

工程实例

DOI: 10. 19853/j. zgjsps. 1000-4602. 2025. 14. 014

智能滤池系统的反冲洗策略优化与运行效能提升

陈德放

(上海临港供排水发展有限公司, 上海 201306)

摘要: 传统砂滤池运行按照固定时间或者水头损失阈值触发相同的反冲洗策略方式, 无法满足实际运行精准冲洗的需求。上海临港水厂从累计过滤流量、标准化水头损失和滤池出水浊度阈值3个方面构建了滤池综合健康度评价体系, 分别对单格滤池运行状态进行实时监测、评估和预测, 依据健康度预测结果, 同时考虑峰谷电价因素, 规划滤池的反冲洗排班, 实现按需冲洗。智能滤池投运后, 平均处理水量提升13.71%。另外, 还构建了反冲洗效用模型, 利用优化算法动态调整气冲、气水冲、水冲三阶段的反冲洗时长, 与系统上线前相比, 初滤水浊度由0.24 NTU降至0.09 NTU, 出水浊度由0.05 NTU降至0.03 NTU。此外, 在保证滤池清洗到位的前提下, 反冲洗水耗降低11.73%, 电费降低36.61%。

关键词: 智能滤池; 滤池健康度; 遗传算法; 反冲洗优化

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)14-0087-07

Backwash Strategy Optimization and Operation Efficiency Improvement of Intelligent Filter System

CHEN De-fang

(Lingang Water Supply and Drainage Development Co. Ltd., Shanghai 201306, China)

Abstract: Traditional sand filter operation triggers the same backwash strategy at a fixed time or head loss threshold, which does not meet the need for precise flushing according to the actual situation. Shanghai Lingang waterworks has constructed a comprehensive health evaluation system for the filter from three aspects: cumulative filtration flow, standardized head loss, and filter effluent turbidity threshold, which monitors, evaluates and predicts the operation status of the single-grid filter in real time, and plans the backwash schedule of the filter according to the health prediction results and the peak and valley electricity price factors at the same time, so as to achieve on-demand flushing. After the intelligent filter was put into operation, the average water treatment increased by 13.71%. The system also constructs a backwash utility model, and uses the optimization algorithm to dynamically adjust the three-stage backwash duration of air flushing, air-water flushing, and water flushing, which reduces the turbidity of primary filtered water from 0.24 NTU to 0.09 NTU, and the turbidity of effluent from 0.05 NTU to 0.03 NTU compared with before the system is launched. In addition, on the premise of ensuring that the filter is cleaned in place, the backwash water consumption is reduced by 11.73%, and the electricity cost is reduced by 36.61%.

Key words: intelligent filter; filter health; genetic algorithm; backwash optimization

1 研究背景

快速砂滤池利用滤层中石英砂形成的多孔结构对水中悬浮物进行截留,从而降低浊度。随着过滤水量和截留污染物的增加,滤层的过滤能力逐渐降低、水头损失逐渐增加,表现为滤池液位上升,出水浊度逐渐升高。目前,主流的滤池反冲洗采用多参数触发控制,多由水头损失、运行时间等限值触发,且每次反冲洗采用相同的冲洗步序和时长^[1-2]。

在此背景下,构建了一种智能滤池控制系统,在保障达成水质控制目标的前提下动态优化反冲洗排班和冲洗策略,提升运行效率。该系统通过对快滤池群的运行状态监测和健康度评估,预测和规划滤池的反冲洗排班,并通过对比滤池反冲洗效果的建模,利用优化算法动态给出每次反冲洗步骤时长的建议。

