

编号:

哈尔滨工业大学

大一年度项目立项报告

项目名称: 超低压一体化膜滤净水装置研发

项目负责人: 潘嘉祺 学号: _____

联系电话: _____ 电子邮箱: _____.

专业集群: 资源环境与新材料化工 辅导员: 高一帆

指导教师: 唐小斌 职称: 讲师

联系电话 _____ 电子邮箱 _____.

院系及专业: 环境学院市政工程系

哈尔滨工业大学基础学部制表
填表日期: 2020 年 11 月 15 日

一、项目团队成员（包括项目负责人、按顺序）

姓名	性别	所在专业集群	学号	联系电话	本人签字
潘嘉祺	男	资源环境与新材料化工			
陈慕林	女	资源环境与新材料化工			
杨晨	女	资源环境与新材料化工			
朱春柏	男	智能装备			

二、指导教师意见

分散式（农村）供水安全一直是我国水业的研究重点。针对当前分散式供水需求以及现有工艺在分散式系统应用中存在的不足，项目组针对性地提出了超低压一体式 GAC/GDM 耦合净水技术，其有效地耦合了 GAC 缓速生物滤池和 GDM 双重净水功能，具有 GAC 吸附、滤池截留、生物水解和降解等污染物去除路径，可保障供水安全，本项目立项具有显著的科研价值。此外，本研究以应用为导向，以解决典型分散式地区供水需求为目标，以形成关键技术和研发成套装置为目的，因此，本项目具有重要的实际应用价值。

签 名： 王 俊 峰

2020 年 11 月 22 日

三、项目专家组意见

- 1.立项报告开头部分背景介绍中水质指标没点明具体地点
- 2.项目难度较大，大一部分将重点放在装备研发上
- 3.立项报告设计较精美，内容充实完整，值得鼓励
- 4.此课题有较大潜力，可作为大创项目一直研究下去

批准经费： 元

组长签名： （ 学部盖章 ）

年 月 日

四、立项报告

超低压一体化膜滤净水装置研发

1. 课题研究的背景及目的

1.1 课题研究的背景

水是生命之本，立国之基，是人类赖以生存的最基本条件，饮用水安全与百姓们的现实生活和根本利益息息相关。随着城市化和工业化进程的加快，水资源短缺和水污染问题严重制约着分散式聚居区（如农村）的用水安全。世界卫生组织（WHO）报道，人体疾病有 80% 都是由于饮用了不干净的水及所处的卫生条件恶劣所引起，尤其是在发展中国家这一问题尤为突出。因此，提高饮用水的安全可靠性是减少疾病、保障健康最行之有效的措施。

1.1.1 部分地区供水现状

国家新建的集中式和分散式供水设施、供水能力以及受益人口如表 1 所示；受地形、地貌、经济和社会等诸多因素的制约，目前集中供水工程大多数只设置水源和管网，缺乏相应的水处理装置以及配套的水质检测设备，其中仅 8% 的集中供水工程配备了水处理装置；在分散式供水工程中，有 67% 为浅井（如真空井或筒井）供水，3% 为采用收集雨水作为饮用水源（北方和南方分别以水窖和水池蓄水），9% 以泉水作为饮用水，约 21% 仍无供水设施（直接取用河水、溪水、山泉水或到其他村拉水）^[1]。

表 1 全国农村饮水安全工程“十一五”期间新建供水设施情况一览表

类别	集中式供水工程	分散式供水工程
新建工程数（ $\times 10^4$ 处）	22.1	66.1
供水能力（ $\times 10^4 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ ）	2628	——
受益人口（人）	2.02 亿	1040 万

备注：集中式供水工程是指供水人口在 20 人以上的供水工程；分散式供水工程是指仅满足一户或几户人的供水设施。

目前，全国仍有超过约 4 亿农村人口（约占全国农村总人口 42%）是直接从水源（如井水）取水饮用或只经过简单的处理；此外由于水污染加重、早期水处理工艺建设标准过低、管理不完善、设备老化严重等原因，我国农村饮水不安全人口还在不断增长；目前的农村供水系统（包括集中式和分散式），主要是保障农民的生活所需的水量供应，并未采取或只采用了简易的水处理设施，故供水水质安全问题仍影响着当地居民的身心健康。

1.1.2 微生物污染威胁分散式供水安全

微生物安全性是影响饮用水供水水质安全的首要因素，在我国，通过饮水发生和传播的疾病就有 50 余种（如表 2）^[2]。目前在农村或分散式聚居区，大部分供水系统仅配备了蓄水池和供水管网等基本设施，缺乏有效的水处理装置或消毒工艺，大多数分散式聚居区仍存在饮用水微生物污染问题，严重威胁着当地居民的身心健康^[3]。

表 2 水中常见的病原微生物及其对供水安全性影响分析

微生物种类	名称	致病性
细菌	沙门氏菌	肠胃炎或伤寒
	铜绿（绿脓）假单胞菌	坏疽深脓疱病
	霍乱弧菌	烈性肠道传染病-霍乱
	嗜水气单胞菌	肝脏、肾脏等器官以及血液病变
	军团菌	军团菌病，通常为肺炎
	空肠弯曲菌	急性肠炎、腹泻或集体食物中毒
病毒	甲型肝炎病毒	肝炎
	小圆形病毒	主要引起儿童，尤其是婴儿的死亡
	戊肝病毒	急性黄疸型肝炎
	肠道病毒	发热、呕吐、腹痛等
	诺沃克病毒	急性腹泻
	轮状病毒	腹泻或急性胃肠炎
原生/后生动物	贾第鞭毛虫	贾第鞭毛虫病
	隐孢子虫	痢疾、呕吐、腹部绞痛等
	溶组织内阿米巴	阿米巴病
	结肠小袋纤毛虫	结肠溃疡
	麦地那龙线虫	脓肿或水泡
	裂体吸虫或血吸虫	急性/慢性血吸虫病

