

中海石油（中国）有限公司天津分公司

基于“端+边+云”协同的工业互联网平台在海上智能油田的实践应用

引言：中海石油（中国）有限公司天津分公司（以下简称中海油天津分公司）主要负责渤海油田油气勘探、开发和生产管理业务，是中国海上最大的油气生产企业，承担着原油保障和环渤海地区天然气供应的重要任务。渤海油田始于1965年，是中国海洋石油工业发源地，经历半个世纪艰苦创业和四十多年改革开放，渤海油田坚持自营与合作两条腿走路，勘探开发生产硕果累累，2010年油气当量上产3000万吨并持续稳产达12年。2021年原油产量超3000万吨，成功建成我国第一大原油生产基地。2022年，渤海油田将始终以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，深入贯彻落实习近平总书记重要批示指示精神，围绕“原油上产4000万吨，坐稳国内第一大原油生产基地”战略目标接续奋斗、勇毅前行，为中国海油建设中国特色国际一流能源公司再立新功。

一、项目概况

1. 项目背景

低油价和环境约束成为新常态，油气行业面临的挑战日趋严峻，提质降本增效遭遇瓶颈。物联网、云计算、大数据和人工智能为代表的数字技术为企业发展带来新机遇，是企业高质量发展的重要引擎和构建创新驱动发展格局的有力抓手。中国海油紧紧围绕党中央国务院关于发展数字经济决策部署要求，定向聚力、谋篇布局，积极践行中国海油“1534”总体发展思路和创新驱动战略，于2020年

在渤海油田启动智能油田试点建设，探索海上油田智能化发展新路径，助力国家智慧能源新基建战略在中国海油落地生根。

2. 项目简介

渤海智能油田试点建设项目，遵循中国海油数字化转型顶层设计和智能油田总体规划，构建端、边、云模式下的数据采集、传输与汇聚管理平台，研究物联网、云计算、大数据和人工智能等数字技术与油气田核心业务深度融合与创新应用，实现对油田生产现场的实时监测、远程操控、预警诊断和主动优化。



智能油田愿景

3. 项目目标

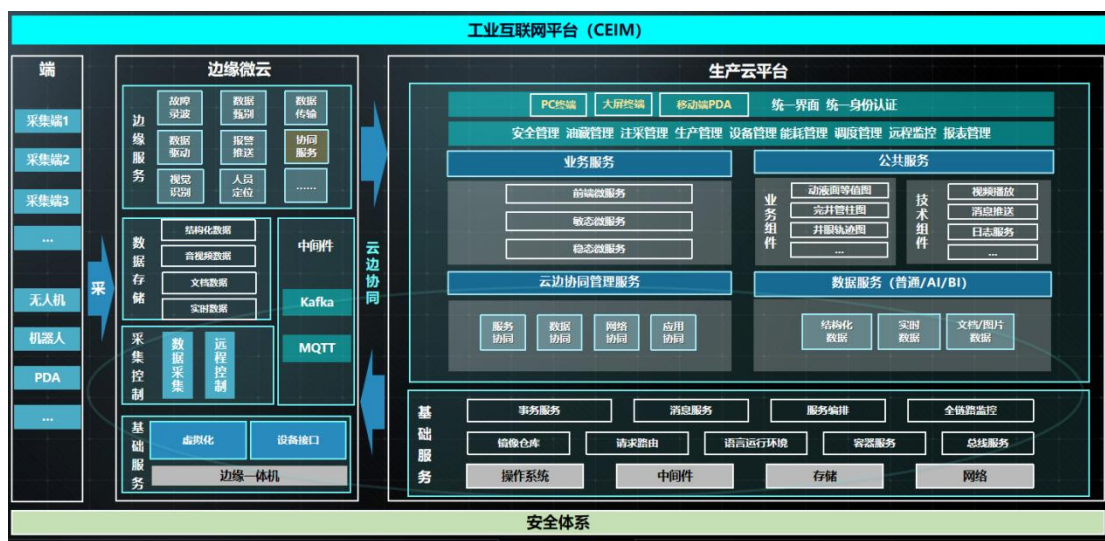
通过提高海上平台的生产监测和优化控制能力，对开发生产全过程进行实时监测、预警诊断、主动优化、远程操控、协同运营和辅助决策，实现一体化智能管控。油田运营由目标导向、分工合作的方式向数字化驱动、智能化协同的一体化方式转变，创建“智能、安全、高效”的新型海上油气开采运营模式。

