

数字化转型助力石化行业安全生产



Contents

目 录

- 一、行业数字化发展现状
- 二、数字化转型机遇与挑战
- 三、石化安全数字化提升路径
- 四、关键技术探索与应用
- 五、行业高质量发展展望

—

行业数字化发展现状

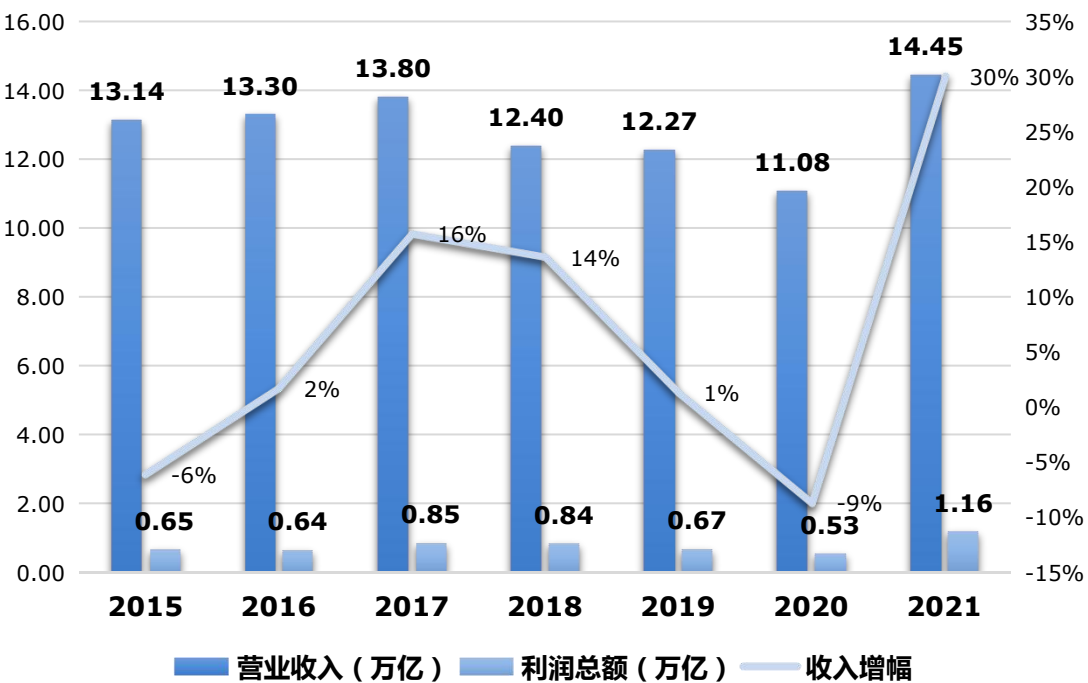


1. 我国已跻身世界石化大国，产业集中度不断提高

我国石油化工有限公司整体规模已跻身**世界前列**，2021年原油产量达1.989亿吨、原油加工量达7.03亿吨、乙烯产量达2825.7万吨，石油和化学工业规模以上企业达26947家，已形成大连长兴岛、宁波舟山、广东惠州等7个世界级石化产业园，形成了**规模化、集约化、基地化**的产业布局，为实现高质量发展打下了坚实基础。

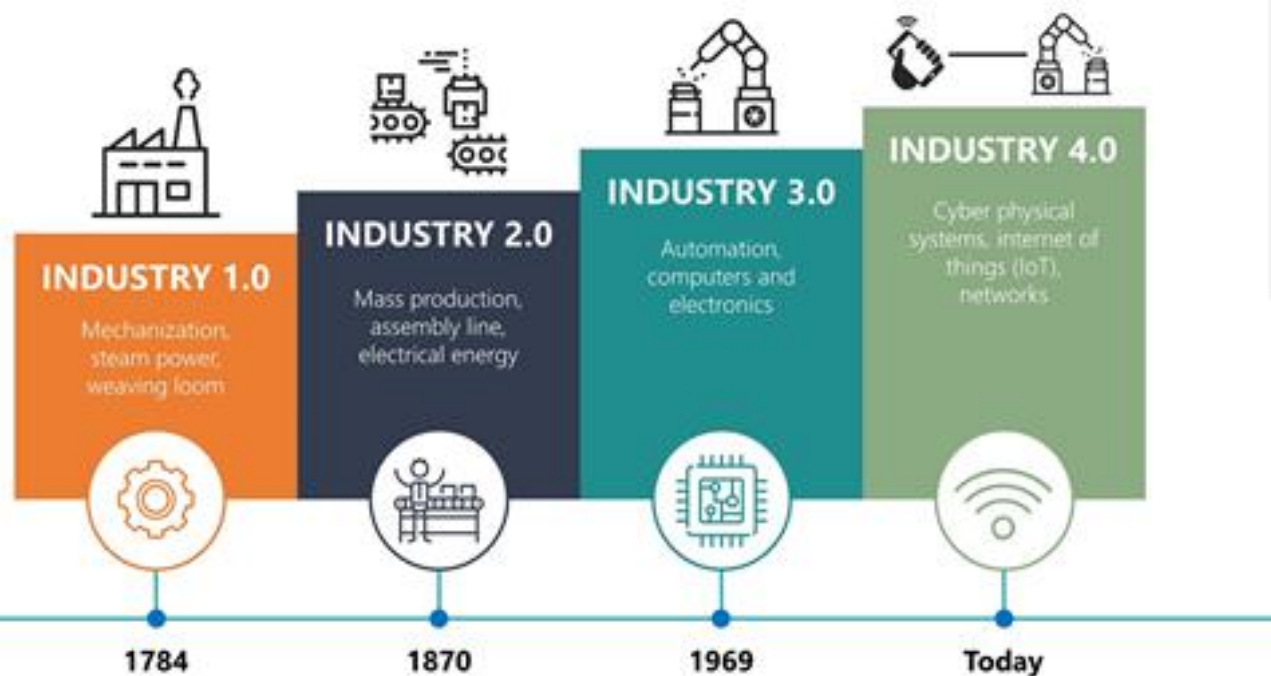


我国石油和化工行业规模以上企业发展现状

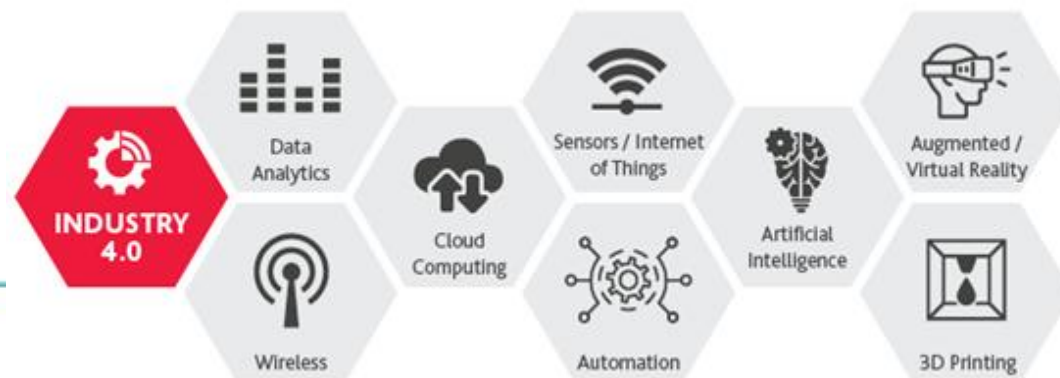


2. 行业数字化转型优势突出，工业4.0尚处初级阶段

我国石油化工有限公司已经完成机械化、电气化、自动化三个工业化发展阶段，正向着以数字化、网络化、智能化为代表的**工业4.0**阶段迈进，具备坚实的**流程自动化、系统集成化、数据资源化**基础优势，探索工业互联网、5G、大数据等新一代信息技术与石油化工有限公司的深度融合模式是推动行业高质量安全发展的重要驱动力。

