

# 水质保障视角下自来水净化工艺升级路径探索

卢超红

广西玉林市自来水有限公司

DOI:10.32629/eep.v9i3.3119

**[摘要]** 在水环境质量波动加剧与供水安全要求持续提升的背景下,自来水净化工艺面临由常规处理向高效精细化处理转型的现实需求。围绕水质保障目标,从原水水质变化特征与污染物组成复杂化出发,对现行净化工艺在去除效率、稳定运行及风险控制方面存在的不足进行系统梳理。在此基础上,聚焦预处理强化、深度处理及消毒控制等关键环节,对混凝沉淀优化、高级氧化技术应用及消毒副产物抑制路径进行分析。同时,结合多工艺协同集成与智能化运行升级路径,对净化系统整体优化思路进行构建,以实现水质安全性与供水稳定性的协同提升。

**[关键词]** 水质保障; 自来水净化; 工艺升级; 深度处理; 消毒控制

**中图分类号:** TS951.13 **文献标识码:** A

## Exploration of Upgrading Paths for Water Purification Processes in the Perspective of Water Quality Assurance

Chaohong Lu

Guangxi Yulin City Water Supply Co., Ltd.

**[Abstract]** Under the context of intensified fluctuations in water environmental quality and continuously rising requirements for water supply safety, drinking water purification processes are facing a practical demand to shift from conventional treatment to high-efficiency and refined treatment. Centering on water quality assurance objectives, this study systematically analyzes the deficiencies of existing purification processes in terms of removal efficiency, operational stability, and risk control, based on variations in raw water quality and the increasing complexity of pollutant composition. On this basis, focusing on key stages such as enhanced pretreatment, advanced treatment, and disinfection control, the optimization of coagulation-sedimentation processes, the application of advanced oxidation technologies, and the control pathways of disinfection by-products are examined. Meanwhile, by integrating multi-process coordination and intelligent operational regulation technologies, an overall optimization framework for purification systems is constructed to achieve the coordinated improvement of water quality safety and supply stability.

**[Key words]** water quality assurance; drinking water purification; process upgrading; advanced treatment; disinfection control

### 引言

随着城镇化进程加快与工业活动强度不断提升,水源水体受多源污染影响日趋明显,呈现出有机污染物种类增加、微量污染物含量波动及季节性变化加剧等特征。在此背景下,传统以常规混凝、沉淀、过滤和消毒为核心的处理体系,在应对复杂水质条件时表现出一定局限性,难以全面满足高标准供水需求。同时,水质安全管理已从单一达标导向转向全过程风险控制,对净化工艺的稳定性、适应性及精细化水平提出更高要求。净化技术体系的优化不仅涉及单一工艺性能提升,还需要在系统层面实现多环节协同与动态调控,以增强对突发水质变化的响应能力。

在这一发展趋势下,推动自来水净化工艺升级,构建高效、稳定、低风险的处理体系,已成为供水行业技术发展的重要方向。

### 1 水质保障视角下自来水净化工艺现状分析

#### 1.1 现行自来水净化工艺体系构成

当前城市自来水净化体系以常规处理工艺为主体,形成由取水、预处理、混凝沉淀、过滤及消毒构成的连续流程结构。原水经格栅及沉砂等预处理单元去除大颗粒杂质后,进入混凝反应池,通过投加聚合氯化铝、聚丙烯酰胺等药剂实现胶体颗粒脱稳并形成絮体,在沉淀池内完成固液分离。后续过滤环节多采用石英砂滤池或双层滤料滤池,以截留细小悬浮物并降低浊度水

平,部分水厂已引入活性炭滤池以增强对有机物的吸附能力。消毒阶段主要依赖液氯、次氯酸钠或二氧化氯实现微生物灭活,并维持管网余氯稳定。

### 1.2 水质保障要求对净化工艺的约束特征

水质保障目标对净化工艺提出多维约束,涵盖出厂水指标达标、过程稳定控制及管网安全输配等多个层面。国家饮用水标准对浊度、色度、余氯及微生物指标均设定严格限值,要求浊度控制在1 NTU以内,部分区域控制在0.3 NTU以下,这对过滤精度与混凝效果形成直接约束。微生物安全要求出厂水菌落总数显著降低,同时需确保管网末梢仍具备0.05 mg/L以上余氯水平,保证二次污染风险可控。在有机污染控制方面,对总有机碳及消毒副产物前体物提出限制,使得常规处理需具备更高去除效率<sup>[1]</sup>。

