



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

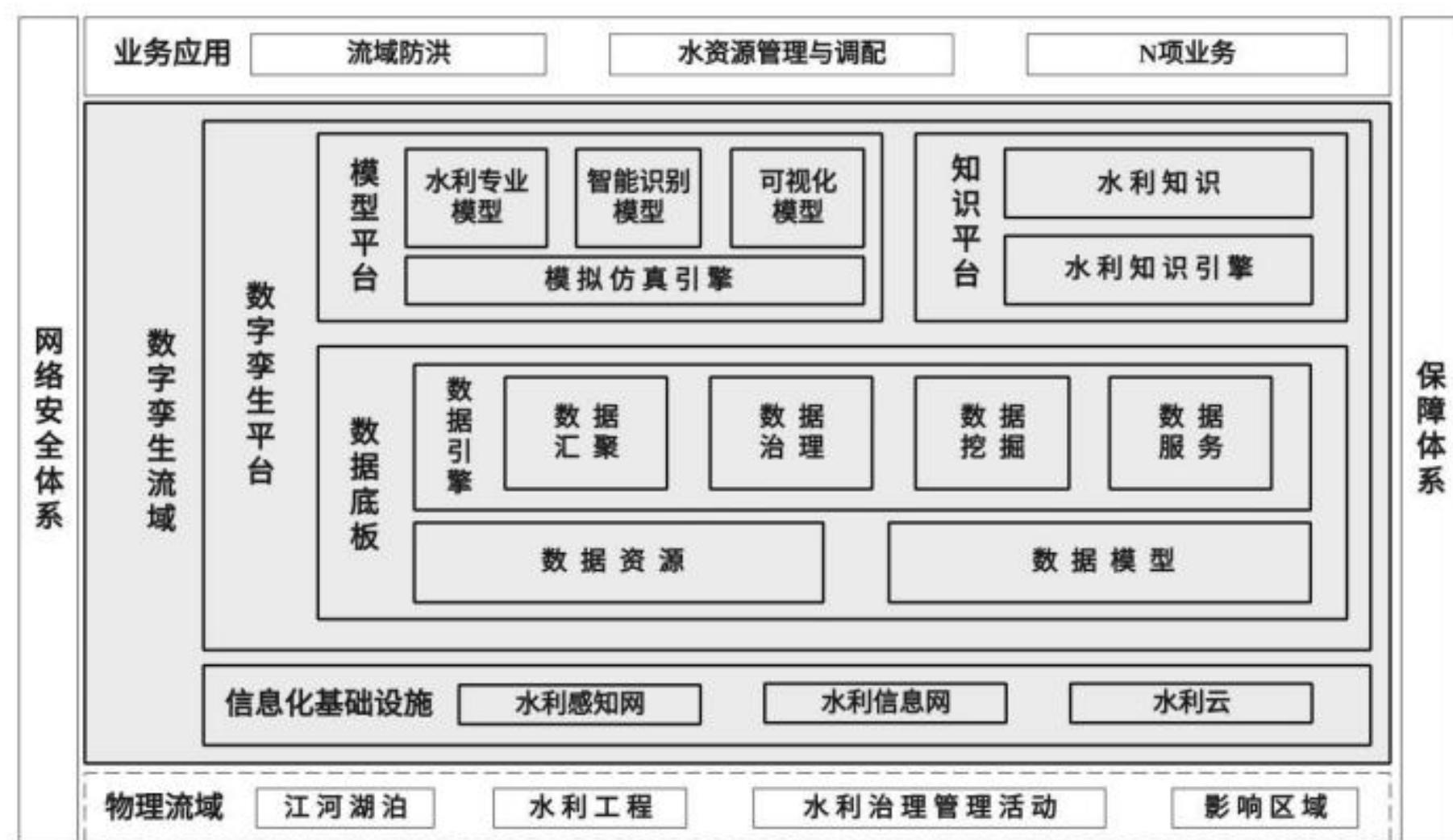
5. 总结与展望

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践应用，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

