

蒙洼中心水厂旋流气浮澄清工艺应用及效能分析

文 / 郭国富 阜南县水利局

摘要: 随着经济发展和人民生活水平的提高,生活饮用水工程建设与管理面临一些亟须解决的问题,例如:小水厂数量多、工程布局不合理;地表水厂部分取水设施简陋、混凝剂添加控制水平不高;水处理工艺落后、水质有待进一步保障及提升;建设运行费用较高等。本文对旋流气浮澄清工艺的关键技术研究与应用进行了阐述及分析,根据阜南蒙洼中心水厂的建设及运行情况表明该工艺使复杂的问题简单化,值得在自来水厂建设中得以高度重视并被广泛应用。

关键词: 自来水厂建设;澄清工艺;关键技术;生活饮用水

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.03.073

引言

随着经济的发展,社会的进步,人民生活水平不断提高,用水量不断增大,国家对安全供水提出了“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”十六字治水方针;安徽省委常委会提出关于尽快让皖北地区群众喝上更好水的要求,牢固树立以人民为中心的理念,推动党史学习教育“我为群众办实事”实践活动,结合引江济淮、淮水北调等区域引调水工程建设,加快推进皖北地区供水地下水水源替换,促进区域城乡供水一体化,保障人民群众及早喝上更安全健康的饮用水,安徽省水利厅、阜阳市水利局2021年6月25日召开了《皖北地区群众喝上更好水规划修编工作视频会》,提出2023年底前,沿淮地区基本完成地下水水源替换,推进城乡供水一体化建设,包括阜阳市阜南县、颍上县、颍泉区、颍东区、颍州区;2026年底前,完成皖北地区城乡供水一体化,即“同水源、同管网、同水质、同服务”的城乡供水工程体系和管理体制。

一、旋流气浮澄清工艺概述

(一) 工艺原理与特点

旋流气浮澄清工艺是一种高效的水处理技术,它通过在水中注入微小气泡,利用气泡与悬浮颗粒之间的黏附作用,使颗粒物上浮至水面,从而实现固液分离。该工艺的核心在于气泡的产生和颗粒物的捕获效率。蒙洼中心水厂采用的旋流气浮澄清工艺是一种高效的水处理技术,其核心在于利用微小气泡与悬浮颗粒的黏附作用,通过旋流分离原理实现固液分离。该工艺特点在于其高效率和低能耗,特别适用于处理高浊度的原水。例如,在处理浊度高达1000NTU的原水时,旋流气浮工艺能够达到90%以上的悬浮物去除率。此外,该工艺的占地面积相对较小,对于土地资源紧张的地区尤为有利。在效能评估方面,旋流气浮澄清工艺模型分析显示,其处理能力与进水浊度、气泡大小、旋流速度等因素密切相关。

(二) 工艺流程

蒙洼中心水厂采用的旋流气浮澄清工艺是一种高效的水处理技术,其核心在于通过旋流作用和微气泡的结合,实现悬浮物和杂质的有效去除。该工艺流程主要包

括原水的引入、絮凝剂的添加、旋流反应、气浮分离以及清水的收集等关键步骤。在实际应用中,该工艺能够处理每小时高达数千立方米的原水,显著提高了水处理的效率和出水质量。例如,在某次处理过程中,通过优化絮凝剂的种类和投加量,出水浊度从20 NTU降低至1 NTU以下,达到了饮用水标准。此外,旋流气浮工艺在处理高浊度水源时表现出色,其效能评估模型显示,该工艺在去除悬浮固体方面比传统沉淀法高出30%以上,这不仅节约了处理成本,也减少了对环境的影响。

二、旋流气浮澄清工艺在阜南县蒙洼中心水厂的应用

(一) 工程概况

阜南县现有的54处水厂均为千吨万人规模水厂,设计日供水规模为11.61万 m^3 /d。其中:53座水厂以中深层地下水为水源,设计日供水规模为9.81万 m^3 /d。1座水厂以淮河地表水为水源,为蒙洼中心水厂,设计日供水规模为1.80万 m^3 /d。现有水厂主要存在以下问题:

(1) 水源单一,水源保证率低,水源地管理不到位

目前阜南县存在一座地表水厂(蒙洼水厂),水源为淮河水,其他乡镇水厂水源均为中深层地下水,供水水源单一,未形成完善的备用水源体系。水源井水泵供水电路单一,未设置备用泵房,一旦水泵运行故障必然导致居民无法正常用水。

