西安理工大学
XI'AN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

# 新型配电网生产作业安全数字化防控技术及智能装备

马富齐

2023.11

2023年配电网绿色发展西部论坛
Western Forum on Green Development of Distribution Network

# 团队介绍

电力数字化安全课题组长期从事于输配用电安全隐患辨识、电力深度视觉、智能巡检及安全影像解译等方面研究，主持或参与相关领域国家重点研发计划项目、国家自然基金、省部级重点项目、国网/南网总部指南项目20余项，发表相关EI/SCI论文50余篇，申请发明专利20余项，创新性提出平面-立体-全息的数字化安全防控技术体系，研究成果荣获国际日内瓦发明金奖、中国发明协会创新成果奖二等奖等奖励。

从平面-立体-全息的数字化安全防控技术体系

# 目录

CONTENT


一 研究背景

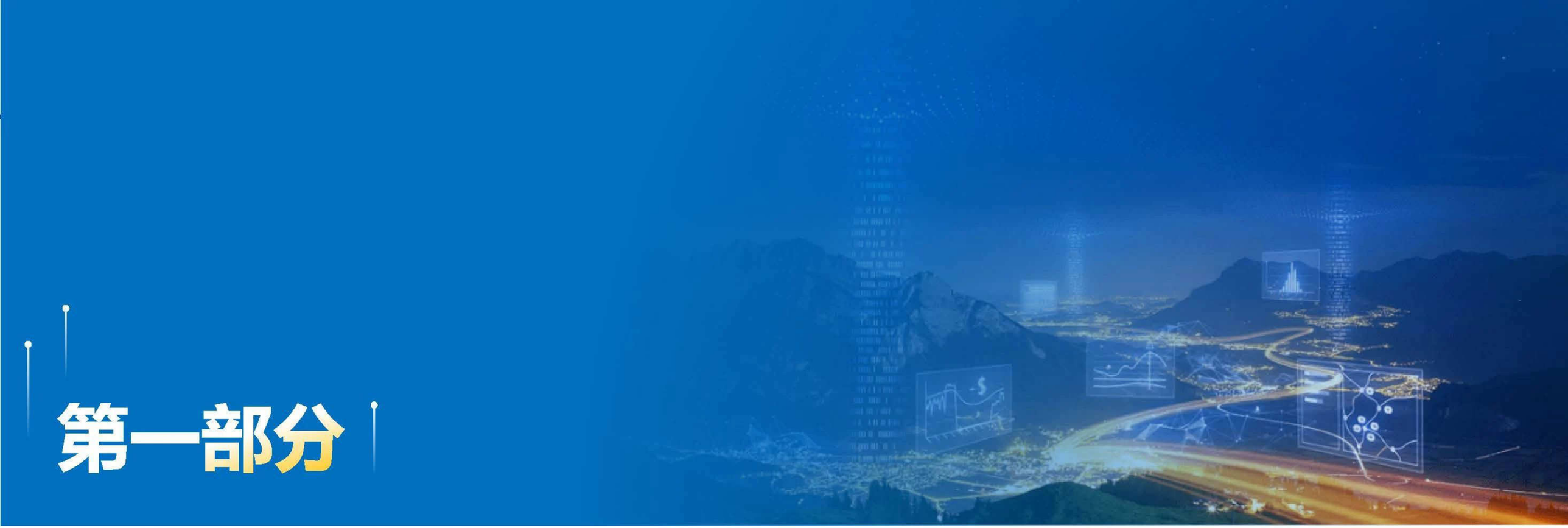
二 数字化安全防控技术-平面

三 数字化安全防控技术-立体

四 数字化安全防控技术-全息

五 数字化安全防控-智能装备

六 结语



# 第一部分

# 研究背景

# 研究背景

■ 习近平总书记指出：要做好新时代国家安全工作，以系统思维构建大安全格局，以人民安全是国家安全的宗旨，坚持把防范化解国家安全风险摆在突出位置

**新型电力系统安全可归纳为：**

- 电网安全（电网故障或自然灾害）
- 生产安全（人身安全或作业安全）
- 信息安全（网络安全或信息安全）

# 研究背景

■ 配电网安全生产通常面临高电压、强电流等危险环境，由于生产现场人员**安全意识淡薄、作业过程不规范、安全管控措施不到位**等因素导致作业事故频繁发生，严重威胁现场工作人员生命安全。

2017-2022 年电力安全事故统计

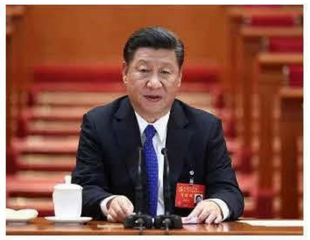
- 2010年西安供电局8.15事故
- 2013年宁德供电局3.7事故
- 2017年安溪供电局6.7事故
- 2020湖南7.2事故
- 2020年桂林供电局“9.21”配网作业人身触电受伤事故

电力领域生产安全事故案例

根据国家能源局公开数据，2017-2022 年共发生278起电力事故，平均每起电力事故死亡 1.554 人，具有**事故发生频率高、危害大**的特点。

**电力安全事故的发生，会对国家和社会造成不良的影响，且会对电力企业造成巨大的经济损失和负面影响！**

# 研究背景—国家政策



国家能源局文件

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

十九大报告提出“树立安全发展理念，弘扬生命至上、安全第一的思想”以及构建“安全高效的能源体系”发展目标。

2018年，国家能源局印发《电力安全生产行动计划（2018-2020年）》
2020年，国家能源局发布《关于印发2020年电力安全监管重点任务的通知》
2020年，中国国务院安委会推出《全国安全生产专项整治三年行动计划》

国家电网有限公司 STATE GRID CORPORATION OF CHINA

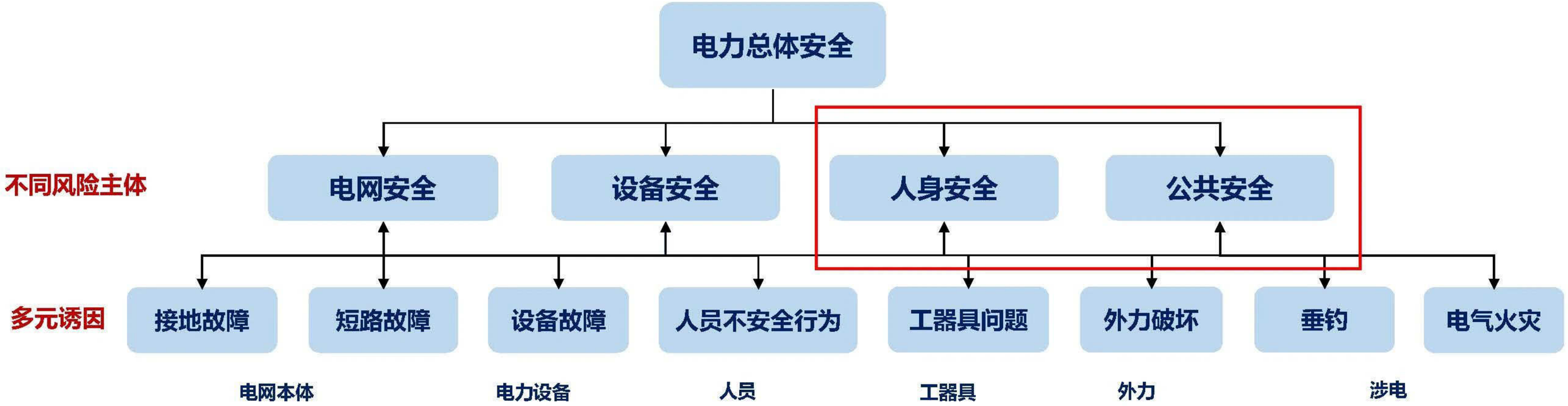
2016年推出《国家电网公司生产作业安全管控标准化工作规范（试行）》
2017年，国家电网推出《国家电网公司关于强化本质安全的决定》
2018年，南方电网公司推出《南方电网公司关于推进本质安全型企业建设的指导意见》

中国南方电网 CHINA SOUTHERN POWER GRID

**由此可见，提高电力系统本质安全水平是国家和电力企业的迫切需求**

# 研究背景—安全防护需要体系化思考

■ 以触电为例，触电诱因可能有接地等电网内在故障、作业人员的不安全行为、设备不安全状态等因素，也可能有电气火灾、不注意带电警示牌、安全距离不够等因素—**风险主体多、风险诱因多。**




对安全主体的分析不应依据业务进行割裂判断，应从非接触式方式为主要手段，进而“感知”多元诱因数据状态，“解析”关键诱因特征，“表征”安全风险知识，“认知”安全风险属性 -- **系统化、体系化进行安全管控。**

# 研究背景—安全难在哪

## 1. 配电网生产领域人力防护方法--人防

主要是通过**人员**、**组织**和**管理机构**等人工方式对电力生产过程进行监督和管理，以保障生产现场人员及设备的安全，即为电力领域的人防。

电力领域的人防

- 虽然现场安全监督办法较为完善，但主要依靠人工进行安全管理规定的执行落实
- 个人在安全管理规定知识水平及负责任程度具有较大差异

**电力生产领域人力防护方法是电力生产现场最基础的安全防护手段，生产安全风险防护的基本屏障。**

# 研究背景—安全很难防

## 2. 电力生产领域实体防护方法--物防

通过**工器具**、**安全设施**等**实体工具**对电力生产过程进行安全风险防护，主要起到保护或隔绝安全危险源对人员或设备的伤害，从而阻止或延迟生产安全事故的发生，即为电力领域的“物防”。

电力领域的传统实体防护工具

安全帽

工作服

安全围栏

绝缘手套

线手套

绝缘梯

- 依据不同的生产作业类型配置等多种安全防护设施
- 通过安全管理规定对作业过程中人员着装和安全工器具使用等进行严格的要求及规范

**电力生产领域传统实体防护方法是保障作业过程人员安全的基本工具，其使用规范在电力生产作业过程有严格要求。**

# 研究背景—安全很难防

## 2. 电力生产领域实体防护方法--物防

随着电力物联网和数字电网的提出与发展，电力生产领域中涌现多种**新型实体防护装置**，为生产现场作业过程监督及防控提供更多样的实体防护手段。

电力领域的新型实体防护装置

视频监控

布控球

执法仪

智慧安全帽

电子手环

UWB设备

- 主要以摄像头、高性能传感器等新型信息采集设备为基础
- 对生产过程人员外在行为状态、内在生命特征和工器具使用情况等进行远程监控与记录

**新型实体防护方法是人力防护的延伸，为管理人员的安全监督提供信息化、可视化的高效管理工具。**

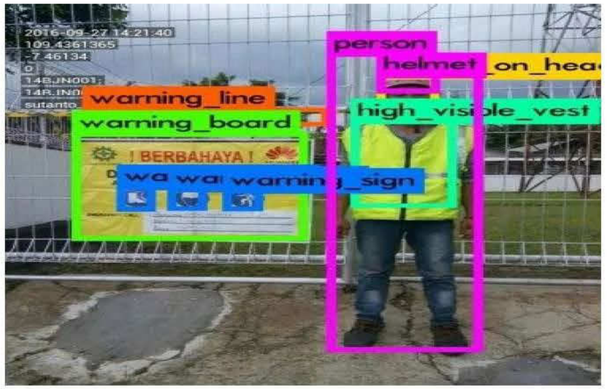
# 研究背景—安全很难防

## 3.技防--基于图像处理的生产风险防护方法

以新型实体防护装置感知作业影像为基础，然后利用**图像分割**、**目标检测**等视觉处理方法在服务器端对监控影像进行智能化分析，识别监控影像中人员安全着装佩戴及安全设施布置状态，并对人员未佩戴安全帽、未穿工作服等典型生产作业违章风险进行告警。**为提高生产现场安全督查效率、解放生产力提供一种技术思路。**

身份鉴定（人脸识别）

安全**防护措施**检测
（目标检测）




安全帽检测
（语义分割）

**语音或声光风险告警**

**总体而言：相关研究主要围绕图像分辨率低、镜头被遮挡等图像问题，对目标检测或动作识别方法进行优化或适配性应用，尚未满足实际生产需求。**

# 研究背景—难在哪?

■ 实际电力生产作业过程是一个涉及**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，安全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，导致电力生产安全风险呈现出**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—生产风险都是在瞬时发生的**

**（4）距离强相关—生产风险与安全距离强相关**

**（5）复杂多样性—风险类型多样、风险诱因多样**

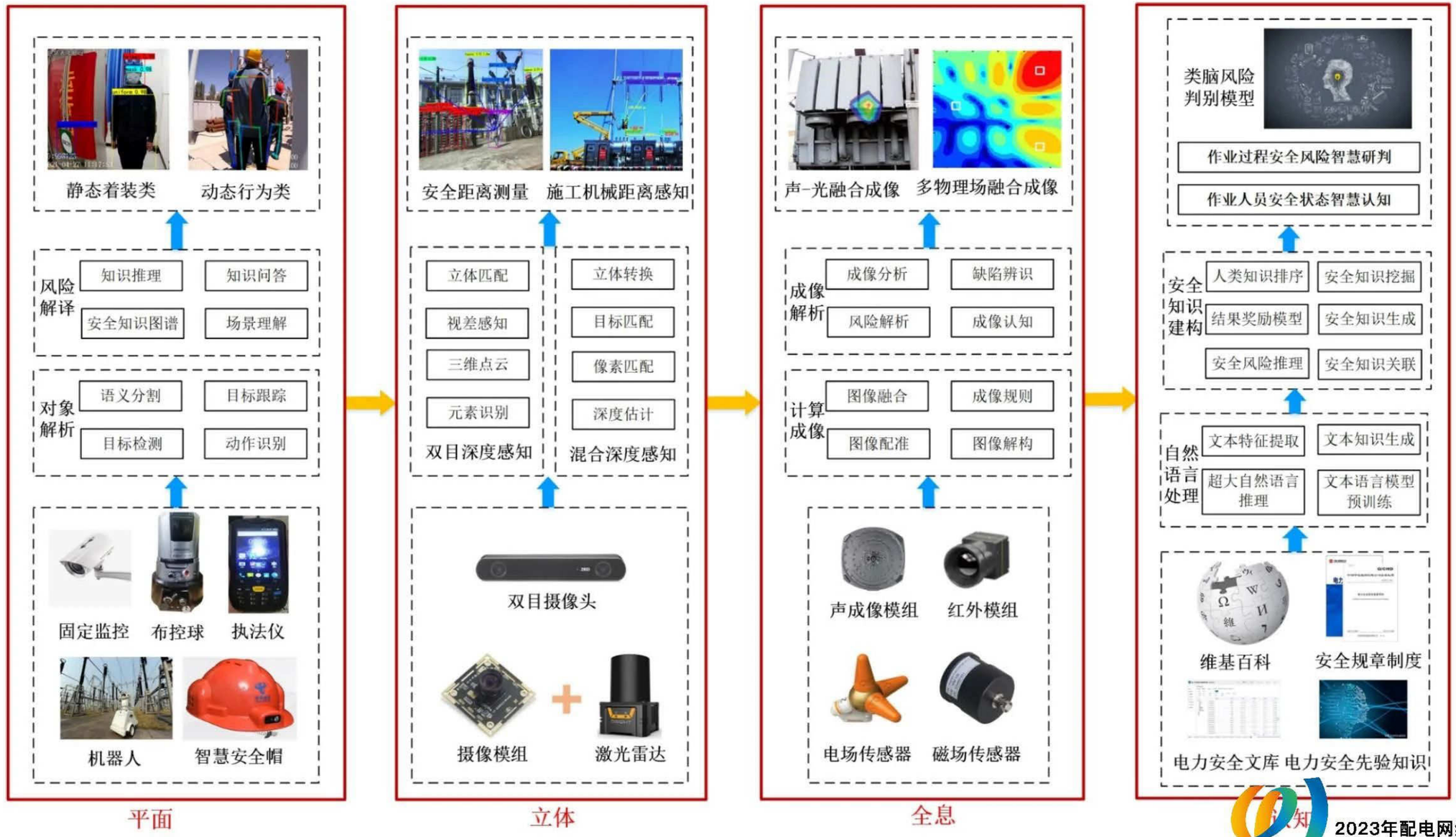
**验电作业时，未戴绝缘手套**

**作业时，作业人员和带电体过近**

**关键问题：如何在电力生产人-机-物复杂环境下全过程风险辨识与防控?**

# 研究思路—数字化安全管控

构建平面-立体-全息的体系化安全风险防护技术架



# 第二部分

# 数字化安全防控技术-平面

# 数字化安全防控技术-平面化安全行为解译

## 基本内涵

**平面数字化防控技术：**以固定视频监控、布控球、执法仪、机器人和智慧安全帽等作业现场新型安全风险防护工具为基础，采集生产作业过程安全风险的**平面影像**，借助视觉影像处理方法进行生产现场安全风险的智能辨识，并对识别出的安全风险进行及时告警，从而避免生产安全事故的发生。

