



CPEM全国电力设备管理网
微信公众号：CPEM

以数字孪生和环境感知技术 助力电力巡检智能化的思考与探索

北京数字绿土科技股份有限公司 赵宝林

Map the world in 3D

机巡+人巡+网格，已成为电力巡检主流模式



人少网大，山高线杂，智能化技术亟待提高



■ 巡检需求侧

- 电网总里程位居世界前列
- 双碳、新能源战略增加电网规模
- 结构性缺员
- 主网高山险阻，人员难以抵近
- 主网地远人稀，实时高精GNSS差
- 配网临近城区，环境复杂外破风险高
- 配网线路多变，台账建立维护成本高
- 变配电站分散，难以连续集中作业
- 大风、山火、地震等灾害威胁不断

■ 技术供给侧

- 无人机续航、载重限制
- 机巢在主网部署难度较大
- 通道巡检首飞难度大
- 通道快巡数据处理慢
- 精细巡检档间设备覆盖率
- 配网首飞航线生产难度大
- 配网外破早期识别难度大
- 变电站巡检航线规划难度大

数字孪生与环境感知技术应用设想

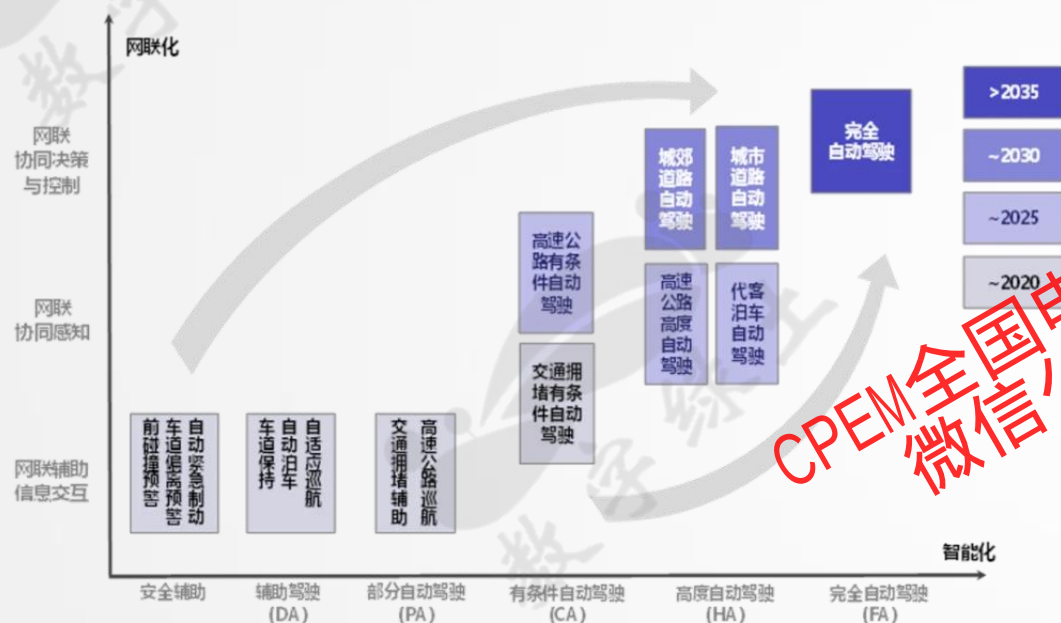
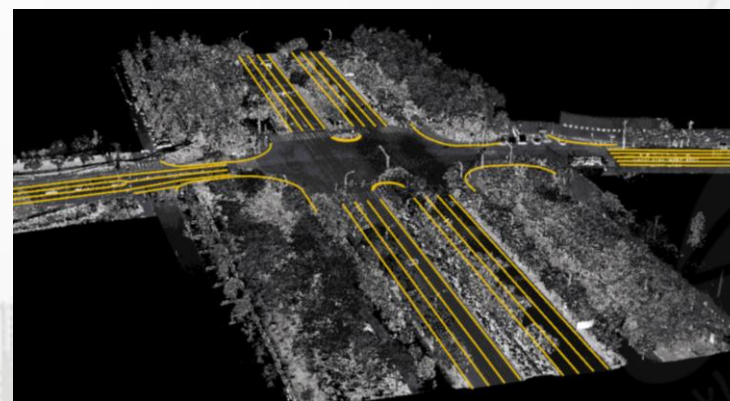
■ 无人驾驶汽车技术路线