二、项目实施概况

1. 项目总体架构和主要内容

基于渤海智能油田试点建设项目搭建的工业互联网平台，是多人协作的平台，

用于帮助开发者提升数据价值,实现数据驱动的业务创新。依托海油生产云平台,扩展边缘微云,通过边缘计算、虚拟化、容器化、AI、IoT、微服务、数字孪生等技术,构建海量实时数据采、存、管、用、算的端+边+云应用高效协同架构,以分析和预测为核心,内置了百余种数据挖掘算法,立足推动企业“上云用数赋智”行动。以“工业互联+端、边、云协同”蓝图为指导,以业务互联为基础,基于“智能终端+工业互联+云服务”创新模式,为“智能、安全、高效”的新型海上油气开采运营模式提供技术支撑。



工业互联网平台总体架构

1) 端侧现场物联网泛在感知建设

(1) 利用海底光缆搭建海上油田群光纤环路,并通过陆地省际专线接入企业信息中心,为海量数据入湖和云边高效协同构建高安全、高可靠、低时延的信息高速公路。

(2) 利用 WiFi6、5G 等通讯技术和工业网络设备,实现生产现场无线网络覆盖、关键区域网络接入,打通感知设备接入的物联网神经末梢。

(3) 研究、应用多协议接入技术实现新老系统快速连接和数据汇聚,并结合业务需求新增感知设备,实现油田现场人员状态、设备状态、平台及周边环境、生产流程等 19 类数据采集汇聚,为安全管控、故障预警、诊断分析、效果评估等提供数据支撑。

