



新型并网主体主动接入配电系统的 配用电安全管控技术

王波 武汉大学

2024年6月1日



目录

CONTENT

一

研究背景及关键问题



二

配网侧安全—主动感知

三

设备本体安全—多物理场成像

四

用户侧安全风险—平面立体全息

五

结语

高渗透分布式资源并网
存在瓶颈



分布式资源接入需求快速增长



配电网承载力不足



巨量分布式柔性负荷
接入要求高



柔性负荷主体突破亿量级



多时标、离散连续混合特征复杂



适应终端能源电力转型发展的
配套机制政策相对滞后



规划、管理模式亟需调整



市场化机制尚不完善



配电网由电能配送网络演化为分布式资源高渗透接入、柔性负荷参与互动的“新型局域电力系统”

配电域

客户域



①网侧安全稳定问题

单户
并网点
容量

已超

户均配变容量

户均用电负荷

电压越限、反向重过载问题突出

②设备本体安全问题

现有规定并网点电压限额在
85%-110%额定电压



设备烧毁等突出

③涉电检修安全问题

工频耐
压

涉网保
护

防孤岛保
护

相关试验未严格开展, 部分设备“
带病接网”

并网点反送电风险直接威胁检修人
身安全

网侧涉网安全问题--调峰压力大

为保证分布式光伏的全额消纳

火电机组出力
压至最低

集中式新能源
全停

国网山东电力

2022年正月午间负荷低谷时段，集中式新能源和10千伏及以上光伏全部停运调峰、火电机组深度调峰，才基本满足电力平衡需求。

①峰峰叠加带来显著冲击

以北京为例

电动汽车充电与负荷晚高峰时段
高度重叠

持续3小时左右的尖峰负荷

预计2025年，充电负荷峰值 达到288万千瓦

占全市用电
负荷高峰的

10%

负荷“峰上加峰”现象将更加严重

设备本体安全问题

设备反向重过载

单户
并网容量

已远超

户均配变容量

户均用电负荷

2023年

- 低压光伏户均装机容量 **30.5** 千瓦
- 户均配变容量 **3.4** 千伏安
- 户均用电负荷仅 **1.1** 千瓦

山东、河南、浙江、江苏、安徽、
河北等六家省份

发生台区反向重/过载 **1.7万台**

近年来累计烧毁配变 **1180台**

设备本体安全问题

设备电压双向越限

《光伏发电系统接入配网技术规定》(GB/T 29319-2012)

并网点电压限额在**85%-110%**额定电压



缺乏有效监管，为追求利益最大化

调高
出口电压限值

260~290伏

周边过电压
烧损用电设备



用户侧涉电人身安全问题

检修安全风险高

工频耐压

涉网保护

防孤岛保护

相关试验未严格开展，部分设备“带病接网”

居民触电安全事故统计：

据国家统计局数据显示我国因触电而造成的死亡人数年均超过8000人。

并网点反送电风险直接威胁检修人身安全



2017-2022年电力安全事故统计

■ 如何适应“源网荷储”协调互动的新型电力系统多主体、多诱因下的生产安全？

国家能源局文件

国能发安全〔2018〕35号

国家能源局关于印发《电力安全生产行动计划 (2018-2020年)》的通知

各省、自治区、直辖市，新疆生产建设兵团发展改革委（能源局），
经信委（工信委），全国电力安全生产委员会各成员单位：

为贯彻落实党中央、国务院关于加强安全生产工作的决策部署，
不断提升全国电力安全生产水平，保障电力系统安全稳定运行和电
力可靠供应，依据《中华人民共和国安全生产法》《中华人民共和国
电力法》等法律法规，以及《中共中央 国务院关于推进安全生产
领域改革发展的意见》《安全生产“十三五”规划》《地方党政领
导干部安全生产责任制规定》等文件，我们制定了《电力安全生产
行动计划（2018-2020年）》。现印发给你们，请认真贯彻落实。

— 1 —

组织开展电化学储能、
虚拟电厂、分布式光伏
等新型并网主体涉网安
全研究，加强“源网荷储”
安全共治，推进非常规
电力系统安全风险管控
重点任务落实



- 分布式资源及柔性负荷的接入地点随机、接入时间不确定
- 分布式资源及柔性负荷等都是网外资源，具有强随机不可控性
- 网外资源设备数据获取困难、跨域调控



新型并网主体都是跨域“网外设备”，目前安全管控技术手段够吗？如何无感主动式安全管控？



目录

CONTENT

一

研究背景及关键问题

二

配网侧安全—主动感知

三

设备本体安全—多物理场成像

四

用户侧安全风险—平面立体全息

五

结语

新型并网主体能否像电子设备上网一样即插即用？



互联网 OSI七层、TCP/IP五层模型



配用电数据模型的“结构映射”



配电系统是否有新的并网主体（自发现）？新的并网主体是什么（自识别）？

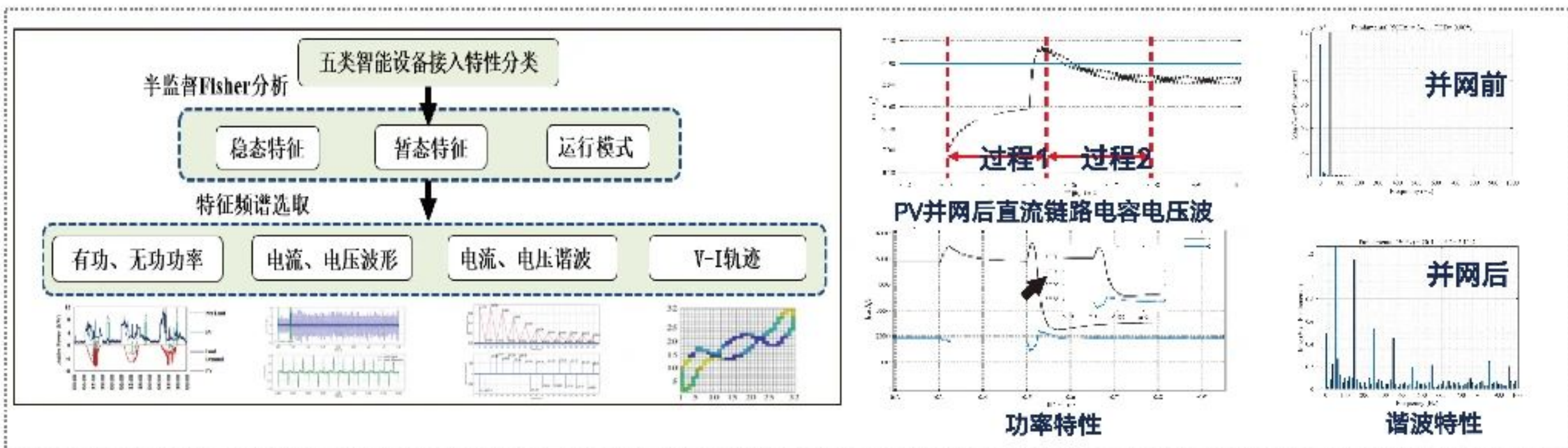


随机新型并网
主体主动感知

目标：实现配电网中海量随机新型并网主体的可测，保障设备“控的稳”

