

南水北调水源

北京市第十水厂A厂项目

工艺流程选择分析及构筑物设计探讨

北京市市政工程设计研究总院

2013-06-22

- 一. 项目背景(招投标/中标方案)
- 二. 设计条件变更
- 三. 第十水厂工艺方案的选择
 - 1. 设计原则和工程标准
 - 2. 水质分析与评价
 - 3. 总体工艺方案的选择
 - 4. 工艺单元方案的确定
 - 5. 工艺流程的确定
- 四. 主要构筑物设计



附件

北京市发展计划委员会

京计基础〔2003〕1427号

关于北京市第十水厂A厂项目建议书 (代可行性研究报告)的批复

市市政管委:

你委上报的《北京市第十水厂A厂项目办公室关于报审第十水厂A厂项目建议书(代可行性研究报告)的请示》(京政管〔2002〕343号)文收悉。根据《国家发展改革委办公厅关于委托北京市计委审批北京市第十水厂A厂项目的函》(发改办投资〔2003〕490号)的文件精神,现对《北京市第十水厂A厂项目建议书(代可行性研究报告)》批复如下:

一、项目概况

**2003年8月底由北京市计委
批复可研报告**

二、项目建议书(代可行性研究报告)的主要内容和结论

1998年--- 2003年11月底

第十水厂A厂项目采用BOT型式进行国际招标,安菱公司中标并委托我院完成可研报告编制和初步设计。

中标方案

● 水源：单一水源——密云水库原水

● 密云水库白河库区取水，经密云、怀柔、顺义和朝阳四个区县采用钢管和PCCP管重力流至水厂，管道全长75公里。

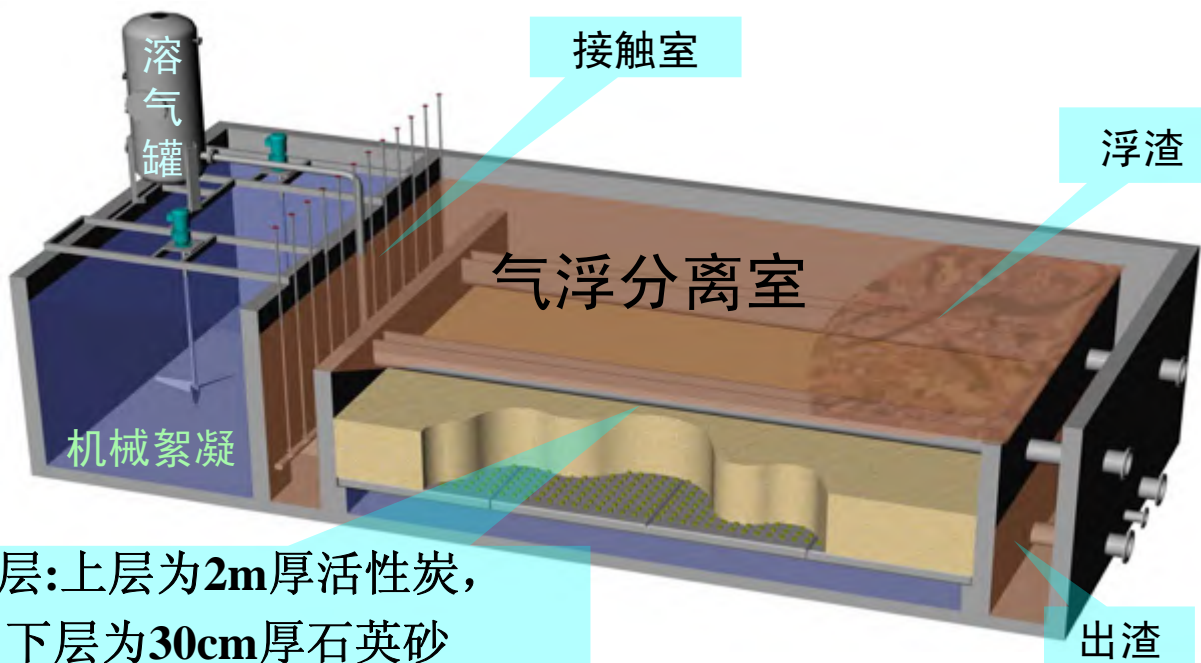


北京市南水北调中线水厂布局规划方案示意图
——远景布局方案



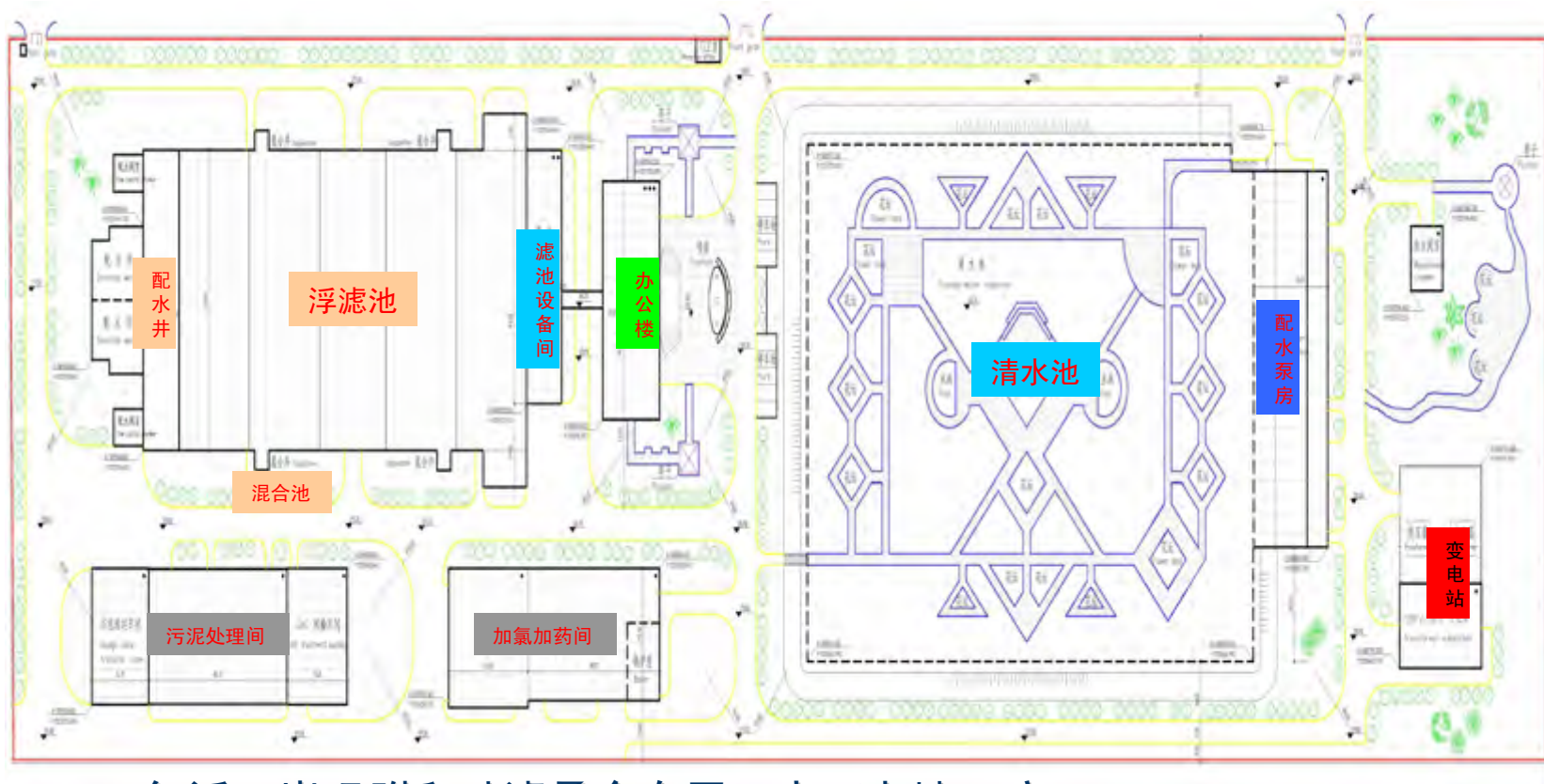
中标方案

针对密云水库冬季低温低浊和夏季高藻特性，为节约投资和占地增加中标可能性，外方中标方案采用气浮和砂滤于一体的浮滤池，臭味去除依靠临时投加粉末炭，后经多轮技术谈判，最终方案改为增加炭吸附层，保留部分砂滤层，与气浮工艺叠合。



中标方案

机械混合→两级机械絮凝→浮滤池→氯接触池→清水池



气浮、炭吸附和砂滤叠合布置，水厂占地88亩。

二. 设计条件变更:

由于奥运配套项目首都机场东扩，与原输水管道路由冲突，致使项目停滞。后因南水北调进京，北京市水资源规划重新调整，2007年5月第十水厂项目办公室，重新确定设计边界条件:

北京市第十水厂A厂项目办公室

会议纪要

(2007年5月31日)

2007年5月31日上午9:30在北京市水务局701会议室，第十水厂项目办召开工作会，对第十水厂设计工艺方案的边界条件进行讨论。该项目的设计方案边界条件是在2000年招标时期设定的，由于项目建设期向后延长其外部条件发生了较大的变化。为使设计方案合理经济，保证项目的顺利进行，请有关部门对该工程的设计边界条件进行重新确认，其结果如下。

一、第十水厂A厂水源的规划是南水北调中线和密云水库双水源。该项目近期采用密云水库水源。远期条件具备时实现南水北调水源和密云水库水源联合调度的双水源。第十水厂工艺设计必须具备良好的处理这两种水源的能力。