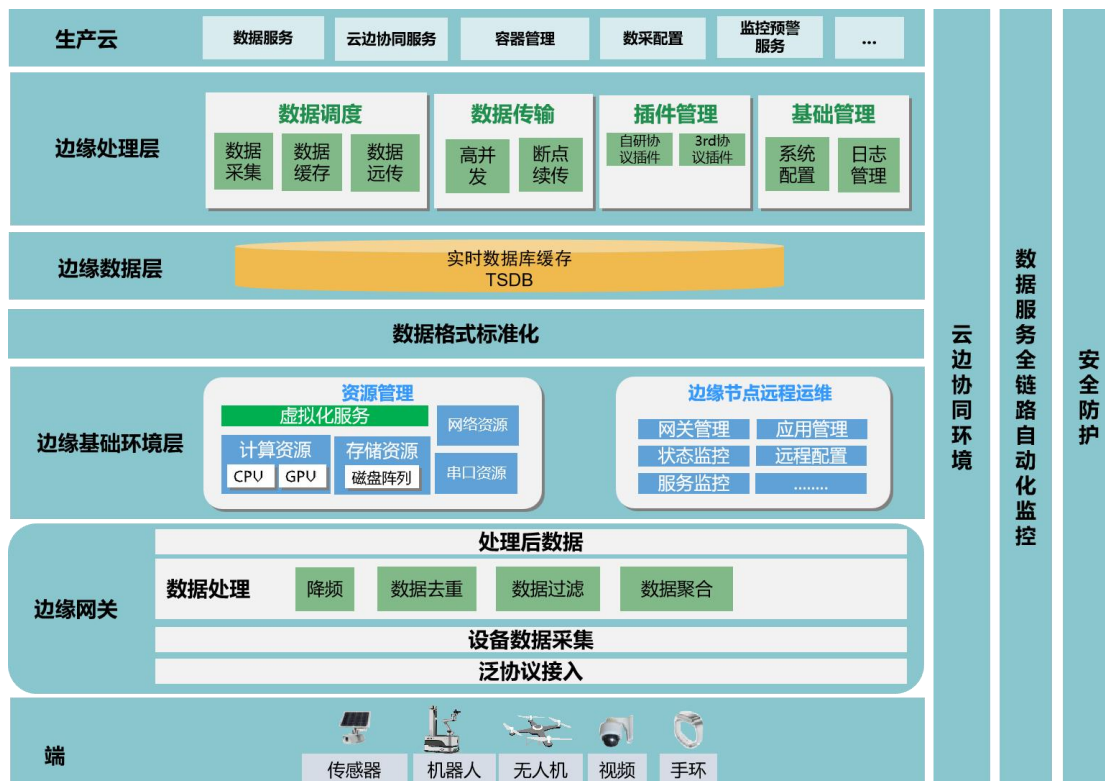
2) 边侧边缘微云建设

(1) 建立海上平台多协议数据采集标准

结合各源头的的数据定义、数据标识、业务规则、安全权限、采集频率以及数

据之间依赖关系，建立满足多协议的数据采集标准，增强业务与技术对数据定义和使用的一致性，利于提高数据质量、促进系统集成和信息资源共享。

（2）研究适用于多类型工业系统的数据采集和远传技术



数据采集和远传技术架构

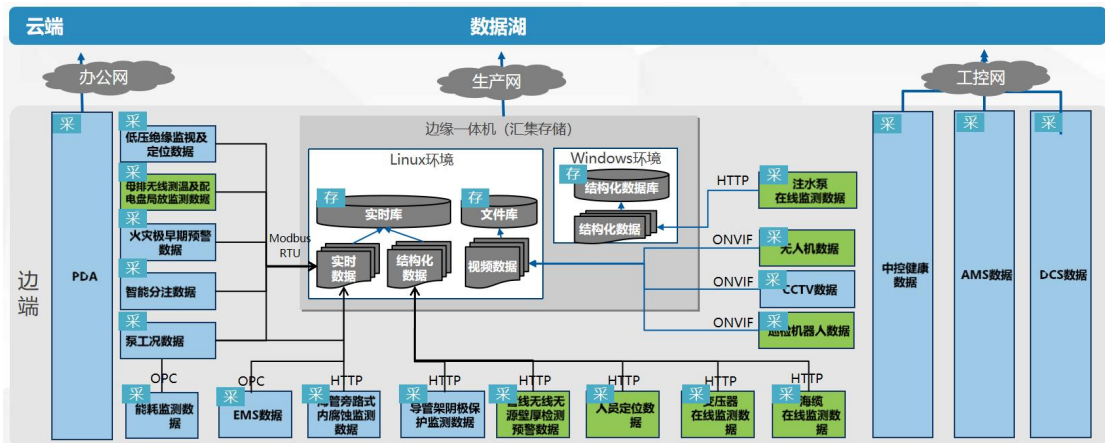
■ 数据采集研究

研究通用协议（ONVIF、MQTT、ModbusTCP、OPC-UA/DA、TCP 等）接入和转换技术，开发并在边缘微云以容器化方式部署相关服务（数据采集、数据甄别、数据质量监测、数据清洗等服务），实现现场新老设备泛协议接入和数据处理。

■ 数据传输研究

重点研究高并发数据传输及断点续传的方法。根据网络请求并发量动态分配计算和存储资源；通过消息队列对上传数据进行缓存，削峰填谷，提升高并发场景下数据传输稳定性。

（3）研究低延时高频实时数据汇集及数据服务



数据汇集架构

■ 数据汇聚研究

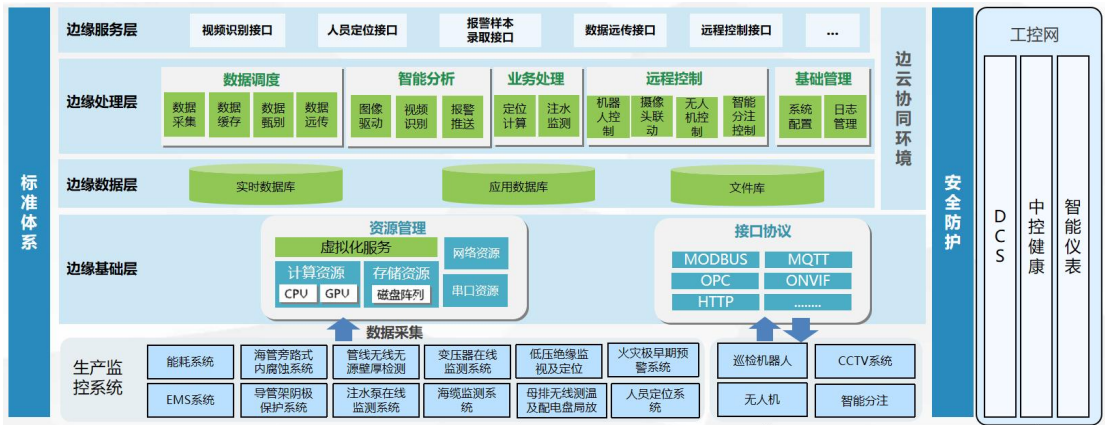
结合不同的采集频率和采集协议，建立云端数据汇集服务，支持配置数据清洗规则、数据去重、数据压缩、自定义数据上报周期等，减轻对云平台的压力。

■ 云端数据服务研究

研究实时数据库 Kudu、非结构化数据库 MinIO 的高并发交互服务，支持数据分表分区域存储，结合大数据技术应用研究，提供 AI\BI 数据服务能力和效率。

(4) 边缘计算技术应用研究

结合边缘层架构设计，搭建边缘基础层、边缘数据层、边缘处理层、边缘服务层四层框架，满足海上平台多系统的实时数据接入、处理、传输和边缘计算需求，以提高海上平台监控的及时性、准确性。



