

微污染水源水厂提升水质 技术与工程实践



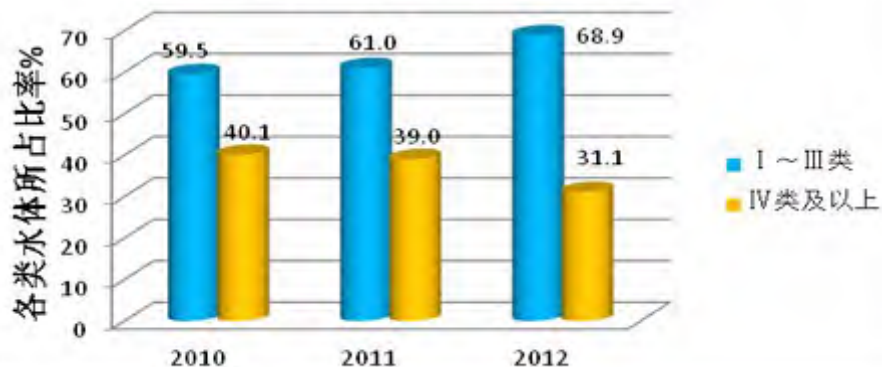
中国市政工程中南设计研究总院有限公司

二〇一三年六月

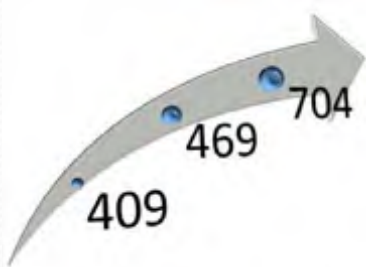
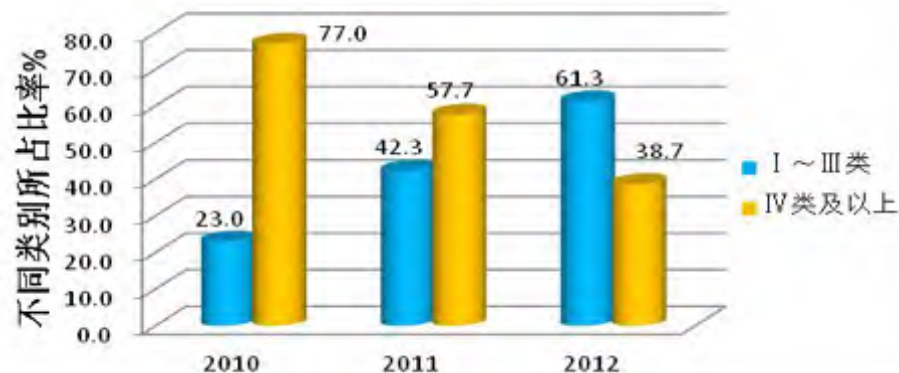
饮用水水质安全面临的问题

- 饮用水水源水质没有明显改观。尤其是由于工业技术的原因人工合成有机物增加，增加饮用水水质安全保障的难度。

国控河流断面水体情况



国控重点湖库水体情况



- 近3年 I 至 III 类水体比例不断提高，大于 III 类水体不断降低。河流湖库水体大于 III 类的逐渐降低。
- 监测断面和湖库数量增加较多。
- 说明水体水质在逐年趋好，但大于 III 类水的比例还是较大，水体水质的改善仍然需要一个漫长的过程。
- 当前我国水源污染加剧趋势尚未得到遏止



饮用水水质安全面临的问题

- 突发水污染事件对水源的影响。2012年发生有26件水污染事件不同程度地影响了饮用水水源地。要完善应急处理措施保障供水安全。
- 净水厂工艺主要以常规处理为主，很难适应原水水质。

2010年住建部供水水质监测中心组织对全国284个水厂进行了水质监测，其中有深度处理的水厂仅占2%~3%。评估结果水质合格率82.04%。主要原因是水源水质的持续恶化，在短期内无法改变水源水质的水厂面临对净水工艺进行升级改造的迫切需要。说明净水工艺与原水水质的不适应性，根据水源水质完善净化工艺是必要的。



饮用水水质安全面临的问题

受污染水源水质的主要特征

地表水水源江河、湖泊、水库，水源的微污染主要表现

- 有机污染，尤其是人工合成有机物
- 氨氮、亚硝酸盐氮
- 铁锰及重金属
- 农药及化学污染
- 湖泊水库以及流动性差的河流会有藻类异常繁殖及代谢产物（藻毒素）的污染
- 湖泊水库水一般呈弱碱性，水质稳定性一般较差，有腐蚀性
- 污染的特征一般包括季节性或短期污染、持续性污染、突发性污染等



常规水处理工艺对污染水源的问题

- 常规处理工艺以去除水中浊度为主要目标，对溶解性有机物不能有效去除。
- 对氨氮、亚硝酸盐氮去除率很低，出水亚硝酸盐氮还有可能升高。
- 原水中藻类含量高时，对运行产生影响；藻体代谢物、腐植酸、富里酸是水处理氯化过程产生致突变物的前体物。
- 水中的有毒有害物质呈分子、离子状态，经絮凝、沉淀、过滤后，分子量大于1000的物质能够聚结、附着在其它微粒上去除，而分子量在500以下，基本不能去除，出厂水经加氯消毒后，水的Ames致突变试验阳性强度增强。
- 水源的有机污染会造成净水的成本增加，制水难度加大，并会产生水的口感不适、水的异味、消毒副产物、致突变强度升高等问题。



水厂提升水质工艺改造的重点

受污染水源应对措施和工艺

- 强化常规处理（包括降低水力负荷，强化混凝药剂，提高沉淀及过滤效率）
- 增加预处理（吸附预处理、化学预处理和生物预处理）
- 增加深度处理（活性炭吸附、臭氧生物活性炭、膜分离等）

研究及实践

- 在国家“八五”、“九五”“十五”期间，我们进行了大量针对微污染水源水的处理工艺研究和实践，承担了国家科技攻关计划的研究工作，在全国一些城市进行了系统研究。
- 主要研究了预处理、常规处理及强化常规处理、活性炭及臭氧生物活性炭深度处理、膜分离等工艺及组合。当源水中氨氮浓度高时应选择有生物作用的水处理工艺流程，如生物预处理+常规处理工艺或常规+臭氧生物活性炭处理工艺；对源水中藻含量较高时，一般应选择有前处理除藻的工艺单元；水源水中的嗅阈值、有机物、色度较高时，应采用深度处理（GAC、 O_3 -BAC）工艺；有深度处理工艺的出水的致突变试验（Ames）在最小水样接种体积为2L/皿时能够保证为阴性。
- 不同的水源水水质条件、经济条件等因素，对水处理工艺的选择都有一定的影响。有针对性地合理选择水处理工艺能够全面提升水质。





预臭氧 (接触时间4min, 0.5 ~ 1.5mg/L)

折板絮凝平流沉淀池

V型滤池

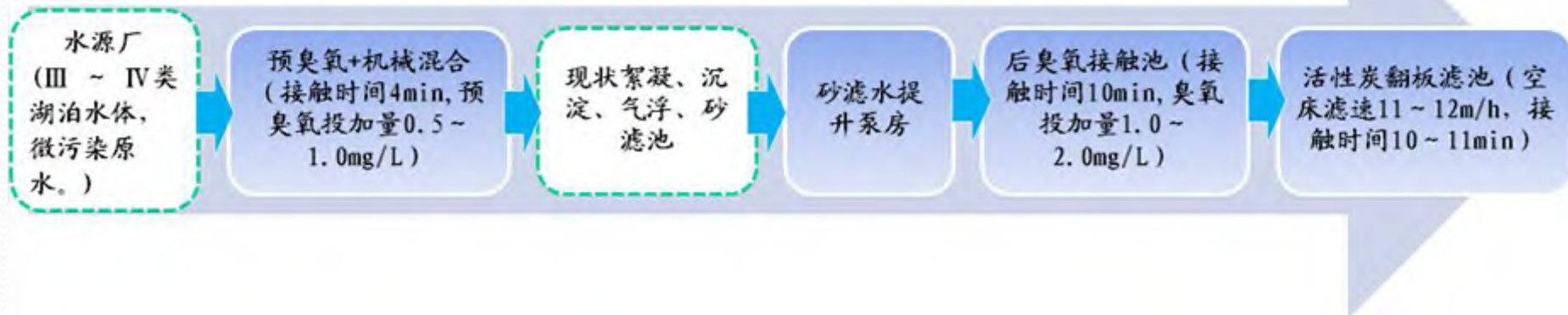
后臭氧接触池
(接触时间10min, 1.5 ~ 2.5mg/L)