■ 技术运用

■ 智能化，单车智能，环境感知技术

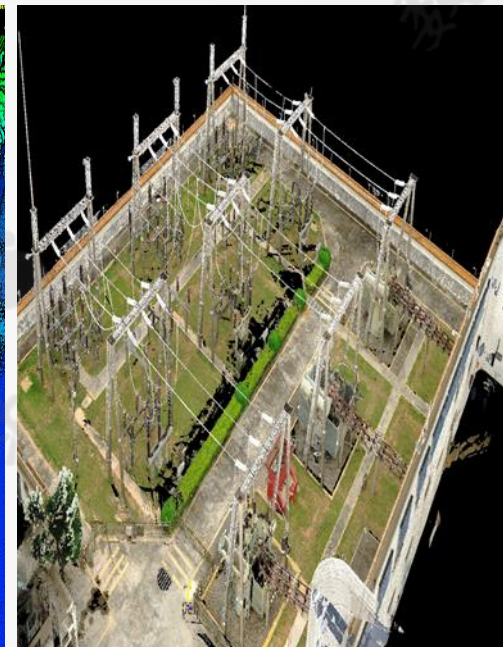
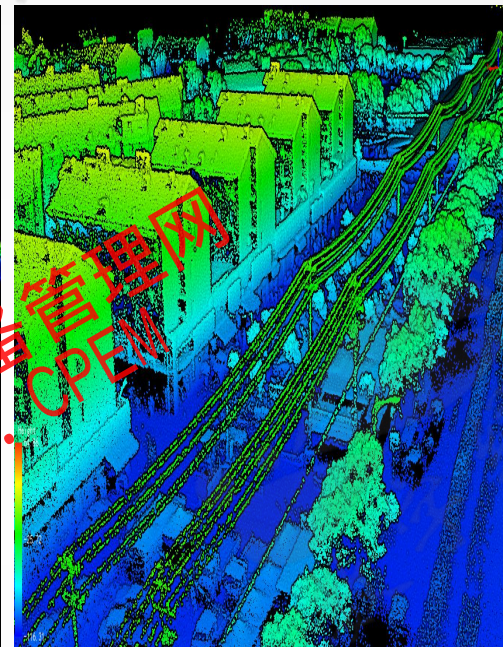
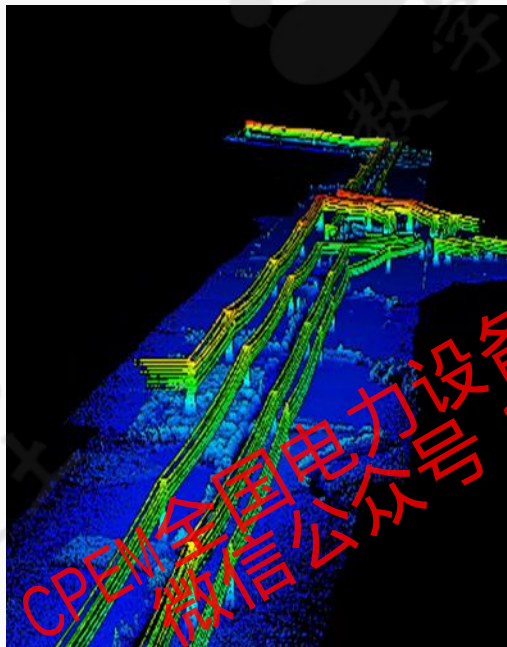
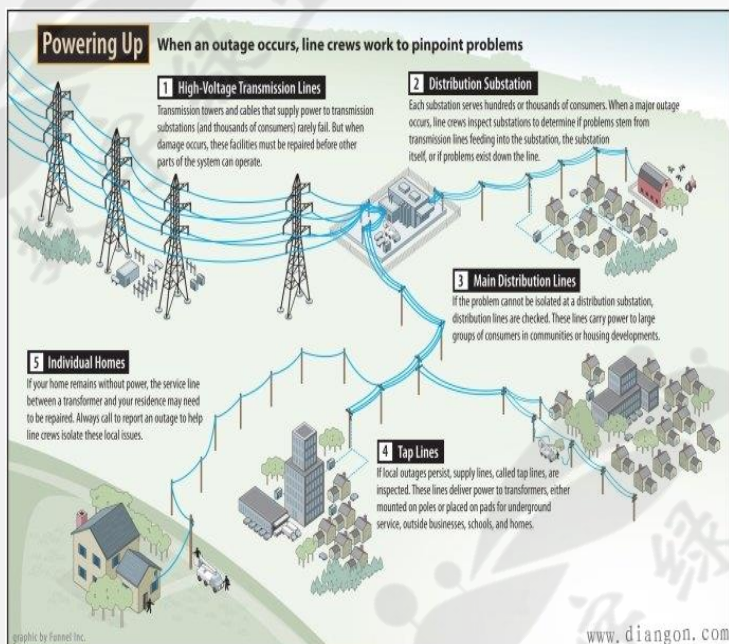


■ 网联化，车路协同，数字孪生技术



摘自工信部《智能网联汽车技术路线图 2.0》

数字孪生与环境感知技术应用设想

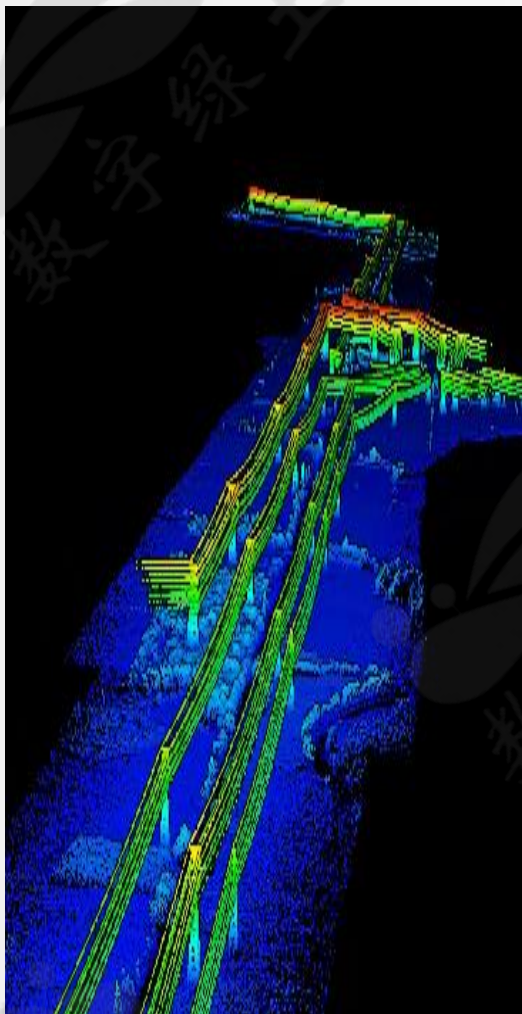


对标无人驾驶(主网 ≈ 高速路、配网 ≈ 国省县乡道、站内 ≈ 城市路)

