

“

”

2025

上海人工智能研究院

2025 年 9 月

序言

人工智能正以前所未有的速度和深度，重塑全球科技格局与经济结构，成为引领新一轮科技革命和产业变革的关键引擎。作为面向未来的战略性技术，人工智能广泛应用于工业制造、社会治理、公共服务、生态保护等领域，在推动生产方式转型、提升治理效能、增进民生福祉等方面展现出巨大潜力。

随着“一带一路”倡议的持续推进，数字技术合作不断成为共建国家间交流合作的重要内容。人工智能，作为其中最具变革力的代表性技术，正在助力共建国家实现数字化跃升，成为推动高质量共建“一带一路”的新动能、新引擎。一方面，越来越多的国家将人工智能纳入国家发展战略，积极布局技术应用与能力建设；另一方面，基于共同发展需求，人工智能也日益成为促进互联互通、推动协同创新的重要支点。

面对这一趋势，中国始终坚持以开放合作推动科技进步，围绕共建国家的重点关切和发展需求，持续拓展人工智能合作的广度与深度。在智慧农业、城市治理、产业转型、教育医疗等重点领域，中国企业、高校和科研机构积极探索适应不同场景的技术路径和解决方案，积累了丰富的实践经验，也为国际合作奠定了良好基础。

为系统梳理中国在人工智能领域的典型应用成果，提炼可借鉴、可推广的合作模式和实践经验，本案例集聚焦面向“一带一路”共建国家实际需求的人工智能应用探索，立足国内实践基础，精选一批覆盖民生保障、产业发展、城市治理等核心领域的典型案例，深入剖析其关键技术路线、实施机制和应用成效，力求从中提炼出具备推广价值的经验成果，展现人工智能在多领域、多维度融合应用中的发展趋势。

我们希望，本案例集不仅能够为中国参与“一带一路”科技合作提供系统参考，也能为共建国家在推动智能化发展的过程中提供启发和借鉴，进一步促进理念互通、技术互融与经验共享。人工智能的发展不能也不应是封闭的，它应成为连接各国创新资源、增进人民福祉、共建美好未来的桥梁。

在此，谨向所有支持案例集编制工作的一线实践单位、专家学者、行业机构致以诚挚感谢。未来，愿我们以此为新的起点，汇聚智慧力量，拓展合作路径，共同推动人工智能更好地服务“一带一路”共建国家的发展需求，共创智能时代的美好未来。

目录

绪论	1
一、“一带一路”倡议下人工智能应用场景的重要意义	1
二、“一带一路”沿线国家的人工智能发展情况	3
三、案例集编制目标	11
民生保障篇	12
案例 1 多模态医学影像大模型赋能罕见病诊疗	13
案例 2 基于仁济医院国际化互联网医院多模态多语种大模型的重点科室诊断决策一体化场景	18
案例 3 “一带一路”共建国家公众应急安全与公共卫生的智能科普	21
案例 4 基于毫米波多模态传感的睡眠与心肺疾病监测技术	25
案例 5 基层医疗机构解决方案	30
案例 6 行者 AI 音乐教育平台申报单位	35
案例 7 泽霖 AI 教育中台——“考考”大模型与“零代码”构建全场景智慧教育新生态	38
案例 8 基于希沃教学大模型支持下的教师教学 AI 循证研究与优化	42
案例 9 基于非植入式脑机接口驱动 AIGC 的多语种数字化慢性疼痛缓解康复系统	46
案例 10 人工智能混合现实脊柱手术规划及导航系统	51
案例 11 医疗健康行业全自动微生物划线工作站	54
案例 12 数智赋能“一网通学”市民终身学习服务应用与实践创新	57
案例 13 AI 赋能作业管理，释放教师人文价值	61
案例 14 基于 AI 大模型和心理学的智慧养老情感陪护场景	65
案例 15 AI+面试赋能人才评价	70
产业发展篇	73
案例 16 基于人工智能的风电装备全生命周期故障诊断	74
案例 17 基于足式机器人的变电站智能巡检方案	78
案例 18 大型光伏电站智能化运维	83
案例 19 基于人工智能技术的电网工程评审体系构建与应用	87
案例 20 基于电力行业首个大模型“大瓦特”的南网智能客服创新实践与场景应用	90
案例 21 食品行业发酵工艺参数优化	95
案例 22 人形机器人/建筑机器人智能生产场景	99
案例 23 面向核电制造柔性焊接场景的人工智能焊接系统	102
案例 24 AI 烟气治理方案	106
案例 25 基于协作机器人生态的 OTA 智慧服务平台	110
案例 26 智能移动双臂机器人	114
案例 27 “人工智能+数字孪生赋能企业智能安全全要素管理”场景	117
案例 28 智慧工厂智能化监控	122

案例 29 基于多模态大模型的智慧家禽养殖效能提升场景	126
案例 30 基于无人机与多模态感知的温室作物精准表型监测系统	130
案例 31 AI+机器人赋能大物流数智化装卸应用场景	134
案例 32 AI 赋能蓝莓全产业链创新升级	138
案例 33 四川省人工智能矿山大模型建设	143
案例 34 SPG 矿山安全 AT 大模型平台	147
案例 35 电力作业现场智能安全帽动态监管系统（AI 赋能）	150
案例 36 AI 政策大脑：打造垂直细分行业的“情报系统”	155
案例 37 面向绿色供应链的 AI 产品数字护照系统	157
案例 38 “一带一路”慧出海赋能平台：多语种智能翻译与海外客户精准获客系统	160
案例 39 影伙引擎：基于 AI 商业内容生产的智慧数贸一站式技术服务平台	164
案例 40 金融大模型驱动下的零售金融智能服务场景	167
案例 41 司马阅	171
案例 42 思必驰 AI+智能会议终端	173
案例 43 智能座舱语音交互	177
案例 44 灵韵伴游：皮肤型人形机器人景点智慧服务	180
城市治理篇	184
案例 45 透明感知和自主决策的城市配电数字孪生系统	185
案例 46 基于多重影响因素的超大型城市电网负荷智能预测	188
案例 47 星逻万象-清洁能源的巡逻兵智慧城市的守护神	193
案例 48 基于国产化（信创）的物资安全管理平台和机器人	197
案例 49 基于 AI+传感的城市水环境智慧监测	199
案例 50 人工智能技术赋能排水管网病害智能诊断与评估	204
案例 51 供水管网爆漏预警模型	208
案例 52 特大型国有企业资产管理效能提升	212
案例 53 轨道交通车载智能检测申报单位	216
案例 54 “人工智能+”在废塑料物质代谢与降碳环境系统中的应用	220
后记	223

绪论

一、“一带一路”倡议下人工智能应用场景的重要意义

（一）时代背景

2013 年，中国提出共建“丝绸之路经济带”和“21 世纪海上丝绸之路”重大倡议，旨在顺应世界多极化、经济全球化、文化多样化、社会信息化的发展趋势，推动构建开放型世界经济，促进各国互联互通与共同发展。十余年来，该倡议由理念走向实践、由愿景化为行动，已有 150 多个国家和 30 多个国际组织参与，成为全球覆盖面最广、包容性最强的国际合作平台之一。

“一带一路”倡议回应了发展中国家基础设施薄弱、互联互通不足、技术转型滞后的共同诉求。初期着力于“硬联通”，即推进交通、能源、通信等重大工程建设，贯通区域内物流、人流、信息流的物理通道。随着全球新一轮科技革命深入演进，数字化日益成为推动经济结构升级、优化社会治理、促进公共服务普惠化的核心动力，也成为驱动“一带一路”迭代发展的关键变量。

在此背景下，2017 年“数字丝绸之路”正式提出，标志着“一带一路”合作进入以数字基础设施、技术应用与数据服务为核心的新阶段。数字丝绸之路以新一代信息技术为纽带，深化跨国网络互联、数字能力合作与技术共享，推动共建国家在数字经济、智慧治理、人工智能等关键领域实现互利共赢，开启由“硬联通”向“软联通”“心联通”协同拓展的新格局。

“数字丝绸之路”不仅拓展了合作的广度与深度，也为解决沿线国家发展不平衡、不充分问题提供了新路径。通过数字化赋能，许多国家有望实现跨越式发展，借助技术手段跨越传统工业化阶段，直接迈入信息化、智能化社会；同时以更低成本、更高效率提升民生服务、产业水平与治理能力。

顺应这一趋势，人工智能等战略性新兴技术正由“支持工具”加速演化为共建国家数字发展的核心要素。以人工智能为代表的新技术既是推动经济智能化转型的关键引擎，也是促进跨国技术协同、能力共建与发展范式重塑的重要支点，为广大发展中国家在新技术时代实现包容性增长提供了切实路径。

（二）人工智能应用场景的重要意义

共建“一带一路”倡议提出以来，人工智能作为引领未来的新型基础设施和创新引擎，正日益成为推动“一带一路”共建国家可持续发展与深层次合作的关键力量。它不仅是技术革新的代表，更是在民生福祉改善、产业结构优化、城市治理现代化等方面赋能共建共享、合作共赢的重要抓手。

1. 以人工智能促进民生保障普惠化，推动共建国家共享发展红利

民生福祉始终是共建“一带一路”的核心关切。对于许多沿线国家而言，医疗资源分布不均、教育供给不足、应急能力薄弱等问题长期制约着社会的包容性与公平性。人工智能的普及应用，正在改变公共服务的传统格局，为提升民生保障能力打开了全新路径。

在医疗健康领域，AI 辅助诊疗、智能影像识别、远程会诊系统正在广泛部署，显著提升基层医疗机构的服务能力和诊断效率，为偏远和资源匮乏地区提供了可持续、可复制的解决方案。在基础教育方面，AI 技术助力实现智能内容推送、个性化学习和跨语言教学，推动教育普惠跨越数字鸿沟。在公共安全与应急管理领域，AI 增强了对自然灾害、流行病、社会风险等多种突发事件的预测与响应能力，大幅提升了治理韧性。

人工智能的发展不仅为民生难题提供技术解法，更以技术共享推动能力共建，助力“一带一路”共建国家实现人民生活水平的整体跃升，彰显科技向善的力量。

2. 以人工智能驱动产业升级转型，培育高质量发展新动能

产业合作是“一带一路”倡议的重点方向，而人工智能技术则为传统产业转型升级提供了强大支撑。在多数沿线国家，农业、制造业、能源等传统产业仍占据主导地位，面对资源枯竭、效率低下、环境压力等挑战，亟需借助先进技术实现“脱胎换骨”。

AI 技术广泛应用于精准农业、智能制造、数字能源等关键产业环节，推动产业链从低效粗放向智能协同转型。例如，在农业领域，AI 结合卫星遥感、无人机、边缘计算等技术，实现对气象、病虫害、土壤的精准监测与智能决策，提升粮食安全水平和农业可持续能力；在制造业中，通过智能生产线、机器视觉、工业知识图谱等技术，推动传统工艺向高端制造跃升；在能源与资源领域，AI 优化能源调度、设备预测维护和碳排管理，有效促进绿色转型。

更重要的是，人工智能的融入正在孕育全新产业生态，催生本地数据服务、算法开发、AI 设备制造等新兴产业，为“一带一路”共建国家构建自主可控的技术体系和本地化的创新能力奠定基础，从“输入市场”迈向“共创生态”。

3. 以人工智能赋能城市治理现代化，助力数字丝路互联互通

在全球城市化进程不断加快的背景下，城市治理成为“一带一路”共建国家面临的共同课题。如何在基础设施薄弱、人口密集、资源紧张的城市环境中实现高效、可持续的管理，成为提升国家治理能力现代化水平的关键。而人工智能，正成为数字城市建设的重要引擎与核心底座。

AI 技术在城市治理中的深度融合，推动形成“感知、分析、决策、执行”全链条的智能化治理能力。基于视频识别、物联网、数字孪生等技术，城市实现对

交通拥堵、环境污染、公共安全、应急响应等问题的精准监测与动态管理。在部分国家及地区，通过部署智能交通系统、城市大脑平台和治理 AI 中枢，已初步构建出“数据驱动、模型支撑、智能响应”的新型城市治理范式。

人工智能不仅提升了城市运行效率，更通过场景智能的不断演进，推动治理逻辑从“管理为主”向“服务为本”转型，为“一带一路”共建国家探索具有本地化特色的现代治理路径提供有力支撑，也为中国经验的技术出海、能力互联创造广阔空间。

二、“一带一路”沿线国家的人工智能发展情况

（一）发展现状

总体上，大部分“一带一路”共建国家已认识到人工智能发展的重要性，采取了包括政策、技术、基础设施、场景、算力等多方面的部署。

1. 顶层规划层面

“一带一路”共建国家在人工智能领域的政策制定水平参差不齐，但总体呈现出从“关注数字化”向“专门部署 AI”的过渡趋势。部分具备一定数字化基础的国家，如俄罗斯、越南、印度尼西亚、蒙古、斯里兰卡、约旦、南非等，已经制定了国家层面的人工智能发展战略或纳入数字转型规划，明确了 AI 在医疗、教育、城市治理、交通、制造业等方面的重点应用方向。其中，俄罗斯、越南、约旦等国已提出“2030”或中长期发展目标，力图在区域内构建人工智能技术优势和国际化创新高地，将人工智能作为重塑国家竞争力的重要支点。由此可见，部分“一带一路”共建国家人工智能领域的顶层设计正逐步走向体系化发展。这些政策多由数字经济、通信或工业主管部门牵头制定，强调开放合作、人才培养与生态构建，并通过建设数据平台、语料资源和基础能力体系，逐步补齐发展短板，增强本地化支撑能力。

表 1 部分“一带一路”共建国家人工智能顶层规划

国家	出台时间	文件名称	主要内容
印度尼西亚	2020	《国家人工智能战略》	侧重教育与研究、健康、粮食安全、智能城市与公共服务、国家安全，并设立 AI 国家执行机构负责统筹推进。
蒙古	2020	《国家数字化计划（Vision 2050）》	将人工智能技术发展及应用列为重点工作，推动本地 AI 协会、语料建设和跨国合作机制建立。

越南	2021	《到 2030 年的人工智能研究, 开发和应用国家战略》	促进人工智能的研究、开发和应用, 到 2030 年, 越南将发展成为在东盟乃至世界范围内创新、开发 AI 解决方案和应用程序的中心。
俄罗斯	2023	《2030 年人工智能发展国家战略》	加快推进俄罗斯人工智能发展与应用, 谋求在人工智能领域的世界领先地位, 以确保国家安全、提升经济实力和人民福祉。
约旦	2023	《约旦人工智能政策》	确立了政府在人工智能领域的发展方向。
南非	2023	《南非国家人工智能政策框架》	推动 AI 技术整合, 促进经济增长、提升社会福祉。
斯里兰卡	2024	《2030 数字经济发展框架》	2024 年制定了国家级人工智能战略, 同时在“2030 数字经济发展框架”中将人工智能等列为战略性新兴技术方向, 强调开放数据政策与技术监管的建设。

然而, 东帝汶、马尔代夫、尼泊尔等更多“一带一路”共建国家仍处于数字化探索阶段, 人工智能政策多依附于信息通信、数字政府、教育现代化等宽泛议题, 缺乏专门文件, 尚未形成人工智能的长期发展机制与投资计划。部分国家虽在政府讲话或发展愿景中表达对 AI 的重视, 但具体制度设计、资金安排、考核机制等方面尚未跟进。

综上, 目前, “一带一路”共建国家正处于人工智能战略部署的关键阶段, 既展现出强烈的发展动能, 也暴露出“有战略、缺抓手”的现实困境。未来亟须通过加强政策协同、能力共建与制度互认, 推动人工智能战略从顶层设计走向体系化落地, 真正实现发展目标与应用成效的有机统一。

2. 基础设施层面

人工智能的发展高度依赖通信网络、算力平台、数据资源以及科研环境等各类基础设施支撑。从整体上看, “一带一路”沿线国家在这一领域呈现出明显的分层格局与区域差异。一方面, 部分国家如俄罗斯、新加坡、阿联酋等, 在基础设施建设方面已有较深积累, 具备较为完善的通信网络和初步自主算力体系, 在科研平台和本地数据资源方面也显示出一定的自主能力。另一方面, 更多的发展中国家仍处于基础能力搭建阶段, 通信网络覆盖尚未全面铺开, 算力依赖外部云平台, 科研设施薄弱, 数据资源稀缺, 整体基础难以支撑复杂的人工智能系统自主运行。

在通信网络方面, 多数国家已完成 4G 网络的基本覆盖, 部分国家如印尼、越南、乌兹别克斯坦正推进 5G 网络部署, 为智慧城市、工业自动化等未来场景做准备。然而, 总体而言“一带一路”沿线国家网络的覆盖深度与稳定性仍不理

想，城乡之间存在明显的数字鸿沟，边远地区接入能力薄弱，常常影响到物联网设备部署与实时 AI 服务调用的能力。此外，相关国家核心通信设备高度依赖外部进口，本国制造能力相对不足，加剧了各类关键信息基础设施的整体建设周期，也带来了长期维护和升级的成本压力。

在算力平台建设方面，只有少数“一带一路”共建国家建立了本地部署的数据中心或 AI 算力集群以支撑人工智能的开发与应用。例如，俄罗斯具备自主超算资源与 AI 芯片研发能力，能够在部分政务与能源领域开展本地模型训练；阿联酋通过 G42 等本地企业与微软公司等世界头部企业合作构建国家级云平台，服务本地政务与商业场景；印度和新加坡分别推进国家级 AI 算力设施计划，提升人工智能服务的本地化水平。然而，多数国家如蒙古、老挝、斯里兰卡等仍缺乏足够的算力资源，只能依赖 AWS、阿里云、Azure 等国际云平台获取训练与部署能力。这种模式不仅带来高昂的外部服务成本，也引发了数据出境与信息主权的广泛担忧，部分国家已开始探索建立“去依赖化”的本地云基础设施。

在数据资源方面，数据资源的稀缺是大多数国家人工智能发展的核心瓶颈之一。在“一带一路”共建国家中，众多国家尚未建立结构化、标准化的数据开放平台，政务与行业数据多以封闭或割裂的形式存在，难以有效集成用于 AI 系统的训练与部署。同时，由于“一带一路”沿线国家中普遍存在差异化语言体系，各国本地语种的语料资源极度匮乏，仅有少数国家开始构建本土语言的数据集，如蒙古国正在推进蒙古语自然语言处理资源建设，印地语、僧伽罗语等也有早期数据整理项目。但这些资源的规模、质量与标准化水平普遍较低，尚难以支撑高质量语言模型的开发。同时，数据安全、隐私保护与数据资产化机制尚未健全，缺乏统一的治理标准，也制约了数据资源的流通效率和产业协同。

3. 技术生态层面

“一带一路”沿线国家在人工智能技术发展方面整体仍处于起步阶段，基础研究、产业技术和生态体系尚未全面成熟，但也呈现出局部突破和逐步聚集的发展趋势。部分国家已初步形成人工智能核心技术产业雏形，开始在语音识别、自然语言处理、图像识别、智能推荐等方向探索本地化应用，出现了一批具有代表性的科研团队和初创企业，成为区域内技术创新的重要源头。

在教育与科研基础方面，一些国家已在高校和科研院所设立人工智能相关专业与实验室，积极承担起人才培养与技术攻关的任务。俄罗斯、印度、新加坡等国具备较为成熟的研究环境和一定数量的技术人才储备，在人工智能的算法研究与应用落地方面具备竞争力，如俄罗斯依托莫斯科国立大学（MSU）、圣彼得堡国立大学（SPbU）等具有雄厚技术能力的高等院校开展人工智能相关教学与研究。此外，以色列长期以来重视科研成果转化与军工技术融合，在 AI 基础研究和前沿应用方面均处于领先地位；蒙古国依托蒙古国立大学开展人工智能基础教育，同时聚焦本土语言基础，开发了适用于蒙古语的语言处理模型，填补了多

语言模型体系中的空白。印尼大学则与中资科技企业合作，参与智慧城市系统的算法与平台建设，力图将高校研究成果与实际场景相结合。越南 FPT 大学则建立了规模较大的人工智能研究中心，通过引入国际课题合作和产业孵化机制，在人才培养和成果转化方面取得了一定成效。这些高校正在逐步构建本地人工智能研究体系，为本土产业发展提供技术支撑。然而在大多数“一带一路”共建国家，AI 教育体系仍处于初步建设阶段，缺乏系统性的课程体系、成熟的科研团队以及高性能的科研平台，实验设备配置不足、教师储备有限、科研成果国际影响力弱等问题较为普遍，人工智能技术开发与应用仍需依赖国际合作模式，如援建实验室、联合培养计划等方式进行补足。

在企业方面，结合实际情况，沿线国家在人工智能产业发展上大致可分为四类企业生态形态。

第一类是具备一定技术积累和自主发展的本土人工智能企业集群的国家，代表如俄罗斯、印度、新加坡、以色列等。该类国家在 AI 核心算法、语音识别、机器视觉、自动驾驶、智能制造等方向已形成初步的本土产业布局。以色列长期以来依托强大的军工和科研基础，诞生了包括 Mobileye、Zebra Medical 等在内的 AI 独角兽企业，技术出口能力强，产业链协同度高。俄罗斯则在图像处理、语音合成、安全监控等领域拥有本土企业体系，如 Yandex 在自然语言处理和搜索引擎技术方面具备领先优势。新加坡通过国家政策支持，培育出一批专注于金融风控、智能交通与智慧城市的本地 AI 公司，形成了较为完整的技术与应用生态。该类国家具备一定的科研能力基础、技术市场需求强烈，且政府长期推动创新型企业成长，从而形成了可以自主运行的 AI 创新链条。

第二类国家主要依托国际企业在本地设立研发中心、数据中心或联合实验室推动人工智能应用发展，形成“引入型生态”。该类国家中本土企业自身技术积累相对有限，但通过与中美日韩等科技企业合作，逐步培育起本地的技术能力和产业意识。例如印尼、越南、阿联酋等国家广泛引入阿里云、华为、微软、谷歌等企业的 AI 基础设施与方案，推动智能政务、智慧教育、金融风控等领域的项目落地。在这种模式下，人工智能技术并非本土主导，而是由跨国公司提供技术、平台与服务，当地企业则承担集成、推广或运营的职能。这种模式在短期内有助于弥补本地技术能力不足、快速提升服务水平，但长期来看也存在“依赖外部、缺乏积累”的结构性问题。

第三类国家的企业主体虽未明确聚焦人工智能技术研发，但在政务、医疗、能源等传统行业数字化转型过程中，开始接触并尝试部分 AI 技术的集成应用。这类企业多数位于哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、格鲁吉亚等中亚和中东欧国家。该类国家本地企业或国有单位正处于“信息化—数字化—智能化”过渡阶段，企业自身技术能力较弱，但在智慧政务、数字矿山、智慧农业等场景中表现出对智能技术的现实需求。AI 在这些国家的落地通常以方案集成为主，由外部厂商提

供模型或平台，本地团队主要负责业务适配和工程实施，尚未形成真正意义上的本土 AI 产品研发能力。这类国家的技术生态往往缺乏持续性和系统性，整体仍处于 AI 应用的“尝试期”。

最后一类则是尚未建立起数字化企业体系的国家，这些国家在人工智能发展方面几乎处于空白状态。其特点是缺乏基础 ICT 企业、本地没有人工智能相关业务主体、政策制度和市场机制尚未构建。例如阿富汗、也门、吉布提、赤道几内亚等国家受限于政治、经济、教育等多重因素，基础通信网络和工业体系都未完善，人工智能尚未进入政府战略或市场关注视野。该类国家首先需补齐 ICT 底座与基础数字化能力，方能为后续人工智能企业生态建设提供土壤。

在行业协会层面，部分国家开始探索通过产业联盟和行业组织推动技术标准与生态联动。南非人工智能协会（SAAIA）、伊朗国家人工智能组织、约旦人工智能联盟（AI-JO）、巴基斯坦人工智能和机器人协会等组织已先后成立，试图搭建起企业、高校和政府间的合作桥梁，促进政策协调、标准研制与人才交流。然而受困于技术能力与国家产业生态限制，国家级“一带一路”人工智能行业组织目前影响力仍然有限，在产业统筹、资源引导和生态治理等方面的能力尚待提升，尚未形成实质性的创新引领或生态支撑能力。

4. 应用场景层面

由于经济结构、社会治理模式以及数字化基础存在明显差异，“一带一路”共建国家在人工智能应用方面呈现出强烈的“**实用导向**”与“**资源导向**”特征。多数国家在人工智能技术的应用布局上并不聚焦前沿探索或平台级创新，而更倾向于借助人工智能提升公共服务效率、优化传统产业流程，满足基础性、刚需性的社会发展需求。

教育场景是多个国家优先部署 AI 的方向之一。在南亚、东南亚和中亚等地区，部分国家通过 AI 助教系统、语言识别与翻译工具，尝试提升乡村和边远地区的教育覆盖水平。例如，斯里兰卡与印度在多个学校试点远程 AI 课堂，越南与国际企业合作推动本地语言教育资源数字化，以应对城乡教育资源分布不均的难题。

医疗健康领域也受到广泛关注，尤其是在公共卫生资源不足的国家，AI 被用于疾病筛查、辅助诊断、远程医疗和疫苗分发预测等环节。北非国家如埃及、摩洛哥在疫情后推动 AI 远程问诊平台建设；中亚地区（如哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦）也借助中国、韩国企业技术部署医学影像识别系统，用于辅助心脑血管疾病和肺部病变识别，提高初级医疗站点诊断能力。

在农业与畜牧业方面，一些资源型国家（如蒙古、塔吉克斯坦、埃塞俄比亚）利用 AI 进行牲畜追踪、草场监测、智能灌溉等实践，以优化传统农业模式应对气候变化挑战。这些项目多以政府援助、国际合作或企业试点方式推进，技术轻

量、数据要求相对较低，成为 AI 本地化落地的典型路径。

在城市治理与基础设施方面，中东、东欧以及部分东南亚国家将 AI 技术融入智慧交通、灾害预警、安全监控等系统建设。例如阿联酋、沙特在城市数字化建设中部署了大规模视频分析系统与交通预测模型，土耳其在地震多发区推广 AI 灾害响应平台，印尼则在新首都建设中引入智能城市底座框架。这类应用体现出“国家级项目牵引、外资技术支持”的模式特征，强调整体规划与国际协同。

在“一带一路”共建国家中，不同类型国家在 AI 应用场景布局上呈现出清晰的分层：部分国家如中国、阿联酋、沙特、土耳其具备较为成熟的本地产业与研发体系，AI 应用已进入系统化建设阶段；另一些国家如越南、印尼、乌兹别克斯坦具备一定数字基础与国际合作经验，场景试点活跃；而如东帝汶、叙利亚、乍得等国则因基础设施不足和技术供给薄弱，AI 应用尚处空白或极初级状态。

总体而言，“一带一路”共建国家的 AI 应用以“轻应用+合作驱动”为主，大部分项目生命周期短、依赖外部力量强、自主迭代能力弱，仍需通过区域合作与能力共建，提升 AI 场景的可持续性与本地化适配能力。未来，随着本地数据资源积累、政策机制成熟和基础设施提升，“一带一路”共建国家在 AI 应用中的主动性和深度有望持续增强。

（二）发展梯度

从整体态势来看，“一带一路”共建国家在人工智能领域的发展水平呈现出显著的分化格局，可大致划分为三个发展梯队，分别体现出不同的基础能力、战略意识与合作路径。

表 2 “一带一路”共建国家人工智能发展梯度

人工智能 发展梯队	典型特征	具体表现
第一梯队国家	通常具备较为坚实的数字基础设施，包括良好的通信网络、数据中心布局和云服务能力，能够支撑本地人工智能模型训练与部署。	高校与科研机构已建立人工智能方向的专业课程与研究机构。 企业端涌现出一批具有区域代表性的人工智能企业，逐步形成产业链条与技术集聚。普遍具备人工智能顶层设计意识，出台了相关战略规划或行动计划，将人工智能纳入国家数字化转型与科技发展战略中。 已开展多个重点人工智能项目，涵盖智慧城市、智慧医疗、交通治理、语音识别等领域，形成了较为多元、深入的合作格局。

第二梯队国家	已初步具备开展人工智能技术应用的必要条件，但基础设施建设仍存在明显薄弱环节、部分地区仍面临网络覆盖不足和算力资源匮乏的问题。	主要高校逐步设立人工智能相关课程与研究方向。 企业开始早期的人工智能应用探索，尤其是在语音识别、物流调度、图像处理等轻量场景中具备一定的实战经验。 尚未形成系统的人工智能国家战略，但已表达人工智能发展的积极意愿。 通过试点项目或与外部合作展开初步探索。
第三梯队国家	基础设施严重不足，尚未建立起有效的信息通信网络、数据中心和教育科研体系。主要分布于撒哈拉以南非洲、中亚内陆以及部分战乱或经济薄弱国家。	人工智能相关高校、研究机构、企业主体缺位。 国家尚未出台人工智能发展的专项政策或战略文件，人工智能尚未进入公共治理或产业转型的议程。 部分国家正在通过国际通信项目或“一带一路”信息通信合作项目提升基础能力，但尚未形成面向人工智能的合作范式。

第一梯队国家已初步构建本国人工智能生态体系和较为完备的数字基础设施，在科研、企业、政策和项目推进方面具备综合实力；第二梯队国家则处于起步建设阶段，基础设施建设虽存在明显的薄弱环节、发展仍依赖外部推动，但已具备一定的技术和产业基础；第三梯队国家尚未形成有效的人工智能发展结构，基础设施严重不足、人才体系存在明显短板，人工智能发展尚处萌芽或潜伏阶段，主要分布于撒哈拉以南非洲、中亚内陆及部分战乱或经济极度薄弱国家。

人工智能是人类发展的新领域，带来重大机遇，也伴随着难以预知的风险挑战，需要国际社会共同应对。部分国家由于技术落后，正面临着被边缘化的风险。中国愿同“一带一路”共建国家就人工智能发展开展沟通交流、务实合作，推动人工智能技术造福“一带一路”沿线人民。

（三）存在问题

尽管“一带一路”共建国家在人工智能发展上展现出一定积极性与战略响应能力，部分国家已迈入体系化建设阶段。但从整体来看，人工智能发展的普遍基础仍较薄弱，存在多个制约性问题亟须正视与破解。尤其在第二、第三梯队国家中，这些挑战更具广泛性与结构性，制约着人工智能在区域内的可持续发展与规模化推广。

第一是基础设施能力不均衡。尽管一部分国家（如第一梯队国家）在核心城市具备5G网络、边缘计算节点和本地云服务，但大多数国家（二、三梯队国家）仍面临网络覆盖不足、数据中心缺位、算力资源薄弱的问题，难以承载大模型训练、实时推理等复杂AI任务。该“结构性短板”直接影响到人工智能技术的本地部署能力与普适可及性。

第二是数据资源缺乏与本地语境适配不足。大多数国家尚未建立完善的数据采集、清洗、治理与共享机制，本地语言语料稀缺、标准不统一，成为 AI 系统本地化应用的关键障碍。许多项目仍高度依赖外部数据与模型，难以形成自主可控的数据闭环与算法优势。

第三是人才与科研体系薄弱。部分国家人工智能相关专业设置尚处于初级阶段，高校教师匮乏、科研平台能力不足，导致 AI 研究多停留在教学或国际项目参与层面，缺乏系统性研究积累和成果转化能力。此外，企业研发投入有限，科技成果转化机制不健全，进一步加剧了人才向外流失。

第四是产业生态碎片化、创新能力弱。虽然部分国家出现了若干 AI 初创企业，但整体上企业数量偏少、协同能力有限，缺乏引领性的本土平台型企业，尚未形成涵盖基础层、技术层与应用层的完整产业链，许多 AI 服务仍以外包集成或“项目交付”方式存在，缺乏持续创新与升级能力。

第五是治理与制度供给滞后。多数国家尚未构建系统的人工智能治理体系，缺乏专门的数据政策、伦理规范和监管制度。部分国家即便出台了 AI 战略，也存在“顶层设计与执行脱节”问题，政策执行能力弱、资源调度机制不健全，难以形成真正可持续的政策保障体系。

第六是区域内协同不足、合作机制碎片化。虽然“一带一路”合作在基础设施和通信层面已有诸多成果，但在人工智能领域尚未形成系统性、多层次的区域合作架构。信息孤岛、标准不统一、项目孤立、缺乏中长期机制，是制约跨境合作能力释放的重要障碍。

除此之外，应用场景牵引能力不足的问题同样值得重点关注。尽管“一带一路”共建国家在数据资源、人才储备、科研能力和技术基础等方面普遍存在短板，但在具备一定数字基础设施条件的背景下，缺乏强烈的战略意愿与明确的场景牵引机制，是制约人工智能深入发展的关键障碍。部分国家虽然已有零散的技术试点或外部项目引入，但人工智能尚未真正被纳入国家发展的核心议程，未被视作推动经济社会转型的战略支点，相关政策也缺少系统性的需求牵引和场景响应，导致落地场景稀缺、实际成效不显，资金也难以持续投入、能力要素更是难以集聚，科研与产业生态也难以形成良性循环。可以说没有足够强的场景牵引，就很难真正倒逼政策、资本、技术与人才体系的同步成长。

综上，要实现“一带一路”共建国家人工智能能力的持续提升与体系化建设，必须破解“无力建、无场用、无心推”的三重困局，而这其中的关键，便在于构建更具吸引力、适应性与外溢价值的应用场景。相较于单一的基础能力投资或被动接受外部技术，通过打造贴合国家发展需求的人工智能应用场景，不仅能够直接带动公共服务与产业效率提升，更重要的是激发政策重视程度、引导数据资源归集、吸引技术供给与外部合作、反哺本地人才培养与科研生态。应用，成为

连接“能力”与“意愿”的桥梁，亦是推动人工智能生态螺旋上升的最现实路径。

三、案例集编制目标

人工智能正以前所未有的速度和深度融入“一带一路”共建国家的经济社会发展进程。面对这一时代趋势，本案例集系统梳理人工智能在沿线国家各类应用场景中的探索实践，提炼典型案例、分享技术成果，旨在促进人工智能开放共享的共识理念，在智慧城市建设、智能制造、农业科技、公共服务等关键领域推动“一带一路”共建国家协同创新、互利合作，为共建国家提供可借鉴、可复制、可推广的智能化发展路径与合作范式。

1. 汇聚典型案例，记录智能化合作实践

本案例集聚焦“一带一路”倡议框架下人工智能赋能的代表性应用场景，涵盖民生保障、产业发展、城市治理等关键领域，遴选具有示范性、创新性和可复制性的项目案例，力求全面展现人工智能技术在各类场景下的落地实践。通过对场景背景、技术路径、场景优势的系统梳理，展示中国在智能化转型中的真实探索与合作成果，形成一份可查阅、可复用的“应用手册”。

2. 展示技术价值，凸显人工智能发展机遇

通过案例汇编系统呈现人工智能在复杂多样的发展条件中展现出的适应性与可塑性，充分体现其在解决传统发展瓶颈、推动公共服务优化、赋能产业升级中的独特优势。案例集不仅呈现“用得好”的应用场景，也重视“为何能用”“如何落地”的逻辑脉络，从而帮助各方深刻理解 AI 技术的价值边界与演进趋势，增强其在“一带一路”发展体系中的战略地位认知。

3. 推动交流合作，促进共建共享机制形成

在科技全球化与地缘多极化交织的背景下，人工智能的发展不能停留在技术输出层面，更应迈向规则共建、能力共育、生态共赢的深度合作阶段。本案例集通过多样场景、多样路径的实践展示，搭建起技术、政策与需求三方之间的认知通道，助力不同发展阶段、不同资源禀赋国家之间实现互学互鉴与精准对接，为后续开展国际合作提供可信、透明、丰富的落地样本。

民生保障篇

案例 1 多模态医学影像大模型赋能罕见病诊疗

上海交通大学

本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

(一) 场景概述

在医疗领域，罕见病诊疗、基层诊疗能力不足以及 AI 方案的可用性与可信度，构成了当前智能医疗落地应用的主要难点。罕见病患者因症状零散、表征复杂，常常难以被系统性识别，临床上又缺乏足够的典型病例积累，诊断高度依赖专家个人经验，极易因知识盲区或判断差异造成误诊与漏诊。确诊过程往往旷日持久，患者不仅承受身心负担，也面临长期就医所带来的经济压力。在基层医院，诊疗痛点尤为突出，不仅缺乏高性能成像等关键设备，而且医生专业能力参差不齐，难以胜任复杂病种的识别与判断，导致患者频繁转诊、重复检查，增加整个体系的医疗资源消耗与个人负担。同时，现有 AI 诊断系统大多依赖高昂算力，缺乏对推理路径的解释能力，难以获得医患双方的充分信任，也限制了其在真实临床环境中的大规模应用。



图 1 上海交通大学发布“明岐”大模型，破解消化道罕见病诊断难题

本项目聚焦“多模态医学影像大模型赋能罕见病诊疗”场景，致力于打通从影像识别、多模态推理到本地化部署、数据合规的全流程能力，构建可普惠、可信赖的智能诊疗方案。一方面，通过大模型矩阵及多模态协同算法，系统可自动完成病灶识别、风险分级与辅助诊断，有效减少因人为经验差异导致的误判；结合快速阅片与即时反馈机制，显著缩短罕见病诊疗周期，帮助医生尽早识别潜在高危患者。另一方面，针对基层医院算力不足、人才紧缺等现实问题，项目引入成本可控的轻量化一体机，提供近似专家级的智能诊断能力，助力基层医院实现

能力跃升，降低误诊漏诊率。同时，系统具备可解释的诊断路径展示，支持本地部署与隐私保护机制，确保医疗数据安全合规，真正实现 AI 医疗从“可用”走向“可信”和“可负担”。

（二）技术方案

1. 技术架构

多层次系统结构：系统采用采集层、大模型推理层、可视化及解释层与部署与安全层的多层次结构，保障诊疗智能化过程的完整性与可落地性。**采集层**负责接收包括内镜、超声、MRI 等医学影像及病历文本、化验指标等多模态数据，可通过医院现有 HIS/PACS 系统或单机终端实现接入。**大模型推理层**由“概念能力矩阵”构成的多个轻量化子模型组成，每个模型专注于特定子任务（如病灶识别、病理区域分割等），并通过“专家路由协同”机制完成整体诊断决策。**可视化及解释层**通过“透明诊断舱”输出标记影像、推理路径和相似病例引用，提升医生对 AI 辅助诊断的信任度和可溯性。**部署与安全层**依托一体机设备实现本地推理，结合访问控制、加密传输等手段保障数据安全，支持在医院内网或本地服务器环境中稳定运行。

关键流程交互：整个推理流程简洁高效，医生或技师首先将影像或文本数据导入系统，而后大模型对多模态数据进行预处理与核心推理，再由系统依据模型协同路由机制输出可解释诊断结论与关键证据。医生可在终端查看结果并结合临床经验进行二次确认与诊断修正，既保障专业判断的完整性，也提升了诊疗效率。

2. 核心技术

多模态大模型矩阵（MOC, Mixture of Conceptual Models）：一是概念能力分解，将完整的诊断过程拆解为多个技能单元，如图像分割、病灶识别、文本推理等，再由针对每类任务训练的轻量级子模型完成各自职责。二是打造轻量化大模型专家模型，采用如 4B 级别的小型预训练模型并结合 GCPO 优化策略微调，确保其在特定诊断任务中达到专家级水平。三是模型体系具备良好扩展性，新增疾病类别或诊疗能力仅需补充相应子模型并接入统一路由系统，无需整体替换大模型，有效控制成本与风险。

专家路由协同（MRP, Model Routing Protocol）：一是通过循证医学知识库生成标准化推理流程，调度各子模型分布式执行诊断任务。二是在关键推理节点，系统会融合各模型输出的证据与置信度进行综合判断，模拟临床中的“多学科会诊”模式；若置信度不足，则自动提示医生或建议启动更高级别检测。系统同时生成完整诊断决策路径，确保每一步推理均可回溯、可验证，提升 AI 辅助决策的可靠性。

“透明诊断舱”可解释机制：系统可在影像上标记溃疡、息肉、肿瘤等疑似

病灶区域，并通过树状结构可视化呈现模型的推理流程，结合关键特征引用相似病例，辅助医生进行直观判断与横向对比，为 AI 诊断结果提供丰富解释支撑。

本地化可负担部署：通过模型蒸馏与参数量压缩技术，将 10B-100B 级大模型压缩至 4B 或更小的轻量模型，保留诊断核心能力的同时实现高效推理。提供一体机方案，整体成本控制在 10-20 万元左右，即可在普通 GPU 或 CPU 环境下实现秒级诊断速度，满足基层医院使用需求。同时支持全离线部署，保障医院数据在本地封闭环境中运行，兼顾合规性与运行效率。

3. 技术路线

数据获取与预处理：系统支持多模态输入，包括内镜、CT、MRI 等医学影像数据，病史、检验报告等文本数据以及血常规、分子检测等结构化指标。预处理阶段对图像进行像素归一化、对文本进行分词与向量化处理、对结构化数据执行异常值筛查，确保不同来源数据具备统一格式并可融合分析。

大模型矩阵训练与推理流程：通过预训练与迁移学习，基于大量合规医学数据构建基础模型，再针对特定疾病场景（如克罗恩病）进行微调，强化溃疡识别、病灶分割等能力。推理过程中由 MRP 机制调用多个子模型完成协同诊断，如遇关键步骤置信度不足，系统可自动发起补充推理或提醒人工介入。

结果输出与可解释呈现：系统最终生成一份结构化报告，包含 AI 诊断结论（如罕见病疑似度、病灶定位）、推理路径可视图、相似病例引用等信息，供医生复核或用于患者交流，提升临床实际使用的可操作性。

一体机部署与运维：部署层面支持将一体机快速集成至医院现有机房或诊室，避免对现有 IT 架构造成冲击。更新机制支持在线升级（通过医院安全网络）或离线安装，便于设备维保。后台系统还支持对推理速度、模型命中率、异常日志等指标进行实时监控与审计。

（三）场景优势

1. 示范性

目前，该场景已在湘雅三医院、健康长三角研究院、上海交通大学附属仁济医院、玉环第一人民医院等医疗机构落地应用，取得显著临床效果。

一是罕见病确诊效率大幅提升。在多家三甲医院开展的临床测试中，大模型系统对克罗恩病的检测准确率超过 92%，与高级专科医生水平相当。通过多模态融合推理与关键病灶定位，患者往往在初诊阶段即完成核心诊断环节，避免反复转诊，整体确诊周期缩短约 30-50%。

二是基层诊疗水平显著提升。医院仅需通过内镜设备采集图像，即可利用一体机内嵌的大模型矩阵完成本地推理，无需高昂 GPU 服务器支持。部署后，县

域医院在消化道常见病、胃肠早癌等方面的诊断准确率明显上升，漏诊率显著下降。同时，系统缓解了对资深医生的依赖，减轻阅片压力与值班负荷，减少因疲劳导致的误判。通过 AI 对疑似病灶的精准识别，也进一步降低了重复检查和资源浪费。

三是临床诊断流程得到重构优化。医生可一键导入影像和病史，系统在 1 秒内完成初步诊断，标注可疑区域并评估风险。若遇复杂病例，系统还可支持远程会诊协同，提供完整证据链和推理路径。基于“影像标记+诊断路径+相似病例库”的三重可解释机制，医生可全面复核 AI 推理过程，增强自身判断力，也更便于向患者解释诊断依据，显著提升患者信任度与医患沟通质量。

2. 创新性

(1) 高精度诊断：罕见病场景的极限突破

罕见病因症状复杂、样本稀缺，历来被视为 AI 医疗中的“至高难度”。本项目以克罗恩病等疑难病为突破口，构建“大模型概念能力矩阵+专家路由协同”架构，融合影像、病历、检验等多源数据，大幅提升诊断准确性与稳定性。经湘雅三医院等权威机构验证，系统对克罗恩病诊断准确率超 90%，达到甚至优于专家水准，证明 AI 在复杂场景下的实用价值，并为常见病、多发病、慢性病提供了可复制的智能诊断路径。

(2) 多模态融合：打通影像、文本与检验数据

医疗诊断往往需要综合考量内镜影像、CT/MRI、病史、化验指标以及病理报告等多模态信息，但传统人工智能模型大多仅能处理单一维度。项目通过在大模型矩阵中设置多条专精管线，对不同类型的特征进行分层处理：如对影像的溃疡分割、息肉识别，对病历文本的语义推断，对检验结果的数值逻辑判断等。最后再通过 MRP（Model Routing Protocol）进行证据路由与决策融合，让 AI 系统可以像多学科专家团队会诊一样综合判断。这一多模态融合能力极大地降低了漏诊风险，也让复杂病例的诊断过程更为系统与全面。

(3) 可解释性与“透明诊断舱”

在医疗场景中，“黑箱式”模型时常遭到医生和患者的质疑与排斥。本项目在大模型构架中内置了“透明诊断舱”机制，从三个层面强化可解释性。一是影像标记，自动高亮疑似病变区域或溃疡位置，让医生直观了解模型所关注的目标；二是诊断路径决策树，以可视化流程方式展现每一步的推理逻辑及所依赖的证据；三是相似病例参考库，配对临床成功案例或错诊案例，帮助医生与患者进行横向比照。

3. 可复制性

将超大型模型直接应用于医院场景，往往面临硬件成本高、数据安全压力大

和算力资源紧张等现实瓶颈。为此，项目团队提出“可负担的一体机”本地化部署方案，通过模型蒸馏与量化，将原需数百万元 GPU 集群支撑的大模型精简至十万元级别的设备即可运行，确保诊断性能不减。系统支持全流程离线推理，患者数据无需上传云端，从根本上降低泄露风险。同时，一体机结构具备良好的可扩展性，医院可按自身规模和科室需求灵活配置，实现低成本、模块化部署。这一方案特别适用于县域及基层医疗机构，有效推动优质诊断能力下沉。

案例 2 基于仁济医院国际化互联网医院多模态多语种大模型的重点科室诊断决策一体化场景

上海交通大学医学院附属仁济医院、
健康云（上海）数字科技有限公司、
华东理工大学

本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

（一）场景概述

当下，互联网医院就诊量持续增长，但线上优质医生资源仍相对紧张，导致出现互联网医院线上排队等候时间长、咨询效率低等问题。与此同时，在复杂疾病的线上诊疗过程中，医生往往难以及时、全面掌握患者的既往病史与多源健康信息，易造成评估不全面、诊断延误等问题。而医疗大模型与人工智能技术的引入，为破解上述难题提供了关键路径。

本场景以提升医生诊疗效率、打造医生“数字分身”为核心目标，依托仁济医院互联网医院的大规模医患对话数据和重点专科丰富的诊疗数据资源，构建多模态、多语种的专科医疗大模型，并在此基础上开发基于大模型智能代理的临床决策一体化系统，推动重点科室智能化转型。

项目首期聚焦肝脏外科、心内科、消化内科等优势科室，借助其强大的临床经验和专家力量，为模型训练与系统优化提供坚实支撑。平台通过集成智能算力和大模型能力，实现对多模态临床数据的高效整合与智能分析，不仅可实现患者咨询的快速响应、缓解医生工作压力，更通过智能问诊交互，全面提升用户体验。

通过具有仁济特色的多模态多语种专科大模型，可以进一步实现医疗大模型赋能 医生临床决策支持升级，实现以下场景：

一是基于支持互联网诊疗、个人健康管理、医院信息系统（HIS）、电子病历系统（EMR）、实验室信息系统（LIS）和放射科信息系统（RIS）等医疗健康领域数据的整合与利用。针对互联网诊疗数据、个人健康数据、PACS/影像中心（部分）、HIS/EMR/LIS/RIS 等数据，采用不同方式接入数据采集系统，通过多模态大模型提供综合诊断建议。

二是实现实时循证医学支持，通过内嵌权威知识库，自动关联最新诊疗指南与临床研究，在医生提出疑问时即时生成摘要，并标注证据等级。

三是实现智能病历自动化，通过自然语言处理（NLP）将医患对话实时转化为结构化病历，自动填充 SOAP 框架（主观、客观、评估、计划），节省 50% 以上文书时间。

四是根据诊断自动推荐检查项目、用药方案（包括剂量计算、禁忌证校验），并生成医保合规的处方模板。

五是医生授权大模型作为“数字分身”处理互联网医院常规咨询（如术后随访、用药指导），通过强化学习模仿医生个人沟通风格，重大问题时转交真人医生。

六是多种语言无障碍沟通，支持中英文等实时翻译，帮助医生参与国际会诊或接诊外籍患者，同时适配不同国家的诊疗规范。

（二）技术方案

1. 技术架构

本场景的整体技术架构由数据层、大模型算法层、大模型应用层及场景层四部分组成。系统通过对院内外多源私有数据进行采集、处理和模型微调数据构建，训练出适用于诊疗应用和示范场景的核心模型，支撑临床智能决策。

数据接入层：负责从院内外多源异构系统采集数据，涵盖互联网诊疗平台中的在线咨询、电子处方等内容，通过 API 接口实现自动化数据采集和更新。

大模型算法层：作为技术核心，融合多模态数据与智能算法，提升临床决策支持能力。基于自然语言处理和深度学习技术，对非结构化病历文本进行智能分析，支持疾病诊断、治疗方案生成及疗效预测等功能。同时，利用深度学习模型实现自动识别与标注，提供精准的临床辅助决策依据。

大模型应用层：聚焦构建多模态专科大模型及智能代理（Agent），通过动态理解患者需求，优化问诊流程，提供个性化医疗建议与治疗指导。该层整合临床重点科室数据和决策路径，推动医疗服务向高效、个性化方向发展。

场景层：基于多模态诊疗决策示范应用，整合优化医疗资源配置，提升决策系统灵活性与创新能力。重点构建智能问诊、医学影像解读、个性化治疗计划生成等高效智能场景，推动医疗服务持续创新和质量提升。

2. 技术路线

技术实施流程包括：数据采集与预处理—模型构建与训练—模型微调与优化—系统集成与部署。基于采集的多模态数据，构建专科大模型，并通过两阶段训练策略（多模态对齐及对话指令微调）持续优化模型性能。完成模型训练后，将其集成至智能诊疗平台，并开展部署及系统稳定性测试，确保实际应用中的可靠性和高效性。

3. 核心技术

大模型核心算法：应用先进的自然语言处理与深度学习技术，针对非结构化

病历文本实现智能语义分析，支持疾病诊断和治疗方案自动生成。

多模态数据融合：采用视觉—语言连接器等技术实现多源异构数据的特征融合，形成统一的多模态特征表达，提升临床决策的信息完整性和准确性。

疗效预测模型：建立精准的疗效预测算法，评估各类治疗方案的潜在效果与风险，辅助医患双方科学决策，实现个性化治疗优化。

（三）场景优势

1. 示范性

作为 2020 年上海首批获牌公立互联网医院，仁济互联网医院近两年不断打磨出一套独具仁济特色的核心互联网医疗业务体系。平台累计业务金额已达 4 亿元，开具处方超过 150 万单，药品配送覆盖中国 200 多个城市。根据上海申康医院发展中心 2025 年 3 月 26 日发布的《2024 年市级医院互联网医院总平台便民服务大数据分析报告》，仁济医院互联网医院在互联网在线复诊量、互联网诊疗服务量及在线处方量方面均位列上海第一。

2. 创新性

本场景创新首创行业垂类大模型驱动的互联网医院诊疗决策体系、互联网专科虚拟医生矩阵以及可信医疗智能应用，已形成仁济特色的多模态大模型诊断决策一体化场景广泛应用。其中，场景将大模型技术贯穿诊疗决策全过程，并通过专科虚拟医生矩阵模拟专家诊疗过程，为医疗决策提供有力支持。随着语料库数据的不断丰富与优化，模型的准确性和实用性持续提升。感知交互技术融入问诊系统，大幅提升患者就诊体验，使问诊过程更加人性化和高效。此外，仁济医院在医疗与信息化基础上，进一步深度整合人工智能前沿技术，展现产学研融合的卓越能力。依托健康云公司及华东理工大学强大的智能算力资源，支撑大规模模型的训练与推理，显著提升了数据处理的效率与效果。

3. 可复制性

场景支持多语种端口，适配多语言服务需求，紧密结合实际医疗需求。支持中英等语言的实时翻译，协助医生参与国际会诊、接诊外籍患者，适配不同国家诊疗指南与流程，助力医院提升国际化服务水平。

该场景具备高度复制推广价值，无论是繁华都市的大型医院，还是偏远基层医疗机构，均可根据自身条件引入合适的技术与模式。有助于各类共建国家医疗机构广泛应用，推动智慧医疗理念与实践成果的传播，促进全球医疗服务水平整体提升。

案例3 “一带一路”共建国家公众应急安全与公共卫生的智能科普

“达医晓护”医学传播智库

本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

（一）场景概述

创伤应急与传染病防控是“一带一路”共建国家公共卫生安全的重大挑战。共建国家发展程度各异，医疗资源配置不均衡、公众健康认知薄弱等问题尤为突出。在气候变化、地缘冲突等多重压力源的叠加作用下，部分国家医疗卫生体系脆弱性风险加剧，患者、家属乃至社会公众对疾病科普的刚需长期存在。然而，传统医疗场景的临床宣教受限于时空约束，在应对创伤性、传染性等复杂病程演进时，往往陷入应急沟通效能衰减的困境。

“达医晓护”医学传播智库作为国家级科技志愿者团队，组织跨语言、跨学科、跨地区专家原创开发多语种应急安全与公共卫生科普大语言模型“创语智达T-LAS”，能够灵活部署在诊疗一体机、服务机器人、网络小程序等智能终端，构建起贯通“医院—社区—居家”场景的立体化科普网络，补全创伤和传染病防治网络的关键节点，为区域医疗体系提供智能化支撑，其推广应用有助于加速“一带一路”健康公平从战略共识向普惠实践转化。

（二）技术方案

1. 技术架构

本项目创新构建“数据—算法—服务”深度耦合的智能健康科普技术架构。

数据层：由“达医晓护”跨学科专家团队整合“一带一路”共建国家创伤与传染病流行病学调查数据、多语种临床文献及本土诊疗案例，构建覆盖疾病全周期的多模态医学语料库。通过动态接入国际权威临床指南及实时公共卫生数据，打造具自进化能力的知识融合引擎，保障医学知识的时效性与完整性。

算法层：基于 Transformer 架构构建医学语义理解中枢，开展领域预训练。结合医学专家反馈，通过强化学习进行领域适应优化，形成“症状表征-干预策略”的跨模态映射，构筑兼具逻辑推理与动态决策的智能算法矩阵。

服务层：采用边缘计算设计轻量级服务容器，提供标准化 API 接口，实现多终端无缝对接。构建覆盖“医院—社区—居家”的分布式智能协同网络，精准识别交互需求，支持科普策略的场所自适应分发。

在多语种训练方面，项目组对“一带一路”155个国家中80余种官方语言进

行系统梳理，率先构建英语、阿拉伯语、法语、葡萄牙语、俄语和西班牙语技术栈。通过分层迁移学习突破医学语义跨文化表达差异，实现高精度多语种科普支持。并利用对抗生成网络技术，成功扩展韩语、泰语、马来语等 30 余种低资源语言的有限交互能力。

2. 技术路线

项目系统推进“一带一路”共建国家应急安全与公共卫生知识工程建设，采用三级递进式技术路径实现精准多语种健康科普服务：

跨域知识整合：构建多源异构知识融合体系，整合英、阿、法、葡、俄、西等主流语种的医学文献、权威临床指南及区域诊疗案例，深度解析循证医学证据链的时空关联，打造动态更新的跨域医学知识中枢。

文化语境重构：创新构建文化敏感性标注框架，融合宗教信仰、民俗传统、价值观等社会文化差异，实现健康科普语料的场景化语义标注与跨文化表达适配。

地缘决策优化：细化分国别专属知识库开发，基于流行病学特征、医疗资源均衡性、语言使用偏好等多维分析，针对高发病种（如东南亚摩托车伤、中东战地爆炸伤、亚洲百日咳等）优化本土化处置方案。