(2) 配水管网布置不合理,运行能耗大

根据调研,部分毛细配水管道管径小,水损大,导致用户水压较低;存在少量管道敷设不规范,存在安全隐患。

(3) 地下水水位降低,水资源缺乏保护

阜南县目前居民生活用水和工业用水几乎全部来自地下水,地下水的无规划开采导致地下水位持续下降,机井深度也不断加大,机井开采缺乏有效监督管理,地下水水资源缺乏有效保护。

蒙洼中心水厂二期项目供水规模4.5万 m^3 /d,由于征地困难,选址为一期项目北侧,位于蒙洼蓄洪区曹集镇保庄圩范围内,因原水铁、锰偶尔会超标及地理因素影响,所使用的净水工艺需占地小、效率高、不受洪水

影响，出水水质能完全达到生活饮用水卫生标准。2022年1月，阜南县水利局在合肥召开本工程可研专家评审会，最终确定使用旋流气浮澄清工艺。应用结果证明该工艺处理的水质既能达到生活饮用水卫生标准，投资成本和运行成本低，且做到了全水力自控运行，是一座无

人操作的“智能型”水厂。

(二) 工艺流程

蒙洼中心水厂二期项目工艺部分包括分配水箱、旋流气浮澄清池、U型虹吸滤池、提升水池、臭氧接触池、活性炭滤池、清水池、二级泵房等，工艺流程见图1。

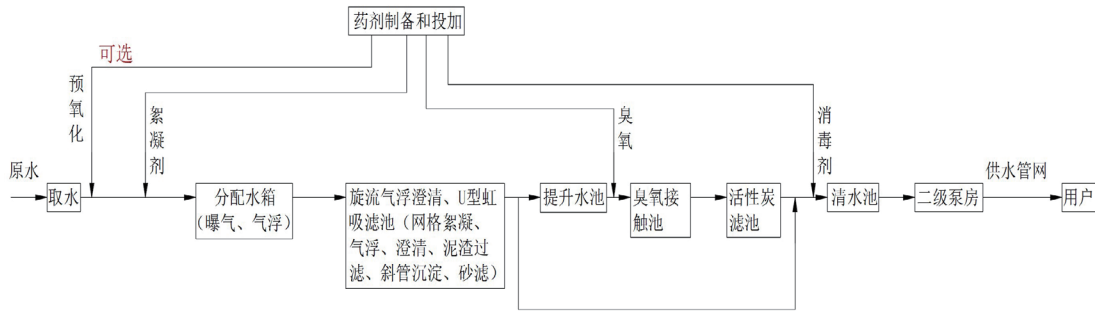


图1 工艺流程图

(三) 主要设计参数

澄清池是集混凝沉淀于一体的水处理构筑物，主要用于给水处理。水力循环澄清池作为泥渣循环型澄清池的一种形式常在水处理技术中，但是，传统的水力循环澄清池药剂和原水混合不充分，处理效果不稳定。

皖北地区群众喝上引调水工程（皖北地区群众喝上更好水工程）阜南县“十四五”农村供水保障工程，采用对水力循环澄清池进行改革创新的旋流气浮澄清工艺。

1. 主要技术参数如下

设计规模：Q=4.5万m³/d

结构类型：地上式钢砼结构

池数：2座

单池处理水量：Q=2.25×10⁴×1.1÷24=1031.25m³/h=0.2865m³/s

表面负荷：q=4.775m³/m²·h

总停留时间：t=1.75h

絮凝总时间：t=20.75min

单池尺寸：Φ=20.7m；H=9.2m，其中圆锥高5.0m，直筒部分高为4.20m，直壁厚300mm，下部锥形斜壁厚200mm，其底部为泥渣浓缩室。

2. 旋流气浮澄清池的工作原理及设计参数如下

(1) 为了在旋流气浮澄清池的第一絮凝室中形成溶气气浮，旋流气浮澄清池的进水（跌水）分配水箱有效高度不低于6.0m。

(2) 旋流气浮澄清池的进水直接进入第一反应室，因而需要通过渐扩管进入澄清池内以逐渐降低流速，出口管中水流速度宜小于0.4m/s以免对第一絮凝室内网格絮凝形成水力冲击。

