



赛迪研究院工业互联网系列白皮书之五

“工业互联网平台+工业设备上云” 白皮书

编写单位：中国电子信息产业发展研究院

2021 年 10 月

对“工业互联网平台+工业设备上云”的认识

——为什么？是什么？如何干？

当前，全球新一轮科技革命和产业变革深入推进，工业互联网平台作为新一代信息技术与制造业深度融合的产物，正对工业发展产生全方位、深层次、革命性影响，支撑世界各国加快转变发展方式、优化产业结构、转换增长动力。工业互联网平台通过全面连接工业经济工业全要素、全产业链、全价值链，有利于全面构建新型工业生产制造和服务体系，赋能企业数字化、网络化、智能化转型升级。在此过程中，工业设备上云正作为牵引工业互联网平台发展的先导性应用，成为当前工业互联网平台建设的热点领域。

党中央国务院高度重视工业设备上云，从 2017 年至今围绕推动工业设备上云已发布多项政策文件。特别是在 2018 年 7 月工信部发布的《工业互联网平台建设及推广指南》（工信部信软〔2018〕126 号）中，明确提出要“实施工业设备上云‘领跑者’计划”，确定了工业设备上云的四大重点工作领域，即以炼铁高炉、工业锅炉、石化设备为代表的高能耗设备，以柴油发动机、大中型电机、大型空压机为代表的高通用设备，以工程机械、数控机床为代表的高价值设备和以风电、光伏为代表的新能源设备。

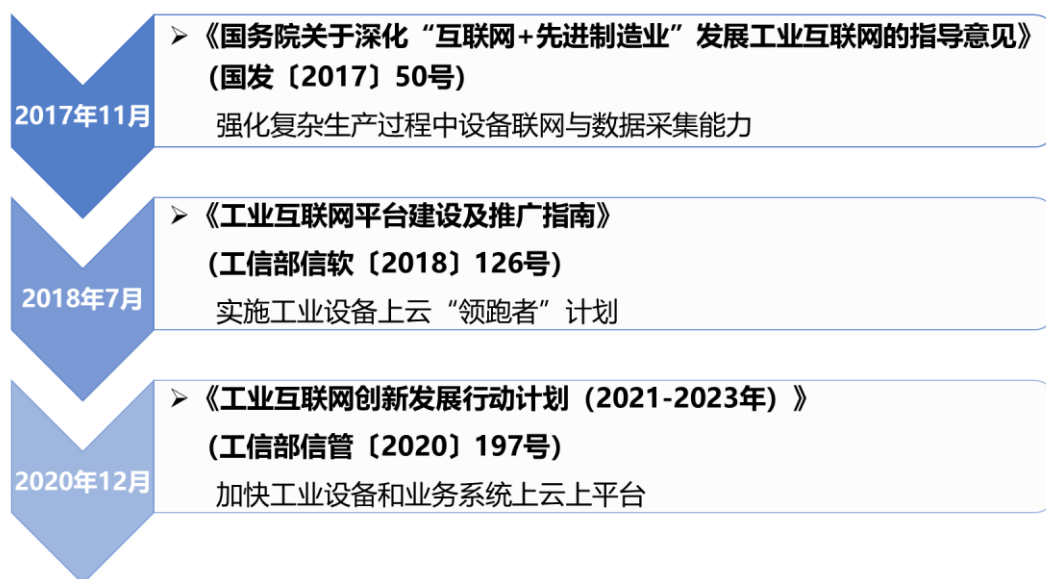


图 关于推动工业设备上云的政策体系

在各级政府部门和各类企业主体的共同努力下，我国工业互联网平台和工业设备上云均取得了阶段性成效。据工信部统计，截至 2021 年 6 月份，国内已涌现出 100 余个重点工业互联网平台，连接设备数已超过 7000 万台，工业设备上云正稳步推进。随着工业互联网平台的普及推广，工业设备上云正逐渐进入实践深耕的阶段。为进一步统一社会共识，凝聚产业力量，共同提高工业设备上云水平，我们编写组成员共同起草了这本《“工业互联网+工业设备上云”白皮书》，旨在尝试阐明工业设备上云的总体定位、上云对象、技术要素、实施路径和趋势展望，增强制造业高质量发展动能。

一、总体定位：工业设备上云是赋能产业生态转型升级的加速器

工业设备是工业企业的主要生产资料之一，广泛分布

在各个车间，负责原材料到成品的各项加工环节，其发展水平是衡量企业核心竞争能力与数字化转型阶段的重要指标。推动工业设备上云，将会进一步丰富工业互联网平台连接的工业要素，深度赋能用户企业、设备供应商、工业互联网平台运营商等多方主体，加速产业生态整体转型升级。

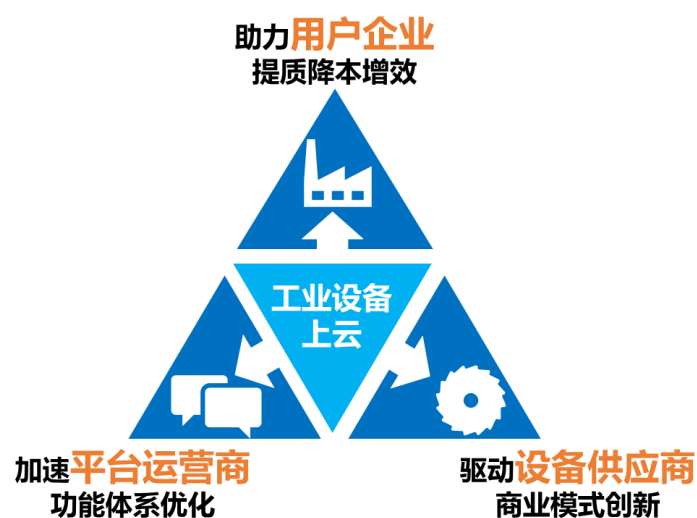


图 工业设备上云赋能产业生态转型升级

（一）对用户企业而言，工业设备上云可助力提质降本增效

目前，我国工业体系中的工业设备仍存在资源浪费、产能闲置、安全隐患等多种痛点问题。据相关行业协会初步测算，全国 50 万台燃煤锅炉煤炭消耗占全国 25%以上，200 万台数控机床设备负载率不足 40%。通过推动这些工业设备上云，并开展运行监测、能效优化等服务，预计可使燃煤锅炉能耗降低 3%，数控机床利用率提升 8%，带来直接经济效益可达数百亿元。由此可见，推动工业设备上云，

可实现工业设备运行状态、运行环境等数据的云端汇聚，形成以数据驱动为特征的业务决策闭环，加速业务流程重组和生产方式优化，助力企业提质降本增效。

（二）对设备供应商而言，工业设备上云可驱动商业模式创新

推动工业设备上云，可以为设备供应商提供设备全生命周期的数据，为供应商变革产品形态和服务模式提供重要数据支撑，驱动商业模式创新。一方面，创新以产品为中心的商业模式。工业设备在实际生产过程中产生的运行参数和维修记录等数据，可基于工业互联网平台反馈至供应商，辅助供应商进行预测性维护和反馈式创新等服务，优化设备运维效率和性能指标，最大化发挥设备的使用价值。另一方面，创新以服务为中心的商业模式。工业设备上云数据可以在设备供应商、用户企业、金融机构等主体间充分流动，加速不同业务之间的互联互通、协作配合，驱动共享制造、设备融资租赁、供应链金融等新型服务模式加速涌现。

（三）对平台运营商而言，工业设备上云可加速功能体系优化

工业设备上云，可以为工业互联网平台运营商提供重要应用场景，在实践中检验技术水平和应用成效，全面加速平台功能体系优化。一方面，完善技术支撑体系。工业

设备上云是一项系统性工程，涉及数据采集、传输、汇聚、分析等多项技术的融合应用。推动工业设备上云，有利于进一步完善设备数据采集体系，突破协议解析、边缘智能等技术短板，巩固工业互联网平台技术支撑体系。另一方面，完善推广应用体系。工业设备上云可以为工业互联网平台提供海量、多元的一手数据，驱动工业技术、经验、技术、原理等工业知识软件化，加速工业机理模型沉淀和优化，培育状态监测、故障预警、远程运维等新型工业APP，提高工业互联网平台解决特定问题的能力。

二、上云对象：高耗能设备、高通用设备、高价值设备、新能源设备

为贯彻落实《工业互联网平台建设及推广指南》（工信部信软〔2018〕126号）中提出的“工业设备上云‘领跑者’计划”，本白皮书重点聚焦高耗能设备、高通用设备、高价值设备和新能源设备这四类具有迫切上云需求、良好上云基础、巨大潜在效益、广阔应用空间的工业设备，探索梳理一套科学合理的工业设备上云解决方案。



图 工业设备上云“领跑者”计划

（一）聚焦高耗能设备，加快实现节能降耗

我国工业体系中的高耗能设备主要包括炼铁高炉、工业锅炉、石化设备等，面临的能耗高、污染高、效率低等痛点问题十分突出。通过推动高耗能设备上云，面向复杂应用环境开发易部署、高可靠、低成本的数据采集系统，基于平台开展设备状态监测、工况改善、故障诊断和远程运维等服务，提高设备能源利用效率、减少污染物排放。

（二）聚焦高通用设备，加快实现精准运维

高通用设备主要指柴油发动机、大中型电机和大型空压机等为企业生产提供动力输出的工业设备，在实际运行中存在能耗高、风险高、运维难等痛点问题。通过推动高通用设备上云，精准采集设备运行参数和环境参数，基于平台开展能效优化、运行监测、故障预警、预测性维护等服务，保障设备安全、可靠、稳定、高效运行。

（三）聚焦高价值设备，加快实现效益提升

高价值设备的类型主要有工程机械、数控机床等单体价值量较高的工业设备，当前主要面临管理维护粗放、产能利用不足、服务模式落后等问题。通过推动高价值设备上云，实现设备与设备、设备与环境、设备与服务之间的互联互通，基于平台开展设备资产管理、健康监测、运营优化、能力交易、安全操作等服务，加速培育网络化协同制造、供应链金融、设备融资租赁等新模式。

（四）聚焦新能源设备，加快实现高效发电

新能源设备主要指风电、光伏等将清洁能源转换为电能的设备，在发电过程中存在弃电率高、消纳难、并网难等问题。通过推动新能源设备上云，全面、实时、准确采集发电设备运行数据和发电场环境数据，基于平台开展设备建模、功率预测、调度优化等服务，提高对风能、太阳能等能源利用效率，优化发电效率和并网效率，降低发电成本。

本白皮书与各行业领先企业共同梳理了“四大类、十小类”重点工业设备上云的痛点问题、应用场景和解决方案服务商，如下表。

表 重点工业设备上云应用场景总览

设备类型	重点设备	痛点问题	应用场景
高耗能设备	炼铁高炉	●设备管理低效 ●环保管理粗放 ●工艺知识高度隐性 ●设备互联水平低	●高炉故障诊断 ●高炉绿色生产 ●生产工艺优化 ●产线协同管控
	工业锅炉	●能效管理粗放 ●燃烧状态不透明 ●安全隐患高 ●水质波动大	●锅炉能效管理 ●锅炉燃烧管控 ●锅炉健康管理 ●水处理优化
	石油化工设备	●设备能耗高 ●安全风险高 ●停机损失大 ●运维难度大	●设备节能降耗 ●设备安全预警 ●设备预测维护 ●设备操作模拟
高通用设备	柴油发动机	●产品研发周期长 ●设备服役工况复杂 ●设备故障率较高	●智能研发 ●在线管理 ●预测性维护

