

水利数字孪生中的数据底座

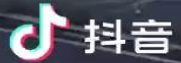
模型及平台建设

(底座基建)

主讲：娄保东 教授

国家工程中心数字孪生所
河海大学智能感知技术创新研究院





抖音号: 607811811

猛犸

广东梅大高速路面塌方灾害
已致48人死亡



抖音号: xhmr dx

陕西商洛桥梁垮塌事故现场
已搜寻到15具遇难者遗体



新华每日电讯

记者今天（21日）从国家消防救援局获悉，7月19日发生的陕西省商洛市水阳高速柞水县严坪村二号桥垮塌事故，国家综合性消防救援队伍共调派1630人、205车、63舟艇、6头搜救犬在现场开展救援。

来源: 央视新闻



抖音号: ersanlizixun

洞庭湖决堤现场最新画面！
村民被通知连夜撤离
5小时后水漫房顶



兄弟们

7月5日16时许，湖南岳阳华容县团洲垸洞庭湖一线堤防（桩号19+800）发生管涌险情，17时48分许，紧急封堵失败后堤坝决堤。据湖南日报消息，截至5日23时许，决堤口宽度超过150米。

来源: 海报新闻

抖音

抖音号: LLQ397002582

Q 电力鹰

事故前



地球人



严峻挑战

各种“黑天鹅”“灰犀牛”事件随时可能发生。

挑战主要来源于存量风险和增量风险交织叠加。

极端天气暴雨、干旱 常态化

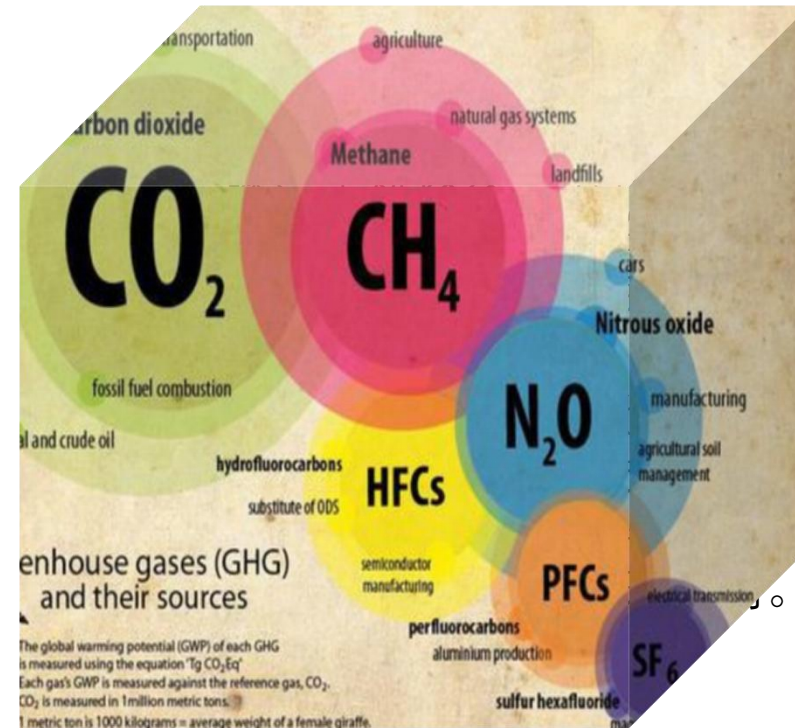
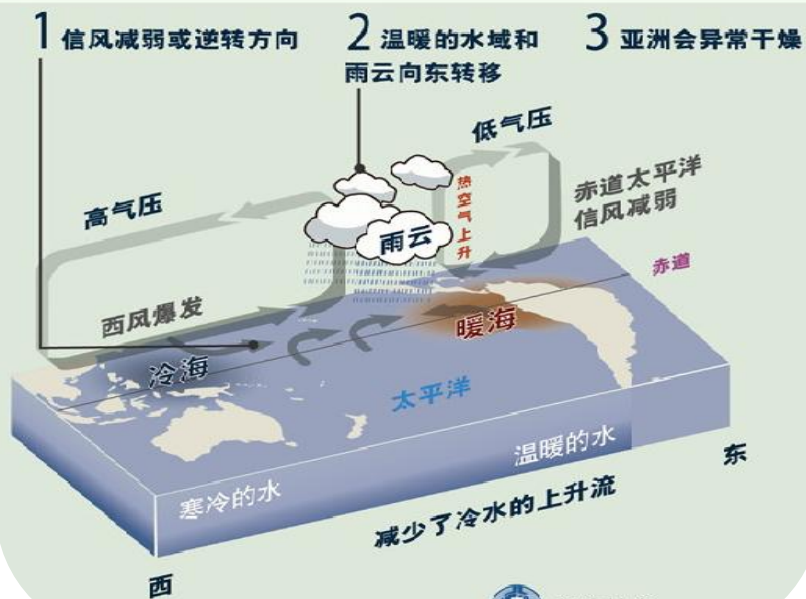


➤碰到棘手三个问题

1、温室效应

从工业革命以来，人类排放了天文数字般的温室气体，而地球承受能力却是有限的。地球31个“生命指数”，已有16个超标！宣布地球气候已经进入紧急状态，

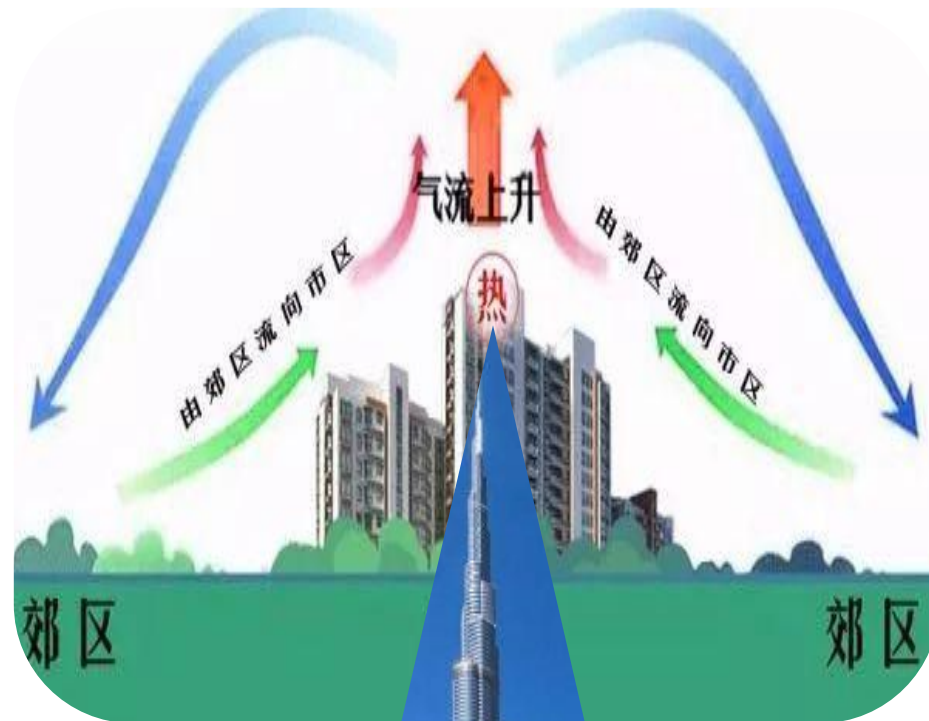
厄尔尼诺成因



➤全球碰到辣手的三个问题：

2、城市热岛现象

城市高大，导致城市上空的气流变化太快，气象部门的精准暴雨预报困难。



3、城市柏油路、水泥路超长规增加，导致应急蓄水能力急骤下降，汇流加快。

- ✓ 雨水下渗量和截流量下降，径流系数加大；地面径流系数0.3~0.5增大到0.6~0.9，增大了近1倍。
- ✓ 地面粗糙降低，汇流加快，洪峰提前，径流峰型趋“尖瘦”形化，径流峰值出现时间提前了1~2h。

暴雨频发，精准预报困难



学习与批评





在中文里是一个多义词，可以指道路、方法、哲学思想等。

水利数字之道

水利智慧之道





立足极端态势，数字演练、部署在前、关口前移



强基固本



什么是数字孪生技术？

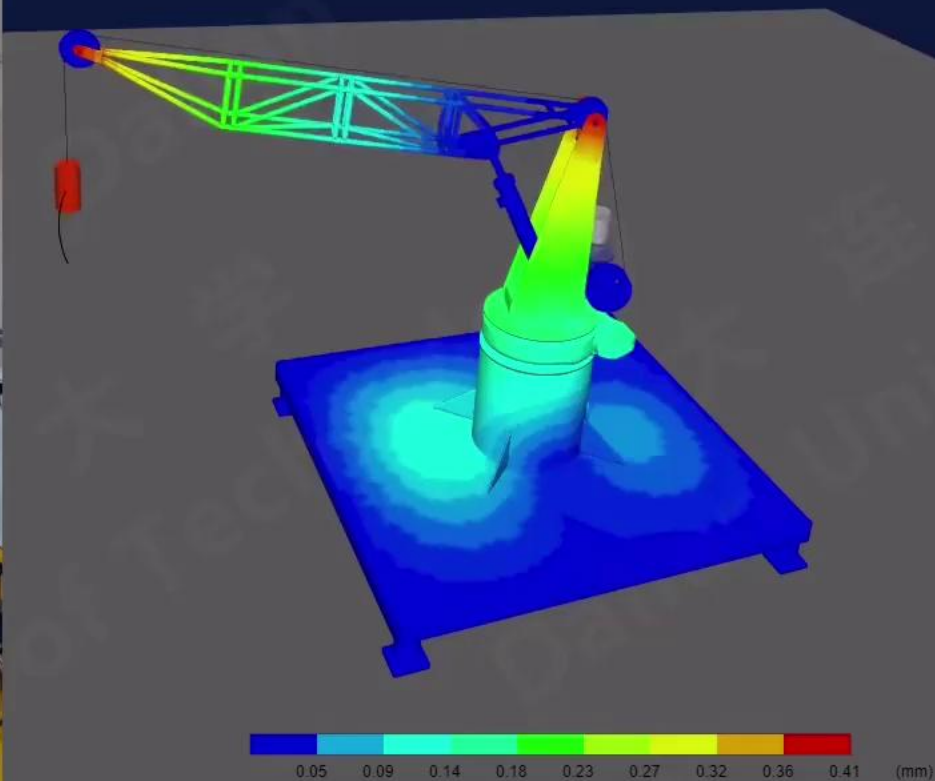
数字孪生技术是克隆物理对象的虚拟仿真技术，集成多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程，集成传感器实时历史等数据，集成全面数字化描述物理对象的全生命周期过程（包含行为特征）。



