创新驱动、AI赋能，推动燃气输配高质量发展

——基于仿生脉动技术的燃气输配系统智能运维与节能服务

汇报人：周亮

单位：西安交通大学

2026/10/22

流体输配行业的节能需求

西安交通大學 XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

- 燃气/水务/供热/数据中心行业能耗高，现有节能措施主要集中在泵、压缩机和管网硬件改造



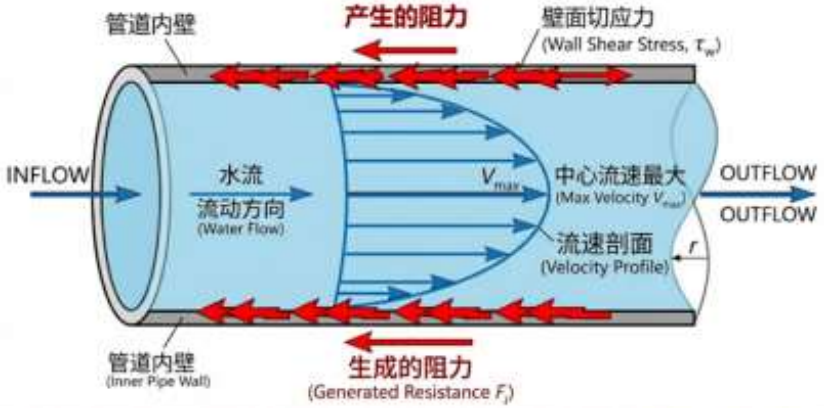






典型场景：工业输运、能源系统、数据中心冷却与市政输配

- 流体输运泵功相当一部分用于克服管网阻力，蕴含可观的优化空间。



1 泵送能耗高
泵送耗能大

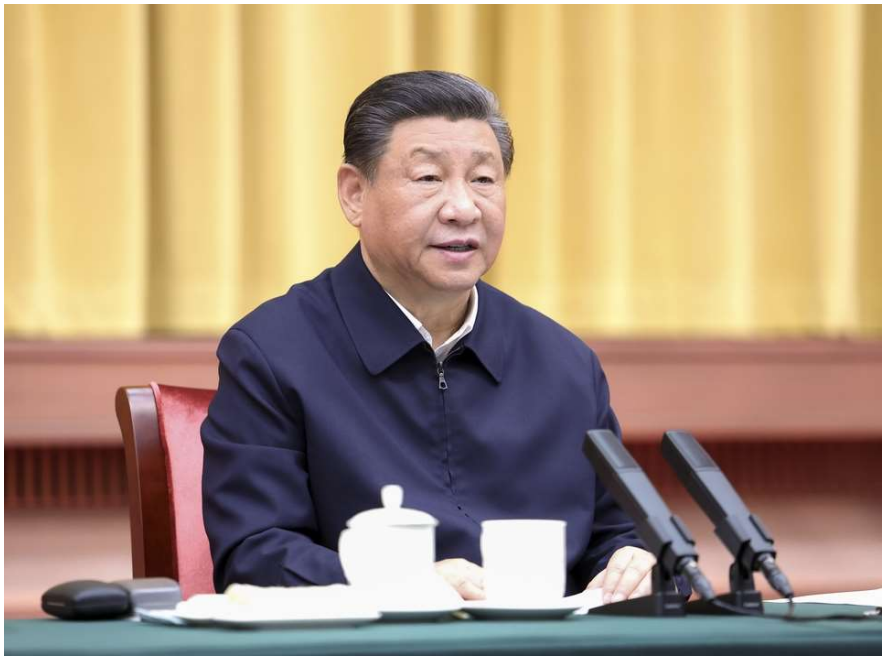
2 管网输运效率不足
沿程阻力导致损失

3 工况变化适应能力弱
波动工况响应不足

泵系统用电约占全球总用电量的 10%~20%

大量能源并非用于输运，而是消耗在克服流动摩擦中！

绿色低碳与产业智能化政策导向



推动互联网、大数据、人工智能、第五代移动通信（5G）等新兴技术与绿色低碳产业深度融合

——碳达峰碳中和政治局第三十六次集体学习

- “十四五”规划：

  绿色制造、低碳转型、产业数字化

- “十五五”规划：

  全面绿色转型、节能降碳改造、产业智能化

- 西交团队项目响应：

  《仿生脉动流体节能技术》

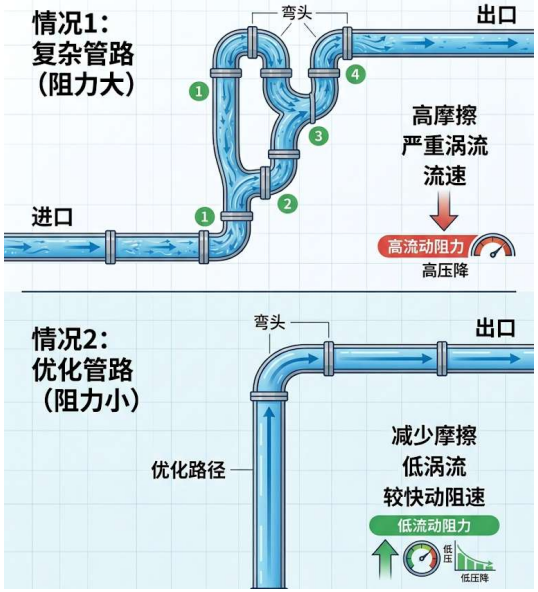
高铁瑜教授团队在2014年提出非稳态流动强化传热理论，经过十余年技术积累，提出：
仿生脉动流体节能技术，推动节能技术、人工智能和绿色低碳产业深度融合