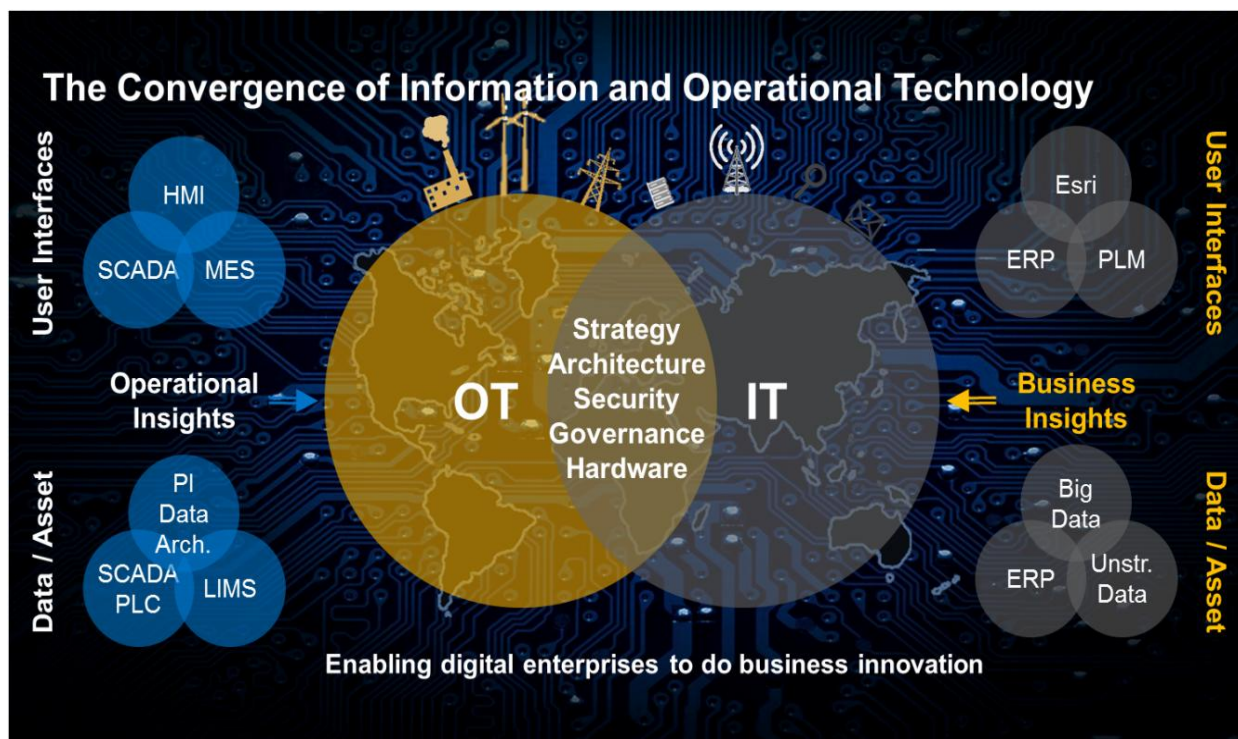


我国石油化工有限公司数字化转型尚处于**起步阶段**，企业均积极制定数字化转型相关规划，有50%以上的企业将其作为重大发展战略，近90%的企业已开展数字化转型相关工作，大中型企业处于相对领先行列。



3. IT&OT深度融合制约因素多，需寻求难点破解路径

在石油化工行业发展历程中由于通讯方式、通信协议等种种因素的影响，**信息技术（IT）**与**运营技术（OT）**彼此分离且独立运行，造成信息集成和相互操作困难，形成了无数“数据孤岛”，阻碍着行业向智能化、数字化转型的进程，IT与OT走向原生融合已成为行业大势所趋，是支撑石油化工行业数字化转型的核心。



行业信息技术应用程度高，但数据利用率较低。

行业ERP、MES等系统已得到广泛应用，但由于数据结构、系统关联等因素，导致企业信息孤岛广泛存在。



IT与OT深度融合难，应用未下沉到装置层级。

装置工艺、设备数据大多局限于通用工业软件基础应用，数据安全传输共享困难，难以深层次挖掘数据价值。



技术和业务的两层皮，难以满足实际应用需求。

对行业应用缺乏深入理解，通用数字化技术等难以满足企业实际需求，未能从业务角度开展预测性和决策性分析。

4. 企业数字化转型是石化行业高质量发展的必由之路

当前，我国石油化工行业较其他传统流程行业相比具有较高程度的自动化水平，但装置自动化生产数据仍需通过人工处理来辅助管理层决策，难以发挥数据的真正价值，已远远不能满足石化装置安全稳定长周期运行的需要。随着“中国制造2025”的提出，给我们传统工业的智能化、数字化改造指明了方向。

工业4.0、中国制造2025带来全新挑战

- 密集型的人员管理操作愈加不能满足装置**大型化、连续化和智能化**的发展需求

人工管理

- ✓ 海量报警信息淹没操作工
- ✓ 信息孤岛普遍，难以集成应用
- ✓ 信息、数据未得到有效“发酵”
- ✓ 专家经验难以数字化记录、传承
- ✓ 新员工素养不足，存在隐患



大数据“燃油”，人工智能“发动机”

- 运用人工智能技术，深入挖掘、分析化工过程大数据，将**数据**转变为**价值**。

大数据 + AI



数字化是石化行业高质量发展的必由之路

- 利用**数字化与智能化**技术，提升和改造传统石化产业，保障石化关键装置**安全、稳定、长周期**运行

智能运维

- ✓ 形成FCC装置的“智能大脑”
- ✓ 报警管理，智能诊断
- ✓ 平行工厂，数字孪生
- ✓ 虚拟传感，混合建模
- ✓ 优化控制，预测预警



二

数字化转型机遇与挑战



1. 行业高质量发展与数字化转型具有极高契合度

石油化工行业作为典型的流程制造行业，生产流程长、环节多、危险性高，保障生产的**安、稳、长、满、优**是首要任务。行业数字化转型能够把产业**各要素、各环节**全部数字化、网络化，实现数据**全价值链**贯通、人财物**全要素**连接、业务**端到端**掌控，形成新的安全生产、产业协作、资源配置和价值创造体系，构建面向未来的核心竞争优势。



基础信息化

企业核心业务流程信息化
行业内人工、线下操作多

应用数字化

多数企业核心系统已实施
领先企业探索智能化应用

全面系统化

端到端的业务流程系统化
探索AI、IOT行业应用场景

智慧生态化

行业成熟的数字化平台
价值驱动的商业模式



2. 化解行业系统性安全风险亟需数字化能力支撑

近年来，我国危险化学品领域安全生产形势持续稳步向好，已连续**42个月**未发生重特大事故，但行业本质高危属性仍未改变，涉及环节多、风险因素多、监管难度大、人民“恐化”情绪等均制约着行业高质量统筹协同发展，迫切需要利用数字化手段实现行业安全风险“**看得见、管得住、可追溯**”，助力提升石油化工企业本质安全化水平。



*数据源自：应急管理部孙广宇副部长在全国危化品安全防范工作紧急视频会上的讲话

3. 国家积极推动行业本质安全与数字化融合发展

《“工业互联网+安全生产”行动计划（2021-2023年）》[工信部、应急部联合发布]

