



南水北调泵站数字孪生建设实践与思考

南水北调东线江苏水源有限责任公司

莫兆祥



汇报重点

一、智慧水利建设背景要求

三、国际数字孪生技术借鉴

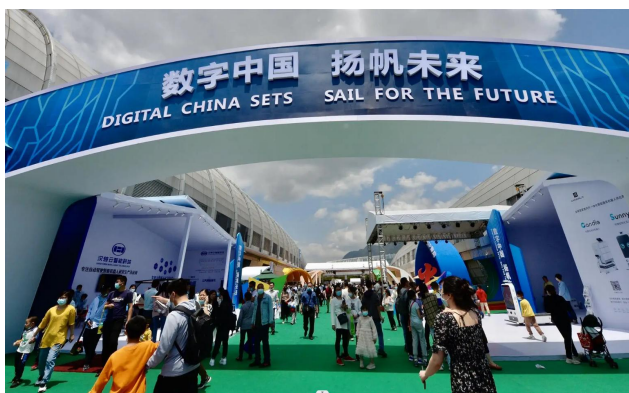
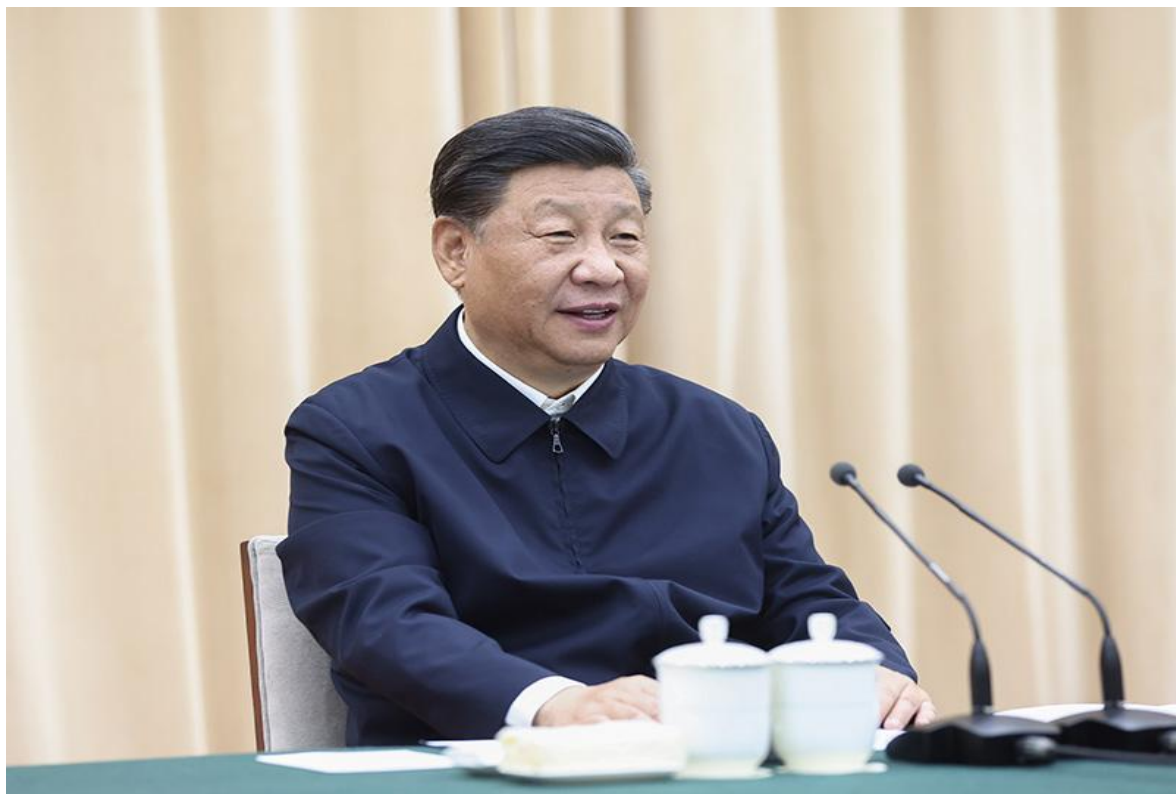
二、江苏南水北调工程简介

四、数字孪生泵站建设探索



一、智慧水利建设背景要求

■ 总书记十六字治水方针：节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力



习近平总书记强调“没有信息化就没有现代化、没有网络安全就没有国家安全。”

■ 智慧水利与南水北调工程融合发展

背景



2020年11月13日，习近平视察南水北调东线源头。



2021年5月13日，习近平视察南水北调中线源头。



2022年1月6日，水利部党组明确提出推进**智慧水利建设**是推动新阶段水利高质量发展的六条实施路径之一，加快构建具有预报、预警、预演、预案(简称“四预”)功能的**智慧水利体系**。

背景

水利部出台了《关于大力推进智慧水利建设的指导意见》、《“十四五”期间推进智慧水利建设实施方案》、《智慧水利建设顶层设计》、《“十四五”智慧水利建设规划》，系列文件明确了推进智慧水利建设的**时间表、路线图、任务书、责任单**。

“十四五”期间推进智慧水利建设实施方案

为深入贯彻落实习近平总书记关于网络强国的重要思想，积极践行习近平生态文明思想“生态优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的治水思路，认真落实国家“十四五”规划纲要的要求，按照水利部党组决策部署，水利部印发《关于大力推进智慧水利建设的指导意见》《智慧水利建设顶层设计》《“十四五”智慧水利建设规划》等文件，明确智慧水利建设的总体要求、主要任务、保障措施、实施步骤、组织保障等，为智慧水利建设提供政策支撑。

一、总体目标

智慧水利建设应以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻党的十九大和十九届二中、三中、五中全会精神，按照习近平总书记关于网络强国的重要思想和习近平总书记关于“十六字”治水思路，立足新发展阶段，贯彻新发展理念，构建新发展格局，推动高质量发展，按照“需求牵引、应用至上、数字赋能、提升能力”要求，以数字化、网络化、智能化为主线，以数字化转型为基础，以数据驱动为牵引，以构建数字孪生流域为核心，全面提升智慧、法治、聚力建设，加快推进具有中国特色、中国风格、中国气派的“五位一体”智慧水利体系建设，为全面建设社会主义现代化国家提供有力支撑。

3

水利部文件

水信总〔2021〕323号

水利部关于印发《关于大力推进智慧水利建设的指导意见》《智慧水利建设顶层设计》《“十四五”智慧水利建设规划》的通知

部机关各司局，部直属各单位，各省、自治区、直辖市水利（水务）厅（局），各计划单列市水利（水务）局，新疆生产建设兵团水利（水务）局。为加快推进智慧水利建设，推动新阶段水利高质量发展，我部组织编制了《关于大力推进智慧水利建设的指导意见》《智慧水利建设顶层设计》《“十四五”智慧水利建设规划》。现印发给你们，请结合实际认真贯彻落实。

— 1 —

水利部文件

水信总〔2021〕365号

水利部关于印发《“十四五”期间推进智慧水利建设实施方案》的通知

部机关各司局，部直属各单位，中国长江三峡集团有限公司、中国南水北调集团有限公司。

为加快推进智慧水利建设，推动新阶段水利高质量发展，在已印发的《关于大力推进智慧水利建设的指导意见》《智慧水利建设顶层设计》《“十四五”智慧水利建设规划》基础上，为进一步细化任务措施、落实责任分工、明确完成时限，我部组织编制了《“十四五”期间推进智慧水利建设实施方案》。现印发给你们，请结合实际认真贯彻落实。

— 1 —

“十四五”智慧水利建设规划

中华人民共和国水利部
二〇二一年十月

关于大力推进智慧水利建设的指导意见

中华人民共和国水利部
二〇二一年十月

二〇二一年十月
水利部规划司编制

原则

坚持党的领导，坚持统筹谋划，坚持整合共享，坚持协同推进，坚持急用先建，坚持融合创新。

建设安排

按照急用先建、分步实施的原则，智慧水利建设总体分三个阶段推进。

“十四五”期间，建成智慧水利体系1.0版；

“十五五”期间，建成智慧水利体系2.0版；

到2035年，各项水利治理管理活动全面实现数字化、网络化、智能化。

建设路线

智慧水利建设的核心是数字孪生流域，建设路线主要包括构建数字化场景、开展智慧化模拟、支撑精准化决策，三者环环相扣、层层递进。

安全

设施设备

可靠

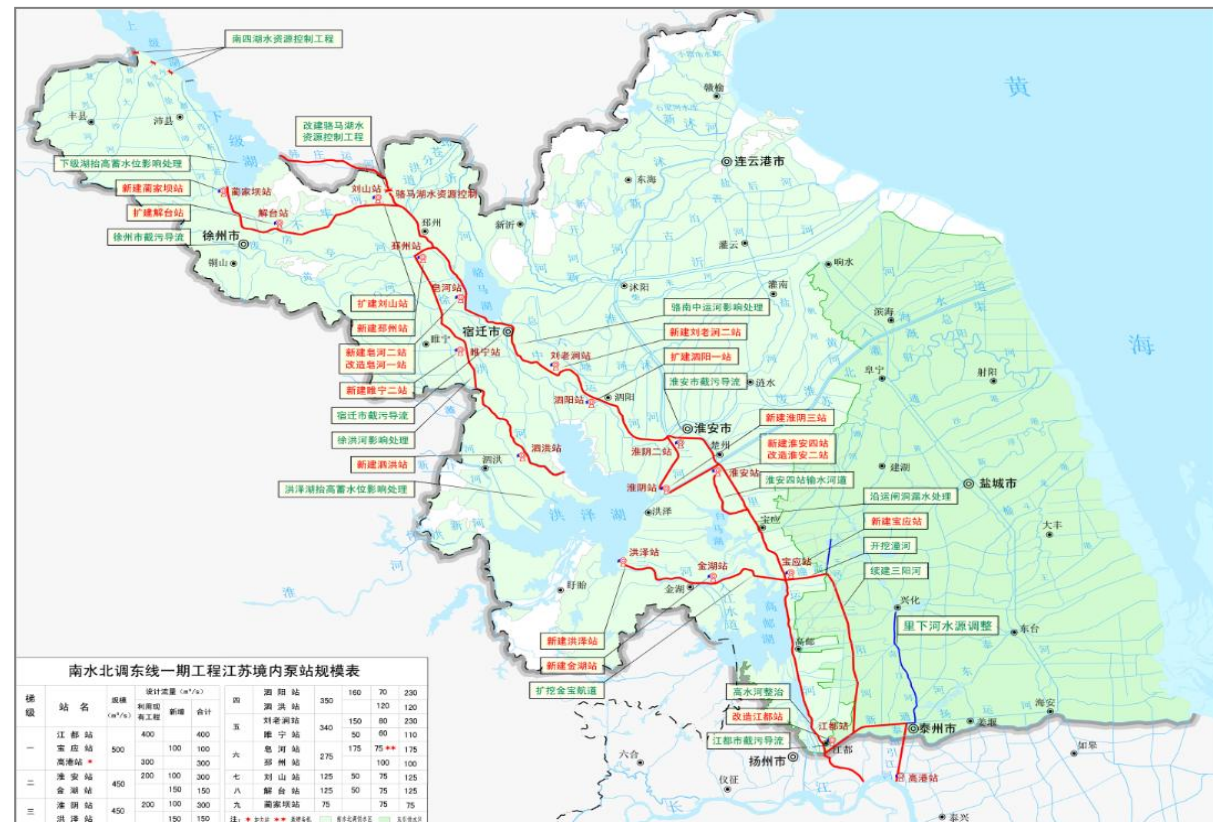
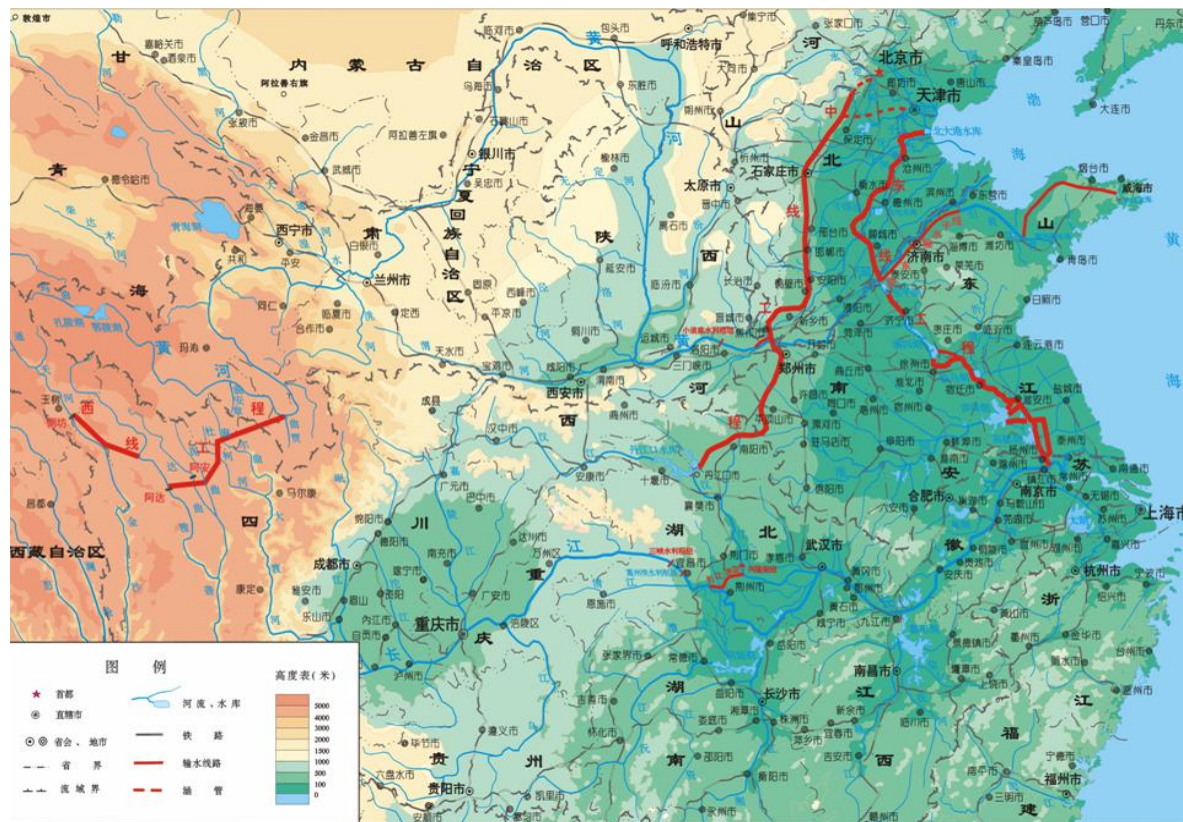
运行控制