管网传统节能方式的局限

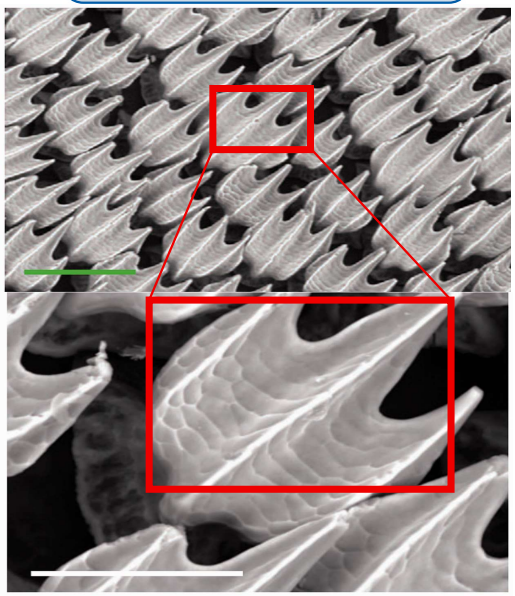
西安交通大学 XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

- 被动减阻方式

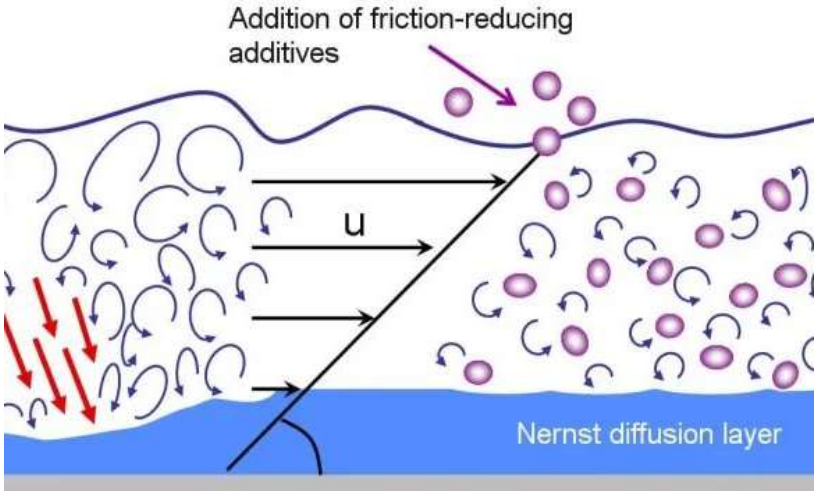
扩径与管路优化
施工周期长，改造成本高



管壁面微结构减阻
成本高 难应用



添加剂及介质调控
适用介质受限，维护成本高

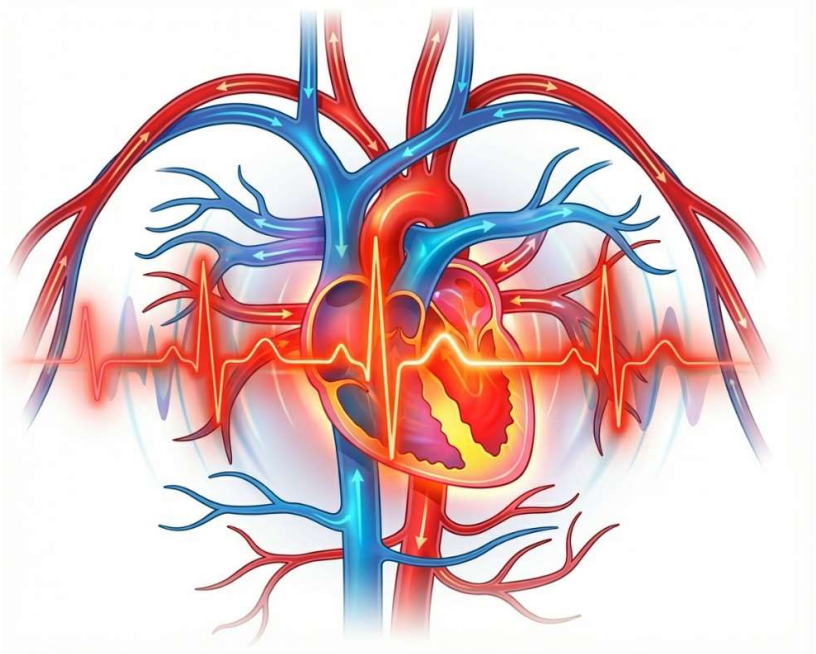


不重构管网，不改变输送任务的前提下，通过主动调控流量降低阻力与能耗

仿生脉动减阻原理

西安交通大學 XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

- 脉动：自然/工业界普遍存在的流量波动现象

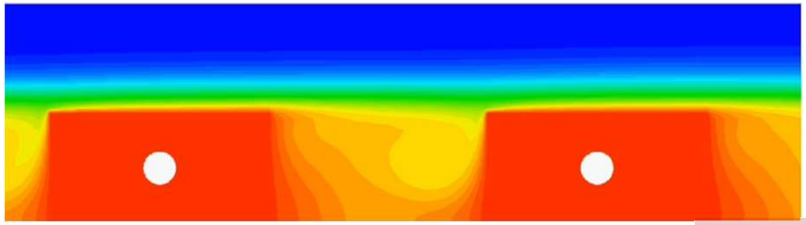


心脏搏动时血管中的流动阻力只有稳定流动的90%