“工业互联网+安全生产”的重要内涵

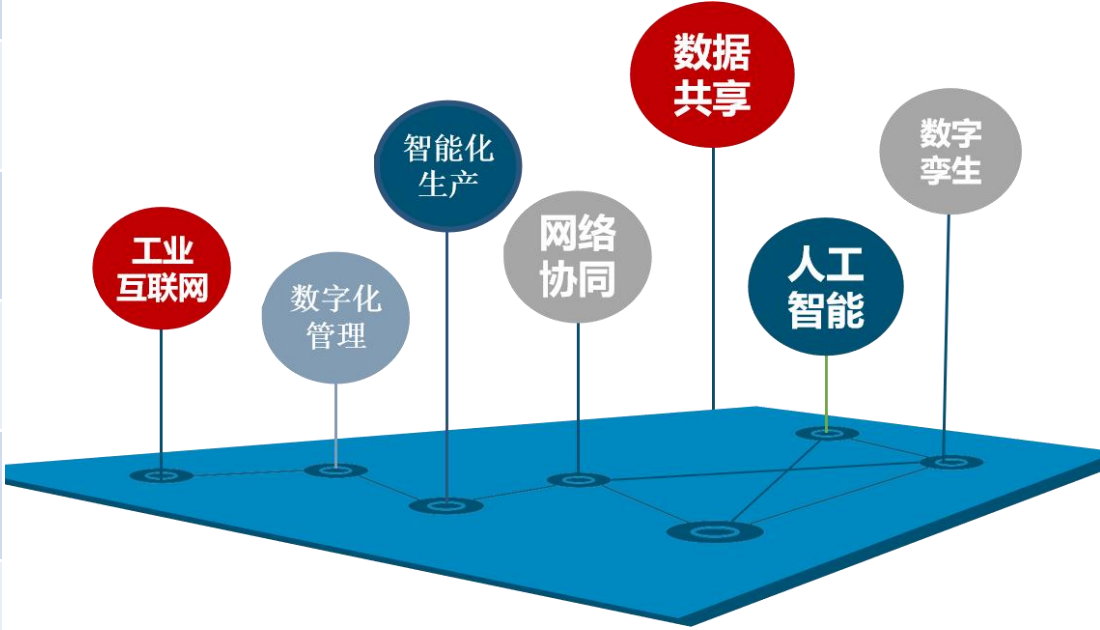
“工业互联网+安全生产”是通过工业互联网在安全生产中的**融合应用**，增强工业安全生产的**感知、监测、预警、处置和评估**能力，加速安全生产从**静态**分析向**动态**感知、**事后**应急向**事前**预防、**单点**防控向**全局**联防的转变，提升工业生产本质安全水平。



4. 数字化转型是促进行业高质量发展、本质安全发展的有效措施

以新一代信息技术为驱动的数字浪潮正深刻重塑经济社会的各个领域，**工业互联网、大数据、人工智能**等技术正与制造、能源等传统产业深度融合，石油化工企业应借助新一代信息革命浪潮开展安全可靠、节能环保的企业建设，全面实现**智能化、数字化**管控，是助力行业安全、绿色、高质量发展的重要基础。

技术	应用
大数据技术	茂名石化在重整装置上选取七个关键指标，实现了装置异常监测
人工智能技术	中国石化九江分公司初步形成智能化、网络化制造框架
工业互联网技术	使用工业互联网赋能危化品重大危险源安全监管
区块链技术	中化能源科技有限公司完成了首单原油区块链进口交易试点
电子标签技术	国内学者提出了一种危化品钢瓶管理系统
5G技术	深圳宏电技术股份有限公司运用5G技术对车辆进行实时监控



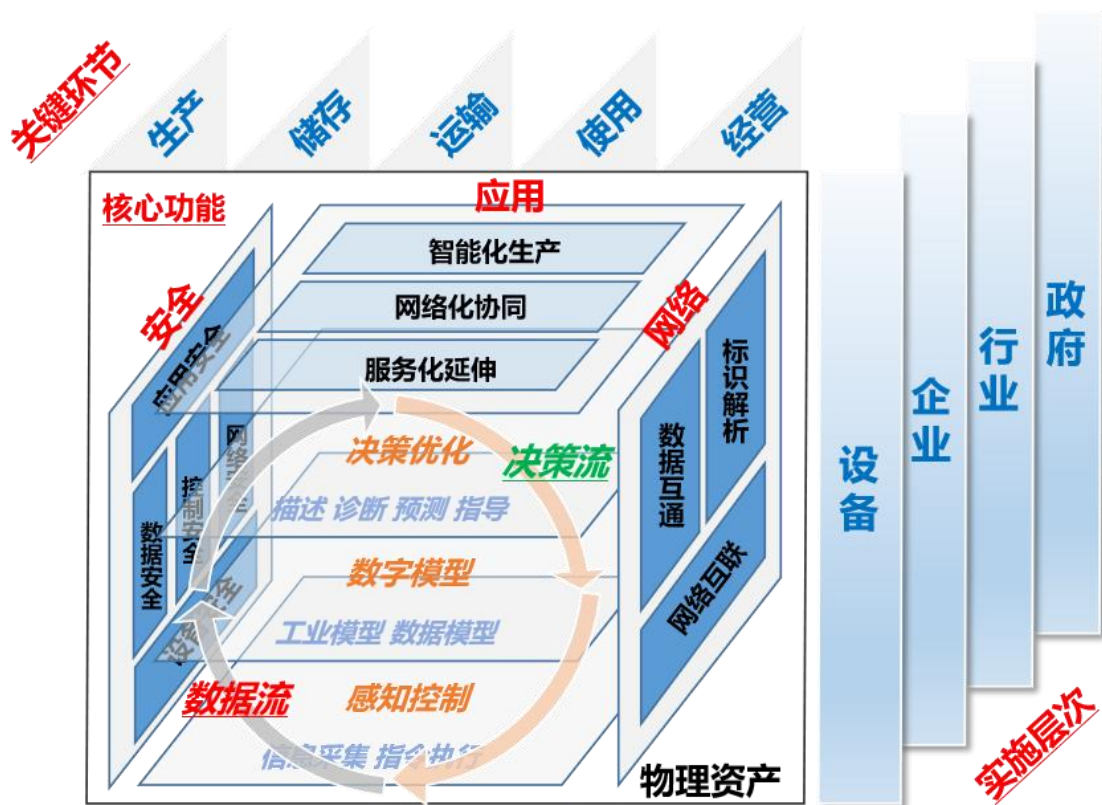
三

石化安全数字化提升路径



1. 工业互联网助力行业安全生产数据流通闭环

工业互联网通过打通传统IT与OT之间的数据传输界限，实现行业**人、机、物、环境**的全面感知互联，构建起全要素、全产业链、全价值链全面连接的新型工业生产制造和服务体系，推动实现覆盖**设备运行优化、生产管理优化、风险协同管控**的生产数据流与管理决策流的闭环，有助于提高全要素的安全生产率和资源配置效率，是行业数字化转型的重要实施途径。



01

面向设备运行优化的闭环

实时感知设备运行状态，以自动化指令优化调整设备运行，构建感知控制闭环网络；

02

面向生产管理优化的闭环

动态研判各环节企业安全生产状态，形成智能化安全管理模式，实现风险管控与辅助决策的闭环；

03

面向风险协同管控的闭环

构建数据集成与协同应用网络，强化政府平行监管能力，实现管理、执法、服务三位一体的风险管控模式；

2. 5G通信技术实现装置监测数据实时性提升

5G通信技术可实现装置现场各类监测数据实时共享，突破**泄漏、声音、温度、火焰等多维感知信息孤岛难题**，实现现场固定安装立体网格监测数据、机器人移动端监测数据、企业端数据大脑等相互高效融合，提升泄漏、声音等**异常全覆盖监测、数据实时交互、多维感知融合决策、现场异常智能预警联动**能力，助力企业安全生产与风险管控，是行业数智化运行管理的重要基础。