针对我国的分散式地区的地势、水源特性、主要污染物类型、当前工艺存在应用瓶颈问题、经济条件以及技术水平，研发一种低能耗、低维护、一体化、能在无人值守条件下长期稳定运行、且对水中典型污染物（如胶体、悬浮物、颗粒物以及致病微生物等）进行深度脱除的净水装备，对缓解发展中国家部分人民的缺水现状及提高发展中国家农村人口生活质量有着

极大意义^[4]

1.2 课题研究的目的

针对上述分析，本研究拟结合 GAC 缓速滤池和 GDM 双重净水功能，构建超低压一体式 GAC 缓速滤池-GDM 耦合装置，拟实现以下研究目的：

（1）研发新型的膜滤净水技术，实现对水中病原微生物的深度脱出，保障供水的生物安全性，并强化对水中天然有机物、微量有机物、颗粒物和胶体等污染物的同步脱除，提升村镇饮用水供水品质；

（2）解析污染物在系统中的迁移规律和去除效能，明确工艺的水质适配性，摸清工艺的关键单元和核心参数，建立炭/膜一体式工艺技术体系；

（3）以污染物去除效能、能耗和运维为条件约束，开展工艺构效研究，研发新型低能耗低维护一体化膜滤净水装置，可在无人值守条件下长期稳定运行；

（4）对水中的污染物起到预过滤效应，既可有效地提高污染物去除效能，又能降低污染物在膜孔中的沉积风险，缓解膜污染

1.3 国内外研究现状

1.3.1 膜过滤基本原理

膜过滤是深度水处理的一种高级手段。它利用膜孔隙的选择透过性，以膜两侧的压力差为推动力，使溶剂、小分子、无机离子等透过膜，截留微粒、大分子和致病微生物，是一种分子级精密过滤技术，可显著提高供水品质。此外，膜技术还具有操作简单、易于自动化控制管理、便于模块化设计和规模化应用。

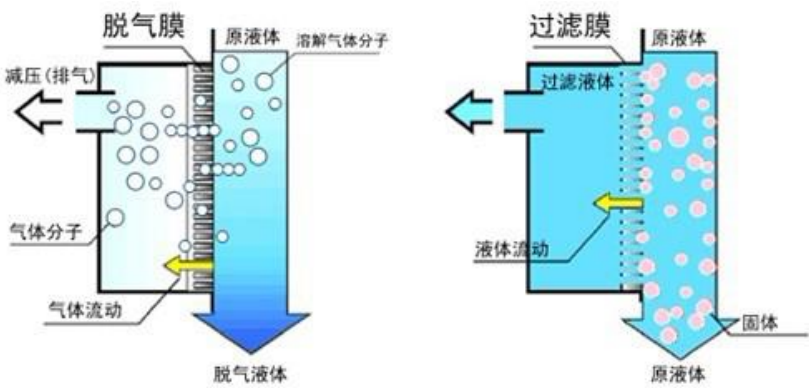


图 1 膜过滤原理图

1.3.2 常见的膜过滤技术

（1）微滤膜过滤技术（MF）

微滤膜过滤技术具有操作压力小（0.01~0.2MPa）、过滤通量大、精度高的特点，相较于其他膜分离技术如超滤、纳滤、反渗透，应用更加广泛。微滤膜的孔径在 0.1-10 μm 之间，

微滤膜的厚度在 90-150 μm 之间，孔隙率高，故过滤速度快，且对水中的颗粒物和悬浮物等污染物具有高效去除作用^[5]。然而，受膜孔径的限制，微滤工艺对于细菌、病毒等致病微生物的去除效果相对较差。

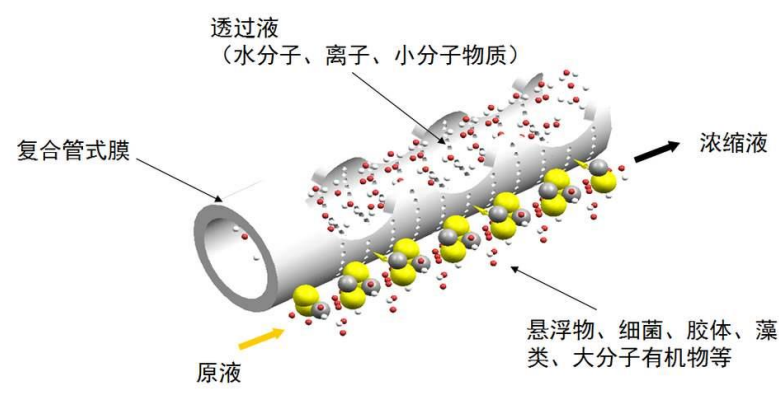


图 2 微滤膜概念图

(2) 超滤膜过滤技术 (UF)

超滤膜的孔径介于微滤和纳滤之间，定义截留分子量 500-500000Da，孔径范围在 0.002! 0.100 μm 之间，在特定的压力 (0.1~0.6 MPa) 作用下，使小于膜孔径的溶质分子 (如小分子有机物、离子等) 和溶剂通过膜，而大于膜孔径的溶质部分被截留，完成了溶液的净化、分离和浓缩的过程^[6]。超滤工艺可同步实现对胶体、悬浮物、颗粒物和致病微生物的截留去除，在分散式供水系统中具有较好的应用前景^[7]。

