

A photograph of a city skyline at sunset, with tall buildings and a body of water in the foreground. The sky is filled with orange and yellow clouds.

# 数字孪生技术在调水工程中的应用与展望

马登月

山东省水利勘测设计院有限公司

2024.09



# 1.背景介绍



# 2.研究区概况



# 3.关键技术

# 4.应用成效

# 5.总结与展望





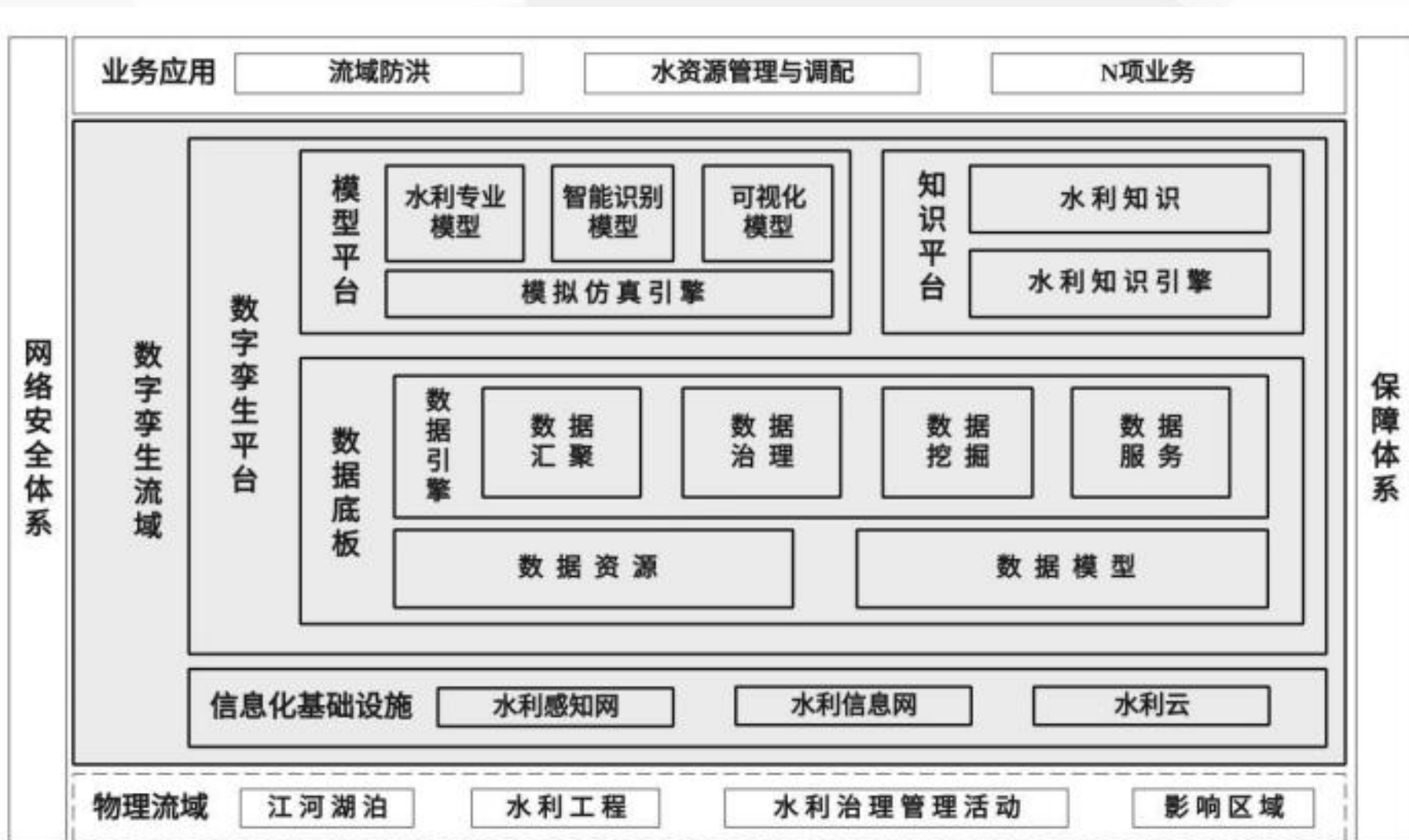
# 1. 项目背景

### 中国数字孪生流域与水利工程的发展现状：

- ◆ **技术应用与进展：**中国在数字孪生流域技术领域进行了广泛的研究和实际应用，涵盖了水文与水资源模拟、水文预报和水资源调度等多个方面。
- ◆ **水利工程管理与优化：**优化水资源配置，提高水资源利用效率，降低洪水风险，保护生态环境。
- ◆ **应对气候变化与灾害风险：**中国面临气候变化和频发极端天气事件等挑战，凸显了数字孪生流域技术在灾害风险评估与缓解中的重要性。
- ◆ **政策与投资支持：**中国政府积极支持数字孪生流域技术的研究与应用。



## 背景介绍



An aerial photograph of a large dam and reservoir complex, overlaid with a semi-transparent blue filter. The dam is a long, multi-arched structure spanning a wide river. Behind the dam is a large reservoir. To the right of the dam, there are several smaller ponds and a cluster of buildings, possibly a power station or administrative center. The surrounding landscape is flat and appears to be agricultural or undeveloped land. The text "2.研究区概况" is centered over the image in a large, white, bold font.

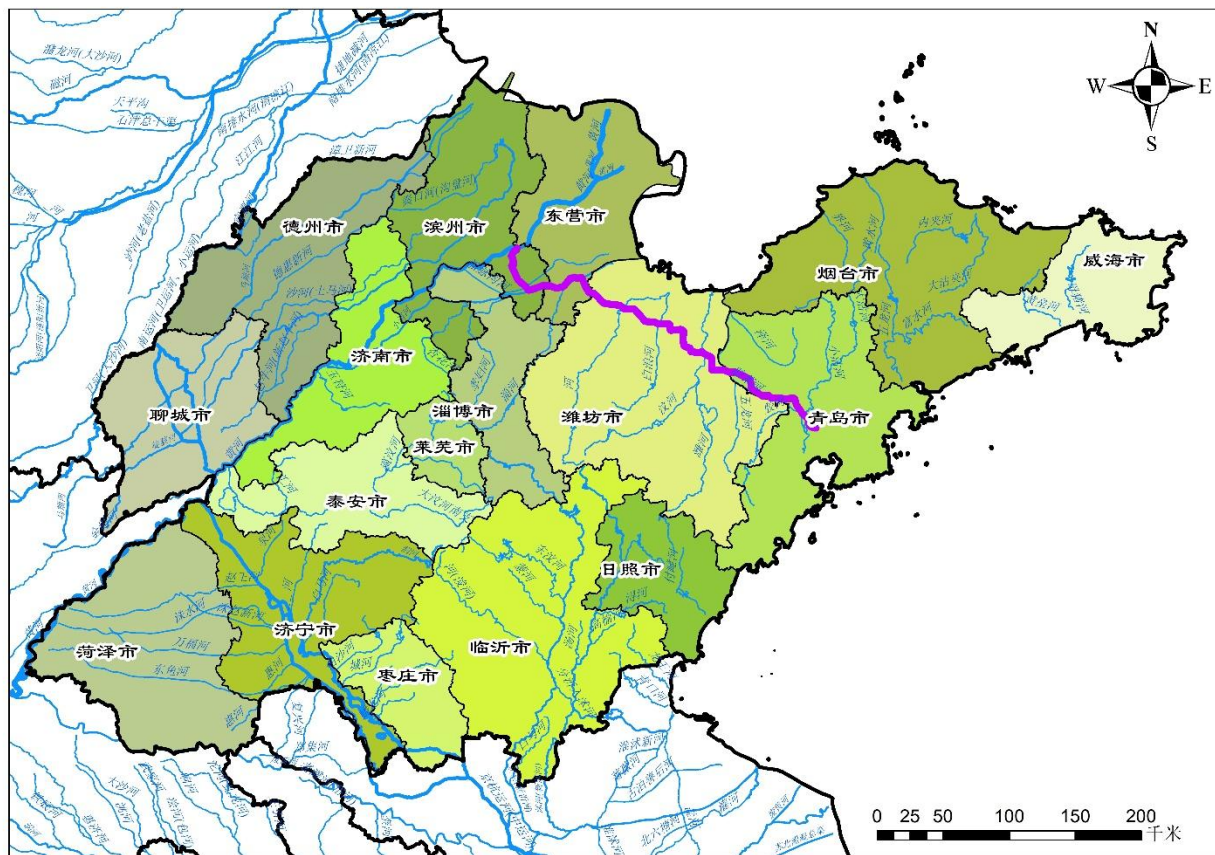
## 2.研究区概况



## 工程概况

水资源禀赋  
先天不足

◆ 山东多年平均水资源总量仅占全国的**1%**，人均水资源占有量不足全国的**1/6**，仅为世界的**1/24**，且**时空分布不均**，属于**严重缺水地区**。