**平面影像感知终端**

**视觉处理**

| 着装风险识别 | 安全标识牌识别 | 动态违章动作 |
|---|---|---|
| 安全帽识别 | 标识牌字符识别 | 登高作业识别 |
| 安全手套识别 | 标识牌缺失识别 | 倒闸作业判别 |
| 工作服识别 | 标识牌外观异常识别 | 作业现场打电话 |
| 工作服识别 | 误入带电间隔检测 | 关键作业节点分割 |
| 安全带识别 | | 翻越电子围栏 |

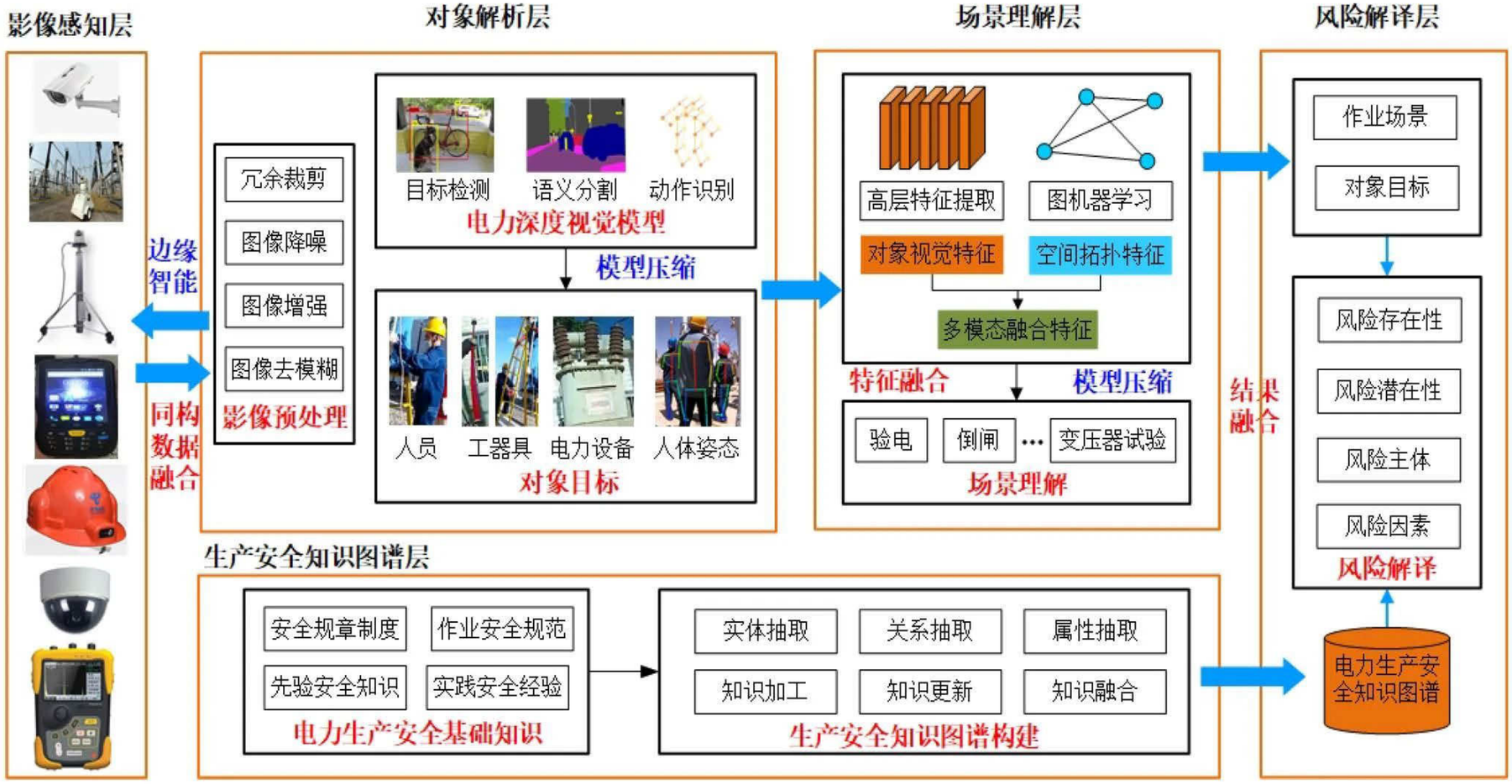
**常见可视化违章风险（以代替人为导向）**

参考文献：马富齐,王波,董旭柱,姚良忠,王红霞.电力工业安全影像解译：基本概念与技术框架[].中国电机工程学报

# 数字化安全防控技术-平面化安全行为解译

## 技术框架

■ 提出了基于知识驱动的安全影像智慧解译方法，实现了对生产过程中静态风险元素目标、人员动态违章行为和复杂生产场景等险诱因的智能识别及风险认知，基于此研发了全过程可视化生产安全智慧管控系统，实现对作业前中后生产安全风险的高精度辨识。




**效果**

可辨识风险类型*20种*，风险辨识精度*95%*，产品性能指标**领先**于同类产品，有效解决了绕人-机-物多元交互生产过程的安全影像解译难题。

参考文献：马富齐,王波,董旭柱,姚良忠,王红霞.电力工业安全影像解译：基本概念与技术框架[J].中国电机工程学报

# 数字化安全防控技术-平面化安全行为解译

## 生产作业风险元素（静态）

**关键问题1：形态特征相似安全防护工具风险元素（机或物）的精细化识别问题**

**电力生产现场存在大量形态相似目标：**

- 绝缘手套、线手套和手
- 接地线与验电杆
- 木梯子和绝缘梯

**形态相似性、尺寸相当，差异性体现在材质或纹理方面**

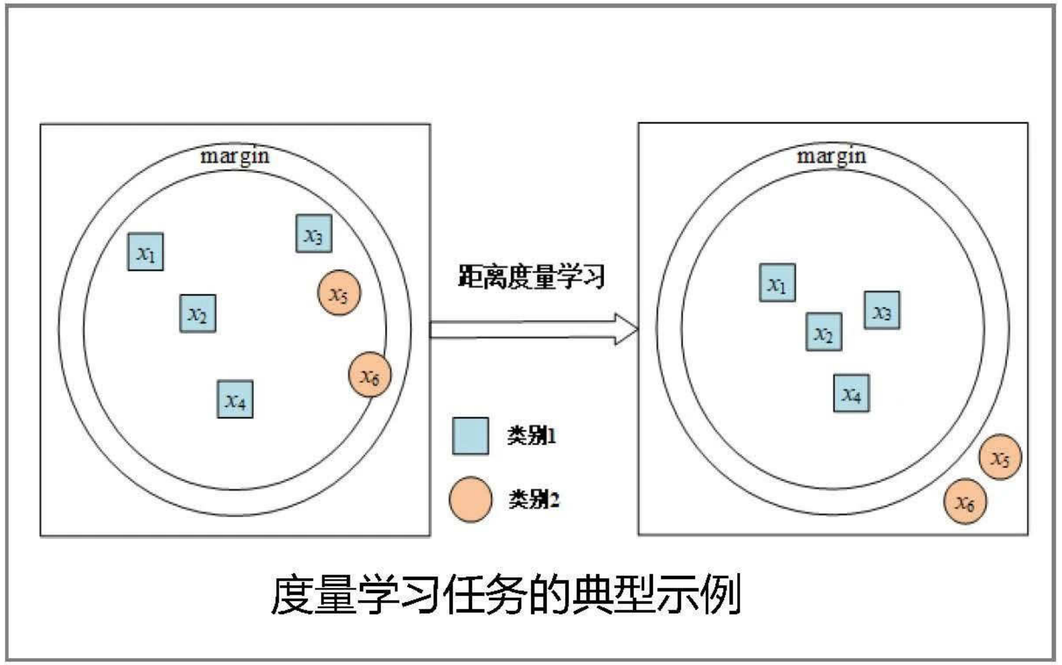
**如何差异化表征形态电力生产影像中相似元素目标的视觉特征，捕捉或放大相似目标的细微视觉特征差异性，实现对电力生产中静态风险元素目标的精细化识别是需要解决的关键问题。**

# 数字化安全防控技术-平面化安全行为解译

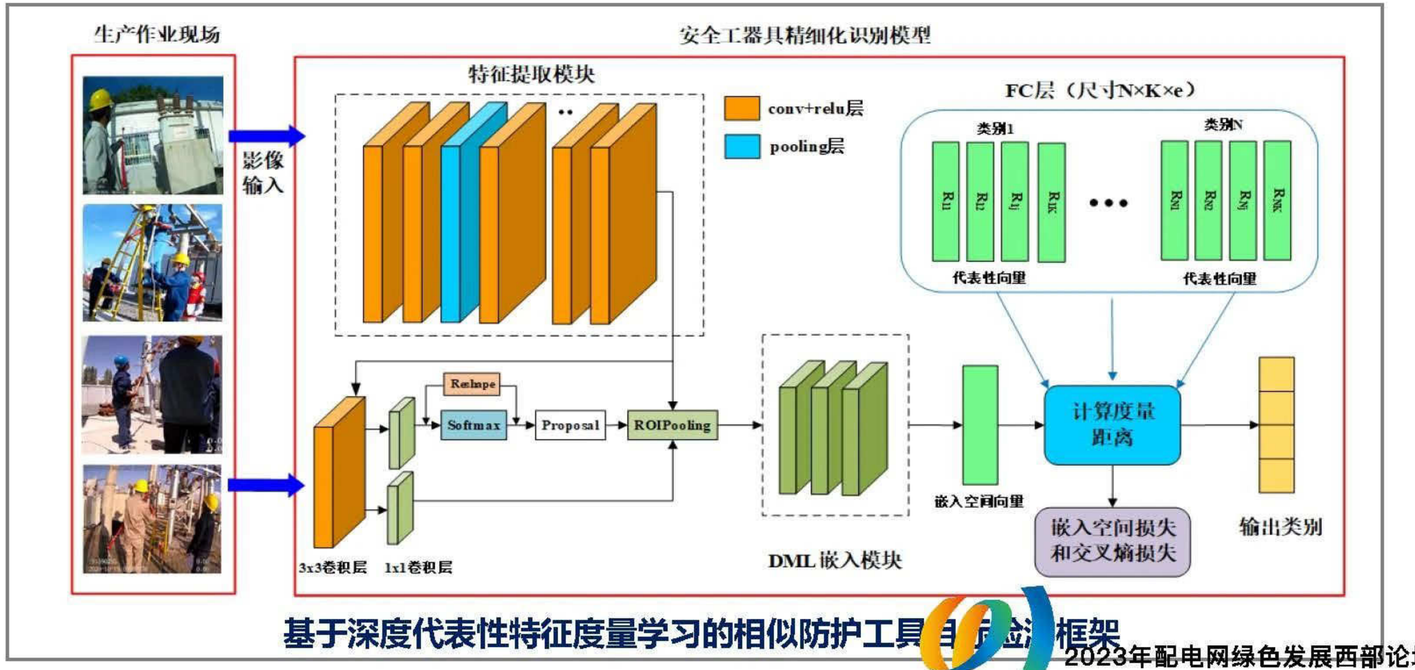
## 生产作业风险元素（静态）

**关键突破1：基于细粒度目标检测的静态安全防护工具精细化识别方法**

■ **提出一种基于深度代表性度量学习的高度相似防护工具智能检测方法。**将目标类别特征学习转换为以差异化表达不同目标特征距离为目的的嵌入式空间特征学习，学习得到表征不同目标的深度代表性特征向量，通过计算未知目标与代表性特征向量的距离进行类别判断，从而实现对形态高度相似实体防护工具的高精度辨识，以提高电力生产安全风险解译的精细化水平。




度量学习任务的典型示例




基于深度代表性特征度量学习的相似防护工具[illegible]检测框架

参考文献：马富齐，王波，董旭柱，冯磊，贾嵘. 面向电力生产精细化风险解译的高度相似防护工具智能检测技术研究[J/OL]. 中国电机工程学报.