3. 核心技术

多语言医学语义解析：基于迁移学习与领域对抗训练，提升医学实体识别能力（如传染病类型、创伤部位），实现复杂术语跨语言精准解析，构建由“达医晓护”专家团队核准的科学信源依赖多语种创伤与传染病科普语料库。

多模态数据交互：支持语音与文本输入，融合检索增强生成技术，动态生成咨询方案，提供分步式创伤应急及传染病防控指导。嵌入医学专家审核机制，接入跨语言、跨学科专家创建的专业语料库，对 AI 生成内容进行随机科学性与合规性校验，防止误导性科普。

边缘智能推理：针对知识不均衡问题，从数字公平视角出发，利用知识蒸馏技术压缩模型，实现轻量化部署，满足资源欠发达地区的科普需求，并通过本地交互数据触发模型微调，确保持续优化。

（三）场景优势

1. 示范性

本项目已在上海消防医院、上海市同济医院等多家医疗机构开展多模态交互试验，率先实现了 AI 大语言模型与医疗场景的深度融合，打造了覆盖“挂号—处置—康复”的全链条智能服务闭环，显著提升门急诊服务的附加值及医患跨语言协同决策效率，构建了面向国内外公众的智慧健康科普平台。同时，项目在“达

医晓护”留学生团队中广泛试用，邀请外籍人士参与内测，验证了模型的可靠性。通过智能终端学习，用户对创伤及传染病防控知识的知晓率大幅提升，推动多语种科普服务普惠化。



图 2 场景方案已接入在上海消防医院、上海市同济医院等医院

2. 创新性

在专业语料库建设上，针对“一带一路”国家语言碎片化难题，整合循证医学指南、区域流行病学数据及多语种临床病例，构建了首个“创伤-传染病”跨领域、多语种知识图谱，形成覆盖英、阿、法、葡、俄、西六大主流语种的创伤应急与传染病科普大模型语料库，获得上海市首批数据（产品）知识产权，并基于迁移学习等技术实现了 30 余种语言的有限交互支持，为“一带一路”共建国家的应急与公共卫生知识共享提供了标准化基础。

在文化适应性运营上，本项目正在细化“一国一策”的智能科普服务，充分考虑不同国家的疾病谱特征、自然条件、宗教信仰、行为习惯等社会文化要素，梳理分国别的创伤应急和传染病防控科普语料包，支持实时更新 WHO 指南、区域流行病数据及突发事件应急信息，发动“一带一路”共建国家公众参与内容生产与纠错，形成“用户贡献-专家审核-模型优化”的迭代路径，实现从“单向输出”到“本土共生”的范式升级。

在医防融合协同开发机制上，构建公众、医疗机构、科研院所、AI 企业多方协同参与的科普大语言模型开发网络，形成“基础研究-场景验证-产品落地”闭环合作生态，并根据公众实时咨询数据动态调整科普资源配置优先级，并融合

本土化应急与公共卫生场景，通过强化学习提升模型的动态响应与环境自适应能力。

3. 可复制性

一是项目具备低成本、灵活部署的架构优势。融合创伤与传染病多语种医学知识图谱，打破领域壁垒与语言障碍，采用标准化 API 接口和轻量化边缘模块，实现快速适配各类终端设备，满足健康教育欠发达及医疗资源不均地区公众科普需求，以“轻量级部署+高兼容性交互”推动“一带一路”共建国家健康科普资源的数字化公平。

二是项目文化穿透力强。围绕“技术—文化动态耦合”，通过本土化叙事重构和习俗兼容设计，将科学知识无缝融入区域健康认知体系。未来将持续完善符合本土文化的交互逻辑和国别知识表达体系，实现从“通用科普”向“语境化智识服务”的跃迁，提升分众化精准科普能力，促进共建国家医疗卫生标准化建设。

三是协作生态体系高度扩展。通过开放式多元协作网络和“产学研用”闭环生态，整合分散的医疗健康数据、知识及技术资源，转化为持续迭代的智能知识库。并提供模块化协作接口与适配标准，为“一带一路”共建国家健康治理构建可快速复制与推广的技术基础。

案例 4 基于毫米波多模态传感的睡眠与心肺疾病监测技术

上海希卡立科技有限公司

本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

（一）场景概述

随着后疫情时代的到来，大健康时代全面开启，中国社会老龄化进程持续加快，我国在心肺疾病的早期监测与诊断上面临严峻考验。我国睡眠呼吸暂停患者总数已超过 1 亿人，其中中重度患者超过 6500 万人，同时我国肺癌致死人数占全部癌症死亡总数的 27.3%。此外，根据 2023 年发布的《中国心血管健康与疾病报告》，心血管疾病已成为中国居民的首要死亡原因，患者人数约为 3.3 亿，疾病负担持续加重。

然而，当前主流的心肺疾病监测技术在舒适性、连续性、便捷性等方面仍存在较大局限。例如，家用心电图设备通常需手握电极或贴附于身体，操作复杂，难以实现长时间连续监测，更是难以捕捉如房颤、早搏等偶发性心律异常。动态心电图（Holter）虽具备长程监测能力，但接触式佩戴方式影响日常生活，如无法洗浴、佩戴不适等，且患者多数在症状明显时才前往医院检查，易错过最佳干预窗口。基于压电效应的呼吸带也存在因姿态变化导致测量结果波动大的问题，且需频繁充电。近年来普及的智能手表、手环虽可测量心率、血氧等参数，但采集频率有限，难以捕捉偶发事件，对老年人而言也存在使用门槛高、佩戴依从性差等问题。

在此背景下，亟需一种兼具医疗级准确性与长期舒适性的心肺疾病监测与诊断技术，用于提升早期检出率，实现主动健康干预，具有显著的现实意义和临床价值。

本项目聚焦睡眠呼吸及相关心肺疾病的监测与主动健康管理需求，提出高灵敏度、高精度压力与毫米波多模态传感系统架构，创新性地设计高隔离收发共口径毫米波天线，突破多源数据融合下的生命体征高准确性提取技术，构建生命体征与睡眠呼吸/心肺疾病之间的映射关系及智能识别算法。在此基础上，开展医工协同的临床验证，重点实现对阻塞型、中枢型、低通气等常见睡眠呼吸疾病类型的识别与监测，同时拓展至慢阻肺、呼吸过缓、心动过速、房颤、早搏、心律不齐等相关心肺疾病的筛查与评估，最终形成一套面向睡眠呼吸障碍与心肺并发症的高精度压力与毫米波多模态传感技术解决方案。



图 3 硬件设备图

（二）技术方案

1. 高精度压力传感与毫米波生物雷达多模态融合监测系统

高精度压力传感与毫米波生物雷达多模态融合监测系统为突破单一传感技术在灵敏度、准确率与连续性方面的局限，构建高精度心肺生理信号获取体系，提出基于高精度压力传感与毫米波生物雷达的多模态融合系统技术路径。具体包括四方面。第一，构建融合架构，研究高精度压力传感器与毫米波雷达的系统集成方案，涵盖传感材料选择、传感器结构尺寸设计、雷达芯片与传感器的耦合方式、信号放大电路与通信接口设计等。第二，研究射频（RF）、中频（IF）与基带（Baseband）之间的全链路时钟同步机制，保障系统相干性，提升生命体征信号采集精度。第三，设计直流耦合中频电路，提出基于数字直流调谐的自适应偏差调节技术，实现全频段响应，规避传统交流耦合电路引入的非线性失真问题。第四，研究提升系统线性度与灵敏度的技术方案，包括射频端自干扰抵消技术和中频端数字时域滤波方法，有效抑制收发耦合干扰。

2. 全双工收发高隔离共口径生物雷达融合天线技术

为实现高精度融合传感系统的小型化设计，提出高隔离共口径天线方案，支持毫米波雷达与压力传感的协同工作。关键内容包括以下三方面。第一，明确近距生物雷达共口径天线的性能指标，系统分析天线极化方式、带宽需求及其与雷达探测精度的关系，优化天线收发极化配置；第二，开发空域自干扰抑制技术，提升全双工通信隔离性能，设计近场抵消结构、耦合抑制环路、混合去耦单元及新型模式激励机制，降低系统间干扰；第三，研究带宽拓展方案，通过引入寄生结构、多模态共用机制等手段，扩大天线的工作带宽和隔离度带宽范围，满足高精度生物雷达系统的带宽要求，提升体征监测性能。

3. 生命体征节律信息与医疗级健康参数提取技术

基于融合传感数据，开展高保真、多尺度生命体征信号恢复与节律参数提取技术研究。重点包括以下四部分。第一，建立多模态散射建模方法，构建生命体征探测的多点散射电磁模型，提供解调相位信息的理论基础；第二，针对低信噪比环境，开发高线性度相位解调算法与直流偏差校准方法，实现微米级至毫米级跨尺度信号的高保真还原；第三，研究基于节律特征的呼吸与心跳信号分离方法，获取自然呼吸条件下的多普勒心动图；第四，提取关键医疗级健康参数指标，包括呼吸频率、幅度、呼吸间期（RRI）、吸气/呼气持续时间（ID/ED），以及心率变异性（HRV）、RR 间期、心房收缩时间（STI）、射血前期（PEP）、左心室射血时间（LVET）等，支撑医学级别的临床分析与判读。

4. 睡眠呼吸及心肺疾病的智能识别方法

在获取多源节律信号与健康参数的基础上，构建融合模型，实现对睡眠呼吸及其相关心肺并发症的智能识别与风险筛查。具体开展了三方面工作。第一，构建统一数据采集与标注标准，基于高精度压力传感器、生物雷达设备及医疗级 PSG（多导睡眠图）采集系统，长期同步采集生命体征数据，形成高质量样本数据集；第二，结合临床医生的专业标注及知识图谱，开展多模态数据清洗与标准化处理，构建标签完备的数据集，用于疾病模型训练；第三，采用卷积神经网络（CNN）对前一晚睡眠数据进行模式识别，实现对阻塞型、中枢型、低通气型等睡眠呼吸障碍类型的判别；结合循环神经网络（RNN）处理长时程数据，实现对房颤、早搏、心律不齐等心肺并发症的推理与风险预测，提升识别的准确性与临床适应性。

5. 建设集成化小型高精度压力/生物雷达融合样机研制与临床验证

构建全集成小型化睡眠与心肺监测系统样机，涵盖高精度压力传感材料、压电转化电路、共口径天线、射频前端、中频/基带模块、电源管理系统与嵌入式微控制器。

在上述研究成果基础上，联合临床医院开展医工融合验证，围绕阻塞型、中枢型、低通气型等常见睡眠呼吸障碍，以及慢阻肺、心律失常等相关心肺慢病的真实场景，开展应用测试与效果评估。最终形成一套具备工程化条件、适用于实际诊疗场景的多模态高精度睡眠与心肺疾病监测技术方案，为远程医疗与主动健康管理提供技术支撑。



图 4 睡眠监测仪运行通知图

（三）场景优势

1. 示范性

目前该场景已经在上海交通大学医学院附属瑞金医院、仁济医院、新华医院、第六人民医院、第九人民医院、儿童医学中心等医院落地应用，同时依托福寿康智慧医疗养老服务（上海）有限公司、太保科技有限公司，上海闵行区永德敬老院、天津小橙集团有限公司、厦门立林科技有限公司等单位落地应用。

整体上，本项目在行业内具有国际领先水平。团队自主研发的异质集成生物雷达芯片实现了核心器件的国产化替代；已研发的创新产品 X2 已通过临床验证，医疗级精度获得权威认可，成功筛查出房颤、睡眠呼吸暂停等多种疾病，为无感监测技术的临床应用树立了标杆案例。

2. 创新性

该场景从基础理论（揭示多普勒效应本质）、核心器件（异质集成芯片）到临床诊断（AI 医疗模型）形成全链条创新，构建了非接触式生命体征监测技术的标杆性示范，首创的微米级生命体征探测理论体系解决了传统雷达在复杂体征监测中的技术瓶颈，为行业提供了全新的技术路线。

微米级超高精度生命体征探测的理论模型与分析方法：针对电磁波多点散射、微动体征探测精度不足等难题，原创性提出电磁波射线追踪模型、非线性相位调制谐波理论及跨尺度高线性度相位解调方法，首次揭示多普勒相位调制的数学本质与相干解调理论极限，为高精度生物雷达设计提供全新理论框架，突破传统雷达在复杂生命体征监测中的技术瓶颈。

高性能异质集成生物雷达芯片设计方法：攻克近距探测中收发隔离与时空频

干扰难题，创新研发宽带高隔离集成天线、全双工射频前端及自适应中频调节系统，构建高灵敏度生物医学雷达传感架构；首创异质异构集成芯片设计方法，融合多工艺优势，打破单一半导体技术限制，实现国产化自主可控的高性能小型化生物雷达芯片，技术指标国际领先。

基于医疗级生命体征指标的心肺疾病非接触监测诊断：开发改进型微分—交叉相乘相位解调技术，消除多波长相位模糊，实现微米级生命体征节律波形精准提取；提出毫米波多普勒心动图（DCG）方法，其心肺参数精度媲美接触式心电图；基于医学标注临床数据库与预训练-微调分层诊断模型，实现睡眠呼吸暂停、房颤等疾病的非接触智能诊断，推动医工交叉应用落地。

3. 可复制性

该场景的可复制性主要体现在三个方面：一是技术体系具有模块化特征，包括标准化的信号处理算法库、可扩展的 AI 诊断平台和通用型硬件架构，可快速适配不同应用场景；二是已建立完整的产学研医协同创新机制，与多家医疗机构合作构建的标注数据库和验证平台，为技术迭代和产品优化提供了持续支撑；三是核心组件可灵活配置到智能家居、养老监护等多个领域，目前已形成从家庭到机构的完整产品矩阵。通过技术标准化、产品系列化和服务云端化的策略，该场景成果在医疗健康、智慧养老等多个行业快速复制推广，展现出广阔的市场前景和社会价值。

案例 5 基层医疗机构解决方案

安徽太昊智能科技有限公司

本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

（一）场景概述

随着基层医疗服务需求的持续攀升，社区医院、乡镇卫生院及村卫生室普遍面临人员紧缺的问题，医护力量配置难以满足不断增长的就诊量和服务范围。尤其在突发公共卫生事件或季节性疾病高发时期，复合型、多学科背景人才的缺乏愈加凸显。在慢性病管理与康复治疗等专科服务方面，基层医疗机构专业能力支撑明显不足，难以覆盖居民多样化的健康管理需求。

此外，传统基层医疗就诊流程普遍繁琐，从挂号、候诊到检查、取药各环节缺乏信息化整合，导致流程冗长、效率低下。由于基层机构内部科室间、上下级医疗机构之间信息共享能力有限，重复检查与诊断延误现象频发，既增加患者负担，也制约了诊疗效率与协同水平。

在健康管理方面，基层机构多依赖健康讲座和常规体检等传统手段，缺乏个性化、精细化的服务能力，难以适应居民对主动健康管理、长期随访服务的日益增长的需求。

为缓解上述难题，以 AI 健康管理机器人为主的基层医疗机构解决方案成为基层医疗数字化转型的关键突破口。通过该机器人辅助完成智能导诊、患者自助登记等流程，不仅大幅缩短排队等候时间，也推动就诊流程的标准化与便捷化。借助与院内信息系统的对接，患者历史信息可实时调用，医生决策效率与精准度显著提升。同时，该技术有望打破院内信息孤岛，实现院内外、上下级机构间的信息互联互通与业务协同，减少资源浪费，提升服务整体效率。

在健康管理环节，AI 机器人可基于多维健康数据开展智能分析，为居民生成个性化的管理方案，涵盖疾病预防、康复计划、营养运动建议等内容，并借助互联网与移动终端，将服务延伸至边远地区与特殊人群，实现基层健康服务的均衡覆盖。更为重要的是，AI 健康管理机器人在基层落地应用，有望成为智能化服务的示范标杆，助力推动基层医疗数字化建设路径探索，带动相关产业链如智能设备、健康数据算法、行业软件的同步发展，形成产业集聚效应。

同时，项目依托 AI 能力构建远程会诊、双向转诊等机制，推动优质医疗资源下沉基层，不仅提升基层医疗机构的诊疗能力和服务吸引力，也有助于落实“首诊在基层”的分级诊疗制度，构建更加科学有序的医疗服务体系。

(二) 技术方案

1. 技术架构



图 5 技术架构

(1) **硬件层**：由检测设备（如 AI 健康管理器、血糖仪等）、通信模块（4G、Wi-Fi 等）和处理单元（CPU、GPU 等）构成，主要负责健康数据的采集、传输与初步处理。

(2) **接口层**：涵盖设备互联接口（如数据 API、设备控制接口）和用户操作入口（如智能采集端、用户端），用于打通设备连接通路，为不同用户角色提供便捷的操作入口。

(3) 数据层：汇聚血压、血糖等多类体征指标数据，构建统一数据基础，为后续分析处理和模型训练提供支撑。

(4) 安全层：通过传输加密、存储加密、身份认证、权限控制、数据脱敏和隐私政策等措施，保障用户数据的安全性和隐私性。

(5) 算法层：构建健康大数据分析与疾病风险预测等模型，利用人工智能技术深度挖掘数据价值，为健康管理提供智能支撑。

(6) 应用层：在底层系统支撑下，实现健康监测、评估、干预、远程问诊与智能交互等功能，全面满足居民日益增长的健康管理需求。

2. 技术路线

AI 健康管理机器人通过外围智能设备与用户系统采集多源健康数据,包括体征指标和病历信息等。首先,系统对采集数据进行清洗与预处理,去除噪声、填补缺失值,保障数据的准确性和可用性。其次,运用机器学习与深度学习算法,基于大规模健康数据构建疾病预测、风险评估等智能模型,赋予机器人分析判断能力。再次,借助自然语言处理技术,实现人机交互,使机器人能够理解用户语言指令,提供准确反馈。同时融合知识图谱,整合医学知识体系,辅助生成诊断建议与干预方案。在应用中,系统可持续监控用户健康状态,结合历史数据与实时数据进行动态分析,形成并更新个性化健康管理计划,提升服务的连续性与科学性。

3. 核心技术

(1) 多模态数据处理与融合技术：支持处理来自不同设备和渠道的异构数据,如检测记录、病例信息、图像信号等,提升数据整合能力。

(2) 大模型技术：基于大规模预训练语言模型(LLM),对医疗语料与健康数据进行深度训练,构建高精度预测与识别模型。

(3) 自然语言处理技术：融合语言、图像、音频等多模态信息,提升语义理解与生成能力,实现更加自然、准确的人机交互体验。

(4) 机器学习与数据挖掘技术：通过对大规模健康数据进行特征提取、规律识别与模式建模,为智能健康管理提供决策支撑。

(5) 知识图谱技术：构建融合用户健康数据、疾病信息、药物知识与医学文献的多模态知识图谱,支撑个性化健康管理方案的自动生成与精准推理。

（三）场景优势

1. 示范性

太昊智能打造的 AI 健康管理机器人“太昊康宝宝”，构建了以“AI+健康”为核心驱动、覆盖多个场景的智能健康管理解决方案，形成了具有闭环特征、适配多元人群的服务模式，具备显著的示范价值。

依托人工智能技术，方案围绕“检测—评估—方案—执行—反馈”五步闭环流程，实现了从健康数据采集到个性化干预建议再到动态反馈优化的全过程管理，突破了传统健康服务在时间与空间上的局限，初步构建起线上线下一体化联动的智能健康服务体系。

在家庭场景中，康宝宝可部署于家庭终端，提供血压、血糖等体征的自助检测服务，并具备远程问诊、用药提醒等功能，为家庭成员特别是老年人、慢病患者提供便捷、连续的居家健康管理支持。

在社区场景中，太昊智能与基层医疗机构开展深度合作，方案作为便民健康终端部署在社区服务中心等基层医疗机构，联通区域信息系统，实现居民健康数据的实时上传与共享，协助基层医生进行初步筛查与健康干预，提升社区公共卫生服务的数字化、智能化水平。

除家庭和社区外，该产品还广泛应用于企业、校园、康养机构等场所。目前该模式已在安徽芜湖开展试点，实践表明，AI 健康管理机器人作为新一代健康服务基础设施，正在成为基层健康管理、家庭健康守护和公共卫生体系的重要补充，有望为“人工智能+健康”场景的普及落地提供可行样板。

2. 创新性

该方案创新采用数据驱动的智能决策机制。依托 AI 健康管理大模型与健康大数据平台，产品实现了用户体征数据的实时采集、分析与预警。通过算法层的处理能力，如疾病风险预测模型和健康知识图谱，系统可自动生成个性化健康方案，并通过微信、App 等多终端同步推送给用户和医疗机构。该数据驱动机制显著提升了健康管理的精准性，同时为政府与医疗机构提供智能化决策支持，助力“健康中国”战略在“一带一路”地区的有效落地。

3. 可复制性

本方案充分考虑跨区域协同的医疗资源共享需求。针对“一带一路”沿线国家医疗资源分布不均的问题，太昊智能通过互联网医疗服务模块，整合国内三甲医院医生资源，提供 7×24 小时在线问诊、就医绿通、药品配送等服务。同时，结合多语言交互功能（如智能语音大模型），打破语言壁垒，使偏远地区居民也能享受优质医疗资源，推动跨境医疗协作。

此外，面向“一带一路”国家，太昊智能将采取“区域定制+伙伴协同”的策略。针对不同国家和地区的健康需求，太昊智能在功能模块上进行差异化配置。例如，面向东南亚市场，系统重点强化热带疾病筛查能力；针对中东区域，则增加多语言支持功能，以适应多语种环境下的服务场景。同时，公司已与国药集团、京东健康等企业建立合作关系，依托其成熟的渠道资源，加快国际市场的拓展布局。目前，太昊智能拟布局欧美和东南亚等地区的运营中心，初步形成全球化服务节点网络。未来三年，公司计划在“一带一路”沿线布局 100 个以上区域运营中心，服务覆盖人群过亿。与此同时，公司将持续优化 AI 算法性能，深化与沿线国家在技术层面的协作，推动“人工智能+健康”模式成为“一带一路”数字经济建设的重要示范。

案例 6 行者 AI 音乐教育平台申报单位

成都潜在人工智能科技有限公司

本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

（一）场景概述

在国务院、教育部等美育政策指导要求下，以及当前美育市场的海量需求下，传统美育教育面临的创意缺失、编创环节纸上谈兵的困境。在智能时代中，可利用 AIGC “文、声、图” 等多模态生成技术，打造基于 AIGC 的智慧美育平台成果，从“言、听、视” 整体赋能实现音乐创意生成、全流程编创、个性化互动数学等教育目标。同时，也可将 AIGC 技术扩展应用于大视听产业等领域，克服音乐和美术创作过程中面临的“灵感枯竭” 难题。

因此，本项目以音乐教育为切入点，通过人工智能技术赋能教学产品和旋律编创，辅助教师开发学生音乐创作思维，涵盖 AI 音乐创作全环节，有效解决学生在音乐学习“纸上谈兵” 的难题，对于素质教育建设具有重要的意义。



图 6 行者 AI 音乐教育平台页面

（二）技术方案

行者 AI 面向智慧教育场景切实需求为教育数字化提供赋能支持，利用前沿模型，研究人工智能在音乐教育领域中的应用功能。在音乐领域，通过对 NLP、音乐信息提取等技术，结合诗歌创作和基础教育师生的行为逻辑对模型进行不断优化和改进。从交互式教学需求出发，开发智慧教育创新应用—AI 音乐教育平台。

产品的技术方案及核心技术有三方面：一是提出了一种基于序列神经网络的

替换词、押韵词（单押、双押、多押等模式）引导智能歌词生成方法，可以进行优选替换，生成一系列候选押韵词。二是基于双向 LSTM、Transformer 等深度学习算法，从海量样本中学习旋律曲线，并结合和声输入、乐理输入等实现 AI 创作旋律。三是基于 Shallow Diffusion 声音合成技术，结合旋律、人声数据集训练，实现 AI 人声演唱系统，并支持 AIGC 音乐风格不低于 20 种，含流行、中国风等。

（三）场景优势

1. 示范性

该场景方案为师生提供了一种高效率、智能化、个性化、趣味交互性学习新模式，帮助师生实现创新创作交互式教学。经过市场验证，平台深受广大师生和教育机构的认可，在四川省市场占有率超过 80%，全国市场占有率超过 30%。

该产品拥有自主知识产权，获得授权发明专利 9 项、软件著作权 4 项取得查新报告 1 项，通过查新点查新，未见相同的文献报道，证实了该产品技术新颖性。同时方案经过第三方成果评价，专家一致认为该项目成果处于国内领先、国际先进水平。该产品目前已投放市场，受到用户好评，在市场同类产品中具有较强竞争力。此外，平台已经获得政府及行业奖项数十项，并得到央视等媒体的多次专访和四川省科技厅首批人工智能纵向项目的重点支持。公司 2022 年成功入选智慧教育产品和服务供应商名录（第一批），2023 年入选“成都人工智能百强产品”。

此外，行者 AI 与学校共同打造的配套智能课程和基于课程的相关论文获得多项荣誉，如与成都七中育才学校基于平台共同打造的案例获 Intel2023 年度全国 AI 教学创新案例大赛一等奖、2024 年度全国 AI 教学创新案例大赛一等奖、与成都石室天府中学附属小学等学校基于平台共同打造的配套课程曾荣获省级一等奖、入围教育部精品示范课等。

2. 创新性

平台创新聚焦于“AI+音乐+教育”技术领域，提供 AI 作词、AI 作曲、AI 演唱、AI 评测等新颖功能。利用 AI 技术实现高效率、智能化、个性化、趣味交互性学习新模式，帮助师生实现创新创作交互式教学、个性化发展，可扩展应用于学生心理健康建设、特殊教育音乐治疗、乡村音乐教育振兴等。

同时，平台创新打造 AI 诗歌作曲功能，以唐诗宋词为诗歌原型，打造“AI+音乐+国学”多元融合创作流程，借助 AI 自动演唱、AI 编曲、AI 混音，实现零门槛古诗主题音乐创作，发扬国学经典，传承中国传统文化。

3. 可复制性

目前，平台已在北京、上海、广东、四川、云南、重庆、贵州、青海等省市广泛应用，成功落地成都石室天府中学附属小学、上海外国语大学松江外国语学校、成都七中育才学校华兴分校、成都七中育才水井坊校区等知名中小学校，在音乐教育领域具有极强的可复制性。

案例 7 泽霖 AI 教育中台——“考考”大模型与“零代码”

构建全场景智慧教育新生态

成都泽霖时代人工智能科技有限公司

本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

（一）场景概述

目前，教育资源分配不均成为传统教学模式的主要局限。优质师资和先进设备主要集中在一线城市或重点学校，而偏远地区学校则缺乏基础信息化设施，学生难以接触新兴领域知识，导致数字鸿沟加剧。此外，标准化教学无法满足学生个性化需求，忽视了学生学习进度和兴趣差异，以教师为中心的传统课堂限制了学生创造力和批判性思维的培养。评价体系同样存在滞后问题，过分依赖考试成绩，缺乏对学习过程、实践能力和创新思维的动态跟踪，导致教师难以全面评估学生综合素养，学生的真实能力被简化为分数。

人工智能与教育结合的核心目标在于系统化构建生成式 AI 知识体系，主要有以下四方面。其一，通过分级课程（基础认知—技术原理—行业应用）降低学习门槛，并在不同教育阶段实施针对性教学。其二，注重多维能力融合培养，包括想象力、创造力、动手能力和团队协作，通过 AI 工具和项目制学习推动学生能力发展。其三，通过设计贴近生活的场景化实践，激发学生的学习内驱力，让学生从技术使用者转变为问题解决者。其四，将 AI 技术用于赋能学科学习增效，包括个性化学习路径、智能辅导工具和跨学科融合，通过产教融合深化路径，如共建产业学院、双师型教学和成果双向转化，形成教学研究应用的闭环，以促进校企合作和人才培养。

泽霖 AI 教育平台是一款面向教育体系人工智能教学的综合性平台，以“考考”大模型、AI 智能教学新场景、数字人虚拟互动课程、AI 校园等为核心特色，结合大模型技术降低教学门槛，助力师生 AI 核心素养的培养，让 AI 课堂更高效、便捷、有趣，为教师赋能，助力教学革新。

（二）技术方案

1. 核心技术

大模型驱动的智能教育框架：“考考”大模型是泽霖 AI 教育中台的核心算法引擎，累计分析了超 5000 万道题库，知识图谱基本涵盖所有已知教学领域，使其构建起对教育知识的深度认知体系，同时在数据治理方面达到了极高水平，实现学情分析、一键出题、个性化习题推荐及自动批改。场景在高度适配教育场景的基础上，预设符合教学场景的提示词框架（如教案设计习题生成等），教师

无需深度学习提示词技巧，可直接调取模板并微调，大幅降低技术使用门槛。此外，场景实现动态知识增强。通过持续输入教材、习题库等教育语料，优化模型的知识覆盖度，尤其在跨学科内容（如语文古诗文、数学逻辑训练）中表现显著。

混合云架构与边缘计算：一是本地化隐私保护，敏感数据（如学生行为记录、教学课件）通过本地化部署设备在校园本地处理，非敏感任务（如模型训练）上云，平衡成本与安全。二是采用高并发支持采用多云协同技术，训练端使用华为云 Ascend 芯片，推理端部署本地服务器，支持千人级并发实训，延迟控制在 200ms 以内。

安全与合规机制：内置教育专属敏感词库，实时拦截暴力、恐怖等不良内容，并通过教师监管模式限制 AI 功能滥用，符合《互联网信息服务深度合成管理规定》。数据合规采用国密 SM4 加密传输和 GDPR 标准存储隔离，确保学生隐私数据不出校园。建立大模型内容审核机制、互联网规范审核机制等，学校自定义安全策略。

多模态交互技术：3D 数字人虚拟课堂结合数字人与虚拟仿真环境，提供沉浸式教学课堂；智能语音与图像识别集成语音评测、作业图像批改等功能，支持对学生发音、代码质量的自动化评估。

2. 核心功能

教学辅助与资源生成：在教学环节中，系统通过智能备课功能支持一键生成教学设计、课件、习题及多媒体素材（如图文、3D 模型），教师备课效率可提升 50% 以上。同时，依托动态课程库，覆盖 AI 校内课程（跨学科融合）、校外课程（机器人/机器学习）及竞赛课程（算法与工程思维训练），满足分层化、多样化的教学需求。平台还建设 AI 校园知识库，以教学与生活等多元场景为核心，完善校园应用场景生态，推动智慧校园的全方位智能化升级。

全链条实训工具：在实践教学方面，平台提供低代码开发环境，支持拖拽式智能体编排工具，帮助学生快速搭建应用，并集成 RAG 增强检索功能以优化实训效果。同时，配置模型训练沙箱，支持分布式训练与轻量化微调，显存占用减少约 30%，有效适配学校有限算力条件，为学生提供高效、可负担的实验环境。

课程体系搭建：在课程建设层面，平台针对教师和学生分别设计了差异化课程体系。教师课程聚焦 AI 在教学与学校管理中的应用，帮助教师学习如何利用 AI 工具优化教学流程，提高行政管理效率，促进科研创新并丰富课堂表现形式。学生课程则针对不同年龄阶段开展 AI 通识课程与专业课程体系建设，逐步提升学生的知识结构和综合能力，助力其全面成长。

量化评价与认证体系：在学习成果评价方面，平台构建多维度的量化评估体系，通过代码质量分析、任务完成度和创新性评分，生成学习能力雷达图，直观展示学生的学习进展与能力结构。同时，依托与工信部教育考试中心的合作，建

立权威认证体系，制定技能标准，支持学生申报《AI 智能体应用师》资格，实现学习与就业的有效衔接。

生态协同与成果转化：在生态协同层面，平台打造校园 AI 应用市场，支持学生作品直接上架交易，推动实践成果的落地转化。与此同时，通过产学研联动，与高校（如华中科技大学）合作共建实验室，推动科研成果孵化，促进专利申请与商业化项目的形成，进一步实现教育、科研与产业的深度融合。

（三）场景优势

1. 示范性

场景已在多领域标杆案例得到验证。基础教育方面，已在上海宝山实验小学试点；职业教育方面，郑州城市职业学院、机械工业苏州高级技工学校等建立 AI 教培基地。在验证下，方案形成全链条教育生态闭环。智能备课系统动态生成分层习题与教案，为建发集团企业培训节省 60%课程开发时间。AI 校园管理在京港地铁培训中心落地智能排课、设备巡检等场景，运维成本降低 35%。实现零代码赋能实践创新，学生无需编程基础即可创建智能体，如湖南省肿瘤医院开发的“AI 产业创新场景应用案例证书”，准确率超 97%；模型训练沙箱集成 LoRA 等轻量化训练技术。

在此基础上，公司与工信部联合制定《AI 智能体应用师》职业证书，主导行业标准建设，获得工信部 AI 产业创新场景应用案例证书。此外，公司获得微软 Partner 认证、2023 黑马 AI 创新大赛 30 强企业等认证和荣誉，并成为钉钉和百度飞桨等大企业的人工智能服务商。



图 7 产品落地上海市宝山实验小学

2. 创新性

泽霖 AI 教育中台通过“技术场景生态”三位一体创新，打破传统教育工具功能单一、产学割裂的桎梏，构建了从知识传授到价值创造的全周期教育体系。

其核心优势不仅在于技术领先性，更在于深度链接教育需求与产业资源，真正实现“教有所用、学有所成、创有所获”。在 AI 与教育深度融合的时代浪潮下，泽霖正以扎实的技术沉淀与生态布局，持续引领行业变革。

一是教育垂直大模型深度赋能：“考考”大模型作为中台核心引擎，基于超 5000 万道题库训练形成全学科知识图谱，覆盖 K12 至职业教育全阶段教学内容。在学科知识问答评测中准确率达 92%，远超行业约 75% 的平均水平。“考考”大模型通过动态知识蒸馏技术，模型体积缩小 60%，可在普通教室终端流畅运行。此外模型还内置 2000+ 教育敏感词库，自动过滤不当内容，误拦截率低于 0.3%。

二是多模态交互技术革新体验：3D 数字人教学支持表情、动作实时捕捉，已应用于华中科技大学 MBA《AI 商业应用》课程。智能语音辅助集成声纹识别技术，实现课堂发言自动转录与知识点关联，助力教师精准评估学习盲区。

3. 可复制性

本场景在“一带一路”国家具有较强的可复制性。一方面，平台依托国产大模型和混合云架构，可在低成本、低算力环境下快速部署，满足发展中国家教育信息化的基础条件；另一方面，场景面向教育行业普适化需求，后续可根据不同国家课程标准与语言环境灵活适配，推动教育公平与人才培养。通过“技术+课程+生态”一体化模式，该方案可为“一带一路”国家提供可推广的智慧教育解决方案，助力缩小数字鸿沟、提升本地人才竞争力。

案例 8 基于希沃教学大模型支持下的教师教学 AI 循证研究与优化

上海视熙智能科技有限公司

本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

（一）场景概述

教师自主教学反思和课堂观察等教研活动，均为促进教师教学能力提升的有效途径。但反观现有教研、教学反思方式和手段，仍存在众多问题。第一，教学反思依赖记忆，缺乏客观的回顾依据，教师专业成长慢；第二，教研人员不足、任务重，教研成果无法惠及更多学校；第三，教学视频缺乏深入分析，无可用的结构化数据进行深入分析。

希沃课堂智能反馈系统提供一系列教学优化场景应用，旨在满足不同教育场景下的需求：一是教学反馈与分析，系统通过 AI 技术对课堂教学进行实时分析，生成详细的教学反馈报告，帮助教师优化教学策略；二是教师专业成长支持，利用全方位、细粒度的课堂教学分析，促进教师专业成长，提供教学反思和教研实证化的工具；三是教学管理即时性增强，快速达成教学反馈闭环，使教学管理更加即时和高效；四是教学评估方式优化，伴随式客观教学数据分析，提高教学评估的科学性和个性化程度；五是教师数字素养提升，智能化运行模式简化操作流程，加速教师数字技能的提升。

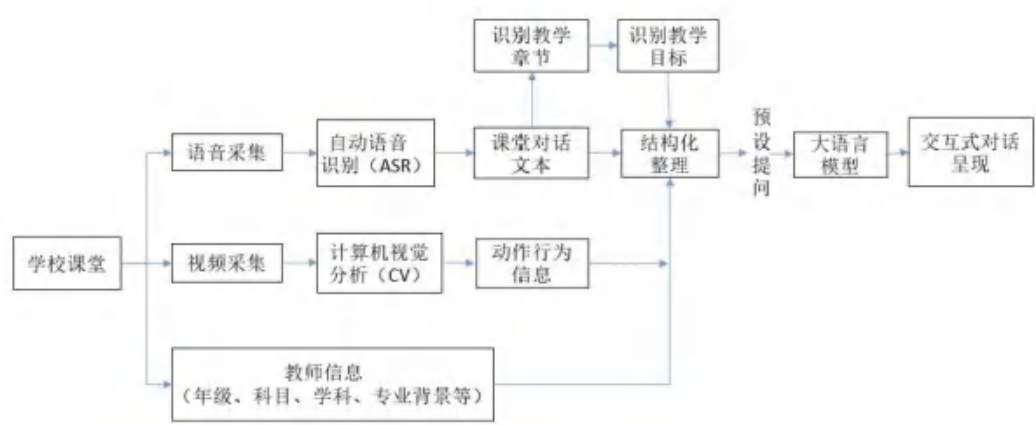


图 8 课堂智能反馈系统的生成式数据分析模型

基于音视频数据的无感采集以及 AI 大模型的文本生成和语言推理的逻辑能力，可以对老师的课堂教学过程进行精准的语音转写以及视频切片，通过切分好的视频片段和转化好的语音文字，老师可以多角度的回顾教学过程，审视和分析

教学活动行为及结果，从而改善优化教学方法，持续提升教学能力和成效。



图 9 希沃课堂智能反馈系统

（二）技术方案

1. 技术架构

希沃课堂智能反馈系统是一款辅助教学反思和循证教研活动的智能教研系统，其基于人工智能技术研发希沃教学大模型——“多模态人工智能课堂分析模型”，通过信息化终端（如交互智能平板、摄像头、拾音器）采集课堂教学场景数据，分析课堂教学中的音视频图像内容，利用 AI 算法对教师教学活动轨迹、教学互动内容、师生姿态及表情、教师提问句式等进行分解、统计、汇总，进而自动生成个性化课堂反馈报告，辅助教育管理者和教育研究人员更直观地感知教师的教学质量和学生的学习情况。

系统采用“基于端云协同、大模型多模态异构推理架构”的技术架构：基于国产芯片智能终端，实现教室远程音频级联与教室全场景清晰的音视频采集，通过希沃教育专属大模型端云协同异构芯片多模态推理，实现教学行为智能分析与生成教学反馈建议；系统采用国产芯片及国密算法、一机一密等方案保障“数据采集—数据传输—数据处理—数据存储—数据销毁全”流程数据生命周期安全；通过国产芯片端侧推流提升音视频本地处理能力，提升教学隐私数据本地安全。

2. 核心技术

本系统依托希沃自研的教学专属大模型。该大模型聚焦教学、教研场景的 AI 应用需求，模型参数规模达到 70 亿，训练语料来自课标、教材、教师用书、论文期刊、数亿课件、教案、评课内容等共 2200 亿 token。为保证课堂的对话能够被完整输入模型，模型所支持的输入长度达到 16Ktoken。

多模态感知理解技术：一是智能语音，自有 30 万小时教学音频数据，经过内部标注人员标注、清洗，用于语音识别算法，涵盖全学科全学段的教学内容。在业务通用 Conformer 模型的基础上，针对中英文混合的场景自研语种识别提升英语识别准确率。二是语义理解：经过内部标注人员对自有的教育领域数据标注、清洗，使用含教材、教案、课件在内多达 2200 亿 token 的数据，用于课堂语义理解相关模型训练。基于希沃教学大模型，结合对新课标内容和教学目标的理解，能对课堂内容自动地做出点评，并给教师用户有效地反馈建议，助力教师个人成长。三是高性能异构计算优化：自研 seewoaisdk 框架，支持全部模型的云、边、端测部署、现已支持 TensorRT、openvino、BM、MNN 等后端框架。

3D 重建技术：具备传统摄影测量重建技术（SFM+MVS）与基于深度神经网络的 NeRF 重建技术；具备摄影测量，vslam，深度估计等多类算法的研发能力。

智能物联技术：通过异构方式支持多环境下设备接入和多协议的设备接入；支持千万级设备连接，百万消息并发稳定性建设能力；通过纯异步方式以及行业主流中间件保证消息的快速流转。

数据安全治理技术：基于国产芯片及国密算法，通过设备认证保障设备的安全和唯一性，设备与云端连接使用 TLS 加密，保证数据的传输安全，核心数据使用高安全性的加密算法进行加密存储。

云边端协同计算：提供边缘以及私有化部署能力，支持设备就近连接。

LLM 技术：LLM 模型的核心是利用自回归或自编码的方式，学习文本数据的潜在规律和知识，从而实现对语言的理解和生成，通过自研 LLM 模型技术，在语料、模型结构、训练方案和部署方面都有自己的特点和优势。

（三）场景优势

1. 示范性

利用全方位、细粒度课堂教学分析，促进教师专业成长：以课堂教学视频为基础，将前沿的人工智能技术与学校课堂教学深度融合，对课堂教学过程数据进行采集和深度挖掘，帮助教师掌握多种维度的课堂教学数据，并为老师提供即时的反馈，进而应用到教学研究中。不仅能够帮助教师提升教学质量，还能实施精准教研，助力教师专业成长。

快速达成教学反馈闭环，增强教学管理即时性：全面详细的教学分析报告帮助教师及教学管理者更加全面了解不同班级学生的特点，从而针对性制定教学方案。教学管理人员可细粒度了解学校整体教学情况，及时发现问题解决问题，建立即时、高效、科学化的教学管理机制。

伴随式客观教学数据分析，优化教学评估方式：利用人工智能技术实现对教

师课堂教学行为全面、快速、全自动地分析，可视化呈现教师授课模式、课堂活跃度、学生行为等信息。同时还对教师和学生发展数据进行深度挖掘，优化教学评估及管理流程。

本场景获得《国家智慧教育平台数据创新应用活动》优秀作品（教育部教育与资源发展中心 中央电化教育馆）、2024 年度科创实践案例（南方周末）、人民匠心技术（人民网）、具有代表性的人工智能大模型教育场景应用案例（中国教育信息化社）。

2. 创新性

课堂反馈模式创新：通过计算机视觉、音频等多模态技术采集课堂数据，并首次将大语言模型应用于课堂反馈，从根本上解决教师难以理解传统课堂观察报告的问题。

课堂数据解释性强：传统的课堂观察报告通常以数据、图表和简单文字描述为主，导致一线教师难以快速理解课堂数据。产品利用大语言模型生成易于理解的解读文本，帮助教师更好地把握课堂现象、教学方法的优缺点以及学生的学习过程，从而做出更有针对性的教学调整。

实现个性化报告生成：通过大语言模型，能够针对每节课的具体情况生成个性化解读文本，帮助教师更好地了解自己在特定课堂环境中的教学表现，为改进教学提供有力支持。

3. 可复制性

2023 年起，共计 85 名教师，8 个学科使用过希沃课堂智能反馈系统，产生 280 节课数据。在职初老师规培期培训和磨课环节，学校应用系统助力规培期教师快速成长，减少原有师训环境模棱两可、无数据等失真现象，实现真实场景还原，缩短培训时长，节省精力，为专家指引提供客观依据，让评课从“经验型”转向“专业型”。

截至 2024 年 12 月底，希沃课堂智能反馈系统在全国范围内持续推广应用，目前已建成 19 个重点应用示范区，覆盖超 2000 所学校，生成超 15 万份课堂智能反馈报告。上海市长宁区适存小学与希沃围绕希沃教学大模型合作上海市级课题研究，每个职初老师都会应用课堂智能反馈系统来进行磨课，助力教师教学能力提升。

从实践成效看，该案例证明了课堂智能反馈系统在不同区域、不同学科均具备良好的适应性和推广价值。其数据驱动的师训模式、客观可量化的课堂反馈机制以及与教育大模型的深度结合，为区域师资培养和课堂教学优化提供了标准化、可复制的解决方案，可为更多地区的教师培训和课堂改革提供可借鉴的经验。

案例 9 基于非植入式脑机接口驱动 AIGC 的多语种数字化慢性疼痛缓解康复系统

上海睿酷医疗科技有限责任公司

（一）场景概述

慢性疼痛是指持续或者反复发作超过 3 个月的疼痛，已被定义为一种独立疾病，不仅严重影响患者生活质量，而且给个人和社会造成沉重的经济负担，是全球性的公共卫生问题。据统计，全球范围内，约 1/5 的患者经历过疼痛，其中慢性疼痛大约占 50%。然而，长期使用药物必然存在一定的风险性和依赖性，且经调查研究数据表明，慢性疼痛患者在通过各种治疗后，对镇痛效果不满意率高达 64%，完全缓解率只有不到 20%。

本应用场景主要面向疼痛领域，针对神经病理性疼痛、慢性继发性骨骼肌肉痛的成人患者，研发适用辅助诊断、日常监测、居家康复等的多语种医疗产品，明显降低慢性疼痛程度。根据患者自主意愿或试验结果，该场景方案在试验中降低至少 30% 患者脑电信号中与疼痛相关的特征指标，且患者在体验后主观反馈疼痛程度明显缓解，形成“测试—评估—AIGC—评估—推荐—治疗—评估”的良性循环。通过技术赋能和资源投入，积极探索出一套适合“一带一路”沿线国家疼痛患病群体的特色治疗方案，助力解决全球 10% 人口面临的慢性疼痛负担，协助解决医疗资源不均衡问题，助力提升共建国家医疗卫生水平。

（二）技术方案

1. 技术架构

基于脑电（EEG）的非侵入式脑机接口（NIBCI）疼痛检测系统架构，构建了从脑电数据采集到疼痛识别的完整技术流程，具体包括以下六个功能层级：

数据输入层：采集与疼痛感知密切相关的脑电信号，构建系统性“疼痛数据库”，为模型训练与验证提供基础数据支持。

数据预处理层：通过带通滤波、降采样及独立成分分析（ICA）等方法，去除伪迹与噪声，提高信号质量，确保后续处理的准确性。

特征提取层：采用小波变换与统计分析方法提取时间域与频域特征，捕捉疼痛状态下脑电信号的显著变化模式。

数据增强层：基于样本扩增与重采样技术，实施时频变换、旋转扰动、样本平衡等操作，增强模型的泛化能力，缓解样本不平衡问题。

分类模型层：综合运用支持向量机（SVM）、K 近邻算法（KNN）、随机森林（RF）等传统机器学习方法，以及卷积神经网络（CNN）、循环神经网络（RNN）等深度学习算法，实现对脑电信号的自动化识别与疼痛状态分类。

结果输出层：输出包括两项核心指标：是否处于疼痛状态（无痛/疼痛）；疼痛程度分级（低疼痛、中度疼痛、高度疼痛），为临床疼痛识别与干预提供决策依据。

2. 技术路线

慢性疼痛缓解康复训练的应用场景干预方案基于虚拟现实（VR）技术，构建一套面向慢性疼痛患者的非药物干预系统，融合感知调节、注意力重构与身心放松等多维干预手段，旨在实现对慢性疼痛的有效缓解。

系统硬件部分采用国产虚拟现实头戴显示设备、系统控制终端及生理数据采集装置。治疗内容包含五大干预模块：疼痛教育、呼吸训练、怀旧体验、专注训练与放松训练。



图 10 场景所需的硬件设备

疼痛教育：通过可视化科普内容向患者普及疼痛的生理与心理机制，纠正错误认知，提升对疼痛的理解与接纳，从而降低其对疼痛的敏感度。

呼吸训练：将引导患者进行节律性、有意识的深呼吸，降低交感神经兴奋程度，有助于舒缓身体不适、缓解焦虑紧张。

怀旧体验：通过唤起积极的情绪记忆，调节患者情绪状态，减少疼痛引发的消极反应。

专注训练：借助 VR 交互环境引导患者将注意力从痛感转移至中性或积极任

务，从而减少与疼痛相关的神经活动。

放松训练：将利用视觉与音频引导患者进入身心放松状态，缓解压力，降低疼痛阈值，减轻由生理和心理因素引发的疼痛感知。

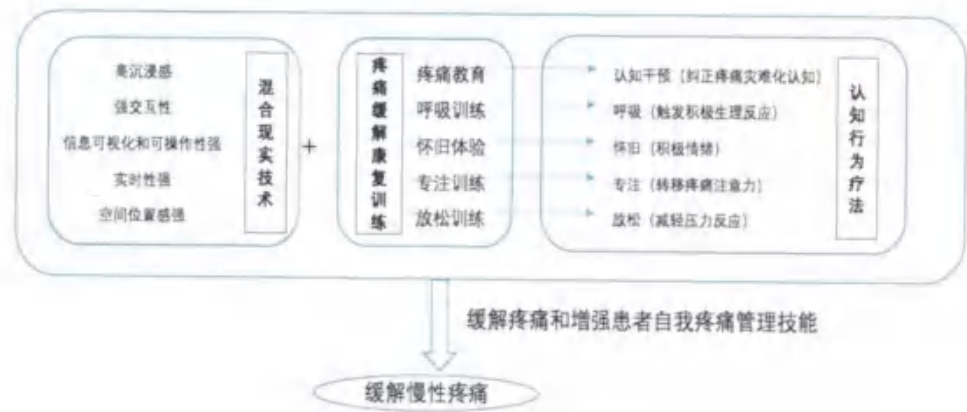


图 11 慢性疼痛缓解康复训练应用场景技术路线图

干预方式为单次治疗，时长约 15 分钟。系统支持实时监测患者反馈，若在治疗过程中出现不适，可随时终止使用。预期效果为显著降低主观疼痛感受强度，同时缓解与疼痛相关的生理压力反应和情绪负担。



图 12 应用场景真实观看画面示例图

3. 核心技术

疼痛客观评估方法与数字化生物标志物（Marke 值）挖掘创新：本项目搭建了疼痛数据采集平台，基于已获取的大量神经病理性疼痛患者的高密度脑电数据，深入挖掘疼痛状态相关的数字化生物标志物（Marke 值）。通过建立疼痛响应模拟机制，将脑电特征信号转化为 0-100 之间的量化评分指标，构建连续化、客观化的疼痛评估体系。该方法打破了传统以主观表述为主的评估局限，提升疼痛识

别的精准性与可重复性，有助于制定更具针对性的干预策略，降低对药物依赖和相关副作用的风险。

疼痛评估多模态大模型(Pain evaluation via Large Modality Model, PLMM):

本项目构建了基于 Transformer 架构的疼痛评估多模态大模型 (PLMM)，融合脑电等多源生理信号，结合统计建模与深度神经网络，推进以辅助诊疗为目标的“数字脑”系统建设。模型具备处理复杂信号与多模输入的能力，显著提升对疼痛感知的识别精度和预测精细度。该模型可实现对患者疼痛状态的动态评测，具备实时响应和临床适配能力，为个性化疼痛干预与康复提供智能化支撑。

(三) 场景优势

1. 示范性

填补行业空白: 目前该场景解决方案与同济大学附属同济医院为主导的上海市三甲医院联合进行临床试验，收集患者数据，优化系统算法和功能。作为国内首个获II类医疗器械注册证的“慢性疼痛康复训练软件”，打破了慢性疼痛诊疗长期依赖药物和手术的传统路径，实现了中国数字化疼痛领域“从0到1”的突破，填补国内在非药物慢性疼痛康复领域的医疗器械空白。

临床应用价值: 通过团队前期的前瞻性、单盲、随机、平行对照试验，已证明方案“认知—分心—专注—放松治疗”对临床诊断为慢性中重度疼痛患者具有镇痛作用和安全性。治疗组与对照组相比，有效缓解疼痛率达到显著差异的效果 ($P<0.05$)。目前该解决方案已获得国内首张二类医疗器械注册证。

安全性提升: 本产品采用非植入式脑机接口技术，提高了产品的安全性同时，相较于传统药物治疗、手术介入、植入技术等，避免患者产生药物滥用与副作用，且其侵袭性小，降低对患者身体的伤害。

2. 创新性

项目采用多创新技术融合突破。

非植入式脑机接口技术: 通过高密度脑电帽采集 α , β , γ , δ , θ 五波段信号，替代传统植入式设备，避免手术风险，使脑电监测从实验室走向临床和居家场景，设备佩戴时间满足12小时动态监测。

疼痛评测多模态大模型 (PLMM): 基于 Transformer 框架融合脑电信号处理、统计分析与深度学习 (CNN/RNN)，首创算法将复杂脑电信号转化为客观量化指标，突破了传统 VAS 评分的主观性局限，为疼痛研究提供了全新维度。

AIGC 个性化场景生成: 结合患者脑电数据、CBT 认知行为疗法，利用 AIGC 技术生成40+虚拟干预场景（自然景观、人文关怀、放松训练等），利用训练模块无创“调整”疼痛的下行抑制通路，促使疼痛输出信号减弱，形成一整套神经

调控新技术。

3. 可复制性

本应用场景所采集的脑电信号形成的疼痛程度判定并不依赖于语言和量表，是采集了疼痛状态下特定脑区的脑电信号进行分析，形成的判定结果突破了地区和语言文化的限制，可复制性极高。场景通过高密度脑电信号采集与多模态大模型分析，将疼痛评估从主观描述转化为客观量化（0-100 数值区间），在患者与健康人群间实现 95% 的准确判定。后续场景将聚焦“一带一路”沿线国家疼痛诊疗需求，构建适配多地域人群的技术体系。方案针对东南亚、中东、拉美等区域的语言差异，开发中、英、俄、法、西等多语种交互界面，结合“一带一路”共建国家患者脑电数据，解决不同人群疼痛感知的差异化问题。

本项目使用的国产脑电、VR 眼镜等硬件设备均符合国家标准，其数据采集、信号预处理、干预试验等相关流程已形成企业规范。标准化脑电采集协议便于搭建区域数据库，PLMM 大模型提供 API 调用降低基层医院技术门槛，虚拟场景库支持本地化定制。医企合作共建技术中心、居家康复远程平台、跨境共建联合实验室等模式均可推广，提升诊疗效率和社区疼痛管理覆盖率。一套完整且可复制模式，能够为“一带一路”沿线国家及其他地区提供有力的借鉴。

案例 10 人工智能混合现实脊柱手术规划及导航系统

上海霖晏医疗科技有限公司

（一）场景概述

脊柱外科手术作为高度复杂且技术密集型的外科领域，当前在临床实施过程中面临一系列挑战。首先是手术本身的高风险性。脊柱区域解剖结构极为精密，紧邻脊髓、神经根和大血管等关键组织，一旦操作中出现毫米级误差，即有可能引发瘫痪、大出血等严重并发症。同时，脊柱手术种类繁多，包括脊柱侧弯矫形、椎弓根螺钉植入、微创减压等，均对术中操作的空间定位精度提出了极高要求。其次，传统手术技术仍存在明显局限。当前脊柱外科多数手术依赖术中 C 臂 X 光透视进行定位与确认，一台手术平均需进行 10 至 15 次透视，不仅增加了手术时间和辐射暴露风险，也加重了医生认知负担。此外，传统方式缺乏术中实时的三维解剖信息支持，医生需凭借二维影像“脑补”脊柱内部结构的空间关系，进一步增加操作不确定性和手术复杂度。

为应对上述挑战，本项目旨在研发一套面向成人脊柱外科开放与微创手术场景的“人工智能+混合现实”智能导航与手术规划系统。该系统将融合人工智能（AI）医学图像处理与术前路径规划能力，结合混合现实（AR）实时交互技术与高精度空间导航技术，辅助医生在术中实现对手术工具、螺钉等植入物的精准定位与路径引导。通过提供直观、可视化的术中导航支持，系统有望显著提升手术操作的精确性和安全性。同时，该系统将有助于简化高难度手术流程，降低术中决策与执行负担，减少术后翻修率，提升手术质量与患者恢复速度。借助 AR 实时可视交互与 AI 规划辅助，项目还可有效提升医生对复杂术式的掌握效率，缩短学习曲线，增强基层医院骨科手术能力，支撑分级诊疗体系建设。最终，该系统将推动脊柱外科手术在精准化、微创化和数字化方向迈进，构建人工智能赋能临床外科的典范路径。