自然选择——心脏搏动泵血能够减少阻力

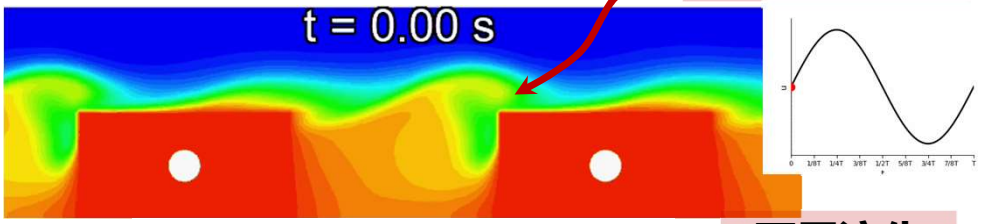
- 主动构造类似自然流动，应用于工业管道

* 主动脉动技术（Active Pulsating Technology，APT）



* 稳定来流凹槽通道内温度分布

热边界层失稳



* 脉动来流凹槽通道内温度分布

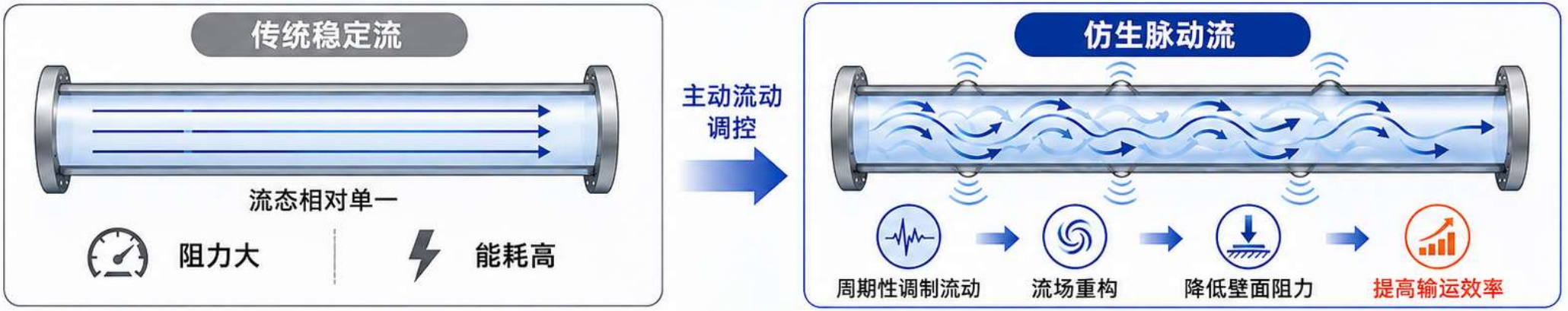
再层流化

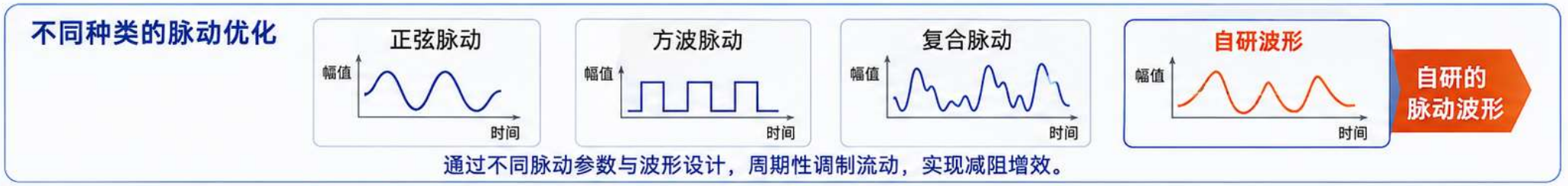


* 类心脏脉动波形

仿生脉动流动调控方法

西安交通大學 XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY







通过优化脉动波形，精准调控流态，实现减阻节能

仿生脉动节能技术研发历程

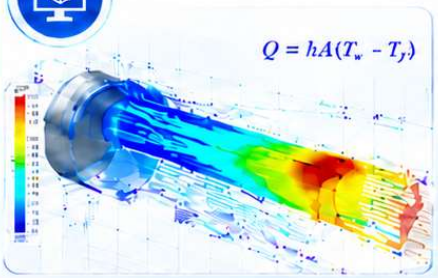
西安交通大學 XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