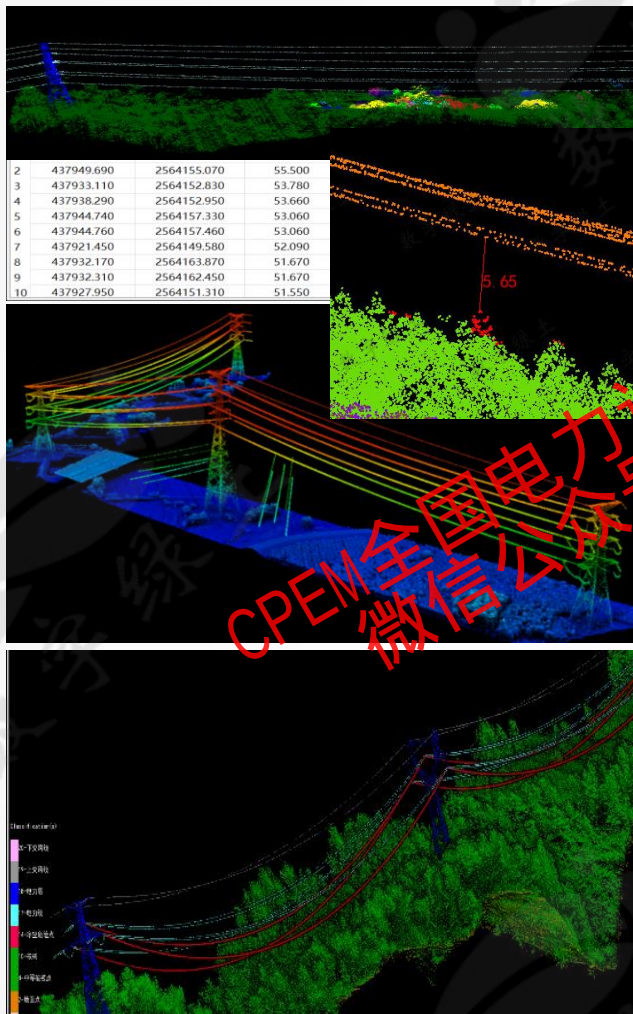
以数字孪生技术，构建输-变-配一体化、网格化的电网资产数字化底座和仿真分析框架

融合环境感知技术，打造智能化巡检设备，降低首巡难度，提高复检效率和精度

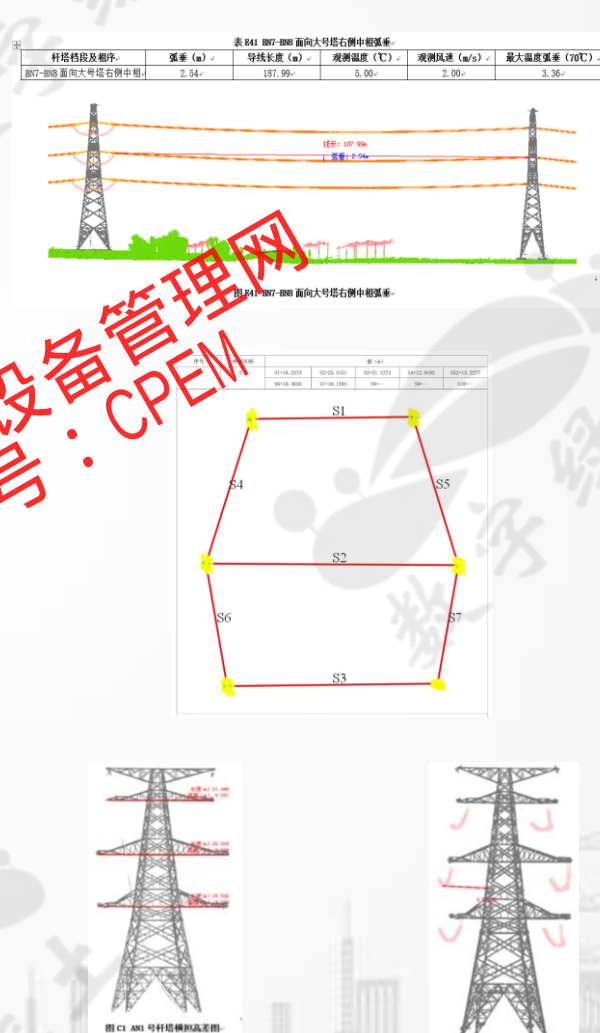
主网数字孪生应用