智能

管理手段

二、江苏南水北调工程简介

工程简介



中国南水北调 (东线、中线、西线)

江苏南水北调(14座大型泵站)

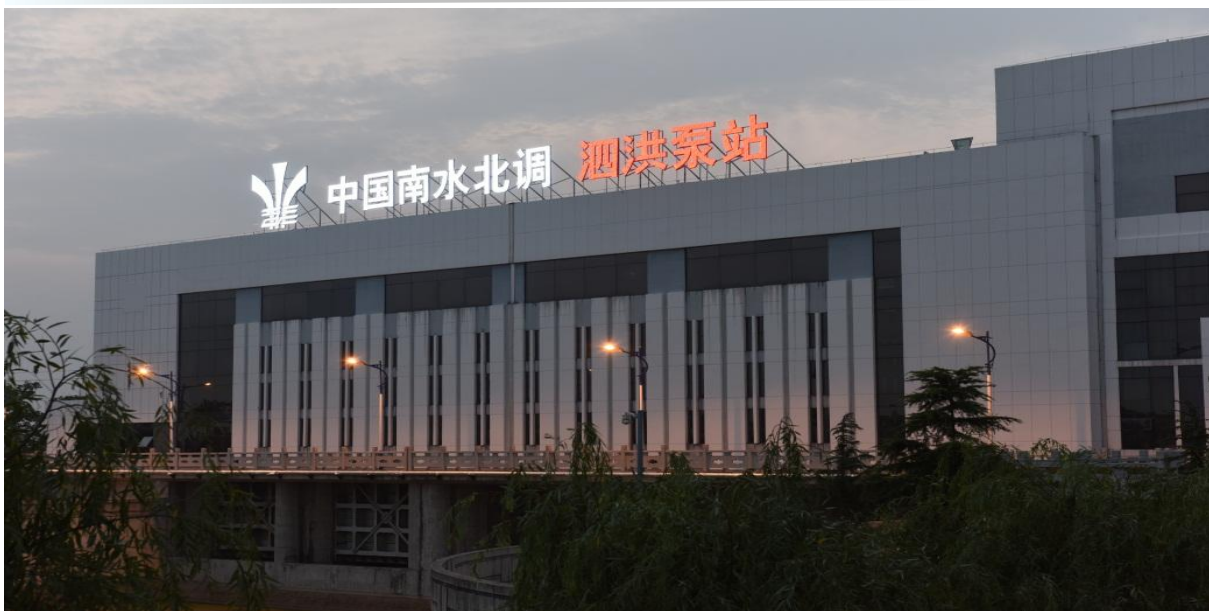
江苏南水北调工程



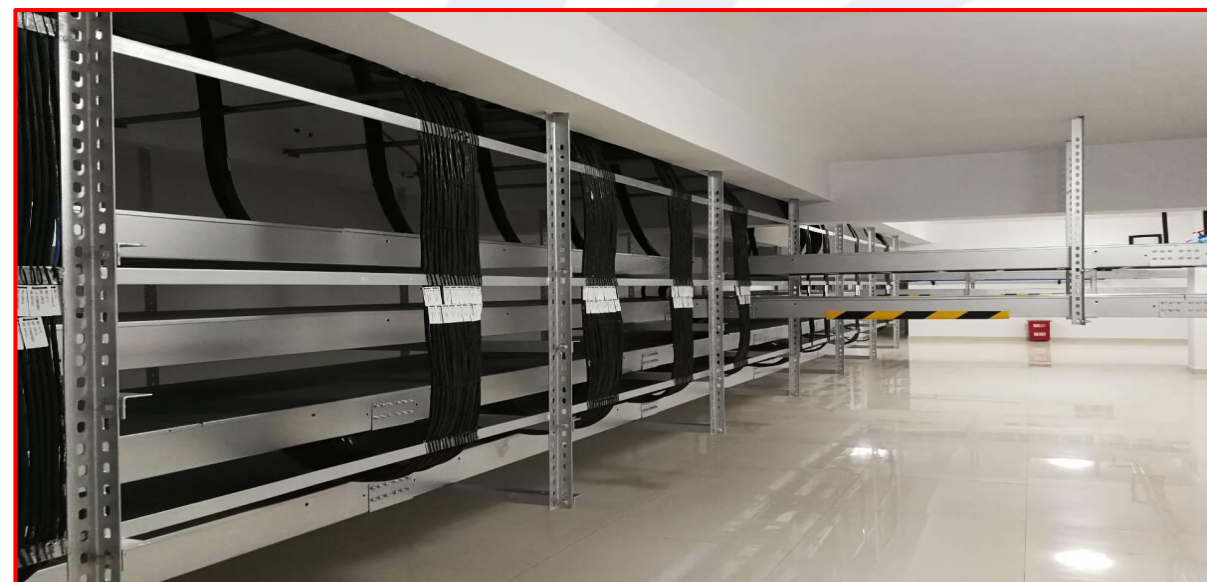
江苏南水北调工程



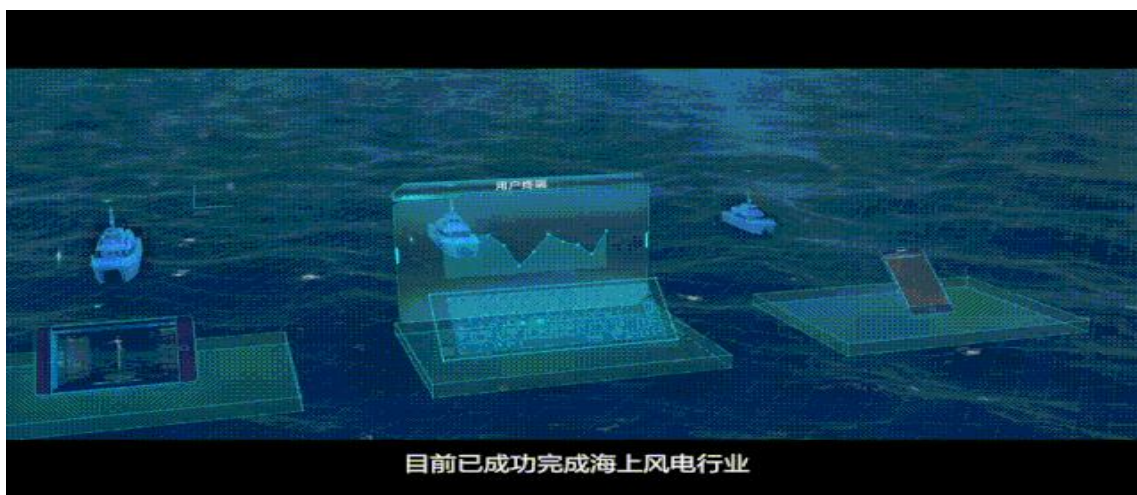
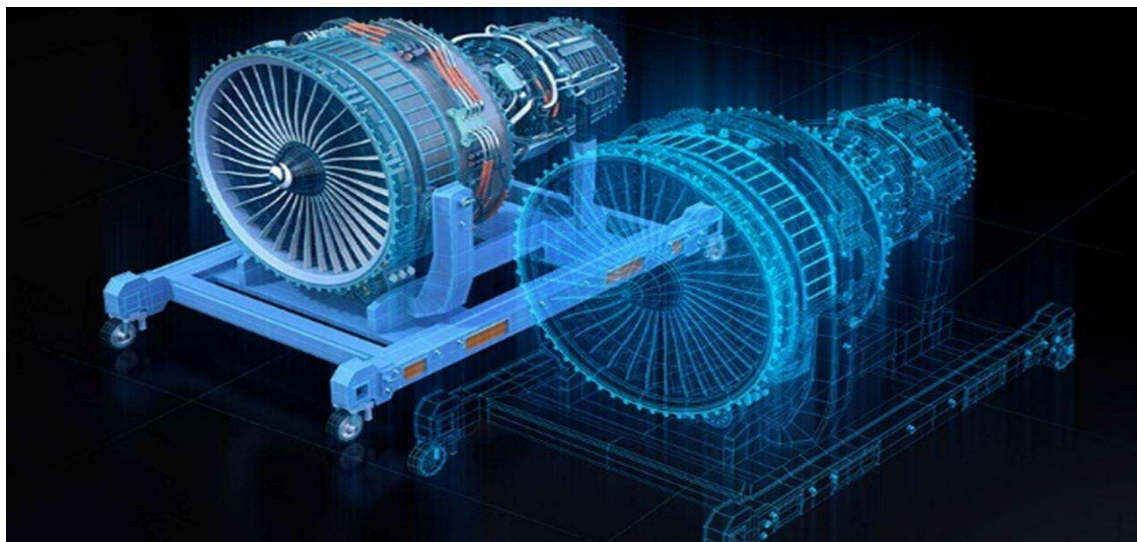
江苏南水北调工程