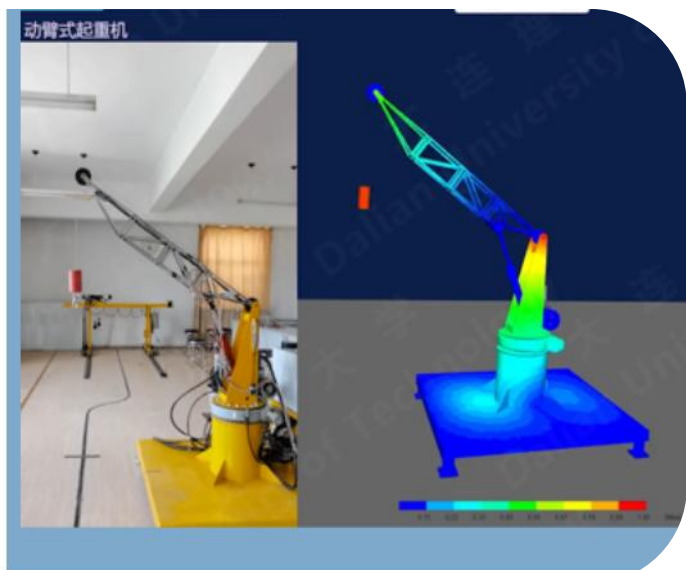
动臂式起重机数字孪生

基本信息

动臂式起重机



数字孪生技术特有的赋能价值---5个看



看得“深” 通过数字模拟把看不见变为看得见

看得“早” 提早预见问题

看得“准” 精准预演隐性危险并能完全透明

看得“全” 系统性解决问题、细致周到，事半功倍

看得“实” 压实安全红线



数字孪生+水利=数字孪生水利

到底有几部分组成？



请各位记住1234 由4个模块组成

一隆

克隆

1

二射

映射

2

3
三算

算据

算法

算力

4
四预

预报

预警

预演

预案









“十四五”时期国家重点出版物出版专项规划项目

智慧水利关键技术及应用丛书

智慧水利 数字孪生技术 应用

ZHIHUI SHUILI
SHUZI LUANSHENG JISHU
YINGYONG

娄保东 张峰 薛逸娇 著



 中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内容提要（第二版再版）

本书基于数字孪生水利技术，构建了从模型建立（克隆）、数据采集与传输（映射）、算法、算据与算力（三算）到预报、预警、预演与预案（四预）等全过程数字化智慧水利应用方案。该方案能够应用在江、河、湖、海等不同水利场景应用平台中，具有很好的启发与示范作用。本书旨在推动数字孪生技术与水利工程融合发展，助力解决智慧水利建设面临的瓶颈和难题，助力水利科技再上新台阶，为水利设施朝着一体化、信息化、数字化、智慧化发展**提供新的解决方法与思路，对变革水利具有重要参考价值，是今后智慧水利建设发展的必由之路，是助力新时代我国水利现代化高质量的发展重要工具。**本书适用于智慧水利建设、数字化转型等领域的工作者，亦可供智慧水利、水保、水情、水电、航运、水生态及水环境等领域的教学、科研、设计与工程管理人员参考、使用。



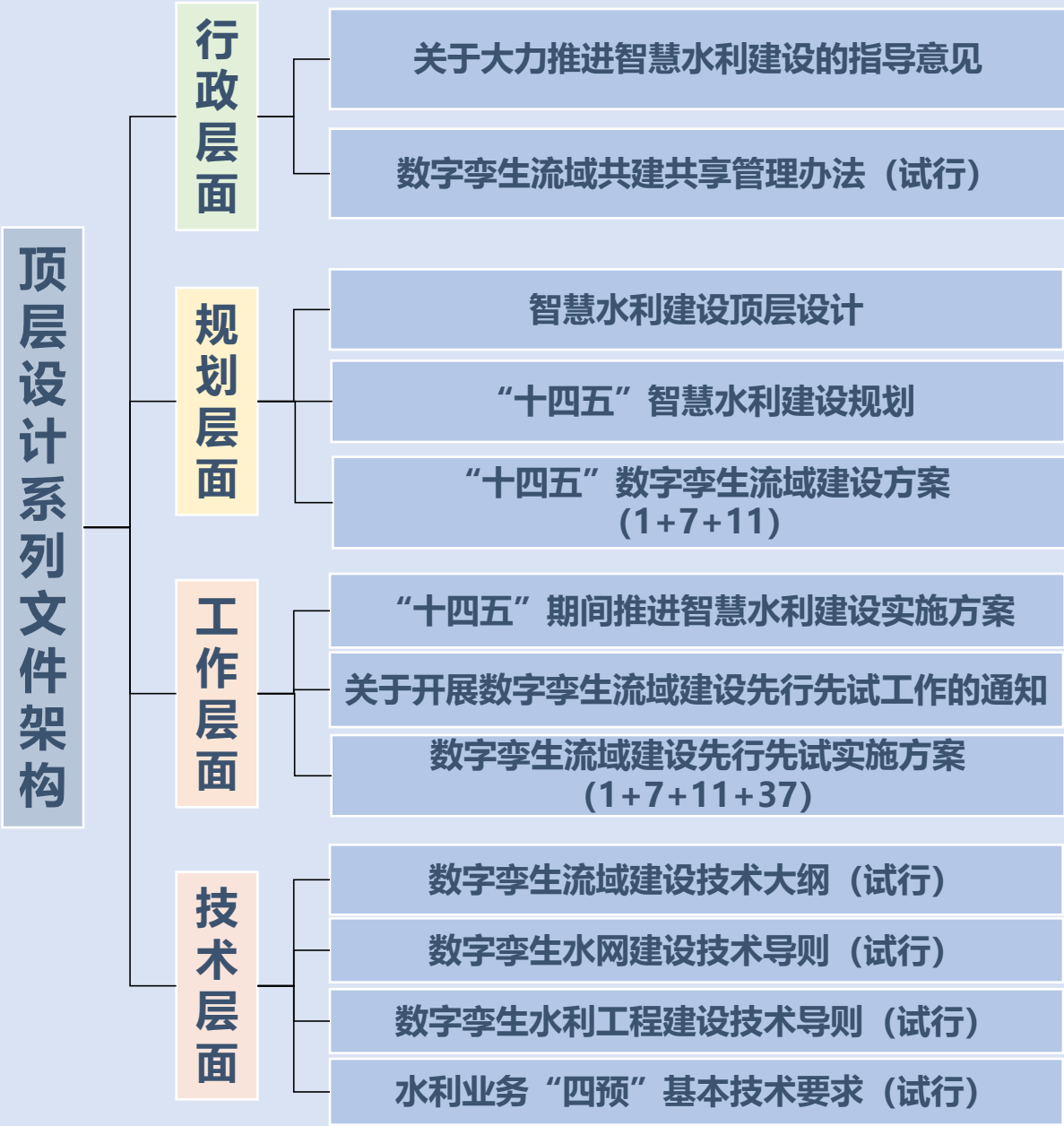
水利部党组书记、部长 李国英教授

2021年3月22日是第二十九届“世界水日”
《人民日报》 **深入贯彻新发展理念 推进水资源集
约安全利用**

坚持科技引领和**数字赋能**，提高水资源智慧管理水平。充分运用数字映射、**数字孪生**、仿真模拟等信息技术，建立覆盖全域的水资源管理与调配系统，推进水资源管理数字化、智能化、精细化。加强监测体系建设，优化行政区界断面、取退水口、地下水等监测站网布局，实现对**水量、水位、流量**、水质等全要素的实时在线监测，提升信息捕捉和感知能力。

数字孪生水利建设进展

2021年6月以来，水利部围绕智慧水利以及数字孪生流域、数字孪生水网、数字孪生水利工程建设，从**行政、规划、工作、技术**等层面相继出台一系列顶层设计的文件、规范和要求。



2024年5月进入一个新的阶段

数字孪生水利逐步形成

● 水利部召开全国水利工作会议，提出统筹建设数字孪生流域、数字孪生水网、数字孪生工程，构建具有“四预”功能的数字孪生水利体系。

● 李国英部长指出，根据新阶段水利高质量发展的实际需要，数字孪生水利的顶层设计与框架体系应包括三部分，即数字孪生流域、数字孪生水网、数字孪生工程。

● 全国水利工作会议部署加快建设数字孪生流域和数字孪生工程，强化“四预”功能。按照“需求牵引、应用至上、数字赋能、提升能力”要求，全面推进数据、算法、算力建设，对物理流域全要素和水利治理管理全过程进行数字化映射、智能化模拟。

● 水利部召开推进数字孪生流域建设工作会议，全面系统深入阐述了为什么要建设数字孪生流域、怎样建设数字孪生流域、如何保障推进数字孪生流域建设等重大问题。

● 水利部召开“三对标、一规划”专项行动总结大会，明确指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，首次提出数字孪生流域概念。

● 李国英部长调研太湖流域治理管理工作，强调要建设智慧太湖，打造数字孪生流域，实现物理流域与数字流域全要素动态实时畅通信息交互和深度融合，数字流域对物理流域进行同步仿真模拟运行，实现预报、预警、预演、预案功能。

● 李国英部长在听取水利部信息中心工作汇报时指出，参照先进制造领域信息物理系统CPS（CYBER-PHYSICAL SYSTEMS）“建一个物理水利及其影响区域的数字化映射”，即为“数字孪生水利”概念的雏形。

2023年6月

2022年8月

2022年1月

2021年12月

2021年6月

2021年4月

2021年3月



请各位记住1234 由4个模块组成

一隆

克隆

1

二射

映射

2

3
三算

算据

算法

算力

4
四预

预报

预警

预演

预案



构建物理世界的“硬感知”能力

就是数据采集，是将物理对象镜像到数字世界中的主要通道，是构建数据感知的关键，是实现人工智能的基础。基于当前的技术水平和应用场景，我们将“硬感知”分为9类，每一类感知方式都有自身的特点和应用场景