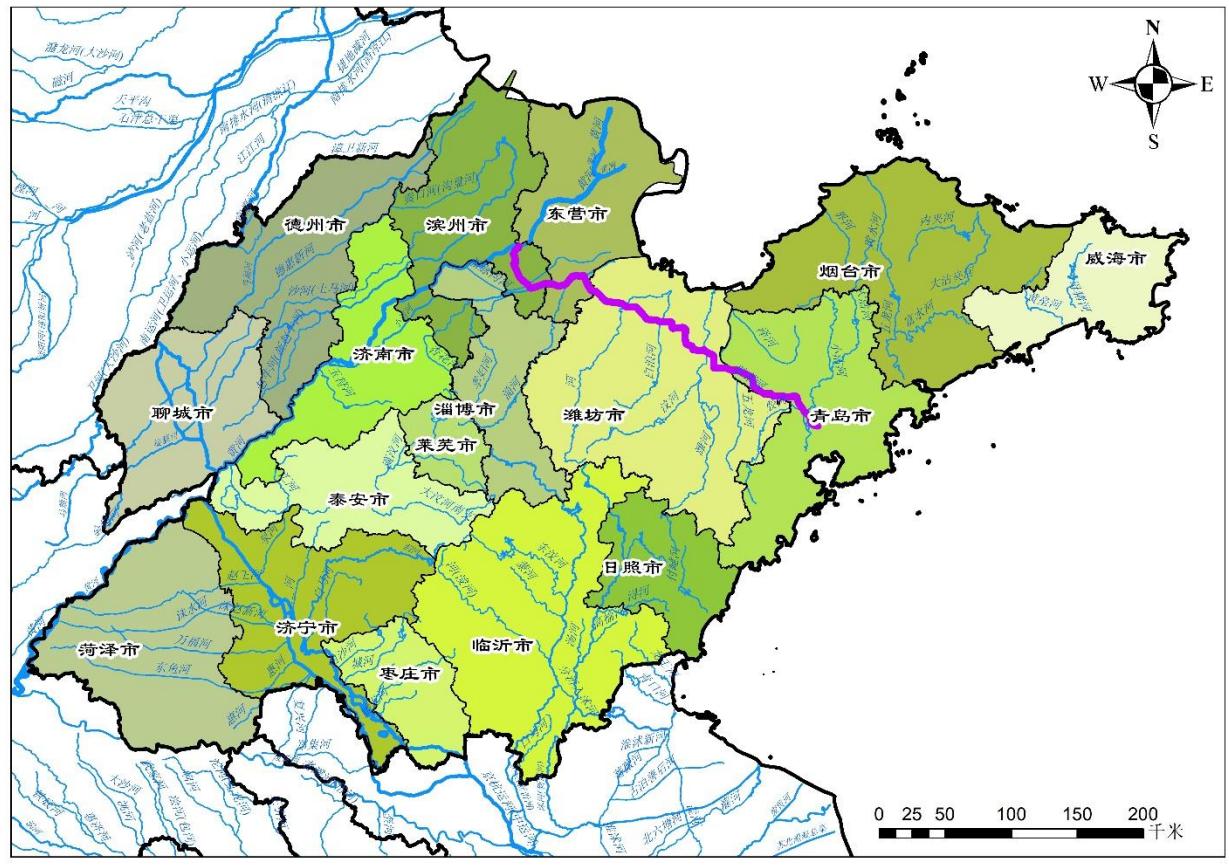


2. 研究区概况

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

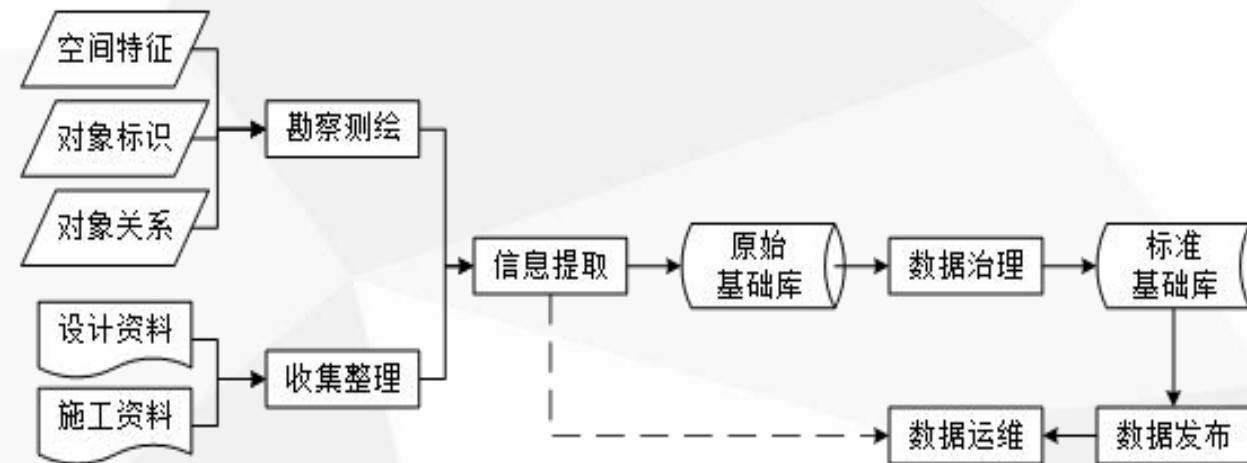
安全运行管理难

100座泵闸站、1座大型水库

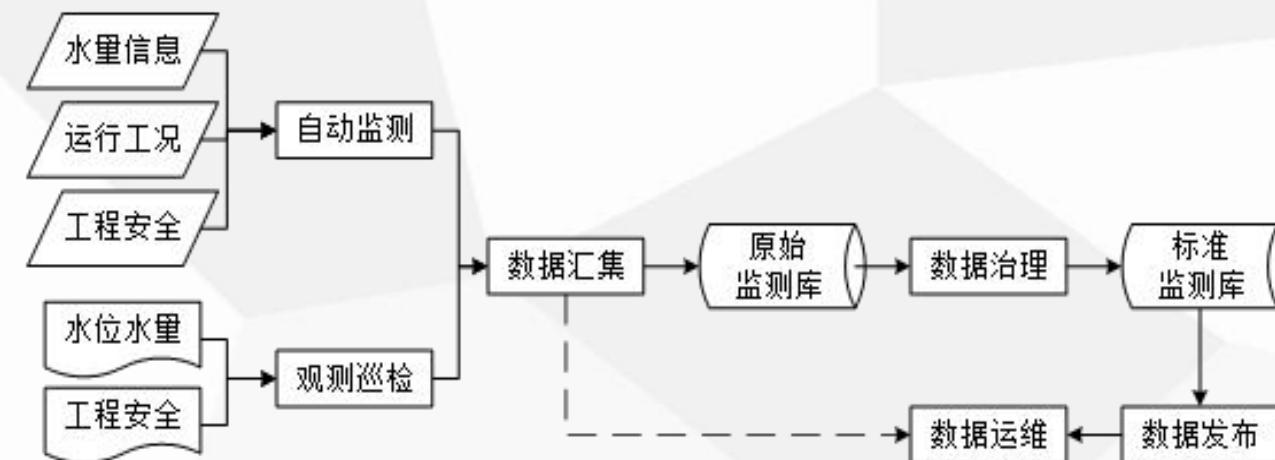
3. 关键技术

数据底板

➤ 基础数据

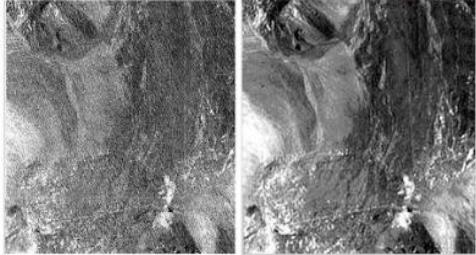


➤ 监测数据

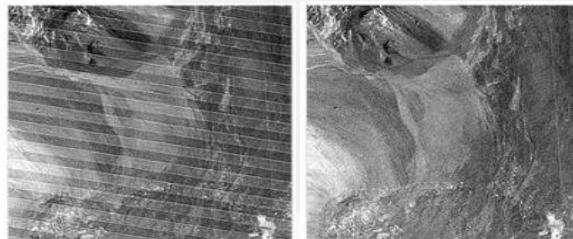


数据底板

➤ 地理空间数据



噪声消除



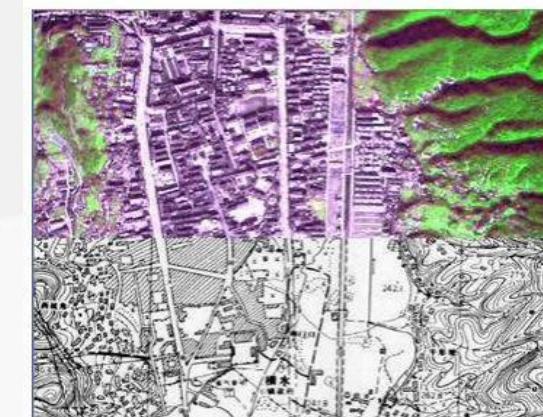
去条纹



Image Registration



色彩合成



纠正影像地形图套图



融合影像

数据来源

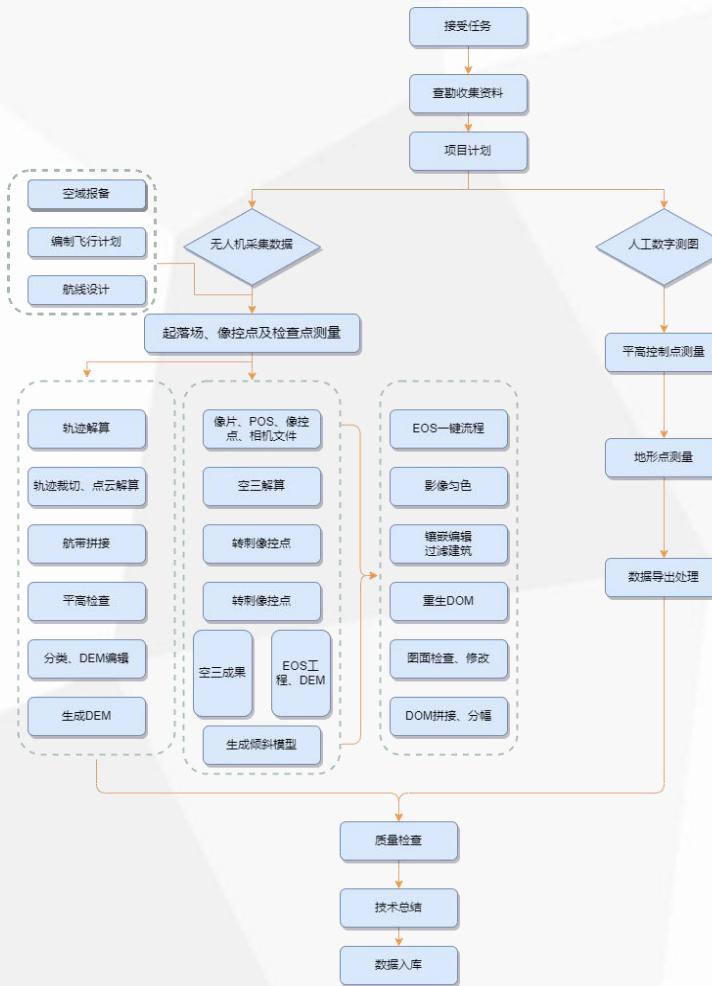
DEM 数据样例图

基本信息	
服务名称	山东省影像图
服务地址	http://service.edmap.gov.cn/service/drasterpubmap
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	114.22989088925
最小纬度	33.9389355555556
最大经度	123.400530149205
最大纬度	38.9048194444444