# 数字化安全防控技术-平面化安全行为解译

## 生产作业风险元素（静态）

**关键突破1：基于细粒度目标检测的静态安全防护工具精细化识别方法**

不同模态数取值对模型性能影响分析

| 目标类型 | 不同模态值对应的模型平均精度AP（%） | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 3 | 4 | 5 | **6** | 7 |
| 绝缘手套 | 84.28 | 85.05 | 82.99 | **85.05** | 85.05 |
| 线手套 | 83.09 | 83.81 | 82.91 | **84.17** | 83.63 |
| 手 | 83.26 | 84.52 | 83.68 | **84.80** | 84.52 |
| 验电杆 | 76.17 | 82.21 | **83.56** | 82.21 | 80.54 |
| 接地线 | 85.37 | 86.59 | **88.41** | 88.41 | 87.80 |
| 绝缘梯 | 90.54 | 90.03 | **91.05** | 90.03 | 90.28 |
| 木梯子 | **91.67** | 90.00 | 90.00 | 90.00 | 86.67 |
| mAP | 84.91 | 86.03 | 86.09 | **86.38** | 85.50 |

(a)采集的原始图像

(b)YOLOv4的识别结果

漏判

(c)Faster RCNN的识别结果

漏判

(d) 所提方法识别结果

**结论**

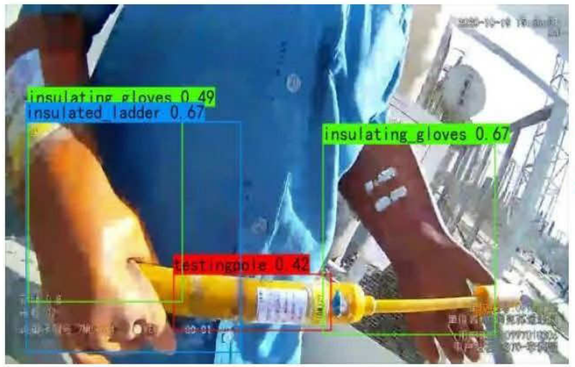
- 表征各个目标类别代表性特征向量的**模态中心数 K** 的对模型的精度性能有一定影响
- 随着模态中心数 K 的不断增大，模型对于各个类别的平均精度均值经历了**先升高再降低**的过程，当模态中心数 **K 值等于 6** 时，模型的平均精度均值达到最大值86.38%。

# 数字化安全防控技术-平面化安全行为解译

## 生产作业风险元素（静态）

**关键突破1：基于细粒度目标检测的静态安全防护工具精细化识别方法**

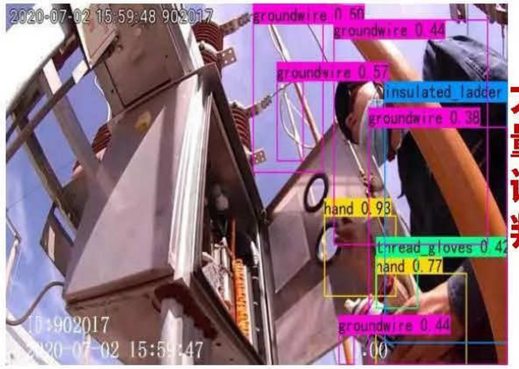
(a)采集的原始图像




(b)YOLOv4的识别结果

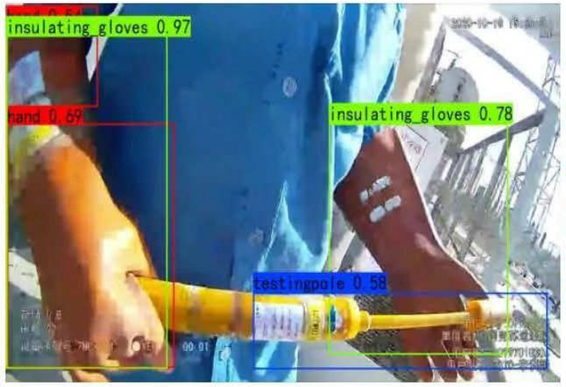
误判

(a)采集的原始图像




(b)YOLOv4的识别结果

大量误判




(c)Faster RCNN的识别结果

误判及多标签

(d) 所提方法识别结果

(c)Faster RCNN的识别结果

漏判

(d) 所提方法识别结果

**与常见目标检测模型的对比—验电杆和绝缘杆检测结果对比**

# 数字化安全防控技术-平面化安全行为解译

## 生产作业风险元素（动态）

**关键问题2：特征随机变化的人员违章动作风险因素（人）高精度辨识问题**

(a)违章行为起始阶段

(b)违章行为中间阶段

**动态违章行为特点：**

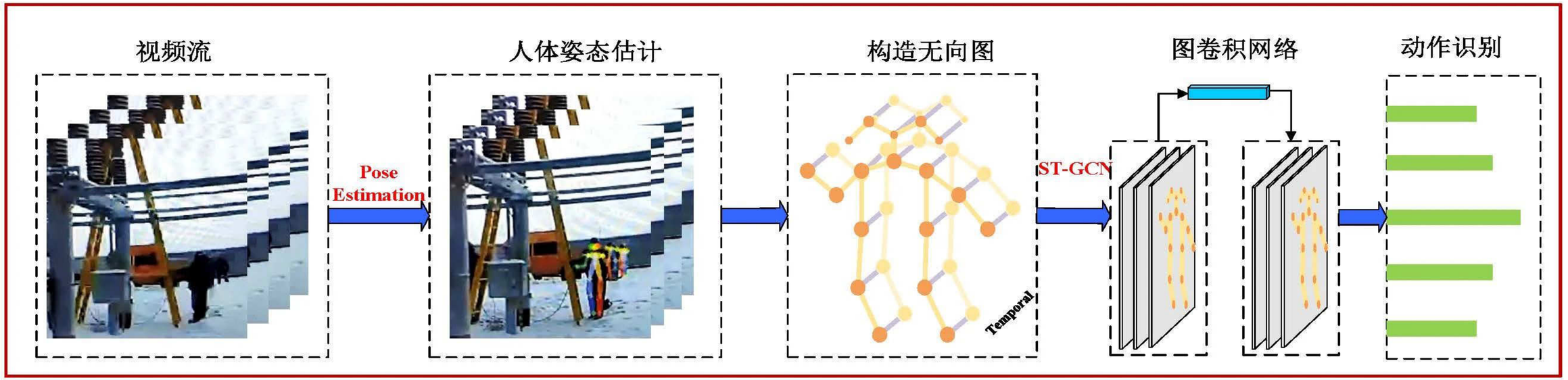
- 时间动态性
- 空间随机性
- 局部关联性

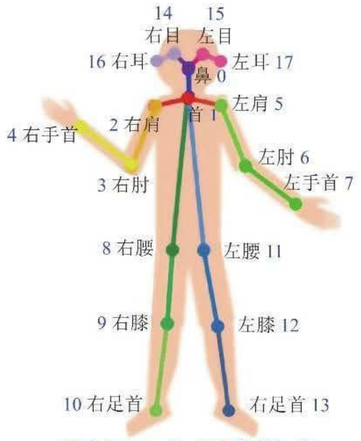
因此，如何提取和表达电力生产影像中作业过程人体姿态的**随机时空特征变化**，捕捉**关键人体部位的区辨特征信息**是实现动态违章行为高精度识别的关键。

# 数字化安全防控技术-平面化安全行为解译

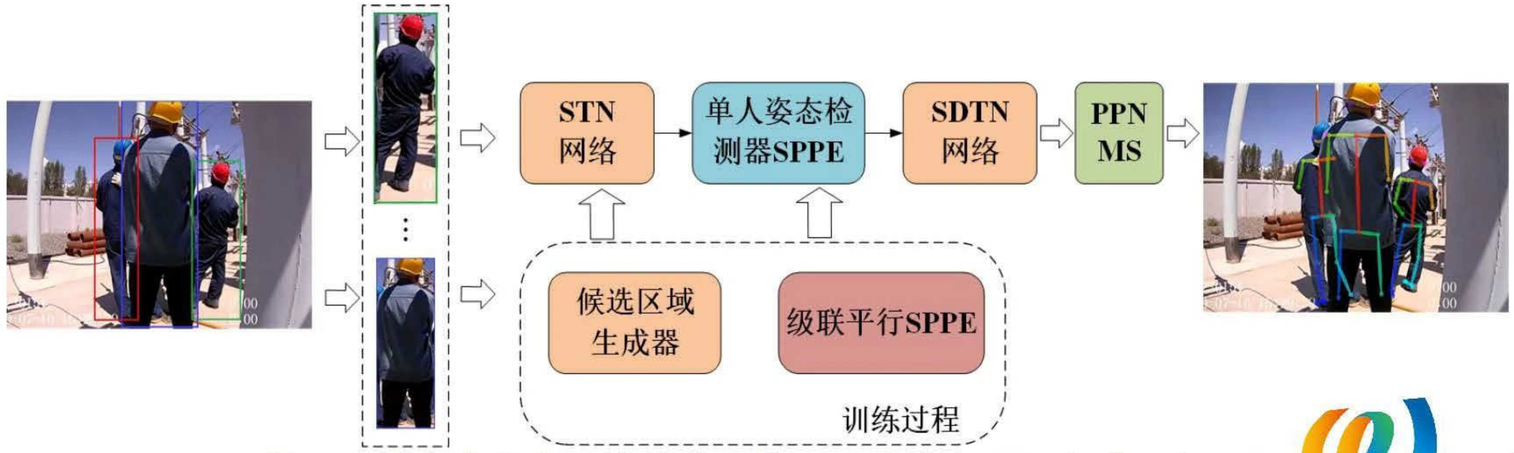
## 生产作业风险元素（动态）

**关键突破2：基于时空图卷积和骨骼节点注意模块的动态违章行为识别方法**




人体18个骨骼节点



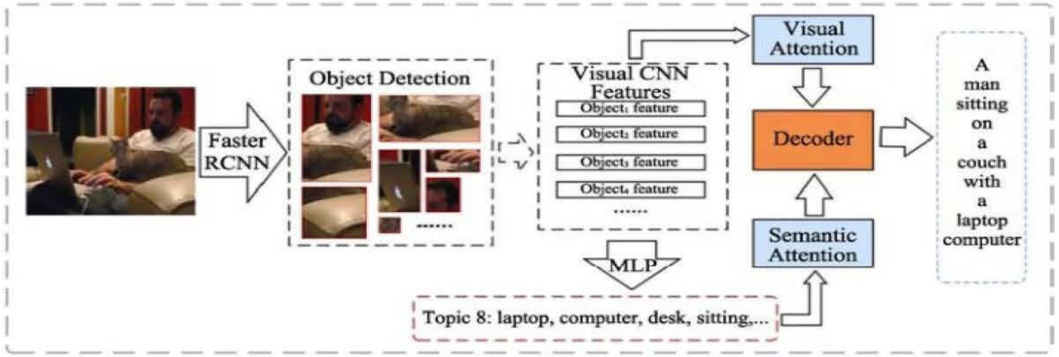

基于区域多人姿态估计的作业人员骨骼信息提取方法（自顶而下）

# 数字化安全防控技术-平面化安全行为解译

## 生产作业风险元素（多元交互）

**关键问题3：具有多元交互特征的作业场景风险因素（人-机-物）复杂理解问题**

场景理解最早是来源于计算机视觉领域的概念，在传统概念中场景理解既包括**目标检测**、**语义分割**等低层图像处理任务，也包括**图像描述**（IC）、**视觉问答**（VQA）等高层图像处理任务。




**计算机视觉领域场景理解（图像描述）**

（机器视觉技术和自然语言处理等多个领域相融合的热点问题）

（a）验电作业时，人员未佩戴绝缘手套（**验电作业场景**）

（b）变压器试验时，有人员在试验设备附近（**变压器试验场景**）

**一个人拿着验电杆朝向电力设备**

**一人朝向变压器，另一人坐在变压器上**

图像描述

**验电作业场景** → **任务需求更高阶** ← **变压器试验作业场景**

**电力场景理解需求**

# 数字化安全防控技术-平面化安全行为解译

## 生产作业风险元素（多元交互）

**关键问题3：具有多元交互特征的作业场景风险因素（人-机-物）复杂理解问题**

电力场景视觉特点——以验电作业场景为例

（a）正常验电作业场景

（b）安全工器具部分被遮挡

（c）工器具完全被遮挡

（d）与验电作业场景相似作业画面

### 作业场景理解难点

- 如何精准表征场景元素间交互关系？
- 如何充分利用目标间视觉交互特征？

# 第三部分

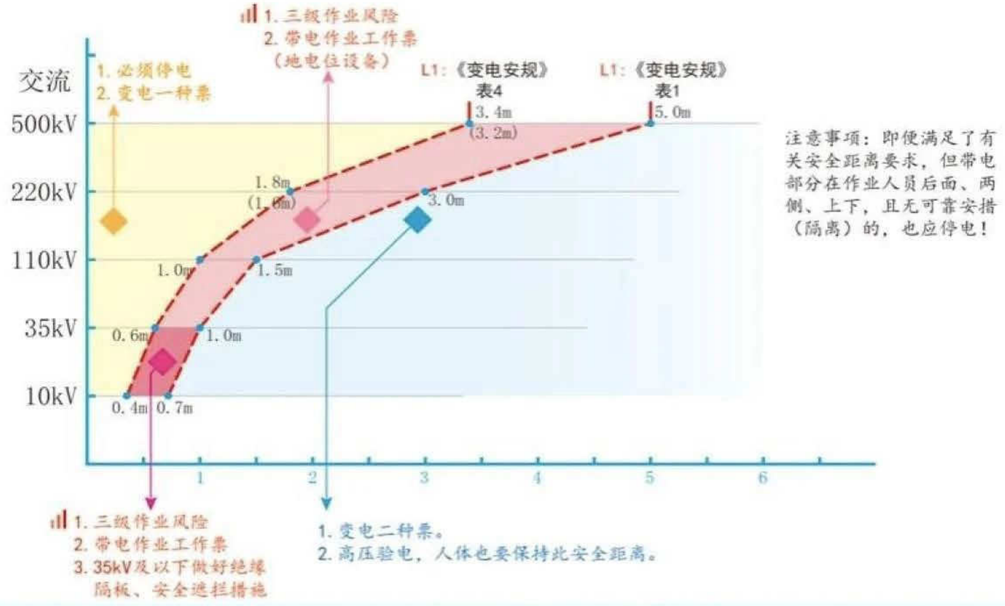
# 数字化安全防控技术-立体

# 数字化安全防控技术-立体化安全距离

电力系统具有高电压、强电流等特点，**安全距离**作为近电作业风险防护的重要指标，对保障电力设备安全运行及作业人员生命安全至关重要。如何进行**作业人员**或**施工机械**与**带电设备**的安全距离精准测量与智能感知是迫切解决的关键问题。