从信息流角度出发，智能解析异构碎片化的数据模型，并提取自描述注册序列是较为合适路线

难点：新型并网主体接入的非线性、多时标、离散连续混合等强随机特性主动感知难



关键技术2-新型并网主体协议互译技术（自注册）

随机并网主体协议怎么最小调试量的转换（互译）？并网主体如何边-端注册、登记、传输、校验（自注册）？



随机新型并网主体即插即用

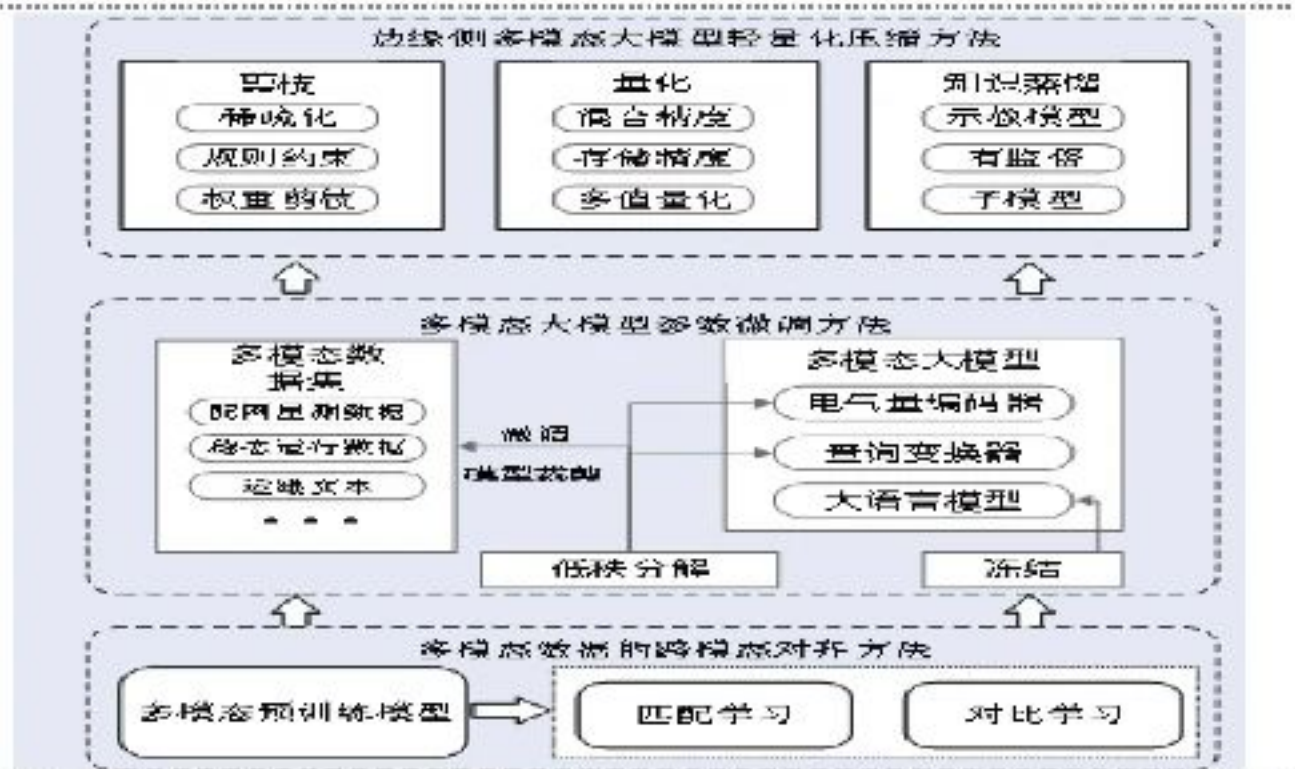
目标：实现配电网中海量随机新型并网主体的可观，保障系统“接得住”

从信息流角度出发，智能解析异构碎片化的数据模型，并提取自描述注册序列是较为合适路线

难点：不固定的模型协议怎么解析？注册序列怎么一致性校验？



- ◆ 注册报文包括：终端ID、文件版本号、文件修改版本号、文件特征码以及终端IP。
- ◆ 智能融合终端与注册设备之间建立注册通道，注册设备作为客户端，智能融合终端作为服务端。
- ◆ 配置链接通道后，智能融合终端向注册设备主动召唤模型文件，并通过HPLC、微功率无线等通道下装至注册设备。
- ◆ 进行文件格式及内容校验，通过则自动加载并复位链路，失败则记录失败原因，待延时重新发起注册连接，对已注册设备进行一致性校验，不一致则等待配置确认，一致则注册过程完成，完成终端接入。



并网设备自注册过程及轻量化互译技术路线

配电域和用电域的具体业务源-网-荷-储多场景业务如何自动化生成?

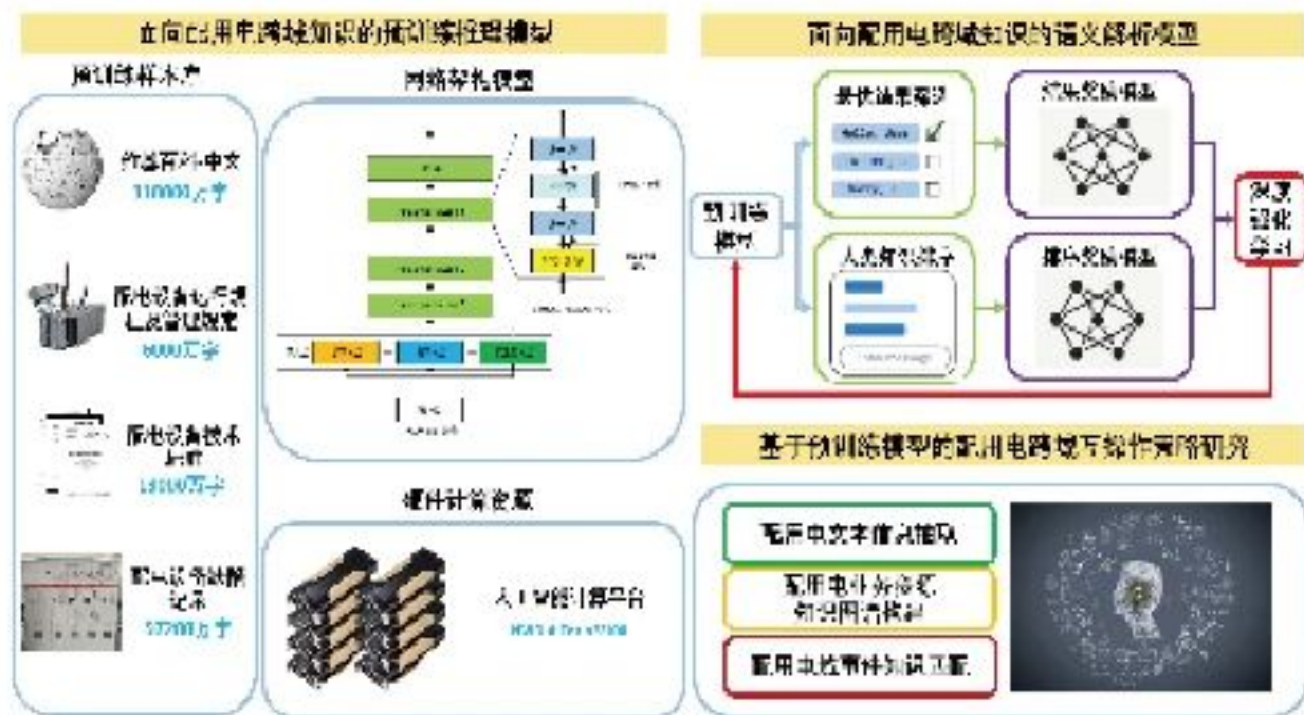


智慧化互操作

目标：实现配电网中多业务主体的协同可控，保障系统“管得好”