1979年7月，邓小平同志视察青岛时说  
**“一定要让老百姓有水吃”**



**从根本上解决缺水的问题，眼光必须向外**

## 工程概况

- ◆ 山东省胶东调水工程是山东省**省级骨干水网工程**
- ◆ 是山东 **“T” 字型调水大动脉**的重要组成部分
- ◆ 山东省胶东调水工程由 **引黄济青工程** 和 **胶东地区引黄调水工程** 组成



胶东调水工程

总长600公里

13座泵站

960余水工建筑物

1个大型平原水库

3000多万人



## 项目背景

◆ 山东省胶东调水工程**组成结构复杂**，水利工程枢纽**类型多**，协同调度的难度和复杂性随之增加

### 多水源多目标水量调配



水网水源多、用户多  
水源用户供需关系复杂

**水量均衡调配难**

**4个水源、38个分水口**

### 调水工程调度



输水线路长、工程类型多  
水源与输水闸泵群混联

**优化调度控制难**

**6个分中心、13个管理站**

### 闸泵阀运行管理



安全约束多、扰动因素多  
工程类型多、运行工况复杂

**安全运行管理难**

**100座泵闸站、1座大型水库**

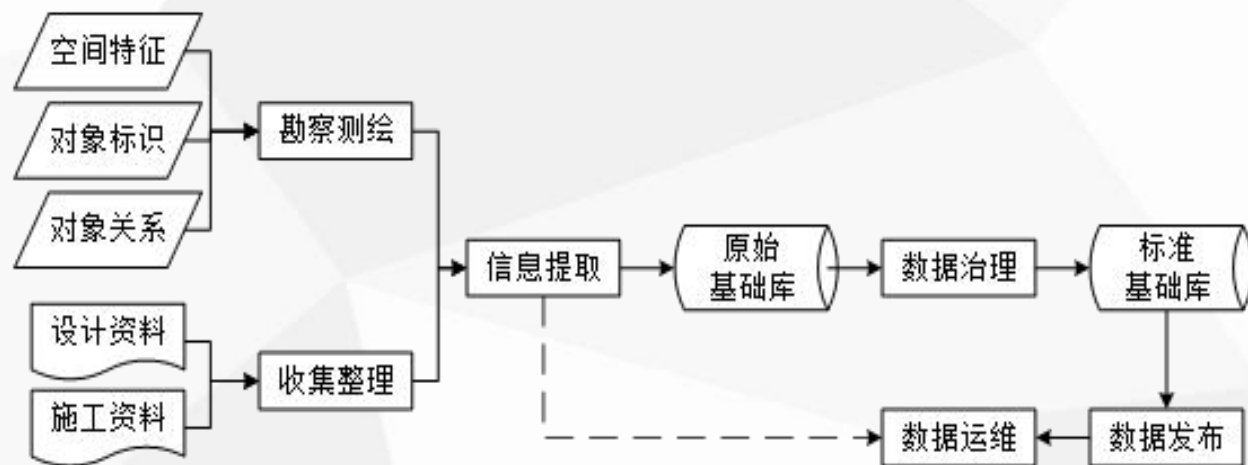
An aerial photograph of a large dam and reservoir, overlaid with a semi-transparent blue filter. The dam is a long, multi-arched structure with a central gate. The reservoir is a large body of water in the foreground. The background shows a vast, flat landscape with some distant structures and trees.

# 3.关键技术



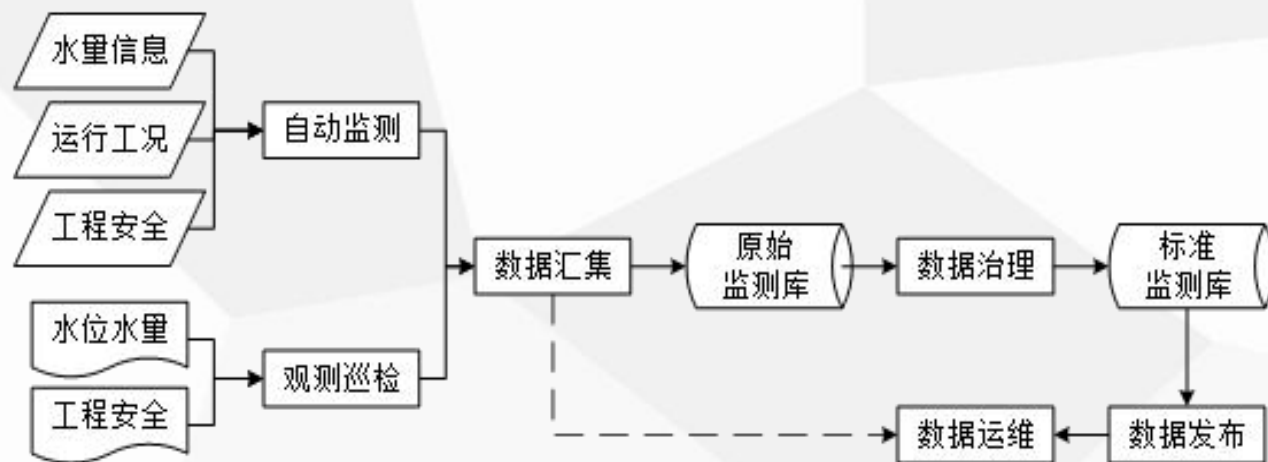
# 数据底板

## 基础数据



基础数据流程图

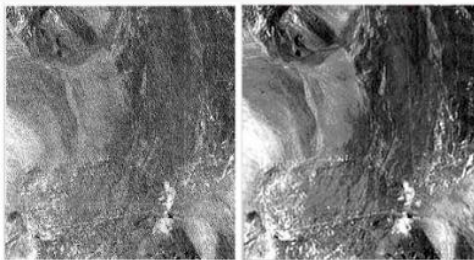
## 监测数据



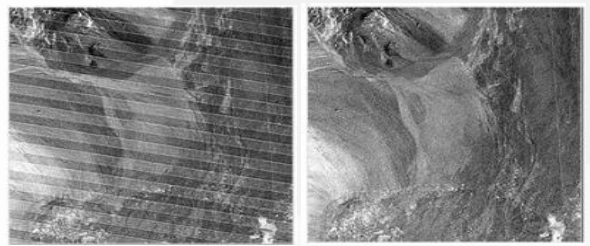
监测数据流程图

# 数据底板

## 地理空间数据



噪声消除



去条纹

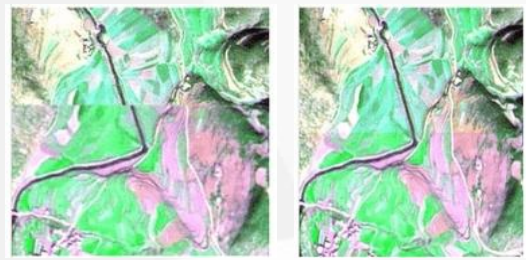
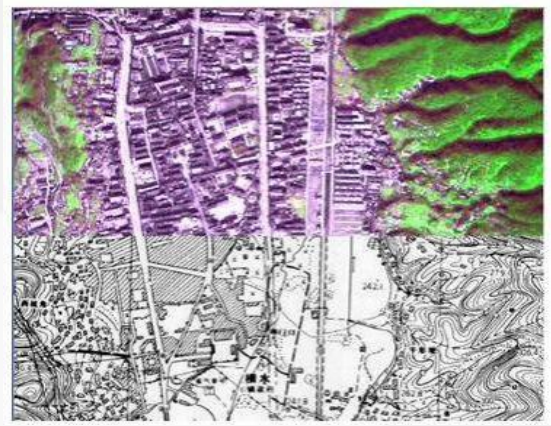


