

# 高压电缆线路空地隧全域覆盖无人化巡视技术及应用

汇报人：刘泽楷

广东电网有限责任公司广州供电局





# 目 录

## CONTENTS

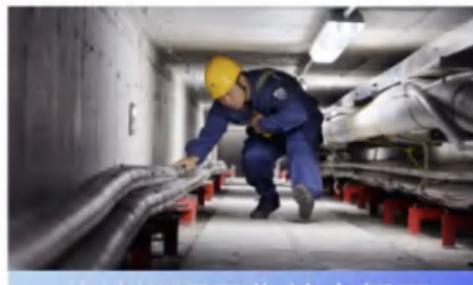
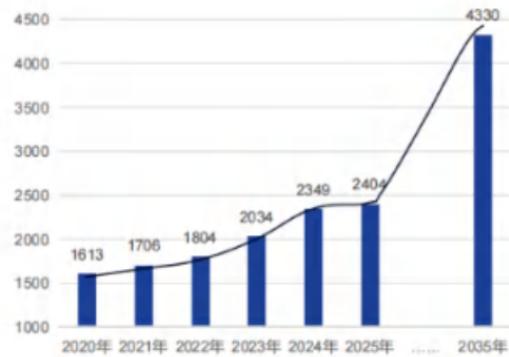
- 01 **工作背景**
- 02 **空地隧无人化巡视关键技术**
- 03 **工作展望**

# 一、工作背景

## 1、设备规模正增长与运维人员零增长之间的矛盾突出

- 规模大、增幅高：**截至2025年9月，广州局110kV-500kV电缆线路年均增速约10%；2023年投运全国最长陆上电缆500kV广楚甲、乙线，为南方电网公司城市电网首2回500kV电缆线路。
- 运维人员几乎零增长：**人均运维电缆线路长度40km，预计未来5-10年电缆线路规模翻番，运维压力增大；且一线运维人员逐步年轻化、高素质，传统运维模式下人力价值发挥不足。

电缆线路规模（截至2025.7）



传统巡视工作效率低下

# 一、工作背景

## 2、人工巡视难以匹配不断提高的设备精细化运维要求

- 老旧设备规模大、运维策略复杂：**1985年广州投运110kV高压XLPE电缆，是全国最早使用高压交联聚乙烯电缆的电网公司，超30年电缆线路**15回、57公里**，110kV永区线已累计运行40年。未来十年将有**272公里电缆达到30年设计寿命**。
- 内外部缺陷凸显、人工巡视存在死角：**一方面随着运行年限增加，电缆缓冲层烧蚀等本体缺陷凸显；另一方面随着城市建设发展，外力破坏风险增大。在内外隐患双重压力下，人工巡视范围逐渐无法满足安全运行要求。
- 数字生产实用化水平不高：**电缆线路巡视智能装备规模效应不足，相较于架空输电线路视频全域覆盖、无人机精细化巡视成熟的现状，电缆线路智能运维效能未充分释放。





目 录  
CONTENTS

- 01 工作背景
- 02 空地隧无人化巡视关键技术
- 03 工作展望

## 二、空地隧无人化巡视关键技术

### 1. 技术路线

应用基础研究

- 5G通讯下数据远程安全传输研究
- 无人机杆塔巡视策略研究
- 人工智能识别技术研究
- 多源大数据分析、应用技术研究
- 三维可视化技术研究
- 四足机器人研究

