

水厂智慧化解决方案

数据赋能 | 全程智控 | 绿色水厂

主要内容



水厂智慧化解决方案概述

智能加药控制

水平衡及泵组优化控制

滤池系统智慧化控制

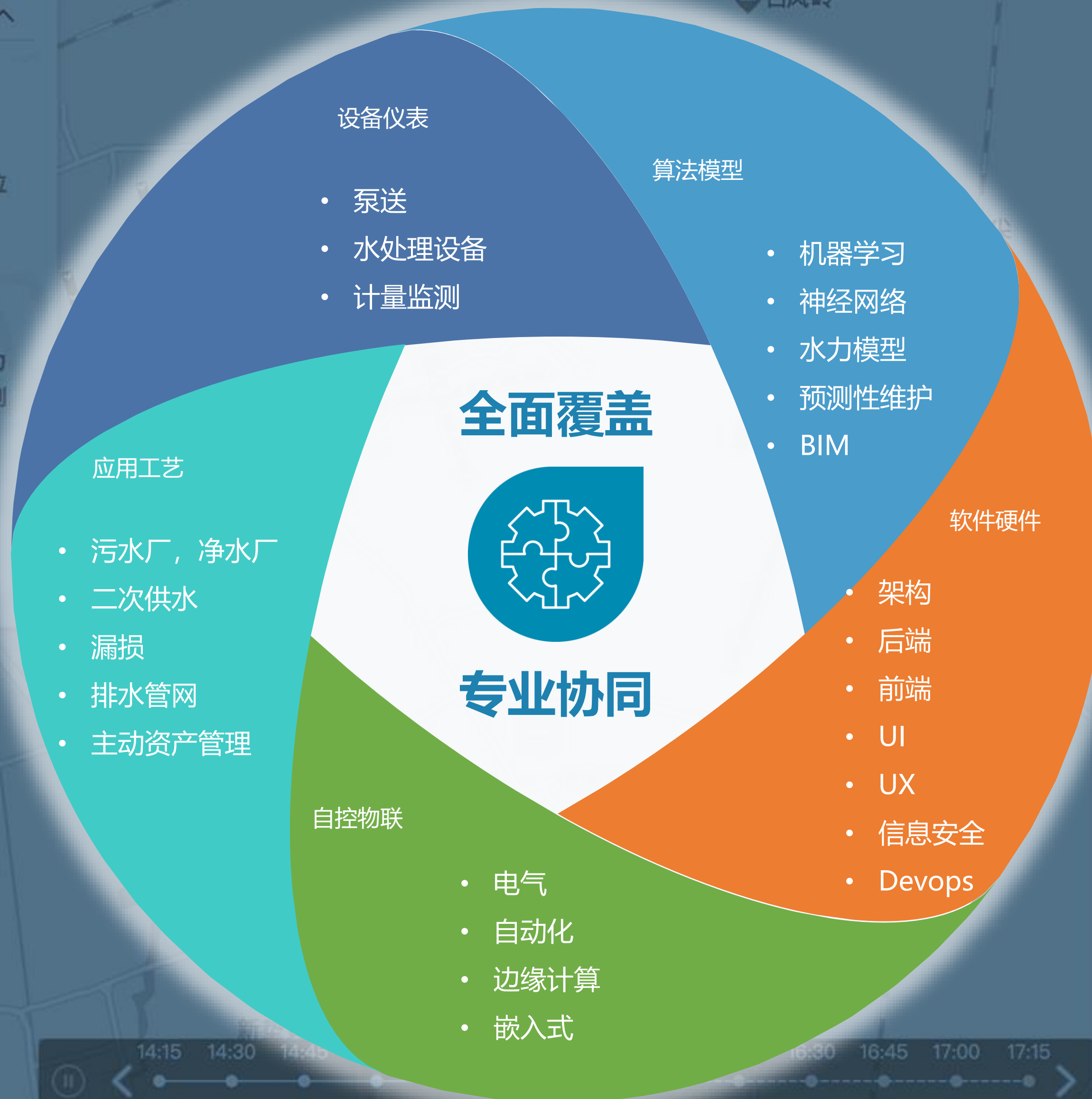
臭氧系统智慧化控制

水厂智慧化项目案例

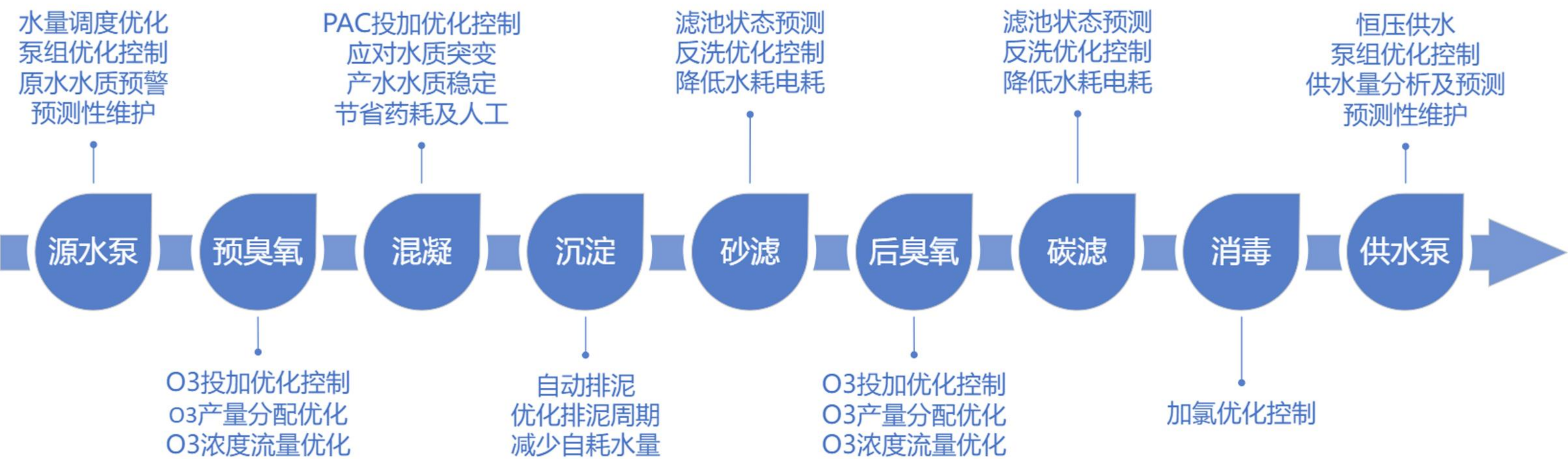
水厂智慧化方案概述

1

方案背后的故事：数字水务的核心能力



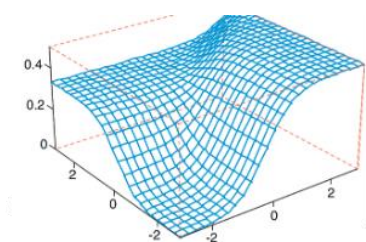
水厂智慧化、精细化运维的需求



智慧水厂解决方案：整合优势，数据创新

智慧加药控制

- 优化药剂投加量
- 提高出水水质



智慧滤池控制

- 预测并优化反冲洗排序
- 降低反冲洗能耗水耗



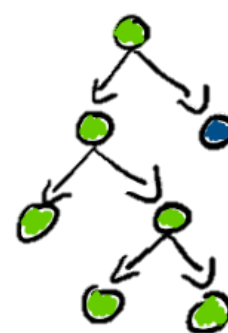
智慧泵组优化控制

- 优化水泵组合
- 降低能耗



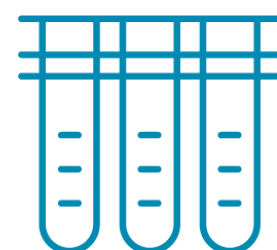
智慧水平衡

- 预测供水量
- 减少工艺线流量波动



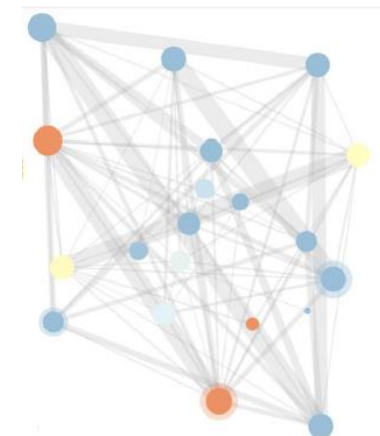
智慧臭氧控制

- 臭氧系统优化运行
- 三维可视化运维
- 预测性维护



智慧资产管理

- 主动的资产管理决策支持

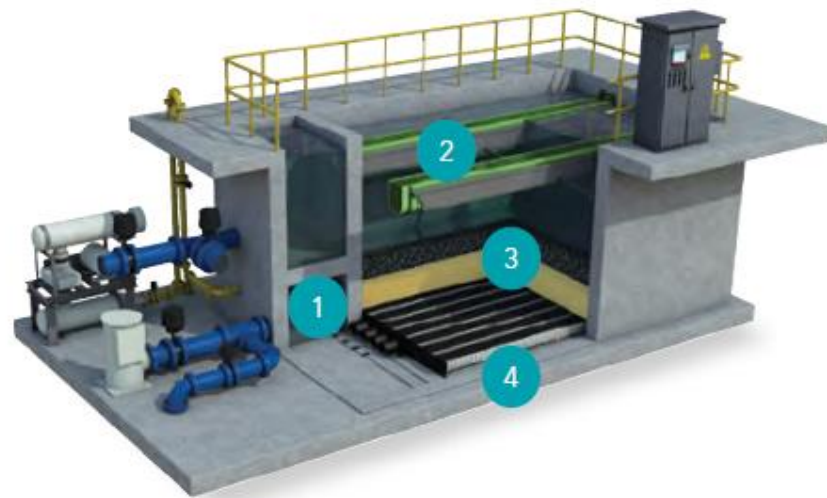


WTW



AWS

FLYGT



LEOPOLD



WEDECO



Wallace & Tiernan

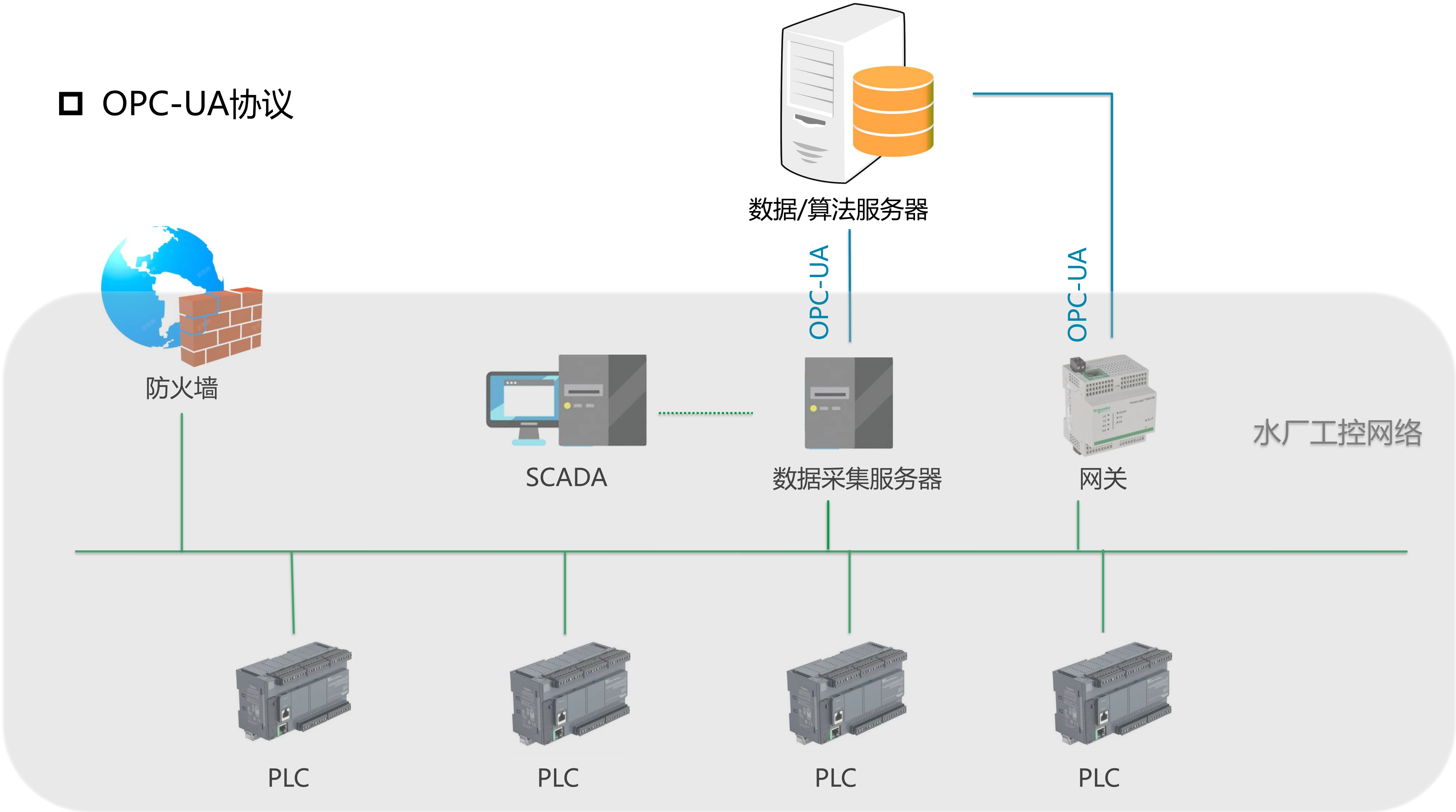
系统整体架构

厂级边缘计算：兼顾响应速度和数据安全

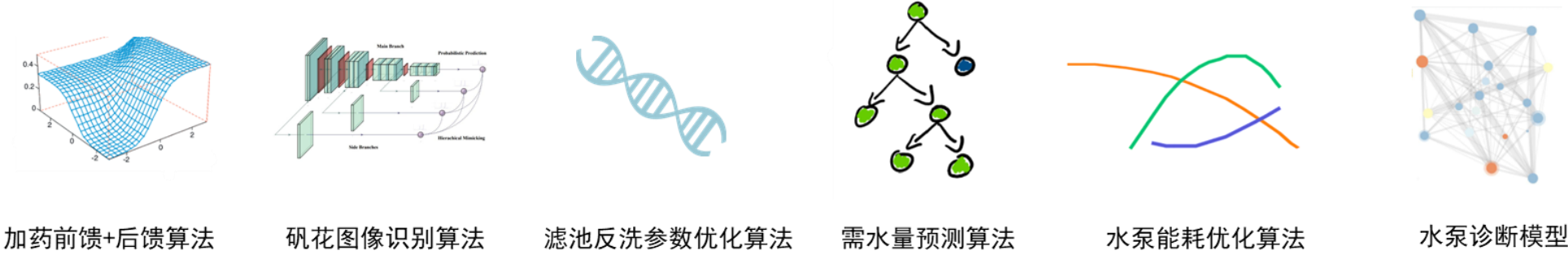


传输层：算法服务器与工控网络双向通讯

□ OPC-UA协议



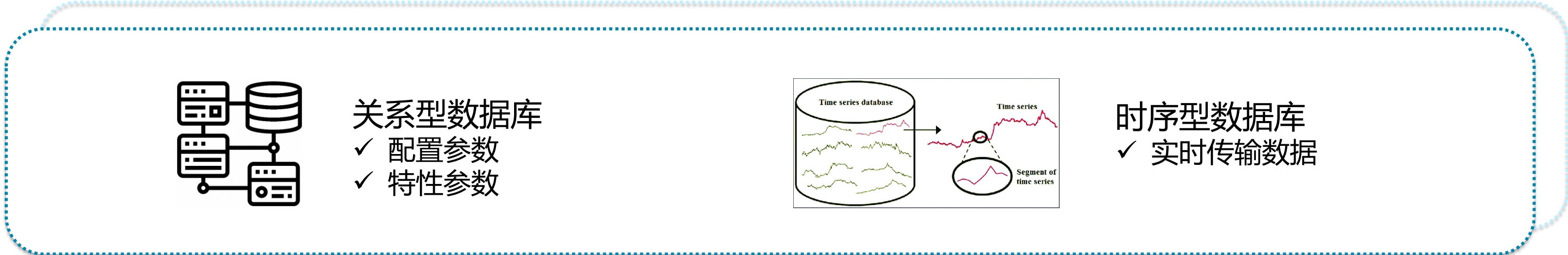
数据层：系统专属数据管理



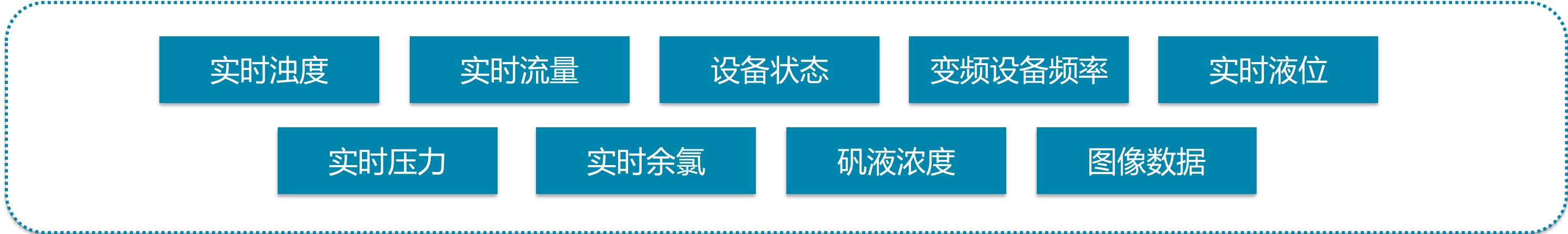
预处理



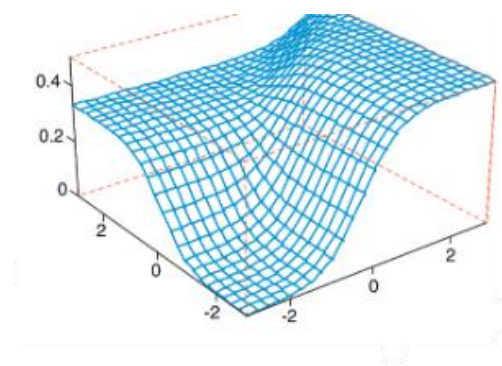
存储



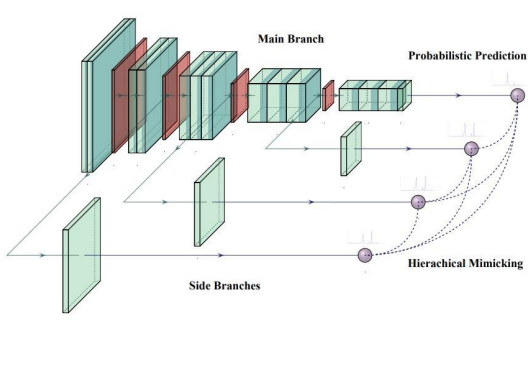
数据



算法层：实时计算输出决策建议