技术路线流程见图1。

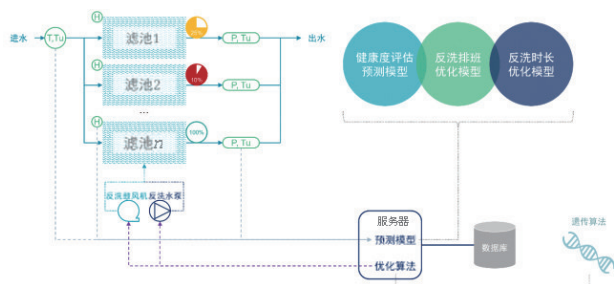


图1 智能滤池系统技术路线流程

Fig.1 Technical roadmap of intelligent filter system
系统拓扑见图2。

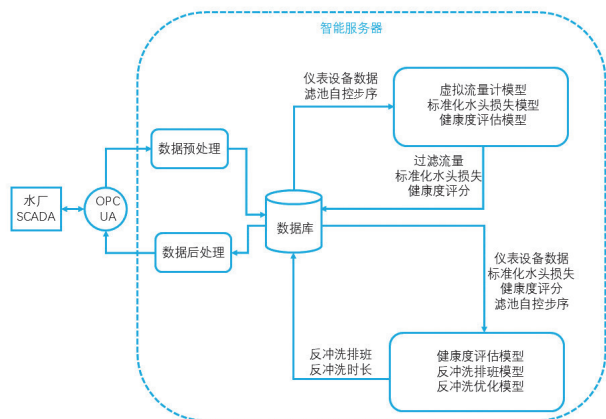


图2 智能滤池系统拓扑

Fig.2 Topological graph of intelligent filter system

2 滤池健康度评估

2.1 健康度评估和预测逻辑

滤池健康度的评估和预测为触发滤池反冲洗排班和优化反冲洗效用模型提供基础。模型综合考虑单格滤池的累计过滤流量、标准化水头损失和砂滤池出水浊度3方面因素,对每格砂滤池状态进行综合百分制打分。当累积流量健康度低于标准化水头损失健康度时,综合健康度为累积流量健康度,当累积流量健康度高于标准化水头损失健康度且高于35%时,综合健康度是2个健康度的加权平均,出水浊度健康度通过给定阈值(0.2 NTU)触发后,综合健康度立即降至10%以下。健康度评估为非线性函数,累计过滤流量健康度和标准化水头损失健康度均通过当前运行数据与设计参数进行比较,并据此进行量化评分的方法来评估。

滤池健康度预测依赖对一个过滤周期中累积过滤流量和滤池标准化水头损失增加趋势的预测。其中,累积过滤流量的预测采用时序数据预测和线性外插相结合的方式,时间序列建模基于Hamilton (1994)提出的经典时间序列分解与预测框架,利用历史数据获得的过滤流量变化样式和过去一段时间的平均滤速预测累计过滤流量未来一段时间的增加趋势。对标准化水头损失变化的预测采用二次多项式外插法,利用所在过滤周期截至当前的标准化水头损失历史数据,采用最小二乘回归模型拟合二阶多项式,并通过遗传算法优化数据窗口长度以防止过拟合,用于预测未来一段时间的标准化水头损失。将累积过滤流量的预测结果和标准化水头损失的预测结果综合计算,可预测滤池健康度。

2.2 数据处理建模

健康度评估和预测模型采用的数据有:进水水温、滤池液位、清水阀前压力、清水阀开度、出水浊度、滤池自动控制步序。系统的实时数据采集系统首先判断数据获取是否正常,其次利用上下限值来判断获取的数据是否在正常范围内。除了自动控制步序外,系统每3 min对剔除异常值后的数据做一次聚合,取平均值,便于去除仪表设备数据随机波动造成的影响。

由于单格砂滤池没有安装流量计,首先利用出

水阀门曲线和阀门前后压差通过虚拟流量计模型计算过滤流量^[3]。出水阀门曲线描述了标准工况(流体为水,阀门前后压差 $\Delta P_{\text{valve},0}$ 为0.1 MPa)条件下的流通能力 K_v 值与阀门开度的关系,即 $K_v(x)=K_v f(x)$,其中 x 为阀门开度的百分比数值, K_v 为阀门全开状态下的流通能力。由于滤池出水阀过流流体为清水,其密度变化可忽略,根据阀门实际开度和阀门前后实际压差 ΔP_{valve} 即可计算通过阀门的流量: $Q=K_v(x)\sqrt{\Delta P_{\text{valve}}/\rho}$ 。