软硬件设备研发



## 二、空地隧无人化巡视关键技术

### 1、无人巡视装置整体架构



## 二、全域无人化巡视关键技术

### 2、天空端无人巡视关键技术

➤ 终端场巡视特点： 纵向空间广 + 受环境影响大 + 部分缺陷细微 + 人工视野受限严重



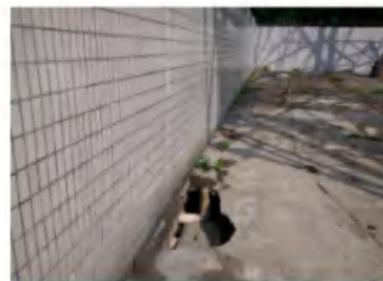
螺栓锈蚀、松动等金具缺陷



终端发热、漏油等本体缺陷



杂草、树障等异物问题



地面、围墙等附属设施损坏



螺栓锈蚀、松动等金具缺陷



螺栓锈蚀、松动等金具缺陷



螺栓锈蚀、松动等金具缺陷



螺栓锈蚀、松动等金具缺陷

## 二、全域无人化巡视关键技术

### 2、天空端无人巡视关键技术

➤ 当前终端场巡视手段局限性：



人工到位耗时长、人力消耗大、检查范围受限、无法实现高处精细巡查



无人机+固定机巢巡视机动性不强、低空航线规划不匹配、无法实现地面精细巡查

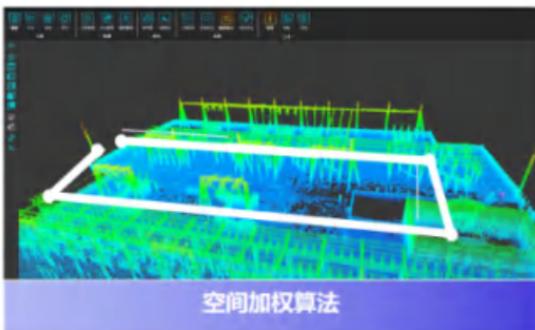
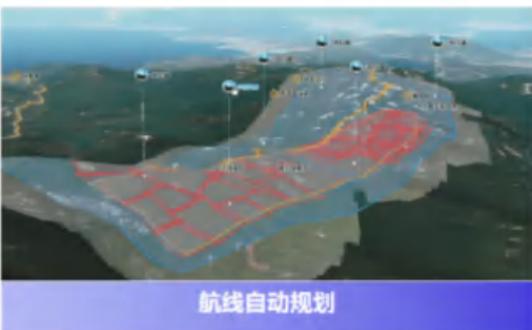
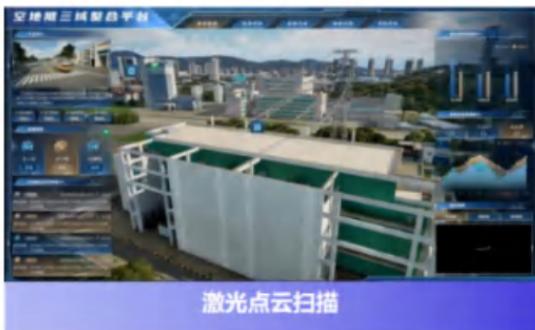
解决思路



## 二、全域无人化巡视关键技术

### 2、天空端无人巡视关键技术

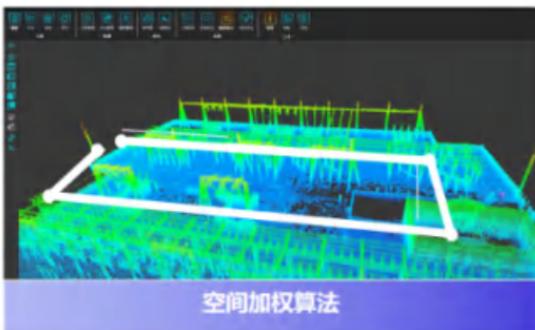
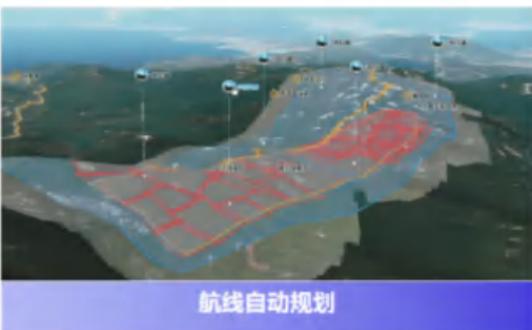
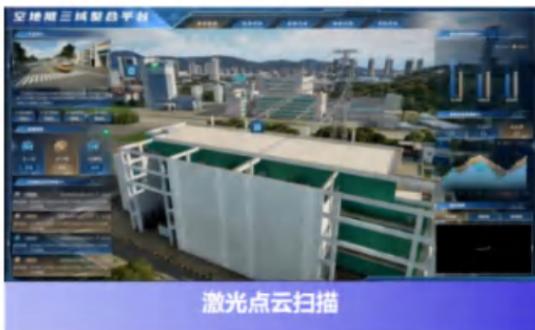
- ✓ **自动航线规划**: 基于图论与网络模型, 构建地理空间“节点+边”的加权图, 结合任务动态规划线路, 实现路径分段优化处理, 同时引入变分法解决连续空间中的最优路径问题。
- ✓ **电力场景优化**: 以 Dijkstra 和 A 算法为基础, 通过启发函数提升搜索效率; 随着场景复杂化, 遗传算法、粒子群优化等元启发式算法被用于处理多约束问题。