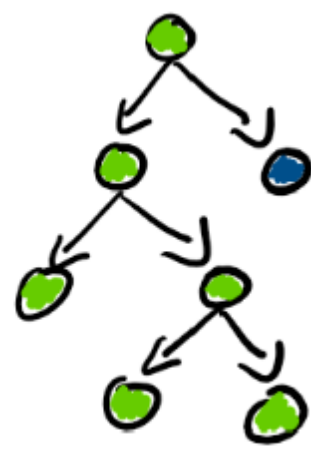
加药前馈+后馈算法



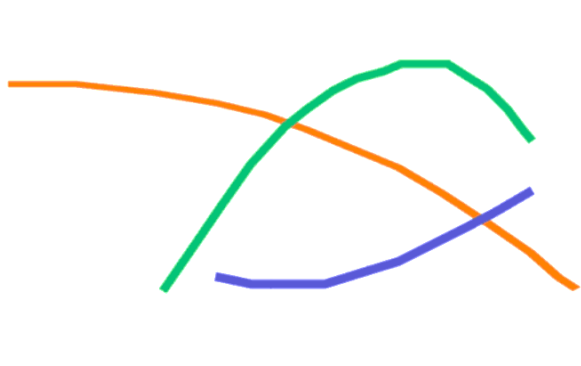
矾花图像识别算法



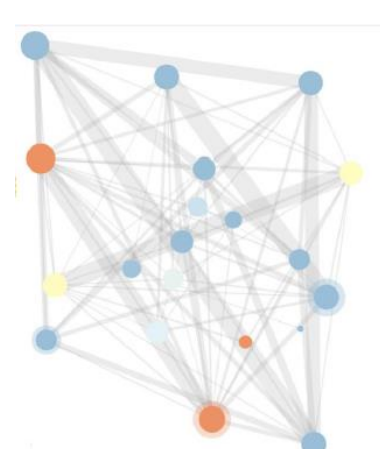
滤池反洗优化算法



需水量预测算法



水泵能耗优化算法



• 水泵诊断模型

辅助决策

• 建议投加量

• 矾花质量

• 滤池健康度
• 反洗排班计划

• 未来24h小时需水量
• 未来原水调度计划

• 最优泵组效率

• 水泵健康度
• 水泵性能评估
• 水泵维护建议

自控指令

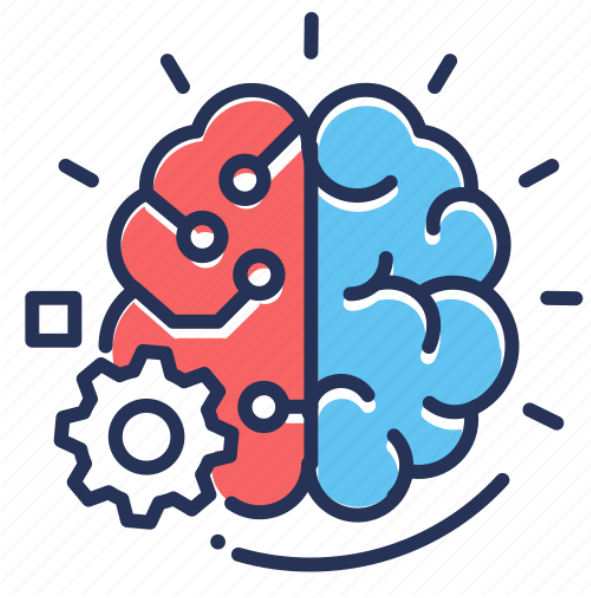
• 加药泵流量

• 反洗启动时间
• 气冲时间
• 气水冲时间
• 水冲时间

• 水泵启停
• 水泵转速

应用层：控制模式切换

系统
切换



智能控制



自动控制



人工控制

系统耦合
保障安全

模式
切换



建议药剂投加量：
✓ 经济模式
✓ 最佳水质模式

自主选择
偏好建议

智能加药控制

2

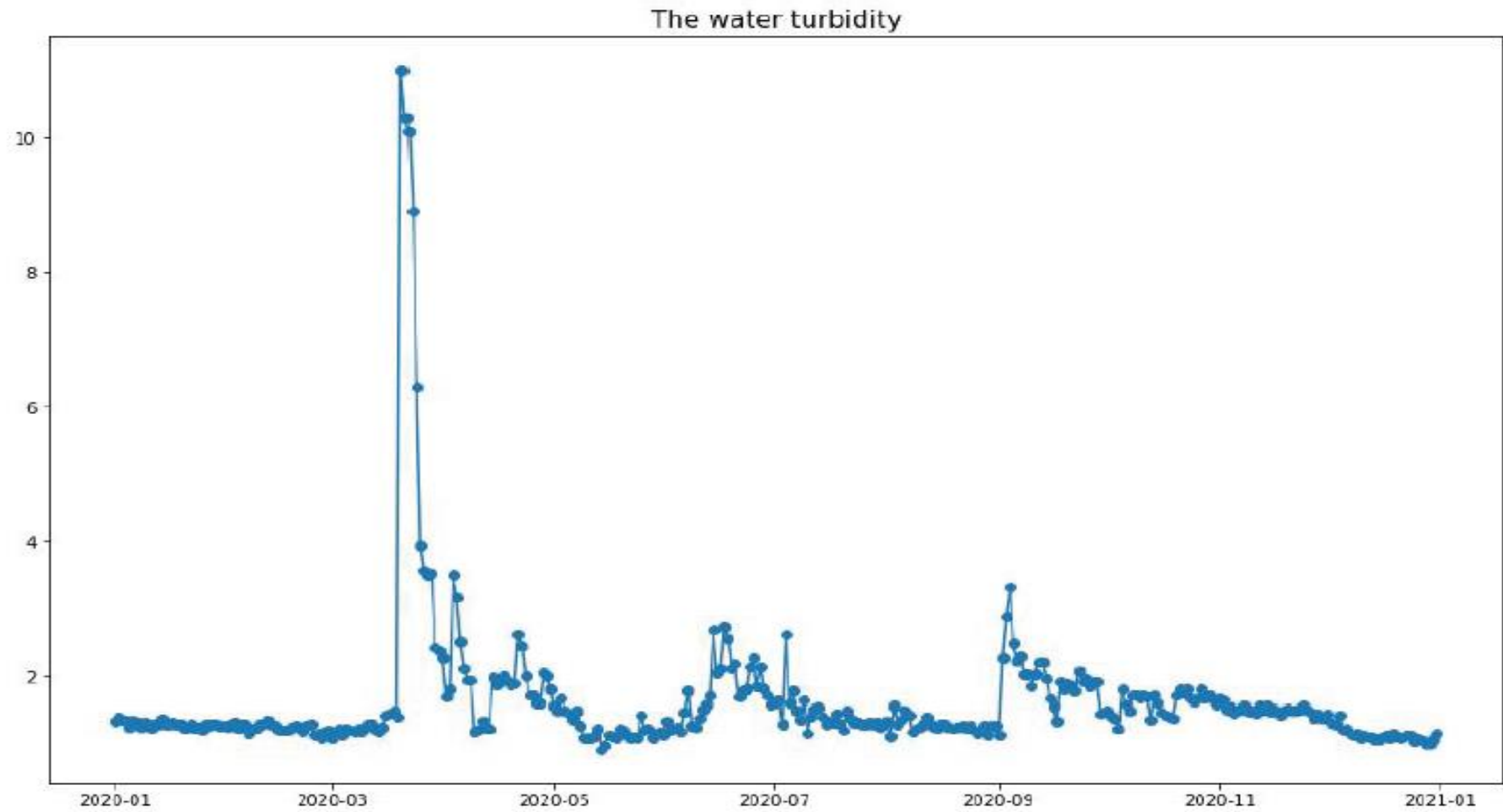
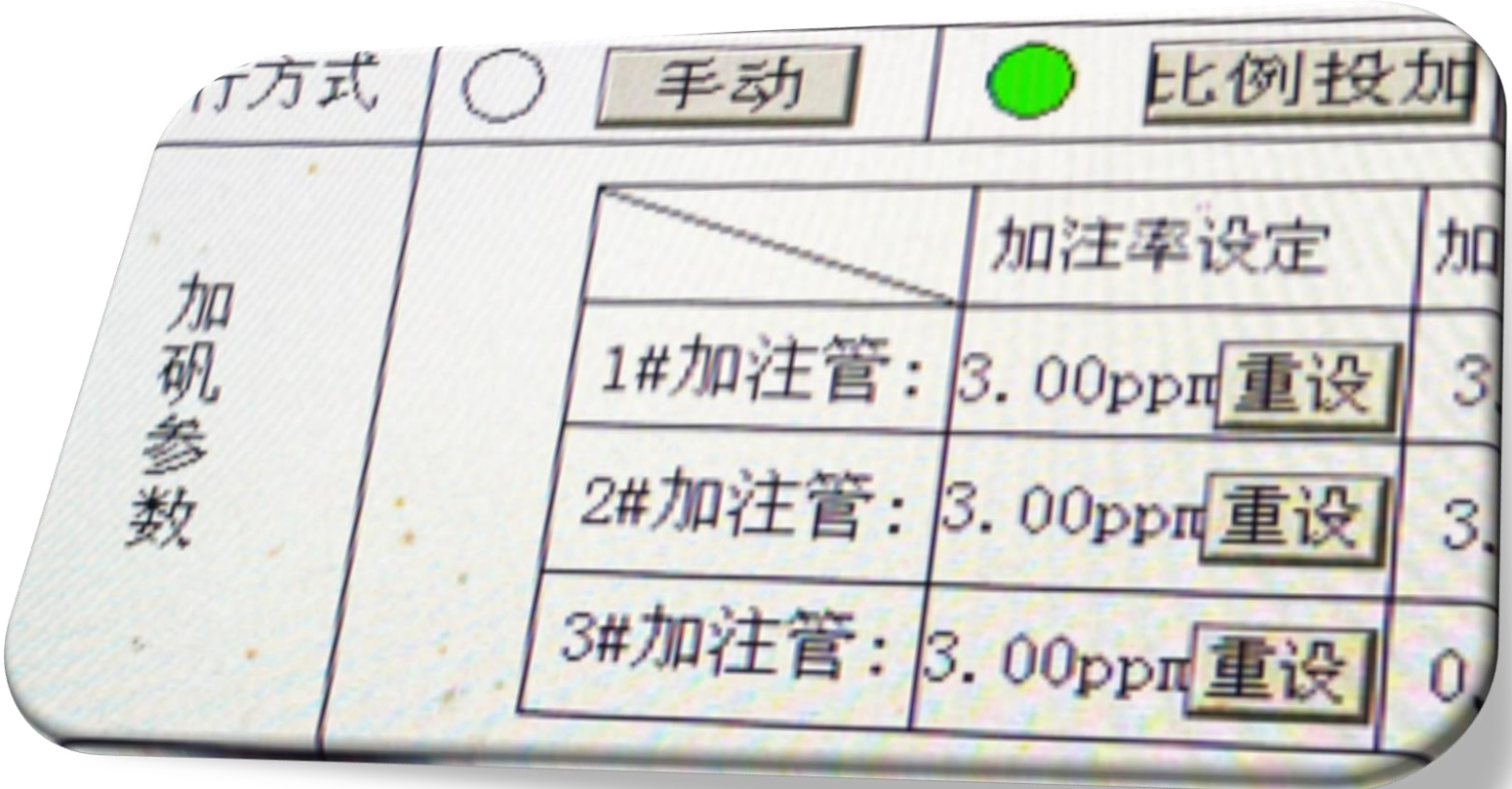
人工运行：药剂投加量与实时变化的水量水质不匹配

□ 现状：

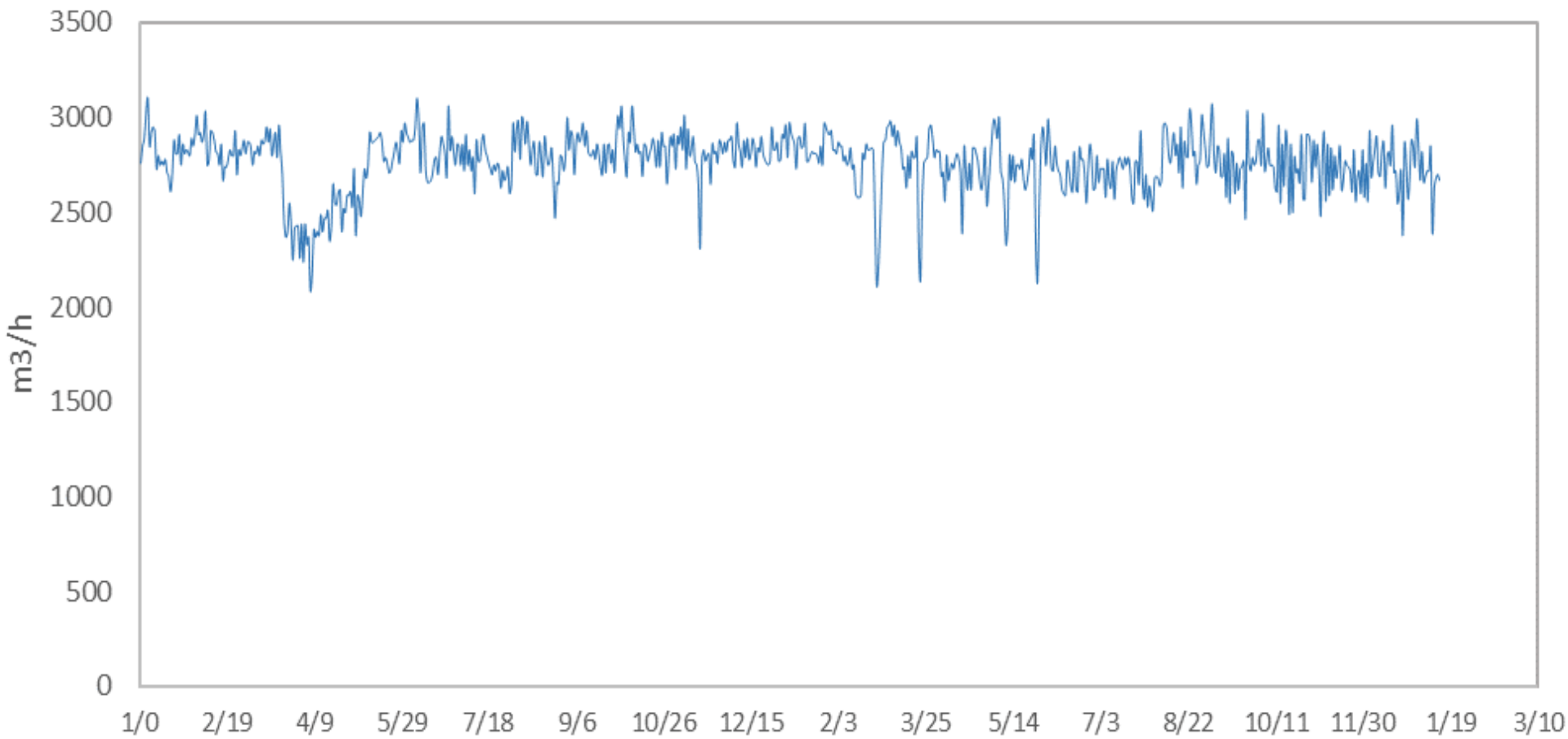
- 人工设定投加量
- 人工设定相对流量的固定投加比率

□ 问题

- 原水水量波动频繁，原水水质存在突变
- 投加量不匹配导致不稳定的出水水质和药剂浪费



原水浊度日变化



原水流量月度变化

水厂加药控制的特征及难点

大滞后.

- 沉淀过程存在很长的时间，纯滞后时间多达1~2小时。在取水流量、水质均稳定的情况下，改变絮凝剂的投加量，沉淀池出口浊度发生变化的纯滞后时间多达1~2小时甚至更长时间；

非线性.

- 加药泵、阀等设备具有严重的非线性特征会对加药产生影响；

唯一指标.

- 仅以沉淀池出水浊度为参考指标

大惯性.

- 通常可数小时或更长时间。如果采用人工控制加药量、简单的流量比例的方式控制加药量，出水指标很容易偏离目标，且很难调整在目标值附近；

受众多因素影响.

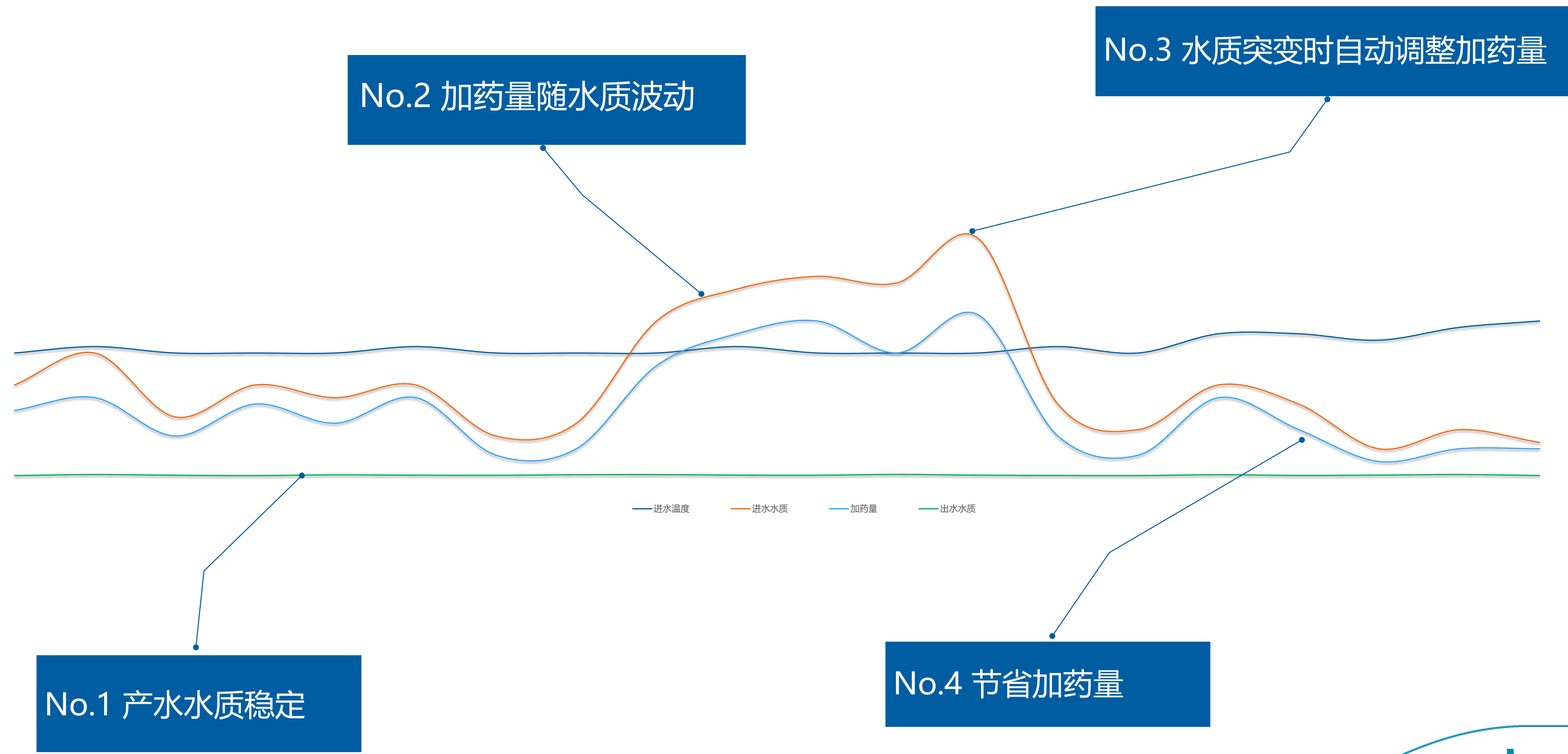
- 主要有原水的浊度、pH值、碱度、电导率、水温、悬浮杂质的类别及混凝的时间、水力条件等

唯一控制量.