01 装置现场异常全覆盖监测

基于企业端5G专网，实现视频流、音频流、文本流等数据高速传输，构建装置各平台间异常全覆盖监测网络。

02 多维感知数据实时交互

实时共享固定安装、机器人移动端、工艺生产等监控数据，提升数据交互效率，为装置风险决策赢得时间。

03 现场异常智能预警联动

基于泄漏等异常智能预警模型提早预警现场异常类型及位置，与企业端/政府端管控平台联动。



(a) 现场固定安装立体网格化泄漏与排放监测



(b) 机器人移动端泄漏、声音、温度、火焰等异常走航巡检

基于5G实时数据传输的多维感知信息融合监测成套技术

3. 人工智能支撑装置工艺、设备异常状态诊断

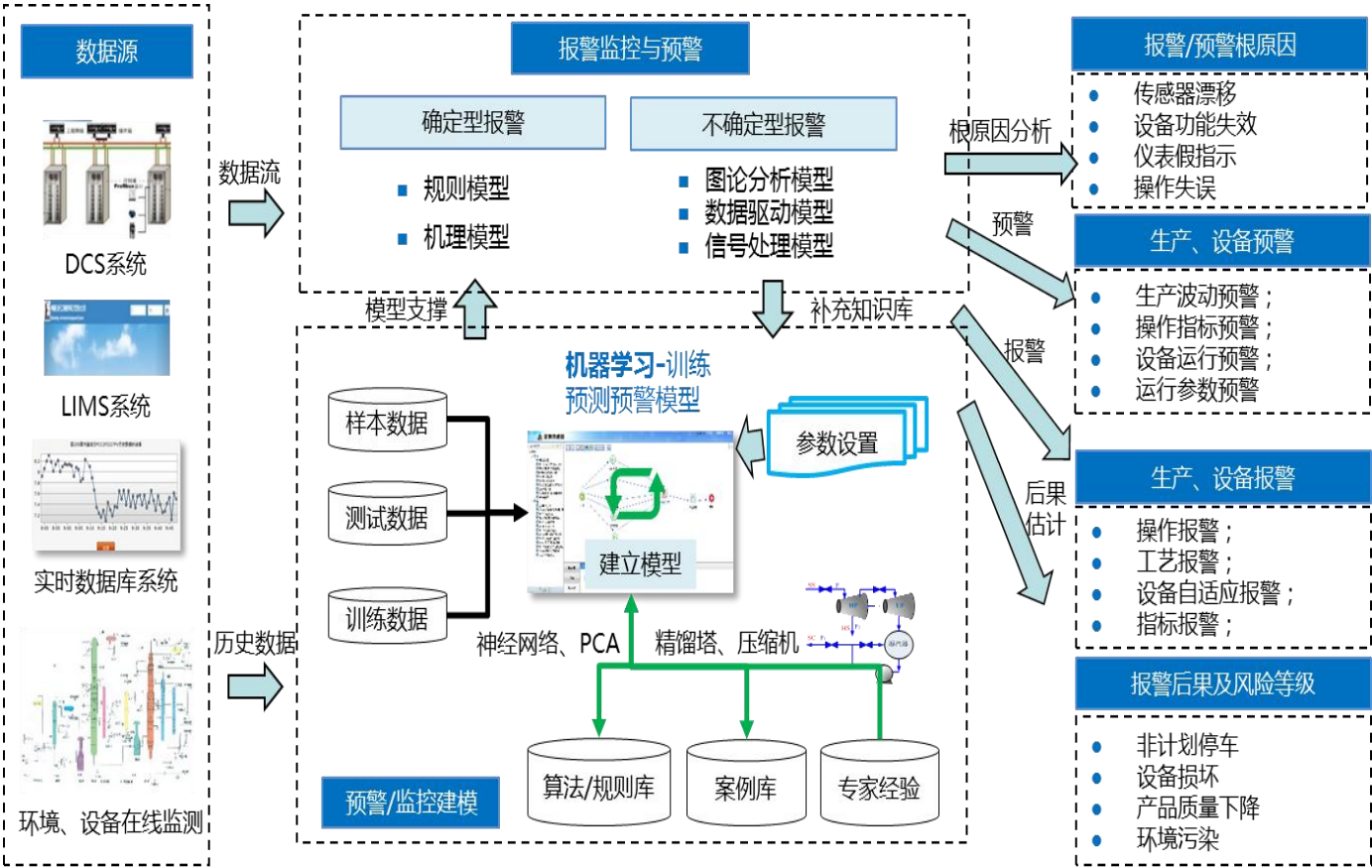
石化装置工艺复杂，具有**时空多尺度**特性，且**各部分高度耦合**，导致机理知识目前仍处于部分掌握。得益于先进过程监控系统带来的海量过程数据，使得通过人工智能技术深度挖掘数据建立过程模型变得可行，并具有**计算量小、求解速度快、在模型建立的数据范围内准确度高**等优点，同时避免了丰富先验知识的要求。

● 过程监控

全方位监测装置运行过程，通过实时监测、异常预警、故障诊断等功能，实现工艺异常的提前发现与快速处置。

● 过程优化

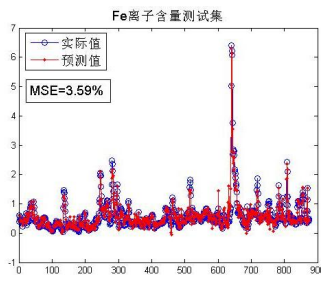
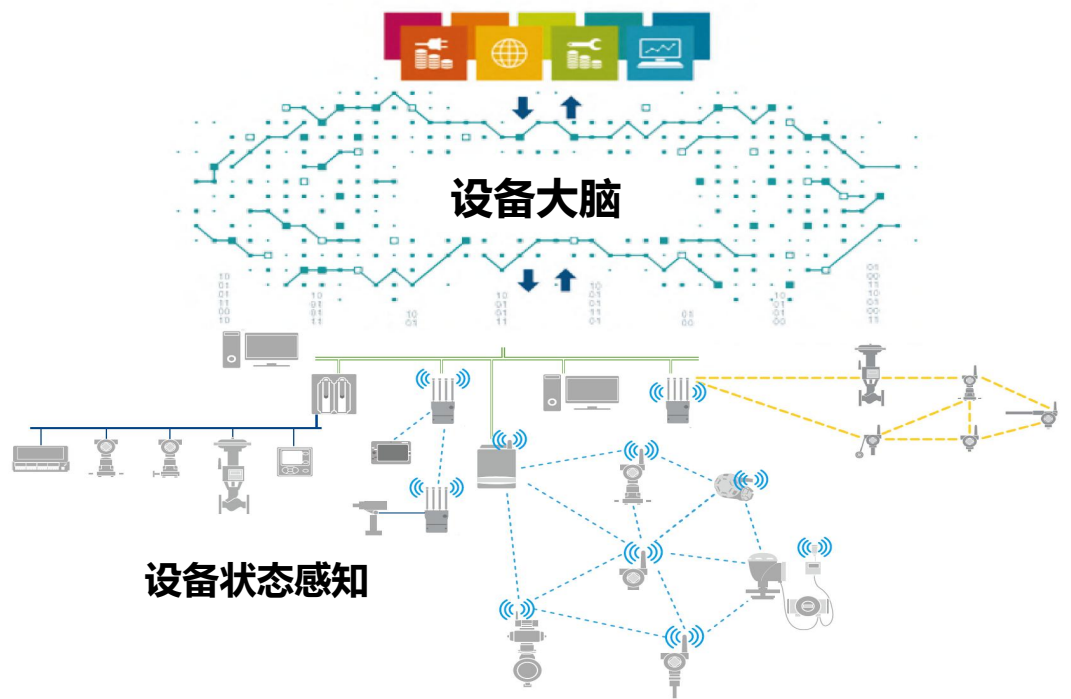
综合考虑安全性、可靠性、成本、效益等多因素影响，建立装置多目标优化模型，提供装置最优化运行方案，辅助决策。



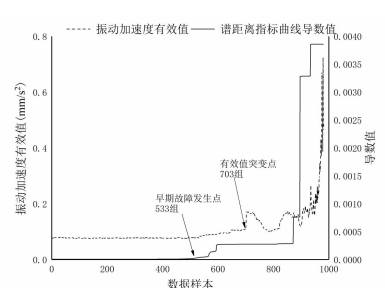
3. 人工智能支撑装置工艺、设备异常状态诊断

设备故障及损伤失效是制约石化装置安全平稳运行的关键瓶颈之一，与此同时企业还面临着人员精简、经验流失等问题。在此背景下基于工业互联网和人工智能技术的设备状态监测、预警、决策及控制是必然的发展方向。借助机理及数据驱动模型解决**设备状态的趋势预测、异常报警、故障分类、规律发掘**等，能够帮助技术人员从海量设备运行监测数据中及时发现异常，确定风险部位及损伤程度。