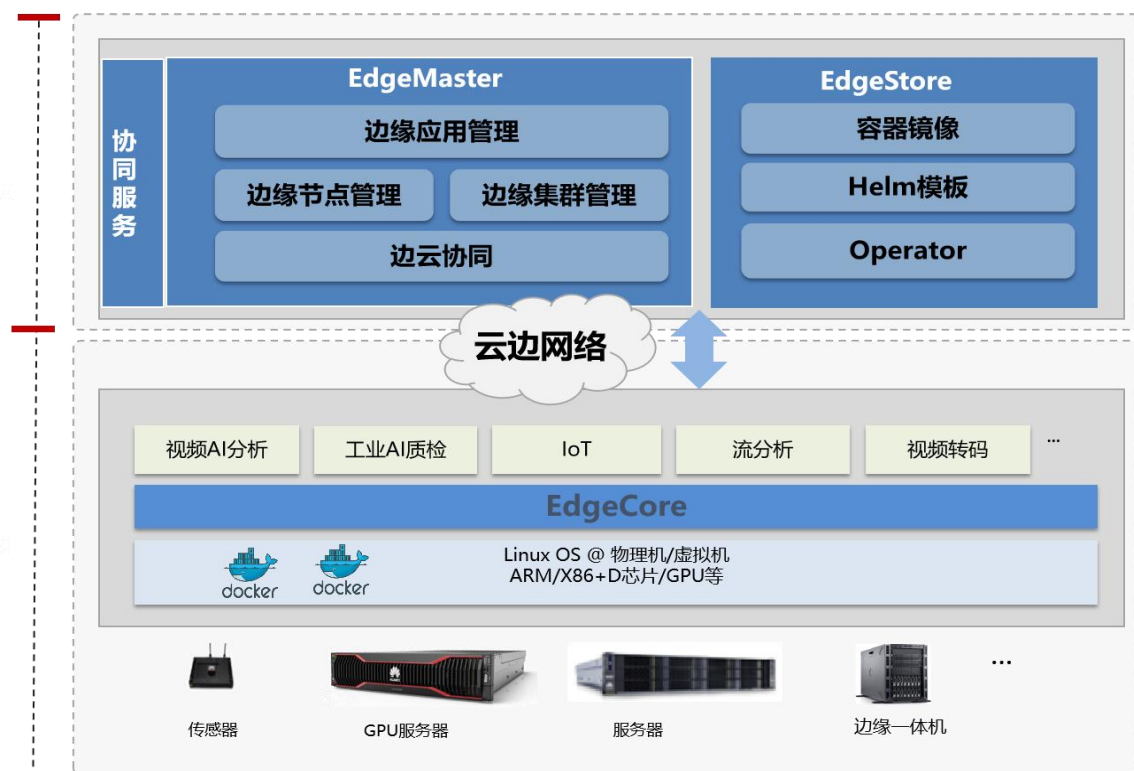
边缘端总体架构

(5) 建立适用于不同类型生产设施的基础环境

结合海上平台规模、终端系统复杂度、基础环境（网络、电源、机房）、运维和经济适用性等多种因素，结合边缘微云技术建立边端运行环境硬件选型和配置指南，并以此为依据建立适用于不同类型生产设施的基础环境。

(6) 云边协同技术应用研究

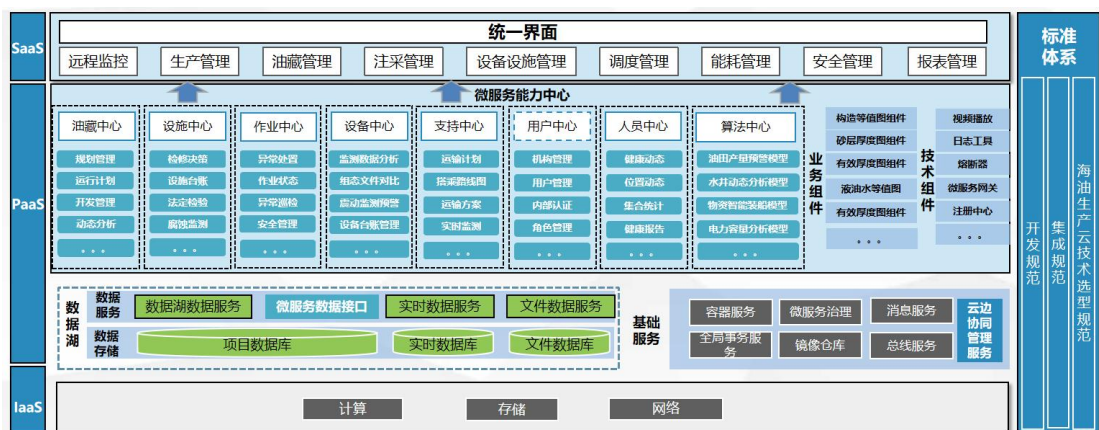
为实现陆地对海上远程管理降低运维成本、提高管理效率，应用云边协同技术实现接入的海量边缘节点进行远程配置，将模型和服务批量下发到边缘节点，管理和调度容器资源使其高可用，实现服务协同、数据协同、网络协同、应用协同的全生命周期管理。