- 仅可以调节絮凝剂的投加量。

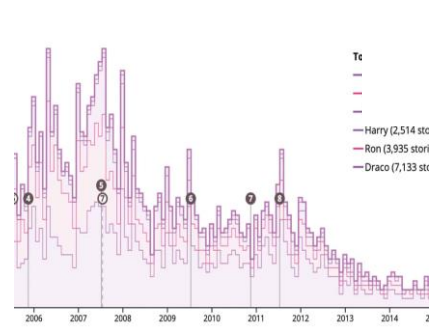


智能加药概述



智能加药模块：寻找最优药剂投加量

- 根据实时进水流量和水质计算最佳投加浓度，避免药剂浪费
- 保障出水水质平稳达标



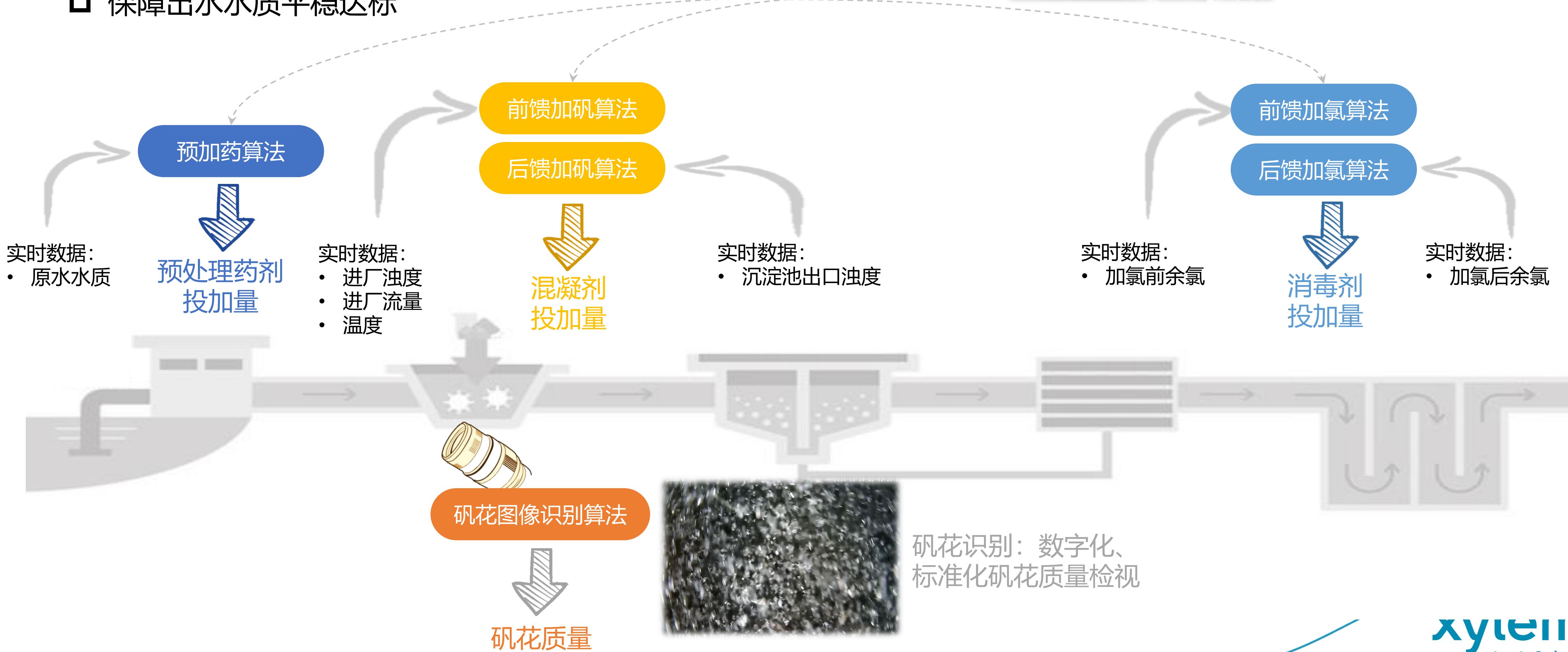
历史数据



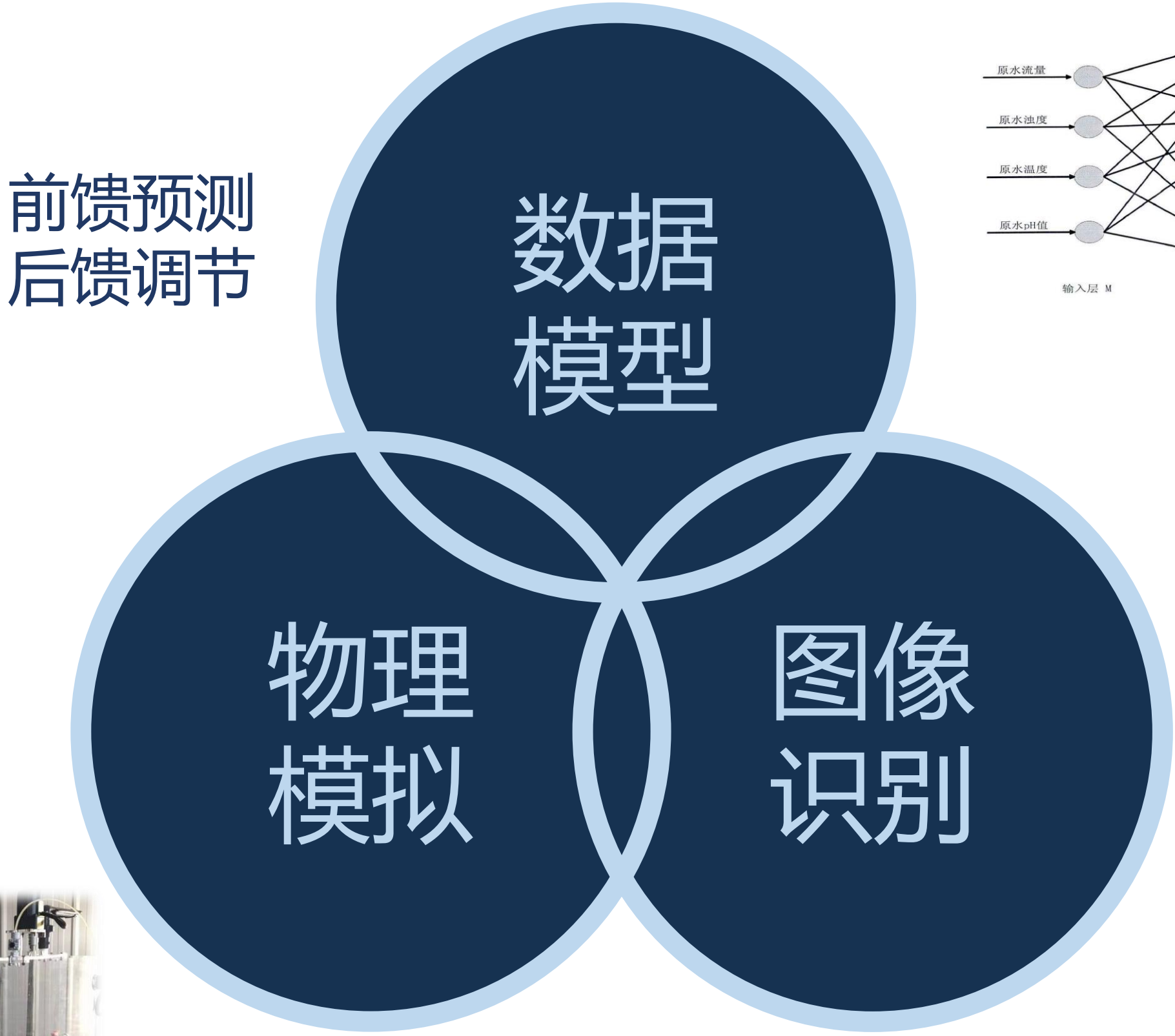
在线实验数据



在线实验：为算法参数率定提供依据

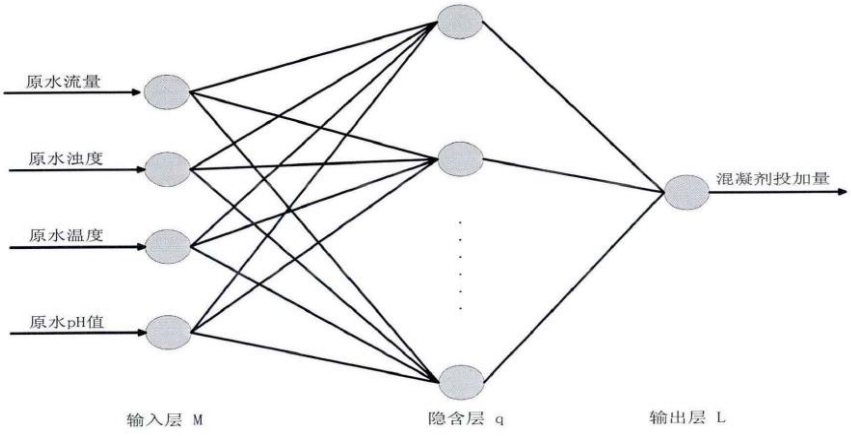


智能加药概述



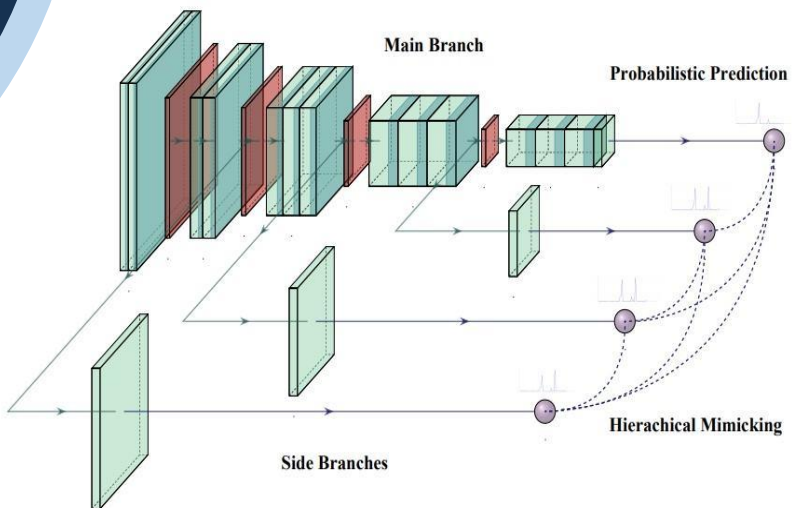
应对水质突变
在线模拟装置

实时矾花监控
评估混凝效果



稳定出水水质

降低药剂成本

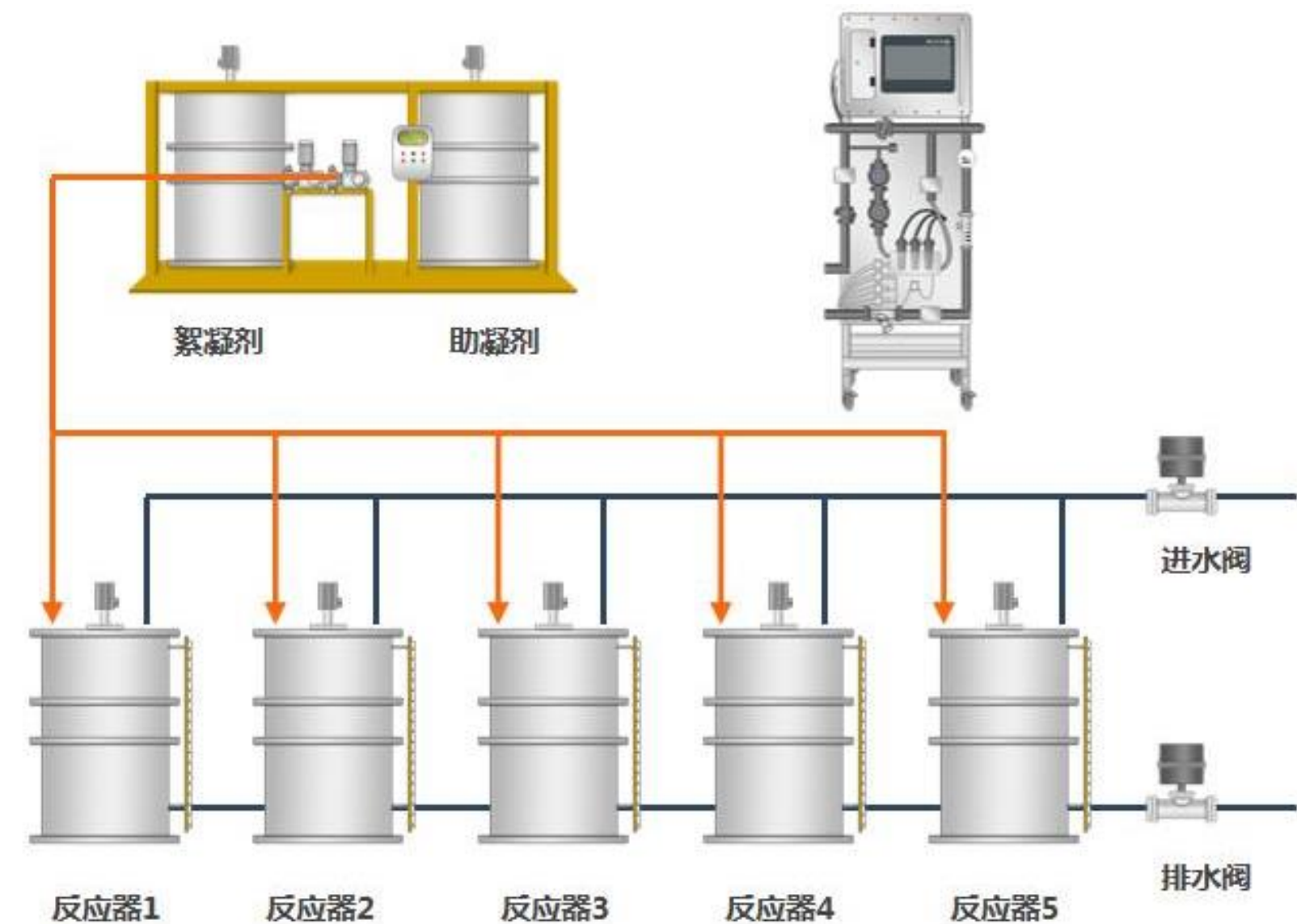
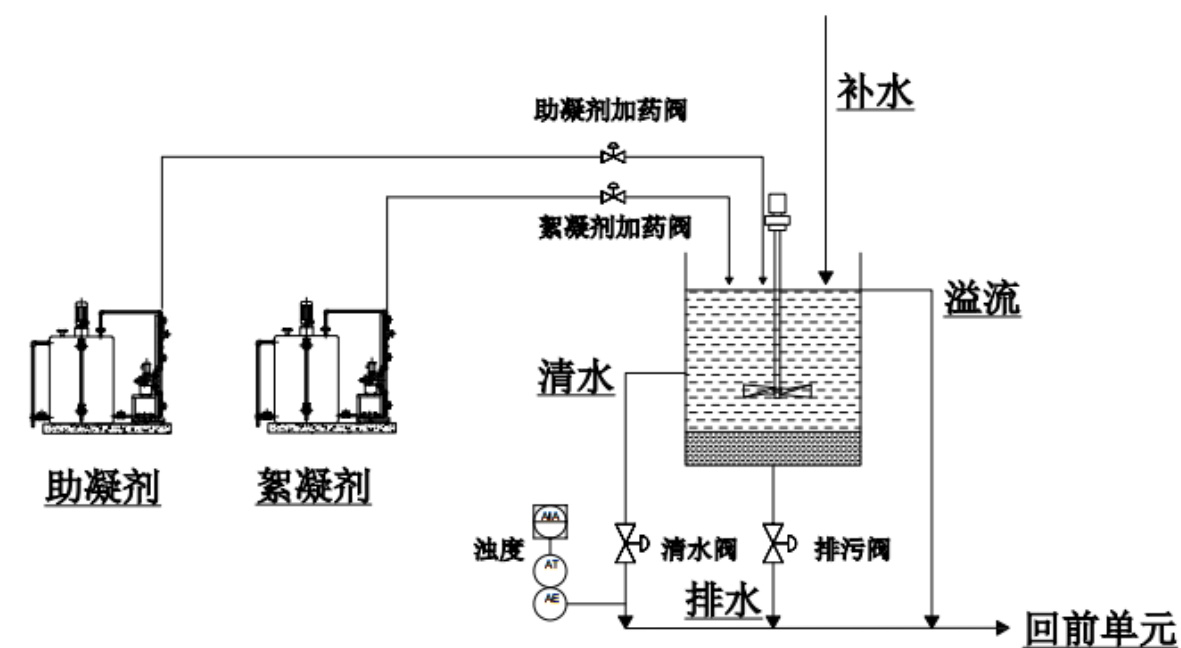
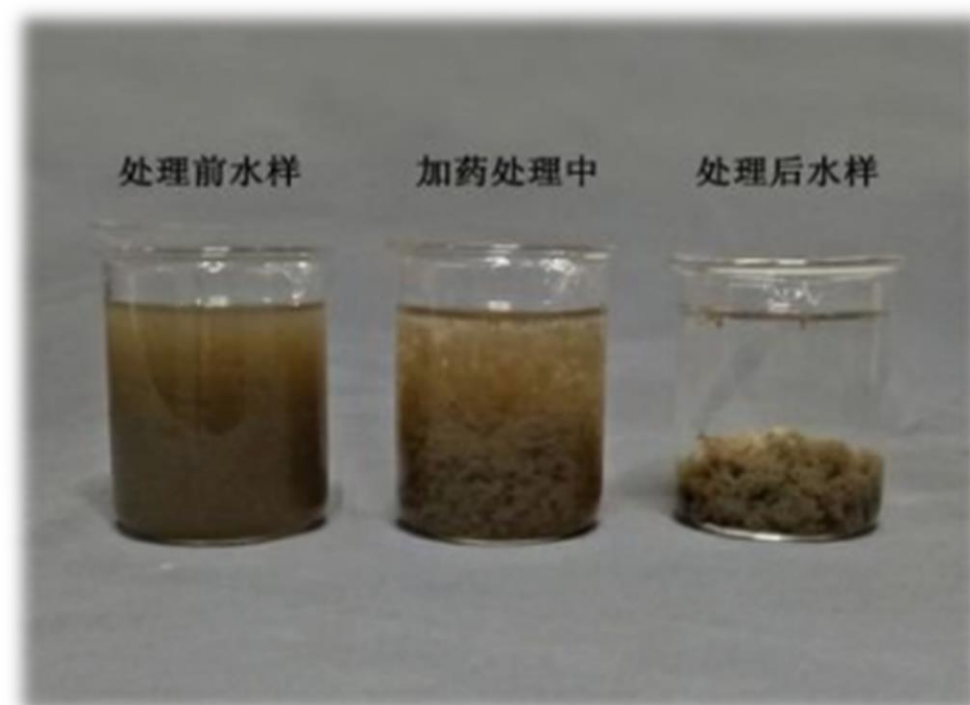


在线物理模型技术

- 在线启动运行，应对异常及突变水质
- 积累大量数据，为后续算法训练做准备

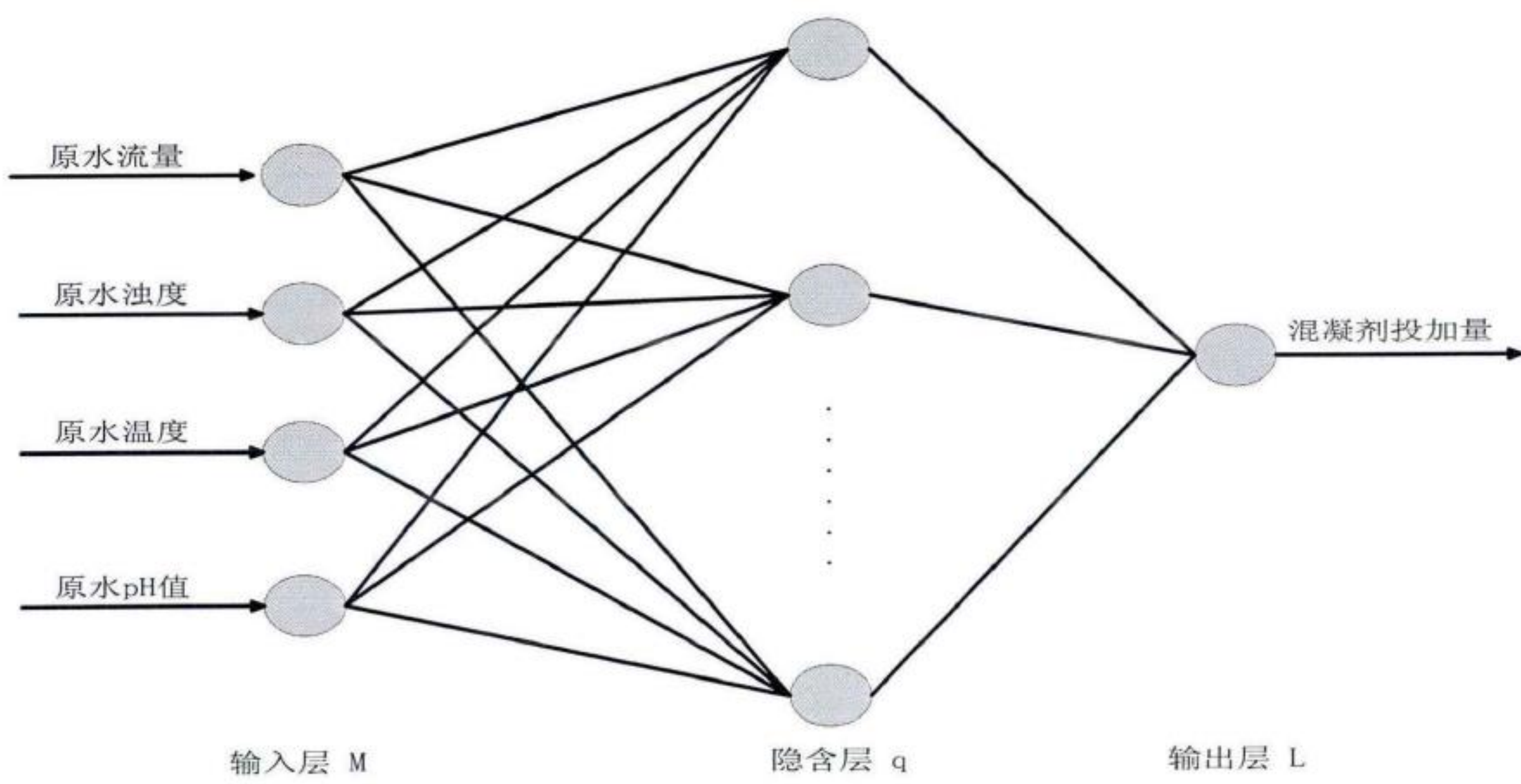


最佳投加量实验机理



神经网络预测加药量

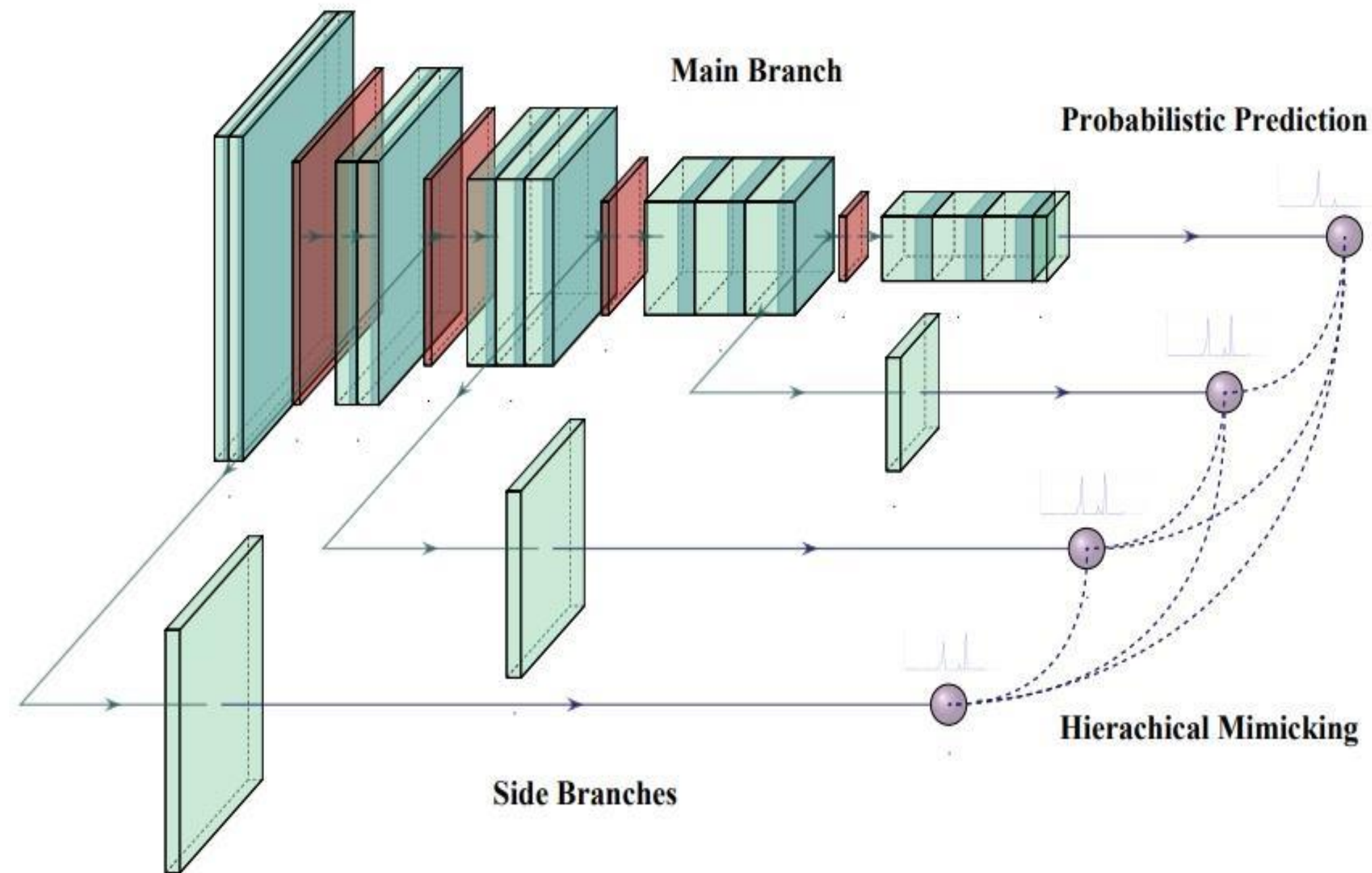
□ 建立原水监测量与加药量之间的关系



在线物理模型装置输出

序号	原水流量 (m ³ /h)	原水浊度 (NTU)	原水温度 (°C)	原水pH值	期望输出 投药量(mg/l)
1	2130	20.99	17.6	6.9	44.6
2	2098.5	20.41	18.3	7.0	46.6
3	2046.2	19.61	18.8	6.8	39.792
4	2116.4	19.85	19.0	7.1	38.496
5	2116.7	19.18	19.2	7.3	38.904
6	2046.4	18.42	19.5	7.2	35.772
7	1987.5	17.27	21.4	7.0	30.824
8	1600	15.04	22.6	6.7	25.44
9	1421	14.14	23.5	6.5	22.42
10	1287.9	14.15	20.63	7.1	23.048
...	...	...	...	...	...
96	2023.4	20.37	17.0	7.2	36.344
97	2014	20.99	19.2	7.4	44.14
98	2054	21.88	20.6	7.2	44.3
99	2020	23.93	21.3	7.3	44.324
100	2100	22.6	22.5	7.0	44.504

矾花识别技术

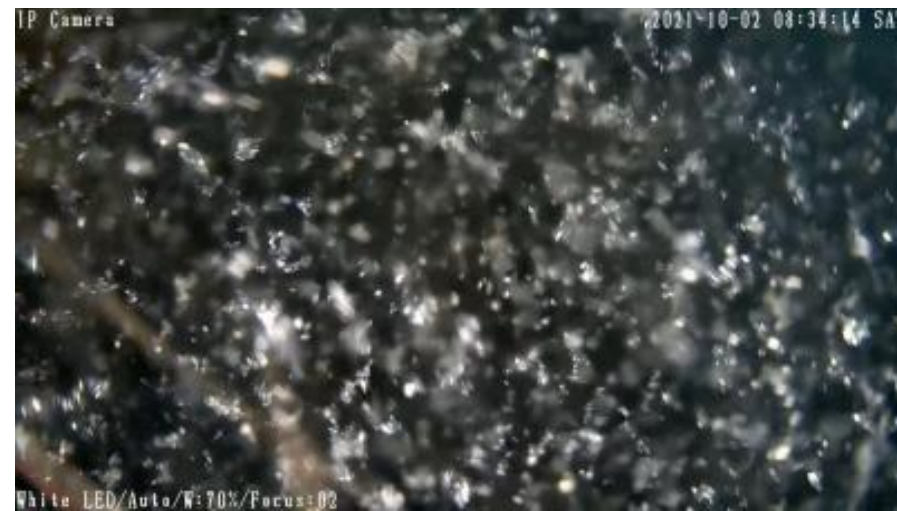


深度神经网络



- **实时性**：将工程师的经验转化为实时的监控；
- **标准化**：去掉人为判断的不确定、不统一性；
- **智能化**：可以实时根据矾花的状态，智能控制调节工艺运行、做出加药运行诊断。