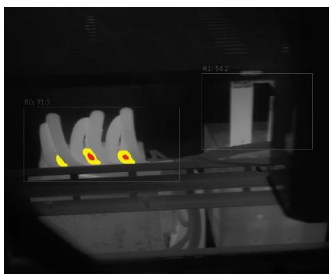
- ✓ 减少经验依赖，充分发掘监测历史数据价值，提前发现设备异常状态，逐步**实现预知性维修，减少设备非计划停机**；
- ✓ **提升设备运行可靠性**及预测性维修水平，不失修、不过修；
- ✓ **提升设备运行能效**，为企业创造经济价值；
- ✓ 促使设备管理从经验、制度驱动向数据、模型驱动转变，从事后的事故管理向事先的风险管理转变，**提升设备完整性水平**。



关键参数预测



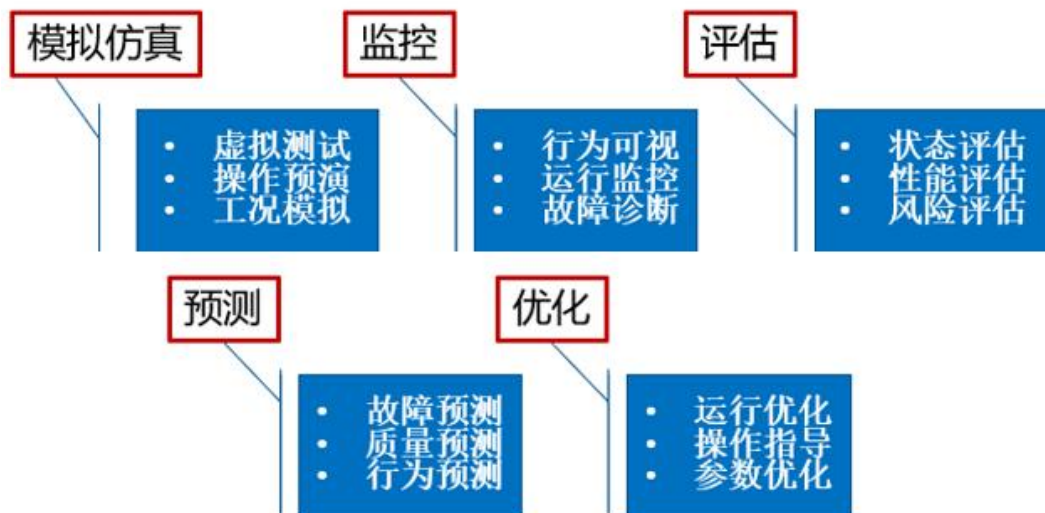
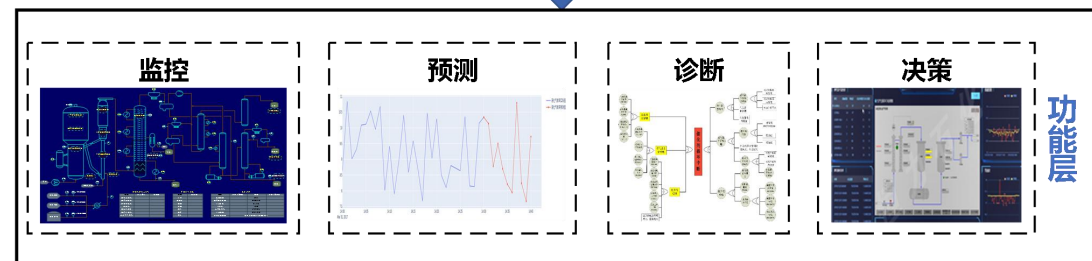
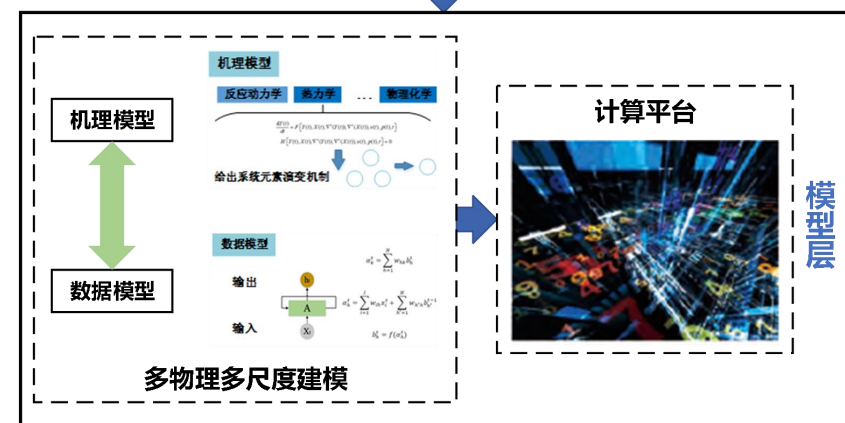
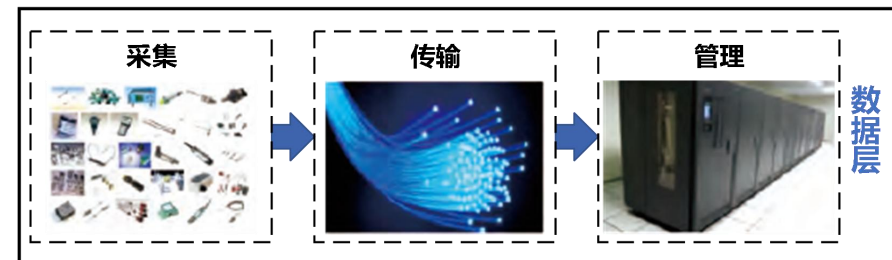
故障早期预警



异常状态识别

4. 数字孪生助推装置安全生产状态全息感知控制

数字孪生模型是一种数字空间内的虚拟模型，通过内置计算模型，在虚拟空间完成**物理装置的映射**，通过实时数据交互与物理装置保持一致，从而实现实时的**全过程动态感知**。数据层是孪生模型的基础，为后续计算和展示提供数据支撑；模型层是孪生模型的核心，保证孪生模型与物理实体的同步变化；功能层是针对用户需求，基于孪生模型的功能实现与展示。



5. 虚拟现实实现全要素事故情景构建与模拟演练

虚拟现实是构建企业数字化应急体系的关键支撑技术，通过构建事故情景虚拟三维空间环境，模拟应急事件和应急知识重构的全过程，为**应急防控体系、事故处置预案、应急协同演练、干预效果评估**等提供关键数字化载体，实现由经验型、被动型、常规化的传统应急决策体系向由数字技术支撑的**知识型、主动型、敏捷型**应急决策体系转变，对精准指导事故应急管理与实践具有重要意义。