生物活性炭滤池
(空床接触时间12min, 10m/h)

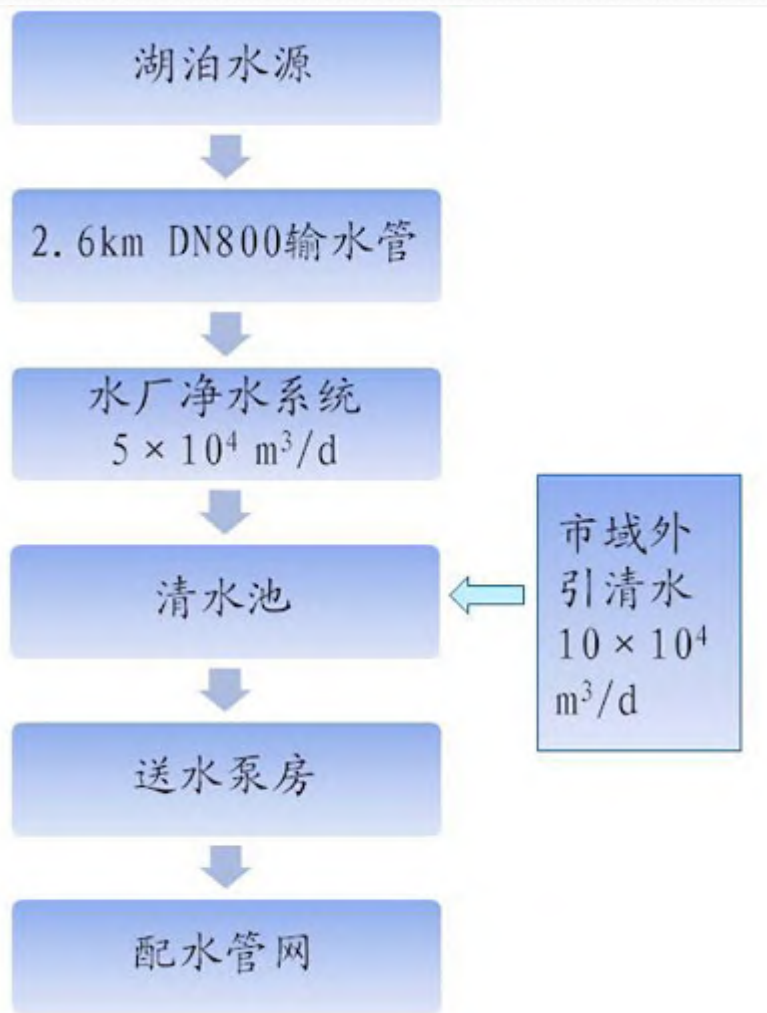
- 水库水, III ~ IV类
- 有机物微污染、氨氮、亚硝酸盐、锰等。原水高藻导致水的异臭异味, 影响水厂运行。



- 水库水源
- 预臭氧接触时间4min, 臭氧投加量 $1.0 \sim 1.5\text{mg/L}$ 。
- 预臭氧主要作用是杀藻, 改善混凝效果, 去除部分有机物和色度、控制异味, 降低副产物的生成量, 取消取水口液氯投加, 出厂水Ames致突变试验结果有较大改善。
- 氨氮浓度高时, 在砂滤池会产生亚硝化作用, 亚硝酸盐氮会升高, 影响出水水质。



项目背景情况

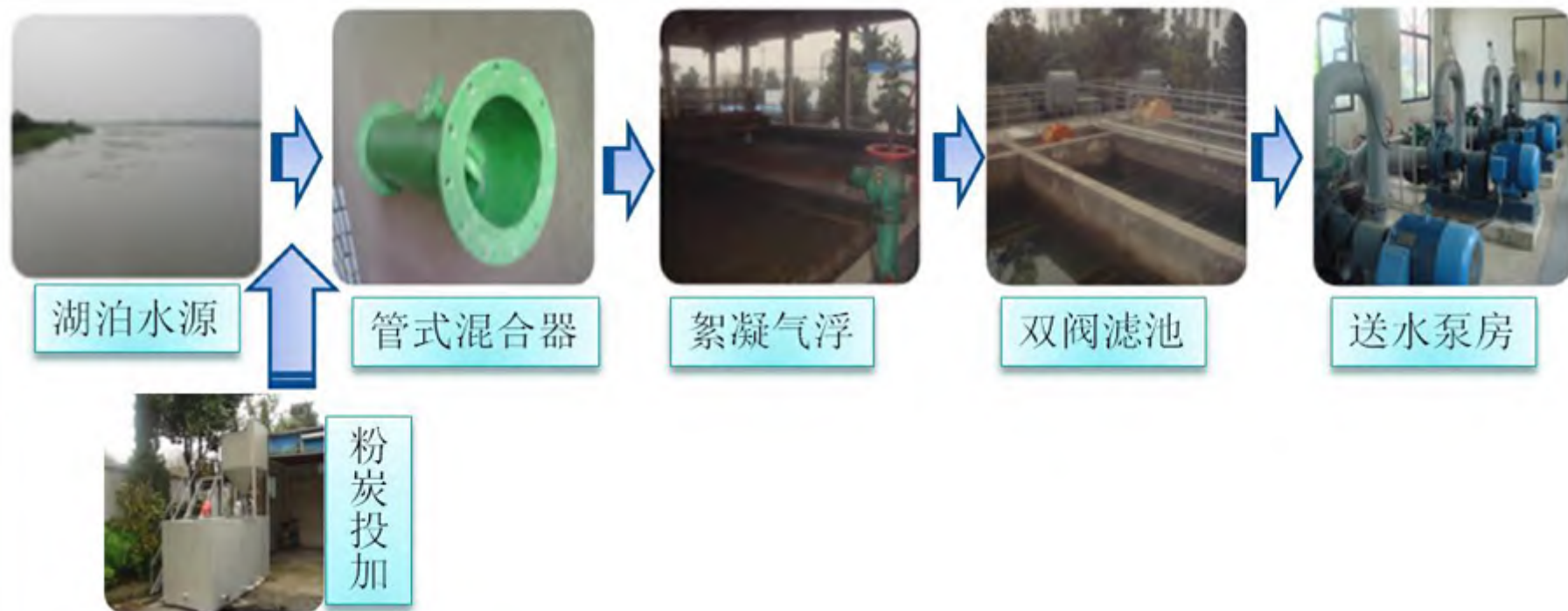


供水系统的问题

- 市域外水厂距城市36km
- 清水单管输送
- 用水安全与当地水厂和长距离单管输水的运行管理及检修维护，以及当地用水量增加等方面的影响，水量的保证率无法控制，水量和水质均受制于上游；不能保障饮用水安全。