天地图·山东在线影像服务

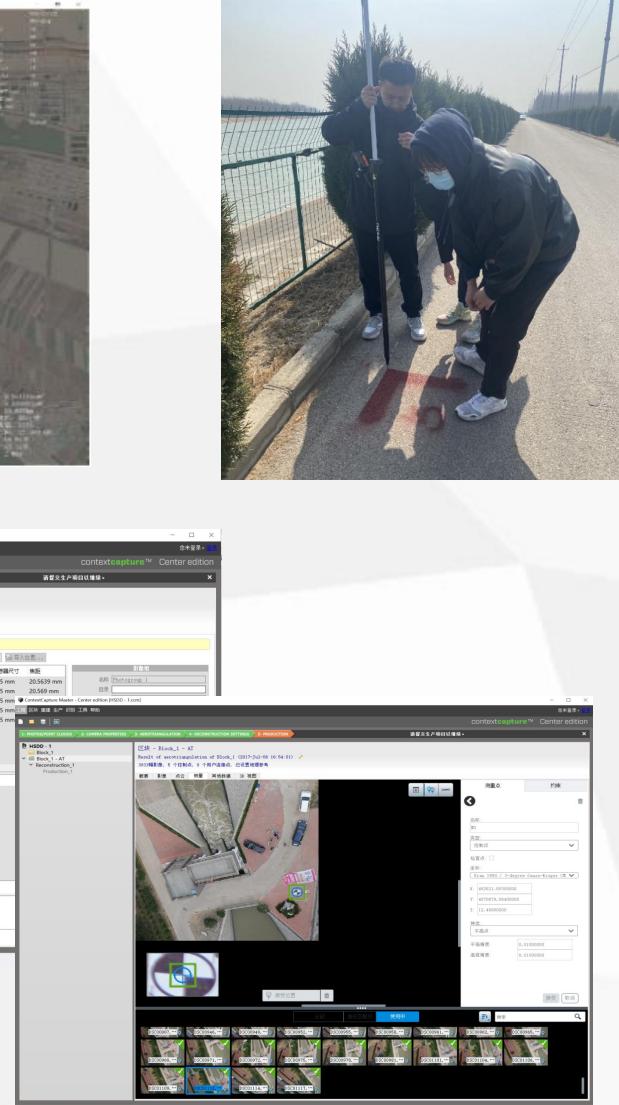
➤ L3级数据建设



空三计算成果复核

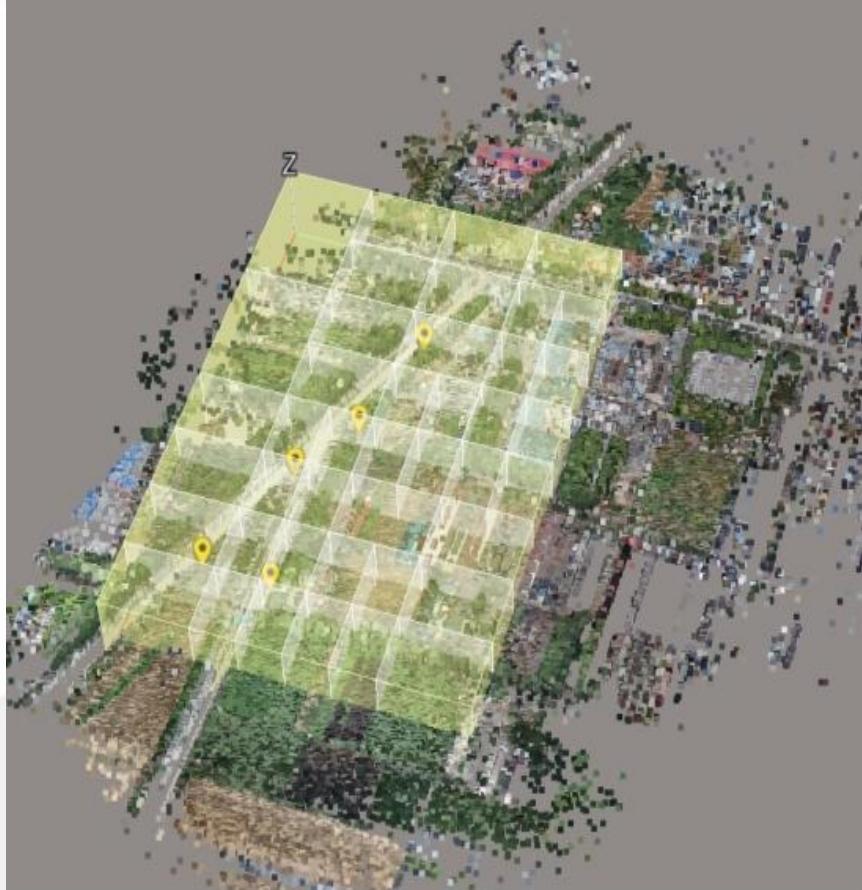


L3级数据生产技术路线

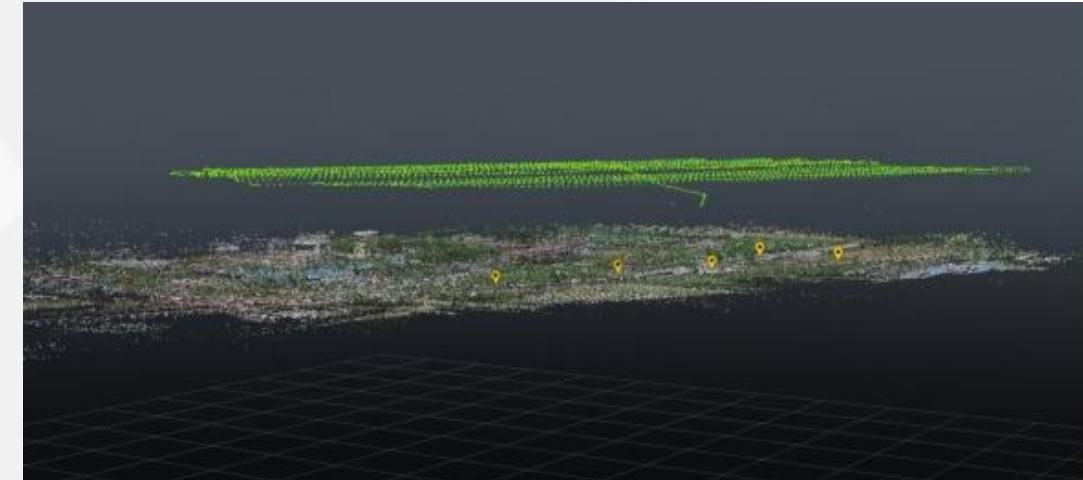


工程照片

➤ 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

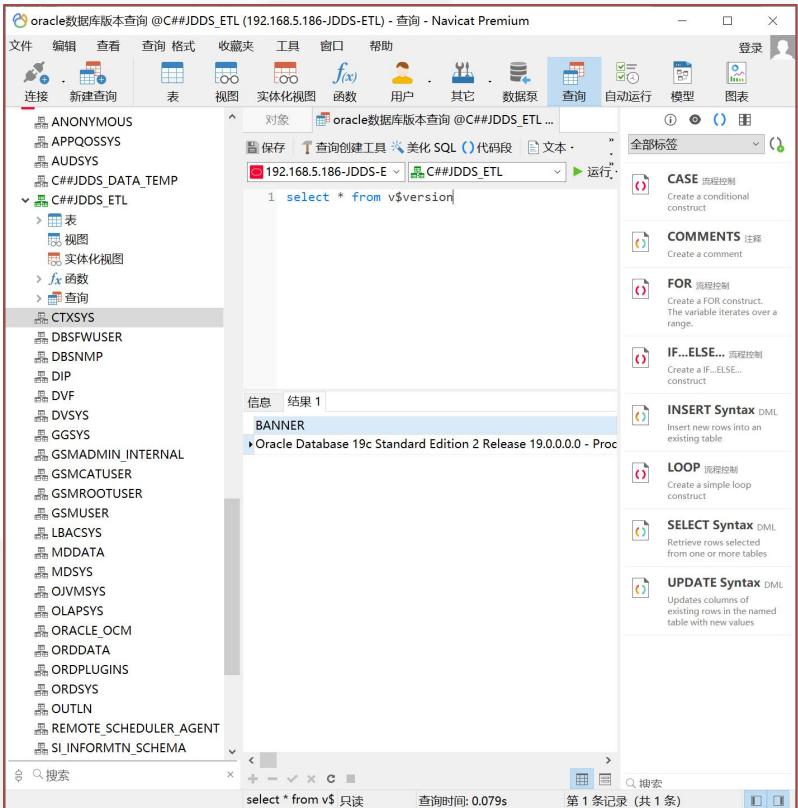
数据治理

数据开发

数据服务

数据引擎

■ 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

1. 范围。

本标准规定了业务支撑库数据模型的定义，管理以及建立，包括管道泵智管应急调控系统、明渠梯级闸泵智能运行控制系统、泵站智慧运行维护系统、平原水库智慧管控系统、综合告警平台等的模型元信息。

2. 范围性引用文件。

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是标注日期的引用文件，仅在所标注日期内的版本适用于本标准。凡是不标注日期的引用文件，仅最新版本（包括所有的修订本）适用于本标准：

- SL213-2020 水利工程代码编制规范。
- SZY102-2013 国家水资源监控能力建设项目标准 信息分类及编码规定。
- SZY102-2013 基础数据库表结构及标识符。
- SL252-2000 水利水电工程等级划分及洪水标准。
- SZY301-2013 水利信息数据库表结构及标识符编制规范。
- 《水利对象分类与编码总则 2020 版本》。

3. 术语和定义。

3.1 数据库。

按照一定的数据结构组织，存储和管理数据的仓库。

3.2 表结构。

用于组织管理数据资源而构建的数据表的结构体系。

3.3 字段。

数据库中表示与对象或类关联的变量，由字段名、字段标识和字段类型等数据要素组成。

3.4 数据类型。

字段中定义变量性质、长度、有效值域及对该值域内的值进行有效操作的规定的总和。

3.5 值域。

字段可以定义的取值范围。

建库建表标准

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	FACILITY										
2	AAAB37020104A005	2.02E+11	9.11523	8.97723	0	20.5402	29.457	0	0	0	
3	AAAB37020303A008	2.02E+11	0	0	0	18.891	433.324	0	0	0	
4	AAAB37070103A002	2.02E+11	8.095	8.01526	0	24.329	31050.5	0	0	0	
5	AAAC37060302B001	2.02E+11	11.9469	12.1531	0	0	0	0	0	0	
6	AAAB37070301A008	2.02E+11	4.06727	3.88531	0	0	0	0	0	0	
7	AAAC37020302A001	2.02E+11	3.999	13.569	0	19.277	22583.3	0	1	0	
8	AAAB37070101A002	2.02E+11	10.6248	10.634	0	0.652777	557.9592	0	0	0	
9	AAAB37070403A007	2.02E+11	8.3820	8.23841	0	0	0	0	0	0	
10	AAAB37160102A007	2.02E+11	8.22097	8.19651	0	0	0	0	0	0	
11	AAAB37070403A004	2.02E+11	9.39417	9.35193	0	0	0	0	0	0	
12	AAAB37060302B001	2.02E+11	11.9438	12.15	0	0	0	0	0	0	
13	AAAB37070403A008	2.02E+11	6.27695	6.08811	0	0	0	0	0	0	
14	AAAB37070202A001	2.02E+11	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	AAAB37070202A014	2.02E+11	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	AAAB37060302B001	2.02E+11	42.2292	41.5231	0	0	0	0	0	0	