2014年9月

1 理论提出

非稳态强化传热理论

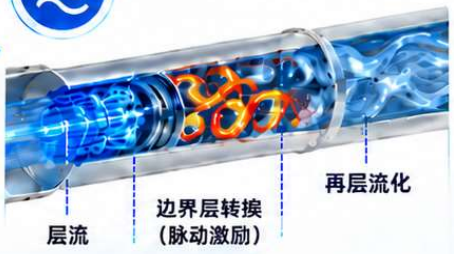
$Q = hA(T_w - T_f)$



2025年1月

2 机理突破

边界层转换—再层流化机制



2026年3月

3 产品落地

2026年3月20日
第一代仿生脉动智控阀

PIC-01



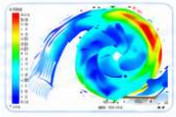
2026年12月

4 持续迭代

2026年12月
第二代产品即将推出



快速仿真平台



小管径脉动减阻试验台



高性能GPU服务器集群



能源动力装备与智能控制结合

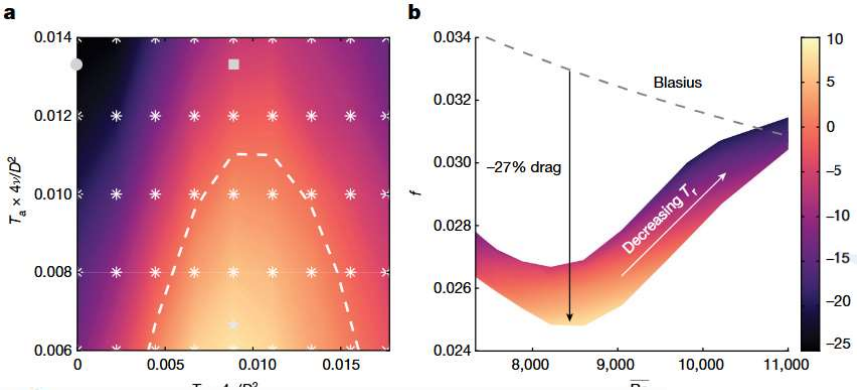


“理论—实验—装备—应用”技术体系

脉动减阻机理与技术验证

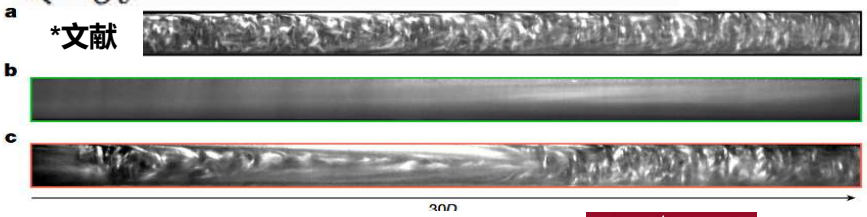
西安交通大學 XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

- 先进流体力学理论



$$\begin{cases} \nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \\ \rho \dfrac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \rho(\mathbf{u} \cdot \nabla)\mathbf{u} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{u} \end{cases}$$