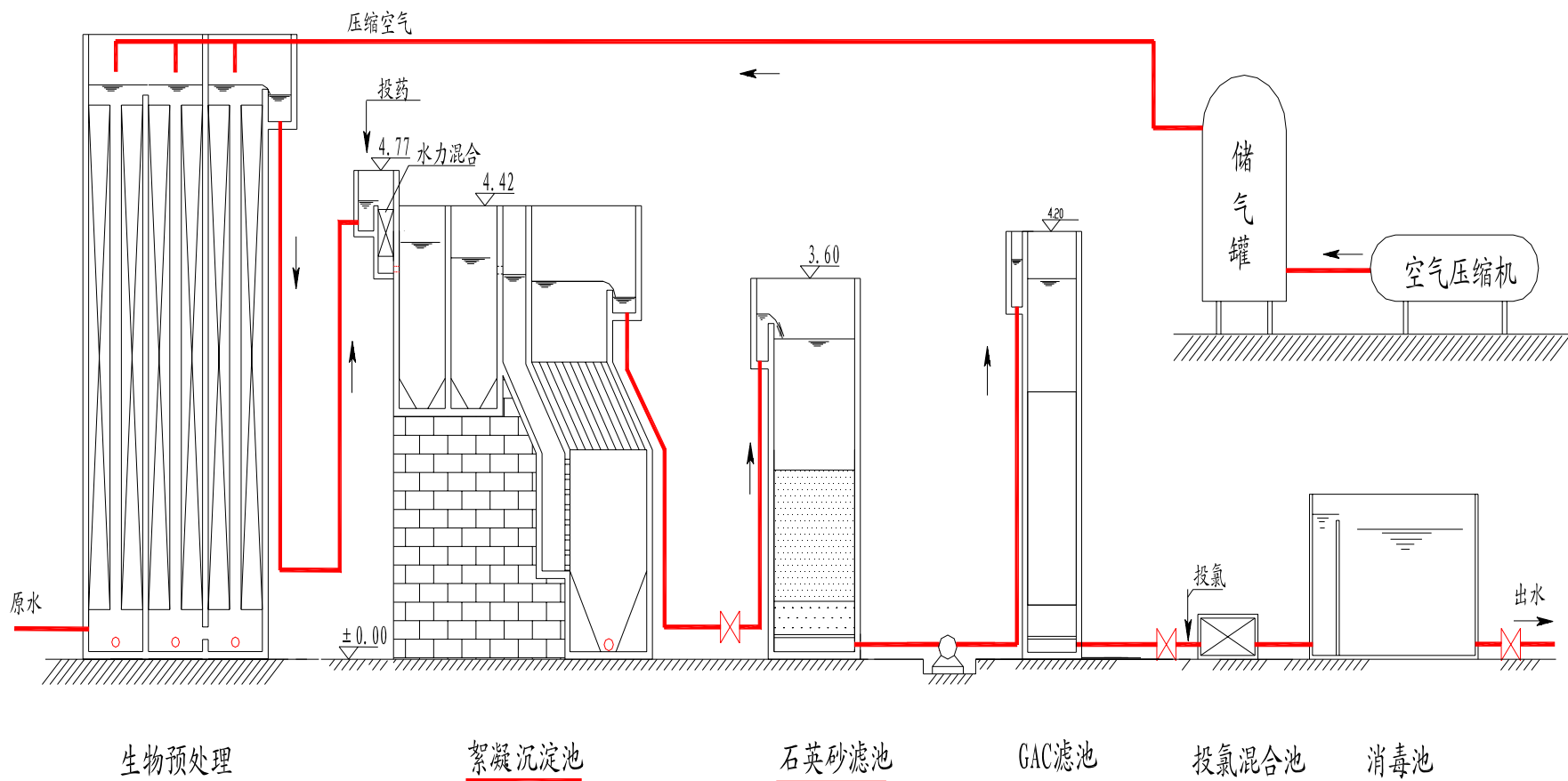
水源及水厂现状



- 水源的正常蓄水量 1000万m^3 ，冬季约 750万m^3 。该水源水量主要靠蓄水量约 1亿m^3 的湖泊补给，水量能够满足需要。
- 近10年来水源的有机污染变化不大，基本上在Ⅲ~Ⅳ类，氮磷污染有所缓解，但是仍然严重，有时候超过Ⅳ类甚至达到劣Ⅴ类水质，致使水体容易产生藻污染，以及由藻类引起的异味。
- 该水源在高藻期间，饮用水的口感较差，有异味，常受到用户的不良反映和投诉，难以提供合格的饮用水。



生物预处理→孔室絮凝斜管沉淀→砂滤池→GAC吸附滤池工艺



生物预处理 → 孔室絮凝斜管沉淀 → 砂滤池 → GAC吸附滤池工艺

试验流程各单元处理效率

	单元去除率%		
水质项目	生物预处理	常规混凝沉淀过滤	GAC深度处理
浊度	78.4	98.46	10
COD _{Mn}	22.2	34.81	21.6
UV ₂₅₄	17.9	53.33	26.5
藻	60.2	67.31	25.2

- 根据试验结果，生物预处理不仅可以去除部分有机污染、氨氮、臭味，而且还可去除水的浊度等，从而降低后续常规处理的药剂消耗。
- 生物陶滤对藻类的去除率较高，一般在80%以上，最高达97.6%。生物接触氧化对藻类的去除率在60%以上。预处理显著降低了藻含量。
- GAC深度处理工艺与炭的种类和使用时间有关，对色度和嗅阈值的去除效果一般较持久。对有机物的去除随时间会降低。



生物预处理→孔室絮凝斜管沉淀→砂滤池→GAC吸附滤池工艺

试验流程与水厂出水水质对比

水质项目	原水	出水		去除率%	
		试验	水厂	试验	水厂
浊度	106.2	0.27	0.40	99.7	99.6
COD _{Mn}	5.0	1.7	3.0	66.0	40.0
UV ₂₅₄	0.091	0.026	0.046	71.4	49.5
藻	49.9	5.8	5.0	88.4	89.9

试验工艺对COD_{Mn}和UV₂₅₄的处理效果优于水厂常规处理工艺的处理效果。前者对COD_{Mn}的平均去除率为66%，UV₂₅₄为71.4%；而后者对COD_{Mn}的平均去除率为40%，UV₂₅₄为49.5%。

通过生物预处理→常规处理→GAC吸附滤池的工艺流程试验，相对于现状水厂净水水质可以显著提高，尤其是对有机污染物的去除效果显著，净水工艺适应提升饮用水水质的改造工程。





浸没式超滤膜

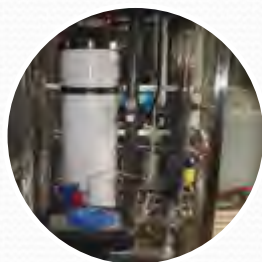
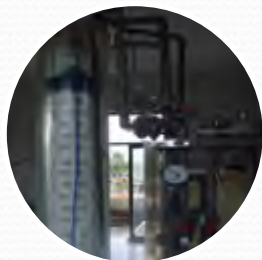
1#膜