## 2 水质保障需求驱动下净化工艺升级的关键问题

### 2.1 原水水质变化对净化工艺提出的新要求

原水水质呈现明显波动性与复杂化趋势,对净化工艺适应能力提出更高要求。部分河流型水源在丰水期浊度可由常态20 NTU升至300 NTU以上,藻类密度由 $10^4$  cells/mL提升至 $10^6$  cells/mL量级,导致混凝负荷显著增加。溶解性有机碳浓度在2.0 mg/L至8.0 mg/L之间波动,使常规处理难以稳定控制有机物去除率。氨氮浓度在0.5 mg/L至3.0 mg/L范围内变化,影响消毒过程及余氯保持效果。部分地区出现微量有机污染物检出浓度达ng/L至 $\mu$ g/L级别,对传统工艺构成挑战。水温在5℃至30℃区间变化亦对絮凝反应速率产生影响,导致处理效果波动明显,要求工艺具备更强的动态调节能力与抗冲击能力。

### 2.2 污染物类型复杂化带来的处理难点

水体中污染物结构日趋多样,增加了净化处理的技术难度。有机污染物由单一可降解物质向难降解芳香族化合物、内分泌干扰物等转变,典型浓度范围在0.1  $\mu$ g/L至5.0  $\mu$ g/L之间,常规混凝沉淀去除率不足30%。重金属离子如铅、镉在部分区域检出浓度达到0.005 mg/L至0.02 mg/L,对过滤与吸附工艺提出更高要求。藻源有机物含量在高温季节可达到5.0 mg/L以上,易形成消毒副产物前体物。微塑料粒径分布在1  $\mu$ m至500  $\mu$ m之间,传统过滤难以完全截留。多种污染物共存导致处理过程存在相互干扰现象,使单一工艺难以实现高效协同去除,增加了工艺组合设计的复杂性<sup>[2]</sup>。

## 3 水质保障导向的自来水净化关键技术优化路径

### 3.1 预处理与强化混凝沉淀技术优化

针对原水水质波动显著与颗粒物负荷增大的问题,预处理与混凝沉淀环节需向强化与精细化方向调整。预处理阶段可引入高效曝气与预氧化技术,通过投加高锰酸钾0.5 mg/L~2.0 mg/L或臭氧1.0 mg/L~3.0 mg/L,实现对藻类细胞及部分有机物的初步破坏,提高后续混凝反应效率。混凝阶段采用复合型无机高分子絮凝剂,如聚合氯化铝铁,投加量控制在20 mg/L~80 mg/L范围内,并结合助凝剂聚丙烯酰胺0.1 mg/L~0.5 mg/L,提高絮体密度与沉降性能。反应池搅拌强度需维持在G值60 s<sup>-1</sup>~120 s<sup>-1</sup>,反应时间控制在15 min~25 min,以确保絮体充分生长。沉淀单元通过斜管沉淀池或气浮技术优化,表面负荷控制在8 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h)~12 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h),可将浊度由100 NTU以上降至1 NTU以下,去除率达到98%以上。通过工艺参数精细调控与设备优化配置,可显著提升颗粒污染物去除效率与系统稳定性。图1为自来水厂净化处理流程图。