## 变电作业·人身近电安全距离（含工具材料）

适用范围：变电近电作业

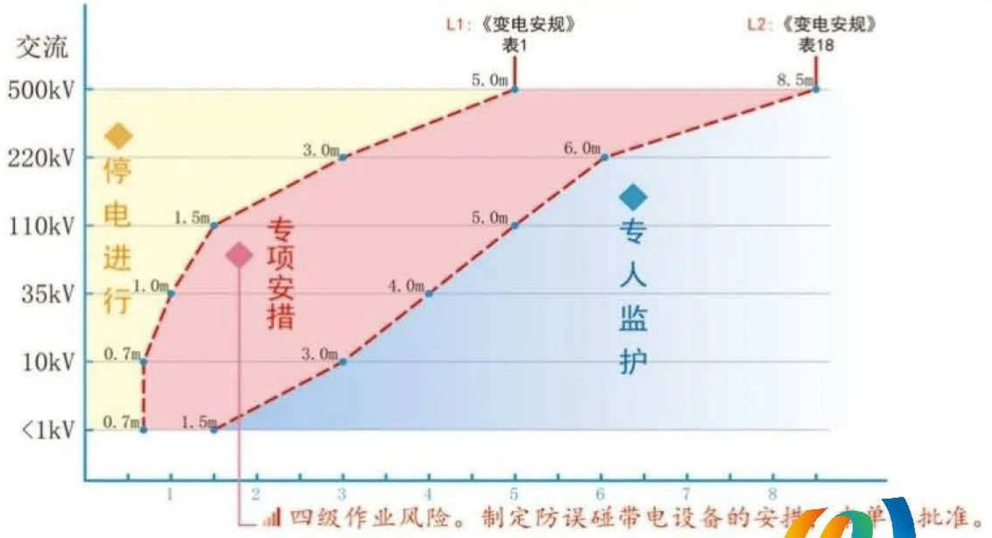



国网荆州供电公司安监部　编制

## 变电作业·起重设备近电安全距离

适用范围：起重机臂架、吊具、辅具、钢丝绳及吊物等近电作业

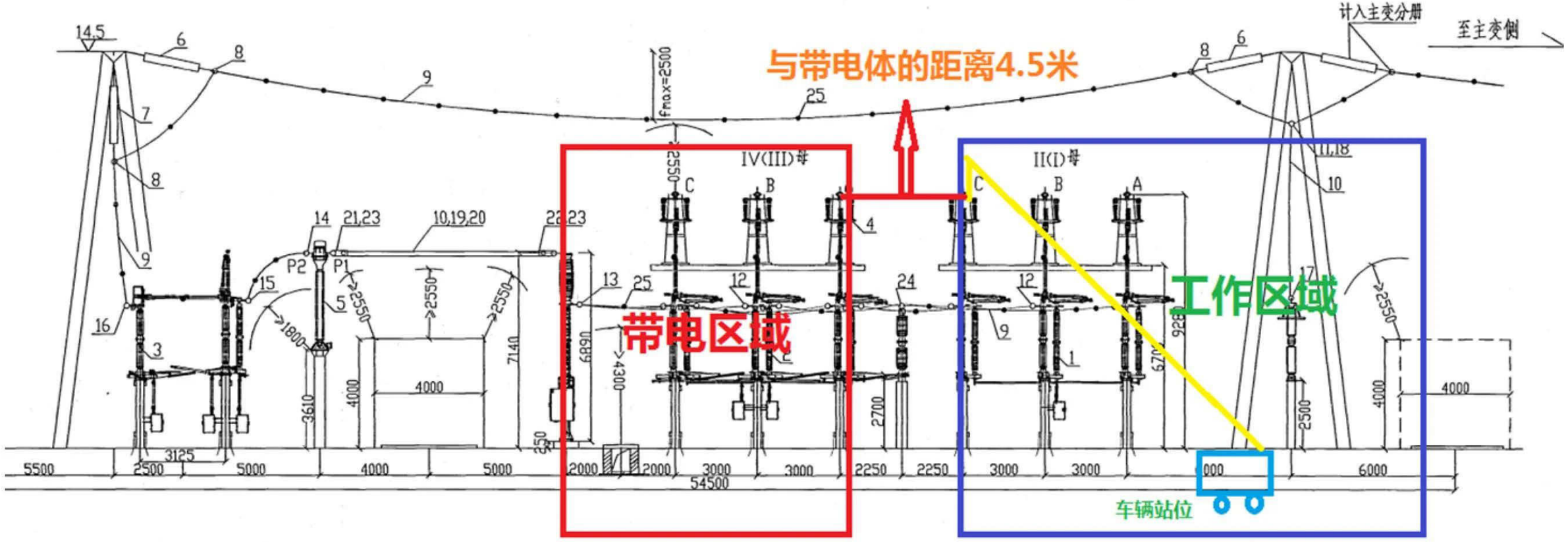
注意事项：1. 起重设备长期、频繁靠近架空线或带电体时，采取隔离措施；
2. 带电设备区，起重设备可靠接地（多股软铜线，截面不小于16mm²）




国网荆州供电公司安监部　编制

# 数字化安全防控技术-立体化安全距离

◆ 嶝岈变电站--220kV带电间隔情况

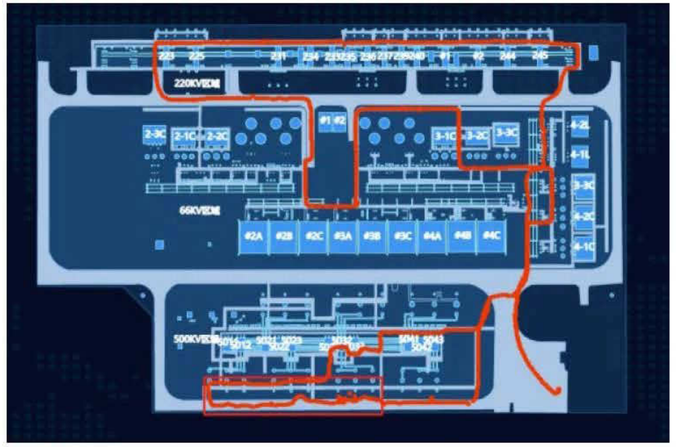


# 数字化安全防控技术-立体化安全距离

## 北斗差分

### 产品概述

基于GNSS差分定位技术构建人员北斗定位安全帽，定位精度分米级，响应秒级。可拆卸设计、内置数据通讯模块和语音告警模块，实时推送定位信息、接收违章信息并语音告警。同时可扩展补光灯、语音对讲等功能。通过北斗定位功能可实现人员实时轨迹定位及事后溯源、误入间隔告警、防触电预警、负责人不在现场告警、非法闯入电子围栏告警等多个应用场景功能。



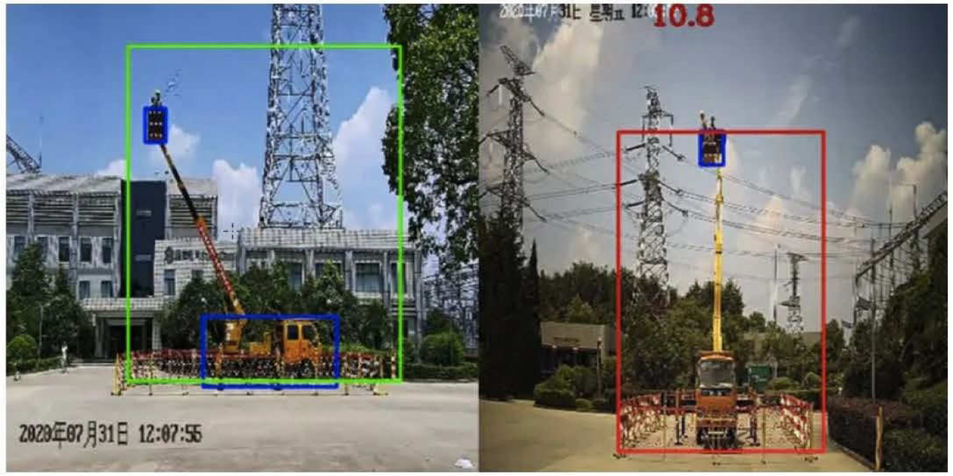
### 技术特点

- 抗电磁干扰设计，可用于变电站内或作业现场
- 定位精度分米级，响应秒级。同等精度产品行业领先
- 误入间隔、防触电预警实时语音告警
- 可拆卸设计、内置通讯模块，数据定向发送接收
- 实时跟踪人员轨迹，事前预警、事后可追溯

# 数字化安全防控技术-立体化安全距离

## 基于多摄像头联动的人员安全距离判别

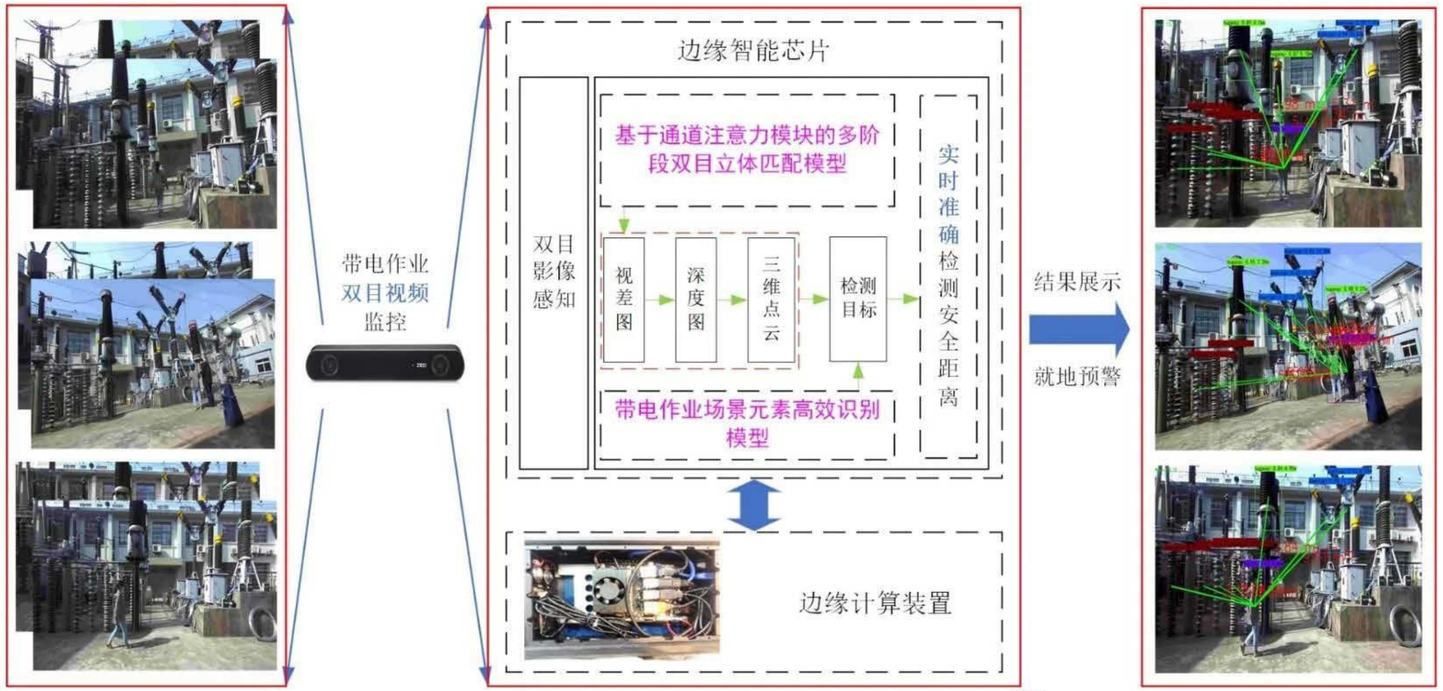
- 斗臂车、塔吊等特殊工器具、电子围栏需要安全距离
- 带电设备需要安全距离
- 从平面图中“认知”大概距离
- 长距离（>40米）双目或点云数据匹配