从信息物理融合角度出发，“真正”梳理配用电业务场景步骤流程和业务资源，理解业务流程的数据语义，交叉应用数字化技术是较为合适路线

难点：业务流程如何通用化语义理解？业务流程如何贯通？



场景描述	业务需求	贯通
充电桩报装并网	申请下周三武汉大学电气学院门口安装慢充	2023年6月30日/ 武汉大学工学部专变#1/ 武汉大学电气学院/ 充电桩并网
用户投诉用电问题	今天下午至傍晚武汉大学工学部三教临时停电	2023年6月24日/ 武汉大学工学部专变#1/ 武汉大学电气学院/ 临时停电
配电设备故障诊断	2#配电变压器综合监控模块损坏	2#配电变压器/ 综合监测模块/ 损坏

从云-边协同如何分层分群边-边/边-边？如何研发自主可控具备软件定义能力的智能终端？

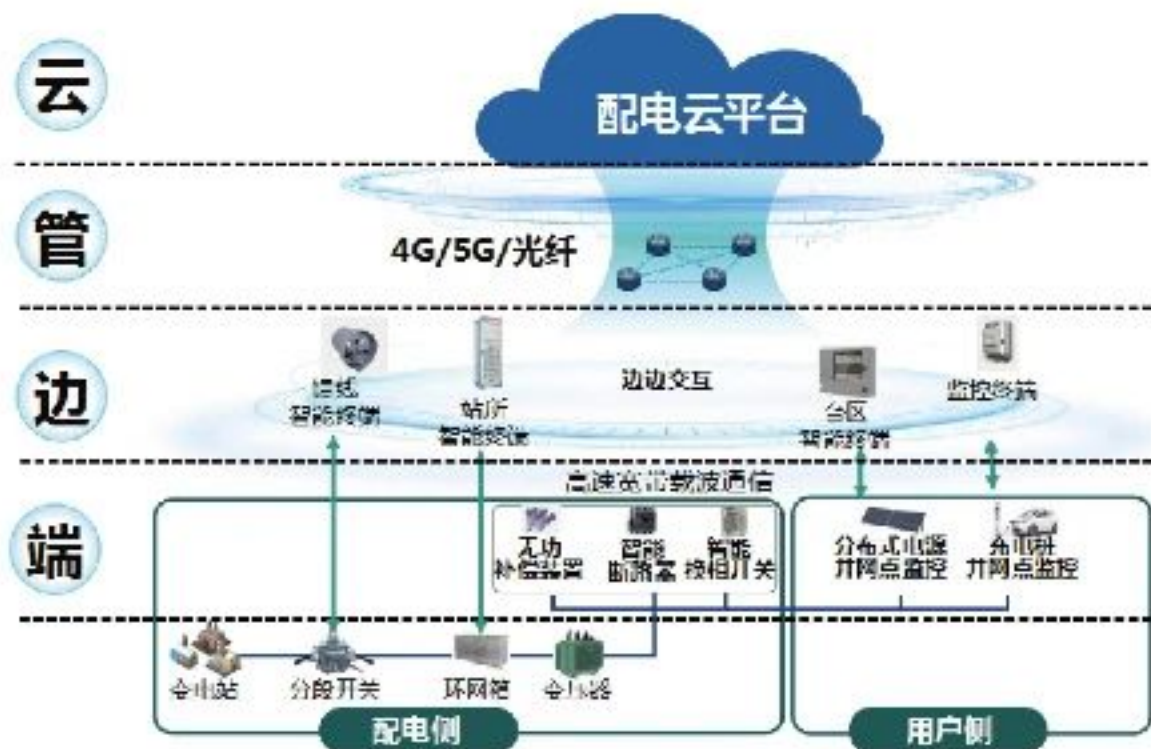


智慧化互操作

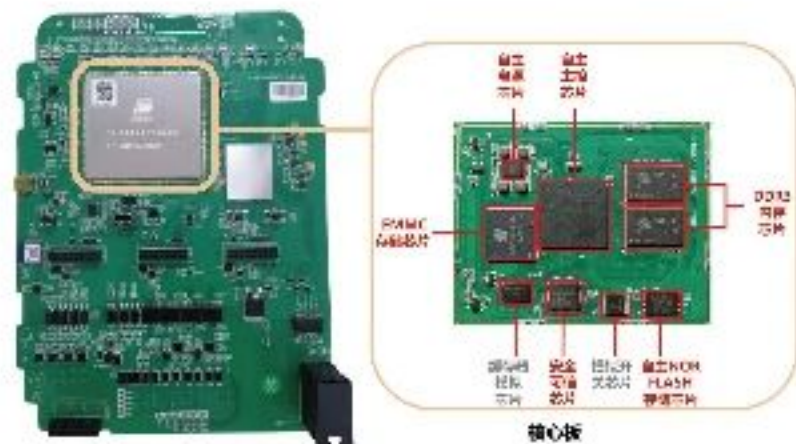
目标：实现配用电跨域的资源共享和业务功能灵活部署，保障系统“管得好”