矾花识别技术



辨识标签：密实
识别精度：91%



辨识标签：中片
识别精度：92%



辨识标签：大片
识别精度：95%



辨识标签：不均
识别精度：90%



辨识标签：稀疏
识别精度：95%



辨识标签：藻类
识别精度：96%

智能加药控制系统界面

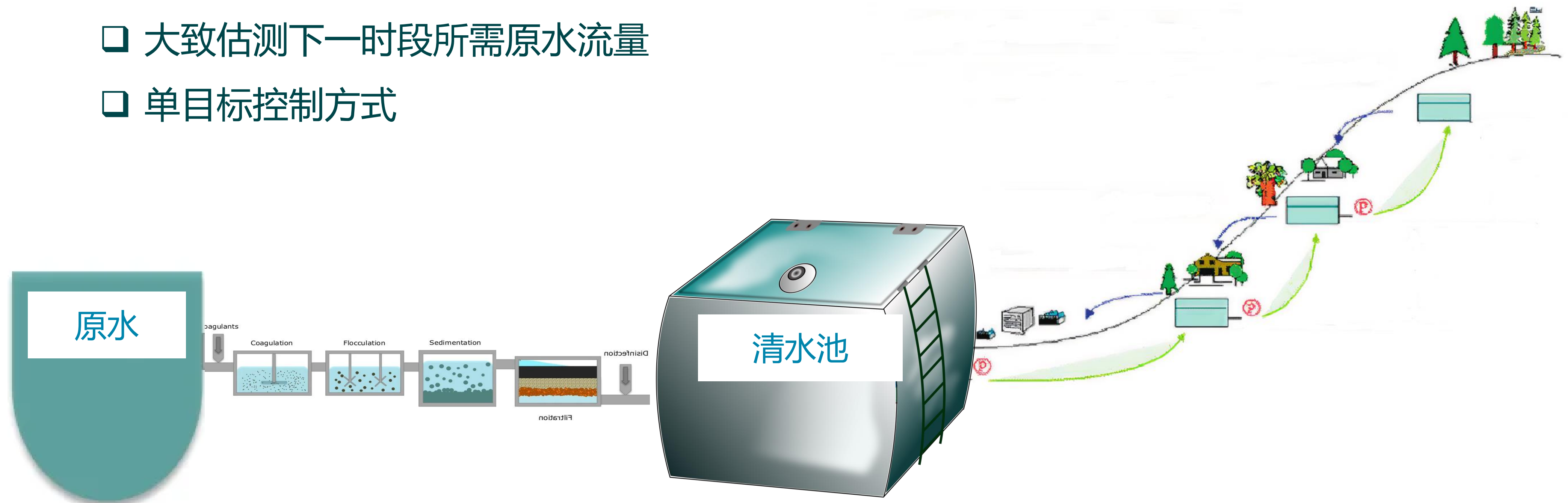


水平衡及泵组优化控制

3

被动的运行方式：工艺处理流量不稳定，原水调度计划滞后

- ❑ 管网需水量确定清水池出水量
- ❑ 清水池上下限液位控制调蓄容量
- ❑ 大致估测下一时段所需原水流量
- ❑ 单目标控制方式



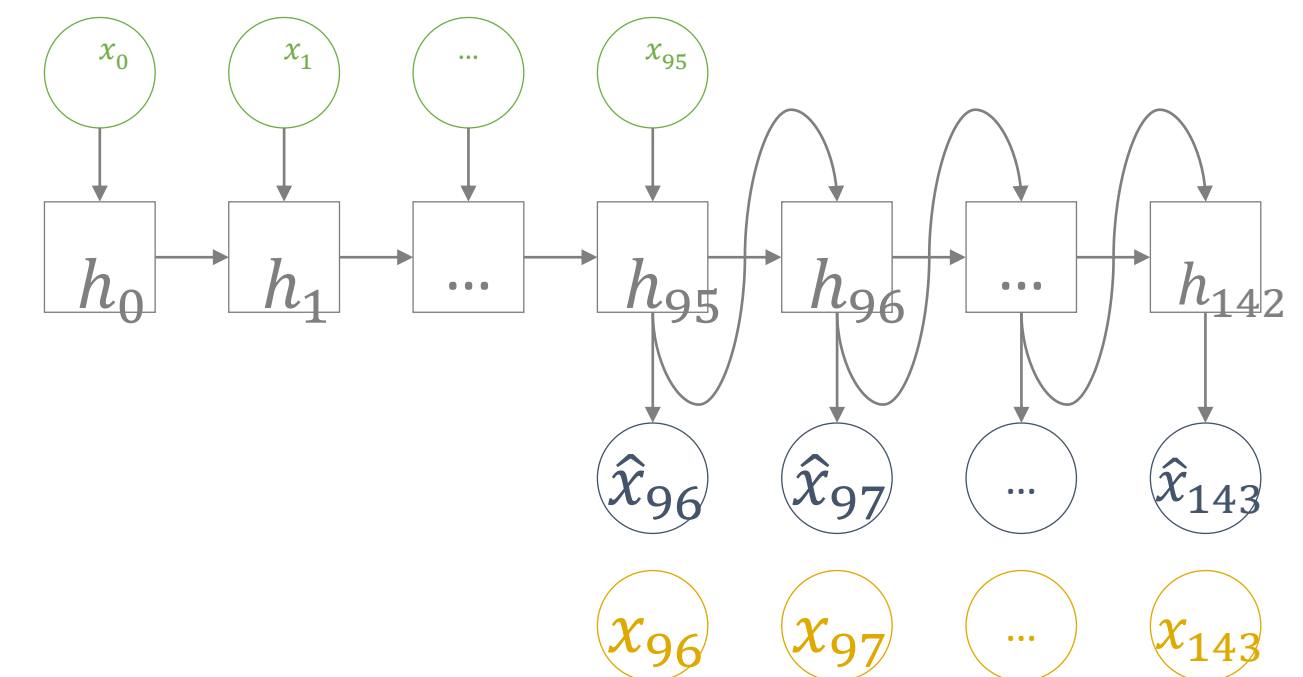
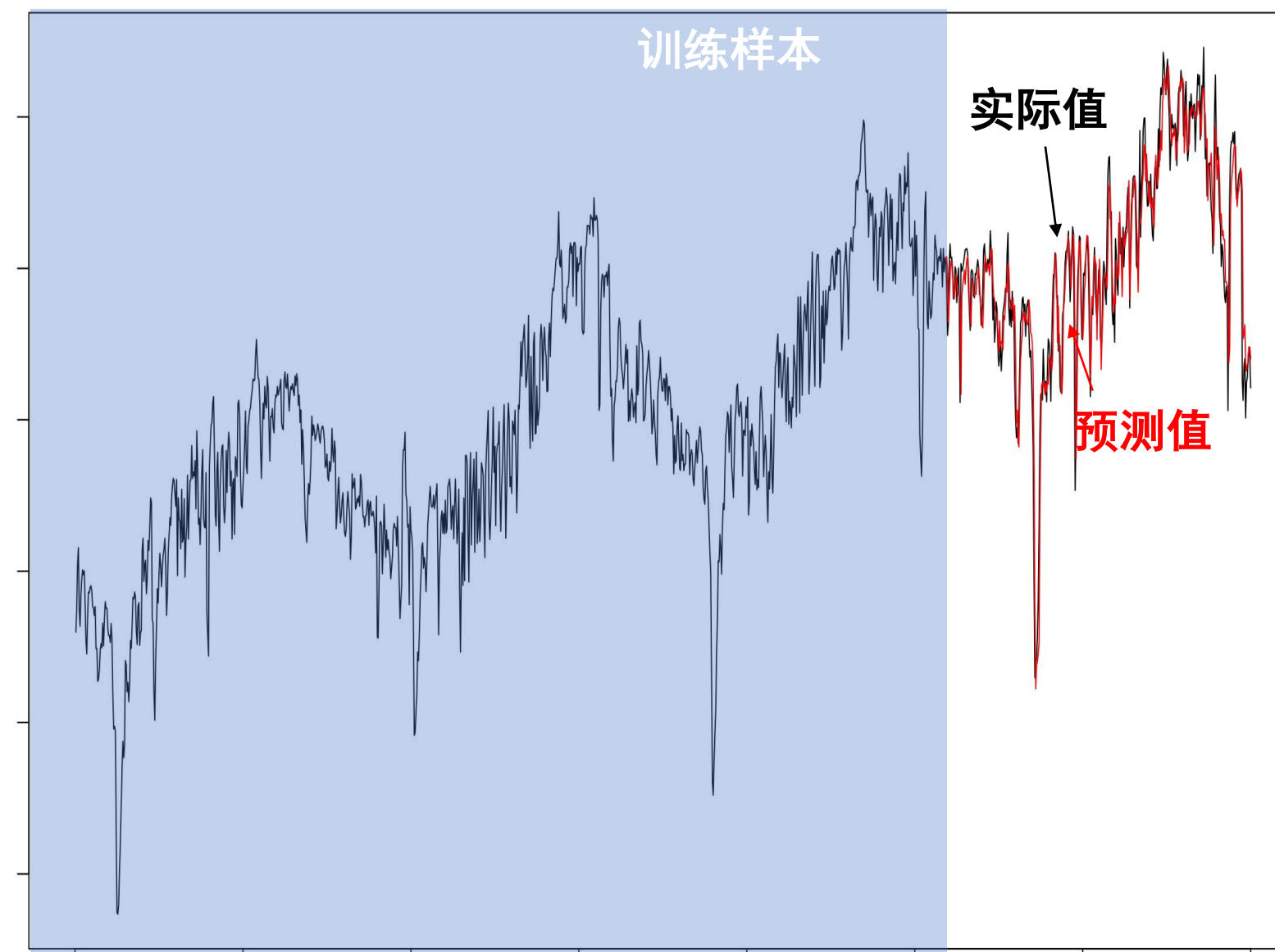
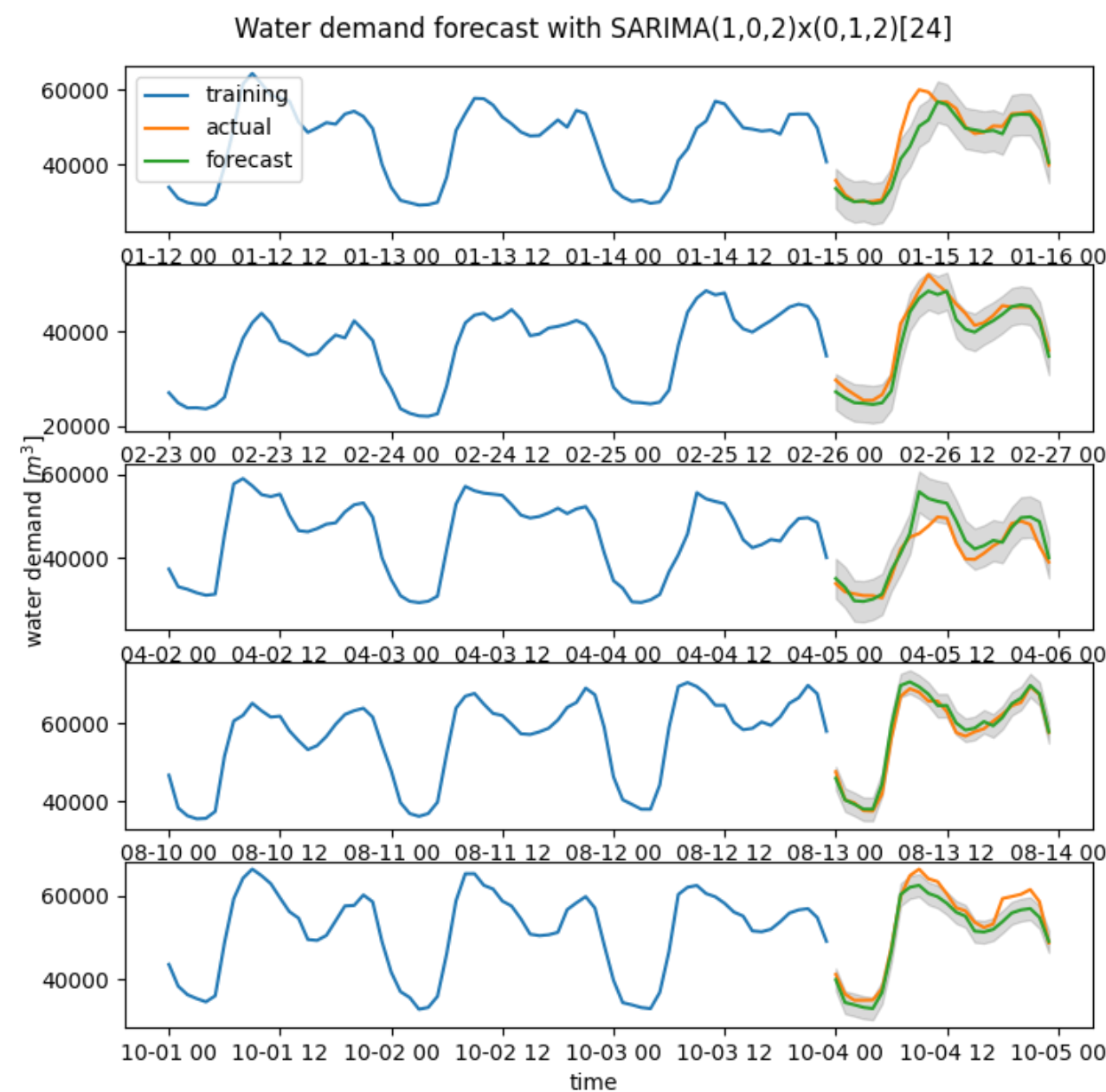
需水量预测模型

❑ 基于数据驱动模型的用水量预测为原水调度、各工艺段的优化运行提供预测支撑

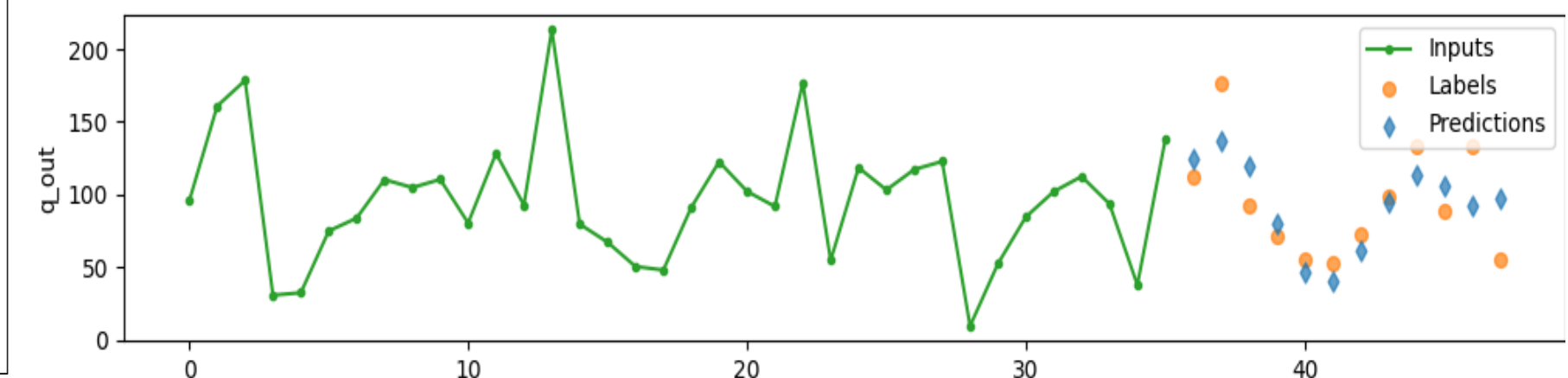
利用水厂供水片区历史供水数据，结合天气数据、节假日和社会活动等通过机器学习算法，预测未来一段时间的动态需水量。

根据数据条件选择用水量预测建模方法

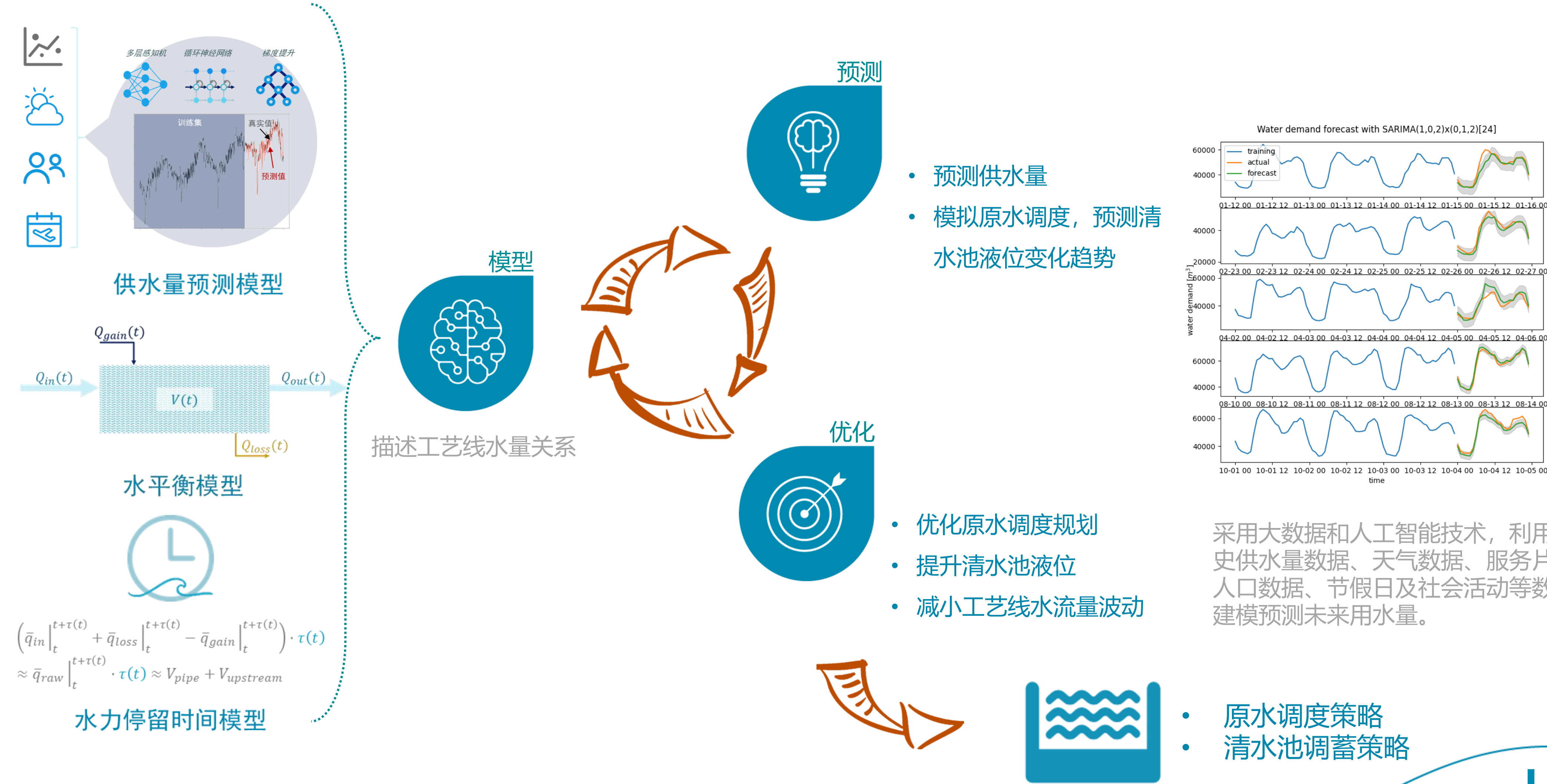
- SARIMA模型
- 循环神经网络
- 梯度提升框架 (LightGBM)



Autoregressive LSTM



智能水平衡模块：预测未来供水量，优化原水调度规划

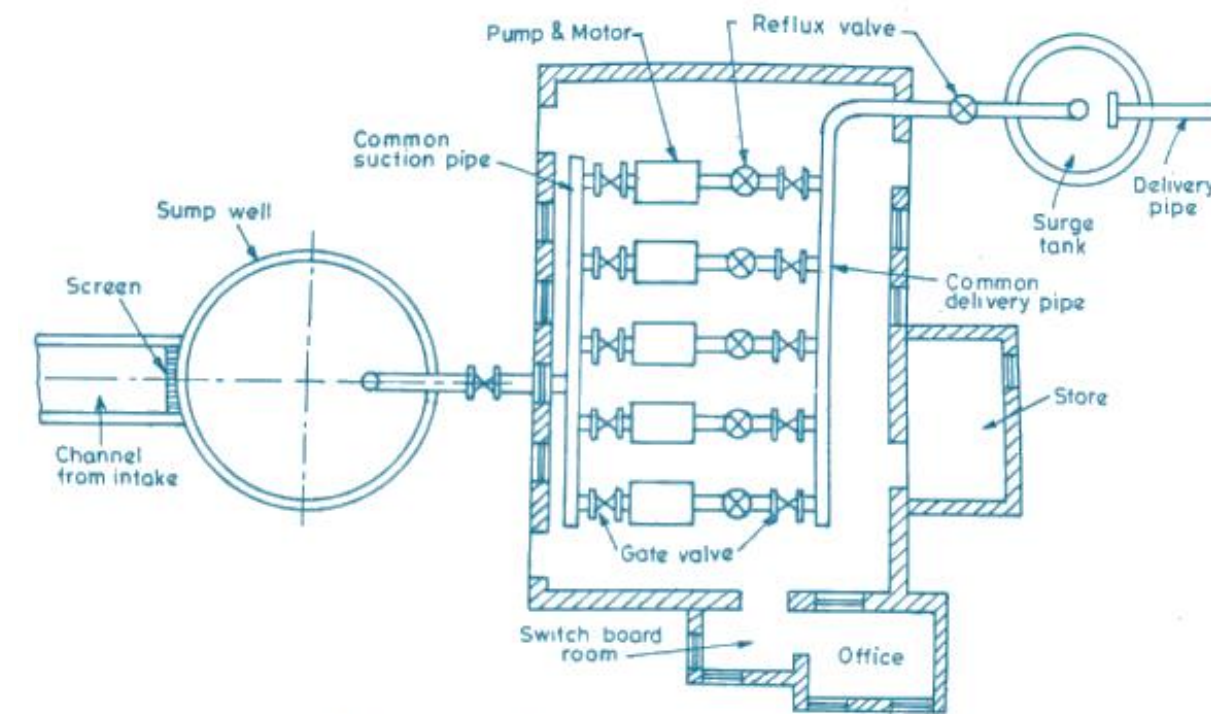


需水量预测界面



人工运行：水泵运行可能偏离最佳工况区间

- ❑ 依据管网水量水压要求人工确定水泵组合
- ❑ 不同的水泵组合总效率不同
- ❑ 可能偏离水泵最佳工况区间

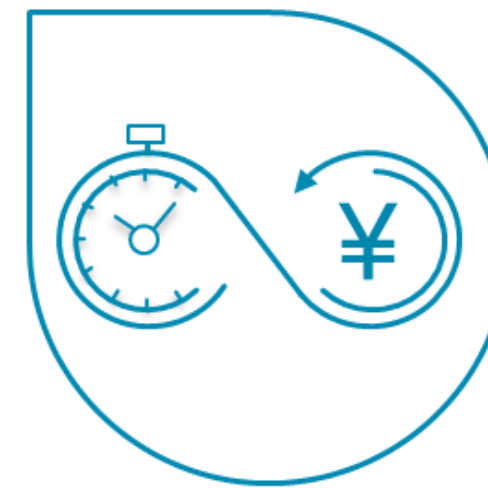


不安全



水泵运行工况超出允许工
况造成的气蚀、水泵过热
、振动大、过电流跳闸

不经济

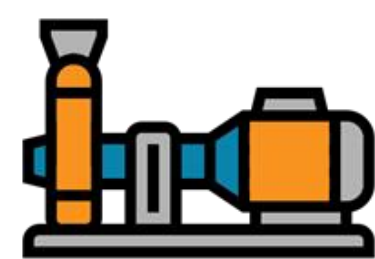


操作人员只关注压力、流
量、水位等指标，不考虑
节能，也不知道如何节能

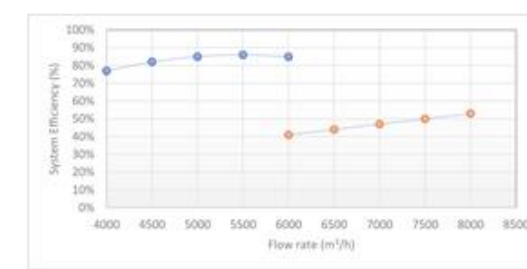
智能泵送 (PSO)

❑ 多泵并联的最优算法(PSO)