江苏南水北调工程



三、国际数字孪生技术借鉴

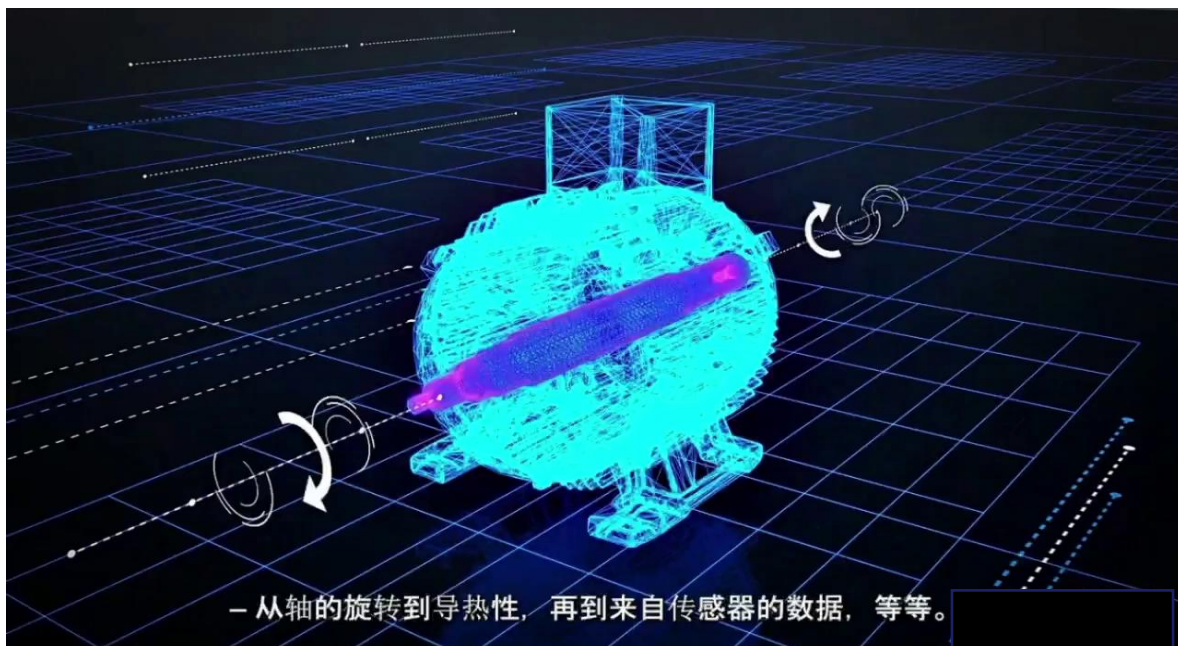


- “孪生”的概念起源于美国国家航空航天局的“阿波罗计划”
- 即构建两个相同的物理实体航天飞行器，其中一个发射到太空执行任务，另一个留在地球上用于反映太空中航天器在任务期间的工作状态，从而辅助工程师分析处理太空中出现的紧急事件。
- 数字孪生（Digital Twin）的设想首次出现于Grievess教授在美国密歇根大学的产品全生命周期管理课程上
- 即在虚拟空间构建的数字模型与物理实体交互映射，忠实地描述物理实体全生命周期的运行轨迹。



2012年，NASA给出了数字孪生的概念描述：
数字孪生是指充分利用物理模型、传感器、运行历史等数据，集成多学科、多尺度的仿真过程，它作为虚拟空间中对实体产品的镜像，反映了相对应物理实体产品的全生命周期过程。

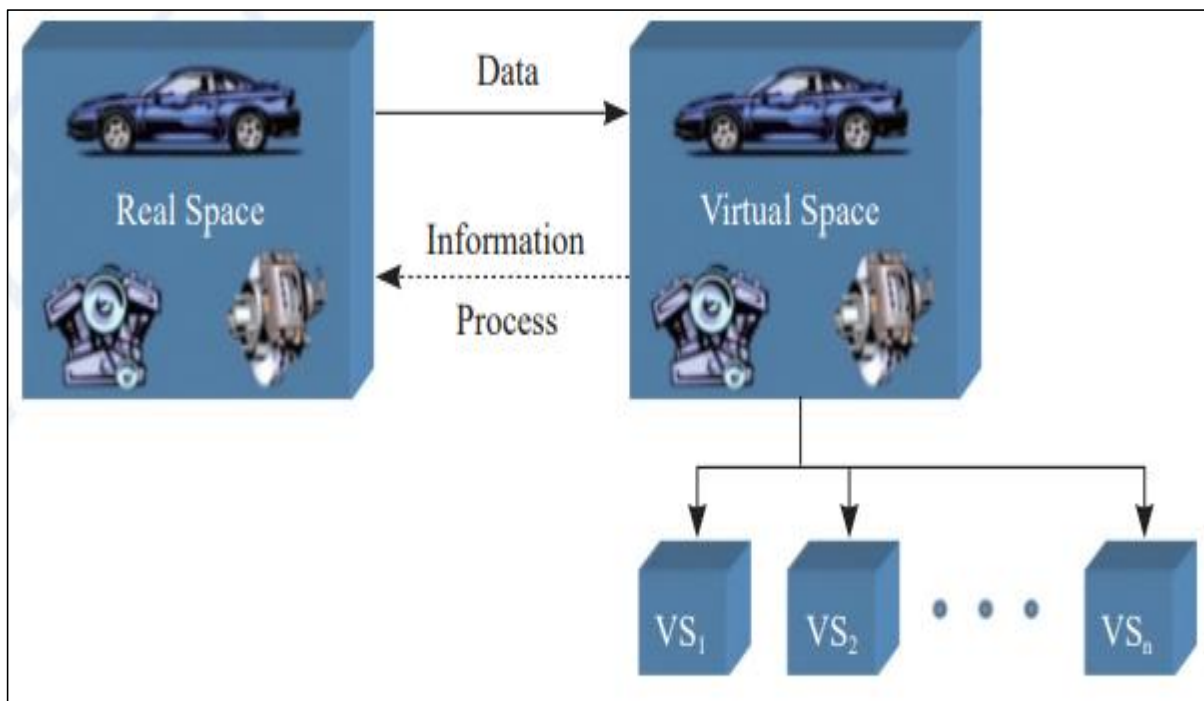
□ 借鉴国外案例



西门子数字工厂

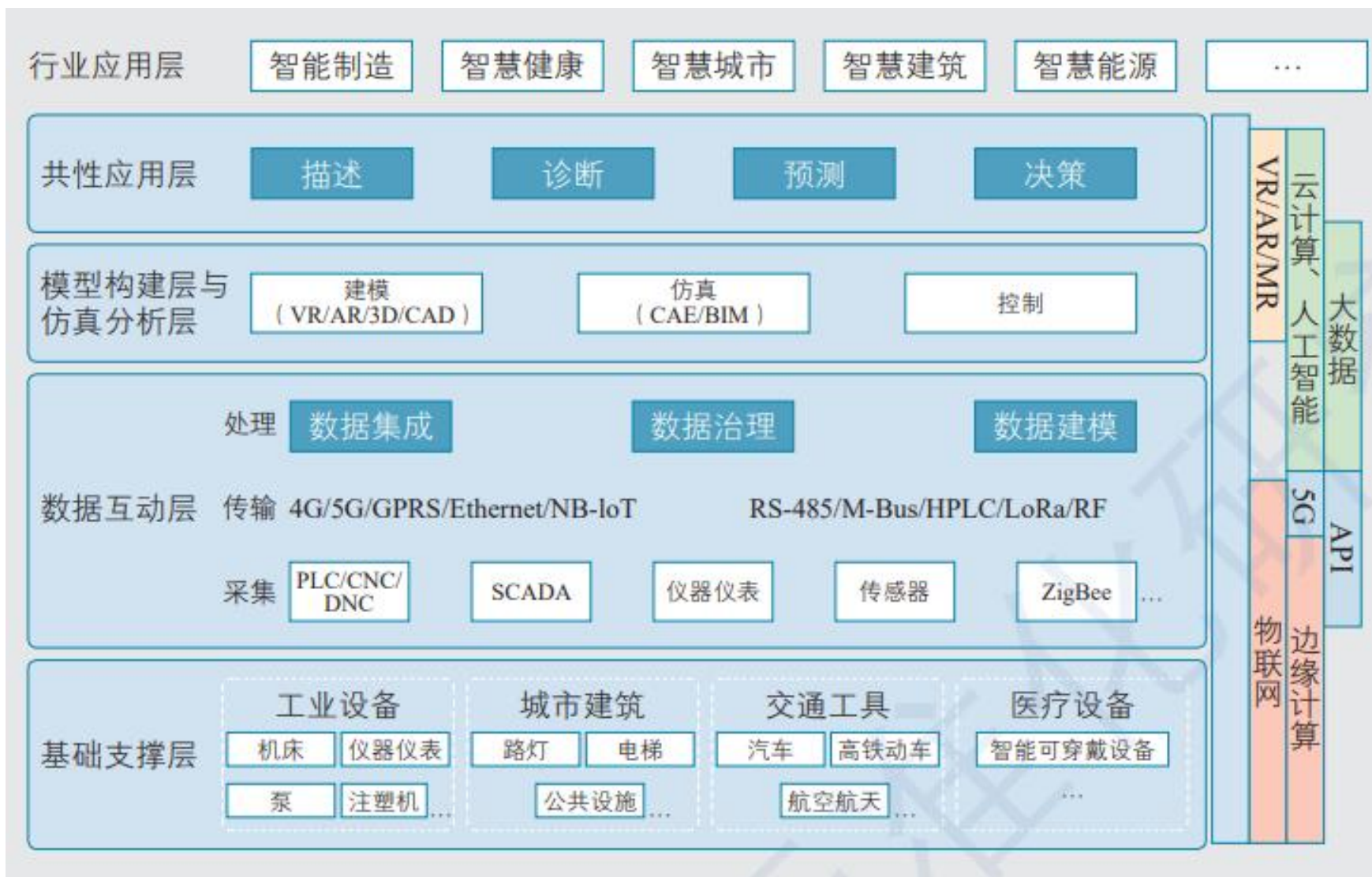


GE数字电站



- 数字孪生是一个**跨学科**的研究领域，包括工程、计算机科学、自动化与控制等。但由于该领域的多学科性质，它还涉及材料科学、通信、运营管理、机器人学等学科。
- 数字孪生、“智能制造”、“大数据”、“信息物理系统”和“数字经济”是密切相关的领域。