01

推进应急准备数字化

对应急过程中的应急预案、处置方案、应急资源等信息构建知识图谱并实现数字化，推进各类数据的共享、融合。

02

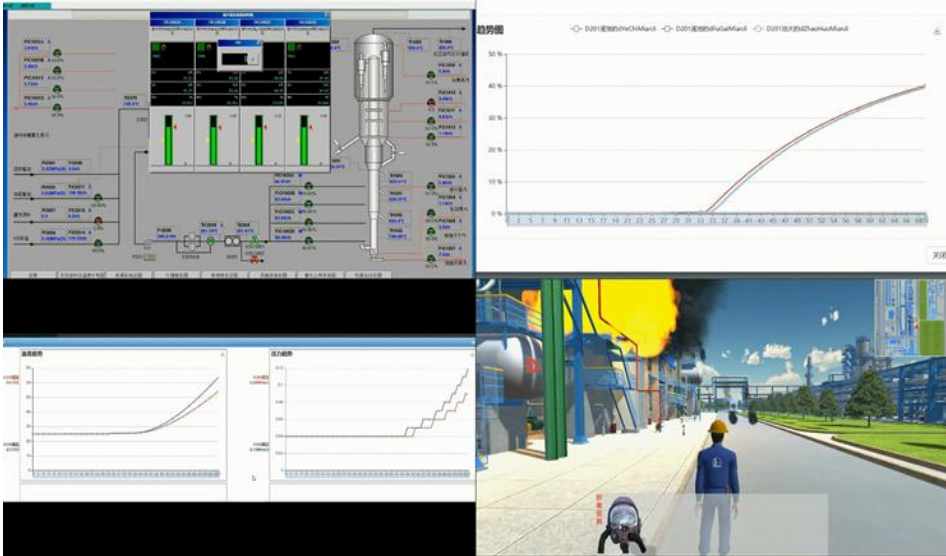
助力预案推演可视化

基于工艺、设备、风险等全要素信息构建事故典型情景态势分析及演化过程，实现应急救援预案三维可视化动态推演。

03

促进协同演练智能化

建立参数变化、灾害模拟与应急干预之间的多维反馈及动态迭代模型，实现装置镜像模型的数据驱动全要素、多主体协同三维智能演练。



6. 数字化交付实现企业全生命周期信息的可视化管理

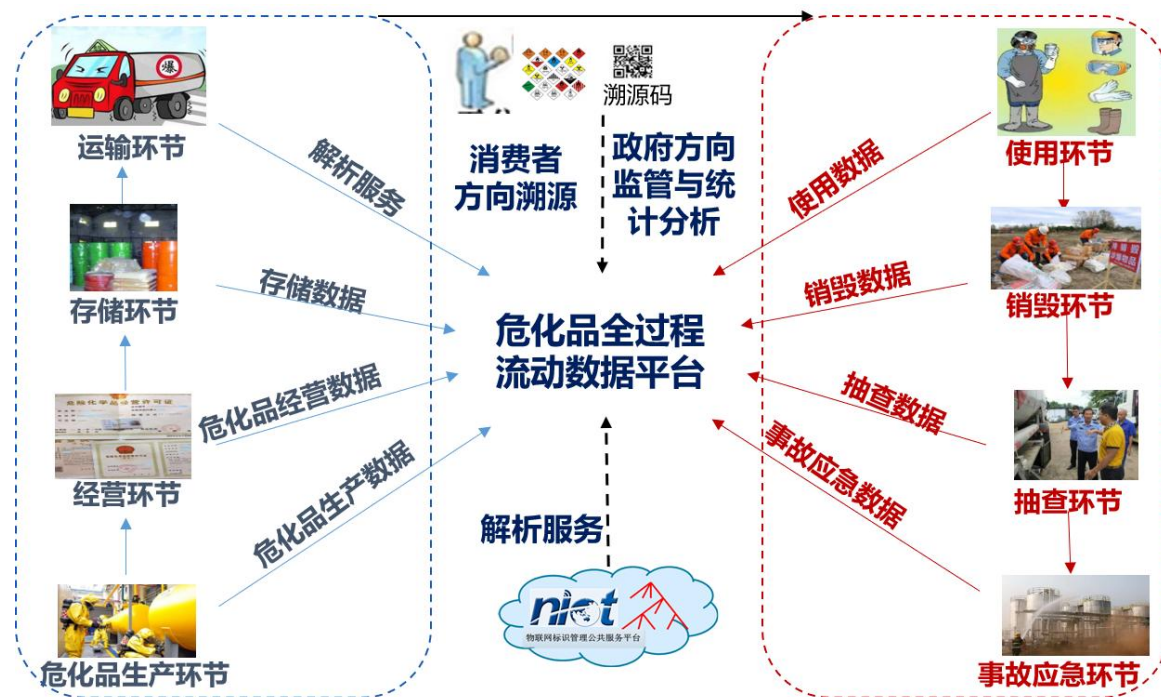
数字化交付技术能够将工程建设过程中设计、采购、施工、试车、运行等各阶段的信息进行高度**规范化、标准化、可视化**，能够与实体装置对象间形成强关联关系，打通企业工程建设期与生产运维期的数据通道，对提升装置本质安全管理能力、日常检维修能力具有重要意义，可实现工厂全生命周期管理达到效益最大化。



- 01 实时查看企业装置三维模型、智能工艺流程图、设备二维平面属性等信息。
- 02 构建跨组织的协作平台和信息共享平台，提高各管理系统数据的一致性。
- 03 有效进行风险预警、提高运维效率、减少停车时间、提高检维修的安全性。

7. 区块链技术提升危化品全生命周期安全管控能力

区块链是一种由多方共同维护，使用密码学保证传输和访问安全，能够实现数据一致存储、难以篡改、防止抵赖的记账技术，具有**信息透明、无法篡改和安全**等特点。可在生产过程监控中为上下游企业以及企业内部各部门之间的统计信息一致性共享和访问控制可控提供有力保障，并在全生命周期管控中构建集生产、储存、运输、使用、废弃等各环节的产业链协同网络，实现对参与方的信息高透明度、高协同度。



● 勘探开发领域

实现油井数据的本地产生、就近处理，提高数据分析的时效性、可靠性和稳定性。

● 炼化生产领域

最大限度地覆盖炼化生产中的每一个环节的实时生产数据，提升生产运行水平。

● 贸易流通领域

自动撮合买卖、协商条款、验证履行、执行条款，提高在日常交易效率和风险管控水平。

8. 大数据分析助推安全风险系统决策能力提升

随着行业自动化、信息化程度的不断提高，经营管理数据、生产过程数据、设备状态数据呈现爆发式增长，具有**数据体量大、种类多、实时性强、价值密度低**的特点，如何结合业务应用情况对各类数据资源中隐含的价值进行充分挖掘，为安全生产评估、生产隐患排查、执法检查、事故调查等业务提供有力的数据支撑，已成为支撑行业安全高质量发展的战略问题。