- 基于水泵的数字孪生模型和比能的算法
- 找出最优化的泵组组合以及工变频的组合
- 使运行功率达到最低，从而达到节能降耗的目的



水泵特征曲线



系统效率曲线



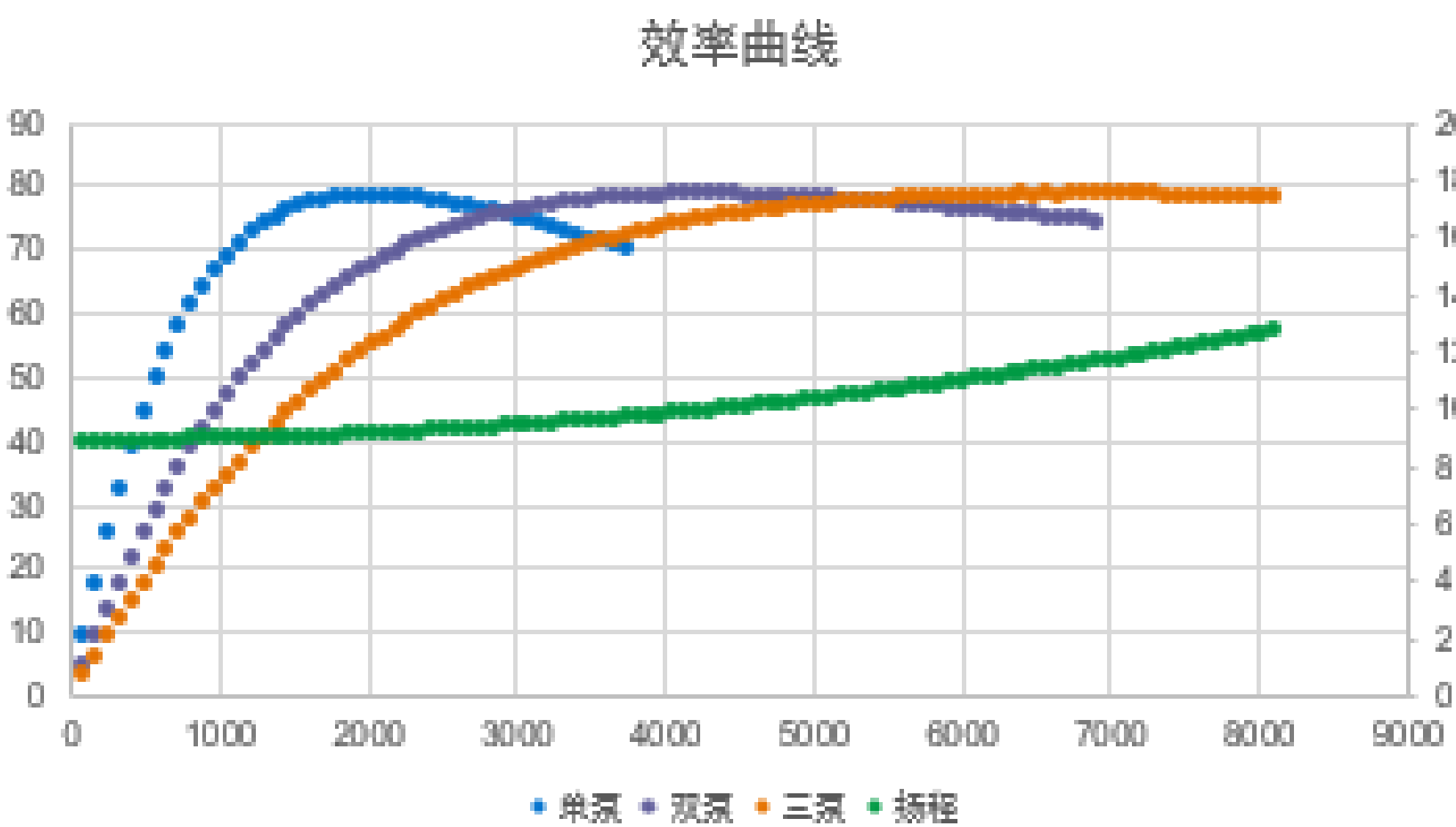
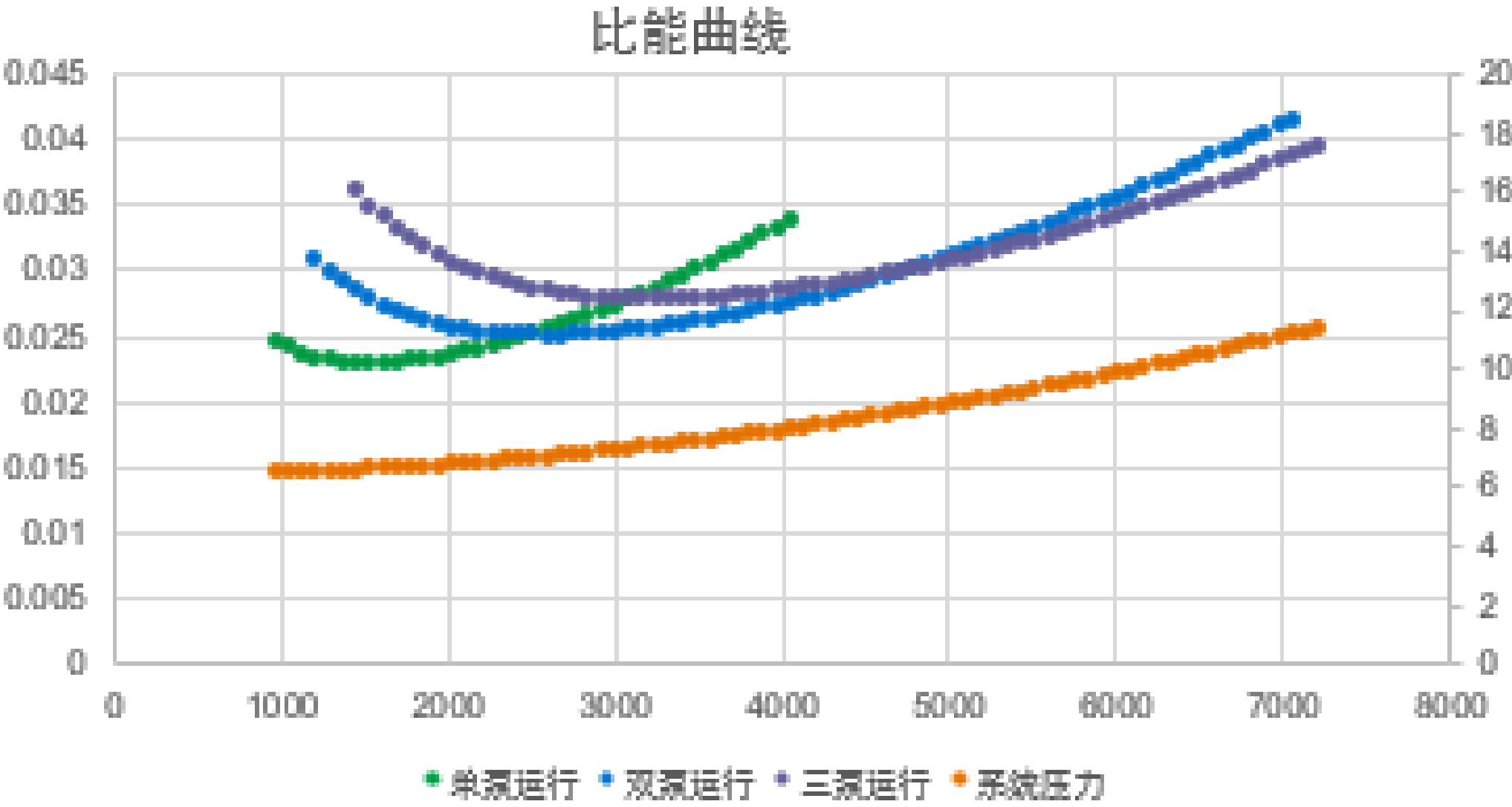
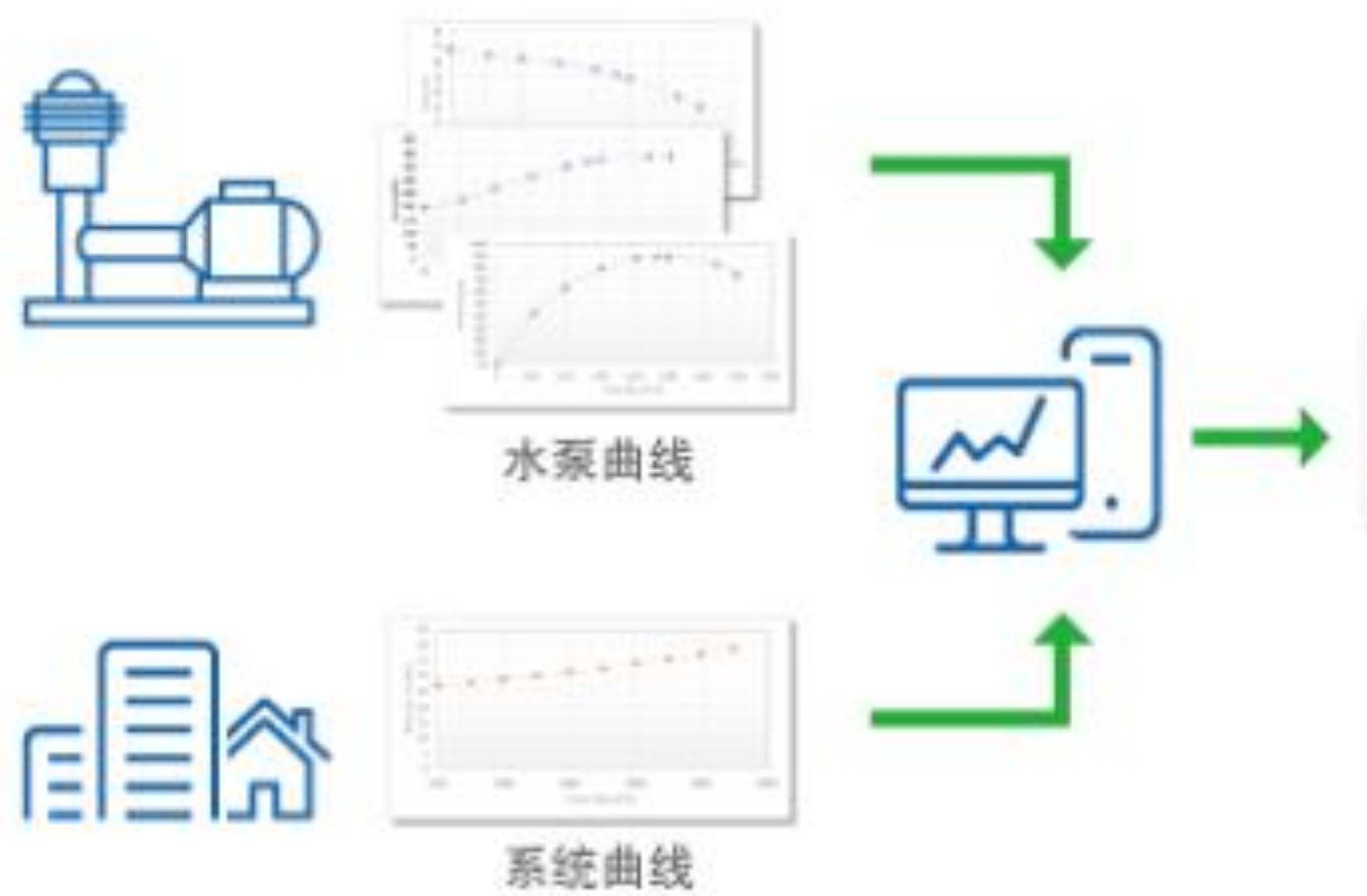
系统曲线

基于效率的动态机理模型

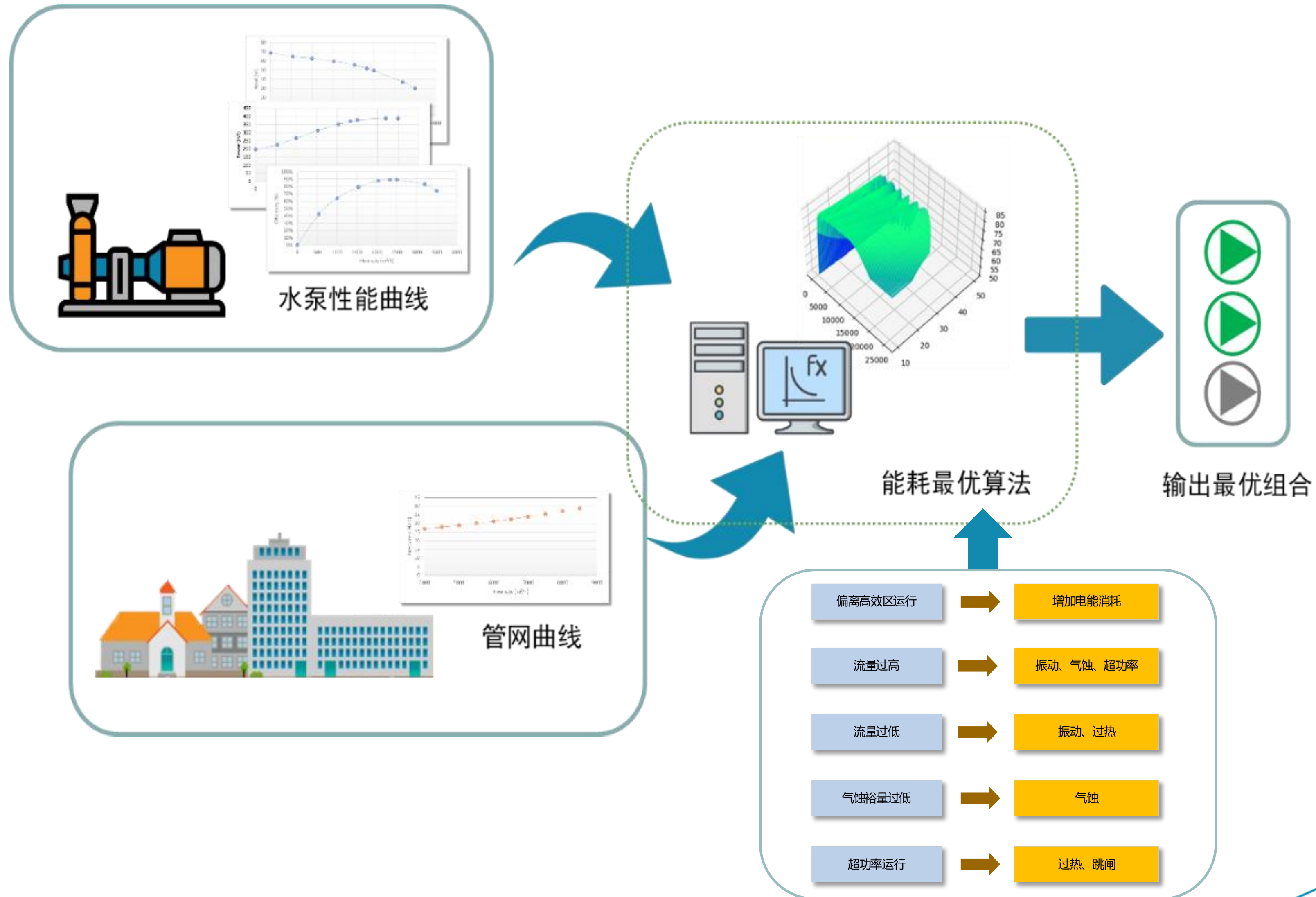
节能
降耗

安全
运行

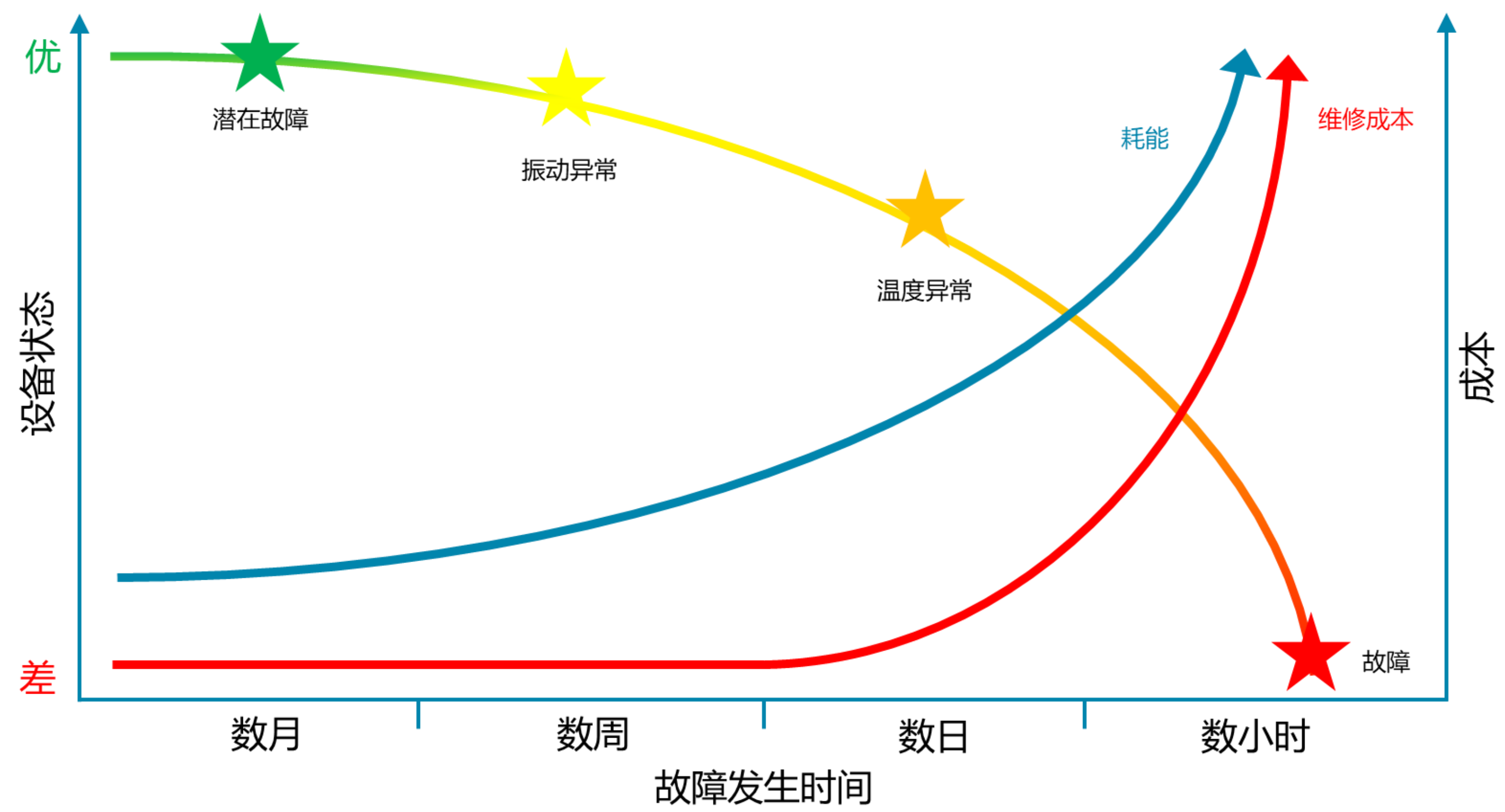
智能泵送 (PSO)