Image Registration



色彩合成

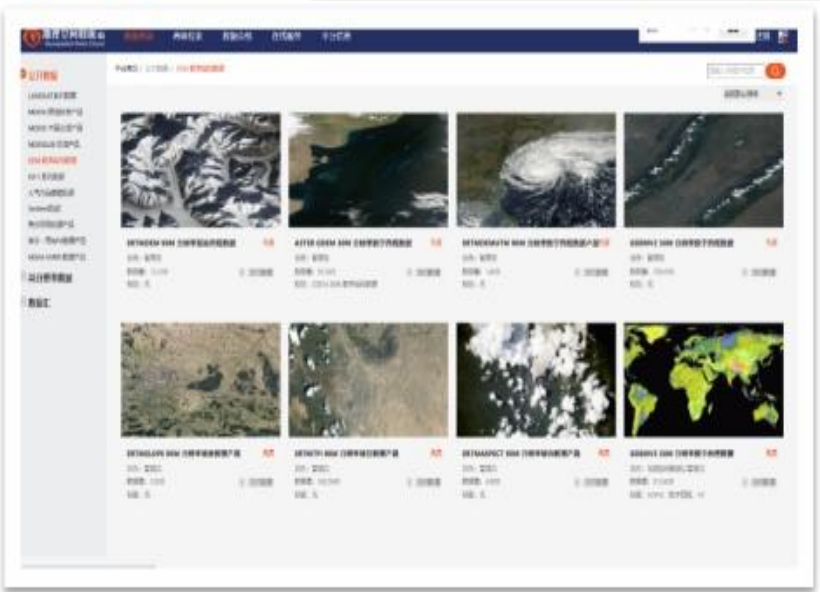


纠正影像地形图套图



Image fusion

## 数据来源



DEM 数据样例图

基本信息

服务名称	山东影像地图
服务地址	http://service.sdmap.gov.cn/fileservice/sdserverpudmap
服务类型	WMTS
服务版本号	1.0.0
关键字	山东 影像地图
摘要	山东影像地图
发布单位	山东省国土资源厅
更新时间	2022-04-12 11:10:55

覆盖范围

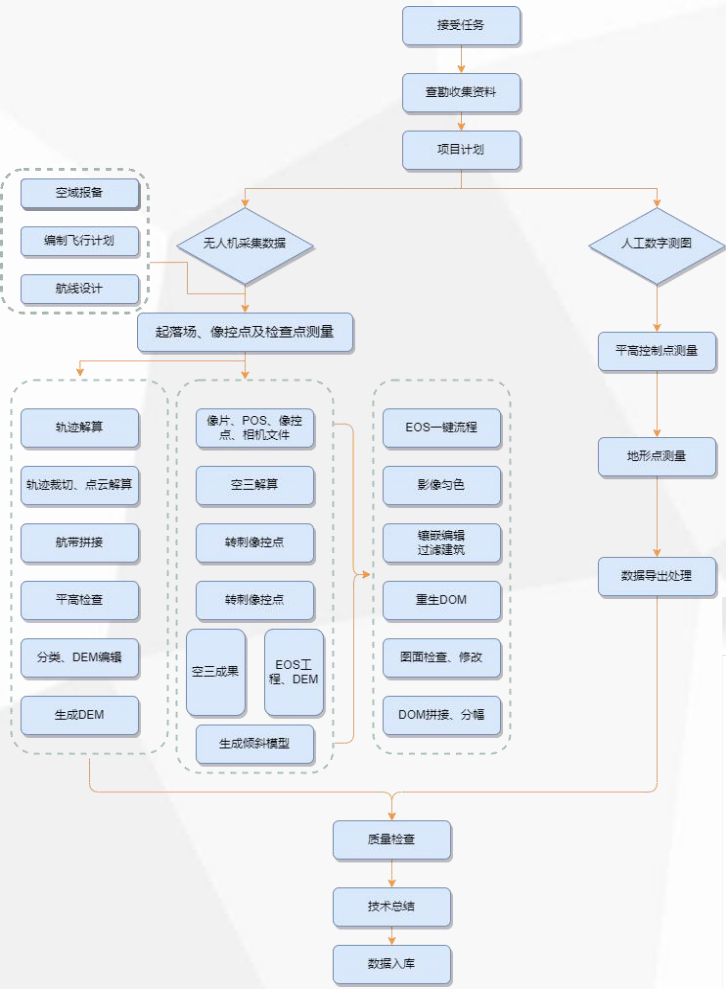
最小经度	114.22983068925	最小纬度	33.0386305555556
最大经度	123.400530148205	最大纬度	38.9048194444444

天地图·山东在线影像服务

## 数据处理



## L3级数据建设



L3级数据生产技术路线

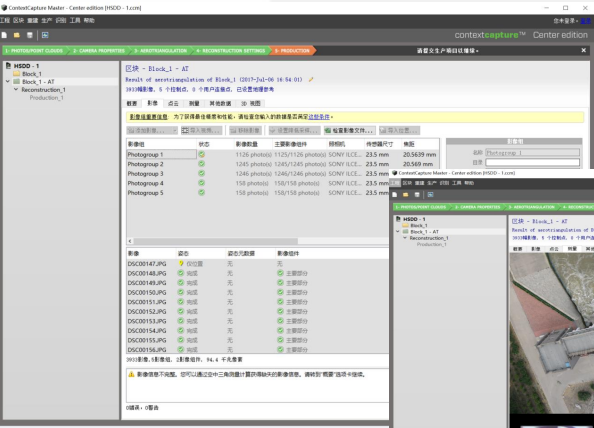


打渔张航线示意图

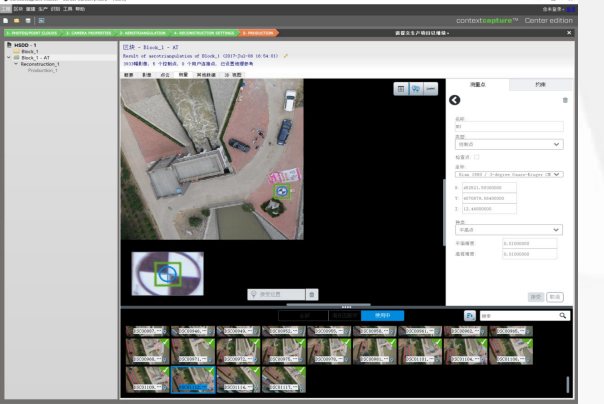


A screenshot of the ContextCapture software interface showing the results of a flight. The main window displays a 3D model of the area, with a list of ground control points and check points. The 'Summary' tab is selected, showing a table of data. The table has columns for 'Image', 'Color', 'Color type', 'Color value', 'Check point', and 'Status'. The data shows that the flight was successful, with all ground control points and check points being successfully measured. The 'Summary' tab also shows a list of images and a table of data for each image.