模型还对砂滤层的水头损失做关于滤速和水黏滞力系数的标准化处理,校正滤速和水温对水头损失结果的影响。根据多孔介质压降计算的半经验模型欧根(Ergun)方程,滤床水头损失可表达为:

$$\Delta p = \frac{150\mu L}{D_p^2} \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} v_s + \frac{1.75L\rho}{D_p} \frac{(1-\epsilon)}{\epsilon^3} v_s |v_s| \quad (1)$$

式中: Δp 为滤床压降,kPa; L 为滤床深度,m; μ 为水的黏滞力系数; ρ 为水的密度; D_p 为砂滤床填充滤料的等效粒径; ϵ 为初始滤床孔隙率; v_s 为滤速。

根据滤池填料粒径、孔隙率范围和滤池设计滤速,经量纲分析,可判断式(1)右侧第二项可忽略,因此滤床的压降与滤速和水的黏滞力系数近似呈线性关系。利用这一特性,滤床的标准化水头损失可表达为:

$$\frac{\Delta p}{\mu \cdot v_s} = \frac{150L}{D_p^2} \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} \quad (2)$$

式(2)右侧取决于滤料层深度、填料粒径、初始孔隙率等滤床物理特性,能够反映滤床自身的物理性状。实际系统中,利用式(2)左侧对标准水头损失进行计算,其中滤床的压降 Δp 可由滤池液位和出水阀前压力计算获得,水的黏滞力系数 μ 可根据水温信号查表获得,而滤速 v_s 则利用虚拟流量模型计算的实时过滤流量与滤池面积的比值计算获得。

临港水厂一期设计规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用常规+深度处理工艺,其中常规工艺为预臭氧-混凝-折板絮凝-平流沉淀,深度处理工艺为臭氧活性炭。砂滤池为均粒滤料V型滤池,共8格,分东西2组,每组包括4格,双排布置。每格砂滤池面积为 136 m^2 ,滤床厚1.25 m,均质石英砂有效粒径 $d_{10}=0.90 \text{ mm}$,不均匀系数1.45,承托层厚0.05 m。设计滤速为

8.0 m/h。采用气水反冲结合表面扫洗方式,设计气冲强度为 $55 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,气水冲时气冲强度不变,水冲强度为 $8.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,单水冲强度为 $13 \sim 15 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,表面扫洗强度为 $8.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

3 反冲洗排班优化逻辑

智能反冲洗排班模型主要依据每格滤池的健康度评估和预测,辅助参考为峰谷电价的时段,建立一个高效、经济且响应迅速的反冲洗排班系统,在每次只冲洗一格滤池的前提下,保证每格滤池的过滤能力,并尽可能利用谷电时段安排反冲洗以降低反洗电费。

在每格砂滤池每个过滤周期开始(即上一次反冲洗结束开始过滤)的24 h内,或者砂滤池健康度在85%以上时,排班模型不做复杂的排班计算,仅保护性地按照最长72 h过滤时长规划一次反冲洗。当健康度衰减到85%以下时,排班优化模型首先查询在当前时刻所做的健康度预测,并划定预测的健康度分值在10%~35%之间的时间区间内安排一次不与其他反洗冲突且电价最低的反洗,以此作为当前滤池下一次反冲洗的时间窗。其次,模型会在这一时间窗内查询已经为其他砂滤池规划的反冲洗时段,并将这些时段剔除,避免不同砂滤池的反冲洗冲突。最后,模型会在剩余的可用时段内,根据峰谷电价的时间表寻找电费最低的时段,如果出现不同时段有相同的反洗电费,则取反冲洗最晚的时段作为当前滤池下一次的反冲洗排班规划。