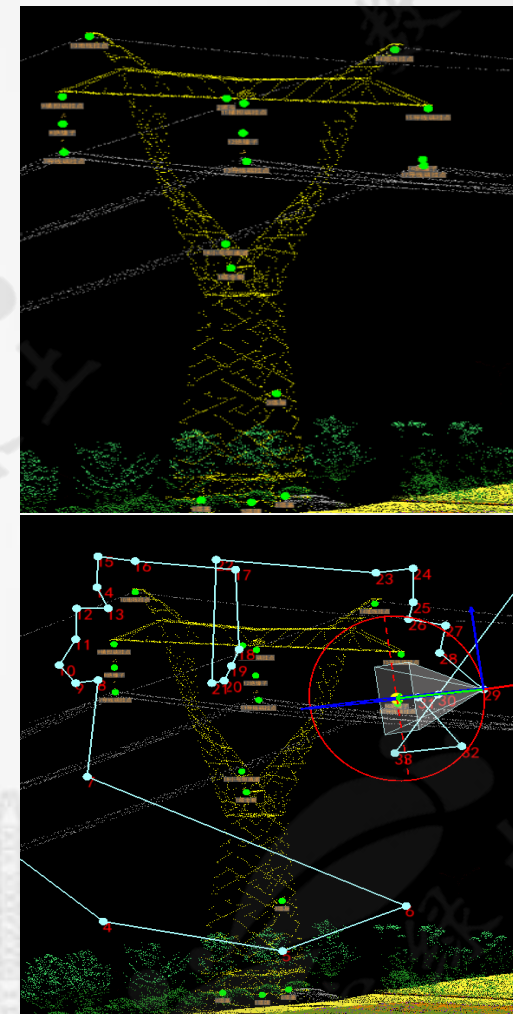
主网线路高精度数字孪生



支撑净空树障、交跨、增容仿真

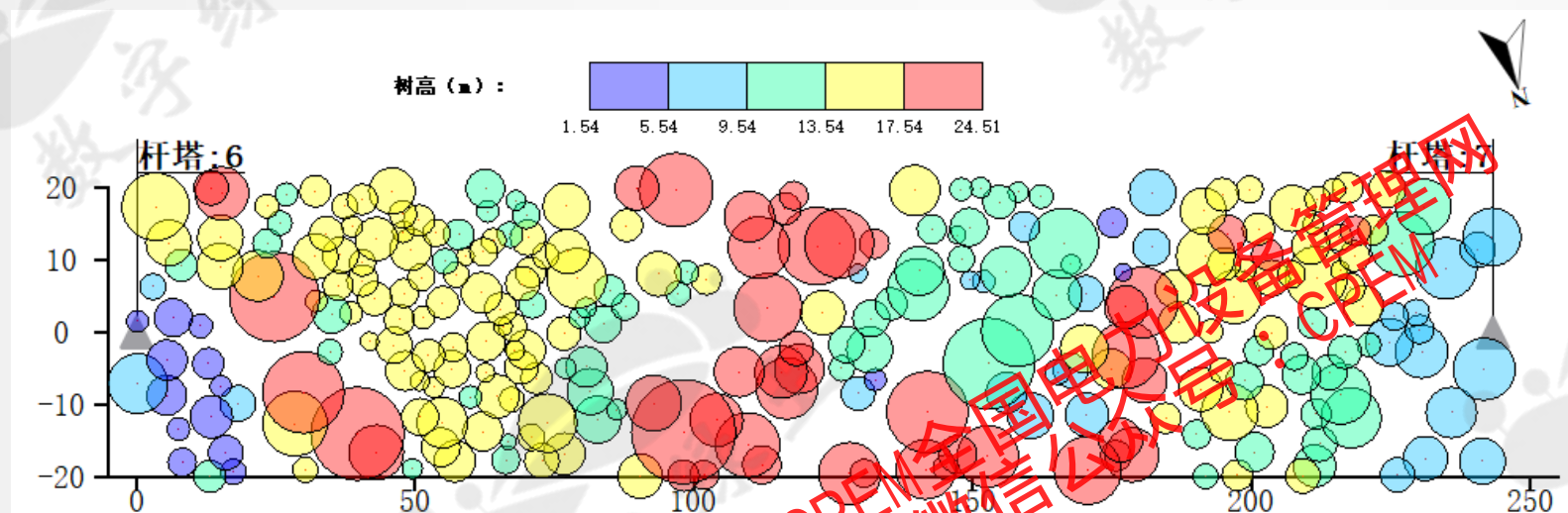


竣工：弧垂、横担高差、引流线塔距



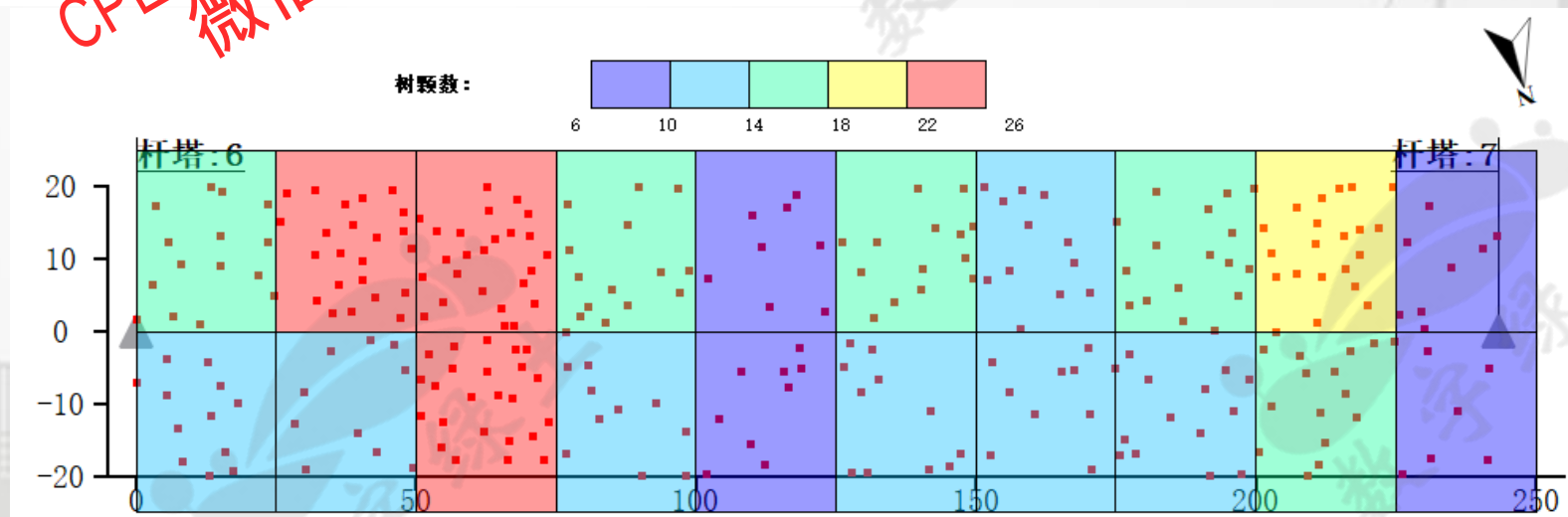
