染物是悬浮物，含量一般达数百毫克每升。另外，部分废水中还含有 Fe、Mn 等重金属，以及少量的 COD。选煤厂对于回用水质有着清晰的要求，例如，悬浮物含量要低于 50mg/L，COD 要低于 100mg/L，重金属含量需符合《煤炭工业污染物排放标准》行业标准。唯有依托系统且全面的水质剖析以及精准无误的用水需求考量，方可保障工艺设计具备明确的针对性与切实的可行性，进而为后续处理成效的达成筑牢基础。

二、深度处理工艺的设计方案

(一) 预处理工艺设计

作为工艺的首个环节，预处理的主要作用是去除废水中数量众多的悬浮物以及一部分胶体杂质，以此减轻后续处理

的负担，这是保证核心工艺能够高效运转的关键所在。经过考量，选用了混凝沉淀工艺，该工艺通过投放聚合氯化铝这种混凝剂来实现特定效果，这种药剂有很强的吸附性，而且成本相对较低，其能够促使悬浮物颗粒迅速凝聚起来，进而形成较大的絮体。在混凝反应池当中运用机械搅拌的方式进行操作，对于搅拌的速度以及反应的时间都要进行严格把控，从而保证混凝效果能够得到充分展现。在沉淀这一环节，选取斜管沉淀池来开展工作，该沉淀池借助斜管沉淀的原理，极大程度地提升了沉降的效率，明显地缩短了沉淀所需的时间。经过预处理之后，废水中悬浮物的去除比率能够达到 80% 以上，如此一来，便为核心处理工艺营造了有利的情形。

(二) 核心处理工艺设计

核心的处理工艺有必要更进一步地去除掉废水当中的小颗粒状悬浮物、胶体以及一部分溶解性污染物，这是提升水质的关键环节。挑选超滤工艺来使用，这种工艺的膜的孔径仅仅有数十纳米，能够切实地截留住经过预处理之后仍旧残留在下来的细小颗粒和胶体，其过滤的精度要高于传统的工艺。超滤系统采用的是外压式的中空纤维膜组件，将操作压力控制在 0.1–0.3MPa 的范围，借助错流过滤的方式来降低膜污染的情况，从而延长膜组件的使用时长。为了确保膜组件能够稳定地运行，设计一套具有自动功能的反冲洗系统，按照一定的周期采用清水进行反向冲洗，从而迅速地使膜通量得以恢复。经过核心处理之后，废水中悬浮物的含量能够降低到 10mg/L 以下，化学需氧量 (COD) 的去除率能够提高到大约 60%，具体操作如图 1 所示。

(三) 深度净化工艺设计

深度净化工艺主要是针对经过核心处理之后依旧存在的那部分极其少量的溶解性污染物而设置的，其是保障出水能

够达到标准并且实现回用的最后一道关键屏障。此工艺选用了反渗透工艺，借助半透膜所具有的特殊选择透过性这一特性，能够有效去除掉水中残留下来的重金属离子、小分子有机物以及盐分等物质，其处理的精准程度能够达到微米级别。在反渗透系统的操作过程中，压力需要控制在 1.0~1.5MPa 范围内，同时该系统选用的是低压复合反渗透膜，这种膜具

备高脱盐率和高产水率这两方面的显著优势。与此同时，于反渗透系统前端设置保安过滤器，该过滤器配备有 $5\text{ }\mu\text{m}$ 规格的滤芯，以此来阻止微小的颗粒物质进入膜组件，进而避免造成无法逆转的污染情况。经过深度的净化处理之后，废水的各项具体指标均能够契合选煤厂的用水标准，能够直接进行回用。



图 1 超滤工艺流程图

三、深度处理工艺稳定性的评估指标

(一) 水质指标稳定性

水质指标的稳定性作为评估工艺的核心衡量标准，其与回用水能否契合选煤生产的具体需求存在直接联系。对于此，主要针对出水悬浮物、化学需氧量 (COD)、铁 (Fe)、锰 (Mn) 这些关键指标的波动情形开展监测工作。在工艺处于正常运行状态时，出水悬浮物的含量应当稳定维持在 50mg 每升的范围之下，化学需氧量 (COD) 要稳定保持在 100 毫克每升的水平之下，而重金属的含量则需稳定控制在仪器能够检测到的最低限度以下。经由对不同时段以及不同进水负荷情形下的水质数据开展持续监测，并系统剖析指标变异系数的方式；变异系数若越小便表明该工艺在控制水质方面越具稳定性，能够充分契合选煤厂对水进行持续使用的需求。