智能泵组控制模块：锁定最佳运行区间，寻找最优水泵组合



常见维护方式



- 响应式维修：设备出现故障后，采取的被动式维修



- 预防性维护：定期的维护保养，例如每3000小时更换机封

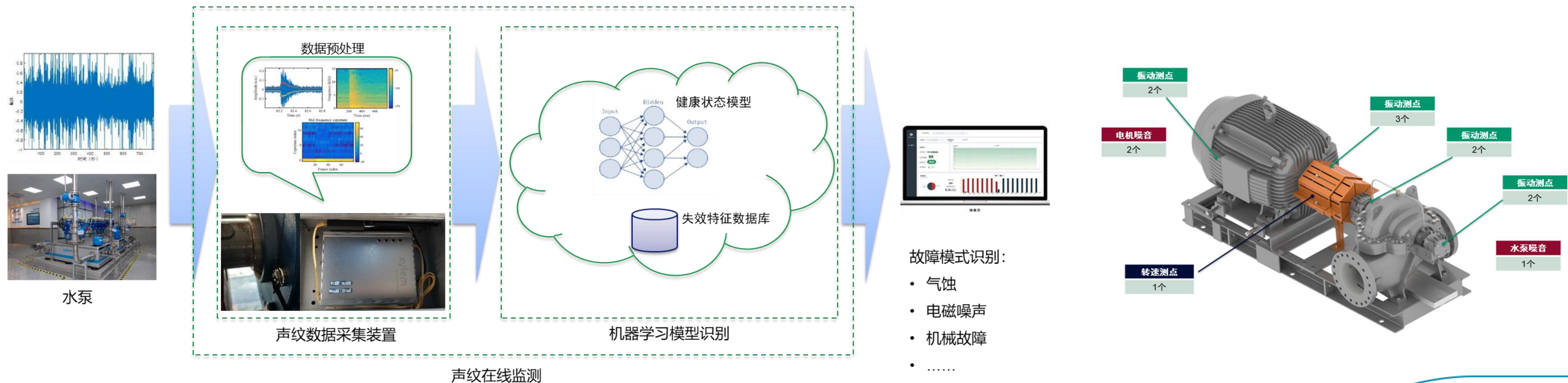


- 预测性维护：在线状态监测，结合数学分析算法，建立健康评估模型，实现预测性的报警和诊断。

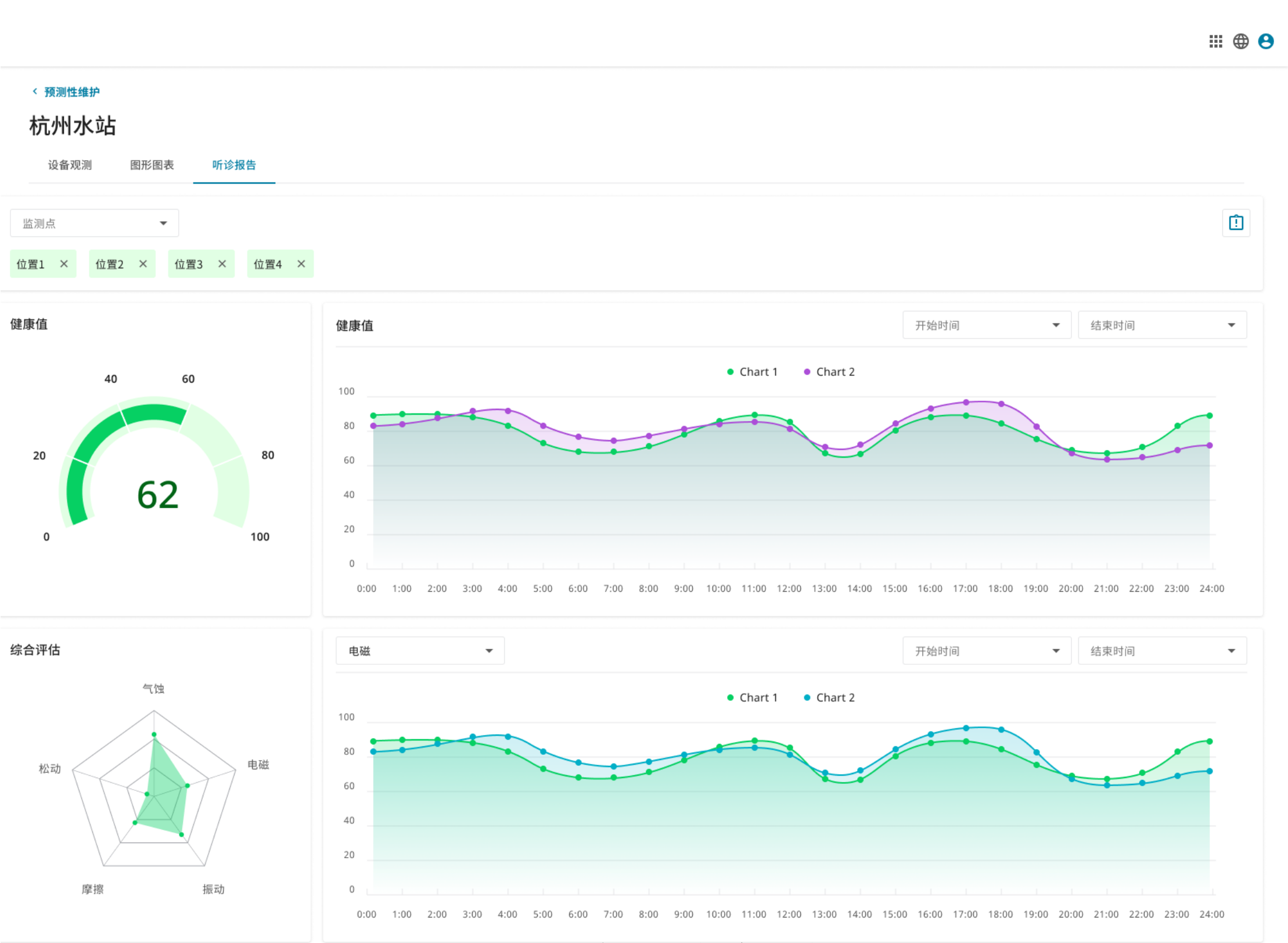


资产管理模块：机理模型+机器学习模型诊断设备健康度

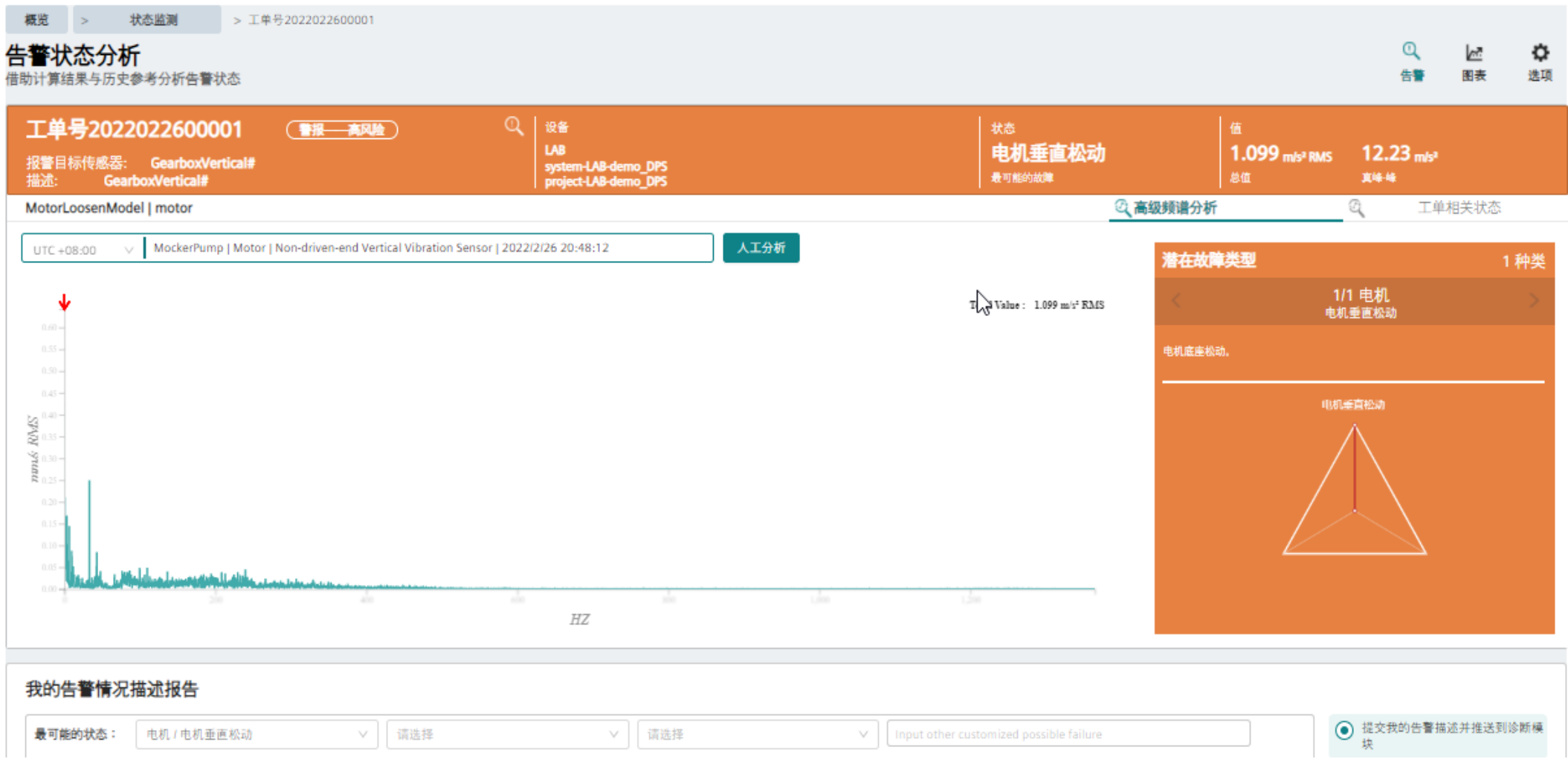
- 在线监测水泵的运行状态和数据
- 机理模型+机器学习算法模型智能诊断设备健康状态
- 模型输出预警信息实现更智能的预防性维护



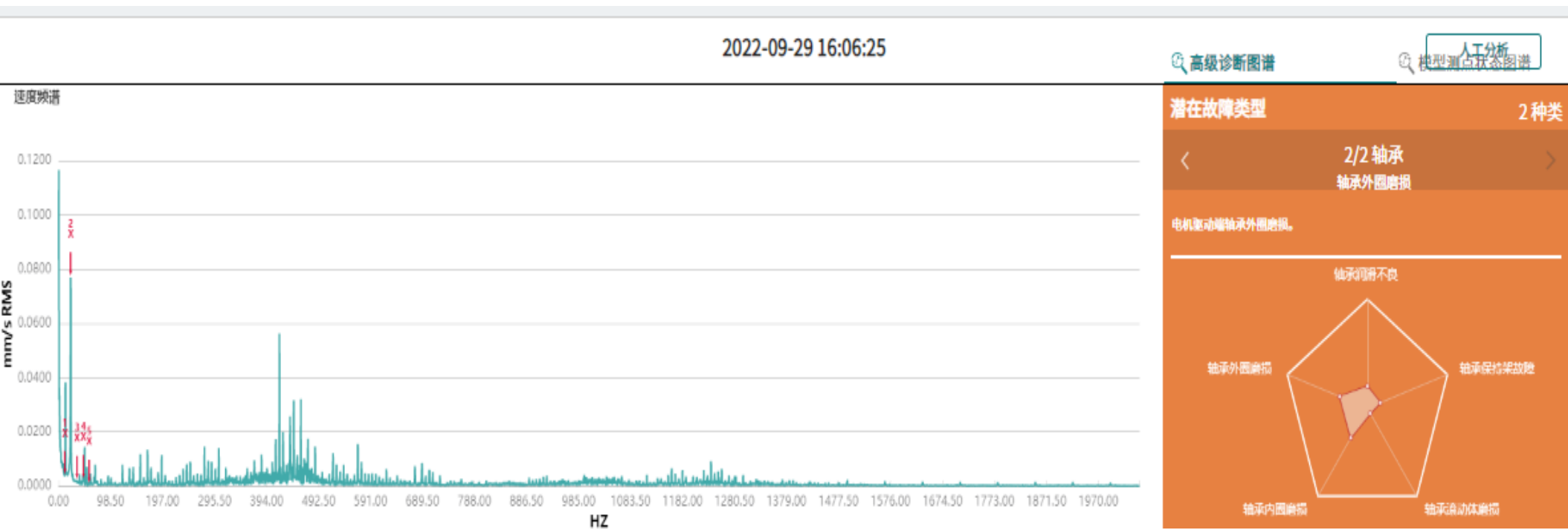
智能资产管理模块



某泵站健康度评估



某泵站垂直振动信号预警电机垂直松动故障



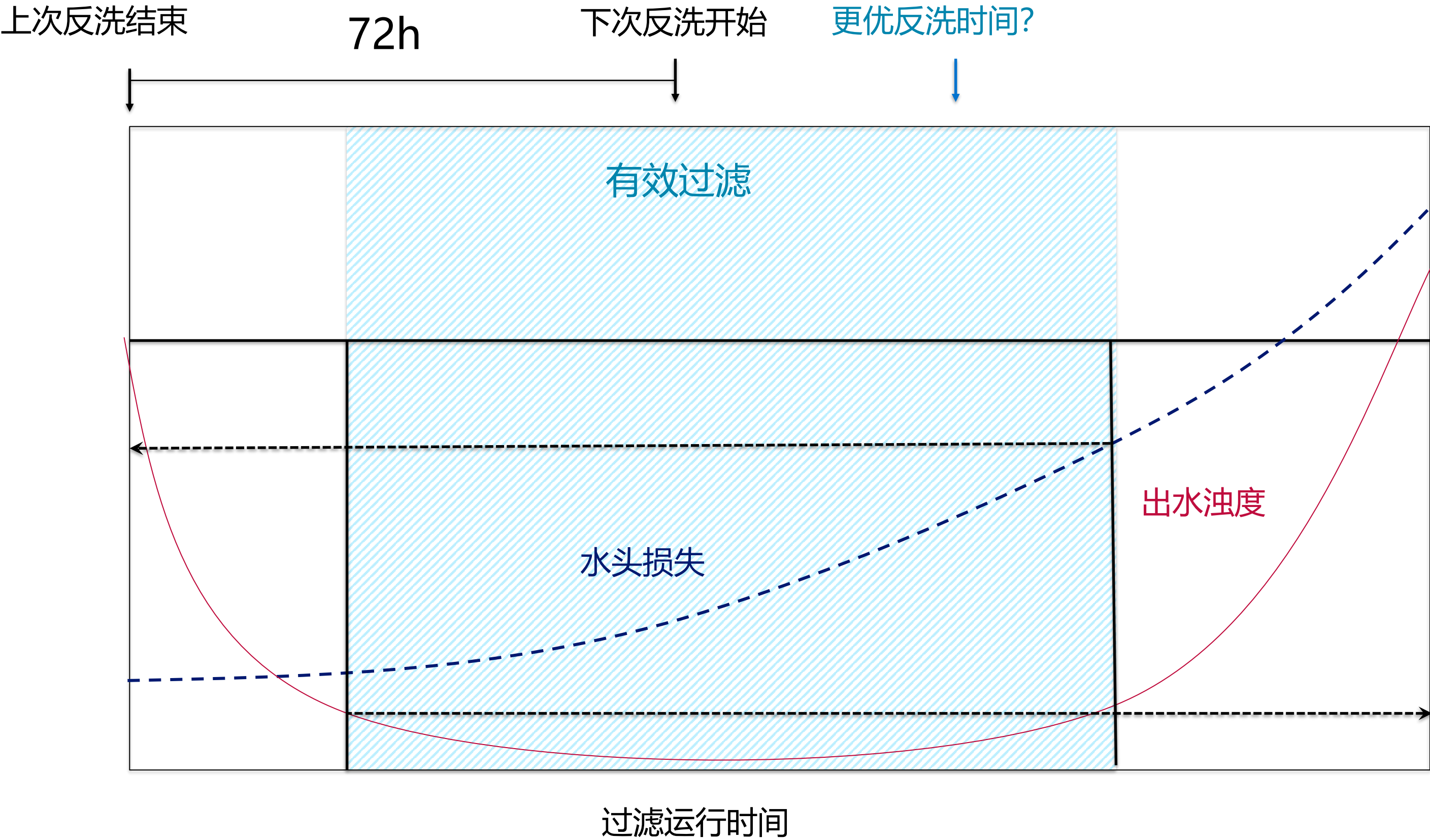
某泵站水平振动信号预警轴承外圈磨损故障

滤池系统智慧化控制

4

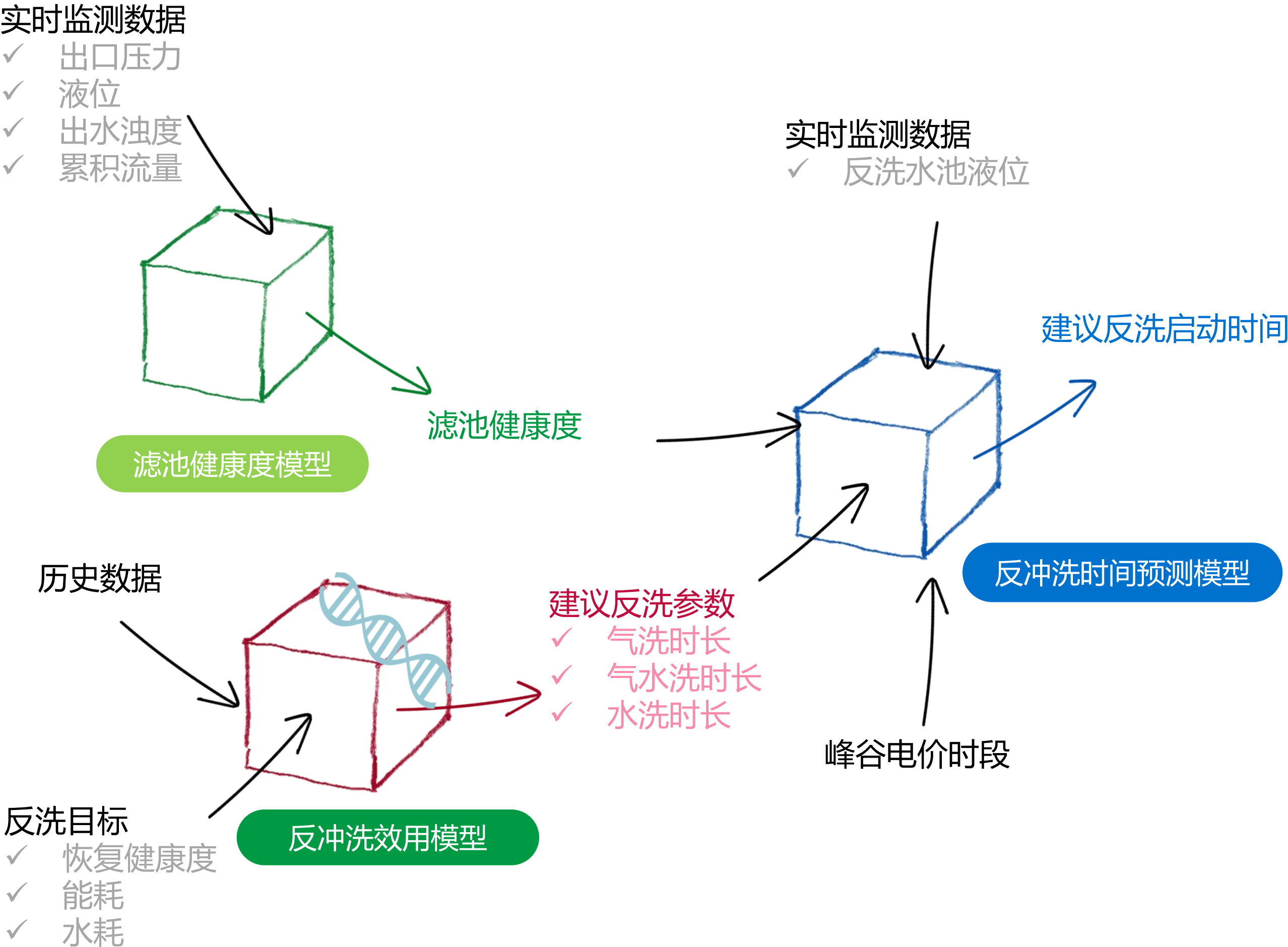
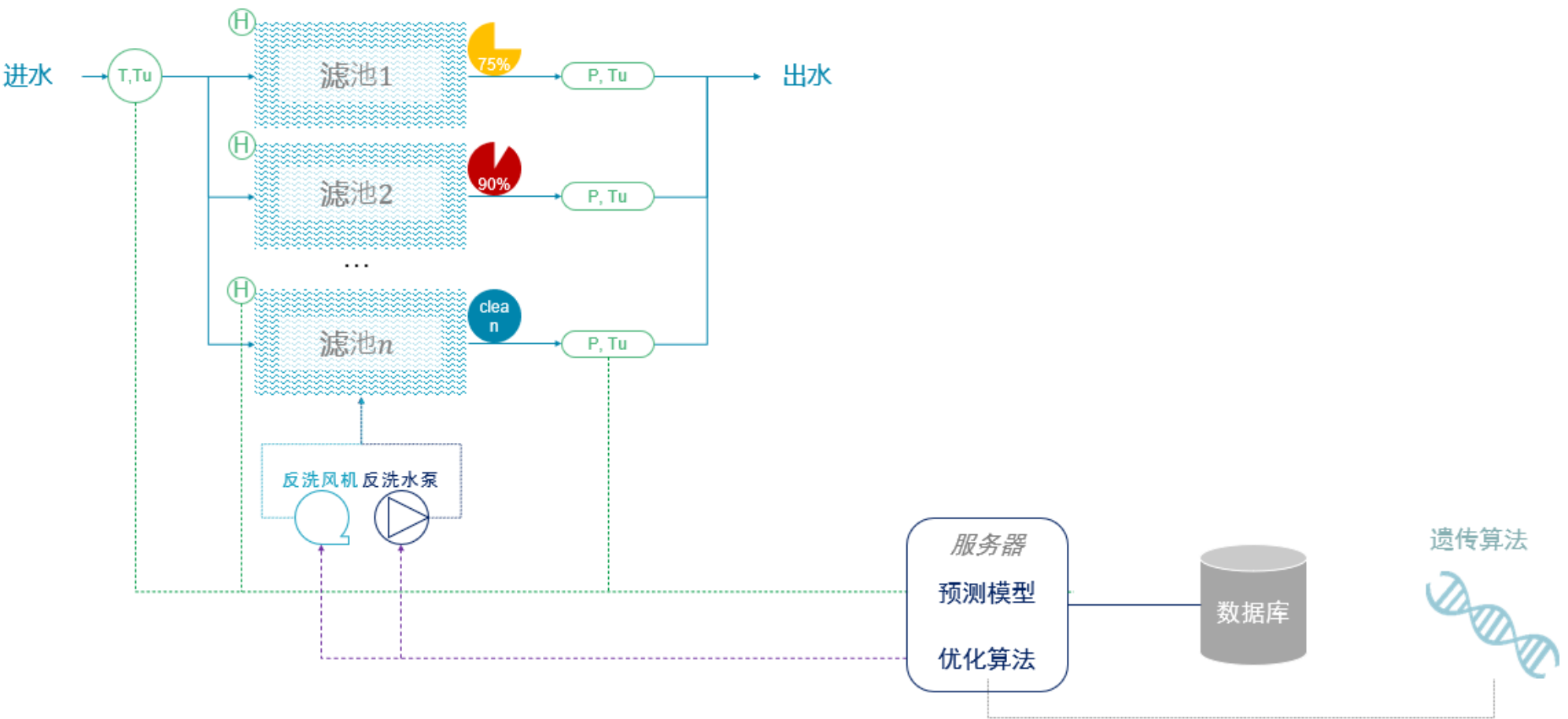
滤池定期反冲洗造成不必要的电耗和水耗

- ❑ 对峰谷电价时段没有偏好
- ❑ 不考虑滤池状态
- ❑ 气水冲时长固定不变化



智能滤池模块：优化反冲洗，降低电耗水耗

- 依据实时数据评估并预测滤池状态
- 参考峰谷电价优化滤池反冲洗时间及参数，降低能耗水耗



实现路径：滤池健康度评估和预测，优化反冲洗时刻和参数

滤池压差/水头损失演变模型

$$\Delta p = \Delta p_0 + \Delta p_r$$

干净滤床水头损失模型

○ Ergun:

$$\Delta p_0 = \frac{150\mu L}{D_p^2} \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} v_s + \frac{1.75L\rho}{D_p} \frac{(1-\epsilon)}{\epsilon^3} v_s |v_s|$$

○ Kozeny-Carman:

$$\frac{\Delta p_0}{L} = - \frac{150\mu}{\Phi_s^2 D_p^2} \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} v_s$$