映射--水利数字--数据全量感知能力

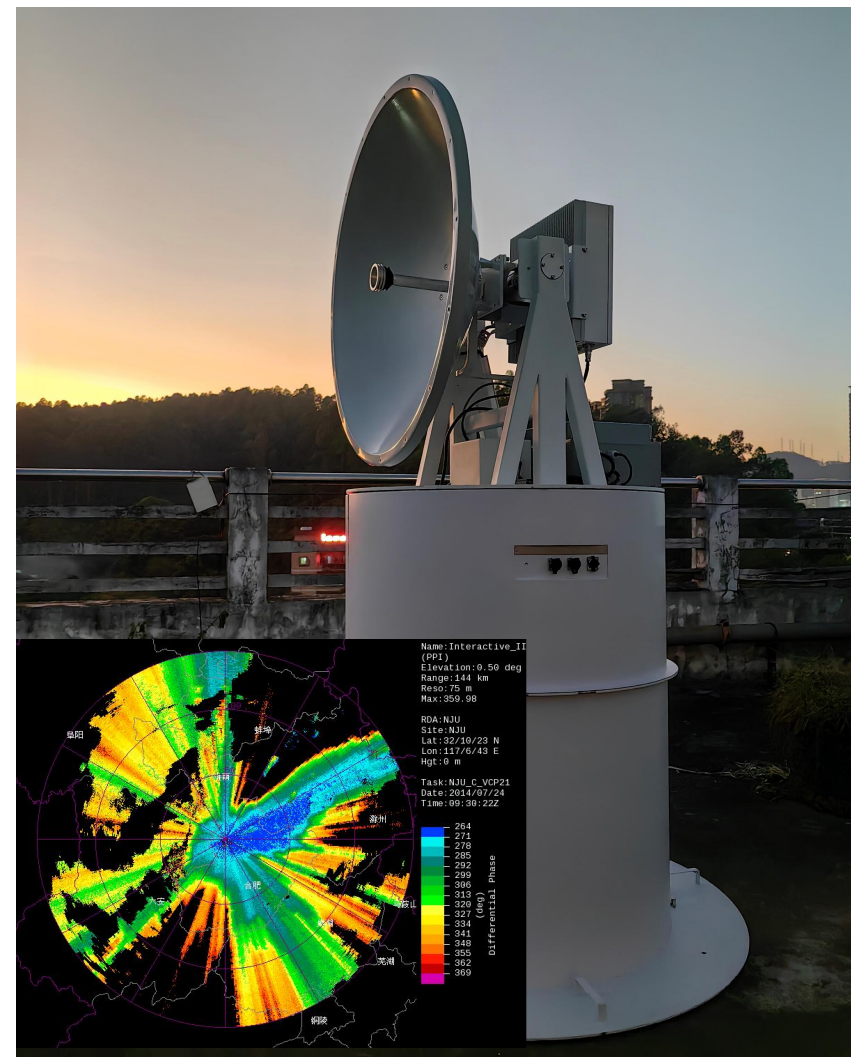
数字化转型要解决的效率和成本问题。数字化转型要从根本上加强数据的可获得性，围绕我们构建的数据主题和对象丰富数据感知渠道。要追求更加实时、全面、有效、安全的数据获取。

■ HSCY-X 水利测雨雷达 “把脉” 云中雨 第一道防线

水利测雨雷达，采用军工技术，选用X波段、全固态、双极化制式，矢量化前置测量云中雨的降水量。

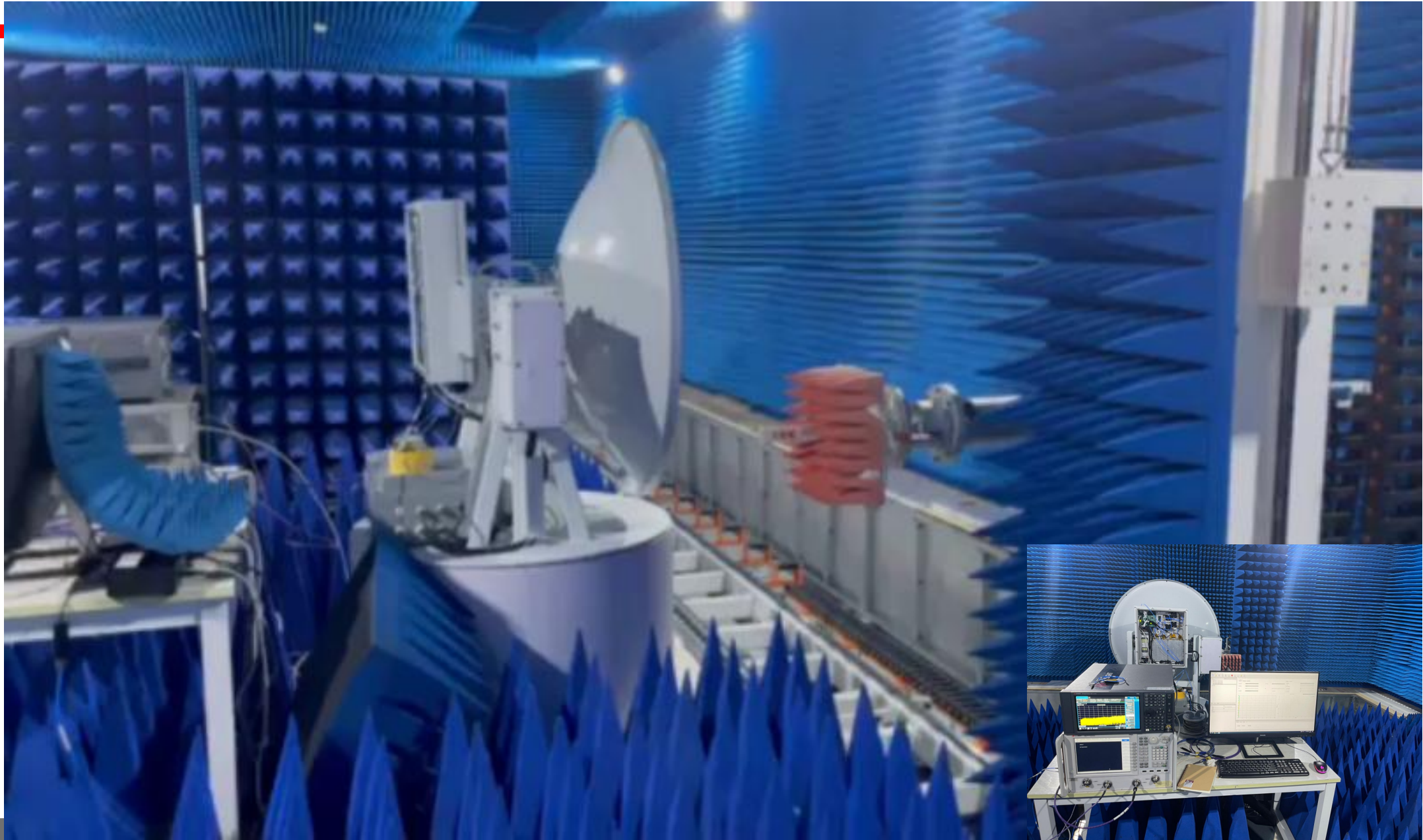
其原理是运用雷达回波强度参数、降水云层性质、雷达行程距离和其间介质状况之间的关系,可以直接测得降水的空间分布,实时标定暴雨中心走向，暴雨强度时空变化的规律。水利测雨雷达通过发射微波信号，获取到降雨云体的三维结构和降雨强度等信息，对流域降雨情况进行实时监测和短临预报。通过测雨雷达提供的高空间分辨率降雨信息，能够对流域内雷达覆盖区域的降雨情况进行精细化监测，以及对未来1~2 h可能发生致灾暴雨区域进行精准自动化预警。

水利测雨雷达应用：1、山洪灾害防治区风险预警及“叫应”机制（构建一个按时序逐步推进的雨量监测和预警体系）；2、水动、水文模型方法结合水利测雨雷达，精准调度流域水库群拦洪、削峰、错峰，高质量确保下游防洪安全，提升流域洪水预报精度。

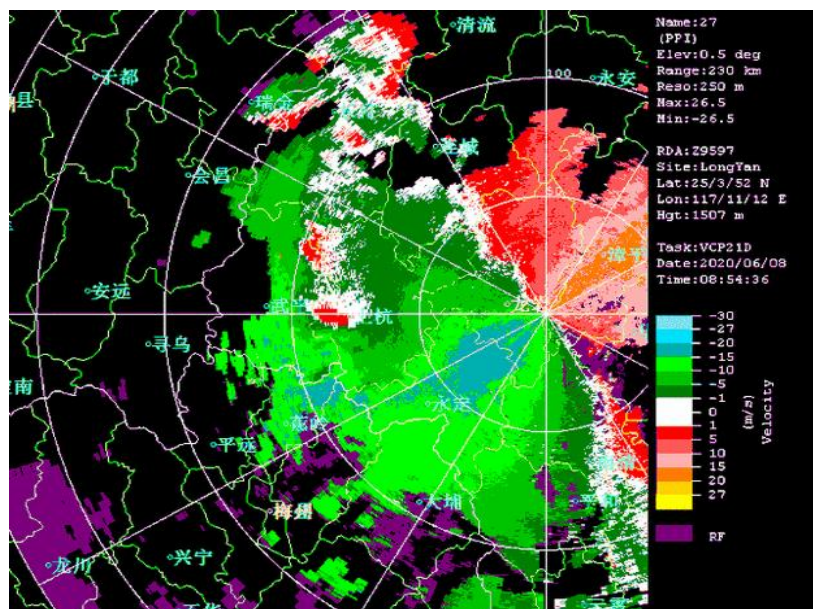
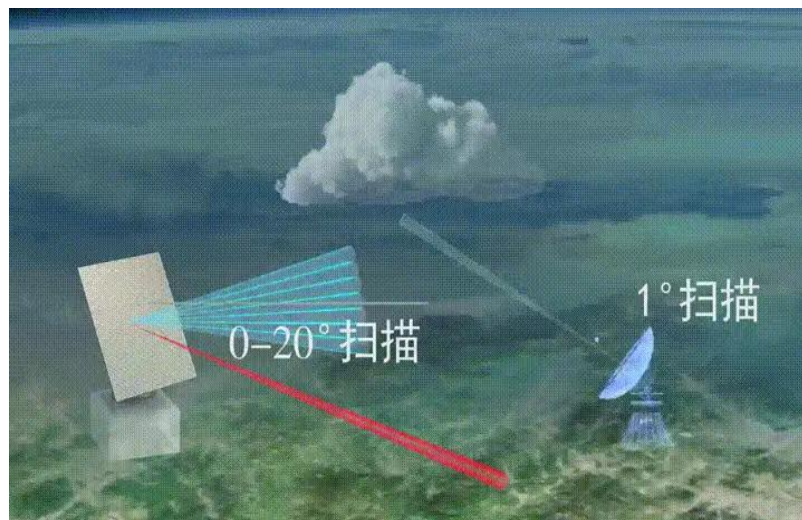