(3) 旋流气浮澄清池的第一和第二絮凝室增设网格以强化絮凝效果，网孔形成的紊流可有效增强絮体的密实度。反应室中网孔尺寸应逐渐增大，网孔从

30mm×30mm可增加至50mm×50mm，每种网格网孔层数分为3层~6层，随段数的提升，放的网格层数相应减少以在絮凝沿程逐渐降低水力梯度，避免破坏成絮体。第一第二絮凝室内水力总停留时间一般达到5.0min~12min。

(4) 絮凝室内竖井水流上升流速V_井为0.02m/s~0.12m/s，网孔内水流流速V_孔为0.05m/s~0.35m/s，V_孔/V_井=2~7。反应室内网孔的面积A_孔与反应井的面积A_井的比值A_孔/A_井=0.2~0.4。在设计中一般竖井流速不变，逐渐增大网孔的面积以降低水力梯度（G值）。

(5) 清水区的上升流速一般采用0.7mm/s~2.0mm/s；实际运行表明该范围内的取值可保证旋流气浮澄清池对包括暴雨引起的原水水质的变化以及供水时变化系数引起的水量的变化有足够的耐冲击负荷能力。

(6) 在泥水分离区设置斜管以提高泥水分离效果，斜管上部清水区高度不小于1.0m以沉降部分流失颗粒物，同时防止出水对斜管负荷带来的不均匀性影响。

(7) 澄清池的斜壁与水平的夹角为60°以利于污泥排出，旋流气浮澄清池底部设置自动排泥系统以保证污泥能适时适量排出。

(四) 与水力循环澄清池相比较，旋流气浮澄清工艺的创新点如下

(1) 通过（多次）跌水曝气，利用构筑物高差（大于76米水深释放）在系统内形成溶气气浮，可去除部分悬浮物、藻类等污染物，同时跌水曝气增加了系统内的溶解氧，在生物等作用下提高了系统内微污染物（COD_{mn}、氨氮等）的去除效率。

(2) 增加网格，增强和优化了絮凝反应过程以满足和适应原水水量和水质的变化。

(3) 设立强制出水区以节省澄清池库容，增加澄清池的出水量，同时污泥得以浓缩。

(4) 采用虹吸即时排泥系统替代了常规的穿孔排

泥或者快开阀排泥，减少人为干预。

(5) 创造性地研发了泥渣层导流技术，增强了泥渣层的均匀性，从而解决了增加池体面积引发的系统内短流问题；同时泥渣层导流技术增大了脱絮矾花的絮凝概率，使得脱絮颗粒凝聚成大颗粒而有利于沉淀（澄清池的出水浊度由一般在2.0~3.0NTU降低至1.0NTU以下，达到了1.0~0.6NTU），减轻滤池的负荷。

(6) 通过虹吸配水解决了反冲洗时进水的问题，通过泥渣浓缩技术解决了澄清池排水和过滤出水的回用问题，节省了系统的自耗水量。

(7) 系统通过全程水力自控，基本实现了在常规运行过程中无阀门动作（阀门常开或者常闭），以适应供水系统维护简便的需要。

(五) 净水效能

1. 旋流气浮澄清工艺比沉淀工艺具有更高的原水浊度去除率

图2反映了在不同上升流速下旋流气浮澄清工艺与沉淀工艺去除水中浊度的效果图。通过图2可知，即使实验原水浊度存在波动，常规混凝沉淀工艺的出水仍可维持稳定，在不同上升流速下经混凝沉淀后的出水浊度在2.56~4.88NTU，平均去除效率为51.0~82.5%。而旋流气浮澄清工艺在2.16m/h和2.88m/h的上升流速情况下出水浊度均小于1.0NTU，显示旋流气浮澄清工艺比沉淀工艺具有更高的原水浊度去除率。