模型还配置了基于运行状况恶化的自动快速触发反冲洗机制。当某格砂滤池的健康度衰减到10%以下时,排班优化模型会优先为其安排一次反冲洗,即在与其它滤池反洗不冲突的前提下,寻找最近的可用时段规划一次反冲洗,此时不再考虑峰谷电价的优化。另外,当某格砂滤池的液位超过警戒阈值时,说明该滤池已经发生堵塞,排班优化模型会立即安排一次反冲洗,即把其他砂滤池正常的反冲洗排班规划取消或延后,直接为当前滤池尽早安排一次反冲洗,此时也不再考虑峰谷电价的优化。

4 反冲洗效用模型

反冲洗效用模型的目标是提高反冲洗三阶段的效率,即在最大程度降低砂滤池反冲洗后的标准化水头损失的同时缩短反冲洗时间。以单层石英

砂为滤层的滤池,在不同水温条件下,对不同状态的滤层有不同的反冲洗效果。反冲洗优化模型动态考虑启动反冲洗时滤池的状态以及反洗水温这一外部变量,利用历史数据构建反冲洗效用函数,并在效用函数基础上,利用遗传算法寻找最优的气冲、气水冲、水冲三阶段时长组合。

反冲洗优化模型构建的第一步是通过试验设计的方式对反冲洗过程中的气冲、气水冲和水冲时长进行变化并采样。临港水厂在3个分别为4~6、8~12、4~6 min的步序范围内用拉丁超方的方法进行随机采样,保证采样点满足样本空间覆盖度的同时减少采样数量。

反冲洗优化模型构建的第二步是建立反冲洗效用函数。该函数的输入为反冲洗前滤池的标准化水头损失、3个反冲洗步骤的时长、反冲洗水温等共5个参数,函数输出为反冲洗对标准化水头损失的恢复量,即反冲洗前后标准化水头损失的差值。

反冲洗优化模型通过遗传算法最终实现,在已知反冲洗水温和反冲洗前标准化水头损失的情况下,进行反冲洗时长的寻优。优化目标为最大化标准化水头损失恢复量与最小化反冲洗时长目标,这两个相互矛盾的目标用一个权重系数进行加权综合,而权重系数的设定量化表明水厂运行对这两个目标的优先级偏好。

5 智能滤池运行分析

该研究旨在评估智能反冲洗优化算法的效能,因此挑选4个具有代表性的时段进行比较分析。首先,选择一个完全由自动控制系统连续管理的时段,称为自动时段。其次,选取智能A时段,这是智能系统上线后基本实现连续控制的时段,在此时段内由于滤池清洗、检维修发生了几次人工干预的反冲洗。为排除人工干预的影响,进一步筛选出智能B时段,该时段排除智能A时段中的人工反冲洗事件。最后,智能C时段为代表最近一次数据完整、连续的智能控制时段。选择这些时段的主要考量因素是数据的完整性、单一控制模式的持续性,以及滤池进水工况条件(水温、水质等)的可比性,这为准确评估智能反冲洗优化算法的效果提供了坚实的基础。具体时间周期如下:

① 自动控制时段,即2023-05-27T11:43—2023-06-13T19:30(17 d 7 h 47 min),反冲洗由原本的自动控制逻辑控制。

② 智能A时段,即2023-06-21T11:43—2023-07-13T10:30(21 d 22 h 47 min)。由于其中包含6次人工手动反冲洗(2023-06-29,5次;2023-07-05,1次)用于滤池维护,进一步处理得到智能B时段。

③ 智能B时段,即智能控制时段A剔除包含2023-06-29五次手动反冲洗的时段08:21—18:10,保留2023-07-05的一次手动反冲洗,总时长为21 d 12 h 58 min。