滤床水头损失增加模型

$$\Delta p_r(t) = f(t; \beta, \gamma)$$

标准化水头损失

$$\Delta p(NCBHL) = \Delta p / v_s$$

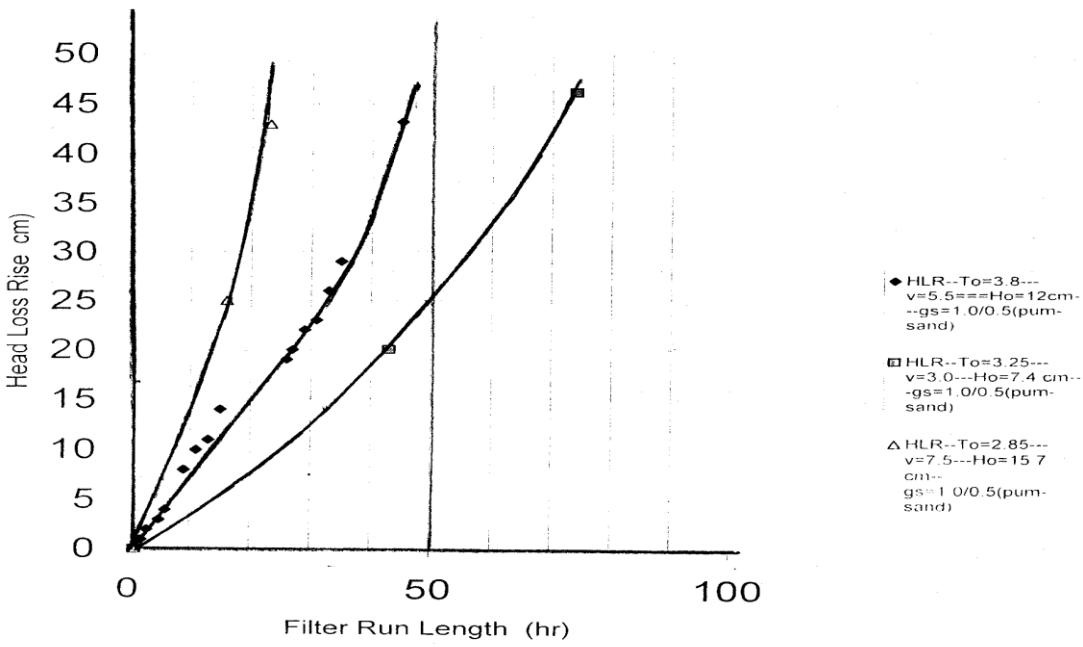
健康度模型评估因素：标准化水头损失、累积过流量、出水水质等

运行模式：

初期：根据进出水参数、水头损失等建立反洗时间预测的机理模型。

基于赛莱默经验设定最优反洗参数；使用一定数量的反洗参数组合实验找到最优参数组合。

长期：利用统计、机器学习方法进一步修正反洗时间预测模型并建立反洗效用模型，优化反洗时刻和参数。

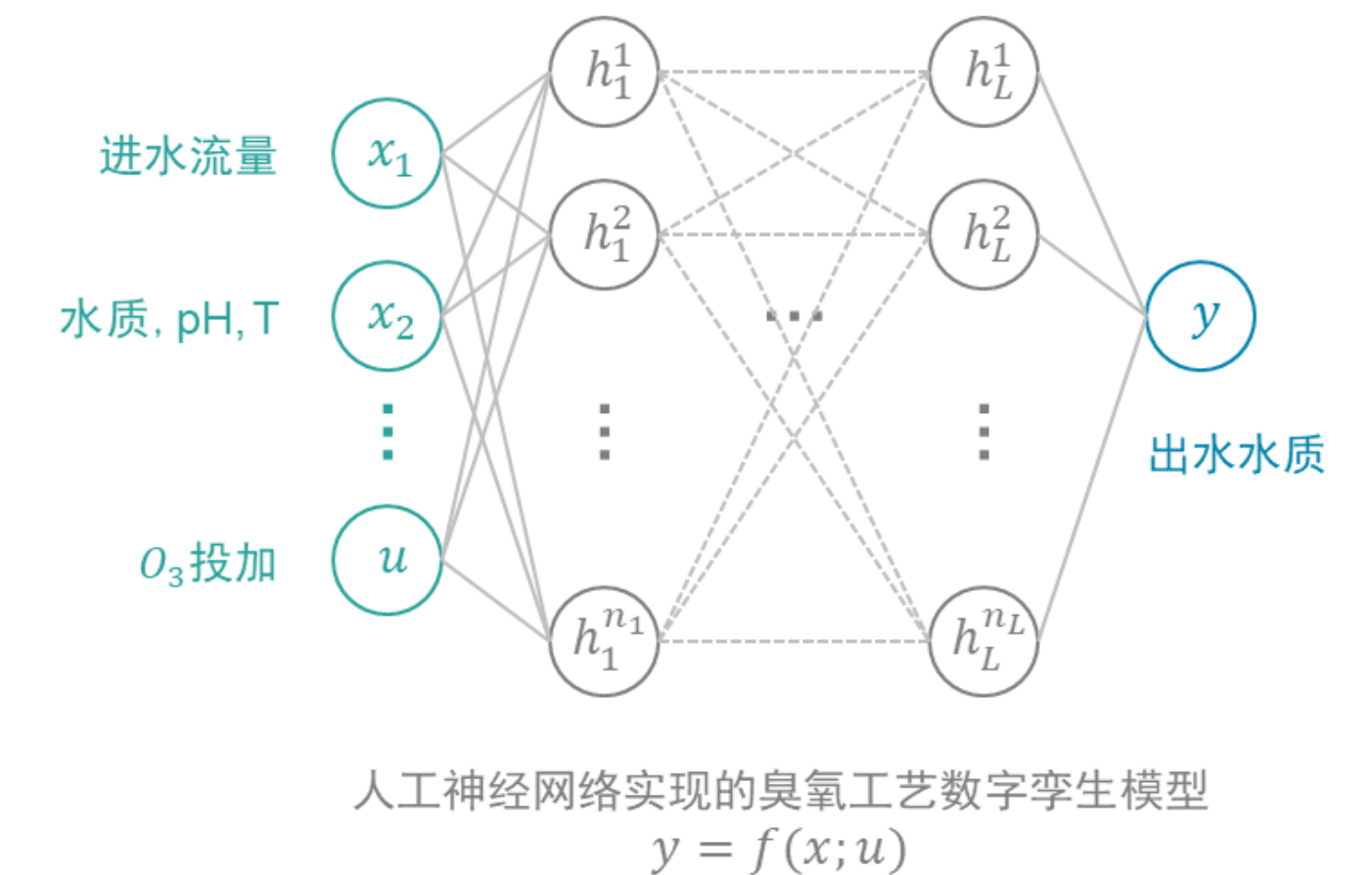
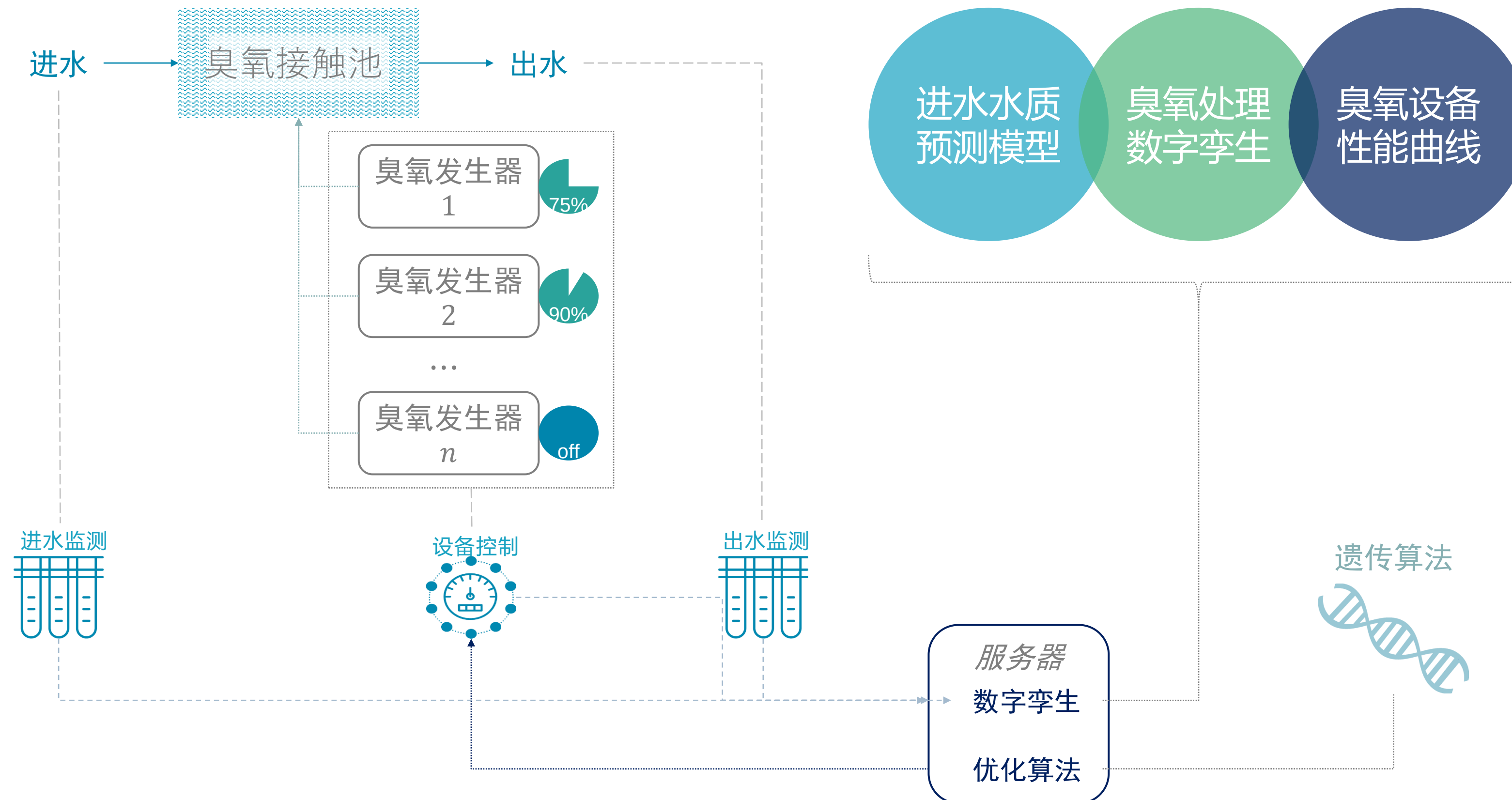


臭氧系统智慧化控制

5

智能臭氧概述

□ 功能亮点：臭氧产量及浓度最优分配，投加量优化，提高稳定性，降低综合运营费用（液氧，电耗）



臭氧投加优化:

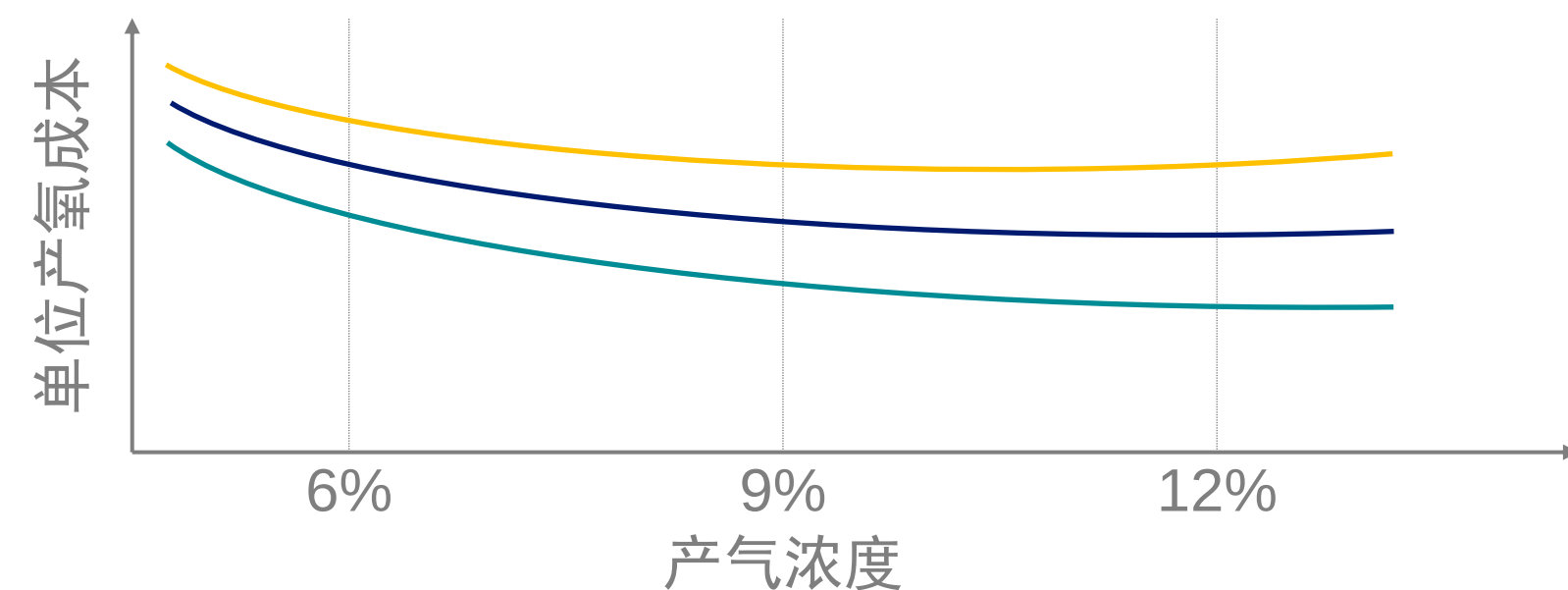
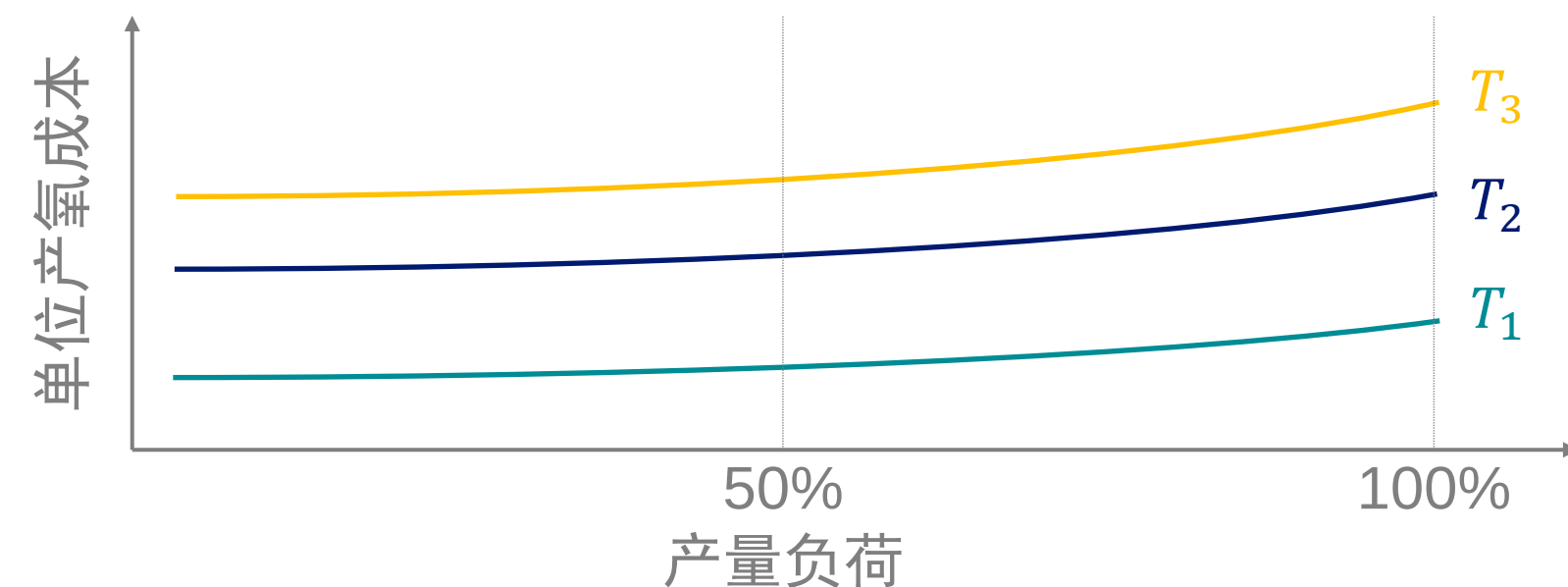
$$\min_{u \in Ad(u)} \mathcal{L}(x, y, u)$$

subject to: $\mathcal{C}(x, y, u) \geq 0$

$\mathcal{L}$: 目标函数 $\mathcal{C}$: 限制条件 $Ad(u)$: 控制参数取值范围

臭氧系统的优化控制

臭氧发生器性能曲线



影响臭氧发生器电耗的三因素：产量、水温、浓度。

- 产量由运行工艺决定。
- 水温由环境条件决定。
- 产气浓度为可控参数。

数台臭氧发生器产量分配和浓度设置优化问题：

$$\min_{\substack{L_1, \dots, L_n \\ u_1, \dots, u_n}} \sum_{k=1}^n (E_k(L_k, \theta_k, u_k) + C_k(L_k, \eta_k, u_k))$$

subject to: $L_1 + \dots + L_n = L_{setpoint}$

n ： 臭氧发生器台数。

$L_{setpoint}$ ： 臭氧投加总量设定值。

L_k ： 第 k 台臭氧发生器的产量。

u_k ： 第 k 台臭氧发生器的产气浓度。

θ_k ： 影响液氧用量和电耗等运行成本的其它工艺、环境参数。

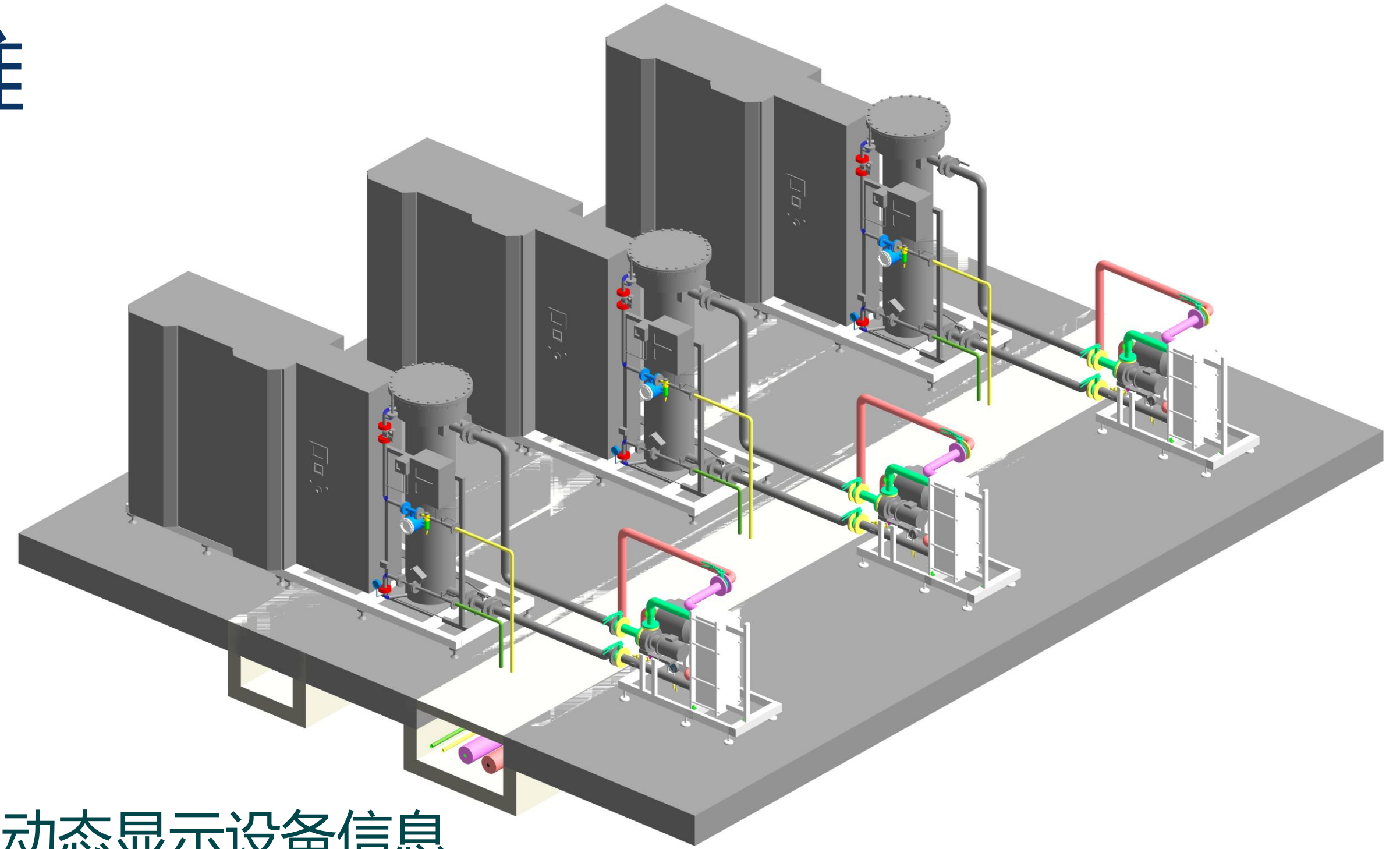
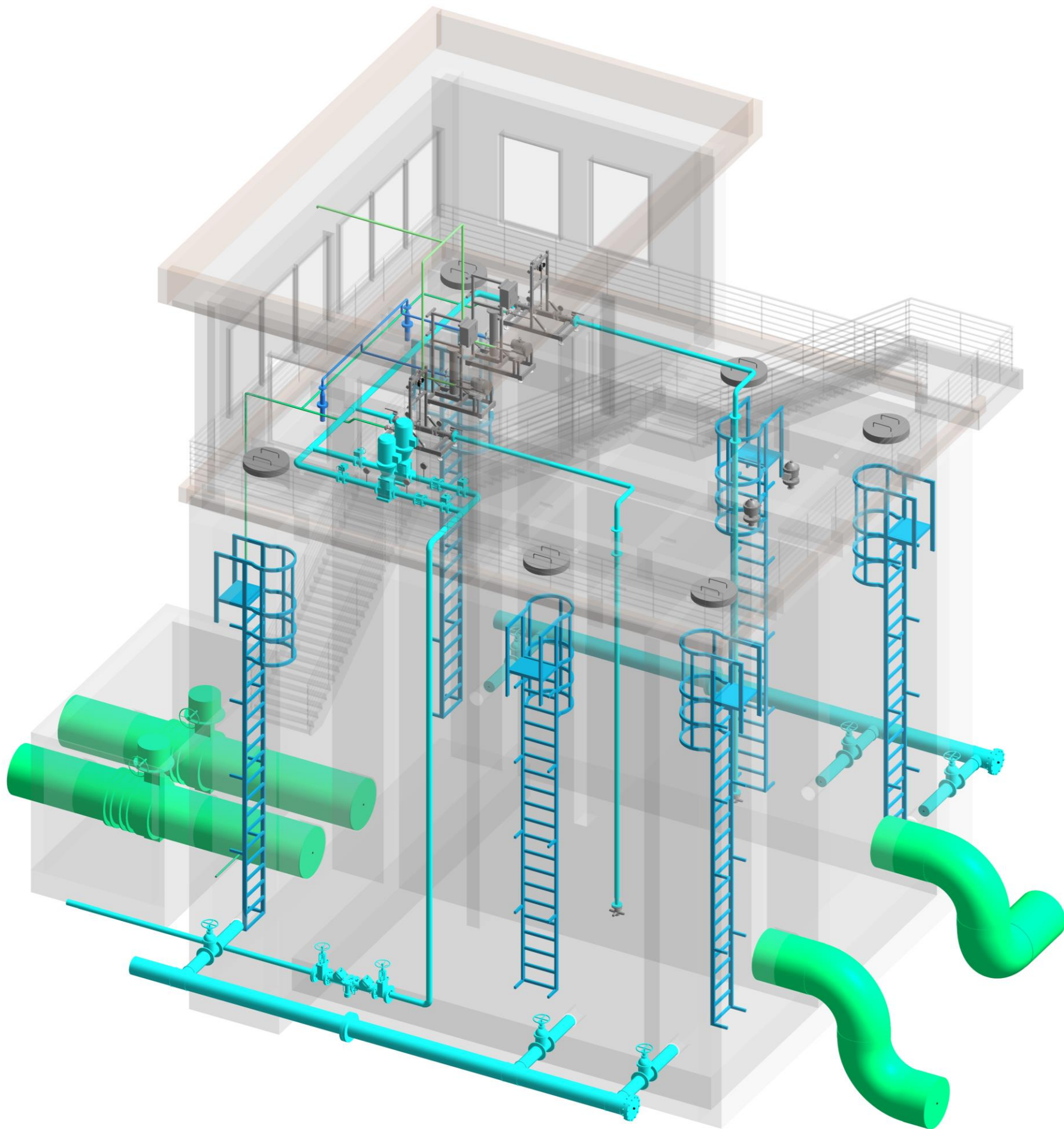
η_k ： 影响设备寿命、折旧等的其它工艺、环境参数。