二、原水水质标准为《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)的三类水体标准。

三、第十水厂A厂出厂水水质标准为《城市供水水质标准》(CT/T206-2005)、《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)并结合自来水集团对水厂出厂水的要求。

四、第十水厂A厂工程设计内容

会上中咨院及项目办、设计单位中咨院第七设计所相关负责人针对二期工程条件的变化进行了详细的解释，有关部门也已承诺以厂内实际供水及流量为可变水资源数据，基础留在第十水厂工程批复材料附件中，要求设计部门统一按实际流量和水质规范的标准编制。会上大家认为国家没有明确规定，关于江地取水规范由国家环保总局和水利部共同制定并实施由政府颁布实施。

六、取水规范和标准

工程设计和取水规范标准以原设计文件为准，工程范围内的规范和标准应视具体情况而定。

七、其他未涉及的内容，仍按原设计文件的要求为准。

参加会议单位: 市水务局: 陈斌、陈明、陈世强、戴文、彭淑萍、王培仁、彭志新; 市规划设计研究院: 唐黎华、张卫红; 自来水集团: 王庆华、刘虎平、王静、张磊、林爱斌; 中咨院设计: 彭爱斌、陈立; 中咨院项目办: 程斌; 北京合利联水务: 傅致真、张士芳、李敏桐。

第十水厂项目办

二〇〇七年六月一日

二. 设计条件变更:

近期—密云水库水源

远期—南水北调和密云水库水双水源。

怀柔水库

密云水库



二. 设计条件变更:

原水水质

	原工艺设计依据	新工艺设计依据
水源	密云水库	近期：密云水库 远期：南水北调/密云水库
原水水质	1982~2001年密云水库水质监测资料：大部分水质为Ⅰ类，可达到地表水环境质量标准（GB3838-2002）Ⅱ类标准。	《地表水环境质量标准（GB3838-2002）》的Ⅲ类水体标准考虑。

二. 设计条件变更:

出水水质: 满足新购水协议要求

	原《购水协议》	新《购水协议》	
协议依据	《生活饮用水卫生标准》 (GB5749-85) 指标: 35项	《城市供水水质标准》 (CT/J206-2005) 指标: 93项	《生活饮用水卫生标准》 (GB5749-2006) 指标: 106项
		<p>增加: 有机污染物、农药、消毒副产物和对原虫类病毒体的检测项目</p> <p>提高: 浑浊度、耗氧量和粪大肠菌群</p>	
检测指标	总项目: 89项 月检项目: 40项 半年检项目: 49项 浊度指标为 0.5NTU	总项目: 111项 月检项目: 46项 半年检项目: 65项 浊度指标为 0.3NTU	

1. 设计原则和工程标准

(1) 设计原则

第十水厂是典型的BOT商业项目，业主要求工艺方案的选择应在考虑密云水库和南水北调双水源水质特点、满足购水协议规定出水标准要求的前提下，遵循安全、稳定、达标，兼顾成本、技术创新的原则。