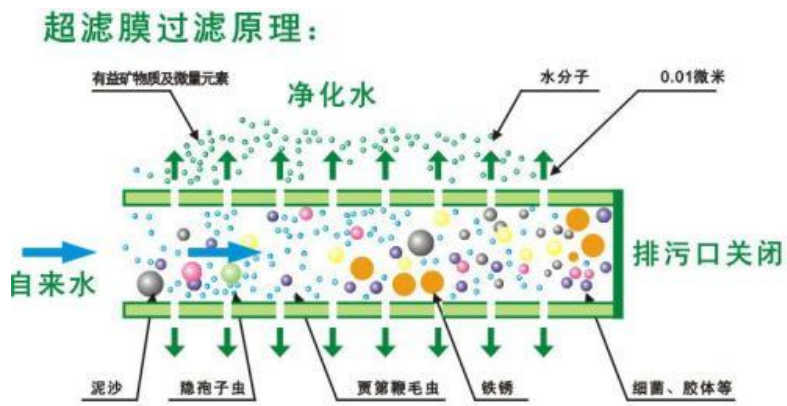


图 3 超滤膜过滤原理图

(3) 纳滤膜过滤技术 (NF)

纳滤膜的拦截粒径在 0.1~1 nm 之间，操作压力较以上两种更大，在 0.5~1 MPa 之间，拦截的分子量为 200-1000 Da，对水中分子量为数百的有机小分子有很好的分离性能。纳滤也适用于水的净化 and 软化，深度脱除水中的胶体、大分子有机物、微生物、农药、硫酸盐等污染物。然而，纳滤工艺运行能耗较高，需要额外配置高压泵，配套的附件较多较复杂，投资和运行成本相对较高^[8]。

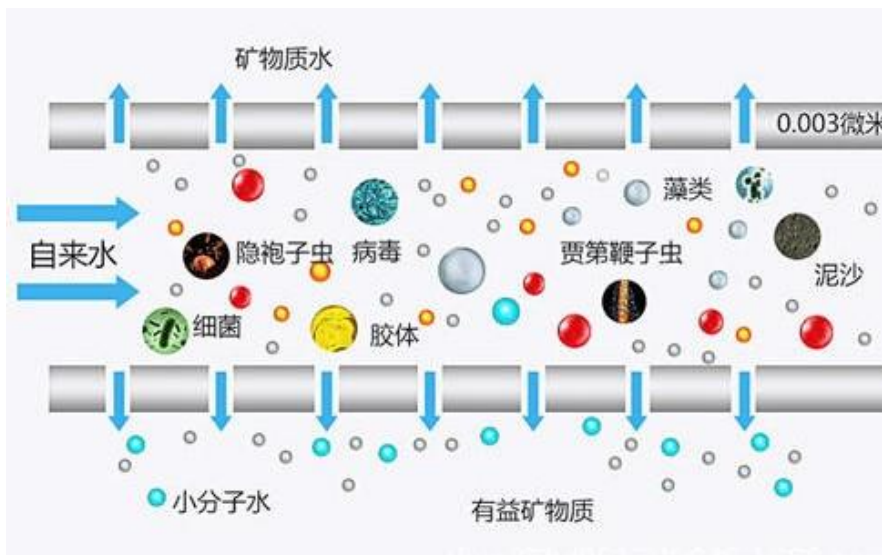


图 4 纳滤膜过滤原理图

(4) 反渗透技术 (RO)

反渗透又称逆渗透，是一种以压力差为推动力从溶液中分离出溶剂的膜分离操作。对膜一侧的料液施加压力，当压力超过它的渗透压时，溶剂会逆着自然渗透的方向作反向渗透，从而在膜的低压侧得到透过的溶剂。反渗透膜的孔径在 0.1~0.7 nm 之间，能截留水中的各种无机离子、胶体物质和大分子溶质，常用于海水淡化等。相比于超滤和纳滤工艺，反渗透工艺的驱动压力更大，能耗更高，配套设备更多，操作更为复杂^[9]。



图 5 微滤、超滤、反渗透对比

基于对目标污染物（如胶体、悬浮物、颗粒物和致病微生物）的去除效能，以及工艺的能耗、操作、运行维护、附属设备、驱动压力等因素，超滤工艺既可以实现对目标污染物的高效去除，同时兼具能耗低、运维少。附属设备少等优点，更适合在分散式供水系统中推广应用。

名称	对比指标			不足
	孔径范围	压力	净水效果	
微滤膜过滤技术	0.01~10μm	0.01—0.2MPa	孔隙率高，过滤速度快，对水中的颗粒物和悬浮物等污染物具有高效去除作用	对于细菌、病毒等致病微生物的去除效果相对较差
超滤膜过滤技术	0.002-0.100μm	0.1-0.6MPa	完成溶液的净化、分离和浓缩的过程，同步实现对胶体、悬浮物、颗粒物和致病微生物的截留去除	运行维护成本高
纳滤膜过滤技术	0.1-1nm	0.5-1MPa	对水中有机小分子有很好的分离性能，也适用于水的净化和软化，深度脱除水中的胶体、大分子有机物、微生物、农药、硫酸盐等污染物	工艺运行能耗较高，需要额外配置高压泵，配套的附件较多较复杂，投资和运行成本相对较高
反渗透技术	0.1~0.7 nm		截留水中的各种无机离子、胶体物质和大分子溶质	驱动压力更大，能耗更高，配套设备更多，操作更为复杂

表 3 不同系统净化效果对比^[10]

1.3.3 超滤在饮用水处理中的应用优势与瓶颈问题

在上述膜滤技术中，综合考虑成本与效率，本项目采用超滤膜进行构效研究及装备研发。相比于第一代和第二代饮用水处理技术，超滤工艺以其在水处理方面得天独厚的优势，在国内外得到了广泛的应用。因此，本小节将系统地考察超滤在实际应用中的优势和瓶颈，为超滤膜技术在饮用水处理抉择方面提供支撑^[11]。