数字孪生生态系统



构建物理实体虚拟映射的3D模型，结合物理规律与机理，进行计算、分析和预测

通过高带宽、低时延、分布式、高安全性的数据传输技术，实现平台间的数据交互

以大量数据为基础，包括设备数据、环境数据、流程数据等

数字孪生行业应用----导航



高德常规导航

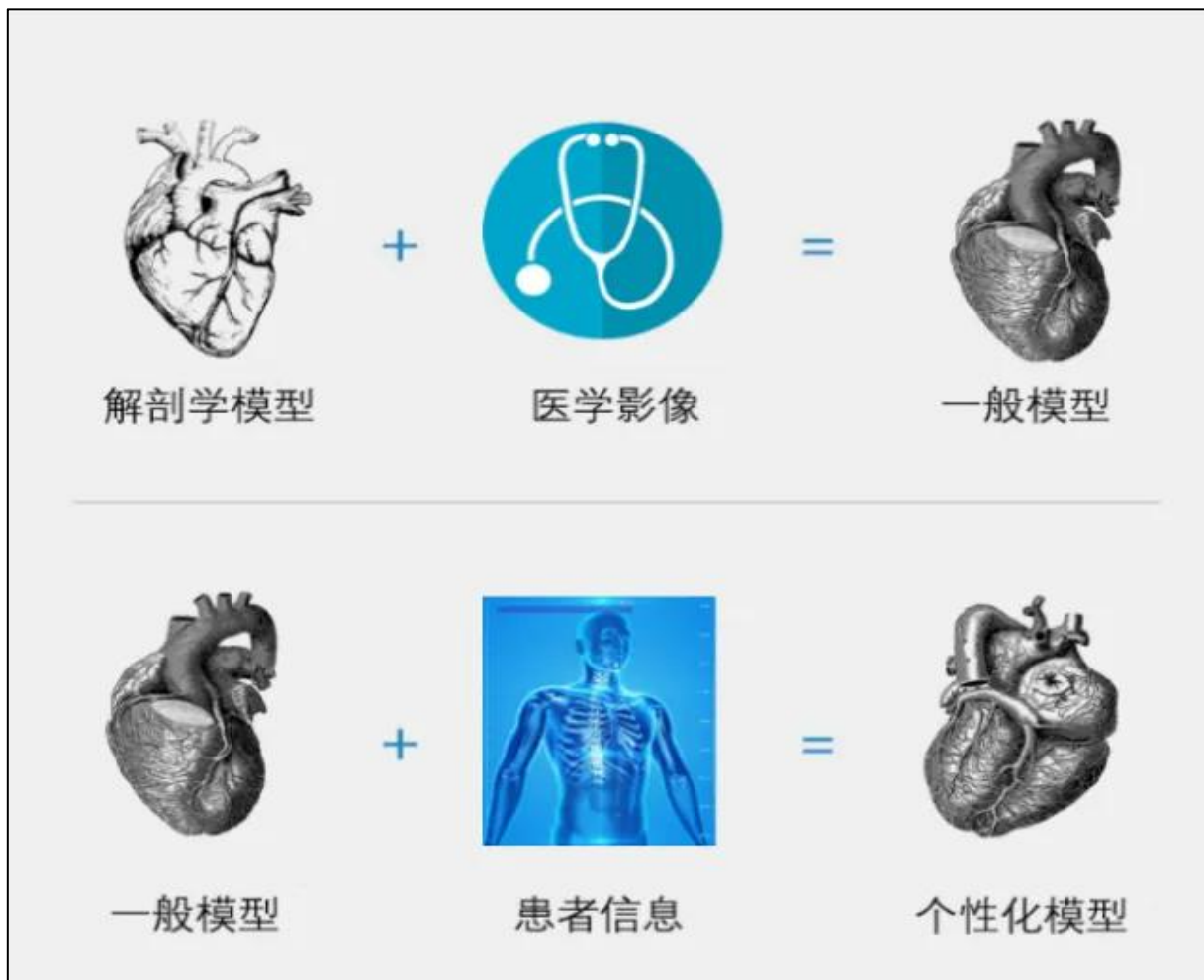


高德车道级导航



数字领航员，小高老师，学习、情感陪伴

数字孪生行业应用----医疗

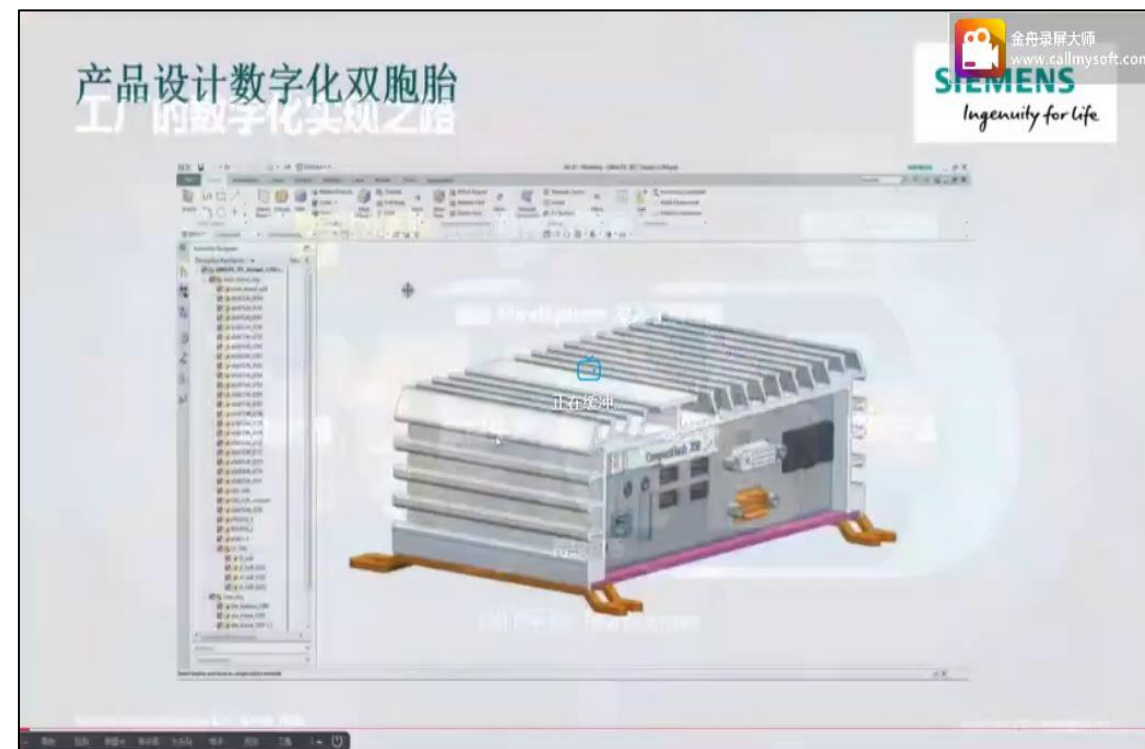
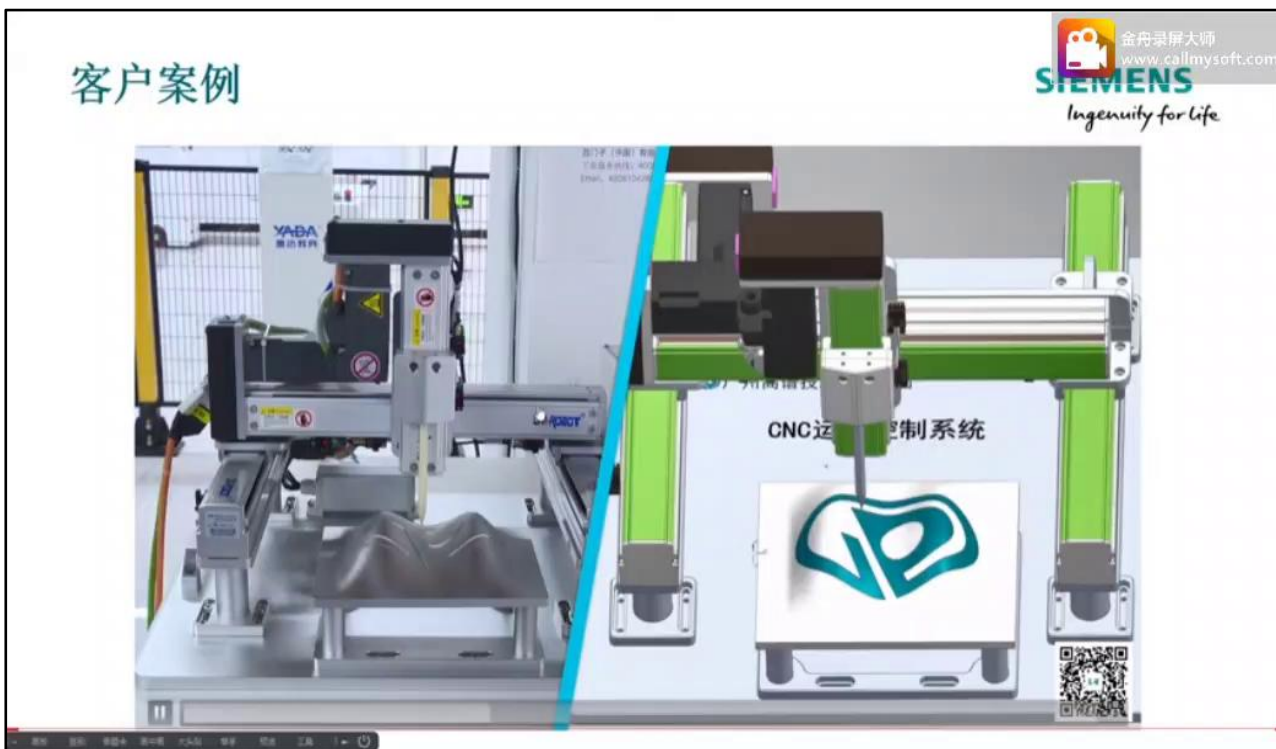