(2) 工程标准

规模：50万 m^3/d 。

出水水质：满足《购水协议》要求，共计111项。其中浊度限值规定为0.3NTU。

水压及供水量：供市区0.50Mpa，供水量为25万 m^3/d ；

供郊区0.42Mpa，供水量为25万 m^3/d 。

水厂自用消耗水量：小于3%

2. 水质分析与评价

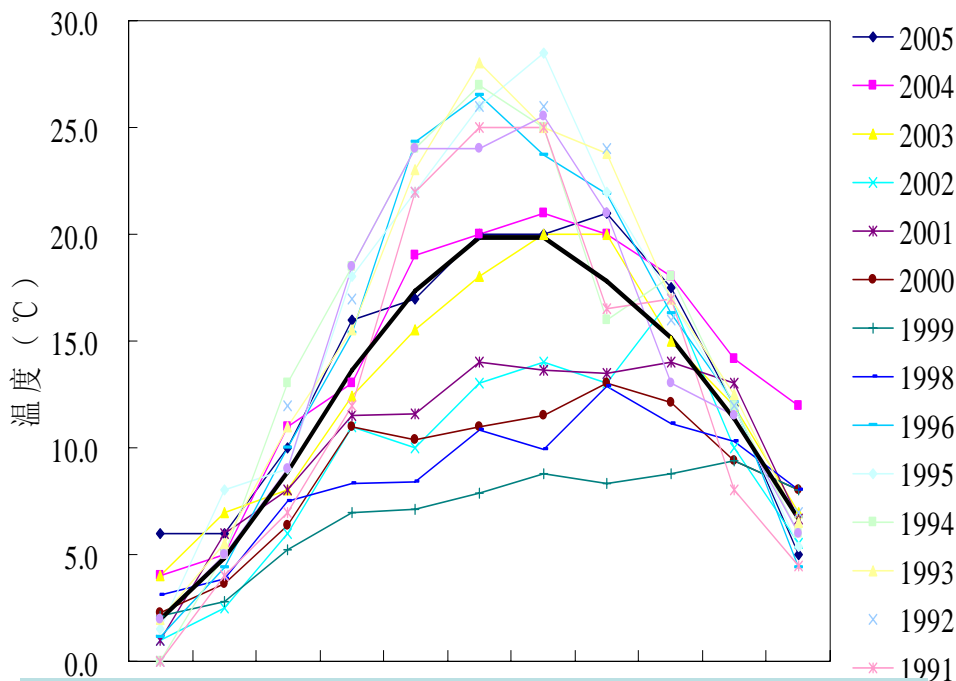
2. 水质分析与评价

2.1 水源水质分析与评价

2.1.1 水源之一密云水库水质特性

统计密云水库近20年的水质资料，对水温、浊度、藻类、有机物（ COD_{Mn} ）及臭味等关键指标进行分析，作为确定第十水厂净水工艺路线确定的重要依据

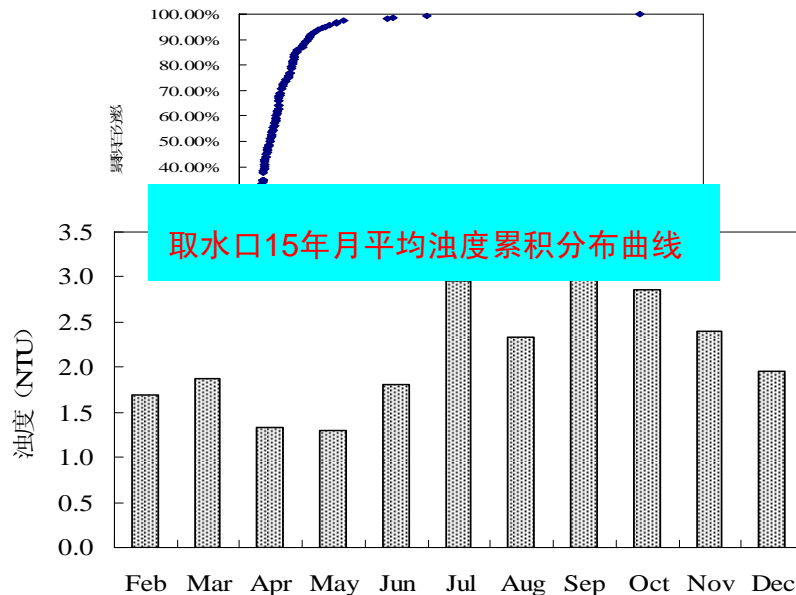
(1) 密云水库水温特性



每年12月~3月平均水温约为5℃，属于低温期；每年4月~5月以及10月~11月，平均水温5℃~15℃，属于常温期；每年6月~9月平均水温为15~25℃，属于高温期。