（1）超滤技术应用优势显著

分离效率高，出水生物稳定性好：超滤膜能够有效地截留去除悬浮物、颗粒物、胶体和病原微生物（对病毒也有一定的去除作用，尤其是形成滤饼层后），对水中的高分子有机物（如生物聚合物）也具有较好的去除作用，且还能完全去除常规工艺难以去除的“两虫”，显著地提高出水水质及生物稳定性，保障供水安全。

抗水质冲击负荷强：超滤主要是通过机械筛滤去除水中的悬浮物、颗粒物、胶体和病原微生物，故即使汛期和枯水期原水水质变化较大，其依然可以有效地去除上述污染物，稳定性高，抗水质冲击负荷能力强。

操作简单，设备少，流程短，便于自动化控制：此外，超滤膜可实现集成化和模块化配置，有效地提高容积利用率，节省占地面积。

绿色环保：超滤采用压力驱动迫使污染物和水分离，不发生相变化，属于物理分离过程，且无需添加化学试剂，无化学药剂残留或中间产物生产相关风险，是一种绿色环保的分离技术^[12]。

超滤技术的实验条件温和：没有相的变化，而且不引起温度、pH 的变化，因此可以防止生物大分子的变性、失活和自溶。

（2）超滤在饮用水处理应用中的瓶颈问题

膜污染：在过滤过程中，水中的污染物不断被超滤膜截留，从而形成严重的膜污染，通量亦随之显著下降，导致频繁的水力反冲洗、化学清洗，增加操作和维护的工作量及运行费用。

对溶解性污染物去除效果较差：其孔径与纳滤膜和反渗透膜相比较大，主要依靠机械筛分作用去除水中的胶体型、颗粒型污染物，对小分子有机物及氨氮等小于其截留分子量的污染物去除效果较差。

能耗高，附属设备多，操作运维复杂：超滤过程需要提供较高的压力以驱动污染物和水在膜表面分离，且需频繁地进行水力反冲洗和定期的化学清洗，能耗和药剂消耗较大，运行成本随之增加；同时还需额外配备反冲洗系统、化学清洗系统和自控系统，工艺较为复杂^[13]。

1.3.4 重力流超滤（GDM）工艺研究现状

针对上常规超滤工艺在应用中存在的不足，为了进一步简化超滤工艺，基于逆向思维，项目组开发了一种无清洗的超滤工艺，即 GDM 工艺，其可在较低的工作水头（6.5 kPa）下长期运行，不采用任何的水力反冲洗、错流或化学清洗来控制膜污染物，结果表明：超滤膜过滤初期，通量下降较快；随着过滤的进行，膜通量逐渐趋于稳定，不再显著变化，稳定通量为 4~7 L m⁻² h⁻¹。当采用 GDM 工艺处理河水、湖水、水库水、雨水、稀释废水和海水时，长期运行过程中其通量均能达到稳定状态，表明 GDM 工艺具有普适性。