17	AAAB37070101A002	2.02E+11	10.6562	10.6753	0	0.468077	558.5062	0	0	0	
18	AAAC37160101A003	2.02E+11	11.2121	13.1821	0	0	0	0	0	0	
19	AAAB37020101A002	2.02E+11	7.64978	7.95105	0	0	0	0	0	0	
20	AAAC37060301R001	2.02E+11	11.2007	4.11.2286	0	1950410	0	0	0	0	

监控数据样例

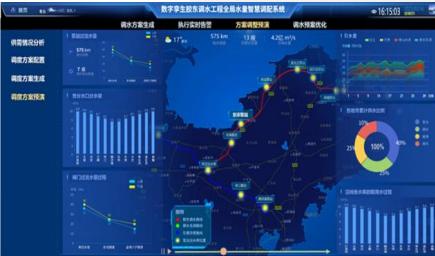
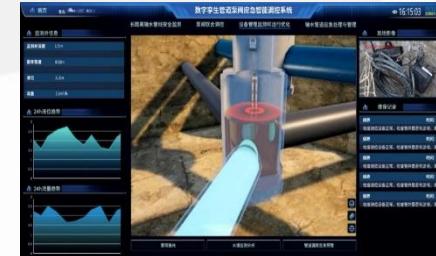
水利专业模型库

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	泵站运维	水库管控	明渠运行控制	应急调控
胶东调水工程全局水量智慧调配系统	泵站智慧运行维护系统	平原水库智慧管控系统	明渠梯级闸泵智能运行控制系统	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智能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。

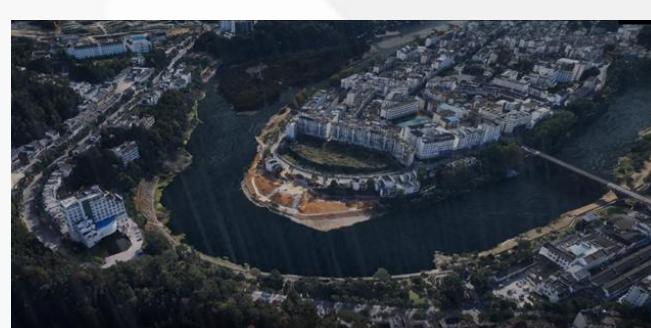
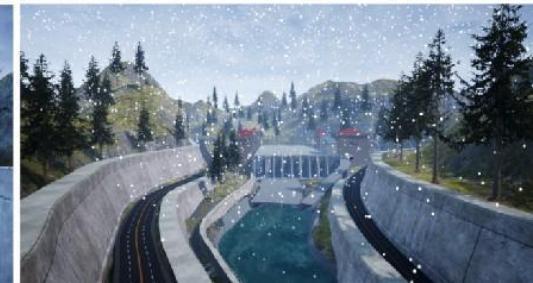
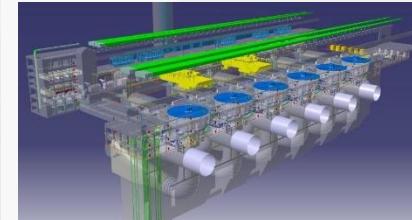


The screenshot displays the 'Algorithm Model Management' section of the AI Model Management Platform. The left sidebar shows a navigation tree with categories like Monitoring Equipment Management, IoT Management, Algorithm Configuration, Algorithm Platform Management, Algorithm Model Management (which is currently selected), Intelligent Application, Alert Management, Visitor Management, Patrol Management, Attendance Management, Announcement Management, System Management, and Gateway Configuration. The main content area shows a table of algorithm models. The table has columns for序号 (Index), 算法模型名称 (Algorithm Model Name), 算法类型 (Algorithm Type), 算法标识 (Algorithm Identifier), 模型类型 (Model Type), and 创建时间 (Creation Time). Each row represents a different algorithm model, with options to edit, delete, or view details (详情) for each. The table shows 7 entries. At the bottom, there are pagination controls for '每页显示 10 条记录' (10 records per page) and '共 7 条' (7 total records), along with navigation buttons for the first page (1), previous page, next page, and last page.