结论：低温原水

(2) 密云水库原水浊度特性

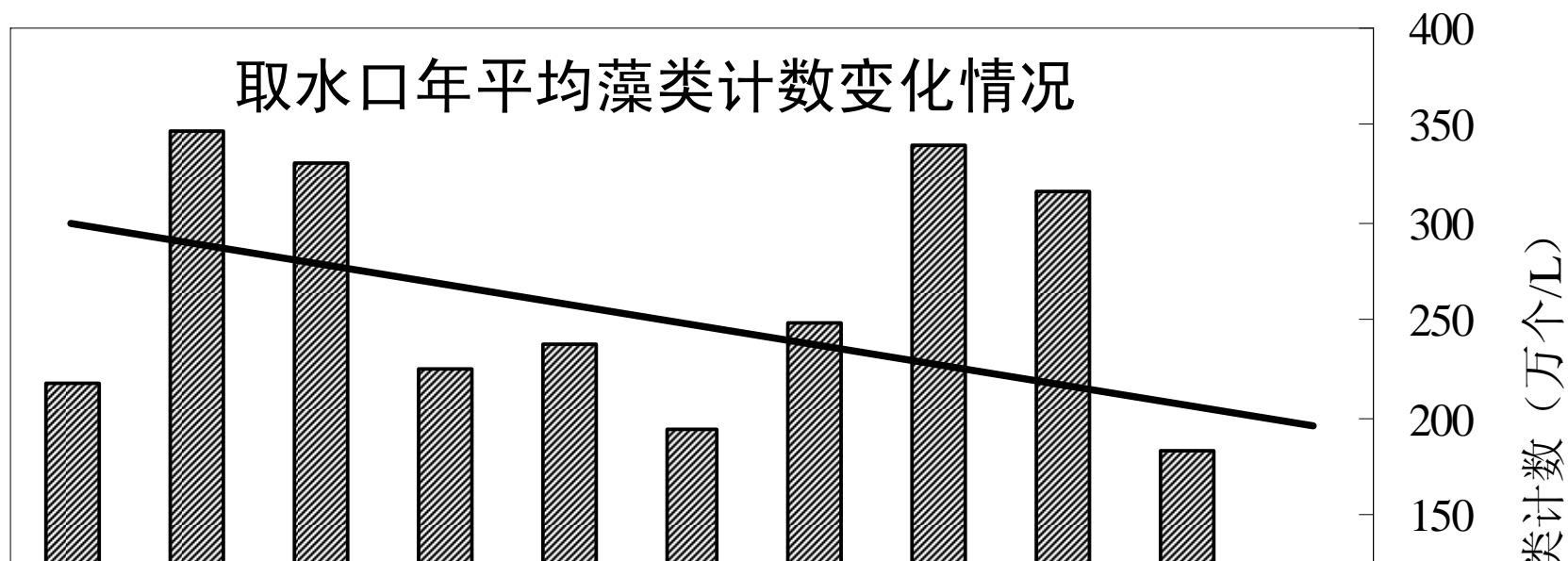


取水口浊度低，95%的时间浊度<5NTU，15年浊度平均值为2NTU。

结论：低浊原水

(3) 密云水库藻类特性

2. 水质分析与评价



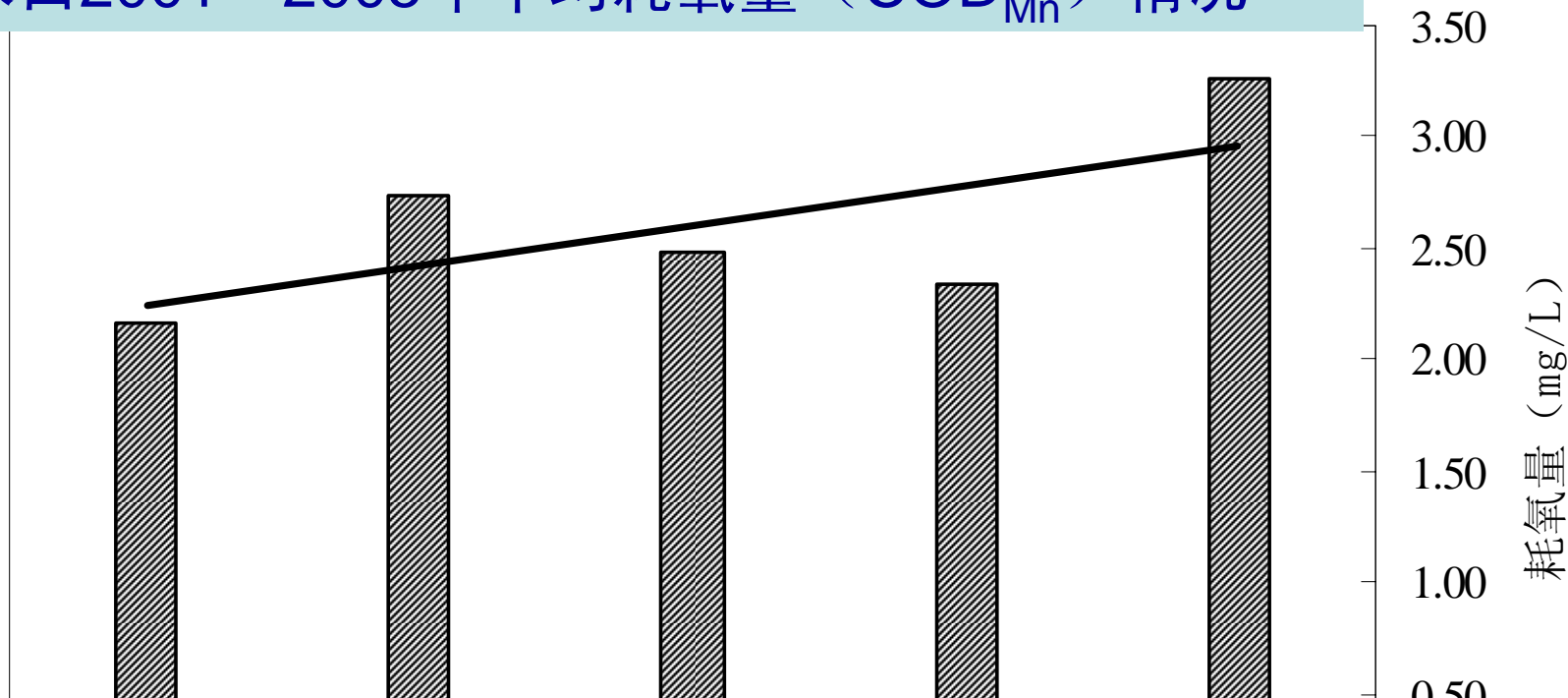
结论:

- a 高藻出现在每年的9~12月份，最高曾达900万个/L以上。
- b 2003年以后，藻类得到了一定的控制，藻类计数结果呈下降趋势。

(4) 密云水库有机物特性

2. 水质分析与评价

取水口2001~2005年平均耗氧量 (COD_{Mn}) 情况



结论:

密云水库原水COD_{Mn}总体呈逐年上升的趋势,但仍属II类水体水质范围。

(5) 色度和臭味

取水口1998~2005年嗅域值情况

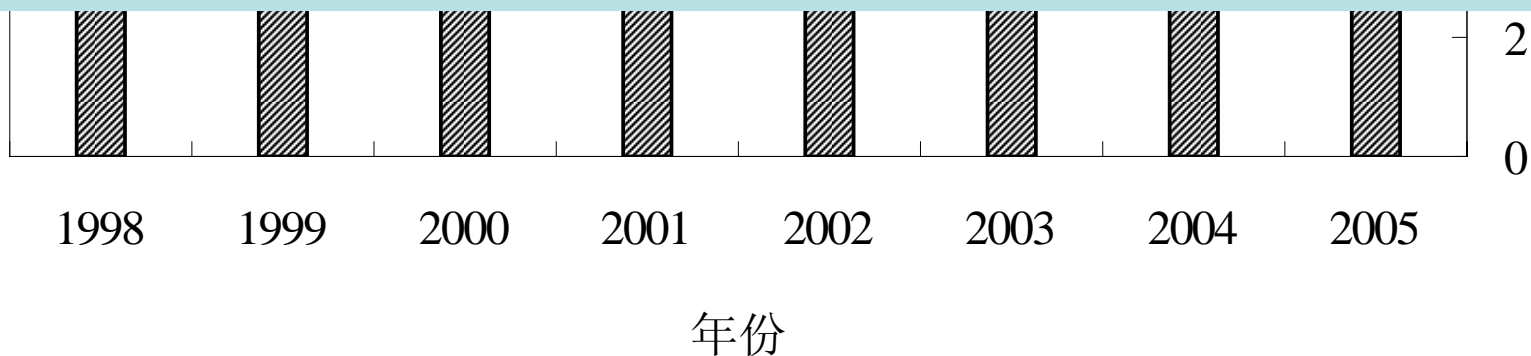
14

12

结论:

密云水库水色度不高，但存在一定臭味（主要是草腥
味），可能由藻类繁殖导致。

臭味是直接影响水质的感官指标，臭味也是本项目需要关
注的问题。



2.1.2 水源之二南水北调水源水质特性

● 源头水质:

丹江口水库原水水质总体良好, 符合《地表水环境质量标准》中II类标准。

● 到京水质:

- 南水北调工程采用输水专用渠道, 无地面径流进入, 对输水水质有所保证, 根据十一五课题研究证明: 原水富营养化指标沿程略有下降, 有机物指标沿程无明显变化。
- 1200余公里的明渠输水, 公路交叉700多座, 沿途突发性污染和南方水体的微生物迁移导致进京后的原水水质存在不确定性。
- 明渠输水, 冬季原水体现低温低浊特性。

密云水库/南水北调水源水质特性:

- 两个水源原水水质良好，基本符合《地表水环境质量标准》中 II 类标准。
- 两个水源均具备冬季低温低油特性。
- 密云水库原水存在藻类导致的臭味问题。
- 南水北调中线工程对供水水质的承诺为 II 类。为保证安全，水务局第十水厂项目办确定：北京市第十水厂的设计须按 III 类水体考虑。

第十水厂原水特性/处理难点:

低温/原水温度低导致混凝反应速度缓慢，反应不彻底

低油/胶体颗粒相互碰撞几率低，反应形成的矾花细小松散，不密实，不易沉淀，需增加投药量

藻类/导致原水pH值升高、碱度降低，影响混凝沉淀效果
某些藻类的降解产物中含有毒性物质，可引起人、动物中毒

有机物及臭味/常规工艺对于原水中的天然有机质、消毒副产物的前体物、藻类及其分泌物产生的臭味去除能力有限

三. 第十水厂工艺方案的选择

3. 总体工艺方案选择

原水特性	应对措施	作用
低温低浊	<p>强化混凝沉淀 澄清技术</p> <p>气浮技术</p>	<p>改善反应效果，增加絮体密实度，提高沉淀效率</p> <p>微气泡黏附絮体表面，使轻絮体快速上浮而分离去除</p>
藻类及嗅味	化学预氧化、活性炭吸附	灭藻、除嗅、除味、除色、助凝
有机物	深度处理	利用氧化、吸附和生物作用去除有机物，进一步除嗅、除味

针对双水源的水质特点，总体工艺方案选择关注：

- 低温低浊水的处理
- 高藻期藻类的去除、臭味的控制
- 有机物的去除，重点包括藻类分泌物、藻毒素等的去除
- 消毒副产物的控制
- 具备前瞻性，重视微生物安全性

在强化常规处理的基础上，增加化学预处理、深度处理及安全消毒工序,形成总体工艺方案：

原水→化学预氧化→强化混凝沉淀→深度处理→安全消毒

三. 第十水厂工艺方案的选择:

4. 工艺单元方案的确定

4. 工艺单元方案的确定

(1) 化学预氧化技术选择

从以密云水库和河北四库水为水源并采用臭氧预氧化的水厂的出水指标以及丹江口基地试验结果看，均未检出嗅酸盐，采用臭氧预氧化不存在风险。

结论：可采用臭氧进行预氧化

三. 第十水厂工艺方案的选择:

4. 工艺单元方案的确定

(2) 强化混凝沉淀工艺的选择

为克服低温低浊原水反应效果差、不易沉淀的难点，必须提高固液分离效率：

提高沉淀效率方法：加大沉淀区表面积/提高絮粒沉降速度

澄清工艺采用接触絮凝方式，使澄清池中已存在的高浓度大絮粒群重新进入池内，与原水微絮粒相互接触、吸附，原水微絮粒被迅速吸附在大絮粒群上，絮体增大密实，提高絮粒沉速，使得沉淀效率显著提高。

澄清工艺是应对低温低浊原水的有效措施之一。

三. 第十水厂工艺方案的选择:

4. 工艺单元方案的确定

(2) 强化混凝沉淀工艺的选择

依照成熟可靠原则，选择在北京地区有使用业绩或进行过试验研究的澄清工艺进行必选：

机械加速澄清池

固体接触池

高密度沉淀池

微砂加重絮凝高效沉淀池

三. 第十水厂工艺方案的选择:

4. 工艺单元方案的确定

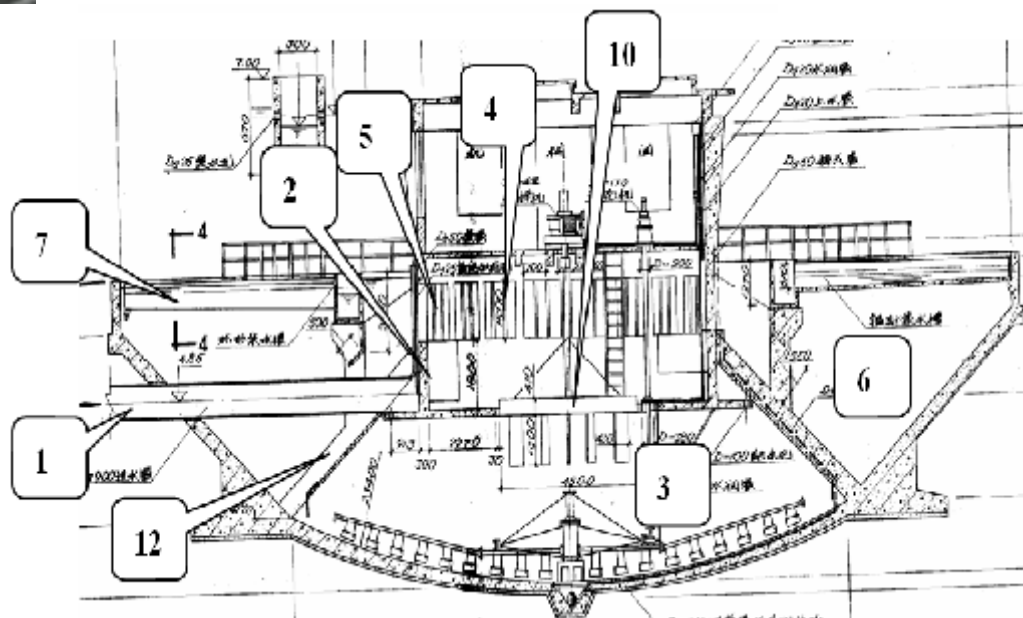
○ 机械加速澄清池

北京市市政设计院**1980**年编制标准图，全国曾广泛采用。

北京第九水厂、田村山水厂和门城水厂采用此种池型。

主要参数：泥渣内回流、回流倍数 $(3\sim 5)Q$ 、清水区上升流速 1.0mm/s

特点：结构复杂，水下机械部件维修量大。





机加池:

三年需停水检修一次，时间一周



三. 第十水厂工艺方案的选择:

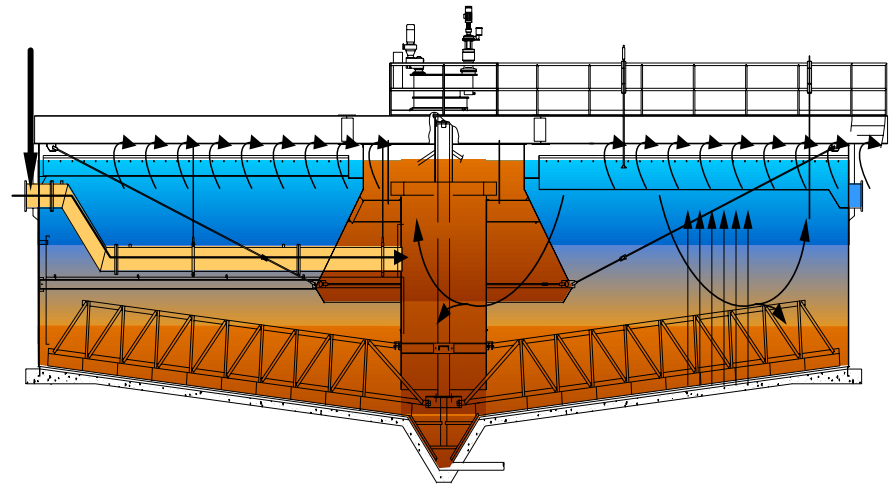
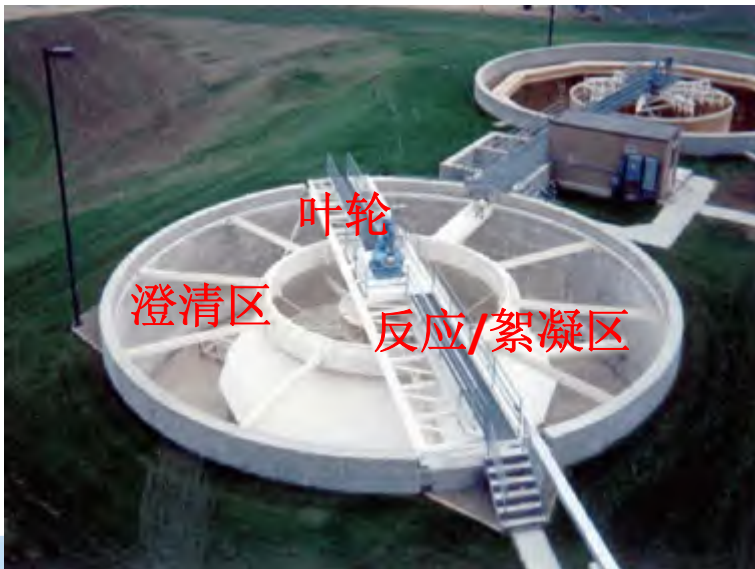
4. 工艺单元方案的确定