④ 智能C时段,即2024-06-03T00:00—2024-07-02T23:59(30 d),连续智能运行控制时段反映系统长期运行的结果。

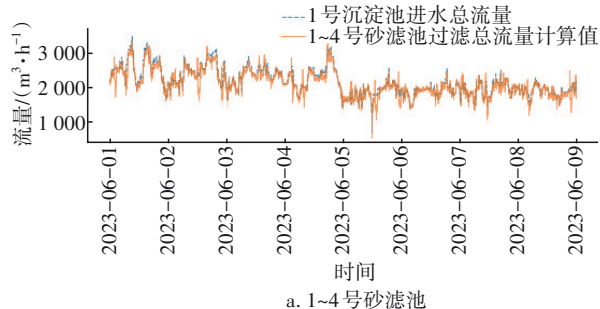
5.1 健康度模型管理及应用

5.1.1 健康度评估和预测模型的实时更新机制

健康度评估和预测模型能够每3 min更新一次对每格滤池的实时健康度评分,每6 min更新一次对滤池健康度变化的预测,预测的最长时长为系统设定的最长过滤时长减去当前过滤时长。健康度评估和预测模型能够对砂滤池群中每格滤池做出合理的状态评估和预测,并为反冲洗排班、反冲洗优化等模型算法提供重要的量化指标输入。

5.1.2 健康度模型计算值与实测对比

水厂1号沉淀池(共2格)出水进入1~4号砂滤池,2号沉淀池(共2格)出水进入5~8号砂滤池。8格砂滤池出水汇入清水渠后进入深度处理的臭氧接触池(共2格)。利用2023-06-01T00:00—2023-06-08T00:00一周的实际流量数据验证,虚拟流量模型计算的1~4号砂滤池过滤总流量与上游1号沉淀池进水实测流量的平均百分比误差(MAPE)为3.62%,虚拟流量模型计算的5~8号砂滤池过滤总流量与上游2号沉淀池进水实测流量的平均百分比误差为3.25%,而虚拟流量模型计算的1~8号砂滤池过滤总流量与下游臭氧接触池进水实测流量的平均百分比误差为1.25%,具体比较见图3。



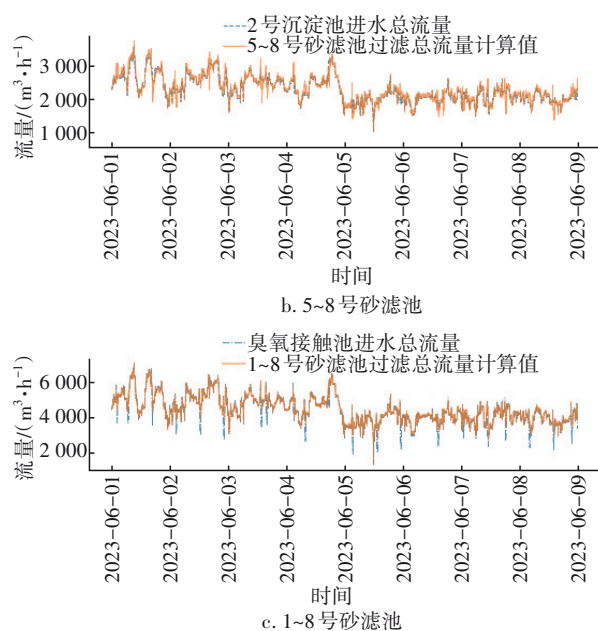


图3 砂滤池流量模型计算值与上下游流量实测值比较

Fig.3 Comparison of calculated value of flow model with upstream and downstream flowmeter measurements

这表明,使用清水阀开度和阀前后压差计算获得的滤池过滤流量与实际相符。

某格滤池一个过滤运行周期的数据如图4所示。当过滤流量发生变化时,滤床的水头损失会明显跟随流量产生波动,而标准化水头损失的演变更为稳定,受滤速影响小,反映的主要是滤床本身的物理性状。

