

工业互联网与电力行业 融合应用参考指南 (2024年)



编写说明

党中央国务院高度重视工业互联网发展，习近平总书记在党的二十届三中全会上的重要讲话和《中共中央关于进一步全面深化改革、推进中国式现代化的决定》，部署了“促进实体经济和数字经济深度融合”“加快新一代信息技术全方位全链条普及应用，发展工业互联网”等一系列改革任务。当前，我国工业互联网已进入规模化发展新阶段，2023年核心产业规模达1.35万亿元，融入49个国民经济大类，覆盖全部工业大类，具有一定影响力的工业互联网平台超过340家，“5G+工业互联网”项目数超过1.4万个，全国各地工业互联网“百城千园行”活动方兴未艾，推动万余家企业供需对接，带动投资超1700亿元，工业互联网已成为制造强国的重要支撑和网络强国的重要内容。

电力工业是国民经济发展的重要基础产业，围绕“清洁低碳、安全充裕、经济高效、供需协同、灵活智能”二十字方针，我国新型电力系统建设高质量加速推进，为实现“双碳”目标提供有力支撑。近年来，电力行业不断推进工业互联网建设实践，“电力5G专网”“5G+新能源”等示范标杆不断涌现。为加速推动工业互联网与电力行业融合应用，由点状探索迈向规模化普及，在工业和信息化部信息通信管理局指导下，中国工业互联网研究院（简称工联院）联合中国电力发展促进会，共同组织政产学研用等各单位共同研究编制《工业互联网与电力行业融合应用参考指南》（简称《指南》），旨在帮助电力企业解答应用工业互联网面临的“为什么”“建什么”“怎么建”“找谁建”的问题。

《指南》的编制，不仅是工业互联网在传统工业制造领域之外应用的梳理和总结，更是跨领域推动工业互联网大规模创新发展的积极探索，为

促进一二三产业、大中小企业融通发展，持续注入强劲动力。同时，工业互联网与绿色可再生能源及新型储能等方向的融合应用，将推动工业领域节能降碳措施的优化升级，加快能源消费低碳化转型。

《指南》总体尚需不断完善，融合场景和实施路径等仍需要边探索、边总结、边推广、边完善。后续还将根据实践情况和各界反馈意见，适时修订更新，通过不断释放工业互联网的服务赋能价值，促进电力行业持续向数字化、智能化及绿色化迈进。

目 录

一、总则.....	- 1 -
(一) 适用范围.....	- 1 -
(二) 编制目的.....	- 1 -
(三) 编制框架.....	- 1 -
二、现状需求与总体设计.....	- 2 -
(一) 工业互联网定义内涵.....	- 2 -
(二) 工业互联网发展现状.....	- 4 -
(三) 电力数智化转型现状.....	- 7 -
(四) 工业互联网与电力融合应用需求.....	- 9 -
(五) 工业互联网与电力融合总体设计.....	- 11 -
三、工业互联网与电力融合应用场景.....	- 14 -
(一) 平台化设计.....	- 16 -
(二) 智能化制造.....	- 19 -
(三) 绿色化生产.....	- 23 -
(四) 数字化管理.....	- 42 -
(五) 网络化协同.....	- 51 -
(六) 服务化延伸.....	- 54 -
(七) 个性化定制.....	- 56 -
(八) 可视化管控.....	- 58 -
(九) “5G+工业互联网+电力”应用.....	- 60 -
四、工业互联网网络与电力融合应用.....	- 64 -
(一) 工业互联网网络发展现状.....	- 64 -

(二) 电力行业网络建设现状	- 65 -
(三) 网络融合应用需求	- 69 -
(四) 网络融合应用方案	- 70 -
五、工业互联网标识与电力融合应用	- 77 -
(一) 工业互联网标识发展现状	- 77 -
(二) 电力行业标识建设现状	- 79 -
(三) 标识融合应用需求	- 81 -
(四) 标识融合应用方案	- 81 -
六、工业互联网平台与电力融合应用	- 86 -
(一) 工业互联网平台发展现状	- 86 -
(二) 电力行业平台建设现状	- 87 -
(三) 平台融合应用需求	- 88 -
(四) 平台融合应用方案	- 89 -
七、工业互联网数据与电力融合应用	- 92 -
(一) 工业互联网数据发展现状	- 92 -
(二) 电力行业数据建设现状	- 93 -
(三) 数据融合应用需求	- 95 -
(四) 数据融合应用方案	- 96 -
八、工业互联网安全与电力融合应用	- 99 -
(一) 工业互联网安全发展现状	- 99 -
(二) 电力行业安全建设现状	- 100 -
(三) 安全融合应用需求	- 101 -
(四) 安全融合应用方案	- 102 -

九、组织实施	- 106 -
(一) 基本原则	- 106 -
(二) 实施流程	- 107 -
(三) 要素保障	- 112 -
附录一 典型案例	- 114 -
(一) 基于工业互联网的云上水电示范工程—国能大渡河大数据服务有限公司	- 114 -
(二) 电力大脑—基于全景态势感知的变电智能运检云平台—国网湖北省电力有限公司	- 116 -
(三) 基于双云融合架构的新能源云数智一体化应用研究—龙源电力集团股份有限公司	- 118 -
(四) 基于工业互联网平台的核工业集团级数字化转型实践—中核武汉核电运行技术股份有限公司	- 120 -
(五) 电力全链条数据整合整体解决方案—南方电网数字电网科技(广东)有限公司	- 122 -
(六) 配电网故障智能诊断与研判系统—国网湖南省电力有限公司 ..	- 124 -
(七) 宁波配网电力工控安全靶场建设应用—国网浙江省电力有限公司	- 126 -
(八) 基于工业互联网的智慧环保岛优化系统—华能信息技术有限公司	- 128 -
(九) 分布式光伏数字化服务平台—四川中电启明星信息技术有限公司	- 130 -
(十) 光大环保能源(博罗)基于数字孪生的智慧电厂—深圳鹏锐信	

息技术股份有限公司	- 132 -
(十一) 发电集团安全生产一体化智能管控平台—西安热工研究院有限公司	- 134 -
(十二) 电力行业工业互联网标识解析二级节点应用服务创新实践—国网上海市电力公司	- 136 -
(十三) 基于能源+锦云工业互联网平台的智慧电厂—成都贝斯特数码科技有限责任公司	- 138 -
(十四) 面向新型电力系统的时间敏感网络交换芯片及应用—北京智芯微电子科技有限公司	- 140 -
(十五) 电力系统无人机巡检安全防护方案—兴唐通信科技有限公司	- 142 -
附录二 供应商概览	- 144 -
附录三 专业术语解释	- 147 -
编制单位	- 155 -

一、总则

（一）适用范围

本指南适用于从事电力生产、供应、装备制造以及工程施工的所有单位，在国民经济行业分类（GB/T 4754—2017）中，代码为 C38（电气机械和器材制造业）、D441（电力生产）、D442（电力供应）及 E487（电力工程施工），同时也适用代码 C341（锅炉及原动设备制造）、C356（电子和电工机械专用设备制造）、C4012（电工仪器仪表制造）及 C4350（电气设备修理）中的部分电力相关企业。

（二）编制目的

遵循新质生产力发展要求，助力推进新型工业化发展，支撑新型能源体系建设，推动工业互联网在电力生产、供应、装备制造及工程施工等全链条各环节的广泛应用，助力加快电力行业数字化、智能化、绿色化转型，总结推广融合创新应用成果，为电力企业提供轻量化、可复制、可操作的实践路径。

（三）编制框架

指南共分为九个章节：第一章为总则。第二章从现状和需求出发，设计工业互联网与电力融合应用总体架构，回答“为什么”的问题。第三章基于工业互联网典型应用模式，梳理形成融合应用场景总体视图，回答“建什么”的问题。第四章至第八章深入剖析工业互联网网络、标识、平台、数据和安全等方面的电力融合实施路径，回答“怎么建”的问题。第九章总结电力企业应用工业互联网开展数字化、智能化转型的方法步骤。最后，

指南梳理了典型案例、相关领域的供应商概览及专业术语解释，为电力企业建设工业互联网提供丰富多元的供给资源，回答“找谁建”的问题。

二、现状需求与总体设计

（一）工业互联网定义内涵

1. 工业互联网定义

工业互联网是新一代信息技术与工业经济深度融合的新型基础设施、应用模式和工业生态，通过对人、机、物、系统等的全面连接，构建起覆盖全产业链、全价值链的全新制造和服务体系，为工业乃至产业数字化、网络化、智能化发展提供了实现途径，是新工业革命的重要基石，是实体经济和数字经济深度融合的关键支撑，是新型工业化的战略性基础设施和重要驱动力量。

2. 工业互联网内涵

本世纪第二个十年伊始，以高端传感器、物联网、5G、大数据、人工智能为代表的新一代信息通信技术创新活跃、产业发展代际跃迁、网络算力规模扩张、智能算法加速演进，数字产业化供给能力大幅攀升。同时，工业设备、产线、车间、工厂的数字化水平持续提升，产业数字化需求日益扩张。在供给推动和需求拉动双重作用下，实体经济与数字经济的融合从生活领域向生产领域加速延伸，工业大数据爆发式增长，制造业数字化、网络化、智能化演进升级的历史大幕正在徐徐展开。海量工业数据的采集、传送、存储、计算、分析和应用都需要一个智能化的载体，这个载体就是工业互联网。工业互联网与消费互联网既有联系，更有区别。

从连接对象看，消费互联网连接的主体是人，主要用于人与人之间的信息传递，网络终端、数据类型和应用场景具有同质性、规范性、可复制性，一人上网和百人上网大同小异，个人数据都高度集中在平台企业中。工业互联网连接的主体是工厂，涵盖设备、产线、车间、工厂、企业，还有产业链的上下游和生态伙伴，连接种类更多。研发设计、生产制造、经营管理、运维服务等企业内部和企业间协同的数据量更大，场景更为复杂，特别是研发设计和生产制造的大数据，因涉及企业特有的技术、工艺、知识和经验，绝大部分数据不出工厂且千企千面。所以不能用消费互联网的思维去发展工业互联网。

从网络性能看，工业互联网与消费互联网有共通共性的一面，企业间网络化协同、消费者个性化定制、企业数字化管理所使用的网络就是消费互联网。面向生产制造的工业互联网对网络速率、时延、带宽等要求更高。比如，设备运动控制和产品视觉检测的通信时延需分别小于 1 毫秒和 10 毫秒，而一般公共通信网络时延在 100 毫秒以内即可满足使用要求。工业互联网的数据传输直接关系到生产安全，对于网络的可靠性、稳定性和安全性要求更为“刚性”，一旦网络不稳定或发生中断，可能导致生产停滞，造成安全事故和经济损失。

从发展模式看，消费互联网重在技术创新和商业模式创新，发展新业态，培养用户使用习惯，进而颠覆传统消费模式。消费互联网应用门槛相对较低、可复制性更强，商业模式以“聚人气”“流量变现”为主，可以面向普通消费者“前向收费”，也可面向信息或软件服务企业“后向收费”，具有规模经济性，社会资本关注度和支持度较高。工业互联网应用过程，是企业数字化演进升级的过程，行业企业差异化程度高，工业设备数字化

水平参差不齐，工业软件开发适配周期长、资产专用性强，很难找到普适性的发展模式，往往需要更长的投资回报周期。

从体系架构看，工业互联网包括五大功能体系，网络是基础，标识是身份，平台是中枢，数据是要素，安全是保障，其内涵边界与消费互联网有显著差异。网络包括工厂内网和外网，是人、机、物、系统全面互联的关键基础设施；标识由标识编码和解析系统构成，标识编码是机器、产品、数据等生产资源的“身份证”，通过解析系统就可以明确“我是谁”“我在哪”；平台下连设备，上连应用，为数据汇聚、建模分析、知识复用、应用创新提供载体支撑；数据是新型生产要素，通过与其他要素组合，能够用于开发新产品、拓展新服务、创造新价值；安全是指保护工业互联网系统、设备和数据免受未经授权的访问、损坏、干扰的一系列措施。

从应用效果看，发展工业互联网的目的是通过数字化提升行业、企业的综合竞争力，体现在降本、增效、提质、绿色、安全这五个方面。应用模式体现在平台化设计、智能化制造、绿色化生产、网络化协同、个性化定制、服务化延伸、数字化管理、可视化管控等八个方面。既要发展产业链高度协同的工业互联网平台，更要发展面向生产制造的工厂级工业互联网平台，突出专业化、特色化、商业化，通过大企业带动小企业、下游企业带动上游企业、新兴企业带动传统企业，以样板间转向商品房，深化工业互联网应用。

（二）工业互联网发展现状

1. 从上到下，构建起央地协同、贯通联动的政策体系

顶层设计层面。习近平总书记多次对工业互联网作出重要指示，强调要“深入实施工业互联网创新发展战略”“持续提升工业互联网创新能力，

推动工业化与信息化在更广范围、更深程度、更高水平上实现融合发展”

“5G 与工业互联网的融合将加速数字中国、智慧社会建设，加速中国新型工业化进程”。这为发展工业互联网凝聚了共识，指明了方向，提供了遵循。2017 年，《国务院关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》正式发布实施，明确了工业互联网的基本概念、重大意义、总体目标、重点任务、政策举措。国家“十四五”规划提出，要“积极稳妥发展工业互联网”。党中央、国务院对工业互联网的战略部署持续深入。

工作部署层面。工信部先后出台网络、标识、平台、数据、安全、应用等多项政策，接续实施两个三年行动计划。持续实施工业互联网创新发展工程，遴选 6 批超 800 个试点示范项目，在全国范围内树立工业互联网应用样板。支持北京、上海、武汉、沈阳等地建设一批工业互联网领域国家新型工业化产业示范基地，工业互联网产业集群能力不断增强。支持长三角、广东、山东、成渝、京津冀、湖南等地创建工业互联网示范区，系统推进工业互联网基础建设、融合应用和生态培育。

地方支持层面。全国 31 个省（区、市）均出台地方政策，多个省份不断丰富政策工具箱，利用重大技术装备研发、技术改造、智能制造等多种支持方式，推动设立工业互联网产业基金，引导社会资本积极布局，面向地方优势产业加快推动工业互联网行业应用。

2. 从无到有，构建起梯次渐进、初具规模的功能体系

网络体系不断夯实。高质量外网建设基本实现全国地市全覆盖，5G 等新型网络技术推动企业内网改造加力提速，建成 5G 行业虚拟专网 3.16 万个，有效满足垂直企业对数据本地化、管理自主化等个性化需求。

标识体系一体化推进。工业互联网标识解析“5+2”国家顶级节点体系现已全面建成，实现31个省（区、市）全覆盖，标识注册量突破4000亿，标识日解析量超1.5亿次，服务企业超过40万家，工业和信息化部等十二部门印发《工业互联网标识解析体系“贯通”行动计划（2024—2026年）》，工业互联网标识在制造业及经济社会重点领域的应用价值进一步显现，对推动企业数字化转型、畅通产业链供应链、促进大中小企业和一二三产业融通发展的支撑作用不断增强。

平台体系加速构建。多层次、系统化的工业互联网平台体系基本形成，培育49家跨行业跨领域工业互联网平台，具有一定影响力的综合型、特色型、专业型平台超340家，重点平台工业设备连接数近9800万台（套）。

数据体系初见成效。建成国家工业互联网大数据中心，汇聚数据9.7亿条，服务企业147万家。装备制造业数字供应链平台汇聚34万家企业、195万名工程师、近2亿种工业基础产品，形成完备的装备制造业工业产品目录。工业数字化碳管理平台接入工业生产设备70余万台，服务企业9000余家。工业数据资产登记（确权）平台登记数据超5亿数据单位。

安全体系持续完善。基本建成国家、省、企业三级协同的工业互联网安全技术监测服务体系，覆盖全国31个省区市，超14万家工业企业，威胁监测和信息通报处置不断加强，安全保障能力持续提升。

3. 从小到大，构建起多点发力、日益壮大的产业体系

产业规模持续壮大。工业互联网在为工业数字化、网络化、智能化发展提供实现途径的同时，也快速发展形成新业态、新产业，产业规模和参与主体快速壮大。据中国工业互联网研究院测算，2023年，我国工业互联网产业增加值总体规模达4.69万亿元，占GDP的比重上升至3.72%，

其中核心产业增加值达到 1.35 万亿元，正成长为促进我国经济高质量发展的重要力量。

带动作用日益突出。工业互联网由制造业向实体经济各领域广泛延伸，在加速实体经济数字化转型的同时，促进一二三产业、大中小企业融通发展。据测算，2023 年工业互联网带动一、二、三产业的增加值规模分别达到 0.06 万亿元、2.29 万亿元、2.34 万亿元，展现出工业互联网为行业发展注入的强劲动力。全国工业互联网产业增加值总体规模超过千亿元的省区市达 17 个，工业互联网发展前 30 城市工业互联网增加值贡献占全国比重为 47.8%。

（三）电力数智化转型现状

电力行业在数字化道路上展现出强大的创新能力和发展韧性，构建涵盖发、输、变、配、用、调、信、储全过程的数字化电力生态体系，全面推动了从发电源头到终端用户的智能化升级，不仅提升电力系统运行效率和可靠性，也为落实节能减排、促进能源结构调整、实现“双碳”目标提供坚实的基础支撑。

1. 发电环节：数字化技术在发电领域得到了广泛应用，无论是传统的火电、水电、核电，还是新兴的风电、光伏等可再生能源发电站，都进行了智能化升级。例如，发电设备配备了传感器和智能控制系统，通过大数据分析和 AI 算法，实现了设备状态实时监测、故障预判和性能优化，有效提升了发电效率和安全性。同时，数字化还助力了可再生能源发电的精准预测和调度，借助 AI 预测模型，提高了风电、光伏电站的发电量预测精度，有助于解决间歇性能源接入电网的稳定性问题。

2. 输电环节：中国的特高压输电网络是全球领先的数字化示范项目之一。运用物联网、光纤通信、无人机巡检等技术，实现了对超远距离、大容量输电线路的全天候在线监测和智能运维。全息数字电网的建设更是里程碑式的进步，通过三维立体数字孪生技术，把复杂的电网系统在虚拟空间中完全复制，大幅提升了电网安全管理水平和应急响应速度。

3. 变电环节：变电站智能化改造是电力行业数字化的重点领域。智能变电站通过集成保护、测量、控制、通信等多种功能，实现了设备间的协同联动和自主调节，增强了电网抵御风险的能力。此外，通过引入高级应用软件和边缘计算技术，可以实时处理大量现场数据，为变电设备的健康状况评估、潜在故障预警提供强有力的技术支撑。

4. 配电环节：配电网的数字化重构旨在打造智能配电网。利用先进的感知技术、智能终端和智能开关设备，实时采集电网运行参数，确保配电网的安全、可靠运行。通过配网自动化和分布式能源管理系统，支持灵活的负荷调度和多源互补，尤其在分布式能源接入增多的情况下，保障了供电质量和用户用电体验。

5. 用电环节：用户侧的数字化服务与智能用电设施建设突飞猛进。智能电表的普及使用户用电数据可视化，支持按需定制电费套餐、实施峰谷分时电价等精细化管理措施。同时，智能家居、电动汽车充电桩等新型用能设备的智能化水平不断提高，通过与智能电网的无缝对接，实现了用户侧资源的高效利用和友好互动。

6. 调度环节：通过集成高级分析工具和 AI 算法，调度中心能够更加准确地预测电力需求和供应情况，实现电网资源的高效分配。此外，智能调度系统集成分布式能源和储能设施等监测信息，实现对这些资源的有效

调度，以应对电力需求的波动。数字化技术的应用不仅提高了电力调度的准确性，也为电力系统的灵活性和可持续性做出了贡献。

7. 信通环节：为了支持电力系统中产生的大量数据传输需求，电力企业大量建设专用通信网络，并采用 5G 等先进技术来提高通信效率。同时，由于电力系统对安全性的极高要求，电力企业也在不断加强网络安全措施，包括采用加密技术保护数据传输、实施多层次的身份验证机制等，以防范网络攻击和数据泄露事件。

8. 储能环节：储能设备智能化水平大幅提升，配备先进传感器、控制器与智能电池管理系统（BMS），实现精准监控与优化调度；储能数据平台借助云计算、大数据技术，实现远程监控、故障预警、性能诊断等功能，为运营决策与电力市场交易提供数据支撑；储能系统集成与协同控制能力增强，有效平滑新能源出力、提升电网稳定性，并参与多场景应用。

（四）工业互联网与电力融合应用需求

1. 电力装备全面感知协同能力构建

随着数量众多的新能源、分布式电源、新型储能、电动汽车等接入，电力系统可控对象从以源为主扩展到源网荷储各环节，现有信息感知能力和技术手段无法做到全面可观、可测、可控。因此，需要工业互联网在电力系统源网荷储各侧逐步融合应用，支撑源网荷储海量分散对象协同运行和多种市场机制下系统复杂运行状态的精准感知，适应新型电力系统海量异构资源的广泛接入、密集交互和统筹调度等特点。

2. 电力生产安全运行调控技术突破

实时监测与预警方面，不同设备、系统间的数据标准不一，难以实时整合分析，易出现误报和漏报，需要实时监控分析设备状态，预测故障，

提前准确发出预警，减少意外停机。优化调度与平衡供需方面，可再生能源比例增加情况下，供需波动更加频繁，需要高级调度系统和技术，实时分析电网负荷、可再生能源发电量和传统发电厂的出力能力，自动调整发电计划，实现高效、经济的电力调度，保证电力供需平衡。设施维护策略优化方面，传统定期维护模式成本高且效率低，需要对设备历史和实时数据分析，准确判断设备的健康状况，采取按需维护，减少不必要的维护工作，延长设备寿命，降低维护成本。

3. 电力企业治理效能优化提高

电力系统调控运行模式由源随荷动向源网荷储多元智能互动转变，适应新形势的电力企业治理效能亟待提高。一方面需要实现全方位、全过程、全员的精细化管理。将电力生产、运营、销售等各个环节互联共享，精准洞察市场需求，科学制定生产计划，从而提高电力供应与市场需求的匹配度，增强企业的市场竞争力。另一方面需要构建涵盖供应链、生产链和服务链的综合平台，强化电力企业的内外部协同能力，实现物料采购、生产过程、设备运维、客户服务等全流程数字化管理，显著提升运营效率，降低成本消耗，同时促进电力企业与合作伙伴、客户之间的紧密合作与信息交流。

4. 跨领域融合的新业态新模式孵化

网络化协同方面，新能源并网难、应急响应不及时等一系列问题出现，需要有效整合风能、太阳能等分布式能源，实现多种能源形式的互补互济和高效利用，提升整个电力系统的稳定性和可靠性；服务化延伸方面，电力与交通、建筑等行业深度融合，需要构建虚拟电厂、新能源云等在内的新型能源服务业态，共同构建起一个多能互补、供需互动的能源服务生态

系统；个性化定制方面，探索用户导向的能源服务新模式，满足多元化的能源消费需求，用户不再仅是电力的被动接受者，而是成为能源服务生态的积极参与者。

（五）工业互联网与电力融合总体设计

1. 融合创新应用总体架构设计

电力行业的数字化、智能化转型正在全链条深度推进，发电、输电、变电、配电、用电及储能各环节均展现出显著变化。工业互联网与电力的融合创新应用，采取叠加集成的架构设计思路来推动，在电力行业现有的数字化体系基础上，集成应用工业互联网的技术成果，开展与现有各类电力系统的互联互通，形成更丰富的数字化智能化创新应用体系，充分激活电力数据要素潜能，推动新模式新业态持续涌现。

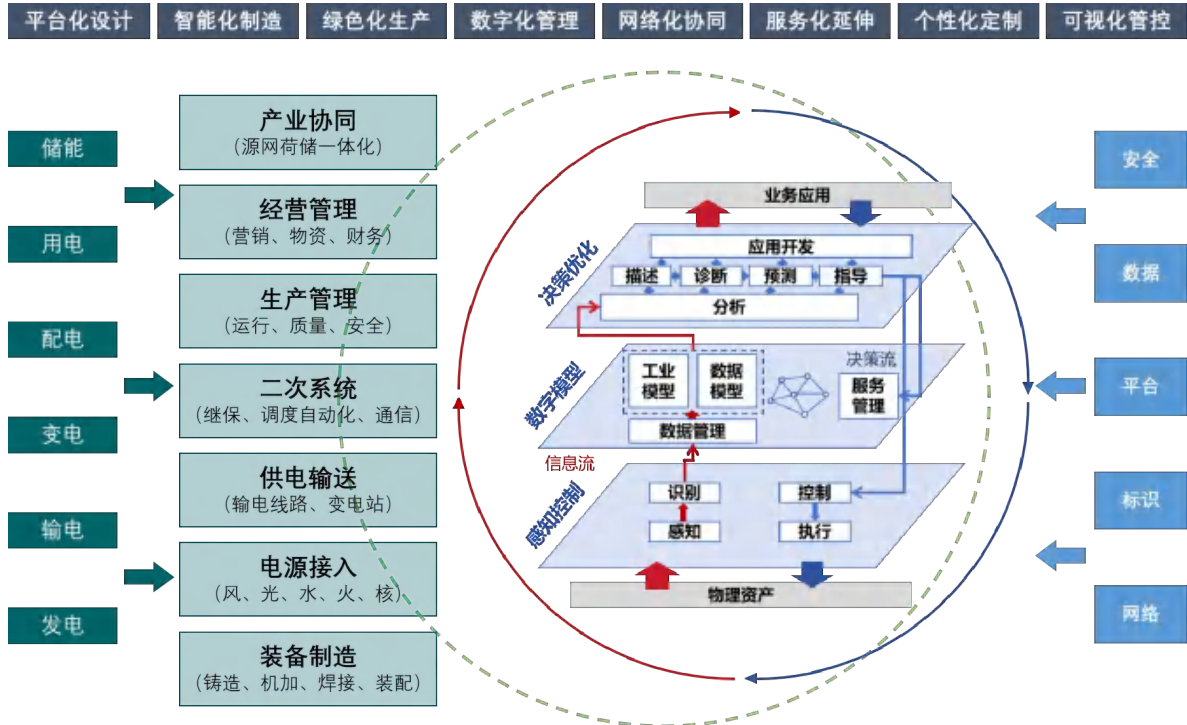


图 2-1 融合创新应用总体架构

基于融合应用需求，重点构建五个方面的关键能力。一是**高效协同**，通过部署 5G、IPV6、TSN 等新型工业网络技术，实现电力系统各环节之间的信息高速互通，同时基于工业互联网平台连接供应商、服务商、政府监管机构等，打通不同主体间的信息壁垒，带动电力各环节的互联互动互补，提升产业链上下游协调运行效率。二是**全面感知**，通过广泛部署工业互联网标识解析节点，提升面向海量终端的多传感协同感知、数据实时采集和精准计量监测水平，服务远程设备操控、智能巡检、智能运维、故障诊断、应急救援等电力基础设施数字化智能化典型业务场景。三是**数字赋能**，通过建设国家工业互联网大数据中心—电力行业分中心，推动数据资源作为新型生产要素的充分流通和使用，完善电力数据标准化体系，强化数据共享中的确权及动态访问控制，推进数据共享全过程的在线流转和在线跟踪，支持数据便捷共享应用。四是**安全保障**，利用工业互联网安全防护技术体系，推进本体安全和网络安全融合，提升网络安全智能防护技术水平，强化监控及调度等系统网络安全预警及响应处置，提高主动免疫和主动防御能力。五是**共享创新**，依托工业互联网新型基础设施建设，探索能源新型基础设施共建共享，提高基础资源综合利用效率，降低建设和运营成本，打造开放互联的资源服务共享体系，在技术创新、运营模式、发展业态等方面深入探索。通过以上五个方面融合，加快工业互联网在电力领域的创新应用，推动跨学科、跨领域融合，聚焦原创性、引领性创新，促进创新成果的工程化、产业化，培育工业互联网与电力产业融合发展新优势。

2. 融合创新应用实施架构设计

电力行业工业互联网融合创新应用的实施架构总体分为设备层、厂（场）站层、企业层和行业层四个层级，围绕“网络是基础、标识是身份、

平台是中枢、数据是要素、安全是保障”五大体系进行设计，推动企业能力提升。

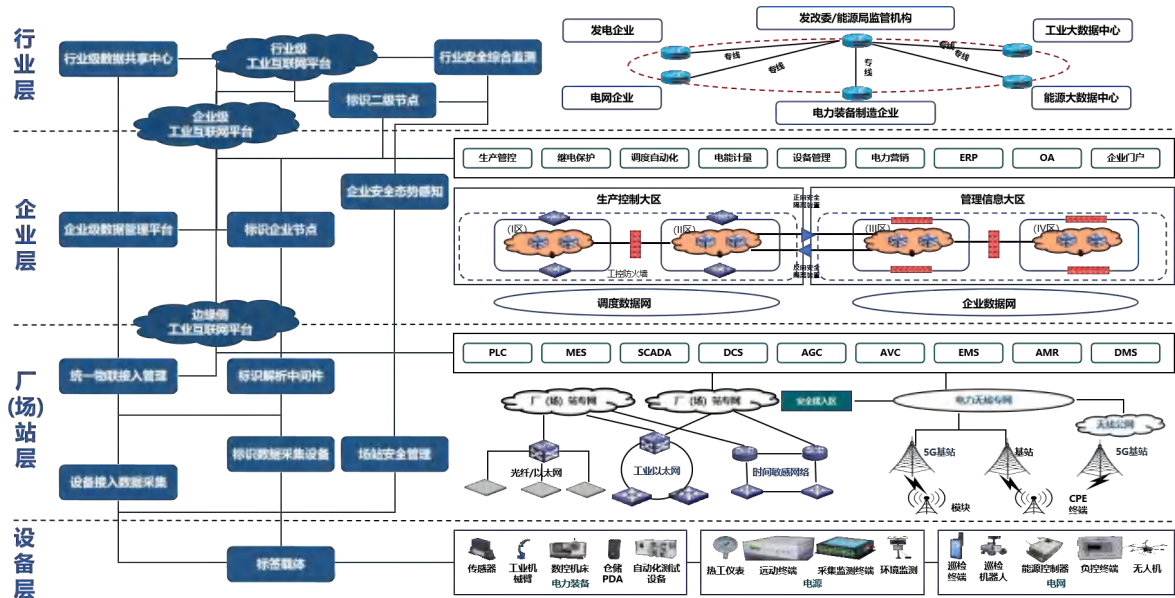


图 2-2 电力行业工业互联网融合创新实施架构

设备层由电力厂（场）站生产运行所需的各类设备、仪器仪表、传感器、控制器、执行器等装置及相关系统组成。在设备层部署工业互联网边缘设备，重点是围绕生产人员、原材料、环境以及虚拟资源进行高质量、高频率数据采集，通过先进生产控制网络建设，大幅提升设备层各类终端感知能力，实现高效便捷的边缘设备数据接入。同时，依托标识载体将生产设备、环境、关键数据等各元素与工业互联网标识体系贯通。此外，设备层工业互联网安全应重点关注设备安全和控制安全。

厂(场)站层由电力装备制造和电力生产输配等环节所需的边缘系统、制造控制系统、电力调度系统、分散控制系统、数据采集监控系统、可编程逻辑控制器等各类功能系统组成。在场站层部署工业互联网，重点是通过先进网络、边缘计算、数据分析等技术的综合应用，大幅提升场站的数据采集与传输能力，同时在边缘侧开展针对电力行业企业特殊工业协议转

换、数据集成与数据预处理，提升工业数据质量，为边缘智能应用奠定基础。厂（场）站层工业互联网还需要承载机器视觉检测、装备健康诊断、能耗监测预警等与生产管控密切相关，具有低时延、高可靠要求的边缘智能应用。此外，场站层工业互联网安全应重点关注控制安全、网络安全和边缘应用安全。

企业层由企业资源管理、产品全生命周期管理、客户关系管理、供应链管理等各类业务系统组成。在企业层部署工业互联网，重点是通过集成化平台、广覆盖网络等方式部署实施。一方面，提高各业务流程的流转效率，结合人工智能等新一代信息技术提高企业经营决策智能化水平。另一方面，企业层工业互联网还需要结合工业互联网标识解析、大数据分析等技术，开展产品全生命周期质量追溯与管理。此外，企业层工业互联网安全应重点关注各业务系统交互时的数据安全、网络安全及企业应用安全。

行业层由连接电力行业发输变配用储各环节的信息系统或平台组成。在行业层部署工业互联网，重点是通过跨企业的网络连接与行业协同平台应用，提高跨企业跨区域的数据互联互通效率，并基于大范围、全局性的数据分析，实现全行业供应链资源的优化配置。此外，行业层工业互联网安全应重点关注跨企业系统交互的数据安全、网络安全及行业应用安全。

三、工业互联网与电力融合应用场景

工业互联网赋能电力行业形成平台化设计、智能化制造、绿色化生产、数字化管理、个性化定制、服务化延伸、网络化协同及可视化管控等八大应用模式，覆盖 27 类应用领域，初步形成 85 项具体场景。

（一）平台化设计

1. 电力装备设计

（1）电力装备全面数字化建模

引入三维建模软件等工具，使设计师能在虚拟环境中快速创建精确模型，实现从微观结构到宏观系统的全方位设计。通过有限元分析、计算流体力学等先进技术，数字化建模设计能深入探究材料属性、应力分布、热传导及电磁兼容性，无需频繁制作物理原型即可优化设计。同时，基于模型的系统工程与产品全生命周期管理，极大地促进了设计数据的整合与共享，确保团队间高效协同，有效管理设计变更，加速产品迭代速度。



图 3-2 主变压器三维模型

（2）电力装备原型快速迭代

基于 3D 打印的原型快速迭代，首先利用三维建模软件，在虚拟空间内自由构思和修改设计，实现从概念到三维模型的无缝转化。3D 打印技

术随后将这些数字蓝图即时转化为实体原型，无论是复杂的内部结构还是精细的外部形态，皆可一键成型。这种即时反馈机制极大地缩短了设计验证周期，使得工程师能够在短时间内尝试多种设计方案，快速优化产品性能。更重要的是，3D 打印的灵活性允许使用多种材料，包括高性能工程塑料、金属合金乃至复合材料，直接打印出具有功能性的电力装备部件，进行电气特性和机械强度的实际测试。