云边协同总体架构

3) 云端生产云平台

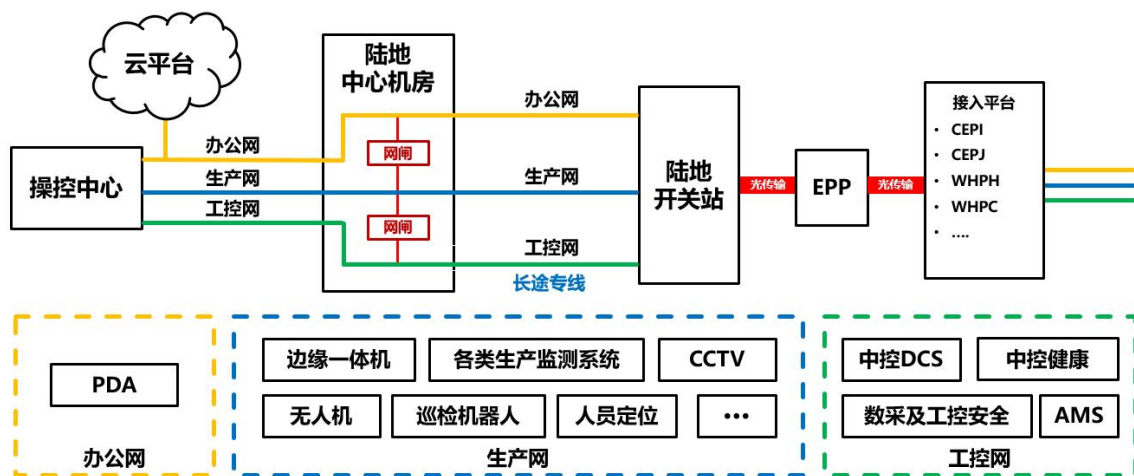
云端主要依托集团公司的云平台，按照智能油田相关技术规范开发各类微服务，并集成云平台上的基础支持微服务部署，最终形成项目的应用功能。云端数据库分为项目库、MinIO 分布式数据库、Kudu 分布式数据库。严格遵循集团生产云的技术要求，集成成熟组件，构建生产云基础环境。