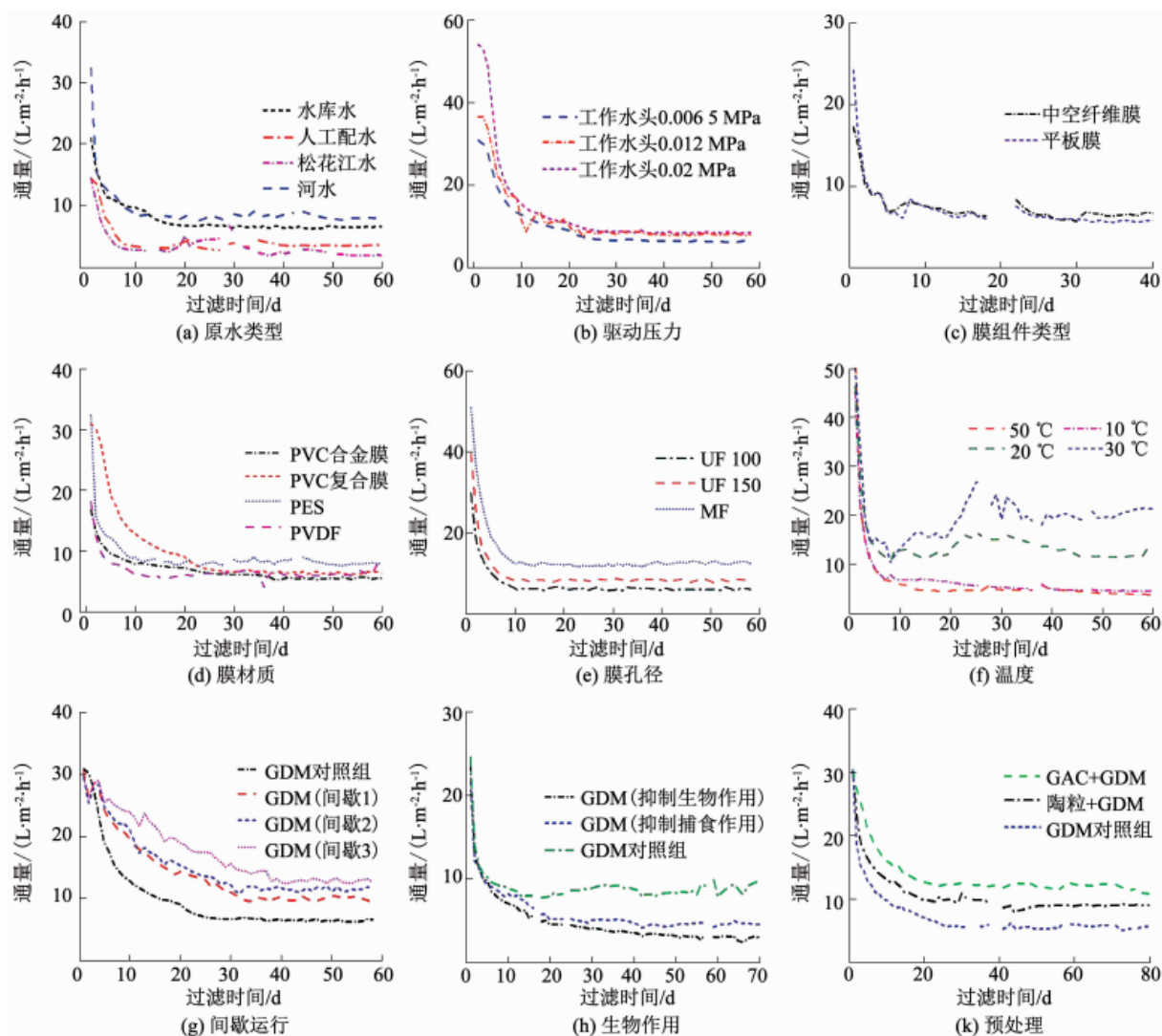


图 7 GDM 工艺通量稳定性和普适性研究^[14]

同时，相比于传统超滤工艺，GDM 系统膜表面的生物滤饼层可起到良好的预过滤效应（Secondary membrane or dynamic membrane），强化对水中污染物的去除效能，如 Nicolas 等指出 GDM 膜表面的生物滤饼层强化了对 AOC 的去除效能，AOC 的去除率达 80%；Esther Kohler 等发现 GDM 膜表面滤饼层可富集降解藻毒素的微生物，强化 GDM 对藻毒素的去除效能，其出水中藻毒素的含量低于生活饮用水标准限值（ $1 \mu\text{g L}^{-1}$ ）；Oka, P A 等报道称超过 50% 的有机污染物被 GDM 强化去除；部分研究表明膜表面的生物滤饼层可有效地强化对水中的生物聚合物、腐殖酸和氨氮等污染物的去除效果；Peter 等甚至指出，GDM 膜表面生物滤饼层可显著地提高对病毒（如 MS2）的去除效能。因此，GDM 工艺有效地强化了水中污染物的去除效能，保障供水水质安全。

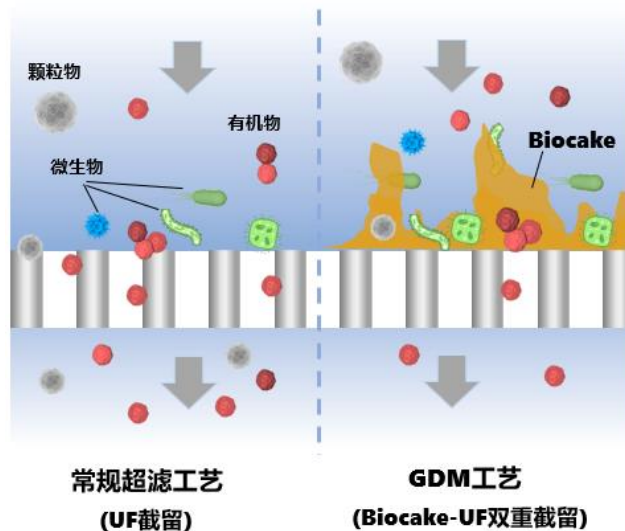


图 8 GDM 工艺双重除污染原理图^[13]

然而，GDM 工艺在实际运行过程中存在膜稳定通量低、对溶解性有机物（如 DOC）去除效果较差等不足。因此，在不显著增加 GDM 工艺能耗的前提下，调控 GDM 运行效能，提高膜通透性和产水效能，强化对 DOC 的去除效能，成为了制约其在分散式系统中应用的关键^[15]。

1.3.5 GAC 缓速生物滤池研究现状

GAC 缓速生物滤池有机地结合了 GAC 吸附、筛滤截留、生物水解和生物降解等多重功效，对水中的胶体、悬浮物、颗粒物、微生物及有机物具有良好的去除作用，从而可有效地缓解后续膜污染。采用慢滤池作为预处理，可有效地去除水中的膜污染物质，显著地缓解膜污染，且通过优化慢滤池的滤速，可进一步强化对蛋白质、多糖和生物聚合物这些典型膜污染物的去除效果^[16]。此外，GAC 缓速生物滤池还具有以下优点：

操作/维护简单：装置结构简单，一旦开始运行，不需进行专门的维护/管理，即可持续稳定运行，且不需采用频繁的反冲洗和曝气措施，只需打开进水阀和出水阀门，便可获得优质饮用水，故其操作管理极为方便，对操作人员的要求较低。

对多种污染物具有较好的去除效能：对水中的浊度、色度、病原微生物、有机物、臭味、氨氮、AOC 及消毒副产物前体物均具有较好的去除效果，对病毒和“两虫（即贾第鞭毛虫和隐孢子虫）”也具有一定的去除作用（2.55~3.92 log）。

运行费用低：相比于常规工艺，GAC 缓速生物滤池去除水中污染物主要是靠滤料的吸附、截留作用（如去除悬浮物、胶体和颗粒物）及滤料表面生物膜的生物吸附/降解作用（如去除有机物和氨氮），不需要额外投加化学药剂（如氧化剂、混凝剂等），故可节省大量的能耗和药剂消耗，显著降低运行费用。