图 13 瑞金医院医生借助“CT 重建+AR 导航”辅助技术进行手术

（二）技术方案

本方案专为成人脊柱外科开放或微创手术设计，旨在通过融合人工智能、混合现实及高精度导航技术，辅助医生完成手术工具与植入物的精准定位与导航。工作原理是通过 AI 技术实现术前三维手术规划；通过图像配准技术和光学追踪技术实现虚拟空间与真实空间的拟合，将患者术前的手术规划信息与患者术中的手术部位融合；通过智能标定和动态追踪技术实现术中手术工具的实时导航。

同时，本方案结合 AR 技术，使术者通过佩戴 AR 眼镜可将手术规划、患者的手术部位等信息呈现在眼前，让术者在手术过程中获取信息与操作指令更加便捷，无需频繁转移视线，使其获得更直观、沉浸式的手术体验，提高手术操作的准确性与效率。

表 3 主要技术指标及依据

指标类别	技术指标	确定依据
导航精度	距离误差 $\leq 1.5\text{mm}$ ， 角度误差 $\leq 2^\circ$	YY/T 1901-2023《采用机器人技术的骨科手术 导航设备要求及试验方法》
混合现实可穿戴设备 渲染帧率	软件运行过程中渲染帧率 不低于 30FPS	GB/T38258-2019 信息技术虚拟现 实应用软件 基本要求和测试方法
混合现实可穿戴设备 网络延迟	实时显示信息的网络延迟 不应高于 100ms	Augmented reality: Principles and practice

（三）场景优势

1. 示范性

该场景解决方案融合人工智能、增强现实（AR）和高精度导航等核心技术，形成面向脊柱外科的智能手术辅助系统，显著提升术中操作的精准性与安全性，并在上海市落地。目前场景方案及研发公司已获得中国医疗器械创新创业大赛人工智能组一等奖、2019 年阿里云智慧城市创新创业大赛优胜奖、第二届“创享嘉”创新创业大赛总决赛最佳创新奖、2021-2022 意大利 A' 设计大奖（A' Design Award）银奖、2022 纽约产品设计金奖（NY PRODUCT DESIGN AWARDS）等二十余项国内外荣誉。

2. 创新性

该场景在智能手术规划、增强现实交互、智能手术规划、智能标定与动态追踪、术中实时反馈等领域进行采用创新方法。一是智能手术规划融合人工智能算法，基于患者个体医学影像构建术前三维模型，实现个性化手术路径规划与优化决策，提高术前准备效率与决策科学性。二是增强现实交互通过 AR 眼镜实现虚实融合展示，医生在术中可直观看到患者真实解剖结构叠加三维手术导航影像，

提升操作可视性与准确度。三是系统具备自动化标定与高精度动态追踪能力，可实时识别并跟踪手术工具及患者目标部位位置变化，保障术中操作稳定性和精度。四是提供术中实时的切除区域可视化反馈，帮助医生动态把握手术边界，控制关键区域操作风险，降低误操作概率与并发症风险。

3. 可复制性

方案可推广性强，技术架构具备良好的通用性与模块化特征，可根据不同国家医疗资源水平进行灵活部署，尤其适用于“一带一路”沿线医疗基础相对薄弱的国家和地区。同时支持本地化培训与运维，可通过与当地医疗机构深度合作，提供标准化培训课程与远程技术支持体系，加快系统落地应用速度，提升医务人员操作能力。

案例 11 医疗健康行业全自动微生物划线工作站

上海艾利特机器人有限公司

（一）场景概述

在微生物学实验室中，划线接种是微生物检验的核心环节，也是每位实验室人员必须掌握的基本技能。划线涂布工作的自动化与标准化，是提升临床微生物检验质量和强化质量控制的重要方向。然而，传统手工操作不仅劳动强度大，还存在诸多风险和挑战。首先，手工划线过程中操作人员可能接触样本，存在较高的交叉污染风险；其次，处理潜在病原微生物时，操作不当可能带来生物安全隐患，威胁人员和环境安全；此外，手工操作高度依赖技术人员的经验和技巧，导致实验结果一致性差，可重复性不足；不同操作者间的标准化水平差异，也给质量控制带来困难；最后，新员工需要长时间培训才能熟练掌握，增加了实验室的培训负担和时间成本。

微生物样本的快速、有效且标准化接种，是确保诊断结果可靠、高效的重要前提。为应对上述难题，通过导入艾利特协作机器人，研发微生物划线接种工作站二代，可全自动完成微生物平板划线/涂布流程，为微生物学实验领域带来新的可能性。

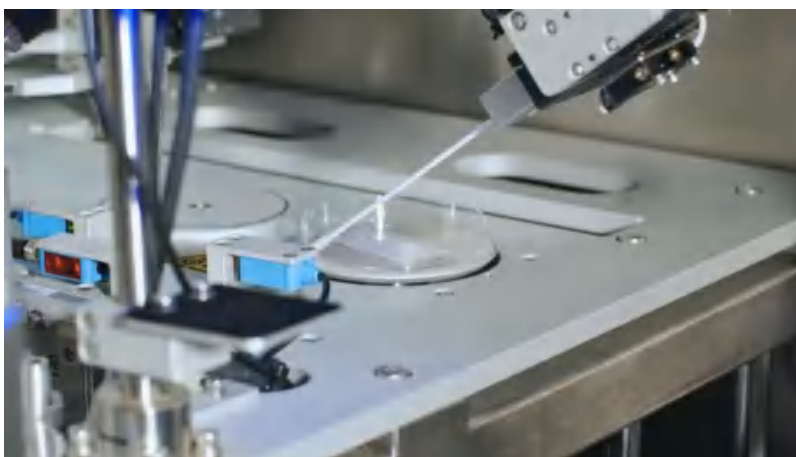


图 14 工作中的设备

（二）技术方案

机器人助力自动化处理复杂样本。生物医药行业全自动微生物划线工作站可全自动完成微生物平板划线/涂布流程。该方案还新增痰液稀释流程，由于痰液样本非均质，自动化接种前需进行均质化处理，包括配置稀释液、按经验加入一定量稀释液并静置 30 分钟以充分消化，传统操作步骤繁琐且耗时。该方案能够全自动完成痰管称重、开盖、稀释液转移与加注、震荡混匀及 TIP 头回收等工艺

流程，实现高效样本处理，显著缩短实验周期，提升实验室对临床和科研需求的响应速度。

设备体积小、易于安装和部署。艾利特 EC63 负载 3kg，工作半径 624mm，结构紧凑，支持倒装、侧装等多种安装方式，便于集成到有限空间的实验室环境，有效释放工作空间，提升灵活性。同时，其高可移动性使工作站易于搬运和调整，适应不同实验室布局需求。

稳定性更强，实现功能模块的精密控制。机器人末端传感器系统能实时捕捉并响应异常情况，保障实验稳定性，确保数据可靠。结合玄刃科技新增功能模块与控制系统，机器人重复定位精度达到 $\pm 0.02\text{mm}$ ，保障各步骤精准执行与协调，提高实验的稳定性和可重复性。

操作简便，助力客户快速开发与升级。艾利特机器人支持拖拽式示教和简单编程，便于二次开发。操作者可直观选择和配置命令，实现实验流程高度个性化和灵活定制，显著提升实验方案设计效率和适应性。



图 15 全自动微生物划线接种工作站-硬件设施

（三）场景优势

1. 示范性

微生物检验是临床医学检验实验室的重要组成部分，对指导临床精准用药，实现患者及时诊疗至关重要。同时我国自动化等数智技术在该领域的应用起步较晚，市场上主流的全自动划线接种工作站基本被国外垄断，不仅使用代价高昂，还存在临床检测信息安全风险。

微生物划线接种工作站二代不仅能够处理标准的微生物样本，更能够有效处理更为复杂的临床样本，是本土企业在医学实验技术领域实现突破和领先地位的代表，它所呈现的技术水平和创新设计，为微生物学实验领域带来新的可能性。

2. 创新性

该方案为生物医药行业打造全自动微生物划线工作站，可自动完成微生物平板划线与涂布流程，并新增痰液稀释功能，以兼容更多类型样本。整体设备设计更加小巧，便于安装与使用，同时集成多功能模块，实现更快速的结果反馈与更高的运行可靠性。简便的操作流程不仅加速了新方法的开发，也为客户自主研发软件平台的升级提供了有力支撑。

3. 可复制性

艾利特机器人编程简单，适合二次开发，支持拖拽示教，可轻松创建强大的实验方案。让操作者可直观选择和配置不同的命令，实现高度个性化的实验流程，提高了实验的定制性和灵活性。



图 16 全自动微生物划线接种工作站-软件界面

案例 12 数智赋能“一网通学”市民终身学习服务应用与实践创新

上海开放大学

（一）场景概述

本应用场景以数智技术为核心，创设“一网通学”市民终身学习服务应用场景，以满足全市乃至国内外大规模终身学习者的多样化学习需求。主要对以下三个场景针对性提出解决方案。

大规模个性化终身学习示范应用场景：针对大规模学习者群体在知识结构、学习习惯和方式、个性化支持方面的痛点问题，依托大语言模型与智能体技术，构建基于智能体的个性化智能助教系统。通过与 AI 智能体的深度集成实现人智协同，为学习者提供全流程覆盖的多场景学习服务；通过智能分析学习者特征和学习行为，为大规模学习者制定个性化的学习路径和内容推荐，提供更加拟人化、陪伴式、引导式的教学体验，促进教师 and 智能体优势互补；通过学分银行实现学习成果的转换和存储，促进学习成果的积累和转换。

三教融通的终身学习资源共享应用场景：针对学历、非学历、终身教育中的教育资源分散、利用效率低，存在共享壁垒等方面的痛点问题，本场景通过构建跨领域教育数据中台，建立课程供给统一入口，依托领域专属语料库和 AI 技术，对不同领域提供垂直频道场景化智慧服务，通过打造特色主题频道生态，实现资源的智能分类和精准推荐。推出“随申学”移动学习应用，灵活搭建各类特色主题频道应用，如“家长学校”“银发 E 学堂”“市民外语学习中心”“数智民生”“上海养老护理员”“工匠学院”，依托广播平台设立的“开大有课”共享课程资源，为不同背景的市民学习者提供多通道、泛在可选的精准、智能化、贴心的智能学习服务。目前已建成多个主题频道，累计服务 20 余万市民用户，平台访问量达 203 余万次。

国际化多语言开放学习示范场景：针对“一带一路”沿线国家学习者在语言障碍、文化隔阂等方面的问题，本场景通过技术创新提升开放学习群体的全球覆盖范围。通过智能自动翻译、多语言环境下的课程制作与互动交流以及基于学习者特征的个性化推荐，为全球学习者提供高质量的在线学习体验；平台已上线 251 门涵盖教育、文化、商贸等领域的优质课程，支持多语种版本的自由切换，为其提供贴合其需求的智能学习服务和自适应媒体个性化资源推送服务，确保来自不同国家的学习者能够无障碍地进行在线学习和交流。目前平台累计学习用户达到 135 万人，总学习次数累计触达 2.4 亿人次，学习者遍布 92 个国家的 731 个城市。

（二）技术方案

1. 技术架构

“一网通学”市民终身学习服务平台，以构建智能化、安全化教育服务体系为目标，整合云原生、AI、大数据等技术，贯穿平台业务层、数据融合层、智慧中枢能力层、创新应用场景层，协同数据安全体系与第三方平台，实现教育资源的高效集成、智能服务的精准供给。



图 17 方案技术架构图

平台业务层：通过实现教育资源统一存储与教育数据集的深度集成，为市民终身学习服务提供稳定的数据与算力基础。

数据融合层：通过汇聚学历、非学历、社区教育等多类型专属知识库，以形成垂直领域 AI 知识平台。

智慧中枢能力层：通过搭建智能体集市，以部署学术助手、学习助手、学情分析等专属模块，为上层应用输出核心能力，驱动教育服务智能化调度与执行。

创新应用场景层：融合智慧教育、教学质量评价反馈及多语言即时翻译等场景，提供 AI 搜索、学习辅助、行为分析、学情评价、资源生成、学习问答等功能。

2. 技术路线

依托云原生技术构建弹性基础设施，通过容器化部署与微服务架构整合大数据存储集群与高性能计算资源池。制定教育元数据标准与分类 AI 标签体系，整合学历、非学历、社区等多类型知识库，利用精准知识检索与增强技术，结合领域专属语料库，提升大模型精准度。

搭建智能体平台与大模型服务体系，创建多智能体集市，通过自适应工作流

管理系统动态调度任务；汇聚通用大模型与垂直领域模型，构建多模态混合推理框架，结合学习者行为数据构建多维认知画像，依托知识图谱生成个性化学习路径，提升复杂场景服务能力。

3. 核心技术

终身教育专题知识库生成技术：采用多模态数据融合的知识结构化提取方法，综合运用自然语言处理、计算机视觉和音频处理技术，从多种数据源中抽取关键信息，并将其转化为结构化知识，为学习者提供更精准、可靠学习辅助。

面向市民的个性化学习辅导技术：针对大规模知识结构化与市民学习者认知风格适配的难题，开发课程构建、学习者画像技术，实现学习者认知精准分析。利用学习资源和学习者特征数据匹配关系，提供自适应个性化推送技术。

自适应多智能体协同技术：针对复杂教育场景中不同智能体间的知识冲突与协调问题，创建智能工作流管理系统和任务分配调度平台，根据学习需求动态调整任务分配，提高学习流程个性化支持。

在线学习场域多语言即时翻译技术：针对实时翻译效率不高、垂直领域翻译难度大等问题，集成基于注意力机制的深层神经网络翻译系统，解决在线学习场景下跨多语言实时翻译问题。

安全措施：通过数据安全标准保障体系、技术规范与应用规范，以及随申办、学分银行等第三方平台，打通资源共享接口，推动流程协同化，确保平台安全运行；集成 NMT 系统和区块链加密技术，保障跨国教育场景实时转译与数据安全，推动教育资源共享与服务流程的规范化。

（三）场景优势

1. 示范性

智能助教支持下的个性化学习支持服务：基于大语言模型与智能体技术，提供全流程覆盖、多场景支持、个性化推荐的学习支持服务，提供个人学习、组班学习、团队学习、体验式学习等学习方式，实现课内课外、远程现场、虚拟现实的无缝衔接。

数据和 AI 驱动的教学全过程质量评价反馈：通过分析学习者特征，构建学习者画像，优化资源推荐和学习路径规划，打破单向知识传递模式，助力学习者挖掘学习兴趣与潜力。通过语料数据的深度挖掘，建立全数据反馈机制，为师、生提供常态化的教学质量分析和形成性学习效果评估，具有明显的示范作用。

跨领域教育数据中台支持的特色主题频道生态：运用领域专属语料库，建立跨领域教育数据中台，提供垂直频道场景化智慧服务，打造主题频道生态，实现终身学习一站式服务，进而消除教育资源共享壁垒，破解跨国学习文化隔阂。

此外，上海开放大学在“上海市教育信息化应用标杆培育校”建设工作中被评为“优秀”；在2024“教育数字人大赛”中荣获智能助学赛道一等奖，同时荣获2024智慧高校AI创新卓越奖、2024上海高校信息化建设与应用优秀案例银奖。基于智能体的教学应用AI助手成果在“2024数字化终身学习国际会议”上正式发布，被多家主流媒体报道，获得一致好评。

2. 创新性

学习服务创新：将大语言模型、智能体技术、大数据融入教学全过程，破解教育普惠难题；提供高质量精准学习支持服务，增强学习者在学习方式、学习支持和教学质量评价反馈等方面的弹性选择，实现个性化服务。

学习模式创新：为不同学习者提供时时、处处多形态的弹性学习，实现规模化培养与因材施教相统一，实现有质量保证的弹性学习，助力培养“管用、够用、能用、适用”的实用性人才。

场景样态创新：依据不同领域提供垂直频道场景化智慧服务，灵活搭建面向银发学堂、工匠学院、家长学校的智慧学习场景应用，打造主题频道生态，将教育服务与社区治理、产业发展深度耦合，构建数字民生新范式。

技术赋能创新：通过领域专属语料库和AI技术生成高质量、多语种学习资源，提供多语言即时翻译服务，为“一带一路”共建国家不同语言背景学习者提供高质量教育资源，破解跨国学习文化隔阂。

3. 可复制性

学校与联合国教科文组织的合作，以及“全球数字化终身学习联盟”的建立，表明学校在国际教育推广方面有成熟经验，为场景可复制性提供支撑。

本应用场景构建终身教育大模型垂直领域示范服务框架，搭建统一的中台架构支撑多场景快速复制，形成可扩展的技术解决方案包，该模式为不同文化背景、学习需求的学习者提供灵活多样的学习支持，为探索大模型、智能体等技术与集成创新做示范。

通过构建“技术标准化—服务生态化—输出国际化”的可复制体系，打造国际教育合作样板，形成可复制可推广人工智能+教育的品牌，构建开放、普惠、安全的终身学习生态，将促进“一带一路”沿线国家的教育公平，推动文明互鉴。

案例 13 AI 赋能作业管理，释放教师人文价值

上海临冠数据科技有限公司

（一）场景概述

1. 痛点分析

在基础教育领域，作业作为教学的数据土壤，承载着学情画像、教学反馈的核心功能。然而，传统纸质作业管理模式长期面临三大关键瓶颈：

其一，作业数据价值湮没，过程性评价落地困难。据调研，教师平均每日需花费 1.5—2 小时批改作业，但 90% 的批改精力消耗于判断对错的基础环节，鲜有余力对作答轨迹、错误归因、知识点掌握度进行深度分析。大量作业数据仅以分数形式碎片化存在，无法形成连续性学情画像。而新课标倡导的“过程性评价”因缺乏数据支撑流于形式。

其二，教育信息化遭遇学生终端依赖桎梏。当前 AI 教育产品多需依赖学生终端设备（如平板、手机）实现数据采集，但受限于经费压力，市、区、校难以承担“一人一终端”的硬件投入。部分学校陷入“无终端不智能”的困局，教育数字化转型进程受阻。

其三，教师专业发展遭遇效率困局。教师日常需处理作业收发、批改、统计等重复性事务，挤占教学设计、学情研究等核心工作。即便意识到数据价值，人工整理班级错题率、知识点薄弱项等单元学情往往需 3—5 小时/单元，导致“有数据难应用”。

2. 预期成效

蜜蜂 AI 面向的主体是学校、老师、学生和家長，预期达成以下成效：

教师作业处理时长的显著下降，相比传统方式减少约 90%，平均每日为教师节省约 1.2 小时的工作时间。不仅减轻教师的工作负担，还能使其将更多精力投入教学策略的优化和学生的个性化辅导中。预期学生个性化错题本的覆盖率达到 100%，通过针对性的错题重练，学生的正确率有极大提升。

构建“数据—决策—干预”的教学闭环。教师借助作业数据和班级学情分析，能够精准定位高频错误题，从而开展针对性地讲解，使得题目的重复错误率能有明显下降。在教研模式方面，教师们通过分析年级、班级、学生三个维度的学情数据，提炼出各类个性、分层和共性弱点，并能据此设计专项训练模块，能够极大地提升教学的精准性和有效性。

使用期内，系统将为学校沉淀大量的数据资产，形成了全面的学校、年级、

班级和学生学情画像，相较于考试数据画像更加精准。通过对数据的深入分析，学校能够清晰地了解每个单位的学习情况，为个性化教学提供有力支持，例如班级知识薄弱预警清单，促使学校对校本课程进行优化调整，以更好满足学生的学习需求。



图 18 场景产品页面图

（二）技术方案

1. 技术架构

蜜蜂 AI 采用分层式技术架构，确保系统高效、稳定运行。

最底层为**基础设施层**，依托云计算平台，按需调配计算资源，保证系统能应对高并发的用户请求。**数据层**负责数据的存储与管理，涵盖学生作业数据、教师教学数据、试题资源数据等，通过分布式数据库与数据仓库技术，保障数据存储的可靠性与读取的高效性。**算法层**集成各类 AI 算法模型，如手写识别、智能批改、学情分析等模型，为上层应用提供核心技术支持。**应用层**则面向教师、学生与教育管理者，提供智能试卷批改、错题整理、学情报告等丰富功能，通过 Web 端与移动端应用，实现便捷的交互体验。

2. 技术路线

蜜蜂 AI 技术路线围绕教育场景，构建一套高效、智能的作业处理与学情分析体系。教师可便捷地将作业扫描或拍照上传至蜜蜂 AI 平台，AI 即刻启动先进的图像识别技术，精准识别题干、作答区域以及关联知识点。学生答题无需特殊

纸笔，直接在原卷上手写作答，完成后同样通过扫描或拍照上传。系统运用自然语言处理和机器学习算法，自动批改作业，无论是客观题的快速判分还是作文分析评分，都能高效且准确地完成。

在此基础上，系统会对作业情况进行全面统计分析，汇总答题正确率、错误类型分布等数据。随着时间推移，长期作业数据不断积累，通过数据挖掘与分析技术，逐渐勾勒出清晰的学生画像。该画像打破传统仅依赖考试结果性评价的局限，以丰富的过程性数据为依据，全面反映学生学习轨迹。最终，依据学生学情，为其量身打造个人错题本，并推送贴合需求的个性化练习，助力学生实现精准学习与高效提升。

3. 核心技术

手写识别技术：作为蜜蜂 AI 的基础技术之一，历经 18 年打磨，能够精准识别各种手写字体、笔迹，即使面对书写潦草、格式不规范的作业，也能保持高准确率，为后续的智能批改与错题整理提供可靠数据。

智能批改技术：基于自然语言处理与机器学习技术，不仅能自动批改客观题，还能对主观题进行语义分析，判断答题内容与参考答案的语义相似度，给出合理评分，极大提升批改效率与准确性。

学情分析技术：通过构建学生学习画像，整合学生的作业完成情况、考试成绩、学习习惯等多维度数据，运用数据挖掘与分析技术，精准洞察学生的知识掌握薄弱点、学习进度与学习能力，为个性化教学提供有力依据。

（三）场景优势

1. 示范性

技术成熟度：蜜蜂 AI 作为扫描全能王旗下的教育创新产品，直接调用了扫描全能王长达 18 年积累的手写识别技术能力。通过对上亿份中、英双语真实作业的深度训练，构建了极为精准的识别模型。在全球范围内，扫描全能王拥有 9.4 亿庞大用户群体，其技术的广泛认可度，更印证了技术稳定性久经考验。蜜蜂 AI 旗下的蜜蜂试卷在国际市场成绩斐然，于美国和印尼的 AppStore 教育类目 APP 成功上架，其中在美国下载排行榜位居 42 名，在印尼更是斩获第 2 名的佳绩，充分展示了其在不同地域、不同市场环境下的强大适应性与成熟度，为在“一带一路”共建国家的推广应用筑牢坚实技术根基。

经济效益：蜜蜂 AI 凭借智能批改、错题归纳功能，大幅减少教师批改试卷、整理错题的时间，让教师能将精力投入到因材施教与备课教研，提升教学质量与资源利用效率。产品借 AI 技术解放教师重复性劳动，形成高用户黏性。通过为教师免费试用，再提供高级学情分析、定制教学资源等增值服务实现盈利，构建可持续商业模式。

2. 创新性

技术突破性：核心技术自主率高，拥有多项自主研发专利，专利质量过硬，涵盖图像识别优化算法、智能学情分析模型等关键领域。相比同类产品，具有技术代际优势，能更精准、高效地处理教育数据。

应用创新度：开创独特的教育应用场景，将传统试卷与人工智能深度融合，实现从“教—学—评”全流程智能化。这种创新模式对传统教育行业具有强大的颠覆潜力，打破了时间和空间限制，重塑教育生态。

3. 可复制性

基础设施适配性：对通信及电力等基础设施具有较高兼容度。采用先进的云计算技术，数据处理在云端完成，对本地设备性能要求不高，即使在网络信号较弱或电力供应不稳定地区，也能通过缓存技术等手段保证基本功能运行。

文化环境兼容性：严格遵循当地法规，充分尊重不同国家的文化价值观。在产品设计上，支持多语言切换，内容审核机制确保符合当地文化规范，无论是在重视传统教育的国家，还是积极拥抱创新的地区，都能顺利融入。

案例 14 基于 AI 大模型和心理学的智慧养老情感陪护场景

马上消费金融股份有限公司

（一）场景概述

据联合国预测，到 2050 年东南亚、中东等地区老年人口占比将超过 20%。随着“一带一路”沿线国家人口老龄化加速，养老服务需求面临突出矛盾：一方面，传统养老模式高度依赖人力，难以满足情感陪护资源不足、心理健康服务专业化水平偏低等现实挑战；另一方面，语言、习俗与宗教等文化多样性因素进一步加剧了养老服务标准化与普适化的难度。

2024 年末，我国 60 岁及以上人口超 3.1 亿，占全国人口的 22%，其中空巢老人占比已超过一半，部分大城市和农村地区，空巢老人比例甚至超过 70%。随着人口老龄化的加剧，空巢、独居老人因为身体健康状况、社会角色、地位变化、社交圈缩小等因素导致养老的情感关爱问题日益凸显，老人的情感需求往往得不到充分满足。

本场景通过“AI 大模型+心理学”技术，解决老年人情感交流匮乏、心理干预滞后、文化语言差异导致的沟通障碍，构建智能化、个性化、跨文化的情感陪护体系，助力养老服务质量和人文关怀水平提升。一是利用多模态情感计算技术，基于 AI 大模型融合语音、表情、生理数据，实时分析老年人情绪状态，精准识别焦虑、孤独等心理问题；二是利用心理学驱动对话引擎技术，结合认知行为、心理学理论，生成个性化情感互动内容，提供陪伴聊天、认知训练、心理疏导等服务；三是利用智能预警与干预技术，进行知识图谱和时序数据分析，预测心理风险，进行主动干预。

（二）技术方案

1. 技术架构

情感交互：以角色设定的情感形象，结合意图理解、视觉、事件、IoT 等多维度触发反馈，规划机器人主动交流、获得老年人意图，综合进行主动交流，主动服务。

行为交互：以角色职能的维度（非定式任务），规划场景的 Agent 角色职能，利用图像大模型，进行老人的情绪、行为及周围环境的识别理解，并主动进行服务。

数据交互：融合各类健康检测设备与老人的生活习惯、康护需要等，以健康管家的角色带入，真正参与到老人的起居生活中，实现实时监测和主动照护。



图 19 应用场景技术工作流

2. 核心技术

多模态情感计算技术：融合语音、文本、图像等多维度数据，结合深度学习与自然语言处理技术，构建实时感知与智能分析能力，通过 AI 视觉识别、语音语义分析和情感计算模型，精准识别焦虑、孤独等负面情绪，为老年人心理健康提供及时预警与干预建议。



图 20 基于多模态的情感计算方案

心理学驱动对话引擎技术：场景融合认知行为疗法与情感计算理论，构建智能化对话引擎。通过自然语言处理技术与大模型驱动，实现精准的情感识别与个性化内容生成，并支持多模态交互，提供情感陪伴、认知训练和心理支持服务，满足用户在不同场景下的需求。结合行为分析与情绪反馈机制，并能够持续优化交互策略，为用户提供更专业、更贴心的智能服务体验。

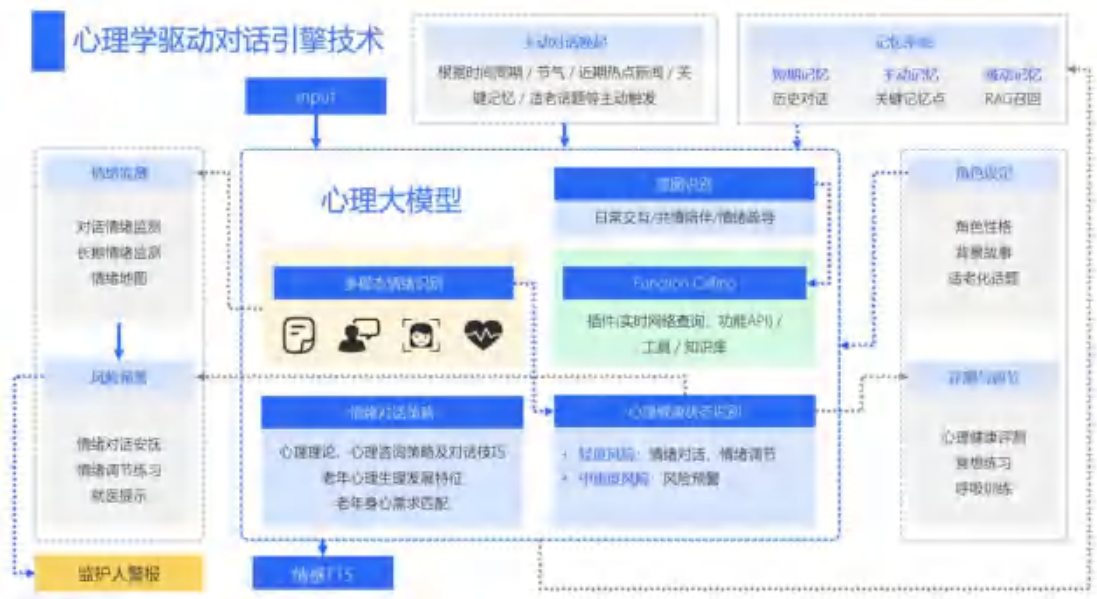


图 21 心理学驱动的对话引擎流程

智能预警与干预技术：场景采用先进的知识图谱构建与时序数据分析技术，结合机器学习算法，打造智能化的心理风险预测模型。通过深度挖掘用户行为数据，精准识别潜在风险因素，并基于个性化用户画像生成定制化干预方案，为用户提供全方位的智能守护服务。

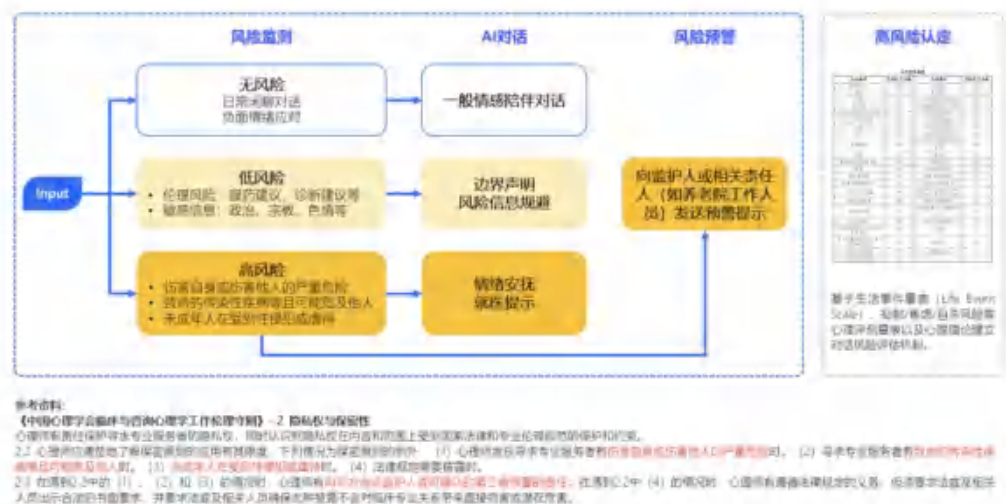


图 22 智能预警与干预逻辑图

安全守护技术：创新性融合了YOLOv11目标检测算法与RTMO人体姿态估计技术，引入Transformer架构的时间序列建模能力，结合LSTM网络，有效实现了久坐行为的智能提醒。采用了基于EfficientNetV2的轻量化视觉模型，通过Transformer架构的多模态特征融合机制，将毫米波雷达数据与视觉信息进行跨模态对齐，结合混合密度网络（MDN）的不确定性建模，实现了火灾、烟雾等安全隐患的早期预警。部署了UNet3+语义分割网络，并结合改进型Canny边缘

检测算法，精准识别积水与湿滑区域。另外在 RK3588 平台上达到了 10FPS 的准实时处理性能，构建了全天候、多维度的智能安全防护体系，为老年人提供高精度、低误报的安全守护服务。

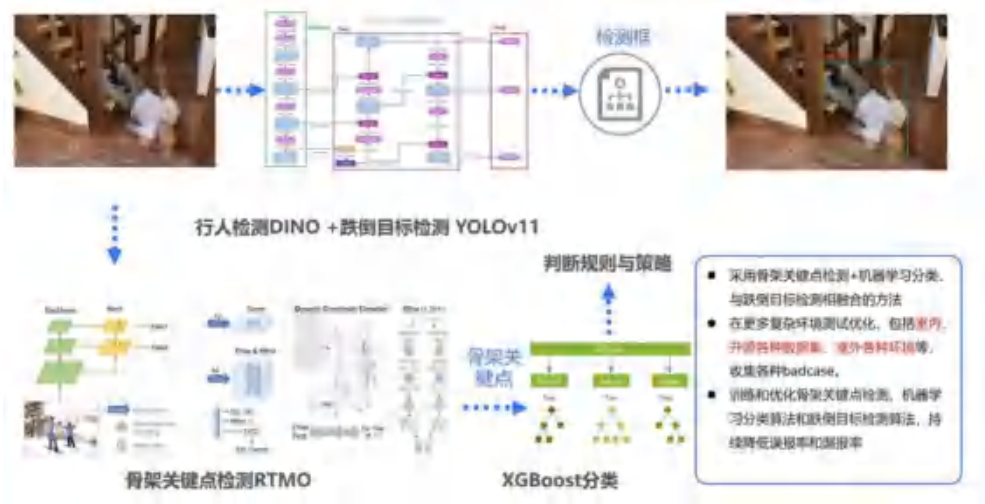


图 23 安全守护技术能力

（三）场景优势

1. 示范性

基于 AI 大模型和心理学的智慧养老情感陪护场景作为养老领域的创新标杆，深度融合了人工智能、云计算、AI 心理学等前沿技术，搭载多模态情感大模型，实现了对老人情感的精准捕捉与温暖回应。

目前，场景已在重庆市第一社会福利院落地应用，取得了较好的社会效益与模式创新，形成“技术+服务+数据”闭环生态，为“一带一路”共建国家提供可复制的智慧养老解决方案，推动了银发经济与数字技术协同发展。另外，场景技术获得元宇宙标准化工作组 2024 年度典型案例，语音顶会 ICASSP 首届多模态情感与意图联合理解挑战赛双赛道亚军荣誉，并通过中国信通院大模型数字人系统基础能力评估 L5 级。

2. 创新性

在技术上，场景创新融合了 YOLOv11 目标检测算法与 RTMO 人体姿态估计技术，引入 Transformer 架构的时间序列建模能力，构建多模态特征融合机制，将毫米波雷达数据与视觉信息进行跨模态对齐。另外，结合改进型 Canny 边缘检测算法，精准识别积水与湿滑区域。

在模式上，产品推动大模型+心理学的创新应用，取得了较好的社会效益与模式创新，形成“技术+服务+数据”闭环生态，构建了涵盖智能情感陪伴、数

字素养提升、健康安全守护、娱乐休闲服务、生活辅助管理等五大模块十项功能的服务体系，全面满足老年人多样化需求。

3. 可复制性

在技术层面，场景融合了人工智能、云计算、AI 心理学等前沿技术，搭载多模态情感大模型，能够精准捕捉老人情绪，提供个性化陪伴，这种技术组合在养老领域具有广泛的适用性。场景服务模式也可快速复制到其他养老机构或居家养老场景，为“一带一路”共建国家提供可复制的智慧养老解决方案。

案例 15 AI+面试赋能人才评价

北京博海迪信息科技股份有限公司

（一）场景概述

在人才招聘过程中，传统模式普遍存在信息失真、效率低下、成本高昂和渠道狭窄等痛点。企业往往会夸大岗位优势，而求职者则可能高估个人能力，导致信息不对称。与此同时，简历筛选和面试流程耗时较长，沟通效率不足，进一步影响招聘进度。招聘过程中的人力、时间和错误决策成本均居高不下，加之传统招聘渠道受制于地域与覆盖范围，招聘效果受到明显限制。

为应对上述问题，AI 面试技术通过快速筛选候选人并精准评估能力，取得了两方面成效：其一，优化招聘流程，实现自动化简历筛选与批量面试匹配，显著提升招聘精准度并降低招聘成本；其二，依托 AI 面试官能力，自动生成面试数据与综合评价报告，使评价结果更客观、全面，大幅减少企业在面试环节的时间与人力投入。



图 24 AI 驱动的人才培养全过程

（二）技术方案

1. 技术架构

项目采用统一技术架构，以技术架构的确定性应对模型的不确定性，包括 4 个核心特征：一云多模、云边端可信、云边协同、AI 云原生。AI 云服务底座封装软硬件的复杂性，弹性资源调度解决算力效率，服务化的标准接口对接开放的模型层，支持来源多样的模型。模型能力进行 API 封装，应用与模型解耦，支持 L0 基础大模型随产业演进，L1 行业模型随行业模型市场/行业生态演进，L2

场景模型可以在企业侧微调演进。

2. 技术路线

场景主要采用机器学习、深度学习及自然语言处理三类技术路线。机器学习采用分类、聚类、关联规则等算法，分析用户数据和行为模式；深度学习使用深度神经网络（DNN）、卷积神经网络（CNN）、循环神经网络（RNN）等处理复杂数据；自然语言处理（NLP）利用文本分析、情感分析、语义理解等技术优化职位描述和政策文本的处理。

此外，场景还包括智能解析与画像构建技术。通过高效的 NLP 算法强化文本解析与语义理解能力；并基于知识图谱整合领域知识，提升用户画像的准确性与全面性。在匹配环节，融合协同过滤、内容推荐与混合推荐等多种算法，显著提高职位与人才的匹配精度；结合自适应学习机制，根据用户的实时反馈与行为数据不断优化推荐模型，形成动态演进的智能推荐体系；还采用多模态数据处理，结合结构化数据和非结构化数据，提供全面的数据分析能力，确保 AI 决策过程的透明度和可解释性。

3. 核心技术

通过采用前沿 AI 技术和国产基础大模型，并结合深度学习框架与 AI 芯片的性能优势，平台在技术先进性、经济可行性和市场竞争力方面得到全面保障，为智能面试场景提供了坚实的技术支撑。

具体而言，本场景聚焦于三类核心技术：一是 NLP 大模型文案生成，即通过自然语言处理大模型实现简历的自动生成，降低求职者简历制作门槛；二是 NLP 大模型阅读理解，可支持简历自动筛选与初步可行性评估，显著减少人力筛查成本；三是 NLP 大模型多轮对话与角色扮演，基于职位信息构建“AI 面试官”，实现面试过程的智能化辅助，提升面试的客观性与效率。

（三）场景优势

1. 示范性

本产品能快速处理大量简历，同时处理数千场面试，通过在线笔试和 AI 面试等环节，大幅缩短招聘周期，高效筛选合适人才。AI 面试基于数据和算法对面试者进行客观评估，避免了人为因素干扰，同时通过人脸识别及视频记录等方式避免了替考、替面等行为，确保结果的可靠性，为招聘决策提供了更加客观、准确的依据。依托场景产品，公司目前已成为 IITC 工信人才岗位能力评价合作机构、数字化工业软件联盟理事单位、第四次工业革命产业联盟成员。



图 25 面向学生的 AI 面试模拟

2. 创新性

技术应用创新：AI 面试融合了计算机视觉、语音识别、自然语言处理、机器学习、数据挖掘等先进技术，通过训练具备专业人力资源能力和企业技术专家能力的 AI 面试官，实现了招聘技术的创新。

招聘流程创新：AI 面试改变了传统招聘流程，将线下面试环节搬到线上，实现自动化简历筛选、智能预约面试、智能安排面试时间、自动生成面试报告等，提高了招聘效率和质量，优化招聘流程。

评估维度创新：通过 AI 面试官，提供真实的面试环境、定制化的面试问题，从多个维度对候选人进行全面评估，如分析求职者的语言、神态、行为等表现，全面了解面试者基础素养、专业技能、沟通技巧、应变能力等，拓展了人才评估的维度。

3. 可复制性

标准化流程：AI 面试具有标准化的流程和评估标准，针对不同岗位设置不同的评估标准，可重复使用，方便企业在不同招聘活动中快速复制和推广。

灵活适应性：AI 面试能够根据不同企业、不同岗位的需求进行灵活调整，具有较强的适应性，易于在各类企业和岗位中复制。

成本效益：AI 可自动完成简历筛选、初步面试等工作，减少 HR 工作量，使企业无需投入大量人力进行招聘，大大降低了面试的单次成本，尤其在大规模招聘和标准化岗位招聘中，能够显著降低企业的人力成本和时间成本。

产业发展篇

案例 16 基于人工智能的风电装备全生命周期故障诊断

上海电气风电集团股份有限公司

本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

（一）场景概述

风电场多位于偏远或恶劣环境（如海上），传统风电运维依赖人工巡检和被动维修，往往风电机组发生故障才开展运维，存在风电场发电量损失和重大部件安全事故风险。

为更好发挥智能故障诊断带来的技术提升效益，方案构建了设计、制造、安装、运维等风电装备全生命周期故障诊断智能化方案。设计阶段，方案识别机组设计缺陷、增强机组设计鲁棒性；制造阶段，方案识别制造过程的缺陷，提高产品制造合格率；安装阶段，方案识别风电机组的安装缺陷，避免造成重大经济损失；运维阶段，方案基于历史运维数据生成动态维护策略，减少人工巡检频次，实现无人值守；延寿阶段，方案利用全生命周期数据预测部件剩余寿命，指导风场延寿或设备拆除。

本场景方案通过构建风电装备全生命周期智能故障诊断平台、搭建多模态的风电数据语料集，形成可复制的数据集建设标准，支持“一带一路”共建国家自主构建本土风电智能诊断系统。



图 26 风电场实景

（二）技术方案

1. 技术架构

（1）数据集构建

数据采集与传输：风电数据集的构建依赖于高效的数据采集和传输技术，风

电机组通常配备多种传感器，用于监测气象条件（如风速、风向、温度、湿度等）和设备运行状态（如发电功率、振动频率等）。接入风场 SCADA 系统、无人机巡检图像、声学传感器等数据，通过光纤网络或无线通信技术实时传输到数据中心，结合风电国内外标准，构建行业知识库。

数据存储与管理：风电数据具有高频率、多维度和异构性的特点，因此采用分布式数据库系统来实现高效存储，云边一端协同架构也被广泛应用于区域级风电场大数据中心，以优化数据存储、传输和资源调度。

数据治理与标准化：风电数据治理架构包括数据标准制定、数据质量管理、数据全过程周期管理和数据安全治理。例如，通过建立统一的数据标准和治理流程，可以提高数据的一致性和可靠性。

数字化解决方案



图 27 风电装备全生命周期故障诊断数字化方案

(2) 智能诊断模型搭建

风电机组故障诊断模型是基于风电场运行数据集，采用机器学习、深度学习大模型等 AI 技术进行离线建模，然后部署上线运行，具体工作流如下：

特征工程：基于历史数据和诊断故障问题，选择体现故障的特征表示并利用随机森林 RF、主成分分析 PCA 等方法开展特征变量选择和合并工作；

算法选择：基于故障特征变量，利用 AUTOML 技术选择不同的模型进行测试，依据测试结果选择最优的模型开展建模工作；

模型测试与优化：基于超参数寻优算法开展模型优化工作，寻优算法包括：网格搜索法、贝叶斯优化、遗传算法等；

部署上线：模型训练完毕，部署上线运行，并设置故障预警逻辑和参数，避

免频繁误报带来的运维工作量上升；

故障诊断：基于故障诊断模型，开展风电场智能运维工作，提高风电场的故障运维效率。

2. 核心技术

智能诊断泛化：从两个方面提高智能诊断模型泛化性能，一是丰富训练数据集，让风电数据集具有广泛的代表性；二是采用强化学习和迁移学习等技术，提高模型在不同风电场站的迁移能力，可提高模型在“一带一路”共建国家风场的推广性。

特殊数据增强：针对特殊工况（例如台风、阵风等），利用收集的数据和时间序列生成模型（如 TimeDP）开展特殊数据的增强工作，从而赋能数据集的扩充。支持设计优化和模型训练。

智能辅助标注：基于风电装备的运行大数据集，梳理机组故障特征类型，并用来规范化故障标签；同时基于标签数据、强化学习、深度学习模型等技术开展预训练工作，待预训练模型达到预期精度以后，利用预训练模型开展智能辅助标注工作。如，基于 YOLO11 预训练标签数据，后基于训练模型开展广泛的图像标注工作，大大降低标注的工作量。

（三）场景优势

1. 示范性

全生命周期数据覆盖：风电数据集涵盖设计数据（如风电机组大部件采购规范，DFMEA 等）、制造数据（如制造过程和结果记录数据）、安装数据（如螺栓力矩值）、运维数据（含故障数据如轴承温度和振动等数据），支持从运行端根因分析到“设计端优化”的全流程闭环；

全生命周期故障诊断覆盖：设计阶段识别机组设计缺陷、增强机组设计鲁棒性。制造阶段能够识别制造过程的缺陷，提高产品制造合格率。安装阶段能够识别风电机组的安装缺陷，避免造成重大经济损失。运维阶段能够基于历史运维数据生成动态维护策略，减少人工巡检频次，实现无人值守。延寿阶段能够利用全生命周期数据预测部件剩余寿命，指导风场延寿或设备拆除。

此外，上海电气风电基于风电机组运行数据集，建设了 iWIND 智能数据中心。该数据中心基于上传的 SCADA 数据、CMS 数据、叶片图像声纹数据等，打造风电场“无人值班，少人值守”的远程智能运维中心，充分挖掘了高质量数据集的应用价值。目前，实现了三方面降本增效：第一，智能诊断实现低成本运维，运维成本降低 10-15 元/kW；第二，智能运维实现风电少人值守，人员利用效率提高 50%）；第三，建立了数据标准化和融合逻辑共享机制，整体实现人工

降本 5%-10%、备件降本 3-5%。

2. 创新性

多源异构数据融合：风电机组全生命周期涵盖了图像、时序、声纹和振动等多源异构数据，构建跨模态融合数据库；

动态数据增强：针对风电装备设计极端工况（例如台风）基于大模型合成数据技术生成仿真数据，扩充特殊场景数据；

大模型智能运维：基于 DeepSeek、Qwen、Llama 的多模态大模型底座，训练大模型的风电机组故障识别能力，打造基于大模型的故障智能运维全流程；

数据集适配性强：风电装备数据集兼容程度高，可自动适配不同数据采集标准（如采样频率、传感器类型等），不同区域的采集数据均可扩充风电装备数据。

3. 可复制性

模型易于迁移：基于全生命周期、广域数据集训练的智能诊断模型，充分考虑不同地域特性，适应“一带一路”共建国家开展模型迁移工作。

模块化架构：提供“基础数据集+定制化扩展包”，支持不同区域的不同需求，如陆地的地形地貌数据和海洋的海浪暴风数据等。

轻量化部署：风电装备数据集支持边缘端轻量化存储，适配低带宽环境，同时基于大模型蒸馏技术的小模型，可实现匹配大模型的性能。

开放生态：风电装备数据集可通过 API 接口与未来“一带一路”沿线国家数据平台对接，实现数据共享与协同标注。

国际国标兼容：数据兼容 IEC61400 系列、ISO13379 系列、UL4143、DNVGL-ST-0262 等包含从设计到运维全流程的标准，标注标签支持中英双语，国际可推广性强。针对“一带一路”沿线国家的不同区域，增加区域特点的数据包，如中东风场新增“高温”数据包、东南亚新增“高湿”数据包等。

案例 17 基于足式机器人的变电站智能巡检方案

联想（上海）信息技术有限公司

本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

（一）场景概述

变电站是电力基础设施的核心环节，通常分布于地理环境复杂的地区，包括山区、城市边缘、偏远地区等。该类地区变电站内部环境复杂且多样化，常常包含楼梯、台阶、不规则路面等。特殊地形对传统轮式机器人巡检提出了严峻挑战。现有的轮式机器人由于其设计限制，无法有效应对垂直或不平整的地面，导致巡检覆盖面受限，无法高效全面地检查设备。此外，许多“一带一路”共建国家位于极端地理和气候条件下，复杂环境更是加剧了巡检任务的难度。

晨星足式机器人智能巡视系统通过引入先进的机器人技术和人工智能，解决了传统电力巡检中的多项难题。首先，方案克服了轮式机器人在复杂地形中的局限性，足式机器人能够在楼梯、台阶、不规则路面等各种复杂环境中自由行走，实现全地形适应，确保对变电站内外设备的全面巡检。其次，传统人工巡检面临安全隐患，尤其在高压、危险区域，操作人员的安全难以保证。足式机器人代替人工进入高风险区域，减少了事故发生率。最后，方案提升了设备故障识别的精度，避免了人工巡检的误报和漏报问题，通过智能分析实时监控设备状况，及时发现设备异常，确保设备的高效稳定运行。

方案的应用显著提升变电站和电力设施的巡检效率和安全性。在电力设备管理中，方案大幅度降低了人工成本，特别是在高风险区域，通过机器人代替人工巡检，确保了人员安全。同时，方案提高了设备故障识别的准确性，减少了因漏报和误报造成的设备损坏风险。通过实时数据分析和智能故障预警，方案帮助电力公司降低了运维成本，提升了设备的稳定性和运行时间。结合数字孪生技术和多机协同作业，该方案在实际应用中取得了优异的成绩，为智能电网和电力行业的数字化转型提供有力支持。

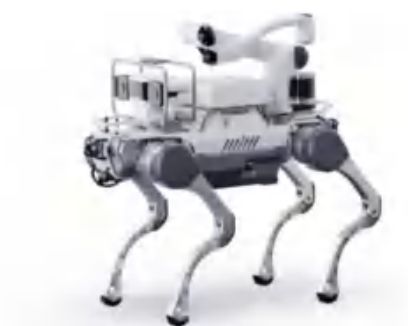


图 28 足式机器人硬件

（二）技术方案

1. 技术架构

足式机器人智能巡视系统的技术架构采用分层设计，包含业务层、平台层和网络层三个核心部分：业务层包括机器人部署工具、设备自检、远程遥控、安全作业管控等功能；平台层提供数据的统一管理，包括数据采集、智能识别、告警管理、任务调度等，确保数据流畅传递和处理；网络层基于高效的通信协议（如 DDS 协议、5G/WIFI 等）和 Mesh 组网技术，确保机器人与控制系统之间的稳定通信，提供强大的网络支持。

该架构能够支持机器人在复杂场景中的应用，确保机器人与其他设备的互联互通，形成一个高效的巡检系统。

2. 技术路线

技术路线主要基于人工智能（AI）、机器人技术、数据分析和数字孪生等先进技术。

足式机器人：作为核心硬件，通过高精度的激光雷达和深度相机进行地图构建、路径规划和实时导航，具有优异的全地形适应性。

智能识别与分析：集成的 AI 算法能够处理和分析机器人采集的海量数据，进行设备缺陷识别、设备状态监测以及环境安全监控。

数字孪生技术：将机器人与变电站的物理环境进行数字化映射，使得巡检数据在虚拟环境中得以重建，提高了任务的准确性和实时性。

多机协同作业：通过多个机器人之间的协调合作，任务调度能够自动优化，减少了巡检任务的重复性和盲区。

3. 核心技术

全地形适应：足式机器人通过其强大的灵活性，通过高精度的激光雷达和深度相机进行地图构建、路径规划和实时导航，能够在不规则地形如碎石、草地、楼梯等环境中进行稳定移动，完成多角度、多数据源的巡检任务。

多模态识别技术：结合红外与可见光图像，通过 AI 算法进行多模态特征提取与融合，分析机器人采集的海量数据，进行设备缺陷识别、设备状态监测以及环境安全监控，尤其是在光照条件较差的环境下，确保高效巡检。

三维路径规划与数字孪生：机器人利用三维地图和定位服务进行路径规划与实时导航，确保设备巡视的全面性与高效性。数字孪生技术能够实时反映机器人的状态与任务进度，提升任务调度的智能化。

应急响应能力：通过系统的远程控制与视频双确认技术，机器人能够在发生

紧急故障时迅速响应，执行操作，避免设备损坏和大规模停电。通过多个机器人之间的协调合作，任务调度能够自动优化，减少巡检任务的盲区。

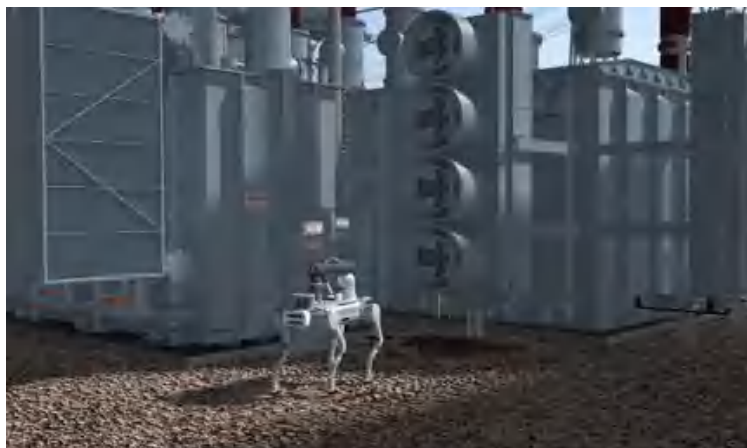


图 29 联想晨星足式机器人巡检系统

（三）场景优势

1. 示范性

足式机器人变电站巡检方案具有显著的示范性，充分满足了技术成熟度要求，并且在实际应用中已展现出强大的技术能力与稳定性。该方案基于人工智能（AI）与机器视觉（CV）技术的深度融合，成功实现了变电站全地形、全设备的智能化覆盖突破了传统智能巡检设备在地形适应性和任务覆盖范围上的局限，能够灵活应对楼梯、台阶、不规则路面等复杂环境，确保变电站内外设备的高效、全面巡检。

该技术路线清晰且完整，通过自主导航与智能分析，足式机器人能够精准识别设备故障、进行实时监控与数据反馈，大幅提高了巡检的精确性和效率。机器狗的自主充电系统保证了其长时间稳定运行，避免了传统设备因电量不足中断任务的问题，进一步提升了巡检任务的连续性与可靠性。

目前，该方案已在多个变电站的实际应用中取得了可喜的应用成果，展示了显著的经济效益和社会影响力。在降低人力成本提升巡检效率、安全性与准确性的同时，推动了电力行业向智能化、自动化和数字化方向的转型。通过对该方案的成功实施，已对智能电网建设、标准化推进及产业协同产生了积极的示范效应，为电力行业技术升级与产业发展提供了有力支撑。此外该方案的成功应用为未来类似项目的推广和普及提供了宝贵经验，具备广泛的复制性和应用前景。

目前，该方案已在广东省、江苏省、浙江省等地区多个变电站的实际应用中取得了可喜的应用成果。该场景方案及研发团队获得了第七届全国无人机电力巡检技术高峰论坛暨第四届“金巡奖”机器人变电站创新应用案例奖、第2届电力行业数字化转型大会暨第4届电力人工智能大会电力数智化转型技术创新应用

评选、第一届能源电子产业创新大赛获得“十强团队”以及“最佳案例奖”、入选 2023 年度《上海智能机器人标杆企业与应用场景推荐目录》等荣誉。

2. 创新性

全地形适应性：传统巡检足式机器人如轮式机器人和轻量化机器人在地形适应性上存在局限，不能有效应对楼梯、沙石地面等复杂环境。而足式机器人则能够在各种复杂地形中自由行走，包括楼梯、台阶和不规则路面，以机代人确保了变电站巡检业务的全面性和高效性。

智能识别与数据分析：配备了人工智能（AI）和机器视觉（CV）技术，能够实时进行设备缺陷识别，精准定位并报告故障。这一技术创新提升了巡检准确性，有效降低了误报和漏报的风险，解决了传统巡检方案中存在的识别精度不足问题。足式机器人的 AI 算法能够持续优化，进一步提高巡检效率和准确性。