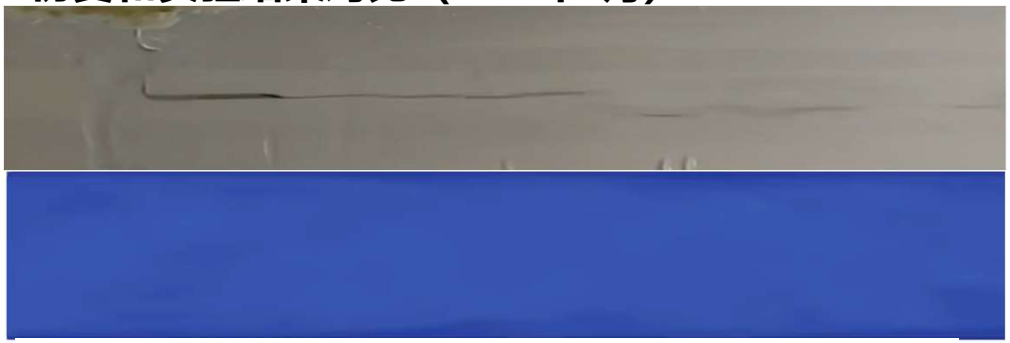
流体力学控制方程



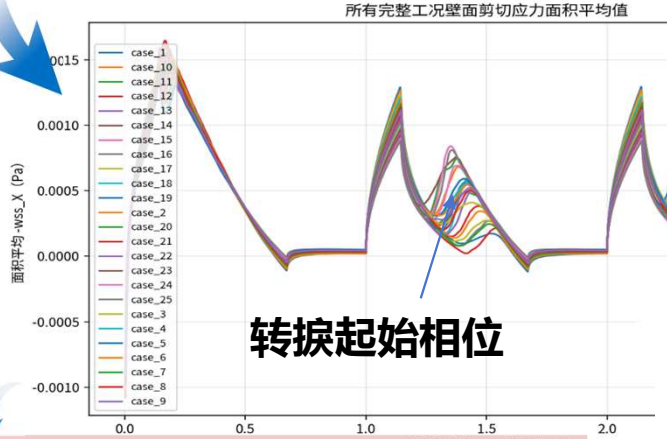
*文献

阻力减少27.4%，泵功减少9% nature International journal of science

- 仿真和实验结果对比（2024年1月）

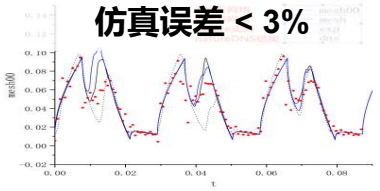


高精度流体力学仿真 可视化流体力学试验相互验证



转捩起始相位

目前达到的减阻节能效果>40%



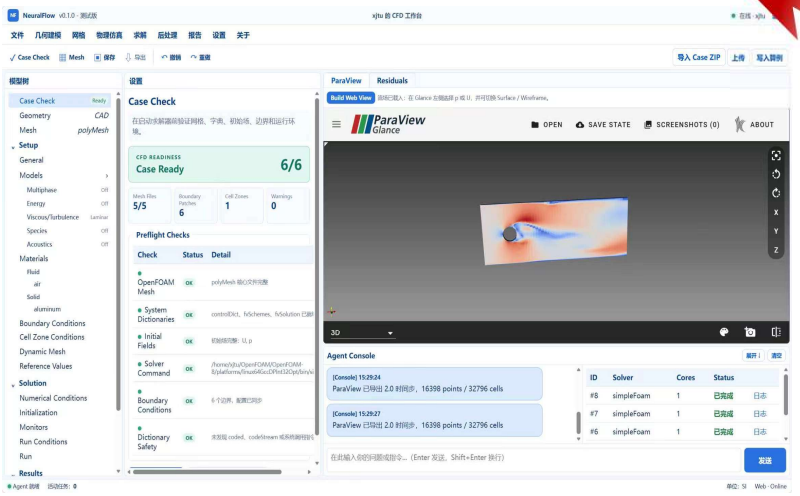
仿真误差 < 3%

先进科学理论：非对称脉动波减阻特性

仿真计算与实验验证平台

西安交通大學 XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

- 全GPU高精度快速仿真平台

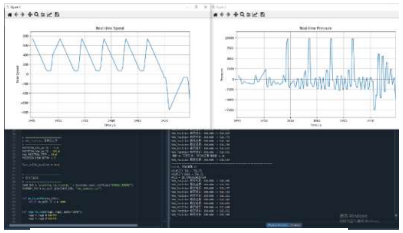


核心



高性能服务器集群

- 小管径脉动减阻试验台



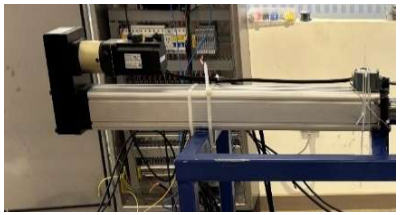
智能控制



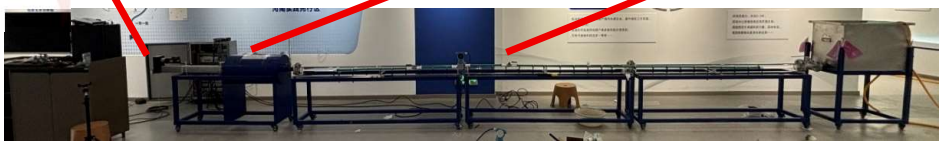
PLC控制柜



差压变送器



伺服电机



自动批量仿真计算 **网页客户端在线服务**

高性能全GPU快速仿真算法

自研CFD仿真算法+神经网络预测，相比商业软件计算速度 **快16倍**

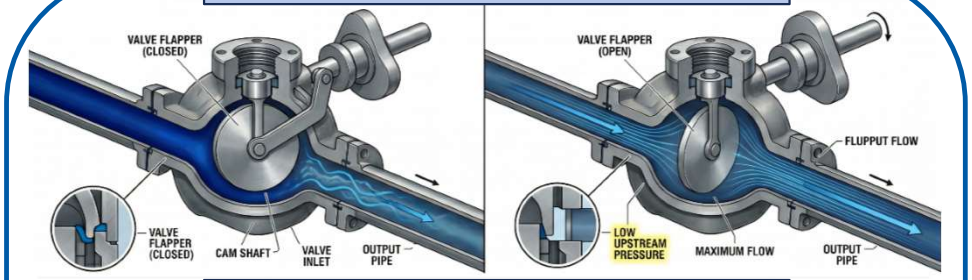
计算集群为核心，打通仿真、实验与数据分析三个环节，完成产品快速研发与持续迭代的技术闭环。

PIC系列智控阀与采控系统

西安交通大学 XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

- 脉动发生装置——PIC-01

物理与数据层



实物图



数据

控制

- 智能采集控制系统(ICCS)

智能与仿真层

物理驱动仿真技术 **数据驱动智能采控**



针对水务、石油化工等场景，利用**物理驱动仿真技术**和**数据驱动强化学习优化策略**，定制最优脉动波形

申请/授权国家发明专利**12项**，推动技术向安全可靠、无人值守方向发展。

智能采集控制系统——物理驱动仿真

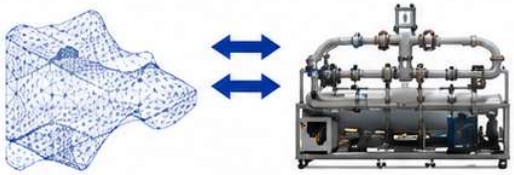
西安交通大學 XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

几何生成（参数化建模） → 自动网格（高质量网格） → GPU计算（快速CFD） → 实验复现（真实响应）

关键能力

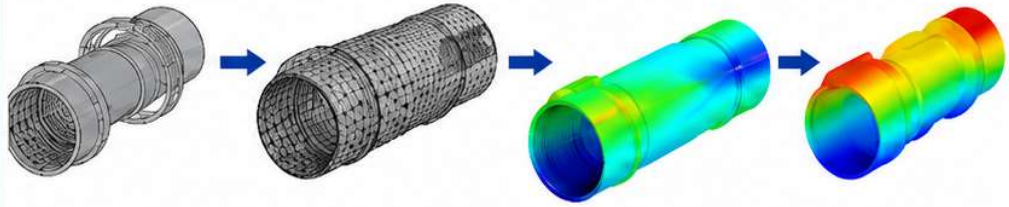
- 高阶多物理耦合
- 自动网格加密(梯度/敏感度)
- GPU并行加速计算
- CFD结果高精度
- 多尺度对比验证