(二) 运行参数稳定性

工艺处理效果会直接受到运行参数稳定性的影响，而运行参数稳定性也是保障工艺能够长期且可靠运行的重要因素，因此需要着重对一些关键参数进行监测，如反渗透操作压力、超滤膜通量、混凝剂投加量等。混凝剂投加量要依据进水悬浮物的具体含量，进行动态的、智能化的调整，并且其波动范围必须严格地控制在设计值正负 10% 区间内，这样才能防止出现药剂浪费或者处理不充分的状况。超滤膜通量要保持在设计的范围之内，同时膜压差的增长速度应当较为缓慢，每个月的增幅不能超过 0.05MPa。在反渗透操作过程中，压力的波动幅度最好不要超出 0.2MPa，同时，产水的比率需要稳定维持在 70% 以上。只有保证各项参数处于稳定运

行的状态，才能够为整个工艺的长期且有效的运转提供保障。

(三) 处理效率稳定性

处理效率的稳定性可由各工艺单元污染物去除率的起伏状况来体现，这一情况能够反映出工艺对于进水变化的适应能力。在预处理阶段，悬浮物的去除率应当稳定维持在 80% 以上，即便进水的悬浮物含量在短期内出现波动，去除率的波动也必须控制在 5% 以内。核心处理阶段的 COD 去除率需稳定保持在大约 60% 的水平，而深度净化阶段的重金属去除率则要稳定保持在 95% 以上。若各个单元的去除率波动幅度相对较小，这表明该工艺针对进水水质变化所具备的适应能力较强，其处理效率稳定，能够持续不断地发挥出净化作用。

四、深度处理工艺稳定性评估方法

(一) 长期监测法

长期监测法作为评估稳定性的基础性方法，能够全方位、深入地呈现工艺于实际运行期间的长期状况。此方法借助对工艺运行数据开展连续 6 个月的监测来达成，每日在特定的时间于进水口、预处理后的出水处、核心处理后的出水处以及最终出水处采集水样，运用国家标准规定的方法对悬浮物、化学需氧量 (COD)、重金属等水质方面的指标进行检测，与此同时，对混凝剂的投加数量、膜的通量、操作时的压力等运行相关的参数进行实时的记录。对所获取的监测数据展开统计与整理工作，绘制出能够体现指标变化情况的曲线，以直观的方式观察指标数据的波动趋向，从而较为精确地判定工艺在长时间运行过程中的稳定性特征，具体操作如图 2 所示。