2. 电建工程设计

(1) 能源资源禀赋数字化评估

通过集成高分辨率遥感卫星影像、气象数据库、地质矿产数据、地面监测信息等多元数据源，实现能源资源（如太阳能、风能、水能等）分布、储量、产出潜力等信息的自动采集与实时更新。在此基础上，运用物理模型、统计学方法、生命周期评价等进行深度分析，精准量化资源蕴藏量、开发经济性、环境影响等关键指标，为工程决策提供科学依据。

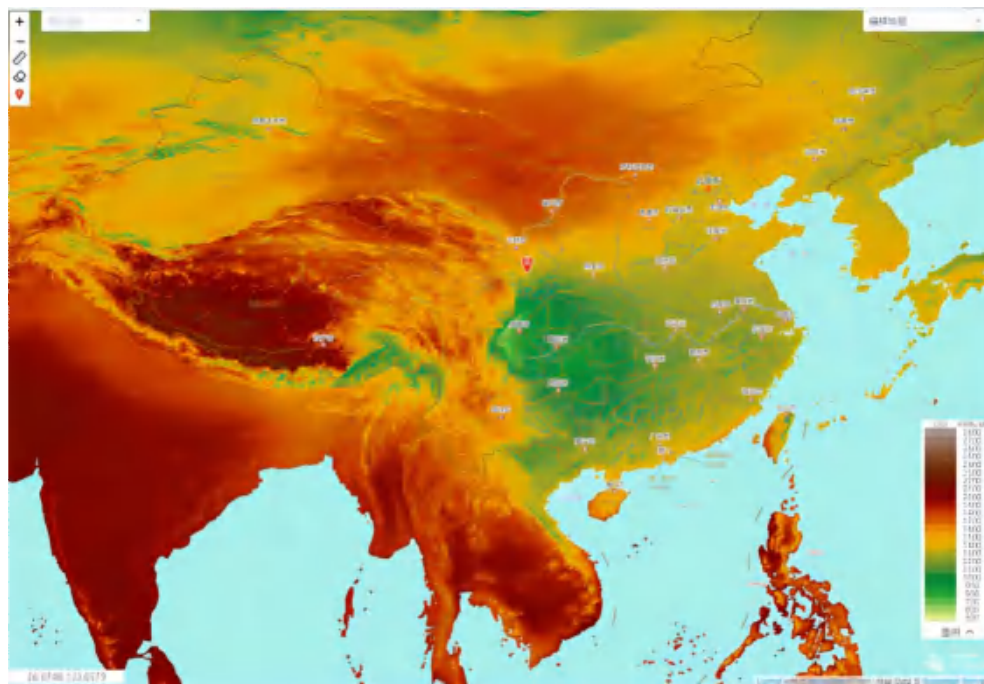


图 3-3 某光资源精准评估系统

(2) 电力施工图三维建模

采用建筑信息模型技术进行三维建模，将设计的每一个组件以三维形式精确呈现，包括电缆走向、设备布置、支架结构等，使设计细节一目了然。这种可视化不仅极大增强设计的直观性和准确性，还有助于提前发现并解决设计冲突，减少现场变更，节约成本。此外，模型包含了丰富的结构、材质、性能等信息，支持数据的集成管理和协同作业，使得设计团队、施工单位、业主等多方能够在同一平台上高效协作，实时共享更新，显著提高项目管理效率。

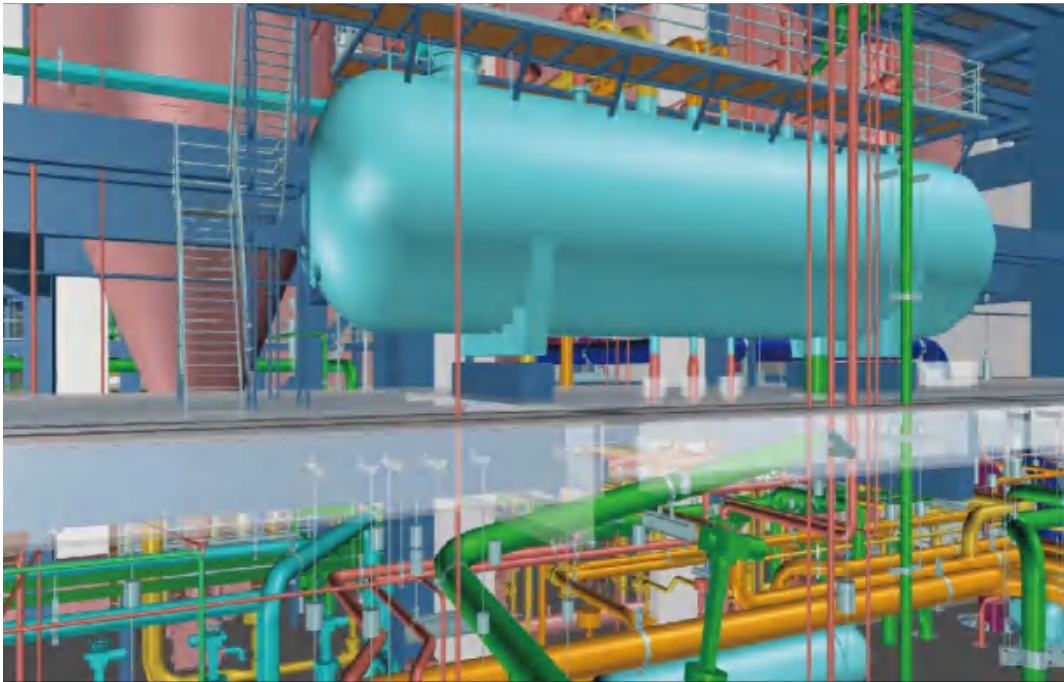


图 3-4 某电厂全厂高精细化仿真模型

3. 电力系统设计

(1) 电力市场模拟与优化

面对电力系统复杂性增加（如新能源大规模接入、需求侧响应等）、市场环境快速变化等情况，电力市场设计面临设计调整缓慢、难以快速适应新的市场条件等情况。电力市场模拟与优化借助工业互联网，一方面利

用数字化工具（如仿真软件、算法模型）模拟不同电力市场模式（如集中竞价、分散双边、容量市场等）的运行效果，评估其对电力资源优化配置、价格形成、市场稳定等方面的影响，辅助决策者快速更新电力市场架构和规则。另一方面，基于市场运行数据、绩效评估结果、外部环境变化等因素，利用机器学习、模拟优化等技术，对市场规则、交易机制、价格上限/下限等进行动态调整与优化，确保市场机制始终与电力系统发展、市场环境变化相适应。

（2）电力设备选型与成本估算

构建一个包含丰富设备信息和项目需求数据的知识库，借助大数据挖掘与智能推荐技术，能够快速筛选出与项目特定电压等级、负荷特性、地理环境、政策法规等要求相匹配的设备候选清单。设计人员即可直观对比各设备的技术参数、能效水平、市场反馈、供应商资质等多维信息，确保选型决策兼顾技术先进性与经济合理性。在成本估算环节，根据选定设备的型号、数量、运输距离、安装难度等具体条件，精确计算出设备购置费、运输费、安装调试费等各项直接成本。同时，结合设备历史运行数据、行业基准数据以及设备全生命周期管理理念，运用预测模型对设备的运行维护费、故障维修费、设备更换费等长期运营成本进行科学估算，为设计人员提供全面、准确的成本预算。

（二）智能化制造

1. 物料管控

（1）物料全过程跟踪追溯

集成 ERP、制造执行系统（MES）、仓储管理系统（WMS）和物联网技术，结合工业互联网标识技术，每批材料都被赋予唯一标识，通过条形码、

二维码、RFID 等技术自动采集数据，实现实时追踪。在生产线上，系统自动记录物料流动的每一个节点，包括接收、存储、分配至工位、消耗等，数据即时同步至云端，管理人员可远程监控库存状态和物料流向。一旦发生异常，系统立即预警，快速定位问题源头，有效减少停机时间和浪费。

(2) 原材料质量智能检测

借助高精度传感器、机器视觉、光谱分析技术和人工智能算法，能够自动、快速、无损地完成材料的多维度检测，如表面瑕疵、尺寸公差、材质成分及内部结构缺陷等。通过高清摄像头，即便是微小的裂纹或异物也能被精准识别；光谱分析技术则能在几分钟内完成材料成分的精确测定，无需繁复的化学处理。此外，自动化检测线能连续作业，大幅提高检测效率，减少人力需求，同时保证结果的客观性和可追溯性。综上所述，数字化的智能检测方案不仅极大提高了检测的准确性和效率，还促进了质量控制的标准化和智能化，是电力装备制造业质量升级的重要推动力。

2. 铸造锻造

(1) 智能熔炼控制

整合先进的传感器技术及人工智能算法，实现熔炼过程的精准管理和优化。智能系统能够实时监测炉内温度、化学成分及其他关键指标，利用预设的最优参数模型自动调整熔炼条件，确保熔炼过程高效且稳定，显著提高成品的一致性和质量。大数据分析技术则通过对历史数据的挖掘，预测潜在问题，实现预防性维护，减少停机时间。此外，通过与 ERP、MES 系统的集成，智能熔炼还能优化生产调度，平衡资源分配，降低能耗和物料浪费，提升整体运营效率。

(2) 自动化浇铸与锻造生产线

集成机器人、自动化控制系统、传感器网络以及先进的软件系统，实现从原料投放、熔炼、浇铸到锻造、冷却、检测的全程自动化与智能化。数字化技术使得生产线能够精确控制工艺参数，如温度、压力和速度，保证产品的高精度和一致性。通过物联网技术，生产线上的每一环节都能实时监测并上传数据，借助大数据分析和人工智能算法，系统能够自主优化生产流程，预测并预防故障，大幅降低不良品率和维护成本。此外，灵活的生产管理系统能够根据订单需求迅速调整生产计划，实现个性化定制与批量生产并行，增强市场响应速度和竞争力。

3. 机械加工

(1) 机加过程虚拟调试

利用数字孪生等技术，在虚拟环境中预先构建设备及生产线模型。工程师能够在虚拟空间中模拟整个加工流程，包括设备动作、工件加工、物料流动等，实现早期故障诊断与工艺优化。这种方式显著缩短调试周期，减少实物原型制作和现场调试的需要，成本节约可达数倍。通过虚拟调试，可在项目实施前预览并解决潜在问题，确保首次实体装配即能顺利运行，极大提升调试效率和生产准备的准确性。同时，操作人员可以在虚拟环境中接受培训，熟悉系统操作与应急处理，进一步降低实际生产中的错误率和停机时间。

(2) 数控机床联网远程监控

通过集成传感器、物联网技术与云平台，实现对机床状态的实时、全面监控。远程监控系统能自动采集并分析机床的运行数据，如温度、振动、负载、加工精度等，一旦发现异常立即触发警报，便于快速响应与预防性维护。管理人员无论身处何地，都能通过移动终端或 Web 界面获取实时生

产数据，优化排产调度，提高设备利用率。此外，大数据分析与 AI 算法的应用，能够挖掘数据价值，预测维护需求，优化加工参数，持续提升生产效率与产品质量。

4. 焊接装配

(1) 自动化焊接机器人

机器人不仅能够 24 小时不间断作业，显著提升焊接效率，还通过精密控制确保每一次焊接的一致性和高质量。机器人系统集成先进的传感器与视觉识别技术，能实时监控焊缝状态，自动调整焊接参数，有效避免缺陷产生。数字化焊接平台则利用大数据分析和人工智能算法，实现焊接路径的智能规划、焊接参数的最优配置及焊接过程的远程监控与预测维护。数字化焊接解决方案还支持焊接工艺的模拟与优化，减少试错成本，加速新产品研发周期。通过物联网技术，焊接数据得以实时采集与分析，为企业提供决策支持，实现焊接质量的持续改进和生产流程的透明化管理。

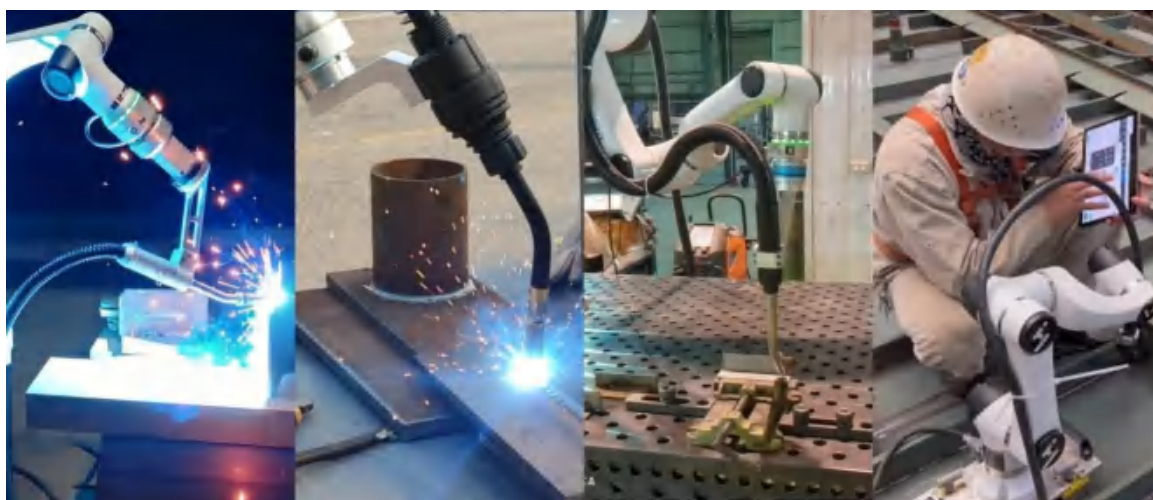


图 3-5 自动化焊接机器人作业

(2) 激光跟踪与视觉引导焊接

激光跟踪系统通过高精度三维测量，实时监控焊枪与工件的相对位置，即使在复杂形面或多维度变换的焊接路径中，也能确保焊缝精准对接。视觉引导技术则利用高清相机捕捉焊接区域图像，通过图像处理算法识别焊缝位置和形状，引导机器人或自动化设备精确执行焊接动作，显著提高定位精度和焊接质量。该方案能够与 CAD/CAM 系统集成，依据设计图纸自动规划焊接路径，减少前期准备时间。在焊接过程中，集成的数据采集系统还能实时监测焊接参数，结合智能算法分析焊接质量，为工艺优化提供数据支持。这种技术不仅减轻对高技能焊工的依赖，还大幅降低人工误操作风险，提高作业安全性，同时，通过提高一次焊接合格率，减少材料浪费和后期修复工作，整体上提升生产效率和经济效益。

（三）绿色化生产

1. 火电

（1）电厂智能运行监盘

人工监视仪表盘和控制台模式，操作员需持续监控各类参数，如温度、压力、负荷等，依靠经验判断异常并手动调节控制系统。这种方式要求操作员具备高超的专业技能和丰富的实战经验，但受限于人为因素，存在响应延迟、误判风险及监测盲区等问题，尤其是在面对复杂工况或突发状况时，难以做到即时准确地处理，影响电厂运行的安全性和经济性。

智能运行监盘，实现对电厂运行状态的全面、实时、精准监控。通过传感器网络收集海量运行数据，结合先进的数据分析平台，系统能自动识别异常趋势，预测潜在故障，并迅速触发预警，指导操作员采取措施或直接联动控制系统自动调整，大幅缩短故障响应时间。同时，AI 辅助决策支持功能能够基于历史数据和算法模型优化运行策略，提高能源使用效率，

降低成本。此外，数字化监盘还支持远程监控和移动管理，增强运营的灵活性与便捷性。



图 3-6 某火电机组集控运行监盘工作

(2) 火电机组设备远程诊断

火电机组的设备故障诊断，长期依赖于现场技术人员的经验判断与定期巡检，这一过程往往耗时长、效率低，且受制于地域限制和人力成本。当设备出现异常时，需要专家亲赴现场，依据纸质记录和直观检查进行故障定位，不仅响应慢，还可能因主观判断失误导致问题排查不彻底。信息传递效率低，缺乏即时性，影响了故障处理速度和机组运行的连续性。

火电机组设备远程诊断充分利用物联网及人工智能等技术，实现火电机组监控与诊断的智能化升级。实时运行数据通过传感器网络被自动采集并上传至云端，借助大数据分析和机器学习算法，能够对设备状态进行深度挖掘与模式识别，快速准确地发现潜在故障迹象，实现早期预警。同时，构建的专家知识库与数字孪生模型能够模拟设备行为，为远程专家提供直观的诊断依据，支持即时在线会诊与决策支持。这种方式不仅打破地域限

制，提高诊断效率，还能通过对历史数据的学习不断优化诊断算法，提升未来预测的准确度，极大增强火电机组运行的安全性、经济性和环保性能。

(3) 智能配煤掺烧

传统配煤掺烧依赖于人工经验与简化的计算模型，通常涉及繁琐的手动计算与现场调整，以期达到燃煤质量稳定、成本控制及环保合规的目标。这一过程不仅效率低下，而且难以精确控制煤种比例，易受人为误差影响，导致燃烧效率不高，污染物排放控制不稳定。加之缺乏实时监控与动态调整能力，面对煤质波动大、市场需求变化快的挑战时，难以快速响应，影响火电机组的整体运行经济性和环保性能。

智能配煤掺烧方式，能够实时采集并分析煤场库存、煤质参数及市场煤价等多维度数据，运用先进的算法模型预测最优掺烧方案，确保在满足环保排放标准的前提下，实现燃烧效率最大化和成本最优化。三维煤场建模与智能调度功能提升煤料存储与取用的精确度与灵活性，而电子皮带秤和在线监测系统则保证掺烧过程的实时监控与异常预警。此外，根据火电机组负荷变化动态调整配煤策略，有效应对深度调峰需求，进一步提升火电灵活性与市场竞争力。

(4) 火电排放监测分析

火电厂的排放监测大部分采取定期的人工采样与实验室分析，这种方式不仅耗时长、成本高，而且难以实时反映排放状况。监测数据的滞后性和有限的样本量使得管理者难以及时发现并纠正超标排放问题，影响环保措施的有效实施。此外，纸质记录和手动数据录入容易出错，数据整合与分析过程复杂低效，不利于长期的环境管理和决策支持。

通过连续排放监测系统（CEMS），能够 24 小时不间断地自动监测二氧化硫、氮氧化物、颗粒物等多种污染物浓度以及流量、温度、压力等关键参数，确保数据的实时性和准确性。这些数据直接上传至工业互联网平台，通过算法分析，不仅能够即时预警潜在的超标排放，还能深入挖掘排放趋势，为优化运行参数、减少污染物排放提供科学依据。

2. 水电

(1) 水电站设施智能巡检维护

水电站的智能巡检维护是电站高效运行与安全保障的重要环节。传统巡检依靠人工定期对水电站的发电机、水轮机、输电线路等关键设备进行现场检查，这种方法不仅劳动强度大、效率低，还受限于人的经验和视力所及，难以发现隐蔽或微小的缺陷，存在安全隐患。维护计划往往基于固定周期，而非实际设备状态，可能导致过度维修或维修不足，增加运维成本且无法及时响应突发故障。



图 3-7 某水电机组智能诊断与故障预测系统

智能巡检维护引入无人机巡检、传感器网络等技术，实现对水电站设施的全天候、全方位、高精度监测。无人机搭载高清摄像头与红外成像设备，自主完成复杂环境下的巡检任务，识别设备热异常、裂缝等隐患；传感器不间断监测关键部位的振动、温度、湿度等参数，实时传输至中央管理系统。借助 AI 算法分析这些海量数据，系统能够自动诊断潜在故障，预测维护需求，生成优先级排序的维修任务单，从而转向预知性维护。

(2) 智能水文气象预报

智能水文气象预报集成来自卫星、雷达以及地面观测站的多元数据，能够更加全面地捕捉到水文气象的变化趋势，特别是在短临预报方面表现突出，这对于防范洪水灾害等突发性事件至关重要。结合深度学习模型可以从历史数据中学习到复杂的关系和模式，即使是在数据不足的情况下也能提供较为可靠的预测结果。这种能力使得智能预报系统能够在极端条件下依然保持较高的预报精度，这是传统方法难以企及的。同时，智能预报系统还能够更好地应对不确定性问题。传统的预报模型往往假设未来的变化遵循过去的经验规律，但在气候变化日益加剧的今天，这种假设可能会导致较大的误差。而智能预报系统则能够通过集成多种可能的情景，利用概率预测的方法给出一系列可能发生的情况及其概率分布，从而帮助水电决策者更好地理解 and 应对不确定性带来的挑战。

(3) 水电生态环境监测保护

水电开发与运营对生态环境的影响一直是行业关注的重点，传统模式主要依赖人工定期采样分析水质、生物多样性调查及现场巡查等手段，不仅效率低下，受天气、地形等自然条件限制较大，数据收集不连续，难以及时捕捉环境变化，且对生态系统的整体评估与长期趋势预测能力有限。

这种滞后性和片面性往往导致环境问题发现晚、响应慢，生态修复措施不够及时有效。

基于工业互联网的生态环境监测保护体系，利用物联网传感器、卫星遥感、无人机巡查等技术，构建起全天候、全流域、多维度的监控网络。传感器网络实时监测水质、水温、泥沙含量及生物声学等关键指标，卫星图像与无人机航拍则为生态覆盖变化、湿地退化等情况提供宏观视角。这些海量数据通过工业互联网平台整合分析，不仅能即时预警潜在的生态风险，还能通过高级算法模型预测生态系统演变趋势，为科学决策提供强有力支持。

(4) 水电运行智能分析决策

水电运行智能分析决策是提升水电站运营管理效率与效益的核心环节。传统方式主要依赖人工经验分析历史数据，结合既定规则进行决策，这种方式在面对复杂多变的运行环境时显得力不从心。由于信息获取不及时、数据分析依赖人工且效率低下，难以实时准确地把握电站运行状态，对潜在故障的预测和应急响应也较为滞后。同时，优化调度策略多基于静态模型和粗略估计，无法充分考虑气象、市场、电网需求等多因素动态变化，导致发电效率和经济效益难以最大化。

智能分析决策方式下，实时采集并处理大量运行数据，包括但不限于设备状态、水流信息、环境参数等，利用先进的算法模型进行深度分析，不仅能够实时监控电站健康状态，还能精准预测设备故障，为预防性维护提供依据。此外，结合机器学习的优化调度算法能够综合考量多种外部因素，动态调整发电计划，最大化发电效益，同时确保电网稳定运行和满足环保要求。

3. 风电

(1) 海上风电智能巡检

人工乘船出海近距离检查风电机组，不仅受天气海况限制大，作业风险高，而且效率低下，难以实现高频次、全覆盖的检测。人工检测不仅耗时长、成本高，对于海上风电机组内部结构的潜在问题及微小损伤往往难以准确识别，容易延误故障处理时机，影响风电场的整体运行效率与寿命。智能巡检通过无人机、无人船搭载高清摄像、红外热成像仪及激光雷达等高精度传感器，实现远程、自动化的海上风电场巡检。这些智能设备能够在各种天气条件下执行任务，采集风机叶片、塔筒、海底电缆等关键部件的详细数据，通过无线传输至后方数据中心。运用人工智能算法分析处理数据，能够快速识别设备磨损、腐蚀、热异常等故障迹象，甚至预测潜在故障，为运维团队提供精确的维修建议与优先级排序。

(2) 风电场智能运维诊断

人工定期巡检与故障响应，受限于风电场的地理位置偏远、环境恶劣等因素，效率较低，故障发现与处理周期较长，且依赖运维人员的经验判断，难以实现精细化管理。此外，由于数据采集不连续、分析手段有限，难以捕捉设备的细微变化，预防性维护能力薄弱，易导致非计划停机，影响发电效率和经济效益。智能运维诊断方式，智能传感器网络持续监测风机运行状态，实时传输数据至工业互联网平台，运用 AI 算法对大量数据进行深度分析，实现故障的早期预警与精确定位。这种预测性维护策略显著降低故障发生率与停机时间，提高设备可用性和发电量。数字孪生技术的应用更是允许运维团队在虚拟环境中模拟设备运行，进行故障模拟与策略优化，进一步提升了决策的准确性和效率。

(3) 风电区域集控

单个风电场独立运营模式下，每个风电场都需要自己的控制中心来监控风机的状态、调整运行参数，并进行故障排查等操作。这种模式下，信息孤立且不共享，不仅增加人力成本，还限制了资源的优化配置，难以实现大规模风电系统的高效协同运作。风电区域集控模式下，一个集中的控制中心能够对多个风电场进行统一管理，实现跨地域的远程监控与调度。在数据采集方面，通过部署各类传感器和智能终端设备，可以实时收集风速、温度、湿度等环境数据以及风机的运行状态信息，数据经过处理后被上传至云端形成庞大的数据池。集控中心借助先进的算法模型，能够对海量的数据进行深度分析，识别出潜在的故障风险，实现预测性维护，从而减少非计划停机时间。同时，通过对历史数据的学习，系统还可以根据实时气象条件自动调整风机的运行策略，最大化能源产出。

(4) 风电无人机巡查

新能源场站一般多处在远离城镇的山区郊区，因地处偏远，且场区面积较大，无法做到全覆盖的实时监控，高山风电雨雪季节容易造成山体滑坡导致埋在地下的光纤或电缆拉扯破损，冬季风机叶片及箱变存在结冰现象等，许多现场情况无法第一时间被值班人员发现，发生问题赶往事故现场往往需要 1—2 小时，事故响应时间长，技术人员水平不均，缺陷判断受限，信息收集沟通效率低，严重影响消缺效率，无法保障设备稳定运行。通过无人机智能巡检系统，使用无人机搭载高清摄像头、红外热成像仪等设备进行风电场的定期或临时巡检。无人机能自动化飞行与智能导航，准确抵达风电机组位置进行数据采集，并实时传回控制中心进行处理，快速

发现设备缺陷或潜在安全隐患，并通过影像智能分析技术进行问题识别和跟踪。



图 3-8 风电无人机巡检工作

4. 光伏

(1) 分布式光伏集群智能控制

传统控制方式往往依赖人工定期巡检与局部调节，缺乏光伏阵列间协同控制和动态响应市场机制。这种模式下，光伏电站的监控、维护效率低下，难以精确匹配实时电力供需变化，导致发电潜力未充分挖掘，电网接纳分布式光伏存在电压波动、频率不稳定等挑战。

集群智能控制方式，实现对分布式光伏集群的精细管理与优化调度，能够实时采集并分析每个光伏单元的发电量、环境参数，利用机器学习预测发电趋势，自动调整逆变器工作状态，优化最大功率点跟踪（MPPT），确保光伏集群高效稳定运行。同时，基于网络划分的双层电压控制策略，结合集群自治与分布式协调控制，有效缓解局部过电压或欠电压问题，减少配电线路损耗，提高并网质量。



图 3-9 运维人员检查光伏组件和电气设备情况

(2) 户用光伏智能运维管理

家庭光伏系统运维依赖用户自行观察或不定期的人工检查，故障发现滞后，维护响应缓慢，缺乏系统性的数据分析，难以精准评估发电效能与健康状态。用户往往对光伏板清洁、遮挡、损耗等影响发电效率的因素缺乏有效监控手段，导致能源产出未能最大化利用。

基于工业互联网的智能运维，实现对户用光伏系统的全天候远程监控与主动管理。智能传感器持续监测光伏板状态、电流电压、发电量等关键指标，实时数据上传工业互联网平台，通过算法分析不仅能及时发现并定位故障，还能预测潜在问题，自动发送维护提醒。用户通过手机 APP 即可直观了解系统运行详情，远程控制逆变器等设备，大幅提升运维的便利性和主动性。

(3) 区域光伏场站群集中管控

光伏电站独立运营模式，依靠人工现场巡检、维护和数据记录，这种分散式管理导致资源协调困难，信息反馈滞后，难以实现高效运维和快速响应市场变化。加之缺乏统一的监控与分析平台，电站性能优化、故障预测及能源调度效率均受到限制，不利于最大化光伏发电效益和电网稳定性。

基于工业互联网的集中管控，实现对区域光伏场站群的远程监控、智能分析与统一调度。通过部署在各电站的智能传感器，实时采集光照强度、发电量、设备状态等关键数据，经工业互联网平台整合分析，管理者可实时掌握全场站群的运营概况，快速识别并定位问题，甚至通过 AI 算法预测潜在故障，实现预防性维护。这种集中式管理极大提高运维效率，降低运营成本。

(4) 光伏电站火灾智慧预警

光伏电站火灾预警目前主要依赖人工巡逻与简易监测设备，火灾隐患发现滞后，预警效率低，一旦火情发生，往往造成重大损失。由于光伏电站分布广、环境复杂，人工检查难以覆盖所有风险点，且对初期隐性故障辨识不足，应急响应受限于人员位置与信息传递速度。

智慧预警方式，实现对电站全方位、实时监控与智能分析。系统能够 24 小时不间断监测温度、电流异常、短路征兆等火灾前兆，利用 AI 模型即时分析数据，准确识别风险模式，发出早期预警，显著缩短响应时间。结合远程监控平台与移动通讯技术，即时通知相关人员，即使在偏远地区也能迅速调度消防资源。

5. 核电

(1) 核电运行实时监测

现有大量监测系统中，不同子系统模块相对独立，信息共享困难，不利于综合分析与决策，在面对紧急情况时，需要人工判断并手动操作，响应时间较长。通过工业互联网平台整合全厂数据，实现跨系统的信息流通与共享，可以为决策支持提供全面、实时的数据基础。通过部署在核电站各环节的智能传感器网络，实时采集温度、压力、辐射水平等关键参数，这些海量数据经由高速通信网络迅速传输至工业互联网平台。在此基础上，运用先进的数据分析算法，不仅能实时监测设备状态，识别潜在故障迹象，还能通过机器学习不断优化预测模型，提前制定维护策略，有效避免非计划停机，保障核电站的稳定高效运行。



图 3-10 某核电自主可控运行控制系统

(2) 核电 DCS 远程诊断和支持

我国目前核电站已经普遍使用数字化仪控系统，但在 DCS 运行维护领域还处于以维护人员为主的人员介入状态，存在着仪控系统异常处理效率低、周期长、工作量集中在纠正性维修预防性维修手段欠缺、专业技术支

持不足、备件库存量大、人员成本投入高等问题，信息化、网络化、智能化等先进技术与运维服务结合度低，大多数设备的监测及诊断系统都是基于现场的或基于局域网的分布式系统，此种体系结构相对封闭，异常诊断与维修都会受到人力、技术和地域的限制，异常诊断的时效性也受到一定的影响，远程智能运维服务在核电领域应用尚属空白。

DCS 远程诊断与支持方式，构建一个跨越地域限制的智能运维平台，能够远程实时监测 DCS 状态，通过算法自动分析数据，识别潜在故障，提前预警，大幅缩短故障响应时间。同时，利用远程连接，专家可在全球任何位置接入系统，进行远程指导、故障诊断与修复，确保核电站安全高效运行。

(3) 核电设备智能预测性维护

核电设备维护通常基于预防性维护或被动维修，前者依赖固定时间表进行设备检查和部件更换，可能导致过度维护或忽视即将发生的故障；后者则在故障发生后采取行动，易造成非计划停机和高额维修成本，同时影响核电站的安全与经济运行。这类维护高度依赖人工经验，难以覆盖所有潜在故障点，也无法实时掌握设备真实健康状态。

智能预测性维护，实现对核电设备状态的实时监测与深度分析。通过收集运行数据、环境参数、历史故障记录等信息，智能算法能识别设备性能衰退的早期迹象，预测故障发生的可能性与时间，从而在故障前采取措施，实现精准维修。这种维护模式减少不必要的维护作业，延长设备寿命，优化备件管理，同时也显著提高核电站的安全性及可用性。

(4) 核电站安全性能评估

核电站安全性能评估当前侧重于定期的人工检查、物理测试和基于经验的分析，依赖专家现场评审和静态模型来验证核电设施是否符合安全标准。这种方法尽管细致全面，但存在耗时长、效率低、难以实时监测动态风险及对复杂系统深入分析的局限性。人工评估易受主观判断影响，且难以覆盖所有潜在故障模式，特别是在大型复杂核电站中，难以实时捕捉所有安全关键点的变化。

工业互联网方式利用高级传感技术，实时监控关键系统和设备，自动收集并分析大量运行数据，能够即时识别异常和潜在风险。利用机器学习算法，工业互联网平台能够从历史数据中学习，预测故障模式，实现故障的早期预警。数字孪生技术创建核电站的虚拟副本，使得工程师能够在虚拟环境中模拟各种情景，优化应急响应策略，无需干扰实际运营。此外，大数据分析能力提供全面的安全性能评估报告，帮助决策者快速理解电站安全状况，制定精准的维护策略，有效降低事故风险，提高核电站的安全性和经济性。

6. 调度管理

电力调度管理经过多年的信息化建设，主要通过构建业务管理系统来收集、处理和传递调度相关信息，使得管理者能够基于实时数据做出决策。信息化技术的引入，加强了部门间的沟通协作，实现资源状态的可视化监控，为调度决策提供有力支持。然而，信息化更多是对现有流程的电子化，其核心仍然是依赖人工分析和判断，对海量数据的深度挖掘和智能应用有限。

工业互联网技术成果在调度管理上的应用，可带来三方面的提升：一是**发电单元精准调度调节**，根据实时的电力需求、电网状态、天气预报等

因素，调整各发电单元的输出功率，确保电网的稳定运行、提高效率并降低成本。精准调度能够有效应对电力供需的快速变化，减少备用容量需求，增强系统的灵活性和可靠性。二是**区域微电网协同调控**，在一定区域内，多个微电网通过标识技术和智能控制算法等相互协调，实现资源共享、故障隔离、优化调度等功能。这种协同可以提高能源利用效率，增强局部电网的韧性，促进可再生能源的有效整合和利用。三是**新能源功率预测**，利用气象数据、历史运行数据及先进的工业算法模型，预测未来一段时间内风电场、光伏电站等新能源发电设施的输出功率。准确的功率预测对于电力系统的安全经济运行至关重要，有助于提前做好调度安排，减少备用容量需求，提高电网接纳可再生能源的能力。四是**分布式能源调度与管控**，通过智能调度策略优化资源配置，提升能源利用效率，促进供需平衡，并能在一定程度上参与电网服务，如提供辅助服务、需求响应等，实现能源生产和消费的精细化管理。