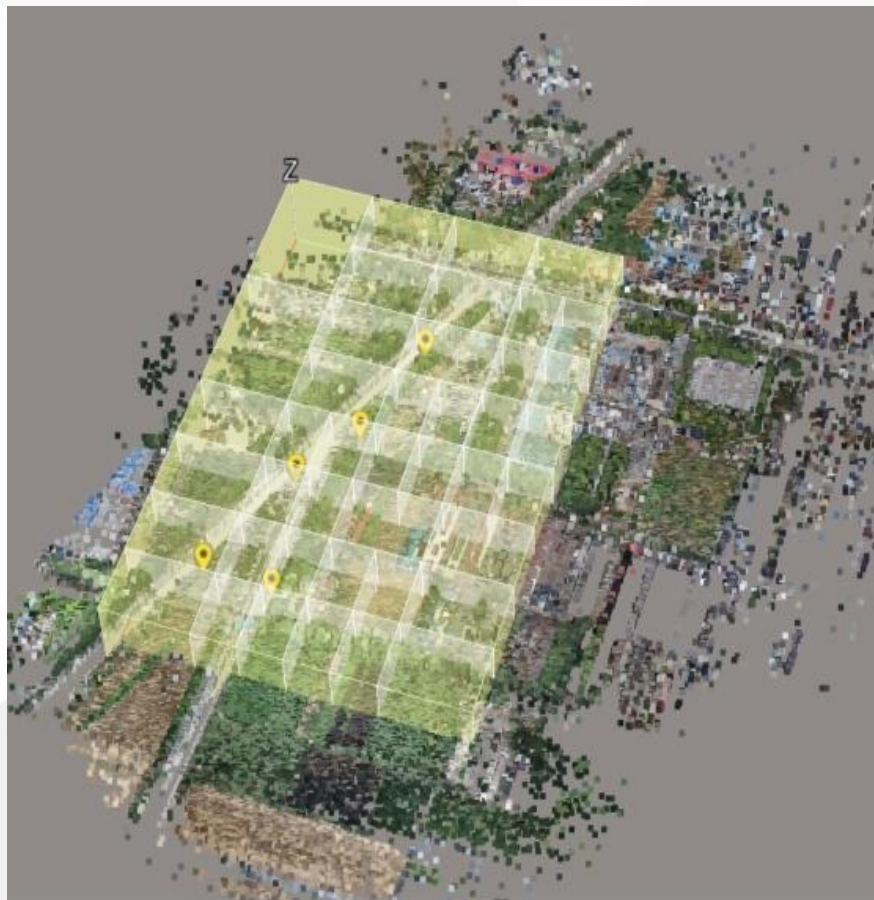
空三计算成果复核



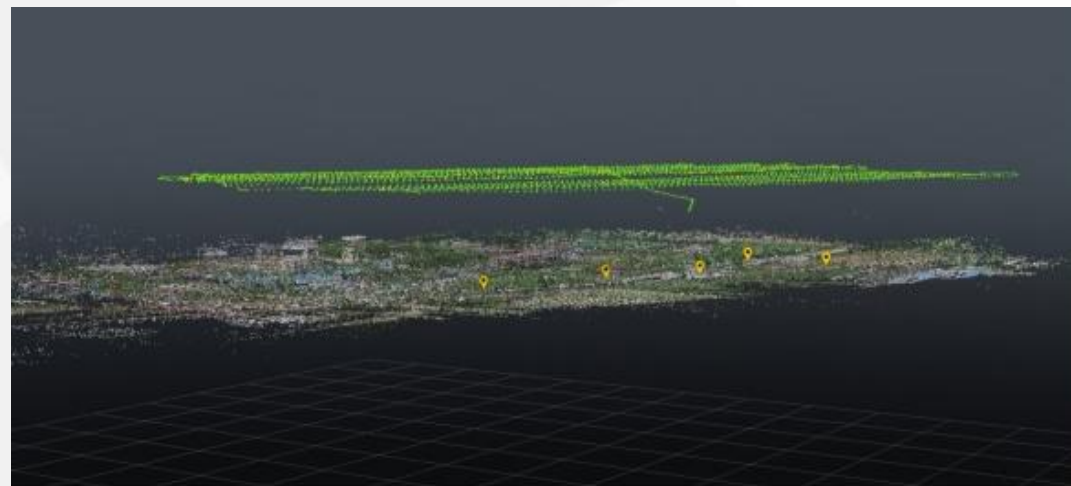
工程照片



## ➤ L3级数据建设



模型生成过程示意图



空三计算结果



宋庄分水闸三维模型效果



模型精度检查



# 数据引擎



数据汇集

数据模型

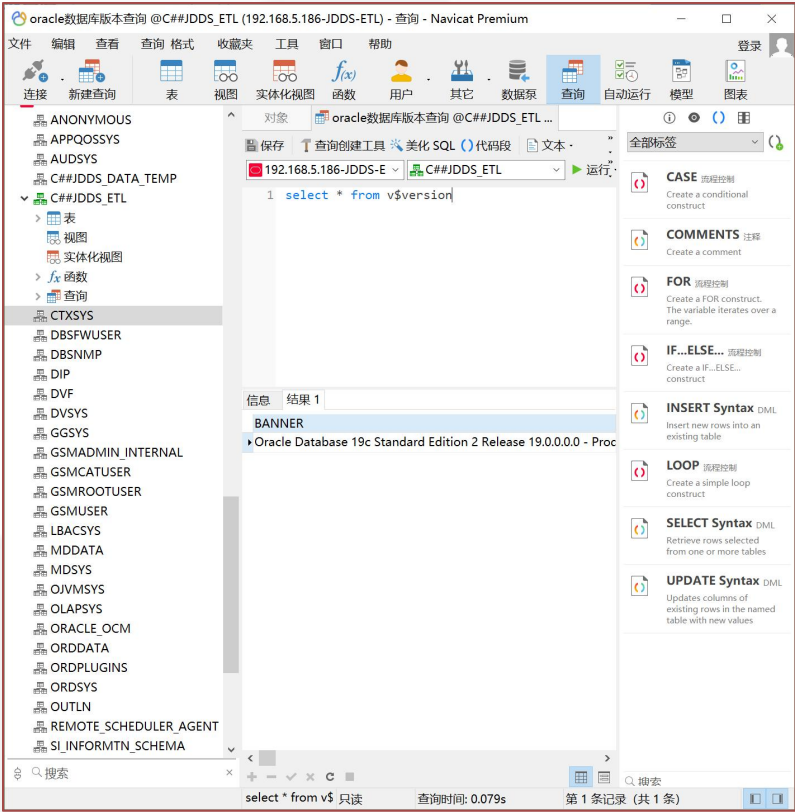
数据治理

数据开发

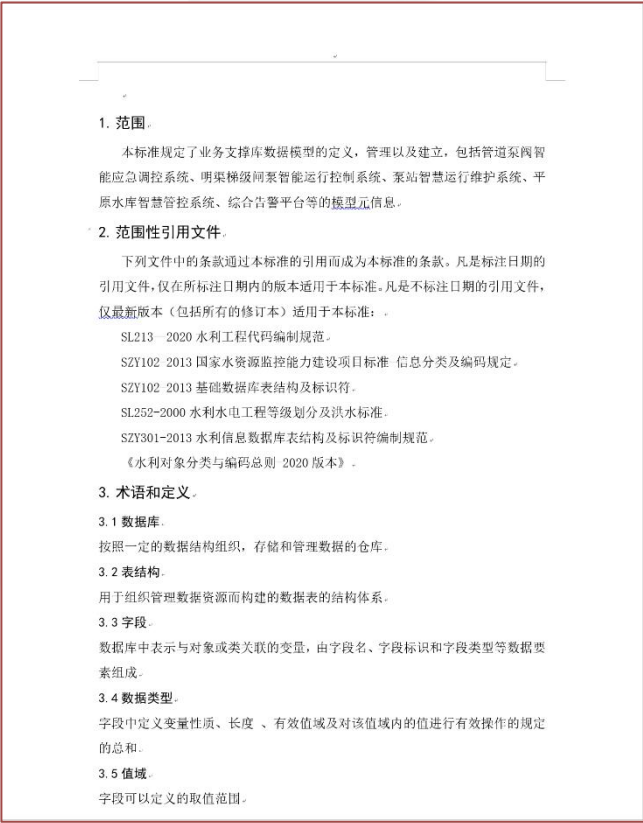
数据运维

数据  
服务

## ■ 基于原有数据库，完成数据库建库、建表、标准规范定义,明渠及管道**监控数据**高频次数据同步采集。



数据库



建库建表标准

MV\_MTRLVIEW\_MASTER\_202307031147.csv - Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	FACILITY TYPE	FACILITY_CEXTRACTH MVC1	MVC2	MVC3	MVC4	MVC5	MVC6	MVC7	MVC8			
2	AAB3702010A005	2.02E+11	9.11523	8.97723	0	20.5402	29457	0	0	0	0	
3	AAB37											
4	AAB37											
5	AAC37											
6	AAB37											
7	AAB37											
8	AAB37											
9	AAB37											
10	AAB37											
11	AAB37											
12	AAB37											
13	AAB37											
14	AAB37											
15	AAB37											
16	AAC37											
17	AAC37											
18	AAB37											
19	AAB37											
20	AAB37											
21	AAB37											
22	AAB37											
23	AAB37											
24	AAB37											
25	AAB37											
26	AAB37											
27	AAB37											
28	AAB37											
29	AAB37											
30	AAB37											
31	AAB37											
32	AAB37											
33	AAB37											
34	AAB37											
35	AAB37											
36	AAB37											
37	AAB37											
38	AAB37											
39	AAB37											
40	AAB37											
41	AAB37											
42	AAB37											
43	AAB37											
44	AAB37											
45	AAB37											
46	AAB37											
47	AAB37											
48	AAB37											
49	AAB37											
50	AAB37											
51	AAB37											
52	AAB37											
53	AAB37											
54	AAB37											
55	AAB37											
56	AAB37											
57	AAB37											
58	AAB37											
59	AAB37											
60	AAB37											
61	AAB37											
62	AAB37											
63	AAB37											
64	AAB37											
65	AAB37											
66	AAB37											
67	AAB37											
68	AAB37											
69	AAB37											
70	AAB37											
71	AAB37											
72	AAB37											
73	AAB37											
74	AAB37											
75	AAB37											
76	AAB37											
77	AAB37											
78	AAB37											
79	AAB37											
80	AAB37											
81	AAB37											
82	AAB37											
83	AAB37											
84	AAB37											
85	AAB37											
86	AAB37											
87	AAB37											
88	AAB37											
89	AAB37											
90	AAB37											
91	AAB37											
92	AAB37											
93	AAB37											
94	AAB37											
95	AAB37											
96	AAB37											
97	AAB37											
98	AAB37											
99	AAB37											
100	AAB37											