## 二、全域无人化巡视关键技术

### 2、天空端无人巡视关键技术

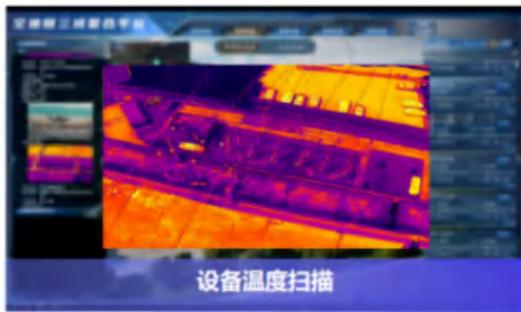
- ✓ **自动航线规划**: 基于图论与网络模型, 构建地理空间“节点+边”的加权图, 结合任务动态规划线路, 实现路径分段优化处理, 同时引入变分法解决连续空间中的最优路径问题。
- ✓ **电力场景优化**: 以 Dijkstra 和 A 算法为基础, 通过启发函数提升搜索效率; 随着场景复杂化, 遗传算法、粒子群优化等元启发式算法被用于处理多约束问题。



## 二、全域无人化巡视关键技术

### 2、天空端无人巡视关键技术

- ✓ **基于任务的巡视策略：**封装无人机飞行逻辑，接入到巡检管理系统，无人机按预设任务自动起飞、采集数据、精准归巢。
- ✓ **极速部署与灵活机动：**以巡检车为载体，于广州示范终端场周边巡检通道完成部署，形成一张不留死角的“无人机巡检网”，应急巡检和特殊任务时反应速度提升数倍。



## 二、全域无人化巡视关键技术

### 3、地面端无人巡视关键技术

#### ➤ 电缆通道路面巡视特点：

点多面广  
受环境影响大  
对社会影响大



井盖损毁



标志桩/牌损毁、缺失



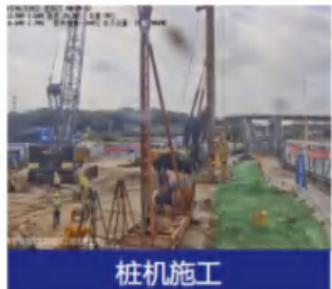
路面塌陷



电缆桥架生锈



顶管施工



桩机施工



手持风炮施工



非法开挖

地下管容紧张  
大型基建不断  
零星施工防不胜防

## 二、全域无人化巡视关键技术

### 3、地面端无人巡视关键技术

➤ 当前路面巡视手段局限性：



解决思路 →



固定摄像头

+



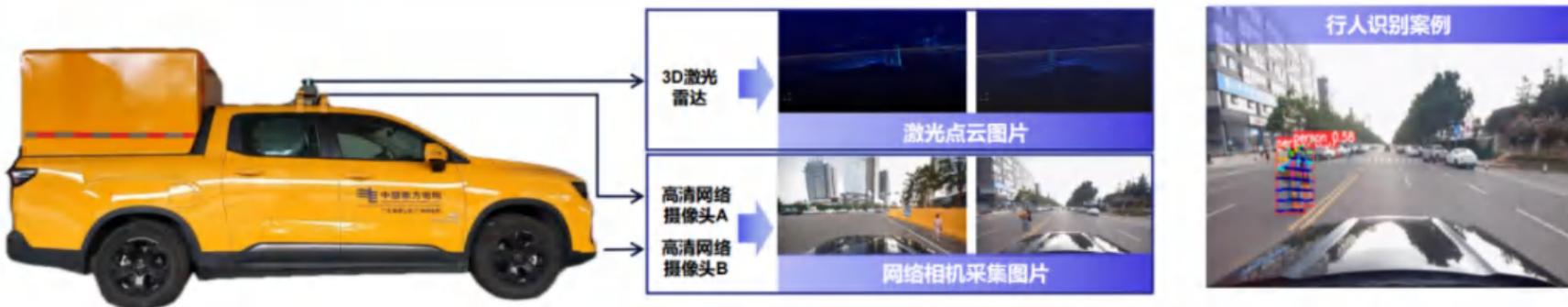
车载摄像头

## 二、全域无人化巡视关键技术

### 3、地面端无人巡视关键技术

#### ◆ 无人巡检一体装置应用

- ✓ **技术探索无人驾驶可行性：**当前无人驾驶功能部署于广州部分变电站等封闭园区，配合开展变电站的户外设施巡检、安防与消防工作。
- ✓ **大幅提升路面巡检效率：**高度集成巡检车、无人机机巢、四足机器人充电桩、集中控制器系统及综合安全防护模块于一体，通过融合算法进行协同作业，无人机和四足机器人从车厢释放，自主到位“空”“隧”巡检点。车辆高清摄像头专注路面施工隐患点、垃圾堆放点、电缆桥架等关键部位，并沿路扫描路面缺陷，实现全线精细化巡检。