7. 输变配管理

(1) 输电线路状态多维监测分析

输电线路监测方式长期依赖人工巡检和定期维护，这种方法不仅耗时耗力，而且难以实现实时监控和早期预警。巡检人员需要攀爬铁塔或徒步沿线检查，不仅工作条件艰苦，还可能因天气恶劣、地理位置偏远等因素延误发现问题，从而增加了线路故障的风险和维护成本。

输电线路状态多维监测分析，可实现对线路状态的全天候、全方位监控。传感器被安装在关键部位，如绝缘子、导线连接点和铁塔结构上，能够实时采集温度、振动、应力、腐蚀程度等关键指标，数据通过 5G 无线网络即时传输至监控中心。人工智能算法对这些海量数据进行深度分析，

能够精准识别潜在故障迹象，甚至预测未来可能出现的问题，为维护团队提供及时准确的预警信息。

（2）变电站机器人巡检

变电站巡检主要依靠人工定期检查，巡检人员需亲临现场，借助望远镜、测温枪等工具，对变压器、断路器、线路接头等关键设备进行目视检查和简易测试，以发现潜在的安全隐患和设备故障。这种方式不仅劳动强度大，且受限于人的体能、经验和当时环境条件，存在漏检、误判的风险。特别是在极端天气或复杂地形条件下，人工巡检的难度和危险性大幅增加，无法保证巡检的及时性和全面性，进而影响变电站的运行安全与效率。



图 3-11 某变电站机器人巡检

利用工业互联网开展变电站机器人巡检，机器人搭载高清摄像头、红外热像仪、超声波传感器等高精度检测设备，能够按照预定路径自动执行巡检任务，或在遥控下进行特定区域的细致检查。它们不受环境恶劣或人

体限制影响，可在全天候条件下工作，捕捉设备微小温升、噪音异常等人类难以直观发现的问题。数据实时传输至监控中心，通过 AI 算法分析，快速识别故障征兆，生成预警报告，指导精准维修。

（3）营配智慧融合

营配分离模式下，营销与配电管理作为电网企业的两大核心业务，各自独立运行，信息流通不畅，导致客户服务响应慢、资源利用效率低。营业部门负责电费计收、用户服务等工作，而配电部门专注于电网运维、故障抢修，两者间信息壁垒明显，客户报修信息传递延迟，配网故障定位依赖人工判断，资源调配缺乏协同。此外，由于数据孤立，市场分析、用电趋势预测等难以精准，影响企业决策质量及电网规划的科学性。

引入工业互联网，可实现营销与配电业务的无缝对接和高效协同。通过构建统一的工业互联网平台，集成 GIS、SCADA、CRM 等系统，实时共享用户信息、电网结构、设备状态等关键数据，使得故障报修能够迅速传达至配电侧，实现快速响应与精准定位。AI、大数据分析等技术应用于用电行为分析、负荷预测，帮助企业精准把握市场需求，优化资源配置，提升供电服务质量。同时，智能电表、物联网传感器等终端设备的广泛应用，为用户提供更个性化的服务体验，如动态电价、需求侧管理等，促进能源消费的绿色转型。

（4）虚拟现实培训

电力培训通常依赖于实体设备操作、纸质手册学习及现场模拟演练，这种方式受限于物理空间、设备可用性及安全风险，往往难以提供全面、高效的培训体验。学员的学习进度缓慢，实操机会有限，且高危情境下的

应急处理经验积累困难，难以有效应对电力系统复杂多变的实际情况，增加了实际工作中的人为错误风险。

基于工业互联网的电力虚拟现实（VR）培训，利用先进的虚拟现实技术，构建出与真实环境几乎无异的三维互动场景，让学员仿佛置身于变电站、输电线路等各种复杂环境之中。通过佩戴 VR 头盔和交互设备，学员可以安全地进行设备拆装、故障排查、紧急处置等操作练习，无需担心真实设备损坏或人身安全风险。虚拟现实培训不仅能提供无限次的重复练习机会，还能模拟极端或罕见故障情景，极大丰富了培训内容的多样性和深度。结合人工智能和数据分析，系统能够精准评估学员表现，即时反馈改进建议，定制个性化学习路径，提升培训效率与效果。此外，VR 培训易于更新和扩展，能够迅速融入新技术、新标准，保持培训内容的前沿性，适应电力行业快速发展需求。

8. 储能管理

(1) 储能电站智能监控与运维

目前大多数的储能电站运维较为简单粗放，且缺乏有效的运维管理工具，无法满足电站安全高效运维需求。储能运维是保证储能电站长时间连续安全运行，支持调峰调频、削峰填谷等多种用途来发挥价值和赢得收益的关键，因此储能电站投运后的盈利水平很大程度受运维水平高低的影响。因此基于工业互联网的储能电站智能监控运维至关重要，通过边缘计算与云边协同技术实现海量电池数据的采集、传输和处理，利用大数据分析和机器学习等技术预测储能系统组件的寿命和性能下降趋势，通过智能分析迅速诊断异常状态，实现智能预警和火灾预警，减少因故障而导致的安全风险。实时监控储能系统的状态，包括电池单体/模块电压、电流、温度、

SOC（荷电状态）、SOH（健康状态）等关键参数，利用大数据技术收集并分析这些数据，形成可视化展示，及时发现潜在问题并做出预警。

（2）储能资产管理与优化调度

传统模式依赖人工记录与经验判断，资产管理信息零散且更新滞后，难以实现精细化追踪与维护，导致资源分配和调度往往基于有限数据和直觉，效率与灵活性受限。维护工作依靠定期巡检，故障发现滞后，响应不够迅速，增加了运维成本和安全风险。而在合规与安全监控方面，传统手段亦显得力不从心，难以实时确保所有操作均符合严格的标准。

基于工业互联网方式通过集成物联网技术、大数据分析 with 人工智能算法，为储能资产管理带来革新。资产信息实时汇总，状态透明可视，维护需求预见性识别，实现从被动应对到主动预防的转变，有效延长资产寿命，降低成本。优化调度方面，数字化系统能够综合分析电网负荷、市场价格波动及储能状态，自动生成最优调度策略，提升资源利用效率和市场竞争力。加之智能安全监控与合规性自动审核功能，确保运营既高效又安全合规。

（3）储能电池精准评估与管理

传统方式依赖于定期维护与响应式修理，往往基于固定时间表或明显故障迹象进行，缺乏对电池健康状态的深入洞察。这种被动的的方法不仅效率低下，而且难以捕捉到早期性能衰退，导致维护成本高昂，电池整体使用寿命缩短。此外，依赖人工记录和评估的管理方式易出错且数据孤立，难以形成系统性的维护策略和寿命预测模型。

工业互联网通过集成传感器、大数据分析、机器学习等先进技术，实时监控电池电压、电流、温度等关键参数，结合历史运行数据，数字化系

统能够精准评估电池健康状态，预测潜在故障，实现从被动维修向主动预防转变。这种前瞻性维护策略可显著减少意外停机，延长电池使用寿命，优化运维成本。利用先进的算法模型，系统还能根据电池使用模式和环境条件，定制个性化充放电策略，平衡性能与寿命，最大化储能系统的整体效益。同时，工业互联网平台的集中管理确保信息的透明度与可追溯性，便于多站点协同与优化决策。

（4）储能与分布式能源互动

在传统模式下，分布式能源如太阳能光伏板和小型风力发电机等，与储能系统的配合较为简单直接，依赖基本的控制逻辑和局部优化策略。信息交换受限，调度响应迟缓，难以实现高效协同，导致能源生产和储存的潜力未能充分挖掘。此外，由于缺乏实时数据分析能力，用户侧的能源消费行为与供应侧的调节之间存在脱节，难以做到精准匹配，增加了能源浪费和供需不平衡的风险。

工业互联网通过集成物联网、大数据分析以及人工智能等技术，为储能与分布式能源互动提供智能化解决方案，使得能源系统能够实时感知、预测并响应多种来源的能源生产与消耗数据，实现精细化管理和动态优化。储能系统不再是简单的电量存取装置，而是成为智能电网的灵活调控节点，可以根据分布式能源的波动性、负荷需求的变化，乃至市场电价信号，自动调整充放电策略。用户侧也能通过智能家居系统参与能源互动，实现需求侧响应，进一步提升能源利用效率。

（四）数字化管理

1. 设备管理

电力设备管理在电力生产运营中，扮演重要角色，事故发生前，往往存在着潜伏性故障，故障主要是由于内部局部放电、局部过热、绕组变形、机械部件松动及设备绝缘的老化等潜伏性故障随时间积累引起的。传统电力设备保护方法主要通过故障时的电压、电流等电气参量进行继电保护，而相关潜伏性故障由于普遍存在于内部而难以检测，无法准确及时地掌握设备的运行工况和潜在安全隐患，缺乏有效的在线监测方法、技术与装置。

考虑到供电可靠性及检修、试验人员的作业安全以及检修成本和运检人员的承载力，基于不停电检测的状态检修将更适应未来智能运检工作的需要。尤其是大中型转动设备的分析、诊断及运行维护管理工作，还是以传统的人为点巡检方式，依托人的经验和定检定修规程进行运维管理，亟需加强和提高。工业互联网可以带来三方面提升：一是**设备故障智能识别**。全面感知设备运行状态，获取实时监测数据。运用大数据、深度学习等技术，构建核心算法模型库和样本库，利用先进的 AI 算法与机理算法融合建模的故障诊断技术，实现设备状态评估。结合人工智能技术、专家知识库、数据库和推理机制，实现电网智能设备运维智能辅助决策。二是**设备健康状态检测**。以设备当前的实际工作状况为依据，通过先进的状态监测手段、可靠性评价手段以及劣化分析手段，判断设备的状态，识别故障的早期征兆，对故障部位及其严重程度、故障发展趋势作出判断，并根据分析诊断结果在设备性能下降到一定程度和故障将要发生之前进行维修。三是**智能集中运维平台**。平台为设备运维人员和各级生产人员提供了统一工作界面，解决了原来多级部署带来的数据混乱、应用平台多异、系统管理任务繁重等诸多问题，形成基于一套智能平台基础上的统一管理体系。

2. 营销管理

电力营销管理是电力企业供电服务过程中的重要环节，对电力产品的销售、客户服务、市场开发、品牌建设等一系列市场营销活动进行规划、组织、实施和控制。传统电力营销管理，产品和服务相对标准化，难以满足每个客户的具体需求和喜好。工业互联网可带来三大方面的应用创新：一是**用电行为分析与精准营销**，利用大数据分析技术，对用户用电行为进行深度挖掘，识别用户用电习惯、用电规律及潜在需求，制定个性化营销策略。根据用户分类和行为特征，实施精准营销活动，推广节能产品、套餐服务等，提高客户满意度和忠诚度；二是**实时负荷监控与需求响应管理**，利用物联网技术实时采集电网各节点的负荷数据，结合气象、经济活动等外部因素，通过大数据分析预测未来负荷趋势。在此基础上，向用户推送分时电价信息、需求响应邀约等，鼓励用户调整用电行为以匹配电网负荷曲线。此外，平台可自动化调度分布式能源、储能设施等资源参与需求响应，实现电力供需的动态平衡；三是**智能电力客服互动平台**，构建基于AI的智能客服系统，提供24小时在线咨询、故障报修、电费查询、账单解读等服务，提高服务效率和客户满意度。

3. 财务管理

电力财务管理相较于其他行业企业财务管理，主要差异体现在对资本密集度、政策依赖性、成本结构独特性、社会责任重大以及新能源转型影响的显著考量。电力企业投资规模庞大，涉及长期基础设施建设与设备更新，导致高负债率与复杂的资本结构管理需求。财务管理需紧密跟踪国家电价政策、补贴机制、碳市场动态等外部因素，精准预测并应对收入波动。成本方面，电力生产涉及大量燃料、运维、折旧及环保成本，需精细核算与有效控制。同时，电力企业作为公用事业，承担着保障供电稳定、服务

社会的责任，财务策略需兼顾经济效益与社会效益。面对全球能源转型，财务管理还需支持新能源项目投资决策，管理绿色债券发行、碳资产交易等新兴业务，助力企业应对气候变化风险与实现可持续发展目标。

基于电力财务管理特性，结合工业互联网主要带来三个方面的创新应用：一是**电力生产成本精细化管理**，通过物联网技术实时采集发电设备能耗、运行状态等数据，依据作业成本法或活动量基准法，对燃料、运维、人力、折旧等成本进行多维度精细分摊，然后借助 BI 工具构建成本监控看板，实时展现成本动态，设置预警规则防患未然，结合经营数据进行成本效益、动因分析，指导资源调配与成本改进；二是**电力设施折旧核算自动化**，运用 GIS、BIM 等技术，精准记录设施属性、启用日期、预计使用寿命等关键信息，然后基于设施类别、使用状况、经济寿命等因素，自动匹配适用的折旧方法（如直线法、年数总和法、双倍余额递减法等）与折旧年限。集成设施运行数据与维护记录，动态调整折旧计算参数，如考虑设备性能退化、大修影响等因素调整剩余使用寿命。最终系统自动按期生成折旧计提凭证，确保账务处理准确无误，同时，与财务系统深度集成，实时更新固定资产台账与折旧报表，为决策提供实时、准确的折旧数据支持。三是**电力资金智能调度**，实时抓取并分析电力销售、采购、投资、融资等业务活动产生的现金流信息，运用机器学习模型进行短期、中期资金需求与供给预测，确保预测精度；基于预测结果，结合资金成本、风险偏好等因素，运用优化算法制定科学合理的资金调度方案，自动执行跨账户、跨币种、跨期限的资金划拨与归集，提升资金使用效率，实现电力企业资金流动的精准预测和高效配置。

4. 供应链管理

电力供应链往往涉及电力基础设施建设、设备维护、应急抢修等关键环节，如变压器、断路器、电缆、铁塔、绝缘子、保护装置等，这些物资不仅价值高昂，而且直接影响电力系统的稳定运行和供电可靠性。电力物资的性能、质量要求严格，技术标准复杂，对安全性、耐久性和环境适应性有极高要求。因此，电力供应链管理不仅关注经济效益，更强调保障电力系统安全、连续、高效运行的社会责任。相比之下，其他行业企业的物资可能更多关注成本效益、生产效率或产品质量，物资的技术标准、安全等级以及对整体运营影响的直接程度可能不如电力物资那样显著。

基于电力供应链管理特性，结合工业互联网可以带来三方面创新：一是**电力备品备件采购智能预测**，基于设备运行状态监测数据和维修保养周期，结合电网建设项目进度，动态生成电力设备及备品备件的采购需求计划，确保供应与维护需求精准匹配。二是**电力物资智能招采**，利用人工智能技术深入分析市场动态、评估供应商信誉及历史采购数据，为电力企业提供更加精准的采购策略。这不仅优化了招标流程，也增强了采购活动的公正性和透明度。通过智能筛选与评估，电力企业能够选择到性价比更优、质量更可靠的物资，为电力生产的安全与效率提供坚实保障。三是**电力故障应急物资自动调配**，基于物联网（IoT）、大数据分析和人工智能算法，构建故障应急物资自动调配系统。当电网发生故障或出现紧急抢修需求时，系统能实时监测库存状态，自动识别所需物资，快速生成最优调配方案，包括内部调拨、紧急采购建议、供应商快速响应通知等。

5. 安全管理

工控与网络安全保障是能源安全的重要组成部分。工业互联网的发展促使海量能源设备上云上平台，实现全系统、全产业链和全生命周期互联

互通的同时，也将打破传统工业相对封闭可信的生产环境，导致工控安全和网络安全隐患明显增加。工业互联网通过引入安全态势感知技术，对网络流量、资产、日志、告警等数据进行实时采集、监测和分析，构筑基于内生安全技术的设备与服务生态，为能源系统工控与网络安全提供坚实保障。依托态势感知技术，有效解决了电力数字化业务与网络通信难、网络威胁和攻击手段多样等共性痛点问题。一是**智慧电厂工业网络安全**，工业网络安全能力体系建设是一个演进过程，即基础结构安全、纵深防御、态势感知与积极防御、威胁情报、反制。二是**基建安全质量信息监控**，建设基建安全质量信息监控平台有效整合接入的视频资源，并实现场景切换、录像回放，通过云台控制，可远程调整施工现场摄像头的角度和焦距，掌握施工现场全貌，对输变电工程建设现场作业计划、作业人员、作业风险等安全质量管理重要因素进行实时监控和跟踪督查，成为支撑输变电工程建设安全管控的有力手段。三是**场站智能监控与预警**，利用物联网技术安装智能传感器和视频监控设备，对变电站、输电线路、配电设施等进行实时监测，及时发现并预警设备异常、超温、过载等问题。结合气象、地质等外部环境数据，对可能影响电力设施安全的因素进行提前预警，如山火预警、洪水预警等。四是**移动作业安全支持**，使用移动作业终端，实现作业现场的安全交底、作业许可审批、安全检查表单电子化，提高作业流程的规范性和安全性。利用 GPS 定位、RFID 等技术跟踪作业人员位置，确保进入危险区域时遵守安全规定，防止误入带电区域或其他高风险场所。



图 3-12 某营销作业现场移动安全视频终端监控

6. 质量管理

随着客户对电力装备产品质量的要求日益提高，人工检验缺陷已不满足要求，人眼检验外观缺陷的漏检率高，功能、性能检测把关单靠人员效率低，误差大。基于工业互联网的应用场景包括不限于：一是**电力生产过程可视化追溯**，采用数字孪生技术构建虚拟电厂模型，实时反映生产运行情况，实现对发电、输电、配电各环节的过程控制与质量追溯。二是**标准化作业合规管理**，利用数字化作业指导书和移动作业平台，确保一线人员按照标准程序执行任务，减少因操作不当导致的质量问题。实施电子化、标准化的质量管理体系，通过信息化手段加强内部审计和合规审查，确保电力生产全过程满足质量体系认证的要求。三是**客户用电服务质量评价**，建立客户用电服务质量评价系统，通过用户端智能电表和其他终端获取用户侧的电压波动、停电次数、恢复时间等服务质量数据，及时响应客户需求，改善服务质量。利用数字化渠道，如 APP、网站等，建立用户投诉与建议反馈机制，形成闭环管理，不断改进电力服务质量和用户体验。

7. 环保管理

燃煤发电依然是许多地区的主要供电方式，这导致电力企业在减排二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物等大气污染物方面面临着巨大压力。相比之下，其他行业如制造业或服务业，虽然也需关注废水、废气、固废处理等问题，但污染源通常更为分散且类型多样，管理上侧重点有所不同。电力企业环保管理更加侧重于高效利用能源和推广清洁能源，正加速向风能、太阳能等可再生能源转型，同时提升火电的清洁燃烧技术，实施碳捕集与封存（CCS）等先进技术以减少碳足迹。

基于电力企业环保管理特点，工业互联网可以带来四方面的创新：一是**环境影响评估与预警系统**，建立基于地理信息系统（GIS）的环境影响评估系统，结合气象、生态、地质等多元数据，预测和评估电力设施建设与运行对周边环境的影响，及时发出预警信息；二是**清洁能源调度与优化**，根据风能、太阳能等可再生能源发电的实时数据，结合电力需求，通过数字化智能调度平台，优化清洁能源发电与传统能源之间的比例，降低化石能源消耗和温室气体排放；三是**发电碳捕获智能化运营**，运用大数据分析和机器学习技术，对捕获系统的运行数据进行深度挖掘，识别性能瓶颈，预测维护需求，提出优化建议，提升捕获效率和设备可用率。根据捕获量、储存需求、运输成本等因素，动态优化输送路线、调度运输资源，降低碳物流成本；四是**电力设施碳排放实时监测预警**，通过部署物联网设备（如智能传感器、远程监测系统）实时收集发电厂、输变电设施等关键节点的能耗数据和排放数据，根据实时数据和预设的碳排放因子，实时计算各个发电单元的碳排放量，当碳排放出现异常波动时，自动触发预警通知，以便及时排查原因并采取应对措施。

8. 企业经营决策

电力企业经营决策与其他行业相比，核心差异在于其强监管环境下的公共服务特性、技术与资本密集型运作模式，以及对安全稳定性的极高要求。电力企业须严格遵循国家政策与行业规范，决策深受能源政策、环境保护法规及电价调控影响，不同于其他行业相对灵活的市场化决策空间。此外，电力作为基础公共服务，其供应的不间断性和质量直接关联公共利益，安全成为经营决策的首要前提，这与众多可中断生产或库存调节的行业形成鲜明对比。电力领域的高额资本投入与快速技术迭代，尤其是可再生能源、智能电网技术的融入，要求决策时深入分析技术经济性与未来趋势，远超多数行业。同时，电力供需的即时平衡特性，以及提升清洁能源比重的社会责任，进一步加大了电力企业经营决策的复杂度与挑战性，这些特点共同构筑了电力行业决策的特有框架。

基于电力企业经营决策特性，结合工业互联网主要带来三个方面的创新应用：一是**电力规划与投资决策优化**，利用工业互联网整合海量内外部数据，进行深度挖掘与实时分析。这不仅包括历史负荷、天气模式、经济指标等常规数据，还纳入社交媒体情绪、政策动态等非传统信息源，使规划更加贴近现实与未来趋势。例如，通过建立复杂的数字孪生模型，企业能够在虚拟环境中模拟不同投资方案下的电网运行效果，评估各种不确定因素的影响，从而做出更为科学合理的决策；二是**电力企业环境与可持续性精细化分析**，利用工业互联网实现环境数据的实时采集与动态监测。智能系统自动追踪碳排放、能源使用效率、废物管理等关键指标，结合复杂算法模型，精准评估企业运营对环境的即时和长期影响。不仅能快速识别环境风险，还为企业提供优化资源利用、减少碳足迹的具体行动指南。工

业互联网平台支持情景模拟，帮助决策者探索不同的可持续性路径，评估各种策略的环境效益与经济效益，确保决策的科学性和前瞻性。三是**能源市场预测与自动化交易**，工业互联网平台能够实时抓取全球能源市场数据、政策动态、天气情况等多维度信息，通过复杂算法模型进行深度分析，显著提高预测的准确性和时效性。引入自动化交易系统，使得交易决策基于数据驱动而非个人直觉，能够在毫秒间响应市场变化，捕捉交易机会，执行交易指令，大幅提升交易效率和灵活性。

（五）网络化协同

1. 源网荷储一体化

工业互联网的海量数据处理和智能分析能力，为源网荷储一体化提供了强大的数据支撑和决策依据。一方面，通过精准预测工业负荷需求，可以在工业互联网平台上灵活调度可再生能源发电与储能资源，有效匹配工业生产周期，实现供需精准对接，减少能源浪费。另一方面，工业负荷的灵活性潜力被进一步挖掘，通过需求响应机制，工业用户可根据电力供需状况和价格信号调整生产计划，参与电网辅助服务，如提供调峰、调频服务，从而在降低自身能源成本的同时，增强电网的稳定性和韧性。此外，工业互联网平台能够集成各类能源消耗数据，对能源使用进行精细化管理与优化，识别节能空间，推荐并实施节能改造措施，助力企业实现碳排放目标。同时，通过远程监控、故障预警等智能运维服务，保障能源设施的安全高效运行，减少意外停机损失。



图 3-13 某产业园源网荷储协同项目

2. 虚拟电厂

通过工业互联网平台实时收集和分析工业负荷的详细数据，虚拟电厂可以精确匹配可再生能源的供应与工业用能需求，优化能源配置，实现供需两侧的智能互动。例如，根据生产计划动态调整工业负荷，充分利用工厂内的分布式能源，如屋顶太阳能，在阳光充足时直接供电，或在电网负荷高峰期调度储能设备放电，减轻电网压力，同时减少企业的能源成本。

工业互联网平台集成的能源消耗数据，为虚拟电厂提供了全面的能源使用视图，支持企业实施更加精细化的能效改善措施，如设备能效优化、生产流程调整等，有效减少能源浪费，实现碳排放的精确追踪与管理。通过智能分析和预测，企业能够更好地参与需求响应、虚拟储能等市场机制，不仅提升能源利用效率，还为电网提供辅助服务，增强系统的灵活性和稳定性。

虚拟电厂与工业互联网的融合还加速了绿色金融和碳交易市场的创新。基于工业互联网的透明化、可追溯特性，企业的节能减排成效得以量化、验证和交易，如通过区块链技术确保碳信用的可信流转，为企业提供

碳资产管理的新渠道，激发更多绿色投资和技术创新，推动低碳经济的发展。

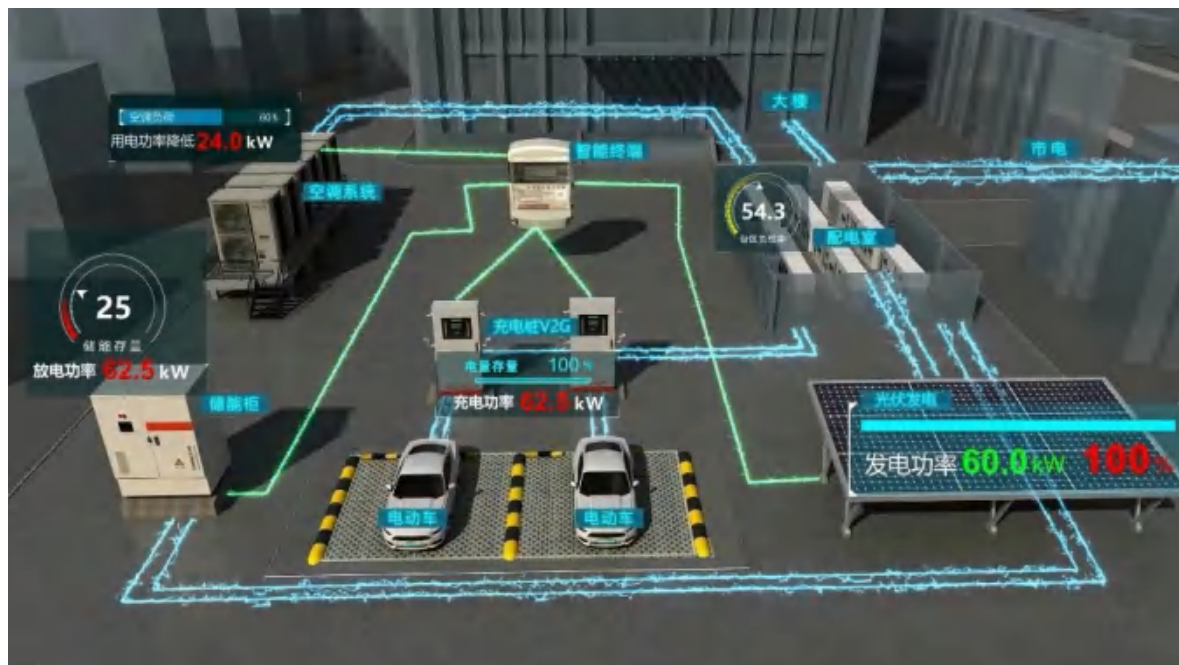


图 3-14 某虚拟电厂实现资源聚合调控和供需双向互动示意图

3. 智慧零碳电厂

工业互联网的融入，帮助智慧零碳电厂实现能源生产和工业需求的精准对接。通过工业互联网平台，智慧零碳电厂能够实时获取并分析工业用户的能源消耗模式、生产计划等大数据，据此优化发电调度策略，精准匹配供给与需求，提高能源利用效率。同时，工业互联网的开放性和互操作性，使得电厂能够与更广泛的能源生态系统相联结，比如电动汽车充电网络、分布式储能系统等，形成更加灵活多元的能源管理网络，进一步促进可再生能源的高效消纳。

在此基础上，智慧零碳电厂与工业互联网的协同作用还促进了能效管理和碳足迹追踪的精细化。借助于物联网传感器、人工智能算法等技术，

工业用户可以实时监控自身的能源消耗和碳排放情况，通过工业互联网平台获得定制化的能效改进方案，实现生产过程的持续优化与减排。



图 3-15 某智慧零碳电厂项目光伏向日葵场景

（六）服务化延伸

1. 新能源云

工业互联网融合应用，能够实现能源供需的精准匹配。新能源云提供的实时数据与预测模型，帮助工业用户根据生产需求灵活调整用能策略，有效利用可再生能源，减少对化石燃料的依赖。同时，工业互联网平台上的大数据分析能力，为新能源发电企业的市场预测、发电优化、运维决策等提供了强有力的数据支持，提升了新能源发电的整体效率与经济性。

工业互联网技术应用于新能源电站的远程监控、故障预警、性能优化等方面，能够实时监控设备状态，预防维护，确保新能源设施的稳定运行。

同时，通过对工业生产过程中能源消耗的细致追踪与分析，企业可以发现并解决能源浪费问题，进一步提高能效，减少碳足迹。

2. 双碳智慧园区

双碳智慧园区中，工业互联网首先扮演能源管理与优化的核心角色。通过构建能源工业互联网平台，实时采集园区内风、光、储能、智能微网等多源异构能源系统的数据，运用大数据分析 with 人工智能算法，精准预测能源供需、优化调度策略，实现园区能源的高效配置与供需平衡。同时，整合园区内的分布式能源与可调节负荷，参与电网的辅助服务，提升电网的灵活性和园区的能源自给率，有效降低对外部传统能源的依赖。

其次，工业互联网助力双碳智慧园区实现全链条的能效提升与碳排放管理。通过物联网技术，对园区内的生产设备、建筑能耗、物流运输等环节进行全面监测，利用数字孪生技术建立能耗与碳排放的动态模型，精准识别节能降碳的空间与潜力。结合 AI 算法，为园区企业提供个性化的能效提升方案，指导设备维护、工艺优化、生产调度等方面的决策，从而在保证生产效率的同时，最大限度减少能源消耗与碳排放。

此外，工业互联网还促进园区循环经济的发展，通过搭建资源共享与协同服务平台，优化园区内部物料循环、废弃物回收利用等环节，推动产业链上下游企业的绿色供应链合作，形成闭环的资源流动体系。同时，利用区块链技术，实现产品全生命周期的碳足迹追溯与认证，增强消费者对绿色产品的信任，提升品牌价值，推动市场向低碳消费转型。

在智慧管理方面，双碳智慧园区借助工业互联网平台，构建起集环境监测、应急管理、智能安防于一体的综合管理体系，实现园区运行的透明化、精细化、智能化。通过集成各类环境传感器，实时监测空气质量、水

质、噪声等环境指标，及时预警潜在风险，保护园区生态环境。同时，利用 AI 视频分析、无人机巡检等技术，提升园区安全管理水平，确保生产安全与公共安全。



图 3-16 某智慧能源工业互联网平台（智慧园区）项目

3. 新型城市能源服务

工业负荷作为城市能源需求的重要组成部分，通过工业互联网平台，可以参与电网的灵活调度，实现与可再生能源发电的更好匹配，有效缓解高峰时段的电力紧张，提高可再生能源的利用率。同时，工业余热、废弃物等资源也可被回收利用，转化为城市能源供应的一部分，进一步提升能源的循环利用水平，减少环境污染。

通过工业互联网平台，能源服务供应商能够根据客户需求提供定制化解决方案，包括能源托管、能源交易代理、碳资产管理等服务，推动能源市场的多元化发展，激发市场活力。用户不仅能够享受到更加便捷、高效的服务，还能通过参与能源市场交易，获得经济激励，促进节能减排的社会氛围。

（七）个性化定制

1. 用户电费智能优化

用户用电服务普遍较为单一，电价固定，用户无法根据自身需求灵活选择电力产品和服务。定制化的智能用电方案，根据用户的生活习惯、作息時間、电器设备使用特点等，为其设计并推荐最适宜的用电套餐，如分时电价、阶梯电价、峰谷电价等，实现用电费用优化。结合家庭光伏、储能系统等分布式能源设备，定制混合能源供给方案，让用户享受到绿色、经济、稳定的电力供应。定制化智能用电相比于传统用户用电，不仅能为用户提供更加透明、实时、个性化的用电体验，更能通过智能控制和数据分析，促进能源效率的提高和节能减排目标的实现。

2. 电力市场参与策略优选

电力市场参与策略往往依赖于人工分析与决策，过程中充满了挑战。例如，在购电协议谈判中，企业通常依靠历史数据和直观判断来预测未来能源需求，这种方式不仅耗时且准确性受限。需求响应方面，信息传递缓慢，响应机制滞后，导致错失最佳调节时机。市场交易上，由于缺乏高效的数据处理工具，企业难以迅速捕捉价格波动，制定最优竞价策略。此外，客户服务也相对单一，难以满足用户的个性化需求。

借助工业互联网技术成果，电力市场参与策略可更加精准与高效。首先，在需求预测上，算法模型能够综合考虑多种因素，如天气变化、节假日效应等，为企业提供更为准确的需求预测报告。需求响应机制变得及时且智能化，通过工业互联网平台实时调整用电模式，响应市场信号，有效降低成本。在市场交易环节，平台能够实时监控市场价格动态，利用机器学习预测价格趋势，使企业能够在最佳时机进行电力买卖，最大化经济利益。

3. 企业能效诊断提升

企业能源数据的采集多依赖手工记录，分析则多基于有限样本和经验判断，这种方式不仅效率低下，且数据完整性与准确性均难以保证。咨询建议往往泛泛而谈，缺乏对特定企业运营状况的深度洞察，执行后效果评估也多半基于定性评价，难以量化能源管理的直接经济效益。加之信息传递链条长，管理层决策时难以获取实时数据支持，错失优化时机。

基于工业互联网方式，通过部署智能传感器网络自动化采集数据，运用大数据分析 with AI 算法深度挖掘能耗模式，实现能源流的透明化与智能化管理。让企业能够实时监控能源使用情况，精确识别浪费环节，预测未来能耗趋势。基于工业互联网平台能够整合多源数据，生成定制化分析报告，为企业“画像”，提出针对性的节能改造方案与投资回报分析。数字化咨询进一步强化交互性，用户通过可视化界面即可直观理解分析结果，及时调整策略。同时，持续的数据反馈循环使得能源管理策略能够快速迭代优化，确保节能效益最大化。

（八）可视化管控

1. 电力装备制造全流程可视化管控

电力装备制造全流程可视化管控，实现生产数据的自动采集、实时分析与可视化展现。从原材料入库到成品出库的每一步，均在可视化平台上直观监控，异常情况实时预警，提升管理效率和问题响应速度。生产调度借助算法优化，实现资源的动态配置与任务的灵活调整，降低库存成本，提高生产线的灵活性。质量控制环节，通过引入自动化检测与智能分析，不仅能精确追踪产品质量，还能预防性地发现潜在缺陷，保障产品一致性。基于数据的决策支持系统提供科学依据，助力企业精准施策，持续改进生产流程，推动向智能制造转型。