赋能L3级无人驾驶精细巡检

■ 净空分析树障报告增强



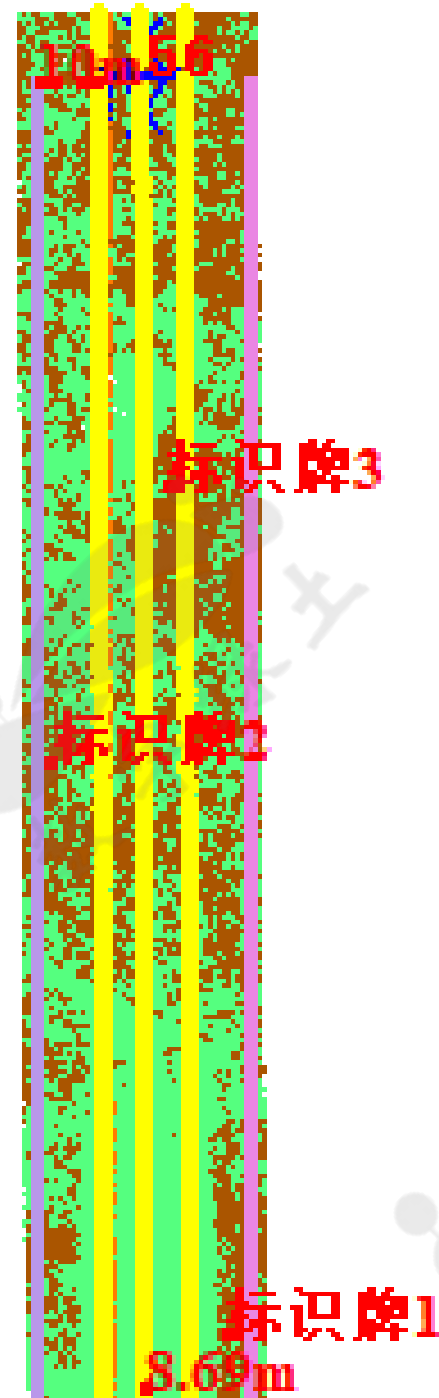
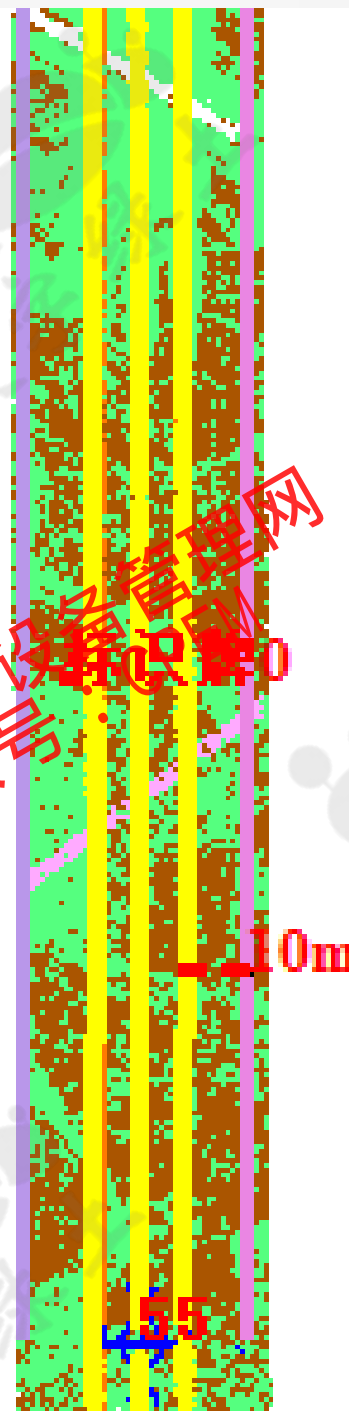
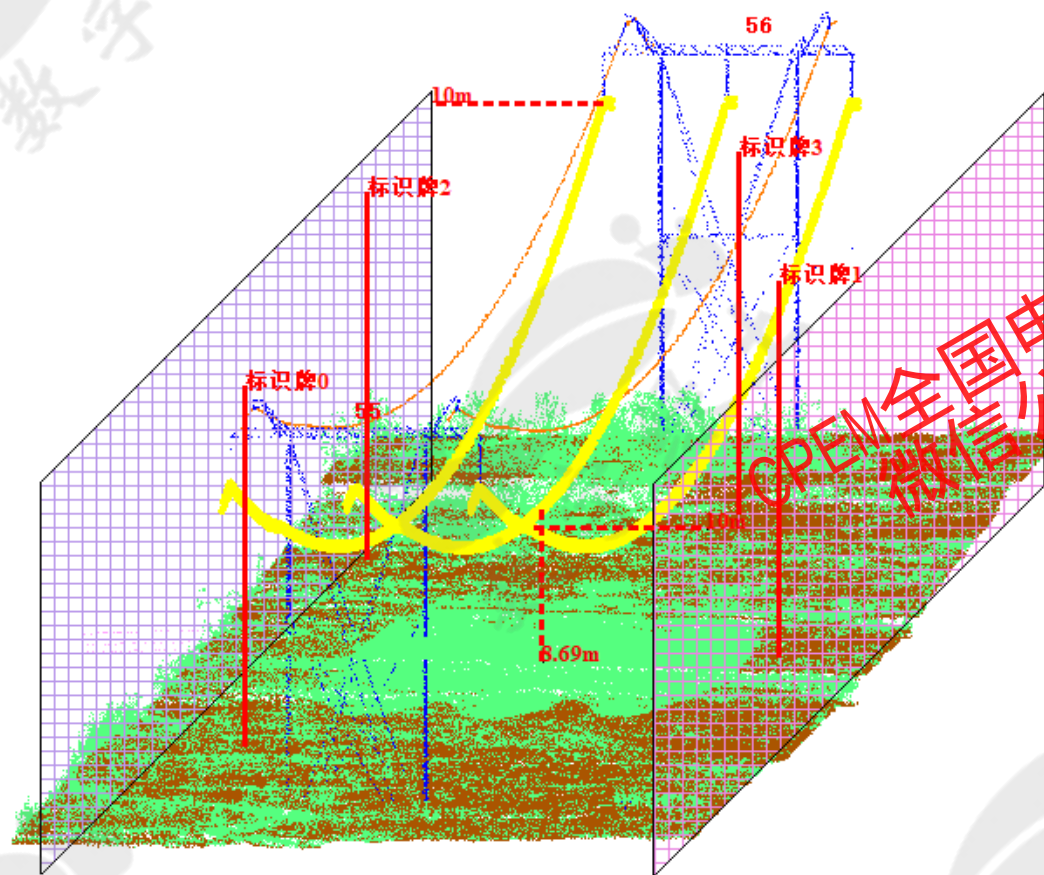
树障报告增强,
树高与冠幅分布报告
辅助消缺分析决策