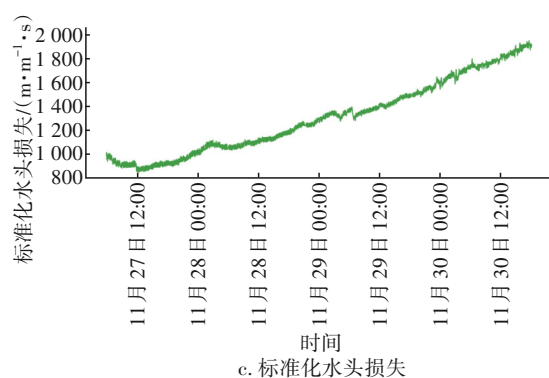
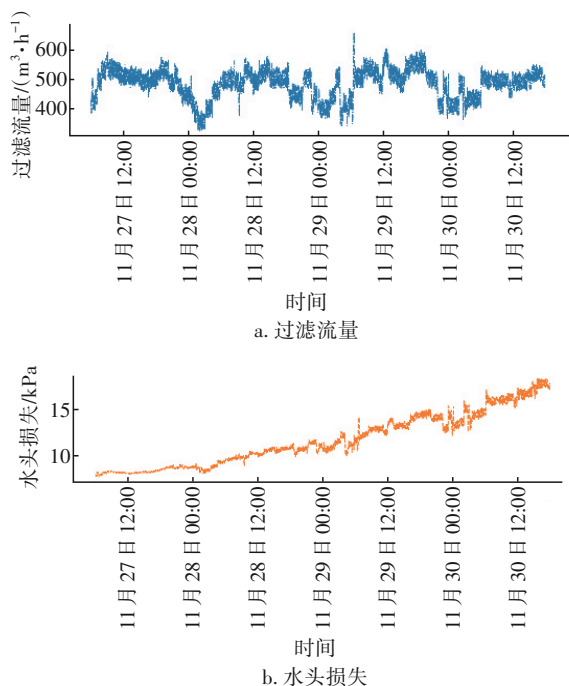


图4 过滤运行周期内的过滤流量、水头损失和标准化水头损失

Fig.4 Filtration flowrate, head loss and normalized head loss in a filtration run period

由于滤池健康度评估的参考因素之一是标准化水头损失,而不是水头损失,因此健康度评估结果主要反映滤床自身的过滤能力,受水温、滤速等外部变量的影响更小。

5.1.3 固定过滤周期与按需冲洗周期比较

常规水厂滤池的过滤周期会取水力周期和水质周期两者中的较小值,且一般固定。健康度模型排除温度和滤速对水头损失数据的偏差,更真实反映截留污染物的情况,使滤池按需冲洗,并且突破72 h冲洗的约束,实现更精准地冲洗触发,过滤周期比常规延长。

自动时段滤池群平均过滤周期为542.33 h,平均每过滤38 337.5 m³进水后进行反冲洗。智能A时段滤池群平均过滤周期提升至596.36 h,提高约9.78%;平均处理水量为40 199.2 m³,提高约4.86%。智能B时段滤池群在排除人工反冲洗后,平均过滤周期增至646.21 h,提高约19.15%,平均处理水量达到43 593.0 m³,提高约13.71%。智能C时段由于滤池群的处理负荷上升,平均过滤周期减至474.73 h,但平均处理水量达到44 174.70 m³,提高约15.23%。

综上所述,健康度模型算法在过滤流量可比的情况下,有效延长了反冲洗周期,而在过滤流量不可比时,也降低了单位过滤流量所需的反冲洗次数,从另一个角度说明对反洗频次的优化。

5.2 反冲洗时长优化管理及应用

5.2.1 反冲洗时长模型的运行机制

反冲洗时长优化算法每6 min进行一次滚动优化。反冲洗时长优化算法同步更新对每格砂滤池

反冲洗时长的优化建议值,根据当前滤池的标准化水头损失、水温等因素,基于反冲洗效用模型的仿真结果,给出气洗、气水洗和水洗的建议时长。算法的时长设定一方面能够保证对滤料层的充分清洁以恢复滤池的过滤能力,实践证明在模型建议的时长参数控制下,反洗后的滤池出水浊度始终达标;另一方面,算法的时长建议合理平衡了反洗效果和反洗费用,在保证砂滤池标准化水头损失的有效恢复前提下,尽可能降低反冲洗的电耗、水耗,保证反冲洗运行的经济性。各控制时段滤池群流量、过滤周期及反冲洗时长统计分别见表1、2。