## 二、全域无人化巡视关键技术

### 3、地面端无人巡视

#### ◆ 电缆通道固定摄像头应用

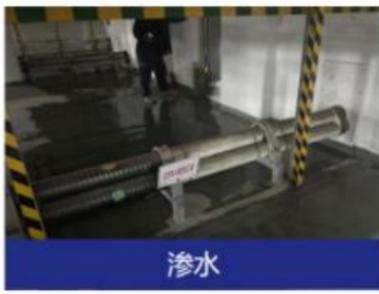
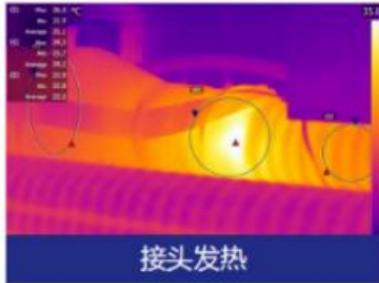
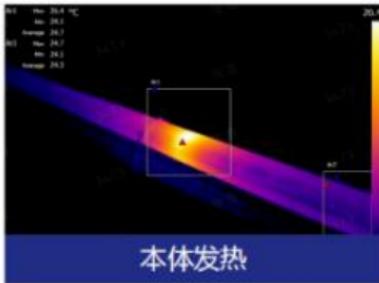
- ✓ **通道可视化全覆盖：**依据电缆路径区位特征和广州市中心城区环境现状，探索公共设施资源共享的模式，构建**以电缆通道立杆视频+路灯视频全覆盖**的电缆通道可视化路径。
- ✓ **配置策略分层制定：**全量电缆桥、终端场配置视频监控，针对重点电缆设施开展本体、环境、路况、火灾、树障、有害垃圾等内外隐患排查；电缆固定施工点标准化配置视频监控，**重要线路采用1主1备配置**，实现隐患分钟级精准监控。



## 二、全域无人化巡视关键技术

### 4、隧道端无人巡视关键技术

#### ➤ 电缆隧道巡视特点：



- 精细度要求高
- 防风防汛要求高
- 防火灾要求高
- 视野死角多
- 人工作业环境差

## 二、全域无人化巡视关键技术

### 4、隧道端无人巡视关键技术

#### ➤ 当前电缆隧道巡视局限性：



步行巡视耗时长、缺陷位置难记录、需背负各类工器具、人员作业风险高



难以对电缆本体开展连续红外扫描，不利于缓冲层烧蚀等随机缺陷的捕捉



隧道监控摄像头、挂轨机器人等部署灵活性不足、机动性较弱，视野范围受限

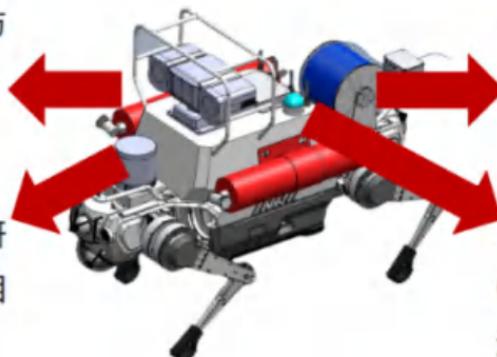
解决思路

→ 机器代人

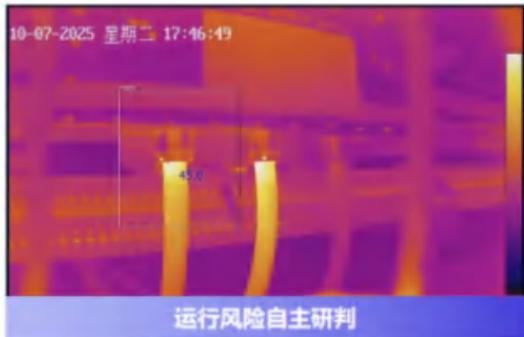
## 二、全域无人化巡视关键技术

### 4、隧道端无人巡视关键技术

- ✓ **感知核心：高精度双视云台。** 可见光与热成像相机实现高清视频监控与火点、设备过热等异常温度精准识别。
- ✓ **定位核心：激光雷达搭载算法。** 自主研发雷达适配定位算法，克服长距离高相似场景识别技术难点题。