安全生产异常分析

对生产过程中的设备运行参数进行对比分析，界定装置状态是否构成异常风险。



安全风险周期预测

分析企业实时生产数据，研判企业安全生产风险状态，促进安全风险管控措施落实。



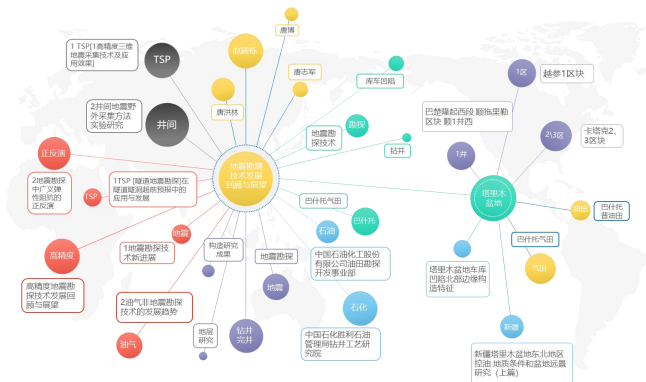
事故原因与规律分析

分析和查找事故发生的季节性、周期性、关联性规律、特征，找出事故根源。

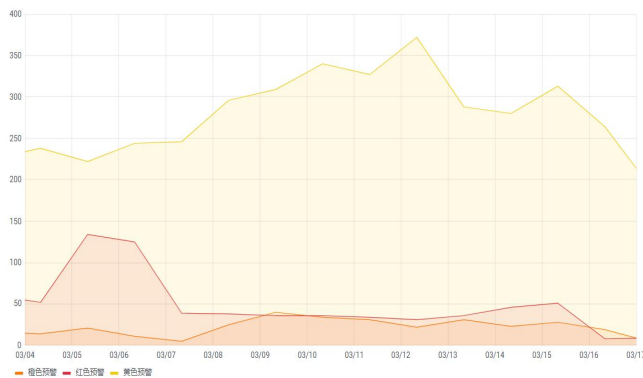


安全知识聚类分析

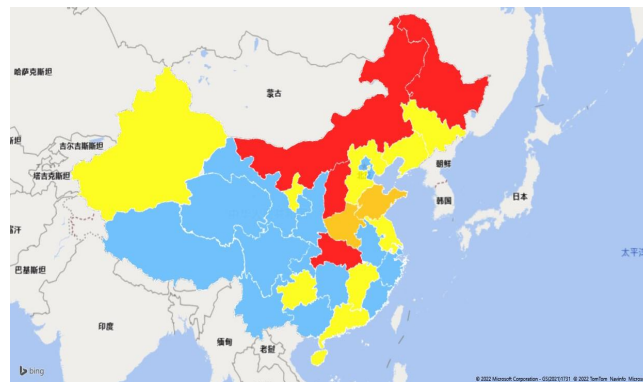
分析化学品危险属性及其隐含关联关系，实现化学品精准分类分级管理。



知识图谱



趋势预测



状态分析



中国石化
SINOPEC

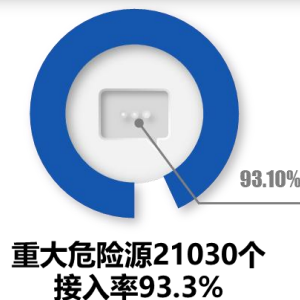
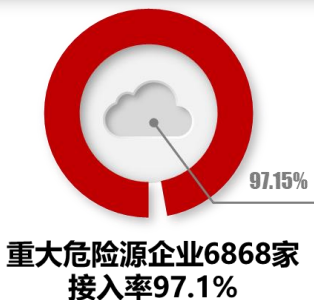
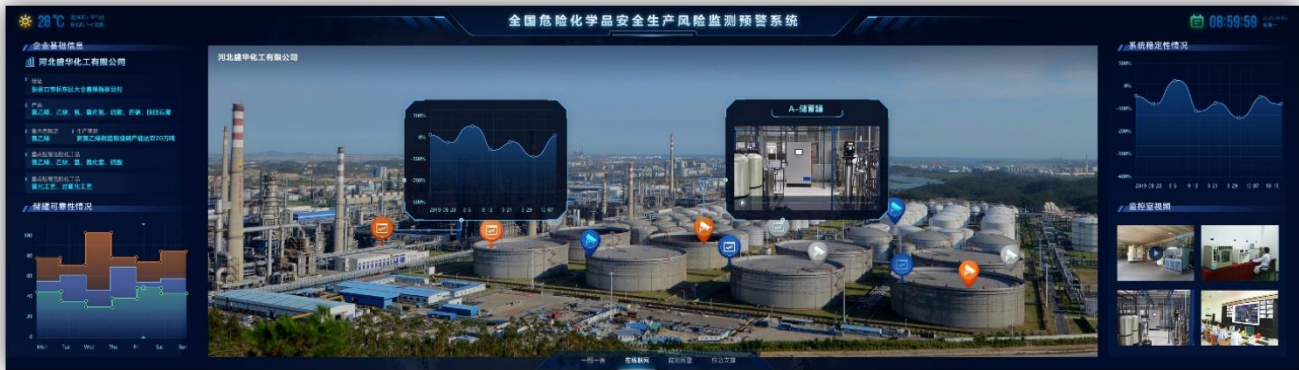
四

关键技术探索与应用



1. 全国风险动态监测预警与分级管控技术

基于工业互联网构建**国家危险化学品安全生产风险监测预警系统**，基于事件树和保护层理论开发涵盖工艺平稳性、设备完整性、泄漏监测的风险动态预测模型，创新提出符合我国国情的部、省、地市、区县、园区、企业五级风险分级管控和动态监测预警机制，全面覆盖重大危险源**储罐区、高危工艺装置、仓库和液态烃装卸站台**等高风险区域，推动了危险化学品安全风险“互联网+监管”模式转变，提升了企业安全生产基本控制手段的有效性。



2021年10月26日

山东鼎鼎化学科技有限公司
发生爆炸事故

系统自动向高青县应急局、企业发送一般风险预警短信

序号	行政区划	企业名称	风险预警等级	触发一般预警时间	触发较大预警时间
1	山东省/淄博市/高青县	山东鼎鼎化学科技有限公司	较大	2021-10-26 05:05	2021-10-26 05:25
2	山东省/淄博市/高青县	山东鼎鼎化学科技有限公司	一般	2021-10-26 04:55	

4点55分

系统再次自动向高青县应急局、企业发送一般风险预警短信

序号	行政区划	企业名称	风险预警等级	触发一般预警时间	触发较大预警时间
1	山东省/淄博市/高青县	山东鼎鼎化学科技有限公司	较大	2021-10-26 05:05	2021-10-26 05:25
2	山东省/淄博市/高青县	山东鼎鼎化学科技有限公司	一般	2021-10-26 04:55	

5点05分

系统自动向淄博市应急局、高青县应急局、企业发送较大风险预警短信

序号	行政区划	企业名称	风险预警等级	触发一般预警时间	触发较大预警时间
1	山东省/淄博市/高青县	山东鼎鼎化学科技有限公司	较大	2021-10-26 05:05	2021-10-26 05:25
2	山东省/淄博市/高青县	山东鼎鼎化学科技有限公司	一般	2021-10-26 04:55	

5点25分



2. 风险分级管控与隐患排查双重预防治理技术

依据双重预防机制**“五有”建设标准**，构建开放式、多元化的**建设模式**，研发双重预防机制**信息系统**（政府端和企业端），实现企业风险分级管控、隐患排查治理和监测预警的**闭环管理**以及政企数据**互联互通**，着力解决传统方式中**风险管控措施不落实、隐患排查不精准、全员参与不充分、整改情况难追溯难闭环**等难点痛点问题。



企业监控展示页面



现场隐患排查

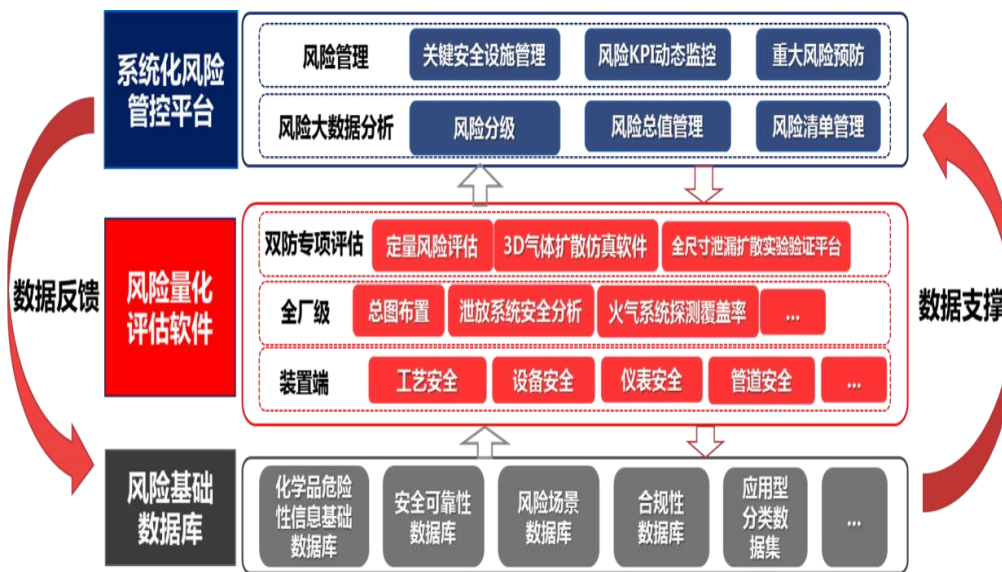
3. 石化企业安全风险量化与分级管控平台

针对安全生产工业数字化转型面临基础数据库、集成工具平台和风险分级管控技术体系缺失等关键技术难题，建立了国内首个石化企业安全风险量化与分级管控平台(PHAMS)，打破了国外对行业关键数据的技术垄断。