2. 发电生产运行全过程可视化管控

发电生产运行全过程可视化管控，通过部署物联网传感器、智能仪表和高级分析软件，实时采集并整合发电机组、电网负荷、燃料消耗等全方位数据，经由可视化平台集中展示，使管理者能够一目了然地监控整个生产流程，及时洞察潜在风险。可视化系统能自动分析运行数据，预警潜在故障，实现从被动应对到主动预防的转变，显著提升设备可靠性和能源利用效率。同时，借助大数据和人工智能算法，优化发电调度，精准预测电力需求，自动调整发电策略，最大化经济效益。维护管理也转向基于状态的预知维修，减少非计划停机，延长设备寿命。

3. 电网输送全环节可视化管控

电网输送全环节可视化管控，通过部署广泛的智能传感器、使用高级通信技术和集成云计算平台，实现了对电网从输电、变电到配电各环节的全面实时监控，数据可视化呈现，使电网状态一目了然。这种模式下，系统能自动分析数据，识别能耗趋势、负荷变化及潜在故障，实现早期预警和快速响应，显著提升供电可靠性和应急处理能力。利用大数据和人工智能算法，优化电网配置，实现电力供需智能匹配，提高能源传输效率。同时，基于状态的预测性维护策略，根据设备实际运行状况安排维护作业，减少非计划停运，延长资产寿命。数字化可视化管控还促进跨部门数据共享，加强协同作业能力，为电网的精细化管理和战略决策提供强有力支持。

4. 电力企业经营全业务可视化管控

电力企业经营全业务可视化管控，通过构建统一的数字化平台，实现全业务数据互联互通，为决策层提供一站式、全景式的业务视图。实时数据可视化不仅覆盖电力生产、输送、销售等核心业务，还延伸至客户行为

分析、市场趋势预测、成本效益分析等，助力企业快速响应市场动态，优化资源配置。AI 与大数据分析的应用，使得风险评估更精准，成本控制更有效，同时通过智能预测模型，支持前瞻性的战略规划。客户关系管理借助数字化工具，实现个性化服务和互动，提升用户满意度和忠诚度。绩效管理系统则基于实时数据反馈，驱动组织内部的持续改进和员工激励机制。

（九）“5G+工业互联网+电力”应用

5G+工业互联网+电力，是指利用 5G 技术的超大带宽、超低时延和海量连接，为电力系统提供强大而稳定的通信基础设施，同时依托工业互联网融合构建起贯穿电力全生命周期的数字化应用场景，主要分为边缘计算与智能决策、远程运维与技术支持和安全保障与应急响应等三大类，聚焦绿色化生产、数字化管理、网络化协同和服务化延伸等应用模式。

1. 边缘计算与智能决策

5G 结合工业互联网技术，能够在靠近数据源的地方进行数据预处理、实时分析与智能决策，大幅缩短数据处理的时延，提高响应速度，这对于电力系统的实时控制和故障处理至关重要。具体应用场景包括：

（1）微电网控制

5G+工业互联网在微电网控制中的应用，构建高速、智能的数据通信基础，推动微电网向更高层次的自主、协同、互动方向发展，提升电力系统灵活性。借助 5G 网络，微电网能够实时采集各类设备的运行数据，包括光伏发电量、风力输出、储能状态、负荷需求等信息，确保数据传输的高速度与低时延，这对于实时监控微电网的动态平衡至关重要。

AI 模型依托 5G 和工业互联网平台部署于微电网侧，实时处理海量数据，运用先进的算法进行本地化决策，如最大化光伏逆变器的功率追踪效率、精准调控储能系统的充放电过程、动态调整负荷分配以优化能源利用。这种即时响应能力极大地增强了微电网的自适应性和稳定性，使其能够灵活应对新能源出力波动、负荷变化及外部电网交互需求。

此外，5G 赋能的微电网控制系统能够无缝对接上级电网调度中心，实现远程监控、故障诊断与快速响应。通过 5G 网络，控制指令能够近乎实时地传达至微电网各节点，确保故障隔离、恢复操作的高效执行，提升整个电力系统的可靠性和自愈能力。

(2) 配电网柔性控制

通过在配电网中部署 5G 网络，系统能够实时收集并处理来自智能电表、分布式电源、储能系统及各种传感器的海量数据，为灵活控制策略的制定与执行提供了实时信息支持。

在 5G 赋能下，配电网能够实施动态电压控制、有功功率与无功功率的优化调节，以及故障快速隔离与恢复，显著提高了电网的稳定性和供电可靠性。例如，通过 5G 网络，配电网控制中心能即时获知局部区域的电压偏差或功率过剩情况，随即指导分布式电源调整发电功率或激活储能设备，快速平衡电网供需，维持电压稳定。同时，5G 支持的高精度定位与低时延通信，使得智能开关和重合器能够迅速响应控制指令，精准隔离故障区段，最小化停电范围和时间。

2. 远程运维与技术支持

(1) 核岛实时远程监控与诊断

在核电站内，5G 网络被用于部署大量高精度传感器，实时监测反应堆核心温度、压力、辐射水平等关键参数，确保数据传输毫秒级完成，为控制室提供即时反馈，增强对紧急情况快速响应能力。同时，5G 支持高清视频监控与远程协作，使专家团队无论身处何地都能进行远程检查与故障诊断，减少了现场人员暴露于辐射环境的风险。

此外，5G 还促进了核电站的数字化与自动化升级，如远程操控机器人执行精密检修任务，或是利用增强现实技术辅助现场工作人员，提升作业精度与效率。在紧急情况下，5G 的高可靠性通信保障了应急指挥系统的迅速响应，确保疏散指令、救援信息的即时传达，以及关键设备的远程控制，有效防止事故扩大。

(2) 电力无人机超视距远程控制

传统巡检模式下，无人机操作受限于信号传输距离和实时性，难以满足复杂地形与广域电网的监测需求。5G 的超高速数据传输能力使得无人机搭载的高清摄像头能够实时回传稳定、流畅的视频流，即使在超视距范围内，地面控制中心也能如同亲临现场般清晰查看输电线路、杆塔、变压器等关键电力设施的状态。这意味着，无论是细小的裂缝、锈蚀，还是植被侵限等潜在隐患，都能被即时发现并记录，大幅提升了巡检的精确度和效率。

5G 的超低时延特性确保了无人机的远程操控几乎达到实时反馈，操作员在数百乃至数千公里外的控制室里，就能通过高精度的遥控指令，灵活调整无人机的飞行姿态、镜头角度，甚至是执行复杂的巡检动作，如定点悬停、环绕拍摄等。这种超越物理限制的远程控制能力，不仅降低了人

力成本，也极大地提高了作业安全性，避免了人员直接接触高压设备的风险。

3. 安全保障与应急响应

(1) 电力灾害事故应急响应

在面对自然灾害或突发事件引发的电力中断时，5G技术在电力应急响应与恢复中的应用展现出了前所未有的高效与精准。借助5G超高速率、大容量及超低时延的特性，应急团队能够实时接入高清视频监控和密集分布的传感器网络，这些传感器遍布电网的关键节点与受灾区域，即时回传现场图像与环境参数，包括损坏程度、影响范围等关键信息。这些海量数据在现场附近就被快速处理分析，立即识别出受影响最严重的区域及核心设施，为决策者提供即时的情景感知。

基于这些详实的数据支持，应急指挥中心能够依托智能决策系统，迅速制定出最为科学合理的抢修方案和资源调配计划，比如优先恢复医院、救援机构等关键设施的电力供应。同时，5G网络支持的远程操控技术使得专业人员能够在安全距离外，通过高精度机器人或无人机执行复杂而精细的修复任务，极大降低了二次灾害风险，加快了恢复速度。

此外，5G还强化了通信的连续性和稳定性，确保在传统通信网络可能受损的情况下，应急通信仍然畅通无阻，为现场救援、物资调配乃至公众信息发布提供了坚实保障。

(2) 电力设施防护与反恐监控

5G网络支持的高清视频监控系统能够实时传输高分辨率图像和视频，使得监控中心能够清晰观察到电力设施的每一个细节，即便是偏远地区的变电站、输电线路也能实现无死角覆盖。结合人工智能算法，系统能够自

动识别异常行为、可疑人员或车辆，及时发出预警，有效预防非法入侵、蓄意破坏等安全事件的发生。此外，5G的低时延特性确保了监控画面与实际事件的同步性，使得安全团队能够迅速做出响应，采取相应的防范措施。

5G技术推动了无人机与无人巡逻机器人的广泛应用，这些无人设备能够深入人难以触及或危险区域，进行定期或不定期的巡逻检查。通过5G网络，无人机和机器人能够实时回传高清视频和传感器数据，实现对电力设施周边环境的全面监测，及时发现潜在的威胁和安全隐患。在反恐监控中，一旦发生紧急情况，无人机可以迅速升空，为地面行动提供空中视角，增强反恐应急响应的机动性和灵活性。

四、工业互联网网络与电力融合应用

（一）工业互联网网络发展现状

1. “5G+工业互联网”进入规模化发展新阶段

5G应用在钢铁、电子制造、矿山、电力、港口等诸多工业领域复制推广，5G全连接工厂加快发展，“5G+工业互联网”标杆案例不断涌现，融合应用场景和应用规模持续扩大，并由生产现场监测、厂区智能物流等辅助环节深入到远程设备操控、设备协同作业等核心控制环节，行业应用正向更高水平、更深层次迈进。全国范围内，已建成5G行业虚拟专网超过2万个，“5G+工业互联网”项目超过8000个，覆盖工业全部41个大类，5G在工业领域的应用占比超过60%。

2. 5G专网产品解决方案体系持续升级

三大运营商加大 5G 网络建设投资，持续推进 5G 专网产品体系升级，联合合作伙伴为工业企业提供“专网+平台+终端+应用”一体化产品解决方案，形成了专网、平台、终端、应用协同发展的产业生态，推动 5G 与工业互联网融合向纵深发展。当前，“5G+工业互联网”正融入人工智能等绿色、安全的新型技术，进一步聚焦场景化技术升级、打造全场景化解决方案，以产品升级推动“5G+工业互联网”高质量发展。

3. 高质量新型工业网络快速创新发展

新型工业网络是综合 5G、TSN、云计算、AI 等新一代信息通信技术赋能工业网络升级，支撑规模化、智能化工业应用的先进基础设施底座。相比于传统工业网络，新型工业网络可实现柔性部署、移动互联、通信速率、确定传输、应用扩展等维度的全面提升。孵化远程集控、L4 自动驾驶、工业元宇宙、动态能效管理、全数字生产体系等一批新应用，实现工业现场在更广范围的连接、更深程度的智能、更高水平的管理等应用升级。新型工业网络产业起步快，处于规模应用前期，产业潜力无限，当前逐步形成工业 5G 融合终端、TSN 交换机、工业光网设备等一批具备量产潜力的核心产品，下一步将从产业链延伸、规模基建、行业应用、资源供给、主体培育等方面全面推进规模化发展。

（二）电力行业网络建设现状

发电领域，信息通信网络是连接发电厂内部各个系统与外部电网的重要桥梁。发电厂中的电力信息通信网络架构主要包括厂内局域网（LAN）、广域网（WAN）以及与外部通信网络的接口。通过有线和无线方式将各类监控系统、自动化控制系统以及能源管理系统相连，实现数据采集、传输与处理。例如，风力发电场通过安装大量的传感器来监测风速、温度、湿

度等环境参数以及风机的运行状态，数据通过局域网汇集到中央控制室，再经由广域网传输至远端的调度中心。为了确保数据的安全性和可靠性，发电厂一般还会采用冗余设计、加密技术以及防火墙等安全措施，增强网络对复杂环境变化的适应能力，使发电厂能够更加高效地响应市场需求和调整发电策略。

电网领域，信息通信网络架构复杂且多样化，旨在支持电力系统的正常运行及维护。网络架构通常包括骨干通信网、区域通信网以及终端通信网三个层次。骨干通信网负责连接不同区域的调度中心和大型变电站，使用光纤通信为主，以确保高速、稳定的数据传输；区域通信网则连接各个变电站与小型变电站或配电所，通常采用光纤和微波混合的方式；终端通信网负责连接用户端的智能电表、智能家居设备等，常用的是无线通信技术如 Wi-Fi、ZigBee 或 LoRa 等。这种多层次的架构确保了电网运行数据的高效采集与传输，支持了智能电网的功能实现，比如通过智能电表实现远程抄表、动态电价调整等功能，以及通过分布式能源管理系统实现对分布式电源的有效整合与调度。同时，信息通信网络还集成了高级分析工具，如预测分析、故障检测算法等，以提高电网的可靠性和灵活性。

电力装备制造领域，信息通信网络建设旨在支持设备制造过程中的数字化和智能化转型。在生产现场，利用物联网技术实现生产设备的状态监测、故障预警和远程控制等功能。这些设备通过工业以太网、无线传感器网络等技术相互联通，并将数据上传至云端服务器进行存储和分析。ERP 系统和 CRM 系统则通过企业内部的局域网或专用的广域网相互连接，以实现订单管理、库存控制、供应链协作等功能。此外，电力装备制造企业还通过信息通信网络为客户提供远程技术支持服务，如设备健康监测、远程

故障诊断和软件升级等，有助于提高生产效率、降低成本，并增强客户服务体验。

电力信息通信网络历经多年建设取得了显著的发展成效，但仍存在通信标准不统一、组网方式不灵活等问题亟待解决，具体如下：

1. 设备层现场设备的通信协议复杂多样，标准不统一。电力企业设备层广泛分布于发、输、变、配、用、储等各生产环节，用于直接实现数据采集、信号传感、指令控制等业务功能，终端类型包括生产作业终端、采集终端、传感终端、控制终端、智能业务终端等，边端设备节点分散、规模庞大。各类终端通过本地通信网络进行终端互联，实现终端层的业务访问、数据解析和实时计算，本地通信方式主要包括以太网、载波通信以及 WiFi/LoRa/ZigBee 等短距离无线通信，但不同类型的终端采用不同的通信协议，包括 IEC60870、Modbus 等，标准尚不统一，自成体系，互联互通难度大。

2. 厂（场）站层组网以成熟技术为主，新兴业务接入面临挑战。电力场站通信网部署于火电厂、水电站、新能源电站、变电站及配电房内，用于监控系统与控制设备间、控制设备间以及控制设备和感知设备间的通信，承载实时性、确定性和可靠性要求最高的电力实时控制业务。电力厂站通信网一般采用光纤以太网、工业以太网，网络拓扑采用星型、环形或混合拓扑，重要应用场景网络冗余配置，在传输距离较远或电磁干扰较强的场合则采用光纤作为通信介质。但不同场站功能需求差异大，网络架构和组网方式固定，业务拓展性差，难以满足新业态、新系统交互需求，形成“业务孤岛”。

3. 企业层网络分区明确，业务交互和数据应用难度高。电力企业根据《电力监控系统安全防护规定》，企业层网络一般划分为生产控制大区、管理信息大区，其中生产控制大区进一步细分为控制区（安全区 I）和非控制区（安全区 II），通过电力调度数据网纵向连接。管理信息大区划分为生产管理区（安全区 III）和信息管理区（安全区 IV），通过电力企业数据网实现纵向互联。根据能源互联网建设需求，电力企业在管理信息大区外进一步规划了互联网公共服务区域，部署对互联网服务的业务系统和外部设备接入专区，通过信息安全隔离装置与管理信息大区的横向隔离，通过防火墙、入侵检测等措施实现对互联网访问的隔离与访问控制。但不同区域的网络架构和接入标准差异大，安全防护不统一，部分业务无法充分互联互通，影响数据流转和业务发展。

4. 行业层缺少专有网络通道，影响信息共享和工作协同效率。电力行业采用专线方式与国资委、能源局等监管机构连接，电力企业之间除调度数据网连接电力监控系统外，缺少跨企业的网络连接通道，无法有效支撑行业协同、跨企业跨区域的数据互联互通、跨行业的数据分析和供应链资源优化配置。新型电力系统下，源网荷储各环节衔接更紧密，电网、电源、用户、第三方聚合商等主体广泛参与到电力交易、需求响应、负荷管理业务，各类电力能源供需主体深入参与智慧能源、碳计量、碳交易等业务，现有电力企业的信息交互和数据共享，主要依赖上级主管部门系统或互联网方式交换，效率低下，无法适应新型电力系统发展需求。

5. 电力 5G 网络应用偏少，应用场景有待探索。目前电力行业的“5G+工业互联网”应用主要集中在边缘计算与智能决策、远程运维与技术支持和安全保障与应急响应等三大类业务，初步实现配电自动化三遥、精准负

荷控制、分布式电源、用电信息采集、视频监控与在线监测、安监与应急、输变配无人机巡检等业务覆盖。针对新型电力系统建设中涌现的新业态、新系统和新终端，5G 应用场景侧重于监测类业务的落地应用，控制类业务仍在探索实验阶段，分布式光伏、微电网、虚拟电厂、配电网等与 5G 应用场景融合与落地依然存在技术难题。

（三）网络融合应用需求

1. 设备层增强网络的高融合、可拓展性，提高设备互通互联水平。

通过新型先进生产控制网络建设，大幅提升设备层各类终端感知能力，要求生产现场网络能够灵活配置，同时具有高融合、可拓展的特性，可以将不同生产设备的通信协议通过协议解析、数据转换和地址空间重映射等技术手段转换成统一协议，从而支持不同类型网络融合，实现高效便捷的边缘设备数据接入、支持异构设备联网，增强生产设备协同性。

2. 厂（场）站层增强网络的扩展和传输能力，支撑新业务应用。建设部署工业互联网，通过先进网络、边缘计算、数据分析等技术的综合应用，大幅提升场站的网络传输能力，支撑机器视觉检测、装备健康诊断、能耗监测预警等与生产管控密切相关新型业务应用。合理进行网络规划，兼顾数据、算力、安全等需求。利用工业 PON、5G、现场总线等技术，构建 IT 与 OT 融合、有线与无线协同的通信网络架构。基于嵌入式操作系统、边缘分析等技术支撑，在边缘侧进行数据预处理、存储、预分析，并与云端形成协同。建立端到端网络接入规范，制定端口冗余及隔离策略。

3. 企业层增强网络的广覆盖。在企业层部署工业互联网，重点实现网络广覆盖，进一步提高业务流程和数据互联互通的流转效率，引入边缘计算等新技术，融合边缘节点、边缘云和中心云形成企业层算力网络管理平

台，通过有效地管理和调度边缘节点和边缘云，使得生产控制网、工业控制网、管理信息网、公共服务网络实现统一管理和灵活流动。

4. 行业层加强互联互通网络能力建设，支撑跨业务、跨基地、跨企业协同。构建行业层工业互联网，通过跨企业的网络连接，推动行业协同平台应用、跨企业跨区域的数据互联互通和信息共享，实现全行业供应链资源的优化配置。

5. 推广应用 5G 技术满足新型电力控制类业务高清高精度监控需求，一是**灵活组网**，通过 5G 和边缘计算技术大幅提升终端、场站设备接入，推动边缘系统、电力调度系统、分散控制系统、数据采集监控系统等各类功能系统广泛应用和能力提升；二是**低时延**，配电自动化、分布式电源、精准负荷控制业务等控制终端对低时延要求较高，通常要求毫秒级时延，同时空口也需要通过新的技术引入从而减少时延；三是**大带宽**，分布式光伏视频监控、变电站综合监测、输电线路状态监测、输变配无人机巡检、安全监测与应急响应等场景需要进行高清图像视频的上行传输，需依靠 5G 网络通过引入超级上行、不同的上下行配比提升上行带宽；四是**高并发与高速传输**，发用电终端信息采集、分布式光伏运行监控、电动汽车充电站（桩）、电能质量监测等各类业务的设备、仪表的数据采集需要 5G 支持海量高并发、中高数据速率的物联网连接；五是**安全隔离和可靠性**，业务之间隔离和安全控制，同时作为无线网络，需具有超强抗干扰性、稳定性、可靠的数据传输、备份与恢复机制等，保证达到高可用要求以及最优覆盖效果。

（四）网络融合应用方案

电力行业中，各电力企业规模大，分布地域广，业务场景复杂，但网络结构相似程度高，为满足不同企业、多种场景下的业务需求，兼顾对安全的高要求，建议电力企业在原有的网络基础之上，积极引入 5G 虚拟专网、边缘计算等技术，提升网络接入和扩展能力，满足新业务发展需求。

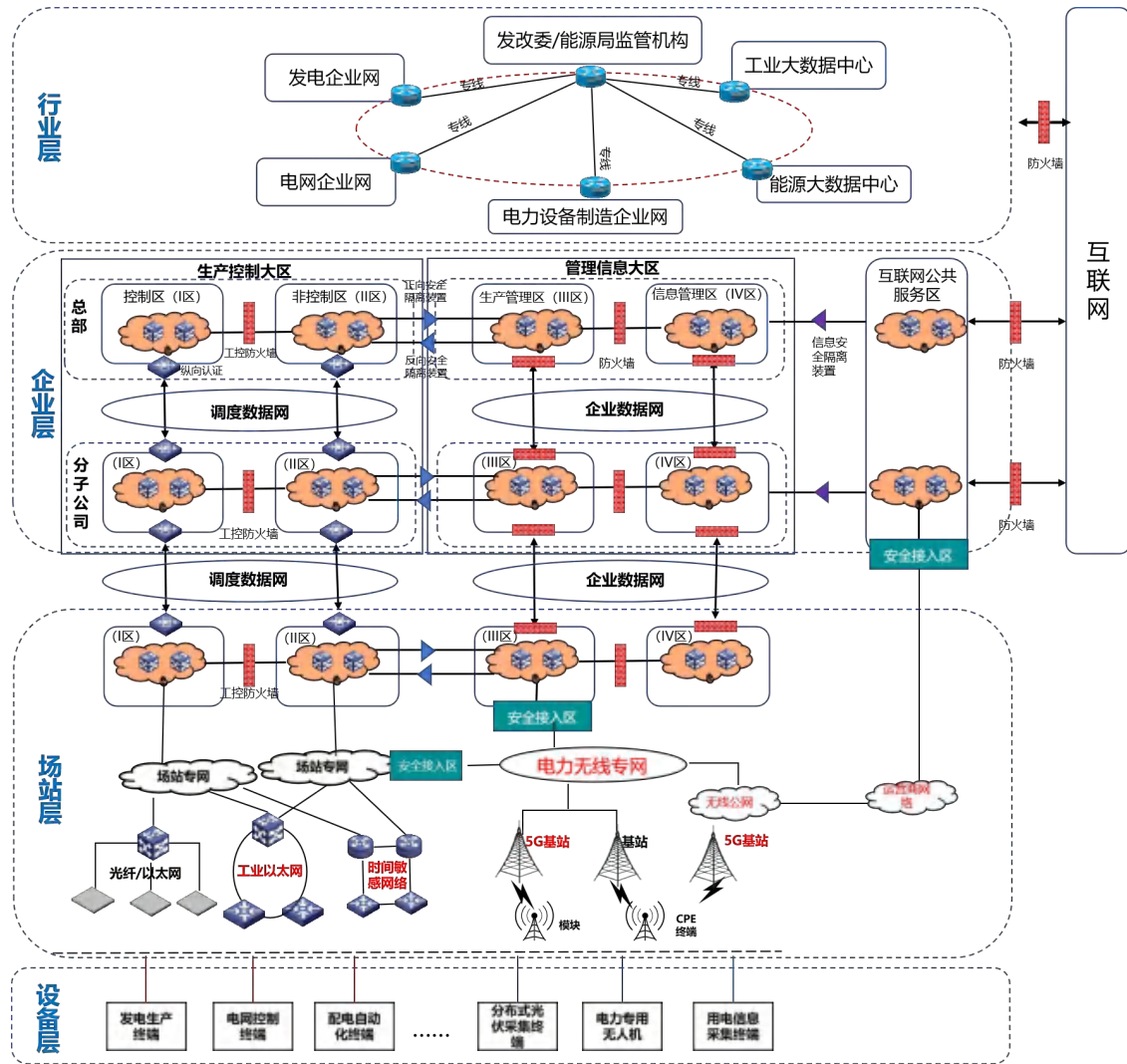


图 4-1 工业互联网网络与电力融合应用架构图

1. 设备层

针对设备层设备种类多样并存引发的通信协议类型多，联通标准不统一等问题，在充分利用原有以太网、工控以太网、电力无线网络基础上，

应按照接入终端类型和接入方式建立终端通信规范，明确互联互通标准，推动设备升级改造。具体包括：

（1）建立终端通信标准。细分接入终端的类型，从业务角度，细分生产类终端、控制类终端和采集监测类终端；从技术角度，细分工控设备、IT 设备、物联网设备。按照终端类型不同，建立终端的通信技术标准，规范入网设备。

（2）新型智能设备进行接入时可使用叠加模式，如电力无人机、智能巡检机器人、智能视频监控等设备，在已有基于现场总线、工业以太网等技术的控制网络难以满足新业务需求时，可基于 5G、TSN、工业 PON 等新技术，叠加新建支撑新业务流程的网络。

（3）在增强原有设备功能时可使用升级模式，对已有生产设备和网络设备进行升级，增加通信接口，实现网络技术和能力升级。

2. 厂（场）站层

为支撑场站层不断涌现的新业务和新型终端接入需求，应积极引入 TSN、5G、边缘计算等新技术，升级和丰富现有网络能力，有力支撑新业务发展。

（1）应用时间敏感网络（TSN）技术升级标准以太网。时间敏感网络（TSN）技术作为国际公认新一代工业网络演进方向，能够基于标准以太网实现不同优先级业务数据提供差异化且确定性的高可靠通信服务质量保证，其全网亚微秒级时间同步精度、支撑全业务流量高质量混合承载特性、基于软件定义网络（SDN）架构的资源配置能力等可以满足电力厂站通信网络的确定性、安全性、融合承载等需求。

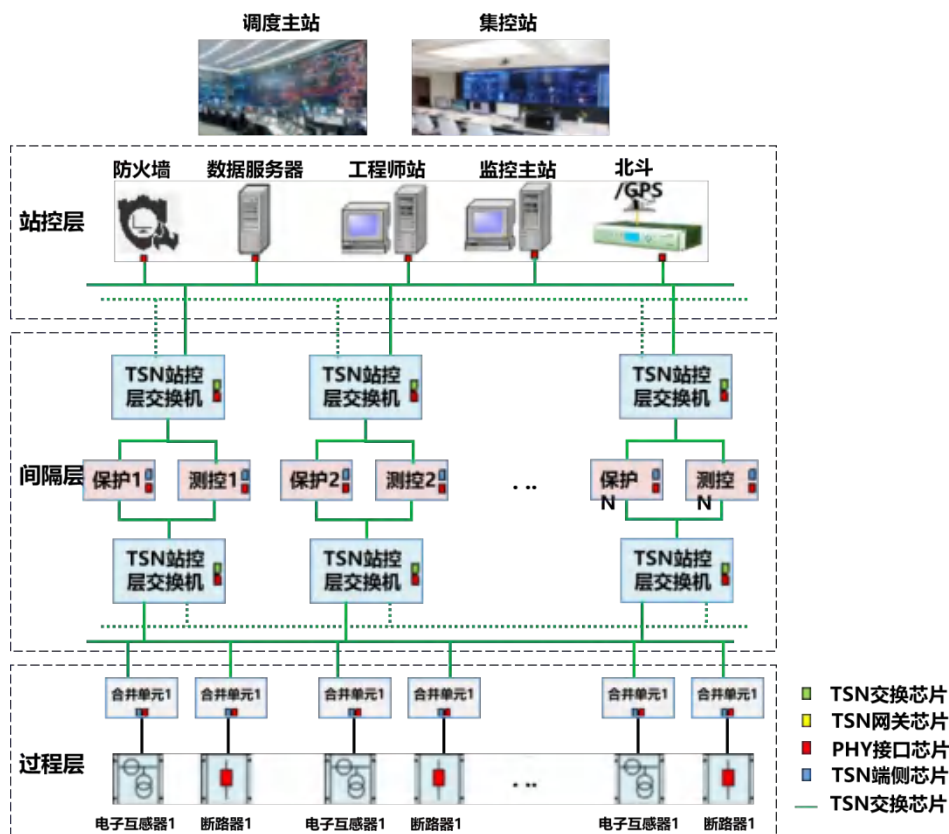


图 4-2 厂（场）站层时间敏感网络应用架构图

通过时间敏感网络（TSN）技术建设电力厂站通信网络可取得以下成效：

- 实现全厂站亚微秒的网络时间同步；
- 保证保护控制等关键业务传输的确定性和可靠性；
- 支持智能传感器、视频终端等异构信息安全无缝地接入，实现多业务数据高效的共网传输；
- 实现变电站通信网络的智能运维管理，提升网络的运行可靠性；
- 支撑变电站内通信网络向下一代智能融合通信网络平滑升级。

（2）应用时间敏感网络（TSN）技术平替配电接入网 EPON 或以太网交换机。时间敏感网络基于 TDM 的业务硬隔离特性可以在配电接入侧跨分区融合承载控制保护、配电自动化、视频监控、动环物联等业务，为配电

业务提供高实时性、高可靠性、高安全性和可扩展的“极简”网络拓扑、降低光纤资源占用。通过 SDN 资源调控、精确门控和帧抢占机制，保障关键业务的有界时延；采取抗多点失效、精准风暴抑制、零延迟恢复无缝冗余和异常流量过滤监管技术，提升配电通信网安全可靠；支持网络切片柔性智能控制，实现了海量配电终端的以太网灵活组网，提升了网络可扩展性；全网时间同步精度从毫秒级提升至纳秒级，有效支撑配网新型保护和态势感知业务；采用单芯光纤和低成本极简网络，设备成本节约 30%，光纤资源和能耗节省 50%以上。

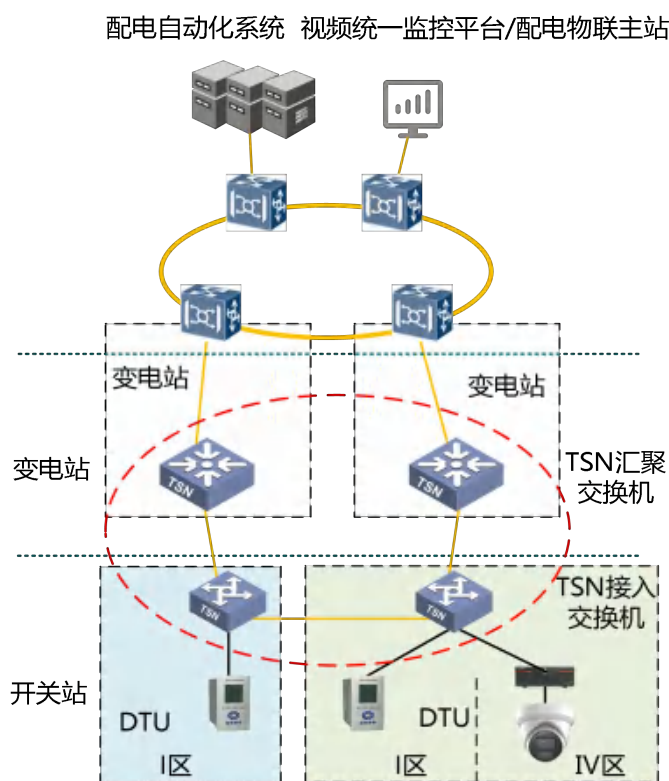


图 4-3 基于时间敏感网络的配电接入网升级方案

(3) 引入 5G 和边缘计算技术升级电力无线接入能力，扩大场站区域网络覆盖，构建边缘计算节点，将关键业务应用下沉至场站侧，通过边缘计算技术提高数据计算和分析能力。场站层可采用自建或租赁运营商方式，

在企业层部署物联网核心节点，融合应用企业现有网络和 5G 网络，通过接入网关实现特殊场景下的数据采集和全网数据共享。

4. 行业层

电力企业按照实际工作需求，行业层主要分为三类，分别为面向监管侧的信息共享和协同需求、面向社会服务的信息共享和协同需求、面向企业间的信息共享和协同需求。

针对国资委、能源局等监管侧的信息共享和协同需求，电力企业应严格安全监管机构要求，通过专线方式与监管机构实施数据交互，如电力行业政策通知、漏洞情报和网络安全态势的信息上报与下达等业务，可通过专线访问监管机构的平台开展相关业务。

针对面向社会服务的信息共享和协同需求，如电力交易市场、综合能源服务等，可采用互联网方式进行业务访问和数据交换。此类业务应做好网络的安全防护，保证业务和数据的安全。

针对面向企业间的信息共享和协同需求，应充分发挥国家或行业公共平台优势，依托国家工业互联网大数据中心、能源大数据中心等设施，建立电力企业二级或者多级节点，通过互联网线路或者专线形式连接各个大数据中心，实现数据交换和业务协同。此类需求下，应做好数据的确权和安全防护，保证业务和企业自身的利益。

5. 电力 5G 网络建设

电力行业 5G 虚拟专网承载超低时延高可靠性的电力控制类业务和超大带宽要求高速传输的采集监控类业务的通信建设，适用范围包括但不限于分布式电源调控、精准负荷控制、配电自动化（三遥）、无人机巡检、应急指挥等业务场景。