从终端智能化芯片化角度出发，软硬件资源协同挖掘，业务功能IP核化，是较为合适路线

难点：边边如何互连互通？如何真正自主国产？



国重版台区智能终端



采用全国产芯片的核心板

采用国产CPU、自主内核操作系统的台区智能终端



目录

CONTENT

一

研究背景及关键问题

二

配网侧安全—主动感知

三

设备本体安全—多物理场成像

四

用户侧安全风险—平面立体全息

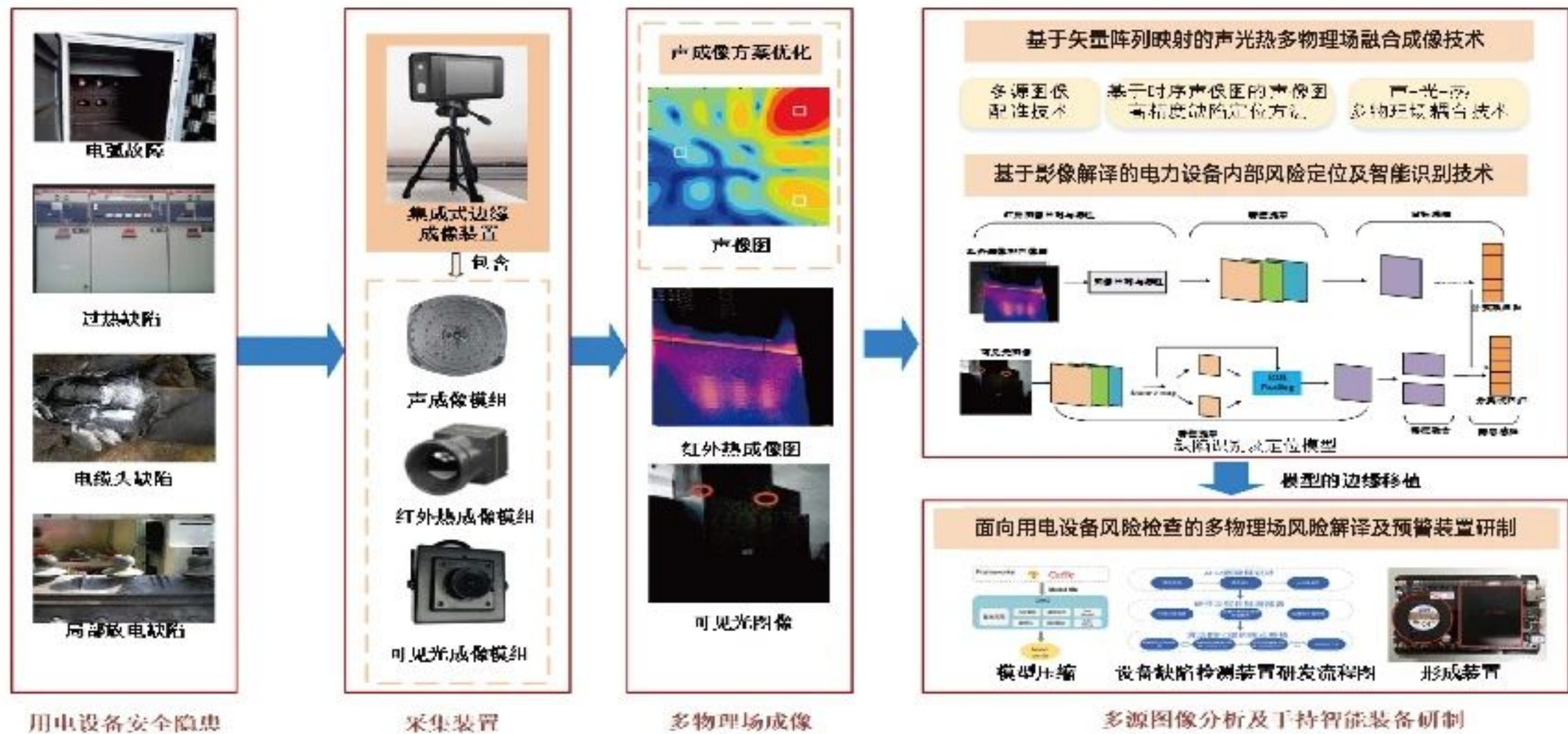
五

结语

新型并网主体本体能否非接触式进行不可见安全隐患辨识?

安全风险发生时:

- ✓ 视觉方式检测效果有限
- ✓ 外部声 (可听声/超声)、光 (可见光)、热、电、磁等物理场发生变化



声-光-热多物理场融合的全息成像

大规模、多类型数据采集装置



智能电表读数



设备图像数据



设备运行监测历史



客户用电信息



动态事件



客户情感信息



客户服务数据 (文本+语音)



无人机



地理空间信息



电网拓扑

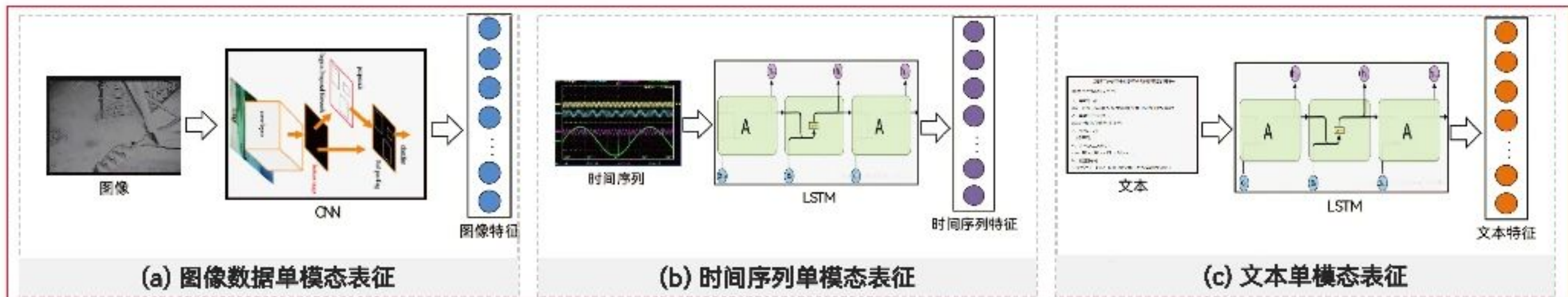


外部环境信息
(气象、气候)



新型布控球

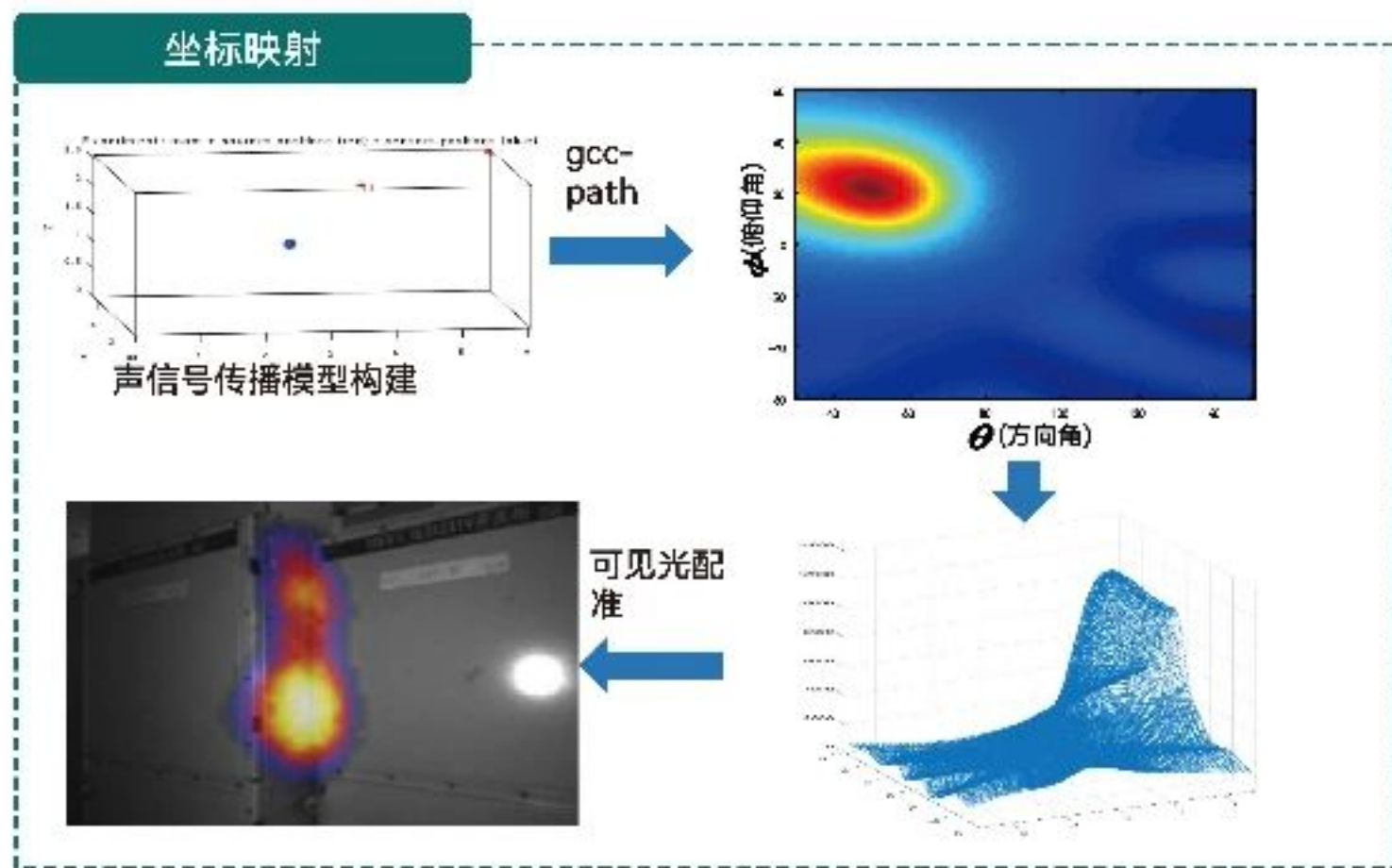
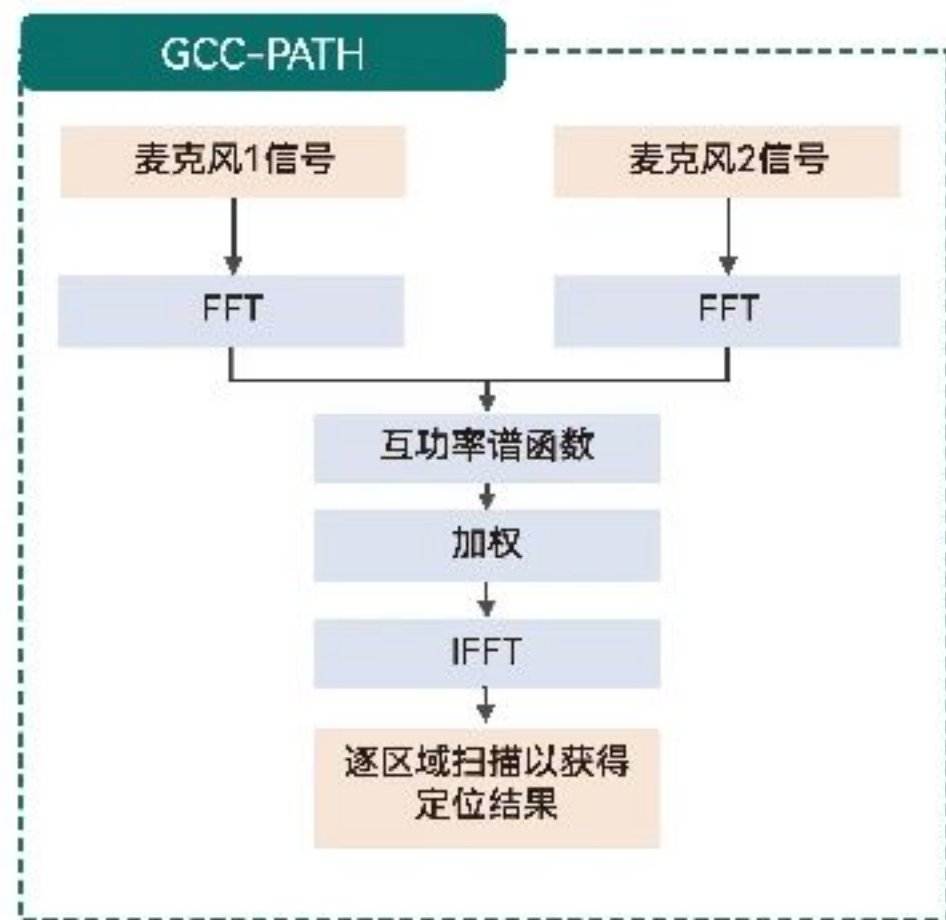
单模态表征指根据不同模态数据的数据特征和电力场景特殊性，将单模态数据以向量形式表征，从而反映相应电力场景信息的过程。