设备类型	重点设备	痛点问题	应用场景
	大中型电机	●设备利用效率低 ●设备维护成本高 ●设备安全风险大 ●设备能耗成本高	●电机设备托管 ●电机状态监测 ●电机故障预警 ●电机智能运维 ●电机能效优化
	大型空压机	●运行监控及时性弱 ●设备能耗管理粗放 ●运营服务效率不高 ●产业协同有待提升	●运维管控 ●设备节能优化 ●后服务市场运维 ●产业链协同
高价值设备	工程机械	●设备故障情况多发 ●施工效率低 ●设备管理体系粗放 ●金融体系不完善	●设备远程运维 ●智慧施工 ●在线管控 ●融资租赁
	数控机床	●设备运维成本较高 ●设备利用效率较低 ●生产管理即时性差 ●设备改造升级困难	●健康管理 ●智能运维 ●刀具管理 ●生产能力共享 ●备件管理
新能源设备	风电设备	●风电数据质量不一 ●设备运维成本高昂 ●风场综合管理困难	●虚拟风场设计 ●设备预测维护 ●风场管理优化
	光伏设备	●设备运维效率低 ●能源利用率不稳定 ●运行监控困难	●全景式监控 ●智能化分析 ●智能运维

可以看到，推动工业设备上云在我国具有广阔的应用空间和市场前景。但同时，我国工业设备上云仍面临巨大挑战，具体包括“一缺三难”的四大拦路虎。一是上云战略思想缺共识。不同企业对工业设备上云的认识不统一，缺乏相应的战略部署和资源投入。二是海量设备数据难采集。工业设备结构复杂、工况多样，受限于传感器精度不高、边缘计算能力不足等因素，全面采集海量设备数据的难度较大。三是多元数据协议难解析。不同品牌、不同类型的工业设备数据格式、数据协议等差异巨大，尚不能实

现大范围的互联互通，制约着数据的规模效应和联动效应。

四是复杂数据分析难处理。工业设备数据类型杂、数量多，相关数据分析处理模型仍不成熟，应用效果有待进一步检验。

三、技术要素：数据+模型+应用

工业设备上云涉及工业设备数据采集、传输、分析和应用等多个环节，可以概括为“数据+模型+应用”三大技术要素。这三大要素协同作用，共同激发企业创新生产方式和管理模式。

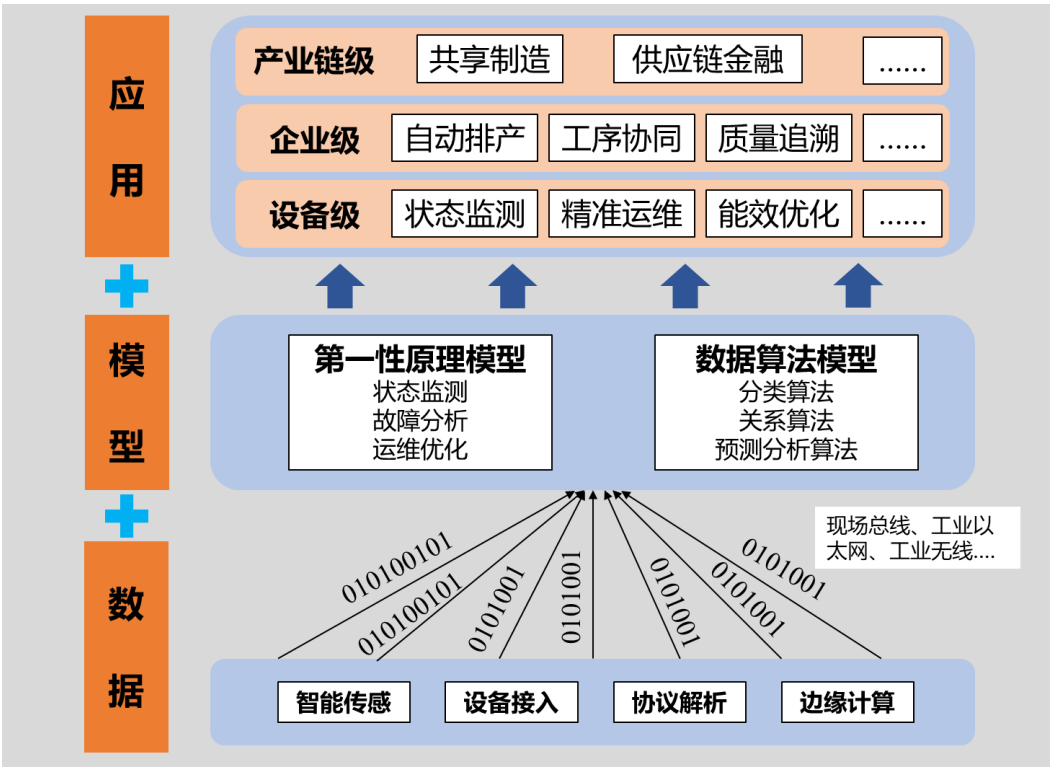


图 工业设备上云三大技术要素

（一）数据：工业设备上云的“血液”

数据是工业设备上云的“血液”，携带有工业设备各类信息，贯穿所有技术层级和实施环节。综合运用智能传感、

设备接入、协议解析、边缘计算等多种技术，精准感知设备运行状况，高效采集设备数据，并通过现场总线、工业以太网、工业无线等将其传输到云端，为进一步的分析处理提供重要数据基础。

（二）模型：工业设备上云的“大脑”

模型是工业设备上云的“大脑”，以采集的设备数据为基础，综合利用第一性原理模型和大数据算法模型，输出指导业务流程优化的决策。深度挖掘海量设备数据之间的因果关系和相关关系，推动工业技术、机理、工艺、经验等工业知识的模块化封装和软件化沉淀，保证设备状态监测、故障预警、智能运维等新型服务的科学性和合理性。

（三）应用：工业设备上云的“四肢”

应用是工业设备上云的“四肢”，切实解决工业设备领域的特定痛点问题，打通解决方案落地的“最后一公里”。基于数据的高效汇聚和模型的科学分析，有效支撑设备级、企业级、产业链级等不同层次的应用场景，实现信息、物料、资金等资源跨部门、跨企业、跨区域的自由流动，重塑价值创造机制，增强企业核心竞争能力。

四、实施路径：基于 PDCA 的工业设备上云方法论

本白皮书基于“PDCA 理论”（计划—执行—检查—处理）提出的工业设备上云实施路径，是一个循环往返、持续迭代、不断优化的过程，单个实施周期主要包括“整体

设计—上云实施—应用部署—评估改进”等四个环节。

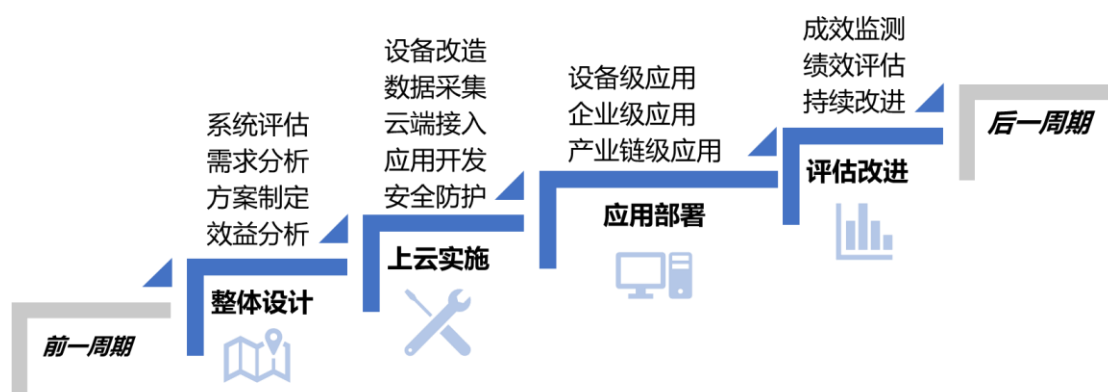


图 工业设备上云方法论

（一）整体设计

在推动工业设备上云之前，要进行整体设计，具体包括系统评估、需求分析、方案制定和效益分析等重点工作，综合判断是否要开展工业设备上云。一是系统评估。对工业设备的痛点问题、上云基础、技术条件、人员素质进行全面的评估，明确设备上云的可行性和必要性。二是需求分析。从问题出发，清晰掌握工业设备在管理优化、高效维护、应用创新等方面对上云的重点需求，如状态实时监测、故障精准预警等。三是方案制定。协调人力、物料、资金、技术等资源要素，制定节奏合理、目标明确的上云实施方案。四是效益分析。面向工业设备上云构建效益评估模型，设立关键指标和评估步骤，准确评估设备上云的经济效益和社会效益。

（二）上云实施

工业设备上云的具体实施过程，主要包括设备改造、数据采集、云端接入、应用开发和安全防护等五项工作。一是设备改造。将合适的智能传感器部署在重点工业设备边缘侧，并接入企业专用网络，实现工业设备各项数据的可感知、可传输。二是数据采集。明确工业设备数据采集的种类、格式和频率等要求，搭建覆盖多源设备、支持多种协议的数据采集体系。三是云端接入。根据工业设备上云对安全性、便捷性等方面的需求，确定使用私用云、公有云和混合云等不同类型的平台载体。四是应用开发。为企业员工提供完备的应用软件培训体系和开发环境，进一步丰富工业设备上云的应用场景。五是安全防护。完善工业设备上云安全排查机制和风险防范措施，有效保障数据端、控制端、网络端和设备端等领域的安全。

（三）应用部署

在具备工业设备上云简单功能的基础上，企业要加大大面向设备、企业、产业链等特定应用场景的解决方案的开发力度，激发工业设备上云发挥更深层次的价值。一是设备级应用。基于单个工业设备上云数据，开发部署包括状态监测、故障诊断、预测预警、远程运维等在内的应用，提高工业设备的产能利用效率和维护效率。二是企业级应用。基于企业内部所有工业设备的上云数据，开发部署自

动排产、工序协同、质量追溯等在内的应用，降低生产成本、提高产品质量、提升经营水平。三是产业链级应用。基于不同企业之间工业设备数据的互联互通，开发部署供应链金融、共享制造等应用，提高产业链的协同性，实现产业链资源的优化配置。

（四）评估改进

在工业设备上云落地应用过程中，要积极开展监测、绩效评估和持续改进等工作，不断优化价值创造机制，塑造企业新型竞争能力。一是成效监测。基于工业设备上云采集的数据，开发各类来源可靠、动态更新的新型工业指数，有效反映重点设备、重点行业、重点区域的运行状况。二是绩效评估。根据整体设计阶段设置的效益评估模型，对工业设备上云的成效进行定期评估，持续挖掘潜在问题，形成待优化改进清单。三是持续改进。针对工业设备上云过程中存在的问题，精准迭代技术方案和运行模式，确保设备上云整体的功能全面和性能领先。

五、趋势展望：工业设备上云生态加速完善

（一）技术架构由中心型向边云协同转变

随着研发、设计、生产、服务等不同工业场景对数据需求的持续上升，以云计算中心为核心的传统云架构越来越难以满足广大工业设备上云的数据处理要求，越来越多的企业开始以边云协同架构支撑业务扩展。边云协同可将