自主充电与持续运行：本体的设计中引入了自主充电系统和低电量自动回充机制，保证了其在长时间巡检中的稳定性。相比于传统巡检机器人，足式机器人能够自主返回充电站进行充电，并继续执行未完成的任务，避免了由于电量不足而导致巡检中断的问题。

一键顺控与双确认功能：通过机器人实现了“倒闸操作”一键顺控与视频双确认功能，结合变电站调度系统的信号，可以自动抓拍倒闸操作，并确保操作准确性。这一创新技术提高了变电站操作的安全性和效率，减少了人为误差。

3. 可复制性

足式机器人变电站巡检方案具有优越的可复制性，特别适用于“一带一路”共建国家的基础设施建设和电力系统的现代化升级。该方案通过灵活的足式机器人设计，能够适应不同地区的多样化地形和气候环境，充分考虑到各国基础设施条件、文化背景以及实施成本的差异，确保了在不同国家和地区的顺利推广应用。

机器人的全地形适应能力使其能够在各种复杂环境下执行巡检任务，无论是山区、沙漠还是城市边缘的偏远地区，都能够高效覆盖和监测设备运行状况，尤其适合“一带一路”沿线国家在不同地理环境下的应用需求。此外，智能巡检系统不仅能够在常规巡检中发挥作用，还能在极端天气或紧急故障情况下迅速响应，进行高效的应急处理。其自动化操作显著减少了人工干预需求，提升了应急响应能力，确保了电力系统的稳定性和安全性。

在成本效益方面，尽管足式机器人巡检方案的初期投资相对较高，但其低故障率、低维护频率和高度的智能化巡检能力，使得长期使用中的运维成本显著降低。特别是在“一带一路”共建国家，智能巡检能够大幅降低人工巡检的成本和风险，减少对人工操作的依赖，进一步提升了电力运维管理的现代化水平，并为这些国家带来了更高效、更经济的运维解决方案。综合来看，该巡检方案不仅具

有高效的经济效益，还有助于推动共建国家基础设施的智能化进程，具有广泛的复制和推广价值。

案例 18 大型光伏电站智能化运维

雅砻江流域水电开发有限公司、西南财经大学
本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

（一）场景概述

在建设以新能源为主体的新型电力系统、推动“双碳”目标实现已成为国家战略的背景下，光伏电站行业迎来了高速发展。根据国际可再生能源署数据，2024年全球光伏新增装机容量达451.9GW，同比增长32.2%，其中中国贡献了全球61.5%的新增装机（278GW）。光伏电站智能化是支撑行业升级和可持续发展的重要手段，受到相关政策的大力推动和支持，工信部、住建部颁布《关于开展第二批新能源场站试点示范的通知》，支持培育一批新能源场站示范企业，融合大数据、互联网和人工智能，实现光伏智能化建设和运行管理。工信部等六部委颁布《新能源场站产业创新发展行动计划2021-2025年》，提出新能源场站系统要实现自感知、自诊断、自维护、自调控等技术和目标。

光伏电站日常运维是保证电站正常运转的关键环节，它涵盖了设备日常巡检、定期维护、故障排查等多方面的工作，可确保电站的安全、稳定、高效运行。大型光伏基地具有占地面积广、设备数量多、选址偏远的特点，同时还面临环境差、气候恶劣等问题。这些因素给光伏电站的日常运维工作带来巨大的困难和挑战，如发现故障难、排障计划制定难、设备查找难、消缺作业不规范等难点。

针对光伏电站当前的运维难点，运用数字化、智能化等最新信息技术手段，构建全域感知、由实到虚、全息互动数字孪生体，完成电站数据的统一采集、处理、存储、建模与服务，并实现设备状态监测、远程故障诊断预警、生产运营管理、海量数据分析与AI全景展示等功能，最终保障电站生命周期内的收益最大化。

（二）技术方案

随着光伏电站运维朝着“少人无人”和“运检分离”方向发展，较为理想的运维方式是：场站侧无人值守，生产系统自动将运行态势上报到集控集维中心，集维中心根据场站侧上报的数据统一集中分析、对比和呈现，发现故障时向区域检修中心下派工单，由检修中心派工程师上站解决问题。

雅砻江公司与华为公司以流域高海拔大型光伏电站为目标场景，通过数字化手段固化运维流程，站内和集维相互配合，将巡检、分析、诊断、定位、修复等融于一体，打造高效的一站式检运维综合管理平台，端到端全面覆盖整个运维流程，为光伏电站行业打造了高效运维范本。主要包括如下步骤：

(1) **数字孪生电站：**数字孪生技术以物理世界为基座打造一个虚拟的管理空间，为光伏电站生命周期的运维管理提供基础。数字孪生电站可以支撑电站建立起业务、人员、设备之间的智能互联平台，将地形地貌、场站布局、设备型号、发电数据、安全数据、管理数据等信息融入 3D 场站中，还原场站运行状态与细节，通过大模型及算力支持，为实时监控、设备定位等功能提供虚拟环境容器，真正实现“比特感知瓦特”。



图 30 数字孪生光伏电站

(2) **全链路诊断：**在传统“五点四段”损耗分析基础上进行演进。通过采集和分析组件、逆变器直流侧、逆变器交流侧、箱变低压侧和电网侧五处发电、告警和诊断数据，不仅可以精确分析出四段重要损耗，还能直观呈现整个发电链路运行状态和发电效率，快速识别安全隐患。

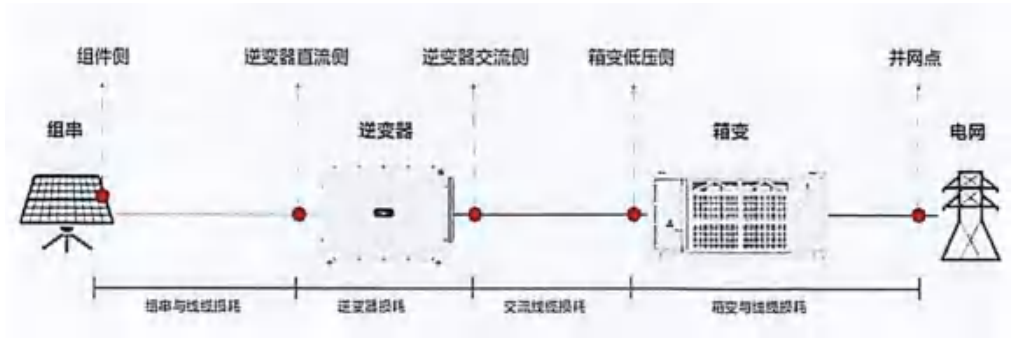


图 31 全链路诊断

全链路诊断主要实现方式：

1) **离散率分析：**离散率分析是在光伏电站中广泛使用的性能分析手段，它通过数学方式识别发电量偏差与平均值相差较远的发电单元，进而提示该发电单元可能出现的问题。这种方式可以高效运用在组串式逆变器/单个组串上。

2) **智能 IV 诊断：**智能 IV 诊断特性是充分利用组串式逆变器采集的组串电

流及电压数据，深入学习光伏组串在电站应用场景中可能的故障，针对不同的故障建立对应的故障识别及诊断模型。不同类型的组件故障在 IV 曲线上留下的信号不同，AI 模型建成后可以基于对光伏组串 IV 曲线的分析识别组串的信息，判断组串是否存在异常。其优点是扫描速度快，可判定故障类型和计算发电损失，帮助运维人员确定运维优先级。

3) 智能融合诊断：随着电站规模增加，组件运维矛盾突出。通过无人机搭载的摄像机和传感器进行图像和信号采集，可以捕捉到组件的表面细节和温度数据；利用先进的图像识别和 AI 大模型数据分析技术，能够精准识别出组件的故障类型，从而对光伏组件进行全面的检查和诊断。智能融合诊断集成 IV 扫描与无人机 AI 图像识别两种核心技术，是华为联合雅砻江公司首创实现的高效组件级故障诊断方案。先采用智能 IV 诊断对待检测区域进行诊断，定位故障组串；再启动无人机对故障组串进行二次排查，进一步精确定位到故障组件。融合方案不仅实现了组件级故障定位，还缩短了飞行目标范围，解决了无人机的续航问题。正常情况下，1GW 电站 1 周内即可完成全量诊断，全程无需人工上站。

(3) AI 智能作业路径规划与导航：合理的作业路径规划可有效提升消缺效率。在路径规划中将发电量损失、人工成本、备件成本、告警密度、告警修复时长、告警密度等经济指标考虑在内是非常必要的，可以帮助运维管理者确定出经济性最优的消缺方案。基于数字孪生技术绘制场站路网，通过 AI 模型测算，提前做好路径寻优，一次消缺多个故障点，可指导运维人员有序消缺。

由于缺乏逆变器位置信息，普通导航无法有效指导站内运维，融合 GPS 定位技术与场站实际施工图纸与站内导航也是运维阶段必不可少的手段之一。它可以有效缩短故障设备查找时间，大幅度提高故障处理效率。在运维中心大屏上可看到运维人员的实际路径，实现作业过程的管理。

(4) 作业全流程管理：电站的运维作业常在户外且强电环境，存在一定的危险性，因此对作业规范性的管理提出了更高的要求。人工智能技术的应用，尤其是移动通讯技术、AI 大模型和 AI 摄像头的配合，可以使电站作业过程的管理更加规范化。电站作业区内利用人脸识别技术和 AI 识别技术，不仅可以对作业人员的资格进行认证，避免无证作业，还能对作业区异物入侵、工作人员着装规范性进行监控。

通过部署站内 GPS 定位系统，可以对运维人员的行动轨迹做追踪。当工程师到达摄像头覆盖区域时摄像头自动启动，对作业过程进行录像并保存，便于对作业过程进行回溯，全面规范消缺、检修等作业流程，预警和保护光伏电站运检人员安全。通过全流程可追溯机制，实现对委外作业的可控可管。

(三) 场景优势

大型光伏电站尤其是高海拔电站面临设备多、选址偏远、环境恶劣等运维难

题，传统人工巡检效率低、故障定位难、管理不规范等问题亟待解决。智能化运维技术通过数字孪生、全链路诊断、智能规划与导航、全流程管控等手段，为光伏电站运维带来系统性变革。

1. 示范性

全流程数字化管理的示范效应：雅砻江柯拉光伏电站通过构建“数字孪生电站”，将地形地貌、设备布局、发电数据等物理信息与 3D 虚拟场景融合，实现电站运行状态的实时镜像。这一模式不仅为运维人员提供可视化决策支持，还通过设备状态监测、故障预警等功能，推动运维流程标准化。

政策与实践结合的示范价值：工信部等六部门发布的《新能源场站创新发展行动计划（2021-2025 年）》明确提出“自感知、自诊断、自维护”目标。光伏电站智能化运维方案与政策高度契合，通过统一数据采集、分析和处理平台，实现从故障诊断到修复的闭环管理，为行业提供了可参考的标准化模板。

经济性与安全性的双重示范：柯拉电站装机容量达 100 万千瓦，覆盖 200 余万块光伏组件，传统人工巡检成本高昂且效率低下。通过智能 IV 诊断和无人机 AI 图像识别技术，电站实现每周全量自动化诊断，极大降低了人力成本，同时规避了高海拔作业的安全风险，为大型光伏基地的高效运维树立示范。

2. 创新性

数字孪生、人工智能与全链路诊断的创新结合：传统运维依赖人工经验，难以定位隐性故障（如二极管故障、地势缓慢沉降等）。本方案创新采用离散率分析和智能 IV 诊断技术识别组件异常，结合无人机 AI 二次排查，实现故障定位精度达组件级。

多技术融合的 AI 智能作业路径规划：针对设备分布广、环境复杂等挑战，电站利用数字孪生技术绘制三维导航地图，集成 GPS 定位与施工图纸数据。运维人员通过移动端接收最优路径指令，一次作业可覆盖多个故障点，大大降低作业重复路线。

AI 驱动的全流程规范化管理：通过人脸识别、AI 摄像头和 GPS 轨迹追踪，柯拉电站构建了“人-机-环境”协同管控体系。例如，作业人员进入高风险区域时，系统自动启动视频记录并同步安全规范提示；维修完成后，工单自动闭环，实现故障闭环。

3. 可复制性

本光伏电站智能化运维方案可灵活适配不同规模电站。数字孪生平台可根据电站实际数据快速建模，智能诊断算法支持不同组件类型的参数化配置。通过“集控中心+区域维修中心”架构，方案实现运维资源集约化，减少人员投入并大幅提升设备利用率，可观的成本效益为本方案的大规模复制提供内在动力。

案例 19 基于人工智能技术的电网工程评审体系构建与应用

国网上海市电力公司经济技术研究院

本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

（一）场景概述

当前工程评审工作面临标准繁杂、数据冗余、协同困难、效率低下等多重挑战，已难以适应工程项目日益增长的审查需求，主要表现在四方面：第一，标准体系复杂，需追踪 700 余项国家标准、200 余项行业标准和 150 余项企业标准，评审专家学习与适应成本高；第二，数据量庞大，年均评审达 4500 项次，涉及 5 万条工程数据和 800 万项附件资料，数据处理与审核压力大；第三，跨专业协同难，单个项目常需 5—8 位专家联合评审，跨专业沟通与协调占评审时长超过 40%；第四，造价分析低效，造价数据分散、核查流程复杂，耗时占评审总时长的 30%。

本方案围绕提效、减负、控错，依托人工智能、大模型与知识中台等技术，形成一套智能化、流程化、结构化的评审新体系，系统性地解决上述问题。一是实现智能预审，依托大模型实现 212 项审查点的自动化校验，预审准确率达 80%，资料返工率降低 25%；二是驱动流程重构，嵌入智能模块，实现预审结果即时反馈，评审等待时间缩短 70%（由 24 小时降至数分钟）；三是实现精准分析，AI 辅助完成土建专业 17 项技术审查点与 6 项技经指标的智能比对，误差率低于 0.5%；四是搭建知识中台，集成 2000 余份规范文件，支持实时智能问答，答复准确率达 80%，专家查阅效率提升 50%。

（二）技术方案

1. 技术架构

系统采用“数据层—算法层—应用层”三层架构，实现面向电力工程审查场景的端到端智能化能力。

数据层：整合电力工程文档、历史评审数据及实时 IoT 传感器数据（如工程进度监测），构建结构化与非结构化并存的多模态数据湖，为模型训练与推理提供统一数据底座。

算法层：基于轻量化开源大模型（训练语料规模 1.4 万亿 Tokens），结合监督微调（SFT）、检索增强生成（RAG）与人类反馈强化学习（RLHF），实现面向电力垂直领域的多模态智能解析，支持文本、表格与图像的混合输入处理。

应用层：围绕评审业务流程，构建智能预审、土建审查、造价分析、智能问答四大核心应用模块，实现审查节点的自动识别、智能辅助与闭环处理。

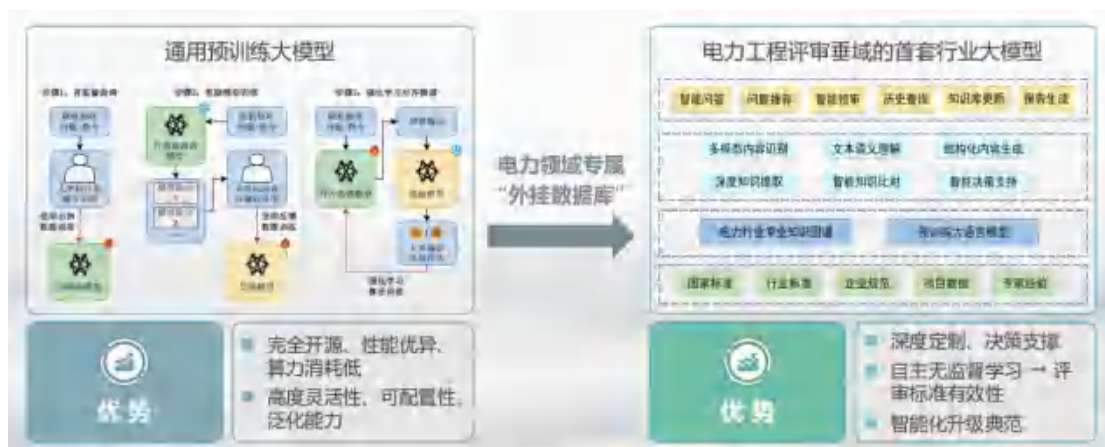


图 32 整体业务架构

2. 核心技术

项目融合多模态解析、动态流程优化与知识增强三大类核心技术，全面提升系统在工程审查中的智能化水平。

多模态解析技术：包含文档理解与表格对比。文档理解融合 OCR 与深度学习模型（如 LayoutLMv3），精准提取非结构化文档中的设计参数与图纸信息，解析准确率达 95%。表格比对应应用 Diff 算法实现造价数据自动对齐与差异检测，误差识别率高达 99%。

动态优化算法：包括复杂网络分析（CNA）、强化学习路径规划。基于工程任务间依赖关系预测资源调配需求，复杂网络分析（CNA）可提升评审任务排序效率，响应速度提高 40%。强化学习路径规划能够根据评审流程动态调整执行顺序，减少跨专业等待时间 35%。

知识增强引擎：包含电力知识图谱与智能问答系统。电力知识图谱构建覆盖 10 万+实体、50 万+关系的行业图谱，支持语义级推理与知识关联检索。智能问答系统融合 BERT 与 BiLSTM 模型，支持多轮上下文理解与快速问答响应，平均响应时延控制在 3 秒以内。

3. 技术路线

项目以需求牵引为导向，按“需求梳理—模型训练—系统集成—试点验证”四阶段推进，确保系统能力与业务场景深度契合。

需求分析：联合电网规划、设计、施工等关键业务部门，梳理 212 项核心审查点，明确 AI 嵌入的可行环节与场景优先级。

模型训练：基于 30000 项历史工程评审数据开展模型微调，通过 A/B 测试迭代验证，显著提升模型识别准确性。

系统集成：与现有评审平台（如 SAP、Oracle）实现无缝对接，支持 API 调

用、评审结果回流与平台级联动。

试点验证：在典型评审场景中开展实地测试，优化模型参数，推动审查准确率从 75% 提升至 85%。

（三）场景优势

1. 示范性

规模化应用成效：已在国网上海经研院落地应用，累计完成 4500 项次/年工程评审，存储 30000 余项可研、初设项目数据，覆盖 50000 条单项工程数据。除规模化应用成效外，还获得在效率、评审质量和成本节约、绿色低碳等多方面效益。

效率提升方面：单项目评审耗时从数周降低至数天，流程效率提升超过 50%；跨专业协同会议减少 60%，专家工时节省 2000 人天/年。

质量强化方面：审查误差率从 1.2% 降低至 0.5%，投资偏差纠正率 98%；土建专业审查通过率从 70% 提升至 92%。

经济效益方面：累计节约投资成本 7.47 亿元，人工成本降低 300 万元/年。在绿色低碳方面，无纸化评审减少碳排放 500 吨/年，相当于植树 2.7 万棵。

标准化输出方面：形成 2 项国家标准提案，纳入全国信标委制定计划，为行业提供可复用的评审流程与 AI 技术融合范式。

2. 创新性

技术模式创新：首创“轻量化开源模型（1.4 万亿 Tokens）+垂域微调”开发模式，构建电力工程领域首套行业大模型，填补垂直领域技术空白。

数据治理能力：集成 OCR 解析、实体关系抽取、向量数据库构建技术，清洗 2000 余份文件，构建 20GB 级电力知识库，模型训练质量提升 30%。

人机协同机制：通过 Agent 智能体实现实时问答、审查点提示、报告生成，专家与模型协同效率提升 50%。

3. 可复制性

技术适配性：模型支持多语言、多标准快速适配，已验证可覆盖“一带一路”沿线国家电网评审需求（如东南亚、中东地区）。

成本优势：轻量化模型基座，算力消耗降低 40%，部署周期缩短 50%。

国际合作基础：技术方案被纳入工信部 AI 产业融合示范案例集，与全球能源组织（如 IEA）建立合作意向，推动国际化标准输出。

案例 20 基于电力行业首个大模型“大瓦特”的南网智能客服创新实践与场景应用

中国南方电网有限责任公司用户生态运营公司
本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

（一）场景概述

智能客服系统的建设已成为电力营销业务领域智能化应用的重要方向。建设前期，南方电网的客服业务面临以下问题，并创新地提出了解决方案。

1. 痛点分析

传统人工客服面临挑战：随着用电业务的不断发展，催生出了大量的客服需求，传统语音渠道客服话务量持续增长，座席人数无法满足日益增加的话务需求，这让传统客服模式受到了极大的挑战。服务模式依然以人工语音渠道为主，随着用户规模和服务量持续增长，客户排队等待时间不断增长，热线接通率下降，客户满意度逐年下滑。

缺乏智能化技术赋能：用电服务缺少基于自然语言理解（NLP）、语音识别（ASR）和语音合成（TTS）等人工智能技术，导致大量重复的电力客服业务咨询仍需转入人工服务才能完成，坐席人员工作量巨大，既浪费了人力资源，也降低了服务效率，无法及时满足来访用户的需求，无法及时有效为客户提供优质服务。

智能知识体系不健全：各地电网存在数据分散、格式不一、集成难度大的问题。各部门、各业务环节的数据未能有效整合，导致信息孤岛现象严重，难以形成统一、全面的知识库。知识体系可能无法及时更新和迭代，导致知识体系陈旧，无法满足业务发展的需求。

2. 解决方案

针对以上问题，基于能源电力行业首个自主可控大模型“大瓦特”为底座，以智能知识库为“大脑”，构建基于电力行业首个大模型“大瓦特”的南网智能客服创新实践与场景应用，涵盖智能 IVR、智能质检、智能在线客服、智能客服助手、智能外呼、培训考评、5G 视频客服、数字虚拟人、实体机器人等多元前端应用，构建渠道融合、数据贯通、能力共享的电力客服智能体，实现电费查缴等客服场景，面向各渠道用户赋能，致力于提供个性化、高效化的服务体验。

在用户侧，简化业务流程，实现用户“业务办理，一次都不跑”的目标；在运营侧，自动感知预测客户需求，辅助提高坐席人员的专业素质、业务水平，大幅提升工作效率；在管理侧，优化风险管理和预防，提供业务优化决策辅助，有

效提高管理水平。



图 33 南方电网智能客服业务架构

（二）技术方案

1. 技术架构



图 34 智能客服技术架构图

本应用的整体设计基于大模型、小模型和智能体等先进技术，依托电力行业首个自主可控电力大模型“大瓦特”，构建包括语音识别、自然语言处理、多模态情绪识别、对话管理、自动回答和知识库等核心模块的系统架构，各模块协同工作，确保系统能够高效处理用户的多样化咨询。同时，系统具备实时监控和自我优化能力，通过收集用户反馈和分析交互数据，不断调整模型参数和优化知识库，以提升服务质量和用户体验。此外，电力智能客服系统强调多渠道整合和人机协同，能够无缝对接网站、APP、社交媒体等多种客户沟通渠道，并在复杂问题处理时智能转接至人工客服，实现资源的最优配置，成为客服中心提升客户满意度、优化运营效率和推动业务增长的关键力量。

2. 技术路线

以数据规范化为核心，基于南方电网公司自主可控电力大模型“大瓦特”为底座，加入电力营销客服领域的数据，结合多种先进人工智能技术构建完整的客服支持体系，打造以智能知识库为“大脑”，以智能 IVR、智能在线客服、智能客服辅助、智能质检为前端应用的电力智能客服体系，其多个功能模块通过标准化接口协同工作，保障信息流畅和服务连贯。采用以下技术路线：

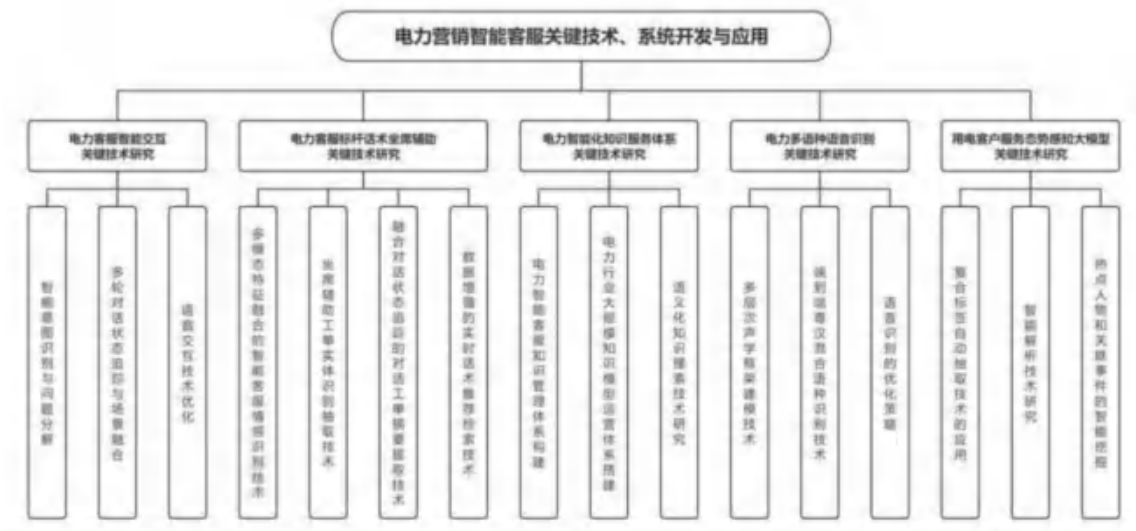


图 35 智能客服技术路线图

3. 核心技术

电力客服智能交互关键技术：率先融合智能意图识别、规则与神经网络，精准把握用户需求，设计问题分解策略。突破智能多轮对话技术，模拟人工服务，增强自然度。提升语音交互，简化系统结构，通过 NLP 和上下文追踪实现复杂问题解决与文本、语音交互。

电力客服标杆话术坐席辅助关键技术：国内首创多模态特征融合的情感识别技术，结合语音、文本分析情感。开工单实体识别抽取技术，提高处理效率。提出关键参量，开发融合对话状态追踪的工单摘要提取技术，还融合数据增强实现实时话术推荐，提升服务质量。

电力智能化知识服务体系关键技术：融合业务流程与知识管理，构建智能客服知识管理体系。首创大规模知识模型运营体系，实现知识自学习与优化。引入语义化知识搜索技术，提升知识检索与推荐准确性。

电力多语种语音识别关键技术：通过多层次声学框架建模技术，应对方言口音挑战，构建不同声学模型，提高识别准确率。开发端到端粤汉混合语种识别技术，解决多语混合难题。优化预训练与精调策略，提升模型性能。

用电客户服务态势感知大模型关键技术：首创复合标签自动抽取技术，利用预训练大模型精准识别多维度标签。提出智能解析技术，结合句法解析树和句法图卷积网络，提升对非结构化文本的理解。开发智能挖掘技术，实时追踪热点事件，为客服决策提供支持。

（三）场景优势

本应用场景依托电力行业首个自主可控电力大模型“大瓦特”，构建了电力行业首个“五位一体”智能客服体系，实现了电力客服高频业务机器人、复杂业务人机协同，并在南方电网五省区推广并实施应用，填补了国内外电力智能客服的技术研究与应用空白。

1. 示范性

目前该方案已在全网推广应用，成为行业标杆，有力推动了电力营销智能化升级与行业高质量发展。该方案成功入选工信部创新领航应用案例，荣获中国电工技术学会科学技术奖三等奖、广东电力科学技术奖一等奖等荣誉，入选中央企业人工智能创新平台《领先企业智能化转型实践白皮书》。目前该解决方案在广东、广西、云南、贵州、海南等省市落地，南方电网智能客服统一平台应用，为南网营销客服领域实现了“机器人”率超过 85%。

2. 创新性

该场景方案首次提出了基于国产化算力的电力客服领域多模态大模型技术，研制首个国产化人工智能电力客服大模型，填补了国内外电力智能客服的技术研究与应用空白。

一是基于南方电网公司自主可控电力大模型“大瓦特”为底座，加入电力营销客服领域的的数据，构建了融合多模态大模型，包括智能机器人、智能知识库、智能坐席辅助、智能质检和智能外呼的“五位一体”智能客服体系，提出了能够准确描述电力营销客服特征的关键参量，解决了电力营销客服多源异构数据规范化问题。

二是提出复杂环境下的鲁棒噪声抑制、融合规则与神经网络的意图识别方法，发明了普通话、粤语和英语多语言混合实时检测与识别及情感特性技术，混合识别准确率达 85%以上，实现了多语言与复合情感的高精度识别与实时推荐话术精准匹配，多模态情感识别准确率高达 97%，电费查询意图识别率超过 95%；提出了基于电力问题分解的客服知识推理准确率的关键参量与相应指标，文本推荐话术总延迟低于 300ms，语音推荐话术总延迟<2s，话术推荐准确率 97.81%。

三是构建了电力营销全业务流程知识管理体系，研发了大模型知识运营与向量化全方位知识搜索技术，攻克电力营销客户服务数据挖掘难度大、知识提取效率低和信息检索精度差的难题，实现实时知识检索低于 1s，知识检索准确率高

达 95%；提出面向多源异构知识的热点挖掘技术，可以实时追踪行业动态、捕捉热点问题、预测潜在需求，实现热点挖掘准确率高达 80%以上。

四是建立了具备高效理解能力的电力客服知识图谱，提出了电力客服领域智能解析与联合事件抽取方法，实现了客户投诉、大面积停电等关联事件的智能挖掘与态势感知；提出电力复杂业务场景下的复合标签自动化抽取技术，自动生成和更新标签体系，实现复合标签抽取准确率高达 80%以上。

3. 可复制性

该技术方案凭借其多语言识别核心技术优势，以及在电力客服场景中已验证的出色通用性与稳定性，证明其具有极高的推广价值。具体而言，一方面，该方案可复用于国内其他区域的同类业务场景；另一方面，它也非常适合面向语言文化多样的“一带一路”沿线国家进行推广落地，应用空间极为广阔。

案例 21 食品行业发酵工艺参数优化

卡奥斯数字科技（上海）有限公司

本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

（一）场景概述

鲜味汁作为雀巢美极的核心调味产品，其生产过程以发酵工艺为核心，涉及造粒、蒸煮、制曲、首次发酵等多个环节。以下四方面面临以下突出挑战：

第一，工艺复杂耦合、参数难以量化，温度、湿度、时间、比重等参数之间交互影响显著，传统经验驱动难以准确调控，常引发“烧曲”“坏曲”等异常，造成产能波动和原料浪费；第二，实时调控能力不足，关键工艺指标如巴杀干物质无法动态监测与快速响应，产率波动幅度高达 10%-15%，影响产能计划与供应稳定性；第三，隐性因果链难以识别，传统统计分析难以挖掘长周期、多变量的非线性关联，关键影响因素易被忽视，工艺优化存在“黑箱”问题；第四，知识传承困难，工艺依赖资深工程师隐性经验，缺乏标准化方法论，新员工上手慢，技术断层风险大。

为破解以上难题，雀巢美极携手卡奥斯数字科技（上海）有限公司，依托人工智能技术对鲜味汁生产过程进行智能化重构。一是实现全流程工艺参数智能优化。构建多工序参数关联模型与最优控制策略，提升单位批次出率 0.5 吨，显著增强生产稳定性；二是打造数字孪生驱动的实时监控体系。通过实时参数可视化与异常预测联动调节建议，响应时间缩短至 5 分钟内，质量波动显著减少；三是建立知识图谱支撑的工艺知识库，利用数据挖掘技术挖掘隐性规律，实现工艺知识的结构化沉淀与复用，推动工艺持续优化；四是实现关键设备自动控制与人机协同：AI 算法与 PLC 系统联动，实现设备参数自适应调节，人工干预频率下降 70%，推动从经验型生产向智能制造转型。



图 36 鲜味汁生产流程

（二）技术方案

1. 技术架构

系统整体采用“边缘—云端”协同架构，划分为四层结构，实现数据采集、智能分析、业务应用与安全控制的全链路闭环。

在数据采集层，系统通过工业物联网（IIoT）设备实时采集来自造粒机、蒸煮罐、发酵罐等核心设备的温度、压力、比重等传感器数据，同时接入实验室检测结果，如巴杀干物质、出率等指标。该层支持 OPC-UA 协议与 PLC 系统对接，实现多源数据的标准化接入。

算法引擎层构建了两阶段混合模型。第一阶段采用基于 XGBoost 的造粒比重预测模型，输入粒度分布、原料含水率等关键参数；第二阶段则采用基于 LSTM 的巴杀干物质动态预测模型，融合历史发酵记录与实时工艺参数，为出率优化提供数据支持。在优化算法方面，结合贝叶斯优化与遗传算法，实现出率最大化与能耗最小化的多目标平衡，输出包括蒸煮时间、制曲转速等参数的 Pareto 前沿解集。

应用服务层提供工艺运行的数字孪生可视化及告警与控制能力。数字孪生可视化通过数字孪生平台还原三维工艺流程，实时展示关键参数曲线、模型预测结果与设备运行状态，并支持异常事件的可追溯分析(如 pH 异常溯源至蒸煮阶段)。同时，告警与控制能力可基于复杂事件处理（CEP）规则引擎触发告警，并通过 REST API 向 PLC 发送参数调节指令，实现自动控制与参数调节。

安全层构建了覆盖数据、设备、权限和操作的多维防护体系。系统采用工业防火墙隔离 OT/IT 网络，通过 AES-256 加密数据传输，并基于 RBAC 模型控制用户权限。同时接入日志审计功能，记录关键操作行为，保障数据合规与追踪能力。

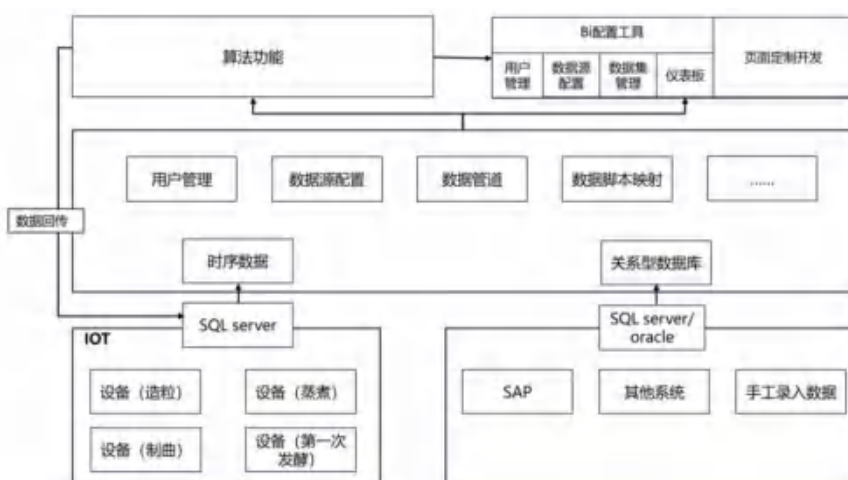


图 37 系统集成架构

2. 核心技术

多模态数据融合：通过引入图神经网络（GNN），整合时序传感器数据、离散质检数据及造粒颗粒显微图像等多源数据，精准刻画工序间物质传递与因果链路。

增量学习与漂移检测：通过部署增量学习机制和KS检验法进行数据分布漂移监测，一旦识别出原料季节性变化或工艺波动，即触发模型权重更新或再训练，确保算法稳定性与预测精度。

可解释性增强：为提升工程师对AI调节建议的信任度，系统引入可解释性机制，基于SHAP值分析识别关键因子影响权重（如比重对巴杀干物质的影响占比达32%），并自动生成归因报告与优化建议，增强决策透明度。

（三）场景优势

1. 示范性

一是解决传统食品制造业核心痛点：鲜味汁生产发酵工艺复杂，传统人工经验难以量化多工序参数的交互影响，导致工艺波动频繁（如烧曲、坏曲）、出率不稳定（波动达10%-15%）等问题，通过人工智能技术，构建多工序参数关联模型，实现关键参数（如造粒比重、巴杀干物质含量）的实时预测与优化，将产出率提升0.5吨/批次，为传统发酵食品行业提供数字化升级的标杆案例。

二是融合“效率与锅气”的行业典范：在餐饮行业追求标准化与消费者渴望“锅气”的矛盾下，项目不仅通过AI优化工艺提升生产效率，还结合美极鲜味汁的独特发酵工艺（3步发酵法、进口菌种），增强产品提鲜增香特性，助力餐饮企业打造兼具标准化与烟火气的爆款菜品（如美极虾、啫啫煲等）。

三是数据驱动全链路管理模式：从数据采集（PLC控制器实时获取设备参数）、模型训练（两阶段混合预测模型），到BI看板实时监控（卡奥斯Data Analysis工具）及自动调节（参数优化信号回传PLC），形成“监测-分析-决策-执行”闭环，为食品制造业提供可复用的智能化管理框架。

目前该解决方案已经在雀巢美极东莞工厂落地。

2. 创新性

技术创新—AI与生物工艺的深度融合：一是多模态数据建模，整合时序传感器数据（温度、湿度）、离散质检数据（巴杀干物质）及图像数据（造粒颗粒显微分析），利用图神经网络（GNN）捕捉工序间物质传递的非线性关系，突破传统统计方法的局限性。二是采用增量学习与漂移检测，通过在线学习机制动态更新模型权重，适配原料季节性变化导致的工艺漂移，结合KS检验识别数据分布偏移，触发模型重训练，确保长期预测精度。

工艺方面—两段式预测优化模型：第一段采用比重预测模型，以 XGBoost 算法预测造粒比重，辅助工艺即时调整；第二段采用 LSTM 网络融合历史与实时数据，预测巴杀干物质动态变化，结合贝叶斯优化生成平衡产率与能耗的多目标参数解集，实现工艺参数的精准优化。

应用创新—可解释性驱动的知识沉淀：通过 SHAP 值分析量化参数贡献度，生成工艺调节的归因报告，将隐性经验转化为显性知识库，支持快速工艺迭代与新员工培训。

3. 可复制性

技术方面，框架具备较强普适性，兼容离散制造与连续流程工艺，易于迁移到其他发酵食品（如酱油、豆瓣酱）及相关化工领域。通过调整特征工程及目标变量，快速适配不同产品。采用“边缘—云端”协同架构，边缘部署轻量级模型（如 TensorFlow Lite），有效降低设备算力需求，适合中小型工厂智能化改造，保证技术推广门槛低。

商业模式方面，设计分阶段推广策略。试点产线验证投资回报率后，计划依托雀巢全球供应链，将 SaaS 化解决方案向“一带一路”沿线国家输出，采用“基础订阅费+效果分成”的合作模式。同时，积极推动跨界生态建设，联合餐饮企业开发定制化调味方案（如袁记云饺蘸汁），与设备厂商共建 PLC 接口标准，形成“AI 算法+工业设备+餐饮场景”的生态闭环，促进产业链协同发展与共赢。

案例 22 人形机器人/建筑机器人智能生产场景

领湖智能（深圳）有限公司

本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

（一）场景概述

当前建筑机器人生产仍依赖传统刚性产线与人工作业，存在效率低、风险高、成本重等多重瓶颈。灵活智能的人形机器人代替工人完成工厂生产和建筑场景的组装、测试、维护等任务，本方案采取“技术智能化+模式分布化”双重创新路径，从硬件、软件、质检到产业组织形态进行全面升级，旨在解决以下四方面问题：

一是刚性产线切换效率低，建筑机器人型号多样，如砌墙机器人需适配不同墙体材料，拆除机器人需调整机械臂载荷。传统产线换型需停机达 72 小时，造成年产能 20% 损失。

二是高危环境下人力短缺严重，生产涉及焊接（高温）与高空部件组装（坠落风险），一线工人流失率超 30%，招聘成本三年增长 40%，用工难、留人难问题突出。

三是精密装配质量难以保障，核心部件如机械臂关节轴承对装配精度要求极高，误差需控制在 0.05mm 以内。但人工目检存在 5% 漏检率，终端出厂故障率高达 2%。

四是跨境生产物流成本高、响应慢，传统集中式生产模式无法适配“一带一路”沿线分散式建筑项目需求。单台机器人跨国运输周期长达 30 天，物流成本占比高达 15%，难以快速响应本地订单。



图 38 领湖智能（深圳）有限公司的人形机器人

（二）技术方案

硬件自动化升级：部署 50 台双足人形机器人（负载 25kg，步态误差控制在 2cm），搭配高精度协作机械臂（定位精度 0.02mm），实现从零部件拆包（AGV 搬运）—精密装配（力控螺丝拧紧）—整机测试（模拟高空作业）的端到端自动化作业流程。

软件智能决策系统：构建“数字孪生+AI 决策引擎”，实现虚拟工厂动态仿真。系统可提前预演装配路径（减少无效移动 30%），并对现场异常（如螺丝滑丝）进行实时响应，自动切换扭矩参数，响应时间小于 0.1 秒。

质量检测智能化：引入 3D 视觉扫描（精度 0.1mm）+深度学习缺陷识别模型，训练数据超 10 万张，实现关键焊点与螺栓扭矩的 100%覆盖检测，显著提升质检可靠性。

（三）场景优势

1. 示范性

“黑灯工厂”标杆产线落地：在深圳坪山建成全国首条全无人化建筑机器人智能产线，实现 24 小时连续作业，人工干预率低于 5%，良品率达 99.9%（高于传统产线的 98%），成为粤港澳大湾区智能制造的标杆案例。

分布式本地化生产模式验证：在马来西亚吉隆坡工地旁建成临时边缘工厂，部署人形机器人就地组装“高空作业机器人”。该模式将物流成本降低 30%，交付周期由 45 天缩短 18 天，验证“生产贴近应用场景”的模式可行性。

AI 质检实现闭环管理：集成视觉检测与缺陷知识库，打造“AI 质检闭环系统”，将建筑机器人出厂故障率控制在 0.1%以内（传统产线为 2%），相关质检标准已纳入《建筑机器人制造质量标准（征求意见稿）》。

目前场景已经在海尔、格力、美的、苹果供应链厂商群等国内外建筑和智能制造企业落地应用。

2. 创新性

通用人形机器人专用化应用突破：将人形机器人作为“智能生产工人”的方案为全球首创，打破传统工业机器人“单工位、单功能”限制。通过搭载双足运动底盘（适应复杂地形）与仿生灵巧手（具备 20+自由度的精细操控能力），实现建筑机器人从螺丝拧紧、线束插接到部件搬运的全流程自主组装，攻克“一机多能”技术瓶颈。

动态柔性生产系统重构产线逻辑：数字孪生+强化学习技术构建可重构柔性产线，实现新机型 3 天内完成适配，解决传统流水线“换型即停工”难题。支持

砌墙、拆除、焊接机器人等多型号混线共组，整体装配效率提升 40%。

人机环协同网络拓展应用边界：搭建多模态感知系统（融合 3D 视觉与力反馈），支持人形机器人与 AGV、协作机械臂及人工协同作业，实现如“共同搬运 20kg 重部件”等高协同任务，打破传统工业“人机隔离”格局，提升作业灵活性与安全性。

3. 可复制性

模块化、标准化技术架构：核心系统（双足运动控制、数字孪生仿真、多机协同）均采用标准化接口，已实现向新能源汽车电机组装、3C 电子产品主板焊接等行业场景的快速适配，形成“机器人生产机器人—机器人生产多品类产品”的通用范式。

轻量级部署方案：针对中小企业推出“共享人形机器人产线”商业模式，按订单计费、无需自建产线，单条产线初期投入降低 50%。该模式已在中国香港、越南为 3 家中小制造商提供代工服务，产能利用率提升 60%。

跨境一体化解决方案输出：在“一带一路”沿线的新加坡、马来西亚设立本地技术服务中心，提供集硬件设备、软件算法与人员培训为一体的整体化解决方案，打破技术本地化瓶颈，推动跨境智能制造合作常态化。

案例 23 面向核电制造柔性焊接场景的人工智能焊接系统

上海优复博智能科技有限公司

本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

（一）场景概述

1. 痛点分析

焊接作为制造业中的关键工艺，广泛应用于核电、船舶、钢结构、轨道交通等国家重要产业，当前焊接作业正面临以下四方面问题。

焊工短缺、用人成本高：熟练焊工的培养周期长（通常需 3-5 年），而年轻人对焊接行业兴趣不足，导致“青黄不接”的现象加剧。同时，人工成本持续上涨，高级焊工薪酬不断攀升，企业用工成本大幅增加。

柔性制造适应性差：传统焊接机器人高度依赖人工编程与精密夹具，仅适用于批量化、结构固定的场景。在船舶分段装配等小批量、多品种、工件放置不确定的柔性制造场景中，自动化效率低下，制约推广应用。

焊接质量一致性难保障：复杂焊缝、多维结构或不规则姿态的作业场景中，传统焊接方式对操作人员经验依赖性强，容易出现焊缝偏差、虚焊、气孔等问题，影响产品的整体质量与可靠性。

作业环境恶劣、职业健康风险高：焊接现场常伴随高温、强光、弧光辐射及有毒烟尘等不良因素，工作环境艰苦，长期作业对工人健康造成严重威胁。

2. 场景方案

优复博 AIWS 系统依托“AI+3D 视觉+数字孪生”核心技术，面向复杂焊接场景，打造高智能化、高可靠性的焊接自动化解决方案。

一是具备强大的场景适应能力，操作便捷：支持 CAD 模型与无模型条件下的焊缝自动识别与空间对齐，实现真正“免示教、免编程”的柔性制造应用。操作界面简洁直观，配备一键标定、一键焊缝识别等自动化功能，显著降低部署门槛、提升作业效率。

二是焊接质量稳定、精度高，作业安全性好，系统稳定可靠：系统集成高精度焊缝识别与路径规划算法，确保焊接过程的一致性与高质量输出，满足严苛工艺标准要求。借助数字孪生技术，系统可在虚拟环境中完成焊接仿真、路径优化与避障模拟，提升作业安全性。基于 Linux 系统开发，具备出色的稳定性与可维护性，能够胜任多类工业现场的长期高强度运行需求。



图 39 优复博储罐浮舱智能焊接机器人在辽宁完成验证

（二）技术方案

1. 技术架构

本系统采用模块化、分层式技术架构，确保各功能组件高效协同，兼具良好的扩展性、兼容性与可维护性，具体分为以下三层：

硬件层：整合机械臂、工业相机、激光传感器等核心设备，进行统一接口封装，屏蔽底层差异，实现跨设备兼容与统一调度，大幅提升系统部署效率与通用性。

算法层：采用 RESTful 接口规范对焊缝识别、轨迹规划、避障仿真等算法模块进行统一封装，支持本地部署与云端部署双模式，便于根据硬件资源灵活调度，降低本地计算压力。

客户端层：提供图形化用户操作界面，具备直观交互体验与完整操作流程，用户可便捷实现设备控制、焊缝识别、轨迹生成与系统校准等关键功能，显著降低操作门槛。

2. 技术路线

系统以“视觉感知—空间对齐/焊缝识别—轨迹规划—焊接执行”为主线，融合人工智能、3D 视觉与数字孪生等关键技术，构建柔性、高效、智能的焊接流程。

视觉感知：通过多视角工业相机采集工件图像与点云数据，构建三维场景模型，实现对工件形态与焊缝区域的全面感知。

空间对齐/焊缝识别：根据场景特点灵活选用有 CAD 模型时，采用“两阶段对齐算法”完成粗对齐与精对齐，实现机器人与工件坐标系的高精度配准；无 CAD 模型时，调用 AI 焊缝识别算法，自动从点云或图像中提取焊缝区域，支

持快速部署与灵活适配。

轨迹规划：基于识别结果与三维模型，在数字孪生环境中生成焊接轨迹，结合碰撞检测与运动仿真进行轨迹优化，确保路径可行性与安全性。

焊接执行：将轨迹指令下发至机器人控制系统，驱动焊接设备精准作业，实现焊接作业的高一致性、高质量输出。

3. 核心技术

两阶段对齐算法：结合 CAD 模型，先执行快速粗对齐定位焊缝，再通过特征点匹配或迭代优化实现精对齐，显著提升空间定位精度，适应工件摆放误差。

无模型焊缝识别技术：基于 AI 图像算法，在缺乏 CAD 模型条件下依然可识别常见焊缝类型，极大增强系统柔性，适配小批量定制化场景。

多视角融合点云拼接技术：采集多角度图像和点云数据，进行空间配准与融合，构建完整、高精度的三维工件模型，为后续路径规划与仿真奠定基础。

基于数字孪生的运动规划与避障技术：构建虚拟工件与虚拟机械臂环境，进行路径仿真、碰撞检测与最优路径搜索，有效提升焊接任务的可行性与安全性。



图 40 AI 算法处理异形焊接

（三）场景优势

本系统在柔性焊接自动化应用中展现出显著的优势，具有强示范性、突出创新性和广泛可复制性，针对制造业焊接场景中“人难找、成本高、质量不稳”的关键痛点，提供了一套集智能识别、精准对齐、路径规划与自动控制于一体的完整解决方案。

1. 示范性

本系统已在核电、船舶等复杂焊接工况中开展示范应用，验证了其在焊缝类型多样、工件结构复杂、空间环境受限等高难度任务中的适应能力。系统成功实现了工件 CAD 模型的对齐与轨迹生成，甚至实现在无 CAD 模型的点云焊缝识别任务中也能稳定运行，展现出极高的通用性与实用价值。通过系统部署，多个试点工厂实现了从传统人工焊接向智能化自主焊接的转型，生产效率提升显著，焊接一致性与合格率显著提高，减少了对高技能焊工的依赖，极大缓解了技术人才短缺问题，具有良好的推广示范效应。

2. 创新性

系统整合多项前沿技术，体现出强技术领先优势与研发深度，一是提出基于“粗对齐+精对齐”的两阶段对齐算法，有效提升了对工件空间位置的感知精度，解决了柔性焊接中、工件摆放偏移带来的误识别问题；二是采用多视角融合的点云拼接技术，实现对焊接区域三维环境的完整建模与特征还原，确保数据采集的完整；三是研发智能焊缝识别算法结合深度学习与图像特征提取技术，不仅适用于规则焊缝，也能适配复杂焊缝形态；四是引入基于数字孪生技术的运动规划与碰撞检测机制，系统可在虚拟环境中进行焊接仿真与轨迹验证，有效规避碰撞、干涉等风险，确保系统运行安全。整套算法系统在功能覆盖度、精度水平和运行效率上均达到行业先进水平，具有原创性和突破性，填补了部分高精度智能焊接领域的技术空白。

3. 可复制性

系统在软硬件设计、操作方式和部署流程上充分考虑通用性与标准化需求，具备快速复制推广的条件与基础。第一，系统采用模块化设计以及统一 API 封装思路，可灵活集成各类机械臂与相机等硬件设备；第二，系统界面简洁友好，操作流程高度自动化，普通技术工人通过简短培训即可上岗使用，无需具备编程或焊接背景；第三，系统内置“一键校准”“一键示教”等功能，大幅降低调试难度与部署时间。此外，基于 Linux 系统的底层架构进一步增强了系统稳定性和可靠性，使其具备在不同工况、不同企业场景下的灵活部署能力。目前，依托中核五公司在“一带一路”的海外核电建设项目，相关产品有望在海外市场应用复制。

案例 24 AI 烟气治理方案

上海展湾信息科技有限公司

本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

（一）场景概述

玻璃、水泥、钢铁等行业是高污染、高能耗行业，烟气治理面临多项挑战：一是排放超标风险，NO_x、SO₂等颗粒物等污染物波动大，传统控制方式难以稳定达标；二是运行成本高，过量喷氨导致氨逃逸，年浪费氨水成本高；三是设备损耗快，人工调节滞后，催化剂堵塞/中毒频率高，设备和耗材寿命缩短；四是监管压力大，环保数据需实时上传，人工记录易出错，面临罚款风险。

为解决该类问题，“AI 烟气治理方案”在脱硫脱硝除尘设备上，加装传感器和监测设备，动态采集烟气成分与设备运行参数，并依托 AI 模型实时优化吸收塔 pH 值、喷氨量等关键变量，实现烟气的感知、决策、执行，降低环保能耗与运营成本。

方案具体分为“感知—决策—执行”三阶段：“感知”阶段，对脱硫脱硝除尘设备进行智能化改造，通过边缘采集器实时采集和监测 NO_x 及 SO₂ 浓度、颗粒物含量、烟气温度等；“决策”阶段，引入 AI 大模型预测喷氨效率，喷淋塔启停时长、碱液配比等，AI 算法计算并控制用量，确保指标合格；“执行”阶段，通过 AI 算法对节能措施（如脉冲除尘、布袋除尘）利用喷枪矩阵联动变频器、电动阀门等实现精准调控，自动控制加药频率、用量、电机功率、阀门开度等参数和异常处理，提升处理效率。



图 41 实时工厂数字化管理

（二）技术方案

1. 技术架构

该方案采用三层协同闭环体系。其中感知层为数据采集层，通过对接企业现有 DCS/PLC 系统获取基础数据和设备运行参数，针对缺失参数（如 NO_x、SO₂ 浓度、颗粒物含量、烟气温度等）部署专用传感器，构建多维数据采集网络，确保数据的全面和准确。同时采用轻量化边缘网关实现数据本地化处理，完成关键参数的实时解析与异常检测。

决策层为算法中枢，采用动态建模技术，基于工艺机理模型与历史数据构建数字孪生体，通过 LSTM 时序预测算法预判污染物波动趋势。并通过强化学习优化，结合实时数据和控制回路，动态优化喷氨量、碱液配比等关键变量。

执行层为数据反控，采取安全反控机制，通过指令下发的方式，将算法推荐值设置到控制系统中，实现对喷氨装置的频率、阀门开度和流量的动态调控。同时还采用渐进式控制策略，设置“建议值一半自动—全自动”三级执行模式，降低传统产线改造风险，支持平滑过渡至智能控制。

此外，AI 烟气治理方案从数据安全、设备安全、生产安全三个维度进行系统性设计，结合智能化技术实现主动防护与闭环管理。



图 42 场景方案架构图

2. 技术路线

方案通过四阶段实现智能化升级。

一是数据贯通。通过 IoT 平台整合多源数据，实时采集烟气排放组分及设备运行参数，为后续决策提供基础支持。

二是模型训练。基于 2000 小时数据预训练模型，结合企业 3 个月实际数据微调。预测喷氨效率、喷淋塔启停时长及碱液配比，实时优化吸收塔 pH 值、喷氨量等关键变量，确保排放达标并降低能耗。

三是闭环控制。建立“分钟级预测一秒级响应”机制，每 30 秒更新喷氨效率预测值，每 5 秒动态调节设备参数，动态平衡排放达标与氨水消耗。

四是持续进化。部署在线学习模块，自动识别催化剂活性衰减、传感器漂移等场景，触发模型增量训练，确保系统在 3 年运行周期内控制精度衰减不超过 2%。

3. 核心技术

智能感知与数据采集：通过 IoT 平台实时采集烟气排放数据及设备运行参数，确保数据的全面性和准确性。支持多种数据源的接入，适配不同客户的设备和工艺条件。

AI 算法与动态优化：基于历史数据训练的强化学习模型，实时优化喷氨量、碱液配比等关键变量，能够适应复杂工况（如玻璃换料期），在波动大的排放条件下保持稳定运行。同时内置专家规则库，当 AI 推荐值与工艺阈值冲突时自动切换至保守控制模式。

闭环控制与反控执行：通过指令下发的方式，将算法推荐值设置到控制系统中，实现对喷氨装置的动态调控。确保排放数据实时上传、100%合规，帮助企业规避环保处罚风险。

（三）场景优势

1. 示范性

展湾 AI 烟气治理方案以智能算法为核心，实现精准控制，在确保排放达标的同时，显著优化资源利用效率。方案通过动态优化喷氨量、碱液配比等关键变量，成功将脱硫脱硝环节的用料消耗降低 10%，整体用电节能 5%-8%，运营成本降低 45%-50%。此外，方案配备的环保数据自动采集与上传系统，实现了 100% 的环保合规率，帮助企业规避因人工记录错误或排放超标导致的环保处罚风险。