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	编辑 删除 详情
2	3800人体模型	其他	PERSON3800	结构化数据	2022-09-30 14:07:53	编辑 删除 详情
3	1800人脸	人脸特征识别	IVS_FACE	结构化数据	2022-06-28 14:34:00	编辑 删除 详情
4	3800混合算法	其他	MIX3800	结构化数据	2021-08-26 10:30:38	编辑 删除 详情
5	3800车辆	车辆特征识别	VEHICLE3800	结构化数据	2021-08-26 09:56:57	编辑 删除 详情
6	3800人脸模型	人脸特征识别	FACE3800	结构化数据	2021-08-24 14:32:19	编辑 删除 详情
7	1800机动车	车辆特征识别	IVS_MOTOR	结构化数据	2021-08-13 17:41:44	编辑 删除 详情

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。



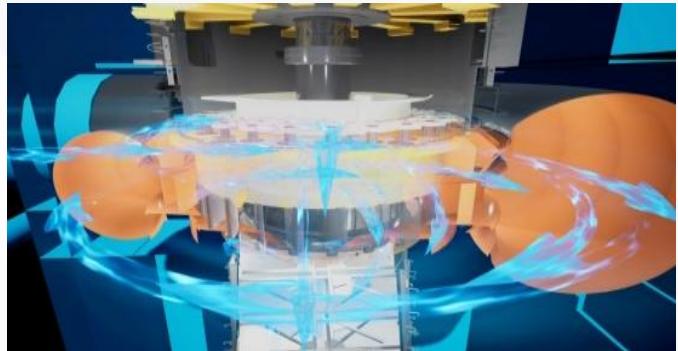
区域级场景模型

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

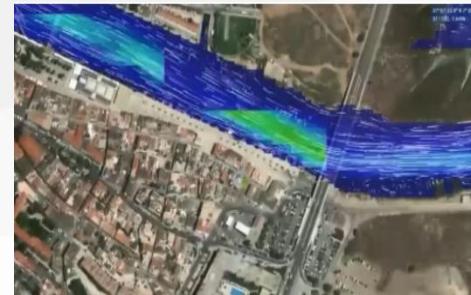


水泵运行可视化场景模型

➤ 王耨泵站至胶莱河段输水明渠可视化模型



输水渠道

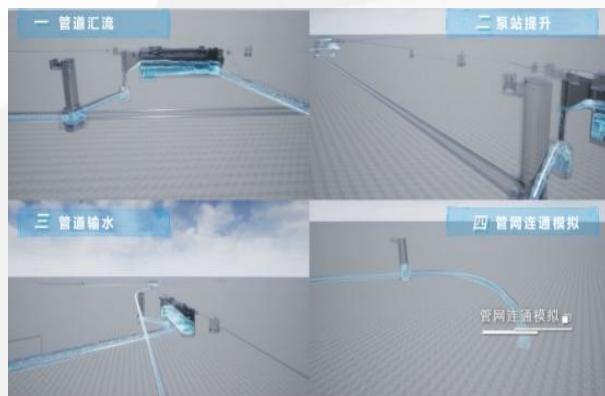


明渠流场

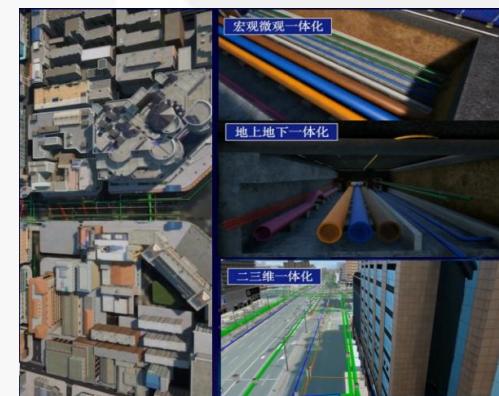


水利工程

➤ 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

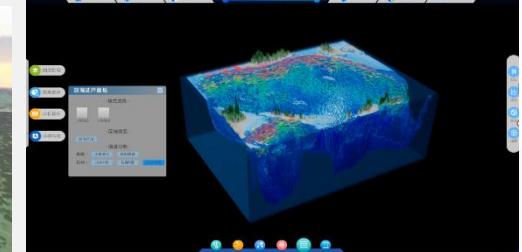
➤ 棘洪滩水库可视化模型



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

设备维修养护

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）
	山东省调水工程维修项目管理办法
	山东省调水工程日常维修养护项目管理办法（试行）
	山东省调水工程日常维修养护项目验收管理办法（试行）
	山东省调水工程管理考核办法（试行）
	山东省调水工程管理范围内穿跨邻工程管理办法（试行）
	山东省调水工程安全监测管理办法（试行）
	山东省调水工程防汛物资储备管理办法（试行）
	山东省调水工程特种设备管理办法（试行）

工程安全库

知识库名称	文件名称
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）
	山东省调水工程运行维护中心安全生产管理办法（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
	山东省调水工程运行维护中心安全生产责任制规定（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
	山东省调水工程运行维护中心安全生产四查制度（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
	山东省调水工程运行维护中心安全生产隐患排查治理制度