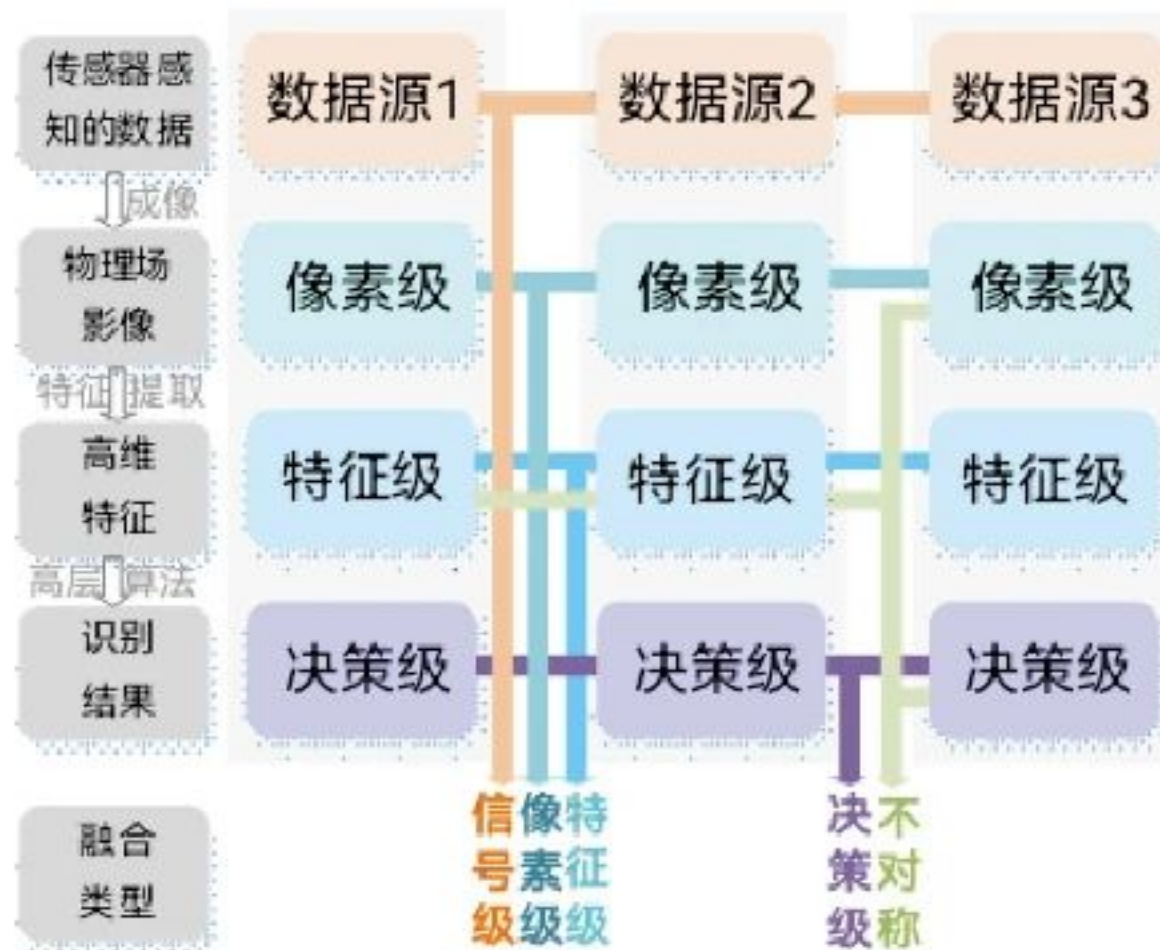
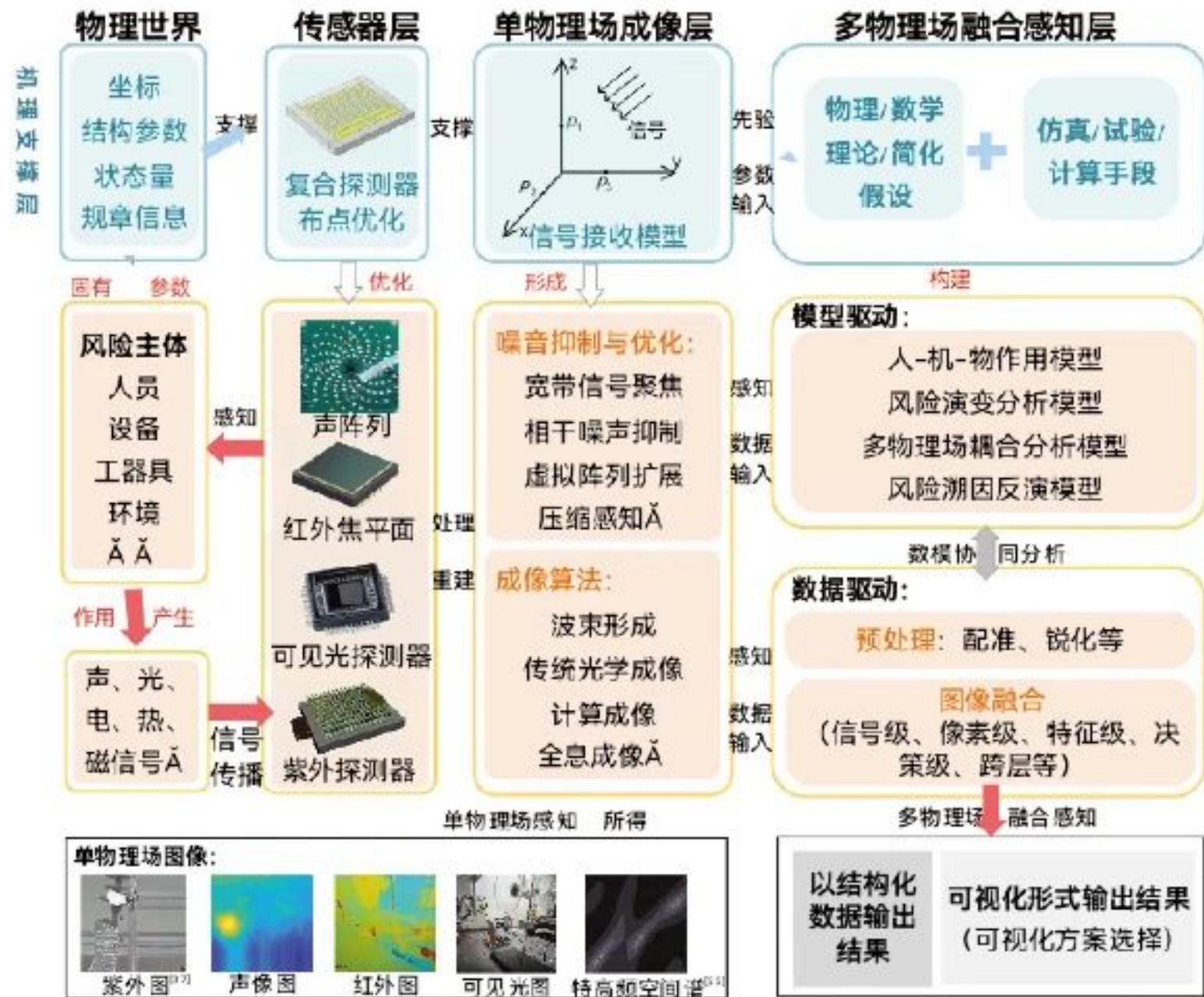
- 浮点数据、二进制数据：可直接使用机器学习算法对相应场景进行处理；
- 时间序列：LSTM；1D CNN；图像/视频：CNN；
- 文本：LSTM；1D CNN等；
- 音频：LSTM；1D CNN等。