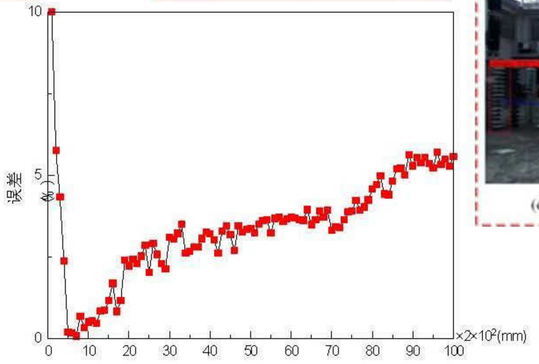
# 数字化安全防控技术-立体化安全距离

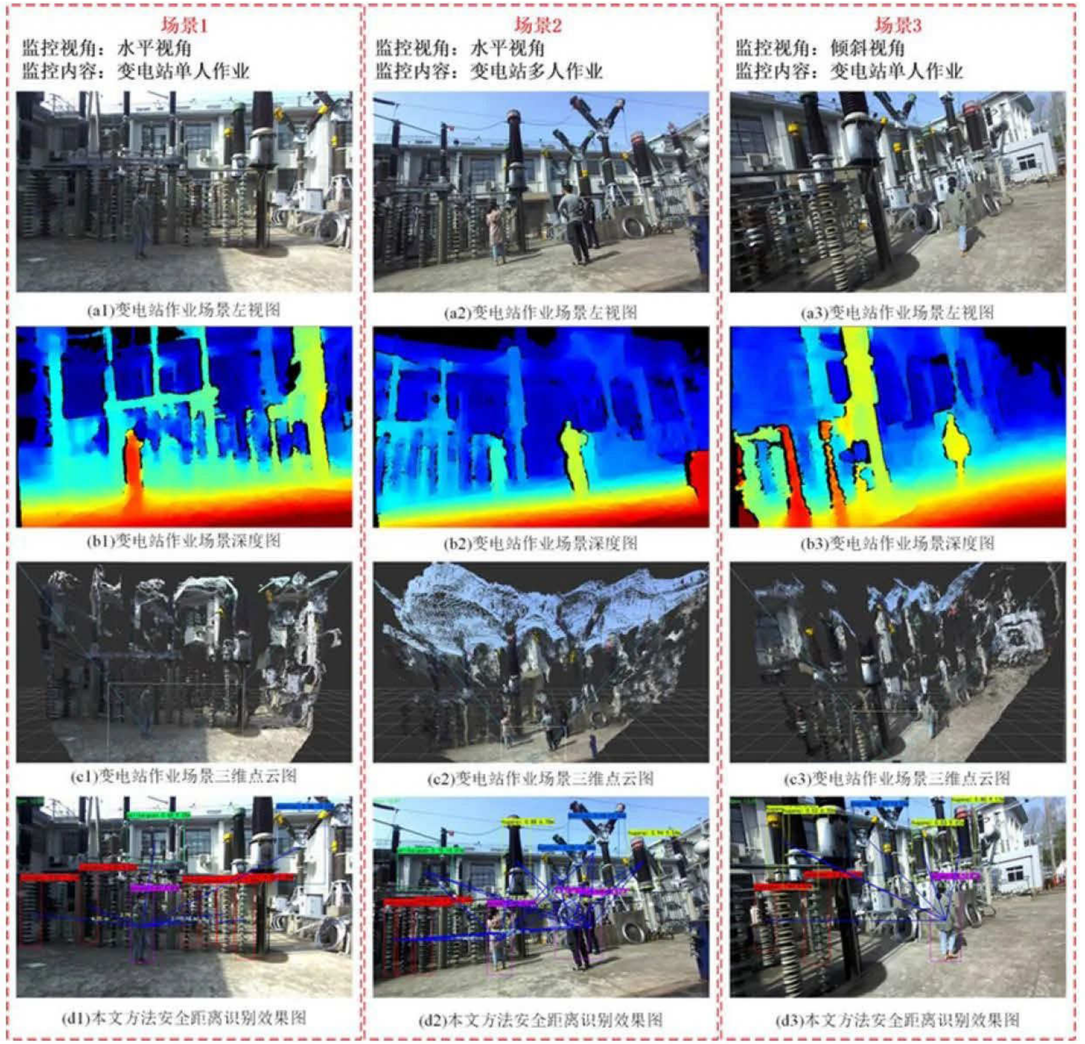
## 基于双目立体匹配和场景元素识别的近电安全距离检测

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



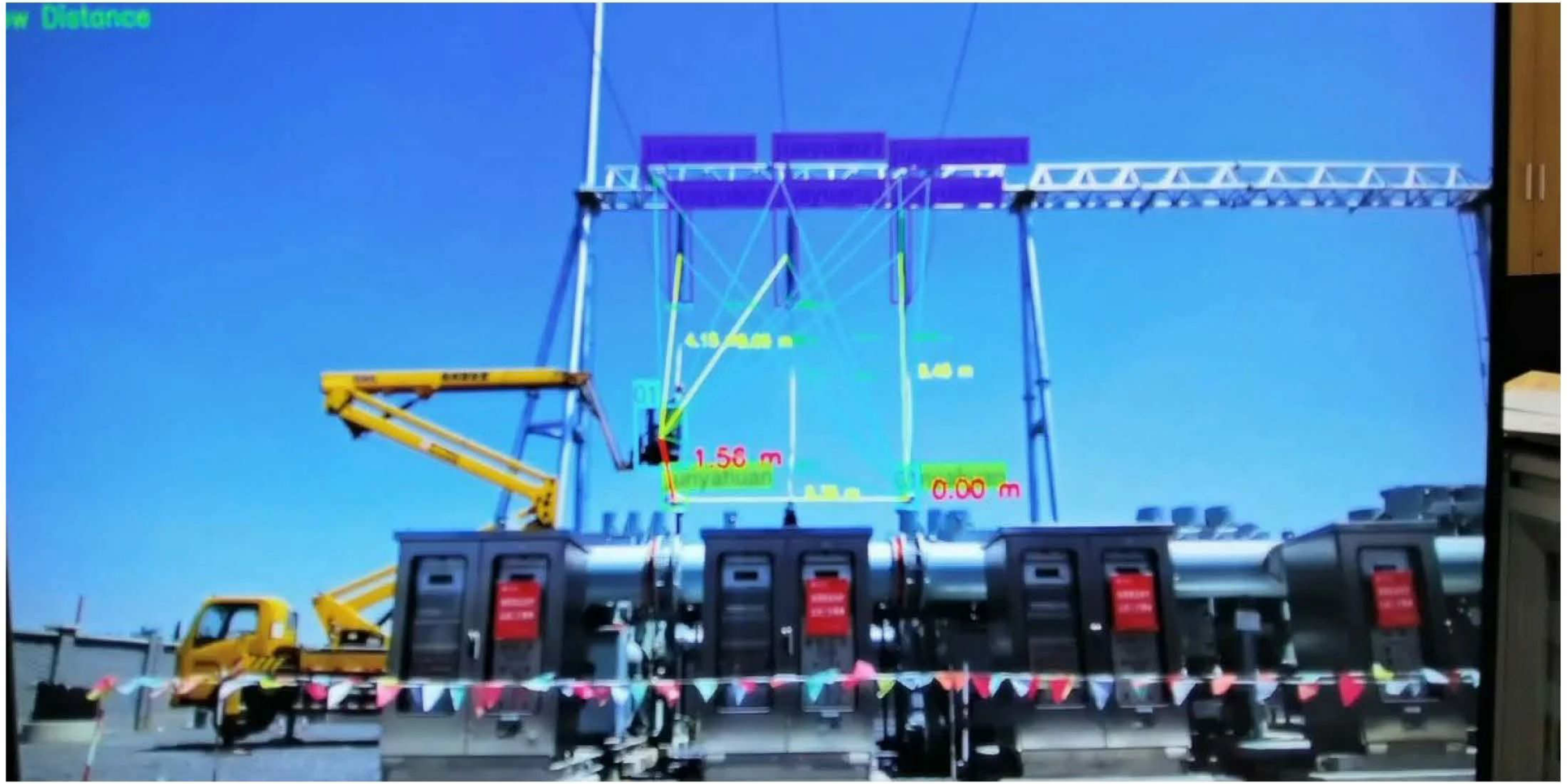
双目视频采集



# 数字化安全防控技术-立体化安全距离

## 基于双目立体匹配和场景元素识别的近电安全距离检测




大型施工机械作业场景应用效果展示

# 数字化安全防控技术-立体化安全距离

## 基于可见光+点云数据匹配的安全距离测量与防控

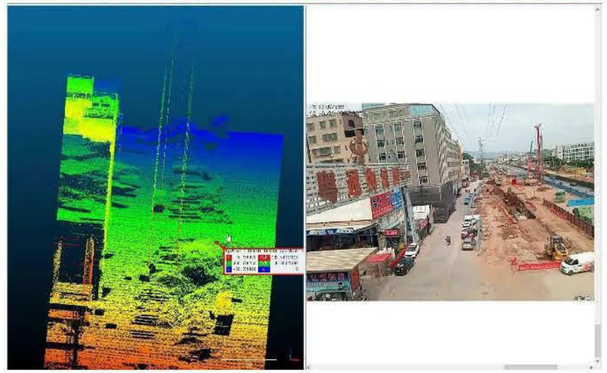
形态1：融合测控装置

形态2：安全管控

核心

固态激光雷达

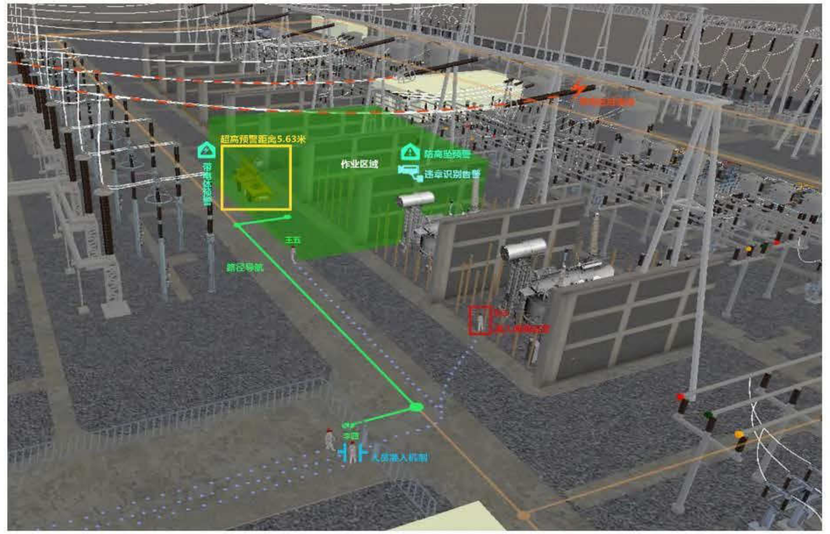
摄像头



输电通道外破距离检测场景示例

| 带电体电压等级 | 安全距离（米） | | |
|---|---|---|---|
| | 三级预警 | 二级预警 | 一级预警 |
| 500kV | 8.5 | 7 | 5.5 |
| 220kV | 6 | 5 | 3.5 |
| 66kV | 4 | 3 | 2 |

变电站安全距离管控场景示例




应用场景涵盖变电站从作业前的人员准入—>前往作业区域实时轨迹跟踪—>作业区域实时监控预警—> 作业后评估分析报告生成。形成变电站安全作业全流程管理体系。

# 第四部分

# 数字化安全防控技术-全息

# 数字化安全防控技术-全息化多物理场融合

## 声-光-热多物理场融合的全息成像

**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**

电弧故障

过热缺陷

电缆头缺陷

局部放电缺陷

用电设备安全隐患

集成式边缘成像装置

包含

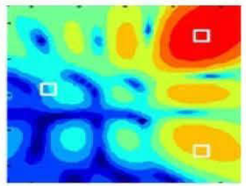
声成像模组

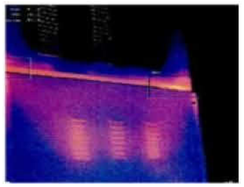
红外热成像模组

可见光成像模组

采集装置

声成像方案优化


声像图


红外热成像图

可见光图像

多物理场成像

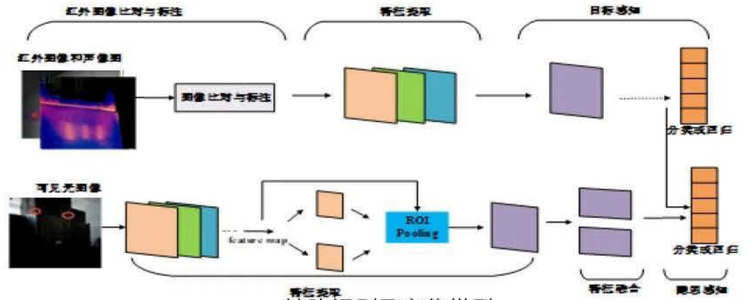
基于矢量阵列映射的声光热多物理场融合成像技术

多源图像配准技术

基于时序声像图的声像图高精度缺陷定位方法

声-光-热多物理场耦合技术

基于影像解译的电力设备内部风险定位及智能识别技术



缺陷识别及定位模型

模型的边缘移植

面向用电设备风险检查的多物理场风险解译及预警装置研制

模型压缩

设备缺陷检测装置研发流程图

形成装置

多源图像分析及手持智能装备研制

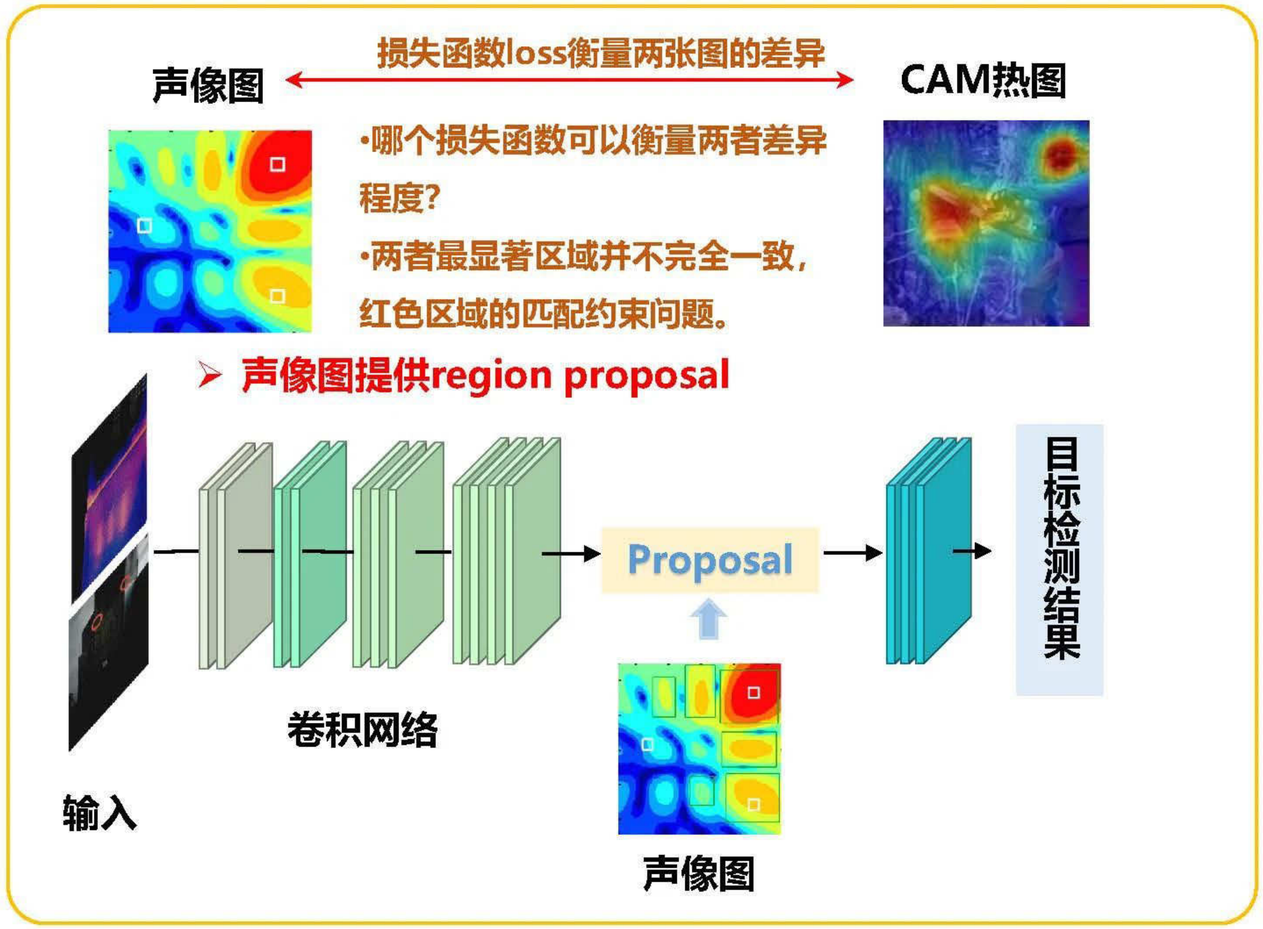
**声-光-热多物理场融合的全息成像**

# 数字化安全防控技术-全息化多物理场融合

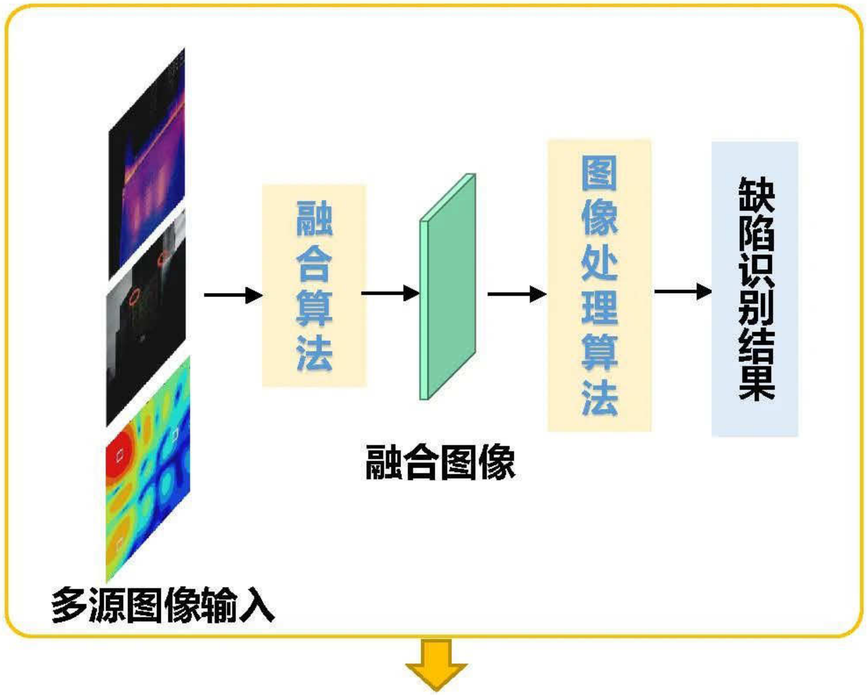
## 声-光-热多物理场融合的全息成像

- **常规数据融合**

声像图可指明显著区域，是一种直观的注意力机制。（红外、可见光做输入，声像图做约束）




- **先融合再分析**




如何融合?

# 第五部分

# 数字化安全防控智能装备

# 数字化安全防控技术-智能装置

## 电力视觉边缘智能

**矛盾日益加剧**

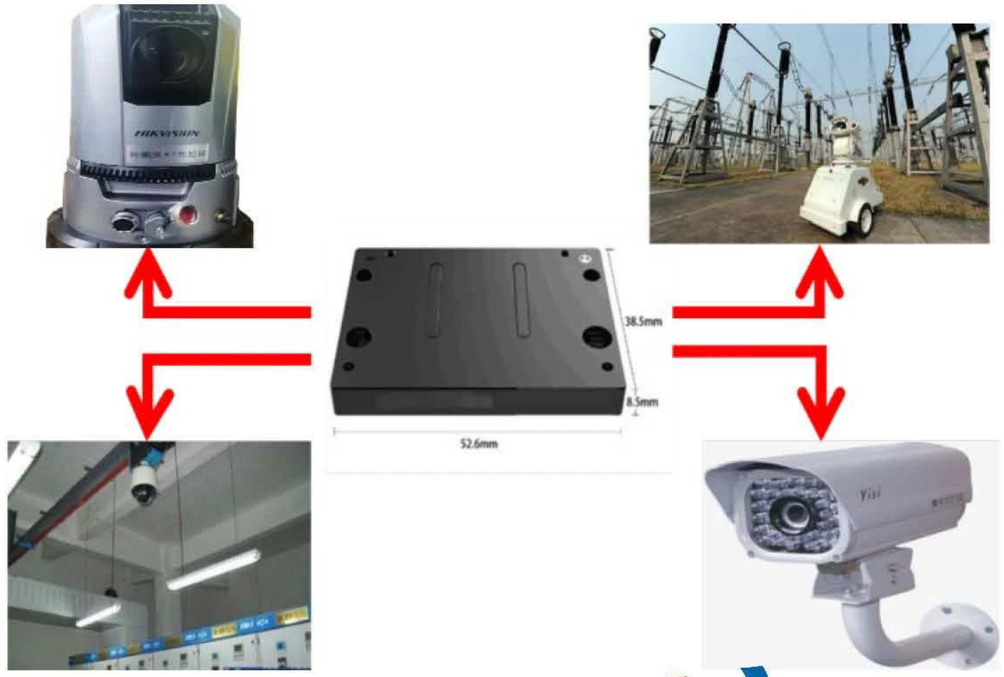
生产安全风险的**瞬时性** ⟷ 生产安全影像处理**需求量大**

将风险辨识模型**下放**至防护前端装置成为迫切趋势

**难点**

如何打破感知终端**计算资源**的限制，将基于**复杂**智能风险辨识模型部署到算力有限的前端装置?