- 输出基本参数：基本反射率(Z), 径向速度(V), 速度谱宽(W)等;
 - 二次气象产品：CAPPI、垂直剖面、回波顶高、回波底高、1小时累积降水量、3小时累积降水量、垂直积分液态水、速度方位显示、速度方位显示风廓线、风场反演, 湍流产品, 风暴识别、冰雹识别强天气识别等;
 - 设备抗风能力：20m/s大风正常工作, 35m/s大风不破坏。
 - 主体设备工作环境：-40℃~+50℃, ≤95%RH;
 - 电源要求：AC220V±20%, 47Hz~60Hz;
 - 系统低功耗：≤500W;
 - 开机时间：正常开机≤3min; 紧急开机≤2min。
- 监测距离：≥60km;
 - 定量测量距离：≥30km;
 - 测高范围：0~24km;
 - 参数测量范围：强度：-15dBZ~+75dBZ, 速度：±64m/s, 谱宽：0~16m/s;
 - 软件分辨率：距离：37.5m, 方位：1°, 俯仰：1°;
 - 参数测量精度：强度：≤1dBZ, 速度：≤1m/s, 谱宽：≤1m/s;
 - 重频模式：2000Hz, 4000Hz, 2000Hz/1500Hz, 4000Hz/3000Hz;
 - 补盲方式：三脉冲频率分集补盲, 盲区≤1km;
 - 天线扫描范围：方位：0~360° 连续扫描, 俯仰：0°~90°;
 - 天线扫描速度：方位：0~6转/分钟可调, 俯仰：0~6往返/分钟可调;
 - 天线定位精度：方位：0.2°, 俯仰：0.2°;
 - 扫描方式：PPI、RHI、VOL、sPPI等;
- 输出基本参数：基本反射率(Z), 径向速度(V), 速度谱宽(W)等;
 - 二次气象产品：CAPPI、垂直剖面、回波顶高、回波底高、1小时累积降水量、3小时累积降水量、垂直积分液态水、速度方位显示、速度方位显示风廓线、风场反演, 湍流产品, 风暴识别、冰雹识别强天气识别等;
 - 设备抗风能力：20m/s大风正常工作, 35m/s大风不破坏。
 - 主体设备工作环境：-40℃~+50℃, ≤95%RH;
 - 电源要求：AC220V±20%, 47Hz~60Hz;
 - 系统低功耗：≤500W;
 - 开机时间：正常开机≤3min; 紧急开机≤2min。



第一道防线是气象卫星和测雨雷达系统



极端天气频繁发生迫切需要精确的雨量预报。

■ 测流等无人机自动机场

无人机全自动机场是实现无人机全自动作业的地面基础设施，是实现无人机自动存储、自动充/换电、远程通信、数据存储、智能分析等功能重要组成。在无人机水流测速应用中，会搭载多普勒雷达设备。多普勒雷达通过向水流中发射高频电磁波（如无线电波或微波），并接收反射回来的波，来检测水流速度。多普勒雷达通过计算反射波的频率与发射波的频率之间的差值，可以得到水流的速度。当无人机靠近水流时，反射波的频率会比发射波的频率高；当无人机远离水流时，反射波的频率会比发射波的频率低。通过测量频率差，计算出水流的速度。

“硬感知”能力在水利数字化的实践

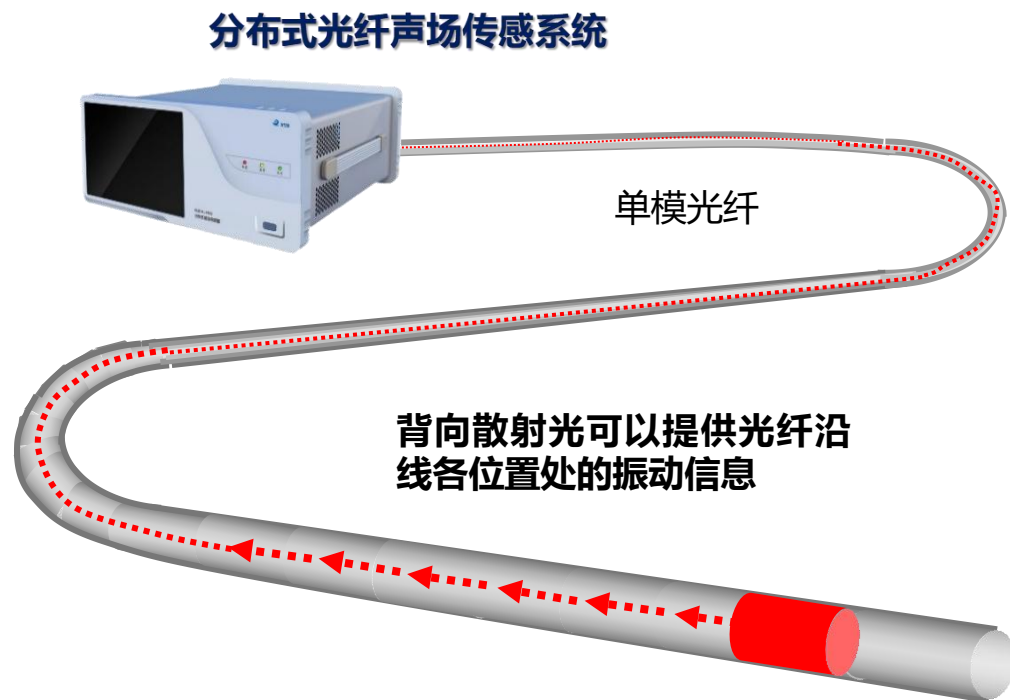


“硬感知”能力在水利数字化的实践



研发的油电混动两栖无人机为行业首创专利产品

基于光纤监测数据融合的数字孪生技术



- 天然抗电磁干扰，现场无源，感传一体
- 海量传感头，可实现大范围、全方位覆盖
- 对外部振动高度敏感，高保真还原声场信息



烽火祥云城市生命线神经网络感知系统
型号：ANS-CY-01

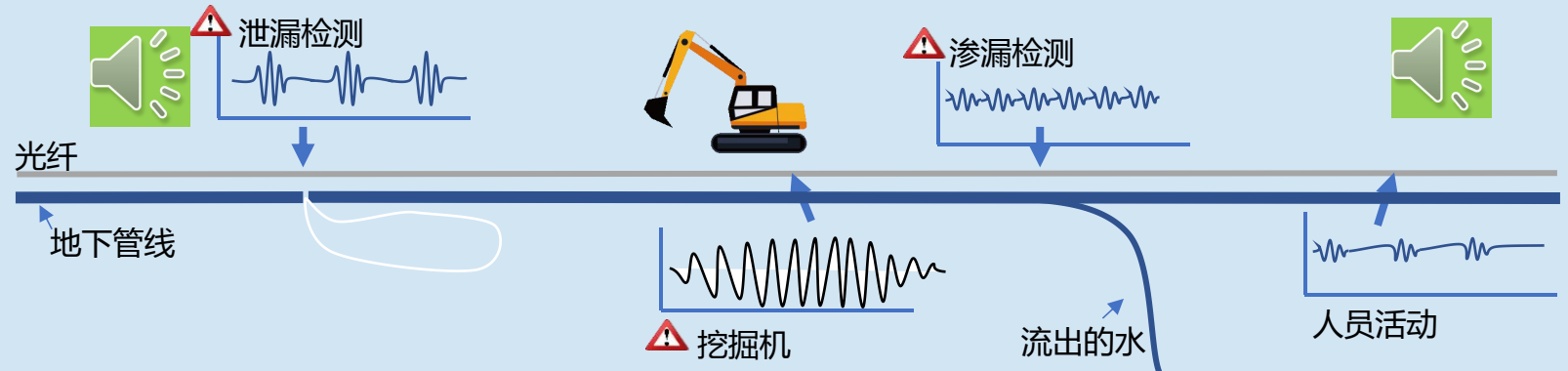
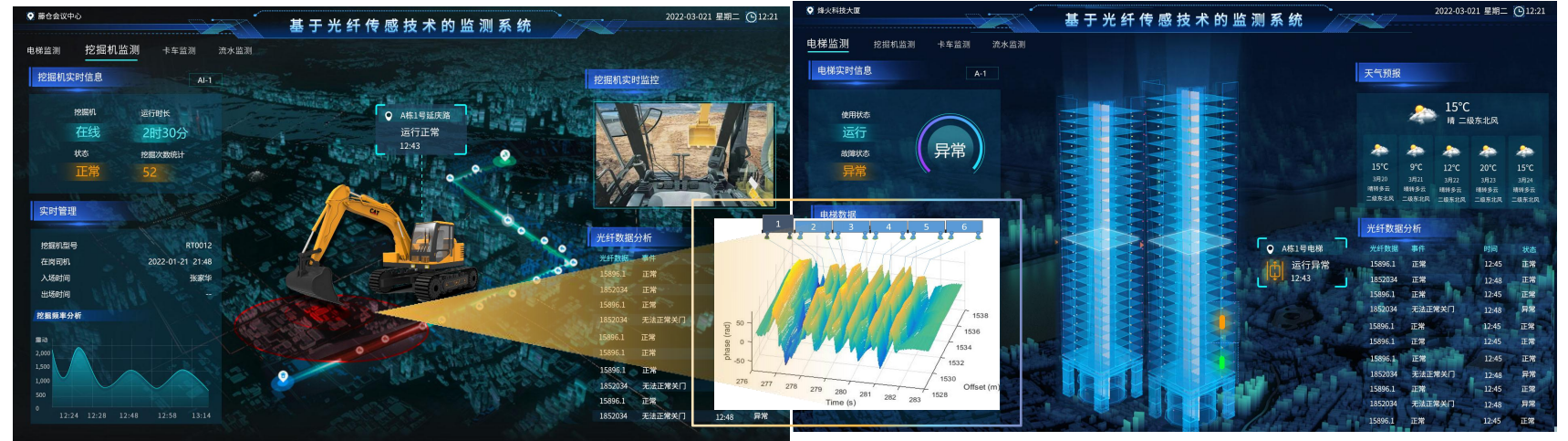
- 基于瑞利散射，相位解调,定量还原声音
- 监测距离40KM，可接入运营商既有通信光纤
- 精确测量和定位入射声场的振幅、频率和相位
- 提供有关距离、时间和声强度的真实线性关系
- 通过领先的信噪比实现优质信号质量，出色的原始数据是模式识别和机器学习算法的基础

“地下脉动感知仪”：最先进的感知设备

通信光缆伴随地下管网分布于城市的各个角落，毗邻水电及交通道路等利用**既有光缆作为传感载体**，将原本静默的“神经”激活，使其感知城市脉搏

管线施工、振动、侵入等监测

- 设备邻近监测
- 设备类型监测
- 施工位置精确监测
- 施工人员监测
- 开挖时长监测
- 管道状态监测
- 管道内容监测





虽然甲鱼哨子被广泛认为是一种有效的吸引甲鱼的工具，但钓鱼的成功与否还受到许多其他因素的影响，包括水域的具体情况、天气条件、使用的饵料等。因此，钓鱼爱好者在使用甲鱼哨子时，应结合实际情况，灵活调整策略，以期获得最佳的钓鱼体验