2#膜

压力式超滤膜

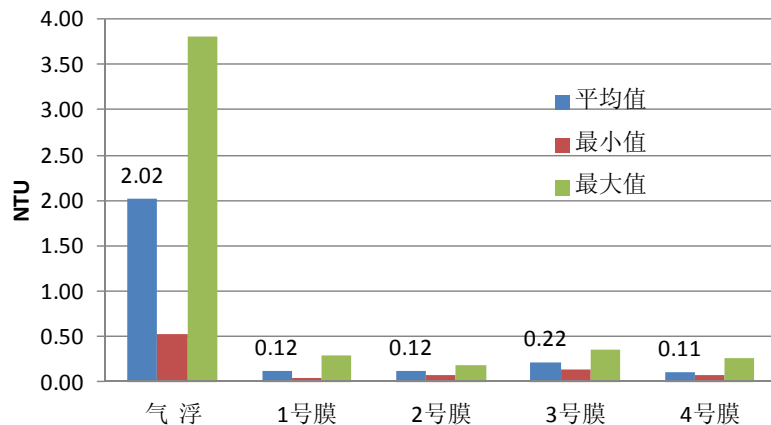
3#膜

4#膜

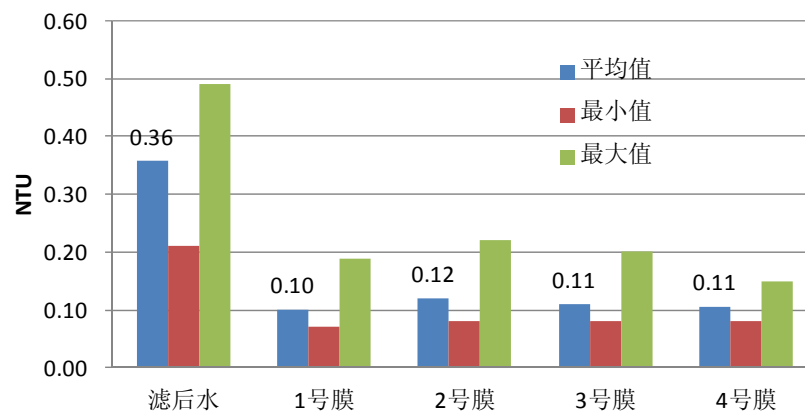


- 选择四种品牌的超滤膜进行试验，包括压力膜和浸没式超滤膜各2种，其中2种进口膜，2种国产膜。膜材质PVDF或PVC合金，孔径 $0.01 \sim 0.04 \mu\text{m}$ 。
- 主要进行针对气浮出水和砂滤池出水两种原水（待滤水）的超滤试验。

超滤膜对气浮出水浊度的处理效果

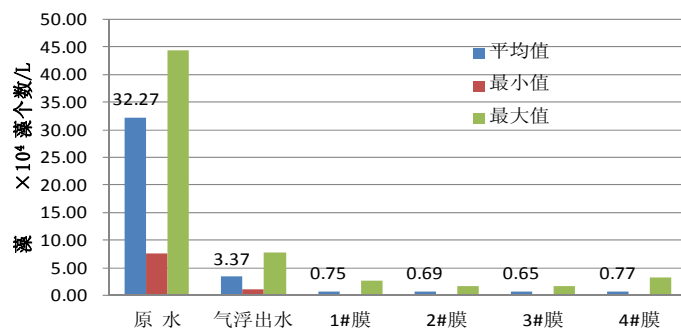


超滤对常规出水的处理效果

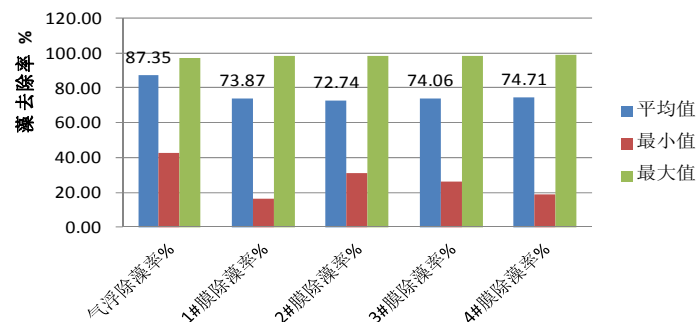


- 四种膜的浊度去除基本上没有显著差异。
- 不同品牌膜的过滤效果没有明显差异，滤后水的浊度与滤前水的浊度没有明显的直接关系，无论是气浮出水还是砂滤出水作为待滤水，膜过滤后的水的浊度一般0.1 ~ 0.12NTU。

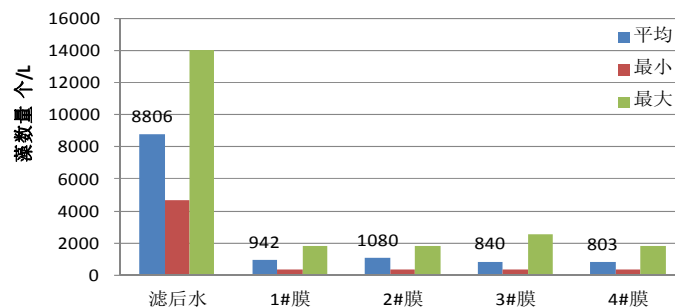
超滤处理气浮出水的效果



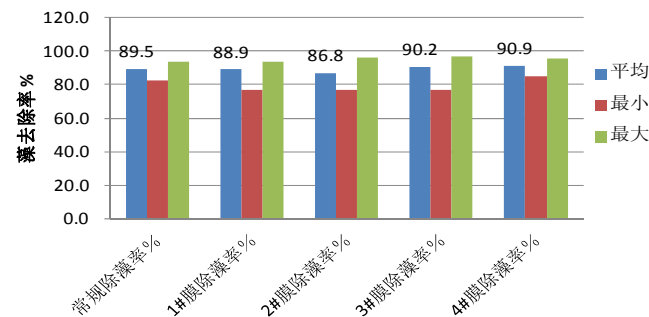
超滤膜处理气浮出水除藻效率



超滤膜处理常规出水的效果



超滤膜处理常规出水除藻效率



■ 采用超滤膜系统直接处理气浮出水，当出水藻平均浓度33703个/L时，去除率73%~75%；超滤膜处理系统放置在常规处理后时，当出水藻平均浓度8806个/L，去除率89%~91%；仅从超滤膜处理设置的位置看，常规处理后的去除率更高一些，去除量的绝对值看低一些。

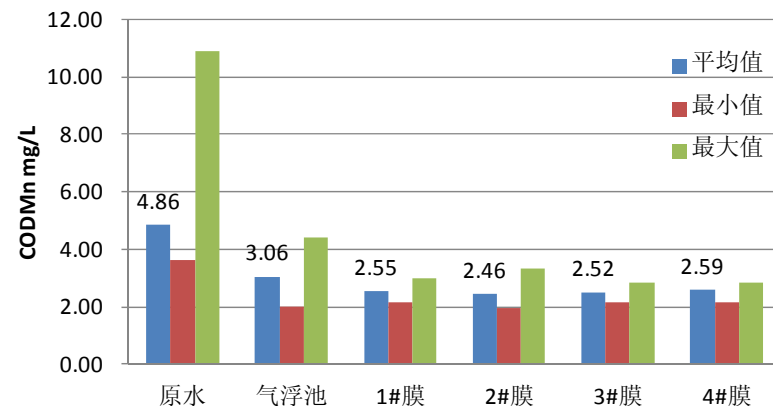
■ 超滤膜可以代替常规的过滤单元也可以放置在常规工艺后，但是，从超滤膜运行稳定性及使用寿命看，后置超滤膜处理更有利于膜的稳定运行和保证水质。藻浓度更低一些。

系统	超滤处理 气浮出水	超滤处理 常规出水
原水	4.86 (3.64- 10.88)	3.82 (3.48- 4.20)
气浮 (常规) 去除率%	33.50	32.26
1#膜去除率%	16.50	12.94)
2#膜去除率%	19.20	14.90
3#膜去除率%	17.90	12.61
4#膜去除率%	15.80	12.14