云端总体架构

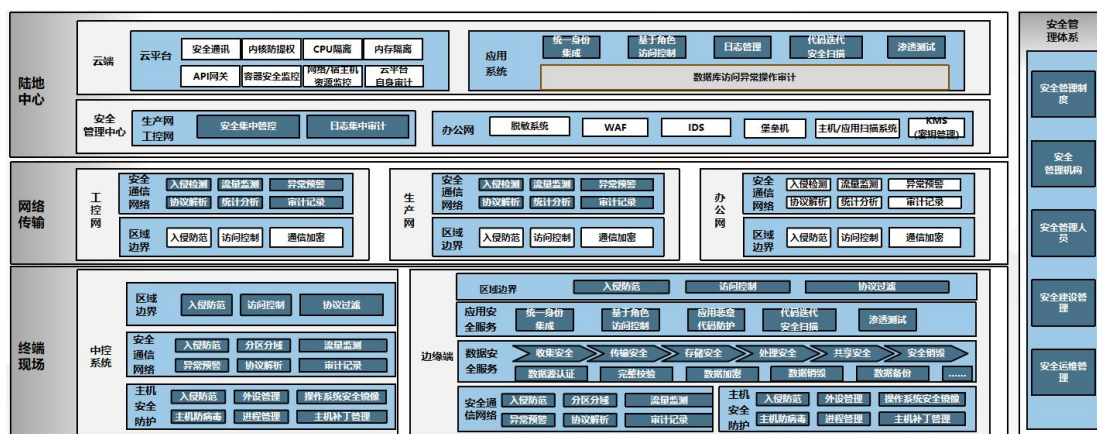
2. 网络及网络安全架构

网络建设选取海上中心平台与 EPP、开关站关键节点构建两个海陆光传输环（环带链），采用双发选收模式，形成网络高可用性设计，有效建立智能油田的网络基础保障。



网络总体架构

网络安全防护按照等保 2.0 二级的要求，建立“一个中心三层保护”的技术防控体系和一套完备的管理体系。

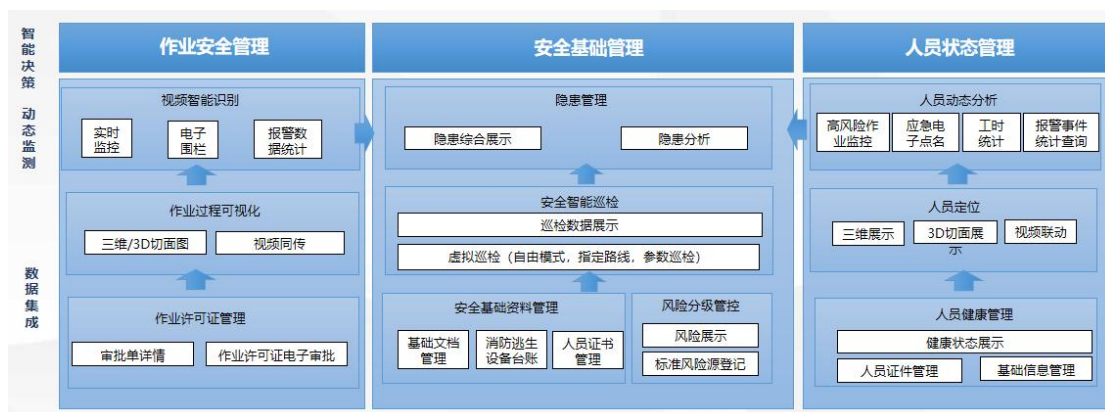


网络安全架构

3. 具体应用场景和应用模式

1) 基于工业互联网平台的海上智能安全管理系统 助力企业有效提升海上安全管理水平

将自主研发的国产化三维数字可视化引擎与人员定位技术深度融合，实时获取人员健康数据和位置信息，应用 AI 视频智能识别技术，实现作业现场在人的不安全行为、物的不安全状态、环境风险及管理上漏洞中 10 种场景的实时监测，提前预警风险，防范事故发生。针对业务特性构建云端应用业务架构，具体架构图如下：



安全管理业务应用架构

自 2021 年 10 月 15 日在渤海某油田两个平台应用以来已初见成效，部分效果如下：

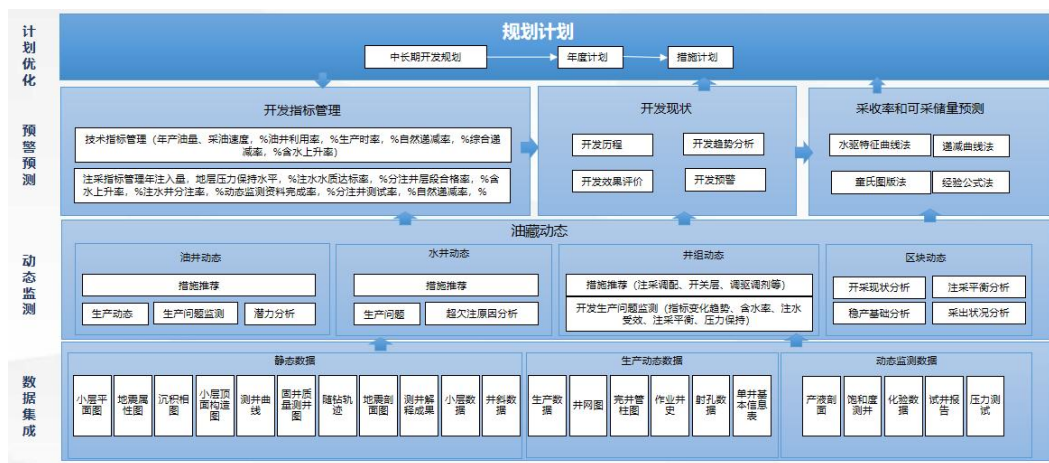
案例 1：实现全体员工的精准定位及健康监测，使用至今实现 1263 人次的可记录动态监测数据。

案例 2：2022 年 2 月 7 日至 2 月 20 日，平台电子工单审批共计 165 份，匹配作业智能监控次数 165 次，实现平台全作业工单的线上申请、审批、关闭，在节约成本的同时改变了人工签发低效问题，作业智能监控数据的 100% 完全匹配。