以广州市为，截止到 2019 年变电站数量达 353座，一座变电站至少设置 50 个摄像头用于人员安全防护和设备状态感知，整个广州市的变电站一个小时将会产生**149.8TB**的影像数据。

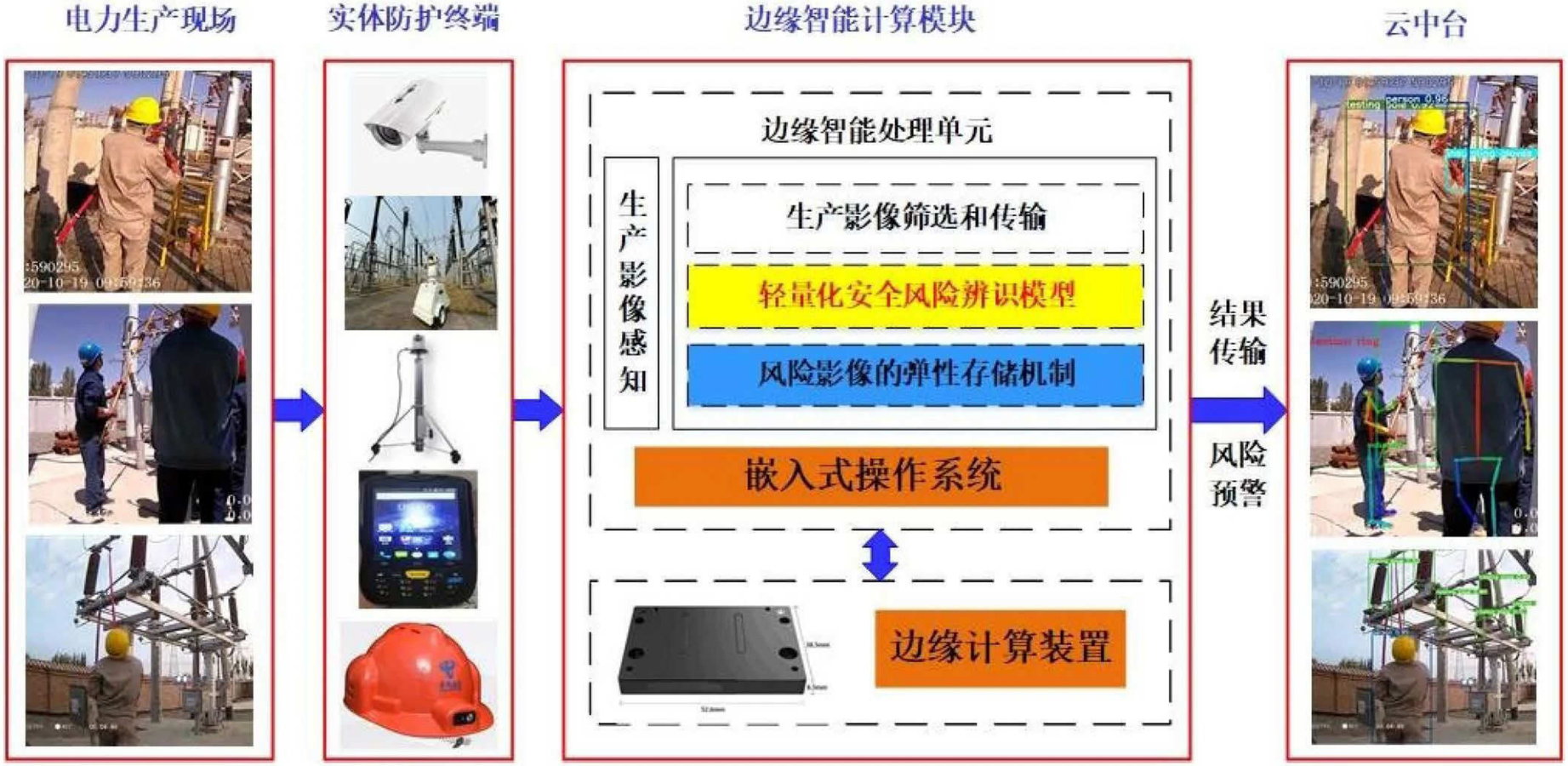


# 数字化安全防控技术-智能装置

## 电力视觉边缘智能

■ 构建了基于电力视觉边缘智能的生产安全风险辨识与防控技术框架，提出面向资源有限前端装置的风险辨识模型前端加速策略，提出了基于判别力驱动的风险辨识模型通道剪枝方法，研制了全过程可视化生产安全智慧管控终端及即插即用型边缘智能盒产品。

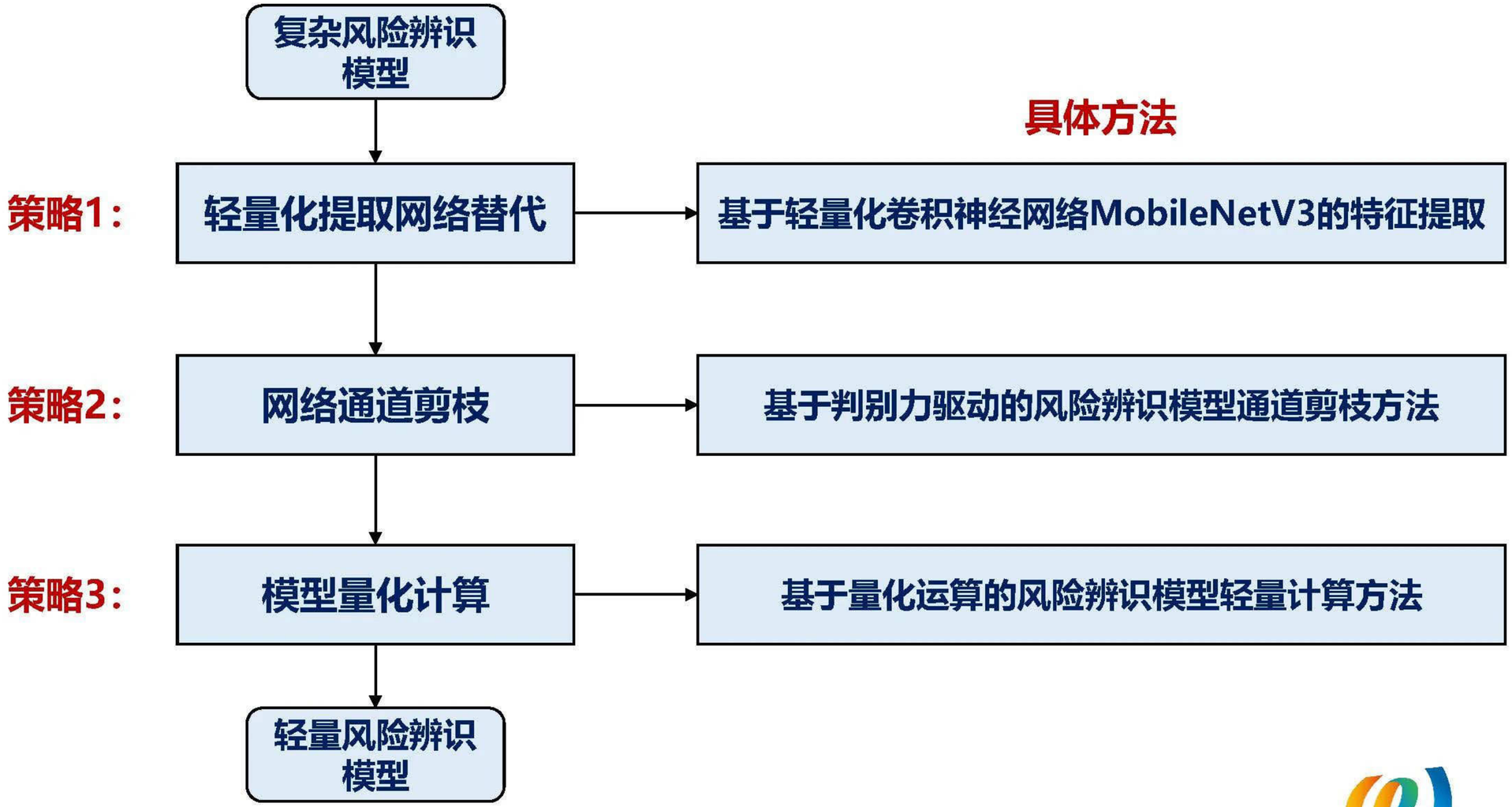
基于电力视觉边缘智能的生产安全风险辨识与防护框架




**效果** 对于服务器端的风险辨识模型压缩后的精度损失控制在6%，**该指标领先于现有模型压缩技术**；研制的智能盒产品现销售量达到*3000*套。

# 数字化安全防控技术-智能装置

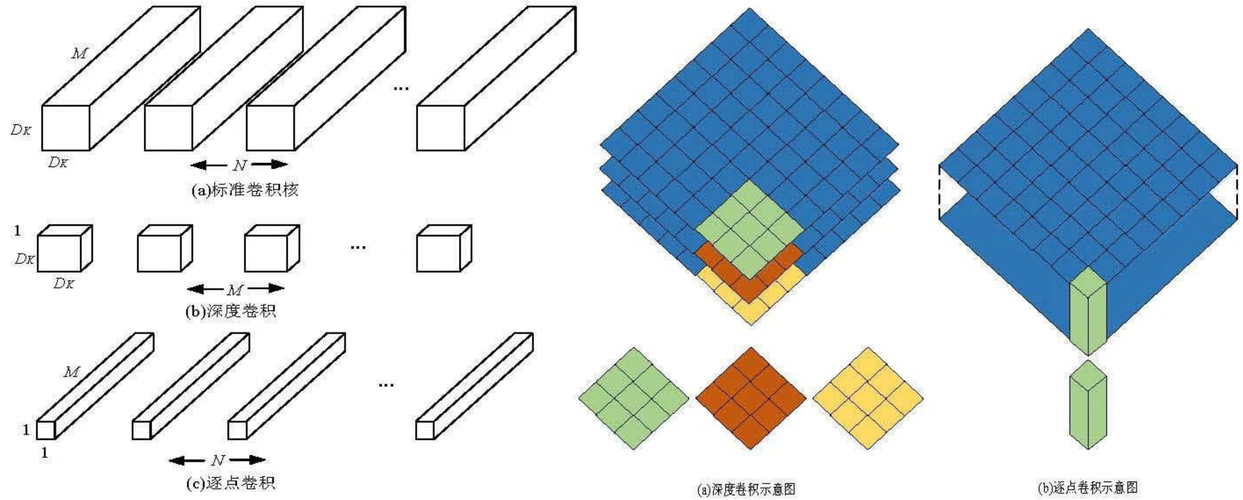
## 电力视觉边缘智能



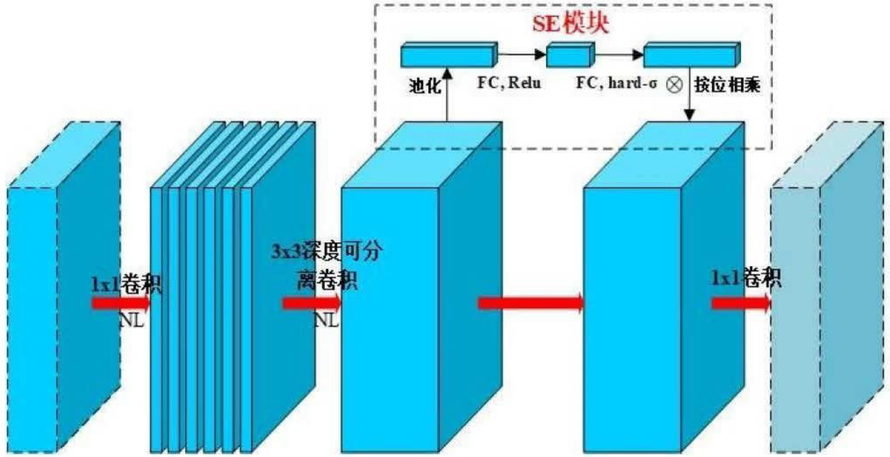
# 数字化安全防控技术-智能装置

## 电力视觉边缘智能

### 基于轻量化卷积神经网络MobileNetV3的特征提取方法




标准卷积和深度可分解卷积网络示意图




MobileNetV3 的视觉特征提取模块

**相比于标准卷积操作，深度可分离卷积操作计算量的减少比例为：**

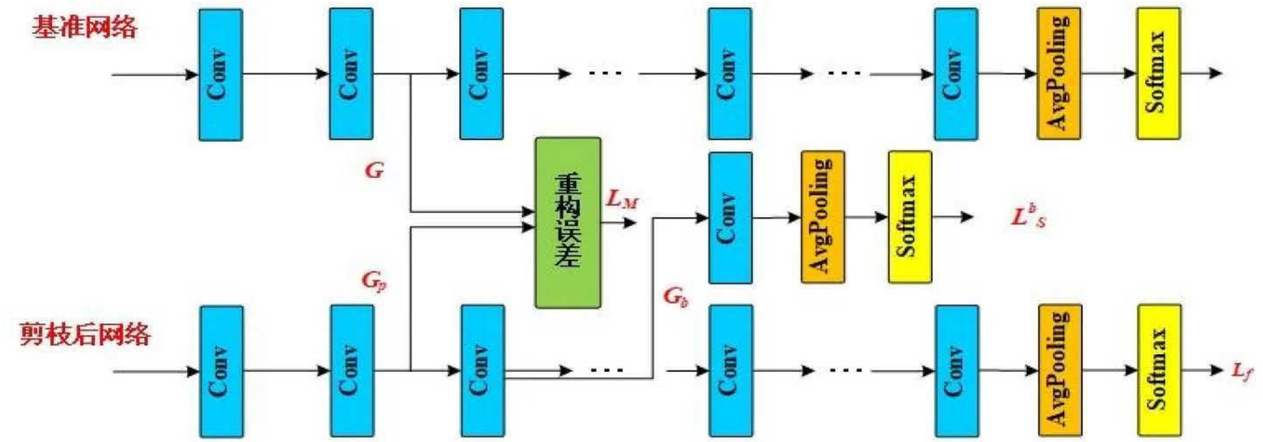
$$\frac{C_{ds}}{C_{st}}=\frac{D_K\cdot D_K\cdot M\cdot D_F\cdot D_F+M\cdot N\cdot D_F\cdot D_F}{D_K\cdot D_K\cdot M\cdot N\cdot D_F\cdot D_F}=\frac{1}{N}+\frac{1}{D_K^2}$$