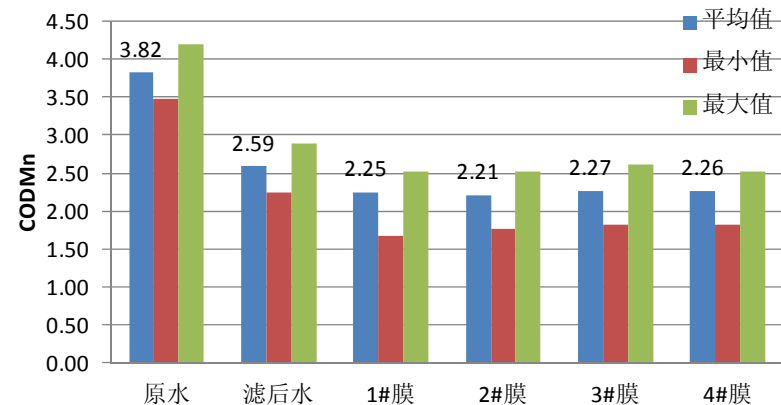
■ 气浮和常规处理出水的COD_{Mn}去除率差别不大，平均分别为33.50%、32.26%，气浮大于常规去除率主要原因是测定阶段进水COD_{Mn}差别造成的。从COD_{Mn}看，常规处理出水更低而且变化更小。

■ 四种超滤膜的处理效果没有显著差异。

超滤膜处理对气浮出水的效果



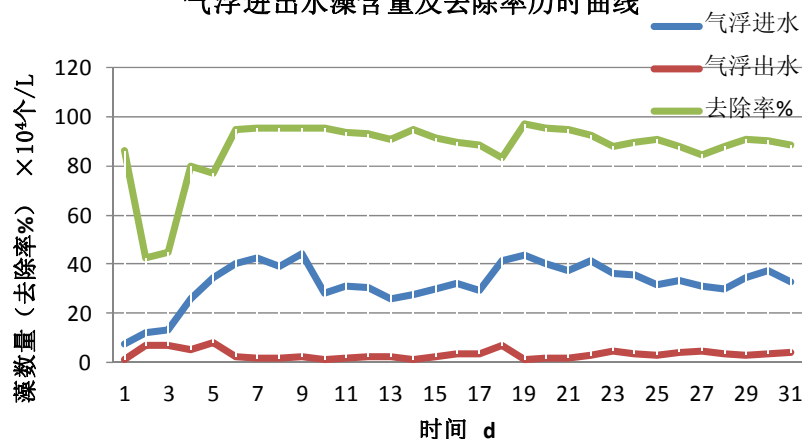
超滤膜处理常规出水的效果



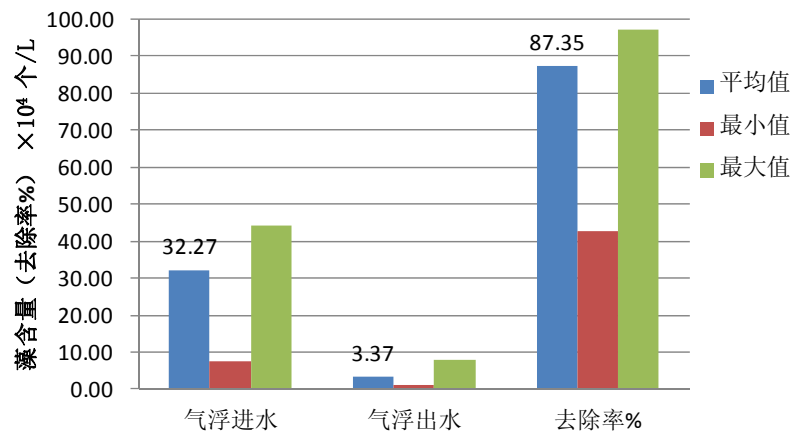
- 超滤主要是物理截留作用，能够有效保证出水浊度，由于水的浊度与污染物有相关性，因此对保障水质有重要的作用。
- 超滤膜处理单元可以代替常规处理的砂滤池或在常规处理工艺后，从降低超滤出水的 COD_{Mn} 、藻以及提高膜的使用寿命减少化学清洗周期看，将超滤放置在常规处理工艺之后更有利于膜的稳定运行和保证水质。
- 对不同品牌的膜产品，短期试验其结果没有显著差异。



气浮进出水藻含量及去除率历时曲线



气浮池对藻的平均效果



- 在水厂气浮池运行水量约 $5\text{万m}^3/\text{d}$ ，接触池上升流速 15.5mm/s ，分离室的下向流速 1.4mm/s ，溶气水回流比10%，对气浮池除藻进行了检测。
- 在藻数量一般在50万个藻/L左右时，去除率基本上在85%以上，平均87.35%。
- 在高藻期，除藻的效果不稳定，可能与运行控制有关。结果显示在原水藻含量(442~1380)万个/升时，气浮池藻去除率一般在60%~80%，最高94%。
- 对藻含量较高的水厂，气浮是需要考虑的重要工艺单元，但是，良好地运行控制，如回流比、浮渣的刮除周期等都需要根据藻含量进行优化调整。