监控数据样例



# 水利专业模型库

结合数字孪生要求与胶东调水业务应用需求：

**更新升级原有模型。**结合业务需求的改变，对原有模型进行功能升级，提升模型应用效果；考虑工程实体的变化，实现原有模型参数的自动率定或人工修正，提高模型计算精度。

**开发特色模型。**根据新增业务需求，结合工程实际特点，开发新的特色水利专业模型，进一步完善模型体系。新增模型可视化功能，实现模型调参、计算、调用可视化，降低业务人员使用难度。

**搭建模型引擎。**建立面向模型开发、优化、应用、共享等过程的标准化流程，提高模型鲁棒性与泛化能力，提升模型的可成长性，开发友好型管理界面，降低业务人员管理难度。

## 水量调配

胶东调水工程全局  
水量智慧调配系统

## 泵站运维

泵站智慧运行维护系统

## 水库管控

平原水库智慧管控系统

## 明渠运行控制

明渠梯级闸泵智能  
运行控制系统

## 应急调控

管道泵阀智能  
应急调控系统



实现调水方案生成/  
预演/优化/执行反  
馈/异常告警功能，  
精准、安全、高效  
调配水量

实现打渔张泵站的  
泥沙淤积分析、机组  
智能诊断和泵站标准  
化管理等方面智慧化  
管理

实现棘洪滩水库的供  
需平衡调度、智能安  
防、工程及水质安全、  
水库标准化管理等方  
面智慧化管理

以王耨-胶莱河明渠  
段为试点，主要实现  
明渠智能巡检、调度  
预演和闸泵实时控制  
等功能

以高疃-星石泊管道  
段为试点，实现泵阀  
联合调控、管线安全  
监测、应急事件处置  
等功能

构建AI智能识别算法管理平台，开展人工智能模型库开发及算法训练。

☰ 监控设备管理

🏠 物联管理

⚙️ 算法配置

📁 算法平台管理

📁 算法模型管理

🔊 智能应用

🚨 告警管理

👤 访客管理

🕒 巡更管理

📅 考勤管理

📢 通知公告

⚙️ 系统管理

🔌 网关配置

当前位置： 算法配置 > 算法模型管理

算法模型名称：

添加算法模型

序号	算法模型名称	算法类型	算法标识	模型类型	创建时间	操作
1	1800人体特征	人体特征识别	IVS_VIDEO_STRUCTURE	结构化数据	2022-10-20 19:53:44	<a href="#">编辑</a> <a href="#">删除</a> <a href="#">详情</a>
2	3800人体模型	其他	PERSON3800	结构化数据	2022-09-30 14:07:53	<a href="#">编辑</a> <a href="#">删除</a> <a href="#">详情</a>
3	1800人脸	人脸特征识别	IVS_FACE	结构化数据	2022-06-28 14:34:00	<a href="#">编辑</a> <a href="#">删除</a> <a href="#">详情</a>
4	3800混合算法	其他	MIX3800	结构化数据	2021-08-26 10:30:38	<a href="#">编辑</a> <a href="#">删除</a> <a href="#">详情</a>
5	3800车辆	车辆特征识别	VEHICLE3800	结构化数据	2021-08-26 09:56:57	<a href="#">编辑</a> <a href="#">删除</a> <a href="#">详情</a>
6	3800人脸模型	人脸特征识别	FACE3800	结构化数据	2021-08-24 14:32:19	<a href="#">编辑</a> <a href="#">删除</a> <a href="#">详情</a>
7	1800机动车	车辆特征识别	IVS_MOTOR	结构化数据	2021-08-13 17:41:44	<a href="#">编辑</a> <a href="#">删除</a> <a href="#">详情</a>

每页显示 10 条记录

共 7 条

<

1

>

前往 1



# 可视化模型库

模型资源管理对可视化模型进行资源管理，可视化模型包括**自然背景模型**、**流场动态模型**、**水利工程模型**、**水利机电设备模型**等。结合水利专业模型，实现工程自然背景演变、工程上下游流场动态等可视化展示功能，满足胶东调水工程业务仿真模拟和综合展示。



区域级场景模型

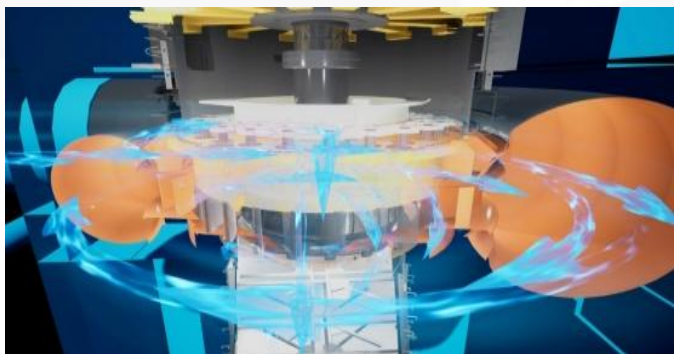
工程级场景模型

设备级场景模型



# 可视化模型库

## 打渔张泵站可视化模型



水泵运行可视化场景模型

## 王耨泵站至胶莱河段输水明渠可视化模型



输水渠道

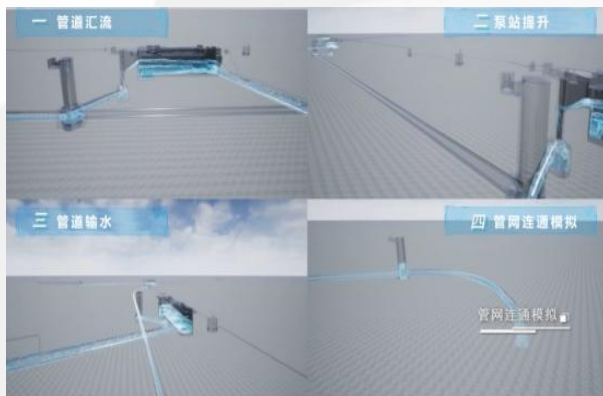


明渠流场

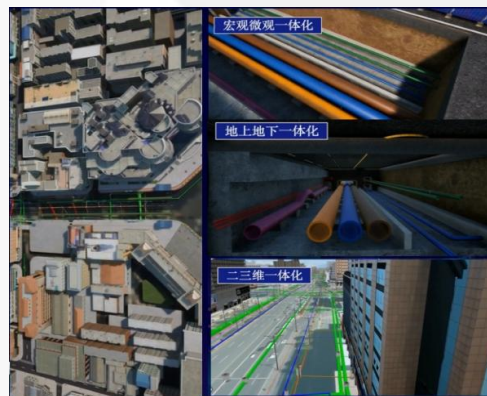


水利工程

## 高疃泵站至星石泊地下管线管道可视化模型



管道水流可视化场景模型



地下管线可视化模型

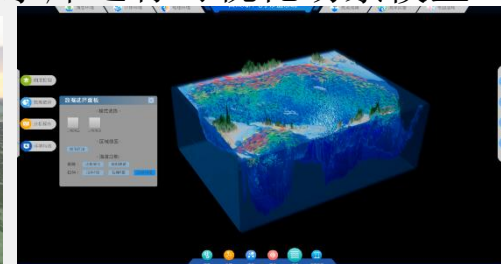
## 棘洪滩水库可视化模型



水库运行可视化场景模型



水库



水流流场



# 知识库及知识应用

知识平台与模型平台共同作为胶东调水“智慧大脑”，为工程调度与运行维护提供重要支撑，是实现“预报、预警、预演、预案”四预功能的重要手段。本次胶东调水知识库构建主要包括**调度规则库、业务规则库、历史场景规则库、专家经验库**，汇集相关的法律法规、制度标准、规则、设计方案和施工图纸等，包括关系数据库、API接口等**结构化数据**，表格、XML、JSON等半结构化数据，文档、图片、视频、语音等**非结构化数据**。

调度规则库	
日常/应急调度规则知识库	
知识库名称	文件名称
调度规则库	山东省胶东调水工程供水管理办法
	山东省胶东调水工程调度运行管理办法
	山东省胶东调水工程水量计量确认管理办法
	山东省调水工程运行维护中心网络安全管理办法（试行）
	山东省调水工程运行维护中心机房管理与实体环境运行维护规定（试行）
	胶东调水工程边界测流技术管理规程