云端智能计算能力快速延伸到设备边缘，满足工业场景的海量、实时、安全等数据处理需要。

（二）核心引擎由单模型向混合模型转变

在传统设备上云场景中，管理者熟练掌握工业设备的运行规律、故障特征等，能够以机理模型为核心对采集到的数据进行处理分析，支撑开展上云应用服务。随着工业数据分析精度要求的日益提升，对于部分复杂度高、关联度广的场景已难以建立明晰可用的机理模型。通过“机理模型+模型算法”的融合方式，有利于绕过内部机理建立初始参数与结果的内在映射，加快解决复杂工业场景的数据分析问题，创新开展工业设备上云服务。

（三）应用类型由管理型向多元创新转变

数据作为新型生产要素，是构建企业决策闭环的重要原料，对技术、管理等其他要素具有鲜明的引领和带动作用。随着数据采集精度和广度的持续提升，企业持续完善已有机理模型，创新开展基于工业设备数据的上云应用，有利于推动服务从远程管控、预测式维护等设备管理型应用向产业链金融、共享制造等新模式新业态转换，加速制造企业服务化延伸，打造企业发展新动能。

（四）安全体系由软件型向内部原生转变

近年来，随着传统工业设备上云规模持续扩大，网络爆破、隐私泄露、黑客勒索等工业信息安全事件时有发生。

数据安全成为影响企业上云积极性的重要因素。云原生安全应用能够内嵌在云平台中，解决传统安全软件与用户云计算环境割裂的痛点，在开发流程早期尽早开展云上安全防护，通过自动化手段促进微服务的深化应用，加强企业的数据监控和问题响应能力，提升企业整体安全水平。

本白皮书的编制受到了社会各界的广泛关注和大力支持，在此对 5 家部属事业单位和 42 家重点企业的配合表示特别感谢。由于时间有限，本白皮书仍有很多不足，请各位读者批评指正。

白皮书编委会：（排名不分先后）

中国电子信息产业发展研究院：姚磊、袁晓庆、宋颖昌、张朝、孙刚、牟华伟、李奕晨

中国信息通信研究院：赵紫东

国家工业信息安全发展研究中心：王庆瑜、江鸿震、袁兵

中国电子技术标准化研究院：贾超、安成

北京赛宝工业技术研究院有限公司：谢宽、王单、赵盛轩

中国工业互联网研究院：张皓翔、曹浩、李威

海尔卡奥斯物联生态科技有限公司：盛国军、吴秀璞、曲贵超

走向智能研究院：赵敏

北京智冶互联科技有限公司：赵宏博、李永杰、续飞飞

宝武装备智能科技有限公司：张君、庄继勇、王立辉、励军、王建宇、朱献忠、程本俊

上海宝信软件股份有限公司：王建新、冯华堂、吴毅平

鞍钢集团有限公司：张红军、赵庆涛、赵伟、王兴

和利时科技集团有限公司：李昱、李佳、钱华

北京东方国信科技股份有限公司：李航、常志刚、王昆

湖北三宁化工股份有限公司：杨文华、周鹏、薛家兵

上海锅炉厂有限公司：胡曦、孟洁扬、焦龙洋

中国石油化工股份有限公司镇海炼化分公司：金登峰、陈彬、周群

恒力石化（大连）炼化有限公司：余斌、熊雪立、路毅

山东京博石油化工有限公司：王耀伟、吴家安、付增洋

潍柴动力股份有限公司：孙希科、李红雨、傅永康

北京福田康明斯发动机有限公司：龚世华、李晋、毛易飞

上海电机系统节能工程技术研究中心有限公司：姚鹏、王辉、张帆

上海电科电机科技有限公司：周洪发、李光耀、王建辉

山东产研智能电机研究院有限公司：高玲、董松、文玉民

苏文电能科技股份有限公司：张金龙、徐茜亮、刘骏涛

树根互联股份有限公司：高远志、韩玉春

蘑菇物联技术（深圳）有限公司：沈国辉、李铭文、周爽

中国南方电网有限责任公司：章荣兵、汪振

中国船舶重工集团海装风电股份有限公司：黄卫民、王叶、张方红

上海电气风电集团：蒋勇、王权、申文

北京金风慧能技术有限公司：马辉、马华平、陈广耀

昆仑智汇数据科技（北京）有限公司：刘少波、蒋伟、马国

国网新能源云技术有限公司：谢祥颖、秦玉臣、葛乐矣

苏州腾晖光伏技术有限公司： 钱洪强、宁洪斌
深圳益邦阳光有限公司： 孟祥梯、万留美
江苏徐工信息技术股份有限公司： 唐波、李继斌、王焕、黄凯
中联重科股份有限公司： 周志忠、程楠、宦瑞坤
浙江陀曼精密机械有限公司： 俞朝、赵传武、王军
美林数据技术股份有限公司： 王璐、白朝旭
北京兰光创新科技有限公司： 朱铎先、杜辉
沈阳机床(集团)有限责任公司： 郭崇宇、李洪亮
东华软件股份公司： 印耿、李建永、史英
中国大唐集团新能源科学技术研究院有限公司： 吴春、冯强、王丽杰
中能融合智慧科技有限公司： 张喜平、刘金鑫、赵泽锦
中国电信集团有限公司： 冯炜、张东、李凯、陈国润、高志峰、杨丹、黎原甫
太极计算机股份有限公司： 刘刚、梁雄伟、曹哲铭
江苏奥立信数字科技有限公司： 焦提兵、吴凯、刘羿
远景能源有限公司： 唐亮、陈新波、王心祥、吕俊杰

目 录

一、炼铁高炉上云解决方案	1
(一) 痛点问题	1
1.设备管理低效	1
2.环保管理粗放	1
3.工艺知识高度隐性	1
4.设备互联水平低	1
(二) 应用场景	2
1.高炉故障诊断	2
2.高炉绿色生产	3
3.生产工艺优化	3
4.产线协同管控	4
(三) 推广前景	5
二、工业锅炉上云解决方案	6
(一) 痛点问题	6
1.能效管理粗放	6
2.燃烧状态不透明	6
3.安全隐患高	6
4.水质波动大	7
(二) 应用场景	7
1.锅炉能效管理	7

2.锅炉燃烧管控	8
3.锅炉健康管理	9
4.水处理优化	10
(三) 推广前景	11
三、石油化工设备上云解决方案	13
(一) 痛点问题	13
1.设备能耗高	13
2.安全风险高	13
3.停机损失大	13
4.运维难度大	14
(二) 应用场景	14
1.设备节能降耗	14
2.设备安全预警	15
3.设备预测维护	16
4.设备操作模拟	17
(三) 推广前景	18
四、柴油发动机上云解决方案	19
(一) 痛点问题	19
1.产品研发周期长	19
2.设备服役工况复杂	19
3.设备故障率较高	19
(二) 应用场景	20

1.智能研发	20
2.在线管理	20
3.预测性维护	21
(三) 推广前景	22
五、大中型电机上云解决方案	23
(一) 痛点问题	23
1.设备利用效率低	23
2.设备维护成本高	23
3.设备安全风险大	23
4.设备能耗成本高	24
(二) 应用场景	24
1.电机设备托管	24
2.电机状态监测	25
3.电机故障预警	26
4.电机智能运维	26
5.电机能效优化	27
(三) 推广前景	27
六、大型空压机上云解决方案	28
(一) 痛点问题	28
1.运行监控及时性弱	28
2.设备能耗管理粗放	28
3.运营服务效率不高	28

4.产业协同有待提升	29
(二) 应用场景	29
1.运维管控	29
2.设备节能优化	30
3.后服务市场运维	30
4.产业链协同	31
(三) 推广前景	31
七、工程机械上云解决方案	33
(一) 痛点问题	33
1.设备故障情况多发	33
2.施工效率低	33
3.设备管理体系粗放	33
4.金融体系不完善	34
(二) 应用场景	34
1.设备远程运维	34
2.智慧施工	35
3.在线管控	35
4.融资租赁	36
(三) 推广前景	37
八、数控机床上云解决方案	38
(一) 痛点问题	38
1.设备运维成本较高	38

2.设备利用效率较低	38
3.生产管理即时性差	39
4.设备改造升级困难	39
(二) 应用场景	39
1.健康管理	39
2.智能运维	40
3.刀具管理	40
4.生产能力共享	41
5.备件管理	41
(三) 推广前景	42
九、风电设备上云解决方案	43
(一) 痛点问题	43
1.风电数据质量不一	43
2.设备运维成本高昂	43
3.风场综合管理困难	43
(二) 应用场景	44
1.虚拟风场设计	44
2.设备预测维护	44
3.风场管理优化	45
(三) 推广前景	45
十、光伏设备上云解决方案	47
(一) 痛点问题	47

1.设备运维效率低	47
2.能源利用率不稳定	47
3.运行监控困难	47
(二) 应用场景	47
1.全景式监控	48
2.智能化分析	48
3.智能运维	49
(三) 推广前景	49

一、炼铁高炉上云解决方案

（一）痛点问题

1.设备管理低效

钢铁企业通常部署炼铁高炉等众多高价值设备，数字化水平普遍较低，亟需增强自感知、自分析和自决策等功能。传统的高炉管理主要采取事后维护或定期维护，难以实时监测高炉等设备的温度、压力、流量等各种工况数据并准确识别设备故障，容易造成产线停滞和生产安全等重大问题。

2.环保管理粗放

钢铁行业是高耗能、高污染、高排放的代表性行业，在国家大力治理环境污染背景下，面临着环保成本急剧上升的压力。在传统模式下，企业采集、监测的炼铁产线设备能耗和排污情况，难以精准确定重点问题环节，清洁发展水平不高。

3.工艺知识高度隐性

钢铁行业是典型的长流程行业，生产环节众多，工艺复杂，对工艺知识、经验的依赖程度很高。钢铁企业冶炼工艺、冶炼配方等决策只能依靠隐性生产经验，容易造成工人操作水平参差不齐和产品质量波动，对生产效率具有重要影响。

4.设备互联水平低

钢铁企业内部、上下游企业之间设备信息孤岛问题严重，互联互通水平较差，容易造成上下游企业间的信息盲区，使钢铁企业很难做出科学高效的采销决策，难以减少库存、提高产能利用率。

（二）应用场景

1.高炉故障诊断

推动炼铁高炉上云，可实时采集高炉等高价值设备的运行数据，结合设备故障诊断模型，自动预警设备故障并确定最优设备维护方案，实现设备健康管理。**一是设备状态监测。**实时采集高炉设备工作温度、应力分布和工作环境等状态数据，并做可视化处理，增强设备状态监测的实时性和可靠性。**二是设备故障预警。**综合利用采集的高炉设备状态数据，结合炼铁高炉故障诊断模型，对设备故障进行分析和预警，避免发生高炉烧穿、高炉爆炸等生产事故。**三是炼铁设备维护仿真。**精准确定设备故障位置和重要性，在赛博空间中仿真模拟维护方案，提高设备维护效率。

例如，宝武集团面向钢铁行业设备远程运维建立了工业互联网平台，推动炼铁高炉等设备上云上平台，促进了设备维修实现从被动处理到主动管控、从单一数据专项分析到大数据综合分析、从基于经验的预防性维修到基于数据的预测性维修、从单纯反馈设备状态到提供整体解决方

案的四个转变，为企业带来了显著经济效益，使设备运维成本降低 5%以上、检修作业效率提升 10%以上、设备整体效率提升 5%以上、备件使用效率提升 10%，并每年为企业带来基于平台增加的社会市场技术服务费 2000 万元以上。