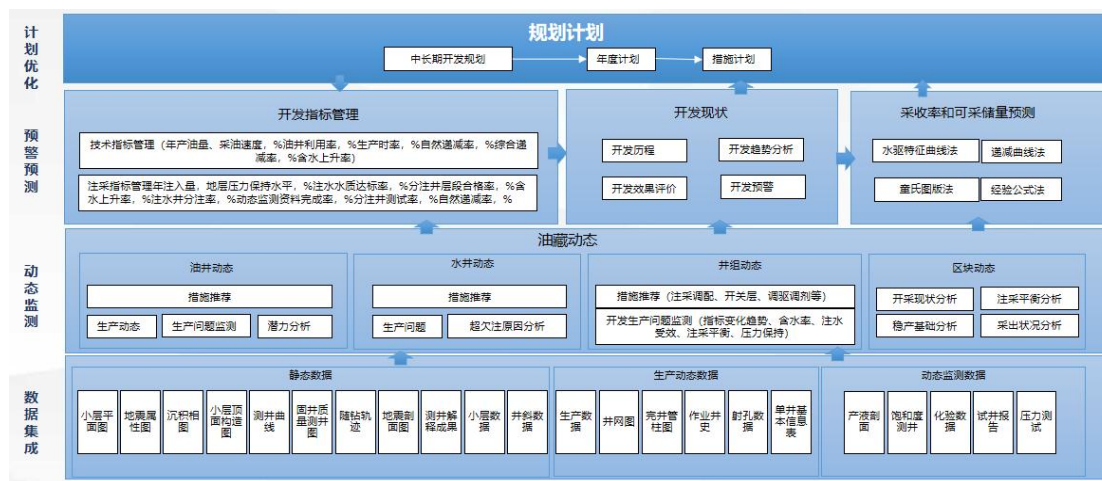
案例 3：运用 AI 智能识别系统共实现有效报警识别 59 条，报警数量由原来的每周 12 次逐步降低至 0 次，大大提升现场作业人员的自我安全约束意识。

2) 基于工业互联网平台的智能油藏注采管理系统 充分发挥油藏注采潜能

综合运用 AI 识别、机理分析、知识推理等综合技术手段，及时发现油藏矛盾和潜力，推荐合理措施方案，让油藏动态管理更精准、精细、高效，及时发现油水井工况异常问题、地面水系统的不平衡矛盾，推送处置方案及建议，保障生产的安全、平稳、高效运行。针对业务特性构建云端应用业务架构，具体架构图如下：



油藏管理业务应用架构



注采管理业务应用架构

自 2021 年 09 月 10 日在渤海某油田四个平台应用以来已初见成效，部分效

果如下:

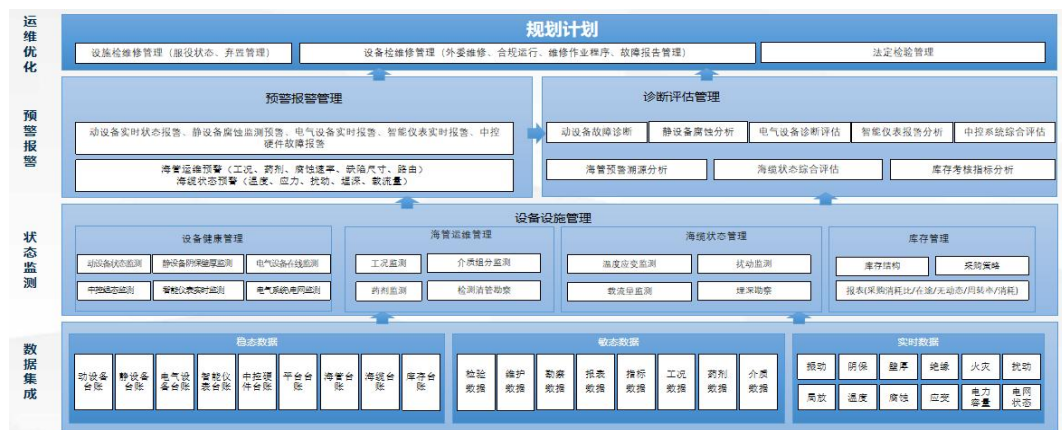
案例 1: 油井动态分析模块推荐 J12H 井具有换大泵提液措施潜力, 预测日增油 62.4 方。J12H 井完成换大泵后启井生产, 通过措施效果跟踪 J12H 井截止目前平均日增油 64.8 方, 累增油 1814 方, 效果良好。

案例 2: I24S1 井注水量不达标, 智能措施推荐酸化, 措施前注入量 3201m³/d, 措施后增注 3704m³/d, 注水量达 6905m³/d, 推荐合理, 措施有效。

案例 3: 电泵故障预测模块产生报警, 信息显示 H30H 井电潜泵电机温度高报 (达到 110℃), 得到报警信息后, 陆地生产操控中心及时与海上生产人员沟通, 通过平台现场调节环空补水量, 电机温度逐渐下降至 87℃, 避免了电机烧毁。