数字孪生 ⇄ 仿真试验互证



自动仿真流程展示

CAD几何模型 → 自动生成网格 → CFD流场结果 → 压力云图



数据孪生平台

- 试验采集与融合
- 数据治理与建模
- 数字孪生体构建
- 可视化监控大屏



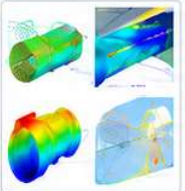
参数管理

- 设计参数管理
- 物料与工况库
- 版本与变更追溯
- 权限与协同管理



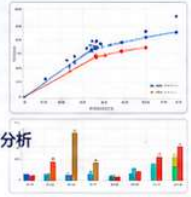
仿真结果

- 流场、压力、温度等结果
- 云图与切片可视化
- 关键指标提取
- 结果自动归档



对比分析

- 仿真与实验对比
- 多方案对比分析
- 误差评估与统计
- 敏感度与不确定性分析



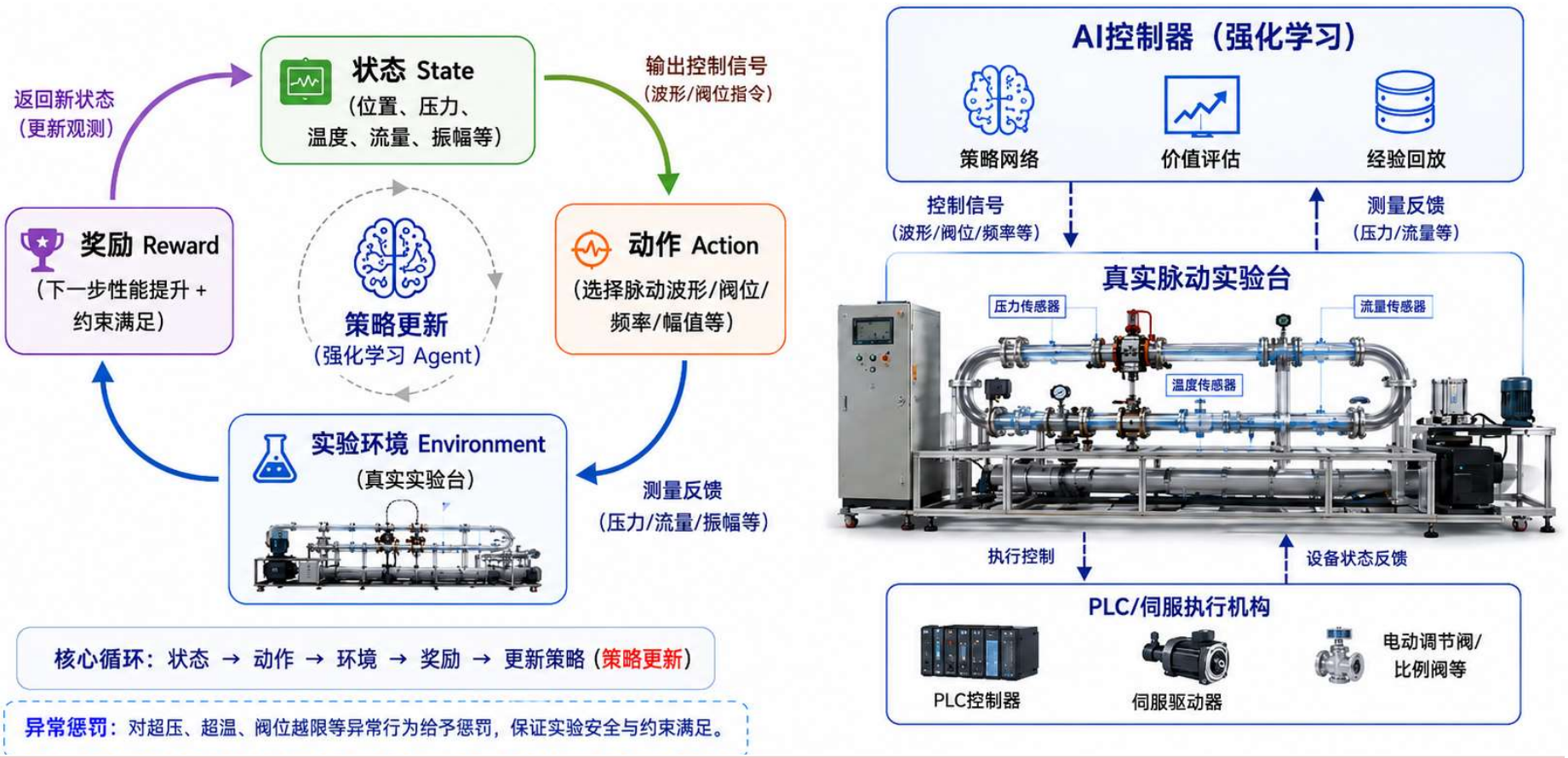
实验验证

- 实验数据采集
- 传感器信号处理
- 实验结果管理
- 仿真-实验闭环验证



为装备设计优化和产品快速迭代提供了技术支撑。

智能采集控制系统——数据驱动智能采控



基于深度强化学习算法，兼顾节能效果、控制稳定性和设备安全。

脉动波形与装置协同优化

西安交通大学 XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

输入目标Re与约束

- ✓ 目标Re / 温度
- ✓ 油相配比（可控/压力/安全）