live heart Project



Living Lung Project

数字孪生行业应用--智能制造

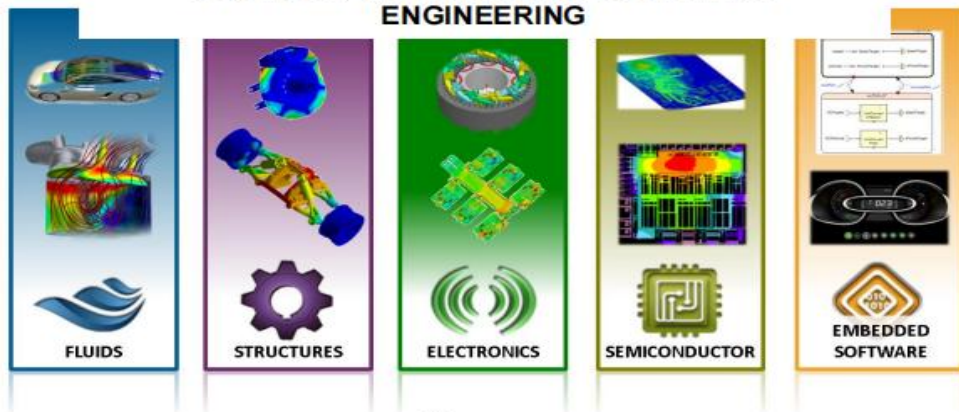


西门子推出Simcenter解决方案，将仿真和物理测试技术与智能报告和数据分析技术相结合，以帮助用户创建数字双胞胎。

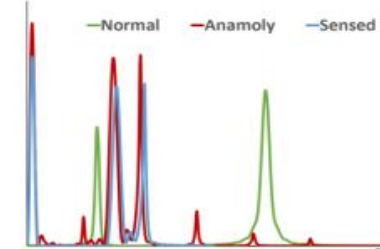
数字双胞胎应用展望

设计角度

MODEL-BASED ENTERPRISE & SYSTEMS ENGINEERING



Digital Signatures

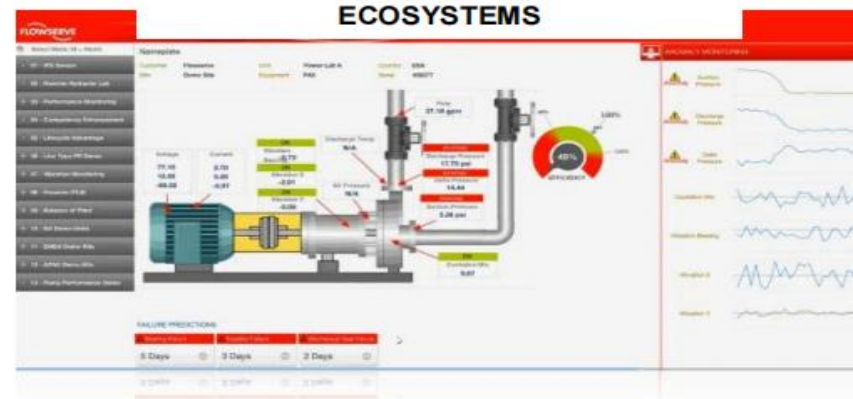


Virtual Sensors



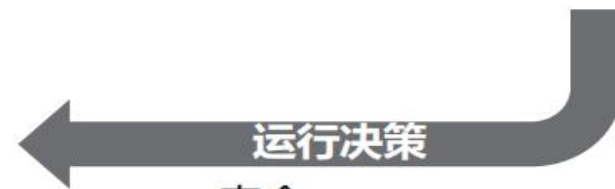
运行角度

INTEGRATED IoT ASSETS & ECOSYSTEMS



设计决策

- 成本
- 重量
- 效率
- 鲁棒性

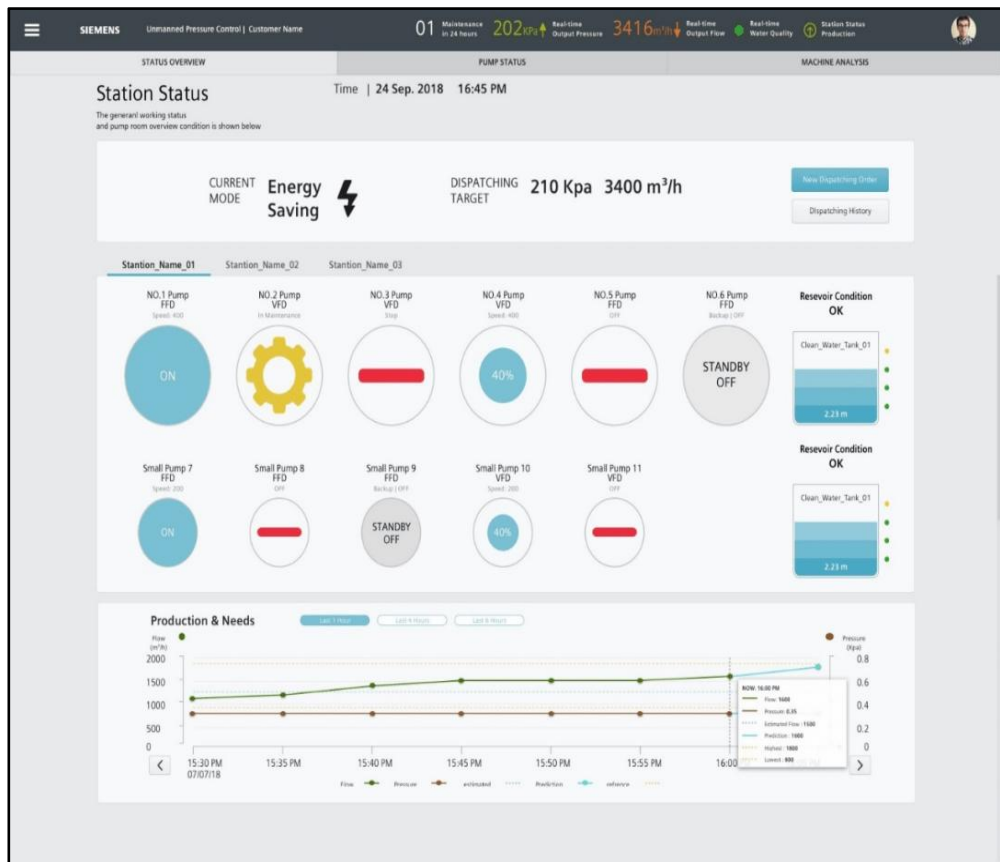


运行决策

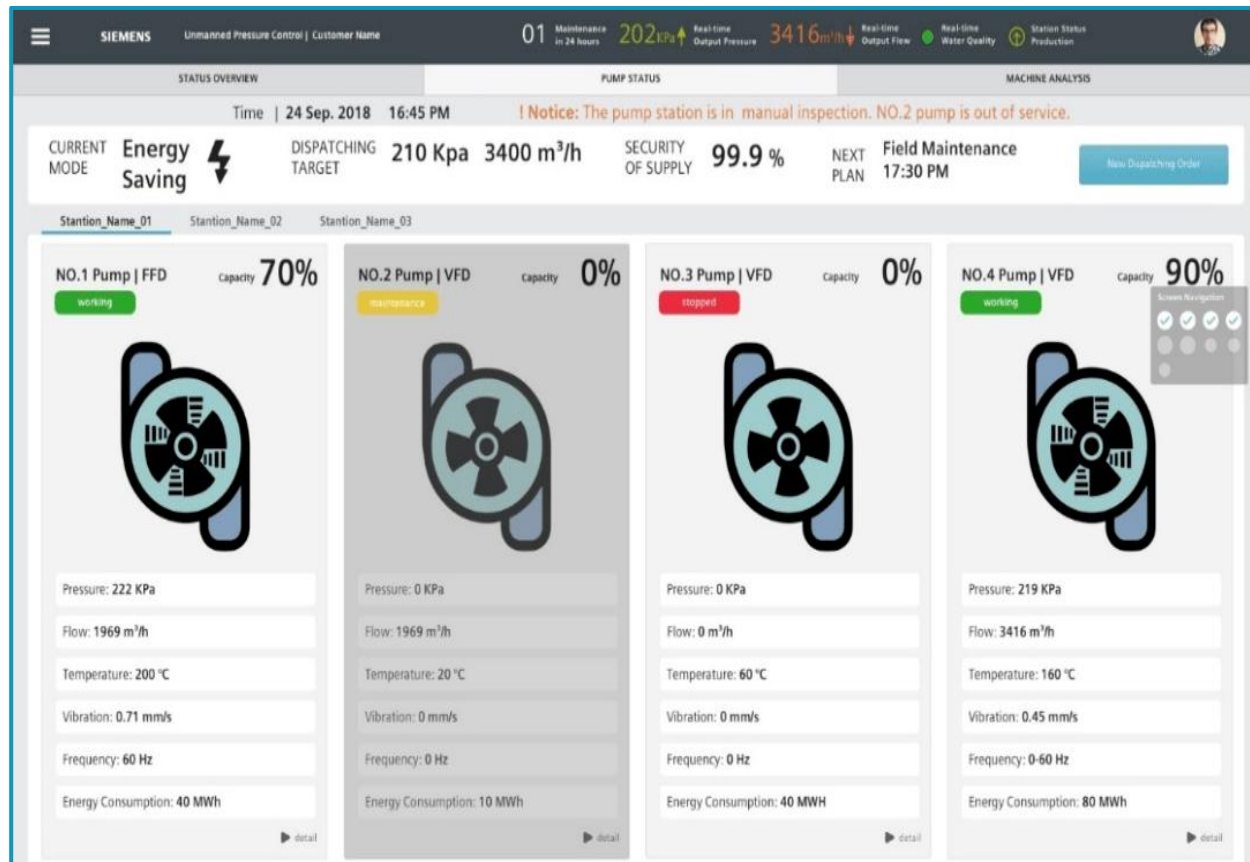
- 寿命
- 性能
- 诊断
- 优化



数字孪生行业应用--数字化泵站系统



经济运行



健康运维

ArcGIS

Digital Twins Bring Value to Water Utilities

Water May 21, 2021



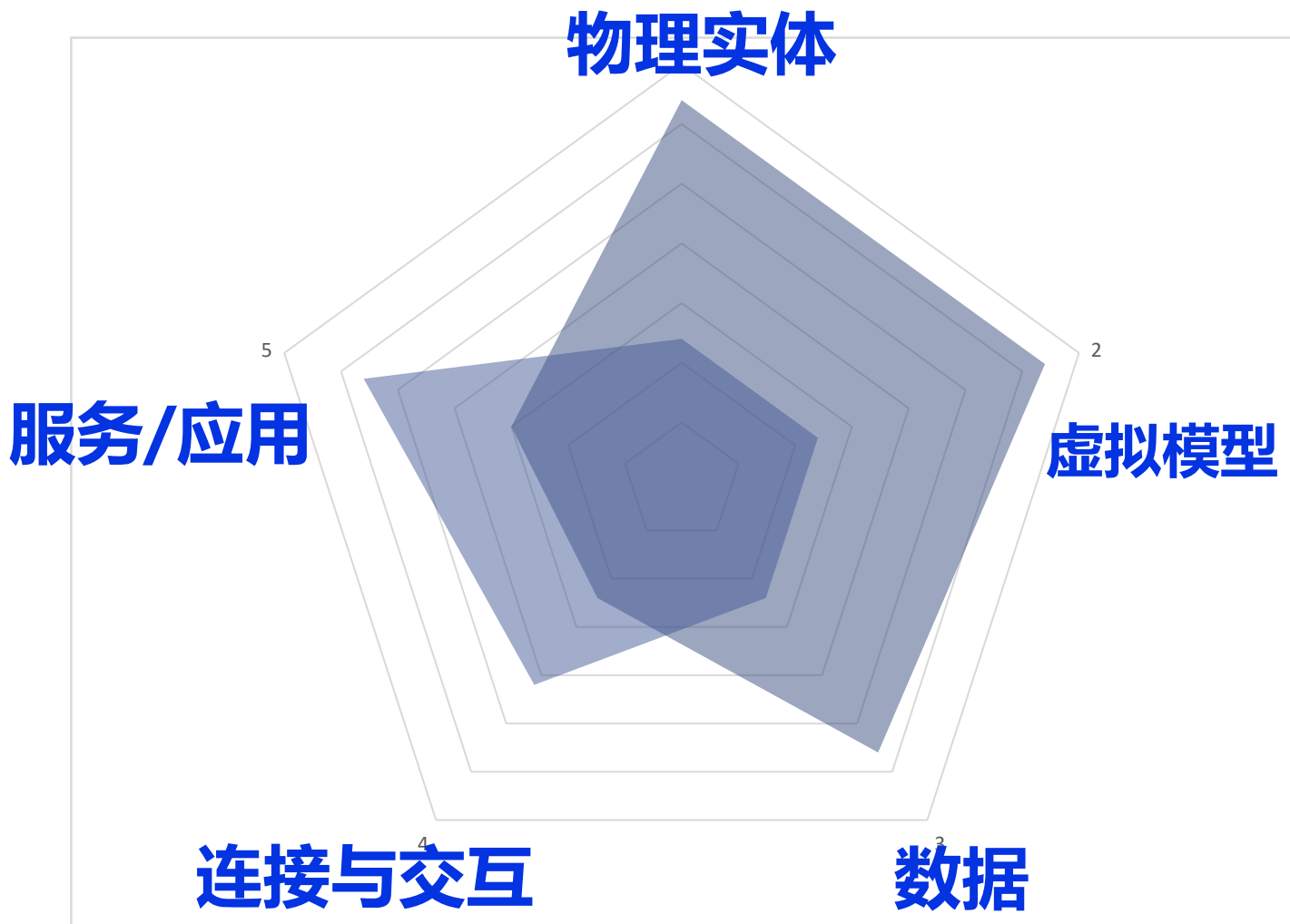
Christa Campbell

David Wachal



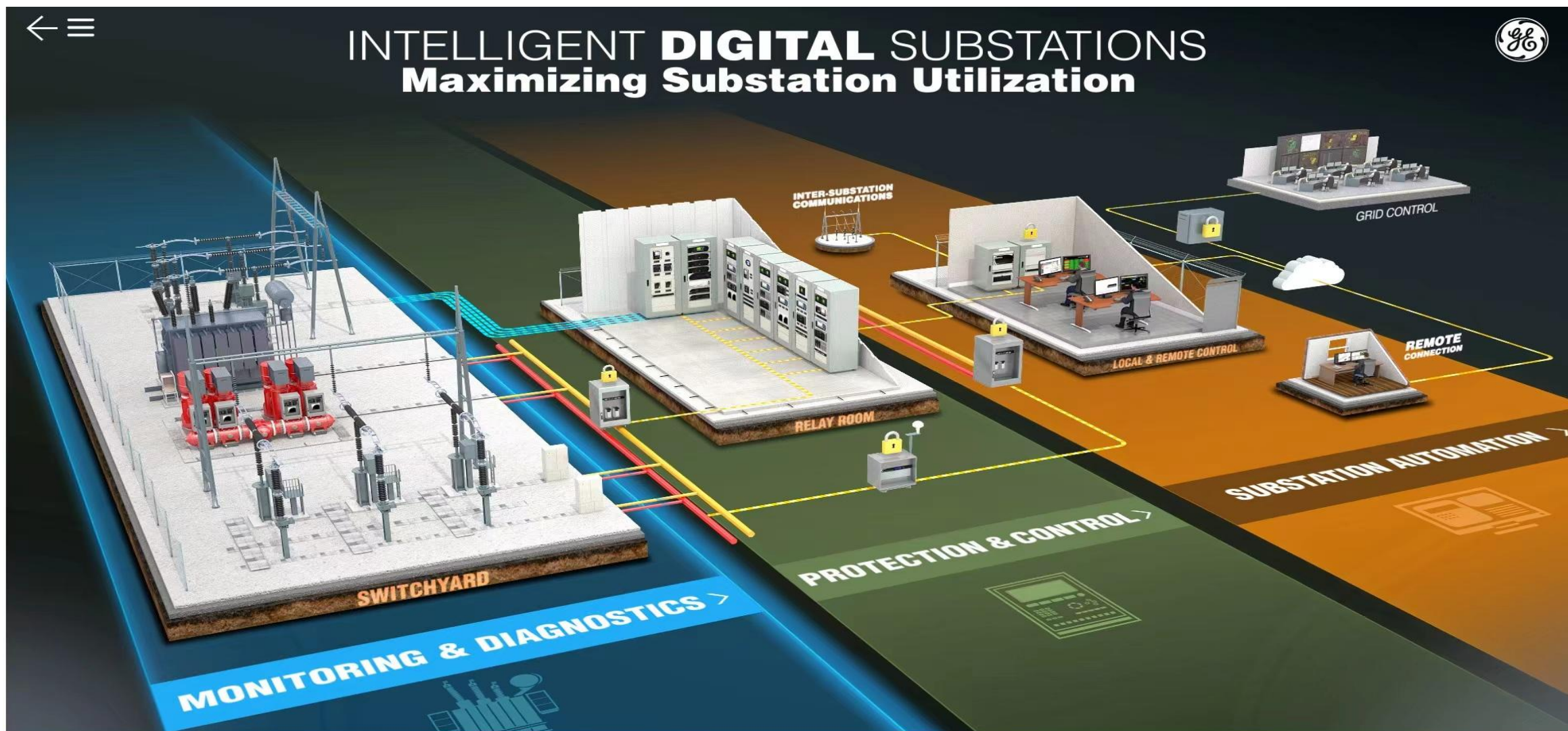
The visualization and analysis capabilities of ArcGIS in a digital twin help utilities plan investments by providing insight into different system scenarios and the impacts they may have. Easy access to data allows decisions to be made more quickly. Digital twins help with operator training and workflow efficiency. Data feeds from real-time IoT devices are easier to manage within a digital twin, formatting and displaying information in ways that bring value to the organization. Improved mapping and 3D modeling help to manage facilities and vertical assets. Digital twins enable interaction and collaboration across multiple departments improving communication with stakeholders.