高光谱水质多参数监测仪



400万高清球机

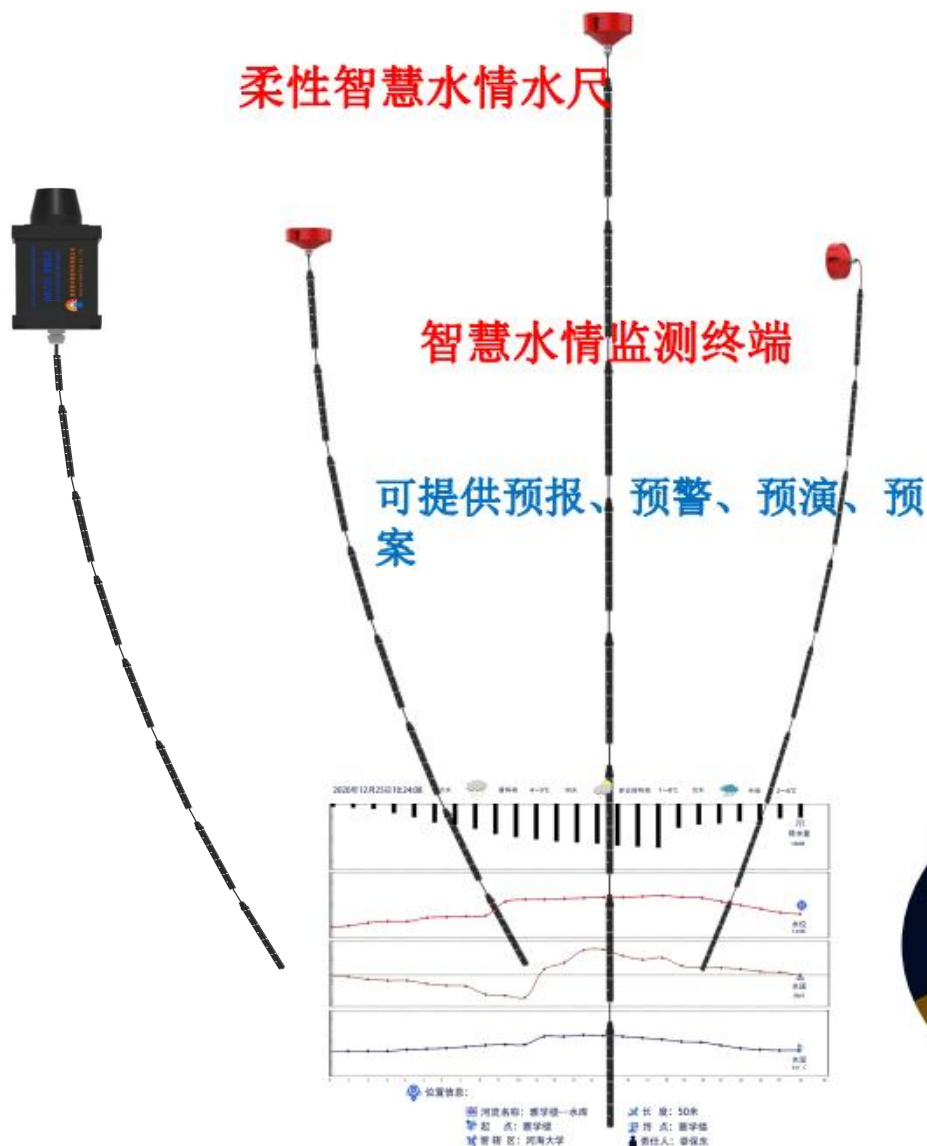
- 视频与监测数据融合
- 最大2560×1440@30fps高清画面
- 支持4倍光学变倍，16倍数字变倍
- 采用高效红外阵列，低功耗，距离最远可达50m

光谱仪

- 1个仪器可同时监测多个指标：叶绿素、总氮TN、总磷TP、透明度、COD、浊度、氨氮NH₃-N、悬浮物浓度等，监测间隔可设置到秒级
- 光谱波段 400-1000nm，光谱分辨率 1nm
- 非接触式原位监测，不需要化学试剂

柔性智慧水情水尺

柔性智慧水情水尺是以NB-IOT窄带物联网技术，以先进的微电脑技术为核心，融入智能的水动力模拟技术等构成的智能化仪表。集测量流速（流量）、流向、水位和水温于一体，能够及时记录考核断面的水动力学特征参数，利用这些参数建立该河道的水动力学模型，便可知道考核断面水情的历史数据及出现的一些特殊状况，得使监测工作更加方便快捷智能化。



河海大学

智慧水利团队

创新性的量水工具

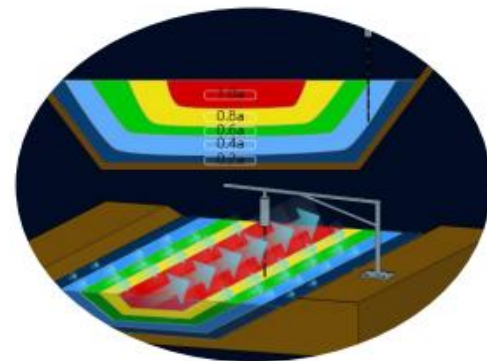
流速

流向

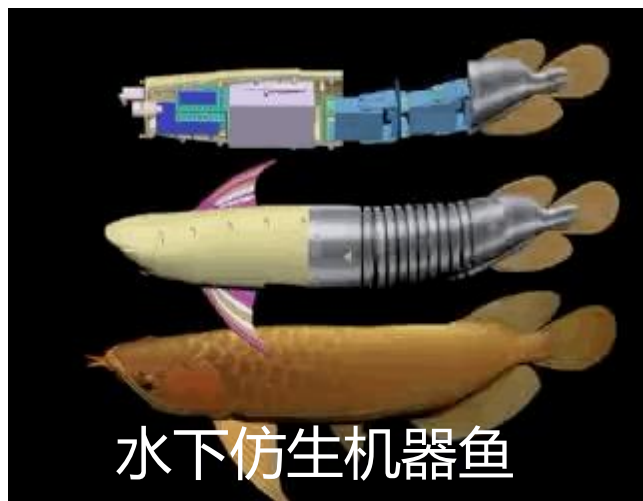
水位

水温

测量4合一



设计非常巧妙的智能感知监测设备



1

产品进化历程

4



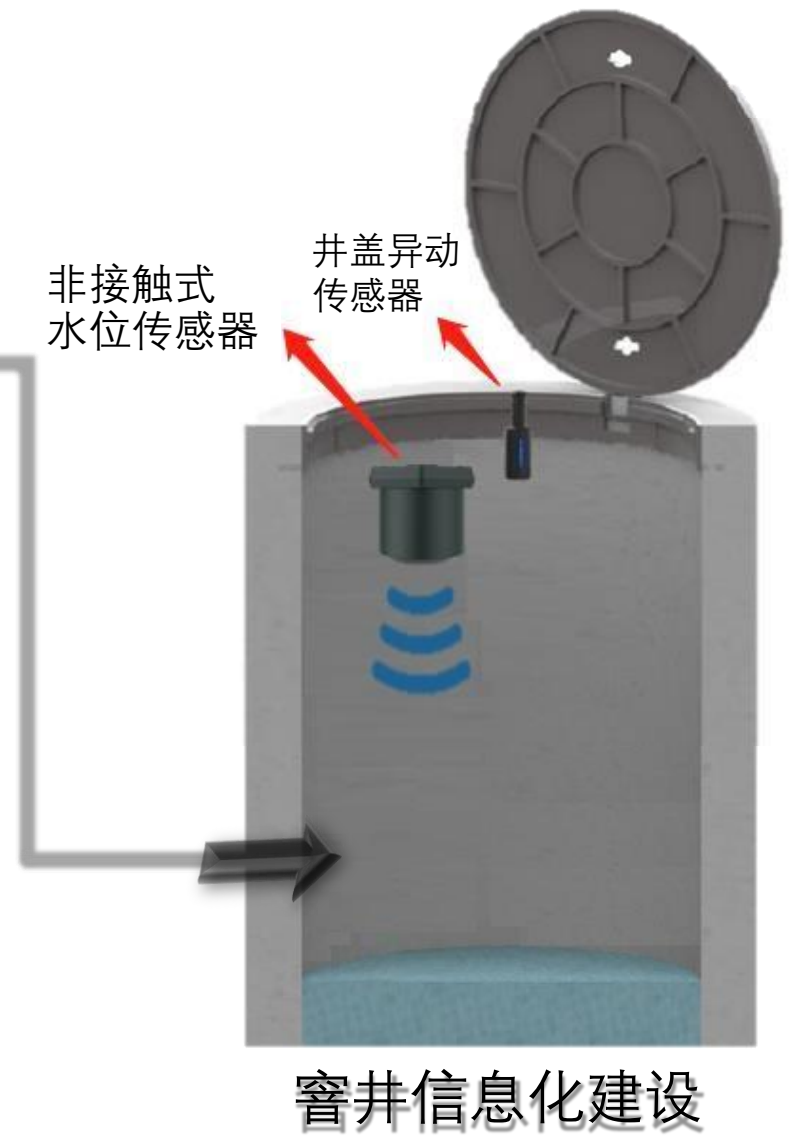
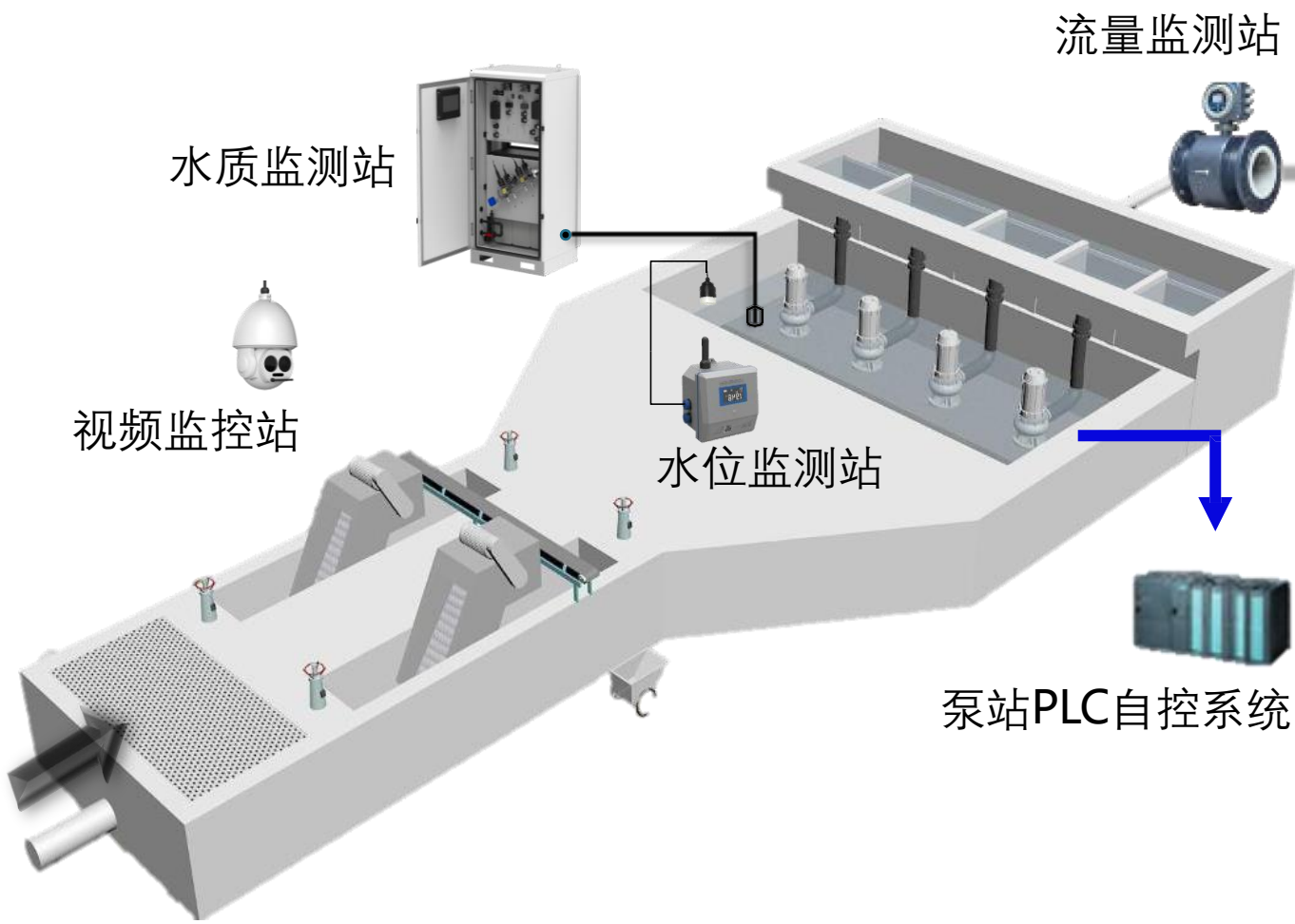
2