3) 基于工业互联网平台的智能设备管理系统 全面提高设备监测能力

构建设备诊断及预测性维护模型, 基于实时数据实现电气设备、电力系统、中控健康、电网系统、智能仪表等 5 大类设备的运行状态在线监测、智能预警、综合诊断评估、主动推荐维修策略, 建立全生命周期健康管理, 降低设备故障率和维修成本, 提高设备可靠性。针对业务特性构建云端应用业务架构, 具体架构图如下:



设备管理业务应用架构

自 2021 年 10 月 05 日在渤海某油田四个平台应用以来已初见成效, 部分效果如下:

案例 1: 注水泵振动高值报警、工艺参数异常提示, 截至目前 10 余次, 其中一次 2021 年 11 月 9 日 08:56 振动加速度突然升高触发预警, 现场确认 CEPJ 4102G 泵轴承缺陷并及时处理, 避免了更大的设备故障和关停风险。

案例 2: 2022 年 2 月 9 日, CEPI 平台利用中控健康管理系统的报警, ESD003

柜 RLS03 卡件故障（卡件带的是 ESD 和火气的关键设备），及时对其进行更换。

三、下一步实施计划

通过一年的调研和探索，工业互联网平台以安全管理智能化、油藏管理智能化、注采管理智能化、设备设施管理智能化四个重点方向进行产品研发及技术突破。以油气行业高资产、高安全性、高稳定性的特点为基础，遵循中海油智能油田规划总体计划（近期：2020-2025年初步建成智能油田；中期：2026-2035年全面建成智能油田；远期：2036-2050年建设智慧油田）以及新技术的创新和迭代，循序渐进开展工业互联网平台的推进工作，2022年计划在渤海启动11个设施的推广应用工作。

四、项目创新点和实施效果

1. 项目先进性及创新点

1) 项目先进性：

（1）技术方面的先进性

人工智能、边缘计算、大数据等技术与油田业务机理模型的深度融合，为油田业务赋能，凸显技术融合效应，实现 1+1 大于 2。

（2）可复制推广性

针对中国海油不同区域的海上油田，均具备相似的生产业务场景，同时在工业互联网平台建设过程中严格遵守海油生产云应用标准规范，确保建设成果符合海油技术要求，所以在考虑业务符合度与软件技术统一性上，可将建设成果复用至其他海上油田区块。

2) 创新点：

（1）综合应用协议转换设备、研发多协议数据采集服务，以多源异构工业系统数据接入技术简化生产现场数据采集复杂度。

（2）在海上平台搭建边缘微云，容器化部署边缘应用（如：数据甄别、AI 视觉识别、设备健康监测等算法模型），通过边缘计算技术实现现场数据的采集存

储、就地计算，减少对网络传输的压力和云端资源的消耗、满足实时业务的应用需求。

（3）建立统一的智能油田技术平台，通过业务数字化实现业务经验有效沉淀、数据资产逐步积累、算法模型快速迭代，有效提升企业数字化能力。

（4）在石油行业内首次融合应用工业物联网和云计算技术，研究国产自研云边协同软件产品部署应用方法，实现算法模型、应用服务从云端到边端的批量下发、运维管理，以及云端对边端资源的科学调度。

（5）自研开发三维可视化引擎，接入实时数据，实现在三维模型中进行生产现场虚拟巡检、吊装区域风险管理、人员健康安全管理、图纸资料联动查询等功能。

（6）应用数字化、智能化技术赋能传统业务的同时，让数字化转型文化理念深入人心形成数字化转型的动力源泉，将带来业务转变和管理模式变革，促进数字化转型工作稳步推进。

2. 实施效果

（1）推进风险管控最优

基于工业互联网平台，利用 AI 技术实现作业风险隐患识别及预警，机器人代替人工从事危险操作，无人机进行海管、海缆巡检，可实现海上油田现场高效的安全环保管控，大幅降低安全事故率。

（2）推进业务智能敏捷

基于工业互联网平台，应用智能化设备实现作业现场全面监控、智能巡检、远程控制，将大量人工分析转变为自动分析，可实现设备维修成本降低 5%~10%。

（3）推进生产效益提升

本项目的实施将实现综合减员 10%~20%，预计每年可带来 1000~2000 万元的直接效益。

（4）推进数据互连互通

基于工业互联网平台，将各类传感设备、无人机、机器人、PDA、定位手环等设备，通过边缘计算建立支持多协议的实时数据通道，实现海上平台设备与系统间的数据互联、信息互通。