- ✓ 装置类型/空间限制
- ✓ ……

AI搜索与优化

波形 + 结构 + 控制策略综合优化

PLC执行与控制

自动下发参数，执行实验

装置迭代升级

结构/控制波形迭代升级

优化对象 （不仅是波形）

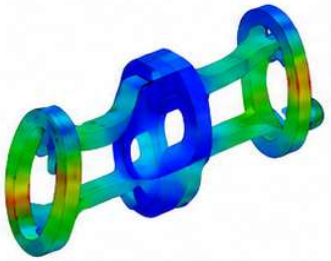
伺服活塞脉动装置



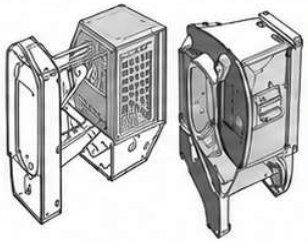
执行机构优化



拓扑优化结构



机械设计变体



策略与约束边界

行程约束

速度上限

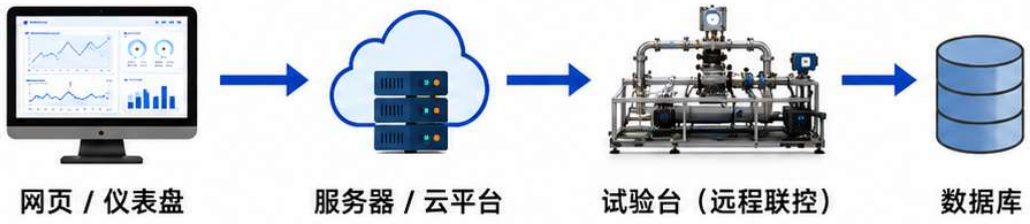
加速度上限

压力上限

安全边界

AI联合优化：波形参数 + 执行机构 + 控制逻辑 + 装置结构

远程采控与自动数据库



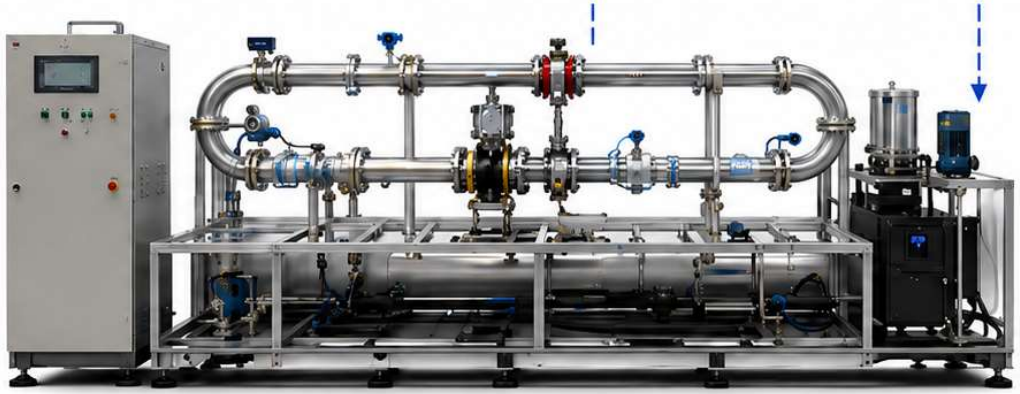


自动分析链路

- **自动归档**：数据自动采集与归档
- **特征提取**：信号处理与关键特征提取
- **模型分析**：多模型分析与结果评估
- **自动报告**：自动生成分析报告与图表

远程价值

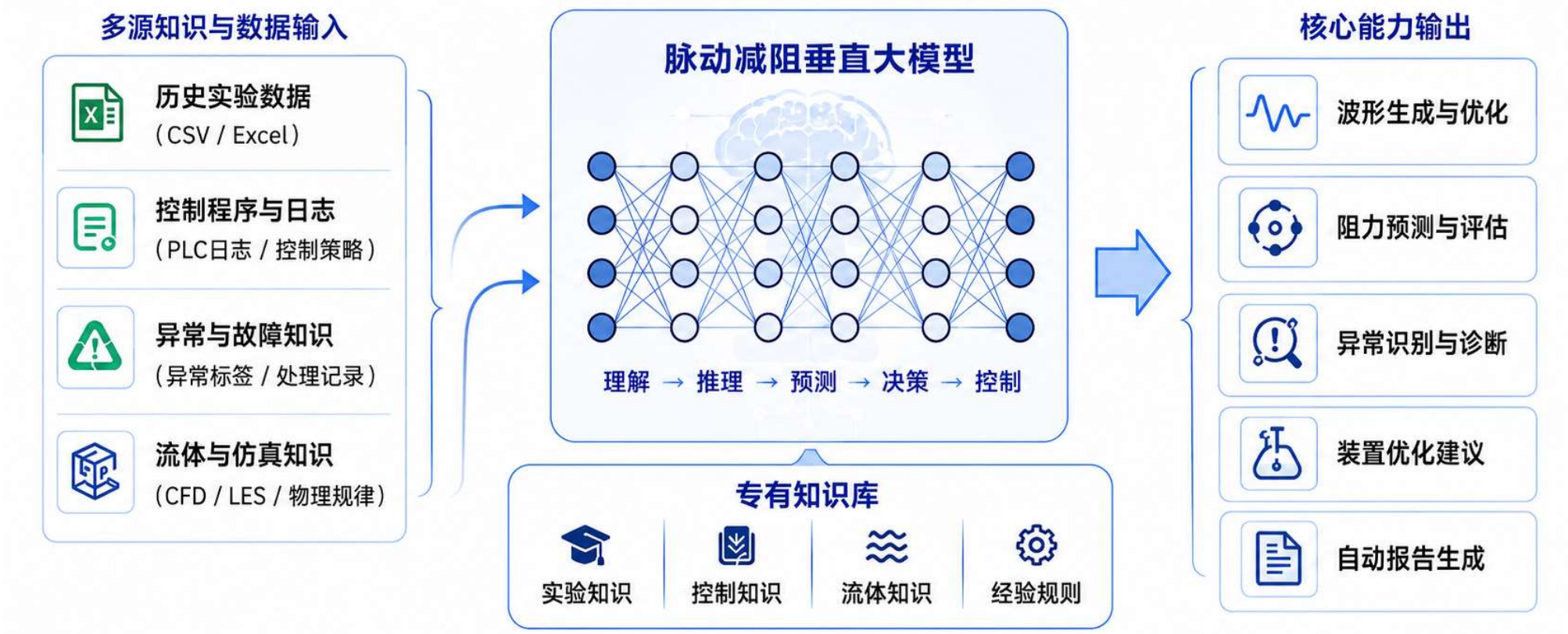
- **远程调参**：远程参数调整与优化
- **批量实验**：多任务并行与批量试验
- **自动分析**：自动化分析与异常识别
- **结果复现**：结果可追溯与复现实验