表1 各控制时段滤池群流量和过滤周期统计

Tab.1 Statistics of filter group flow and filtration cycle in each control period

项目	总过滤流量/ m^3	平均过滤周期/h	平均过滤周期处理水量/ m^3
自动时段	1 763 526	542.33	38 337.5
智能A时段	2 130 560	596.36	40 199.2
智能B时段	2 092 465	646.21	43 593.0
智能C时段	4 019 898	474.73	44 174.7

表2 过滤千吨水所需反冲洗时长统计

Tab.2 Statistics of backwash duration per thousand cubic meters water filtered $\text{s} \cdot 10^3 \text{ m}^{-3}$

项目	千吨水气冲时长	千吨水气水冲时长	千吨水水冲时长
自动时段	7.669 3	15.163 9	7.709 0
智能A时段	7.495 7	15.266 4	7.775 4
智能B时段	6.932 0	14.121 1	7.201 1
智能C时段	6.890 0	14.226 7	7.169 6

5.2.2 水质改善

各时段砂滤池群进、出水数据统计如表3所示。

表3 各控制时段滤池群流量和浊度统计

Tab.3 Statistics of filter group flow and turbidity in each control period

项目	总过滤流量/ m^3	进水平均浊度/NTU	初滤水浊度/NTU	出水平均浊度/NTU
自动时段	1 763 526	0.42	0.24	0.05
智能A时段	2 130 560	0.54	0.22	0.05
智能B时段	2 092 465	0.54	0.22	0.05
智能C时段	4 019 898	0.57	0.09	0.03

统计表明,各智能控制时段砂滤池群的进水平均浊度较自动时段上升约29%~44%,但出水平均浊度在智能A、B时段仅上升约5%,在智能C时段则下

降约27%,初滤水浊度在自动时段为0.24 NTU,在智能C时段则下降至0.09 NTU,表明智能控制达到了良好的反冲洗效果,并且保证了砂滤池群的整体过滤能力,提高了对水中污染物的去除效率,始终确保砂滤池出水浊度满足控制目标。

5.3 反冲洗排班算法管理及应用

5.3.1 反冲洗排班模型的运行机制

反冲洗排班模型每6 min运行一次,滚动更新对每格砂滤池的反冲洗规划,反冲洗排班优化模型算法在试运行期间能够根据健康度评估和预测结果给出合理的排班计划(见图5),一方面在每格滤池反冲洗计划不冲突的前提下确保每格滤池及时得到反冲洗,另一方面充分利用滤池经过初滤阶段熟化后的稳定高效过滤能力,避免过早反冲洗,并且充分利用峰谷电价,使得谷电时段反洗占总反洗次数的比例大为提高。反冲洗排班算法依据健康度模型形成冲洗计划,明确滤池冲洗水量需求,提供合理规划冲洗队列的参考依据,预防多组滤池排队等待冲洗的情况,减轻排泥水系统的运行压力,在水厂调整原水调度计划时,做到精细化控制,进一步保障滤池系统运行的整体安全。



图5 智能滤池系统反冲洗排班计划

Fig.5 Backwash scheduling plan of intelligent filter system

5.3.2 排班优化模型数据统计与分析

各控制时段的反冲洗数据统计如表4所示。

表4 各控制时段反冲洗数据统计

Tab.4 Statistics of backwashing data in each control period

项目	反冲洗次数/次	气冲总时长/s	气水冲总时长/s	水冲总时长/s
自动时段	46	13 525	26 742	13 595
智能A时段	53	15 970	32 526	16 566
智能B时段	48	14 505	29 548	15 068
智能C时段	91	27 697	57 190	28 821