2.高炉绿色生产

推动炼铁高炉上云，可以实时监测能耗和排污情况，提高环保管理的精准性和科学性，实现清洁低碳的绿色化生产。**一是节能降耗。**采集高炉等炼铁产线设备能源消耗类型、速度、时间等数据，基于高炉能效优化模型，精准优化设备能源供给，降低能耗成本。**二是治污减排。**动态采集炼铁高炉排放的废水、废气的总量、成分、时间等数据，结合各环节化学反应模型，深入分析问题环节，综合确定工艺优化和设备升级方案，减少对生态环境的污染和破坏。

3.生产工艺优化

推动炼铁高炉上云，可实时采集高炉工况数据，与工业互联网平台中的工业机理模型进行对接，优化生产决策，实现智能化生产。**一是生产工艺优化。**基于高炉状态、物料、产出等经验数据优化炼铁工艺模型，依托炼铁高炉实时数据，动态优化原料配比、装料制度等生产决策，优化生产工艺方案。**二是生产过程管控。**采集炼铁过程中的物料检化验数据、操作工艺数据、运行状态等数据，结合过

程管控模型，实时优化生产过程，自主决策并控制高炉运行参数。**三是产品质量管控。**利用机器视觉等技术，结合质量检测、质量管理等模型，对采集到的产品全过程质量数据进行深入分析，实现全流程产品质量跟踪及自动控制。

例如，鞍钢股份积极推动炼铁高炉上云，通过引进业内先进技术，运用数字测温、三维激光雷达、热成像等技术对高炉炉缸、冷却壁及炉内等关键部位的数据进行实时在线监测，根据各高炉的设计、生产和操作特点，从热力学、炼铁学、冶金物理化学等机理层面开发高炉数字模型，实现高炉的高效稳定生产，建立了合理的管理标准，有效控制煤气流分布，减少异常工况情况，提高煤气利用率，降低炼铁成本 3 元/吨，目前已完成两座高炉的改造，正在逐步推广。

4.产线协同管控

推动炼铁高炉上云，可实现全产业链中高炉设备的互联互通，汇聚产业链上下游信息，结合上游物料供给和下游需求情况，依据高炉生产状态，制定科学的物料采购与生产计划，在一定计划原料库存的情况，实现采购、生产与销售的协同，降低产线整体生产成本。**一是产业链物料流通协同。**采集炼铁高炉原材料消耗和铁水产出数据，结合智能排产模型自动生成生产计划，实现企业物料动态平衡。**二是社会范围生产能力协同。**基于炼铁高炉上云推动

全产业链高炉运行数据集成共享，结合产订单共享、产能平衡等机理模型，动态匹配产品性能要求和钢厂的生产工艺水平，提高炼铁高炉设备利用率。

（三）推广前景

当前，我国钢铁行业有 1000 余座炼铁高炉，仅有 30% 的高炉已接入云平台，能耗水平较高，环保压力日益增大，上云推广市场空间巨大。据工信部节能与综合利用司统计，2020 年我国钢铁行业能源消耗占全社会能源消耗总量超过 13%，是迫切需要实现绿色低碳发展的重点行业。推动炼铁高炉上云，可实时采集设备工况数据，结合大数据、人工智能等新兴技术，开展高炉设备状态检测、故障预警、远程运维等智能服务，改善能耗水平和绿色生产水平。预计到 2025 年，炼铁高炉上云普及率将超过 45%，使设备平均能耗降低 2%，CO₂排放量减少 1 千万吨以上。

二、工业锅炉上云解决方案

（一）痛点问题

1.能效管理粗放

工业锅炉是工业生产中必不可少的热力能转换设备，也是典型的高耗能设备。我国工业锅炉的效率低下，实际运行热效率往往低于理想热效率，比国外先进水平低15%~20%，造成每年多消耗的煤炭约为两亿吨。中国经济网数据显示，我国燃煤锅炉占全国工业锅炉总量的80%以上，烟尘排放约占全国排放总量的44.8%，二氧化碳排放量约占全国排放总量的10%，二氧化硫排放量占全国排放总量的36.7%。如，10t/h以下燃煤工业锅炉大多没有配置有效除尘装置，基本没有脱硫脱硝设施，排放超标严重，偷排现象突出。

2.燃烧状态不透明

煤粉燃烧过程工艺复杂，控制参量多，自动化控制技术复杂，实际操作以人工操作为主，大多数煤粉工业锅炉尚未实现煤粉储供、煤粉仓安全保护、炉膛安全检测、负荷调节、在线吹灰控制的有机集成以及全自动运行。监控系统功能基本上处于本地集中运行监控，运行监控和生产管理之间及时通信网络尚未连通，生产管理系统无法及时了解热源厂实际生产情况。

3.安全隐患高

工业锅炉是一种特种专业化设施设备，但是因为专业技术人员匮乏，缺乏对其性能与参数的专业性诊断，局部问题的存在很容易引发重大安全隐患。企业大多按照时间制定工业锅炉检修计划，而非按照工业锅炉的运行状态制定锅炉检修计划，这就直接加大了工业锅炉出现故障的几率，大大降低了可用性。

4.水质波动大

工业锅炉采用的天然水中由于含有镁、钙、氯等离子以及溶解氧，天然水进入锅炉中在高温、高压条件下发生化学反应，导致锅炉产生结垢、腐蚀以及汽水共腾等现象严重影响了锅炉的导热效率，增加了燃料的消耗，影响锅炉的水循环，甚至导致爆炸事故的发生，严重影响了锅炉的安全稳定运行。经中国科学院专家验证，当水垢厚度达到 3.0mm 时，锅炉燃料消耗增加 20%以上，我国工业锅炉大约有七十多万台，每年造成相当巨大的资源浪费。当前，我国锅炉水质合格率比较低，锅炉内受热结垢现象比较普遍，每年因水处理问题造成的锅炉事故数量正在逐年增加。

（二）应用场景

1.锅炉能效管理

工业锅炉的能效管理是企业成本控制的重要方面，利用云平台的工业机理模型和人工智能算法，对锅炉能耗的智能管理与优化，可有效降低企业成本。一是能效数据的

采集。实时采集排烟温度、炉膛出口氧量、燃烧器喷口风速、燃尽风挡板开度等影响锅炉热效率和氮氧化物排放量的关键数据。**二是锅炉能效分析模型的构建。**基于工业锅炉设备结构和热平衡模型，结合大数据算法和人工智能技术，构建工业锅炉能效分析模型，分析影响锅炉节能运行的排烟损失、不完全燃烧损失、散热损失、燃料与给水等关键因素，动态分析锅炉能耗水平。**三是“感知—管控—再感知—再管控”的良性循环。**一旦系统判断某锅炉处于高耗能运行状态，便会自动发送报警信号，并直观准确地显示造成该状态的关键因素，管理人员可以及时调整优化节能方案，实现“感知—管控—再感知—再管控”的良性循环。

2.锅炉燃烧管控

锅炉燃烧管控对锅炉机组低负荷安全运行至关重要。影响锅炉燃烧效率的因素很多，包括风粉配合、一二次风配比、送引风配合、炉膛温度等，如何将它们进行综合调整和优化，达到最佳配比，是锅炉燃烧管控需要解决的问题。**一是对制粉系统和燃烧系统的数据采集。**制粉系统的状态数据包括磨煤机出口压力、电流、料位、燃烧器风粉温度等；制粉系统的动作数据包括给煤机的给煤量，磨煤机冷热风、旁路风等阀门的开度大小，一次风机动叶调节阀位大小等。燃烧系统的状态数据包括主、再热蒸汽温度、压力，减温水流量，炉膛负压，锅炉氧量，排烟温度，排

烟含氧量，锅炉效率，NO_x 含量等信息；燃烧系统的动作数据包括给水温度、流量，减温水流量，再热烟气挡板阀位，送、引风机执行器阀位，二次风执行器阀位等。二是**锅炉炉内燃烧模型的构建**。基于传统热力学过程和化学反应等机理，结合大数据算法和人工智能技术，构建锅炉炉内燃烧模型。三是**锅炉炉内燃烧模型的训练**。使用历史数据训练基于深度神经网络的锅炉燃烧模拟器，再进行深度学习，评价当前工况，既能模拟真实的燃烧过程，也可以用其探索燃烧控制优化问题中的状态及动作空间，弥补真实历史数据的不足，最终得到当前工况的锅炉优化控制方案，实现锅炉内着火迅速、燃烧完全，减少锅炉各项热损失，提高锅炉效率。

3.锅炉健康管理

工业锅炉在长期运行中，其性能和健康状态不可避免的下降，如果不能及时发现其退化或异常，轻则造成设备失效或故障，重则造成财产损失和人员伤亡甚至环境破坏。一是**锅炉安全预警**。采集工业锅炉的温度、压力、液位等关键安全数据，并结合检修数据，对工业锅炉运行状态进行实时动态监测。结合锅炉安全预警模型，一旦判定锅炉安全异常，立即以电话、短信等形式向锅炉管理员发出警示，指导处置。二是**预测性维护**。采集实时的锅炉工况、历史维修记录、锅炉维护的先验知识等数据，利用人工智

能技术，结合物理退化模型和经验退化模型，构建锅炉寿命预测和维修决策的预测性维护模型，及时检测到设备异常并预测设备剩余使用寿命，设计合理的最优维修方案，降低维修成本，减少停机时间。三是在线测量预警及调整。通过新增可靠性强、准确度高的测量设备，监测原有锅炉未监测的腐蚀相关数据，比如 H_2S 浓度、 HCl 浓度等。将测量结果与燃烧机理结合，实时提供优化调整建议；并建立测量结果与腐蚀速率之间的模型，对易腐蚀位置进行寿命预测及预警。

例如，上海锅炉厂通过对锅炉四管进行详细分段，从壁厚磨损、高温蠕变、氧化皮、应力裂纹等四个维度进行了精确到锅炉各管段的寿命模型，依托实际运行数据进行寿命预测，通过历史检修数据修正预测模型，目前锅炉关键受热面各管的寿命预测准确率能到 85% 以上。

4. 水处理优化

高效除垢是提高锅炉传热效率、维护锅炉安全运行的一项重要工作。水垢降低了锅炉受热面的传热效率，使锅炉受热面温度升高，当超过金属所能承受的温度时，金属锅筒、管壁等受热面会发生鼓包、穿孔和破裂等事故，严重影响锅炉安全运行，降低了锅炉的使用寿命。一是实时监测水质。利用水质在线监测仪表等智能传感器，实时采集锅炉水的溶解氧、PH 值、磷酸根、电导率、硅等参数，

并上传到工业互联网平台上。二是水质分析和决策。利用水处理控制模型，对水质参数和水量进行智能分析，自动生成水质优化处理方案。三是智能加药。输出水质优化处理信号到锅炉的上位机系统和 PLC 系统，实时智能调节化学药剂的添加浓度和剂量，达到最佳水处理效果。

例如，东方希望包头铝业对 155MW 机组锅炉汽水加药系统进行了智能化改造，将锅炉实际运行数据上传到云端，化学值班员在云端远程设定每台锅炉给水 PH 值，使给水 PH 值稳定在 9.2 ± 0.1 范围内，实现了汽水指标的精准控制。同时，原来 8 人四班三倒的工作模式，现在只需要 1 名化学值班员夜间监测 4 次运行参数，大幅提升了劳动效率。