3



映射感知层 — 泵站、窖井孪生监测

泵站孪生建设



窖井信息化建设

构建物理世界的“软感知”能力

物理世界的“硬感知”是将物理对象构建到数字世界中的主要通道，是构建数据李生的关键，而已经存在于数字世界中的那些分散、异构信息，可通过“软感知”能力来利用。



构造“精准清洁感知数据”的质量综合管理能力

随着数据类型、数据来源的不断丰富以及数据量的飞速增长，企业面临数据质量问题的概率显著增加。数据质量是一个复杂问题，往往是多种因素综合作用的结果，解决数据质量问题要从机制、制度、流程、工具、管理等多个方面发力。

什么是数据质量

ISO9000标准对质量的定义为“产品固有特性满足要求的程度”，其中“要求”指“明示的、隐含的或必须履行的需求或期望”，强调“以顾客为关注焦点”。

华为数据质量指“数据满足应用的可信程度”，从以下六个维度对数据质量进行描述。

完整性:指数据在创建、传递过程中无缺失和遗漏，包括实体完整、属性完整、记录完整和字段值完整四个方面。

及时性:指及时记录和传递相关数据，满足业务对信息获取的时间要求。

准确性:指真实、准确地记录原始数据，无虚假数据及信息。

一致性:指遵循统一的数据标准记录和传递数据和信息主要体现在数据记录是否规范、数据是否符合逻辑。

唯一性:指同一数据只能有唯一的标识符。体现在一个数据集中，一个实体只出现一次，并且每个唯一实体有一个键值且该键值只指向该实体。

有效性:指数据的值、格式和展现形式符合数据定义和业务定义的要求。

水库辅助决策模型

水库水动力水质数值模型

大坝安全综合评价模型

洪水预警预测模型

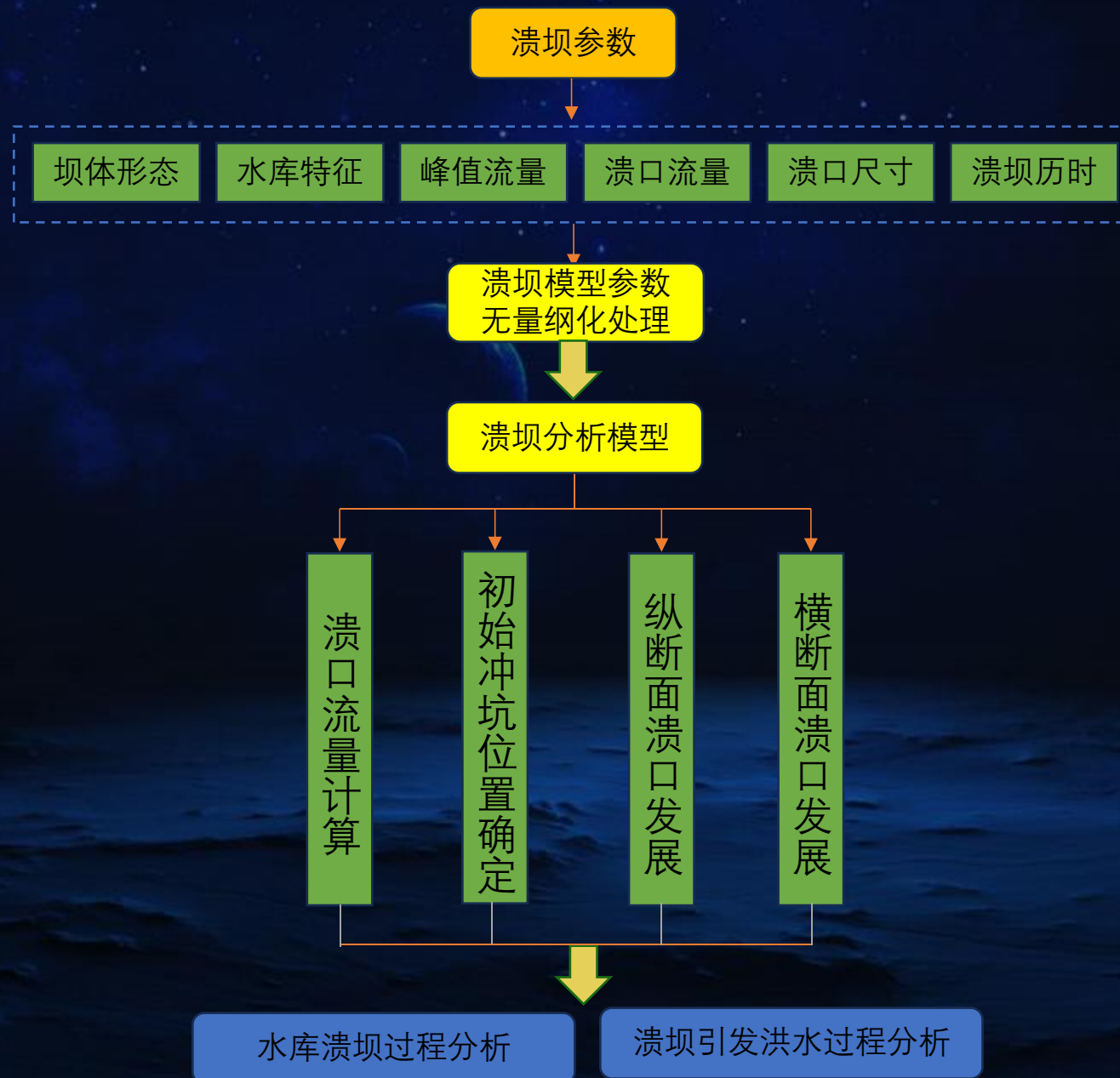
溃坝分析模型

1





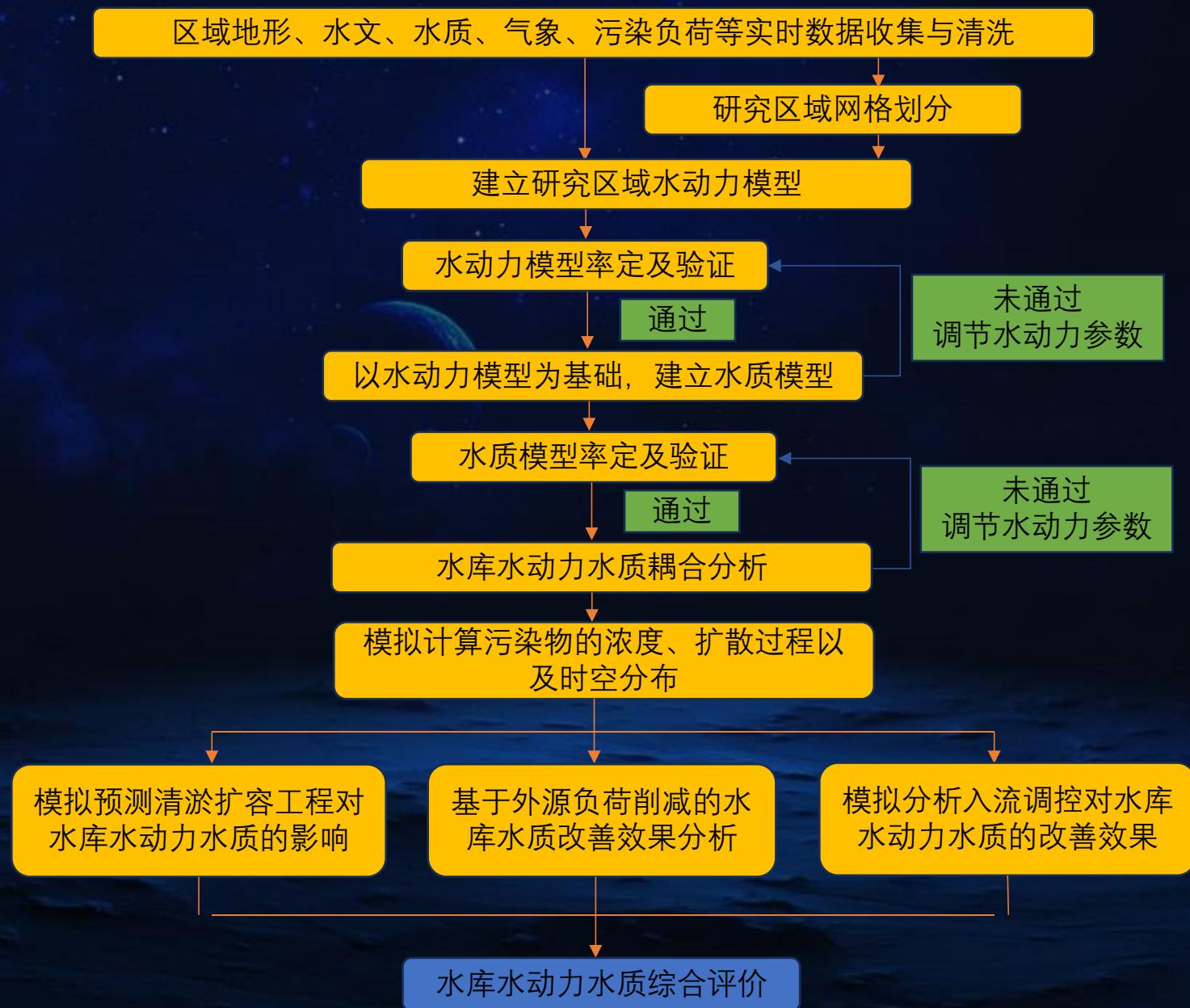
大坝安全综合评价模型建设流程图



溃坝分析模型建设流程图



洪水预警预测模型建设流程图

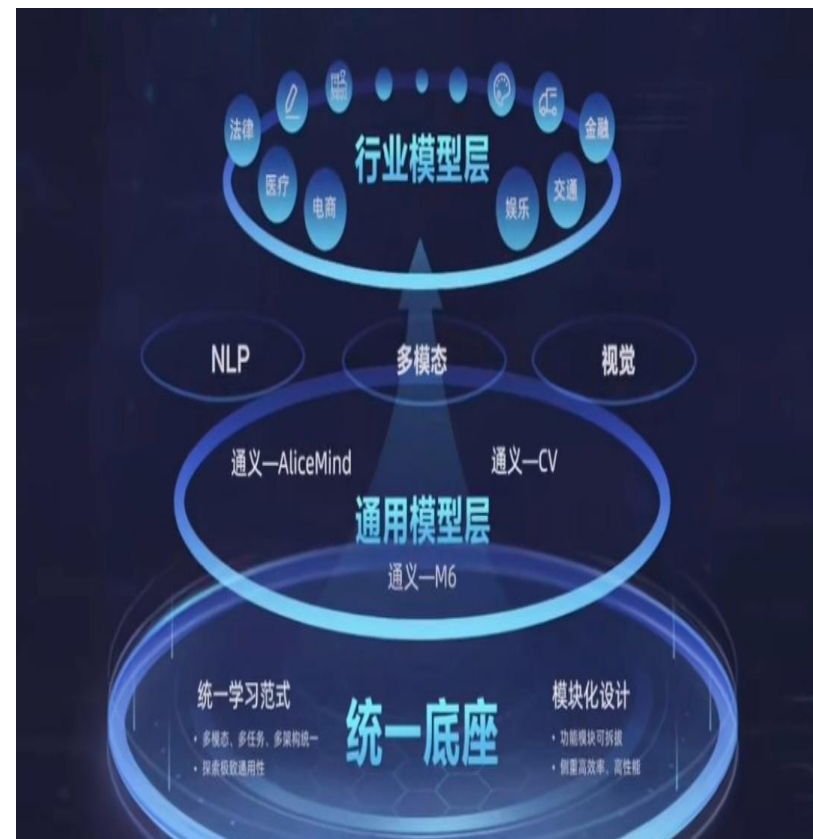


水动力水质模型建设流程图

多模态人AI在智慧水利中的应用



多模态人工智能（Multimodal AI）是一种先进的技术，它结合了多种感官输入，如视觉、听觉、触觉等，以及多种数据类型，例如文本、图像、音频和视频，来模拟和增强人与计算机之间的交互。这种技术的目标是让机器能够更全面地理解和处理信息，从而更接近人类的感知和认知能力。