树障报告增强,
颗数与每木位置报告
辅助消缺分析决策



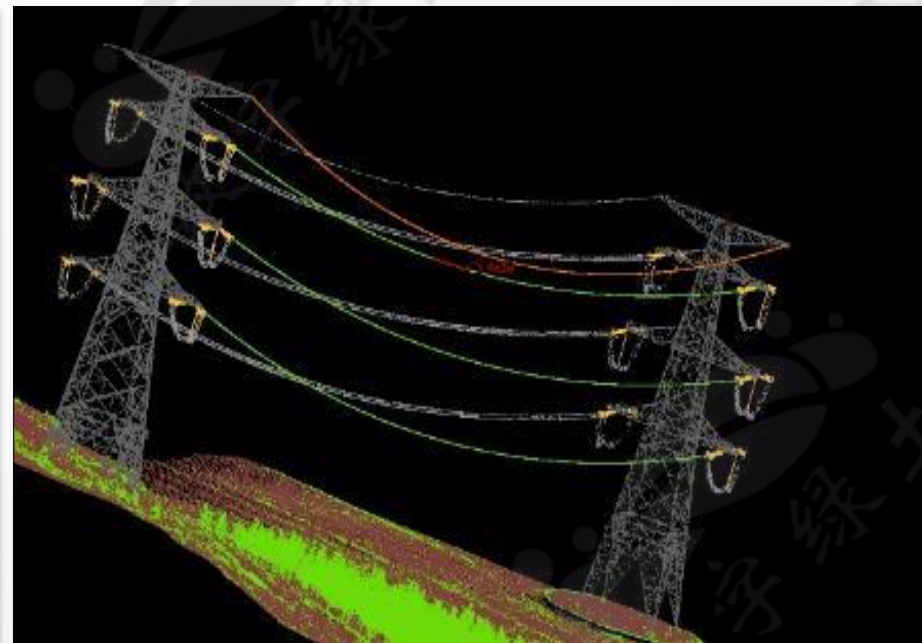
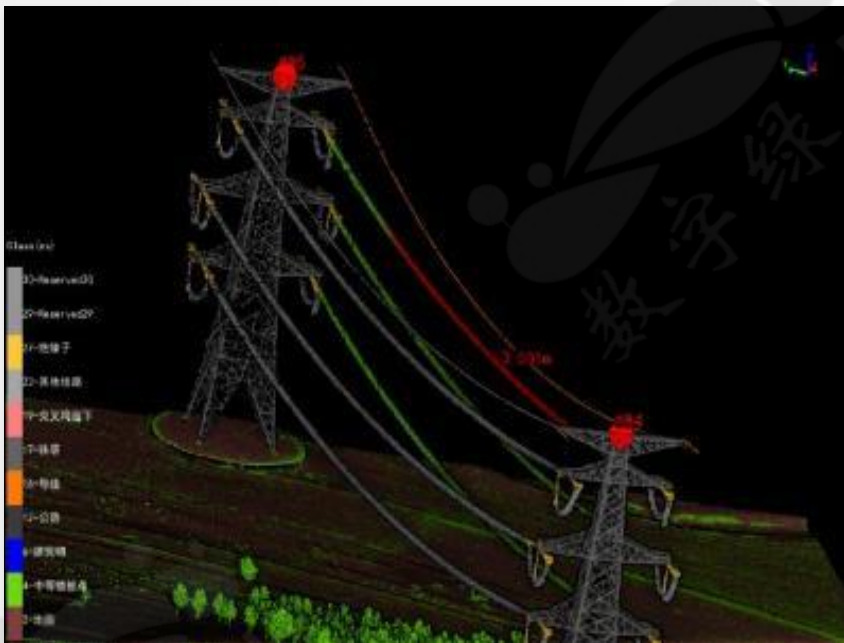
主网特色应用