**计算量**
**可减少 8 至 9 倍**

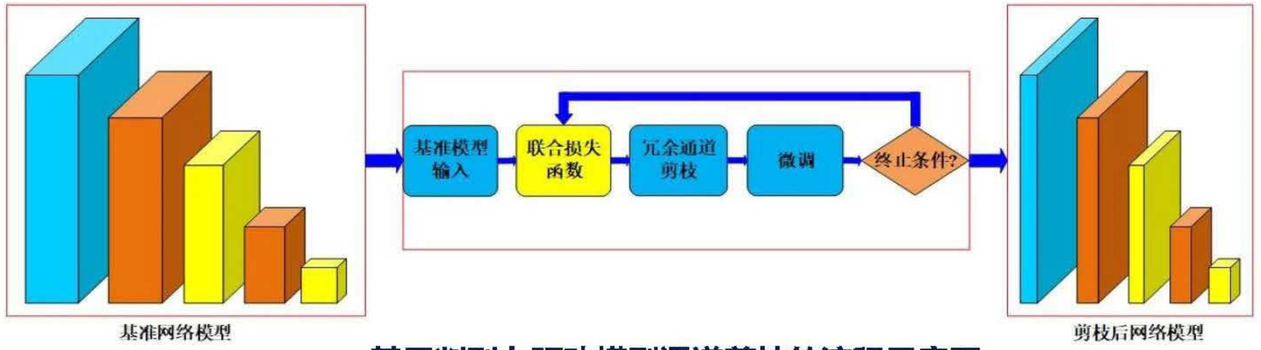
# 数字化安全防控技术-智能装置

## 电力视觉边缘智能

### 基于判别力驱动的风险辨识模型通道剪枝方法




基于判别力驱动模型通道剪枝的示意图




基于判别力驱动模型通道剪枝的流程示意图

重构误差：

$$L_M(K)=\frac{1}{2Q}\sum_{w=1}^{W}\sum_{n=1}^{N}\left\|G_{k,l,n,w}-G^{p}{}_{k,l,n,w}\right\|_{Fro}^{2}$$

判别力损失函数：

$$L^b_S(K)=-\frac{1}{W}[\sum_{w=1}^{W}\sum_{t=1}^{c}I\{y^{(w)}=t\}\log\frac{e^{\theta_t^T F^{b,w}}}{\sum_{n=1}^{c}e^{\theta_n^T F^{b,w}}}]$$

$$L(K)=L_M(K)+\lambda L^b_S(K)$$

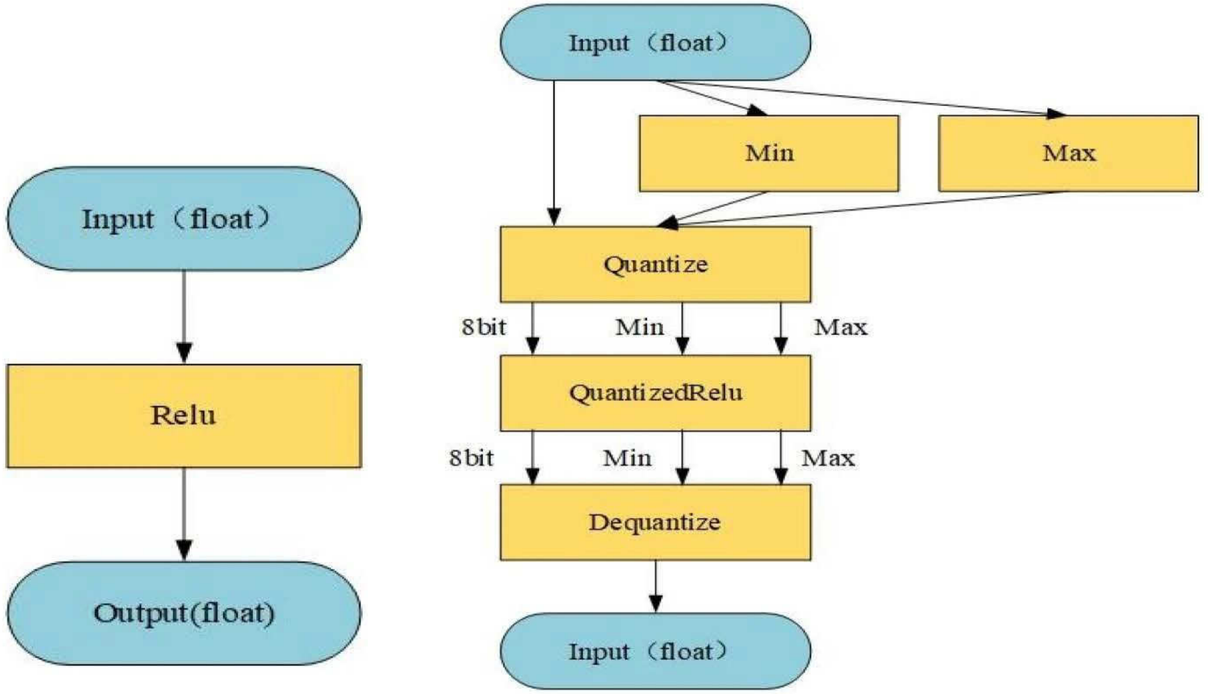
截止条件：

$$\left|L(K^{s-1})-L(K^{s})\right|/L(K^{0})\le\varepsilon$$

# 数字化安全防控技术-智能装置

## 电力视觉边缘智能

### 基于判别力驱动的风险辨识模型通道剪枝方法




（a）量化前　　（a）量化后

激活函数 Relu 量化前后运算过程

各个特征参量转换成低精度整型数的计算公式如下：

$$q = \frac{x - \min}{\max - \min} * 255$$

反量化运算的具体计算公式如下：

$$x = \frac{q * (\max - \min)}{255} + \min$$

因量化操作带来的误差 R 计算如下：

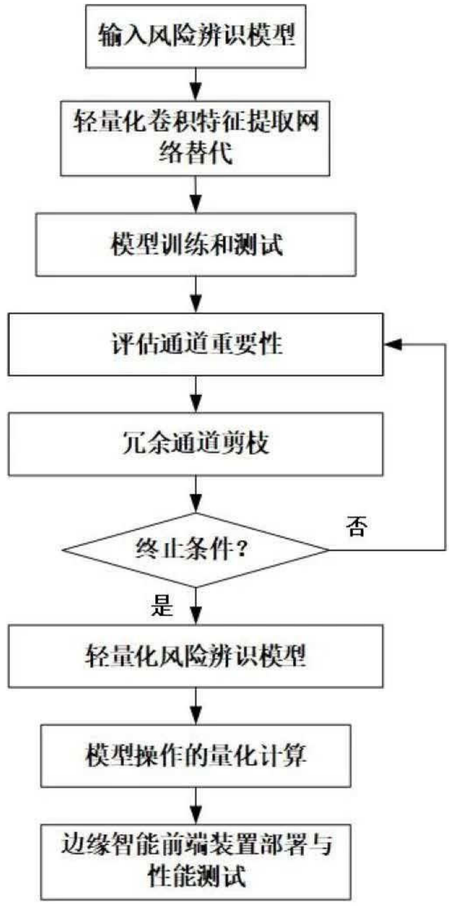
$$R = \frac{\max - \min}{255}$$

# 数字化安全防控技术-智能装置

## 电力视觉边缘智能

### 整体流程及试验环境

生产安全风险辨识模型前端加速流程图




课题组研制新型安全风险防护装置示意图

装置的环境配置说明

| 配置名称 | 具体信息 |
| --- | --- |
| CPU | RK3399Pro Dual-core ARM Cortex-A72(2.0GHz) MPCore Processor +Quad-Core ARM Cortex-A53(1.4GHz)MPCore |
| 智能芯片 | RK3399Pro |
| RAM | 4GB LPDDR4 |
| ROM | 64GB, EMMC 5.1 |
| 触摸屏 | 7寸，分辨率 1920*800 |
| 操作系统 | Ubuntu 18.04 |

# 数字化安全防控技术-智能装置

## 关键突破：提出面向生产安全风险辨识模型的前端智能加速策略——试验结果与分析

**与其他轻量化模型的性能对比**

边缘端

### 与其他轻量化目标检测的性能对比

| 模型 | 模型大小（MB） | 处理速度（FPS） | mAP（%） |
|---|---|---|---|
| YOLOv4-tiny | 22.51 | 15 | 58.15 |
| ShuffleNet-SSD | 21.4 | 22.2 | 61.22 |
| MobileNetV3-SSD | 26 | 19.2 | 61.89 |
| DRFML-MSE | 32.43 | 7.8 | 78.02 |
| DRFML-MC | 25.42 | 10 | 78.96 |

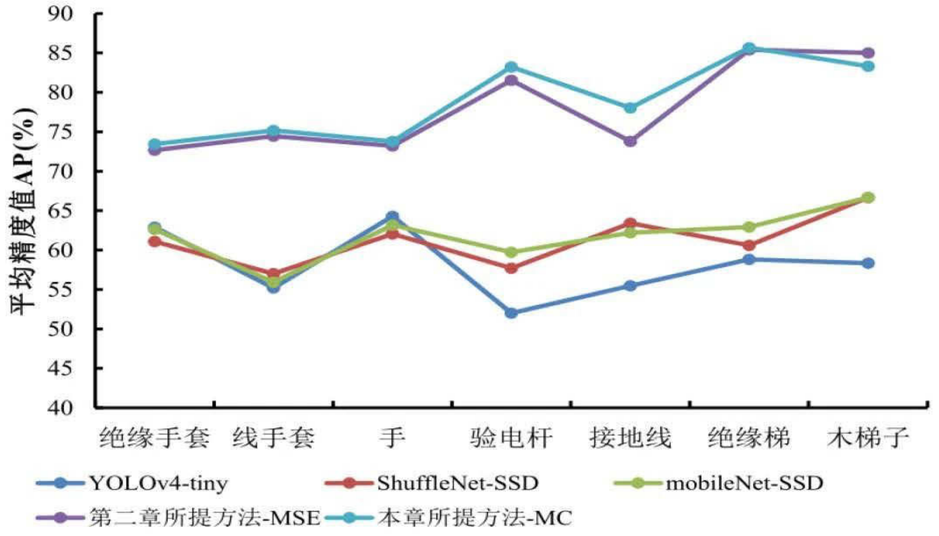
### 与其他轻量化违章行为辨识模型的性能对比

| 模型 | 模型大小（MB） | 处理速度（FPS） | A（%） |
|---|---|---|---|
| GCN-MC | **26.56** | **16.5** | 71.50 |
| STGCN-MC | 30.25 | 14.8 | 74.14 |
| DVIM-MSE | 31.54 | 14.3 | 76.69 |
| DVIM-MC | 32.48 | 13.9 | **78.55** |

### 与其他轻量化场景理解模型的性能对比

| 模型 | 模型大小（MB） | 处理速度（FPS） | 计算复杂度（GFlops） | A（%） |
|---|---|---|---|---|
| ShuffleNetV2 | 8.77 | **63.2** | **0.146** | 73.72 |
| SqueezeNet1 | **4.70** | 26.3 | 0.351 | 71.61 |
| MobileNetV3 | 20.60 | 21.6 | 0.438 | 80.29 |
| POSU-MC | 13.91 | 31.1 | 0.304 | **85.17** |