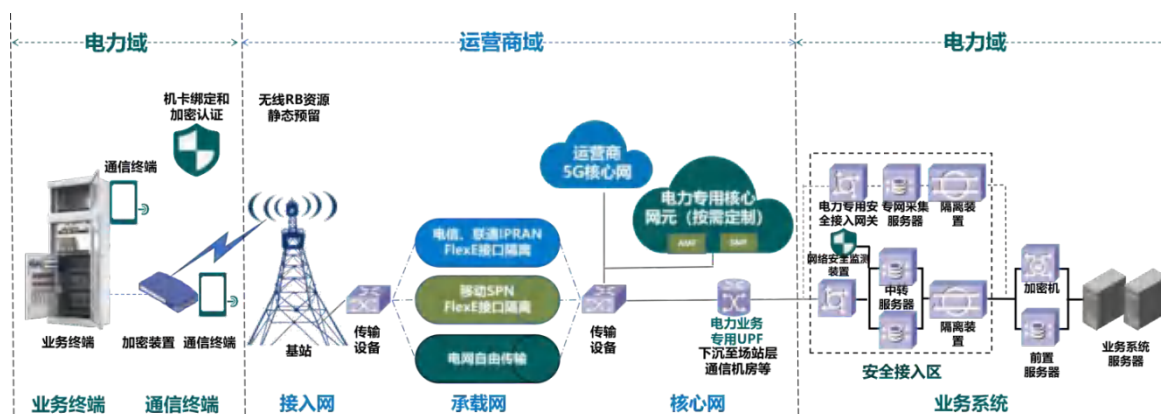


图 4-5 电力 5G 网络建设部署架构图

5G 电力虚拟专网覆盖通信终端、接入网、承载网、核心网、安全接入区等。承载电力业务的 5G 电力虚拟专网应采用 5G SA 模式，并基于接入网侧 RB 资源静态预留、承载网侧 FlexE 技术及核心网侧电力业务专用 UPF 下沉的端到端硬切片构建，端到端硬切片内不同业务以端到端软切片技术隔离。

电力 5G 虚拟专网通过网络切片功能，支持灵活组网，业务速率与物理通道速率相互独立，为不同电力业务提供不同特性的虚拟专用网络，实现业务与数据隔离安全。支持空口授时功能，为有授时需求的电力业务终端提供高精度授时服务。支持 QoS 优先级调度功能，优先保障高优先级电力业务通信。支持 5G LAN 功能，满足有二层以太网会话通信需求的电力业务通信。应用 5G 电力虚拟专网优势能力，推动电力企业的边缘计算与智能决策、远程运维与技术支持和安全保障与应急响应等业务发展。

五、工业互联网标识与电力融合应用

（一）工业互联网标识发展现状

工业互联网标识解析体系是工业互联网的重要组成部分和“神经系统”，主要包括标识编码和解析系统两大部分。其中，标识编码相当于“身份证”或者“门牌号”，即为机器、产品、零部件等物理对象和算法、工艺、数据等虚拟对象赋予全球唯一的编码，是连接对象相关信息的入口。解析系统，即为获取对象信息的系统和平台，它依据标识编码，对网络地址和相关联的信息进行查询，承载了数字对象设计、生产、仓储、物流等全生命周期的信息获取及数据交互，为供应链全流程管理、追踪溯源、网络精准协同等应用提供基础。

我国工业互联网标识解析体系采用分层结构，主要包括国家顶级节点、二级节点、企业节点和递归节点。其中国家顶级节点，上接各类根节点，下连其他各类节点，是我国工业互联网标识解析体系的国内互联枢纽。

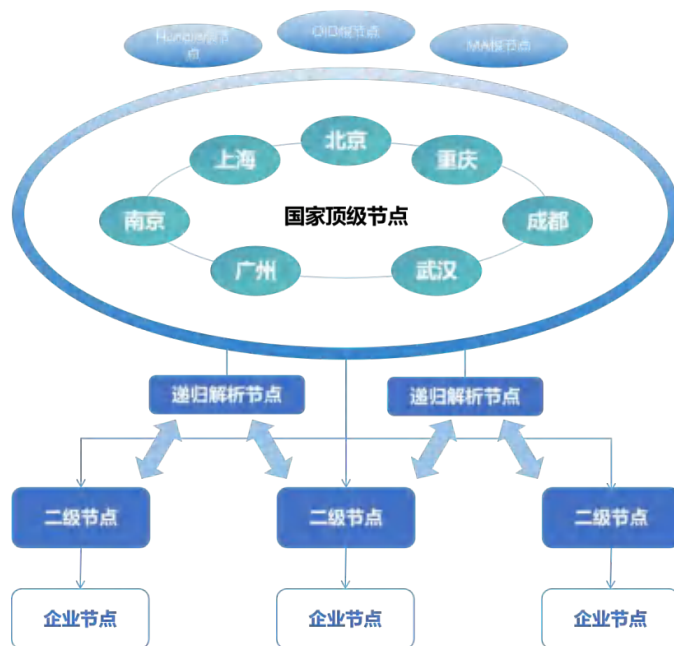


图 5-1 工业互联网标识解析体系总体架构

近年来，在政产学研用等各方共同努力下，我国工业互联网标识解析体系建设从无到有、从小到大，是全球最大的工业互联网标识产业实践。

“5+2”国家顶级节点稳定运行，形成“东南西北中”分布格局。截止至2023年12月底，二级节点上线337个，实现全国31个省（自治区、直辖市）的全面覆盖，全国递归节点共上线17个。工业互联网标识服务企业超41万家，覆盖46个重点行业，注册总量突破4300亿，国家顶级节点日均解析量1.5亿次，主动标识载体累计部署超3100万枚。一批从事软硬件研发、系统集成、二级节点建设服务、安全等领域的企业及科研机构涌现，涵盖编码、扫码等各类机构主体。标识相关国家、行业、团体标准超过110项。

（二）电力行业标识建设现状

电力行业工业互联网标识解析二级节点已上线四家，分别是国网上海电力、江苏核电、南网数研院、科源能源，接入电力企业超1611家，形成基于标识解析的电力产品协同制造、电力产品市场监管、资产及供应链管理、用电行为分析等特色应用。

1. **基于标识解析的电力产品协同制造：**借助工业互联网标识平台，从电力产品配套原材料的制造、运输、质检、仓储，至整机的装配、销售、维护、更换、报废、回收全过程都进行注册和采集，获取原材料、整机的状态、属性、位置、质量等信息，促进企业内部各系统之间、供应链企业之间数据的互联互通，实现企业资源优化配置，提高产品质量，提升生产效率。尤其在整机生产装配过程中，基于标识解析从上游企业信息系统获取被授权的元器件技术参数，和现场装配工艺进行自动匹配，提高电力变压器的良品率，通过进一步数据分析和反馈，优化供需结构，提升产业链协同能力。

2. 基于标识解析的电力产品市场监管: 基于工业互联网标识解析二级节点及其基础服务, 为电力产品及其关键零部件赋予统一标识, 通过标识采集设备生产制造、运行维护到退役报废全生命周期的实时数据, 并进行数据的处理和分析, 提高设备现场作业、管理指挥的数字化水平, 为国家监督管理机构、设备使用单位等共享现场运行和检测数据提供便捷的访问入口。同时, 可在电网企业端建立在线监控展示窗口, 当出现故障时, 可通过线上的专业指导缩短定位拍错时长以及进行维修作业, 降低现场维修人力成本。

3. 基于标识解析的资产及供应链管理: 针对电网公司在资产管理领域实际业务需求、痛点及问题的电网资产全生命周期管理系统, 实现“一码通全网”的资产管理目标。一方面通过为设备在采购源头进行赋码, 用一套编码贯通设备从电网规划、工程建设、生产运行到退役的全过程, 完成设备技术参数信息在各个业务阶段的自动流转, 打破物资信息在企业内部不同业务部门、不同阶段, 以及企业与其他上下游合作商之间的数据壁垒, 实现资产全生命周期数据的贯通共享。另外一方面通过将设备编码和RFID技术相结合, 实现对设备标识编码的自动读取、解析, 减少跨阶段业务数据的重复录入, 提升电网公司账卡物管理水平。

4. 基于标识解析的用电行为分析: 基于标识解析二级节点系统为智能电表、采集终端、电机等物理设备注册唯一标识, 并实时采集现场数据, 获取用电量、用电负荷等信息, 并远程反馈到用户侧。用户可通过扫码获取电费账单数据并进行支付结算, 电力公司通过数据分析计算能源消耗情况, 综合评估设备运行情况并进行优化。通过需求侧的有效管理, 实现经济合理的资源利用, 从而改善电力负荷特性, 优化电网运行环境。

（三）标识融合应用需求

1. **推动电力行业工业互联网标识规模化应用。**通过标识规模化应用，实现设备、系统间高效的数据互操作与信息联通，提升产业链智能化水平。制定行业标准，确保数据交换一致性，加快标识解析节点部署，形成广泛覆盖网络，深化标识在设备追踪、运维、供应链管理等场景应用，促进实践案例推广。

2. **构建电力企业产品编码公共解析体系。**利用工业互联网标识全网唯一、精准定位、信息关联的特点，创建一套统一的电力企业产品编码规则与数据接口标准，使得不同企业、不同系统之间能够无缝识别和共享产品数据，包括规格型号、技术参数、生产厂商等关键信息。不仅能简化采购流程、减少信息误差，还能促进库存优化与物资调配的精准性。

3. **实现跨产业、跨企业的全流程信息贯通。**通过工业互联网标识解析体系实现电力行业各环节、各企业间信息的对接与互通，能够实现从原材料采购到生产、流通、消费的全链路数据共享，还能跨越不同行业界限，促进供应链上下游企业间的高效协同。通过标准化的数据接口和云端解析服务，电力企业能够实时追踪产品状态、优化库存管理、提升物流效率，并为用户提供透明的产品追溯服务。

（四）标识融合应用方案

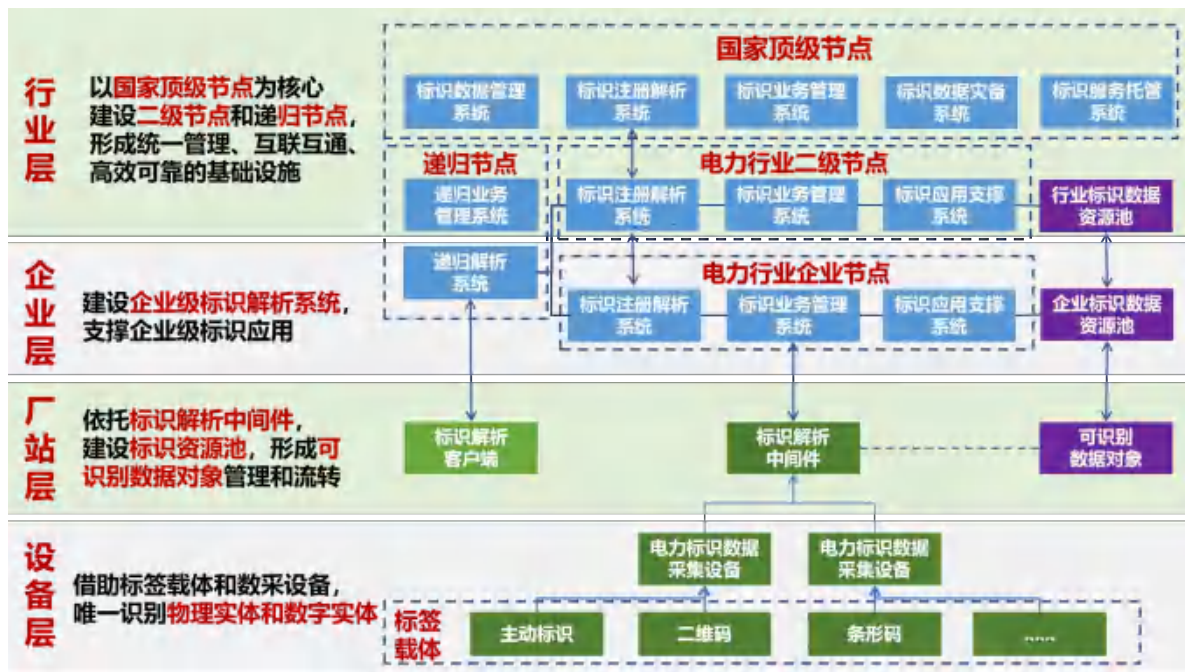


图 5-2 工业互联网标识与电力融合应用架构图

1. 设备层

借助标签载体和数采设备，依托标识解析企业节点标识注册功能，对产业链全流程中唯一识别的物理实体和虚拟实体进行“一物一码”标识，形成企业底层数据资源池。物理实体如原材料、设备、人员、产成品，虚拟实体如电力订单、仓单、物流单、模型算法等。

(1) **标识对象**：电力行业设备层标识对象包括实体对象和虚拟对象，覆盖电力行业上下游的生产、制造、销售、使用、监测等环节，由发电设备、输电设备、变电设备、配电设备、人员、工艺、物料、环境等对象组成。具体对象说明见下表所示。

(2) **标识载体**：目前标识可以通过二维码、RFID 标签（有源、无源）、NFC、主动标识（UICC 卡、MCU、模组、终端等）等多种载体方式，依据实物资产的物理特性（如尺寸、安装部署位置等）、资产价值（低值易耗、贵重资产）、企业信息化系统需求等实际情况选择合适的标识载体方式。

表 5-1 电力行业标识应用对象及载体形式

类别编码	物资大类	物资小类	标识载体
01	发电设备	对发电机、调速器、逆变器等进行编码	激光蚀刻二维码或主动标识
02	输电设备	对线路杆塔、导线、接地装置、绝缘子等编码	条码、二维码
03	变电设备	对变压器、断路器、互感器等编码	条码、二维码或主动标识
04	配电设备	对高压配电柜、低压开关柜、控制箱等编码	条码、二维码
05	人员	对各类人员进行编码	条码、二维码
06	工艺	对生产加工过程及工艺技术信息进行编码	条码、二维码
07	零部件	对气体、液体、金属、绝缘等各类物料进行编码	条码、二维码
08	环境	对生产环境因素进行编码	条码、二维码
09	单据	对电力订单、仓单、物流单等单据进行编码	条码、二维码

(3) **标识编码**：电力行业工业互联网标识编码由标识前缀和标识后缀两部分组成，标识前缀与标识后缀之间以 UTF-8 字符 “/” 分隔；其中标识前缀由国家代码、行业代码、企业代码组成，用于唯一标识企业主体；标识后缀企业自定义生成，兼容企业原有编码，其结构见图所示。

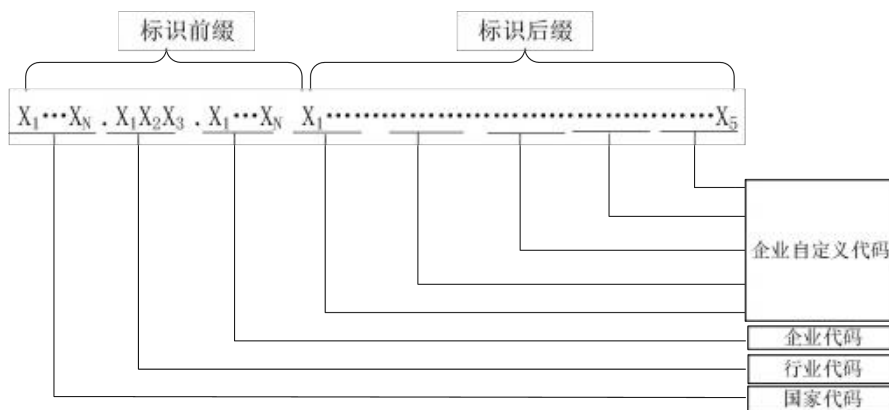


图 5-3 电力行业工业互联网标识编码图

2. 厂（场）站层

部署标识解析中间件，形成可识别数据对象的管理和流转能力，同时与电力工控软件实现接口对接，协助企业提供标识注册、解析功能，快速实现工业互联网标识应用能力。主要提供标识解析、数据传输、安全认证等能力。

(1) **标识解析**：将电力设备的标识进行解析，包括设备的唯一标识、设备的位置信息、设备的功能描述等，以便于进行设备的访问和管理。

(2) **数据传输**：提供可靠的数据传输通道，实现电力设备与云平台之间的数据交互。中间件可以支持多种通信协议，如 MQTT、CoAP 等，以适应不同设备的通信需求。

(3) **安全认证**：保障电力设备与云平台之间的安全通信。中间件可以提供数据加密、身份认证、权限管理等安全机制，防止数据被篡改或未经授权访问。

(4) **设备管理**：提供设备的注册、在线状态监测、配置管理等功能，方便对电力设备进行集中管理和运维。

3. 企业层

产业链上下游及相关企业应以独立建设或托管建设的方式，建设标识解析企业节点并接入标识解析二级节点。标识解析企业节点应依托设备层与厂（场）站层建设的能力，与企业内部工业软件、工业互联网平台实现横向对接打通，为企业提供工业互联网标识应用所需的注册、解析、统计、数据存储等基础能力。

企业节点实现编码的标识注册、标识解析、数据管理、运行监测等功能，根据需要提供异构标识的翻译和映射等功能，企业节点的管理体系、

应用体系和安全保障能力可以根据企业的实际需求构建。企业节点需要与二级节点和递归节点对接，并满足相应的接口规范等要求。

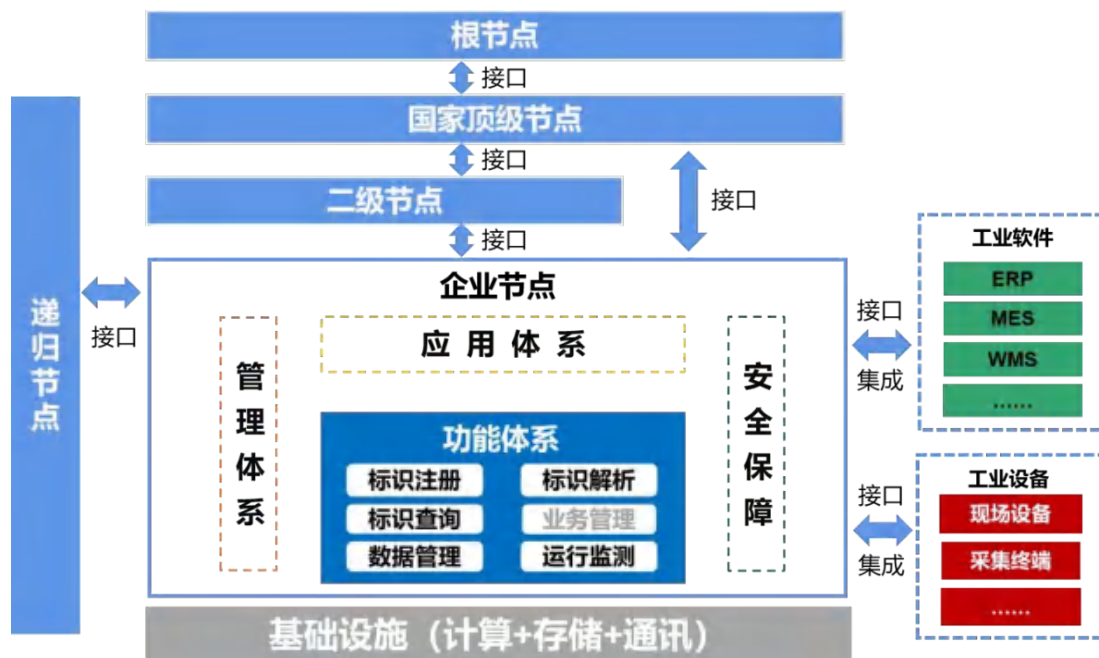


图 5-4 企业层工业互联网标识总体架构图

4. 行业层

电力行业头部企业或具备相关服务能力的行业企业可申请建设标识解析二级节点，负责建设和运营标识解析二级节点系统，面向企业或者个人提供标识注册、解析和数据管理等服务，起到承上启下的关键作用。与标识解析国家顶级节点对接，实现分级管理、全网解析。标识解析二级节点应充分发挥行业龙头的带动作用，利用其行业上下游辐射能力，实施工业级工业互联网标识应用。

工业互联网标识解析二级节点建设涉及标识编码分配和管理、信息系统建设和运营、标识应用对接和推广等工作，整体架构可划分为管理、功能、应用和安全保障四大体系。



图 5-5 行业层工业互联网标识总体架构图

管理体系主要用于规范二级节点建设与运营相关的管理要求，包括编码规则、技术标准、管理规范、运营规范等；功能体系主要从信息系统建设的角度，在具备基础设施的前提下，界定二级节点应提供的核心系统功能，包括标识注册、标识解析、标识查询、数据管理、业务管理、运行监测等；应用体系主要包括为标识应用提供的应用支撑能力以促进标识应用开发；安全保障主要是保障标识解析二级节点的安全、稳定、可靠运行。

六、工业互联网平台与电力融合应用

（一）工业互联网平台发展现状

通过完善“综合型、特色型、专业型”的工业互联网平台体系建设，已培育具有一定影响力的平台近 340 家，并遴选 30 家“数字领航”方向标杆企业，打造了一批技术实力强、业务模式优、管理理念新、质量效益高的行业领航标杆。持续开展工业互联网试点示范（平台方向）工作，遴选 318 个优质平台项目。推进 19 个工业互联网平台应用创新推广中心、5

个工业互联网平台工程实训基地等公共服务平台建设，汇集各界数字化资源。组织开展工业互联网平台赋能新型工业化产业示范基地数字化转型试点，开展“工业互联网平台+园区”赋能深度行活动，推进《产业集群数字化转型评估规范》《工业园区数字化运营能力评估规范》实施应用，大力引导产业园区、产业集群、产业示范基地数字化转型。

（二）电力行业平台建设现状

在厂（场）站层面，工业互联网平台推动了发电厂和变电站等的智能化升级。通过部署物联接入集中管理等能力，实时采集设备运行状态和环境参数，实现设备故障的早期预警与精准维修，极大提高运维效率与设备可靠性。同时，工业互联网平台支持远程监控和自动化控制，减少现场人员依赖，降低运营成本，确保了生产安全。此外，针对小型分布式能源站点，工业互联网平台提供集成管理解决方案，助力能源灵活调度与高效利用，加速清洁能源的普及与整合。

在企业层面，工业互联网平台已成为电力企业数字化转型的核心引擎，实现从生产到管理的全方位赋能。企业通过构建统一的数据存算能力，整合来自不同场站、部门的异构数据，利用先进的数据分析技术，优化资源配置，提升经营决策的科学性。智能供应链管理能力的运用，提高物资调配的及时性和准确性，降低库存成本。同时，客户关系管理系统（CRM）与营销平台的融合，让电力服务更加个性化和便捷，增强了用户体验。企业还借助平台开展能效管理与碳足迹追踪，积极响应国家“双碳”战略，推动企业绿色转型。此外，企业内部的知识管理与人才培养平台，促进技术交流与创新能力的提升，构建了持续发展的组织文化。

在行业层面，工业互联网平台的建设和应用正帮助电力企业向更深层次的跨界融合与生态共创迈进。国家级及行业联盟性质的工业互联网平台，通过汇集全行业的数据资源，提供宏观决策支持与资源共享服务，促进电力系统与社会经济系统的高效协同。这些平台推动构建行业标准体系，加强数据安全与隐私保护，为跨区域、跨企业的能源交易与协同调度打下坚实基础。同时，通过举办创新大赛、开放实验室等形式，激发产学研用的创新活力，加速了新技术、新应用的孵化与推广。行业层的平台还促进了电力与交通、建筑、制造等行业之间的深度融合，共同探索能源互联网的新模式，为构建智慧能源生态系统提供了坚实支撑。

（三）平台融合应用需求

1. 实现多业务的有效融合与协同。ERP、电力营销、电力基建、技术监督等业务系统都有各自的管理体系，随着业务系统的不断增加与企业业务流程的日益精细化，各类业务系统之间的融合和协同，导致问题日益凸显。同时，这些业务系统的数据管理功能更多针对的是规模有限且高度结构化的工业数据，面向当前海量多源异构的工业数据缺乏必要的管理与处理能力。

2. 提升电力企业经营分析应用能力。传统信息化系统无法满足围绕电力运营管理重点，融合各专项系统的数据，需要运用大数据、人工智能、模型开发等新兴技术开展数据价值深度挖掘，辅助发现业务变化特征与相互关系，帮助快速、全面、及时、真实地掌握产业板块和各企业生产经营状况，及时发现与解决问题，进而驱动信息系统服务能力显著提升。

3. 强化电力人工智能基础设施建设。随着新型电力系统加快推进建设，人工智能技术在实现电力业务重构、拓展新型应用场景等方面发挥了越来越

越重要的作用。目前电力行业围绕智能运检、运行控制、企业管理和用电服务等领域开展人工智能自主创新，在输变电缺陷识别和故障诊断、现场作业安全智能管控、智慧客服、智能调度等方面已取得阶段性成果，并陆续开展了多项电力人工智能技术的研究及应用。然而当前电力人工智能技术研究仍处于初级阶段，智能化应用较为零散，缺乏统一的平台化支撑，距离全面实用化仍有差距。因此有必要以业务需求为驱动，建设云边（端）多级协同的全栈式人工智能服务平台，支撑电网全场景人工智能应用，提供一站式、端到端的人工智能服务，赋能前端业务应用，加速推进电力行业数字化、智能化发展。

4. 满足产业模式创新需求。一方面，电力企业通过工业互联网平台探索新的商业模式。例如，在分布式发电领域，小型分布式电源（如太阳能光伏板）的普及使得越来越多的家庭和企业成为“产消者”（既是消费者也是生产者）。电力企业可以通过搭建交易平台，促进这些产消者之间的能源交易，增加能源供应的多样性提高整个电力系统的灵活性。另一方面，电力企业利用工业互联网平台加强与上下游企业的合作，共同打造开放的生态系统。例如，与电动汽车制造商合作，共同推广智能充电解决方案；与建筑开发商合作，提供智能家居能源管理系统等。通过跨界合作，促进产业链的整体升级，催生出更多创新的应用场景。

（四）平台融合应用方案



图 6-1 工业互联网平台与电力融合应用架构图

1. 厂（场）站层

厂（场）站层级，通过部署物联集中管理能力，实时收集设备状态、环境参数及能源消耗等多维度数据，构建起全面的监测网络，实现设备故障的早期预警和预测性维护，减少非计划停机，延长设备使用寿命。远程监控与控制功能的建立，使得管理人员可以在任何地点通过工业互联网平台实时查看设备状态，下达控制指令，有效提升运营的灵活性和安全性。其次，引入边缘计算分析能力，能在靠近数据源头的场站端完成初步分析与过滤，即时反馈异常情况，为快速响应提供可能。在此基础上，平台还可集成能源管理系统，对场站内部的能源消耗进行精细化管理，通过优化能源配置和调度策略，减少浪费，提升能源利用效率，助力节能减排目标的实现。

2. 企业层

企业层面打造覆盖企业经营全业务、全环节的工业互联网平台，一是 PaaS 服务能力层，通过工业微服务组件库，集合多种标准化、可复用的

微服务组件，加速工业互联网平台上的应用开发与部署。这些组件通常封装丰富的工业知识、算法、模型以及特定业务逻辑，能够根据不同工业场景的需求进行灵活调用和组合，以构建个性化的工业应用程序；构建数据存算能力，支持多种数据库技术，如时序数据库、关系型数据库、NoSQL数据库以及分布式数据库等，以满足不同类型数据的存储需求，并负责对存储的数据进行加工、分析和挖掘，转化为对企业决策有用的信息或洞察；形成通用 PaaS 服务能力，提供人工智能、区块链及数字孪生等技术的通用 PaaS 服务能力，具备高度的灵活性和可扩展性，能够快速响应业务变化，大幅降低开发和运维成本。二是 **SaaS 服务能力层**，对内构建智慧管理体系，实现企业党建、规划计划、人力资源、财务投资、物资设备、项目管理、科技创新、安全环保、决策分析及社会责任等的全业务全流程一体化数字化管理，提升企业经营资源要素价值；对外构建生态协作体系，建设生态协作门户与生态协作平台，打通电力企业、客户、供应商和金融等的交易链条，加大采购、销售与金融的交易融通融合，提升客户服务水平，提高内外部协同效率，降低交易成本，增强客户黏性，提高企业外部生态化协作发展水平。

3. 行业层

行业层的电力工业互联网平台构建，核心在于打破企业界限，实现全行业数据互联互通、智能分析决策与生态共创。首先，需建立统一的数据标准与安全体系，打通发电、输变电、配电到消费的全链条数据壁垒，保障数据高效集成与安全共享。其次，集成 AI 等技术，对海量数据进行深度分析，以精准预测供需、优化资源配置、强化故障预防及能效管理，推动决策智能化。再者，构建开放合作生态，提供开发者工具与 API 接口，

吸引多元主体共创应用，丰富服务生态，加速技术创新与模式迭代。同时，重视平台的稳定运行与持续进化能力，确保技术架构的前瞻性和灵活性，以适应电力行业快速发展需求。

七、工业互联网数据与电力融合应用

（一）工业互联网数据发展现状

2019年6月，工信部党组审议通过《国家工业互联网大数据中心建设方案》，明确由工联院承担大数据中心建设及管理工作。国家工业互联网大数据中心是集成先进算力技术、汇聚工业数据、打造典型应用模式，促进实体技术与数字经济深度融合，助力新型工业化的关键基础设施。

近年来，工联院逐步建成“技术领先、标准统一、高效畅通、安全可靠”的算力基础设施，积极推进“1+N”总体布局，在北京建设1个国家中心，在重庆、山东、江苏、辽宁等工业大省建设9个区域分中心。构建标准、算力、数据、安全四大核心能力体系，发布基础设施建设、数据交换共享和数据应用等领域19份标准规范，形成3.29万核的CPU通用算力，395TFLOPS的GPU智能算力，15PB数据存储能力，打造企业基础信息资源库、产业链库等“1+N”专题库，汇聚自有系统数据、共享交换数据等11亿条结构化数据，构筑“制度规范、技术防护、运行管理”三位一体的安全体系，保障大数据中心安全稳定可持续运行。

应用创新赋能初见成效。打造装备制造业数字供应链平台、工业数字化碳管理服务平台、工业数据要素中小企业赋能平台等三类典型应用。装备制造业数字供应链平台汇聚38万家企业、近200万名设计工程师、超2亿件工业数字工品，助力提升我国装备制造业数字化水平。工业数字化

碳管理平台建设国家工业碳基础数据库，汇聚本土化高质量碳排放因子超 1 万种，服务企业 9700 余家，形成产品碳足迹 1.4 万余份。工业数据要素中小企业赋能平台发放登记证书 610 余张，数据要素总量超 6 亿有效数据值，上线全国首个工业数据交易专区，成立工业数据要素创新发展中心。大数据中心在释放数据要素价值，赋能制造业数智化转型升级方面正发挥越来越重要的作用。

（二）电力行业数据建设现状

1. 设备层智能化与感知能力增强，数据采集标准化程度提升

电力设备的智能化程度显著提高，几乎所有的关键设备都内置了传感器和通信模块，能够实时监测并传输运行参数。这些数据涵盖了设备的电气性能（如电压、电流、功率因数）、机械状态（如振动、温度、压力）、环境条件（如湿度、污染程度）等多维度信息。面对海量设备数据，标准化成为设备层数据管理的关键。电力行业正积极推行设备通信协议的标准化，如 IEC 61850、Modbus、OPC UA 等，以确保不同厂商、不同型号的设备间能够顺畅通信，实现数据的有效集成。同时，数据格式和接口的标准化也促进了数据的高效传输和解析，降低了数据孤岛的风险。工业互联网平台和工业网关的应用进一步简化了设备数据接入流程，使得即使是传统老旧设备也能通过 IO 模块或串口转网络的方式实现数据上云。

2. 厂（场）站层应用数据集成平台，多源异构数据统一存储流转

厂（场）站层已普遍采用监控与数据采集系统（SCADA）、能量管理系统（EMS）、配电网管理系统（DMS）、火电厂级监控信息系统（SIS）等自动化系统，实现了对变电站、发电厂运行状态的实时监控和远程控制。这些系统不仅收集电压、电流、频率等关键运行数据，还能进行负荷预测、

潮流计算、故障定位等功能，提高了运行效率和安全性。为了解决厂（场）站层数据孤岛问题，电力企业纷纷构建数据集成平台，实现多源异构数据的统一存储、管理和分析。这些平台通过标准化的数据接口和协议，整合来自不同设备、系统（包括但不限于 SCADA、EMS、PMU、环境监测系统等）的数据，为数据分析和决策支持提供统一的数据基础。此外，借助 API 管理、数据交换服务等技术，增强数据流动性和可用性，支持跨部门、跨系统的数据共享。

3. 企业层数据治理框架初步构建，数据驱动决策创新实践

大多数电力企业已意识到数据治理的重要性，纷纷建立或优化数据治理框架，明确数据管理的目标、原则、组织结构和流程。这包括设立数据管理部门或二级单位，负责数据治理政策的制定与执行监督；制定数据管理策略，涵盖数据质量、数据安全、数据生命周期管理等方面；以及构建数据字典和元数据管理系统，确保数据的标准化和可追溯性。通过这些措施，电力企业力求打破数据孤岛，实现数据资源的整合与优化。同时，数据管理的最终目的是服务于决策。为此，许多电力企业建立了数据驱动的决策支持系统，将数据转化为可操作的信息和洞察，支持高管层的战略决策和中低层的日常管理。这些系统往往集成业务智能（BI）工具、数据可视化技术，使决策者能够直观理解数据背后的故事，快速响应市场变化。

4. 行业层电力数据标准与规范逐渐丰富，数据共享与生态构建开展探索

为统一电力行业数据管理的标准和语言，国家能源局及行业协会等正积极推动数据管理标准和规范的制定工作。这包括数据分类、编码、接口、安全、质量等多个维度的标准，以及数据资产管理、数据共享、数据交易

等方面的操作指南和最佳实践。通过这些标准和规范，为行业数据的互联互通、互认共享奠定基础。面对行业内外数据孤岛问题，电力行业正探索构建跨企业、跨领域的数据共享平台。通过设定清晰的数据共享规则、建立数据交易平台和数据信任机制，鼓励和促进行业内企业间的数据流通与合作。同时，推动与政府、高校、研究机构的数据资源共享，形成开放共赢的数据生态，为能源转型、电力市场改革、新能源接入等提供数据支持。

（三）数据融合应用需求

1. 电力装备全面感知数采能力提升，保障数据质量与完整性。电力是典型的广域分布式工业互联网，是工业互联网中联网设备数量最大、数据规模最大的垂直行业，天然具备“大连接、广覆盖、高可靠”要求。电力分布式特征显著，联网设备规模巨大、种类繁多，跨各行各业，超大连接的规模和复杂性远超一般工业互联网，并跨越消费领域、工业领域。需要构建三大方面能力，一是广泛互联，需建立统一物联网平台与信息物联模型，实现多源异构标准化接入，实现源-网-荷-储各侧终端与业务互联互通。二是全面感知，通过广泛部署小微传感、芯片化智能终端和智能网关，采集大量数据，挖掘数据间的关联性，实现跨领域、跨业务数据共享。三是云边协同，结合边缘计算和人工智能技术，在边缘侧为电力设备就近提供高级数据分析、场景感知、实时决策等服务。