- ✓ **生命线：光纤应急装置。** 在公网中断的极端情况下，快速布放应急通信光纤，建立稳定可靠的最后一道通信链路。
- ✓ **环境嗅觉：多类气体传感器。** 实时监测 O<sub>2</sub>、CO、CH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>S、其他可燃气体浓度，遇险情超前预警。



## 二、全域无人化巡视关键技术

### 4、隧道端无人巡视关键技术

- ✓ **多源传感融合定位：**机器狗定位使用多传感器融合方法，结合激光雷达、imu及经过标定的步态里程数据，通过局部地图和全局地图结合降低计算复杂度，建图效果更加精细。
- ✓ **四足步态适配避障：**为避免机器狗行走的震动对定位造成影响，定位模块利用高频的imu数据对激光帧中各点进行了抖动补偿，通过优化算法求解并输出最优姿态，定位精度更加准确。
- ✓ **隧道双视巡视扫描：**预设巡检任务，一键启航对电缆隧道进行断面巡检。行进过程红外扫描电缆本体温度，扫描排查缓冲层烧蚀发热等偶发部位；自动达到接头、接地箱（线）等关键位置，执行可见光-红外拍摄，对巡检记录进行保存分析。



遇防火门等障碍，自动调整



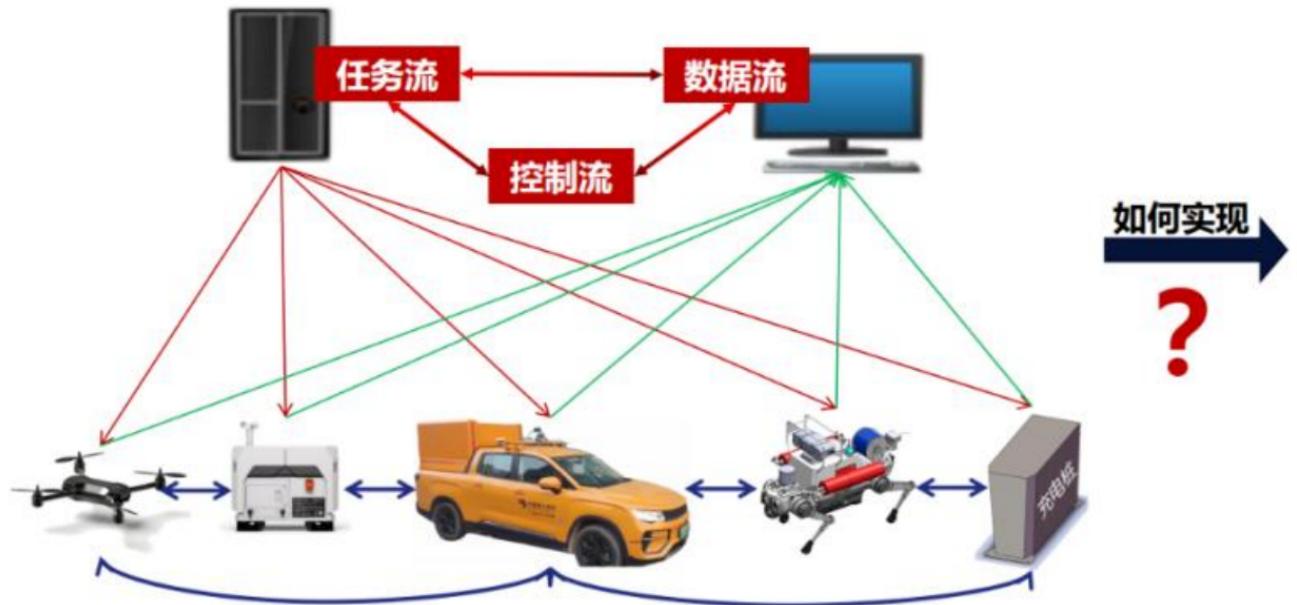
到达目标点位，自动执行



机器狗位置、电量等状态后台可视

## 二、全域无人化巡视关键技术

### 5、多源数据融合管理及安全风险评估管理



多智能体需交互!  
海量数据需分析!  
巡检任务需协同!  
界面可视需友好!