历史场景库

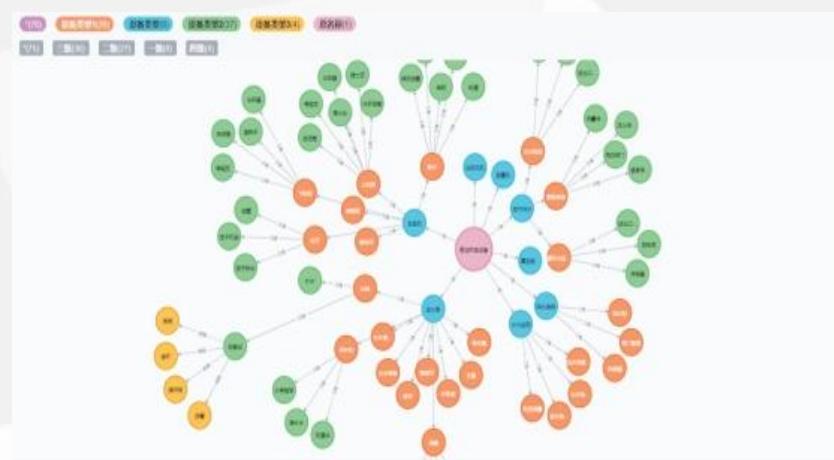
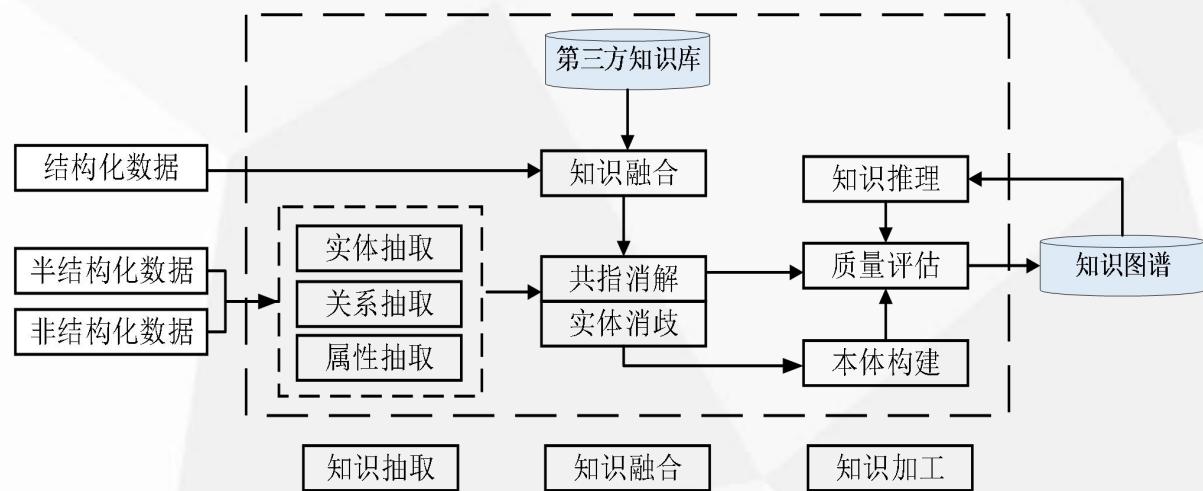
胶东调水调度（日常调度和应急调度）、业务（设备维修养护和工程安全）等历史场景。基于调度运行相关的水情、工情等，分析历史监测数据并提取相似场景特征要素。

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

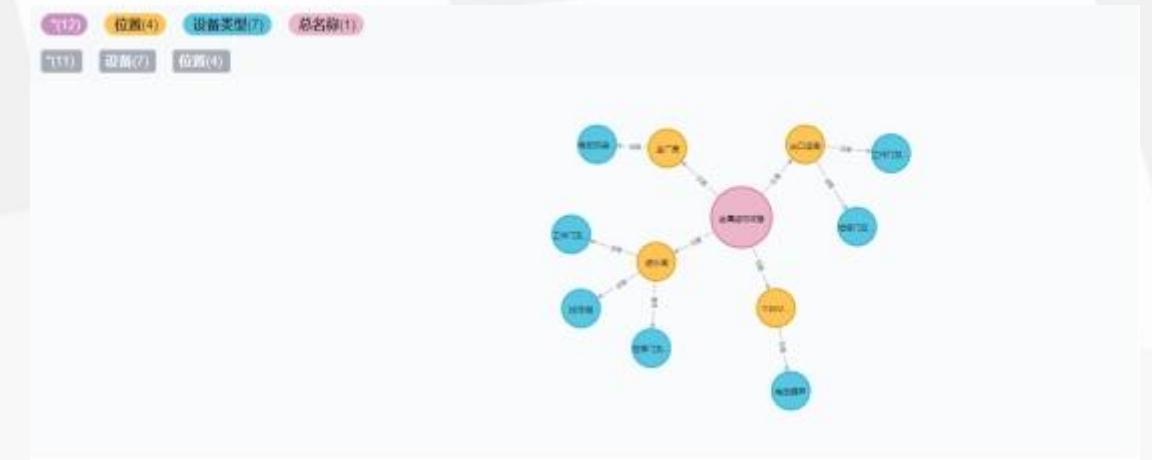
➤ 知识库构建



水机设备知识图谱



胶东调水组成知识图谱（部分）



金属结构知识图谱

知识库及知识应用

知识统计

类别	数量	占比
文档	123+	67%
图片	86+	33%
知识库	192+	67%
视频	130+	33%

智能搜索

搜索排行榜

- 山东省海水淡化工程日常维护的项目... 19 阅读
- 山东省海水淡化工程日常维护管理办法 19 阅读
- 山东省海水淡化工程日常维护办法 19 阅读
- 179 在海水淡化工程中,每个机组的运行情况是每周固定开机关机还是随机的? 19 阅读
- 179 转机设备检修项目有哪些? 19 阅读
- 179 海员人员多长时间检修一次 每周固定的还是有不同的人检修,记录... 19 阅读

平台首页

智能问答

最新

- 匿名用户的提问 1天前 新增的提问 19 阅读
- 匿名用户的提问 179 在海水淡化工程中,每个机组的运行情况是每周固定开机关机还是随机的? 19 阅读
- 匿名用户的提问 179 在海水淡化工程中,每个机组的运行情况是每周固定开机关机... 19 阅读

热门问题

热门知识云

知识库管理

智能问答

智能搜索

首页 知识 文档 图片 视频 热门

搜索

全部 数据模型 字段 标签

- 1. 山东省海水淡化工程日常维护的项目... 19 阅读
- 2. 根据针对情况不同, 应急预案分为综合应急预案、专项应急预案和现... 19 阅读
- 3. 应急预案演练及评估运维每年至少组织1次综合应急预案演练或专... 19 阅读
- 4. 根据针对情况不同, 应急预案分为综合应急预案、专项应急预案和现... 19 阅读
- 5. 应急预案演练及评估运维每年至少组织1次综合应急预案演练或专... 19 阅读
- 6. 根据针对情况不同, 应急预案分为综合应急预案、专项应急预案和现... 19 阅读
- 7. 应急预案演练及评估运维每年至少组织1次综合应急预案演练或专... 19 阅读
- 8. 根据针对情况不同, 应急预案分为综合应急预案、专项应急预案和现... 19 阅读
- 9. 应急预案演练及评估运维每年至少组织1次综合应急预案演练或专... 19 阅读