（三）推广前景

我国是全球工业锅炉生产应用数量最大、应用范围最广泛的国家，规模以上锅炉生产企业有千余家，根据国家统计局数据显示，2021 年 1-2 月全国工业锅炉产量为 54884.4 蒸发量吨，同比增长 59%。我国工业锅炉容量小、数量大、布点散、能耗高，各生产厂家、检验机构和监管部门对自己的锅炉设备无法做到集中管理和控制，使得设备使用运行状态不明，产品维护成本高，发生故障定位维修时间长，产品升级换代缓慢。推动工业锅炉设备上云，可实时采集设备工况数据，结合大数据、人工智能等新兴技术，开展锅炉能效管理、锅炉燃烧管控、锅炉健康管理

等智能服务，实现设备集中管理控制，改善能耗水平和绿色生产水平，因而工业锅炉上云的市场推广空间巨大。2020 年 5 月，国家市场监督管理总局（国家标准化管理委员会）发布《工业锅炉能效限定值及能效等级》（GB24500-2020），并将于 2021 年 6 月 1 日起正式实施，这将加速推动工业锅炉上云改造的步伐。预计到 2025 年，上云工业锅炉将有望超过 50%，工业锅炉上云改造的市场空间将持续扩大。

三、石油化工设备上云解决方案

(一) 痛点问题

1.设备能耗高

石油化工是高耗能的产业，其能耗量在我国行业能耗中排于第五位，位列金属冶炼、建材、化工和电力之后。石化企业中工艺设备是生产加工的主体，设备能耗是全厂能耗最重要的组成部分，大型炼厂的全厂能耗组成中，85%-90%为设备能耗，因此对主要耗能装置以进行有效的能耗管理是石化企业节能减排的重点。在传统模式下，企业难以实时采集、监测、分析设备能耗情况，不能精准确定重点问题环节。

2.安全风险高

石化行业的生产设备具有危险性，一旦设备在运行的过程中出现异常高温、高压、设备腐蚀泄漏的情况，会引发火灾或者爆炸事故，造成人员伤亡。传统的设备管理方式为定期检查和定期维护，企业连续生产期间很难及时了解设备内部情况，并准确识别设备故障，造成安全生产的重大隐患。

3.停机损失大

石油化工属于流程行业，一旦某一设备发生设备故障而非计划临时停机检修，将造成整个生产装置的全面停产（或大幅度减产），企业的经济效益损失十分严重。通常，

一次较大的设备事故（例如压缩机组转子损坏）的直接经济损失大约为百万元以上，间接经济损失（装置产值损失及开、停车放空损失）大约为数千万元。

4.运维难度大

石化大机组等动设备价值高，而且零部件多、结构复杂、故障形式多样，运维难度较大。传统的以设备或测点为对象的监测技术，单一的参数指标不能全面体现设备故障特征，导致设备出现异常不能快速定位。同时，由于石化设备复杂，对维修人员的技术和经验要求高，缺乏经验的维修人员对机组检修难以一次合格，存在二次检修现象。

（二）应用场景

1.设备节能降耗

石油化工是高耗能的产业，对石油化工设备进行有效的能耗管理是石化企业节能的重点。一是**关键耗能设备的数据采集**。针对加热炉、压缩机、泵等关键耗能设备，采集排烟温度、热负荷、燃料类型、热效率、燃料流量、折标系数、空气过剩系数、压缩机的流量、出入口温度、出入口压力、轴功率、扬程、输送液体密度等能耗数据。二是**节能降耗的模型构建与耗能分析**。利用大数据和人工智能技术，结合工业机理和专家知识，构建石化设备能耗模型，分析耗能的关键因素，找出能耗最低的工艺参数来指导实际设备生产，提高关键耗能设备的维护精度。

例如，恒逸石化推动石化设备上云，通过对恒逸石化历年锅炉燃烧数据进行深度学习，推算出最优的锅炉燃烧参数，实现了燃煤发电效率提升 2.6%，在节煤方面增加了数千万元收入。

2.设备安全预警

设备隐患与故障轻则影响生产，重则容易引发安全事故。实现设备故障风险评估，合理安排处置优先级和措施至关重要。一是**设备关键安全参数的数据采集**。利用传感器等智能终端，实时采集石化设备运行过程中的工艺参数、维修记录以及振动等数据，在云端总结提取设备生产过程中的各种风险因素。二是**设备安全预警模型的构建与训练**。基于石化设备运行机理、行业标准、结合设备管理领域的专家知识和实践经验，应用工业大数据算法和人工智能技术，构建重点设备运行、工艺报警、现场报警、作业安全、隐患管理、工艺平稳率等一级、二级设备安全预警模型，并通过对设备历史数据的挖掘、自学习、训练识别设备的健康安全边界，实现对设备健康实时计算分析、故障预警与自动诊断。三是**设备安全预警与优化**。基于上云石化设备的实时运行数据和设备安全预警模型，实时分析设备关键零部件的健康情况，一旦出现设备运行异常和安全风险，提前安全预警，并给出降低设备安全风险的优化方案，指导管理人员操作。

例如，大连恒力石化基于工业互联云平台对 PTA 装置压缩机组、高危泵等重要设备进行智能监测，通过实时采集设备的振动与关联的工艺数据、边缘计算，构建设备机理与自学习模型，实现对设备健康实时计算分析、故障预警、自动诊断，设备安全预警准确率 95%以上，有效确保设备安全。

山东京博石化基于 supOS 工业操作系统建立了包括事故事件管理、隐患管理、工艺平稳率、重点设备运行、工艺报警、现场报警、作业安全和安全领导力等 8 个一级指标和 30 个二级指标。根据不同的风险权重，从公司和车间两个维度为每个指标赋予不同的扣分系数，经复杂的计算提炼，从而形成可视化、可对比、可执行、可预警的设备的故障风险评估体系。安全指标从上线之初的负 1500 多，提升并稳定在目前的正 70 以上；逾期未处理隐患从上线之初的 140 个左右，下降并稳定在目前的个位数。隐患平均处理时间从上线之初的 4.6 天，降低至目前的 3.8 天。

3.设备预测维护

推动石化设备上云，可实现石化设备全生命周期的故障预测和主动维护，降低设备非计划停机的损失。**一是设备全生命周期的数据采集。**采集石化设备全生命周期的历史故障、故障数据模型、维修记录设备振动与关联工艺实时数据，以及设备部件结构、参数、功能、机理等数据。

二是设备预测性维护模型的构建。基于设备机理、行业标准、专家知识，应用人工智能、自学习机制并结合知识图谱技术，构建石化设备预测性维护模型。三是设备故障预测和主动维护。基于上云石化设备的实时运行数据和设备预测性维护模型，对设备健康实时计算分析、预测石化设备关键零部件健康变迁与劣化趋势，预判零部件的损坏时间和剩余使用寿命，实现主动、及时、提前地开展设备维护服务，避免抢修与过度维修，减少非计划停机。

例如，镇海炼化开展云上泵群监测，对 52 套装置 1700 余台高危泵远程实时状态监测及诊断，及时发现泵群设备故障信息，2019 年主动分析异常 107 起，建议拆检 40 多起，经检修验证与诊断结论相符，确保装置安全、稳定、长周期运行。

大连恒力石化工业互联网设备智能化平台对动设备开展实时、智能化健康计算分析，实现数据采集、边缘计算、数据传输、健康计算、故障预警、自动诊断、专家协同、维护指导服务闭环智能化运行，关键部件故障预警与自动诊断准确率 95%以上，有效支撑企业预测维护体系的建设。

4.设备操作模拟

石化设备结构复杂，运维难度大，对维修人员的技术和经验要求高。一是设备运维模拟。在云端构建石化设备数字模型，结合可视化技术，开展模拟的石化设备的机组

拆装、机组试车、应急处置等设备运维培训，提高人员的设备运维技能，保证机组检修一次合格。二是设备操作路径优化。基于石化设备数字孪生体，在实际炼化生产前，对工艺配方、工艺流程等全方位模拟仿真，优化石化装置的操作参数，优化石化装置的操作路径，得出最优的炼化生产方案。

中石油云南石化在实际开工前，在云端对开工原油的炼化工艺流程进行模拟分析，明确炼化设备的各项操作参数，从而指导生产操作，实现了常减压装置 1 次开车成功，制氢联合装置核心设备投产 1 次成功。

（三）推广前景

当前，我国石化行业能耗水平较高，环保压力日益增大，市场推广空间巨大。推动石油化工设备上云，可实时采集设备工况数据，结合大数据、人工智能等新兴技术，开展设备状态检测、安全预警、预测性维护等智能服务，改善能耗水平和绿色生产水平。预计到 2025 年，上云石化设备将超过 90%，并使设备平均能耗降低 30%，甲烷排放量减少 20%以上。

四、柴油发动机上云解决方案

（一）痛点问题

1.产品研发周期长

我国柴油发动机发展时间相对于国外较短，长时间处于逆向开发阶段，技术积累不足，高端产品较为短缺。其次，钢材类型、零件处理方式、生产工艺的不同都会影响发动机动力性能、可靠性和安全性，还需要兼顾油耗和排放指标，导致产品研发难度大。此外，任何一款新机型的开发上市，还要经历漫长而又严谨的试验，积累大量数据支撑发动机的参数标定，整体研发周期长。

2.设备服役工况复杂

柴油发动机作为中间件，广泛配套在其他产品中，是汽车、农业机械、工程机械、船舶、内燃机车、地质和石油钻机、军用设备、通用设备、移动和备用电站装备等的主要配套动力。面对复杂多变的工作环境和功率要求，目前柴油发动机的型号种类难以适应各种工况下的专业化需求，造成不必要的能耗浪费，降低能量转化效率。

3.设备故障率较高

柴油发动机是高精度动力设备，每个工作循环都经历进气、压缩、做功、排气四个冲程，受到燃油质量、操作、环境、负荷等因素的影响，会导致很多不必要的故障出现。柴油发动机的故障种类很多，如起动困难、运转异常、运

转的功率不正常、转速异常、振动强烈等，其故障诊断主要依赖相关技术人员的经验和现场检测，费时费力。

（二）应用场景

1.智能研发

推动柴油发动机上云，基于产品全生命周期数据采集，能够汇聚优势资源，优化产品研发流程，促进柴油发动机产品迈向高端化。一是**数据贯通**。基于工业互联网平台，通过边缘感知，实现柴油发动机运行数据实时采集分析，为产品全生命周期管理提供数据支撑。二是**设计仿真**。基于柴油机设备上云的海量数据基础，构建柴油发动机仿真模型或数字孪生体，通过参数设置、模拟实验不断优化设计，缩短研发周期。三是**协同研发**。基于工业互联网平台构建柴油发动机研发云生态，促进全球范围内顶级柴油发动机制造商、高端研发人才、优质企业用户等力量共同攻克难关。

例如，潍柴动力搭建起了全球协同研发平台，通过开发工具、知识、数据信息的云端共享，实现六国十二地协同研发。北京福田康明斯通过柴油发动机上云，减少产品设计和改进的数据收集时间 95%，提高产品研发效率。

2.在线管理

推动柴油发动机上云，实时采集发动机运行参数，经过可视化处理，推送到电脑终端或者移动终端，可以帮助

用户实时掌握发动机健康水平，实现远程运维。一是**设备连接**。通过接入柴油发动机本身系统或者安装传感器的方式，推动不同区域、型号、工况的柴油发动机实现泛在互联。二是**可视化展示**。基于新一代信息技术，对柴油发动机数据信息做可视化处理，通过终端大屏、AR/VR 等方式进行简约展示，帮助维修技师直观掌握设备健康状况。三是**远程调控**。根据柴油发动机设备状态，建立数据分析模型，进行大数据分析计算，不断优化设备工作功率、时长，延长设备寿命。