2. 全业务全环节数据有效整合，数据治理和数据驱动决策能力稳步提升。在企业层面，数据不再局限于单一设备或站点，而是跨越整个企业范围，涵盖生产、运营、市场、客户服务等多个环节。由于电力企业的业务覆盖广、数据源多样，来自不同系统和设备的数据格式各异，缺乏统一标准，难以有效整合。因此，需要建立企业级数据湖或数据中心，采用统

一的数据模型和标准协议（如 IEC 61970/61968）对数据进行标准化处理，实现数据的统一存储和管理。此外，企业需要构建完整的数据治理体系，包括数据生命周期管理、元数据管理、数据质量管理、数据安全管理等，确保数据的准确性、一致性和时效性。通过实施数据治理，企业能够更好地掌握数据资产，提高数据可用性和价值。

3. 跨企业的数据标准共享与协同创新应用，提升电力数据要素价值。

《数字中国建设整体布局规划》《关于构建数据基础制度更好发挥数据要素作用的意见》《“十四五”能源领域科技创新规划》等文件分别提到推动公共数据的开放和利用，推动能源行业的融合应用，促进能源产业的数字化和智能化升级。建立行业级大数据中心，打造新型能源数字经济平台，通过行业级大数据中心，汇聚各类能源及相关外部数据。

（四）数据融合应用方案



图 7-1 工业互联网数据与电力融合应用架构图

1. 厂（场）站及设备层

建设“云-边-端”协同体系，推动原有的“采集+集中监测”管理模式向“采集+本地闭环+云端监管”模式转变。本地闭环：将人工智能算法部署于边缘侧智能网关，使其自主完成预设任务、上传结果，实现数据就地计算和就近控制。云端监管：通过统一物联接入管理远程对智能网关的算法进行统一部署、训练和升级，提升系统的灵活性和智能化水平。

建设部署统一物联网接入管理，实现数据的统一采集、统一供给。支持消息队列遥测传输（MQTT）、超文本传输安全协议（HTTPS）、实时流传输协议（RTSP）、开放式网络视频接口论坛（ONVIF）等多种协议。其中，MQTT 协议主要对接结构化数据内容，可接入变电站智能网关、巡检机器人、无人机机库、门禁等终端。HTTPS 协议主要用于文件传输和 API 对接，可用于远程运维的日志传输、升级包传输，业务应用的文本、图片、视频等数据内容传输。RTSP 协议主要用于传输实时视频流，在终端不支持 GB/T28181 协议时可以用 RTSP 的直播流替代。ONVIF 协议也是主要用于视频流传输，可用于安防、实时监控、历史视频、云台控制等业务应用。

构建统一标准物模型，为数据中心提供统一输入，为实现数据的开放共享、融合应用奠定基础：南向采集方面，制定感知终端物模型，由物联网平台统一管理和维护，从源头保证了数据的规范性；北向应用方面，为各级应用提供开放的数据服务，打破专业、系统、地域、厂家等造成的数据壁垒。

2. 企业层

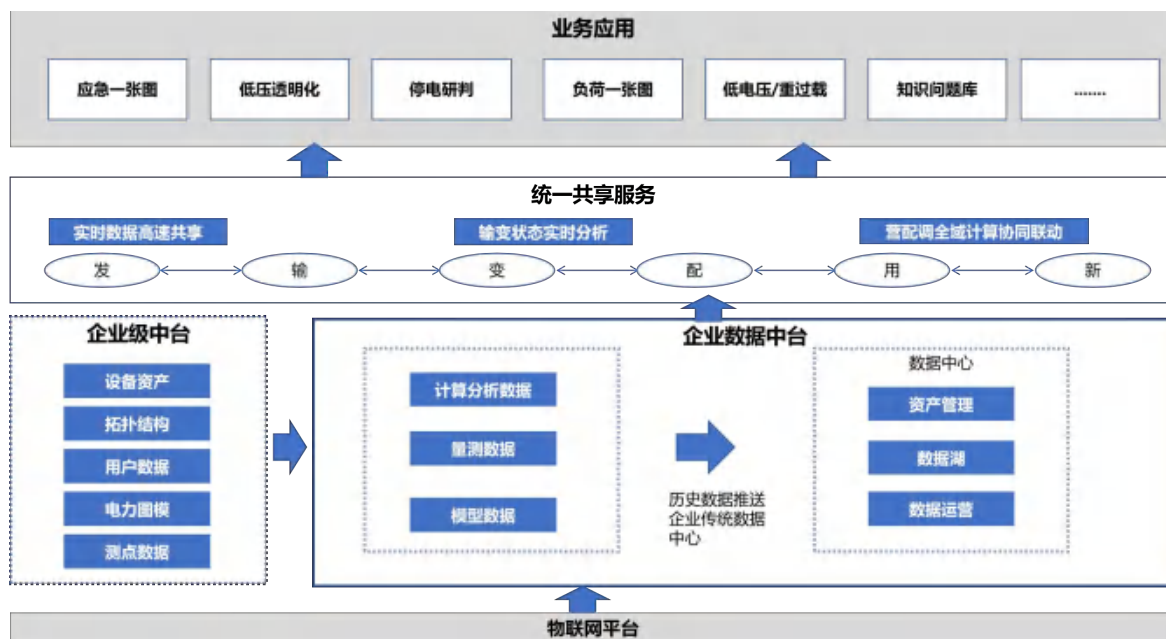


图 7-2 企业层大数据中心总体架构图

以公司数据中心为统一数据底座，明确数据源和统一入口；以全局视角统一数据模型建设，兼顾各业务域需求；通过数据服务形式提供各业务场景调用，完全实现“一处产生、多处使用”。数据中心包括对内应用管理能力和对外数据服务能力两部分组成。对内应用管理能力包括测点管理、实时量测管理、计算分析管理等，实现量测、模型、计算分析三类数据的实时融合；对外数据服务能力主要提供订阅查询等服务，实现包括用电量、电气量、事故事件、运行状态等多种信息的实时供给，支撑电力多业务领域应用。

3. 行业层

通过国家工业互联网大数据中心（电力）行业分中心等行业级大数据中心建设，构建电力行业数据要素基础设施，赋能电力行业数字经济高质量发展。通过整合行业数据资源，促进跨区域数据协同，加速能源互联网建设，推动电力市场改革与现货交易效率。同时注重绿色低碳，引领数据

中心可持续发展，并强化数据安全与隐私保护，打造示范性平台，驱动产学研深度融合，为电力行业数据要素价值的充分发挥奠定坚实基础。

国家工业互联网大数据中心（电力）行业分中心建设可依托现有电力企业的基础设施优势，利用其现有的网络、设备和数据资源进行拓展。制定并遵循电力行业数据交换、接口、安全等相关标准，促进数据的标准化和互联互通，支持跨行业、跨领域的数据融合与创新应用。同时，结合国家绿色数据中心建设的要求，电力行业分中心的建设会注重能效提升和绿色低碳技术的应用，确保数据中心自身的能源使用高效且环保。

八、工业互联网安全与电力融合应用

（一）工业互联网安全发展现状

近年来，我国相继出台一系列政策与指南，从宏观、中观和微观多个层面持续完善工业互联网安全政策体系。2019年7月，工业和信息化部等十部门联合发布了《关于加强工业互联网安全工作的指导意见》，系统规划了工业互联网安全工作的方向，引领产业发展。2020年工业和信息化部发布了《工业互联网创新发展行动计划（2021—2023年）》，提出构建基于工业互联网的安全感知、监测、预警、处置及评估体系，扩大工业互联网应用，提升安全生产水平。2022年，《工业和信息化部办公厅关于开展工业互联网安全深度行活动的通知》提出，推动在全国范围内深入实施工业互联网企业网络安全分类分级管理，指导督促企业落实网络安全主体责任，共同提升工业互联网安全保障能力；印发《工业和信息化领域数据安全管理办法（试行）》，明确数据分类分级、重要数据识别和目录备案、全生命周期安全保护、监测预警和应急处置等要求，指导企业履

行数据安全保护义务。2024年，工业和信息化部印发《工业互联网安全分类分级管理办法》，健全企业定级、分级防护、符合性评测、安全整改等工作机制，指导企业提升网络安全防护水平。总体来看，相关政策法规的要求促使企业必须高度重视网络安全与信息安全，应对关键信息基础设施可能面临的各种安全威胁。

工业互联网安全标准体系稳步推进，指导产业健康发展。工业互联网安全标准体系主要由基础共性类标准、安全防护类标准、安全服务类标准、垂直行业类标准组成。近年来，针对工业互联网标准的跨行业、跨专业、跨领域特点，我国加速开展相关标准的研制，陆续发布了《工业互联网安全防护总体要求》《工业互联网平台安全防护要求》等标准规范，印发了《工业互联网综合标准化体系建设指南》《工业控制系统网络安全防护指南》等，初步形成了涵盖设备安全、控制安全、网络安全、数据安全、应用安全、平台安全、安全管理的工业互联网安全标准体系。

我国工业互联网安全体系逐步构筑。威胁监测和信息通报处置不断加强，企业安全主体责任意识显著增强，安全保障能力持续提升。覆盖国家、省、企业的三级安全技术监测服务体系基本建成，可覆盖980万台联网设备，近14万家工业企业，165个重点平台，监测预警、威胁处置等保障能力有效增强。

（二）电力行业安全建设现状

设备层面，按照能源局36号文件《电力监控系统安全防护总体方案》的相关要求，电力生产企业以“安全分区、网络专用、横向隔离、纵向认证”为基础，通过工业控制系统网络内部署工控安全专用安全设备，利用工业协议深度解析、生产网络全流量分析、全生产设备日志信息上报、生

产控制大区与管理信息大区单向安全数据传输等技术，保证电力企业生产设备的网络安全状态实时监控与安全数据上报。

厂（场）站层面，通过将电力生产监控系统的各类实时生产网络安全数据进行采集，实现网络、设备、应用、数据等在内部网络安全数据就地分析，处理结果实时专网上报，对场站安全数据进行规约化、标准化后的数据通过调度数据网、集控数据网、安全专网等手段将场站侧安全数据上报给上级平台。

电力企业按照《中华人民共和国网络安全法》《工业控制系统网络安全防护指南》《电力行业网络安全等级保护基本要求》DL / T 2614-2023、《信息安全技术 关键信息基础设施安全保护要求》GB/T 39204-2022、《信息安全技术 网络安全等级保护基本要求》GB/T 22239-2019 等政策要求，对电力企业各级分、子公司内部信息管理系统，电力生产监控系统、生产经营管理系统等进行了网络安全防护能力的建设工作。在设备、网络、数据、管理制度等方面形成了一定的网络安全防护能力及管理要求。

同时，各电力企业也以工业互联网体系架构为基础构建了电力领域内以场、站业务系统实时生产网络安全数据采集，内部网络安全数据边缘（就地）分析，处理结果实时专网上报，企业云端 AI 智能大数据分析的架构先进、数据标准、传输安全、数据共享的多级网络安全管理平台。

电力行业监管机构，通过建设电力系统网络安全态势感知平台对行业内电力企业网络安全数据，按照统一标准进行逐级上报，借助数据服务接口分析和处理网络行为及用户行为，掌握网络安全状态，预测网络安全趋势，并进行展示和监测预警。

（三）安全融合应用需求

1. **查缺补漏**。根据国家和行业相关网络安全建设标准要求，结合电力企业内部现有网络安全建设现状，针对电力生产业务相关系统安全薄弱点，加强网络安全防护措施建设工作。比如，加强梳理分析工控设备、新型智能终端、物联网采集终端等设备安全防护建设现状和存在问题，对比相关防护要求，补全网络安全防护短板。

2. **数据保护**。为了应对愈发复杂的网络安全威胁，电力系统不仅需要加强传统意义上的防火墙和入侵检测系统等技术措施，还需要引入更高级别的加密技术和身份认证机制，如多因素认证和基于角色的访问控制，以保护关键数据免遭未授权访问。此外，对于电力系统数字化、智能化转型带来的海量数据，应采用高效的数据脱敏和加密方案来保障数据隐私，并实时监控异常行为，及时发现潜在的安全威胁。

3. **安全服务**，通过工业互联网平台将安全数据进行采集后进行集中分析，通过专业安全分析团队加强对安全监测、威胁预警、APT 响应、漏洞管理、安全评估、安全数据推送等安全运营服务能力建设与落地。

4. **行业监管**，通过利用工业互联网基础架构，完善以电力企业内生产区域安全数据实时数据采集、安全数据就地处理、告警信息及时上报，并结合云端威胁情报、网络空间资产管理等能力，利用人工智能及大数据分析技术实现对相对封闭的电力生产业务系统的网络安全全面监管能力。

（四）安全融合应用方案

通过行业+企业+场站多级网络安全防护体系建设，实现电力生产业务系统的网络安全防护监管能力，遵循“安全分区、网络专用、横向隔离、纵向认证、综合防护”原则，通过集团、区域公司、场站侧网络安全进行逐级建设，安全信息逐级上报、告警信息逐级下派、处置动作闭环管理等

要求，实现整个电力企业对于区域、场站侧生产控制系统网络安全全面管理的能力。

三级平台汇聚了数据（安全大数据）、情报（威胁情报）和智力（安全分析团队）三大资源，实现生产网络安全态势预警、威胁关联分析、网络安全事件响应处置的一体化的生产网络安全运营体系。

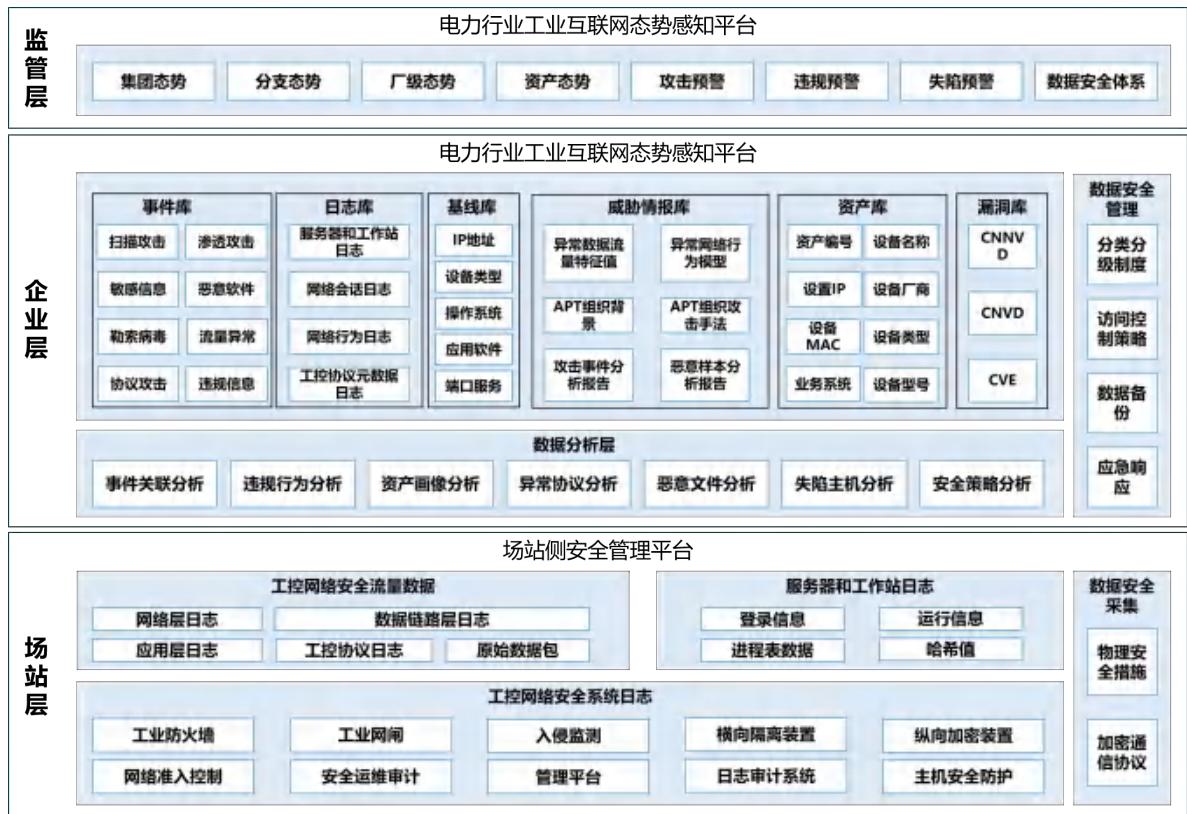


图 8-1 工业互联网安全与电力融合应用架构图

1. 厂（场）站层

电力生产供应企业网络安全从边界防护、通信网络、主机防护、安全监测、安全运维、安全管理等多个角度进行建设。结合《电力监控系统安全防护总体方案》的相关要求，通过安全分区、网络专用、横向隔离、纵向认证、综合防护中要求的技术手段构建的整体安全防护运营体系。电力设备制造企业生产网络应从安全区域划分、边界防护、通信网络、主机防

护、安全监测、安全运维、访问控制、安全管理制度多个角度进行建设。结合《工业控制系统网络安全防护指南》的相关要求，通过安全管理、技术防护、安全运营、责任落实等要求建设工业控制系统的网络安全防护体系。

通过部署在各厂级的网络安全综合监测系统，由数据采集装置、厂级分析平台以及其他通用和专用设备共同组成，完成网络全流量和日志信息收集、初步分析处理、边缘计算等任务。

为了确保数据采集过程的安全性，首先应当强化物理安全措施，例如安装防篡改硬件、使用安全的通信模块以及设置物理访问控制，以防止设备被恶意破坏或篡改。其次，在数据传输环节，应采用加密通信协议来保护数据在传输过程中的完整性与保密性，防止中间人攻击或数据泄露。此外，针对边缘计算节点，可以通过实施安全启动和安全固件更新来确保其免受恶意软件的侵袭，从而保证数据采集终端的可信度。为了进一步提升数据采集安全水平，还可以利用区块链技术创建一个去中心化的数据记录系统，使得每次数据采集活动都能够被完整记录且不可篡改，进而增强数据的透明度和可追溯性。

2. 企业层

通过建设在总部或区域公司节点的安全态势感知分析系统，拥有数据（安全大数据）、情报（威胁情报）和智能（安全分析团队）三大资源，汇聚厂站侧系统上传的数据，并对数据进行实时监测、智能分析、预警报警、人工研判、综合展示等，感知全行业各类网络安全问题，并与行业侧平台进行数据共享。

企业层需要建立一套完善的数据分类分级制度，根据数据的重要性和敏感程度制定相应的保护措施，确保核心数据得到最高等级的安全防护。同时，应加强内部网络隔离，构建多层次的网络防御体系，通过防火墙、入侵检测系统（IDS）和入侵防御系统（IPS）等技术手段防范外部攻击。另外，对于存储的数据，企业应当实施严格的访问控制策略，结合多因素认证（MFA）技术，确保只有经过身份验证的用户才能访问所需的数据资源。为了提高数据管理的安全性，还应该定期进行数据备份，并将备份存放在安全的位置，以防主要数据系统遭受攻击时能够快速恢复业务。最后，企业需要建立有效的安全事件响应机制，一旦检测到安全事件，能够迅速启动应急预案，及时隔离受影响的系统，修复漏洞，并对事件进行全面调查，总结经验教训，持续改进安全策略，从而不断提升企业的整体数据安全管理水平。

3. 行业层

通过部署在行业监管机构的大型网络安全综合监测系统，接收并综合展示企业平台、部分重点场站发布的全网网络安全方面的监测数据、分析结果、预警报警信息，支撑电力企业网络安全总体情况的实时管控与处置。

为了确保电力系统中各类数据的安全性，监管机构需要制定一系列严格的法律法规和标准规范，明确电力企业在数据生命周期各个阶段的责任与义务，包括数据的采集、传输、存储、处理以及销毁等环节。监管机构应推动建立统一的数据安全管理体系，规定电力企业必须采用先进的加密技术和安全协议来保护数据在传输过程中的安全，并确保存储的数据能够得到妥善的保护，防止数据泄露、篡改或丢失。此外，还需建立完善的安全评估机制，定期对电力企业的数据安全状况进行审核，评估其是否符合

最新的安全标准和技术要求，并对存在的安全隐患提出整改意见。同时，监管机构应鼓励电力企业实施数据分类分级管理，根据数据的重要性和敏感程度采取差异化的保护措施，重点保护涉及国家安全、公共利益和个人隐私的关键数据。为实现有效监管，还需搭建一个数据安全信息共享平台，促进电力企业之间以及企业与监管机构之间的信息交流与合作，共同抵御网络攻击，提高全行业的整体安全防护能力。最后，监管机构应注重提升电力行业从业人员的安全意识，通过教育培训等方式，增强其识别和防范数据安全威胁的能力，从而构建一个全方位、多层次的数据安全保障体系。

九、组织实施

（一）基本原则

整体规划、分步实施。从电力生产供应全链条各环节出发，以发挥工业互联网在电力行业能效提升、资源优化配置、绿色低碳发展等方面的作用为目标，识别工业互联网赋能关键点，规划企业战略定位、建设目标和迭代升级路径，建立涵盖电力治理主体、电力设备全寿命要素和电力系统要素等的工业互联网体系。根据基础条件和需求急迫程度，采用叠加集成的架构设计思路，制定分阶段实施方案，分步骤推进规划落地。

模式探索、创新驱动。面向工业互联网与电力融合应用需求，探索基于工业互联网的新型业务模式和服务模式，鼓励产业链上下游用户、开发者、供应商多方构建产业生态，共同创造价值。坚持技术创新为核心，积极探索 5G、标识等工业互联网技术成果与电力行业的融合创新，推动电力企业数字化、智能化、绿色化转型升级。

标准先行、场景落地。构建适合电力企业的工业互联网与电力融合应用标准体系，如统一设备接口、数据格式和通讯协议等，促进跨行业、跨系统、跨平台的数据流通与应用协同，实现生态开放共享。以场景落地为导向，将工业互联网技术与电厂智能运行、电网运行维护、源网荷储一体化等电力行业实际应用场景紧密结合，通过具体项目实施，实现技术价值的转化和场景落地应用。

要素保障、绿色低碳。建立完善的保障机制，为项目建设提供必要的组织保障、制度保障、资金保障、人才保障和文化保障，确保项目建设和应用取得实效。从服务国家双碳目标出发，将绿色低碳理念贯穿于工业互联网与电力行业融合应用的全过程，通过典型场景融合应用推动电力行业绿色低碳转型。

（二）实施流程

电力行业和工业互联网融合应用实施应通过现状评估、战略规划、组织准备等八步来推进。同时考虑到工业互联网实施涉及人、机、物、系统等跨工序、跨企业、跨区域的连接，电力行业涉及多企业、多场站、多设备场景，两者融合面临技术融合和业务融合的多重复杂性，电力相关企业在推进工业互联网融合应用时需要进行更全面的诊断评估、更系统的蓝图规划、更清晰的路径选择，并建立更加强有力的组织保障。此外，电力企业应在自身能力基础上，更多地联合相关科研院所、解决方案供应商等主体，共同推进工业互联网建设实施，形成具有电力特色，促进新型电力系统建设与跨越式发展的新模式。



图 9-1 电力行业与工业互联网融合应用实施流程图

1. 现状评估

一是业务诊断，全面梳理发电、输电、变电、配电、用电及储能等各环节业务流程，分析电力企业在生产、运营、管理等方面存在的问题和未来需求，明确未来发展定位和目标；二是数字化现状评估，结合能力评价指标，从设备层、场站层、企业层和行业层四个层级对电力企业自动化信息化系统建设情况进行全面评估，诊断发、输、配、用、储等全业务链条的数字化能力成熟度水平，识别工业互联网可以发挥作用的关键点；三是工业互联网功能建设需求分析，结合电力企业未来需求和工业互联网的赋能关键点，明确工业互联网在支撑电力行业数字化转型时应具备的网络、标识、平台和安全功能，规划相应的能力建设方案。

2. 战略规划

面对电力行业数字化、智能化、绿色化的转型需求，结合电力企业发展愿景、目标和市场定位，基于电力企业现有核心竞争能力、业务特点和痛点，明确融合应用方向，设定融合应用目标，系统规划工业互联网和电力行业融合路径。一是战略研判，基于电力产业链上下游企业现状分析，

明确各环节融合应用需求和愿景。二是目标设定，根据典型场景的业务需求，以及运行调控、治理效能优化、业务模式创新指标等情况，设定项目建设目标。三是整体路径规划，确立工业互联网在电力行业转型升级中的战略角色，基于需求、愿景、目标等，整体规划融合应用路径。

3. 组织准备

为推动战略规划落地，电力企业应根据应用需求，配备具有工业互联网专业能力和素质的人才，建立合理的激励机制，落实好工业互联网建设所需的资金预算和筹措渠道，支撑后续具体规划和建设任务开展。具体措施包括制定项目建设配套规章制度，设立包括中高层在内的工业互联网建设推进小组，成立专家咨询委员会，制定项目资金预算与投资计划，对战略规划中涉及的新业务进行建设和调整等。

4. 总体规划

结合战略规划，电力企业应联合行业协会、总集成商等外部专业机构，面向电力发、输、配、用和储各环节的全业务流程开展工业互联网融合应用总体设计，根据需求迫切程度、技术基础和资金情况等，明确建设先后顺序、各阶段建设目标和建设内容。一是调研电力企业当前网络、标识、平台、安全等方面的建设现状，明确建设需求，设计工业互联网总体架构和部署路径，构建完整的业务、技术、数据、应用、网络、标准以及管理等架构体系。二是制定标准规范，根据当前国家及行业标准，制定项目实施的具体技术标准、数据标准和安全规范，保证建设内容有据可依。三是设计应用方案，针对工业互联网和电力行业的不同融合应用场景，设计详细的解决方案，以及每个方案所需的技术、装备、软件等详细内容、投资详细概算、人员安排、进度安排、保障措施等。四是选择合作伙伴，依托

行业协会、产业生态甄选技术供应商、系统集成商等合作伙伴，集成优势资源，形成良好的供应链体系和协作模式。

5. 方案设计

按照总体设计要求，电力企业应联合设计详细建设方案，按照“成熟一个启动一个”的原则，保证项目建设顺利开展。建设方案包括但不限于：

一是底层设备的智能化改造和新型网络设施改造升级。基于人工智能等技术升级现有的生产类终端、控制类终端和采集监测类终端，或使用叠加模式接入新型智能设备；应用 5G 虚拟专网、TSN 和边缘计算等技术，融合应用电力企业现有网络和 5G 网络，支撑实现特殊场景下的数据采集和全网数据共享。

二是电力企业数据治理与标识体系构建，设备层建立“一物一码”物理实体和虚拟实体标识码，形成企业级底层数据资源池；场站层部署标识解析中间件，并与电力工控软件实现接口对接；企业层以独立建设或托管建设的方式，建设标识解析企业节点并接入标识解析二级节点。在此基础上推动电力生产和供应各环节基础数据清理、数据挖掘分析、数据确权、数据库和模型库创建。

三是工业互联网平台部署、开发和测试，部署各类传感器和智能终端采集数据，打造工业互联网平台，建设服务器、网络、存储、安全等基础设施，建设微服务组件库、使能平台、数据底座，涵盖集成、软件开发、区块链、数字孪生、物联网、人工智能、通用 PaaS、数据湖等；建设智慧管理平台、产业运营平台和生态协作平台，开发业务运行相关 APP 和创新应用。

四是安全防护体系建设，从设备、控制、网络、应用、数据、平台等方面构建行业+企业+场站多级网络安全防护体系，设备层从安全区域划分、边界防护、通信网络、主机防护、安全监测、安全运维、访问控制、安全管理制度多个角度进行建设，场站层部署网络安全综合监测系统，企业层建设大数据分析系统，定期开展安全风险监测评估，保证电力系统运行安全可靠、网络传输安全可信、数据全生命周期流通安全。

6. 试点实施

工业互联网和电力行业融合应用涉及上下游电力企业、场景众多，应开展试点应用和分步推广。一是选择试点，根据业务需求和实施难易程度，选择代表性区域、典型场景，组织相关电力企业开展工业互联网建设试点。二是实施建设，结合区域和电力企业业务特点和升级需求，在试点区域开展工业互联网平台建设，包括但不限于网络、标识、平台、安全，并实地进行配置与调试。三是能力验证，根据相关标准和建设目标，组织多方验证系统数据采集、处理、分析及应用等能力的有效性。四是收集用户反馈，收集试点用户的意见与建议，评估项目建设带来的用户体验与业务成效，为评估优化提供参考。

7. 评估优化

工业互联网项目建设完成后，电力企业内部应组织开展成效评估，根据运行情况进行迭代优化。一是参考建设目标、用户体验、投入产出比等因素，从管理体系建设、生产经营数字化水平、数字技术创新应用等维度，适时组织开展工业互联网应用成效评估，总结成效，发现问题。二是根据评估情况和实际需要，制定改进措施，调整技术方案、管理策略或商业模式，开启新一轮电力行业+工业互联网融合应用规划，不断提升融合应用

水平。三是标准输出，将迭代优化过程中的成功经验和最佳实践进行总结和标准化，以支撑后续推广应用。

8. 全面推广

一是分阶段部署，以系统工程思维和方法梳理工业互联网和电力行业融合的关键通用技术，按照优先级和资源情况合理规划推广路线，形成可复制可推广的基本路径，提升规模化推广水平。二是电力企业联合高校、科研机构、行业协会建设运营融合产业生态，依托生态提供规划设计、供需对接、样板建设、生态活动等一系列服务，加快电力行业技术产品及解决方案开发、孵化与推广。三是鼓励电力企业在典型行业场景落地应用，用户服务和技术支持，形成一批应用价值高、可复制推广性强的应用案例，并持续跟踪新技术，挖掘新应用场景，树立“平台+行业”标杆。

（三）要素保障

1. 组织保障

考虑到工业互联网跨领域跨行业特点，为保证融合应用顺利推进，电力企业应建立“领导小组办公室+专项行动小组+高端智库”的推进机制，组建由一把手或分管领导挂帅的项目领导小组，统筹各方资源；组建由信息化或数字化部门负责人挂帅的项目建设小组，负责具体项目组织实施；联合电力企业、行业协会、科研院校组建工业互联网+电力行业专家咨询委员会，作为推进工业互联网建设的战略性、全局性、专业性决策咨询方。

2. 制度保障

电力企业应建立工业互联网融合应用责任机制、持续改进机制和应用评价机制，制定合理可行的考核指标体系。通过加强对项目组和各单位工

业互联网建设与实施情况和效果的评估考核，充分调动各级领导和全体员工的积极性和创造性，从制度上保障工业互联网融合应用有效落实。

3. 资金保障

电力企业需要根据自身应用需求，结合资金投入能力，合理设置建设目标，建立分阶段、分批次的资金投入计划和资金保障措施。通过产业基金投资、企业自筹、社会资本入股等多种融资渠道，确保资金投入到位，保障项目良性运转；建立企业资金效应评价和追踪问责机制，使投入和使用效率最大化；建立数字化转型的财务核算体系，明确数字化投资的预算和风险，科学计算数字化投资回报周期和效果。

4. 人才保障

电力企业在推进工业互联网应用过程中，应建立健全工业互联网相关人才引进、培养、使用、激励等机制，引进和培养一批具备能源技术与工业互联网技术融合知识技能的跨界复合型人才。优化企业内部人才评价及激励政策，对工业互联网技术人才予以倾斜照顾，确保人才引得进、留得住、用得好。深化电力行业工业互联网领域产教融合，与科研院所围绕重点发展方向和关键技术共建产业学院、联合实验室、实习基地等。

5. 文化保障

为进一步提升员工对于工业互联网融合应用的认知，电力企业应与工业互联网相关科研院所、行业组织加强合作，通过举办产业大会、开展员工培训学习、发布优秀应用案例、应用经验交流、知识竞答比赛等一系列活动，共享工业互联网与电力融合应用成果，强化员工对工业互联网创新发展的认知，加速工业互联网在电力行业的推广应用。

附录一 典型案例

(一)基于工业互联网的云上水电示范工程—国能大渡河大数据服务有限公司

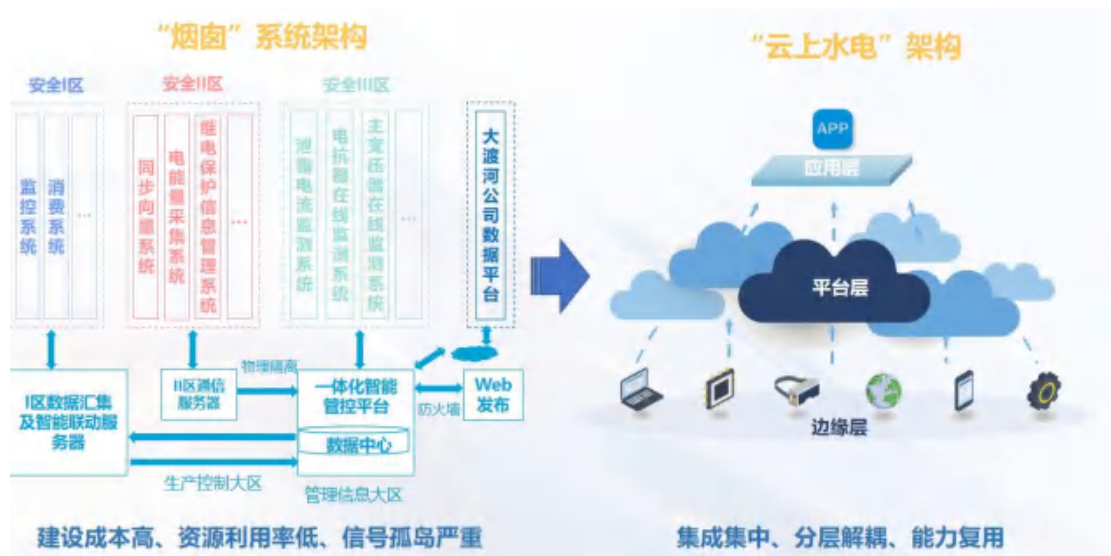
1. 现状痛点

在我国水电产业中，中小水电企业占比高达 99.6%，而这些中小水电普遍存在数据采集能力低、智能化程度不高、专业人才匮乏、安全监管难度大等诸多难题。同时，传统的“烟囱式”水电建设模式投资规模大、建设成本高、实施周期长，中小水电因装机规模有限难以直接复制，并且相似系统的重复建设也会带来巨大的资源浪费。这些问题导致中小水电企业在实现数字化转型的过程中面临重重困难。