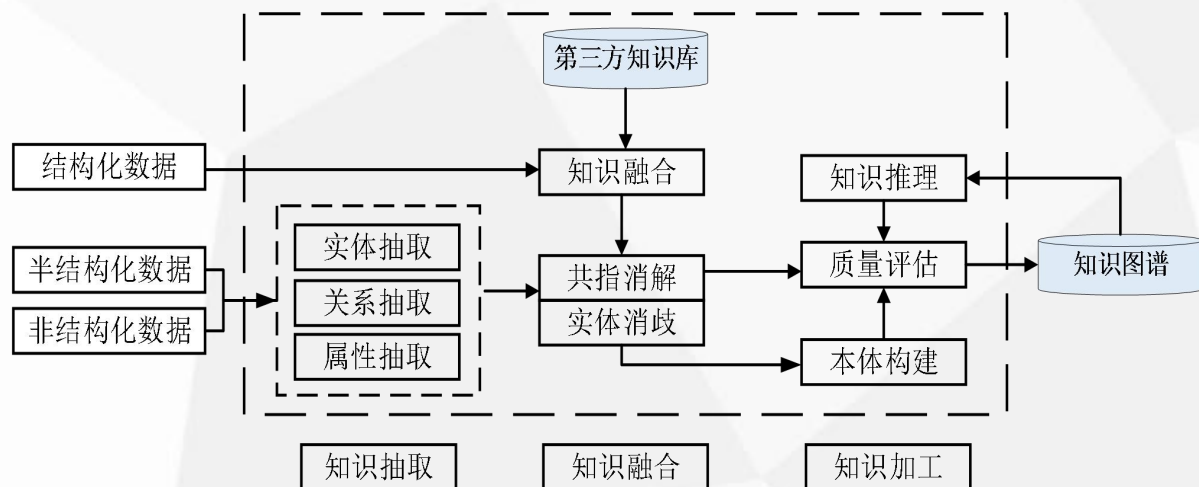
业务规则库		工程安全库	
设备维修保养			
知识库名称	文件名称	知识库名称	文件名称
业务规则库	山东省调水工程管理办法（试行）	工程安全库	山东省调水工程运行维护中心工程建设质量安全管理办 法（试行）
	山东省调水工程维修项目管理办法		山东省调水工程运行维护中心安全生产管理办法（试行）
	山东省调水工程日常维修保养项目管理办法（试行）		山东省调水工程运行维护中心安全生产管理工作考核办 法
	山东省调水工程日常维修保养项目验收管理办 法（试行）		山东省调水工程运行维护中心安全生产责任制规定（试 行）
	山东省调水工程管理考核办法（试行）		山东省调水工程运行维护中心安全生产委员会工作规则
	山东省调水工程管理范围内穿跨邻工程管理办 法（试行）		山东省调水工程运行维护中心安全生产四查制度（试行）
	山东省调水工程安全监测管理办法（试行）		山东省调水工程运行维护中心安全生产风险分级管控制 度
	山东省调水工程防汛物资储备管理办法（试 行）		山东省调水工程运行维护中心安全生产隐患排查治理制 度
	山东省调水工程特种设备管理办法（试行）		

历史场景库
胶东调水调度（日常调度和应急调度）、业务（设备维 修养护和工程安全）等历史场景。基于调度运行相关的水情、 工情等，分析历史监测数据并提取相似场景特征要素。

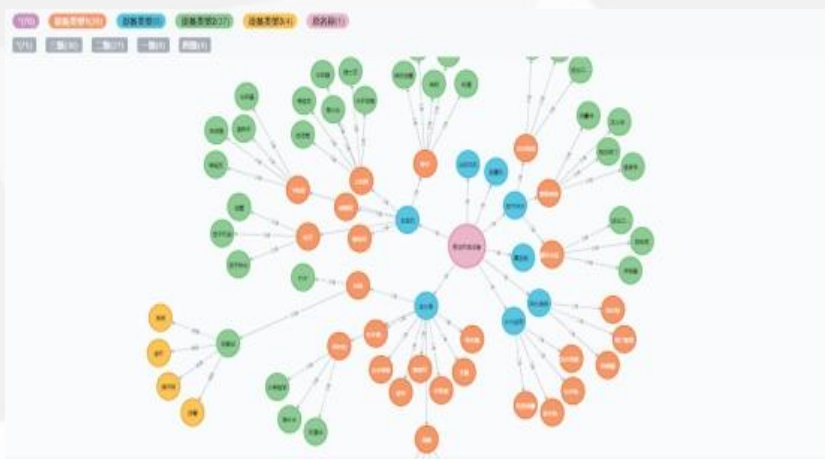
专家经验库
通过专业调研、参加会议、访问专家等形式，在调度与业务 等场景下基于专家经验决策的历史过程，形成专家经验主导下的 融合认知知识为水量调度、复杂情境下的决策提供专家经验支撑。