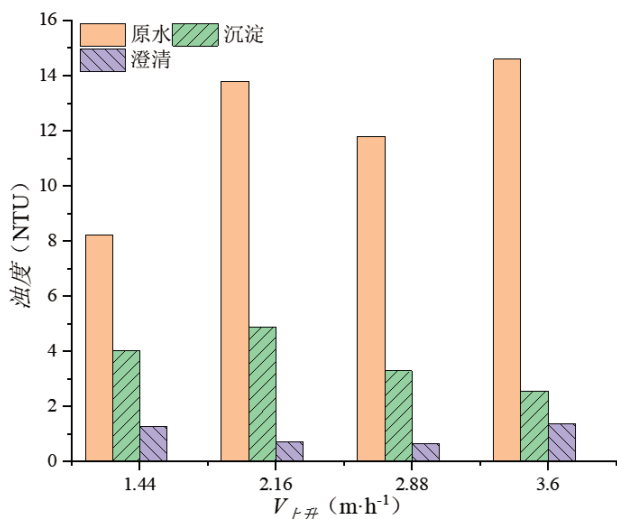


图2 旋流气浮澄清工艺和沉淀工艺对浊度的去除效果图

2. 旋流气浮澄清工艺比沉淀工艺具有更高的藻类去除率

图3为旋流气浮澄清工艺与沉淀工艺去除藻类的效果图。不同的上升流速条件下旋流气浮澄清工艺对于藻类的去除效果明显，去除率在76.9~95.8%，远高于同等水力停留时间条件下的沉淀工艺。

(六) 应用效果

与常规净水工艺相比，蒙洼中心水厂二期项目采用旋流气浮澄清工艺具有占地面积小，含6.5万m³/d的深

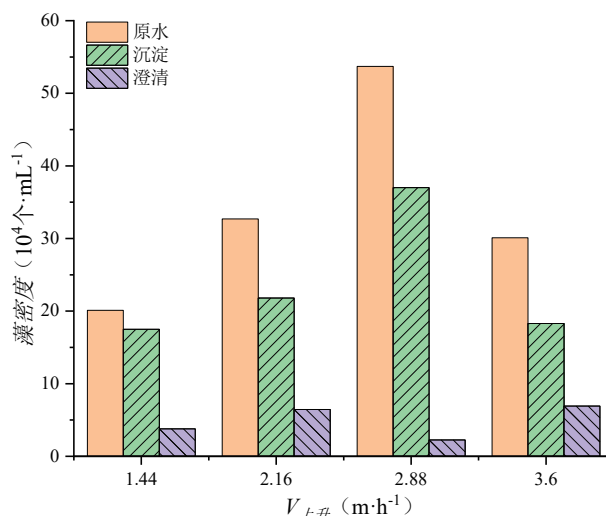


图3 旋流气浮澄清工艺和沉淀工艺对藻类的去除效果图

度处理构筑物在内，净水构筑物占地41.8亩；投资省，含一期2万m³/d水厂的污泥处理系统在内，厂区投资115209170.41元；运行成本低，直接运行费用0.5元/m³；出水水质好，GB5749-2022《生活饮用水卫生标准》要求出厂水浊度低于1NTU，而旋流气浮澄清池出水浊度仅为0.2NTU左右，经过滤后，出厂水浊度达到了0.1NTU左右；维修费用少；自动化程度高；工人劳动强度低等特点。

(七) 应用成果

根据《水利部办公厅关于推进农村供水工程标准化管理的通知》《水利部办公厅关于做好2023年度农村供水工程标准化管理工作的通知》^[1]要求，水利部组织开展了农村供水工程标准化管理评价工作。经审查和公示，安徽蒙洼中心水厂农村供水工程通过2023年度水利部标准化管理评价，得到了政府和用户的一致好评。

结语

蒙洼中心水厂通过采用旋流气浮澄清工艺的优化配水、跌水曝气、网格设置、泥渣层导流等强化常规处理技术，有效确保了供水水质安全，效果可靠，在实际运行中自动化程度高、运行管理方便、维修费用少、成本降低。具有很好的推广应用价值。

参考文献

[1]水利部办公厅关于做好2023年度农村供水工程标准化管理工作的通知 水利部办公厅；办农水函[2023]第353号；2023-04-28

[2]宁昊冉.旋流气浮澄清工艺在农村供水工程中的应用[J].治淮, 2024, (01): 67-68.

[3]王江云,魏浩然,李佳奇,等.旋流气浮装置内流动规律数值模拟[J].石油学报(石油加工), 2023, 39(03): 587-598.

[4]李佳奇.旋流气浮装置流动规律分析及结构优化[D].中国石油大学(北京), 2022.

[5]王才品.旋流气浮澄清池工艺应用分析研究[J].江淮水利科技, 2021, (04): 11-12+17.