2. 解决方案

工业互联网作为新一代信息通信技术与工业经济深度融合的应用模式和工业生态，具有节能降本、提高生产效率、实现服务转型等优势。

针对中小水电数字化转型困难的难题以及工业互联网的优势，“基于工业互联网的云上水电示范工程”首次提出将传统烟囱式建设的水电专业系统，裂化为边缘层+平台层+应用层的工业互联网模式。在此模式下，本工程在智能网关、数据治理及数据加密上取得了 10 余项关键技术突破，实现数据低成本、高质量汇聚。并通过将水电各类专业模型、算法上云，在气象水情、库坝安全、设备管理等方面形成水电特色的“云化服务”，助力水电企业数字化转型提升。



附图 1-1 “云上水电”解决方案架构图

3. 成效价值

云上水电项目全面实施后，将补齐国家能源集团数据湖缺失的水电数据拼图，使集团水电实时数据采集覆盖率从 15%提升到 100%，实现集团水电全景式数据接入，解决总部管理“灯下黑”的问题，灾害预测预警能力大幅提升。首批接入的试点电站，日水情预报精度提高了 5%，设备等效可用系数提高了 5%，水能利用率提高了 3%。并且，通过这种集约化的建设模式，整体投资较常规方式至少节约了 2/3。

(二)电力大脑—基于全景态势感知的变电智能运检云平台—国网湖北省电力有限公司

1. 现状痛点

湖北电力精准聚焦电网运检业务“全景实时监控难、数据孤岛破壁难、故障精准研判难”等痛难点问题，创新应用北斗、5G、大数据、人工智能、物联网等新一代技术与电网业务相融合，打造出全网首个基于全景态势感知的变电智能运检云平台，实现变电站全景数据“全面感知”、设备异常“主动预警”、设备状态“智能诊断”、设备故障“精准预测”，以数字技术推动电网业务提质增效，助力新型电力系统建设。

2. 解决方案

(1) 首创“北斗+5G”云-边-端通讯链路，远程指挥无人机、机器人和高清视频等感知设备，构建“空天地”立体化智能巡检体系。创新研发5G边缘计算终端，实现图像实时传输、云机交互，并自动生成巡检报告。

(2) 利用AI机器视觉、图像识别等技术，对设备表计、设备位置、异物、渗漏油、外观破损、压板、空开等28类设备缺陷进行智能识别，并自动生成巡检报告。算法验证针对缺陷场景提供10,000张样本测试，设备状态识别准确率达到90%以上。

(3) 建立具备精确空间位置信息的三维实景模型，通过PMS台账、运行工况、在线监测、设备履历等多维数据的关联与融合，采用VR技术和网络通信技术，实现沉浸式立体三维运维检修、远程勘察、虚拟检修和危险点分析，提升变电站设备及环境全景实时感知能力。

(4) 基于 PMS 数据、设备履历等海量数据，建立开关柜局放异常，变压器声纹异常等 32 类故障预测模型，通过深度学习等智能算法，实现设备故障精准预测，对家族性缺陷进行智能分析，自动给出决策建议。



附图 1-2 变电智能运检云平台界面

3. 成效价值

(1) 管理成效。已在湖北宜昌电网 110 座变电站落地应用，形成 16 项业务标准，获得专利 33 项，发表论文 22 篇，成果被选入全国工业互联网优秀实践案例，并在智能电网 IEEE 国际会议上进行了展示，获得国际电力行业的高度认可，成果被电网头条、国家电网报等主流媒体密集报道。

(2) 经济成效。通过远程智能巡视，可完全代替人工例行巡视，巡视效率提升了 90%，应急速度提升了 75%，以宜昌电网为例，每年可减少人工成本、检修成本、维护成本等各类费用约 800 万元。若推广至全国同类电力行业，每年可带来经济效益 29 亿元。

(3) 社会效益。平台上线以来，客户满意率提升至 99.27%，供电质量和服务水平大幅提高，提升了公司品牌形象。创新数字化电网成果转化，形成企业核心自主知识产权，从软实力上提升公司品牌形象和社会影响力。

(三)基于双云融合架构的新能源云数智一体化应用研究—龙源电力集团股份有限公司

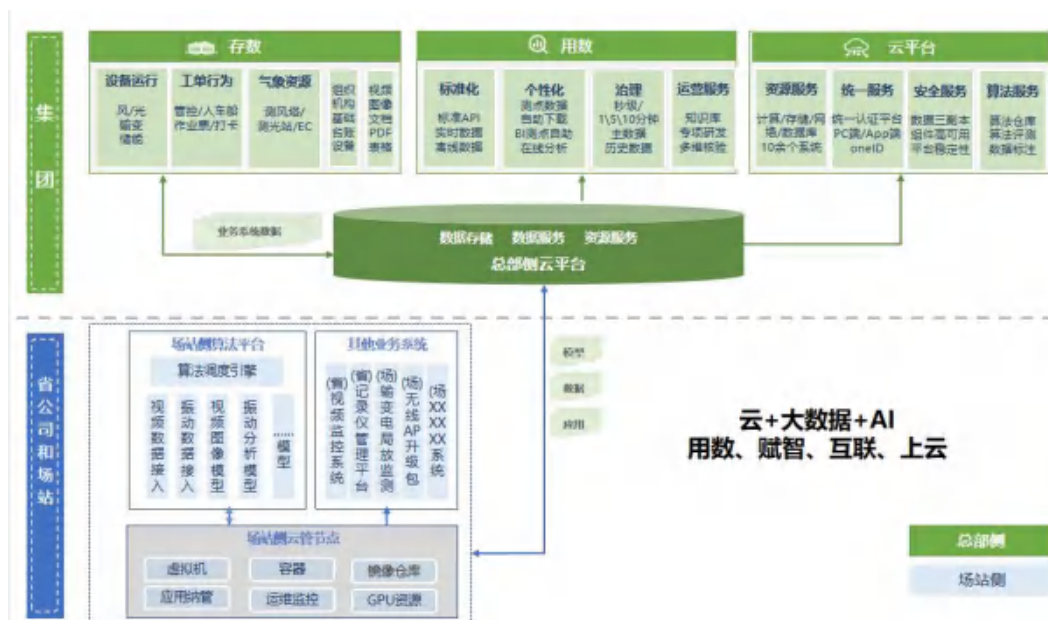
1. 现状痛点

聚焦新能源点多面广特点，提升数字赋能成效，龙源电力开展新能源云数智一体化应用研究，实现 900 余座新能源场站设备，全量数据采集，风电机组超 2 万台，光伏逆变器超 6 万台，容量超 50GW，实时视频超 5 万路，数据规模达 6000 万点。同时，也迎来了诸多新的挑战，基础设施资源浪费、成本高、运维效率低，数据标准化偏低、总量庞大、融合共享困难，算法模型缺乏精细化运营，人工分析、监控手段已经无法满足需求。

2. 解决方案

一是基于“中心+边缘”双云融合架构，搭建 1+30+N 新能源数字化基础设施池化调度，采取云边协同的资源管理调度技术，实现全国 IaaS 基础设施的统一管控、弹性伸缩、边缘自治；二是搭建总部侧云和数据治理平台，实现内外部数据资源融汇贯通、统一汇聚，形成各类数据的存储标准，开展风光储数据标准化，累计 140 余种风电机型、30 余种光伏逆变器、10 余种储能设备的多源异构生产数据融合，形成数据资产目录，上线近百种龙源电力数据治理规则库，涵盖风、光、气象等多业务领域，形成各类业务资源池。构建数据产品超市，开展数据资产入表，上线 200 余类 API 标准数据服务、近百类个性化数据服务，已服务公司内外近 30 家单位，实现数据自助式共享开放；三是构建云边协同的场站侧算法平台，构建新能源行业内首个模型的全生命周期管理流程，实现近百种涵盖振动分析、视频图像、无人机、音频诊断等多类算法的总部+场站的云边协同分析。年累计有效安全预警 200 余起、发现近 200 台次大部件异常，有效

解决振动、视频类超大规模数据就地应用，助力场站智能化应用和无人化探索。



附图 1-3 双云融合架构图

3. 成效价值

建成行业规模最大的新能源分布式云平台，建成全球数据规模最大的新能源生产数据平台，建成新能源行业感知设备最多的算法平台，助力公司成功入选国资委数字化转型试点企业。

统一纳管超 200 个场站的算力资源，建设总部+场站 110P 算力，已实现近 30 类业务上云，降低 50% 的模型部署运维成本，缩短全国近 3 万个 IOT 设备升级周期约六分之一，降低带宽占用约 95%。服务器减少 240 余台，计算卡减少近千张，累计节约 2500 余万的采购成本。

场站侧算法平台应用于 30 个省级监控中心，人力资源投入从百余人降至几十人，有效减少中高风险的人力投入；智能巡检分析模型准确率约 90%，系统响应效率从小时级提升到分钟级，巡检效率提升超 6 倍。

(四)基于工业互联网平台的核工业集团级数字化转型实践—中核武汉核电运行技术股份有限公司

1. 现状痛点

核电传统生产管理信息系统是高耦合、集中部署的单体架构，供本地电厂使用，但作为集团级产品使用时受网络影响较大，存在较大风险。由于核电生产环节众多，组织结构与流程复杂，缺乏统一的运维一体化开发平台和全生命周期管理平台，存在大量数据孤岛，无法实现产品端到端的流程整合。难以对海量数据资源高度整合、消除信息烟囱，导致价值链没有形成有效集成，且国外软件无法开源、更新迭代慢，难以有效支撑“数字核工业”转型发展。

2. 解决方案

核工业互联网平台（DHP）是以核电厂实际应用需求为牵引，与新一代数字技术深度融合，自主研发的集团级工业互联网基础设施平台。作为中国核电统一生产时序数据平台、生产应用开发平台、数字孪生应用开发底座，通过“设备互联，数据互通，知识积累，应用创新”支撑中国核电工业信息化系统开发、运维和持续升级，构建了核工业全要素、全产业链、全生命周期的模型库和知识库，为核电数字化转型打造数据智能应用端到端解决方案。基于云边协同、数据中台、云原生、工业机理建模等技术，实现了核工业高维时序数据的完整技术框架，支撑百万级测点的实时接入和计算，填补行业空白，并在国内首次实现了基于工业互联网平台的运行数字孪生的云仿真环境。

DHP 已在中核集团数据中心及秦山、江苏、福清等十余个核电基地部署应用，支持集团型企业“一总部多基地”跨地区的集中分布式管控，已连接工业设备 241 万台套，接入时序数据近万亿条。



附图 1-4 核工业互联网平台（DHP）

3. 成效价值

核工业互联网平台实现数据、流程、方法的标准化的、模型化、软件化，实现人、机、料、法、环等生产要素的集成。统一了中国核电数据标准和开发运维环境，提供各类组态、数据库和指标管理功能，用户可直接使用平台工具创建数据接口，不需要开发数据接口，并能实现数据一次抽取多次使用，在数据资源开发利用、缩短应用研发周期、降低数字化项目建设成本等方面成效显著，应用平均部署效率提升 50%以上，可靠性提升 30%以上，发版效率提升 50%以上。近三年为用户累计节省信息化开发、运维费用超五千万。

(五)电力全链条数据整合整体解决方案—南方电网数字电网科技(广东)有限公司

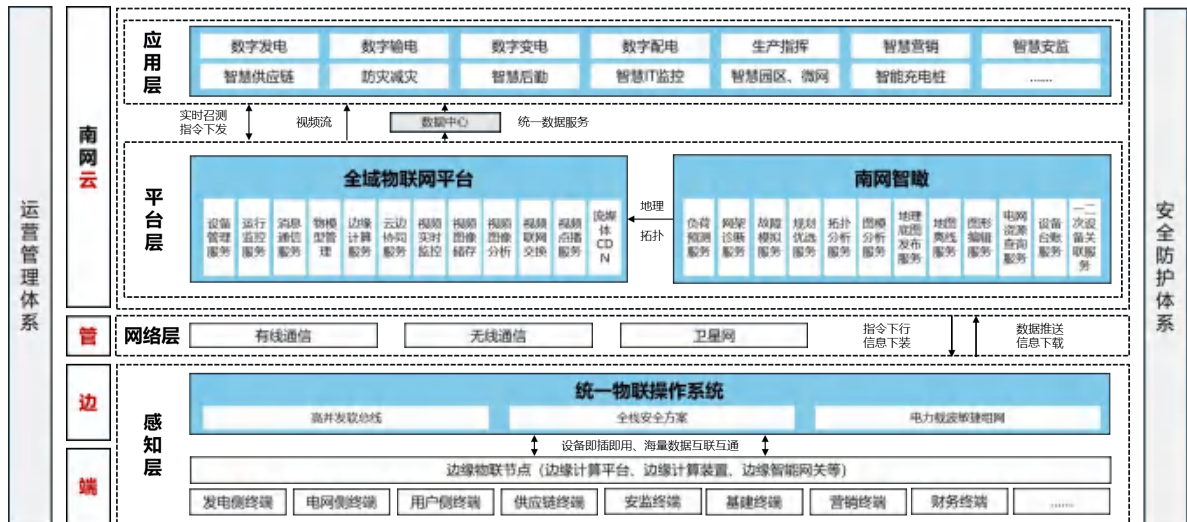
1. 现状痛点

在落实“双碳”目标与构建新型电力系统的双重驱动下，数字电网科技公司创新融合工业互联网技术，打造电力全链条数据整合整体解决方案，重点解决海量异构电网设备运维管理困难、电网领域的时空信息服务能力不足等难题，提升电力关键基础设施自主可控能力，为新型电力系统建设提供有力支撑，助力能源革命与数字中国建设。

2. 解决方案

方案采用“云管边端”的架构体系。一是建立国内首个全栈国产化的电力物联操作系统，融通开源欧拉和开源鸿蒙两大体系，依托高并发软总线、电力载波敏捷组网等特性，为未来新型电力系统大规模物联设备接入、运行维护提供“底座”。二是创新智能网关技术与通信技术，研制具备“路由+交换+边缘计算”能力的全栈国产化边缘智能网关，创新“硬件平台化、软件自定义”智能网关的多业务融合和容器安全隔离方法，实现电力异构感知终端统一接入、业务应用快速部署。三是搭建超大型数字孪生电网时空服务平台“南网智瞰”，融合地理、物理、管理和业务信息，创新研发多项国内外领先的电网全要素全时空孪生构建技术，解决复杂电网统一数字化构建，动态电网高效协同、数字化共享与融合业务活动的时空大数据高效计算分析难题。四是构建具备千万级终端跨省域的全域物联网平台，横向打通电力全链条多业务应用场景，实现跨专业业务融合，纵向贯穿网省地县各级单位，实现电力生产运行信息的扁平化采集，促进业务场景和

资源的优化配置。五是建立健全安全防护体系和运营管理体系，全面提升数字电网和新型电力系统的感知力。



附图 1-5 电力全链条数据整合整体解决方案技术架构

3. 成效价值

本成果主要应用于南方电网公司内部源网荷储全业务域，优化“十四五”电网投资 35 亿元，节约建设、运维成本超 7000 万元，促进全链条的提质增效与数字赋能；构建新型电力系统生态圈，带动产业链上下游百家生态厂商协同发展；联通政府社会，探索政企数据对外开放新模式，为新质生产力贡献南网力量。

(六)配电网故障智能诊断与研判系统—国网湖南省电力有限公司

1. 现状痛点

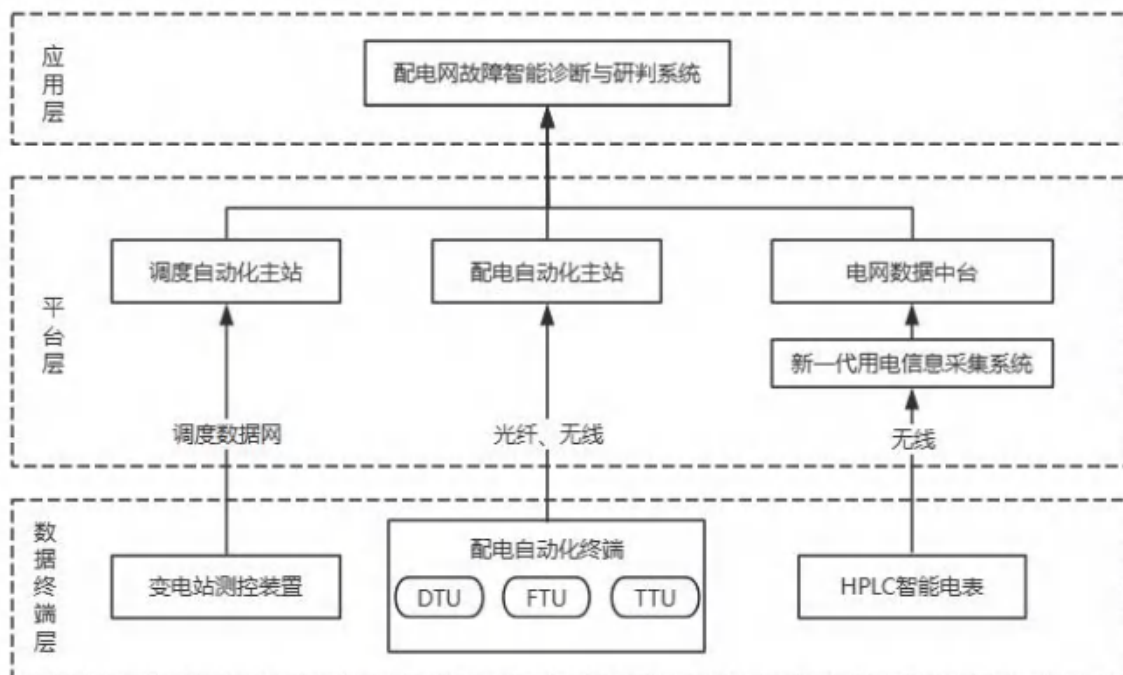
受极端天气、设备质量和运行环境影响，配网各类故障异常频发，传统依赖人工开展配网故障处置的方式存在以下“三难”问题：一是电压异常发现难，配网母线电压异常监视依赖主站系统定值越限告警，当电压变化不明显时，电压异常无法及时发现。二是故障类型识别难，对于部分特征相似的配网故障，容易因经验不足或信息收集不全导致误判。三是故障精准定位难，大部分变电站和配网线路缺少有效的故障选线和定位手段。

2. 解决方案

针对配网线路故障频发、故障象征复杂、人工监测判别和巡线查找困难等问题，基于变电站遥测、配电自动化终端和 HPLC 智能电表数据，开发了配电网故障智能诊断与研判系统，主要实现以下三方面功能：一是配网母线电压异常灵敏监测。提取母线电压遥测值特征量，基于历史数据构建滑动时间窗口的改进标准差滤波器，实现母线电压异常灵敏监测。根据母线三相电压变化一致性特点，选取相电压差作为特征值，无故障情况下，母线相电压差数据集符合正态分布特征。二是配网故障类型智能识别。搭建不同类型故障的配网仿真模型，通过仿真计算确定不同类型故障母线电压特征，根据母线电压遥测数据计算三相系统对地电位，提出基于地电位分布轨迹的配网故障类型识别方法，实现配网故障类型智能识别。三是接地、断线两类故障选线和定位。基于 10kV 线路和配电终端零序电流，通过接地度比较、零序电流变化等方法实现接地故障选线和定位；基于 10kV

线路、配电终端功率及配电终端、台区出口电压，实现断线故障选线和定位。

系统整体架构如下：



附图 1-6 配电网故障智能诊断与研判系统架构图

3. 成效价值

目前系统共监测母线电压异常 1680 次，实现了电压变化不明显的灵敏监测和准确预警，准确提示了疑似故障线路及区段，最大程度减轻配网故障对供电的影响。有效辅助调度员缩短每次配网故障处置 0.5h，配网运维班组缩短每次故障巡线时间 1h，结合配电自动化系统的使用，有效实现配网故障精准隔离、线路负荷快速转供，同时具有明显的经济效应：每年及时处理故障可减少损失约 40 万；节省接地选线装置采购及安装费用投资 400 万元以上。

(七)宁波配网电力工控安全靶场建设应用—国网浙江省电力有限公司

1. 现状痛点

随着能源互联网、企业数字化转型、新型电力系统的深入推进，数据开放共享已成为趋势，电力工控系统遭到网络攻击风险进一步增加。配网数智化终端具备布点广而散、设备类型繁杂，终端型号多样等特点，安全管理难度大，工控安全防护制度较为薄弱，其网络安全问题受到广泛关注。

2. 解决方案

(1) 构建配网电力工控安全靶场，宁波供电公司搭建了一套最大限度还原在运配电自动化系统的全场景仿真系统，这是国内首套覆盖配电应用全场景的实物电力工控安全测试平台。依托靶场开展设备安全检测、攻防核心技术研究、专业人员培养等工作，“以攻促防”填补国内配网工控安全领域空白，筑牢配网安全防线。本案例已申请专利 11 项，软著 1 项，发表核心期刊论文 6 篇。

(2) 组建网络安全研究团队，宁波供电公司内部组建配网安全研究团队，在国网浙江电科院、国网电科院等指导下，常态化开展网络安全研究；对外与宁波工业互联网研究院开展紧密合作，有序推进建设研究工作。

(3) 开展产学研用体系实践，依托电力靶场，常态化开展配网设备安全检测和业务安全性测评，及时发现安全漏洞并完成整改；研发并应用网络安全相关产品；健全人才培养体系，培养配电自动化及网络安全综合型人才，持续完善配电运维人才梯队。



附图 1-7 宁波配网电力工控安全靶场实景图

3. 成效价值

(1) 筑牢终端设备安全屏障，对配电自动化系统及主流的配电终端、智能开关等设备开展安全检测与漏洞挖掘，发现并整改现场设备易被非法仿冒等 10 项系统风险。完成量子安全服务平台系统及业务信息安全技术测评，发现并消除中风险 1 项、低风险 4 项，为浙江公司规模化无线遥控应用提供安全保障。

(2) 实现配电终端高效检测，研发应用全省首款配电终端网络安全风险检测装置，实现终端风险漏洞一键式检测加固，单台设备检测时间从平均 3 小时降低至 15 分钟，检测效率提高 12 倍，通过安全检测且完成加固的智能配电终端，可有效降低黑客恶意攻击、操控电网的风险。

(3) 促进人才专业技能提升，提供网络安全专业人才孵化标准化平台，每年组织配网运维人员网络安全培训，联合宁波市劳动竞赛委员会组织开展宁波市职工配电运维技能精英赛，提升网络安全综合管理水平。

(八)基于工业互联网的智慧环保岛优化系统—华能信息技术有限公司

1. 现状痛点

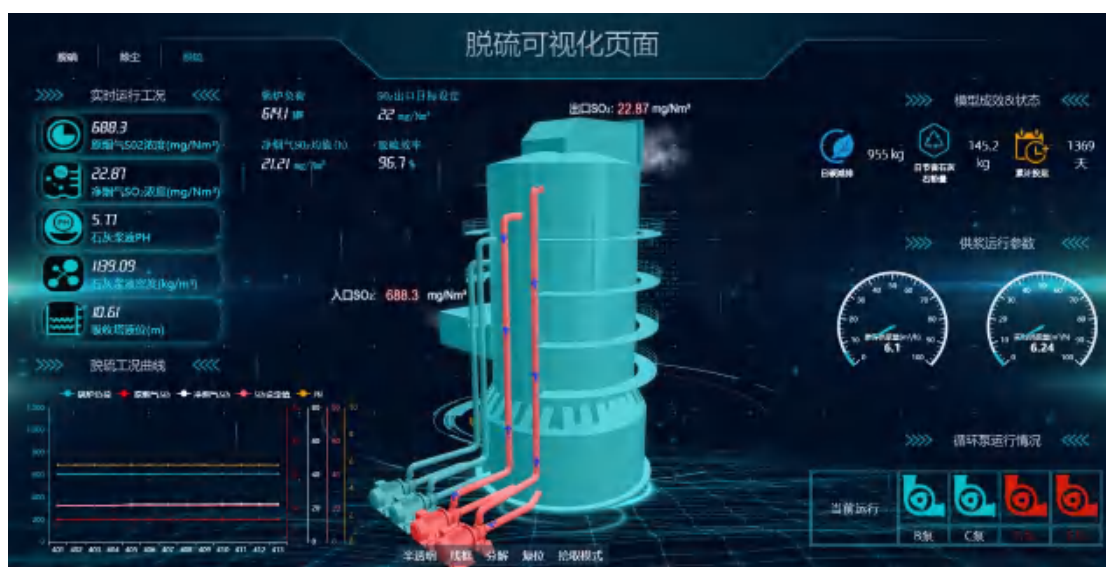
当前燃煤电厂环保岛各净化设备单元的运行和维护存在着以下三方面不足，一是除尘设备运行主要依据运营人员的经验进行调节控制各类设备很难达到最佳匹配状态，造成能源、物耗的浪费。二是目前国内绝大部分脱硫控制系统的策略设计，其出口 SO₂ 浓度仍然采用开环控制，很容易造成吸收塔盲区的发生。三是目前脱硝设备主要通过人工经验或 PID 进行调节难以精准控制喷氨量，脱硝流场分布不均匀造成氨氮混合不均导致局部氨过量，造成脱硝效率低下、催化剂寿命降低、氨逃逸严重等问题。

2. 解决方案

方案利用物联网、大数据、云计算、人工智能等技术，针对湿法脱硫、脱硝和电除尘装置工艺的复杂性，建立持续优化的动态控制模型。总体结构采用分层结构设计，自上而下包括：展现层、应用层、平台层、数据层和基础层，层与层之间使用数据接口调用，保持各个层级之间相对独立松耦合，降低层与层之间的依赖关系，有利于各层逻辑的复用，特别是为多种终端提供服务。

系统架构从环境层、数据层、服务层、应用层及用户层五个层面进行考虑。环境层为硬件网络平台和基础设施，包括：操作系统、数据服务器、文件服务器、应用服务器、网络、存储介质等；数据层是整个平台的数据中心，存储业务系统产生的业务数据、模型分析产生的模型数据及实时测点数据，为服务层提供数据支撑，对于结构化数据使用关系型集群版本存储，对于非结构化数据使用文件进行存储；服务层通过微服务架构搭建，

提供流程引擎、公式服务、数据采集、对外数据查询等服务；系统应用层根据业务需求分为脱硫、脱硝、除尘模块；用户层对访问系统的用户进行识别分类，分为集团领导、电厂领导、操作人员、专家及管理員等角色，并在系统中根据角色分配不同的权限。公司标准规范支撑体系、安全支撑体系及管理运营维护体系为整个平台的正常运行提供有效支撑。



附图 1-8 智慧环保岛优化系统页面

3. 成效价值

脱硫系统根据模型预测石灰石用量与真实石灰石用量比对，平均一台机组每小时可节约石灰石 743.4kg，按照玉环电厂某百万机组有效运行时间 5856 小时，按石灰石制粉价格 250 元/吨计算，一台相同工况机组的脱硫设备可节省约 108.8 万元。

(九)分布式光伏数字化服务平台—四川中电启明星信息技术有限公司

1. 现状痛点

在碳达峰碳中和目标、绿色低碳及清洁能源转型背景下，近年来我国分布式光伏发展迅猛，2023年分布式光伏新增9628.6万千瓦，累计并网容量达到25443.8万千瓦。由于光伏发电具有随机性、波动性和间歇性的特点，再结合分布式光伏地理位置分散、设备数量多、电源调节能力较弱的情况，给电网的稳定运行带来挑战。如何打通“场站—业主—电网”数据，实现分布式光伏的“可观、可测、可控”，是当前面临的主要问题。

2. 解决方案

平台采用微服务框架进行开发，以微服务k8s容器化方式部署，微服务托管在Edas分布式应用服务组件下，平台按基础功能和业务功能进行微服务拆分，每个业务服务进行独立部署，并且通过依赖注入、AOP等编程技术，来降低业务组件之间的耦合度，增强系统扩展性。构建了分布式光伏全景展示、分布式光伏气象预报预警、运行状态监测、故障统计分析、运行辅助决策、线上运维、设备标识解析认证等7大基础应用功能，开展分布式光伏可开放容量计算、运行监测、功率预测、配电网设备监测等各专业工作。沉淀分布式光伏公共服务，加快推进分布式光伏运行监视能力建设，贯通调度自动化、负荷管理、配电自动化用电信息采集等系统，构建分布式光伏联动机制。对外构建远程智能运维、场站出力预测、现货交易数据、绿电绿证等功能以吸引分布式场站用户接入分布式运行服务平台，从承载力消纳、虚拟电厂、现货交易等环节构建新型电力系统体系下的分布式光伏运营管理。



附图 1-9 分布式光伏数字化服务平台页面

3. 成效价值

一是通过对分布式光伏场站的实时监测，电网可通过数据整合对分布式发电功率进行精准预测以及风险预判，引导制定相关政策和标准、合理安排检修计划，同时对并网设备开展评估及状态监测，从而增加对电网运行稳定的风险辨识能力，实现新能源的有序并网。

二是有效减少开发商的投资、节约运营运维成本、增加分布式光伏场站发电收益，以四川省阿坝藏族羌族自治州 30 余座分布式光伏场站运行为例：实现场站数据的快速采集，极大的提高了接入效率，从以前的 2~3 天缩短为 1 天以内，同时极大降低了接入实施成本，平均降幅在 35%以上。基于接入分布式光伏场站侧建设、运行、维护、经营类数据结合实时监测、运行辅助、远程运维、专家系统等功能的应用，运行期间同比降低运维成本 23%，提升发电量 5%，提升收益 30 万余元。

(十) 光大环保能源(博罗)基于数字孪生的智慧电厂—深圳鹏锐信息技术股份有限公司

1. 现状痛点

博罗电厂，作为光大集团智慧电厂试点单位，已建立覆盖人力、财务、供应链和生产管理的信息化体系，有效响应各级多元化需求。随着规模扩大和数据量增长，面临系统孤岛、数据标准不一、管理复杂性增加等挑战。打造一个集标准化、体系化、智能化、可视化和安全性于一体的数字孪生智慧管控平台，实现数据整合、深度关联分析、内在规则的明晰挖掘以及数据驱动的创新应用，旨在推动企业向更高层次的数字化转型迈进。

2. 解决方案

通过鹏锐能源工业互联网平台，构建“1+3+N”的数字孪生智慧电厂服务体系。其中“1”是鹏锐能源工业互联网平台。在已有系统基础上，进行数字化底座夯实和数字孪生全景集成，通过搭建数字化应用，实现全厂综合态势的数据挖掘和整体管控。



附图 1-10 数字孪生智慧电厂服务体系架构图

“3”是构建数字孪生智慧电厂核心技术。物联网技术，通过高精度传感器、边缘网关及物联网平台，实时发现产线及设备故障和异常，提高管理及预防能力。三维引擎，具有完全自主知识产权、通过国家信创认证的数字孪生渲染引擎。大数据管理平台，针对工业数据类型管理过程、数据移交的过程进行质控流程的深度建设，有效支撑开展数据全周期管理工作。

“N”是代表多个创新应用。生产经营管理，基于数字孪生体系的全面预算、数字决策、运营管理可视化的智慧经营管理体系。基于数据驱动的智慧运维，通过大数据分析挖掘，对设备进行了集中监视，推动设备基于状态检修，并提前预警设备轴承断裂等事故征兆，提高机组运行安全水平。智能巡检，面向于APS一键启停机过程的运行检查场景，进行设备状态确认、历史数据对照等。安全生产，进行全量安全数据的多模态融合，实时开展现场安全态势感知与报警，进行安全事件威胁度和响应优先级诊断，将隐患消除在萌芽、将事故扼杀在摇篮。

3. 成效价值

发挥工业互联网+数字孪生在安全管理、设备维护、智能运维、工厂管控等方面的作用，提升企业生产效率，推进数字化、可视化管理水平升级。

基于数据纽带接入和工业大数据管理，实现工业知识深度整合分析，推动了信息孪生化、管理智能化，提升全局优化能力，促进工业数字化转型向数字智能方向迈进。

围绕安全生产目标，实现跨系统数据分析和数据挖掘，全面对标、多维度分析为厂领导和管理人员提供综合决策分析功能。

(十一)发电集团安全生产一体化智能管控平台—西安热工研究院有限公司

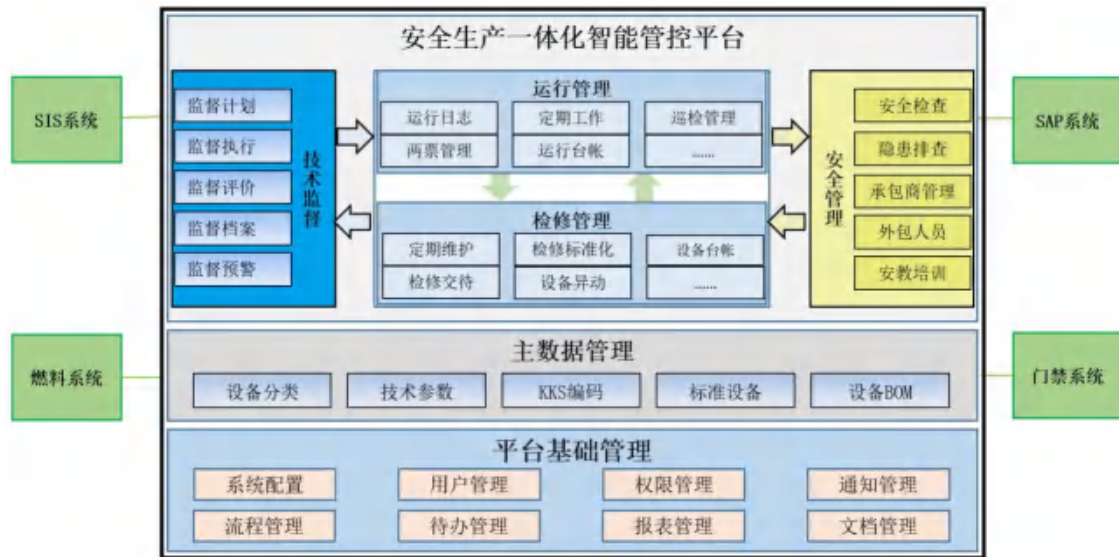
1. 现状痛点

在信息化发展早期，大型发电集团下辖各单位围绕安全生产自建了大量小型信息系统，为业务电子化和制度贯彻落实提供了有效手段，但难以适应新形势下愈发精细化的管理要求和全面数智化转型步伐。包括：各单位数字化应用和落地效果存在显著差异；数据不完整、不规范现象普遍存在，难以形成有效数据资产，无法为分析决策提供支撑；系统间互通性差，数据共享难度高、效果差；业务场景与先进技术融合程度低，未在智能化提升方面发挥作用。