# 知识库及知识应用

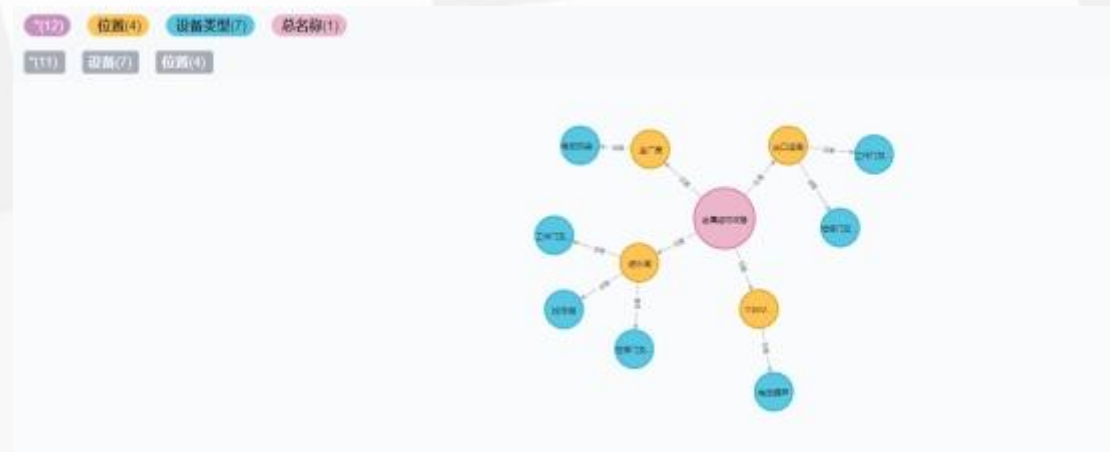
## 知识库构建



胶东调水组成知识图谱（部分）



水机设备知识图谱



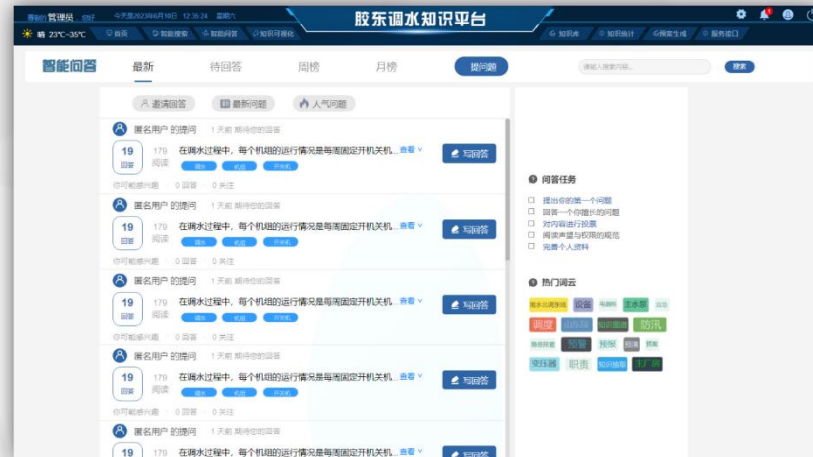
金属结构知识图谱



# 知识库及知识应用



平台首页



智能问答



知识搜索



知识库管理

# 综合预警告警平台

告警指标管理

水量调度告警

工程安全告警

设备安全告警

水质安全告警





## 综合告警预警决策平台



工程安全告警  
设备安全告警  
水质安全告警



实时状态预警



告警提醒



告警发布

## 告警指标管理



## 水量调度告警



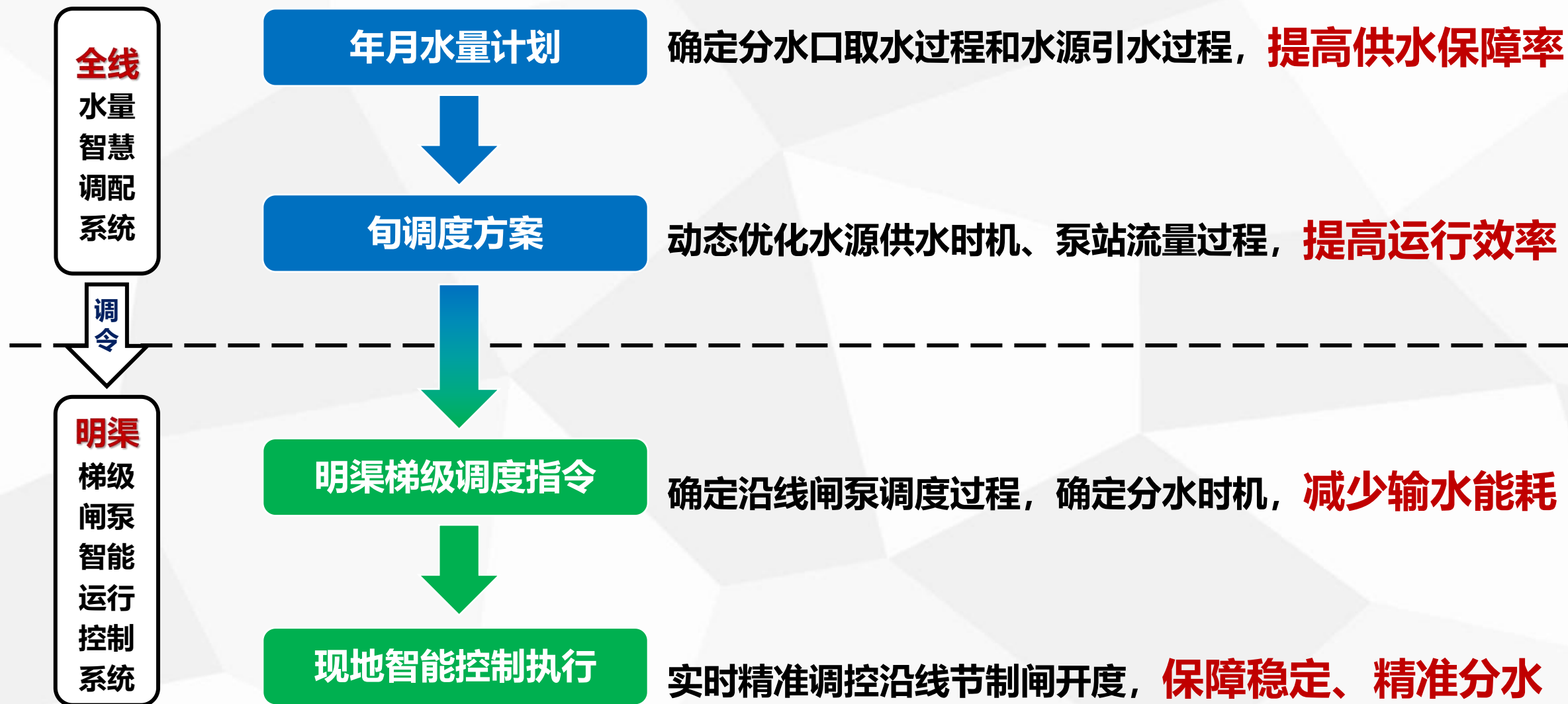


An aerial photograph of a large dam and reservoir, overlaid with a semi-transparent blue filter. The dam is a long, multi-arched structure spanning a wide river. Behind the dam is a large reservoir. The surrounding landscape includes fields, trees, and some buildings. The text '4.应用成效' is centered over the image in a large, white, bold font.

# 4.应用成效



## 应用实例：动态智慧调度



# 应用实例：动态智慧调度

## 全线旬水量调度

### 业务流程

- ◆ 根据全线年水量调度方案，调用**旬水量调度模型**，计算**梯级闸泵群调控过程**；
- ◆ 进行模型推荐**方案预演**，审核后，**下发各分中心调度指令**；
- ◆ 逐日**滚动评价执行偏差**；若偏差过大，自动**提醒调整方案**。

### 梯级闸泵群旬水量调度方案计算

优化目标

保证安全运行

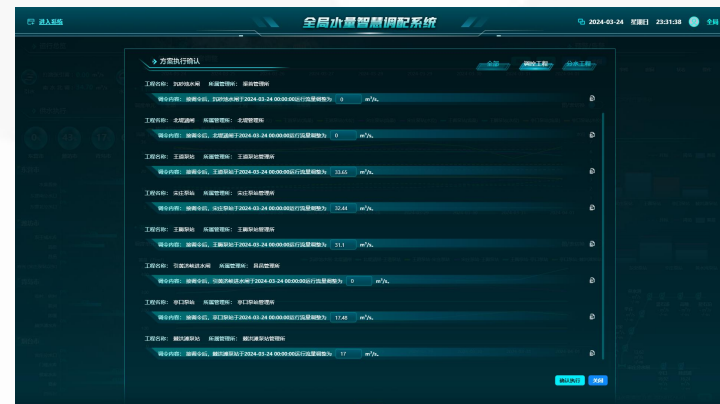
用水需求

梯级泵站效率

分水响应时间 **提前2天**



模型计算



推荐方案

实际调控过程



全线旬水量调度调控方案

调令流转执行



各分中心无偏差完成调度指令



## 应用实例：动态智慧调度

## 明渠梯级闸泵智能运行

### 业务流程

- ◆ 3月2日，接到全线水量调度指令，调用**明渠短期水量调度模型**，确定**分水启动时间**，计算**梯级闸泵群调控过程**；
- ◆ 进行模型推荐**方案预演**，审核后，**下发各闸站调度指令**；
- ◆ 逐小时**滚动评价执行偏差**；若偏差过大，自动**提醒调整方案**。

实时水情

29m<sup>3</sup>/s

11时开启7.5 m<sup>3</sup>/s

9.75m

9.56m

9.45m

调控精度 **达分钟级、厘米级**

入吴沟河节制闸

12时维持水位9.56m

胶莱河倒虹闸

14时维持水位9.45m

6小时完成工况切换

3月6日  
实际调控过程

8时00分

31.1m<sup>3</sup>/s

10时58分

7.38m<sup>3</sup>/s

10时01分

9.74m

11时54分

9.56m

14时05分

9.42m

偏差评价

+0.1m<sup>3</sup>/s

-0.12m<sup>3</sup>/s

-0.01m

无偏差

-0.03m



模型计算



指令下发



执行评价

## 应用实例：动态智慧调度

## 闸门实时智能控制

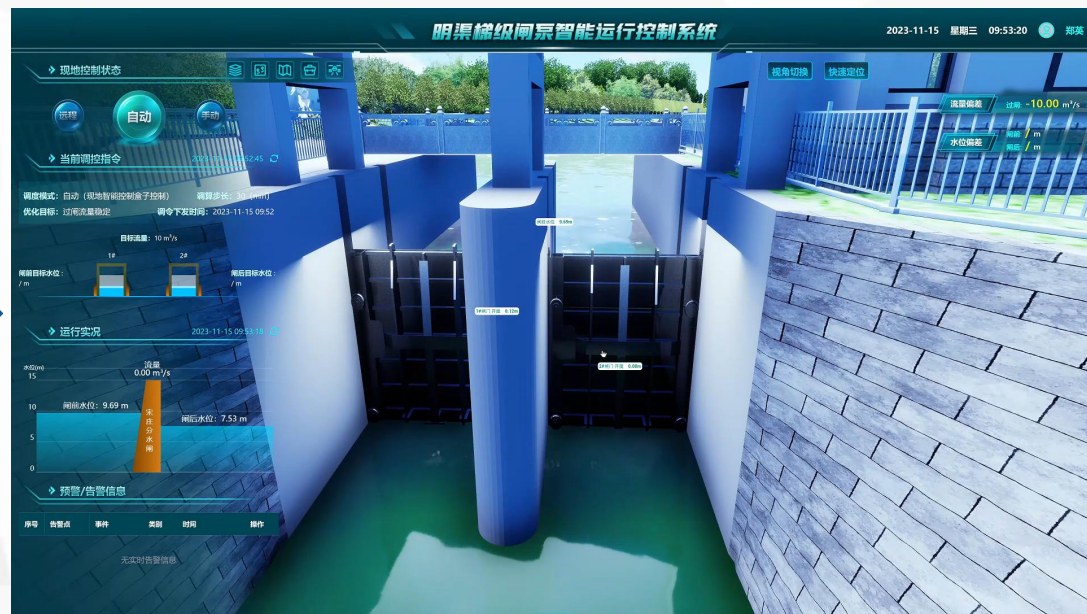
### 业务流程

- ◆ 工程控制指令下发至**现地智能控制终端**；
- ◆ 嵌入**实时闸站调控模型**运算，经确认后，**控制闸门开启**；
- ◆ 现地智能控制终端将根据实时监测数据，**自动滚动修正**工程运行状态，以达到目标。