可持续性高：GAC 缓速生物滤池内附着滋生了大量的微生物，形成了一个微生态系统，原水中的有机污染物被截留在滤床后，可作为微生物（如细菌）的有机碳源而不断被消耗，

进而有效地避免因滤床堵塞而导致的水头损失增加。因此，慢滤池在长期运行过程中可保持其高效的除污效能^[17]。

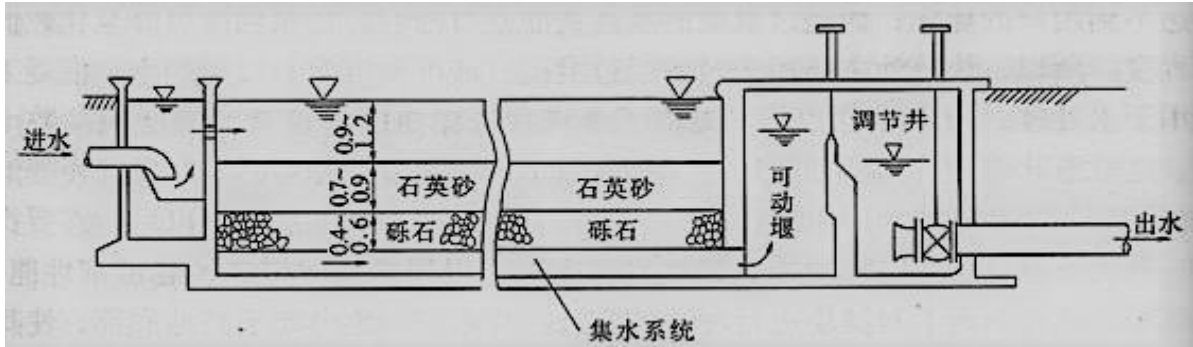


图 9 慢滤池结构图

2.研究内容及实施方案

2.1 研究内容

因此，针对 GAC 缓速滤池和 GDM 工艺的研究现状，本项目以污染物的高效去除、低能耗、低维护、操作简便性为目标，拟构建 GAC 缓速滤池和 GDM 耦合工艺，其不仅可有机地结合二者的双重除污染优势，同时还可弥补各自在净水中的不足，有效地保障供水安全和提高产水效能。然而，如何合理耦合 GAC 缓速滤池和 GDM 装置、二者间的如何相互作用、如何优化 GAC/GDM 耦合工艺的构效以实现效能最大化和能耗运维最小化，成为了本课题研究的重点和难点。

针对上述问题，本项目将考察填料类型、运行条件等参数对于 GAC 缓速滤池/GDM 耦合工艺除污染效能的影响，拟开展以下研究内容：

- (1) 原水水质特性及变化规律解析，通过文献调研和典型地区取样，利用 R 语言等统计学软件，明确分散式地区的变化规律和水质特性。
- (2) 结合多种检测方法和表征手段，考察污染物在 GAC/GDM 耦合工艺内的迁移规律和去除效能，明确 GAC 缓速滤池和 GDM 膜滤在污染物去除中各自所起的作用，揭示长期运行过程中 GDM 的通量稳定机制和膜污染特性。
- (3) 对装置的关键参数进行优化并通过响应曲面法，进行 GAC/GDM 耦合工艺构效研究，明确该装置最佳运行参数构建一体式超低压 GAC/GDM 耦合装置，明确无人值守条件下长期稳定运行的关键限值因子及调控策略。

本实验将 GAC 和 GDM 放在同一个膜池中，构建了一体式 GAC/GDM 耦合工艺（Integrated GAC/GDM，简称 IGDM）；同时本研究还构建了分置式 Separate GAC/GDM，GAC+GDM 组合工艺（简称 SGDM），通过考察二者的除污染效能和 GDM 的通量稳定性，以明确一体式 GAC/GDM 耦合工艺的可应用性。

2.2 实施方案

2.2.1 原水水质特性及变化规律分析

原水水质各异性分析：文献调研，并通过 R 语言等统计学软件分析我国分散式地区（如农村）的原水水质信息和变化规律；

原水水质特异性分析：利用学生寒暑假回家之便，采集当地的农村供水用水源水，进行试验分析，进一步明确分散式供水的水质特性、污染类型和目标污染物，为工艺设计、优化、构效调控提供基础数据。

各项水质指标的具体监测方法参考《水和废水监测分析方法》（第四版）；底泥检测指标的具体监测方法参考《土壤理化分析》。再利用 R 语言等统计学软件，明确分散式地区的变化规律和水质特性^[18]。

指标	单位	指标	单位
水温	℃	硫酸盐	mg/L
pH 值	无量纲	氯化物	mg/L
溶解氧	mg/L	硝酸盐	mg/L
高锰酸盐指数	mg/L	铁	mg/L
化学需氧量	mg/L	锰	mg/L
五日化学需氧量	mg/L	铝	mg/L
氨氮	mg/L	总硬度（以 CaCO ₃ 计）	mg/L
总磷	mg/L	总有机碳	mg/L
总氮	mg/L	浊度	NTU
氟化物	mg/L	细菌总数	CFU/L
粪大肠菌群	CFU/L	总大肠菌群	CFU/100mL

表 4 原水水质监测指标

指标	单位	指标	单位
溶解氧	mg/L	硝酸盐	mg/L
高锰酸盐指数	mg/L	铁	mg/L
化学需氧量	mg/L	锰	mg/L
五日化学需氧量	mg/L	砷	mg/L
氨氮	mg/L	汞	mg/L
总磷	mg/L	正磷酸盐	mg/L
总氮	mg/L	铬（六价）	mg/L

表 5 底泥检测指标

2.2.2 考察 GAC/GDM 耦合工艺效能及活性炭优选实验

实验构建了 GAC+GDM 组合工艺，另有一套 GDM 系统（无填料）也在相同的条件下平行运行，作为对照组。原水自流进入预处理池中进行预处理，原水经预处理后直接进入到 GDM 膜池进行超滤处理，超滤出水直接进入到集水瓶内，每天定期检测收集瓶中的产水量，然后换算成膜通量，以考察 GDM 通量随时间变化规律。对两套系统实验结果进行分析，明确 GAC 缓速滤池和 GDM 膜滤在污染物去除中各自所起的作用。