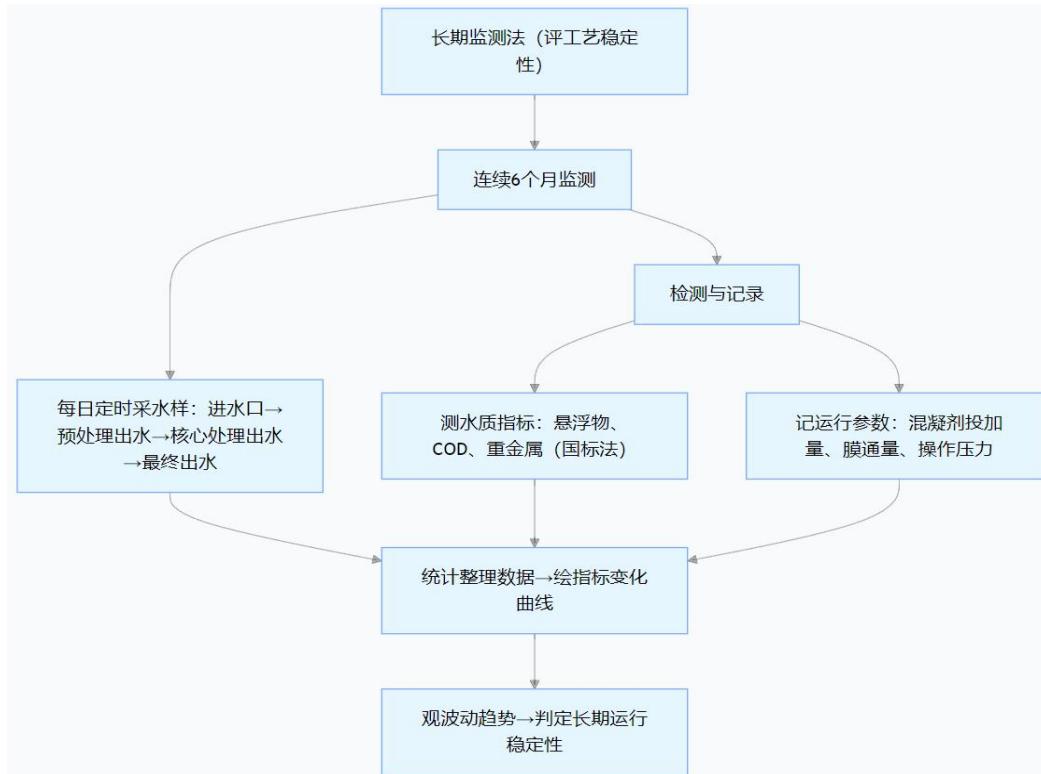


图 2 长期监测法流程图

(二) 水质冲击试验法

运用水质冲击试验法来评定工艺针对进水水质突然变化的适应性能，对实际生产进程中或许会出现的极端水质状况加以模拟。借助人为的方式，将进水悬浮物含量调节到设计数值的 1.5 倍、将 COD 浓度调整到设计数值的 1.2 倍，以此模拟实际运行期间可能会出现的水质冲击现象。在冲击阶段以及冲击结束之后的 72 小时以内，每隔 4 小时对各个处理单元的出水水质以及运行参数开展一次监测工作，严密观察工艺是否能够迅速恢复到稳定状态，出水是否依旧能够达到标准。若在遭受冲击之后的 24 小时以内，工艺能够恢复到正常状态，这表明其具备较强的抗冲击能力，并且拥有良好的稳定性。

(三) 数据分析法

数据分析法借助对监测数据开展专业的统计处理工作，达成对工艺稳定性的量化评定，为工艺的优化操作提供数据方面的支撑。运用统计学软件来计算各项水质指标以及运行参数的平均值、标准差以及变异系数，从而明确数据的离散状况。当变异系数越小时，就意味着参数的波动程度越小，工艺的稳定性也就越高，一般情况下，若变异系数低于 10%，便能够判定工艺处于稳定状态。与此同时，运用相关性分析的方法，开展深入剖析，探究进水水质和出水水质、运行参数之间潜藏的内在联系，从而为工艺的优化以及稳定运行给予精准无误的数据方面的支撑。

结束语

综上所述，本文围绕煤矿矿井废水回用到选煤厂这一需

求，规划了“预处理-核心处理-深度净化”的三级深度处理流程，在预处理环节运用混凝沉淀的方式，核心处理阶段选用超滤技术，深度净化过程则采用反渗透手段。通过开展长期的监测工作、进行水质冲击试验以及运用数据分析法来实施稳定性评估，评估结果表明，此工艺产出的水中悬浮物、化学需氧量 (COD) 以及重金属的含量都契合选煤厂的用水标准，而且，水质的各项指标、运行的相关参数以及处理的实际效率其变异系数较小，具备较强的抗冲击性能。此项工艺设计具备合理性，运行状态呈现出稳定性，能够切实达成矿井废水的资源化运用，为煤炭产业的节水与减排工作提供具备可行性的技术性方案。

[参考文献]

- [1] 汪永彪, 王辛铜, 谢楠, 等. 煤矿矿井水井下就地处理回用工程研究及应用 [J/OL]. 工业水处理, 1-15 [2025-09-28].
- [2] 顾良波. 煤矿综合废水处理及回用技术探讨 [J]. 山西化工, 2023, 43 (01): 191-193.
- [3] 王锦, 彭年, 徐燕飞, 等. 煤矿矿井水井下深度处理与回用技术 [J]. 陕西煤炭, 2022, 41 (03): 42-48.
- [4] 陈亮. 煤矿矿井水处理回用工艺研究 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2021, (08): 27-28.
- [5] 姚卿. 煤矿矿井废水回收利用探究 [J]. 建材发展导向, 2021, 19 (04): 38-39.