■ 线下施工告示牌

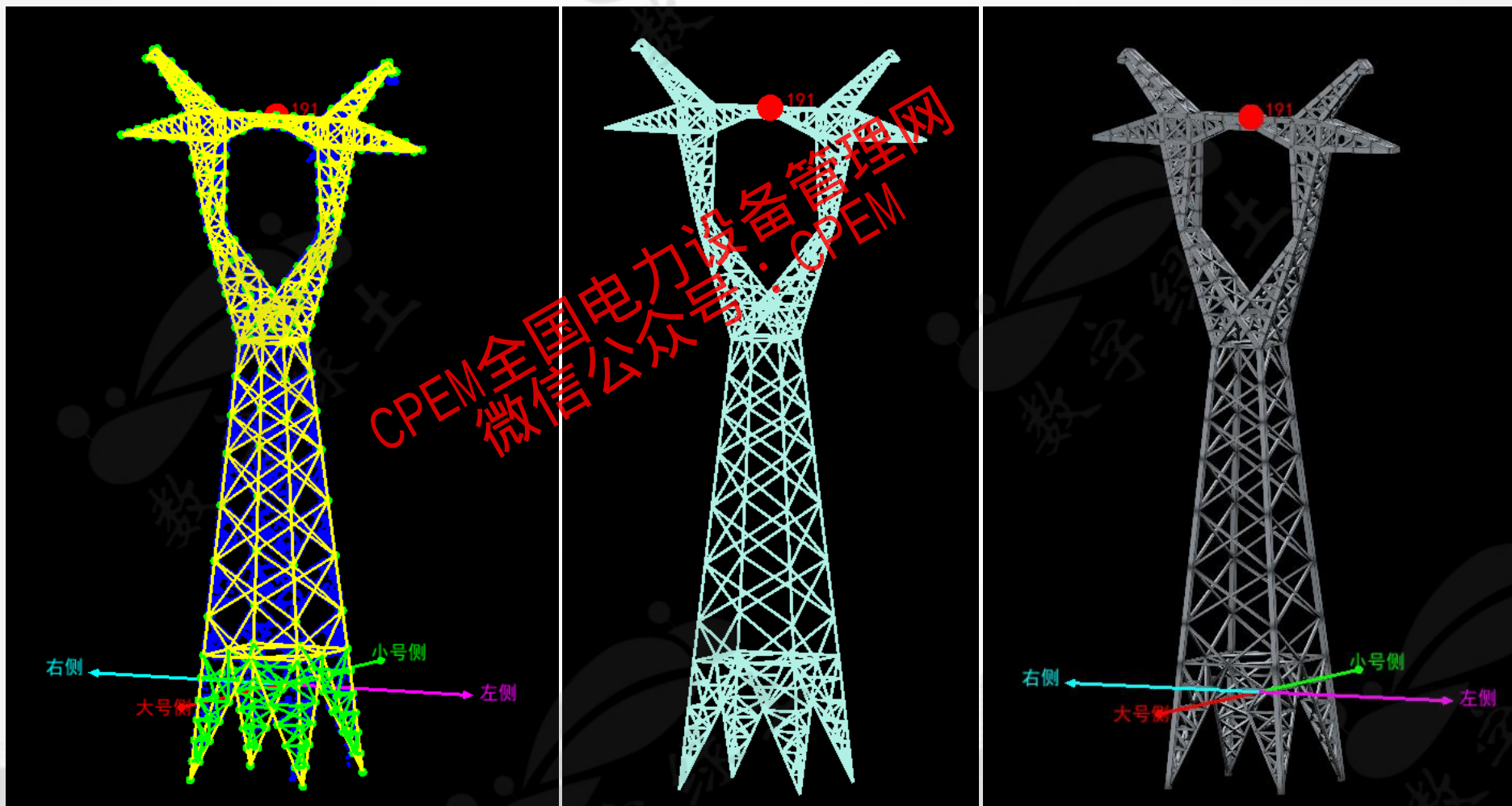


主网特色应用

- 某线路跳闸，故障原因无法快速定位。采用激光雷达巡查，发现中央档距导线净空距离不足，经与设计资料相对照，定位施工中问题。
- 发生地震后，重点杆塔进行激光雷达巡查，覆盖杆塔及周边重点区域范围，并进行快速处理，12小时内生成专业分析报告，发现5处变形和断裂。



- 骨架特征点的杆塔快速建模，生成工业标准轻量化三维模型，易于信息系统集成应用



主网数字孪生激光扫描系统

中国民用航空局

CIVIL AVIATION ADMINISTRATION OF CHINA

补充型号合格证数据单
SUPPLEMENTAL TYPE CERTIFICATE DATA SHEET

编号/NO. STC211-XX

原产品型号 BELL 407 型直升机

现产品型号 BELL 407 型直升机

设计更改说明

改装主图/主资料清单和版本:《BELL 407 直升机机载激光雷达系统加装工程主图/主资料清单》(编号: STC192701MD-02, 版本: R1, 2020 年 07 月 14 日)及后续批准版本。

审定基础:《正常类旋翼航空器适航规定》(CCAR-27-R2)中适用条款, 见 G1。
持续适航性文件:《BELL 407 直升机机载激光雷达系统加装飞行手册补充文件》(编号: STC192702MD-03, 版本: R0, 2020 年 07 月 13 日);《BELL 407 直升机机载激光雷达系统加装持续适航补充指引》(编号: STC192701CA-06, 版本: R0, 2020 年 07 月 13 日)及后续批准版本。