本次实验以不同活性炭碘值、亚甲基蓝值、吸附容量、吸附速度等温吸附曲线以及对 UV₂₅₄

和 COD_{Mn} 的去除效果为评价指标，开展活性炭的优选试验。

2.2.3 构建一体式超低压 GAC/GDM 耦合装置

利用 Fluent 软件模拟装置内部的流程，同时模拟原水中各种污染物，进行模拟过滤实验，并不断改进装置参数，进行多次模拟实验，初步确定 GAC 缓速滤池和 GDM 装置的构型。

GAC 缓速滤池：以污染物（DOC、氨氮、UV₂₅₄ 等）为考察指标，探究不同活性炭的投加量、种类、粒径大小、装填厚度、停留时间等参数对 GAC 缓速滤池运行效能的影响，明确最佳工艺参数和构型。

GDM 过滤装置：以产水量、污染物去除效能为考察指标，考察不同 GDM 工艺的膜面积、膜组件构型、膜通量、驱动压力等参数对 GDM 装置过滤效能的影响，明确 GDM 工艺的最佳运行参数。

结合上述实验，确定 GAC/GDM 工艺的最佳参数和构型研发一体式 GAC/GDM 耦合工艺成套装置。

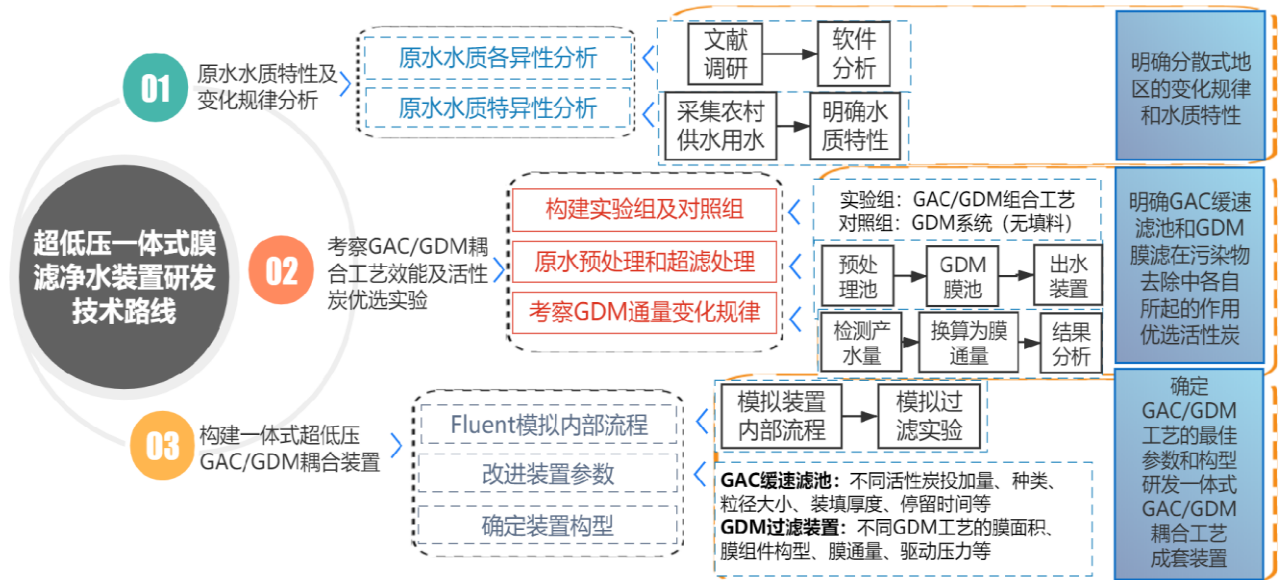


图 10 技术路线

3.进度安排

本团队拟计划自 2020/11/10 正式开展项目，并经过近一周准备在 11 月 15 日以及研究规划开展试验，同时在项目过程中注重文献及相关软件的学习，组员彼此协调、相互促进，预期 8 个月完成。

表 6 大一年度项目进度安排表

项目节点名称	开始时间	结束时间	耗时	具体说明
--------	------	------	----	------

实验准备	2020/10/15	2020/11/15	20	查阅资料，确定研究方案
	2020/11/15	2020/12/01	15	搭建实验平台，进行材料的初步制备
对比试验	2020/12/01	2020/1/01	25	开展活性炭吸附实验，考察不同活性炭的吸附性能，优化活性炭工艺参数
GDM 工艺长期运行实验	2020/01/01	2020/03/01	40	开展 GDM 工艺长期运行通量稳定性、膜污染行为和除污染效能研究
装置研发及测试	2020/03/01	2020/05/01	40	一体化 GAC/GDM 装置研发及其净水效能测试
论文撰写	2020/05/01	2020/06/01	10	论文撰写，准备答辩

ID	任务	开始时间	完成时间	工期	进度	优先级
1	查阅资料，确定研究方案	2020-10-15	2020-11-13	22 d	100%	4
2	搭建实验平台，进行材料的初步制备	2020-11-16	2020-12-01	12 d	0%	3
3	开展活性炭吸附实验	2020-12-01	2021-01-01	24 d	0%	2
4	GDM工艺长期运行实验	2021-01-04	2021-03-02	42 d	0%	1
5	装置研发及测试	2021-03-01	2021-04-30	45 d	0%	3