例如，广柴通过在船用发动机上安装物联盒，读取出原本柴油机上监控系统的运行参数并上传至云端，用电脑或手机实时获取每一台柴油机的功率、实时运行的转速、定位等参数，掌握航行在海洋深处的船舶发动机真实的运行情况，降低约 30%的设备管理成本，缩短 20%左右的设备管理反应时间。

3.预测性维护

推动柴油发动机设备上云，实时监控柴油发动机运行状态，构建健康诊断、预测预警、故障评估等模型，建立快速故障响应机制，实现柴油发动机智能维修。一是**状态监测**。通过对底层设备的识别，加装传感器硬件，通过网络连接完成数据采集，建立大数据平台，在线监测设备状态。二是**预测预警**。构建柴油机健康诊断模型，基于过往

的运行指标和参数，对设备状态参数的对比分析来识别设备潜在故障风险，进行实时的健康评估和风险预警。三是**智能维护**。通过构建故障模型并分析实时数据，自动生成维修码及维修档案，提前完成柴油发动机设备维护，降低故障发生的频次，确保设备稳定运行。

例如，北京福田康明斯建立车联网 IoV 模型，采集发动机转速、功率、扭矩、GPS 等车辆数据，利用数据分析，提供车辆故障报警及远程诊断服务。

（三）推广前景

柴油发动机应用广泛，是重型汽车、大型客车、工程机械、船舶、发电机组、航空航天等设备的重要配套设施，经过十多年的发展，逐渐形成了完整的生态体系。柴油发动机行业的发展在很大程度上取决于相关终端产品市场情况，随着全球机械化、智能化进程加快，汽车、农用机械、高端装备等行业的兴起，据中研网数据显示，全球柴油发动机需求总量将稳定上涨，预测将以 5% 的速度向前发展。面对日益突出的环境污染、产能浪费、和故障频发等问题，推动柴油发动机设备上云，通过大数据分析、模型计算，实现设备的在线监测、智能运维、共享研发、迭代优化，将会直接产生巨大的经济效益和社会价值。

五、大中型电机上云解决方案

（一）痛点问题

1.设备利用效率低

大中型电机被广泛应用于生产制造、城市交通和物流运输等不同行业，是各种复杂系统的重要动力装置。但是受限于工艺千差万别、系统匹配不合理、长期低负荷运行、调节方式落后、工况复杂多样等因素，我国大中型电机系统在运行过程中损耗较多电能，实际运行效率比国际先进水平低 10%—20%，设备利用效率提升空间巨大。

2.设备维护成本高

电机系统是一个包含电机本体、拖动设备、控制装置、管网设施等综合系统，在温度、湿度、压强等环境参数不一的各种复杂工况中运行，设备故障频率较高。在主要依托人力资源开展设备维护的传统方式中，人力维护成本和备品备件管理成本居高不下，电机设备计划外停机时间较长，影响其他生产设备正常运转，会给企业带来巨大损失。

3.设备安全风险大

电机设备是一种专业的高功率电器，其检修运维需要专业技术人员和丰富实践经验，设备产品安全风险较高。如果安全管理不规范或工作人员操作不当，电机设备容易发生设备倾斜、设备砸人等引发的机械风险，漏电等引发的电击风险，短路等引发的火灾风险，以及辐射风险等，

导致重大人员伤亡和财产损失。

4.设备能耗成本高

大中型电机是现代工业生产流程中最重要且不可或缺的原动力。但是根据工信部数据，电机能耗约占整个工业能耗的 65% 以上，是名副其实的“用电大户”。我国电机产品在设计的精细化、制造的智能化、质量的标准化等方面明显不足，高效节能电机普及率不高，实际运行功率难以监测，能耗成本普遍较高。

（二）应用场景

1.电机设备托管

推动大中型电机设备上云，可加速设备运行数据的云端汇聚，基于各类机理模型和算法模型，实现设备在少人干预的情况下高效、安全运转，有效提升设备利用效率。

一是信息自感知。高效采集电机设备的温度、功率、工况、振动等各类运行信息，在云端将相关数据建立联系，动态、全面监控设备运行状态。

二是业务增值决策。基于对设备运行状态的精准掌控，充分利用行业知识图谱和大数据、人工智能等技术加速人工操作经验的软件化进程，指导设备在不同情况下的增值决策。

三是控制自执行。在云端进行正确决策的基础上，将决策信息转换成设备可理解、可执行的决策模型，驱动设备自我调节，在无人干预情况下实现安全、高效运转。

目前，基于上云的电机设备托管应用，仍处于市场预热阶段，尚未实现大规模的商业化推广。上海电科电机科技有限公司等企业正积极完善电机托管的解决方案，充分消除用户的顾虑，提高用户的接受程度，提升用户的电机利用效率。

2.电机状态监测

推动大中型电机设备上云，可以实时采集和监测设备运行数据和环境参数，打通设备之间数据流通渠道，实现设备状态实时监测。一是**设备数据采集**。加快智能传感器、工业网络等基础设施部署，精准采集电机设备的电流、电压、频率、振动、噪音、温度、时间等运行参数。二是**设备互联互通**。推动电机设备与其它设备数据的云端汇聚，消除各类生产设备间的数据孤岛问题，实现设备数据的集成共享和全局可视。三是**设备状态监测**。基于采集的各类设备参数，完善设备数字画像，实现设备运行时间、环境等动态数据的数字化和可视化，实时反映设备运行状态。

例如，ABB 集团通过智能传感器将低压电机与工业互联网相连接，从而实现对电机的连续监测。传感器可以便捷地贴附在电机上，将电机震动、温度、负载和能耗等关键数据传输到云端。数据显示，这款智能传感器解决方案可减少高达 70%的电机停机时间，将其使用寿命延长高达 30%，并通过优化电机性能降低能耗达 10%。

3.电机故障预警

推动大中型电机设备上云，可基于实时采集的设备状态数据，结合工业机理模型挖掘并预警设备故障，减少设备计划外停机时间。一是**设备数据分析**。应用大数据、人工智能等新兴技术，对采集的设备数据建立科学的故障分析模型，为电机维护提供科学依据。二是**设备故障预警**。结合电机设备故障分析模型，精准预测设备故障位置、时间，减少设备停机时间，全面优化检修流程。三是**设备虚拟运维**。以设备故障位置、时间为基础，在赛博空间对设备运维方案进行全角度、多方位的仿真验证，确定最佳设备维护方案。

4.电机智能运维

推动大中型电机设备上云，可加快部署高精度智能传感器，实现设备无人智能巡检、精准远程运维和综合运维评估，提高设备运维效率。一是**设备智能巡检**。以电机设备上云数据为基础，加强无人机、机器人等智能设备的使用，优化巡检路线和方式，避免错检、漏检等错误。二是**设备远程运维**。汇聚电机设备状态数据的云平台，基于电机设备维护方案，向具有执行功能的终端传达指令，实现设备远程运维，减少工作风险。三是**设备运维评估**。基于电机设备上云，建立电机设备全生命周期监测体系，对设备运维过程和效果进行综合评估，进一步优化设备维护方

案。

5.电机能效优化

推动大中型电机设备上云，可准确监测设备运行功率，结合生产情况对设备能耗数据进行分析，实现能耗资源动态优化。一是**设备能耗实时监测**。将全部电机设备耗电、耗水、耗气等状态数据实时更新上传至云端，一站式、全角度精准监测企业内电机设备的能耗数据。二是**设备能耗精准分析**。以电机设备实时、全面、精准的能耗数据为基础，深入分析设备能耗存在的问题环节，确定能耗优化方案，实现能耗精细管理。三是**设备能耗动态优化**。结合生产计划和实际生产运转情况，动态优化能耗供给，减少设备空转等引起的能耗损失，提高能源利用效率，降低能耗成本。

（三）推广前景

电机及其系统广泛应用于我国能源、化工、冶金、石化、化工、煤炭、建材、公用设施、家用电器以及电力拖动等多个行业和领域，是我国工业的基础。电机巨大的保有量和规模庞大的产业市场，充分表明了电机及系统在国民经济和社会发展中有着不可替代的重要地位和作用。电机设备效率低、风险大、能耗高等问题日益突出，亟需深入开展上云工程，提升电机设备自监测、自诊断、自优化水平。

六、大型空压机上云解决方案

（一）痛点问题

1.运行监控及时性弱

大型空压机一般用于机械加工、化工生产、管道输送等领域，具有设备价值高、应用范围广、工作环境杂等特性。现有企业对设备通常采取事后维护或定期维护方式，无法动态监测设备关键运行数据并及时反馈，设备运维管理大多依赖经验管理，数据采集及时性相对较弱，对人员技能要求、物料及时性准确性要求较高，容易出现设备停机、设备欠修或过修等问题。

2.设备能耗管理粗放

目前国内部分企业的能耗监测仍停留在人工抽样检测的阶段，而产气端、输气端、用气端都会影响到空压机的整体能效，有时难免出现以偏概全。在空压机组能源效率的强制性国家标准实施后，单机节能的空间已经缩小，亟需基于平台对空压机系统进行统筹考虑，优化整体运行参数，及时根据实际运行情况动态调整，加快空压机整站能效提升。

3.运营服务效率不高

空压机承担着提供动力、通风通气、机器启动等重要功能，一旦发生事故将对企业生产经营产生较大影响。同时，空压机设备数据对企业生产、管理、经营等具有重要

指标性意义，数据泄露隐患严重影响企业管理者设备上云信心，更关系到行业信息安全和企业生产安全等重要领域，亟需可靠的数据传输安全机制保障数据的安全、可靠传输。

4.产业协同有待提升

空压机产业链涉及设备制造、设备代理/服务、设备使用等多类企业，目前各方存在数据共享不足、信息交流缺失等问题，业务协同水平普遍不高。例如，设备制造企业不知道空压机在何种工况下运行，设备代理/服务企业不知道客户使用过程中有什么问题，设备使用企业不知如何提升空压机效率。各方缺乏一体化协同服务管理体系，无法形成空压机“制造-使用-运维-设计”闭环服务，难以形成多方共赢局面。

（二）应用场景

1.运维管控

推动大型空压机上云有利于采集设备的实时运行数据，结合设备故障诊断模型，自动预警设备故障并确定最优设备维护方案，实现设备智能管理。一是**设备状态监测**。企业通过空压机设备上云实时采集主机温度、油温、储气罐压力、出口压力、水管温度等工作状态数据，增强设备状态监测的可靠程度，有效解决空压机监测难问题。二是**运行状态分析**。通过对不同空压机和同一空压机不同时期的历史数据进行系统全面的分析，供用户及时查看运营数据，

帮助企业优化方案，增加企业效益。三是**设备预测维护**。综合利用采集的设备数据，通过大数据分析，结合管线漏气等设备故障诊断模型，将空压机实时运行数据与标准参数对比分析开展预测性维护，减少生产停滞和安全问题。

2.设备节能优化

空压机行业的能耗问题极为突出，往往耗费企业大量财力，不利于企业盈利水平与能力的提升。开展空压机上云有利于管理者提高能源消耗水平认知，实现精细化设备能耗管控优化。一是**分配式优化**。在实时采集能效数据的基础上建立设备用气、产气模型，通过设备整体效率和综合能耗分析，合理分配设备运行负载。二是**互补式优化**。利用整站效能提升的数据分析模型，为空压机动态互补调配提供支持，减少整体资源浪费。三是**升级式优化**。通过对空压机的横向数据对比与纵向历史分析，为空压机制造单位和使用单位进行产品升级换代提供数据支撑，提升企业核心竞争力。