水质提升工艺思路

预处理

- 化学预氧化处理（预臭氧、预氯、高锰酸钾）
- 生物预处理

常规处理

- 混凝气浮
- 过滤

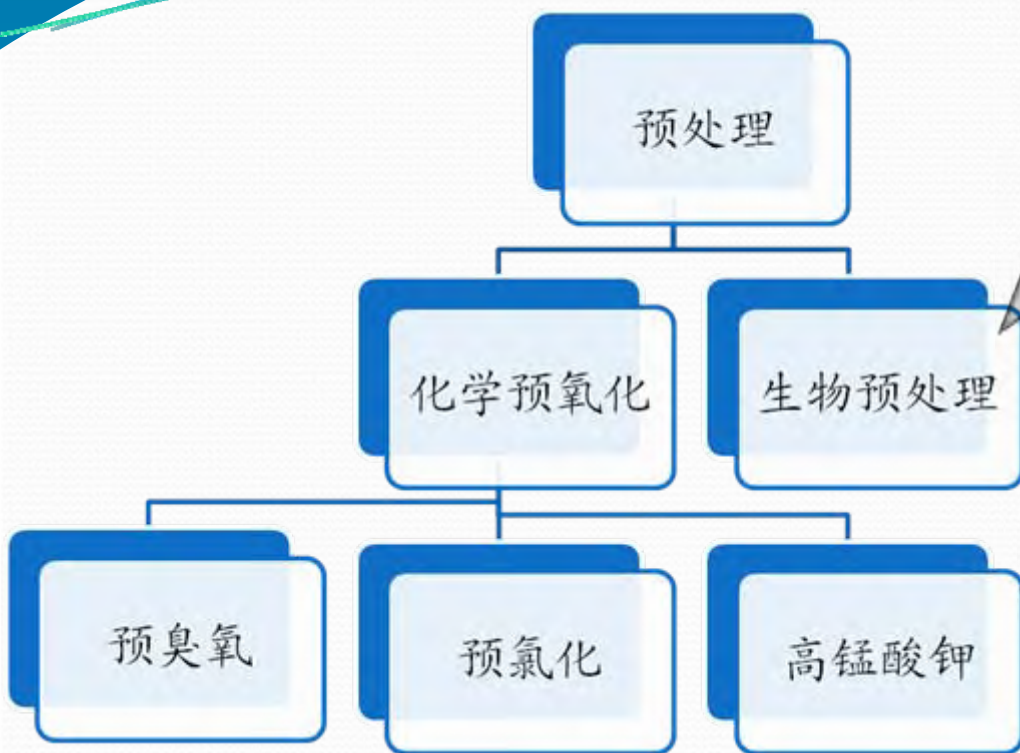
深度处理

- 臭氧生物活性炭、活性炭吸附
- 膜处理工艺

改造的原则：针对水源主要存在有机污染、高藻以及异味等水质特点，根据试验研究成果，按照在维持现状工艺的基础上增加预处理和深度处理的总体思路进行。



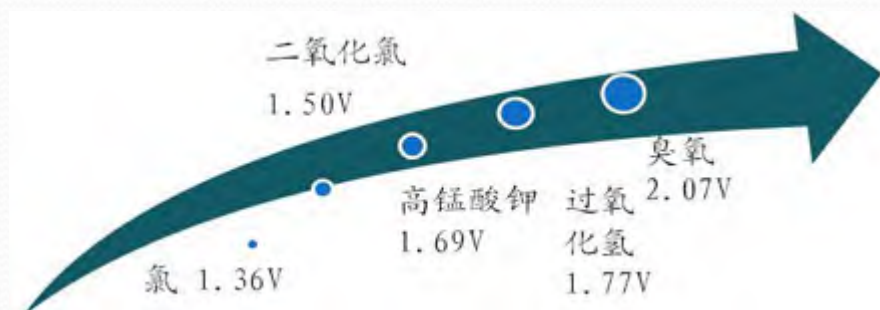
预处理工艺



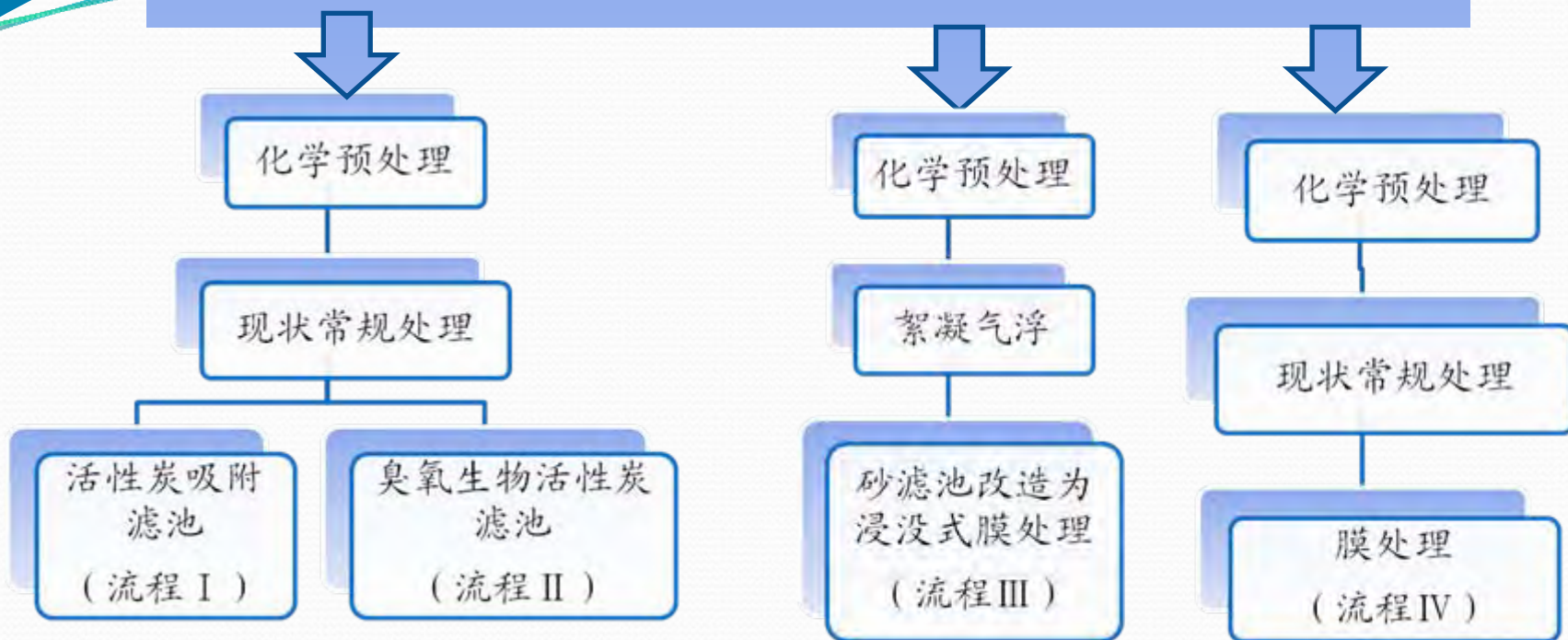
■ 试验结果说明生物预处理能够有效去除藻和有机污染物及浊度，对稳定后续的常规处理工艺有较好的作用，而且不投加任何化学物质，制水的安全性较高。水源主要呈季节性高藻，建设生物预处理设施一次性投资较高，因此，未考虑采用生物预处理。

■ 化学预处理由于工程投资较低，并且运行管理简单灵活，所以预处理采用化学预氧化。

■ 臭氧由于工程造价等的原因较少单独作为预氧化剂。此外考虑水源受到有机污染，因此，为控制副产物的生成量，降低致突变前体物的浓度，预氧化药剂采用高锰酸钾。



工艺流程选择



■ 流程 I、II 臭氧活性炭或活性炭吸附工艺能够去除有机污染、色度及臭味等，对水质的提高作用显著，但是对浊度的去除基本上没有作用，水厂现状的砂滤池建设时间较早，滤层厚度较小，不能完全保障对出水浑浊度的要求。

■ 流程 III、IV 单独增加超滤膜处理工艺单元，主要是通过物理截留作用去除浑浊度，可以去除病毒、大分子物质、胶体等，进而提高出水的水质。但是，对色度、水异味等作用稍差。



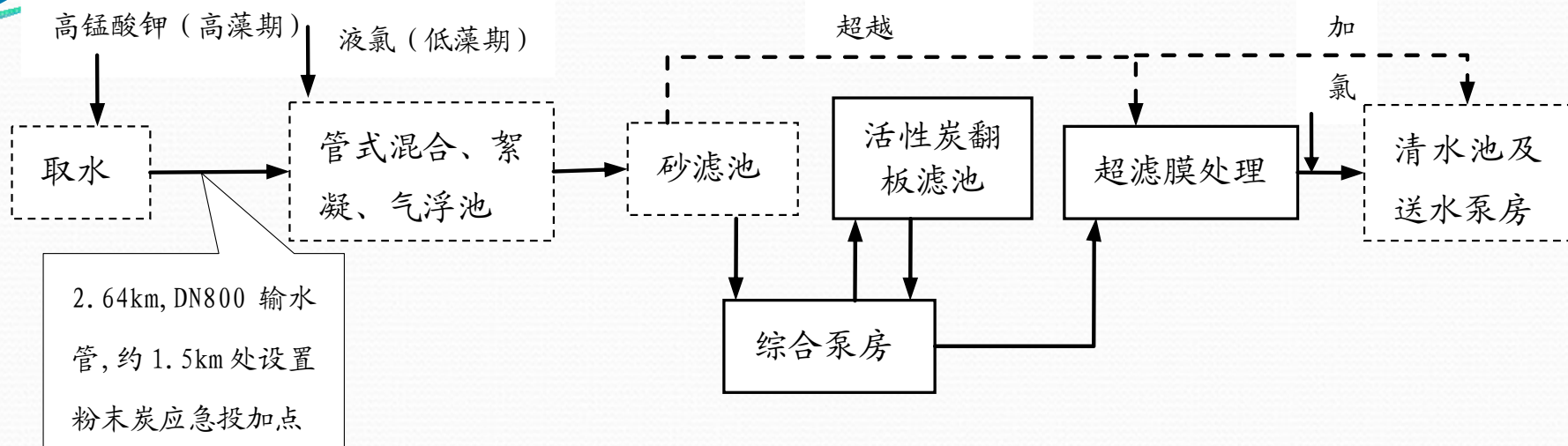
工艺流程选择



■ 流程 V、VI 克服了单独的活性炭或膜处理的缺陷，对保障水质有着较好的作用。因此，深度处理采用常规处理后接颗粒活性炭吸附滤池、超滤膜处理工艺的组合流程，可以分别在有机物、色度、水的异味、浊度等方面提升水质。