• 多模态人AI-视频和监控解耦

能力描述

可以利用大规模语言模型的图像识别和自然语言处理能力，对监控视频进行智能分析，自动检测和报告异常事件

能力应用

◆ 解决问题：

- 利用大模型技术构建水利重大工程防控或者重点场所监控圈是一种非常前景的应用方向，可以通过智能化监测、预警和决策支持，提升水利工程安全性和管理效率。

◆ 应用效果：

- 大坝安全监控、水库洪水预警与调度、排水系统智能管理、水质监测与治理、灾害风险评估与应急响应。



• 多模态人AI-文书助手

能力描述

文书助手实现自动公文拟稿、摘要生成、关键词提取等智能化功能，减少人工干预，提高工作准确性，降低错误率，以及提供直观、易懂的政策解读和政策建议，降低对公文处理专业知识的需求

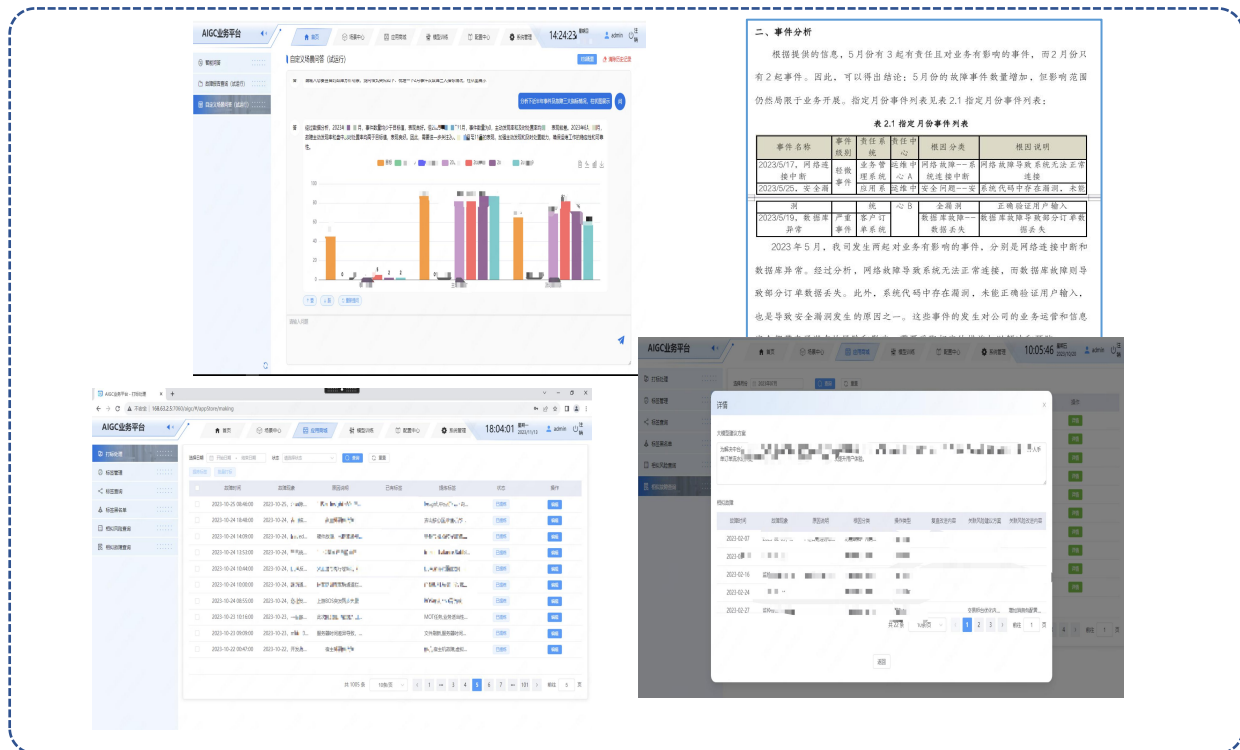
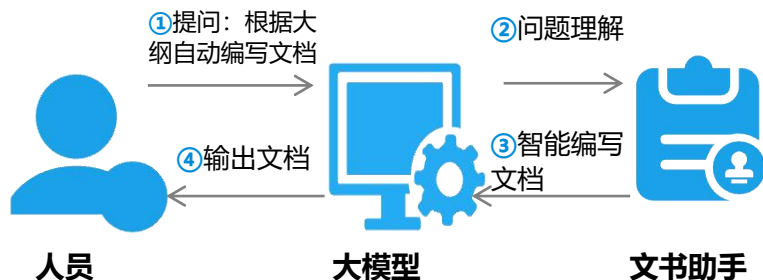
能力应用

◆ 解决问题：

- 水利需要处理大量的案件，包括报告、咨询、方案等各种文书，这些文书需要高度准确和规范化，利用大规模模型可以自动化生成一部分文书、或者打标签等，降低工作量和错误率。

◆ 应用效果：

- 通过自动化技术，帮助人员快速生成标准化和规范化的公文文档，减少手动编写的工作量，确保文档的准确性和一致性



• 多模态人AI-知识智能交互和问答

能力描述

大模型在推荐系统和搜索引擎中扮演着重要角色，它们通过先进的机器学习算法和自然语言处理技术，提升了个性化推荐和搜索结果的相关性，利用大规模语言模型的文本推荐和搜索能力，实现智能搜索和推荐相关资料、规范、策略等信息，提高生产故障解决的效率

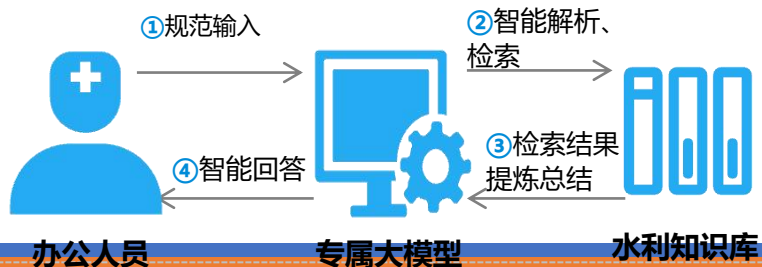
能力应用

◆ 解决问题：

- 水利各业务人员可以利用大规模语言模型的文本推荐和搜索能力，实现智能搜索和推荐相关资料、规范、策略等信息，提高生产故障解决的效率。

◆ 应用效果：

- 协助进行指导意见、规范等文档的**快速精确检索**，自动根据生产需求进行**个性化资料推荐**，帮助人员获取最相关的信息
- 决策支持加强**：辅助人员更好地理解复杂现场情况，提供决策支持