○ 固体接触池

北京第九水厂进行过近一年的中试 (20m³/h)

主要设计参数: 泥渣内回流、回流倍数(6~13)Q、清水区上升流速1.5mm/s

特点: 原理同机加池、结构紧凑, 混凝土部件少, 易于施工; 搅拌机/刮泥机同轴, 水下无需机械部件维修。国内应用业绩较少。



三. 第十水厂工艺方案的选择:

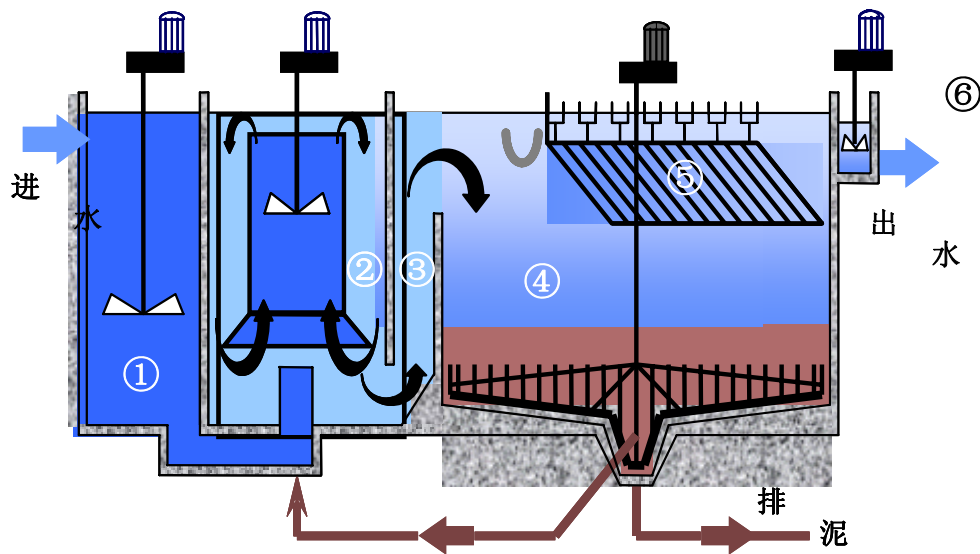
4. 工艺单元方案的确定

○ 高密度沉淀池

北京第三水厂 (15万 m^3/d)

主要设计参数: 污泥外部回流、回流比(1%~3%) Q 、清水区上升流速
(5~8) mm/s

特点: 泥渣外部回流, 回流量灵活可控、投加PAM、排放污泥含固率高

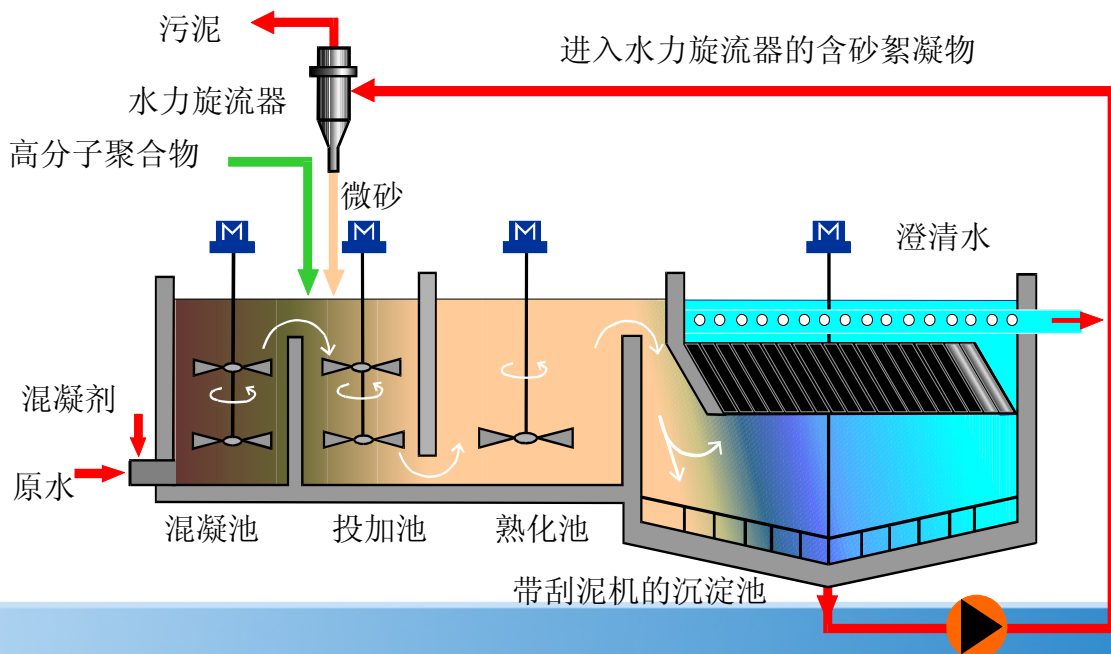


○微砂加重絮凝高效沉淀池

北京第九水厂（改造项目，50万m³/d）

主要设计参数：污泥外部回流、回流比(3%~6%)Q、清水区上升流速(10~16) mm/s

特点：泥渣外部回流，回流量灵活可控、补充投加微砂3mg/L、投加PAM



(2) 强化混凝沉淀工艺的选择

4. 工艺单元方案的确定

对以上四种池型进行以下方面比较：

- 处理效果（低温低油/含藻型原水适应性、耐冲击能力）
- 投资费用（土建、设备）
- 运行费用（电耗、药耗）
- 建筑面积
- 运行管理方便程度（北京地区运行经验是否丰富、设备维修量、检修频率等）