水质提升改造工艺流程



- 预氧化。高藻期间或水质较差时，为降低致突变前体物生成量，采用高锰酸钾。
- 活性炭吸附滤池（GAC）主要去除水中的微量有机物、色度和嗅阈值，由于炭滤池在运行中可能存在的生物穿透，为保证出水的生物稳定性，在炭滤池后置超滤膜处理，进一步降低出水的浊度，同时去除“两虫”。
- 工艺流程中设置了活性炭吸附滤池、超滤膜的超越设施，在水质较好的季节可以根据水质情况进行超越。使整个工艺系统的运行管理更加灵活方便。
- 应急处理。遇到原水水质突然恶化时，利用2.64km原水输送管道的输水时间，同时考虑药剂之间的相互影响，在输水管道中途设置粉末炭投加设施，利用粉末炭的吸附作用保证水质安全。
- 改造工艺结合了水源水质特征以及水厂现状特点，在试验研究基础上提出的工艺能够满足水质达到国家饮用水卫生标准的要求。



■ **预处理**。预氯化，投加量 $0.5 \sim 1.5 \text{mg/L}$ ，高锰酸钾，投加量 $0.5 \sim 1.2 \text{mg/L}$ 。

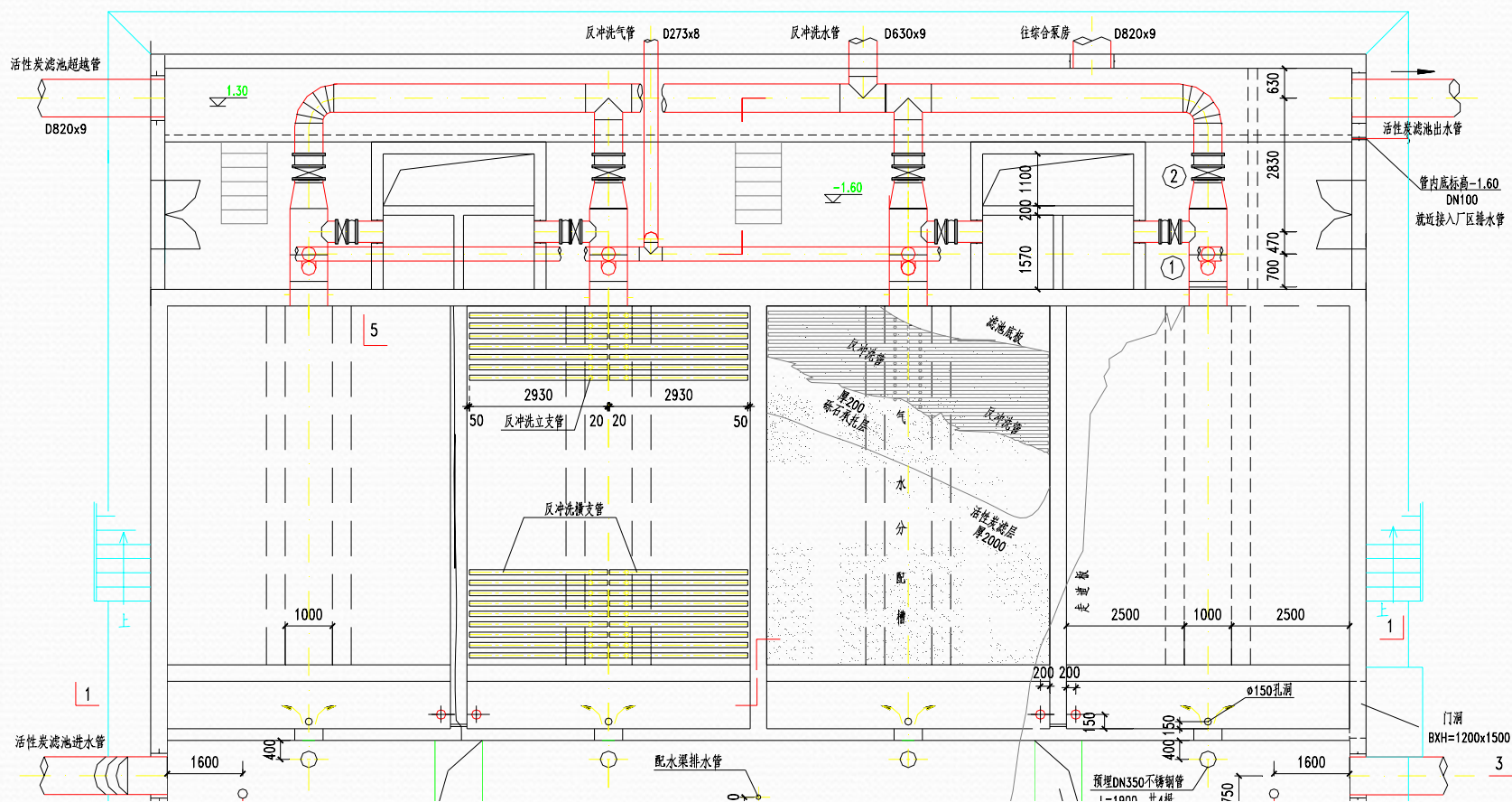
■ **现状网格絮凝气浮池**。絮凝时间 10min 。接触区上升流速 15.5mm/s ，分离区下降流速 1.4mm/s 。容气水压力 0.3MPa ，回流比 10% 。

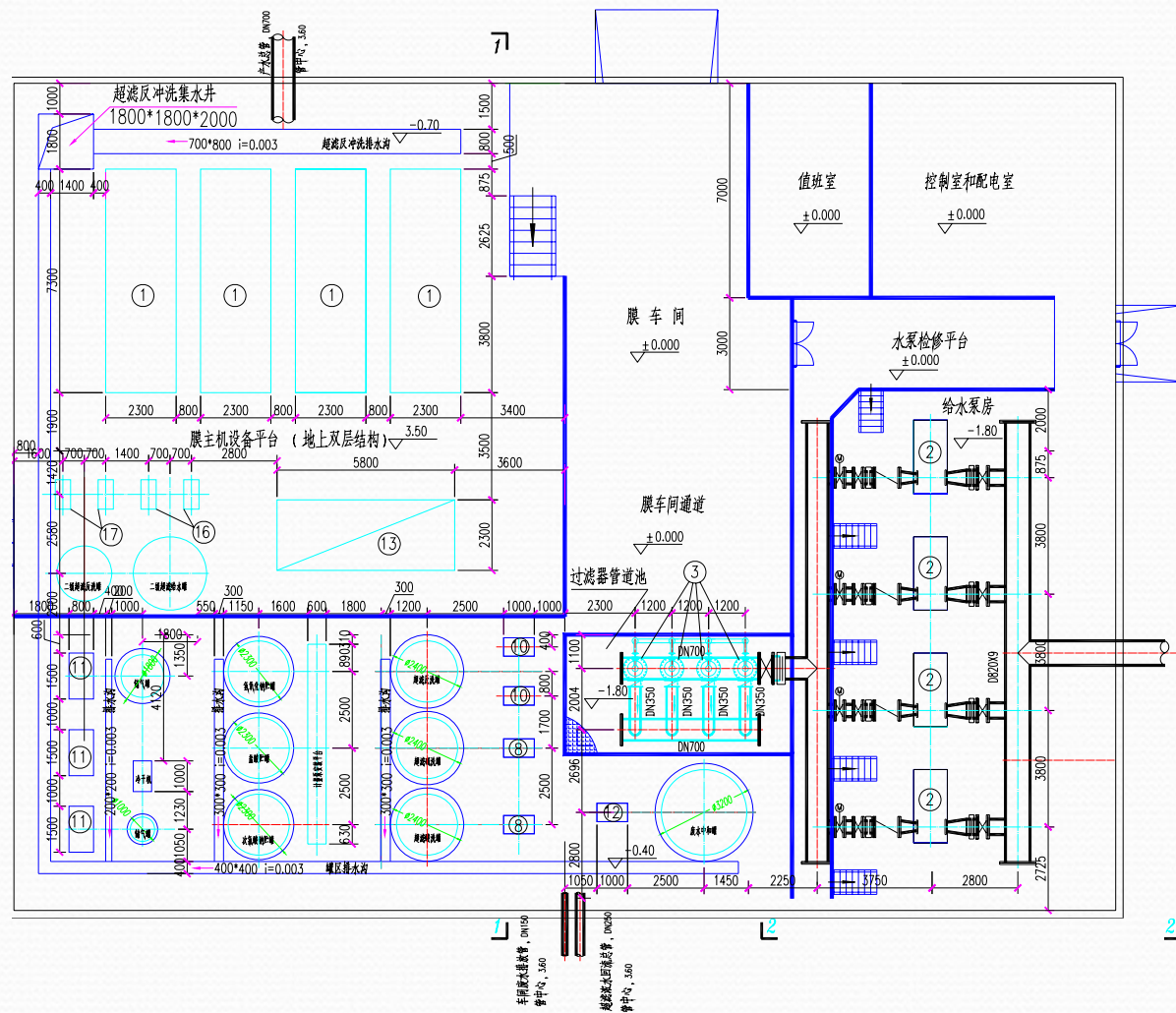
■ **现状双阀滤池**。石英砂单层滤料滤池。滤层厚度 700mm ，正常滤速 8m/h ，强制滤速 9.15m/h ，水反洗。