3.后服务市场运维

空压机上云有利于设备制造商、设备代理/服务商、设备使用企业等主体建立后服务市场维护管理体系，提炼工单管理服务，形成自动化服务模式，加速企业新市场开拓。一是**打造智能工单**。通过对设备的实时监控实现自诊断、自决策、自适应，自动推送空压机故障、推送维修工单，

并在平台上实现服务派工、维修报告、服务验收、工单存档等。**二是主动式销售。**空压机选型过大容易造成资源浪费，选型太小则容易造成用气不够、压力不足等问题。通过上云有利于汇聚压力、排气量、空气质量、场地等参数，为过滤器、储气罐等选型提供数据支撑，增加空压机制造企业潜在收入。

4.产业链协同

通过上云可以为大数据、人工智能等技术应用提供数据支持，加强空压机产业链相关主体的数据协同，助力空压机产业链向“产品+服务”转型。**一是反馈式研发。**基于平台助力帮助设备制造企业实时监测设备数据，依托海量的数据尤其是空压机运维数据，缩短新品研发迭代周期。**二是风向标指数。**根据工况数据比较不同厂商空压机性能，探索商业模式创新，基于上云数据计算形成行业创新指标体系，为检测行业发展情况提供实时数据支撑。**三是整链式服务。**通过上云打通产业链各环节流程数据，降低环节间沟通成本，助力企业实现空压站低成本运营的发展目标。

（三）推广前景

作为通用工业设备，空压机的使用场景复杂多样，在中国约 85%的工厂都配备有空压站，广泛覆盖医药、食品、电子、塑胶、纺织、电力、建材等各行业。空压机在行业内又被称为“电老虎”，据全国能源基础与标准化委员会的有

关统计资料显示，工业空气压缩机系统年耗电量约占全国总发电量的 6%-9%左右，能耗改造潜力巨大。如果推动一半的设备进行上云推广，并按照预计能耗整体降低 5%的标准，全年将节约成本超过 170 亿元，减少碳排放超过 2400 万吨。

七、工程机械上云解决方案

（一）痛点问题

1.设备故障情况多发

工程机械设备主要承担高强度、高负荷作业，作业施工环境多样且恶劣，高频率的转移、日常保养不足和不必要的拆卸和安装又使得设备磨损严重，所以工程机械设备故障发生率较高。传统以预防为主的定期维修无法有效处理潜在或突发的异常故障，还会造成较高的零部件维修和养护成本，给用户企业带来额外的经济负担。

2.施工效率低

施工效率是影响工程进度和整体效益重要因素，传统工程机械设备施工过程存在点多面广、管理薄弱、不透明、调动混乱、设备质量低等问题，导致设备效能难以完全发挥。同时，工程机械设备日常作业环境恶劣且多变，对于操作人员技术水平、专业素养、精神状态等要求较高，高素质人才的缺失造成工程机械设备施工效率进一步降低。

3.设备管理体系粗放

如何在施工过程中进行科学的设备管理，是施工企业不可忽视的工作，也是影响施工质量和效率的重要因素。我国工程机械设备管理普遍存在管理思路落后、操作人员意识不强、体制机制欠缺、设备维护保养不到位等问题，亟需采用信息技术对设备进行系统科学管理，减少管理时

间和成本，提高企业竞争力。

4.金融体系不完善

工程机械设备属于高价值设备，下游中小企业用户往往存在买不起的情况，逐渐衍生出质押贷款、质押租赁、担保租赁等多种金融模式。但是，传统银行抵押或担保贷款的方式体系并不完善，且工程施工现场意外情况多发，导致设备意外损坏难索赔、银行贷款坏账、设备投保价值不匹配、资产保全难等问题，严重制约了行业发展。

（二）应用场景

1.设备远程运维

推动工程机械设备上云，可实时监测设备的实时状态数据，经过大数据比对分析、模型计算可以及时洞察设备故障，通过仿真模拟优化设备维护方案，实现设备远程运维。一是**设备状态监测**。实时采集工程机械设备位置、工况、油耗、温度、电压、电流等数据，提高设备状态洞察力，增强设备状态监测的可靠程度。二是**设备故障预测预警**。构建设备健康评估、故障预测、自动报警等模型，通过输入参数、工况等数据，对设备故障进行预测，提供技术支撑和设备异常报警服务，延长设备使用寿命，降低故障率。三是**设备智能化维修**。通过远程定位、模拟择优、参数优化等方式确定设备故障位置、故障类型和最优维修方案，直接派单给最合适的维修技师，以更高效率、更低

成本、更好的体验感实现故障设备的维修。

例如，日立基于 lumada 工业互联网平台推出 consiteoil 解决方案，通过传感器将远程的故障预警率提高到 58%。徐工集团推动工程机械上云，为每一台设备做数字画像，将可能损坏的零部件进行提前更换，使设备故障率降低一半。

2.智慧施工

推动工程机械设备上云，将机器和工人连接，对机械设备实时监控，了解施工现场，通过云平台分析优化施工方案，辅助操作施工，实现智慧施工。一是**施工方案优化**。通过传感器、无人机、三维扫描仪等方式对施工对象、施工场景、外在环境等因素进行高精度感知，建立虚实映射的数字孪生体，输入设立不同的施工条件，进行工况模拟迭代，不断优化施工方案。二是**施工过程透明化**。通过工程机械设备全连接，在线监测所有设备施工情况，推动施工作业过程可视化展示，促进施工管理精细化。三是**现场施工指挥调度**。建立施工一体化系统，在线协调塔吊、机动车等多种设备施工进度，提升设备间协作能力，根据设备动态变化，实时修正、调整施工方案并指挥现场施工。

3.在线管控

推动工程机械设备上云，实现工程机械设备的深刻洞察、设备故障精准预测、事故风险有效评估，支撑施工单

位在线科学系统管理施工设备。一是**强化管理**。推动工程机械设备上云，在线采集设备运行数据，基于云端信息共享，对每台设备进行数据比对、统计分析，进行经验总结、技术升级，加强事故预防措施。二是**系统化管理**。科学系统进行设备统一管理，是设备的维护管理工作有组织、有计划的进行，提高设备综合效能和适应生产的能力。三是**后市场服务**。建立设备管理数据库，基于大数据分析，探索施工机械设备使用的一般规律，按照科学合理的方法向用户提供设备使用、维修、保养和管理建议和服务，增强用户满意度和用户粘性。

4.融资租赁

推动工程机械设备上云，实现工程机械设备的深刻洞察、设备故障精准预测、事故风险有效评估，支撑工程机械设备制造企业、使用企业与金融机构之间开展融资租赁。一是**智能化信用评级**。推动工程机械设备上云，在线采集设备运行、施工队作业情况、承包商贷款情况和经营情况等数据，建立完善客户经营、信用等大数据分析模型，降低企业信用评级成本。二是**数字化渠道对接**。基于云端信息共享，快速对接有购置生产设备等需求的企业承租人及有理财需求的自然人、金融机构和非金融机构，解决金融服务中的信息不对称的问题，在更大范围内实现资金供需的对接匹配。三是**资产保全**。基于工程机械设备上云，在

线监测设备状态和位置，加强设备监管，科学合理进行设备资产统计和评估，促进资产保全。

例如，中联重科基于平台成立融资租赁公司，推动机械设备上云进行统一管理，实现了设备的扩大销售，获得的营业额占集团总收入的 20%以上。三一集团推动工程机械上云上平台，对设备进行精细化管理，拓展设备租赁等业务，通过融资租赁或者经营性租赁运营的设备超过 50%，年在外贷款管理额超 300 亿。

（三）推广前景

根据中国工程机械工业协会统计资料显示，2020 年我国挖掘机、汽车起重机、履带起重机、机动工业车辆、升降作业平台等工程机械主要产品销售量分别增长 39%、26.1%、43.4%、31.5%、35.1%，创历史新高。随着工程机械设备销售量、保有量不断增加，售后维修、设备租赁、智慧施工、在线管理等业务需求潜力巨大，逐渐形成规模庞大的后市场生态链。推动工程机械设备上云，可实时采集设备运行数据，结合大数据、人工智能等新兴技术，提高设备故障诊断和预测性维护水平，大幅度降低维修成本，提高设备利用率。预计到 2025 年，基于工程机械设备上云的后市场服务利润将占企业利润 50%以上。

八、数控机床上云解决方案

（一）痛点问题

1.设备运维成本较高

数控机床设备价值较高，数控机床应用行业广泛，但很多数控机床设备不具备自感知、自分析和自决策等功能。传统数控机床运维主要采取事后维修或定期维护，难以实时检测数控机床设备的温度、电压、压力、振动等各种运行数据并准确识别设备故障。一方面，容易给数控机床使用方造成停机，影响生产计划且浪费其他设备成本，造成巨额经济损失甚至人员伤亡；另一方面，数控机床制造商需要组建专门的售后工程师团队随时奔赴现场，容易产生很高的人力成本。

2.设备利用效率较低

数控机床行业普遍数字化、信息化水平较低，生产过程重要参数的人工统计、离线存储等现象普遍存在。由于获取设备数据的实时性、多元性不足，难以对设备的加工情况、故障情况、使用效率等方面进行综合分析处理。导致企业在生产、维护等环节的精准管控能力相对较弱。相对于国外进口同款机床，机床平均利用率仅仅相当于国外先进水平的一半左右，平均无故障时间也仅仅达到国外先进水平的一半左右，全行业内机床资源的综合利用率亟待提升。

3.生产管理即时性差

当前，对于机床长期运行状态数据存储应用的软硬件支撑仍有不足，不利于实现对历史数据的大量存储分析。同时，大量数控机床车间生产情况存在离线孤岛问题，部分数据不能及时上报车间主任、厂长等管理者，影响管理者即时决策。管理者无法及时获得设备的健康状态、产量信息等准确数据，无法结合设备的加工过程数据进行准确的产能分析或良品率分析，经常不得不仅凭经验进行备件管理或只根据订单进行粗放式排产。

4.设备改造升级困难

数控机床是集机械制造、计算机、液压、传感、信息处理、光机电等技术于一体的机电产品，复杂程度高。数控机床的生产加工工艺迭代需要大量设备运行数据作为支撑，而数据的采集和利用一直是该行业的难点和痛点。当前，专注于数控机床改造的企业数量较少，多集中在设备生产制造企业的工艺研究，但由于技术积累不足、知识传递不够等因素，往往很难触及数控系统的深度改造，数控机床的上云整体步伐较为缓慢。

（二）应用场景

1.健康管理

推动数控机床设备上云，可实时采集数控机床的运行数据，对设备全生命周期进行健康管理。一是实时数据采

集。通过在数控机床上安装电压传感器、压力传感器等先进传感器，实时采集数控机床主轴运行状态、机床滚珠丝杠运行状态、机床导轨运行状态等重要参数。**二是可视化****管理。**基于数控机床运行数据，运用人工智能、大数据等手段，深度挖掘可反映数控机床运行状态的指标，并做可视化处理，增强设备管理的透明化水平。