结论：

经综合比较，机械加速澄清池的运行管理简单，北京有丰富的运行经验，处理效果好、适应性强、设备少、投资低，第十水厂的混凝沉淀单元采用机械加速澄清池。

(3) 深度处理工艺选择

目前国内外理论研究和应用经验：当水源水质超过II类水体时，须采用**主臭氧+生物活性炭吸附**的深度处理技术才可满足水质标准中的COD_{Mn}指标。

深度处理技术可有效去除消毒副产物前体物等，明显改善感官指标（嗅、味等）。

利用生物活性炭表面的微生物降解AOC，提高水质的生物稳定性，保障管网水质安全。

结论：本工程深度处理工艺采用**主臭氧+活性炭吸附**技术

三. 第十水厂工艺方案的选择

4. 工艺单元方案的确定

(4) 消毒工艺选择

先进：适应原水水质变化和具有前瞻性。

安全：减少消毒副产物、“两虫”风险。

可靠：在氯、紫外线、二氧化氯和臭氧等主流消毒技术中，紫外线及其组合消毒技术消毒效率高、对“两虫”杀灭效果佳，不会产生有害副产物或产生消毒副产物少。

滤后水经紫外消毒后进入清水池，为保证管网内持续消毒效果，采用氯胺消毒。

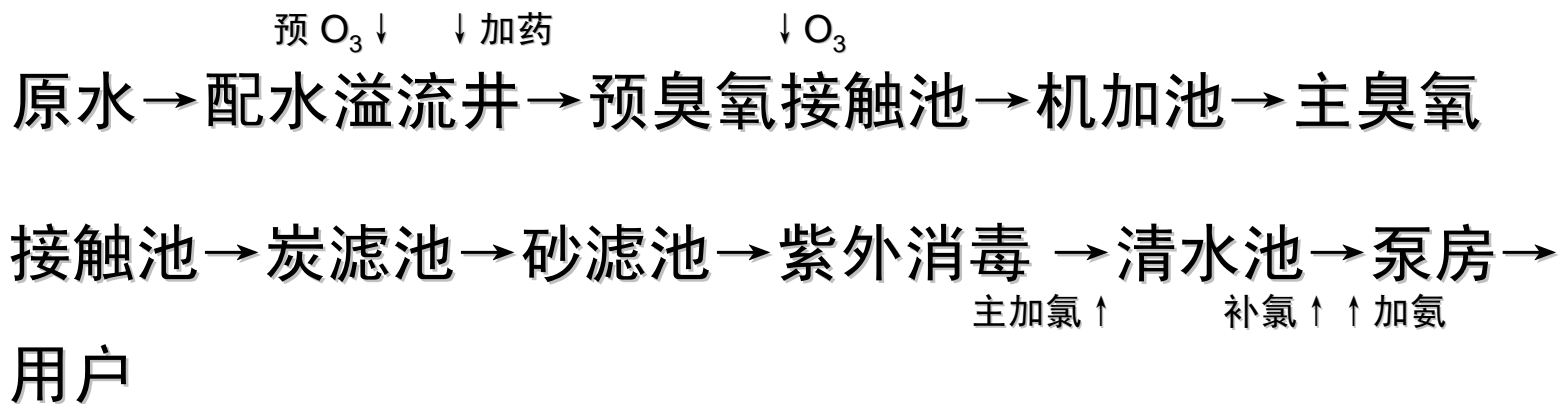
结论：本工程消毒工艺：紫外消毒+次氯酸钠+氯氨



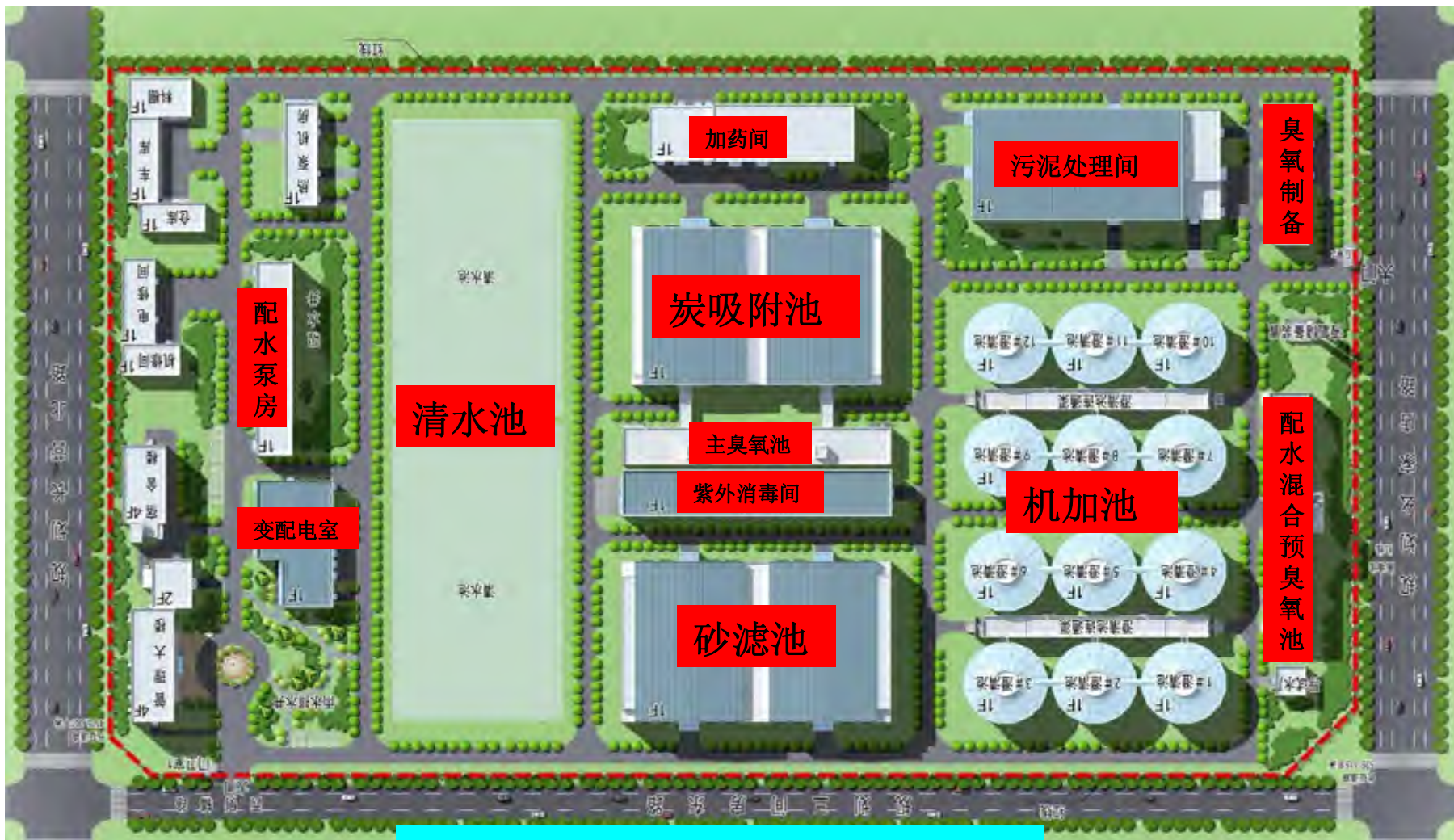
净水处理工艺流程

5. 工艺流程确定

经技术经济运行管理等综合比较，确定采用预臭氧氧化、机械加速澄清池、臭氧+活性炭滤池、砂滤池以及紫外+氯胺联合消毒的处理流程：



厂区占地面积约180亩（小于《城市给水工程项目建设标准》（建标120-2009）规定的195亩）。



北京市第十水厂厂平面图



北京市第十水厂鸟瞰图

- **配水溢流井 混合池 预臭氧接触池**

- **配水溢流井：**将进厂水均匀分为2个系列，设10mm间隙细格栅，溢流堰。
- **机械混合池**
2系列，共设4座机械混合池，单座混合时间30s。
- **预臭氧接触池**
采用密封式水池，有效水深6.0m，2系列，共4单元。
最大投加量0.5mg/L，接触时间6min。