■ **活性炭吸附滤池**。采用翻板滤池形式。单格面积 46.6m^2 ，单排4格，滤速 12m/h ，空床接触时间 11min 。活性炭炭层厚度 2.2m 。

■ **超滤膜处理车间**。采用压力式超滤膜系统。设计膜通量 $65 \text{L}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ，设计水回收率 99% ，跨膜压差 $\leq 10 \text{kPa}$ 。压力式中空纤维超滤膜，材质聚偏氟乙烯（PVDF），本系统设计正常水温 10°C 。







- 超滤膜为8个系列，每个系列可单独或同时运行。每个系列的超滤装置安装在同一框架上，并配置100支超滤膜组件。
- 超滤膜前设置保安过滤器2台，过滤精度200微米。
- 设置二级超滤回收反洗废水系统，废水经过二级超滤后再回到一级超滤系统，回收率99%。

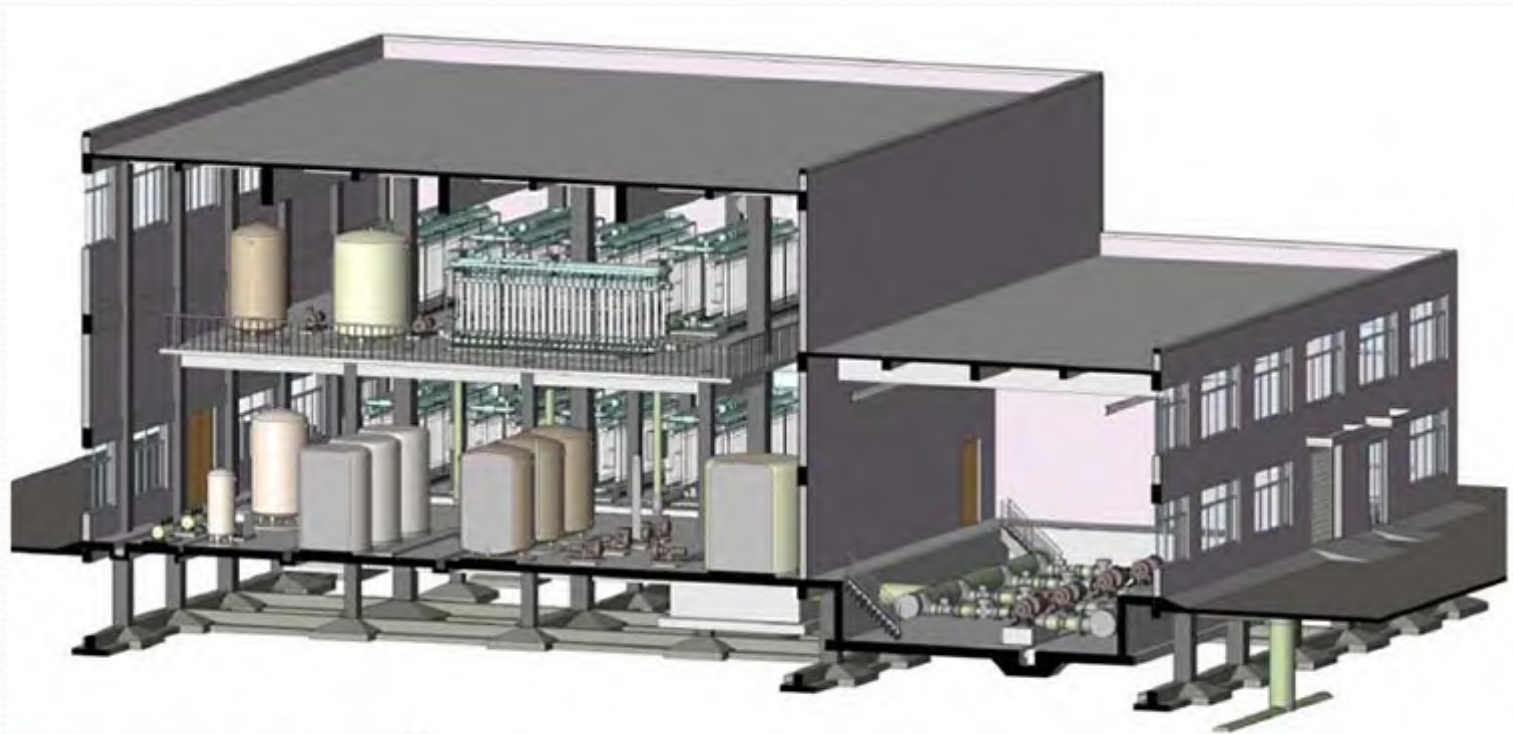




膜车间建筑外观



中国市政工程中南设计研究总院有限公司



膜车间内部





- 工程总占地40.5亩，单位水量占地 $0.54\text{m}^2/\text{m}^3\cdot\text{d}$ ，其中送水泵房 $15\times 10^4\text{m}^3/\text{d}$ ，清水池 16000m^3 。项目总投资概算3998.82万元，新增单位制水经营成本 $0.27\text{元}/\text{m}^3$ 。

■ 水厂运行效果

■ 水厂运行工况

- ◆ 水量 $(2045\sim 2080)\text{m}^3/\text{h}$ 。水温 $(24\sim 31)^\circ\text{C}$ 。

投加药剂：高锰酸钾预氧化剂 $0.9\sim 1.0\text{mg}/\text{L}$ ，PAC $21\sim 23\text{mg}/\text{L}$ 。

■ 水质

- ◆ 出厂水水质进行了106项水质项目的全分析，结果显示全部达到《生活饮用水水质卫生标准》GB5749的规定。其中主要指标浑浊度 0.06NTU ，色度小于5度，耗氧量 $1.36\text{mg}/\text{L}$ ，水无异臭异味，微囊藻毒素 $<4.0\times 10^{-5}\text{mg}/\text{L}$ ，贾第鞭毛虫和隐孢子虫均未检出。
- ◆ 超滤膜出水的在线浊度一般在 0.02NTU 左右，颗粒数为0。
- 根据水质的检测结果显示供水水质大幅提高。水厂提升水质的升级改造达到了预期目标。



谢 谢！



中国市政工程中南设计研究总院有限公司