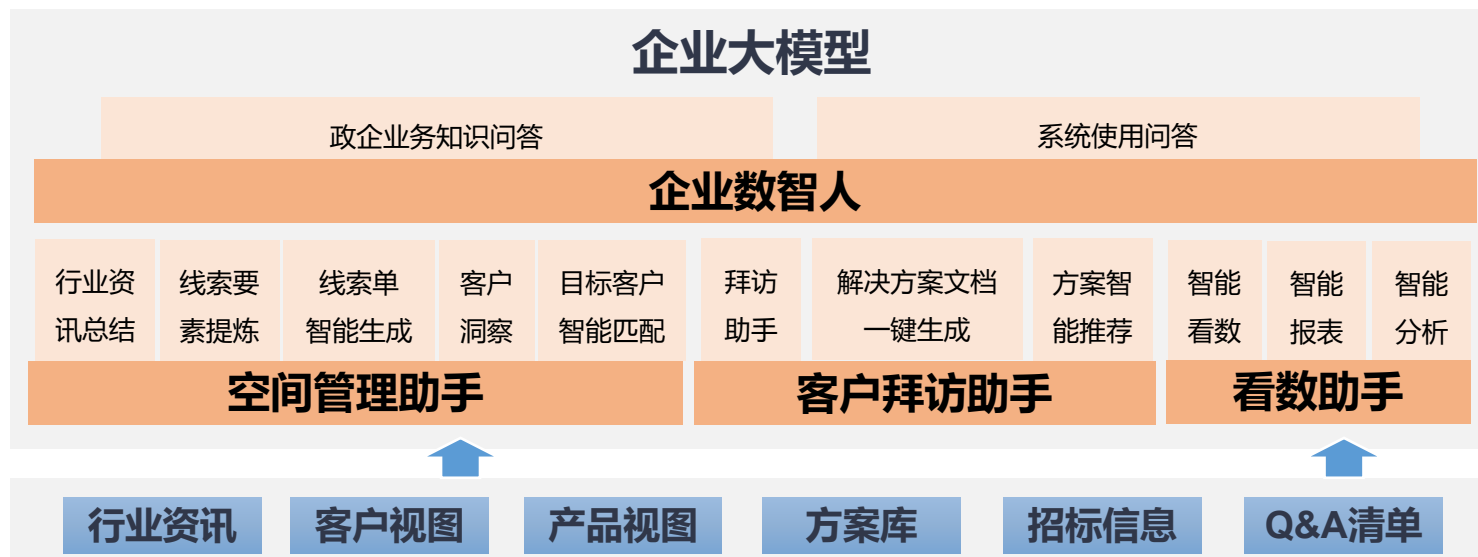
• 多模态人AI-新员工的培训

服务对象和场景描述

活跃在营销一线的行业总监、产品经理、客户经理、解决方案经理，协助行业总监、产品经理快速分析资讯、提炼线索、洞察客户、匹配产品；赋能客户经理在客户拜访中的需求收集、方案推荐与解决方案撰写；以自然语言对话方式，为客户经理提供看数、分析与业务咨询。

培训痛点

- 案例信息以非结构化的文档形式存储，检索与使用不方便，工作效率不高；
- 传统洞察手段对业务人员要求高，洞察效果不佳；
- 客户拜访过程全靠客户经理个人业务能力，拜访质量无法保障，方案交付周期长
- 客户经理对业务知识和系统操作的学习周期长，客户经理成长慢，学习与试错成本高。



应用效果

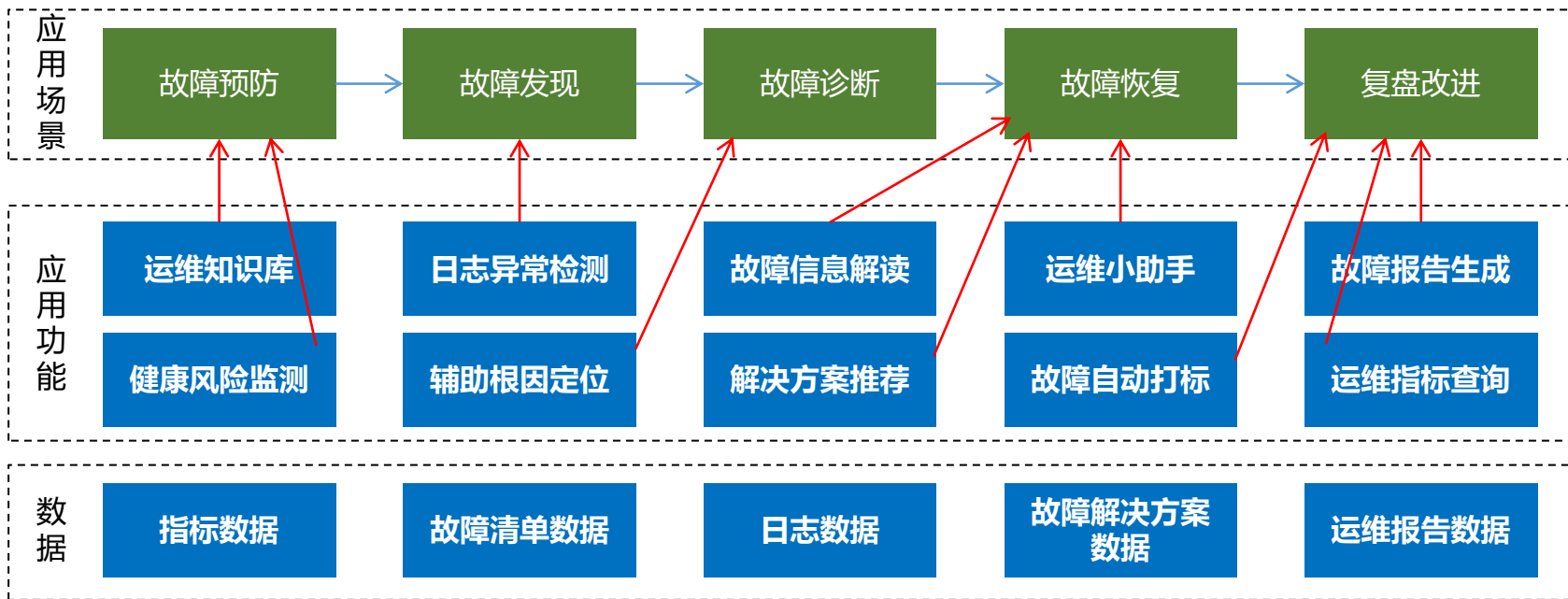
- 行业资讯自动分析，行业总监只需检索分析结论，赋能快速提炼线索；
- 线索关键要素自动提炼，智能生成线索单，减负业务人员工作量；
- 客户拜访过程中，自动汇总、提炼客户需求，生成需求文档，为客户经理减负文字工作量的同时，保障了需求质量；
- 根据历史案例库进行解决方案撰写，提供润色、改写、仿写、扩写等能力；
- 政企案例知识库以向量库形式进行数据的训练、配置和管理，实现行业应用模型。



• 多模态人AI-巡检大模型

服务对象和场景描述

企业运维人员，检索企业内部运维知识和信息，进行**运维指标查询、故障报告自动生成、故障自动打标、故障信息解读、故障解决方案推荐**等智能化运维操作，从而支撑从故障预防到复盘改进的全过程。



解决痛点

- 传统运维知识库，**查询不够准确**，无法以自然语言形式进行查询；
- 传统运维指标查询，**无法采用自然语言形式**进行灵活查询；
- **无法自动生成故障报告**；
- **无法快速识别复杂的故障信息**，需跨多系统**人工方式**查询和确认。

应用效果

- 通过自动化和智能化的处理，**大幅度提升运维团队的工作效率**。
- 减少了对人工运维的依赖，从而**降低运维成本**。
- 通过智能化运维和快速响应，**提高系统的整体稳定性和可靠性**。
- 高效、稳定的运维支撑，可以**更好地支持企业的业务发展和创新**。



多模态人AI-运维大模型

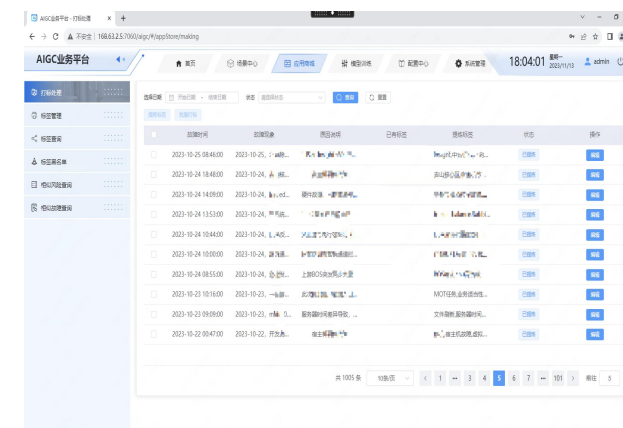
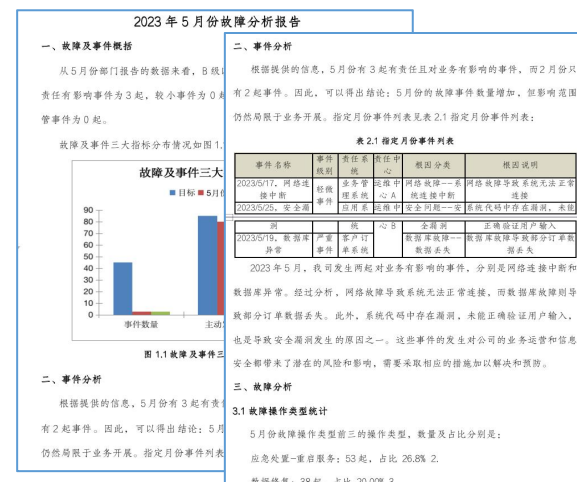
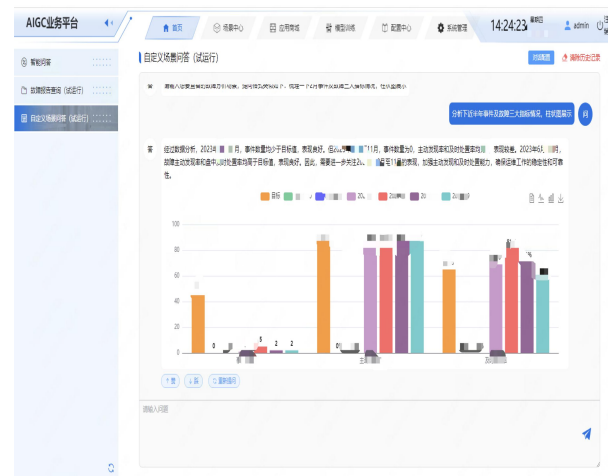
案例价值

已实现5大子场景的大模型应用：

- **运维知识库**：整合工单、内部产品知识支持问答形式查询；
- **运维指标查询**：识别运维指标并进行各维度分析总结；
- **故障报告生成**：根据运维数据，自动完成运维报告生成；
- **故障自动打标**：利用故障信息，由大模型进行自动打标入库；
- **相似故障分析**：利用故障描述信息找到历史相似故障，并借鉴历史故障的处理方案和当前故障描述给出新的建议方案；
- **故障信息解读**：利用大模型解读故障信息，并给出处置建议。

运营现状

- **运维知识库**：基于2万条工单数据形成QA知识进行训练；
- **运维指标查询**：已形成120个左右指标分析；
- **故障报告生成**：从2023年2月按月每月提供24份部门和各中心安全生产运维故障报告；
- **故障自动打标**：已完成500左右高质量标签入库；通过不断运营黑名单标签已增至600左右，作为无效标签匹配标准；
- **故障信息解读**：已完成13万条故障信息解读，解读率99%。



基于多模态AI 数字人

巡检上岗、新员工培训



谢 谢

主讲人：娄保东
手机：13813860793
邮箱：loubd@hhu.edu.cn