三大核心技术

- ◆ 建立我国**首个**石化行业设备设施失效率采集系统和可靠性数据库；
- ◆ 形成**3大专业15类**风险集成量化运算工具，实现风险评估由定性向定量转变；
- ◆ 建立石化行业**安全生产风险分级管控平台**，实现企业风险清单管控的标准化和智能化。

系统功能框架



行业技术支撑



国内权威咨询机构



综合甲级石化工程设计单位



大型油田及销售企业



千万吨级以上炼化企业



化工企业及园区布局风险

建立**4类**数值分析和全尺寸泄漏扩散风洞实验双向论证平台；



工艺设备仪表风险

覆盖上中下游**87套**装置设施类型**3万余条**场景，装置类型+风险场景覆盖率 **> 90%**；



重大风险隐患

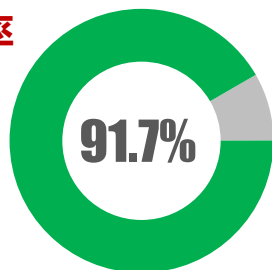
专项评估工具，实现**重大风险**的**靶向分析**。

4. 炼化设备早期故障智能预警技术

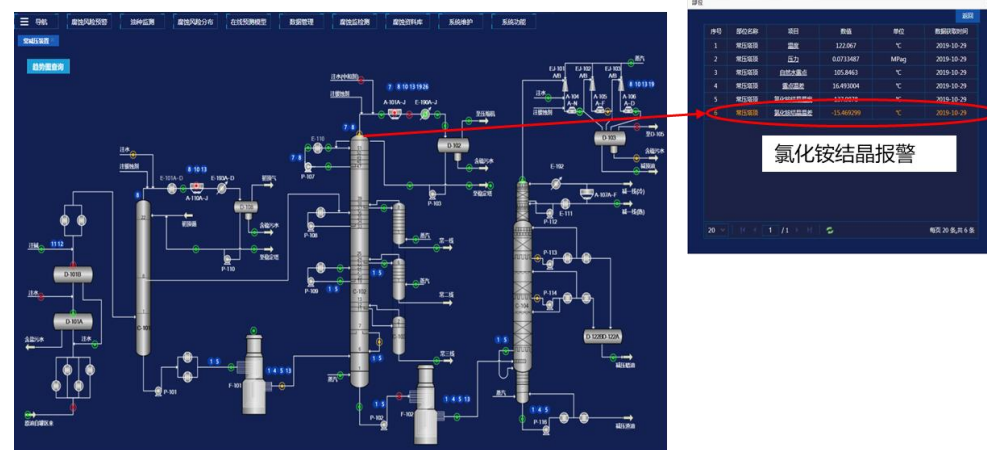
针对炼化装置静设备腐蚀和动设备故障，分别开发了水露点、铵盐结晶、高温硫腐蚀等预测模型，以及动态自学习阈值和双向长短期记忆网络模型，构建了**设备腐蚀与关键机组故障远程预警诊断系统**。通过异构软件接口远程获取实时多源监测数据，实现设备故障早期预警。

- 准确预警青岛炼化常压塔铵盐结晶、减三线腐蚀、柴油加氢胺盐结晶位置前移等设备腐蚀风险；
- 实时监测广州石化裂解气压缩机驱动汽轮机、金陵石化催化烟机、齐鲁石化三催化气压机等机组故障。

预警准确率
>90%



提前预警时长
>150min



2018年10月准确发布**青岛炼化常压塔氯化铵结晶**预警，指导企业进行了在线洗塔操作，降低了铵盐结晶腐蚀风险

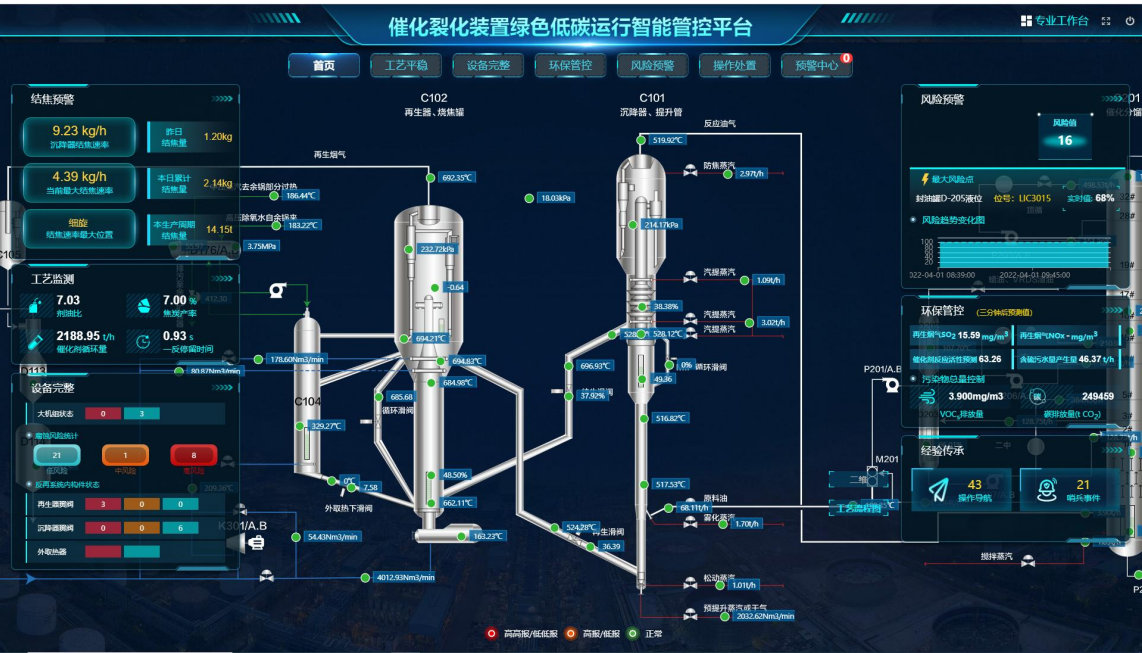


2020年2月齐鲁石化**3#催化汽轮机**二级预警，诊断为转子动不平衡，采取提高油压、改善蒸汽品质、油封加局部风冷等措施维持运行，大修拆检发现汽轮机转子结垢

5. 催化裂化装置智能化安全平稳运行技术

以FCC装置**安全平稳、绿色低碳长周期**运行为根本目标，采用“机理模型+专家经验+大数据分析”的技术路线，以装置风险为核心，从**工艺、设备、操作、环保和应急**等方面进行技术攻关，形成安全环保一体化智能运维技术，并依托研发的催化裂化装置绿色低碳运行智能管控平台开展应用，通过专业工作台实现用户自由配置应用。

- 基于人工智能算法关联**机理模型和运行数据**，建立结焦速率实时监控与预警模型，平均软硬结焦速率计算**误差≤15%**。
- **研发装置的数字孪生模型**，实现工艺异常预警与溯源，预警**准确率>93%**。
- 提出装置风险场景识别及预警方法，以齐鲁3#催化裂化装置为例，识别关键风险场景**58个**，场景覆盖率达到**90%以上**。



五

行业高质量发展展望



紧抓工业4.0战略发展机遇期，充分发挥数字化转型过程中的数据资源优势，加快人工智能、区块链、大数据、5G等新一代信息技术与传统流程行业安全管理模式融合，打造“**数据+平台+应用**”的一体化安全生产风险数智化管控平台，推动全要素网络化连接、敏捷化化响应和自动化调配能力的提升，为实现行业本质安全奠定基础。



助力提升石油化工行业安全数字化智能化管控水平，支撑危险化学品领域系统性安全风险防控

谢谢!