相关知识图谱

知识搜索

规则库

日常调度规则

应急调度规则

业务规则库

维修养护

工程安全

历史场站规则库

专业知识库

知识管理

施工图纸

需求分析报告

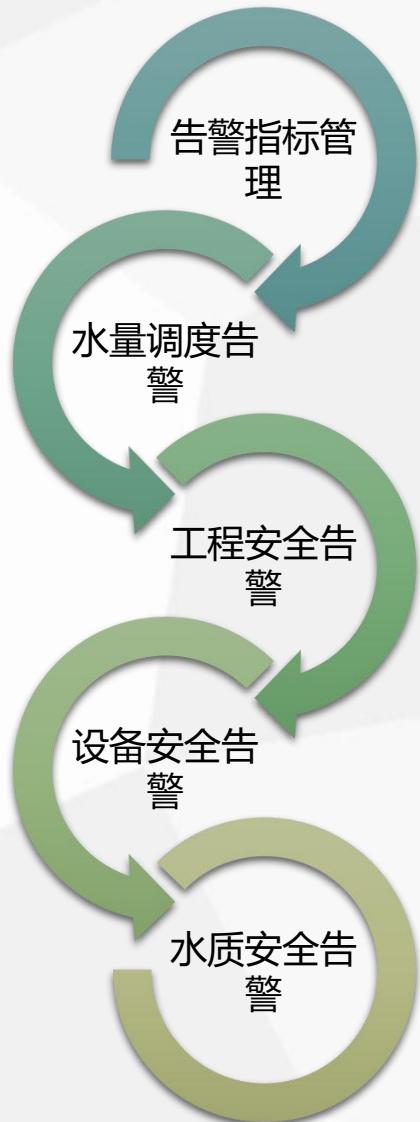
相关图片资料

流程图

相关视频

知识库管理

综合预警告警平台



综合告警预警决策平台



告警指标管理



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

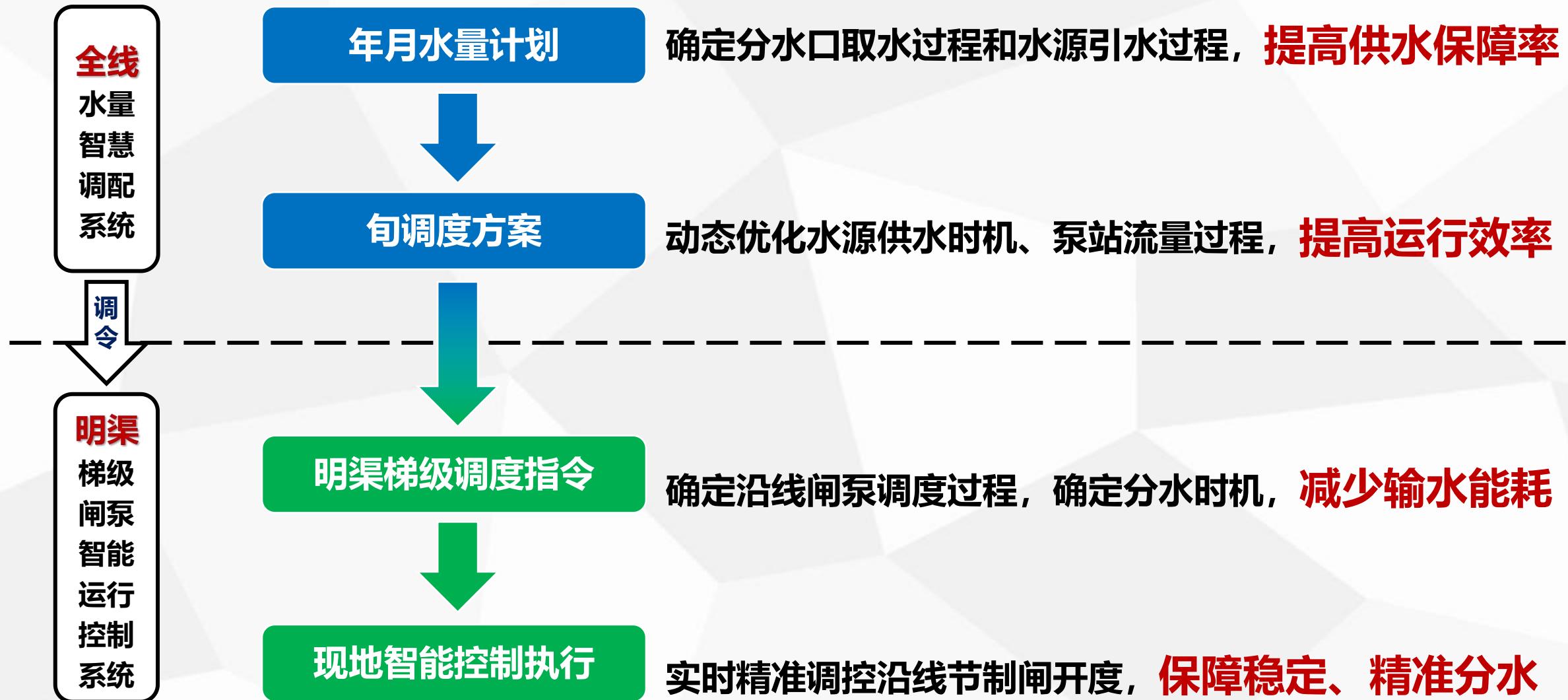
告警发布

水量调度告警



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

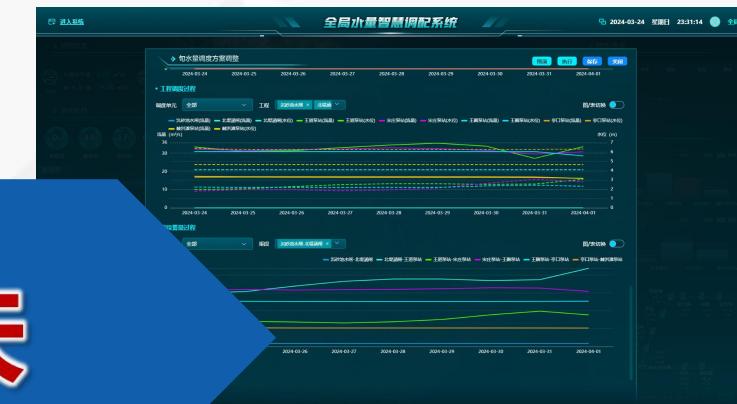
用水需求

梯级泵站效率

分水响应时间 提前2天



全线旬水量调度调控方案



模型计算



实际调控过程



推荐方案

3月2日10时增加4m³/s

宋庄分水闸

3月6日11时开启分水

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

29m³/s

11时开启7.5 m³/s

9.75m

9.56m

9.45m



模型计算

调控精度 达分钟级、厘米级

入吴沟河节制闸

胶莱河倒虹闸

7.5m

12时维持水位9.56m

14时维持水位9.45m



指令下发

3月6日
实际调控过程

8时00分

31.1m³/s

10时58分

7.38m³/s

10时01分

9.74m

11时54分

9.56m

14时05分

9.42m

偏差评价

+0.1m³/s

-0.12m³/s