2. 解决方案

平台支撑了安全生产、状态检修、技术监督等业务应用。围绕生产设备实现了以两票三制和生产绩效为核心的生产管理功能，提升生产业务的规范性，保障机组的安全稳定经济运行；以专家规则和智能诊断技术为支撑，整合在线监测、巡点检、试验检验测量等数据，对设备运行指标进行智能状态评估、预警和诊断，实现设备“数据→状态→计划→执行→状态更新”全过程管理；围绕设备安全实现监督问题闭环管理，监督项目闭环执行，试验指标的在线填写、分析，促进技术监督工作规范化、标准化管理；构建移动应用平台，将业务功能向移动端拓展，利用音视频、即时通讯等提升现场工作安全性和及时性；结合物联网传感器，实现移动终端一机多用。依托统一的业务功能和全面整合的数据，利用物联网、三维可视化、人工智能等技术，与视频监控、门禁等深度融合，建立了人员定位、

风险区域管控、作业过程监管、违章行为识别、智能巡检等扩展应用，全面加强人员和设备安全管控，促进生产提质增效。



附图 1-11 发电集团安全生产一体化智能管控平台

3. 成效价值

安全生产一体化智能管控平台通过集团总部、二级公司和基层电厂的全面应用，加强了对现场安全生产业务的管控能力，推动了安全科技创新成果转化，精准解决了安全生产风险管控和科学化决策难题，有力支撑了安全生产数智化领域的全面自主创新，获得了良好的经济和社会效益。

厂侧业务不断规范，提升了基层员工的业务素质和协作效率；各模块数据互联互通，实时共享，打通了数据壁垒；将各项管理规范细化至具体的业务功能中，通过强约束加强业务管理；依据统一的数据标准、流程标准，实现全集团数据资源的共享和统一规范，为管理人员提供丰富全面的分析决策依据；以高危及重复作业替代、作业风险感知预警、人员安全管控等智能应用全面提升安全生产效能。

(十二)电力行业工业互联网标识解析二级节点应用服务创新实践—国网上海市电力公司

1. 现状痛点

国家《十四五规划和 2035 年远景目标纲要》提出打造自主可控的标识解析体系、标准体系、安全管理体系，稳步推进“工业互联网+智能制造”产业生态建设。当前，电力行业上下游企业近 200 万家，由于工业互联网技术标准不统一、边端设备智能采集及工业数据分析效率低等问题，在产品数据追溯、产业链信息协同、内外部业务贯通等方面存在诸多挑战，严重制约了企业的转型升级和电力行业工业互联网产业生态发展。

2. 解决方案

国网上海市电力公司针对生产端、供给端、需求端的业务流程，开展跨企业、跨层级、跨系统的整体设计，推进研发设计、生产加工、经营管理、营销服务等方面的全流程数据贯通，加快全产业链业务协同。融合应用边缘计算、云计算、人工智能、区块链、工业数据处理、标识解析等新一代数字技术，建设电力行业工业互联网标识解析二级节点平台及应用服务平台。

该平台与中国信通院“星火·链网”进行集成交互，与上海顶级节点进行全面对接，构建全球唯一的标识编码，对工业领域的每一个人、机、物赋予唯一一个身份 ID，向下联设备，向上接应用，实现信息采集、信息关联、信息共享，横向连接能源产业链、装备产业链、数据产业链上下游企业，为企业提供企业入驻、标识赋码、应用接入等服务，推动形成以国家电网为核心的工业互联网标识解析体系，打造跨地域、跨行业、跨企

业提供基础资源和信息互联互通能力,助力电力行业内外企业实现更高的管理效率、更低的运营成本、更人性化的产品服务。

平台整体架构可概况为“1+1+3+5+N”，即一个节点、一个平台、三大功能模块、五个能力、N个应用。



附图 1-12 电力工业互联网标识解析二级节点架构

3. 成效价值

截至目前,共有 1429 家上海本地电力行业施工运维、物流供应、金融保险、设计监理、招标代理等企业客户使用平台的增值服务场景,企业节点注册数达 356 家,付费会员达 264 家,客户数量达 43111 人。自电力行业工业互联网标识解析二级节点平台上线以来,标识注册累积量超 1 万家、日解析量达 5 万/日、累计提供标识服务数量超 200 万次。未来,可为国家电网 ECP 物资采购平台上线的 170 万家电力相关企业提供能源综合解决方案,加快标识解析体系在电力行业规模化应用。

(十三)基于能源+锦云工业互联网平台的智慧电厂—成都贝斯特数码科技有限责任公司

1. 现状痛点

智慧电厂建设与研发已进入高峰期，智能管控系统种类不断增加，相关功能开发层出不穷，当前的关键在于智慧电厂的管控平台。尽管市面上已有不少类似平台，但这类平台的业务集成程度不足，对业务理解不深。因此，需要借助数字化与信息化技术推进企业创新发展，建设智慧管控体系架构和功能应用，实现电站运行的智能控制、运维、经营和辅助决策，助力电站优化运行、节能降耗、提高发电效益。

2. 解决方案

以能源+锦云工业互联网平台为底座的智慧电厂管控系统建设了全厂可视化、智能设备、精益生产、卓越经营、安环防范、智能决策六个中心，形成了覆盖发电厂全生命周期的智慧电厂。



附图 1-13 基于能源+锦云工业互联网平台的智慧电厂管控

一是数字孪生及全厂可视化中心，是智慧电厂上层应用的统一入口，实现全厂的物质流、能量流、价值流的全方位展示。二是智能设备全生命

周期管理中心，包含智能设备管理、基于大数据的设备健康管理、动态闭环技术监督等功能。三是卓越经营及供应链管理中心，通过对传统运行业务的梳理、优化，充分利用信息化手段，实现运行管理的规范化、智能化、高效化。四是智慧能耗管控中心，借助大数据，实现智能分析和判断，对生产过程进行全流程大闭环实时监管、评估和优化指导，用智能化手段重点解决能耗层面的问题。五是安环及风险防范中心，打破各安全业务子系统的信息孤岛，将电厂各安全管控业务流程连为一体，实现多系统智能联动，由原有的“被动式安全管理”转变为“主动安全管理”。六是智能决策及数据资产转化中心，整合企业内部的信息流、规范企业内部的业务流，进行集约管理，降低整个价值链的成本，实施战略成本管理。

3. 成效价值

(1) 通过燃烧优化，提高锅炉效率 0.5%，综合降低机组供电煤耗约 1.5g/kWh。

(2) 通过无人值守，按 5 个运行值每个值节省 2 名巡检人员考虑，共节约 10 人，按照每人 10 万一年计算，每年可节省人力成本约 100 万元。

(3) 通过 5G+机器人、设备视频 AI 巡检，按 5 个运行值每个值节省 1 名巡检人员考虑，共节约 5 人，按照每人 20 万一年计算，每年可节省人力成本约 100 万元。

(4) 通过设备可靠性维护，对维修成本大约有 2%左右的正向改善，一台机组年度修费用按 3000 万元计算，单台机组每年节约检修、维护费用 60 万元。

(十四)面向新型电力系统的时间敏感网络交换芯片及应用—北京智芯微电子科技有限公司

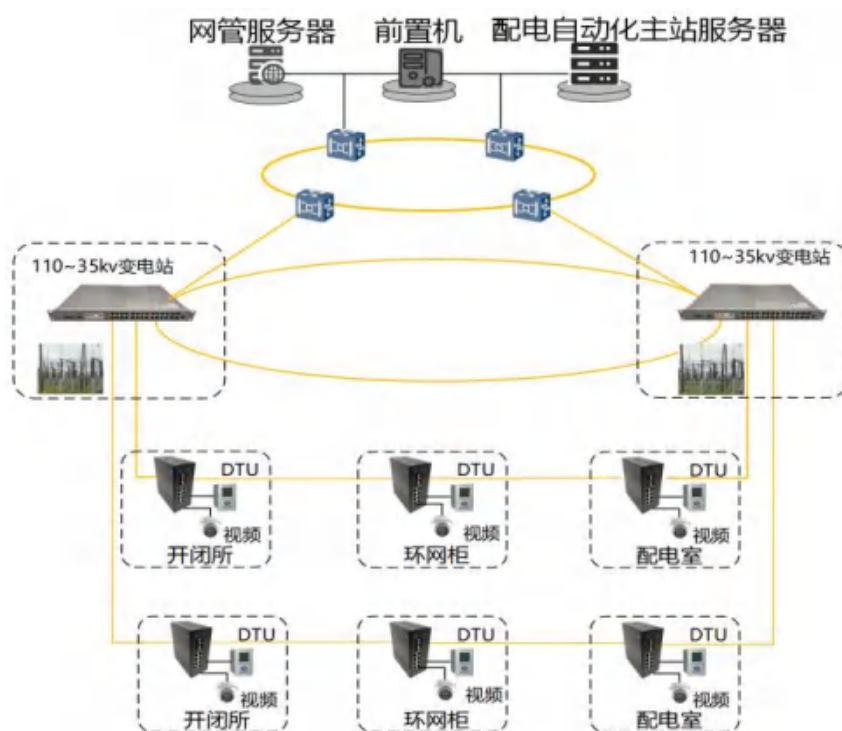
1. 现状痛点

以太网交换技术是新型电力系统有线通信光纤专网主要通信制式之一。主要面临以下问题：传统以太网“尽力而为”通信模式易受拥塞影响，无法完全保证关键业务服务质量；需部署专用同步授时通信系统，可维护性差；只支持业务逻辑隔离，无法跨分区融合承载。电力系统数智化转型对通信网络的确定性、安全性、融合承载能力的需求日益增长，亟须解决现有问题以适应新型电力系统的发展。

2. 解决方案

时间敏感网络（TSN）是工业以太网技术体系的迭代和完善，是工业以太网的演进方向，被公认为下一代工业网络通信的核心技术。智芯 TSN 交换芯片支持基于 TDM 的业务硬隔离、高精度时间同步、零丢包无缝冗余保护等功能，可为电力通信网提供高实时、高确定性、高可靠性、高安全性的通信保障。

智芯公司提出了基于 TSN 的业务硬隔离的确定性电力通信网解决方案，可平替电力通信网现有以太网交换机或 EPON。支持跨分区业务硬隔离一网融合承载、亚微秒级时间同步、零丢包无缝冗余、精确风暴抑制、快速故障定位等特性，可广泛用于智慧变电站网络、配电接入网、配网光差保护等场景。方案已在浙江、山东、安徽、山西等地试点应用，系统长时间稳定运行。



附图 1-14 基于 TSN 的多业务融合承载组网方案示意图

3. 成效价值

本方案满足新型电力系统业务通信需求，可提供多业务硬隔离一网承载和关键数据低时延、高可靠、高安全和高确定性传输。时间同步精度从毫秒级提升至纳秒级，有效支撑配网新型保护和态势感知业务；采取抗多点失效、精准风暴抑制、零延迟恢复无缝冗余技术，极大提升了网络可靠性；支持网络切片柔性智能控制，实现了海量配电终端的以太网灵活组网，提升了网络可扩展性；采用单芯光纤和低成本极简网络，设备成本节约 30%，光纤资源和能耗节省 50%以上。

(十五)电力系统无人机巡检安全防护方案—兴唐通信科技有限公司

1. 现状痛点

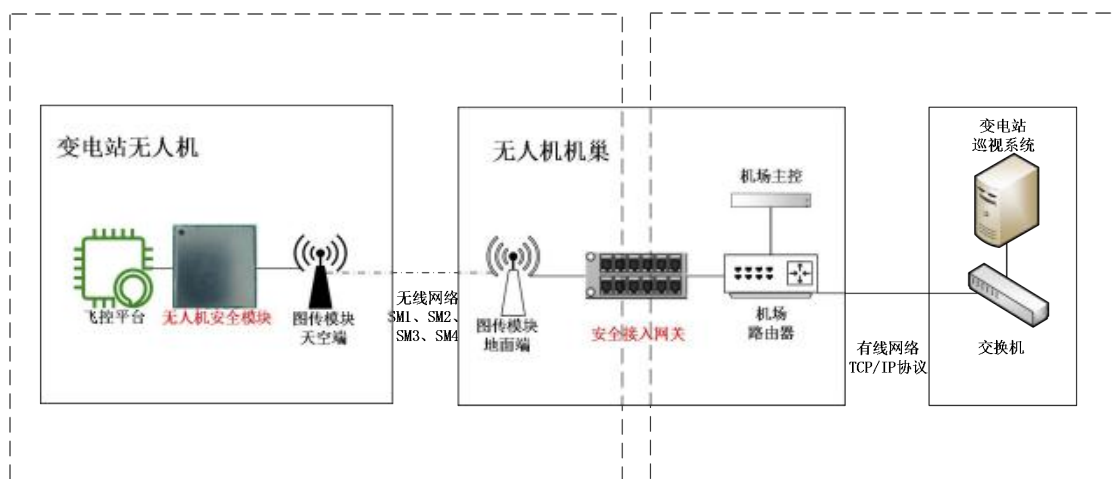
随着新型电力系统建设,智能化无人巡检系统在电力系统中应用愈发广泛。无人机作为智能化无人巡检系统的重要工具,主要采用 WiFi、5G 等无线通信方式,易遭受通信链路被窃听、控制指令被伪造等攻击,其安全防护对电力系统至关重要。

由于无人机存在体积小、电量有限、传输速率高,无线通信易受建筑物、地形或植物阻挡而中断重连等特点,传统的终端防护设备难以匹配其小尺寸、低功耗、高速加解密、加密隧道快速建立及平滑切换等技术要求。

2. 解决方案

针对无人机体积空间小、功耗要求低、传输速率高、通信中断快速重连等技术特点,基于国产密码技术,选用国产化微处理器芯片,研制了一款高安全、高性能、低功耗、高兼容的无人机安全模块。该模块尺寸为 29mm*29mm*3.5mm,类似一元硬币大小,支持《GB/T 36968-2018 信息安全技术 IPsec VPN 技术规范》标准,设计了加密隧道的被动探测和主动探测机制可实现加密隧道的检测和故障自恢复,采用模块化网络处理架构支持门卫式、调用式等多种使用模式,可兼容多款市面主流无人机。

该模块内嵌于无人机硬件主板之上,形成一体化安全无人机设备,与部署于无人机机巢侧的安全接入网关设备共同构成无人机巡检的安全防护方案,可有效保障无人机巡检系统的指令安全和数据安全。具体方案如下图所示。



附图 1-15 无人机巡检安全防护方案

无人机安全模块对无人机内部摄像头、数据采集器等采集的各类数据等进行加密防护后，经由信号收发器发送至机巢实现业务数据的安全上报。同时经由信号收发器接收来自机巢侧的加密控制指令，并将控制指令解密后转发至无人机内部的主处理单元实现机巢对无人机的安全飞行控制。

3. 成效价值

该方案研制的高性能、小尺寸、低功耗、高兼容的无人机安全模块，突破了无人机的多种设计局限，满足国家电网物联网设备安全接入要求，填补了电力行业无人机安全防护空白，已在多个电网公司试点应用，对提升电力领域国产密码应用水平、保障信息安全等方面具有重要意义，具有良好的推广应用前景。

附录二 供应商概览

附表 2-1 供应商概览表

一级分类	二级分类	分类说明	企业简称
网络	网络基础设施	提供工业级网络设备如交换机、路由器，以及 5G、LPWAN 等无线通信设备，确保高可靠、低时延的工业现场网络连接。	中国移动、中国电信、中国联通、华为、中兴通讯、星网锐捷、紫光股份、智芯公司、置恒电气等
	网络规划设计与集成服务	提供工业网络的规划、设计、建设和维护服务，确保网络架构满足工业场景特定需求。	华为、中兴通讯、阿里云、普天科技、信产中电飞华等
	网络运维与管理软件	供应网络性能监控、故障诊断、网络安全管理等软件工具。	科来网络、天旦网络、博睿宏远、盛世全景、神州灵云、信产共享服务分公司等
	工业无线解决方案	针对特定工业环境提供专业的无线通信解决方案。	东土科技、华为、中兴通讯、烽火通信、工业富联、信产中电飞华等
标识	标识解析服务	建设和运营工业互联网标识解析体系，包括国家顶级节点和二级节点，实现全球唯一标识符的注册、解析与管理。	中国联通、泰尔英福、中船互联、中天互联、广域铭岛、上海久隆咨询等
	标识应用开发	开发基于标识解析的应用，如产品追溯、供应链管理等，促进数据流通与价值挖掘。	中天互联、忽米云析、广域铭岛、华峰创享、赛意信息、上海久隆咨询等
平台	工业 PaaS	提供平台即服务，包括数据处理、算法模型、开发工具等，支持企业快速搭建工业应用。	树根互联、东软集团、腾讯云、华为、阿里云、浪潮云、百度网讯、用友网络、太极股份、卡奥斯、中科创达、神州数码、上海电气、航天云网、上海华能电商公司、中电普华、信产国电通、北京华科、智慧思特、中核武汉等
	工业 SaaS	提供软件即服务，覆盖生产管理、设备健康管理、供应链协同等多个应用场景。	金蝶国际、用友网络、东软集团、航天云网、泛微网络、利驰软件、溯原科技、上海华能电商公司等

一级分类	二级分类	分类说明	企业简称
	工业 APP 商店运营	构建工业 APP 市场，促进应用开发者与工业用户的交流与交易。	金蝶国际、腾讯云、华为、阿里云、中通服软件、上海华能电商公司等
	边缘计算平台	专注于边缘侧数据处理与分析。	阿里云、百度网讯、浪潮信息、飞腾公司、智慧思特、南京翼辉、上海华能电商公司、信产国电通、信产北京分公司、中核武汉等
	系统集成	负责工业互联网平台的定制化集成，确保平台与企业现有系统的无缝对接。	朗坤智慧、宝信软件、天瑞集团、华润数科、京东科技、统信软件、北京华科、中兴新支点、溯原科技、东方自控、中电普华、信产中电飞华、国网新能源云公司等
数据	数据基础设施	提供数据存储、计算资源和数据分析平台，支持工业数据的收集、处理和分析。	世纪互联、光环新网、阿里云、百度网讯、腾讯云、飞腾公司、美林数据、珠海一多、北京华科、智慧思特、达梦数据、信产亿力科技、科华数据、神州泰岳、信产北京分公司、信产中电飞华、太极股份、国网新能源云公司等
	数据分析应用	提供大数据处理、分析工具和服务，帮助工业企业从海量数据中提取价值。	东方国信、启明信息、超图软件、汉得信息、百度网讯、美林数据、南瑞半导体、太极股份、北京华科、信产亿力科技、溯原科技、广电计量、中核武汉、国网新能源云公司等
	数据治理与质量管理	帮助客户实施数据治理策略，提升数据质量。	神州信息、东华软件、昂楷科技、寄云科技、星环科技、广联达、美林数据、信产亿力科技、广电计量、中科汇联等
	工业大数据分析服务	专注于工业领域的大数据分析与洞察，提供定制化分析服务。	美林数据、南瑞半导体、智慧思特、中电兴发、启明信息、汉得信息、赛意信息、信产国电通、国网新能源云公司等
	AI 技术	利用人工智能技术进行预测分析、质量控制、故障预测等，提升生产效率。	阿里云、百度网讯、华为、腾讯、科大讯飞、飞腾公司、太极股份、神州泰岳、珠海一多、信产亿力科技、中科汇联、网藤科技、利

一级分类	二级分类	分类说明	企业简称
			驰软件、溯原科技、鲲云科技等
安全	网络安全	提供包括防火墙、入侵检测/防御等安全防护措施，确保工业互联网环境下的信息安全。	360、启明星辰、迪普科技、绿盟科技、卫士通、深信服、奇安信、天融信、北信源、亚信安全、青藤云安全、网藤科技、东方自控、斗象科技等
	数据安全	专注于数据加密、访问控制、隐私保护等，确保数据在传输和存储过程中的安全性。	安恒信息、奇安信、卫士通、绿盟科技、360、深信服、天融信、阿里云、迪普科技、中国软件、中新赛克、智芯公司、南瑞半导体、广电计量、中兴新支点、瑞数信息等
	工控安全	专注于工业控制系统（ICS）的安全防护。	启明星辰、长扬科技、天地和兴、聚铭网络、格尔软件、飞腾公司、智芯公司、东方自控、置恒电气等
	终端安全	提供工业终端安全防护软件。	北信源、亚信安全、统信软件、置恒电气、默安科技、青藤云安全等
	态势感知与安全管理平台	集成多种安全能力，提供全局安全态势可视化和管理。	360、启明星辰、迪普科技、绿盟科技、卫士通、深信服、奇安信、天融信、安恒信息、长扬科技、木链科技、南瑞半导体、中兴新支点等
	安全服务	提供安全咨询、风险评估、应急响应等服务，帮助企业建立健全安全管理体系。	网藤科技、广电计量、斗象科技、中新赛克、国泰网信、默安科技等

附录三 专业术语解释

[1] **新质生产力**：新质生产力是创新起主导作用，摆脱传统经济增长方式、生产力发展路径，具有高科技、高效能、高质量特征，符合新发展理念的先质生产力质态。

[2] **新型工业化**：新型工业化是信息化与工业化融合发展，科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源优势得到充分发挥的工业化发展道路。

[3] **国家工业互联网大数据中心**：是集成先进算力技术、汇聚工业数据、打造典型应用模式，促进数字技术与实体经济深度融合，助力新型工业化的关键基础设施。

[4] **工业互联网标识解析体系**：是支撑工业互联网互联互通的神经枢纽。标识编码是能够唯一识别物料、机器、产品等物理资源和工序、软件、模型、数据等虚拟资源的身份符号。

[5] **国家顶级节点**：是指一个国家或地区内部最顶级的标识服务节点，能够面向全国范围提供顶级标识解析服务，以及标识备案、标识认证等管理能力。

[6] **二级节点**：是面向特定行业或者多个行业提供标识服务的公共节点。

[7] **企业节点**：是指一个企业内部的标识服务节点，能够面向特定企业提供标识注册、标识解析服务、标识数据服务等，既可以独立部署，也可以作为企业信息系统的组成要素，企业节点需要与二级节点对接，从而接入标识解析体系中。

[8] **电力系统：**由发电、供电（输电、变电、配电）、用电设备以及为保障其正常运行所需的继电保护和安全自动装置、调度自动化、电力通信等二次设备构成的统一整体。

[9] **电力系统稳定性：**电力系统受到事故扰动后保持稳定运行的能力，电力系统稳定可分为功角稳定、电压稳定和频率稳定 3 大类。

[10] **并网：**发电厂（机组）与电网之间或电力用户的用电设备与电网之间的物理连接。

[11] **电力监控系统：**用于监视和控制电力生产及供应过程的、基于计算机及网络技术的业务系统及智能设备，以及作为基础支撑的通信及数据网络等，包括电力数据采集与监控系统（SCADA）、能量管理系统、变电站自动化系统、换流站计算机监控系统、发电厂计算机监控系统、配电自动化系统、微机继电保护和安全自动装置、广域相量测量系统、负荷控制系统、水调自动化系统和水电梯级调度自动化系统、电能量计量系统、实时电力市场的辅助控制系统、电力调度数据网络等。

[12] **生产控制大区：**由具有数据采集与控制功能、纵向联接使用专用网络或专用通道的电力监控系统构成的安全区域。

[13] **控制区：**由具有实时监控功能、纵向联接使用电力调度数据网的实时子网或者专用通道的各业务系统构成

[14] **非控制区：**在生产控制范围内由在线运行但不直接参与控制、是电力生产过程的必要环节、纵向联接使用电力调度数据网的非实时子网的各业务系统构成的安全区域。

[15] **管理信息大区：**生产控制大区之外的，主要由企业管理、办公自动化系统及信息网络构成的安全区域。

[16] **横向隔离**: 在不同安全区间禁止通用网络通信服务, 仅允许单向数据传输, 采用访问控制、签名验证、内容过滤、有效性检查等技术, 实现接近或达到物理隔离强度的安全措施。

[17] **纵向认证**: 采用认证、加密、访问控制等技术实现数据的远方安全传输以及纵向边界的安全防护的措施。

[18] **本体安全**: 电力监控系统软件及设备自身的安全、可控, 包括业务系统软件的安全、操作系统和基础软件的安全、计算机和网络设备及电力测控设备的安全、核心处理器芯片的安全。

[19] **感知数据**: 通过数据采集获取的原始数据或在此基础上进行加工处理的表征对象信息的数据统称。

[20] **控制数据**: 作用于对象的执行控制操作的数据。

[21] **数据通信接口**: 通过无线或有线通信链路实现设备之间信息交互的接口。

[22] **分布式电源**: 接入 35kV 及以下电压等级电网、位于用户附近, 在 35kV 及以下电压等级就地消纳为主的电源, 包括同步发电机、异步发电机、变流器等类型电源。

[23] **新型储能**: 除抽水蓄能外以能量存储、转换并释放电力为主要形式, 并对外提供服务的储能技术, 包括但不限于电化学储能、压缩空气储能、热储能、重力储能等。

[24] **源网荷储**: 以“电源、电网、负荷、储能”为整体规划的新型电力运行模式, 可精准控制社会电力系统中的用电负荷和储能资源, 有效解决电力系统因新能源发电量占比提高而造成的系统波动, 提高新能源发电量消纳能力, 提高电网安全运行水平。

[25] **微电网**：又称微型电网，包括分布式电源、储能装置、负荷和监控、保护装置的小型发配电系统。是一个能够实现自我控制、保护和管理系统，既可以与大电网并网运行，也能以孤立电网独立运行。

[26] **虚拟电厂**：是一种通过先进信息通信技术和软件系统，实现 DG、储能系统、可控负荷、电动汽车等 DER 的聚合和协调优化，以作为一个特殊电厂参与电力市场和电网运行的电源协调管理系统。

[27] **碳资产**：是指在强制碳排放权交易机制或者自愿碳排放权交易机制下，产生的可直接或间接影响组织温室气体排放的配额排放权、减排信用额及相关活动。

[28] **碳捕集与封存**：是指将二氧化碳从工业和能源等相关源中分离、收集和封存，以避免其进入大气层的技术。

[29] **多能互补**：统筹开发利用多种能源资源，实现多品种能源的供应互济和供用优化，有利于提升能源系统效率和综合效益的能源开发和利用方式。

[30] **互操作性**：两个或多个网络、系统、设备、应用或组件协同工作、交换信息和使用信息共同完成既定功能的能力。

[31] **终端设备**：位于边缘云与数据源头路径之间，靠近用户或数据源头的任意具备一定硬件配置的设备。

[32] **智能家电**：将微处理器、传感器技术、网络通信技术引入家电设备后形成的家电产品，通过网关可控制其启动。

[33] **电池管理系统**：监测电池的电、热等参数，具有相应的控制、保护和通信等功能的装置。

[34] **边缘计算**：边缘计算是在靠近物或数据源头的网络边缘侧，融合网络、计算、存储、应用核心能力的分布式开放平台（架构），就近提供边缘智能服务，满足行业数字化在敏捷连接、实时业务、数据优化、应用智能、安全与隐私保护等方面的关键需求。

[35] **边缘节点**：边缘节点是对边缘网关、边缘控制器、边缘服务器等边缘侧多种产品形态的基础共性能力的逻辑抽象，这些产品形态具备边缘侧实时数据分析、本地数据存储、实时网络连接等共性能力。

[36] **边缘智能**：边缘智能是边缘计算和人工智能结合的新范式，在边缘侧提供的高级数据分析、场景感知、实时决策、自组织与协同等服务。

[37] **数字孪生**：以多维数据融合和虚拟数字化模型驱动，借助历史数据、实时数据、算法模型以及数字孪生体和物理实体的闭环交互，通过监控、模拟、验证、预测、优化实现物理实体全生命周期安全、可靠、高效运转的一系列技术。

[38] **5G**：具有大带宽、高可靠、低时延和广连接特点的新一代宽带移动通信技术，即第五代移动通信技术的简称。

[39] **5G SA 模式**：是指 5G 独立组网模式，独立部署 5G 核心网，具备网络切片、服务化架构、分布式用户面、边缘计算、5G 安全接入等完整的 5G 功能。

[40] **网络切片**：一种按需组网的方式，可以让运营商在统一的基础设施上分离出多个虚拟的端到端网络，每个网络切片从无线接入网承载网再到核心网上进行逻辑隔离，以适配各种各样类型的应用。在一个网络切片中，至少可分为无线网子切片、承载网子切片和核心网子切片三部分。

[41] **现场总线**：连接智能现场设备和自动化系统的数字式、双向传输、多分支结构的通信网络。

[42] **工业 PON**：无源光网络，是指 ODN（光配线网）中不含有任何电子器件及电子电源，ODN 全部由光分路器（Splitter）等无源器件组成，不需要贵重的有源电子设备。一个无源光网络包括一个安装于中心控制站的光线路终端（OLT），以及一批配套的安装在用户场所的光网络单元（ONUs）。在 OLT 与 ONU 之间的光配线网（ODN）包含了光纤以及无源分光器或者耦合器。

[43] **Overlay 网络**：是在 Underlay 网络（物理传输网络）上构建的逻辑或虚拟网络。Overlay 网络用于克服传统网络的缺点，通过实现网络虚拟化、分段和安全性，使传统网络更加易于管理、灵活、安全（通过加密）和可扩展。

[44] **FlexE**：是指灵活以太网，使业务速率与物理通道速率相互独立，实现业务通道化，并支持网络切片等功能。

[45] **TSN**：时间敏感网络，通过数据传输最大时间来划分的一种实时性网络，具有时间同步、延时保证等确保实时性的功能。旨在为以太网协议建立“通用”的时间敏感机制，以确保网络数据传输的时间确定性。

[46] **RFID**：射频识别技术，通过无线射频方式进行非接触双向数据通信，并对记录媒体（电子标签或射频卡）进行读写，从而达到识别目标和数据交换的目的。

[47] **AR**：增强现实技术，一种实时地计算摄影机影像的位置及角度并加上相应图像、视频、3D 模型的技术，将虚拟信息与真实世界信息“无缝”集成。

[48] **VR:** 虚拟现实技术，一种可以创建和体验虚拟世界的计算机仿真系统，利用计算机生成一种模拟环境，使用户沉浸到该环境中。

[49] **EMS:** 能源管理系统，通过集成各种硬件设备和软件工具，实时收集能源数据并进行分析，从而帮助企业有效管理能源消耗，提高能源利用效率。

[50] **WMS:** 仓库管理系统，一种用于管理和控制仓库操作的软件系统。

[51] **CAM:** 计算机辅助制造，指利用计算机和计算机软件来控制机器进行制造，通常适用于大批量生产的零件。

[52] **SCADA:** 数据采集与监控系统，是以计算机为基础的生产过程控制与调度自动化系统。它可以对现场的运行设备进行监视和控制，应用于电力、冶金、石油、化工、燃气、铁路等诸多领域。SCADA 是工业互联网数据的重要来源，肩负着数据采集、测量、各类信号报警、设备控制以及参数调节等功能。

[53] **BIM:** 建筑信息模型技术，在建设工程及设施全生命期内，对其物理和功能特性进行数字化表达，并依此设计、施工、运营的过程和结果的总称。

[54] **OPC:** 自动控制技术，指为了给工业控制系统应用程序之间的通信建立一个接口标准，在工业控制设备与控制软件之间建立统一的数据存取规范。

[55] **PLC:** 可编程逻辑控制器是一种专门为在工业环境下应用而设计的数字运算操作电子系统。它采用一种可编程的存储器，在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令，通过数字式或模拟式的输入输出来控制各种类型的机械设备或生产过程。

[56] **DCS**: 分散控制系统, 是以微处理器为基础, 采用控制功能分散、显示操作集中、兼顾分而自治和综合协调的设计原则的新一代仪表控制系统。

[57] **MES**: 生产执行系统, 旨在加强 MRP 计划的执行功能, 把 MRP 计划同车间作业现场控制, 通过执行系统联系起来。这里的现场控制包括 PLC 程控器、数据采集器、条形码、各种计量及检测仪器、机械手等。MES 系统设置了必要的接口, 与提供生产现场控制设施的厂商建立合作关系。

[58] **SDN**: 软件定义网络, 是一种新型网络创新架构, 是网络虚拟化的一种实现方式, 其核心技术 OpenFlow 通过将网络设备的控制面与数据面分离开来, 从而实现了网络流量的灵活控制, 使网络作为管道变得更加智能。

编制单位

中国工业互联网研究院
中国电力发展促进会
能源工业互联网联合创新中心
国家电网有限公司
中国南方电网有限责任公司
中国华能集团有限公司
中国华电集团有限公司
国家能源投资集团有限责任公司
华北电力大学
上海电力大学
清华大学能源互联网创新研究院
沈阳工程学院
中国电力企业联合会科技服务中心有限责任公司
国家电网有限公司信息通信分公司
国网上海市电力公司
国网河北省电力有限公司
许继集团有限公司
北京智芯电子科技有限公司
国网新能源云技术有限公司
四川中电启明星信息技术有限公司
北京国电通网络技术有限公司
南方电网数字电网科技（广东）有限公司

华能信息技术有限公司
南京国电南自电网自动化有限公司
国能数智科技开发（北京）有限公司
国能大渡河大数据服务有限公司
龙源电力集团股份有限公司
中核武汉核电运行技术股份有限公司
福建宁德核电有限公司
成都贝斯特数码科技有限责任公司
上海电气集团数字科技有限公司
兴唐通信科技有限公司
正泰集团研发中心（上海）有限公司
安徽绿沃循环能源科技有限公司
深圳鹏锐信息技术股份有限公司
中能融合智慧科技有限公司
江苏中天互联科技有限公司
深圳江行联加智能科技有限公司