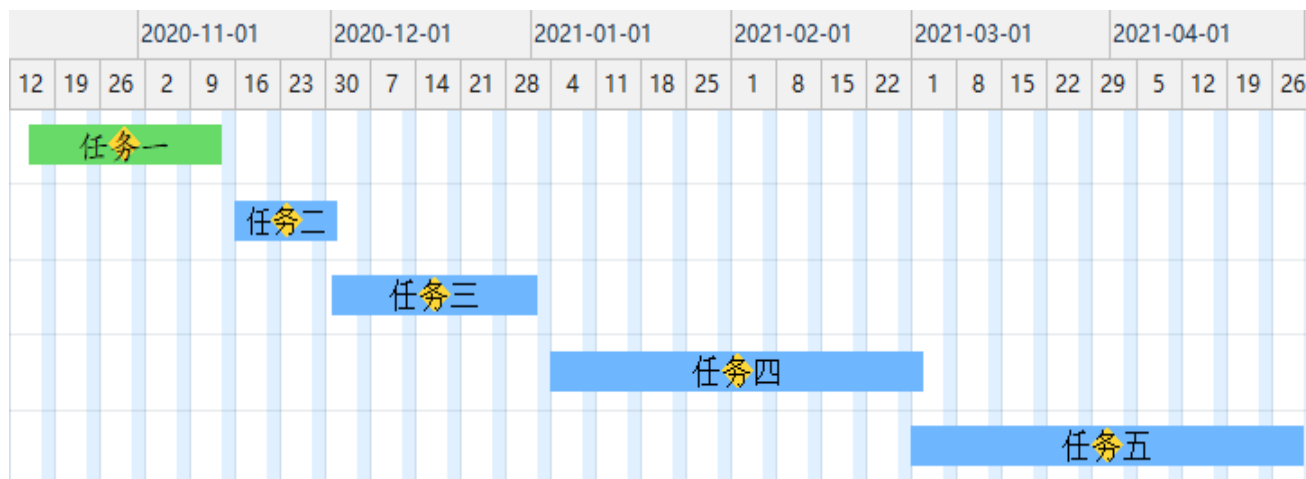


表 7 进度安排甘特图

4.成员分工

姓名	职能	实验
潘嘉祺	资料查找与整理	实验平台搭建

陈慕林	实验方案设计，报告书写	实验试剂制备
杨晨	PPT 制作，财务报算及其他	实验指标检测
朱春柏	数据处理，整理与分析	实验数据处理

5.预期目标

5.1 中期目标

构建基于超滤中空纤维膜的 GAC/GDM 膜耦合装置；完成低压膜滤净水装置的设计与成品制作。

5.2 结题目标

针对分散式供水系统的需求，进一步优化 GAC/GDM 工艺构效，形成超低压一体式 GAC/GDM 耦合净水技术体系并研发成套净水装置。

6.经费预算

综合市场调研与本项目所需原料、检测试剂、分析测试费以及书本资料费等，经过一定的估算，预期使用总经费 3600 元，预算详细名目详见表 8

表 8 大创项目经费预算表

预算类别	主要用途	预算金额/（元）
材料费	滤料及滤池	800
	超滤膜购买	400
	膜池加工	700
	实验用药剂	500
资料费	打印资料、购买专业书籍	200
分析测试费	—	1000
总计	—	3600

参考文献

[1]国家发展改革委，水利部，卫生部，等. 全国农村饮水安全工程“十二五”规划（公开稿）

[M/OL], 2012

- [2]李圭白,梁恒,瞿芳术. 城市饮水生物致病风险控制技术发展的历史观[J]. 给水排水, 2013, 39(11): 1-5
- [3]陈楠,李星,杨艳玲,等. 低水头、低通量浸没式直接超滤工艺净水效能研究 [J]. 中国给水排水, 2016(19): 53
- [4]CHOMIAK A, TRABER J, MORGENROTH E, et al. Biofilm increases permeate quality by organic carbon degradation in low pressure ultrafiltration [J]. Water Research, 2015, 85: 512. DOI:10. 1016 /j. watres. 2015. 08. 009
- [5]李兴亚. 低成本无机有机复合微滤膜的制备表征及应用[J]. 理工 B(化学化工冶金环境矿业), 2016, 5-8
- [6]李凤. 超滤膜净水组合工艺中膜污染控制技术研究[J]. 建筑科学与工程, 2012, 9
- [7]SP Nunes,KV Peinemann.Membrane Technology in the Chemical Industry[M].Wiley-VCH Verlag GmbH,2001
- [8]唐小斌. 生物滤饼层/超滤耦合工艺净化水源水机理及优化研究[J]. 建筑科学与工程, 2018, 7-8
- [9]李圭白.无清洗重力驱动超滤工艺净水效能及机理[J].哈尔滨工业大学学报, 2020 (52) , 6
- [10]唐小斌. 生物滤饼层/超滤耦合工艺净化水源水机理及优化研究[J]. 建筑科学与工程, 2018, 8-9
- [11]唐小斌. 生物滤饼层/超滤耦合工艺净化水源水机理及优化研究[J]. 建筑科学与工程, 2018, 30-32
- [12]唐小斌. 生物滤饼层/超滤耦合工艺净化水源水机理及优化研究[J]. 建筑科学与工程, 2018, 30
- [13]董志虎. 基于上游原水水质分析的松花江哈尔滨段底泥特性研究[J]. 建筑科学与工程, 2015, 55
- [14]柳斌,瞿芳术,施周,等. 低压重力驱动式超滤工艺处理引黄水库水中试研究[J]. 给水排水, 2018, 54(6): 40
- [15]常海庆,梁恒,高伟,等. 膜生物反应器与预处理联用净化微污染引黄水库水 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2012, 44(12): 25
- [16]唐小斌,梁恒,瞿芳术,等. 低压无清洗浸没式直接超滤工艺中试研究 [J]. 中国给水排水, 2016, 17: 29
- [17]周丽英,毛年英,周莹莹. 浅淡超滤膜技术在徐泾自来水厂的应用 [J]. 给水排水,

2013(S1) : 54

[18]AKHONDI E, WU Bing, SUN Shuyang, et al. Gravity-drivenmembrane filtration as pretreatment for seawater reverse osmosis:Linking biofouling layer morphology with flux stabilization [J] . Water Research, 2015, 70: 158. DOI: 10. 1016 /j. watres. 2014. 12. 001