压缩后的模型在边缘端保持良好的适应性，且具有较高的识别精度




不同轻量化目标检测模型的平均精度曲线

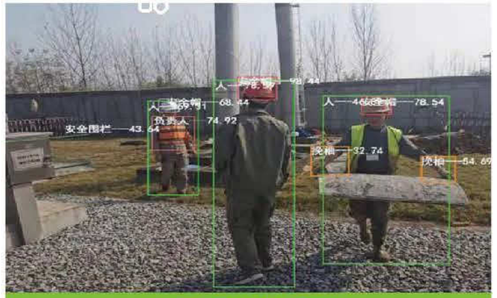
# 数字化安全防控技术-智能装置

## 新型安全风险防护智能装置（单目）

### 应用成效

未佩戴安全帽识别

区域闯入识别


未正确着装识别

围栏倾倒识别

明烟明火

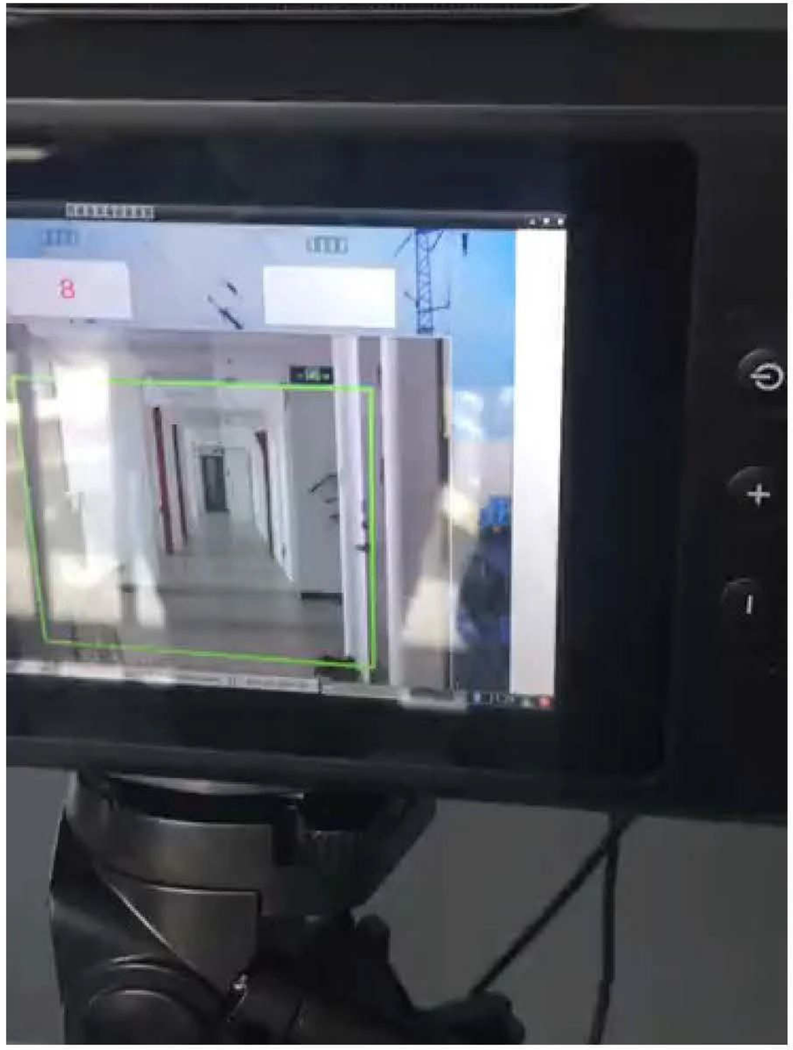
吸烟

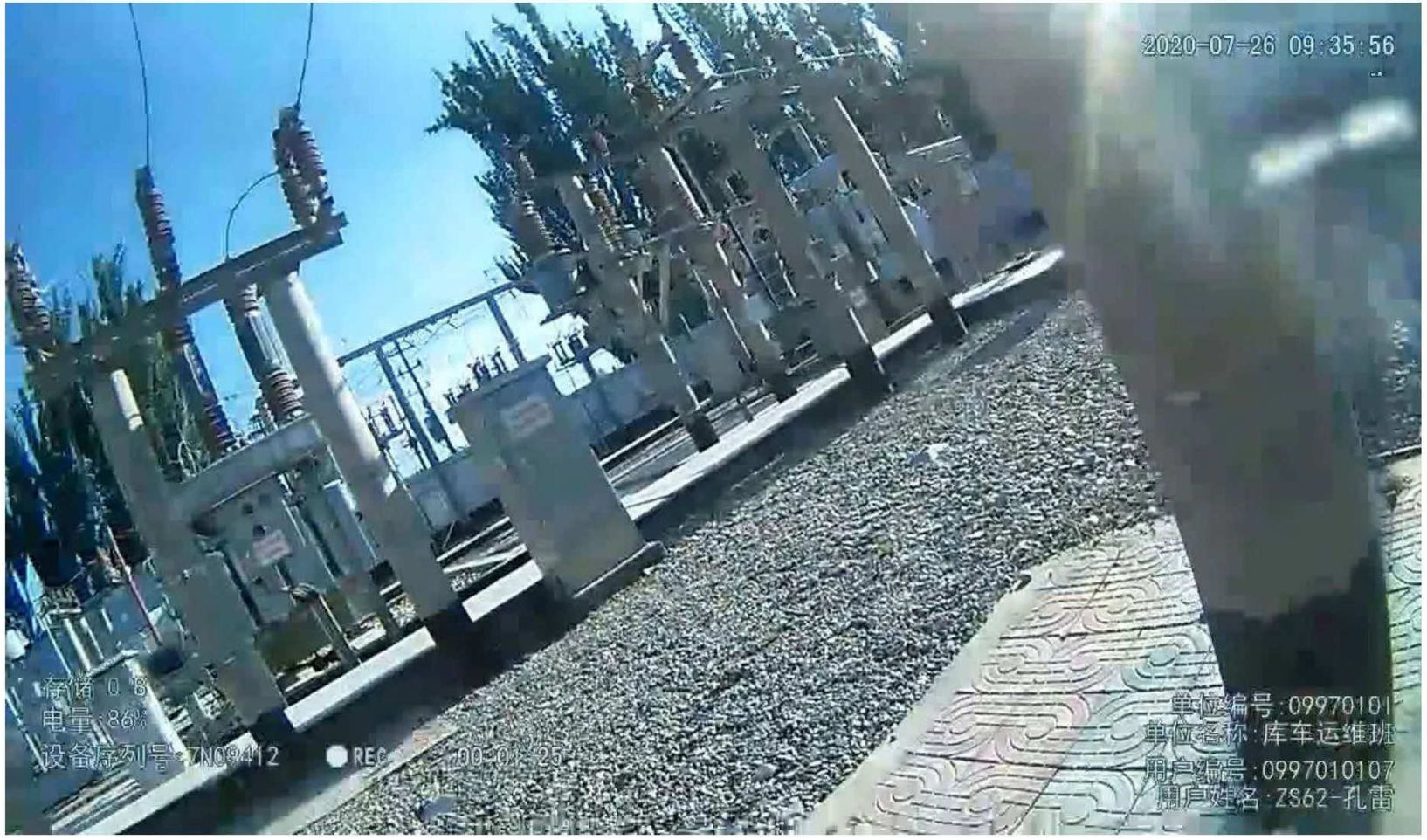
### 技术特点

**单目防护装置**是一款基于边缘计算和AI技术、适用于**10kV~110kV**变电站及**作业面小**的近电作业场景的智能化平面终端装置，能够识别作业过程中常见的人员习惯性违章，如**着装风险识别、安全标识牌识别、动态违章动作等**，以**代替人的现场监管**为导向，实现常见**可视化**违章风险。

# 数字化安全防控技术-智能装置

## 新型安全风险防护智能装置（单目）





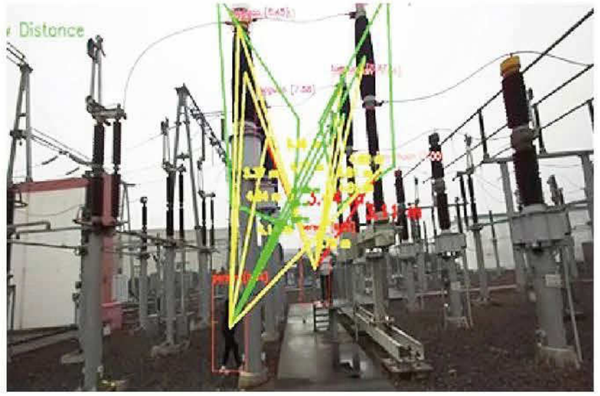

装置效果演示

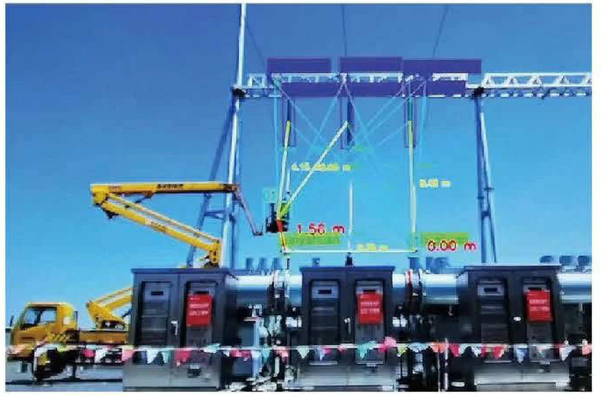
# 数字化安全防控技术-智能装置

## 新型安全风险防护智能装置（双目）

### 装置形态

### 应用成效



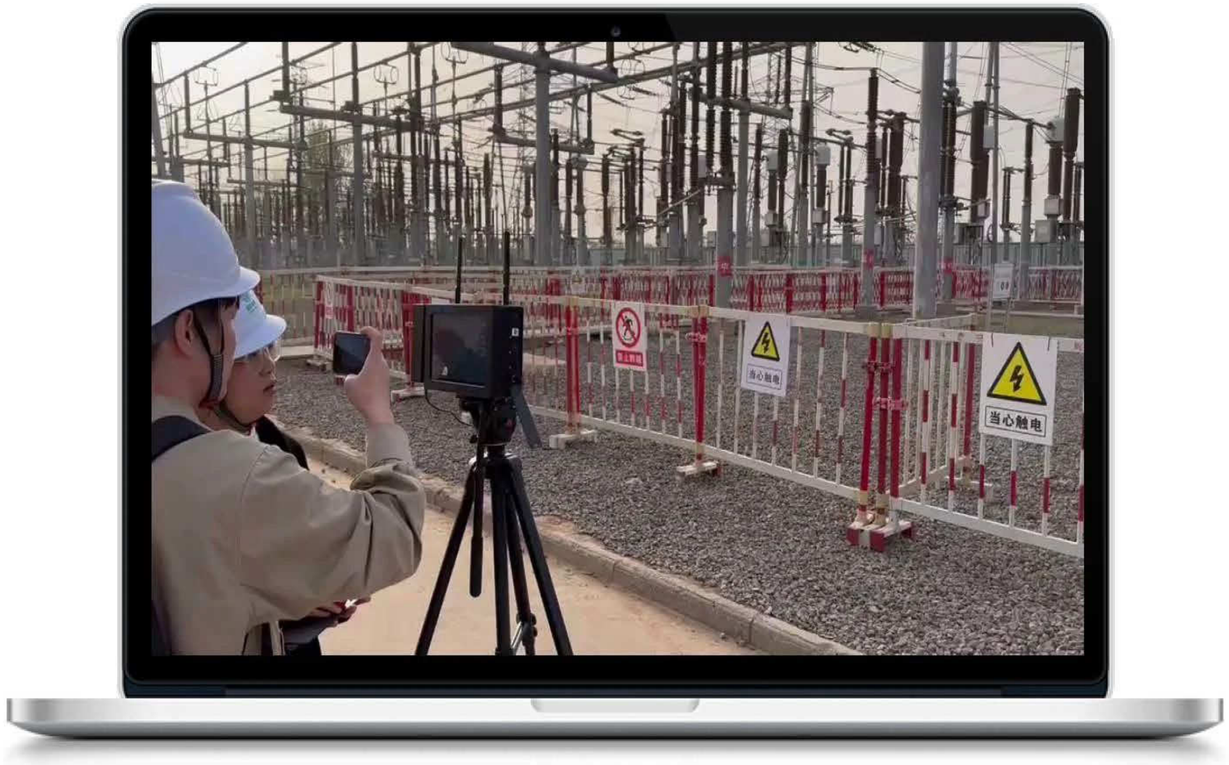

### 技术特点

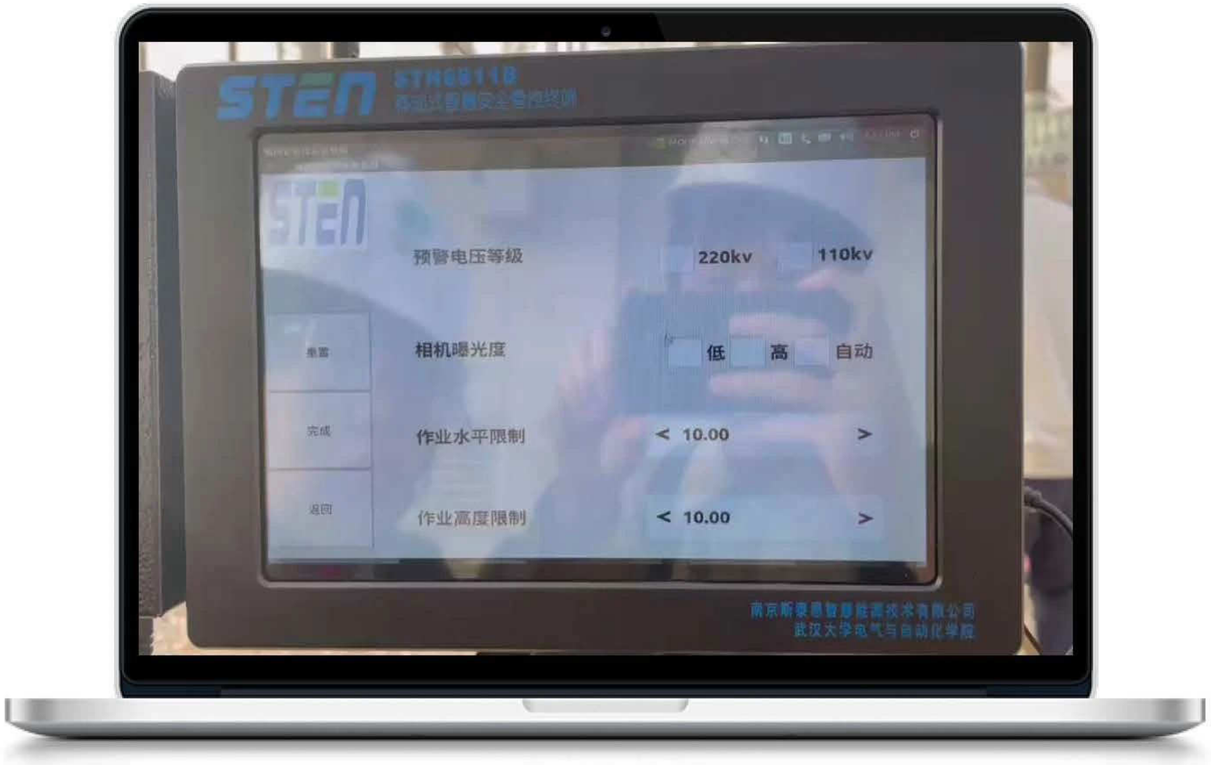
**双目防护装置**是基于边缘计算和AI技术、适用于**110kV~220kV**变电站及**110kV~220kV GIS/HGIS**变电站近电作业场景，采用双目立体匹配和场景元素识别进行**近电安全距离检测**，距离测量精度达到**分米级**。可实现**作业人员和大型施工机械作业时与带电设备安全距离的精确测量**及**安全距离告警**，也可用于**大型施工机械作业时防碰撞告警**。

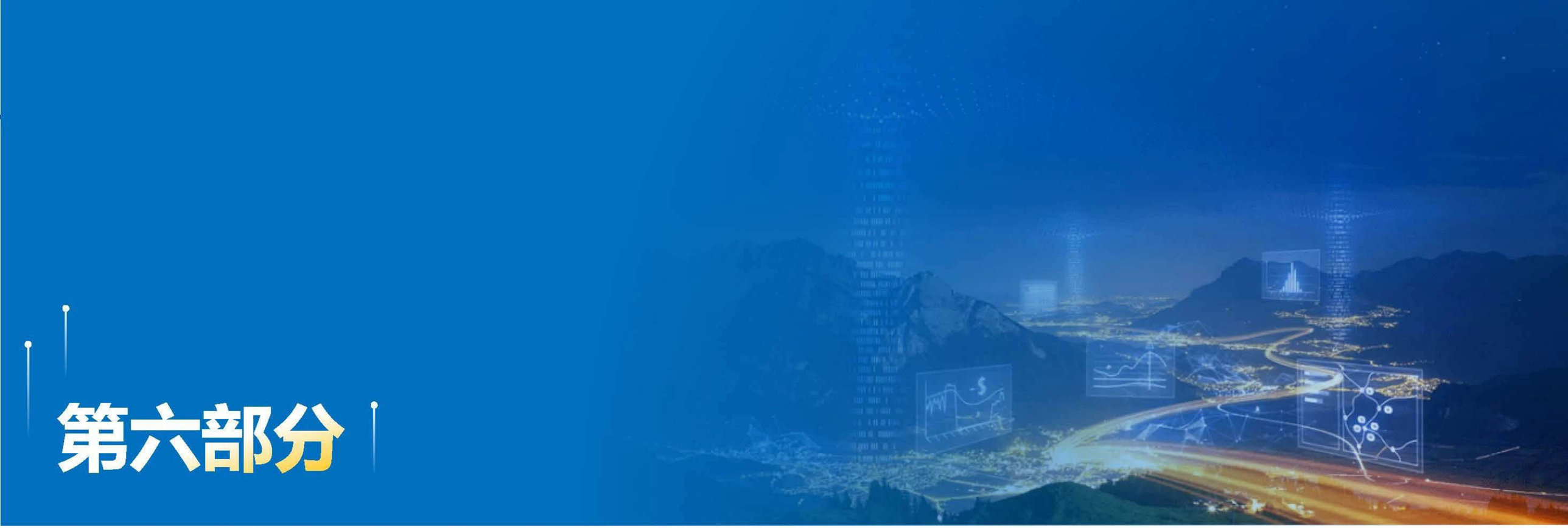
**双目相机用于电力行业，是个从模组到装置再到算法的“链”化技术。需将整个过程进行一个有机的融合。**

# 数字化安全防控技术-智能装置

## 新型安全风险防护智能装置（双目）





# 第六部分

# 结语

# 结 语

■ **电力数字化安全防控仍处于起步阶段，对未来该领域的发展有以下几点思考和展望：**

## 01-大安全分析格局

■ 电力大安全问题涉及多种电力风险主体，各个风险主体有电网本体、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，对电力系统安全问题分析应具有大安全格局，不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。