2.智能运维

结合数控机床故障诊断模型，自动预警数控机床故障并确定最优维护方案，远程指导用户排除设备故障，实现数控机床智能运维。**一是设备故障预测诊断。**综合利用采集的数控机床设备数据，结合已有的设备故障诊断模型，对设备故障进行分析和预警，确定故障发生的部位、原因、时间和检修人员，避免设备故障引发的生产停滞和安全问题。**二是设备远程运维。**采集机床的报警历史、运行状态和关键工艺参数，实时上传至云端。在云平台上基于同行业、同类设备、同类加工件的大数据资源和人工智能技术对采集到的参数进行训练、计算和存储，实现数控机床的远程集中监控、机床效率分析、实时故障告警、基于知识库的故障诊断、故障预测和远程维护。

3.刀具管理

推动数控机床上云，可有效解决刀具寿命难预测、加工部件易损坏等问题，提高刀具使用效率。**一是刀具状态**

监测。通过采集机台振动、电流传感器和控制器等多类异构数据，准确掌握刀具的健康状态。**二是刀具故障诊断。**结合刀具运行状态数据，在云端基于深度学习训练刀具剩余寿命预测模型，并部署到边缘侧，实施监测分析刀具状态数据，智能预测断刀、崩裂和寿命的异常情况，减少刀具异常带来的损失。

例如，富士康基于深度学习建立的刀具寿命智能预测模型，实现了从计件换刀到精准换刀的转变，实现刀具崩刃及断刀的即时判定准确率 93%，刀具寿命预计延长 15%，预计减少刀具成本 15%，提升产品良率 30%，节省材料成本约 10%，提高生产效率 15%。

4.生产能力共享

推动数控机床上云，可有效整合机床行业闲置生产能力，精准对接订单需求和加工能力供给，提高整个行业的生产效率。**一是产能信息共享。**通过数控机床上云，可实时掌控机床的开停机状态，并将过剩的订单需求及时分发给具有闲置生产能力的企业，实现产能在跨企业之间的共享。**二是生产过程管控。**通过数控机床上云，可准确掌握机床的生产过程，从而对产品生产节奏、产品质量等关键参数进行动态管理，按时、按质、按量满足订单需求。

5.备件管理

推动数控机床上云，结合可对数控机床故障的精准预

测，对各种备品备件的库存、申领等进行精准化管理，大幅降低备品备件管理成本。一是**精准对接优化**。通过数控机床上云采集的各种数据，基于不同的故障预警信息，预测可能产生的备品备件需求，为供需精准对接挖掘潜在机会，减少交易成本。二是**备件智能申领**。结合备品备件需求信息，动态核实备品备件的数量、质量和流向等数据，实现备品备件精准化管理，提高备品备件的流转效率。

（三）推广前景

近年来，我国数控机床行业发展迅速，行业规模不断扩大，市场潜力巨大。中国机经网数据显示，2020年，我国数控金属加工机床产量为21.1万台，同比增长20.7%，数控机床产业规模为4405亿元，同比增长34.7%，预计到2026年，中国数控机床市场规模将超过6200亿元。推动数控机床设备上云，可实时收集设备运行数据，分析生产运营数据，预测故障发生时间，实现设备远程运维，优化生产工艺，改进升级设备，提升设备营运管理能力，助力我国数控机床达到世界顶级水平。

九、风电设备上云解决方案

（一）痛点问题

1.风电数据质量不一

数据是风电产业设计运营的重要基础。在风场设计阶段，传统数据采集方式周期长、成本高、精度低，难以满足精细化风场设计需求，容易造成投资方损失。在实际运营过程中，能源消费端到生产端反向延伸的数据传输尚不成熟，电站计算生产、传输、损失电量的方式存在由人工统计、环境变化和设备自身问题等原因带来的误差，数据质量层次不齐。受限于单机存储和运算能力等因素，部分高价值运行数据也难以得到较好应用。

2.设备运维成本高昂

风场所在地一般远离市区，环境条件比较艰苦，不适宜维护人员长期驻扎，维护成本相对较高。特别对于海上风电来说，后期运营维护费用占到总成本的一半以上。此外，目前国内风电运维仍然以传统运维方式为主，由于风电行业前期跳跃式发展、参与方良莠不齐、缺乏统一标准等原因，导致风电机组在实际运维中容易发生运行不稳、故障频发等问题，提高了相关成本。

3.风场综合管理困难

一方面，由于系统规划不足、风预测精度低、电网不配套等原因，风电产业自身限电弃风压力较大，风场管理

平均水平不高，亟需运用新一代信息技术提升风场综合管理水平。另一方面，随着国家能源局做出新能源电价调整的战略决策，风电和火电价格将逐步趋于一致，压缩风电利润空间，倒逼风电企业优化现有管理方式，加快数字化转型，提高风场生产效能。

（二）应用场景

1.虚拟风场设计

在测风设备采集数据的基础上，基于云平台能够有效云端汇总并利用前期历史数据，通过建立相关算法模型降低风场建设设计过程中的不确定性，利用线上操作提高设计精度，减短设计周期。**一是线上模拟仿真。**基于超算等平台的计算能力与长期积累的历史资源，开展宏微观地理选址与场区的智能辅助设计，减少人工成本。**二是风场全生命周期设计。**聚焦风场特有的风况特征、地形条件等，基于云平台提供高精准度与高精细度的风资源解决方案，合理利用不同密度的风力资源，实现风场全生命周期降本增效。

2.设备预测维护

推动风力发电机组等核心设备上云，有利于实现覆盖风电设备全生命周期的故障预测和主动维修，有效降低平准化维护成本。**一是智能化诊断。**通过支持风机箱变、消防、CMS、场控、运行等系统数据的一体化采集，不断迭

代的工单知识库和故障模型，辅助实现快速定位。二是**预测性维护**。基于设备上云建立“预警-推送-检修-反馈-优化”的处理闭环，实现预防性精益运维。三是**辅助式维修**。基于备件仓储数据库、设备维护知识库与解决方案检索库为维修人员安排运维任务调度、推送指导方案，提升维护人员故障消缺能力。

3.风场管理优化

推动变电器、输电线等风场设备上云，有利于企业依托工业互联网平台建立场级运行管理模型，有利于精确预测发电区间，优化电网功率负荷，探索分布式能源管理，提升风场管理水平。一是**能效优化**。依托 Scada 生产数据、机组震动数据、升压站数据、场站气象数据等数据采集，形成实时及历史等多维度分析报表，助力提升运维水平。二是**集成管理**。通过设备上云建立运营服务中心，开发数据质量监控、程序版本管理、应用及资源监控等精益化运维辅助管理工具，提高风场管理水平，辅助功率调度、功率预测、集控等应用需求，支撑风电规模化发展。三是**协调供电**。通过上云提升发电量测算精准度，统筹构建跨区域储能、发电和运电方案，支撑智能电网建设，提升风电并网消纳能力。

（三）推广前景

经过近 30 多年的发展，风电作为一种绿色能源，已成

为世界各国推动绿色低碳转型的重要方向。据国家能源局援引中电联的统计数据显示，截至 2020 年底，我国风电累计装机容量已达 2.81 亿千瓦，规模居世界首位。风电发电量 4665 亿千瓦时，同比增长约 15%。预计未来风电机组寿命将突破目前的 20 年时限，在更长的运行生命周期内实现发电效率优化、持续降低度电成本。按照现有设备上云效率估计，如果全国一半的风电设备实现全流程上云，每年有望降低发电成本超过 130 亿元。

十、光伏设备上云解决方案

（一）痛点问题

1.设备运维效率低

光伏组件产品内部出现隐裂、断焊等问题，难以依靠肉眼识别，不能准确定位设备故障。当前，光伏设备的运维方式，主要分为依赖个人经验的预防性维护和出现故障后的紧急维护，需要消耗大量的人力、物力等资源，并且运维质量难以保证，导致运维效率较低。

2.能源利用率不稳定

受限于光照条件，光伏发电具有明显的波动性、区域性和间歇性的特点，在极端天气下，还存在零收益的风险。同时，与火电、水电等传统发电方式相比相比，光伏发电的单位产出规模相对较低，需要密集的资金和土地空间作为支撑，受到来自土地、环境、并网协调等方面的制约。

3.运行监控困难

光伏设备分布较为分散，设备数据具有海量、异构、高并发等特征，对设备上云解决方案提出了更高的要求，难以实现集中管控。同时，面向光伏设备的大数据管理体系仍有待完善，不能及时获取光伏电站的经济效益、质量状况、设备稳定度等数据，无法实时掌握光伏电站的运行情况。

（二）应用场景

1.全景式监控

推动光伏设备上云，有利于实时监控光伏电站设备运行情况，打造线上线下协同的高效运维模式。一是**状态全息感知**。实时获取并显示设备的电压、电流、功率、发电量等分钟级运行数据信息，全方位监视光伏设备的运行情况。二是**故障诊断**。根据实时监测数据对设备进行远程故障诊断，定位故障发生的原因和位置，及时提醒运维人员，并为运维人员推送故障的解决方案。三是**运维优化决策**。基于电站运行状态、故障诊断信息、工单处理信息和智能巡检结果，通过运维决策优化模型，实现对电站运维方案的持续优化。

2.智能化分析

通过对光伏电站设备数据的采集与建模，实现对电站发电的精准化分析，提升光伏电站发电效率。一是**功率预测**。结合设备运行数据和气象信息，进行负荷预测，编制设备运转计划和储能系统的充放电计划。二是**系统优化**。实时掌握光伏发电系统运行情况，包括系统运行是否正常、运行状态是否安全稳定、能源调度分配是否合理等，必要时及时采取调度措施，保证系统运行处于最佳状态。三是**供储协调**。根据用电负荷和光伏发电的强度，实时调整储能系统的充放电功率，实现整个光伏发电系统的效率最大化。

例如，协鑫光伏通过设备上云，构建了包括关键参数监控模型、良品率预测、备件损耗分析、BI 分析等在内的智能化分析体系，结合协鑫光伏的生产经验，打造企业级数据分析云平台，有效提升生产效率和产品品质。

3.智能运维

依托图像识别、机器学习、大数据、云计算等前沿技术，优化业务流程管控、能力交易和产品全生命周期管理，实现光伏电站的全流程数字化管理。**一是业务流程管控。**对设备故障、负荷过载、运行异常等系统故障数据进行统一管理，准确掌握告警时间、信息来源、告警类型、告警级别等告警信息。**二是能力交易。**推动光伏设备上云，能提高光伏电站及时响应市场需求的能力，同时为电力系统提供调峰、调频、备用等辅助服务。**三是全生命周期管理。**收集光伏设备全生命周期信息，确定更加科学的维护策略，使其可靠性及经济效益更加优化，形成贯穿设备全生命周期的管理闭环。

（三）推广前景

光伏行业协会数据显示，截至 2020 年，我国光伏市场累计装机量为 253GW，2020 年新增装机量为 48.2GW，同比增长 60%。2020 年我国光伏发电量为 2605kWh，同比增长 16.2%，占总发电量比重的 3.5%。全国光伏发电弃光电量同比减少 18 亿 kw/h，弃光率同比下降 2.8%，实现了弃

光电量和弃光率双降的局面。光伏行业的良好发展使得光伏设备的需求量大量增长。到十四五末，即 2025 年，乐观估计我国光伏年新增装机量达 80GW，悲观估计达 65GW。

全球光伏装机容量持续增长，光伏大变革已经成为全球能源发展的总趋势，全球政府和民众对大力发展光伏的动员越来越明显。随着光伏发电走向平价时代，光伏行业发展的驱动力将加速转变，光伏设备上云规模和速度将持续提升，市场空间将不断扩大，为企业把握发展机遇、提升核心竞争力提供重要支撑。