进一步结合反冲洗风机、水泵的用电量数据统计和反冲洗水泵的流量统计,可以计算滤池群每过滤千吨水对应的电耗、电费和耗水情况,具体数据如表5所示。

通过反冲洗排班优化算法与反冲洗时长优化算法的共同优化,智能B时段的单位反冲洗风机电耗比自动时段降低8.34%,单位反冲洗水泵电耗降低8.05%,智能C时段的单位反冲洗风机电耗比自

动时段降低4.95%,单位反冲洗水泵电耗降低8.25%。由于反冲洗排班优化算法利用峰谷电价,单位反冲洗电费在智能B时段降低23.20%,在智能C时段降低36.61%。

此外,智能B时段和智能C时段滤池群的单位反冲洗水耗比自动时段分别降低7.96%、11.73%,从而降低了反冲洗水耗,提高了砂滤池工艺段的产水率。

表5 过滤千吨水所需反冲洗电耗、电费和耗水统计

Tab.5 Statistics of backwash electricity consumption, electricity tariff and backwash water consumption per thousand cubic meters water filtered

项目	千吨水反洗风机电耗/ (kW·h·10 ³ m ⁻³)	千吨水反洗水泵电耗/ (kW·h·10 ³ m ⁻³)	千吨水反洗电费/ (元·10 ³ m ⁻³)	千吨水反洗水耗/ (m ³ ·10 ³ m ⁻³)
自动时段	0.379 9	0.301 9	0.450 4	10.420 2
智能A时段	0.376 1	0.301 8	0.400 6	10.359 8
智能B时段	0.348 2	0.277 6	0.345 9	9.591 1
智能C时段	0.361 1	0.277 0	0.285 5	9.198 3

综上,智能滤池系统保证了滤池的稳定健康运行,并显著降低了反冲洗电耗、电费和耗水,提高了砂滤池系统的运行效率。

6 结论

上海临港水厂通过构建砂滤池综合健康度评价、反洗时长优化及反洗排班优化3种模型实现了对砂滤池反洗周期、反洗效果、反洗时间排班的智慧控制,取得了显著成效,主要体现在:

① 砂滤池综合健康度评价模型将累计流量、标准化水头损失及出水浊度阈值相结合:累计流量计算基于清水阀开度与压差的虚拟流量计算,监测误差低于3.62%,为无流量计工况提供高性价比解决方案;标准化水头损失对不同水温条件下滤池滤速和水黏滞力系数进行了标准化处理,同时结合出水浊度阈值综合精准控制滤池冲洗周期,使过滤周期延长9.78%~19.15%,处理能力提升13.71%。

② 反洗时长优化模型基于遗传算法优化控制滤池气冲、气水混冲、水冲时长,精准控制滤池冲洗效果,初滤水与出水浊度分别降至0.09 NTU 和0.03 NTU,滤池冲洗的水耗降低11.73%。

③ 反洗排班优化模型结合电价时段优化策略,使反冲洗电费成本降低36.61%。

上述滤池优化模型为水厂智能化运行与节能降耗提供了可复制、可推广的技术路径。

参考文献:

[1] 于东,梁艳超. 给水处理中V型滤池调试运行分析[J]. 供水技术,2024,18(1):61-64.
YU Dong, LIANG Yanchao. Analysis of commissioning operation of V-type filter in water supply treatment[J]. Water Technology, 2024, 18(1): 61-64(in Chinese).
[2] JONSSON L, BJÖRLENIUS B. Dynamic and initial head loss in full-scale wastewater filtration and measures to prevent long-term initial head loss[J]. Water Practice and Technology, 2022, 17(7): 1390-1450.
[3] UPTON A, JEFFERSON B, MOORE G, et al. Rapid gravity filtration operational performance assessment and diagnosis for preventive maintenance from on-line data[J]. Chemical Engineering Journal, 2017, 313: 250-260.

作者简介:陈德放(1973-),男,上海人,大学本科,高级工程师,副总经理,主要研究方向为饮用水安全保障。

E-mail:ChenDefang2024@126.com

收稿日期:2025-01-13

修回日期:2025-04-10

(编辑:衣春敏)