-0.01m

无偏差

-0.03m



执行评价

6小时完成工况切换

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 $0.2m^3/s$
水位小时波动 $10cm$

应用效果：四预助力精准调度

预报

预警

预演

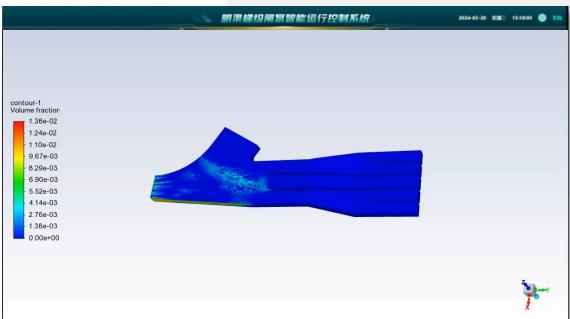
预案

泥沙预报

偏差预警

模型预演

执行预案



提前预报
精准预报

全面预警
及时处置

真实预演
掌握形势

评估影响
制定方案

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



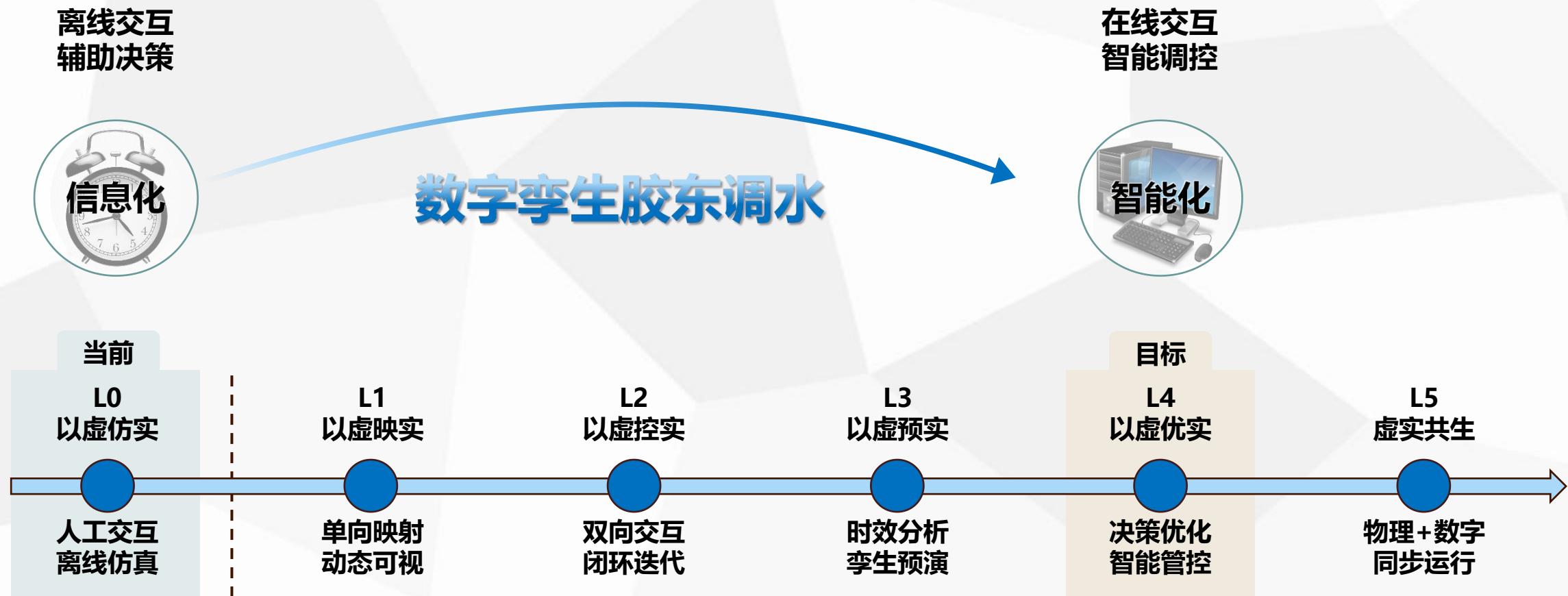
安全约束多、扰动因素多
工程类型多、运行工况复杂

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。

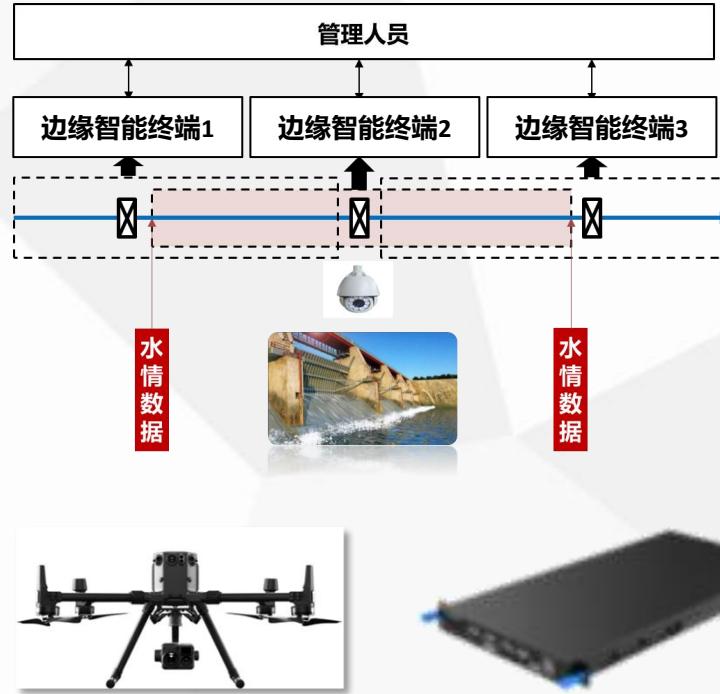


可推广创新成果

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。



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。



数字孪生胶东调水先行先试

向前可兼容

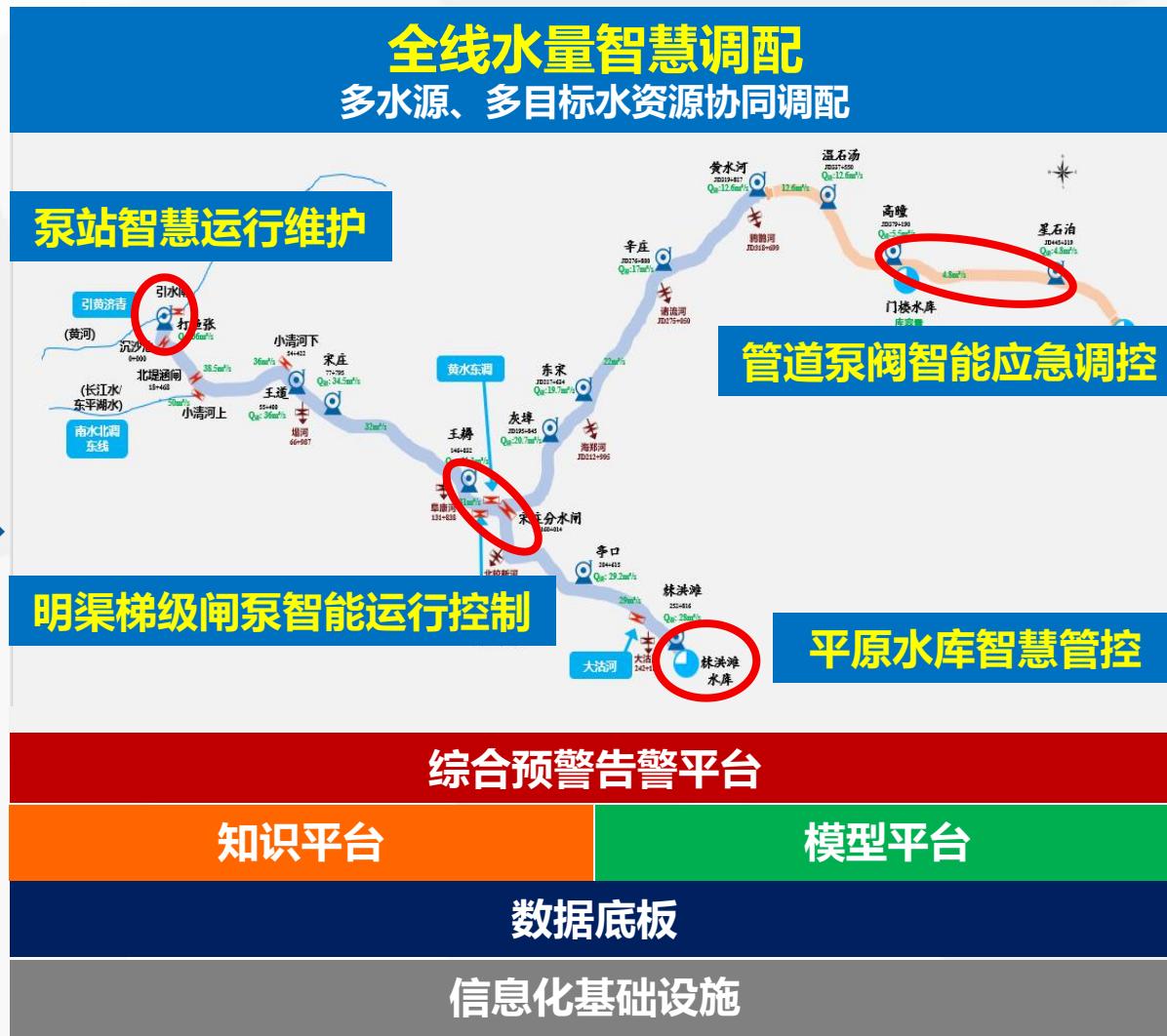
计算机监控系统

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

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

感谢观看！