工程实时执行偏差 **小于5%**

数据  
秒级联动

调控  
虚实共生



调度  
指令

实时控制模型  
智能控制终端

边缘计算控制

实际工程  
宋庄分水闸

5分钟

流量允许误差**0.2m³/s**

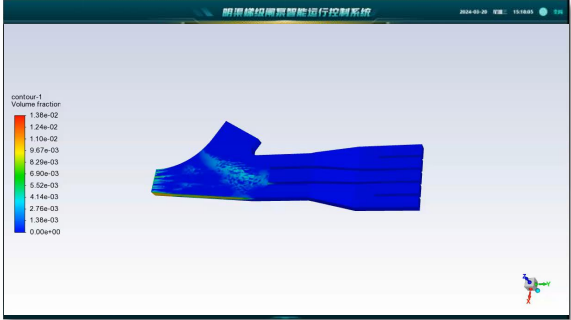
水位小时波动**10cm**



# 应用效果：四预助力精准调度



泥沙预报



提前预报  
精准预报

偏差预警



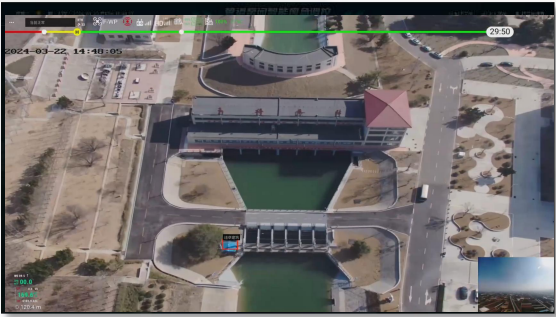
全面预警  
及时处置

模型预演



真实预演  
掌握形势

执行预案



评估影响  
制定方案

An aerial photograph of a large dam and reservoir, overlaid with a semi-transparent blue filter. The dam is a long, multi-arched structure spanning a wide river. Behind the dam is a large reservoir. The surrounding landscape includes fields, trees, and some buildings. The text "5.总结与展望" is centered over the image in a large, white, bold font.

# 5.总结与展望



# 调水运行能力提升

## 胶东调水工程调度运行能力显著提升，探索了调水管理新质生产力

### 多水源多目标水量调配



水网水源多、用户多  
水源用户供需关系复杂

### 水网水量均衡调配

提高泵闸输水效率  
受水区供水保证率提升

### 调水工程调度

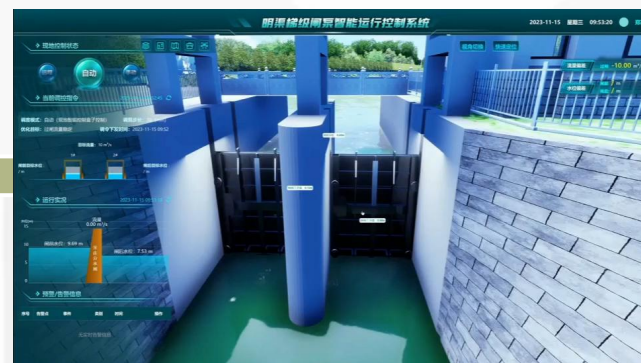


输水线路长、工程类型多  
水源与输水闸泵群混联

### 调水工程优化调度

提升用水户需求响应时间  
提高设备运行可靠性

### 闸泵阀运行管理



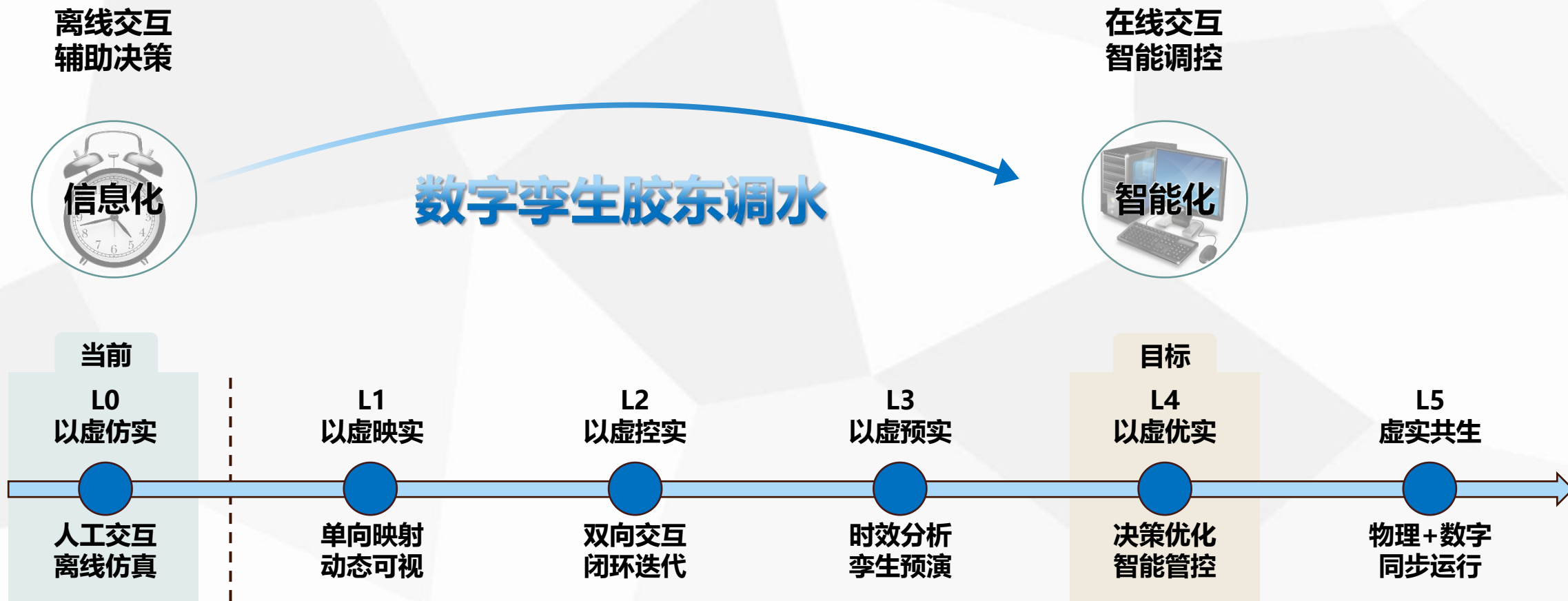
安全约束多、扰动因素多  
工程类型多、运行工况复杂

### 闸泵阀智能运行管理

减少控制频次  
提高控制精度

## 胶东调水工程管理实现从信息化跨越至智能化阶段

“水网水量调配-调水工程水量调度-现地工程智能运行管理” 全过程模型和知识赋能，  
胶东调水数字孪生等级探索至L4级 “以虚优实” 水平。





# 可推广创新成果

## 01 L4级数字孪生样板

实现了物理调水工程在虚拟场景上的“秒级”数字映射，水量调度全过程模拟推演，泵闸工程实时智能控制。



VS



## 02 首创“调控智能体”

将传统的服务于调度人员的调度执行方式升级为基于边缘计算智能设备的“无人值守”新方式。



## 03 首创“综合告警平台”

基于事件驱动，以告警预警为载体，实现调水管理多业务多管理层级联动响应，提升运行管理效能。



## 展望：推广应用

# 数字孪生胶东调水先行先试

向前可兼容

计算机监控系统

自动化调度系统

视频监控系统

计算机网络系统

业务应用系统



向后可成长

余**389公里**明渠

余**12座**泵站

余**800+**个建筑物

**3个**水网结点水库

余**59.4公里**管道



## 展望：推广应用

## 数字孪生胶东调水先行先试

# 数字孪生山东水网



水资源协同调配

信息化共建共享



# 调水管理“智慧大脑”

## 充分发挥工程综合效益

——面向山东省水网骨干工程精细化调控现实需求

## 应用目标明确清晰

——聚焦安全运行、科学调度、高效管理、应急调度

## 数字孪生技术赋能

——实现综合感知、安全预警、智能决策和协同调度

## 提升调水工程运行管理‘四预’能力

——精准直达预警、前瞻科学预演、细化实化预案

## 建设应用成效显著

——水资源精准调配和供水过程精准控制水平大幅提升

感知  
更精准



数据  
更完备



网络  
更安全



模型知识  
更智能



应用  
更智慧





**感谢观看！**