这一方案不仅在经济性上表现突出，更通过智能化技术赋能传统高污染行业，为玻璃、水泥、钢铁等领域的可持续发展提供了可复制的实践路径，推动行业从“达标治理”向“绿色效益”转型。

2. 创新性

AI 烟气治理方案紧密贴合玻璃行业工艺特性，针对玻璃行业特有的烟气组分波动大等工艺特性，构建行业专属算法模型。通过强化学习技术，算法模型在玻

璃熔窑换料期等复杂工况下仍能保持稳定控制，适用于大多数玻璃企业的窑炉燃烧和原料加工过程。无论是新建企业还是既有企业，都可以通过部署传感器和引入 AI 算法，实现对烟气排放的精准控制和可视化监管。

3. 复制性

可复制性突出，行业拓展潜力大：该方案已具备向水泥、钢铁等相似场景迁移复制的技术基础，通过灵活的部署模式和技术架构，为水泥、钢铁等高污染行业提供了可借鉴的解决方案。

轻量化边缘部署，适应改造需求：展湾 AI 烟气治理方案采用轻量化的边缘部署模式，无需对现有设备进行大规模改造，即可快速实现智能化升级。方案支持从单厂设备到全集团智能环保岛的逐步升级路径，企业可根据自身需求和预算，选择从局部优化到全面智能化的渐进式改造方式。降低企业的初期投入，为后续扩展提供便利。

案例 25 基于协作机器人生态的 OTA 智慧服务平台

节卡机器人股份有限公司

本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

（一）场景概述

在智能制造领域，协作机器人的应用越来越广泛。传统“线上服务+线下维护”运维模式已无法满足现代工业的需求，功能单一、智能化水平低、响应滞后、自我更新慢等问题，导致运维效率低下，限制了机器人技术和相关设备的维护发展和企业的生产效率。

方案构建了基于协作机器人的 OTA（Over The Air）智慧服务平台，整合云计算、大数据、物联网和人工智能等技术，旨在突破传统运维模式的限制，提供全面的监控、诊断、运维和仿真服务，实现远程智能化监控、故障预测与诊断、全流程运维管理和虚拟仿真等综合功能。这不仅解决了传统模式下服务功能单一、智能化水平低的问题，还有效提高了响应速度，增强运维的智能化和自动化水平。

平台在机器人的运行过程中进行实时监控，及时发现潜在问题并进行预警，准确预测设备的健康状况，提前采取维护措施。在此基础上，平台采用自我学习和进化机制，优化自身的维护功能，减少对现场维护的依赖。

产品不仅能服务单一品牌的机器人，还能兼容多个品牌和型号的设备，提供统一的管理和服务接口，提升整个产业链的服务能力，为机器人产业链提供更加高效、可靠的维护方案，为未来智能运维技术的发展奠定坚实基础。

（二）技术方案

项目的建设方案包括云平台框架设计、自助和智能服务的开发，以及人机交互的优化，具体如下：

1. 云平台框架设计

采用“公有云+私有云+边缘计算”的混合云模式，结合公有云的灵活性、私有云的高性能以及边缘计算的高效性，满足不同应用场景的需求。终端层通过 4G/5G 网络技术支持机器人及其设备的快速接入，确保顺畅通信。服务层负责核心业务逻辑的处理，包括数据验证、处理和业务流程控制。应用层直接服务用户，提供多样化的客户端和服务端功能，满足用户需求。

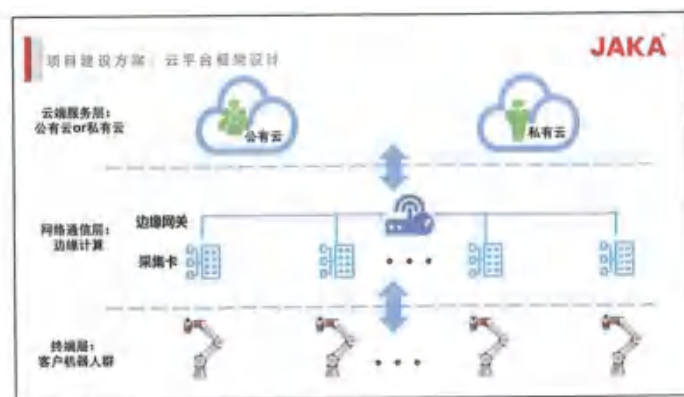


图 43 云平台框架设计实施方案

2. 自助和智能服务开发

iLink 互通互联：通过工业网关采集并预处理机器人运行参数和环境数据，引入边缘计算，减少数据传输时间，提高处理速度和准确性。此功能支持远程监控，操作人员可随时监控机器人状态，并及时响应故障。

iForecast 预测性维护：通过在机器人关键部件安装传感器，实时收集温度、振动、电流等数据，并利用大数据技术进行分析，预测机器人性能退化和故障模式，提供早期故障诊断和维护计划。通过多目标优化模型，平衡维护成本和运行效率，确保最小成本下最大设备可靠性。

iMGT 全流程运维：采用知识驱动的数据分析方法，结合流式数据处理和多样化数据交互技术，支持机器人全生命周期的数据追踪。通过实时收集和快速处理大量数据，及时发现异常并提供优化决策支持，确保机器人系统的稳定运行。

iStudio 虚拟仿真：利用 3D 建模技术，对机器人和工作环境进行建模，确保模型与现实世界一致。通过建立特征库，支持仿真开发的精确性，并提供用户定制的仿真场景，确保操作的安全性和有效性。

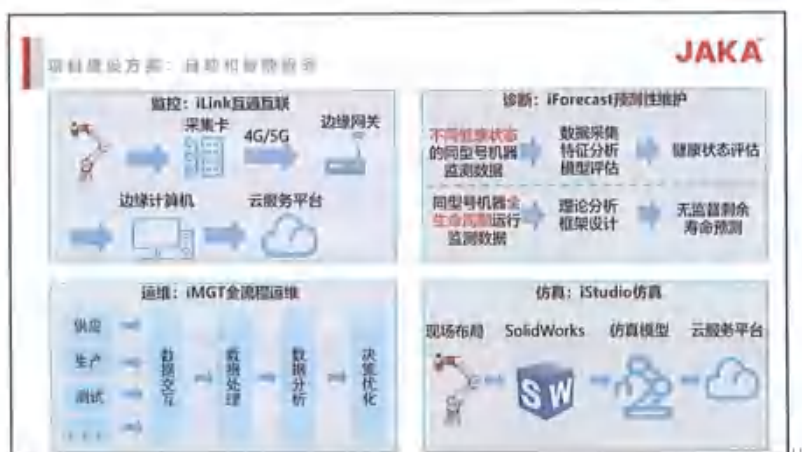


图 44 自主和智能服务实施方案

3. 优化人机交互方式

设计简洁直观的 iService 界面，支持 PC 端和移动端访问，涵盖设备监控、故障诊断、维护建议、数据分析等模块。考虑触控操作的便利性和 PC 端的信息展示，开发数据接口实现与 SCADA 和 MES 系统的无缝连接。利用大数据和机器学习技术分析数据，识别设备异常，预测故障，并提供智能维护建议。通过大模型接口进行深度学习，持续优化分析模型，提升用户体验。

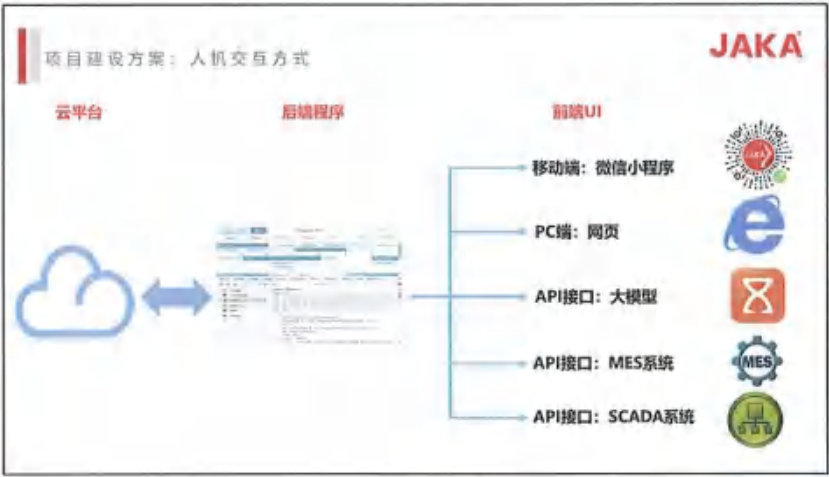


图 45 人机交互实施方案

综上所述，通过平台的框架设计、自助及智能服务的开发以及人机交互的优化，该项目构建了一个涵盖机器人监控、诊断、运维和仿真等多功能的智慧服务平台。

（三）场景优势

1. 示范性

本项目通过构建基于协作机器人的 OTA（Over The Air）智慧服务平台，旨在解决传统“线上服务+线下维护”模式中的局限性。这一平台不仅能提供远程监控、诊断、运维和仿真等多种功能，而且能够自我学习和进化，实现机器人的智能维护和服务扩展。项目的成功实施将成为其他企业和行业学习的榜样，推动机器人服务业的整体提升。

2. 创新性

综合型云服务平台：通过整合监控、诊断、运维和仿真功能，平台能够快速接入机器人的周边设备，提供全方位的智能维护服务。

大模型驱动预测性维护：项目利用大数据和机器学习技术，基于历史数据预测机器人设备的故障，提前进行维护，大幅提升了故障预测的准确性。

全流程运维管理：平台能够实现机器人的全生命周期数据追踪，提升了从供应、生产到服务的管理效率。

3. 可复制性

该项目的成功模式具有较强的可复制性。首先，平台设计具备高度灵活性和兼容性，能够适应多品牌机器人的需求。其次，该项目的技术基础（如大模型、人工智能、物联网等）和创新应用可以被其他机器人制造商和自动化服务提供商借鉴，用于不同工业场景的智能运维和服务优化。通过合理的市场策略和技术转移，该项目的服务模式和技术解决方案具有广泛的推广潜力。

案例 26 智能移动双臂机器人

上海飒智智能科技有限公司

本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

（一）场景概述

《“十四五”机器人产业规划》提出，到 2025 年中国成为全球机器人技术创新策源地、高端制造集聚地和集成应用新高地，重点发展工业机器人、服务机器人、特种机器人及新兴领域机器人。国内在移动双臂机器人领域的起步虽然较晚，但近年来随着产业转型升级和人工智能技术快速发展而进展迅速。由清华大学、中科院为代表的科研机构在强化学习与仿生控制算法取得成果，优必选、智元机器人、宇树科技等企业陆续推出双足型人形双臂机器人。

但在智能制造领域，尤其是与自动化生产线场景的深度融合和规模化应用时代还远未到来。目前传统工业机器人多采用预设程序，受制于固定场景，不能适应自动化产线向高柔性化、高智能化发展的要求。

本场景的智能移动双臂机器人具备“多自由度双臂协同操作+自主稳健全天候移动作业”能力，能够实现操作效率翻倍，且应用范围和操作场景更大。除一般应用场景，也能适应操作精度、操作效率、操作复杂度更高的场景，如利用双臂双手配合完成装配工作。通过多模态实现人机协作，拥有交互能力。

产品的全域环境感知能力与环境适应性、自主决策和行为规划能力、多机协同和群体智能、人机安全协作等方面较传统产品显著提升。目前已逐步实现具身智能机器人核心技术自主化，为产业化发展贡献力量。

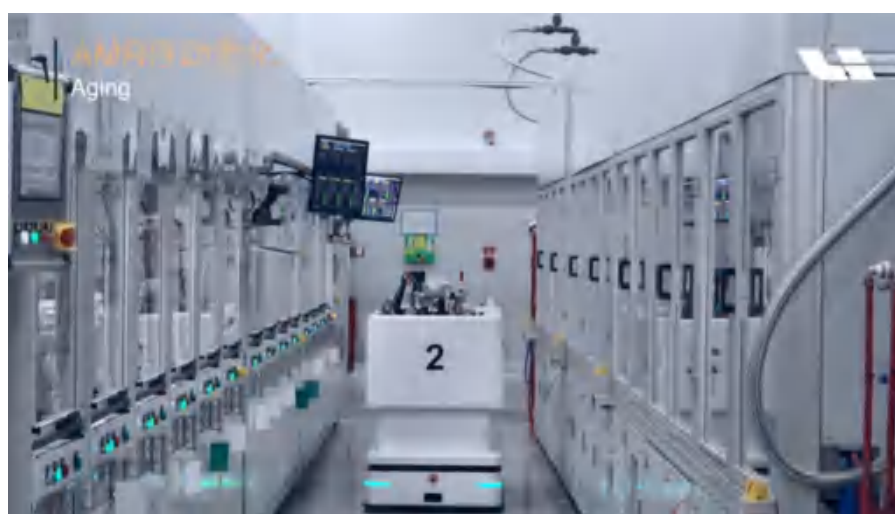


图 46 飒智智能方案落地理想汽车功率模块智能化工厂

（二）技术方案

通过“轮式移动+双臂协同”的本体创新设计，基于先进的多模态感知融合处理技术，与基于 AI 小模型的快速迭代学习技术深度融合，使机器人具备了自觉感知、自主学习和自我决策的具身智能能力，实现对外部环境的自我感知和基于复杂变化环境的自我决策、自我行为调整能力，从而更好地融入场景并提升操作水平和操作效率，与自动化制造产线深度融合，实现全天候、安全、连续、柔性作业。

机器人要实现具身智能功能，多源感知数据融合处理算法和底层控制策略算法是基础性算法，具身智能算法和功能实现是前提和关键通过自主研发的移动机器人底层实时操作系统与机器人基础算法深度融合，为具身智能功能的实现提供基础保证。

传统控制方法中，以上各类复杂算法都混合运行于同一个控制层面，造成系统整体实时性差、可靠性低等问题。本场景中，将与双臂协同控制和感知融合处理相关的共性底层算法，与自主研发的机器人实时操作系统进行了深度融合开发，将这些基础性算法深度嵌入进操作系统，成了操作系统的一部分。这意味着，安装了本操作系统的机器人，若无特殊要求和处理，操作系统从底层层面就具备了对多源传感器数据进行多模态融合处理的能力，以及具备了双臂协同控制的基础能力，而无需另外单独开发相关算法。这种创新开发和算法设计让基础底层算法与高级具身智能复杂算法在不同层级执行，显著提升机器人控制系统的实时性和安全性。

采用多模态编码器技术支持高分辨率视觉信息输入，提升机器人对场景的理解准确性。机器人控制器通过采用高算力的处理器系统并将 AI 模型规模限制在 8M-100M 参数量之间，以便取得训练效果和规模之间的平衡。

用于对动态复杂多变环境的自适应识别、自主决策及行为动作自我调整、自我规划，让机器人实现“类人”移动操作。同时，通过与机械手末端的视觉传感器数据深度融合，可实现对操作任务信息的准确解析，从而提升“双手”协同操作的灵巧性和对不同操作任务的自学习能力、自适应能力。

（三）场景优势

1. 示范性

随着人工智能与机器人技术的深度融合，具身智能机器人正成为全球科技竞争的新焦点。这类机器人不仅需要具备人类手臂的灵活性和精确性，还需整合移动平台与智能决策系统，实现复杂环境下的自主作业。本场景智能移动双臂机器人，能够具备全域环境感知能力、环境适应性、自主决策和行为规划能力、多机协同和群体智能、人机安全协作等具身智能特性，更契合智能制造对柔性化、智

能化的要求。目前已获得 2024 年“上海设计 100+”、中国（上海）国际发明创新展览会金奖、上海市高新技术成果转化等资质和荣誉。

2. 创新性

目前行业头部企业的双臂机器人为固定基座类型，未搭载任何移动底盘，与移动双臂机器人在应用场景、技术要求、智能程度、作业范围等领域相差甚远。在此基础上，飒智提供集基于底层核心技术的标准化产品和配套软件解决方案为一体的平台。

同时，传统机器人缺乏物理身体与环境的实时互动能力，导致智能决策脱离物理世界约束，如机器人抓取时忽略力学特性，学习效率低下无法通过交互自主学习。方案打造的具身智能设备通过构建“感知—认知—决策—执行”的完整智能闭环系统，学习效率高于纯算法训练，能进一步打造人机共融的智能化产业生态。

3. 可复制性

提供“搭积木”式解决方案，技术模块化程度高、场景的延展性强。公司为客户提供的平台产品中，仅机械臂方案便超过 20 种，视觉方案包括二维、三维、红外线和激光雷达等；算法层面，飒智设计的机器人“大脑”，以开放开源的 Sage-OS 操作系统为基础搭载自研的视觉伺服、手眼脚协同作业、场景辨识、自主导航的四大算法模块，便于用户配套使用。

案例 27 “人工智能+数字孪生赋能企业智能安全全要素管理”

场景

杭州赛孚唯科技有限公司

本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

（一）场景概述

在传统工业安全管理领域，尤其是化工、能源等高危行业，企业长期依赖人工巡检、纸质记录和分散的信息化系统，面临全局态势感知能力薄弱、数据孤岛与协同低效、经验依赖与决策盲区、应急响应与资源调配低效、海量数据价值未释放等难点痛点。

因此，基于“人工智能+数字孪生赋能企业智能安全全要素管理”场景，本方案构建覆盖“风险预警—智能决策—闭环管控”的全链条安全管理体系，旨在实现以下业务目标。

全域可视化与实时监控：通过三维数字孪生技术，构建与物理园区 1:1 映射的虚拟空间，整合人员定位设备状态、环境监测等全要素数据，实现“一统览全局”，实时监控与预警，提升高风险区域管控能力。

数据智能融合与风险预警：搭建 AI 数据中枢，打通物联网、视频监控、ERP 等多类系统数据，通过时序分析、知识图谱等技术实现多源数据关联。

经验固化与智能决策：将专家经验转化为多类标准化 AI 算法，构建风险预测、隐患根因分析等智能模型。

应急协同与资源优化：构建数字孪生应急沙盘，集成应急预案、物资分布、救援路径等要素，通过 AI 动态优化调度策略。实时监控与预警，提升高风险区域管控能力。

数据智能洞察与决策支持：利用建立大数据模型和可视化分析技术，自动生成安全趋势报告、隐患根因溯源等决策依据。风险分级可视化，直观展示不同风险等级区域。实时跟踪隐患整改进度，确保整改措施落实到位，模拟风险事件，优化风险管控策略。

本场景已形成“技术落地—标准输出—产业协同”的完整示范链条，成为工业互联网与安全生产深度融合的典型案例。



图 47 场景方案的污水接收处理全流程

（二）技术方案

1. 技术架构

“人工智能+数字孪生赋能企业智能安全全要素管理”基于智慧安环一体化平台、数字孪生技术、AI 算法技术等技术搭建。

（1）智慧安环一体化平台

安环管理+智能平台+物联网构建了智慧安环一体化平台，包括人车智能分析，设备预警智能管理，安全智能防控，实现了事后追溯问责，事中监督管理，事前智能预测。具体架构如下。

数据存储层：PostgreSQL 实现存储业务数据（用户权限、工单记录、设备台账等）；Redis 实现缓存高频访问数据（会话状态、实时告警信息），支持毫秒级响应；InfluxDB 实现时序数据存储（设备传感器数据、环境监测指标），支持高速写入与聚合查询服务。

通信层：RabbitMQ：实现业务消息异步解耦（如工单派发、预警通知）；MQTT 实现物联网设备数据接入，支持 10 万级设备并发连接；WebSocket 实现实时推送预警消息至前端大屏及移动端。

微服务架构层：Spring Cloud Gateway 实现统一 API 网关、路由的转发/鉴权/限流；Nacos 实现服务注册与配置中心，支持动态扩缩容与灰度发布；Dubbo 实现高性能 RPC 框架，服务间调用延迟<50ms；Sentinel 实现流量控制与熔断降级，保障核心服务稳定性。

基础设施层：Kubernetes (k8s) 实现容器编排管理，服务弹性伸缩与故障自愈；GitLab CI/CD 实现自动化构建与部署流水线，支持每日多版本迭代。

图 48 化工园区系统技术架构

(2) 数字孪生技术

GIS+倾斜摄影模块（宏观层级）：千米级地理空间建模核心能力，整合卫星遥感、地形测绘、实景三维数据，实现城市级空间建模，支持多源数据融合（人口热力、交通流量、环境监测等），提供空间分析工具（缓冲区分析、视域分析、淹没模拟等）

Babylon 轻量化模块（中观层级）：百米至米级轻量化交互核心能力:基于 WebGL 实现浏览器端三维渲染，兼容 PC/移动端多平台，支持 10 万级三角面模型流畅交互（FPS60），集成工业设备参数面板、动态数据可视化组件。

UE5 高保真模块（微观层级）：毫米级工业仿真。应用 Nanite 虚拟几何体技术，支持亿级多边形模型无损渲染，采用 Lumen 全局光照系统，实现物理级光影效果，内置 Chaos 物理引擎，支持流体、爆炸等复杂场景仿真。

2. 技术路线

（1）智慧安环一体化平台

技术路线和工作流分为微服务治理、数据管理、实时通信、任务调度四个步骤。

微服务治理路线：通过 Nacos 实现动态服务注册与健康检查，Nacos 集中化管理多环境配置（开发/测试/生产），Sentinel 规则配置进行流量治理。

数据管理路线：多模存储：关系型数据：PostgreSQL 支撑复杂业务逻辑（隐

患闭环流程)；时序数据：InfluxDB 存储设备秒级监测数据，压缩率>80%；内存数据：Redis 缓存实时告警状态。数据同步：CDC(变更数据捕获)：Debezium 同步 PostgreSQL 业务数据至大数据平台。MQTT 数据管道：物联网设备数据直连 InfluxDB。

实时通信线路：通过 MQTT 协议支持海量设备连接(单个 Broker 支持 10 万连接)；WebSocket 集群化部署，万人级并发预警消息推送。

任务调度线路：通过 XXL-JOB 实现分布式任务调度(定时巡检、日报生成)，API 动态创建任务(如临时设备诊断任务)。

(2) 数字孪生技术

表 4 数字孪生技术路线

层级	技术栈	精度范围	典型应用场景
宏观	GIS 引擎+倾斜摄影+空间数据库	千米级	城市规划、灾害推演、区域资源管理
中观	Babylon+WebGL+轻量化数据服务器并	米级	园区管理、设备运维、应急指挥
微观	UE5+物理引擎+高算力服务器	毫米级	工业仿真、工艺验证、精密培训

(三) 场景优势

1. 示范性

目前产品已覆盖全国 8 省 1 直辖市 2 自治区，在化工、能源、制药等领域的 60 余家企业落地并实现管理效能提升。如，重庆华峰化工百亿级化工园区，安全事故率同比大幅下降，隐患闭环时间大幅下降，实现了管理效能和应急能力的降本增效——智能巡检替代 50%人工巡查，年节约人力成本超百万元，环保合规成本降低 50%以上；安全事故率同比下降 58%，隐患整改闭环时效从 72 小时压缩至 4 小时；重大险情响应速度提升 3 倍，多部门协同处置效率提高 80%。

2. 创新性

(1) 技术融合创新——构建“三维融合”技术矩阵

数字孪生全要素建模方面，融合 GIS 地图+模型+设备+业务数据，创建行业首个五维园区镜像(空间/设备/人员/环境/事件)；多模态数据治理方面，开发时空特征融合引擎，实现视频流、传感器数据、业务系统的毫秒级协同分析；大模型决策中枢方面，基于数万条隐患数据训练行业垂直模型，实现隐患识别，风险辨识等决策中枢。

(2) 应用模式创新——建立“三智协同”业务体系

“智能感知网络”即基于自主研发的 AIBox，部署 10 多类自研 AI 视觉算法，

为感知增加智能判断能力；“智能决策中枢”即开发预案智能匹配引擎，与 AI 视觉算法结合，应急响应方案生成时间从 2 小时缩至 5 分钟；“智能执行闭环”即通过数字工单系统实现“隐患发现—处置—验收”全流程自动化，实现闭环效率提升。

(3) 管理机制创新——重构企业安全管理“三大机制”

一是风险预判机制，构建了隐患热力图模型，提前预测预警高风险区域。二是动态优化机制，通过巡检工单数据分析，持续优化巡检路径与资源配置。三是知识沉淀机制，建立行业多模态知识库，构建企业隐患排查库等。

3. 可复制性

基于 60 余家企业的实践积累，项目构建了覆盖安全管理全流程的五大标准化场景解决方案，结合具体的企业微调既可以做到场景模块可复制，形成模块化、可配置的快速复制能力。

可复制性体现在三方面：第一，模块化设计方面，产品设计模块化程度高，每个场景独立封装为功能模块，支持单独部署或组合使用，提供可视化配置工具，可快速调整参数适应不同规模园区，跨行业跨区域适配；第二，标准兼容性方面，目前已沉淀化工、新能源、制药等行业专属配置模板支持多语言界面与本地化标准库导入，适配国际项目需求；第三，方案成熟性方面，建立了持续迭代机制基于 60+企业反馈建立需求漏斗，按月更新功能模块。

本方案可迁移至重大危险源管理场景、双预防机制（风险可视、隐患可治）、化工应急管理场景、智能巡检等重要业务场景。



图 49 化工园区可视化监控中心

案例 28 智慧工厂智能化监控

思源数智（厦门）信息技术有限公司

本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

（一）场景概述

在智能制造持续推进的背景下，工业企业面临着愈发严峻的运行管理挑战，尤其是供电安全、人员作业安全、设备稳定性等相关环节仍存在大量隐患。其中，母线系统作为车间级供电核心通路，风险高、后果重，是安全生产的重中之重，存在母线供电系统风险难控、人员管理依赖人工、设备预故障识别能力不足、生产环境异常监测存在盲区、供电波动影响生产连续性问题。

因此打造“AI 驱动的母线供电安全管控平台”，融合图像识别、传感器融合、语音大模型、图文搜索等技术，构建“人员—设备—环境—母线”四位一体的智慧监控体系。

一是构建全生命周期母线状态监控机制。部署 AI 红外摄像机、无线温度传感器、电流电压检测终端，对母线主干、分支、转接节点进行全天候实时监控。通过图像识别与趋势分析模型识别升温异常、接头松动等早期故障征兆，结合负载运行数据动态判定风险等级，保障供电系统安全稳定。

二是建立智能异常预警与响应机制。系统引入边缘 AI 模块实现数据本地分析，一旦发现温升/电流突变/图像异动即刻触发告警。同时，告警信息同步至平台，自动关联区域摄像图像、运行数据与历史记录，便于第一时间复盘溯源与精准定位。

三是实现作业行为 AI 识别与联动管控。在重点电气区域部署摄像头，实现人员行为识别与区域行为绑定，发现越线、未佩戴安全帽等行为后，与母线风险状态联动触发预警提示、工位联动联锁，有效阻断人员误操作风险。

四是提供语音式、语义化人机交互能力。通过语音大模型支持语音指令获取电力运行数据、设备运行状态母线温升曲线、视频图像记录等，减轻人工操作负担，提升响应效率。

五是建立“以图搜图”图像快速排查能力。针对历史告警事件、事故场景，系统支持通过关键词检索图像库与数据记录，支持事故复盘、隐患总结、应急预案优化，提升管理闭环能力。

六是推动预测性维护机制落地。构建温升趋势评分模型，结合历史数据挖掘及母线寿命管理策略生成定期巡检建议、预检预修计划，实现从“被动处置”到“主动预防”的升级。

通过本项目的落地实施，福耀玻璃、中景石化等工业企业实现电力安全监管“从点到面”“从静态到动态”“从反应到预测”的跃迁，为高风险工业车间电力智能运维提供样板，为制造业高质量发展提供坚实支撑。

（二）技术方案

1. 技术架构

本项目构建了一套以母线运行安全为核心的“感知—计算—决策—响应”智能化体系，整体架构采用“边缘计算驱动+多模态融合感知+中心联动预警”的分层设计，全面覆盖从数据采集到实时预判再到事件联动的全生命周期运行安全需求。

感知层（端）：部署在母线主干、支路、接头、负载出线侧等关键位置的红外摄像模组与温度、电流、电压等传感器的多源异构传感网络，实现电流/温度/振动等类参数的毫秒级采集。该层同时部署环境检测器（烟感、水浸、气体）、人员识别摄像头，实现母线安全与作业环境联动监控。

边缘处理层（边）：基于联邦学习的分布式计算框架，通过内嵌 AI 算力模块（AIM）对图像及传感器数据进行实时融合就地处理完成母线温升识别、功率波动判断、趋势分析与风险初判。该层具备边缘智能分析能力，可实现事故前秒级预警。

数据融合层（中心）：数据统一汇聚至边端服务器（DFM 模块）支持母线历史运行轨迹建模、故障图像库构建、运维事件归档与语义化检索。并通过 SCADA、MES 系统集成，联动调度中心实现管理级决策支持。

应用与响应层：通过 PC 端、移动端、声光报警器、语音播报终端等，将异常状态快速推送给管理人员，实现可视化调度、语音交互、图像回溯、预案联动等多场景应对能力。

2. 技术路线

项目围绕母线安全管理的核心需求，从“感知—分析—预警—响应”四个阶段构建以下完整闭环技术路径。

多点数据融合采集：基于福耀实际车间布局，将母线按分区划分检测节点，对每个节点部署红外/热成像摄像头、热电偶、互感器、温标等感知终端，实现对母线温度、电流、电压、功率因数等状态的全面捕捉。

母线温升与功率波动建模：系统使用时序神经网络与趋势分析算法，对采集的历史数据进行动态建模，建立“日—周一月”温升模式，提取波动区间与特征边界，形成温升风险等级判定模型。

AI 图像识别结合物理参数双通道判断：利用计算机视觉模型对红外图像中热点区域进行识别分割，与实际传感器读数进行对比分析，避免虚警与漏报。

行为风险联动感知：将人员违规行为（如靠近母线、带电作业、越界等）与母线状态数据融合，当人员靠近时发现母线异常温升即刻触发联动预警，最大限度防范人为电气事故。

语义识别与图文联动查询：部署语音大模型与图像搜索引擎实现语音问询“昨天下午 2 点 2 号母线温升异常情况”，系统自动调取相关图像、数据和处理记录，极大提升决策效率。

3. 核心技术

工业级母线红外图像智能识别：采用红外热成像技术结合 AI 图像识别算法，对母线温升分布图进行分区建模，识别温度不均、局部热点、连接部异常等特征。该技术兼容不同母线结构（槽式、密集型、空气式等），适应现场复杂布局。

母线异常趋势预测算法：利用多变量时间序列算法，融合温度、电流、负载波动等多维数据，构建趋势预测模型，提前识别温升异常前兆，支持精细化维护建议生成，向“预测性运维”转型。

边缘计算与故障快判机制：核心分析任务下沉至边缘端，实现图像识别、数据融合与异常判断的本地完成，避免数据延迟、中心过载。边缘判断结果可触发本地声光报警与联动控制设备，实现秒级响应。

语义分析与图像检索引擎：基于以文搜图与语音问答技术，实现图像数据、设备数据、报警记录的统一语义查询，用户可通过自然语言精准定位某次母线事件责任人、时间节点及图像资料。

母线健康度评分与热风险评级模型：构建“母线健康指数”模型，量化当前母线运行安全等级，按红/橙/黄/绿四级输出状态评级，为值班员提供运行有针对性的决策参考。

（三）场景优势

1. 示范性

本项目聚焦“智能制造+能源安全”领域，以工业厂房生产车间为典型应用场景，具备显著的行业示范价值和国际推广潜力。特别是福耀玻璃、中景石化、海辰储能等作为全球领先的工业企业，其生产系统高度自动化，产线复杂、功率密度高，对电力系统稳定性、安全性要求极高。母线系统作为整个车间电力的主干枢纽，一旦发生故障，不仅会造成供电中断，还可能引发设备损坏、热加工中断、产品报废甚至人身伤害。因此，建设一套以 AI 为核心的母线智能监控体系，在保障“生产安全”“运行稳定”方面具有极高的推广价值。

该应用场景为工业领域尤其是高功率车间，提供了一套可落地、可视化、可迭代的“智能安全防护”新范式，为传统制造业智能化升级提供坚实模板，具备广泛的引领和带动作用。

2. 创新性

本项目建立多模态母线状态识别模型、分区建模与故障定位创新、边缘计算联动调控机制、AI 语义理解与图像检索技术、智能预测性维护机制等，在多个技术层面实现创新突破，在“AI+电力安全”方面体现领先优势。

项目首次在实际工业母线应用中引入 AI 红外识别+传感器融合+趋势预测机制，对母线热成像、负载、电流等多维度数据进行融合分析，构建起“异常识别—趋势预警—联动响应”一体化闭环，显著提升了供电系统安全等级和响应速度。同时，本项目还同步建设了人员安全识别、设备状态监测、环境感知、语音交互、图像回溯等全流程智能监控能力，覆盖了智慧工厂运行管理的全部关键要素，打造了一体化智能运维体系。

此外，模型持续演进机制，适应多地多变工况项目支持模型误报反馈—专家复核—本地再训—边缘升级的持续学习机制，实现边缘 AI 能力自我进化，适应不同生产环境、天气、光线和作业工具变化，保障长期部署效果。

3. 可复制性

本项目不仅在福耀工厂、中景石化作业场地、海辰储能电站等成功部署运行，并已具备以下可复制推广能力。

软硬件分层解耦架构：项目采用“采集设备+AI 识别模块+边缘服务器+云端管理平台”四层架构设计，软硬件解耦，支持多厂区、多母线系统同步部署，降低系统迁移与扩展成本。

标准化建模方法与轻量算法库：母线状态识别模型基于标准的图像和数据采集格式，可根据不同产线、电压等级快速调整模型参数，适配各类工厂的母线特性；同时支持边缘端部署的轻量 AI 模型，降低硬件依赖。

接口协议开放兼容性强：系统可通过 BLE、ModbusTCP、MQTT 等主流协议与现有厂区 PLC 系统、SCADA 平台无缝对接。避免重复建设，便于集成升级。

案例 29 基于多模态大模型的智慧家禽养殖效能提升场景

马上消费金融股份有限公司

本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

(一) 场景概述

在“一带一路”倡议覆盖区域，农业人口比例较高，家禽养殖业作为重要支柱产业，对当地经济发展与民生保障具有关键意义。然而，受制于产业分散、数字化基础薄弱等问题，相关地区普遍面临生产效率低、疫病防控能力弱等挑战。联合国粮农组织数据显示，东南亚及非洲部分国家的禽类养殖机械化率仍不足 20%，大多依赖人工记录生产数据，运营效率低、资源浪费率高达 30%。同时，疫病监测体系普遍依赖经验判断，预警响应滞后，造成每年大量直接经济损失。

借助“一带一路”农业数字化发展机遇，马上消费联合多方研发，构建面向养鸡行业的多模态大模型算法及其衍生模型，打造集“AI 智慧养殖、数字信用融资、大模型营销、品牌助农、数字素养提升”于一体的“富慧养”智慧养殖共同富裕平台，着力破解养殖管理效率低、疫病防治难、销售渠道单一、融资难等痛点，推动养殖产业实现数字化、智能化转型升级。

(二) 技术方案



图 50 场景方案技术架构

公司坚持“AI 数字赋能，生态全链贯通”的设计理念，依托人工智能与大数据等前沿技术，打造集育种管理、生产管理、溯源管理、营销推广、屠宰加工监测、融资支持等功能于一体的多端智慧养殖平台。平台支持 AI 智能称重、智能

计数、环境监测、溯源日志、认养服务、短视频直播、AI 远程问诊等多元场景应用，全面打通“养殖—溯源—销售—金融”全链条，提升散养鸡产业的数字化、智能化管理能力与生态养殖水平。

平台部署了体重传感器、广角摄像头、温湿度与氨气传感器、二氧化碳监测器、热成像摄像机等关键设备，实现对养殖现场数据的精准采集。在数据层与模型层，平台融合物联网数据采集、多源终端连接、多模态大模型、视觉识别算法等关键技术，实现数据的高效采集与智能处理。平台还采用大数据的分布式调度与云计算中的容器化技术，保障系统计算资源的弹性配置。同时，通过区块链技术确保溯源数据真实可信，支撑生产信息的可追溯与可信共享。

平台首创多项养殖行业领先技术，包括 AI 鸡只密集目标定位技术、体重回归预测模型、视觉计步系统以及病死鸡检测技术。创新性地融合视觉拼接技术、文本驱动的视觉分割大模型与 LBP 纹理特征估重算法，并集成热力信息回归与锚点预测的密集计数模型，采用模型蒸馏与量化策略，使得普通家庭摄像头即可支撑复杂任务，相较传统方案，硬件成本下降超过 40%。算法精度方面，视觉估重误差控制在 $\pm 0.5\%$ 以内，计数准确率达 98%。平台具备良好的可迁移性，相关技术可推广至其他养殖品类，形成行业示范效应。



图 51 AI 计数和称重

平台通过基于文本驱动的扩散模型图像生成技术，构建出人工智能生成式技术（AIGC），在品牌策划对养殖户在消费帮扶和品牌助农上，持续赋能。在基础宣传上免费帮助农场拍摄宣传视频，推进 AI 溯源日记（图文跨模态大模型捕捉精彩瞬间，动态提示词生成技术，大语言模型（LLM）生产精彩文案，TTS 播报）、AI 在认养一只鸡平台上落地，拓宽营销渠道，帮助养殖户提升品牌价值、增加产品曝光度，提升产品附加值。



图 52 “认养一只鸡”小程序页面

AI 智能问诊方面，平台集成图文大模型、文本大模型与基于信息增益的决策树模型，支持用户上传鸡的图片后进行多轮问答，实现从症状识别到疾病确诊的完整流程。平台还具备对农产品期货市场的分析能力，依托回归分析、归因建模与 MCP 大模型中间件，预测国内鸡市场趋势，为养殖户提供精准的经营决策参考。



图 53 面向养鸡户的 AI 智能问诊

（三）场景优势

1. 示范性

目前，该场景已经在重庆市原耕生态农业发展有限公司、鲁渝农牧科技重庆有限公司、重庆特牧农业开发有限公司、城口县腾家家禽养殖家庭农场、重庆陆坪农业开发有限公司、略阳县黑咯咯乌鸡养殖农民专业合作社等 20 家企业/合作社/养殖个体户落地。带动就业人数及临时用工超 1000 人，帮助养殖户降低综合养殖成本 15%以上，销售额提升超 20%，实现融资贷款 160 万元，助农增加营业收入超 5000 万元。

场景应用登上央视农业频道“庆祝新中国成立 75 周年”特别策划《盛世田畴新华章》节目，获得 2024 年中国创新方法大赛全国一等奖、农业农村部信息

中心 2024 年智慧农业建设典型案例等荣誉。

2. 创新性

养殖方面，平台聚焦养殖行业核心难题，围绕养鸡全生命周期管理，构建了整套融合计算机视觉、智能算法与大模型技术的智慧化解决方案。依托小目标识别与卡尔曼滤波算法，创新性地实现鸡只病死预警系统，将 Anchor-Free 目标检测模型与时序跟踪算法联合训练，显著提升识别精度与处理效率。实际应用中，平台有效降低患病鸡只的传播风险，实现了平均出栏率从 93% 提升至 96% 的关键性提升。

助农方面，平台积极引入 AIGC（生成式人工智能）技术，打造面向“助农营销”的 AI 溯源内容体系。通过图文跨模态模型捕捉鸡只生长关键节点，并结合动态提示词技术与大语言模型，生成“AI 溯源日记”，精准输出符合消费者关注点的可视化溯源内容。平台还协助养殖农户免费拍摄宣传视频，结合短视频传播及数字直播，打造高识别度、强转化力的农产品品牌，全面提升销售附加值。

商业方面，平台首创“金融科技+保险+银行”的闭环式金融创新机制。公司与国任财产保险两江中心支公司、重庆渝北银座村镇银行，为原耕农业公司散养土鸡项目提供两次 30 万元无抵押贷款授信，破解养殖户融资难题。首创“AI 营销+保险”的科技赋能新模式，消费者通过平台小程序观看 AI 溯源短视频，认购鸡蛋产品后，由保险机构发放“放心购”保单，确保产品“原生态、可溯源、保鲜”等属性真实可信，有效提升消费者信任与复购率。

3. 可复制性

平台优选鸡只这一养殖产业中个体体积小、体态复杂的代表性对象，率先突破图像识别、语义建模、资产可信认证等多项通用难题，为规模化养殖管理提供一套通用、易复制的解决方案。该方案目前已在多个区县完成落地示范，实证效果良好。

平台建设充分考虑不同养殖场景与规模，已在 5000 羽以上的跑山鸡养殖户和 10 万羽以上的笼养鸡企业中落地，并在雏育管理、养殖过程监控、屠宰加工、溯源管理、品牌推广等核心环节实现稳定运行。

平台所沉淀的算法框架、数据采集方式与 AI 运营机制具备极强的通用性与可迁移性，当前已具备向猪、牛、羊、鸭、鹅等其他畜禽养殖品类横向拓展能力，为构建中国智慧畜牧产业链提供可落地、可推广的参考模板。

案例 30 基于无人机与多模态感知的温室作物精准表型监测系统

上海开放大学

本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

（一）场景概述

传统作物管理面临诸多挑战。包括作物生长、生理状态及病虫害等关键信息主要依赖人工巡视和破坏性检测，效率低、成本高、信息滞后，难以精细化管理；温室环境调控和水肥管理多凭经验“一刀切”，导致资源浪费、生产成本上升及环境污染。此外，“一带一路”沿线国家气候、经济和技术差异大，亟需适应性强、成本可控的智慧农业解决方案。本应用场景旨在结合人工智能与无人机技术，打造闭环智慧温室精准管理系统，实现以下目标：

第一，高通量精准的作物表型信息采集：通过无人机自动巡飞，快速、全面采集温室作物形态、光谱、温度、离子浓度等多维数据，实时精准监测作物群体生长及个体生理状况，实现由被动响应向主动预知转变。

第二，“与植物对话”的智能决策能力：利用 AI 大模型深度融合海量、多源异构数据，精确诊断作物在不同阶段、不同位置的营养、水分、光照需求及潜在胁迫（如病虫害早期、环境胁迫），并预测生长趋势和产量。

第三，精准调控与管理：将 AI 生成的作物需求和管理处方实时传递至环境控制系统（水肥、光照、温湿度等设备），实现分区、分时、按需精准作业，最大化满足作物生长需求，优化资源配置。

第四，提升整体生产效益与可持续性：通过精准管理，显著提高水、肥、能源利用效率，降低生产成本；通过优化生长环境，提高作物产量和品质，增强市场竞争力；减少农业生产对环境的负面影响，促进设施农业的可持续发展。



图 54 正在巡检植物的无人机

（二）技术方案

1. 技术架构与核心能力

本方案构建了先进的“云—边—端”协同智能架构，充分调动各层级的计算与控制能力，确保系统在复杂温室环境中高效、稳定、安全运行。无人机平台选用适配温室狭小空间的多旋翼机型，具备优良的悬停稳定性与抗干扰性能。

（1）端侧：智能无人机平台

导航方面，采用“激光雷达辅助的一维绝对定位 + 三维差分 UWB 相对定位”融合方案。在无人机顶部安装 UWB 标签，底部或侧边布设激光测距仪，配合温室两端吊轨上的程控移动小车（集成 UWB 基站、辅助标签和反射靶），实现厘米级精度、全温室覆盖的自主飞行定位。为增强导航避障和辅助定位能力，系统还集成 IMU、气压计和视觉传感器，实现避障与辅助定位。

感知方面，平台搭载多模态传感器阵列，涵盖高分辨率可见光相机，用于获取形态、纹理、颜色等表型信息、多光谱/高光谱相机，精确反映冠层光谱特征，识别营养、水分、胁迫状态；红外热成像仪，用于监测叶温，评估水分胁迫和早期病害；基于新型纳米材料的全固态离子选择性电极阵列，通过微创采样和微流控单元，在无人机定点降落或悬停时对作物茎秆汁液进行 K^+ 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 等离子浓度的原位检测，获取个体生理真值。

边缘计算单元方面，机载高性能嵌入式处理器，运行 RTOS 系统，执行飞行控制、图像预处理（去畸变、时间戳同步）、多源数据融合、避障控制与部分轻量级 AI 推理任务。

（2）边侧：温室本地边缘计算服务器

部署于温室管理房或附近区域的边缘计算服务器，承担数据接收、存储与中等复杂度的 AI 处理任务。主要职责包括图像拼接与正射影像生成（DOM）、三维点云重建与光谱辐射定标、多模态数据的时空配准、作物分割、单株识别、初步胁迫检测等 AI 模型运行；同时，该服务器作为边缘网关，连接无人机、云平台与本地 PLC 控制系统，实现闭环管理指令的下发与状态反馈。

（3）云侧：中心 AI 计算平台

部署于公有云或私有云环境的中心计算平台，支持大规模模型训练、数据治理与远程调度功能。核心能力包括数据湖/仓库建设，统一管理和存储多模态数据，支持跨时空数据分析；AI 模型训练与优化，多模态融合大模型：整合图像、光谱、温度、离子浓度与环境数据，实现作物长势评估、营养诊断与水分胁迫预测；时空预测模型，预测作物生长趋势和产量；强化学习模型，优化无人机路径规划与温室调控策略。

2. 核心技术

厘米级融合定位系统：有效应对温室内 GPS 信号缺失、多路径干扰等问题，实现无人机的高精度自主作业。

多模态感知与原位检测融合：“群体遥感+个体真值”策略显著提高表型信息精度。

先进 AI 模型应用：引入大模型，提升分析深度与预测能力。

全固态离子电极阵列：实现营养离子的微创原位快速检测，打通遥感数据与生理真值的因果链条。

（三）场景优势

1. 示范性

本项目率先探索将集成定位、感知与 AI 的无人机系统常态化应用于复杂温室环境的作物高通量表型研究。突破了传统大型固定式表型平台（如龙门架）存在的高成本、低灵活性、覆盖范围有限及对高秆作物不适用的限制。

通过上海合作基地的实地验证，展示“无人机+AI”赋能温室精细化管理的实践路径，为“一带一路”沿线国家推动资源节约型、环境友好型现代设施农业树立了技术先进且经济可行的标杆。目前，该场景已在润庄农业实践应用，实现了单次无人机全覆盖数据采集仅需约 30 分钟，较人工巡查效率提升 80%。如，系统成功识别出由于滴灌管线轻微堵塞引发的局部水分胁迫，较人工巡查提前约 4 天。精准的管理系统，在保证作物产量的前提下，测试区域的水肥综合利用效率提高 10%–15%。

上述实践案例充分验证了本系统在复杂温室环境下的技术稳定性、实用性及经济可行性，为“一带一路”沿线国家的落地应用提供了宝贵的实践经验与基础数据支撑。

2. 创新性

定位突破：针对温室内 GPS 信号弱、作物遮挡严重、空间狭窄的复杂环境，创新提出“一维激光绝对定位+三维差分 UWB 相对定位”融合导航方案，实现无人机在温室内厘米级精准、稳定且低成本的自主飞行，解决核心技术瓶颈。

感知融合：首创结合无人机宏观遥感（获取群体冠层信息）与基于新型固态离子电极的植株汁液微创、原位快速离子检测（获取个体生理真实值）的多尺度、多模态数据采集策略，构建“群体一个体”“宏观—微观”融合数据基础，为精准解析作物营养状态提供独特而可靠的支撑。

AI 驱动解析：提取图像特征，采用 Transformer 等序列模型融合光谱与时序

生长数据，构建多模态深度学习模型。利用实测离子浓度作为“锚点”校准遥感模型，显著提升作物营养与水分状态诊断的准确性与鲁棒性，有效克服光照变化、背景干扰及生理胁迫耦合等复杂影响。

系统集成：整合无人机平台、多传感器、定位系统、数据处理与 AI 分析软件，构建满足温室精准管理需求的完整作业流程和解决方案。

3. 可复制性

技术模块：核心组件（无人机、传感器、定位模块、AI 算法库）具备良好的模块化与可扩展性，能够灵活适配不同类型温室、作物品种及管理需求。

成本效益：相较于千万级别的大型固定式表型平台，基于消费级或行业级无人机改造的系统成本显著降低，提升了商业温室及“一带一路”发展中国家的经济可承受性。

标准化与云服务：开发标准化操作规程（SOP）及基于云计算的 AI 分析服务平台（SaaS 模式），简化部署和运维流程。用户可通过订阅服务获得分析结果与决策建议，促进技术在“一带一路”沿线国家的快速推广，推动当地农业技术人员能力建设。

案例 31 AI+机器人赋能大物流数智化装卸应用场景

赛那德科技有限公司

本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

（一）场景概述

传统人工装卸货面临的核心难题在于货物类型繁杂，作业效率与安全难以保障。一方面，人力紧缺、环境恶劣、效率低下，导致作业成本高、出错率高；另一方面，频发的安全事故和有限的自动化应用，进一步加剧了仓储与物流环节的风险与压力。

在安全方面，核心难点是复杂的作业环境和人机协作风险。仓库环境通常障碍物多、人员流动频繁且具有不确定性，机器人需要与人类工作人员协同作业，但其运动轨迹与人员活动区域存在重叠，若识别与响应不及时，极易引发碰撞、刮擦等安全事故。

在货物方面，挑战主要源自货物形态的差异性。不同货物在外形、尺寸、重量、材质等方面差异显著，从小型零部件到大型机械设备，机器人需要具备灵活的抓取与搬运能力。对于重量较大的货物，需要足够的承载与稳定性能；对于易碎、易变形的货物，搬运中需保持更高的精细度；不同材质（如玻璃、金属、纸质包装）因表面摩擦力和硬度不同，也会影响抓取的成功率。此外，部分货物（如食品、药品）对存储环境有特殊要求，机器人在搬运和堆放过程中需确保温度、湿度等条件得到满足。

在此基础上，本方案采用自主创新 3D 机器视觉引导技术与先进的雷达导航技术，集成智能 SLAM 导航系统，深度融合自主定位、视觉识别及机械臂操控技术，达成高效且智能的自动化货物装卸流程，集装箱、厢式货车、月台等多元物流场景均可实现精准搬运，精准度高达 99.9%。通过与 WMS（仓储管理系统）、WCS（仓储控制系统）实现无缝对接，可灵活定制操作流程，满足客户的多样化需求。作为国内率先推出的自主装卸机器人，该产品成功突破国外技术封锁，填补国内相关领域空白，为物流行业的智能化转型升级注入强劲动力。



图 55 赛那德自主拆码笼机器人 iLoabot-P

（二）技术方案

项目中的自主装卸机器人引入类人结构设计，配置类人五个大部分组成：“大脑”“手臂”“眼睛”“触觉”“脚”。通过“眼睛”与“触觉”相互融合，将 3D 以及 2D 数据传给“大脑”，“大脑”接收到数据后，进行现场环境确认，自主导航运行到装卸区域，进行目标检测、识别分割，然后自主引导“脚”进行抓取位置调整，调整完成后，引导“手臂”进行自动装卸作业。装卸完成后，“大脑”发送自主回到起始休息点，“脚”自动运行回到起始点，进行待命状态。

“手臂”：采用 7 轴机械手臂，具有六个自由度以及一个升降轴，大角度范围使运行范围更广，抓取更灵活；第七轴（升降轴）增加了机器人手臂抓取的范围，使手臂兼容高宽车厢。

“眼睛”：采用高精度、高帧率、高分辨率的 3D 相机，工作距离达 3 米，精度为 $\pm 5\text{mm}$ ，帧率达 20fps，拍照出图时间 50ms，图像出图分辨率达到 2560*1920，能快速提供准确检测数据给“大脑”进行计算。

“脚”：ASV 橡胶履带底盘，适合复杂工况的高速稳定装卸，且分布式负载，重负载且稳，不易对车厢造成损坏，不损伤地面。跨越缝隙可达 400mm，垂直越障可以达到 80mm，爬坡坡度能够达到 45 度，驻车坡度 27.5 度。

“触觉”：采用安全型、高精度、大角度大视野的激光雷达，保护区域范围 3 米，报警区域有效距离 10 米，响应时间 70ms，保证运行的安全性；扫描角度 275 度，多雷达配合，设备无死角感知环境；测量距离高达 40 米，20 米的距离测量精度能够达到 $\pm 20\text{mm}$ ，保证设备环境监测以及自动调度准确性。

“大脑”：采用高性能 CPU、GPU，内置算法和系统主控，通过“触觉”给出的数据，通过自动调度算法进行自动导航避障以及安全保护。“眼睛”的 3D 视觉成像，进行 RGB 数据和 3D 点云数据读取。通过 2D 目标检测深度学习算法进行目标识别，识别完成后，3D 目标检测算法进行抓取位置和放置位置计算，

计算完成后，自动路径规划和碰撞检测算法将控制“手臂”自动抓取。

（三）场景优势

1. 示范性

该项目拥有独立研发的知识产权、发明专利数十项，入选 2023 年度上海市经信委《上海市智能机器人标杆企业与应用场景情况推荐目录》，目前已在天津、河北、江苏等省市地区落地。

以天津为例，iLoabot-M 自主装卸机器人已在中国外运股份有限公司天津某物流仓库成功落地应用，并进入稳定运行阶段。实际运行数据显示，iLoabot-M 机器人平均每小时可完成 400 至 500 件货物的自动装卸操作，相比传统人工作业效率提升约 40%-60%，在极端天气或夜间作业环境下依然表现出良好的环境适应性与抗干扰能力。单车卸货时间由原来依赖 2-3 人、耗时 30-40 分钟，缩短至由机器人独立完成 15-20 分钟，大幅缓解了人力短缺压力，为行业提供示范方案。



图 56 赛那德自主装卸货机器人 iLoabot-M

2. 创新性

该项目的技术方案的关键在于机器人具备“感知、思考、行动”三大核心能力的高度集成，为国内首款自主装卸机器人。

场景设备兼容性强：采用 7 轴灵活手臂胜任自主装卸、拆码等多任务，特制执行机构提高装卸效率。集装箱装柜及卸货的任务中，产品兼容标柜和高柜等设备；无需改造货车、月台等基础设施，机器人便可对厢式货车、板车等设备进行装卸货。

技术自主化程度高：采用自主研发的 CODE MASTER 组建数据模型、VISION ROBOT 低代码交付、ROBOT INSIGHT 精准识别、AIoT MASTER 进行数字化。采用多模态融合 AI 算法，智能感知场景，自主决策、自主规划导航，可以实现自主感知月台、车厢、货物情况，自主规划路线，自主导航。自主装卸货，该机

器人可以实现自主识别货物情况，可与 WMS、WCS 对接，自主进行货物的装卸，无需人工参与。自主交付平台，该机器人内置 Vision Robot 低代码交付平台，用户可灵活进行流程配置。

3. 可复制性

本方案卓越的环境适应性，使其能够良好契合“一带一路”沿线国家多样化的基础设施条件与运营环境。方案的核心优势在于，通过机器人实现全流程自动化作业，确保了操作始终处于稳定、可控的状态，从而从根本上避免了因人工疲劳、技能差异或操作不当可能引发的安全事故与货物损失风险，这对于保障各国供应链的可靠性至关重要。

在具体的装卸作业环节，该方案展现出高度的设备兼容性，可无缝应用于标准集装箱和高柜等多种常见设备。尤为关键的是，它在执行对厢式货车、板车等车辆的装卸任务时，无需对车辆本身或现有月台等基础设施进行任何改造，这种“即插即用”的特性极大地降低了在新市场部署的门槛和成本。

案例 32 AI 赋能蓝莓全产业链创新升级

佳沃集团

本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

（一）场景概述

“一带一路”倡议持续深化农业国际合作，推动沿线国家现代农业技术共享与产业协同发展。在此背景下，农业数智化转型不仅是提升生产效率的关键路径，也是增强国际农业竞争力的重要举措。

1. 痛点分析

蓝莓等精细化种植产业面临机会和挑战，高生物敏感性、高技术门槛与高附加值并存，传统经验种植模式难以适应市场需求，亟需通过数字化、智能化手段提升产业效能。



图 57 佳沃蓝莓

深入产业实践观察，农业数字化转型长期受困于数据标准化缺失、IT 基础薄弱及流程分散等问题——多源异构数据（如气候、土壤等）缺乏标准化处理，利用率不足；水肥管理依赖人工经验，调控滞后导致资源浪费和品质波动；产业链数据割裂，产销协同精度不足；农技知识数字化率低，新农人培养周期长达 2 年。以上问题严重限制产业效益提升，亟需通过 AI 技术实现数据融合、智能决策与知识传承，推动农业向精准化、标准化方向升级。