数字孪生五维模型



应用于制造、卫星、汽车、船舶、飞机、智慧城市等十个领域

美国通用电气在泵站数字化方面理念



基于IEC61850数字化变电站

数字孪生四大典型特征



1

全面感知

2

动态仿真

3

孪生共智

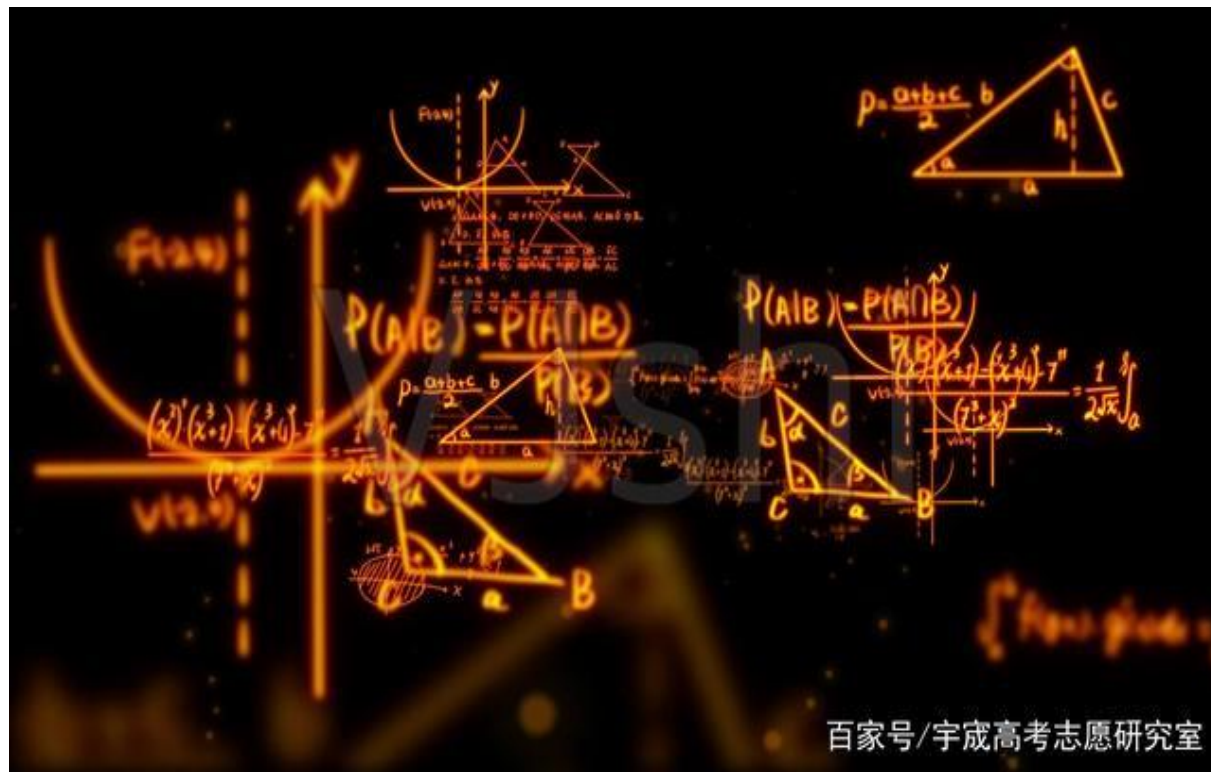
4

先知先觉

数字孪生在水利行业应用关键点



应用场景



数学模型

最需要攻关的是模型

数学模型

水利专业模型

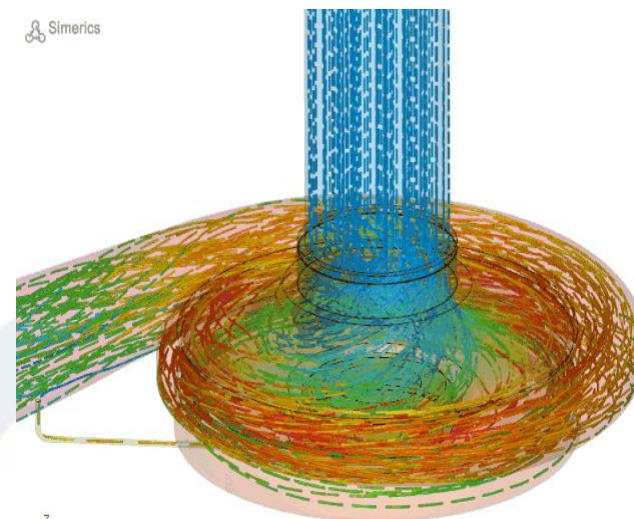
智能模型

可视化模型

机理分析模型

数理分析模型

混合模型



仿真在线
www.1CAE.com

数学模型

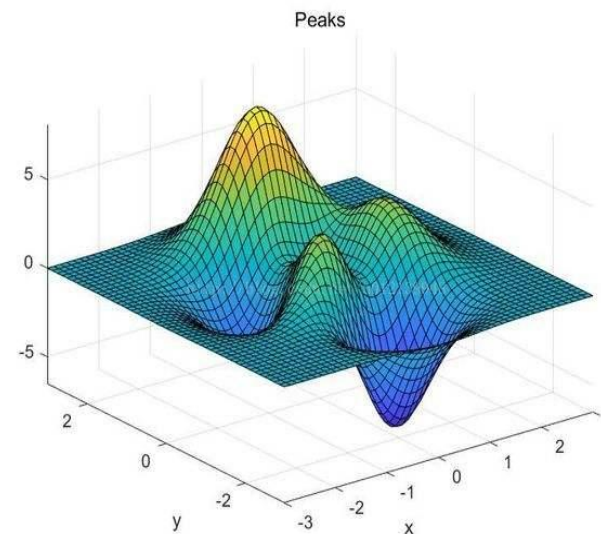
$$\overline{\Delta T}(\tau) = P_0 (\pi^{3/2} a \Lambda)^{-1} D_s(\tau),$$

where

$$D_s(\tau) = [m(m+1)]^{-2} \int_0^\tau d\sigma \sigma^{-2} \times \left[\sum_{l=1}^m l \sum_{k=1}^m k \exp\left(-\frac{l^2 + k^2}{4m^2 \sigma^2}\right) I_0\left(\frac{lk}{2m^2 \sigma^2}\right) \right]$$

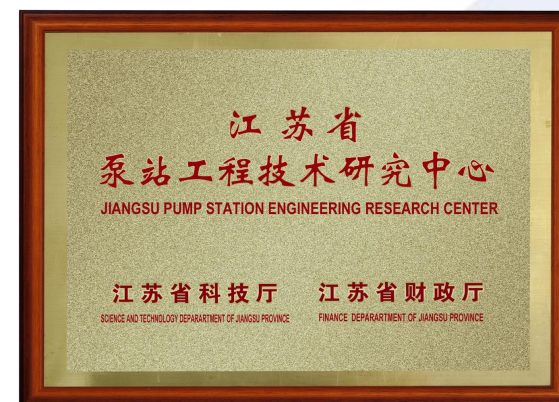
P_0 is the total output of power, a is the radius of the disk, and I_0 is a modified Bessel function.