图1为自来水厂净化处理流程图。

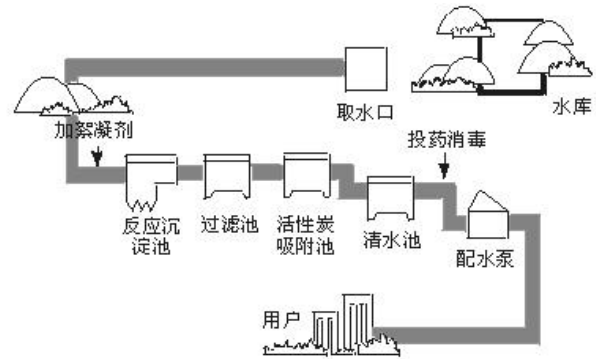


图1 自来水厂净化处理流程图

### 3.2 深度处理工艺与高级氧化技术应用

针对溶解性有机物与微量污染物去除需求,深度处理工艺需引入多技术耦合路径。活性炭吸附工艺通过粒径0.8 mm~1.2 mm的颗粒活性炭滤层,实现对有机物的高效截留,空床接触时间控制在10 min~20 min,总有机碳去除率可达40%~70%。膜处理技术如超滤与纳滤可实现对分子量大于1000 Da物质的有效截留,运行通量维持在40 L/(m<sup>2</sup>·h)~80 L/(m<sup>2</sup>·h),出水浊度稳定在0.1 NTU以下。高级氧化技术通过臭氧-生物活性炭联用或臭氧-过氧化氢体系,实现羟基自由基浓度 $10^{-9}$  mol/L量级的高效氧化能力,对难降解有机物去除率可提升至80%以上。臭氧投加量一般控制在2.0 mg/L~5.0 mg/L,接触时间为10 min~15 min,可显著降低UV254指标30%以上。多种深度处理技术的组合应用,可实现对复杂污染物的协同去除,提升出水水质安全水平<sup>[3]</sup>。

### 3.3 消毒工艺升级与副产物控制技术

消毒环节在保障微生物安全的同时需兼顾副产物生成控制。传统氯消毒工艺投加量一般在1.0 mg/L~3.0 mg/L范围内,接触时间不少于30 min,可实现对细菌与病毒的有效灭活,但三卤甲烷生成浓度可能达到40  $\mu$ g/L~80  $\mu$ g/L。为降低副产物风险,可采用二氧化氯与氯胺复合消毒工艺,二氧化氯投加量控制在0.5 mg/L~1.5 mg/L,可将三卤甲烷生成量降低30%以上。紫外消毒技术通过254 nm波长照射,剂量达到30 mJ/cm<sup>2</sup>时,对微生物灭活率可超过99.9%,且不产生化学副产物。臭氧消毒在投加量1.0 mg/L~3.0 mg/L条件下可实现快速灭菌,同时降解有机前体物。通过优化消毒剂组合与投加策略,并控制前驱物浓度在总有机碳2.0 mg/L以下,可有效抑制副产物生成,实现水质安全与健康风险控制的协同提升。

## 4 自来水净化工艺系统集成与运行升级路径

### 4.1 多工艺协同集成与流程优化设计

为适应复杂水质条件,净化系统需实现多工艺协同集成,通

过流程优化提升整体处理效能。典型工艺组合包括预氧化+强化混凝+沉淀+过滤+臭氧-生物活性炭+消毒等多级处理路径,各单元之间形成协同作用。系统设计中水力停留时间控制在2 h~4 h范围内,确保各处理单元运行稳定。通过优化水流分配与管道布置,可将水力损失降低至0.3 m~0.8 m范围内,提升运行效率。多级处理后出水浊度可稳定在0.1 NTU以下,总有机碳降低至1.5 mg/L以下。流程集成还需结合模块化设计理念,实现单元灵活组合与快速调整,以适应不同水质条件变化,提高系统运行弹性与安全性。

#### 4.2 智能化监测与运行调控技术应用

智能化技术在净化系统中的应用显著提升运行精度与响应能力。在线监测系统可实现对浊度、pH值、余氯、溶解氧及有机物指标的实时采集,数据采集频率达到1 min/次,监测精度误差控制在±2%以内。基于数据驱动的系统可自动调整混凝剂投加量,误差控制在±5%范围内,使出水浊度稳定在0.2 NTU以下。采用SCADA系统对全流程进行集中控制,结合模型预测控制算法,实现对流量与水质变化的动态响应。数据平台可对历史运行数据进行分析,识别异常波动并提前预警,将水质异常响应时间缩短至10 min以内。通过智能化手段的引入,可显著提升系统自动化水平与水质保障能力,图2为智能化自来水厂净化工艺流程解析。