E_k ： 第 k 台臭氧发生器的液氧用量与电耗随产量变化的成本函数（性能曲线）。

C_k ： 第 k 台臭氧发生器关于产量、启停次数的（维护折旧等）成本函数。

优化算法：遗传算法、离线热力图等

基于BIM模型的三维可视化运维



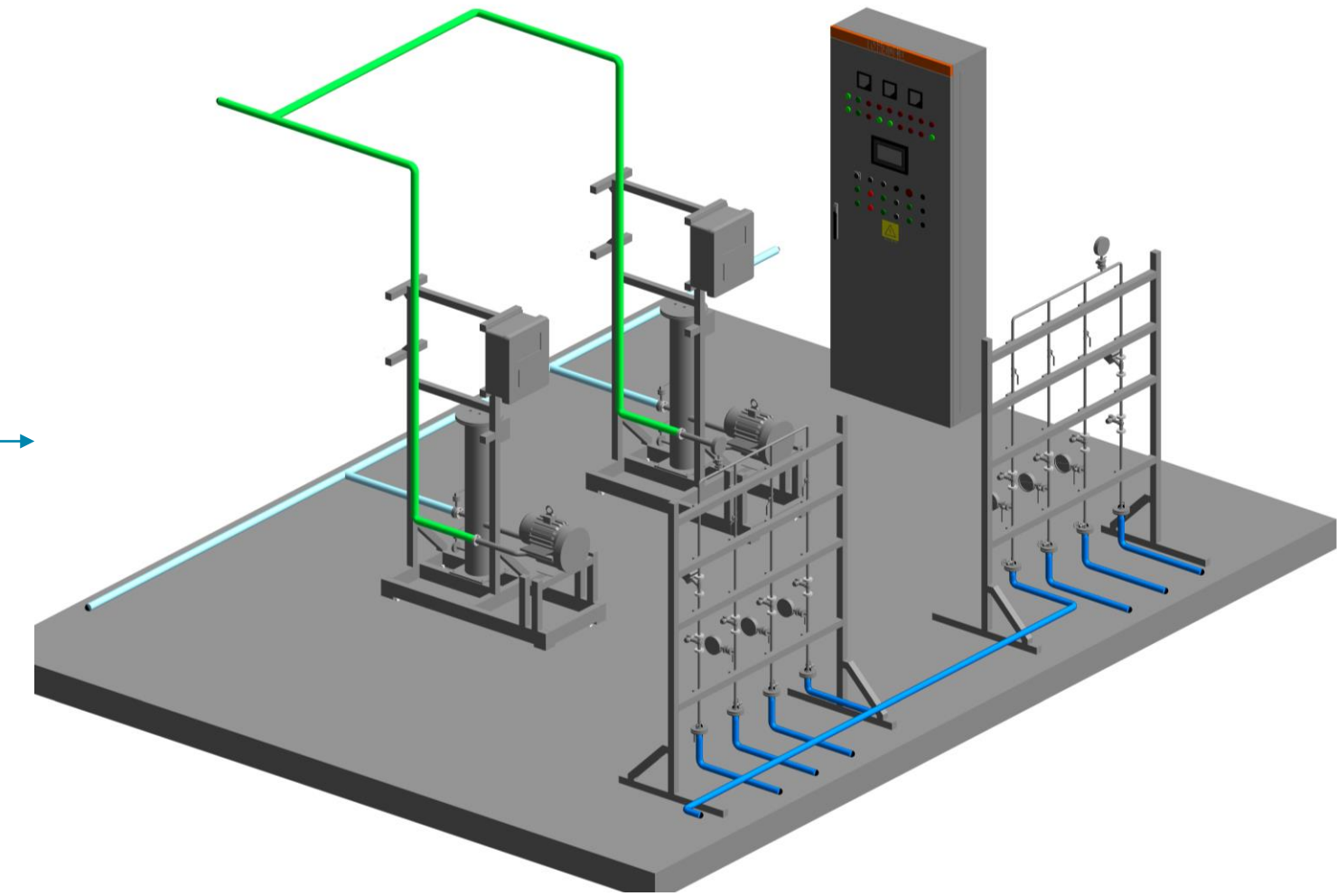
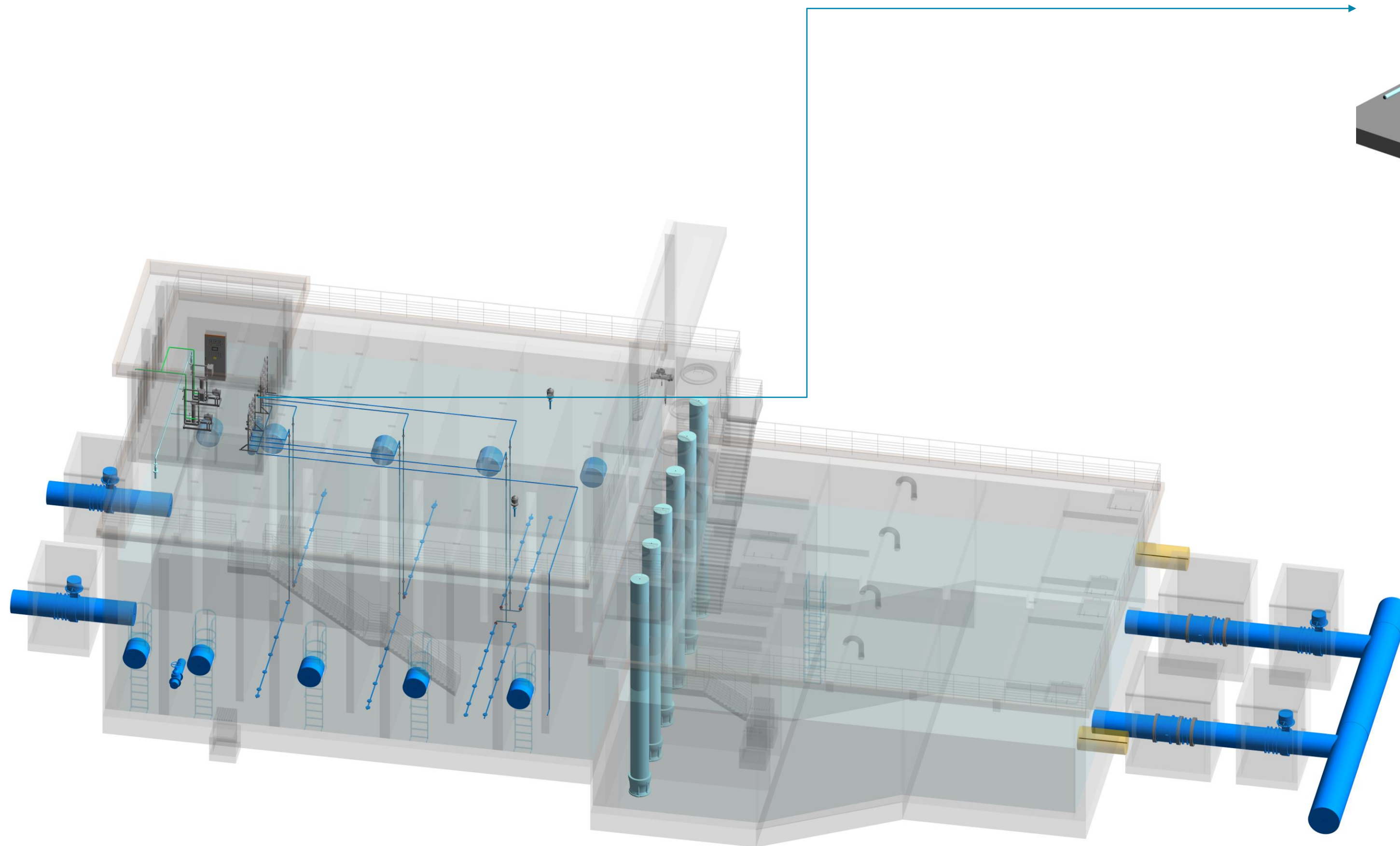
□ 三维空间动态显示设备信息

- 工况信息：产量，浓度，流量，冷却水温...
- 能耗信息：电压，电流，功率，液氧消耗...
- 环境信息... ..

□ 资产管理

- 设备信息，耗材/备件信息... ..
- 日常操作维护视频... ..

臭氧系统的预测性维护



- 备件/耗材使用寿命预估
- 在线仪表数据质量分析与维护
- 智能报警分析（多因素综合分析）
- 意外停机故障诊断
 - 非故障因素，自动复位
 - 故障停机，售后联动

水厂智慧化项目案例

6

智慧水厂解决方案

成功案例

— 上海

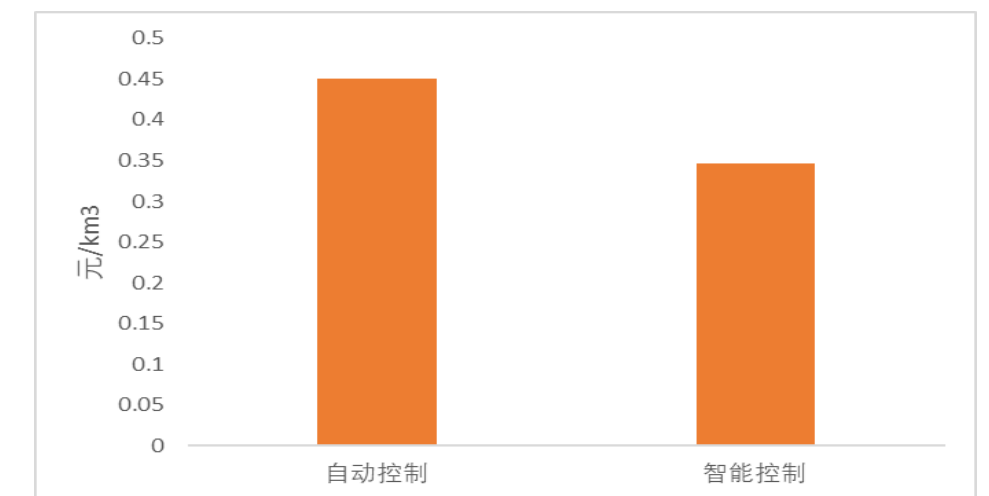
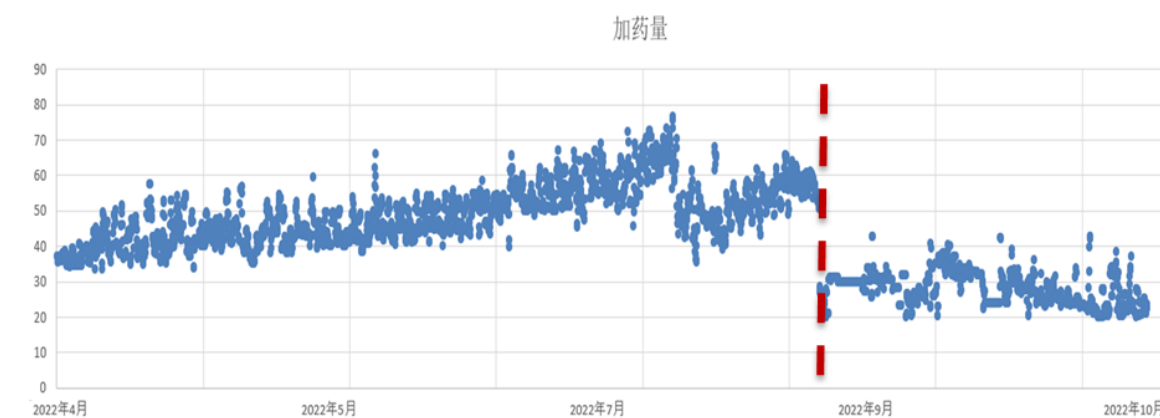


水厂概况

- 设计处理能力: 100,000 m³/d

智慧解决方案

- 智慧加药
- 智慧滤池
- 泵组优化控制
- 需水量预测



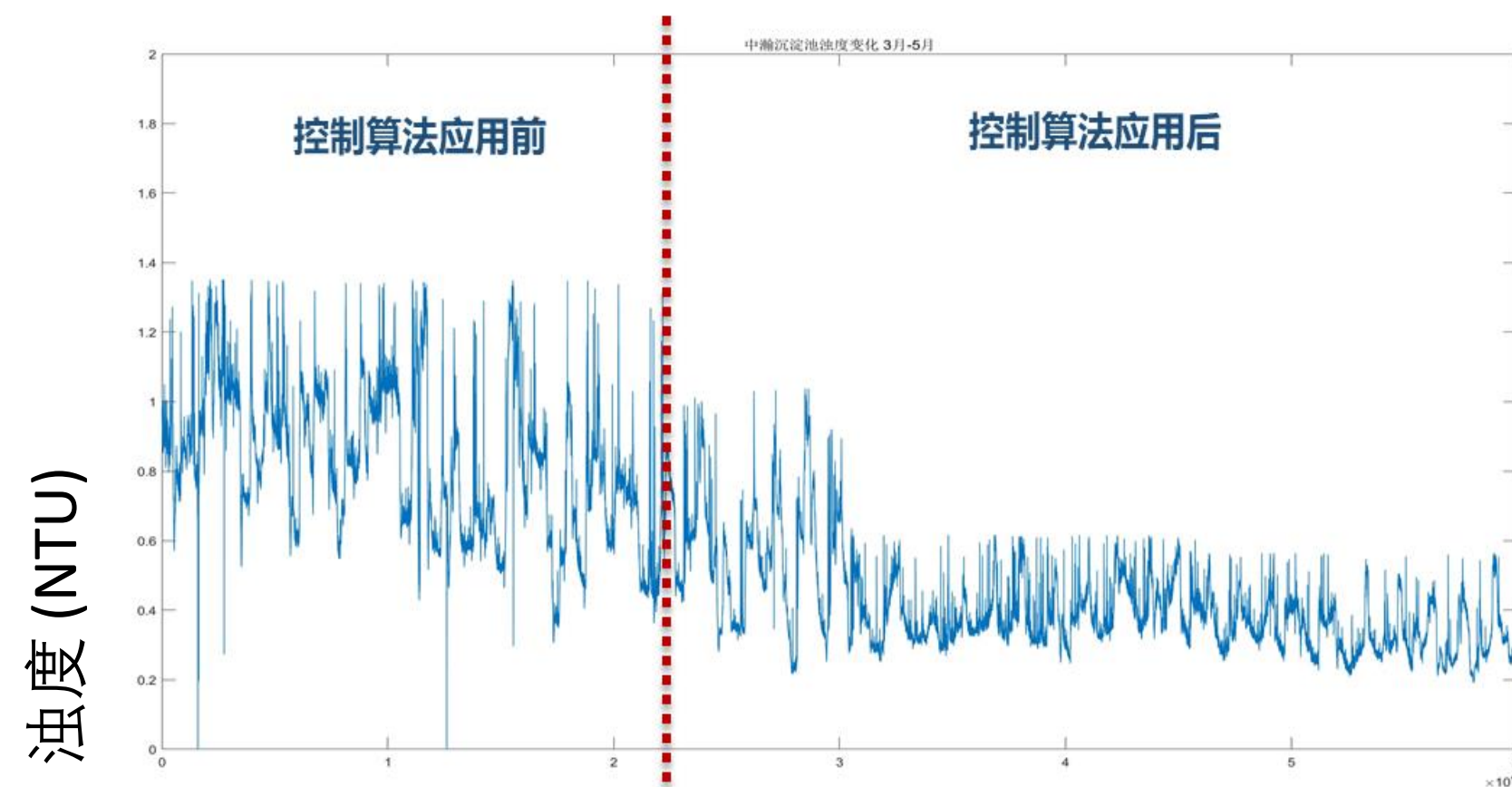
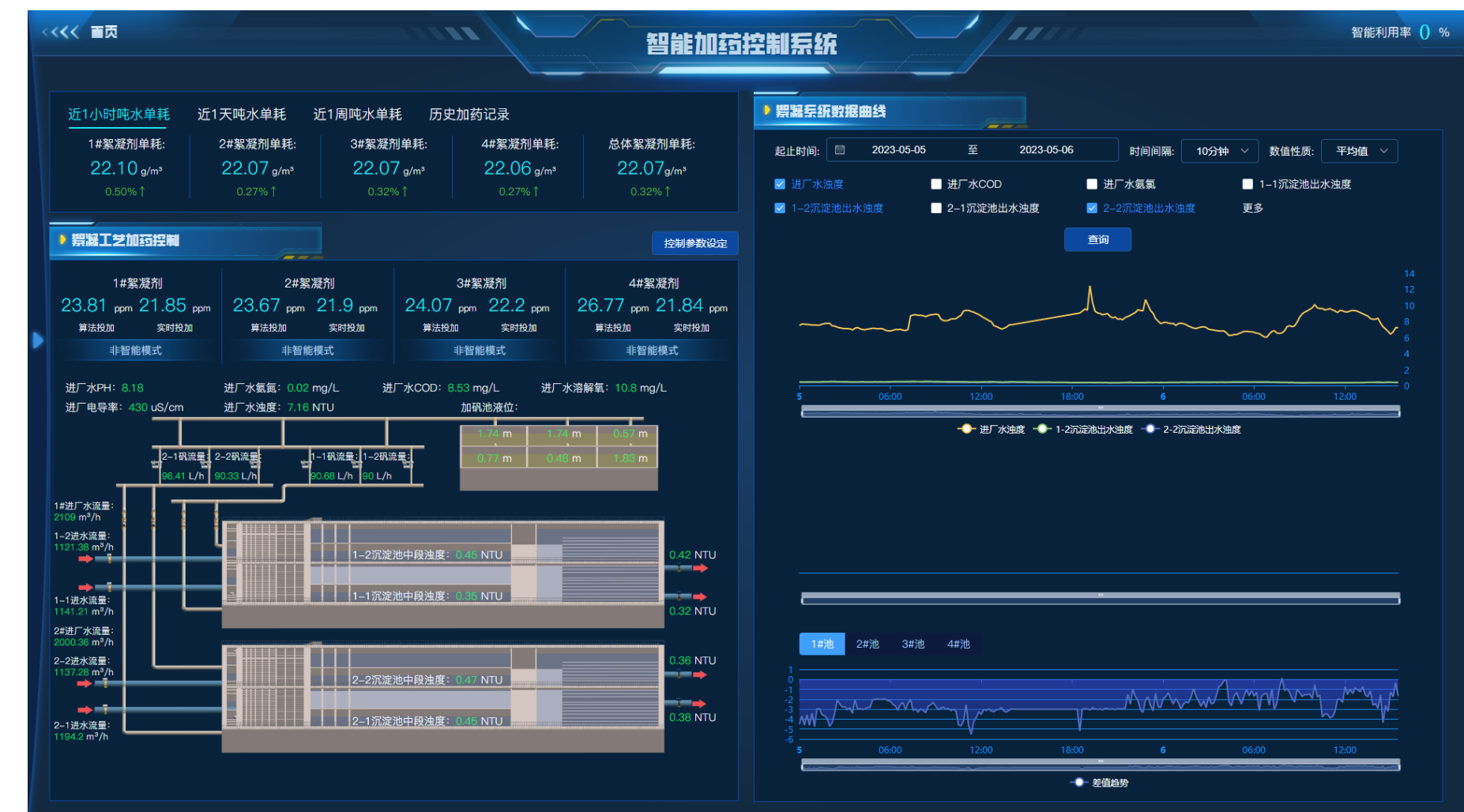
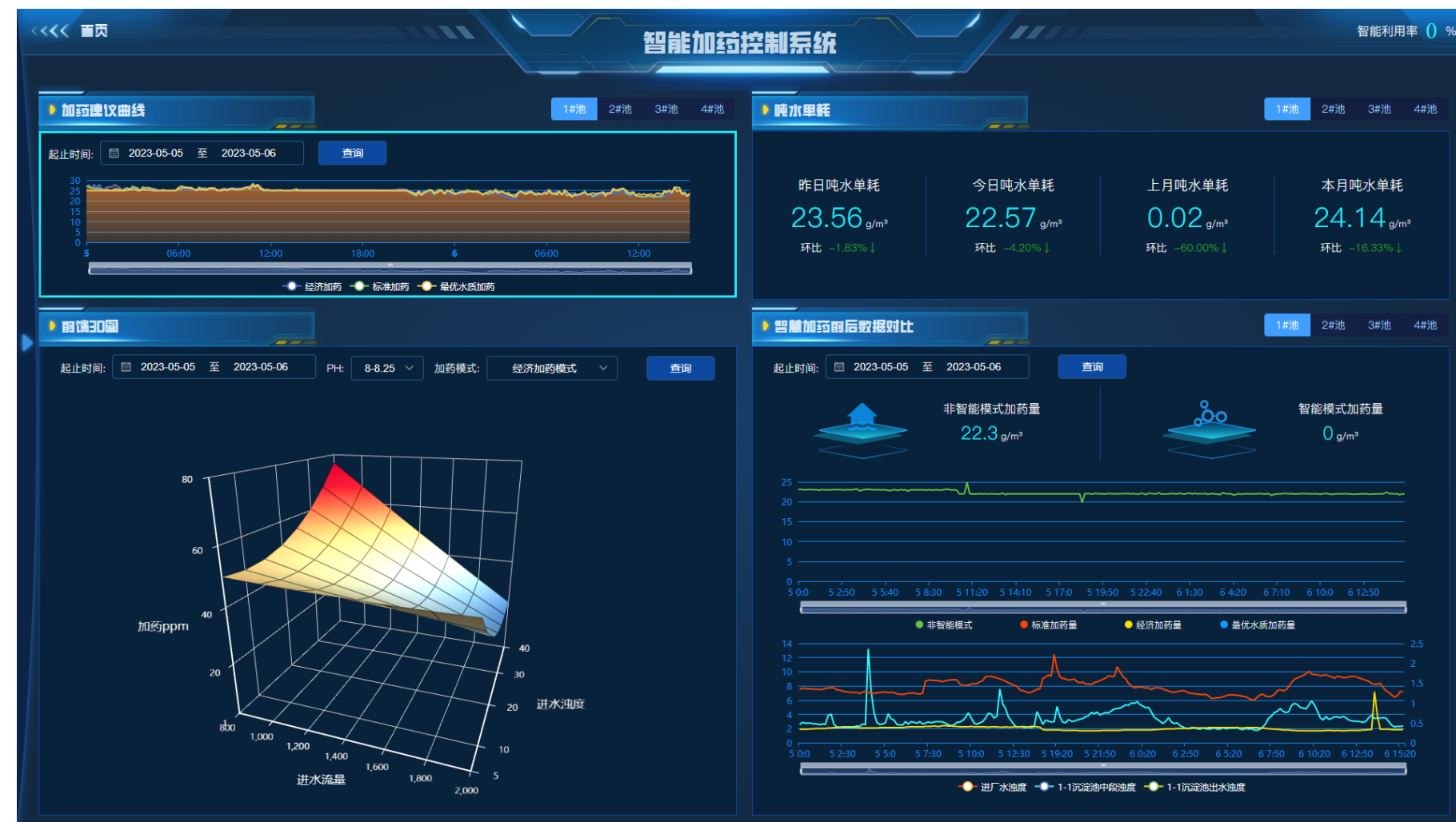
- 降低药剂投加量20%

- 降低反冲洗费用24%

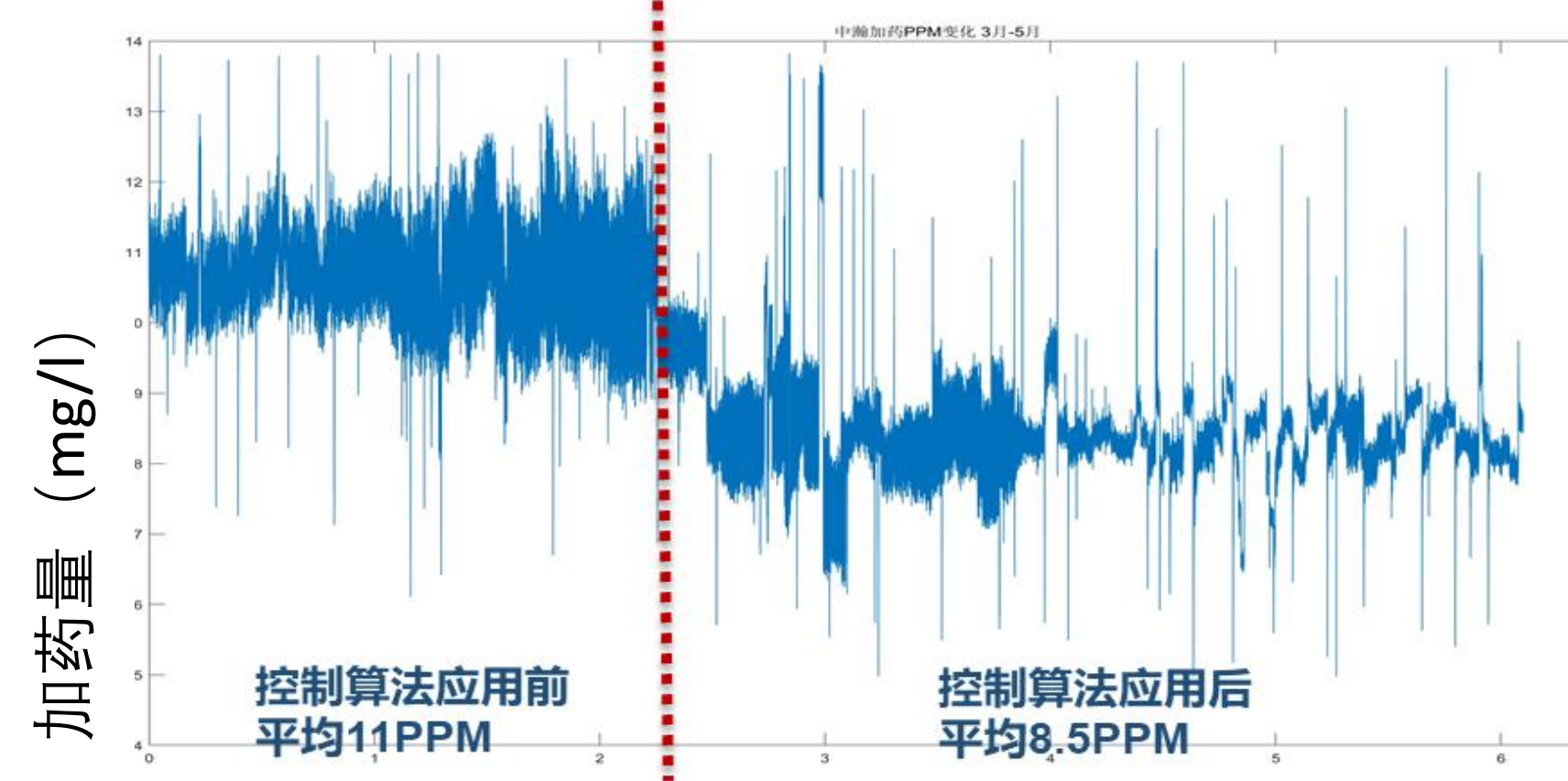


- 用户友好的系统界面
- 实时数据分析
- 决策支持

智能加药项目应用



稳定出水水质



降低药剂投加量

我们的愿景

我们致力于创造一个未来水世界，

那时，水问题将不再危害人类健康，
影响社会繁荣和阻碍人类社会持续发展。



期待与您的合作!