Hot Disk



四、数字孪生泵站建设探索

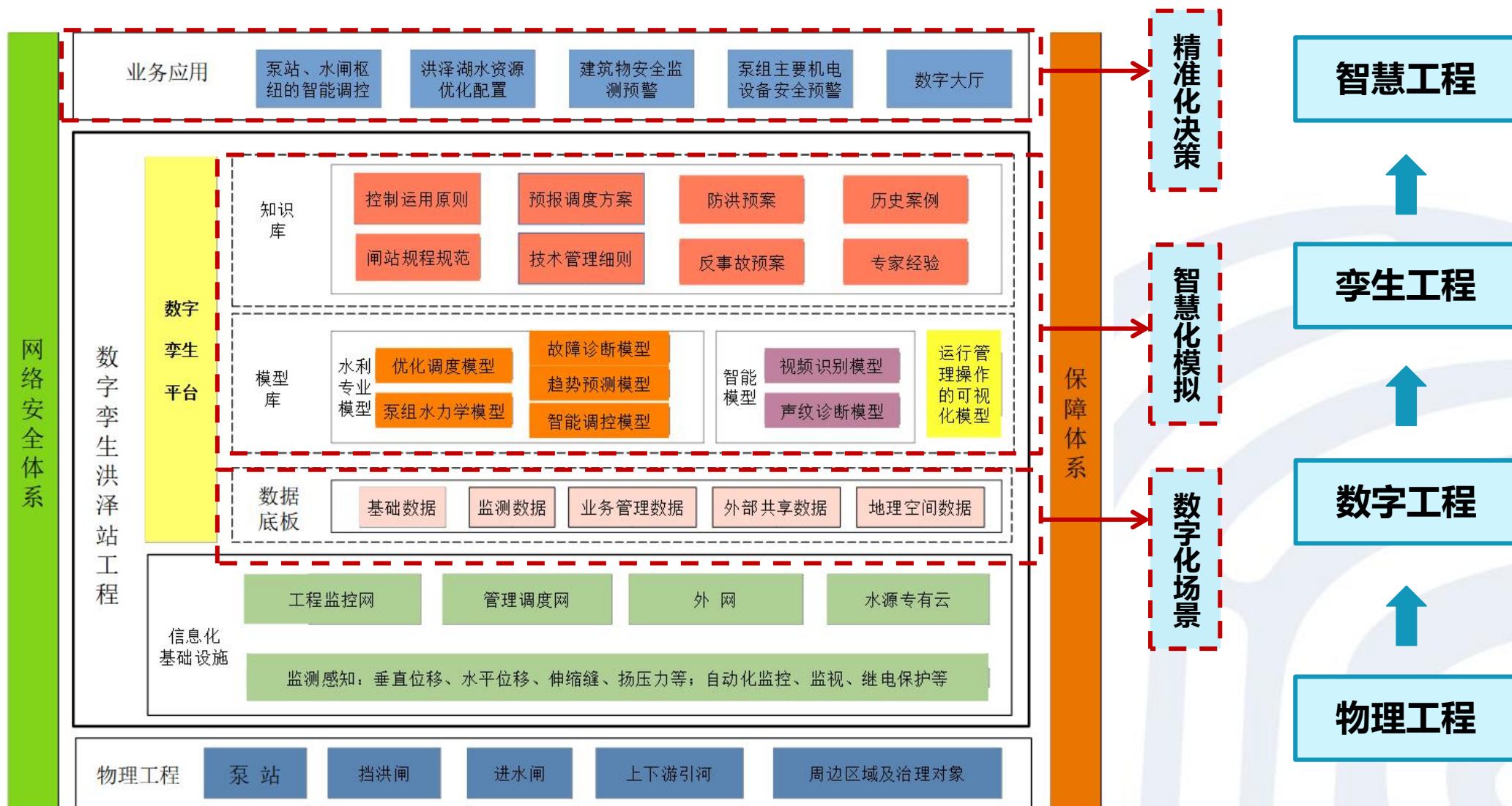
数字孪生联盟

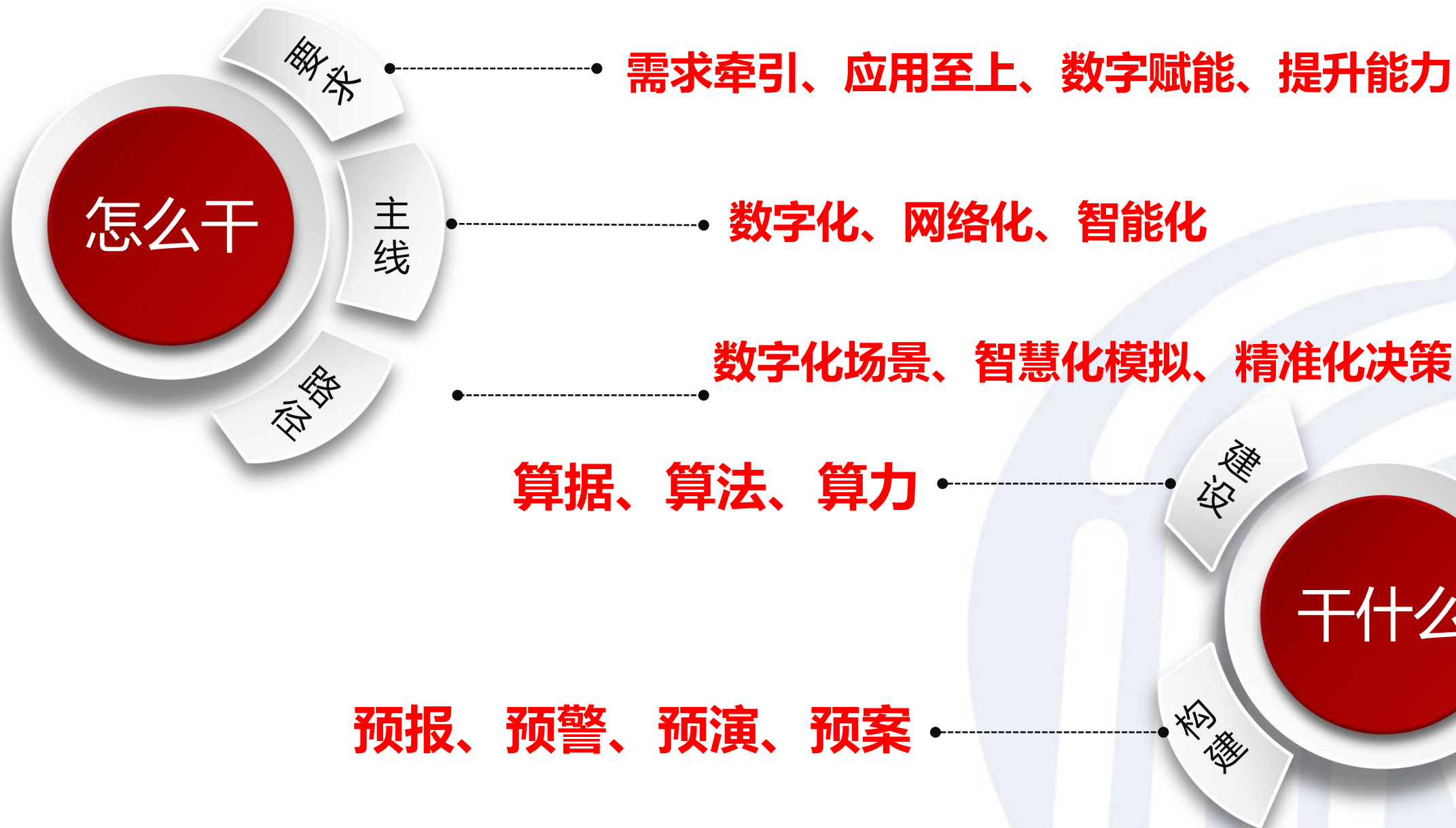


构建以数字孪生联盟为核心的数字经济联合体 (2022.1.24)

数字孪生洪泽站框架

先进
实用
安全
高效
兼容





应用场景 (聚焦安全经济运行)

水资源优化调度



- 湖泊来水预测预报
- 梯级调度优化运行
- 站内经济运行



防洪排涝应用



- 流域、区域防洪方案推演
- 防汛调度方案优化

工程安全运行



- 机电设备劣化趋势预测
- 泵组的状态检修
- 泵组的故障诊断分析
- 异常工况运行预演



淤积清理调控



- 工程枢纽可视化
- 清淤调控方案预演

数字孪生洪泽站--平台

业务应用

- ①智能经济运行 ②工程安全智能分析
- ③综合决策支持④数字孪生系统

知识库

- ①建设预报预案调度方案库②建设工程安全库③建设业务规则库
- ④建设历史场景模式库，形成泵站故障知识库⑤建设专家知识库

数字孪生平台

模型库

- ①突出优化调度模型 ②强化工程安全模型 ③探索仿真应用模型
- ④优化AI识别模型 ⑤实时数据交互的互可视化模型

数据底板

- ①完善卫星遥感、倾斜摄影、三维建模成果②共享接入洪泽湖、入江水道③构建关键机电设备LOD3.0模型④完善相应监测数据

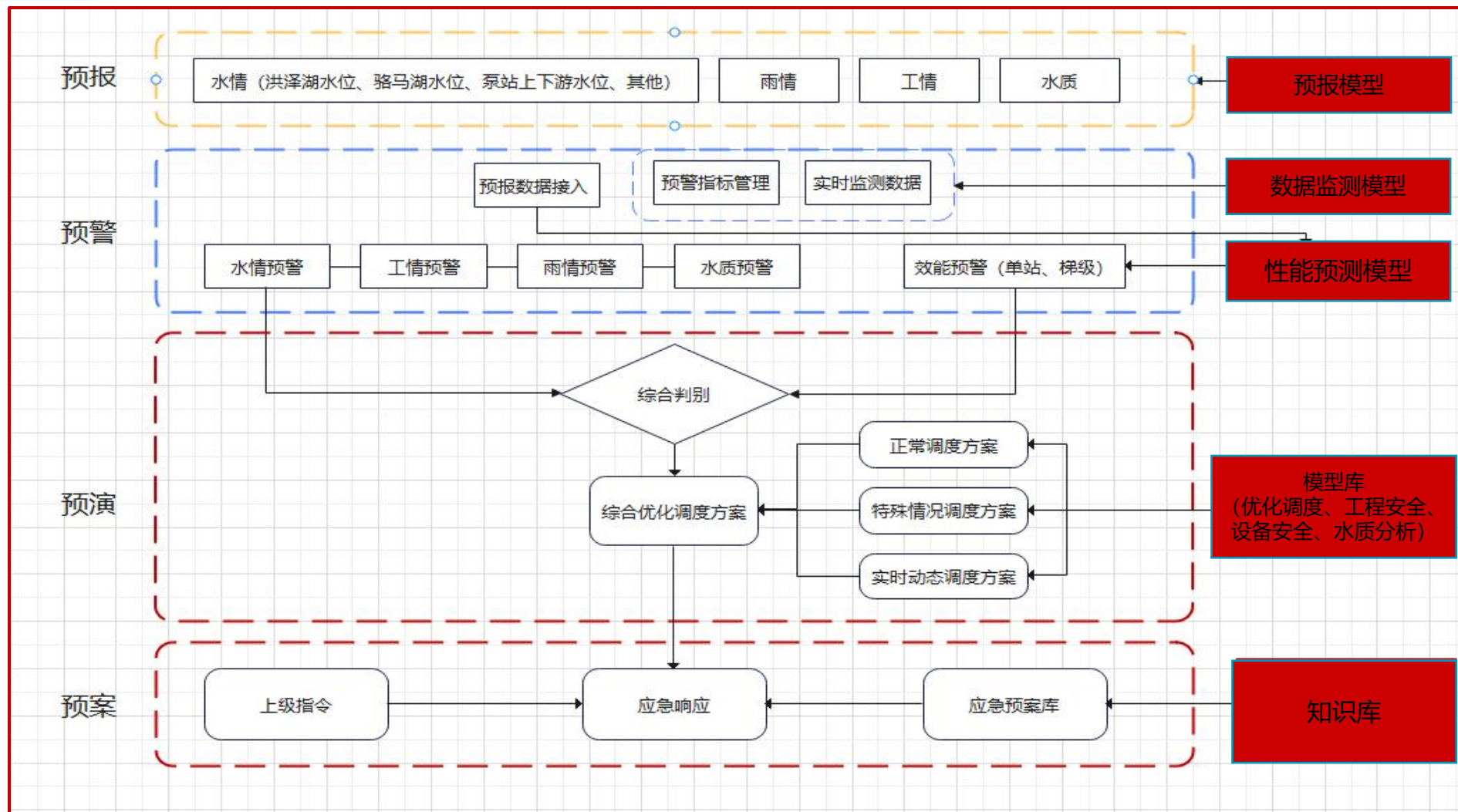
信息基础设施

- ①江苏水源专有云 ②江苏水源调度运行系统

数字孪生洪泽站--关注三个安全



数字孪生洪泽站--四预方案



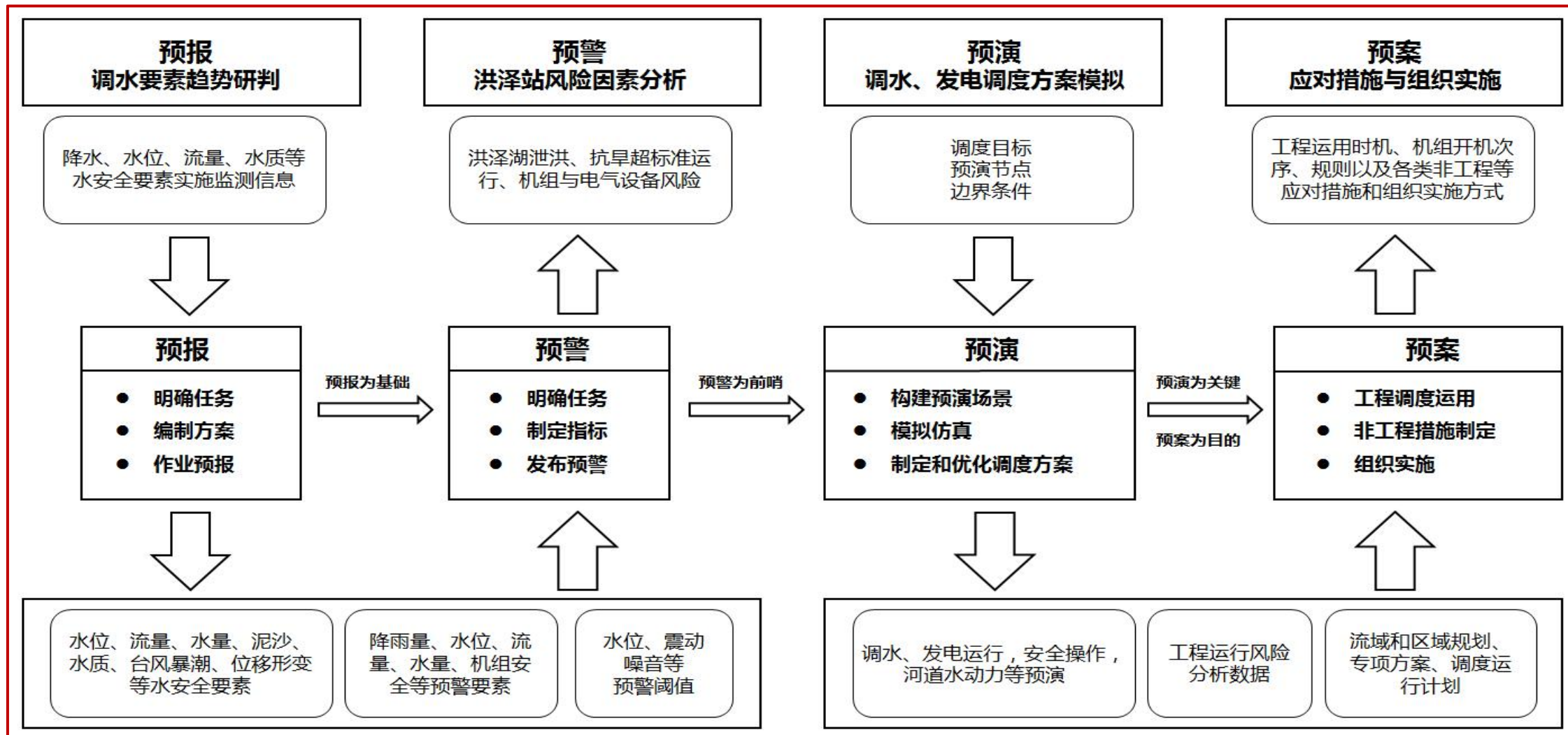
智能调控运行

故障智能诊断

设备性能预测

从场景出发，围绕“**预报、预警、预演、预案**”四个环节开展业务需求分析。

数字孪生洪泽站--四预框架



数字孪生“四预”总体框架

算据 (物联网平台)