• 机械加速澄清池

分为2系列，每系列6池。单座机加池清池直径29m。

- 二反应室提升水量：5Q
- 清水区上升流速：1mm/s
- 总停留时间：90min
- 搅拌机、刮泥机采用同轴结构

● 砂滤池

- 采用均质滤料气水反冲V型池，2系列对称布置，共24格，单格过滤面积112 m²。
- 滤速8.0m/h，过滤水头2.0m，石英砂 $d_{10}=1.0\text{mm}$ ，滤层厚度1.2m；

● 主臭氧接触池

- 采用密封式水池，有效水深6.0m，2系列对称布置，每系列2组。
- 最大投加量1.5 mg/L，接触时间12min。

● 炭滤池

- 2系列对称布置，共24格，单格过滤面积91 m²。
- 下向流型式，滤速10m/h；进水采用“丰”字渠式配水。
- 采用8×30目压块破碎活性炭，炭滤层厚度2.0m；接触时间12min。
- 活性炭层下部设30cm石英砂，降低生物泄漏风险。
- 冲洗采用炭池滤后气水反冲。

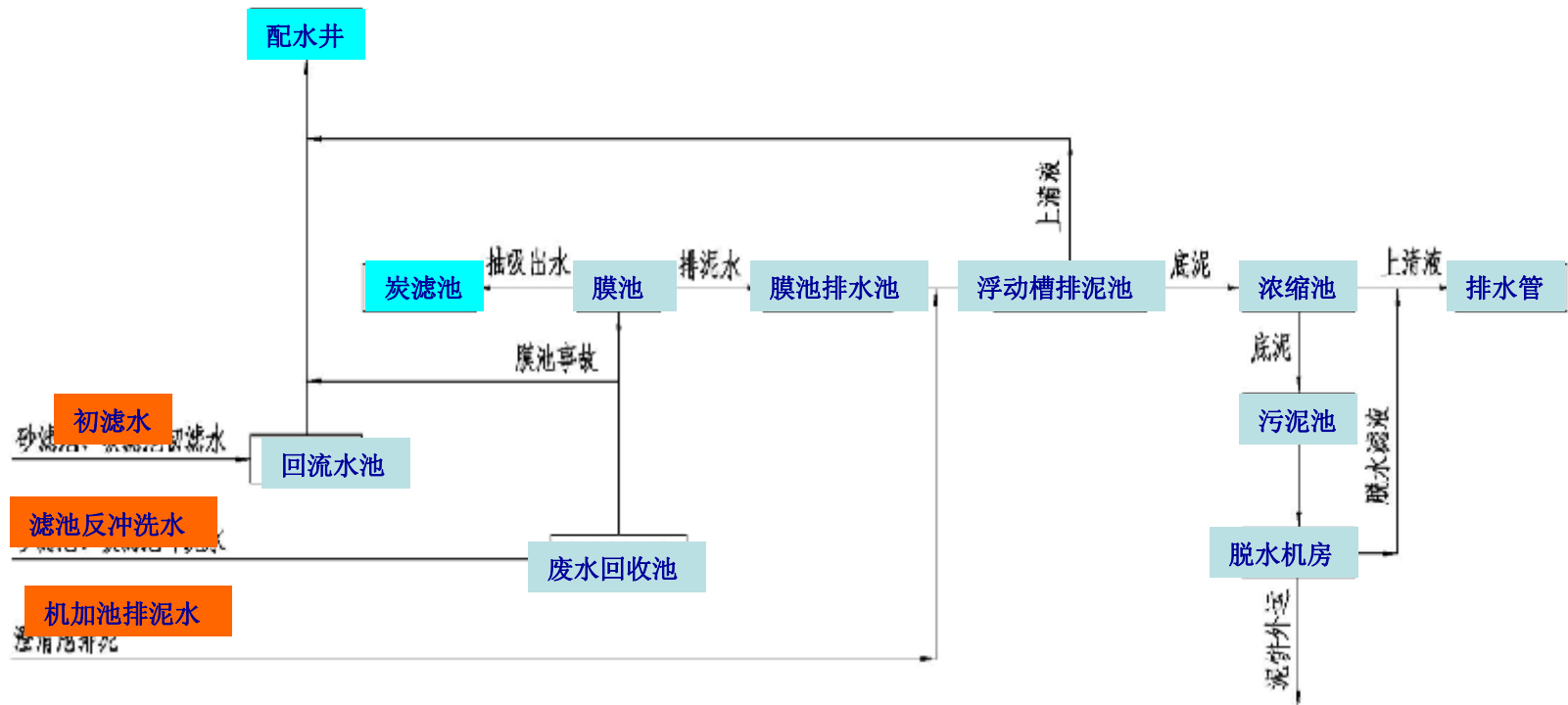
● 紫外消毒间

- 紫外线消毒间半地下式。
- 选用中压紫外灯。紫外有效剂量最低 40 mJ/cm^2
- 紫外线反应器数量：7套，规格：DN800。

● 臭氧制备间

- 采用液氧做为氧源。
- 预、主臭氧总投加率 2 mg/L 。
- 设3套 O_3 发生器，单台 14.3 kg/h ，臭氧浓度 $10 \text{ wt}\%$ 。

排泥水处理工艺流程



排泥水处理设计特点

- 污泥系统按原水浊度20NTU考虑，干泥量 18.33t/d 。
- 滤池反冲洗排水回流会导致化学物质、微生物在处理系统内的循环富集，对出水的生物安全造成隐患。为提高回用水的安全性，减少回用水对净水工艺的影响，采用浸没式超滤膜处理滤池反冲洗水，膜前预处理采用斜管沉淀，膜通量 $\leq 30\text{LMH}$ ，回收率90% 。
- 采用浮动槽排泥池，在进行调节的同时可进行初步浓缩（99.8%到99%） 。
- 为方便泥饼处置，泥饼含水率须小于60%。设板框脱水机2台，工作制16小时 。

谢谢
各位领导、专家及同仁！