深度神经网络具有多层结构，每个连续的层以更抽象的方式表示数据，故可选择合适的神经网络层作为相应的数据表征！

通过测量声波到达不同麦克风的相位差，可以获得声波入射方向。为更为直观的展示定位结果，采用坐标映射的方法将俯仰角、方位角坐标转化为笛卡尔坐标，以更好的投影到可见光图像中。



关键技术3—多物理场融合成像技术





目录

CONTENT

一

研究背景及关键问题

二

配网侧安全—主动感知

三

设备本体安全—多物理场成像

四

用户侧安全风险—平面立体全息

五

结语

■ 涉电公共安全行为是涉及**人员、防护工具、设备机械和环境**等多元交互融合的复杂动态过程，风险通常蕴藏在人员与电力设备、工具和场景等的动态交互关系中，导致触电风险呈现出**多元化特征**：

(1) 违章动态性—人员主观行为的动态连贯性

(2) 场景依存性—部分违章风险与场景强相关

(3) 风险瞬时性—触电风险都是在瞬时发生的

(4) 距离强相关—触电风险与安全距离强相关

(5) 风险隐蔽性—触电风险不可见且表征困难



关键问题：如何在电力生产人-机-物复杂环境下实现全过程触电防护？

用户侧涉电公共安全风险防控-技术路线

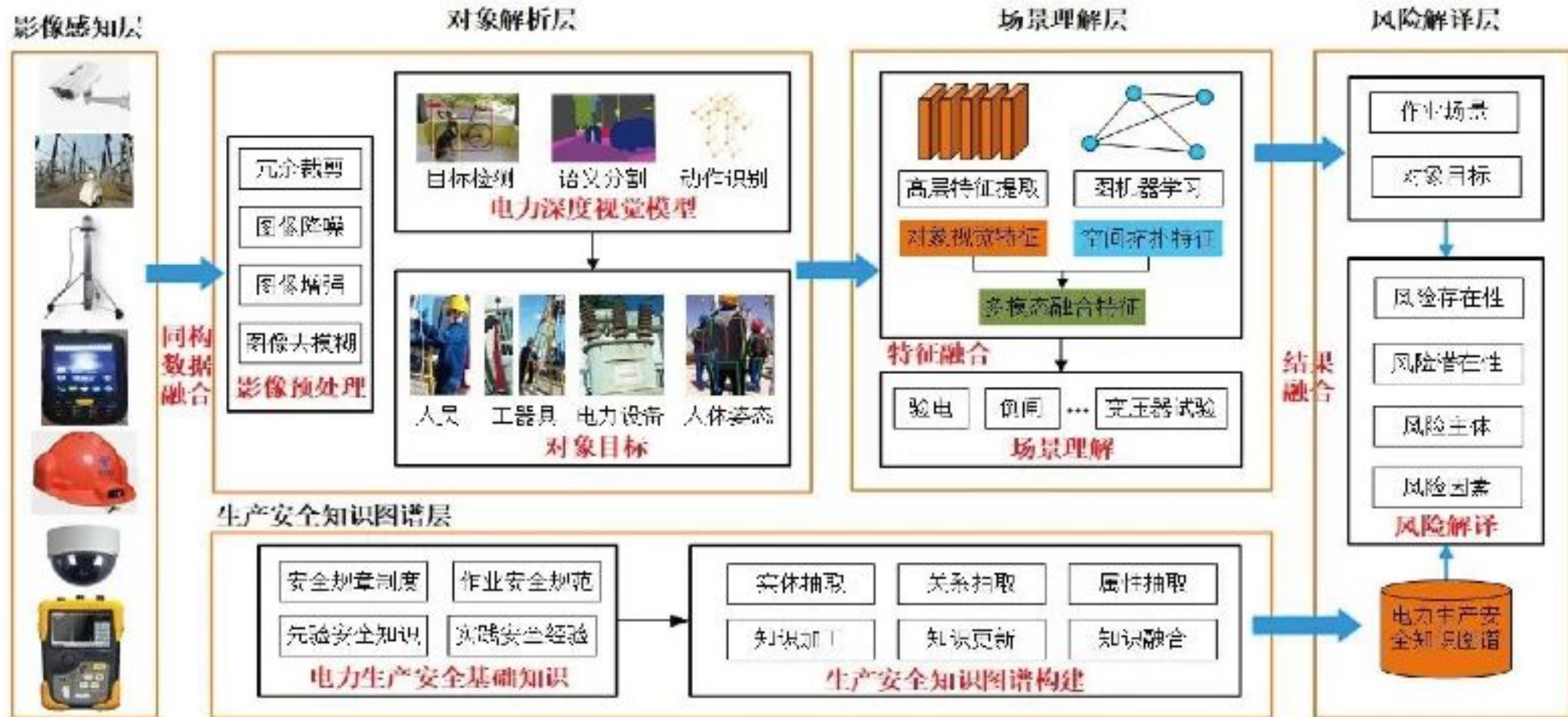
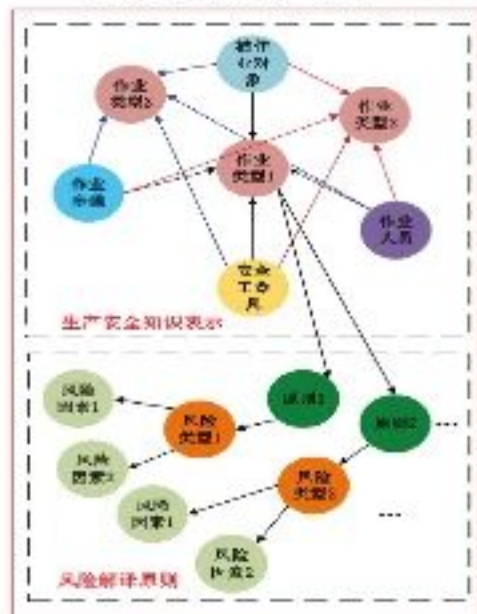