算据

算力

算法

设备资产-智能物联网平台

citylink.res.iot-nsbdjssy.com/cdmp/device/manage

江苏水网物联网平台 设备资产 数据资产 事件中心 数据可视化 应用中心 配置中心

设备列表

设备ID: SHZ_G

状态: 全部 在线 离线 未激活 已禁用

报警状态: 全部 正常 告警

属性详情

泗洪站上游水位

实时 1小时 24小时 7天 自定义

将导出近1小时的数据 导出数据

设备名称	设备ID	值	时间	详情
泗洪站高程	-0.01742199994623661		2022-07-07 8:43:52	详情
泗洪站全站能源单耗	0		2022-07-07 8:43:52	详情
泗洪站效率	50.925006975097656		2022-07-07 8:43:52	详情
泗洪站全站总计算流量	0		2022-07-07 8:43:52	详情
公用主变温度2	26.88671875		2022-07-07 8:43:52	详情
泗洪站水文亭上游水位	12.550000190734863		2022-07-07 8:43:52	详情
2号机组尾管水支管压力	253.0517578125		2022-07-07 8:43:52	详情
辅机集水坑水位1	0.35986301302909851		2022-07-07 8:43:52	详情
辅机集水坑水位2	0.4887700080871582		2022-07-07 8:43:52	详情
3号机组尾管水支管压力	271.3623046875		2022-07-07 8:43:52	详情
4号机组尾管水支管压力	215.9423628125		2022-07-07 8:43:52	详情
5号机组尾管水支管压力	271.728515625		2022-07-07 8:43:52	详情
填料盒进水管压力	338.37890625		2022-07-07 8:43:52	详情

800个物模型、近20000个数据

算力（专有云）

南京

能力



支撑120台物理服务器超过
3000vCPU计算能力，可扩展5000
台以上规模计算节点，具有4PB的数
据存储空间能力，支持每秒7000节点
数据并发；负载均衡HTTP吞吐量大
于4000Mbps。

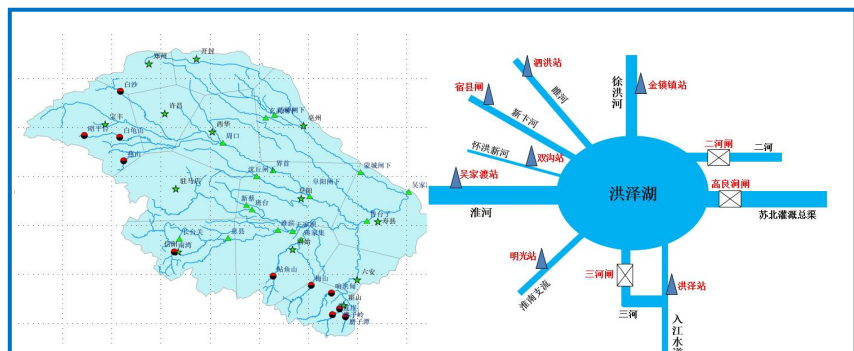
算据

算力

算法

算法：水量优化调度模型

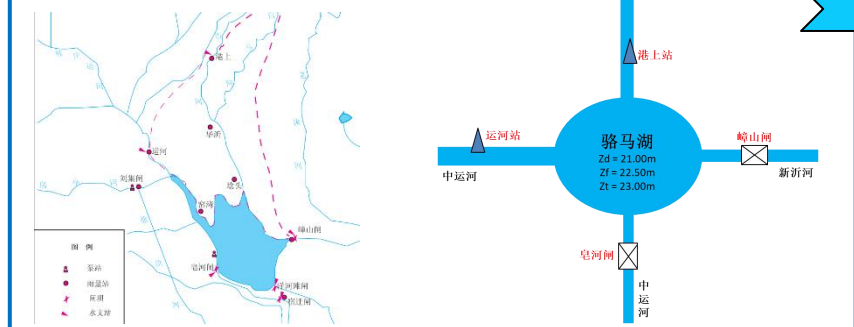
算
据



洪泽湖上游流域雨量站

洪泽湖流域概化图

算
力



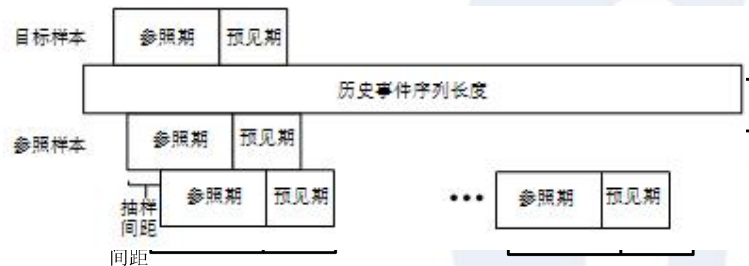
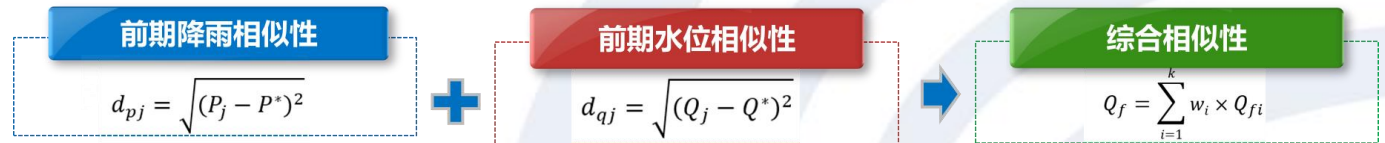
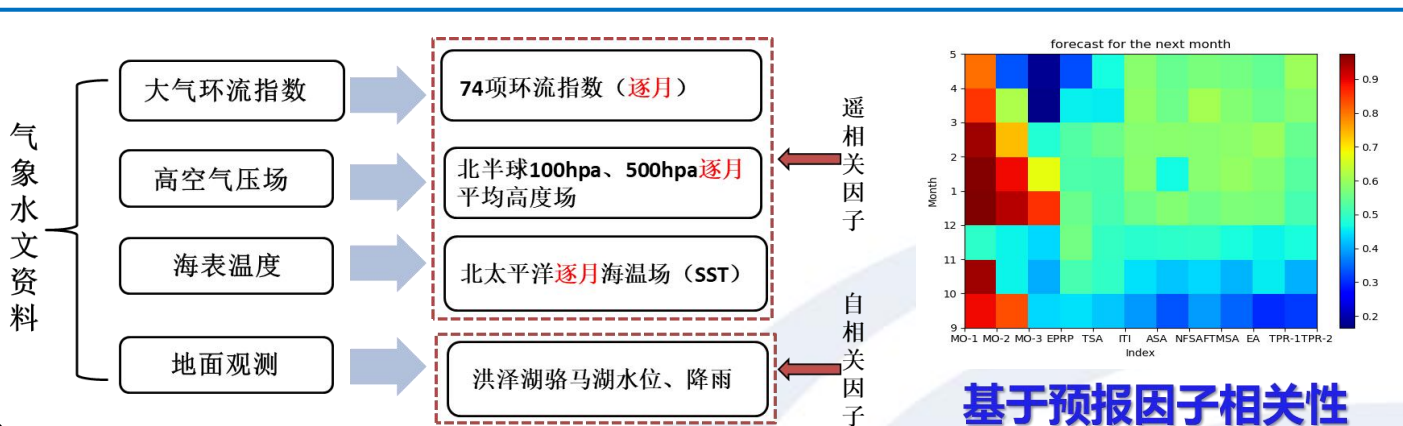
骆马湖上游流域雨量站

骆马湖流域概化图

南水北调东线江苏段
湖泊流域水文站点概化

算
法

模
型
构
建



$$Q_{change} = A_1 \cdot \Delta q_1 + A_2 \cdot \Delta q_2 + A_3 \cdot \Delta q_3$$

$$\sum_{i=1}^n Q = Q_{now} + \sum_{i=1}^n Q_{change}$$

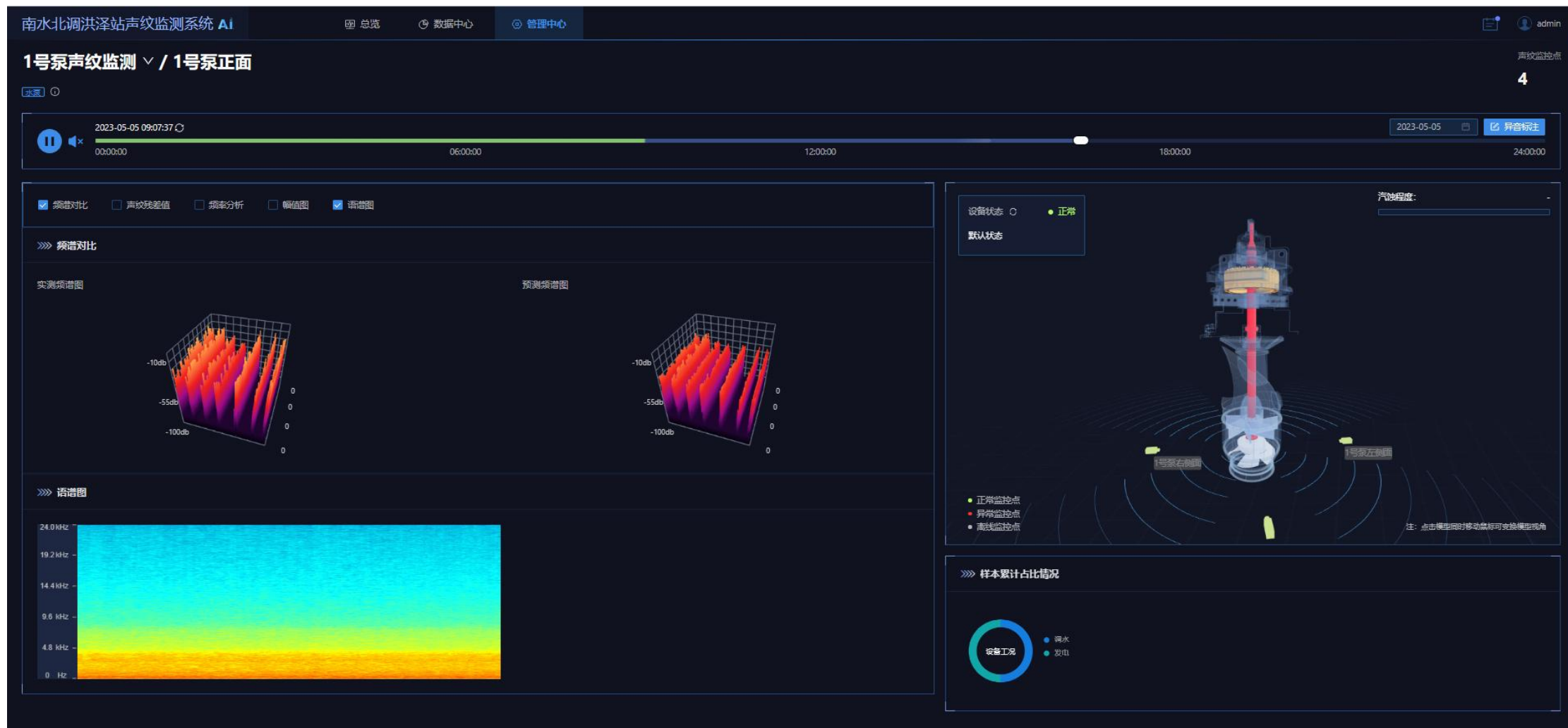
基于时空数据相似分析

算法：智能模型---千里眼



视频AI分析 (八种算法)

算法：智能模型---顺风耳



声纹AI分析（听声辨音）

数字孪生洪泽站建设阶段成果



阶段成果



社会评价



声纹AI监测模型入选水利部32项数字孪生优秀应用案例，并被CCTV焦点访谈节目报道。

- 1、感知是基础，模型是关键，知识是支撑，算力是保障。
- 2、要以问题为导向，解决问题为出发点，而不能是花架子。
- 3、分析系统建设投入产出比，三思而后行。
- 4、数据底板建设要有所为有所不为，依需而定。
- 5、不能为了数字化而数字化，要有需求和应用场景再去做。
- 6、知识平台及引擎建设还需要持续深化AIGC等大模型应用。
- 7、物理体与孪生体交互式仿真还需再攻关。
- 8、数字孪生水利建设任重而道远，成本不降，难有未来。



合作共赢



共创未来