2. 方案成效

佳沃集团蓝莓业务依托“数智化管理体系+生物技术防控+物联网”模式，构建覆盖研发、种植、加工、物流的全产业链数智化体系。

方案通过 AI 算法实现病虫害智能诊断、水肥精准调控及产量预测，病虫害识别效率从人工巡检的日级耗时降至分钟级，水肥调控 EC 值测量误差控制在 $\pm 1.5\%FS$ 以内，水肥管理效率较传统种植提升 5 倍以上。方案还将传统农艺经验转化为可复用的数据模型，显著降低技术应用门槛，培养“数字新农人”1500 余名，带动云南 20 万农户年均增收 3.2 万元，户均年收入从 2.8 万元提升至 6 万元。同时，物联网设备实时监测环境数据，优化资源利用，确保品质稳定与全年供应，产量稳定提升 15%-20%，优质果率从 80%提升至 91%，等级果比例 11%，收益较传统模式提高 30%。这一实践不仅提升产业效益，也为“一带一路”农业合作提供了可复制的智慧农业解决方案，助力全球农业可持续发展。

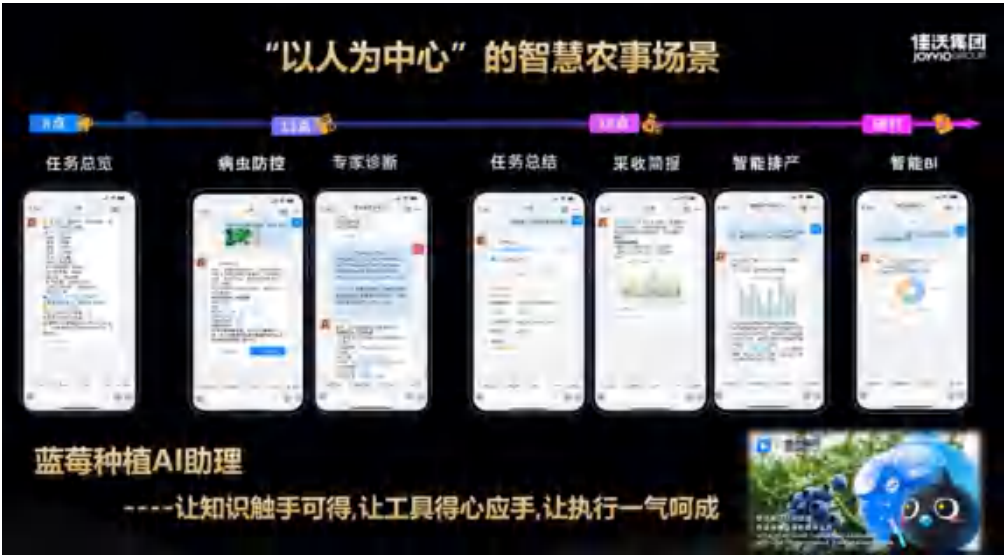


图 58 蓝莓种植 AI 助理

（二）技术方案

如今，AI 技术正在深刻改变农业生产方式，其让分散的传感器数据形成联动系统，让经验判断升级为智能决策，让粗放管理转向精准运营。从田间墒情监测到市场销售预测，AI 正在打通农场管理全链条，推动农业产业链各环节的深度融合与协同优化。

1. 技术架构

佳沃集团蓝莓产业数智化解决方案构建起“数据驱动+智能决策”的现代农业管理体系。该体系以 118 张标准化数据底表为框架，打造了覆盖环境监测、农事操作、人员管理、产销对接的完整数据采集网络。系统集成 200 余个经过验证的标准化作业模板，确保从种植到销售全程规范化运作。

实际运行中，方案已整合超 10 万条农事记录，涵盖水肥管理、病虫害防治等全流程；建立 1 万名作业人员的数字化档案，实现技能与绩效的精准管理；更

通过物联网和产销系统对接，积累 500 万条市场数据，包括价格走势、消费偏好等关键指标，真正实现了“从土壤到餐桌”的智能化管控。



图 59 佳沃智能化全链赋能体系

2. 技术路线

该技术体系在各系统间实现无缝集成，如水肥监测仪与 AI 助理联动，实时推送异常预警，真正做到“数据找人”。通过这些技术创新，佳沃集团打造完整的智慧农业生态系统，为蓝莓产业的高质量发展提供了强有力的技术支撑。

在智能决策方面，系统建立了以农事智能推荐和产销预测模型为核心的数据决策体系。基于 500 余万条产销数据的预测模型，实现了行情预测准确率达 92%，产销匹配效率提升 60%。农事智能推荐系统通过分析 10 余万条历史作业记录，结合实时环境数据，自动生成最优农事方案，使管理效率提升 80%。



图 60 智能农业数据决策体系

在产业协同方面，技术体系实现了三大突破：一是构建了覆盖研产供销的数字化协同平台，通过 118 张数据底表的无缝对接，实现业财数据实时互通；二是开发了智能经营看板，定时推送关键经营指标，辅助管理层决策；三是建立了全程品质溯源系统，通过区块链技术确保数据不可篡改。

在农业现场管理方面，系统集成 IOT 监测设备、自动化水肥系统和植保机器人等智能装备。200+标准化作业模板确保每个生产环节都有据可依，1 万+人员的作业信息实时上传，实现了生产过程的全面数字化管控。特别是通过数据智能分析，将传统依赖经验的农事决策转变为数据驱动的精准管理，真正实现了“用数据说话、用数据决策”的现代农业管理模式。

（三）场景优势

1. 示范性

佳沃集团蓝莓产业数智化解决方案已在国内多个地区实现规模化落地，并形成显著的示范效应，成为区域品牌标杆与乡村振兴实践典范。在云南红河州，其打造的 8000 亩高标准蓝莓种植示范基地及全省 3 万余亩现代化设施基地，通过全产业链数智化协同，实现从种苗繁育到产品营销的绿色高效发展，2022 年蓝莓鲜果产量达 6000 余吨，主营业务收入超 3 亿元。该模式不仅推动当地蓝莓产业全链数智化升级，还年均带动农户 24500 户、95000 余人次就业，使当地农民月均务工收入提升至 4500-6000 元，户均年增收 3.5 万元，成为少数民族地区产业振兴的标杆。

在湖北、安徽等地，佳沃通过“授权种植”模式推广专利授权品种与专利种植管理技术，以数智化赋能提升产业效能，帮助地方打造特色产业经济增长点；海南澄迈的数智化凤梨产业园、福建漳州的琯溪蜜柚产业协同平台等，均依托该方案的技术框架实现产业升级。其模式获工信部“数智影响力”案例、农业农村部“数字农业优秀案例”等 20 余项国家级荣誉，被新华网、人民网等权威媒体专题报道，成为农业数字化转型的示范样本。

2. 创新性

佳沃集团以 AI 驱动数据决策，助力农业全链条数智化工具矩阵技术融合；通过数智化重塑全产业链，打造特色产业品牌，构建“一链一品”的区域特色产业发展模式；通过流程创新，实现不同特色产业产区多语言技术适配；利用 AI 模型，通过对传统的农业经验、知识进行整合、沉淀，形成标准化的农事作业流程。通过技术、模式、流程重构的三维突破，实现 AI 技术与农业场景的深度融合。

在技术驱动层面，佳沃集团构建“数据-算法-应用”技术闭环，通过部署土壤湿度传感器、气象监测网络等设备，结合 AI 决策模型实现智能灌溉，EC 值控

制精度达 $\pm 1.5\%$ ，较传统模式节水 30%以上。自主研发的个性化动态数字办公室（IDO）集成知识管理、农事作业等功能，低代码技术实现跨部门流程整合；AI 助理“小佳”通过知识图谱技术将 13 项专利技术与专家经验转化为可视化操作指南，缩短新农人技能掌握周期。

农事作业流程化管理上，佳沃集团首创“技术+数据+产业”闭环模式，从品种研发到采销环节实现标准化管理。例如，数字化冷链物流与智能仓储构建非标品标准化管理体系，利用 AI 智能匹配和决策建议，实现采销线上精准匹配，带动产业链上下游全程智慧管理。

3. 可复制性

佳沃方案在“一带一路”沿线国家具备推广价值。佳沃智能灌溉系统可与滴灌技术协同，通过多维度数据采集与 AI 动态水肥配比，提升沙漠环境种植效率。对于迪拜等地区，可叠加智能分选、区块链溯源等模块，构建高端农业产业链。

三重支撑体系确保了“佳沃模式”的可复制性。第一是技术支撑，拥有 12 人专业研发团队与国内外专家资源，持续选育蓝莓新品种。其次是经验支撑，例如海南澄迈的凤梨数智化分选加工厂，复制了蓝莓产业的数智化农事作业和分选加工体系，根据凤梨的产品品类特色，实现无损检测，确保凤梨产品高品质、标准化输出，实现产量品质双提升。最后是生态支撑，通过“授权种植”模式整合产业链资源，在“一带一路”国家可结合当地自然禀赋，打造本土化数智农业生态。

佳沃集团数智化赋能特色产业高质量发展和振兴地方特色产业的模式，对“一带一路”沿线高端农产品需求旺盛的地区也可以起到一定的示范作用，通过数智化实现农产品的标准化品控与品牌打造，可帮助当地建立高附加值农业产业体系，形成“技术赋能—产业增值—民生改善”的良性循环。

案例 33 四川省人工智能矿山大模型建设

四川省自然资源数字科技有限责任公司

（一）场景概述

针对全球采矿行业智能化空白，聚焦勘探效率低、采矿安全风险高、选矿工艺粗放、安全管理滞后等痛点，四川省矿山大模型由四川省自然资源投资集团有限责任公司牵头，联合华为技术有限公司、电子科技大学等单位共同研发，构建了世界最大的矿山全生命周期多模态数据集和国际领先的矿产人工智能适配平台，通过六大核心模型实现全链条智能化升级。

1. **探矿环节：**集成找矿知识问答、辅助编辑报告，岩矿识别、预测成矿等 AI 功能探矿，解决传统找矿成功率低、成本高的问题，提升战略性矿产勘探效率 50 倍以上，预计探矿效益达 200 亿元。

2. **采矿环节：**打通钻、爆、采、运、排全场景，全流程设备协同采矿，攻克恶劣环境下无人驾驶技术难题，实现 L4 级露天矿卡全天候作业，运输效率提升 20%。

3. **选矿环节：**优化浮选与浓缩脱水工艺，实现全自动控制和自动化反馈，回收率提高 1%，药剂单耗降低 10%。

4. **安全监管：**通过“边一云”协同预警，实现所有设备的预防性养护，减少 25% 安全事故，降低管理成本 10%。

5. **矿企管理与知识服务：**为矿企构建高效知识检索引擎融合大模型提升管理效率，解决资源开发各环节难题，助力矿山企业决策和产业协同，构建数字生态体系。

6. **产业链协同：**推动矿石生产、运输、存储、交易、冶炼生产等数据多源融合，开展矿区地质灾害联合预警、供应链物流路径、智能选矿工艺优化协同、矿产资源合规开发监管、全球矿产库存动态协同等应用，解决矿产资源领域资源供应安全受威胁、矿石定价权缺失、行业协同效率低等痛点，提升全链条协同效率 60%。

（二）技术方案

1. 技术架构

矿山大模型总体技术架构按照基础设施层、语料层、模型层、使能层、应用层五个层次开展项目建设。其中，基础设施层提供统一智算算力及网络，通过 AI 中台统一调度。AI 中台覆盖语料层、模型层、使能层，为语料准备、大模型

训练、应用场景提供支持。应用层为最终业务用户提供服务。

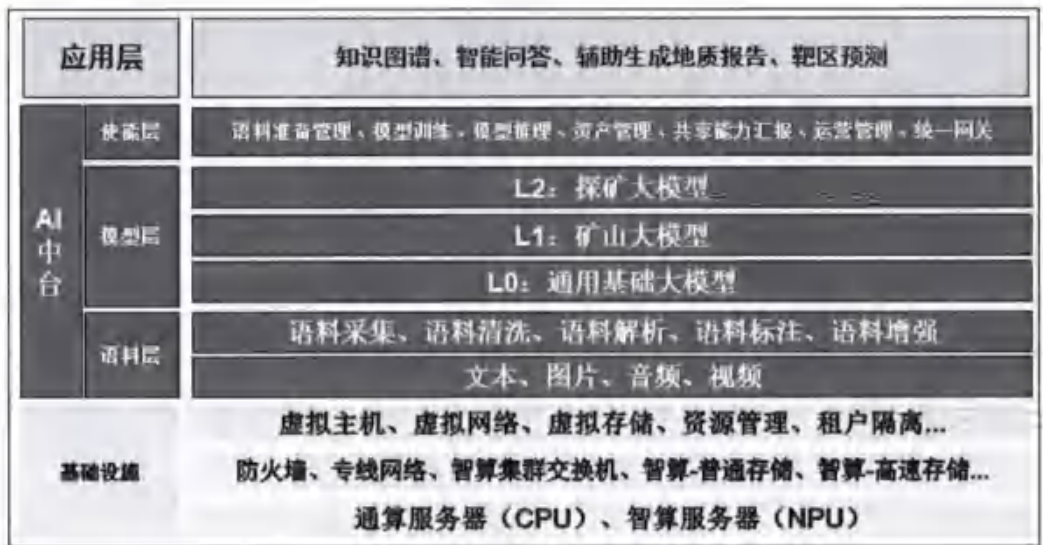


图 61 总体技术架构图

2. 技术路线

探矿大模型：创新地融合多模态数据处理、知识推理与强化学习决策，可自动分析地质影像并动态圈定矿产靶区。

采矿无人驾驶系统：采用多传感器融合感知技术，在扬尘、雨雪等恶劣环境下仍能保持 L4 级露天矿作业精度，结合全局调度算法实现载重与地形协同控制。

选矿系统：通过浮选泡沫特征量化和浓缩脱水动态优化，形成机理与数据双驱动的新型工艺控制模式。

安全监管体系：依托边云协同架构，实现隐患智能预测与应急联动响应。

企业知识管理平台：企业知识管理平台构建了多模态知识图谱，支持文本、图像、视频的跨维度检索与自更新。

3. 核心技术：

多模态融合类脑智能：探矿大模型结合地质影像分析、知识图谱与强化学习，动态圈定矿产靶区。

具身智能系统：实现钻，爆，采，运，排等多设备在采矿的协同控制技术，进行扬尘雨雪环境下的高精度定位与路径规划。

选矿机理与数据双驱动：选矿模型通过浮选泡沫特征量化与浓缩脱水动态优化，形成智能控制闭环。

边云协同安全监管：基于深度学习的隐患识别与应急联动模型，实现实时预

警与响应。

全生命周期数据治理：构建全球最大矿山数据集（2P 语料库），支撑模型训练与迭代。

（三）场景优势

1. 示范性

项目首次实现全链条智能化，填补了行业研发空白，贯通探矿、采矿、选矿、尾矿管理、安全监管、产业链协同六大垂直领域，形成从勘探到生产的全生命周期智能化闭环。以世界级钒钛磁铁矿——红格南矿为应用试点，验证了大模型在复杂环境下的实用性，成功申报了四川省人工智能矿山大模型建设，为全球矿山智能化升级提供可复制的标杆案例。

项目实施后取得了显著成效。在经济效益方面，整体大模型预测直接带来 300 亿元收益，选矿单耗降低 10%，全产业链周期缩短 60%；在技术突破方面，探索与无人驾驶大模型达到国际领先水平，申请发明专利 20 项以上，形成 116 个场景产品；在社会价值方面，实现安全事故减少 25%，培养专业人才 200 人，推动四省区资源适向配置，保障国家矿产资源安全。项目通过“AI+矿业”示范革新，打造智能化、绿色化和高端化的行业样本，为新质生产力发展提供系统性解决方案。

2. 创新性

首创跨学科领域：结合地质学与 AI，构建全球最大矿山全生命周期数据集。创立矿产信息学新学科，将量子计算引入地质推理引擎，开发全球首个矿山应急联动 AI 模型。选矿环节通过药剂智能调控使回收率提升 1%、单耗降低 10%，并建成覆盖勘探、生产、安全等全维度的矿山全生命周期数据库，形成全球最大规模的结构化数据治理体系。

多模态数据融合：探矿大模型集成卫星影像、地质露头照片等多源数据，通过知识图谱与强化学习实现智能决策。采矿多设备的协同无人驾驶，采用激光雷达+毫米波雷达多传感器融合，突破扬尘、雨雪环境下的 L4 级作业瓶颈。

行业模式创新：探矿、选矿、安全监管效率显著提升，产业链管理构建“产贸运结”四位一体数字生态，推动产业发展。

3. 可复制性

技术方案灵活适配：基础设施层（算力）、语料层（数据）、模型层（算法）、应用层（场景）的标准化设计，116 个场景产品（如地质报告助手、无人驾驶调度系统等）灵活适配不同矿山需求，支持快速移植。

运营模式高效闭环：提供算力服务、数据服务、算法调用等 58 项产品，以接口调用、定制开发等形式开放能力的工业互联网平台。联合高校、企业、地勘单位共建共享，形成“数据—技术—市场”闭环。

案例 34 SPG 矿山安全 AT 大模型平台

重庆梅安森科技股份有限公司

（一）场景概述

传统矿山安全管理依赖人工经验，存在效率低、误差大、响应慢等痛点。具体而言，目前存在四个突出痛点：第一，风险识别不全面，传统方法难以全面识别矿山作业中的潜在风险，容易遗漏关键风险点。第二，风险评估效率低，人工评估耗时耗力，且容易因主观因素导致评估结果不准确。第三，知识管理混乱，矿山安全知识分散，缺乏系统化管理，难以快速检索和应用。第四，响应速度慢，面对突发安全事件，传统管理方式响应速度慢，难以及时采取有效措施。

针对上述痛点，SPG 矿山安全 AI 大模型平台旨在通过智能化手段提升矿山安全管理水平，推动矿山行业向智能化、数字化转型，实现以下四方面突破：第一，通过 AI 算法实现对矿山作业中潜在风险的全面识别，确保无遗漏；第二，利用大模型技术快速评估风险等级，提高评估效率和准确性；第三，构建系统化的矿山安全知识库，支持快速检索和智能问答，实现智能化知识管理；第四，通过智能化手段建立快速响应机制，确保在突发安全事件中能够及时采取有效措施。



图 62 梅安森工作人员正在介绍矿山模型方案

（二）技术方案

1. 技术架构

底层架构：基于云计算和大数据技术，构建稳定、高效的技术基础。

中间层：融合智能算力、大模型、语料数据和感知交互技术，提供强大的 AI 能力支持。整合传感器数据、文档库、历史事故案例，构建多模态数据湖（容量 50TB）。构建矿山安全大模型，支持文本、表格解析（准确率 95%）。

应用层：通过矿山安全知识库、AI 风险识别和分级管控等功能模块，实现矿山安全管理的智能化应用。

2. 技术路线

矿山安全知识库：文件类别树管理支持对文件类别树进行新增、编辑和删除操作，确保知识分类清晰；知识库文件管理支持批量上传文件，自动进行 AI 智能学习，确保知识的及时更新和应用；智能问答通过深度学习算法，结合知识库资源，提供高效、准确的问答服务。

AI 风险识别：智能生成风险辨识清单通过解析文件和历史数据，智能生成风险辨识清单，包括风险区域、风险点、风险类型等信息；动态风险监测通过实时监测矿山作业中的风险变化，及时更新风险辨识清单。

全流程 AI 风险分级管控：根据风险的严重程度和发生概率，自动评估风险等级；根据风险评估结果，自动生成具体的管控措施，并分配到相关部门和个人；根据风险变化，动态调整管控措施，确保风险始终处于可控状态。

3. 核心技术

知识图谱引擎：矿山安全图谱包括超过 10 万个实体和超过 30 万个关系的矿山安全图谱，支持语义推理与风险关联分析。

动态风险建模：复杂网络分析（CNA）预测风险传播路径，准确率 85%。

边缘计算优化：部署轻量化模型至井下终端，响应延迟<1 秒，断网可本地运行。

（三）场景优势

1. 示范性

项目已在山西、陕西、内蒙古、新疆、云南、贵州、重庆等省市地区落地，公司与矿山企业、科研机构和政府部门建立紧密合作关系。通过 AI 算法实现风险识别和管控的自动化，显著提高工作效率，风险评估和知识检索的准确性达到行业领先水平。目前，系统可覆盖 30 万+井下作业人员，事故率降低 40%；风险识别耗时从 8 小时缩短至 5 分钟，管控流程效率提升 75%。

本场景方案获得多项荣誉，推动了矿山行业向智能化、数字化转型，为行业树立智能化管理的标杆。2019 年基于本项目研究成果开发的“主煤流智能管控系统关键技术与应用”项目，获得中国煤炭工业协会科学技术奖二等奖；陕西陕煤曹家滩矿业有限公司数据处中台及云端分析决策系统等项目在 2019、2023 年分别获得中国煤炭工业协会的煤炭行业两化深度融合优秀项目；2024 年基于本项目研究成果开发的“煤矿井下复杂环境多业务融合通信技术的研究与应用”项

目获得河南省煤炭学会科学技术奖一等奖；2024 年基于安全大模型的矿山风险隐患智能化管控平台获得 AI Cloud 典型案例及 AI Cloud MSP 典型案例。

2. 创新性

本场景方案的创新性主要体现在三个方面：其一，技术融合创新方面，首创“知识图谱+大模型”双引擎，构建 10 万+实体、30 万+关系的矿山安全知识网络；其二，动态优化能力方面，基于强化学习算法动态调整管控策略，风险响应速度提升 60%；其三，多模态交互方面，支持文本、表格解析，文档解析准确率 95%，异构数据兼容性行业领先。

3. 可复制性

本场景方案的可复制性主要体现在两方面：其一，模块化部署方面，支持公有云、私有云混合架构，适配不同规模矿山，部署周期缩短 50%；其二，模块化扩展方面，可根据不同矿山的需求进行定制化开发，知识库的标准支持动态更新，实时同步 50+国标/行标，知识库更新周期从 1 月缩短至 1 周。

案例 35 电力作业现场智能安全帽动态监管系统（AI 赋能）

思源数智（厦门）信息技术有限公司

（一）场景概述

1. 痛点分析

电力作业现场，特别是山区、配网、运维等作业末梢区域，普遍存在“人员配置少、现场变化快、作业难管控”的三重难题，尤其以小班组（3-5人）和高频次临时作业最为典型，传统“人盯人+定点视频”的安全监管模式已难以覆盖所有作业空间与动态变化环境，亟需依托人工智能建立“可穿戴+多模态+全环境”智能感知体系。

安全帽系统偏硬件、识别手段弱：传统安全帽监管系统多依赖硬件触发机制或近场检测模块，难以识别作业行为与周围风险因素，如未佩戴、非规范操作、使用违规工器具等问题难以及时发现。

环境因素不可见、不可测：小型分散作业常位于高空、陡坡、隧道等复杂地形，存在鸟害、电磁干扰、极端天气等多种变量风险，传统摄像头难以全面捕捉，安全员亦难全程伴随。

人员状态难感知、规范动作难反馈：在常态化作业流程中，操作手势如抬臂、探身、攀爬、临近高压等动作与标准操作规范之间无清晰量化判断标准，管理难以界定是否为“高危动作”。

预警反馈机制弱、闭环能力差：当前安全系统大多仅能提供后台报警，对现场作业人员缺乏即时反馈路径，无法实现“边作业边提醒”的风险提示，存在“看得见但管不到”的真空区。

2. 方案成效

为解决上述问题，方案引入人工智能技术，构建以“智能安全帽为核心”的动态现场感知系统，实现了从“感知环境”到“识别行为”再到“发出预警”的全过程闭环管理。

第一，全环境数据采集。智能安全帽内嵌高清摄像模组、语音模块和惯性传感器，实时采集作业人员头部视角的图像、动作数据与环境特征，并通过边缘网关汇总至 AI 引擎，做到“所见即分析”。

第二，行为识别与标准对照。AI 模型基于深度卷积神经网络与时序建模，识别人员的工作姿态、手部动作与工器具使用行为，并与作业规范数据库实时对照，对违规操作行为进行自动判定。

第三，边界区域识别与风险预测。通过“虚拟围栏+图像比对”算法，智能识别人员是否靠近禁止区域、高压设备、未设警示的风险点等，系统根据人员轨迹与周边构造智能生成风险等级提示。

第四，全时段多源感知融合。结合图像、惯导、语音、温湿度等多模态信息，系统可综合判断作业环境状态，如恶劣天气、低能见度、强光、鸟类靠近等安全隐患，并生成 AI 环境评估报告。

第五，主动语音和震动反馈与数据回流。一旦检测到风险行为或异常状态，安全帽可通过内置语音播报器和震动装置，发出实时提醒，具备“低侵入式主动反馈”能力。同时，数据回流至云端形成行为分析图谱，用于持续优化模型与作业行为库。

（二）技术方案

1. 技术架构

系统整体采用“感知端+边缘端+平台端”三层架构，以 AI 算法为主线，各层协同。

感知端（安全帽终端）：前端为配备摄像模组、语音播报器、震动装置、IMU 惯导模块的智能安全帽，实时采集佩戴者头部视角视频流与动态数据，并支持边缘运算模块外挂（可选集成 NPU/轻量模型芯片）。

边缘 AI 计算端（AI 盒子/智能边缘网关）：部署轻量化视觉大模型与行为识别模型，执行图像解码、人员动作识别、危险区域比对、环境异常分析等核心 AI 任务，规避网络拥堵与实时延迟。

平台端（云侧融合平台）：完成全局模型训练、风险聚类分析、行为标准库维护、数据可视化与异常事件归档，并负责指令下发、历史行为检索、知识图谱构建等中后台管理功能。

2. 技术路线

特征感知建模：利用佩戴者视角视频流，调用卷积神经网络（CNN）对手部动作、物品特征、工器具种类等进行图像特征提取，结合时序神经网络（LSTM）实现操作行为的动态识别与分类（如攀爬、举臂、探身、使用金属杆等）。

环境因子交叉识别：通过边缘视频分析与红外光线分析，实现对强光、高反光、鸟类飞入、云雾弥漫、低照度等环境变量的自动检测，结合作业位置的 GIS 数据，生成“环境可视化安全等级图”。

违规行为实时判别：结合企业既定作业规范库，对识别出的动作或行为进行比对，例如非法使用金属工器具、靠近高压设备、越界作业等行为进行规则触发

识别。

实时告警与本体提醒：识别出高风险行为后，安全帽内置的语音播报器或震动装置，即刻播放提示音或震动，如“靠近危险区域，请退后”“操作姿势异常，请检查是否规范”等，打造“AI提醒+本体反馈”的双重闭环，解决传统后台告警延迟问题。

数据回流与自学习机制：所有视频片段、识别标签、误报事件会自动上传平台用于训练优化，并支持专家干预标注，系统将不断更新模型参数，提升复杂环境下的识别准确性。

3. 核心技术

项目核心聚焦在人工智能模型在复杂作业场景下的识别、评估、联动、演进能力，并依托可穿戴终端构建实时响应闭环，具体包括以下五大技术核心：

图像识别大模型：采用深度卷积神经网络（CNN）和注意力机制结构构建专用电力作业图像识别模型，具备高鲁棒性的行为特征提取能力。针对安全帽视角图像，模型可在复杂背景下准确识别出人员动作（如探身、攀爬、举臂）、作业状态（如上杆作业、检修）、工具状态（是否持有金属类器具）等内容。

时序动作建模与风险模式识别：引入 LSTM 结构与 Transformer 模块，结合惯性传感器、行为轨迹等时序数据，实现对作业过程连续动作的识别，构建“高风险行为识别模板库”。支持对反常行为如突然转身、剧烈举臂、违规搭接等识别与评分，形成作业风险曲线。

多模态环境感知融合：融合视觉、声音、气压、光照、温湿度等数据，建立多模态感知通道。通过特征对齐算法实现跨模态匹配，提升对异常天气、光照突变、鸟害侵入等非人为因素的智能检测能力。

语义识别与行为检索：部署基于 BERT 优化的 NLP 模型，支持“以语问图”，如输入“今天谁没戴手套”“8号杆有没有违规攀爬”等指令，系统可定位图像+数据记录。结合知识图谱构建，逐步形成“标准行为库+案例行为库”。

AI持续演进与模型优化机制：构建“数据回流—专家纠偏—模型重训—边缘更新”的完整模型演进机制，持续接收现场误识别反馈，利用增量数据进行模型微调，实现本地模型与全局模型协同提升。

（三）场景优势

本项目聚焦于电力作业现场智能安全帽动态监管系统的应用，突破传统静态佩戴检测范式，构建了以人工智能为核心驱动、可穿戴安全帽为感知入口、边缘计算为识别引擎、全流程数据为驱动基础的新型作业安全监管体系。该方案在技术路径、场景适配与可推广性方面均具备显著优势。

1. 示范性

场景填补行业痛点，形成数字安全监管典型样板。

一是聚焦电力小班组作业安全“监管真空区”。在配电运检、应急抢修、山区登杆等场景中，常以 3-5 人小班组形式开展作业，传统监管依赖现场监护人肉眼观察，易出现行为偏差、突发风险无法预警等问题。该项目首次实现在此类高风险、监管覆盖薄弱区域部署 AI 视觉识别+动态预警机制，填补监管盲区。

二是以国网福建省电力有限公司三明地区为试点构建省级样板工程。项目已在三明山区典型高风险作业场景成功部署，运行稳定，效果显著。已形成“人一帽一边一云”一体化管理流程、智能识别行为模板库、安全等级评分规则等标准内容，为后续在国家电网内形成统一推广路径奠定基础。

三是助推数字化安全管理体系转型升级。系统接入企业现有安全管理系统，实现智能识别结果自动入档、风险告警联动处置、图像数据可查询追溯，打通从风险感知、事件处置到绩效反馈的全链条数字闭环，推动企业传统安监体系向“AI 辅助监管”过渡。

2. 创新性

一是安全帽从静态感知设备向“全环境智能终端”演进。本系统将普通安全帽升级为“多模态数据采集器+实时图像处理单元+语音反馈终端+震动提醒装置”，不仅实现是否佩戴识别，更能动态识别操作动作、违规行为、环境异常、人员状态等多类信息，形成“作业本体自感知”机制。

二是 AI 识别能力多层叠加，精准识别细粒度作业行为。项目构建了集 CNN 图像识别、LSTM 时序分析、工器具目标检测、语义风险分类等于一体的行为识别模型体系，具备高复杂场景中细粒度风险辨识能力，覆盖“未戴绝缘手套”“非标准攀爬”“异常工具使用”等 20 余种高发行为。

三是本体语音和震动提示形成“AI—作业者”直接交互闭环。系统突破传统后台报警的滞后性，在安全帽本体内集成语音播报器和震动装置，可实现风险提醒实时发声反馈和感知反馈，具备近脑可听可知、无需网络响应、免培训交互等特性，为一线作业人员提供“贴身安全助理”。

四是模型持续演进机制，适应多地多变工况。项目支持模型误报反馈→专家复核→本地再训→边缘升级的持续学习机制，实现边缘 AI 能力自我进化，适应不同地形、天气、光线和作业工具变化，保障长期部署效果。

五是语义分析与行为知识图谱构建。系统具备以图搜图、语义问答能力，支持通过“哪些作业人员曾多次被系统告警”“本周谁违规使用金属工具”等自然语言输入，自动提取图像数据与事件轨迹，构建电力作业知识图谱，助力分析、培训与安全复盘。

3. 可复制性

一是采用软硬件模块化设计，部署灵活。系统采用“AI 安全帽+思源 AI 云边协同终端+云监管平台”三层解耦式架构，可根据场景需求灵活选择部署轻量识别模型或网关端 AI 模块，兼容市面多种安全帽品牌及工业终端。作业标准库可快速迁移复用。平台积累了包含操作姿态、异常动作、违规场景在内的作业行为库，具备模型迁移与扩展能力，可快速适配电网、化工、轨交等多行业场景，为构建行业级 AI 安全识别标准奠定基础。

二是平台云端统一管理，多点同步部署。支持一平台多站点接入，管理人员可在统一后台查看区域内所有终端运行状态、告警情况与行为数据，具备大规模集中部署能力。已具备向省公司、地市公司推广的组织、平台、数据基础。

三是标准体系与监管指标可复制。已建立 AI 辅助安监绩效考核机制、安全行为识别指标体系（识别准确率、响应时间、事件闭环率等），可作为行业“AI+安全帽”项目考核模板，为政策推动、行业规范提供实践基础。

案例 36 AI 政策大脑：打造垂直细分行业的“情报系统”

索安赛数据（成都）有限公司

（一）场景概述

当前，部分政府机关及企事业单位虽已建成信息化运营监测系统，具备一定的内部数据基础，但在外部数据整合与归集方面仍存在不足，系统化、常态化和完整化的分析能力相对薄弱，导致数据深度与广度有限，价值未能得到充分挖掘。同时，相关单位在智能化手段上仍显欠缺，依赖人工采集与分析，时效性不足、准确性不高，难以真正支撑单位战略研判、决策。在政策分析场景中，提升智能化水平、强化数据融合和分析能力已成为亟需解决的问题，以更好地服务管理效能提升与决策质量改进。

“AI 政策大脑”凭借自动化的数据采集及预处理能力，自主部署了国内外及本地区的全网能源政策、资讯、指标等数据源的实时监测、采集、筛选及清洗、储存，结合 AI 大模型技术，自动实现分拣、标记、剖析，及要素提取、归纳总结、解读，输出关系图谱、趋势热点、数据洞察及报告生成，支持更高阶的智能检索、交互问答。

（二）技术方案

公司基于 AI 大模型技术，开发政策挖掘及智能交互平台，融合海量政策及多源数据，通过高效智能处理，自动实现分拣剖析、要素提取及归纳总结、解读，支持关系图谱、趋势热点、数据洞察及报告生成，结合 RAG（检索增强生成技术），实现更高阶的智能检索、交互问答。为政府机关及企事业单位提供行业或专题政策、内部政策的私有化、场景化的解决交付，支持预训练（SFT）及反馈学习（RLHF）。

该产品服务路径如下：

一是根据用户需求，采取主要基础政策数据源+个性化政策数据源的采集模式；二是通过自然语言识别处理政策，利用自研文本算法进行数据挖掘分析，捕捉政策热点趋势，为用户决策提供政策依据，支持按照个人偏好获取相关报告和热点追踪；三是搭载可与多种系统平台协同的交互端口，支持多轮对话互动检索和自然语言问答；四是上百名专家级政策分析的咨询团队，可按需开展政策深度解读剖析，输出专题分析报告。

（三）场景优势

1. 示范性

该产品建成并投入使用以来，累计已经入库能源政策数据超过 150 万条，每日增量更新，按周、月自动生成能源政策报告，荣获 2024 智慧蓉城人工智能场景典型。

该应用场景在多个单位落地使用，并构建了成熟度较高的技术方案和数据集。在国网四川省电力公司政策研究机构，解决了其在政策内容归集、政策实时获取、政策获取渠道划分、政策查询选取等方面的需求。在国网天府新区供电公司，专门针对创新示范和科技研发相关政策提供智能挖掘和交互，支撑其在科技创新方面的政策和辅助需求。

2. 创新性

该场景深度赋能企事业单位智能决策的部署与应用。“AI 政策大脑”支持客户根据行业及自身需求自定义采集数据源，应用 AI 大模型技术，实现对政策关键点的理解、标记、提取、整合与数据挖掘、智能分析，支持政策关系图谱、趋势热点、数据洞察及报告生成，以及更高阶的智能检索、交互问答及自主订阅。为政府机关及企事业单位、科研院所提供重度垂直的细分行业政策、资讯、指标的自动采集、智能分析的应用交付，及结合内部数据的深度场景分析。

案例 37 面向绿色供应链的 AI 产品数字护照系统

上海奕碳科技有限公司

（一）场景概述

产品数字护照（Digital Product Passport, DPP）的提出，是近年来全球可持续发展、循环经济转型和数字化技术融合背景下的一项重要创新，其核心目标是通过全生命周期数据透明化，推动资源高效利用、减少环境足迹，并满足日益严格的监管与市场需求。

在全球产业链视角，欧盟提出 2050 年实现碳中和，并推动“循环经济行动计划”（Circular Economy Action Plan），要求产品设计、生产和回收环节减少资源浪费。2022 年，欧盟《可持续产品生态设计法规》（ESPR）明确要求高环境影响产品（如电池、纺织品、电子产品）强制附载数字护照，披露材料成分、碳足迹、回收指南等信息。《欧盟电池法规》将在 2027 年强制实施，要求电动汽车电池披露钴、锂等原材料来源（是否涉及冲突矿产）、碳足迹、回收率，未达标者禁止在欧盟销售。

在此背景下，中国企业提升供应链数字化溯源管理能力已成为当下突出需求。尤其对新能源汽车、工业机器人、互联网等具有极大国际化潜力和价值的新质生产力相关企业而言，提升绿色可持续合规绩效表现，和披露水平已成为当下突出需求。

然而，大型企业因产品类目庞大、原材料种类众多，上下游产业协作体系复杂。企业以问卷、表单、传统 ERP 系统等方式开展工作需要极大的资源和人力投入。内部组织机构间沟通、外部利益相关方间沟通存在阻碍，信息存在突出的滞后性和不对称性。此外，在国际政治经济形势多变的情况下，传统供应链管理手段也存在面对突发的产品相关负面事件风险应对不足的痛点。

而对中小企业而言，内部信息化程度不高，数据底座缺失，数据孤岛情况严重，ESG、碳排放信息获取困难，归集和分析能力欠缺，相关专业人员成本高企；外部供应链话语权较弱，上下游数据难以收集获得等问题日益凸显。

通过产品数字护照系统的导入及人工智能大模型的应用，企业能够优化自身 ESG 及供应链管理流程和关键节点，实现效率提高、成本降低、人力替代、可视化管理。在保障数据安全的情况下实现更高水平的数据追溯、供应链韧性提升和企业可持续发展绩效展示，为企业高质量和可持续发展赋能。

（二）技术方案

中国的外向型企业是全球供应链的重要环节，承上启下，链接众多工业品制

造者和下游国内外用户，需要为众多（中国制造）工业品向下提供供应链上多级合规、涉碳、ESG 相关信息。

本应用场景基于 AI 数据生成与区块链存证技术，搭建和运营面向全球绿色供应链的工业品数字化产品护照系统，依靠数字化技术力量，采用数据抓取、数据清洗、AI 生成、区块链存证技术，为广大制造业企业提供完整的证据链，以数字化能力赋能供应链上企业打开市场，提升全球市场下的绿色竞争力。



图 63 产品架构示意图

具体内容模块包括：

AI 交互：系统首页入口，引导性功能入口。引导用户使用产品护照、碳数据等主要功能，并接受用户所有的相关命令的输入和判断。

数据采集：企业全域和全供应链数据采集。采集后，企业私有化部署的 AI 功能支持数据的解析、归集和数据集准备。为后续数据流转应用和输出搭建数据基底。

产品数字护照生成：按照使用场景和相关标准（如欧盟电池护照相关规定）生成产品数字护照，展现产品各生产环节的图谱上的绿色与可持续发展相关数据，通过区块链存证防止篡改。

供应链数据管理：展现企业全部产品和供应链环节上的绿色和可持续性数据，并支持可视化查询和溯源与定位。

碳排放管理：定制化展现企业组织碳、产品碳数据和减碳机遇、减碳技术匹配和碳金融等内容。

数据安全管理和区块链存证：系统采用定制化隐私部署，将应用程序和数据存储在自己的服务器上，企业拥有对未披露数据和系统的完全控制权。而企业依

据需求进行产品数字护照生成后，区块链存证可防止数据在上下游流转过程被篡改。

（三）场景优势

1. 示范性

针对该 B2B 平台商品 SKU 数量众多，信息庞杂，非结构化数据多等问题。系统提供了单一商品上传入口，支持各类文件、数据、文本、API 的数据上传、消纳，通过 AI 清洗和筛选初步锁定有用信息，完成数据的初步采集。极大地减少了商家和运营人员的工作量。结合系统配置的专业化 AI 智能体对各类数据解析并重新根据企业数据要素配置归类，根据行业特点自动扩充国内外公开数据集，解决了平台海量商品原材料碳排放和 ESG 信息溯源数据容量限制、数据处理繁琐等痛点。

目前，系统已在工业用品 B2B 平台震坤行工业超市（上海）有限公司应用。覆盖 2000+平台注册用户，接入 300+工业用品制造商，涉及产品 SKU 超过 1000 项。在护航重点产业和企业数据跨境，保障数字资产安全，亦保障促进产品信息追溯监督，保护合规主体和消费者权益。

2. 创新性

本应用场景创新性地将 AI 大模型功能与产品可持续数据管理平台相结合。

一是 AI 功能赋能统一数据采集窗口，消纳结构化和非结构化多端、多源数据，解决数据难题。传统的数据采集结构化要求比较高，数据采集依靠人工居多，导致数据的校验存在盲区。AI 应用的加持，让数据的采集从多种结构化制式的端口统一到一个简单上传窗口，自动消纳非结构化数据，并自动识别数据权属和数据凭证。

二是 AI 解析归集能力可将传统数据分布到全域和全链数据要素节点上，从而实现全域和全链的有效数据覆盖，推动企业数字化运营的闭环生成。该能力能够跨越传统数据孤岛的限制，将分散数据整合，实现了数据在全域范围内的无缝流通，确保每个关键节点被精准捕捉，实现全域和全链的有效数据覆盖。

三是 AI 交互窗口成为用户与系统间无缝连接的桥梁，极大地便利了系统的整体操作体验。使得系统交付应用过程变得前所未有的轻松与高效。用户无需繁琐操作，仅凭简洁直观的界面和智能化的引导，便能快速上手，实现系统功能的最大化利用。

3. 可复制性

该场景具备可复制性，能够有效满足“一带一路”沿线国家在绿色低碳转型与供应链透明化方面的共同需求，助力全球各国实现绿色可持续发展的目标。

案例 38 “一带一路”慧出海赋能平台：多语种智能翻译与海外客户精准获客系统

四川译讯信息科技有限公司

（一）场景概述

在“一带一路”沿线国家的工程、制造、贸易合作中，由于翻译效率低下、国际标准适配、市场信息不对称、文化差异等问题，导致企业面临海外客户获取难，严重制约了“数字丝绸之路”建设的效率与深度。

本场景以“AI 智慧出海赋能平台”为核心，通过人工智能技术突破上述痛点。打破语言与技术壁垒，构建“零摩擦”技术协作生态。产品以多模态智能翻译系统为核心，基于垂直领域大模型（如工程、制造业）与专业术语库（覆盖 ISO 标准、“一带一路”共建国家本地化规范），开发多模态翻译引擎。支持“CAD 图纸智能翻译”技术的产品，自动识别图纸中的关键参数（如公差、材料规格）并精准翻译，解决传统翻译工具无法处理图纸数据的痛点。通过“图纸—文档”双向翻译功能，实现技术需求与设计的实时协同，减少因翻译错误导致的返工损失。

产品使用和推广的过程中，将持续构建更完善的“一带一路”共建国家技术标准知识库，支持企业一键查询目标国家标准差异，自动生成适配方案，加速国际标准互认，打通技术企业出海的“最后一公里”。



图 64 产品“云译通”首页

（二）技术方案

1. 技术架构

本项目采用分层解耦架构，支持多模态数据处理、智能决策与全球化部署，具体分为数据层、模型层、服务层、应用层、基础模型层共五层。

（1）数据层

多源数据采集与清洗：支持结构化数据（如企业信息库、标准数据库）与非结构化数据（如 CAD 图纸、音视频、网页文本）的自动采集。通过 OCR、NLP 技术对数据进行清洗、标注与标准化，构建“一带一路”共建国家技术标准知识库、多语种术语库、客户画像库。

（2）模型层

垂直领域大模型：采用 Deepseek 等国产大模型作为基座，针对工程、制造业场景进行领域适配微调，构建工程制造翻译大模型、客户行为分析大模型；通过联邦学习技术，融合共建国家本地化数据，提升模型对区域差异的适应性。

专业工具引擎：多模态翻译引擎支持 CAD 图纸标注翻译、技术文档双向翻译，嵌入 ISO 标准与本地化规范；智能爬虫引擎基于目标国家网络环境定制，规避反爬机制，确保数据采集合规性；跨文化适配引擎内置 60+ 国家商务文化规则库，动态调整沟通内容。

（3）服务层

微服务架构：通过 Docker 容器化部署，将翻译、获客、数据安全等核心功能拆分为独立服务模块，支持弹性扩展；提供标准化 API 接口，实现与企业现有系统的无缝对接（如 ERP、CRM）。

（4）应用层

智能翻译平台：支持图纸上传、翻译、术语校验、标准适配的一站式服务；海外客户智能获客系统集成数据采集、营销自动化、邮件翻译与响应管理功能；跨文化协作门户提供多语言沟通助手、合同条款合规性检查等工具。

（5）基础设施层

分类部署方法：核心数据与模型采用私有化部署（如企业本地服务器），确保数据主权；部分轻量化服务通过公有云（如阿里云国际版）提供，支持弹性扩展。

2. 核心技术

多模态智能翻译引擎：矢量图解析与翻译方面，通过深度学习提取 CAD 图

纸中的几何参数、材料规格等关键信息，结合 NLP 技术实现精准翻译；术语动态校验方面，嵌入 ISO 标准与本地化规范库，自动标注术语差异并提供适配建议。

智能客户获客系统：AI 爬虫与数据挖掘方面，基于目标国家网络环境定制爬虫策略，规避反爬机制；动态营销优化方面，通过强化学习分析客户反馈，实时调整邮件内容与发送策略。

跨文化适配算法：构建“文化敏感点知识图谱”，标注各国商务礼仪、政策法规差异；通过 NLP 技术自动识别并调整沟通内容（如中东国家合同条款的宗教敏感点）。

（三）场景优势

1. 示范性

目前，产品支持快速适配阿拉伯语、俄语等重点国家语言，整体方案已在东盟某水电站和中东机械出口项目中验证。东盟水电站项目通过 AI 翻译系统实现图纸高效互译，缩短项目沟通周期 40%，技术标准互认效率提升 50%；获客系统 3 个月内触达 200 余东南亚客户，推动 5 个子项目落地。中东机械出口企业应用跨文化适配算法，将合同谈判成功率提升 60%，避免宗教敏感条款争议。

2. 创新性

本项目基于垂直领域大模型+专业知识库技术架构，深度融合人工智能与产业需求，实现系列创新突破。

多模态智能翻译：首创“图纸-文档双向翻译”功能，支持技术需求与设计的实时协同。经东盟项目验证，误译率较传统工具降低 70%。通过深度学习提取 CAD 图纸中的几何参数、材料规格等关键信息；术语动态校验嵌入 ISO 标准与本地化规范库，自动标注术语差异并提供适配建议。

智能获客系统：基于 AI 爬虫与数据挖掘根据目标国家网络环境定制爬虫策略。支持动态营销优化通过强化学习分析客户反馈，实时调整邮件内容与发送策略，支持多语言邮件自动生成与翻译，覆盖 46 种语言。系统实现获客效率提升 3 倍，客户匹配精准度超过 90%。

3. 可复制性

架构适配性设计：技术层面，支持多语言灵活扩展，可快速适配阿拉伯语、俄语等“一带一路”沿线国家语言；文化层面，知识库涵盖沿线 60+ 国家的商务文化指南降低沟通摩擦；部署层面，采用私有化部署+云端轻量化服务模式，适配不同国家网络环境与数据安全要求。

跨文化适配算法：构建“文化敏感点知识图谱”，标注各国商务礼仪、政策法规差异；通过NLP技术自动识别并调整沟通内容（如中东国家合同条款的宗教敏感点）。

推广路径：目前公司已与丝路国际产能合作促进中心合作，计划在中亚、中东欧等区域建立“AI出海服务中心”。场景可复制至智慧城市、能源基建等领域，形成“技术+服务+标准”的出海解决方案库。

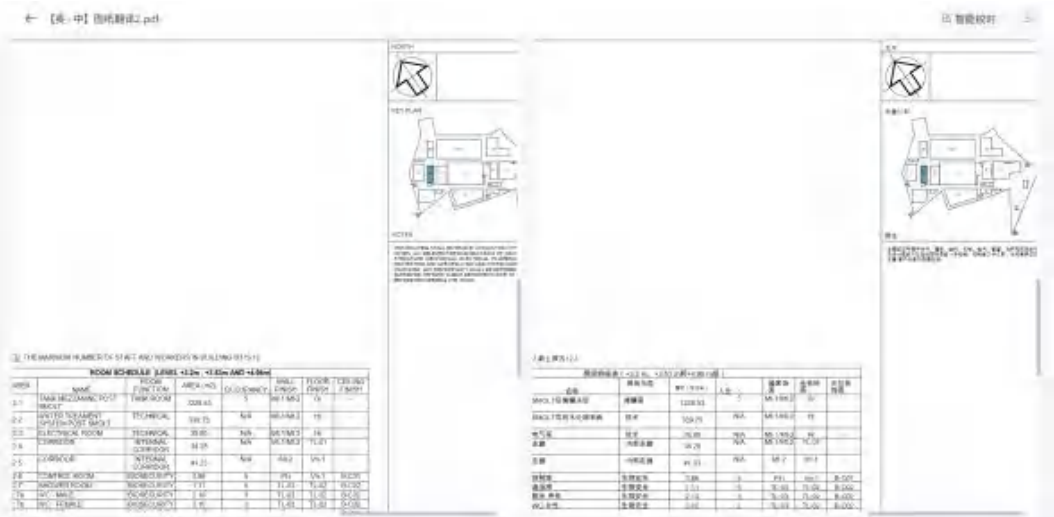


图 65 图纸双语对照效果

案例 39 影伙引擎：基于 AI 商业内容生产的智慧数贸一站式技术服务平台

杭州小影创新科技股份有限公司

（一）场景概述

影伙引擎核心解决的是中国出海企业在商业化内容生产领域所面临的技术瓶颈、效率突破和模式创新等问题，目前主要服务于出海短剧平台、出海内容电商卖家/广告平台、智能硬件厂商三大行业领域。

一是与出海短剧平台的合作。基于影伙引擎自研的垂类翻译模型、短剧术语词库等，帮助出海短剧平台高效地将国内海量精品剧集快速输出全球市场，实现下载和收益的双赢，助力我国文化娱乐类平台加快“走出去”具有长期价值。

二是与出海内容电商卖家和营销广告平台的合作。基于影伙引擎在多语言翻译、音色克隆、唇音同步、人像本地化、数字人等技术能力，帮助跨境电商卖家轻松实现商品视频介绍的本地化和营销投放素材的批量化，让内容电商取代传统的图片类产品营销形式。节省海外营销团队部署人力，减少外贸企业繁重的支出成本。

三是与智能硬件厂商（如荣耀）的合作。基于荣耀自研的 MagicOS 系统，共同开发极具智能化体验的影像类应用，共同促进了国产专业操作系统在全球消费终端市场的竞争力并持续提升其在可靠性稳定性等维度的技术实力。



图 66 影伙引擎旗下服务

（二）技术方案

影伙引擎作为基于 AI 商业内容生产的智慧数贸一站式技术服务平台，涵盖了图像、视频、音频领域近百种算法能力，能够基于单点或组合形式开放给合作伙伴。目前影伙引擎已累计获得专利 67 项，软著 75 项，获批 6 大深度合成算法备案。

以 AI 短剧创作服务为例，基于影伙引擎自研的 AI 短剧翻译模型、短剧术语词库、语音合成模型等技术，开放短剧垂类翻译大模型、字幕 OCR 提取、通用擦除（常规字幕）、小框擦除（旁白、人物介绍等）、时间轴校准、基于音色克隆的 AI 配音、AI 批量生成短剧解说素材等八大 API 能力。



图 67 影伙引擎 AI 短剧创作服务的三大解决方案

技术路线方面，首先在数据整合层面，影伙引擎自研了“多源数据智能解析与标准化框架”，支持文本、音频、视频字幕等多格式数据的自动化处理，统一进入模型训练与推理流程。针对短剧场景，平台建立了专用字幕格式提取、解析和时间轴自动对齐模块，确保不同来源字幕文件能够标准化为统一格式。另外，基于 Embedding 技术，能够在一个统一的模型上把语音、文本等内容 token 化。影伙引擎遵循了 MCP（Model Context Protocol，模型上下文协议），避免数据孤岛问题。

模型能力方面，影伙引擎 AI 短剧垂类模型和术语词库保持着高频更新与自动同步，确保与最新行业表达和用户用语习惯对齐。为了保障 AI 短剧垂类翻译模型的输出可靠性，影伙引擎采用垂直场景专用模型+规则引擎混合架构，保证在短剧行业的高台词密度场景下，大幅提升输出内容的准确性、信达雅。而为降低大模型“幻觉”风险，平台在生成流程前，会先通过画面解析与台词分析模块，向模型输入场景描述和内容逻辑提示，避免模型自行“编造”。生成结果输出后，平台会结合传统的 AI 算法，把语音和文本融合处理来做验证校准。在最终交付前，平台还设置了人工复审和客户反馈机制，确保高质量的交付内容。

（三）场景优势

影伙引擎以应用场景为牵引的技术和服务体系，逐步形成了可复制、可扩展的运营模式，具备支撑更多出海企业数字化转型与全球化拓展的能力。

1. 示范性

影伙引擎整合了自研音视频算法、生成式人工智能算法、垂类大语言模型等技术，已经在荣耀、九州文化、蓝色光标等头部企业中落地应用，在智能硬件、出海短剧、内容电商三大行业落地了多个规模化应用案例，形成了稳定、可靠的服务体系。

该场景方案已获得 2024 浙江省数字经济发展优秀案例、2024 直通乌镇全球互联网大赛三等奖、扬帆出海评选的年度优秀 AI 生态企业、2024 端侧通用智能创新应用优秀案例、浙江省数字贸易创新应用优秀案例、“人工智能+”创新案例标杆等奖项，发挥了行业的标杆作用。

2. 创新性

在突破上，影伙引擎 AI 短剧创作服务，研发了目前行业唯一的短剧垂类翻译模型+短剧术语词库，帮助出海短剧平台重塑译制剧制作 workflow，大幅提升出海效率与质量。

3. 可复制性

解决方案基础设施适配性强。影伙引擎输出轻量化、模块化、SaaS 化的技术服务，能够快速与各行业出海需求方建立合作，将业务扩展至共建国家。结合智能硬件、短剧出海、内容电商等行业标准，有望形成“一带一路”数字贸易新范式，推动相关领域标准的制定和升级。同时面向不同文化环境友好。基于多语言能力和本地化适配，能够快速助力各行业出海企业业务拓展全球，适配不同目标市场的文化偏好和语言环境。

案例 40 金融大模型驱动下的零售金融智能服务场景

马上消费金融股份有限公司

(一) 场景概述

在当前金融行业发展中，数据量呈爆炸式增长且来源复杂，业务创新与风险管控的平衡愈发艰难，用户需求也日益多样化和个性化，传统金融技术手段在处理这些问题时面临着数据质量难以控制、数据时效不够及时，计算性能难以提升等诸多痛点难点，金融大模型的应用需求应运而生。

在智能风控方面，可通过金融大模型对复杂多变的市場风险、信用风险等进行精准建模预测，提前察觉风险信号，解决传统风控模型滞后性明显的问题。在智能客服方面，可通过金融大模型实现自然语言理解，以智能客服身份与客户流畅互动，提供精准解答和个性化推荐，改善传统客服只能按预设话术回复、难以满足个性化需求的局面。在智慧洞察方面，可通过大小模型高效整合来自多个渠道的海量金融数据，并运用先进机器学习算法挖掘数据间隐藏关联，解决客户洞察和营销策略制定中数据挖掘不足、个性化服务缺失等难题。