客户分布广、现场响应要求高，通过网页端云平台，减少人工巡检与经验调参。

脉动减阻节能垂直大模型和知识库

西安交通大學 XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY



以专业理论为基础，海量数据为突破，推动技术快速迭代

智慧水务示范与经济性测算

西安交通大学 XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

行业痛点

长距离输水能耗高
泵站负荷大，运行成本高

压力波动与水锤风险
冲击管网安全

偏远地区运维困难
巡检成本高

保供与节能并重
多场景需求增长



我们的解决方案：智能仿生脉动输水节能系统

感知—分析—决策—控制—优化 的智能闭环

智能感知	智能分析	智能决策	智能控制	效果反馈
• 压力 • 流量 • 振动 • 能耗	• 数字孪生 • CFD模型 • 状态识别	• 最优频率 • 最优幅值 • 参数优化	• 主动调节 • 脉动装置 • 联动控制	• 节能评估 • 风险预警 • 持续优化



不改变原有管网 | 安装便捷 | 投资小 | 效果显著

广泛的应用场景









市场拓展路径

以水务场景切入，验证成熟后拓展至燃气、供热等领域，最终覆盖全流体输送场景。

水务先行 试点应用 → **示范验证** 评估效果 → **燃气与供热** 复制推广 → **全流体应用** 长期目标

战略合作：福建东山水务、河南博爱水务



市场空间与潜力

西安交通大學 XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

科研端
- 自主实验
- 自主分析
- 知识发现

工程端
- 远程调试
- 故障诊断
- 数字孪生

产业端
- 智能节能装备
- 平台化服务
- 规模化应用

智能节能装备
平台化服务



产业应用场景



长距离输水
降低泵站能耗
提升输水效率



石油化工
减阻降压降耗
提升工艺稳定性



数据中心
冷却水系统节能
保障高效运行



天然气 / LNG
输送能耗优化
安全稳定运行

起源于脉动减阻节能技术，但不止用于脉动减阻节能！

商业模式与客户价值闭环



科研条件与工程实施能力

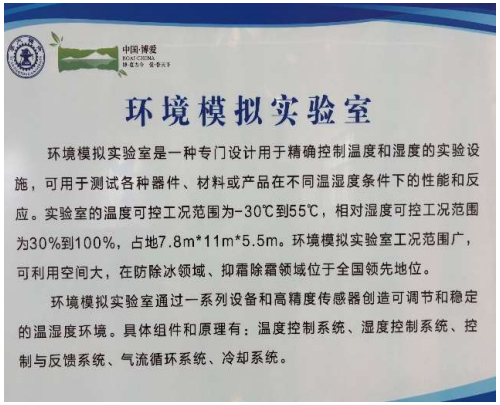
西安交通大學 XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

- **团队资源** * 实验平台 实验设备 服务器资源



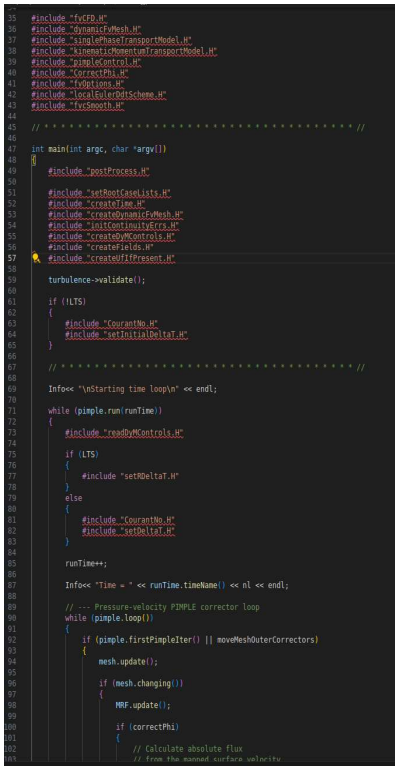


11台高性能GPU集群
* 百块GPU



低温环境模拟实验室
* -20-0摄氏度低温环境

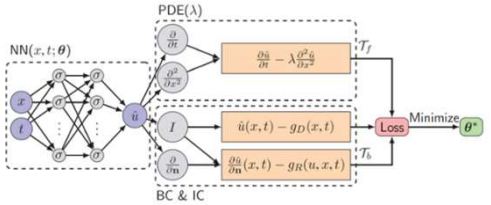
- **技术优势** * 全GPU高精度快速仿真算法 高性能服务器 装备制造



1. 高性能全GPU仿真计算：

平台	硬件类型	单步耗时	备注
fluent	CPU(3970X)	19s	
GPU	GPU(20280ti)	1.1s	快16倍
GPU	GPU(20280ti)	1.1s	多卡多任务
140万polyhedral网格，RANS，瞬态			

2. 自主可控，高自由度AI数据接口



3. PLC智能控制与智能装备设计制造



展号位：4T25，孟先生13370185352 周先生15229292716

西安交通大學
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

谢 谢!