涉电安全行为隐患智能辨识

安全过程触电风险特点:

- ✓ 复杂多样性
- ✓ 场景依存性
- ✓ 多对象交互性
- ✓ 动态性
- ✓ 强瞬时性

风险知识表征技术



基于智慧认知的生产过程触电风险解译框架

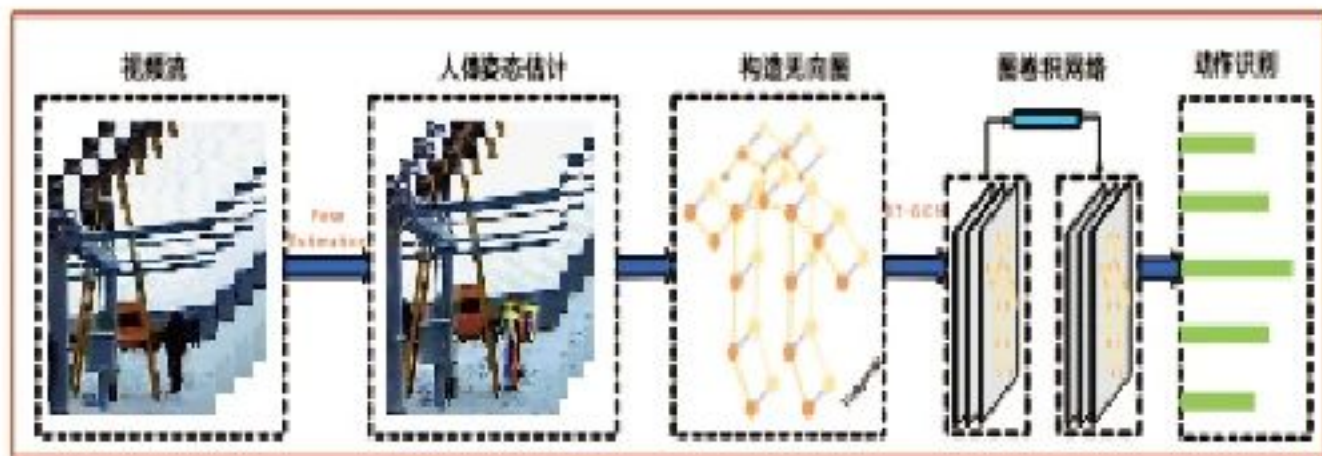
实现动态安全过程中触电风险的精细化判别及智慧化解译--认知

关键技术1--用户侧涉电人员平面化安全行为解译技术

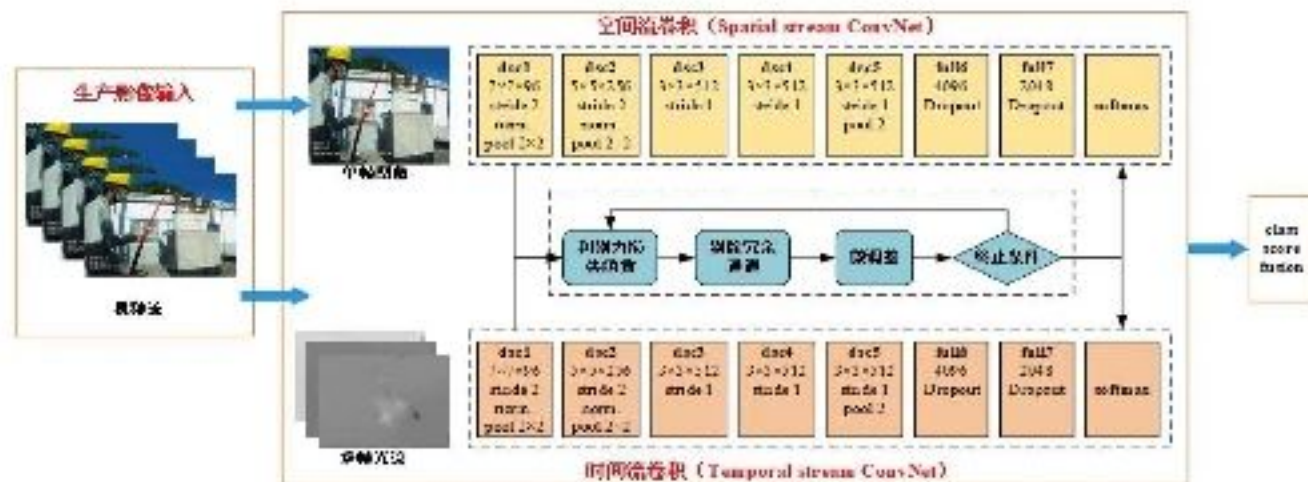


基于知识驱动的用户侧涉电人员触电风险解译--平面

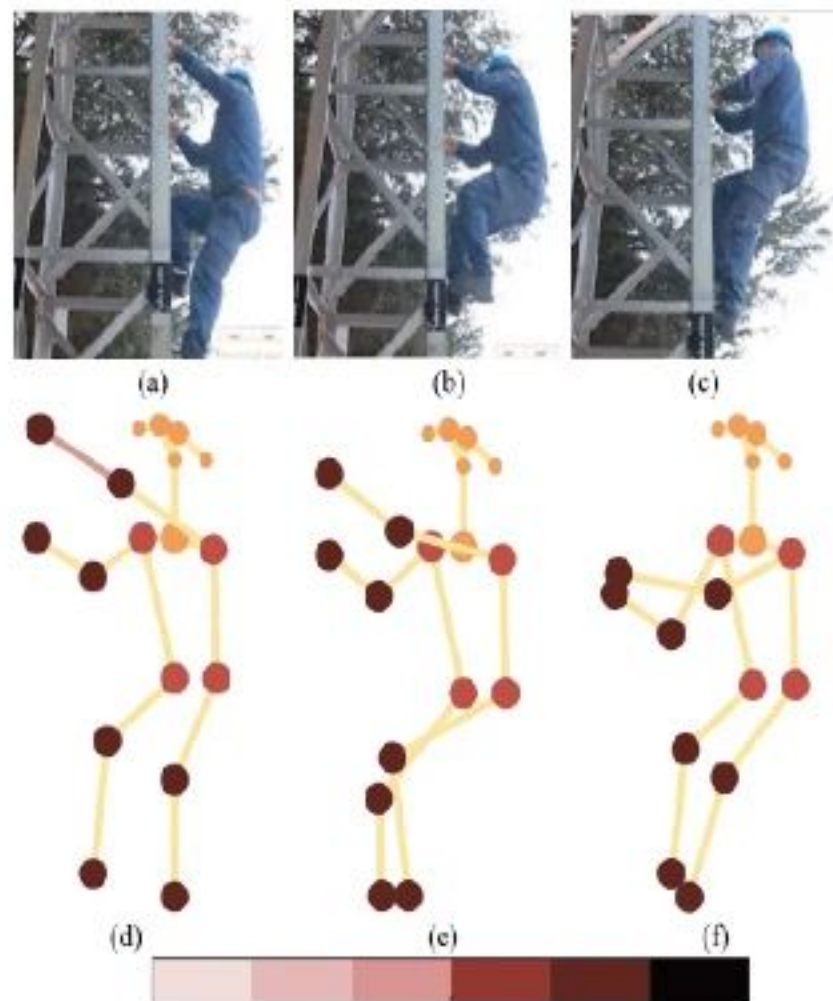
人员触电行为解析具体实现技术



基于图卷积神经网络的涉电动态动作解析方法



基于通道剪枝和轻量化双流卷积涉电动作识别架构



关键骨架点可视化展示

基于知识驱动的用户侧涉电公共安全风险解译--平面



基于知识驱动的用户侧安全风险隐患智能辨识--平面



施工机械告警



山火烟雾告警



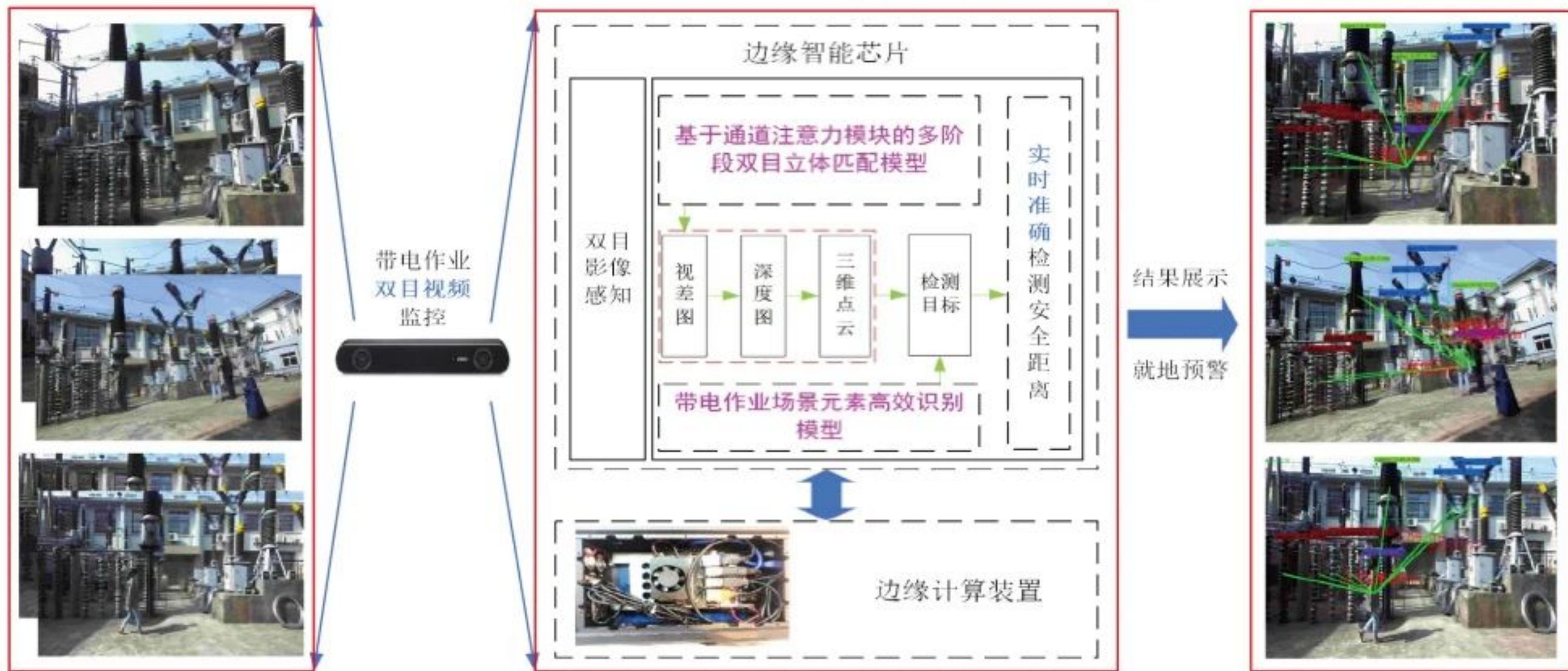
警示牌告警



异物侵入告警

基于双目立体匹配和场景元素识别的涉电安全距离检测-立体

融合通道注意力的作业人员近电安全距离轻量化检测模型





目录

CONTENT

一

研究背景及关键问题

二

配网侧安全—主动感知

三

设备本体安全—多物理场成像

四

用户侧安全风险—平面立体全息

五

结语

技术层面

电网风险

- ▶ 电力系统动态**稳定机理**发生变化;
- ▶ 大规模**分布式电源接入**风险;
- ▶ 受极端天气影响.....



设备风险

- ▶ **海上风电**的海底电缆、风机等;
- ▶ **沙戈荒大型风光电基地**的大规模、**海量设备**风险.....



人身风险

- ▶ 屋顶光伏, 家家都是“发电厂”, 存在**反送电**风险;
- ▶ **海上作业**风险.....



网络风险

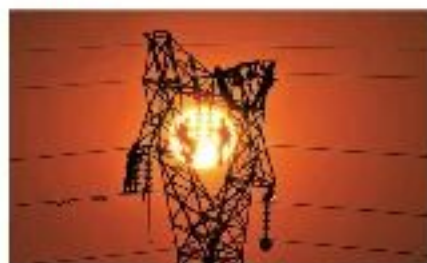