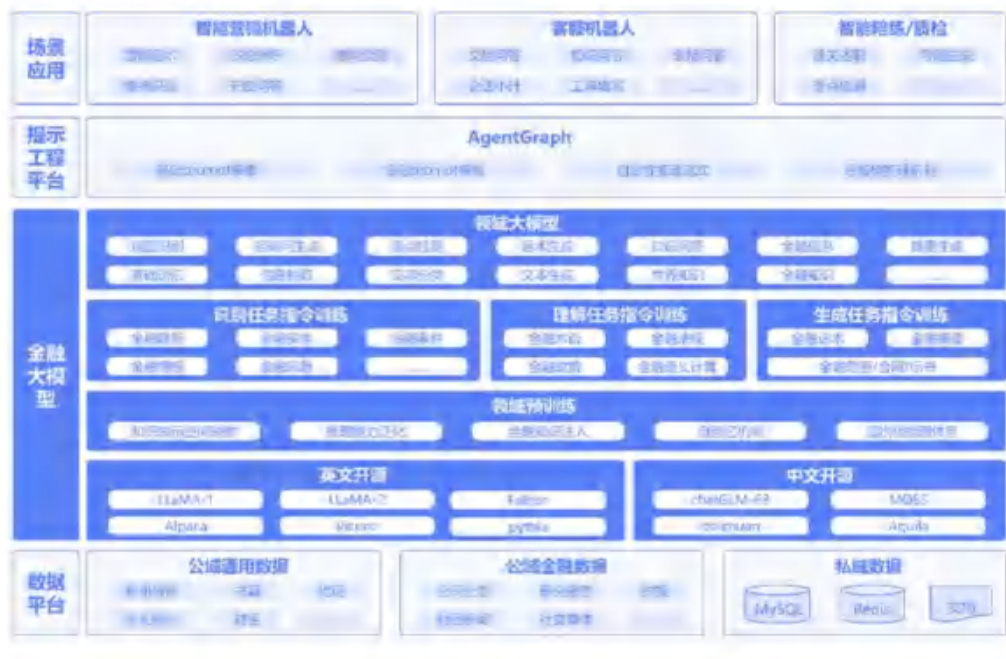


图 68 金融大模型应用架构图

综上，方案针对零售金融各应用场景中的智能服务提升需求，研究基于多层防御增强的金融大模型安全可信核验等关键技术，开发面向多场景多领域的金融大模型服务平台，提供大模型在多金融场景下的规模化应用，构建了新型零售金融工作、决策、服务模式，助力提升行业零售金融服务的可得性和普惠性。

（二）技术方案

针对零售金融智能服务应用场景中的提升需求，研究大模型安全可信核验等关键技术，在人机交互、金融安全、消费者权益保护等方面展现出强大的实力和价值。

1. 基于多层防御增强的金融大模型安全可信核验技术体系

覆盖“算法—算力—数据”全链路安全合规，并创新面向多方亿级样本的全流程安全风险预警检测技术，过滤 99.9%安全问题；基于端到端实时幻觉检测与自动纠正技术，实现有效修复比例达到 98%；并构建面向金融行业的大模型全域（包括基础设施安全、金融全域数据安全、金融大模型算法安全、金融大模型应用合规安全）标准规范，覆盖涉及生命财产安全、个人敏感信息应用场景。

2. 融合大模型和小模型的组合式 AI 风险分析、预测与决策技术

构建行业领先的、先进 AI 驱动的模式决策系统，“大模型+小模型”架构实现“数据，知识到决策”，解决小样本环境下金融风险感知与识别、复杂形态的金融风险分析和预测问题，以及构建基于 LLM 的集中协作和实时在线决策系统（大模型+小模型），覆盖金融风险因子挖掘、金融风险预测等应用场景。



图 69 金融大模型技术架构图

（三）场景优势

1. 示范性

2024 年，场景应用支撑马上消费零售金融业务达成千亿规模交易，经营指标稳居行业头部，数字金融业务净收入超过 145 亿元，利润超过 26 亿元，纳税超过 17 亿元，有效促进区域经济社会发展。方案模型依托 2 亿用户数据，场景构建了全业务场景数据资产，包括 120PB 基础数据、20 余万数据库表、10 余万变量和特征，智算中心配备 1 万余台服务器，算力规模达到 400Pflops。

该场景案例获得 2024 世界智能产业博览会前沿科技成果、2024CCF 数字金融发展优秀案例、2023 年度金融科技发展奖（二等奖）、2023 重庆技术研发创新十大示范案例等十余项国家及省市级奖项，发挥了重要的行业标杆作用。此外，公司牵头编制我国在金融大模型技术领域主导编制的首个 IEEE 国际技术标准，并总结发布全国首部金融领域大模型著作《金融大模型》，填补了金融行业大模型理论研究的空白。

2. 创新性

技术创新：方案基于多层防御增强的金融大模型安全可信核验技术，融合了大模型和小模型的组合式 AI 风险分析、预测与决策技术，基于多模态人类反馈强化学习的人机协作复杂智能计算技术的交叉融合攻关，形成了平台化的服务能力技术体系。“天镜”大模型通过中国泰尔实验室大模型可信 AI 专项测评，在场景丰富度、能力支持度、应用成熟度三方面均达到 4+ 级。

模式创新：实现新一代的多模态合规分析，构建大小模型组合式 AI 合规检查机制，自动进行素材审核、高投诉客群识别等任务，素材瑕疵率从 53% 降低至 6.05%，违规内容检出率提升至 85% 至 98%。实现数据驱动的营销决策与优化，持续挖掘优秀沟通流程和话术，抽取客户关联信息并生成会话，提高问答精准度。2023 年在人工坐席不增长的情况下，营销业务增长 68%，意图理解准确率达 91%。

管理创新：建立完善的数据治理框架，确保数据的准确性、完整性、一致性和安全性，同时加强对数据隐私和合规性的保护，以满足监管要求。资源管理实现合理配置，优化计算资源、存储资源以满足金融大模型训练和运行的需求，提高资源利用率。

机制创新：建立健全金融大模型的技术治理机制，包括安全体系、标准体系、合规检查、幻觉检测和动态评价机制等，确保大模型的安全、可靠和合规应用。并加强对大模型的算法审计、模型监控和性能评估，及时发现和解决潜在的技术问题和风险，保障金融业务的稳定运行。

3. 可复制性

领域内场景覆盖全面：方案突破基于强化学习的自训练交互式服务等关键技

术，提升多方合作业务办理效率和用户服务体验，并创新多模态语义提取与知识演化推理大模型技术。基于指标中台的 AI+BI 对话式大规模数据决策分析技术，构建大模型驱动是自训练交互式人机协作智能服务系统，覆盖多模态交互式智能客服机器人、智能投研、智能投顾应用场景。

平台化开发和轻量部署：以平台化能力组合 AI 能力，融合训推、大小模型及 Agent 技术、提供统一灵活的智能产品底座，构建跨源异构流式统一计算的大模型训练平台和多智能体协同的一站式大模型应用系统，实现一站式模型统一管理和私有化模型训练。

案例 41 司马阅

成都三生万物科技有限公司

(一) 场景概述

目前办公场景存在重复性劳动效率瓶颈、人力成本刚性上涨、企业数据价值难以沉淀等痛点，数据治理难度大非结构化数据占比高、通用模型适配性不足、AI 决策过程透明度低、落地成本高等落地难点。司马阅企业级 AI 产品主要面向三个场景：

面向企业知识管理场景：产品可处理重复性知识问答，如客户服务、员工培训、人事基础事务处理等，通过 AI 数字员工快速检索企业知识库，生成自然语言回答，减少人工查询成本。

面向专业文档处理场景：用 DocMind 模型精准识别复杂文档结构，提取关键信息并结构化输出，产品可进行合同分析、报告分析、专业文件审核等。

面向专属内容创作场景：基于企业文档库和原有模板，AI 数字员工结合上下文生成符合企业特定需求的内容，进行会议纪要生成和企业专属方案生成。

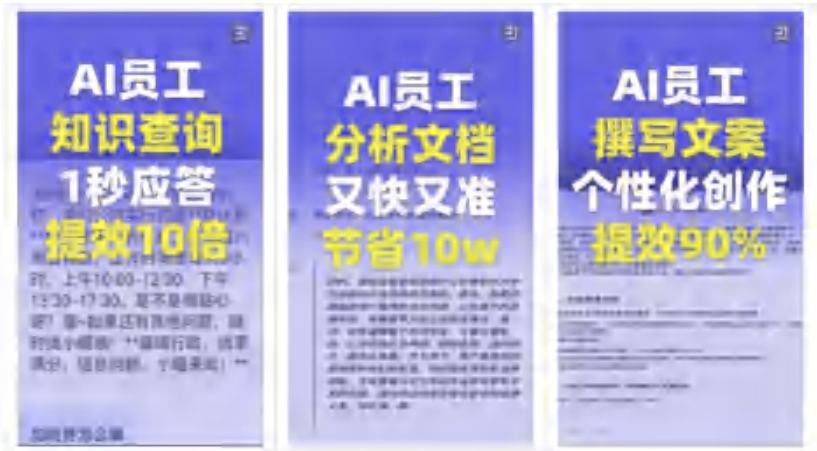


图 70 企业级 AI 产品应用场景

(二) 技术方案

司马阅企业级 AI 产品以自研文档智能模型 DocMind 为核心，结合大语言模型技术，打造了司马诸葛 AI 数字员工（智能体 AI Agent），在多个场景中助力企业实现智能化转型。

DocMind 结合大语言模型处理，为大语言模型引入专业和私有知识，从非结构化数据源中提取领域知识，增强模型的专业性和结果的准确性。DocMind 采用完整的文档处理流程，从文档解析、切块、重排到语义理解、再到结果融合，形

成了一个高效、精准的文档智能处理系统。

本产品采用的切分策略是基于文档的版面分析的切分，将页面分割为多个语义区块，如标题、正文段落、图表、表格、公式、脚注等。保证段落与标题或段落，图表/图片与标题或注释之间的语言连贯性。这种切分方式能够识别文档的物理结构，如段落、标题、图表等元素的边界和位置关系，还能保证列表项与其上下文的连贯性。向量模型将不同维度的知识库分别建库，当用户针对不同领域提出相同的词时，输出对应维度的内容，避免歧义。目前通用领域准确率超过 95%，特定行业专项处理可逼近 100%。

（三）场景优势

1. 示范性

司马阅自研的 DocMind 模型通过国家模型算法备案，产品方案入选 2024CHINA AIGC100 榜单，荣获首届全国“人工智能+”行业应用创新大赛大奖，荣登 2024 年成都市人工智能生态企业榜、2025 非凡奖等。

目前，方案已在多行业场景落地实践，定制产品覆盖招投标、健康、法律、制造、物流、医疗等行业，服务超 300 家企业，为企业提供 AI 转型路径。

2. 创新性

方案融合 NLP、CV 与深度学习等技术，突破复杂文档（多栏排版、图表混排等）解析难题，表格复原准确率高。通过接入主流 DeepSeek 等大语言模型，增强逻辑推理能力和语义处理能力，解决大模型“幻觉”问题。测试显示，联合模型对复杂文档问题的回答准确率较单一模型效果提升。

方案还支持文本、图表等多类型文档混合解析，并引入动态学习率调度与知识图谱反馈，持续优化模型表现。使用单位只需在专属后台进行简单创建，即可立刻使用，针对专业领域，可做垂直场景的深度适配。

3. 可复制性

司马阅企业级 AI Agent（AI 员工）可适配“一带一路”共建国家的多种语言，并保持精确度。此外，产品本身的 SaaS 服务确保企业无需技术投入，5 分钟即可快速创建使用，支持微信、飞书、钉钉等主流平台无缝集成，并支持本地私有化部署，保障数据安全，部署成本较市场平均水平降低 5-10 倍，尤其适合金融、政务等高敏感行业。通过“AI 共创”、生态合作的商业模式，整合各行各业资源，降低企业使用 AI 的门槛，产品快速复制推广、落地使用。

案例 42 思必驰 AI+智能会议终端

思必驰科技股份有限公司

（一）场景概述

本产品主要面向会议室和教育场景的痛点，致力于解决会议室发言人受传统设备限制、不能自由移动、拾音盲区、无法多语种实时翻译转写、远程会议音频传输质量低等问题。

1. 痛点分析

（1）会议室场景

音频质量差：传统会议室设备存在回声、混响严重的问题，尤其是在玻璃幕墙或玻璃隔断的会议室中，声音传输效果不佳，影响远程会议的沟通效率。传统桌面鹅颈麦克风的拾音距离通常在 10-50 厘米之间，无法覆盖大空间的会议室，导致部分参会人员的声音无法清晰传递。

设备成本高：传统会议室设备部署复杂，需要多个麦克风和音箱，且设备操作繁琐，影响会议效率。此外，国际会议的会议纪要需要人工记录和额外的翻译设备，增加成本。

（2）教育场景

设备效果差：传统吊麦扩声设备在拾音范围、降噪能力和扩声效果上表现不佳，尤其是在大空间教室中，声音传递不均匀。

教学互动不足：传统设备无法满足多样化的教学需求，如实时语音转写、智能拾音等，限制了教学互动和课堂效率。传统设备通常固定在讲台附近，限制了教师的活动范围，影响教学灵活性。

2. 方案效果

提升会议效率与体验：思必驰吸顶麦 MC10 实现了 8 米的有效拾音半径和 360°全方位拾音，有效抑制混响和回声，确保声音清晰传递；MC10 配备 AI 办公助理软件麦耳会记 3.0，支持实时语音转文字记录、中英文互译和会议摘要功能，大幅降低成本；单台设备即可覆盖 40-60 平方米的空间，支持“无限级联”，满足不同规模会议室的需求，同时兼容现有设备，降低部署成本。

优化教育环境与教学体验：通过 AI 降噪和去混响技术，MC10 确保教师和学生的语音清晰传递，提升课堂互动质量；支持实时语音转写和智能摘要功能，帮助学生更好地记录和理解课堂内容，同时减轻教师的负担；支持自定义拾音区域，满足多样化的教学场景需求，教师无需固定在讲台附近，提升了教学灵活性。

综上，基于思必驰的全场景解决方案，通过 AI 技术赋能传统音频设备，打造从会议室到教室的全场景解决方案，满足不同行业的多样化需求。赋能“一带一路”沿线国家数字丝绸之路建设，加快推动人工智能技术与共建国家社会、经济发展深度融合。

(二) 技术方案

1. 技术架构

思必驰吸顶麦整体应用场景包含了本地会议场景和远程会议场景，场景主要产品包含硬件系统、软件操作系统、AI 音频算法、调试配置工具四方面。其中，硬件系统包含麦克风阵列、安装结构、计算芯片、供电系统、连接口设计等，软件操作系统为嵌入式操作系统，AI 音频算法为各类音频处理算法，调试配置工具为客户端软件，可连接吸顶麦进行参数配置和效果调试。



图 71 思必驰吸顶麦方案

2. 技术路径

算法模块的技术方案流程图如下：

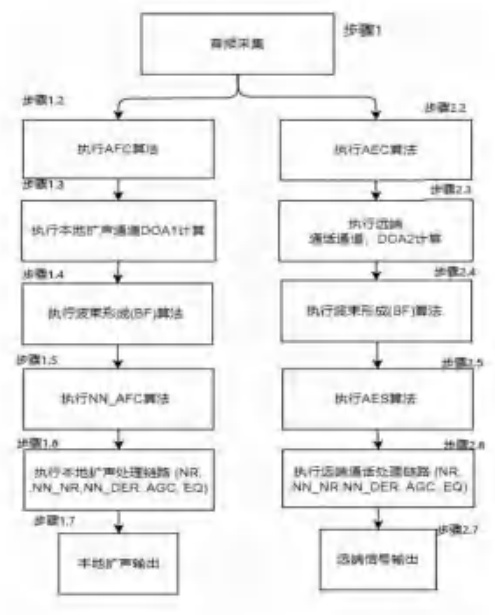


图 72 技术方案

3. 核心技术

定位拾音与波束成形技术：MC10 采用 128 单元全向麦克风阵列，通过 1000 个波束的声音采集实现精准定位拾音，支持 16 个独立可分配拾音区，可自定义设置拾音区位置、大小和类型¹³⁵。与传统定向拾音相比，其定位精度可达“点位级”，能准确捕捉特定位置的声音信号，同时屏蔽其他区域的噪声干扰。例如，在智慧教室中，可定位讲台及讲师活动范围，实现无感扩声。

AI 算法与智能音频处理技术：环境自适应优化，内置 ClearSpeak AI 算法，支持 AI 降噪、AI 去混响、反馈抑制、自动增益等功能，通过 48kHz 高采样率提升人声清晰度。例如，在玻璃幕墙会议室等复杂声学环境中仍能保持纯净音质。语音增强与实时处理，采用 AI-AFC（自适应反馈消除）技术，结合 20-25ms 超低延迟本地扩声算法，实现无感扩音。

Dante 数字音频技术：MC10 集成 Dante 协议，支持与 DP88 音频处理器、DC20 扬声器等设备无缝互联，确保音频传输的稳定性和兼容性。该技术尤其适用于国际市场需求，满足多设备网络化部署需求。

无限级联与空间覆盖能力：单台 MC10 可覆盖中小型会议室（10dB 扩音量），多台级联无数量限制，最大支持 600m² 以上空间（传统吸顶麦仅覆盖 400-500m²）。

AI 智慧办公生态：搭载麦耳会记 3.0 软件，依托自研对话式语言大模型 DFM-2，提供实时语音转文字、中英互译、会议摘要生成等功能，2 小时会议内容可 5 分钟生成纪要。此外，与双目追踪摄像头 C60 联动，实现“声画协同”的智能会议体验。

（三）场景优势

1. 示范性

2024 年，思必驰发布高端吸顶麦、AI 办公本等智慧办公产品，获得市场好评。高端吸顶麦销往国际市场，应用于政府、企事业单位、学校等组织机构。

目前，产品已获得 2024 全球人工智能产品应用博览会创新产品金奖、长三角 AI+ 场景创新成果（智能会议终端）、2024 年度中国 IDC 产业创新大奖、第九届世界物联网大会—优秀创新项目奖等奖项，落地单位包括北京大学、香港科技大学、上海交通大学等 60 多所高校和 100 多家企业，形成了带头示范应用。

2. 创新性

产品突破多项核心技术，支持多种语言场景，创新性优势明显。思必驰吸顶麦采用 128 单元全向麦克风阵列，通过 1000 个波束的声音采集实现精准定位拾音，支持 16 个独立可分配拾音区，可自定义设置拾音区位置、大小和类型。与传统定向拾音相比，其定位精度可达“点位级”，能准确捕捉特定位置的声音信

号，同时屏蔽其他区域的噪声干扰。

一是具备环境自适应优化。内置 ClearSpeak AI 算法，支持 AI 降噪、AI 去混响、反馈抑制、自动增益等功能，通过 48kHz 高采样率提升人声清晰度。例如，在玻璃幕墙会议室等复杂声学环境中仍能保持纯净音质。

二是拥有语音增强与实时处理能力。采用 AI-AFC（自适应反馈消除）技术，结合 20-25ms 超低延迟本地扩声算法，实现无感扩音。

三是突破多设备无缝互联。兼容 MC10 集成 Dante 协议，支持与 DP88 音频处理器、DC20 扬声器等设备无缝互联，确保音频传输的稳定性和兼容性。该技术尤其适用于国际市场需求，满足多设备网络化部署需求。

四是实现区别无差别全覆盖。单台 MC10 可覆盖中小型会议室（10dB 扩音量），多台级联无数量限制，最大支持 600 m² 以上空间（传统吸顶麦仅覆盖 400-500 m²）。

五是达到实时转写翻译及声画协同效果。搭载麦耳会记 3.0 软件，依托自研对话式语言大模型 DFM-2，提供实时语音转文字、中英互译、会议摘要生成等功能，2 小时会议内容可 5 分钟生成纪要。此外，与双目追踪摄像头 C60 联动，实现“声画协同”的智能会议体验。

3. 可复制性

已实现 21 种“一带一路”共建国家语言全覆盖。针对“一带一路”共建国家各种语种语言，思必驰会议办公系统已拥有 21 个语种，语音实时转写不受语种限制。

突破物理空间局限，具备更低实施成本。有效规避“一带一路”发展中国家在会议室、教室等基础建设方面投入弱，满足全场景会议室安装，具备更高经济效益。

满足数据安全要求，实现私有化本地部署。通过自研的 DFM-2 语言大模型赋能离线转写一体机 T1，实现客户安全、高效的数据记录。

案例 43 智能座舱语音交互

思必驰科技股份有限公司

(一) 场景概述

智能车载语音交互技术在“一带一路”国际市场的推广面临多重挑战。第一，多语言和口音适配的复杂性，同类产品难以满足沿线国家众多语言和方言的本地化需求；第二，数据合规和隐私风险，特别是在面对欧盟 GDPR 和中东数据本地化等严格法规时，跨境数据传输与存储存在合规障碍；第三，在网络覆盖不稳定的区域，依赖云端交互的系统性能不足，容易出现延迟或功能中断；第四，跨文化交互中缺乏对宗教禁忌和文化习惯的智能过滤机制，容易引发用户抵触；第五，车载环境下对语音系统的可靠性要求极高，需要满足低延迟、高唤醒率和抗噪声干扰等严苛的性能指标。

思必驰的智能车载语音交互方案有效减少驾驶者手动操作频次，并实现弱网/离线场景功能可用，离线场景唤醒率 $\geq 97\%$ ，端到端响应 ≤ 1.2 秒，有效降低行车安全隐患。目前，思必驰天琴语音助手已经集成自研的 AI 多语种语音交互系统，支持英语、泰语、法语、德语、日语、韩语、越南语、俄语、西班牙语、挪威语、印尼语等 20 多种语言，满足“一带一路”重点区域（如东南亚、中东）多语言需求。

本方案依托思必驰全链技术及量产经验，针对性解决“一带一路”车载语音交互痛点，以合规性、高性能、低成本适配为核心，推动中国智能汽车技术全球化落地。助力自主品牌汽车出海的同时，智能语音方案搭载到出口车型中，逐步将智能语音技术拓展至海外市场。目前，方案的硬件产品符合 IATF 16949 等全球车规认证，已批量搭载于上汽五菱、大通等品牌，助力“人工智能+”与跨境产业融合。



图 73 思必驰中枢大模型与 Deepseek 深度整合

（二）技术方案

1. 技术架构

方案整体采用端云协同全链自研架构，整合边缘计算与云端增强能力。

端侧处理：嵌入式端侧引擎实现语音唤醒（ $\leq 500\text{ms}$ 延迟）、离线指令执行（如导航、娱乐控制）及多音区声源定位。

云端融合：对接 ChatGPT、DeepSeek 等 LLM 增强开放域对话与知识问答，同步支持私有云部署，确保数据主权合规。

在硬件方面，车规级智能硬件（如智能仪表盘、车载投影仪）通过 ISO9001、IATF16949 认证，保障车载环境可靠性。

2. 技术路线

多语言低代码适配：基于共享架构与代码复用，通过迁移学习快速适配德语、英语等多语种，扩展实体词库提升 ASR 准确率至 $\geq 95\%$ 。

全双工交互优化：自研声学算法实现连续对话与全场景打断（barge-in），端到端响应 ≤ 1.2 秒。

合规本地化部署：在欧盟、中东等区域建立 GDPR/KSA 合规节点，本地化存储用户数据，避免跨境传输风险。DUI 平台配置+数据回流，构建数据闭环体系，解决普通话、方言、外语的语义泛化及落域问题，并增强语音助手理解力，自适应用户的表达。

3. 核心技术

全链语音技术：覆盖语音唤醒（Wake-up Rate $\geq 97\%$ ）、降噪、语义理解（NLU 准确率 90%）、语音合成全流程；

多模态交互：多音区声源定位与分区响应，支持车内多乘客并行交互；

大模型融合：DFM 系列大模型结合领域知识库，提升复杂指令理解与多意图识别能力。

（三）场景优势

1. 示范性

该方案技术成熟度高，已实现车规级性能与规模化落地。目前，通过全链自研技术，实现英语、德语等语种 ASR 准确率 $\geq 95\%$ 、唤醒率 $\geq 97\%$ 、端到端响应 ≤ 1.2 秒，性能指标超行业同类产品 30%；硬件产品符合 IATF16949 等全球车规认证，已批量搭载于上汽五菱、大通等品牌。纯软方案已支撑 160 款车型量产，

软硬一体方案激活量超 1500 万台；2024 年新增比亚迪、海马等纯软项目，海外车型定点增长 300%，预计 2027 年将覆盖 50 家“一带一路”共建国家。

公司通过主导全球首个车载语音文档国际标准——ITU-T 国际标准，有效支撑车企在复杂环境下稳定交互，加速车企规模化出海进程，推动“中国方案”成为行业标杆。截至目前，该场景方案已获得 2024 年全国人工智能应用场景创新挑战赛一等奖、2024 汽车智能座舱领先科技成果、金辑奖“2023 最具成长价值”奖等奖项，发挥了行业标杆作用。

2. 创新性

多语言低代码快速适配。复用核心架构与代码库，通过实体词库扩展与多语种迁移学习，支持德语、英语等语言定制，缩短新语种适配周期。满足“一带一路”重点区域（如东南亚、中东）多语言需求，ASR 准确率>95%，助力车企快速进入本地市场。

端云协同与数据合规保障。采用本地私有云部署实现用户数据本地存储与处理，支持欧盟、中东等区域合规节点；结合端侧全双工技术（<1.3 秒响应），确保弱网/离线场景功能可用。数据合规性覆盖 GDPR、KSA 等 10+ 区域法规，离线场景唤醒率>97%，服务可用性达 99.9%。

3. 可复制性

本方案具备较强的可复制性。一方面，通过代码复用可减少约 50% 的研发投入，并降低硬件适配成本，使不同车企和区域市场均可低成本快速落地；另一方面，依托本地化节点部署与自动化合规过滤机制，可在不同国家和地区灵活适配法律法规，降低跨境数据传输风险；同时，内置宗教禁忌与文化敏感词库，能够根据当地文化语境动态调整交互策略，避免潜在冲突，从而确保产品在多语言、多文化、多监管环境下的广泛推广与应用。

案例 44 灵韵伴游：皮肤型人形机器人景点智慧服务

江苏云幕智造科技有限公司

（一）场景概述

目前，“一带一路”文旅服务方面存在多语言服务人员短缺、国家文化差异大、文物展示方式单一、标准化低等问题。针对上述痛点，皮肤型人形机器人基于轻量化结构和仿生皮肤设计、多语言智能系统和多模态交互平台等技术，实现了超逼真面部表情、拟人化多语种情感交互、皮肤触觉交互等感官互动体验，将游客与古人的互动体验提升至全新水平。此外，机器人搭载的文化认知引擎功能使百余种濒危非遗技艺获得数字化传承新路径。

方案的推广将提升“一带一路”共建国家在各种景区服务中的服务标准化程度，降低跨文化服务失误率和服务的人工成本，促进文化交流。从应用效果来看，景区的多语言服务覆盖率将从不足四成跃升至近乎全覆盖、文化误解率将下降两个数量级、服务响应时间从分钟级压缩至秒级、非遗参与度实现五倍增长，景区夜间服务能力和标准化不足的难题将得到根本解决。



图 74 皮肤型人形机器人

（二）技术方案

1. 皮肤型人形机器人轻量化低成本本体机械结构设计

机械架构设计：关节模仿人类关节结构，设计具有多自由度的关节，如旋转、屈伸等，保证机器人能完成复杂动作。肢体依据人体比例和运动特点分配肢体长度和重量，让机器人运动更稳定自然。比如，仿人类的肩关节通常设计成能实现

前屈、后伸、外展、内收和旋转等多个方向的运动。

皮肤材料选择与集成：材料选用具有高弹性、柔韧性和耐磨性的材料模拟人类皮肤质感，还具备一定的自我修复能力和抗撕裂性。例如，硅橡胶材料就常用于制作机器人皮肤，因其弹性和触感接近人类皮肤。在皮肤材料中集成各类传感器，如压力、温度、触觉传感器等，使机器人感知外界环境和受力情况。例如，通过压力传感器感知物体的硬度和表面纹理。

驱动系统设计：采用电机、液压或气动驱动方式为机器人运动提供动力。电机驱动控制精度高，常用于小型、高精度运动场景；液压和气动驱动输出力大，适用于需要较大负载的运动。设计合理的传动机构，如齿轮、链条、皮带等，将动力从驱动器传递到各个关节，确保机器人动作准确、高效。

控制系统设计：开发适用于人形机器人的运动控制算法，如基于模型预测控制、模糊控制等方法，实现机器人的稳定行走、抓取等动作。将皮肤传感器、关节角度传感器等多源传感器数据融合处理，为控制系统提供准确的环境信息和自身状态信息，实现更智能的决策和控制。

2. 皮肤型人形机器人多模态情感识别与共情回复机制

机器人与游客的实时交互：系统通过多源异构传感器同步采集语音、视觉及文本信号。高保真麦克风阵列捕获用户语音流，提取语调、语速等声学特征；RGB-D 摄像头获取面部视频流，同时 ASR 模块实时转写对话文本并记录上下文时序关系。原始数据经过时空对齐预处理后，进入跨模态语义对齐表征映射阶段。

情绪推理技术：以大语言模型（LLM）为核心推理引擎，选用 Vicuna 作为主干模型架构。LLM 在本系统中扮演“大脑”角色，负责整合多模态信号，推理出适当的移情反应，并为多模态生成模块发送控制信号。

多模态情感生成：语音、表情、文本等信号的异步生成往往导致内容错位与风格冲突，严重影响用户体验。为解决上述问题，提出基于内容同步模块与风格迁移模块的拟人化生成框架。内容同步模块（Content Synchronizer, CS）是多模态情感生成系统的核心组件，旨在解决语音与视觉信号生成过程中的语义错位和时序不一致问题。风格迁移生成技术通过风格迁移模块（Style Transfer, ST）实现语音与视觉生成模块在情感表达和个性化特征上的风格一致性，确保多模态输出的情感强度、角色属性严格对齐。

3. 皮肤型人形机器人多模态超逼真面部驱动策略

超逼真面部驱动技术的核心在于构建高效的运动与表情映射体系、实现精细化的动作单元控制以及整合多模态数据特征。采用两阶段自监督学习框架，实现运动命令与表情特征的高效映射。

第一阶段，系统采用镜面反射生成机制构建机器人自身的运动-表情映射数据

集。这一过程充分利用了自监督学习的核心优势，通过设计智能的数据增强策略，自动生成多视角的面部图像序列。

第二阶段引入 AffectNet 等大规模表情数据库进行迁移学习。此时，网络架构采用深度残差网络（ResNet）作为逆向模型的核心组件，其跳跃连接机制有效解决了深层网络训练中的梯度消失问题。

分层式动作单元解耦控制体系作为解剖学驱动的面部行为分析框架，通过分解面部肌肉运动为独立动作单元（AU），实现表情的精细化描述。突破传统 FACS 的静态编码局限，引入强度分级与时空关联机制，提升生成表情真实性与多样性。

4. 高稳定拟人化人形机器人步态控制技术研究

用于实现人形机器人步态控制任务的双足系统是一种多关节、非线性、欠驱动系统，其面临行走过程中机器人重心变化幅度大、双足平衡控制强耦合、行走地形及障碍物难以预知以及能量效率有限等问题，采用传统控制方法难以高效解决此类问题。本部分将基于强化学习的人形机器人步态控制技术研究，根据机器人自身的结构特点和行走场景信息，搭建基于强化学习的人形机器人步态控制训练环境；采用基于强化学习的训练方法实现基于特定文旅任务场景的机器人步态控制算法自主生成，并制定安全行走策略，最终实现人形机器人针对特定文旅环境场景下行走任务的鲁棒与安全步态控制。

（三）场景优势

1. 示范性

目前，团队已完成太仓博物馆“郑和款”人形机器人整机研发和“苏州造”表情驱动高仿真足腿式接待引导人形机器人整机制造。方案此后将构建覆盖故宫、博物馆等各大景区，形成“机器人导流—商业转化”的闭环模式，目前已完成部分试验。在西安兵马俑、迪拜帆船酒店等 20 个标杆项目实现服务响应时间<3 秒，多语言准确率>98%的示范效果；敦煌莫高窟项目形成“科技+文物保护”示范模板，单个机器人日均服务 300 人次，投资回报周期<18 个月，带动周边商业体客单价提升 35%。

该场景团队已获得 2024 年度苏州“机器人+应用”典型应用案例奖、2024 年度苏州机器人产品技术创新奖、2024 年度苏州最具成长性机器人企业、2024 年度西北工业大学第二届“华秦杯”全球校友创新创业大赛深圳赛区决赛种子组三等奖、第九届“创客中国”智能机器人中小企业创新创业大赛企业组优胜奖等。

2. 创新性

两阶段自监督学习技术：支持 56 个民族典型微表情模拟，结合多模态信息感知融合技术，实现多语言的情感交互。

仿生皮肤设计：温度调节范围 22-37℃，模拟不同人种体表温度。

手势交互丰富：基于 25 个自由度的灵巧手和强化学习的稳定步态控制技术，涵盖超过 200 个文化安全手势和“一带一路”沿线国家的 128 项非遗技艺。

3. 可复制性

方案采用“机器人本体基础平台+不同文化插件”架构，模块化程度高，可低成本实现文化环境迁移：内嵌超过 200 个文化安全手势和覆盖“一带一路”沿线 128 项非遗技艺；不同文化的服装快速定制系统，3 天即可完成民族服饰制作；轻量化的结构设计将每台机器人的成本控制在低于 10 万/台，支持机器人集群控成本减开销策略。

城市治理篇

案例 45 透明感知和自主决策的城市配电数字孪生系统

广东电网有限责任公司广州供电局

本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

（一）场景概述

城市配电系统作为城市能源供应的核心环节，直接关系到城市的供电可靠性、电能质量以及碳排放管理能力。

1. 痛点分析

设备状态感知不精准：传统配电系统中，关键设备的状态感知能力不足，难以实现实时、精准的设备状态评估，导致故障预警能力低下，设备运维效率低下。传统系统设备状态评估准确率仅为 60%-70%，故障预警提前时间不足 1 小时。

系统运行状态难以实时同步：配电系统运行数据的实时性不足，历史数据与在线量测数据的融合能力差，导致系统运行状态难以实时同步，仿真推演能力不足，难以应对复杂工况。传统系统运行状态同步延迟 ≥ 5 分钟，仿真推演场景支持数量 ≤ 2 种。

碳排放管理缺乏精细化手段：当前配电系统在碳排放管理方面缺乏精细化手段，碳排放数据不透明，难以支撑低碳转型，碳排放预测精度低。传统系统碳排放预测精度仅为 60%-70%，无法实现分布式能源的灵活消纳。

2. 方案成效

为解决上述问题，本应用场景研发透明感知和自主决策的城市配电数字孪生系统，方案思路 and 具体成效包括以下三方面。

构建设备—系统—电碳多层次虚实映射：通过多模态数据驱动的设备数字孪生建模技术，实现设备状态精准感知、系统运行实时同步及碳排放精细化管理。设备状态评估准确率 $\geq 90\%$ ，系统运行孪生功能支持 ≥ 3 种孪生场景。

开发自主决策功能：支持智能调度、运维优化及碳排放预测，提升系统运行效率，降低运维成本。故障预警提前时间 ≥ 2 小时，运维效率提升 $\geq 30\%$ 。

打造低碳高可靠城市配电系统样板：通过示范工程建设，形成可复制、易推广的建设模式，助力“一带一路”共建国家实现能源转型。年二氧化碳排放总量下降 $\geq 10\%$ ，电能占终端能源消费的占比提升 $\geq 5\%$ 。



图 75 广东电网计量设备 AI 指挥官

(二) 技术方案

1. 技术架构

多应用域、多微服务集群协同运行的数字孪生调控体系：设计支持设备运维、智能调度、生产指挥及新型规划的全景异构数据建模与集成融合技术，实现多应用域的协同运行。支持接入的馈线数量 5000 余条，支持多种孪生场景。

异构数据融合平台：实现多源异构数据的高效集成与处理，支持设备状态评估、系统运行仿真及碳排放预测，数据处理延迟 ≤ 1 秒，数据融合准确率 $\geq 95\%$ 。

2. 核心技术

多模态数据驱动的设备数字孪生建模与状态预警：通过设备感知数据与物理系统的一致性映射，实现设备状态精准评估与故障预警。设备状态评估准确率 $\geq 90\%$ ，故障预警提前时间 ≥ 2 小时。

数模双驱的配电系统运行状态数字孪生同步与推演：融合历史与在线量测数据，提出抵抗量测坏数据的抗差状态估计方法，支持潮流分析、仿真推演等多元场景应用。系统运行孪生功能支持多种孪生场景，仿真推演精度 $\geq 85\%$ 。

电碳耦合数字孪生综合建模与减碳分析：提出基于碳流追踪的城市配电系统碳流分配因子计算方法，实现碳排放预测及仿真模拟，碳排放预测精度 $\geq 85\%$ 。

(三) 场景优势

1. 示范性

目前该场景已在南宁、昆明、广州等城市开展示范应用。经测算，方案的实

施每年节约电网扩容改造投资额达数十亿元，减少因停电和电压暂降导致的连续生产中断，避免高端产业产能损失和设备损失。

场景支持百万级分布式能源消纳，实现多层级光储充多元资源灵活互动，年二氧化碳排放总量可下降 ≥ 10 万吨，分布式能源消纳能力提升 $\geq 30\%$ 。此外，方案提升了城市配电系统供电可靠性和电能质量，减少因停电导致的居民生活和企业生产影响。供电可靠性可提升至 99.999%，用户满意度提升超过 20%。

2. 创新性

项目首次提出“数模双驱”的城市配电系统同步映射数字孪生技术，在设备状态评估、系统运行仿真和碳排放预测等关键环节实现技术突破，填补了领域内多项技术空白，具备显著的原始创新与集成创新价值。

3. 可复制性

项目构建了高技术成熟度和稳定运行能力的系统化模块，已在示范工程中成功应用，具备良好的拓展性与推广价值。系统方案能够支撑大规模配电场景，显著提升设备评估效率与系统管理智能化水平，达到设备状态评估准确率 $\geq 90\%$ 、支持接入馈线数量 ≥ 5000 条、支持构建数字孪生场景 ≥ 3 种的成果。

系统架构面向实际工程需求，具备高度模块化与适配性，能够根据不同国家的电力基础设施条件灵活部署，具备面向“一带一路”沿线国家的广泛推广潜力与现实应用价值。

案例 46 基于多重影响因素的超大型城市电网负荷智能预测

国网四川省电力公司成都供电公司、
成都超算中心运营管理有限公司（国家超级计算成都中心）
本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

（一）场景概述

能源保障与安全事关国计民生，是须臾不可忽视的“国之大者”。当前，电力系统面临负荷调节能力不足、供需矛盾突出的难题，尤其在极端气象条件频发、社会关注度持续上升的背景下，电网运行的可靠性与精细化管理需求日益迫切。充电设施、空调等柔性负荷具有明显的区域性和行业性特征，已成为负荷管理的关键切入口，也更加贴合政策导向与实际应用需求。

为提升电力系统的智能化管理水平，项目引入机器学习与神经网络技术，构建高精度负荷预测模型，实现负荷的精准、动态预测，有效降低系统运行风险与调度成本。目前，主流方法多基于人工经验分析历史相似日，或采用 KNN 等算法，但在极端天气或高负荷时段表现不佳，无法充分捕捉特征变化，预测准确率较低，且模型参数依赖人工调整，缺乏泛化能力。

负荷预测在实际落地中面临多重技术挑战：第一，超长序列建模难度大，应用场景通常需预测未来数日电力负荷，每天包含 96 个时间点，形成极长的时间序列。预测误差易随时间加剧，对模型稳定性提出严苛要求；第二，实时响应与动态更新要求高，需结合最新气象与负荷数据进行动态预测，模型应具备高频次更新能力与快速响应机制，保障预测结果的时效性和准确性；第三，负荷模式季节差异显著，不同季节负荷来源存在较大差异，叠加长期经济增长趋势，使得相同特征下的负荷呈逐年增长趋势，模型需具备良好的季节适应性和持续学习能力；第四，关键拐点预测精准度低，负荷波峰与波谷（拐点）直接影响电网调度与规划，尤其在极端天气条件下，传统模型预测精度显著下降，难以支撑可靠调度决策。

本场景将聚焦以上难点痛点问题，实现对区域电网负荷的短期预测（如未来一周，96×7 个时间点），实时感知气象与负荷变化并动态调整预测结果，广泛适用于工业、商业、居民等多类负荷场景，全面提升电力系统的智能化管理能力与风险抵御能力。



图 76 国网四川：无人机根据提前设定的飞行轨迹和拍照点位开展飞巡

（二）技术方案

1. 总体架构



图 77 电力负荷预测模型的总体架构

底层资源层：为模型运行提供基础支撑，包含用于特征数据存储与管理的数据库、操作系统环境以及模型部署与执行所需的容器资源。

核心框架层：承载整个预测系统的深度学习能力，依托高度灵活与可扩展的深度学习框架，支持多种神经网络结构与优化算法，能够满足复杂电力负荷预测任务的多样化需求。

神经网络层：融合了卷积神经网络（CNN）、特殊时刻点识别子网络、注意力机制（Attention）、长短期记忆网络（LSTM）以及定制化损失函数等结构，

深入挖掘电力负荷数据的时序性与多维特征，有效提升预测精度。

方法接入与用户交互界面：提供数据上传、模型训练、预测执行与结果验证等全流程接口，支持灵活集成与多场景应用。

2. 技术路线

数据收集和处理：每 15 分钟采集一次的电力负荷实时数据；多维气象数据（温度、湿度、风速、降水量、气压等）；时间类数据（如节假日、工作日、月份等时序特征）。对原始数据进行清洗、异常值处理与格式规范化，同时基于基础变量构建派生特征，挖掘其潜在影响因子。系统定时从数据库提取源数据，进行特征工程后，分别输入至模型用于训练与预测，预测结果回写数据库，并实时推送至前端可视化平台，为负荷监管与决策提供实时参考。

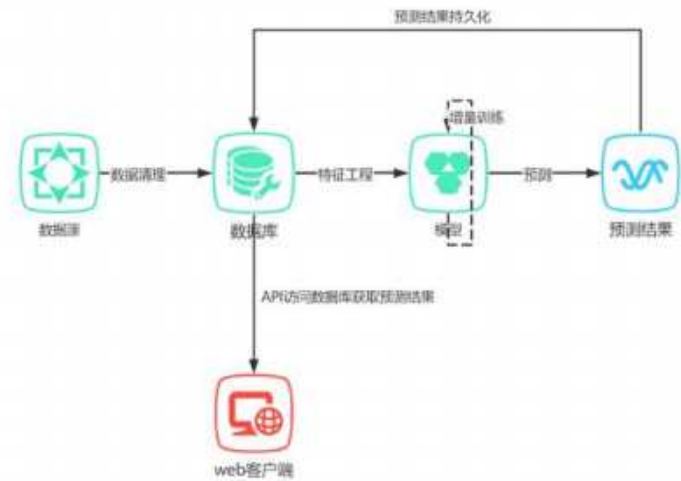


图 78 数据处理流程

负荷预测模型构建：模型融合多种深度学习结构，包括 CNN 用于局部特征提取，LSTM 处理长期时序依赖，Attention 机制强化关键时间节点权重，专用于网络刻画特殊拐点负荷变化，以及针对不同行业/场景设计的定制化损失函数。为增强预测的鲁棒性与泛化能力，系统构建 6 个并行子模型，分别对应不同目标函数，每个子模型独立输出预测结果。通过引入模型集成机制，根据其在过去 2 天的预测准确率动态分配权重，实现自适应优化输出，整体提升模型性能。

模型预测机制：模型预测阶段以 6 个子模型为基础，分别对未来若干天的负荷趋势进行独立预测。依据每个子模型在过去 2 日表现出的预测准确度进行评估，按权重融合生成最终预测结果，确保预测结果在稳定性与响应性之间取得良好平衡。当前模型已在实际场景中实现 97% 的预测准确率，平均偏差率低于 3%，为电力调度、负荷管理、能源营销等关键业务提供可靠决策支撑。

（三）场景优势

1. 示范性

国网四川省电力公司成都供电公司联合国家超级计算成都中心开展依托该解决方案，基于电力负荷特征、天气特征、时间特征，以及原始特征的衍生特征构建电网短期全天性负荷预测模型（15 分钟频度每天 96 个点，共 7 天），完成电网负荷全天性负荷预测，电网场景负荷预测平均偏差率在 3%以内、预测结果超过调度专业人工预测平均水平 1-2 个百分点。当前已在能大门户、“i 国网”等移动应用完成部署，迎峰度夏期间相关应用在公司范围内日均登录查看达到 1.2 万人次，有效支撑电网负荷有效管控，确保公司电网安全度夏。

技术集成示范：项目融合深度学习算法与多模型集成策略，系统性解决了长序列预测、极端天气适应性差以及负荷拐点识别不准确等核心技术难题，在国内电力负荷预测领域处于技术领先地位。

应用场景覆盖广泛：模型不仅支持大尺度区域电网的整体负荷预测，还能够精准下沉至不同区县与细分行业（如工业、商业、居民等），为多层级、全场景的电力规划、调度与管理提供精准数据支持。

支撑绿色能源转型：通过显著提升负荷预测的精度与时效性，项目有力支持电力资源优化配置与峰谷负荷平衡调控，助力减少能源浪费、提升系统运行效率，服务“双碳”战略目标，体现了清洁低碳发展的示范价值。

2. 创新性

自适应集成预测机制：项目构建六个子模型并行运行，分别基于不同惩罚项优化目标，形成多角度、多策略的预测体系。在实际预测中，系统根据各子模型近两日的表现动态分配权重，优先采用表现最优的模型输出预测结果，增强了整体模型的灵活性与精度。该集成方式有效规避了单模型在不同负荷场景下的性能不稳定问题，大幅提升了预测结果的鲁棒性与泛化能力。

特殊时刻点子网络设计：电力负荷在某些特殊时间节点（如节假日前夕、高温时段等）常出现剧烈波动，传统独热编码方式难以准确捕捉这类非线性变化。项目创新性地引入“特殊时刻点子网络”，该子网络专注于对标注时间节点的表征学习，通过与主网络协同训练，显著增强模型对重要波动时点的拟合能力，从而整体拉升预测准确率。

定制化损失函数机制：考虑到社会经济增长带来的年度负荷递增趋势，项目突破传统损失函数的限制，引入定制化惩罚项。该机制在保持模型基本拟合能力的基础上，鼓励模型对负荷自然增长趋势进行合理“高估”，避免出现系统性低估误差，贴合实际发展态势，显著提高中长期预测的趋势准确性。

3. 可复制性

本项目为电力系统精细化管理和绿色低碳发展提供了可复制的领先实践，构建的电力负荷预测模型基于成都市多源数据训练完成，并成功推广应用至成都市下辖二十余个区（市）县。

在复制过程中，仅需切换对应区（市）县的原始负荷与气象数据，并根据地域特征适当调整输入特征（如气候参数、区域经济指标等）及部分模型参数，即可快速适配不同区域的负荷预测需求。测试结果显示，在绝大多数区县中，模型均表现出良好的稳定性与高精度预测能力，充分体现出强适应性与通用性。

未来，模型可拓展至其他“一带一路”共建国家和城市的电网系统中，支持更多地区实现电力运行的智能化预测与调控管理，具备推广前景与实用价值。

案例 47 星罗万象-清洁能源的巡逻兵智慧城市的守护神

星罗智能科技（苏州）有限公司

本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

（一）场景概述

近年来，随着无人机应用不断拓展，应用功能需求也在不断提高，传统的无人机应用一方面需要专业的飞手依靠经验控制无人机飞行作业，另一方面在行业应用中需要人工方法对大量采集可见光影像及红外影像数据进行影像分析评估，存在专业要求高、成本高、效率低、精准度低等痛点问题，难以满足能源电力城市安防等复杂场景的应用需求。为此打造“星罗万象”系统软件，支撑无人机在城市、能源等行业的创新应用。

星罗万象 UAV-AI（无人机人工智能）巡检系统软件，是一套集成百余种前沿 AI 算法的无人机智能巡检平台。系统面向开放生态，已支持第三方开发者接入和模型训练，并可将成果无缝融入星罗万象，实现跨行业、多场景的智能赋能。同时，平台具备无人系统集群化管理与调度能力，能够支撑复杂环境下的大规模协同作业。

星罗万象突破了无人机依赖单一平台的限制，构建了一体化平台系统。平台包含多个子平台，如：用于风电场风机巡检的星罗御风子平台、用于光伏电场光伏面板巡检的星罗驭光子平台、用于电网输配电巡检的星罗巡电子平台。开放的软件生态能够实现“一生二，二生三，三生万物”。同时各个子平台之间的数据可以实现共享和同步，如设备数据、用户数据调度数据和角色数据等，避免了数据孤岛和重复输入，提高数据的一致性和准确性。

星罗万象系统涵盖账号注册、登录、权限控制、子平台选配与切换、数据共通等多种功能，能够为用户提供全面的一体化无人机智能巡检解决方案。系统不仅支持航线规划、设备管理、时空大数据分析和离线检测管理，还可同时适配云端 AI 与机载 AI 的双模式检测，满足多场景数字化管理需求。在巡检过程中，系统能够实时识别缺陷并进行分级预警提醒，用户可对所有巡检场景实现全方位掌控，快速响应并开展缺陷修复处理，且所有识别结果及处理历史均可追溯。此外，星罗智能的智图系统，支持将采集的照片生成二维正射图加载到地图，以及倾斜摄影任务生成三维模型的功能，同时还支持全景任务生成全景图并查看等功能。

目前，该系统在城市巡检、新能源山地巡检等场景上得到应用。

一是城市巡检。辽宁省凌源市建设的“无人机赋能城市治理系统”，采用星罗万象智能无人机场解决方案，突破了传统无人机管理依赖人工操作和信息上报导致效率低下的瓶颈。该地在职教中心和市政府分别部署无人机场，通过全自

动化控制实现飞行调度、分布式部署、作业路径预设、定时巡检任务以及远程应急指挥等功能，并搭载多算法无人机协同作业，大幅提升城市治理效率。应用范围涵盖多个领域：在城市管理中，可实现人车识别、垃圾监测、违建识别、烟火预警等；在水务治理中，可进行蓝藻监测、船只识别、河道垃圾与漂浮物检测、排污口检测和异常水体识别；在工程管理中，则包括安全帽识别、工程车辆与渣土车辆检测等。星逻万象真正成为“地面安全的空中守护神”。

二是山地巡检。在辽宁葫芦岛光伏电厂，星逻万象无人机巡检系统解决了光伏项目地形复杂、人工巡检耗时长、质量低、数据收集困难的难题。无人机可同时挂载可见光与红外相机，按计划定时自主执行巡检任务，通过热斑分析识别人眼难以发现的隐患。系统支持仿地低飞行，能够根据光伏电场复杂地形自动调整飞行高度，实时采集并上传数据至后台监测中心。依托可见光+热成像的双重检测方式，系统能够精准识别光伏面板缺陷，大幅提升巡检精度与效率，从根本上解决了“复杂地形难巡、人工成本过高、速度慢且不精准”的问题，为光伏电场插上“天眼”。

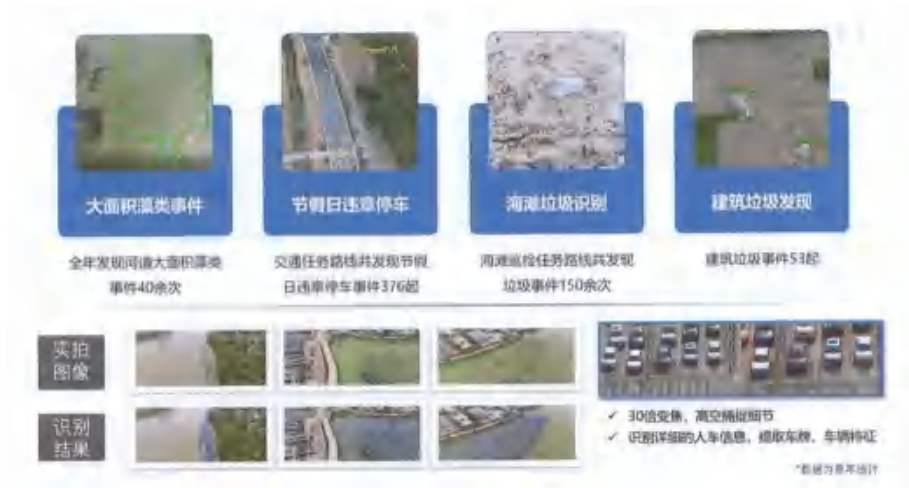


图 79 产品的成效

（二）技术方案

星逻智能通过多年在无人机赋能领域的深耕。一是研发了无人机机载自动导航飞行控制模块，为无人机增加“大脑”，使得无人机摆脱“伪无人”。二是研发了无人机充换电机库，为无人机提供了“家”。三是开发了智慧巡检 AI 智能诊断系统，赋予无人机以“思想”，从而实现了无人机自主飞行、自动巡检、报告智慧生成。

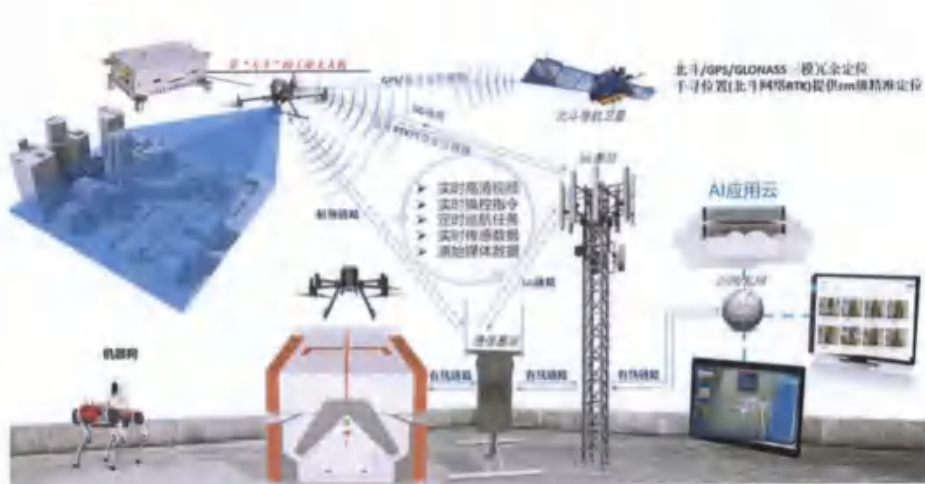


图 80 整体技术方案示意图

星逻万象 UAV-AI（无人机人工智能）巡检系统软件主要包括：无人机拍摄画面实时播放、AI 识别画面同步显示、无人机地图轨迹实时绘制、AI 检测场景和算法显示、AI 检测预警弹窗警告、AI 检测预警信息列表展示、无人机实时指令下发、系统模块导航等模块。