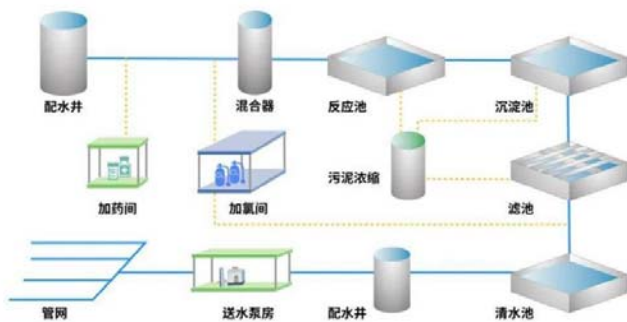


图2 智能化自来水厂净化工艺流程解析

#### 4.3 能耗控制与资源利用效率提升路径

在保证水质安全的前提下,净化系统需兼顾能耗与资源利用效率优化。水厂单位水量电耗一般在0.25 kWh/m<sup>3</sup>~0.45 kWh/m<sup>3</sup>范围内,通过优化泵站运行与变频控制技术,可将能耗降低10%~20%。反冲洗水回收利用率可达到90%以上,通过设置回收池与再处理系统,实现资源循环利用。污泥处理采用浓缩脱水工艺,含水率由98%降至80%以下,减少处置成本。药剂投加系统通过精准控制,可将混凝剂用量降低5%~15%,同时保持处理效果稳定<sup>[4]</sup>。通过综合优化能耗结构与资源利用路径,不仅降低运行成本,还提升系统整体运行的可持续性与经济性。

#### 4.4 运行管理机制优化与全过程质量控制路径

在工艺系统持续优化的基础上,运行管理机制的完善成为保障净化效果稳定发挥的重要支撑。围绕全过程水质控制目标,应建立覆盖原水取水、处理运行、出厂水检测及管网输配的闭环管理体系,使各环节之间形成顺畅衔接与协同响应关系。运行管理过程中,应强化标准化操作规程建设,明确关键工艺节点的控制要求与调整边界,减少人为干预带来的波动风险。结合岗位职责体系优化,推动运行人员由经验驱动向规范化、精细化管理转变,提高工艺调控的科学性与一致性。同时,依托信息化平台,实现运行数据、设备状态及水质指标的集中管理与动态分析,提升异常识别与问题溯源能力。在质量控制层面,应构建以过程控制为核心的管理模式,将水质保障要求细化至各工艺单元运行指标,实现由结果控制向过程控制转变。通过持续完善运行管理机制与质量控制体系,有助于提升净化系统运行的稳定性与可控性,为长期水质安全提供制度化保障<sup>[5]</sup>。

#### 5 结语

在水环境压力持续加大的背景下,自来水净化工艺正由常规处理向精细化、系统化与高效化方向加速演进。围绕水质保障目标,通过强化预处理、深化深度处理及优化消毒控制,实现了对复杂污染物的协同去除与全过程风险管控。多工艺集成与智能化调控技术的应用,使系统运行更加稳定、响应更加及时,同时在能耗控制与资源利用方面取得良好成效。持续推进技术优化与运行管理升级,有助于构建安全可靠、稳定高效的供水保障体系。

#### 参考文献

- [1]邱静萍.城市自来水水质检测异常的分析与处理研究[A].中国设备管理新趋势交流会会议文集(四)[C].中国设备管理协会品牌建设与应用技术委员会,2025:42-44.
- [2]张常贤.农村自来水水质快速检测技术的应用与推广分析[J].农村实用技术,2025,(09):112-113.
- [3]谭煜,程莹,李倩.基于化工理念对居民饮用自来水净化处理工艺研究[J].广州化工,2025,53(15):102-104+108.
- [4]田琳静,冯冰.市自来水有限公司强化水质管理确保水质合格率100%[N].濮阳日报,2025-07-31(004).
- [5]赵云.自来水水质检测设备的设计及应用研究[J].内蒙古水利,2025,(02):87-88.

#### 作者简介:

卢超红(1975--),女,汉族,广西玉林人,本科,高级工程师,主要研究方向为自来水生产、水质检验及管理,实验室质量体系运行管理、安全生产等。