- ▶ 网络**暴露面**增大;
- ▶ 网络**安全边界防护**不足, 存在**失泄密**风险.....



管理层面

职业健康风险

- ▶ **沙戈荒、海上**等恶劣工作条件;
- ▶ **电化学储能**产生的有害气体.....



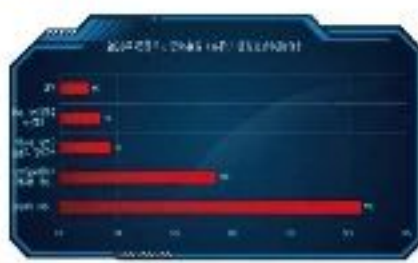
涉电公共安全风险

- ▶ 风光发电设备**质量良莠不齐**;
- ▶ **充电桩**使用不当引发火灾.....



其他重大社会影响

- ▶ **停电**引发的舆情;
- ▶ **政策宣讲**不充分引发的舆情.....



来源: 国家能源局电力安全监管司

新型并网主体涉网安全波及配微网风险、涉电公共安全风险、人身风险, 需要系统性安全共治。

- 新型并网主体接入配电网的数字化安全管控仍在起步阶段，对未来发展有以下几点思考和展望：

01-大安全分析格局

- 新型配用电系统大安全问题涉及多种电力风险主体，各个风险主体可能有电网本体、电力设备、人员和外力破坏等多方面诱因，且**风险主体**与**多元风险**诱因之间相互耦合，对电力系统中的安全问题分析应具有大安全格局，不应依据业务场景割裂进行风险判别。

02-跨模态感知手段

- 电力安全问题具有多元诱因，不同风险诱因具有不同的数据源和数据特征，且单一风险诱因特征的风险判别驱动力有限，研究面向电力系统多元风险诱因的**跨模态数据特征融合方法**是实现电力**安全风险综合研判**的关键。

03-人机混合增强智能风险认知

- 由于人类面临的许多问题具有不确定性、脆弱性和开放性，任何智能程度的机器都无法完全取代人类，且电力工业生产具有高危险特性，因此智能安全风险识别方法将在很长一段时间作为风险管控的辅助手段，基于人机协同混合增强智能的生产安全风险管控技术将会是进一步的研究重点。



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

请各位专家批评指正!

电话: 15972976215

邮箱: whwdwb@whu.edu.cn