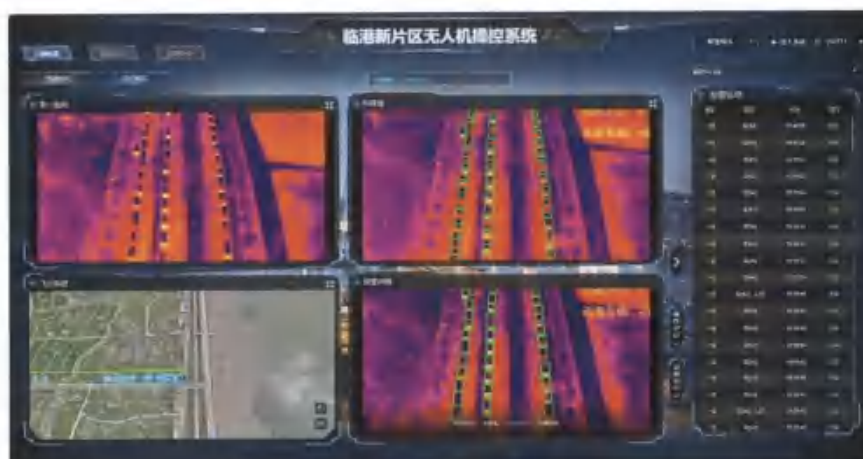


图 81 产品系统页面图

（三）场景优势

1. 示范性

场景目前在辽宁、河南等省市，以及印度尼西亚等“一带一路”国家落地应用。印尼某海上 192 兆瓦光伏项目成功引进星逻驭光巡检系统，助力“千岛之国”能源结构调整，增强电力供应。星逻驭光巡检系统集成无人机调度管理、场站监控与 AI 检测功能，支持一键任务执行和双光检测，能够对光伏组件及附属设施进行全方位巡检，大幅降低人工成本。系统可实时预警运维风险，结合可见光+热成像精准识别缺陷，并生成维修建议，实现全自动、无人化的巡检模式，为印

尼光伏项目构建清洁、安全、高效的能源体系提供有力支撑。

仅在 2024 年，公司和产品获得了 2024 国际无人机系列创新产品奖、2024 年世界无人机大会国际无人机系统设计奖、2024 年优秀光伏智能运维企业奖、2024 年毕马威中国“芯科技”新锐企业、2024 年 AI 苏州“人工智能+”融合应用企业、2024 年科大讯飞 AI 开发者大赛季军、2024 年低空经济与无人系统行业金翼奖、2024 年 36 氪低空经济年度企业、2024 年苏州低空经济领航企业产品等十余项荣誉，开辟了全新赛道、发挥了标杆作用。

2. 创新性

星逻万象创新打造各类无人机一站式平台。如在新能源场站场景中，将光伏、风机、电网三个场景进行集中式整合，打造出适用风、光、线的无人机智慧巡检一站式平台。该模式成功落地河南滑县，灵活实现风电场、光伏场站和电网系统的调度，实现集中式管理、分布式应用，打造能源巡检三效合一、资源共享的新局面。场景借助无人机搭载的双光相机对区域进行飞行检测，实现全天候值守。同时依托搭载人工智能算法和边缘计算的无人机自动识别分析目标场景存在的问题，有效保障能源输出的可持续性，降低维护成本，大幅提升工作效率与质量。



图 82 集中整合光伏、风机、电网三个能源场景

3. 可复制性

目前，印尼等“一带一路”沿线国家的应用验证了无人机+AI 巡检模式在复杂环境下的适用性。这一实践验证了该场景方案在“一带一路”国家清洁能源、基础设施和智能运维领域推广的可复制性。

案例 48 基于国产化（信创）的物资安全管理平台和机器人

四川汉宇晨星大数据科技有限责任公司

本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

（一）场景概述

在极端恶劣环境下，物资管理涉及搬运、清点、发放、回收等环节，是保障持续供给的核心难题。传统依赖人力进行物资管理的方式效率低、风险大，而通过数字化软件与智能化装备的结合，可构建完整的数字化解决方案，为政府、军队及企业提供统一部署的能力，提升物资供应链的管理效率与信息安全水平。

基于此，方案结合国产化、机器人、人工智能等技术，实现极端情况物资管理的智能化落地。通过将自主研发的国产化物资管理软件接入国产化的设备，以应对复杂多变的物资管理场景，为政府、军队、政府和企业提供一站式国产化、智能化解决方案和服务，提高物资供应链管理的信息安全程度，解决极端环境下物资供应链管理的难题。

在应用层面，方案具体解决了智慧物流三方面场景问题：其一，在极端环境下的物资管理、物资搬运、物资清点、物资发放、物资回收、物资登记等管理工作；其二，在无电、无网络、无信号等三无极端环境下，离线组建局域网或者其他涉密网络进行互联互通；其三，在应急救援、国防军工、涉案物资、防疫物资等领域的物资无人化机器人管理。

（二）技术方案

本技术方案依托纯国产软硬件智能设备，具备国家发明专利和国产化认证，能够兼容主流国产化硬件、操作系统、芯片、数据库及业务软件，并已通过国家《军采目录》和《信创目录》设备的适配与系统验证。在应用层面，系统可在极端环境下完成多类物资管理场景的模拟与拉练，并支持与机器人联动作业；采用轻量化部署模式，交付速度快、成本低，能够快速实现产品和业务交付；同时可实现单机或多机联动，控制公司自主研发的物资管理智能机器人或机群，形成灵活高效的物资管理解决方案。



图 83 基于国产化（信创）智慧物资管理平台

（三）场景优势

1. 示范性

方案面向联勤保障部队、中物院、中国兵器集团、航天工业和地方政府等军队、军工单位和政府提供服务，在国防军工、应急救援、涉案物资、疫情防控等重点领域均有应用。与传统模式相比，智能化方案可将库存周期转库提升 47%，通过无人化作业显著提高作业效率达 73%，并借助大数据分析预测实现 82% 的物料需求准确率，整体表现为更安全、更快捷、更高效。

2. 创新性

方案是全国范围内首创的自主研发国产化物资管理大师智能管理一体机和产品，解决了物资供应链场景的复杂多样，物资供应链管理的信息安全及极端环境下的物资供应管理的难题，并已完成相关专利申请。

3. 可复制性

目前，涵盖方案已深度参与“一带一路”数字化建设，随国家级项目组赴巴基斯坦、俄罗斯等地实施跨国智慧化项目，成功打造多个海外示范案例，具有坚实的复制推广基础。

案例 49 基于 AI+传感的城市水环境智慧监测

芯视界（北京）科技有限公司、祥符实验室
本案例入选“一带一路”十大人工智能应用场景

（一）场景概述

随着工业化和城市化进程加快，全球水环境正面临水质下降、水资源紧缺和污染治理复杂化等多重挑战，联合国已将水危机提升至核心议程。传统依赖化学法和病原菌培养等水质监测手段存在成本高、周期长、覆盖不全、难以快速定位污染源等问题，难以支撑复杂环境下的实时监测与决策需求。

为此，本方案基于 AI+传感的城市水环境智慧监测应用场景，从数据的采集手段着手，立足于全球引领的量子点光谱传感前沿技术，以及结合大肠杆菌酶促反应方法的液滴微流控芯片技术，深度融合人工智能技术，通过构建自主可控的传感芯片—智能感知设备—物联感知体系—智慧运行系统，运用多维度信息和大数据感知智能，助力破解水环境的复杂性问题。

通过这一技术及分层构建的智慧系统，将涵盖物理、化学及生物性指标的水质感知从河湖地表水监测延伸至排水管网、泵站等复杂场景，建设水环境系统全域覆盖的实时精细感知网络，实现了对河湖和管网的“实时监控，分层管理，智慧决策”，为“厂网河湖”一体化奠定了基础，为统筹水环境、水资源、水生态、水灾害的综合治理以及保障水安全创造了条件。通过在排水口、排水管网、污水处理厂进水口、溢流口、入河排口、泵站、干支流汇入点以及国、省、市考核断面、景观水体等十余类监测点位原位布设水质传感终端，形成了“源—网—厂—口—站—河”系统一体化实时感知、异常告警、排污溯源、预测分析等能力。系统应用层面，能够突破传统方法的时空局限，针对污水溢流、雨污混接、黑臭水体反复、传染病源传播等复杂问题，提供快速、精准的系统化解决方案。



图 84 芯视界“水环境侦察兵”

（二）技术方案

场景整体技术方案完善成熟，实现了“传感芯片—智能感知设备—物联感知体系—智慧运行系统”完整技术路线的自主可控，并完成产业化验证，在中国 20 多个省市规模化应用。

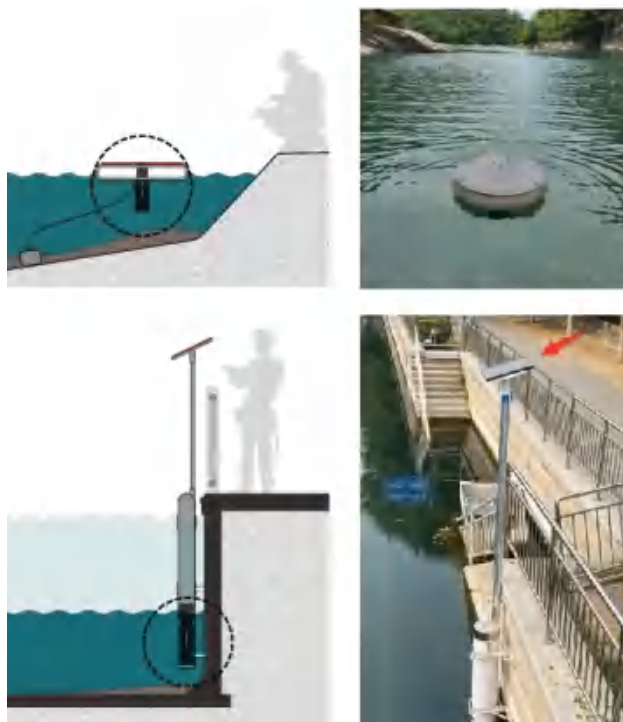


图 85 芯禹®S 系列地表水监测终端

1. 技术架构

监测平台采用由数据感知层、平台服务层、应用层、智能决策层组成的分层架构。数据感知层由可原位布设的微型监测终端组成，按照需求每隔一定的时间自动采集水环境数据。采集到的数据通过通信网络传输到平台服务层，由平台服务层进行汇聚、分析、整合和管理。处理后的数据传输到应用层，实现数据一张图、工作处置、数据报告、运营管理等各种应用功能。最后，由智能决策层通过 PC 端、移动端和大屏端口响应用户关于图表、结果、报告等方面要求。

2. 技术路线

从数据采集到分析、决策，实现全流程智能化。

基于量子点光谱传感技术，实现适用于复杂苛刻环境的高集成度微型低功耗水质原位在线监测终端，可对化学需氧量、高锰酸盐指数、总有机碳、浊度等 10 余项水质指标进行秒级精准测量，将其原位布设于地表水和排水管网等多类场景，实现城市水环境“源—网—厂—口—站—河”全覆盖的高时空密度智能感知能力。

基于微流控技术的水质病原菌检测仪实现样本进到结果出的全流程自动化检测，适用于复杂水质环境下的在线实时监测，可对大肠杆菌、葡萄球菌、沙门氏菌等常见病原菌进行快速精准定量，将其原位布置于医院、水厂等高危区域的地表水和排水场景，实现水环境病原菌的智能监测和快速反馈。

基于采集的环境数据与设备数据，融合气象、地理、水文等多源数据，结合AI算法进行数据处理、建模和解析，实现抗干扰高灵敏水质检测、设备健康智能诊断以及水环境大数据智能应用，并通过可视化展示提供实时监测、污染告警、排污溯源、预测分析等功能，为河湖污染调查、排水管网排查、黑臭水体治理、病原菌防护、消毒加药、水源地水质安全保障等提供智能决策支撑。

3. 核心技术

量子点光谱传感技术：在数据采集方面，基于清华大学鲍捷教授国际首创的利用诺奖材料量子点实现光谱仪芯片化的前沿引领技术——量子点光谱传感技术（Nature 2015, 523, 67），深度融合AI赋能材料合成制备、器件集成设计、算法模型开发等核心技术研发流程，攻克“纳米材料—滤光阵列—光谱重构”关键技术，开发了全球首款芯片级宽谱段高灵敏水质光谱传感器件，以及高集成度微型低功耗多参数监测设备，实现了对复杂水体化学需氧量、高锰酸盐指数、总有机碳、浊度等水质指标的秒级精准测量。相较国内外同类技术，检测精密度、灵敏度提升1~2个数量级，设备体积、功耗降低90%，高度符合水质原位实时监测和高密度布设需求。

微流控病原菌快速检测技术：基于中国科学院上海微系统所冯世伦副研究员团队研制的水质病原菌快速检测仪，融入自主开发的多物理场耦合富集技术、微流控技术及大视场荧光成像技术，实现水环境中杂质的快速分离和病原菌的现场精准检测。相较于国内外同类产品，检测时间缩短至1/8，设备体积、功耗降低了50%，试剂成本降低至1/1000，有效弥补目前所用人工或者设备检测水中病原菌费时费力的问题，高度符合水质实时监测和高密度布设需求。

AI融合分析技术：在数据质量控制方面，通过多维传感设备健康管理技术，创新融合物理机理模型与机器学习算法，实现设备200余类工况的实时诊断识别；运用时序多模态融合分析技术，精准辨识50余类环境异常扰动；通过盲源分离信号校正技术，实现600NTU高浊度环境下COD检测误差 $\leq 15\%$ ，保障了复杂多变环境中水质监测数据的有效性。在数据智能化应用方面，融合水质与气象、地理、水文等多源数据，结合“源—网—厂—口—站—河”数据联动，利用AI技术解析水质变化规律与污染溯源路径，建立了时空态势分析和告警、异常预测预警、污染溯源定位等算法模型，实现了流域级水质异常30分钟快速告警，污染溯源精度突破至100米级别，以及污水处理厂进水预测、溢流污染预警等能力。

（三）场景优势

1. 示范性

方案基于新质生产力推进水环境监测行业技术升级，有力打击了偷排超排等违法行为，助力排水管网排查、黑臭水体治理降本增效，促进水质改善，保护城市水环境和居民饮水安全，为人工智能赋能可持续发展提供了成熟模式和成功案例，获《人民日报》、新华社、央视《新闻联播》、北京卫视《特别关注》等权威媒体多次报道。

方案已在 20 余省市示范推广、40 多个重点项目中获得应用，支撑了长江大保护、南水北、北京市“水环境侦察兵”系统建设、上海市雨污混接溯源排查等重大任务，实现了流域级水质异常 30 分钟快速告警，污染溯源精度突破至 100 米级别，管网排查效率提升 40%、费用节省 30%。目前，方案技术成熟度达到 TRL9 级，设备防水等级为 IP68，通过防爆认证，平均无故障时间 ≥ 720 h，数据无线上传率 $\geq 98\%$ ，系统稳定性好、抗干扰能力强。

此外，方案通过数据采集手段创新，为智慧城市、环境环保、智慧水务等领域泛在实时智能感知体系，形成了一套较为完善的标准化体系，成果入选了生态环境部、水利部、工信部相关技术推广目录和指南，推动水环境监测技术和模式进入数智化新阶段。方案年采集水质数据 1 亿次左右，有效提升城市水环境监管效能，支撑精准高效靶向治水，为人工智能赋能城市水环境治理与可持续发展提供了成熟模式和成功案例。

2. 创新性

技术突破性：基于国际首创的量子点光谱传感技术，突破传统光谱仪原理瓶颈，实现芯片级光谱传感颠覆式创新，引领新一代光谱技术发展。融合人工智能算法，针对水环境原位实时在线监测难题，实现基础材料、核心器件、监测设备、数据解析全产业链条核心技术自主可控，在检测灵敏度、精密度、低功耗、小型化等方面达到国际领先水平。已获得授权专利 130 余项，构建了坚实的技术壁垒。

应用创新度：创建了超大城市水环境系统全覆盖的水质时空态势智能感知系统，首次实现了“源—网—厂—口—站—河”一体化监管创新方案，填补了管网水质原位监测等行业空白。通过多信息维度、高时空密度的水环境大数据智能分析，打破信息孤岛，解决隐蔽或突发异常事件快速识别和溯源难题，推动水环境监测技术和模式进入数智化新阶段，实现从“事后考核”到“事前监管”的管理模式创新。

3. 可复制性

基础设施适配性：设备采用原位布设方式，太阳能供电，不需铺设外接水管和电路，不需协调用地，数据传输可选择 NB-IoT、4G、局域网、GPRS、5G 等

方式，基础设施适配性高。

文化环境兼容性：系统以光谱传感获得的数据信息为核心，能够与不同国家的文化背景和管理需求相结合，提供本地化的解决方案，并支持与现有系统无缝对接。同时在政策方面符合多数发展中国家加速实现水环境可持续发展目标的需求。

实施成本可控性：标准化部署，设备支持快速安装、太阳能供电，无需土建工程，可根据需求随时变更位置，设备重复使用率 100%，无试剂耗材，建设和运维成本低。

案例 50 人工智能技术赋能排水管网病害智能诊断与评估

成都兴蓉市政设施管理有限公司

（一）场景概述

随着排水管网的长期运行，管道内易产生堵塞、错口、腐蚀等病害，引发污水冒溢、城市内涝等问题，病害严重还能引发管周空洞而导致路面塌陷，因此管道检测成为市政排水管网管理中的重要工作。

目前管道检测有电视、声呐、管道潜望镜检测 and 传统方法检查四种。潜望镜（QV）和闭路电视（CCTV）检测因具有工作安全、操作简便、视频清晰、判断直观等特点而被广泛应用。现场作业人员将 QV 探入检查井内拍摄管道情况，或将 CCTV 机器人深入管道行走摄取管道内部视频影像，机器回收后由内业作业人员导出检测视频，通过观看检测视频，人工判读病害情况，记录相关病害信息，生成检测报告。

排水管网病害包含腐蚀、渗漏、错口等 16 类病害，每类病害根据程度不同又分为多个等级，对病害的精准判读需要对判读人员进行专业培训，熟练掌握每类病害的特征，从而确定病害的类型和等级。因此人工判读病害高度依赖判读人员工作经验，通常 1 位成熟的判读人员视频日判读量仅为 3—4 公里，存在耗时长、效率低、易漏判错判等问题。

针对上述技术瓶颈，成都兴蓉市政设施管理有限公司联合四川大学，创新研发排水管网病害智能诊断与评估系统，通过构建全行业最大的训练数据集，集成模型压缩、多标签分类及弱监督学习等技术，攻克复杂场景下病害特征提取难题。系统可应用于全国近 100 万公里排水管网，实现 58 种管网病害的精确定位及诊断，自动生成修复优先级及工程治理方案，将单日处理能力提升至 50—60 公里，综合效率提升 90% 以上，关键性能指标行业领先。

（二）技术方案

1. 技术架构

排水管网病害智能识别管理平台架构包括感知层、数据层、网络层、应用层和用户层，架构图如下图所示。

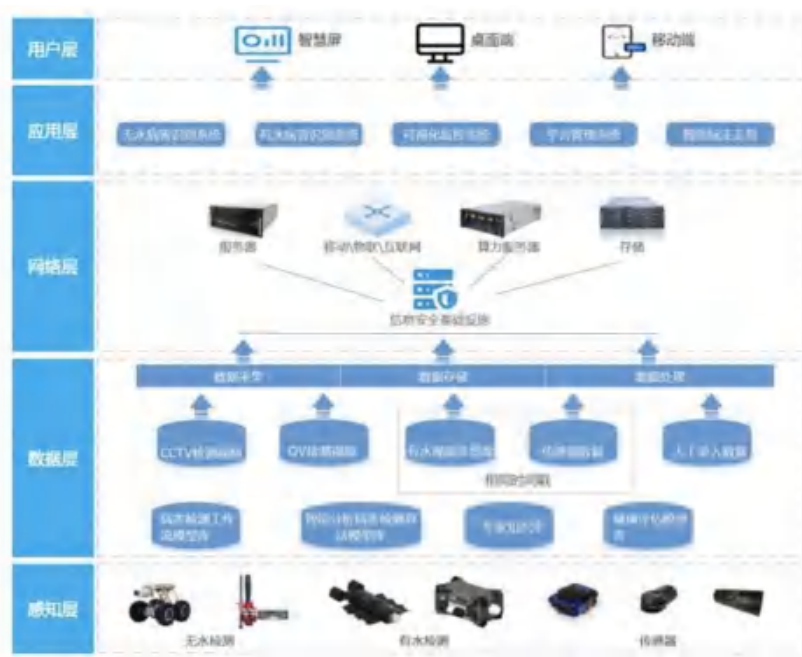


图 86 排水管网病害智能识别管理平台技术架构

一是构建病害检测识别算法模型库，实现病害类型及等级的智能识别。通过融合来自三家丹麦水务公司的 130 万张图片、75618 段视频公开数据集及公司在排水管网普查治理项目中采集的 48000GB 排水管网病害检测视频、60 多万张病害图片数据、9 万余张无病害管道比对图片数据等，利用机器学习、深度学习等人工智能技术，研发和训练多标签学习的共生病害识别算法、弱监督学习的病害定位与测量算法，实现对管道结构、功能等 58 种病害类型及等级进行精准识别。

二是整合专家经验和行业规范，建立排水管网运维专家知识库。基于深度学习与自然语言处理技术，构建排水管网运维领域专家知识库，通过知识抽取、事件抽取及知识融合技术，系统性整合排水管网运维领域专家经验及行业规范，知识库支持动态更新与持续扩展，对新的知识及数据进行高效关系构建和入库，确保知识库内容始终贴合行业需求。

三是研发排水管网健康度评估模型，赋能排水管网运维科学决策。基于所建立的排水管网运维专家知识库，建立排水管网健康度评估体系，研发和训练健康度评估神经网络模型，实现对排水管网健康度的及时有效评估，根据模型评估的健康度等级给出专业的建议，为排水管网运维决策提供科学参考，实现对排水管网运维的有力支持。

2. 核心技术

多标签学习技术：多标签学习技术是一种机器学习方法，用于处理每个数据样本可以同时属于多个标签的情况，与传统的单标签学习（每个数据点仅属于一个类别）形成对比，其通过训练算法，输出一个能够从特征空间映射到标记空间

的分类模型，衡量输入特征与各个标签的相关性，并对未见过的实例预测其对应的标签集合。

弱监督学习技术：弱监督学习是一种介于监督学习和无监督学习之间的机器学习方法，旨在利用不完全、不精确或不准确的标注信息来训练模型。与传统的监督学习相比，弱监督学习在数据标注成本高昂或难以获取精确标注的场景下具有显著优势

自然语言处理技术：自然语言处理是计算机科学与人工智能领域的一个重要分支，旨在使计算机能够理解和生成人类语言，从而实现人与计算机之间通过自然语言进行有效交互，它融合了语言学、计算机科学、数学和人工智能等多个学科的知识，致力于解决计算机与人类语言之间的通信问题。

神经网络模型：神经网络模型是一种模仿生物神经系统的计算模型，广泛应用于机器学习和人工智能领域。它通过模拟人脑神经元之间的连接和信息传递机制，能够自动学习数据中的复杂模式和关系，从而实现各种任务，如分类、回归、聚类 and 生成等。

（三）场景优势

1. 示范性

兴蓉市政公司作为成都市主城区、天府新区排水管网的运维单位，开展过成都市建城以来规模最大的排水管网普查治理，采集了多达 48000GB 的自有排水管网检测视频，为病害 AI 识别算法的训练提供了丰富的管道病害数据集和正常管道数据集，适用于全国所有城镇排水管网，具有普适性。

场景打造了西部首个由业务运营方开发的病害识别平台。针对排水管网病害精准判读对主观经验依赖性强、易因视觉疲劳漏判、因经验差异误判等问题，成都兴蓉市政实施管理有限公司联合四川大学研发的排水管网病害智能识别管理平台，基于深度学习算法构建了“数据采集—智能诊断及评估—专家复核—决策输出”全链条技术体系，是西部首个由排水管网运维单位开发的管网病害智能识别平台。

场景平台适配性强、应用前景广阔。平台严格遵循《城镇排水管道检测与评估技术规程（CJJ181-2012）》构建诊断逻辑框架，适配全国所有城镇管网，其核心算法模块可兼容全国地方检测标准。2022 年全国排水管网总长达到 913508 公里，2012-2022 年总长增幅高达 108%，该解决方案破解了行业规模化高效诊断、评估病害的技术难题。

平台与健康度评估模型协同提升管网运维质效。基于排水管网病害智能识别管理平台与健康度评估模型的协同应用，系统通过动态耦合分析管段病害演变趋势、病害空间关联性等多维参数，辅助科学制定管网检测及治理计划，提升管网

运维管理质效，助力城市排水系统稳定运行，防止污水冒溢、道路塌陷等环保、安全事件发生，改善城市生活环境，保障人民群众出行安全。

2. 创新性

算法性能指标突破行业水平：排水管网病害智能识别管理平台突破传统人工逐帧筛查判读的低效模式，以 AI 技术实现病害自动判读，平台 AI 识别算法关键性能指标较行业水平提升 20%以上。

再造病害判读全流程数字化 workflow：构建“数据采集—智能诊断及评估—专家复核—决策输出”全流程数字化 workflow，革新排水管网病害判读流程，开拓行业智能化应用场景，创新开展排水管网运营维护生命周期管理，基于专业数据制定科学运维计划。

平台核心技术自主可控：公司拥有管理平台和 AI 识别算法的知识产权，核心技术自主可控，并拥有算法持续优化迭代的能力，目前已申请一项发明专利和一篇学术论文。

3. 可复制性

平台轻量化、简易部署：排水管网病害智能识别管理平台部署仅需配置算法服务器、中央服务器、万兆交换机，通过标准化算法与平台流程，保障技术复制推广的经济性。

平台柔性、灵活适配：算法和平台不仅可适用《城镇排水管道检测与评估技术规程》（CJJ181-2012），在适配全国所有城镇排水管网的同时，对少数拥有地方标准的地区可进行针对性的调整。

病害判读降本增效显著：排水管网病害判读能力由传统人工的单日 3—4 公里跃升至 50—60 公里，综合效率提升 90%以上，辅助科学制定检测及治理计划，综合提升排水管网运维管理质效。

案例 51 供水管网爆漏预警模型

大邑成环水务有限责任公司

（一）场景概述

“AI 供水管网爆漏预警模型”，是基于 LSTM 模型对管网压力、流量数据进行时空动态联动分析，并结合漏水噪声 AI 分析，实现爆管、漏损的预警预报。

供水管网因管道老化、地基沉降等原因易出现破损，传统的人工地毯式探漏方法，不仅成本高，且受人员经验、地理环境等限制成效不佳。近几年新上市的管网漏损监测设备，虽在一定程度上为管网漏水监测提供了新途径，但因安装和维护成本高，难以广泛推广使用，无法充分发挥其监测作用。

为解决上述问题，大邑成环水务基于 LSTM 模型建设“AI 供水管网爆漏预警模型”，对供水管网中的压力、流量进行时空多步长预测，结合分布式协同分析、压力—流量耦合分析以及漏水噪声 AI 分析，模拟不同压力、流量范围对水力平衡的影响，开辟“感知—推演—博弈”的技术路径，实现对供水情况异常波动的捕捉，预警预报管道漏损和分析定位漏损区域。

“AI 供水管网爆漏预警模型”，可减少水务企业在传统探漏和监测设备方面的投资，并能为多种供水保障场景提供帮助，包括在供水安全与应急指挥方面能迅速进行异常报警；在产销差管控方面，能减少水资源浪费，提高供水效率；在日常调度与供水保障方面，能优化压力管理，实现节能降耗等。

（二）技术方案

1. 技术架构

感知层：指部署在供水管网上的传感器，包括压力、流量、漏水噪声等传感器等，负责实时采集管网运行数据。

基础层：搭建了计算资源、存储资源、网络资源、安全资源等，保障模型的算力和运行基础。

平台层：包括数据平台和支撑平台，构建统一的数据存储、数据处理平台，对感知层采集到的数据进行清洗、整合和存储，并对数据进行标注、形成标准化的数据集，确保算法得以有效运行。

模型层：AI 供水管网爆漏预警模型的核心，通过模型训练与优化，及时调整模型，找到最佳的模型配置。

应用层：将根据模型层的结果，提供爆管、漏损的预警预报服务，并与工单处置、供水调度、应急指挥等应用场景联动，形成事件预警预报、事件处置、处

置评价、模型优化的闭环化管理。



图 87 AI 供水管网爆漏预警模型的技术架构

2. 技术路线

对业务数据、压力、流量、漏水噪声等数据等进行动态采集，建立时空数据集，对数据进行标准化预处理和使用随机森林、孤立森林等模型进行数据清洗，再将清洗后的时空数据输入长短期记忆网络（LSTM）模型提取时空特征，分析数据的变化特征和序列特征，找出趋势项、周期项和残差项，建立起供水管网爆漏预警模型，实现准确、平稳的预测结果。

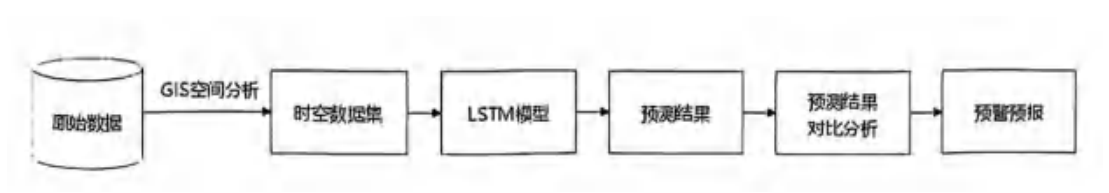


图 88 AI 供水管网爆漏预警模型的技术路线

3. 核心技术

LSTM 模型：LSTM 是循环神经网络（RNN）的一种特殊形式，用于处理和预测时间序列数据。LSTM 通过引入门控机制，有效地解决了标准 RNN 中的梯度消失和爆炸问题。供水压力、流量是受内部、外部多重环境影响的多因素变量，具有随时间、空间变化而变化的特征，通过 LSTM 模型构建供水管网压力—流量时间序列预测模型，可更好地预测未来的运行状态，从而识别异常波动。

压力-流量耦合分析技术：对管网的压力和流量数据，通过数学建模，分析两者之间的内在联系和变化规律，判断供水管网中存在漏点的可能性。

漏水噪声 AI 智能分析：通过 AI 机器学习算法根据声音频谱辨别对比渗漏噪声特征数据，据此给出对应渗状态，进行报警。

爆管定位算法：利用最近五分钟的压力差和斜率双重条件作为依据，形成封闭区域，从而模拟出可能发生爆管的区域。

（三）场景优势

AI 供水管网爆漏预警模型能实时分析管网中的压力、流量、漏水噪声等数据，识别爆漏风险并提前预警，快速定位爆漏区域。通过模型的应用，可降低水务企业在人工探漏和硬件设备上的投入。模型通过自适应学习能力，不断优化预警策略，降低误报率，可降低维修成本，提升供水系统安全性和运行效率。

1. 示范性

AI 供水管网爆漏预警模型具有从数据采集、处理到模型训练与应用完整清晰的技术路线，对业务数据和在线监测数据均按照国家标准和行业标准设计，以保证 AI 供水管网爆漏预警模型的标准化和合规性。AI 供水管网爆漏预警模型在实际应用中已发挥出重要作用，被评价为设计合理，运行稳定，安全适用，整体水平先进。

2. 创新性

打造 AI 供水管网爆漏预警模型：研发多模态时空特征提取算法，整合压力、流量等时态性数据、噪声频谱数据、GIS 空间数据和用水户用水行为等非结构化数据，实现对多源异构数据的融合和动态特征的提取，构建时空关联图谱，深入分析复合因素下的耦合影响，从而对供水管网爆漏进行时空分析和预警预报，为供水管理提供全新思路与方法，具有应用创新价值。

打造 AI 供水管网爆漏预警模型：利用 LSTM 对时序数据强大的处理能力，精准捕捉供水管网压力、流量等参数随时间地理位置变化的复杂特征，有效识别潜在的爆漏风险。模型具备自适应学习能力，可根据不同管网的运行工况动态调整预警阈值，提高预警的准确性和可靠性，可推动供水系统向数智化管理发展。

3. 可复制性

AI 供水管网爆漏预警模型具有高度的可复制性，对比传统人工探漏和大量安装在线监测设备，AI 供水管网爆漏预警模型通过利用现有的管网运行数据，结合先进的算法进行分析和预测，减少大规模的人力和物力投入，大大降低了成本。同时该方案的维护主要集中在软件的更新，更为经济，更易实施。

AI 供水管网爆漏预警模型的维护主要集中在软件的更新和优化上,无需频繁对硬件设备进行维护,模型的应用秉承 AI 生成式文档的简洁、易操作风格,使用户能快速上手,无需进行专业培训,降低使用难度。对于中小型城市、农村供水来说,这种优势尤为明显,因此具有可复制性。

案例 52 特大型国有企业资产管理效能提升

上海城投城市发展研究院有限公司

（一）场景概述

国有特大型企业通常拥有庞大的资产规模，涵盖股权、不动产、基础设施、设备工具等多种类型，故容易面对资产规模庞大管理复杂、股权管理分散信息滞后、动产管理难度高确权补证困难、数据孤岛现象严重协同效率低、资产利用效率低下、资产识别困难等管理难点。

一方面，多样化的资产类型和庞大的资产规模使得管理难度显著增加，需要投入大量的人力、物力和财力来确保资产的有效管理。尤其面对下属企业数量众多，股权信息分散在各个子公司，较难实现统一的信息管理平台。股权变更、股东信息更新等关键数据往往容易出现信息滞后、遗漏或错误。这种分散的管理模式导致集团难以全面掌握股权结构，影响了决策的及时性和准确性。

另一方面，国有企业通常拥有大量不动产资源，但由于数量多、分布范围广，管理难度显著增加。此外，历史遗留问题如确权补证困难、资产分散、缺乏统一管理标准等，进一步加剧了管理的复杂性。部分资产存在闲置或低效利用的情况，但由于信息不透明，监管不到位，难以及时识别和处理。其中既有历史原因，也有多部门、多系统形成的数据孤岛现象，也导致信息共享困难，业务流程烦琐，协同效率低下，管理成本增加。

本方案引入 AI 智能体，解决传统资产管理中的难点和痛点，显著缩短业务处理时间，实现资产管理的智能化。通过构建了统一的数字化管理平台，覆盖了全生命周期的资产管理系统，实现股权、不动产等核心资产的统一管理，整合分散的数据孤岛，建立统一的数据标准和主数据管理体系，确保数据的实时共享和同步，提升管理效率和决策科学性，为国有特大型企业的高质量发展提供了有力支撑。结合 AI 技术，系统能够自动识别低效资产、生成风险提示，并提供精准的资产配置建议。同时，方案还可通过优化资产利用效率，识别可参与城市更新的地块，新增可租赁面积，显著提升了资产的经营效益。

（二）技术方案

1. 技术架构

本应用场景采用了一个多层次、模块化、可扩展的技术架构，以确保系统的高效运行和安全管理。具体架构包括：



图 89 特大型国有企业资产管理方案技术架构

云化基础设施——企业私有云：基于企业私有云实现全集团云计算及存储资源的全面统一及高效利用。通过建设混合云更加灵活地支撑互联网应用，以“云一边一端协同”的存储及计算资源体系，满足不同场景下的响应需求。企业高速网：基于统一标准的企业高速网，形成全面覆盖、互联互通的信息高速公路，满足新时期下网络灵活接入、可靠运行和高效传输的要求。

融合的数据底座——数据湖：构建“集团—直属单位”两级数据湖，有效归集全集团数据资产，为数据共享与分析应用提供技术支撑。其中，数据治理主要包括主数据管理、元数据管理、数据标准管理、数据质量管理、数据安全管理等。

应用层——资产管理大屏：基于系统建设，多维度梳理总结业务数据，并结合地图、图表等可视化形式加以展示，辅助决策。其中，资产管理系统包含产权管理、房地管理、存量租赁、独立经营、评估管理、年度重点工作、提质整合等业务模块，以及数据驾驶舱、数据总览等数据分析模块。大语言模型赋能子系统则为本地化部署国产开源大语言模型，搭建 RAG、智能体等功能模块，开发大模型应用赋能管理系统智能化提升。

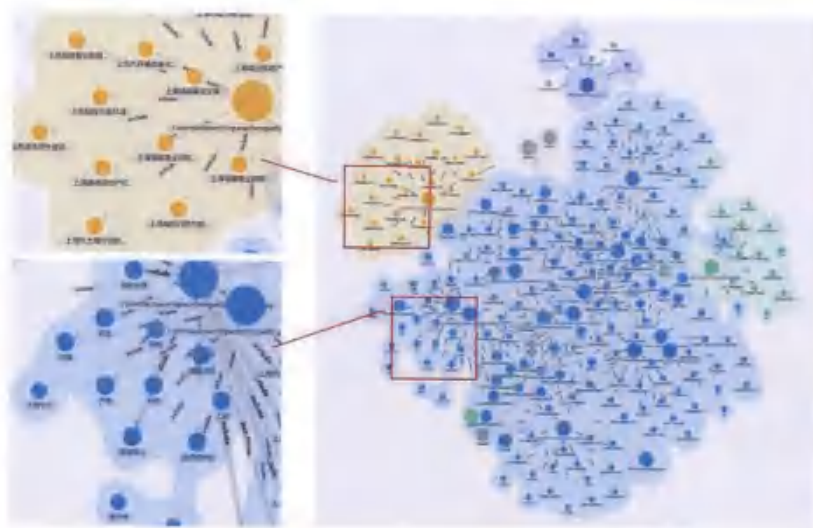


图 90 资产投资知识图谱

2. 技术路线

本应用场景充分考虑利旧与纳新的结合，数字化基础设施与新技术的结合，数据资源与数据管理的结合，按照云、数据、AI 的建设思路层层递进。

云化与虚拟化：采用云计算和虚拟化技术，实现资源的动态分配和高效利用，确保系统的高可用性和扩展性。通过混合云架构，结合公有云和私有云的优势，满足不同业务场景的需求。

数据中台与数据治理：构建数据中台，实现数据的集中管理和共享，打破数据孤岛。通过数据治理，确保数据的质量和一致性，为数据分析和决策提供可靠的数据支持。

人工智能与机器学习：引入大语言模型和 AI 智能体，实现资产管理的智能化。通过自然语言处理技术，自动分析和处理大量资产数据，生成精准的报表和资产状况报告。利用机器学习算法，对资产数据进行深度分析，识别低效资产，提供优化建议。

3. 核心技术

信创适配技术：采用国产化的服务器、处理器、操作系统、数据库和安全产品，确保系统的自主可控和安全性。

数据湖与数据治理技术：构建“集团—直属单位”两级数据湖，有效归集全集团数据资产。

大语言模型与 AI 智能体：本地化部署国产开源大语言模型，如 DeepSeek、Qwen、GLM 等，提供多语言对话、长文本处理、文件阅读解析等核心能力。搭建 RAG 和智能体功能模块，通过统一接口服务赋能外部应用，实现智能化的资

产管理。

自动化与智能化流程：通过自动化流程和协同化管理，显著提升业务处理效率。系统能够自动完成资产登记、变更、处置等环节的操作，减少人工干预，降低错误率，缩短业务处理时间。引入基于大语言模型的 AI 赋能，系统能够自动分析和处理大量的资产数据，提供精准的报表和资产状况报告，显著提升决策支持的智能化水平。

（三）场景优势

1. 示范性

经测算，该应用场景赋能后，上海城投城市发展研究院有限公司业务流程自动化程度显著提高，耗时缩短了 60%。通过系统的智能化分析和管理，资产盘活超 16 亿元，资产利用效率大幅提升，实现了资产可视化，租金收益提升 7%，此外，形成可复用的国资管理范式，为其他同类型企业提供了宝贵的经验借鉴，并积极探索了大语言模型在资产管理的落地实践。本应用场景通过技术创新和管理优化，实现了资产管理的规范化、标准化和高效化，显著提升了资产管理效能，为国有特大型企业的高质量发展提供了有力支撑。

2. 创新性

技术创新与适配性：首先，通过信创适配后的云化基础设施，确保了系统的自主可控和安全性。这种技术架构不仅满足了国有企业对信息安全的严格要求，还为系统的高效运行提供了坚实的基础。其次，融合的数据底座实现了数据的高效归集与整合，打破了传统资产管理中常见的数据孤岛现象，为数据的深度分析和应用提供了可能。此外，大语言模型和 AI 智能体的应用进一步提升了系统的智能化水平，使其能够自动处理复杂的业务逻辑和数据分析任务，为资产管理提供了更精准的决策支持。

数据治理与标准化：在数据治理方面，本应用场景通过建立主数据管理体系和数据标准，解决了股权和不动产管理中数据分散、不一致的问题。这种数据治理模式不仅提高了数据的准确性和完整性，还促进了跨部门的数据流通和共享。通过数据标准的统一，系统能够实现数据的实时共享和同步，确保业务操作与财务记录的一致性。这种数据治理的优势不仅体现在提升管理效率上，还为企业的战略决策提供了更可靠的数据支持。

3. 可复制性

本方案通过构建统一的数据标准和管理流程，系统形成了一套可复用的国资管理范式，为其他国有企业提供了宝贵的经验借鉴。例如，股权数据标准中的“单位主数据产权视图”和不动产数据标准中的详细字段设计，为其他企业提供了可直接参考的模板。

案例 53 轨道交通车载智能检测申报单位

上海天链轨道交通检测技术有限公司

（一）场景概述

我国地铁历经 30 年发展，早期车辆和设施逐渐老化。以上海申通地铁为例，线路设施运行久、车辆使用频繁，设备磨损严重，加大了运维难度与成本。当前运维主要依靠人工巡检和定期维修。人工巡检受列车停运时间限制，效率低，缺乏定量标准，只能发现现有故障，难以预防隐患。同时由于缺少长期多维度检测数据，设备更换决策常失误，造成资源浪费或设备故障。上海申通地铁因此不断增加维护投入，但线路老化、故障频发的问题仍未解决，财务负担加重。

公司研发的轨道交通车载弓网智能检测系统能够有效解决上述难题。该系统装载于申通地铁运行车辆，通过多模态传感器实时采集弓网数据，运用垂类模型、大数据分析等前沿 AI 技术，精准报警并预测弓网缺陷。例如列车运行时，传感器能快速捕捉受电弓滑板磨损、接触网几何形态变化等数据，经 AI 技术分析，系统可实时检测、预警多种异常，并与车辆信号系统通信反馈问题。



图 91 目前已搭载本方案的地铁

（二）技术方案

1. 技术架构

采用“云一边一端”协同计算架构，实现数据采集、实时分析、决策支持的闭环管理。终端层，部署于列车的智能采集设备；边缘层，车载主机边缘计算进行实时处理；应用层，提供可视化监控、预警推送、决策支持等功能。

硬件层由传感器层、数据采集与传输层、服务器层和显示与操作终端构成。传感器层全方位采集数据，数据采集与传输层负责数据的采集和传输，服务器层进行数据处理和模型运行，显示与操作终端为运维人员提供交互界面。

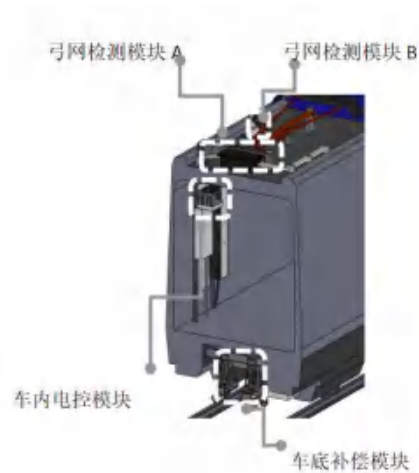


图 92 本方案核心硬件产品

软件层包含操作系统、数据处理与分析软件、模型训练与推理软件和应用管理软件。操作系统确保系统稳定运行，各类软件分别实现数据处理、模型训练、系统管理等功能。

2. 技术路线

首先需要实现电客列车上的实时自主数据采集，获取数据后，需将数据分类、融合，便于后期处理分析。通过 AI 智能算法对数据进行深度分析，发现异常、故障并做智能化预测。

多模态数据采集：利用多种高精度传感器获取弓网设备的多模态数据，通过适配的安装方案确保数据准确稳定，采用先进的数据采集终端进行预处理。

数据融合：运用多模态数据融合算法，在特征层面融合不同模态数据，形成综合特征向量。

模型构建：构建机理模型模拟弓网设备运行状态，结合机器学习和深度学习算法构建智能模型，并采用迁移学习和强化学习技术进行优化。

功能实现：通过实时状态监测、精准故障诊断、故障预测与维护决策支持等功能，保障弓网设备的安全运行。

系统集成：将弓网检测与维护预测类模型与其他子系统、列车运行控制系统、地铁运营管理平台进行集成，实现数据共享和协同工作。

3. 核心技术

多模态数据采集与处理技术：利用多种传感器采集数据，进行预处理和特征融合，提升数据质量和信息丰富度。

机理模型构建技术：基于物理原理建立精确数学模型，考虑环境和运行条件

影响，利用数值计算方法求解分析。

智能模型构建与优化技术：结合机器学习和深度学习算法构建智能模型，采用迁移学习和强化学习技术提高模型性能。

边缘—云协同技术：根据网络状态自动选择本地处理或传输至平台离线处理，定期上传典型样本模型，平台模型时常迭代更新。

（三）场景优势

该系统凭借高精度视觉检测模块和先进智能分析算法，实现对受电弓与接触网的接触状态、拉出值、导高值等关键参数的实时精准监测，同时对燃弧、温度、振动等数据进行精确采集与深入分析，这一创新检测模式为行业树立了全新标杆。

1. 示范性

本系统 2020 年 6 月安装于上海地铁 1 号线，通过了为期 6 个月的正线验证。此后，上海地铁部分班次通过车载弓网检测系统实现全天候运行状态捕捉，地面维护人员可实时接收报警信息，并通过云数融合平台统一调度资源，将故障响应时间缩短至分钟级。该系统有效替代传统人工检测方式，极大提高检测效率与准确性。

作为轨道交通行业的领头羊，上海申通地铁通过率先试点智能运维新模式，已经为行业转型提供了成功案例。融合算法依据磨损预测结果与历史维护数据，精准计算出最佳更换或维修时间，使受电弓平均使用寿命延长 20%。运维方面，巡检效率比人工提升 300%，减少超 25% 检修人员，降低运维成本 30%，减少不必要维护次数，缓解人力成本；安保方面，提前精准预警弓网隐患，有效降低运行事故发生率；运营方面，为申通地铁提供海量精准数据，助力科学运行计划、合理调整维修周期，提升城市运行效率，降低能耗与碳排放，推动城市绿色交通发展。未来，随着 AI、5G 等技术的深度融合，弓网检测将向更智能化、集约化的方向发展，推动城市轨道交通进入“零故障感知”的新阶段。

2. 创新性

垂类模型与机理模型融合算法是该系统的核心亮点。传统单一模型在故障诊断与预测时存在明显短板，机理模型虽基于物理原理分析弓网运行状态，但面对复杂故障模式识别能力有限；垂类模型虽能学习大量数据识别复杂模式，却对物理本质理解不足。

融合算法巧妙整合两者优势，机理模型精确模拟弓网接触状态、电流传输等物理过程，为垂类模型提供深层次物理特征，强化其对故障原因的理解；垂类模型助力机理模型高效处理复杂工况数据，大幅提升故障预测的准确优势。以弓网燃弧故障预测为例，该融合算法比传统方法提前 30% 发出预警，显著降低设备损

坏风险，这一创新算法为行业解决类似难题提供了全新思路。

3. 可复制性

随着地铁运营环境日趋复杂，对系统智能化要求持续提升，该系统的融合算法赋予其强大的自学习和自适应能力。机理模型可根据实时运行数据优化物理模拟参数，垂类模型能依据新数据更新故障模式识别能力，面对突发状况如恶劣天气改变弓网运行环境时，系统能迅速调整诊断和预测策略，实现智能化决策。

此外，方案通过弓网检测平台将所有弓网检测设备数据汇总到云平台，实现了基础设施资源的集约化共享，降低 IT 设备重复投入。同时，通过统一通信协议，将不同线路的检测设备兼容起来，破除了设备、线路、专业间的壁垒。

方案的成功经验可广泛复制到其他轨道交通线路，甚至不同地域的地铁运营管理中，助力整个行业向智能化大步迈进，推动更多轨道交通运营单位提升运维水平与管理效率。

案例 54 “人工智能+”在废塑料物质代谢与降碳环境系统中的应用

思源数智（厦门）信息技术有限公司

（一）场景概述

废塑料循环利用系统面临分类效率低、回收成本高、碳排放量大等挑战。传统人工分拣依赖经验，效率低且易出错；且处理过程中能源消耗高，填埋和焚烧导致二次污染。此外，在产业链端还存在上下游协同不足的问题，从回收、分拣到再生加工的产业链条断裂，数据孤岛现象突出，难以实现全流程追溯与资源优化配置；且全球废塑料贸易受政策波动影响，动态流向预测不足，区域回收产能失衡。

因此，本场景构建“人工智能+废塑料循环利用”系统，通过多技术融合实现了四方面突破：第一，在智能分拣与代谢分析方面，部署基于深度学习的视觉分拣机器人，结合近红外光谱技术，实现 PET、PE 等 6 类塑料的实时识别，分拣准确率提升至 95% 以上；第二，在产业链数字孪生方面，搭建区块链支持的供应链平台，集成物联网称重设备与 GPS 运输数据，构建从社区回收再生工厂的全链路数字映射；第三，碳足迹动态核算方面，开发基于 LCA 的 AI 模型，输入区域能源结构、运输距离等 50+ 参数，实时输出不同回收路径的碳减排量；第四，在全球贸易智能预测方面，运用复杂网络分析+GNN 算法，预测禁令政策下的废塑料流向，准确率超 85%。

相较欧盟物理回收技术，本方案独创“物质流 AI 中台”，实现了多源数据融合（海关 HS 编码、卫星遥感垃圾填埋场数据等）、动态博弈策略（模拟政策与市场的双向反馈）、微塑料溯源技术（通过图像识别追踪环境泄漏源）。

（二）技术方案

1. 技术架构

本项目采用“云一边一端”协同的智能化技术架构，实现废塑料全生命周期数据采集、分析与优化决策。

感知层（端）：智能回收设备部署 AI 视觉分拣机器人、智能回收柜、RFID 标签扫描终端，实时采集废塑料品类、重量、来源等数据；物联网（IoT）传感器在转运站、分拣中心安装温湿度、重量、成分检测设备，确保回收过程可追溯。

边缘计算层（边）：边缘服务器在回收站点部署轻量化 AI 模型，实现塑料实时分类（准确率>95%），减少云端传输压力；区块链节点采用 Hyperledger Fabric

构建分布式账本，确保回收数据不可篡改，支持碳足迹溯源。

云端平台层（云）：大数据分析平台基于 Hadoop+Spark 处理海量代谢数据，结合 LCA（生命周期评价）模型计算碳排放；AI 决策引擎利用强化学习优化回收路径，动态调整区域回收策略（如包装废塑料优先分拣）；政府/企业可通过 Dashboard 可视化监控回收率、碳减排等核心指标。

2. 技术路线

数据采集与标注：通过智能终端采集废塑料图像、重量、GPS 位置等数据，构建超 100 万张标注数据集（涵盖 PET、PE 等 6 大类）。

AI 模型训练：计算机视觉方面，采用 YOLOv7+迁移学习，实现塑料快速分类（准确率 98%）；代谢分析方面，基于物质流分析（MFA）和 LMDI 分解模型，量化政策、经济对回收率的影响；动态优化方面，结合复杂网络分析（CNA）预测废塑料贸易流向，生成最优回收方案（如长三角区域协同调度）；碳核算与交易方面，嵌入 LCA 模型，实时计算再生塑料的碳减排量，对接碳交易所实现收益闭环。

3. 核心技术

多模态 AI 分拣技术：融合视觉、近红外（NIR）和激光诱导击穿光谱（LIBS），精准识别掺杂塑料（如含 PVC 的 PET 瓶），分拣纯度提升至 99%。

区块链溯源系统：基于联盟链记录废塑料来源、处理厂、再生料流向，确保食品级 rPET 符合国际标准（如 FDA）。

代谢仿真引擎：采用 Agent-Based Modeling（ABM）模拟不同政策下废塑料流量变化，支持“禁塑令”“包装税”等情景推演。

低碳工艺优化：通过 AI 优化机械回收参数（如熔融温度），能耗降低 20%，再生料性能接近原生塑料。

（三）场景优势

本项目以 AI 为核心，深度融合环境科学与循环经济理论，攻克了废塑料代谢管理的精准量化、跨域协同和低碳优化难题。其技术通用性、政策适配性和商业可行性已通过国内外实践验证，具备在“一带一路”沿线推广的成熟条件，有望成为全球塑料污染治理的标杆解决方案。

1. 示范性

全链条智能化管理：本项目构建了覆盖废塑料“源头分类—中端回收—末端处置”全生命周期的智能化管理系统，通过物联网、大数据和 AI 技术实现精准溯源与动态监控。以上海为例，系统接入全市 2.3 万个回收点数据，垃圾分类准

确率提升至 90%以上，废塑料回收率提高 35%，显著降低填埋与焚烧量，为超大城市固废治理提供可复制的技术范式。智能回收柜、分拣机器人等设备可适配城乡差异，已在长三角 200 个社区验证，回收成本下降 30%。

国际标准对接：项目通过 AI 优化跨境废塑料代谢路径，推动长三角地区形成区域协同回收网络，回收效率较传统模式提升 40%，为发展中国家建立本土化循环体系树立标杆。

2. 创新性

多尺度代谢分析模型：创新性地融合宏观（国际贸易）、中观（区域流量）、微观（材料/行业）多层次物质代谢分析，结合 LMDI 因子分解与 Tapio 脱钩模型，首次量化了政策、经济、技术对废塑料回收的驱动效应。例如，AI 预测显示经济手段（如包装税）可提升回收率边际效益 23%，为全球塑料治理提供数据支撑。

低碳技术集成应用：智能分拣，基于深度学习的视觉识别系统实现 PET、PE 等 6 类塑料的自动分拣，纯度达 98%，成本降低 50%；碳核算引擎，嵌入生命周期评价（LCA）模型，实时计算不同回收场景的碳排放。数据显示，高水平回收情景可年减碳 33.7%，助力“双碳”目标；区块链溯源，建立再生料供应链可信平台，确保来源透明，推动食品级 rPET 等高值应用。

动态情景推演：依托 PEST 框架构建政策—经济—社会—技术多维度情景库，AI 模拟 2030 年废塑料代谢趋势。例如，预测包装行业绿色设计可减少 41%废塑料产生，为政策制定提供前瞻性依据。

3. 可复制性

模块化技术方案：量化部署方面，智能回收柜、分拣机器人等设备可适配城乡差异，已在长三角 200 个社区验证，回收成本下降 30%；标准化接口方面，系统兼容各国海关 HS 编码与垃圾分类标准，已与马来西亚、越南试点数据互通，支持“一带一路”共建国家快速接入。

产业生态协同：政企合作方面，联合虎哥回收等企业打造“回收点—中转站—集散场”三级网络，政府通过碳配额激励企业升级技术；公众参与方面，开发居民端 APP，积分兑换与碳普惠结合，上海试点用户超 50 万，回收量增长 71%。

经济可持续性：通过再生料溢价（如 rPET 价格较原生低 15%）、碳交易收益等多元盈利模式，项目投资回报周期缩短至 3 年。广东试点显示，区域废塑料产业规模扩大 17%，就业岗位增加 12%。

后记

人工智能正在重构全球技术格局与发展模式，也为“一带一路”共建国家带来了前所未有的机遇与挑战。在本案例集的整理过程中，我们试图从场景概况、技术方案、示范意义、创新优势、可复制潜力等多个维度出发，系统梳理面向“一带一路”合作需求的人工智能实践路径，提炼可借鉴的经验，呈现现实中的探索与思考。

需要指出的是，人工智能的发展不可能一蹴而就，其不同国家和地区的落地路径，受制于政策环境、基础能力、技术生态与社会认知等多重因素。尤其在“一带一路”沿线国家，人工智能战略尚处于构建与完善阶段，差异化发展趋势明显，既有率先布局、积极推进者，也存在观望犹疑、机制未明者。我们希望通过本案例集的整理与发布，能够为这些国家提供一份有价值的参考，推动理念互通、合作深化、能力共建。

本书所选案例与分析，仍然存在不尽完善之处，既受限于篇幅，也受限于当前阶段的资料可得性与实践基础。随着技术演进和区域合作的深入，相信还将涌现出更多值得记录和传播的创新成果。我们衷心希望本案例集能够成为一个起点，引发更多关注、参与共建，携手推动人工智能在“一带一路”框架下实现更深层次、更高质量的发展。

谨此为记。