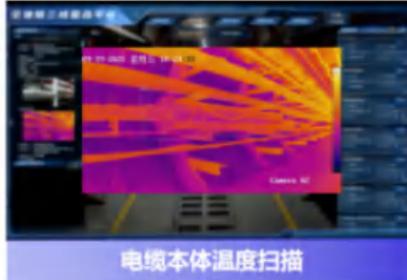
如何实现

?

## 二、全域无人化巡视关键技术

### 5、多源数据融合管理及安全风险评估管理

- ✓ **历史数据对比：**累计运行数据，利用大数据对历史与实时数据进行深度挖掘，构建趋势预测与关联性分析模型，打破数据壁垒，**实现业务流与数据流的协同。**
- ✓ **缺陷特征建模：**基于计算机视觉与深度学习模型，自动识别设备损伤、结构裂缝、环境异常等缺陷，从被动响应变为主动预警，通过图像特征识别微小规律与风险。
- ✓ **辅助人工决策：**融合多维度数据（实时状态、缺陷报告、环境信息），量化安全风险等级，进行预测性预警，指导优先处置顺序，为设备维护、资源调度、安全防控提供精准、量化的数据支持，优化决策流程。





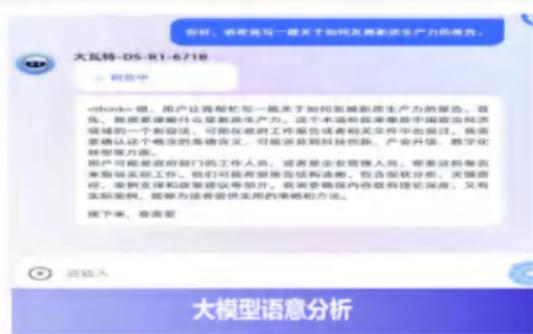
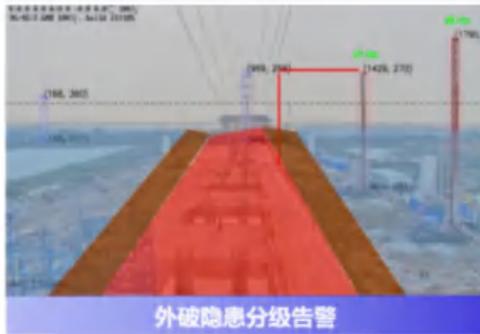
目 录  
CONTENTS

- 01 工作背景
- 02 空地隧无人化巡视关键技术
- 03 工作展望

### 三、工作展望

#### ◆ 人工智能与电力行业深度融合

- ✓ 算法模型风险预警准确率提升：当前电缆线路外部隐患识别算法存在**重复无效告警多、高风险预警漏报、需要人力复核**等关键难点，还需解决对多个目标复杂空间关系和业务逻辑的分析理解技术瓶颈，提升风险预警准确率。
- ✓ 数字员工上岗作业：在安全生产计划生成、任务派工等环节面临**数据整合分析困难、工作内容语义理解难、任务与人员匹配复杂**等关键难点，可通过**数字员工、智能体、大语言模型**等技术攻关，提升安全生产管理的智能化水平。
- ✓ 高质量知识库建设：加强高质量数据整理，建设企业级、专业级、员工级AI知识库，实现**专业协作、业务融合、传承有序**的知识管理模式。



### 三、工作展望

#### ◆ 机器人向纵深推进

- ✓ **具身机器人针对性研发:** 电网公司与行业领先企业、科研机构共同攻克关键技术难题，实现智能系统的自主感知与决策，助力具身**智能机器人在智能运维、设备检测、应急救援等场景的落地见效。**
- ✓ **机器狗行动优化:** 当前四足机器人主要应用于隧道巡检，自动巡航要求空间较大，在狭窄、陡峭、旋转楼梯的行走存在局限。应用人工智能将基于三维点云的巡检作业方式改为基于视觉识别的自主巡检作业，同时根据多模态数据信息制定巡检路线和策略，实现机器狗**多机协同任务共享、协同调度、集群作战。**
- ✓ **无人机低空领域探索:** 研制可在设备密集的终端场、隧道、变电站等低空场景安全飞行的无人机，弥补人工和机器狗视野受限的不足，进一步提升巡检作业灵活度。