使用限制

本批准适用于 BELL 407 直升机机载激光雷达系统。

实施改装后, 除遵守现行有效版本的 BELL 407 直升机飞行手册中的适用要求外, 还须遵守适用的《BELL 407 直升机机载激光雷达系统加装飞行手册补充文件》(编号: STC192702MD-03, 版本: R0, 2020 年 07 月 13 日), 《BELL 407 直升机机载激光雷达系统加装持续适航补充指引》(编号: STC192701CA-06, 版本: R0, 2020 年 07 月 13 日)及后续批准版本。保证改装后航空器的持续适航。
实施改装时必须确认此改装与之前已批准的改装是否兼容。

5 测试结论

测试结论	经测试, 本次测试的机载激光雷达系统在以上方案中的环境及方法下的平面定位精度为0.058m, 高程定位精度为0.046m。 本次测试的机载倾斜摄影五拼相机在以上方案中的环境及方法下的地面分辨率率为2.4cm。
问题处理建议	无

武汉地质测量检测与测量工程研究院有限公司
湖北省北斗卫星导航系统应用推广中心



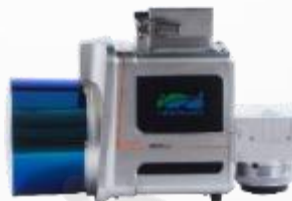
民航局适航认证,
适配贝尔407机型



CPEM全国电力设备管理网
微信公众号: CPEM



专业机构精度验证,
平面精度6厘米, 高程精度5厘米



主网特色应用

加密

航线管理平台

解密



三维智能巡检可视化平台

3D INTELLIGENT INSPECTION VISUALIZATION PLATFORM

以三维激光点云数据为基础，结合倾斜影像、3D模型、dem影像、tif地形、视频、可见光、红外等缺陷巡检数据，构筑数字化智能巡检管控平台；提供主配网线路杆塔关键参数全自动测量、净空、树倒及特殊工况模拟的危险点预测分析，实现主网、配网、变电站、光伏的无人机现场巡检作业线上线下的全流程管控。



主网特色应用



■ 巡检数据管理平台县级版（省巡检管控平台的轻量版）

■ 班组应用

■ 单机软件

■ 台账数据

■ 激光点云

■ 巡检照片

■ 数据浏览

■ 量测分析

Figure 1: Screenshot of the Llearnth County Edition (Llearth县城版) interface, showing the 'Line Account Management' (线路台账管理) section. The interface includes a sidebar with navigation options like 'Data Account Management' (数据台账及处理), 'Line Account Management' (线路台账), 'Basic Measurement Tools' (基本测量工具), 'Net Clearance Risk Analysis' (净空危险点分析), 'Base Station Planning' (基站规划), and 'Substation Special Topics' (变电站专题). The main content area displays a table of line accounts with columns for 'Line Name' (线路名称), 'Voltage Level' (电压等级), 'Line Type' (线路类型), 'Conductor Type' (导线型号), 'Line Start' (线路起止), 'Transport Capacity' (运输容量), 'Transport Section' (运维区段), 'Transport Unit' (运维单位), and 'Operations' (操作). A large red watermark 'CPDM 全国电力设备管理网 微信公众号: CPDM' is overlaid on the table.

线路名称	电压等级	线路类型	导线型号	线路起止	运输容量	运维区段	运维单位	操作
500kV	500kV	500kV	LGJ-500/45	三峡地下电站映...	--	--	国网湖北电力...	详情 上传 合并点云 工程 下载 删除
500kV	500kV	500kV	--	--	--	#1-#99	国网湖北电力...	详情 上传 合并点云 工程 下载 删除
500kV	500kV	500kV	--	--	--	1-156	国网湖北电力...	详情 上传 合并点云 工程 下载 删除
500kV	500kV	500kV	--	--	--	#1-#138	国网湖北电力...	详情 上传 合并点云 工程 下载 删除
500kV	500kV	500kV	--	--	--	--	国网湖北电力...	详情 上传 合并点云 工程 下载 删除

主网特色应用

- 雷视一体，实时监测，三维电子围栏，7x24全天时，可拓展变电站维修



变电站 智能巡检

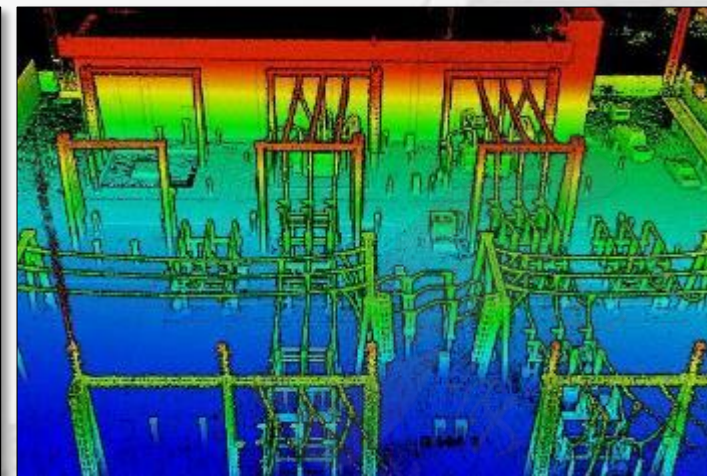
以无人机自主巡检模式，解决变电站人工、机器巡检以及视频监控等受限于高度和视角而无法对设备全覆盖问题，有效提升巡检范围和效率。

变电站特色应用

■ 多种激光扫描设备

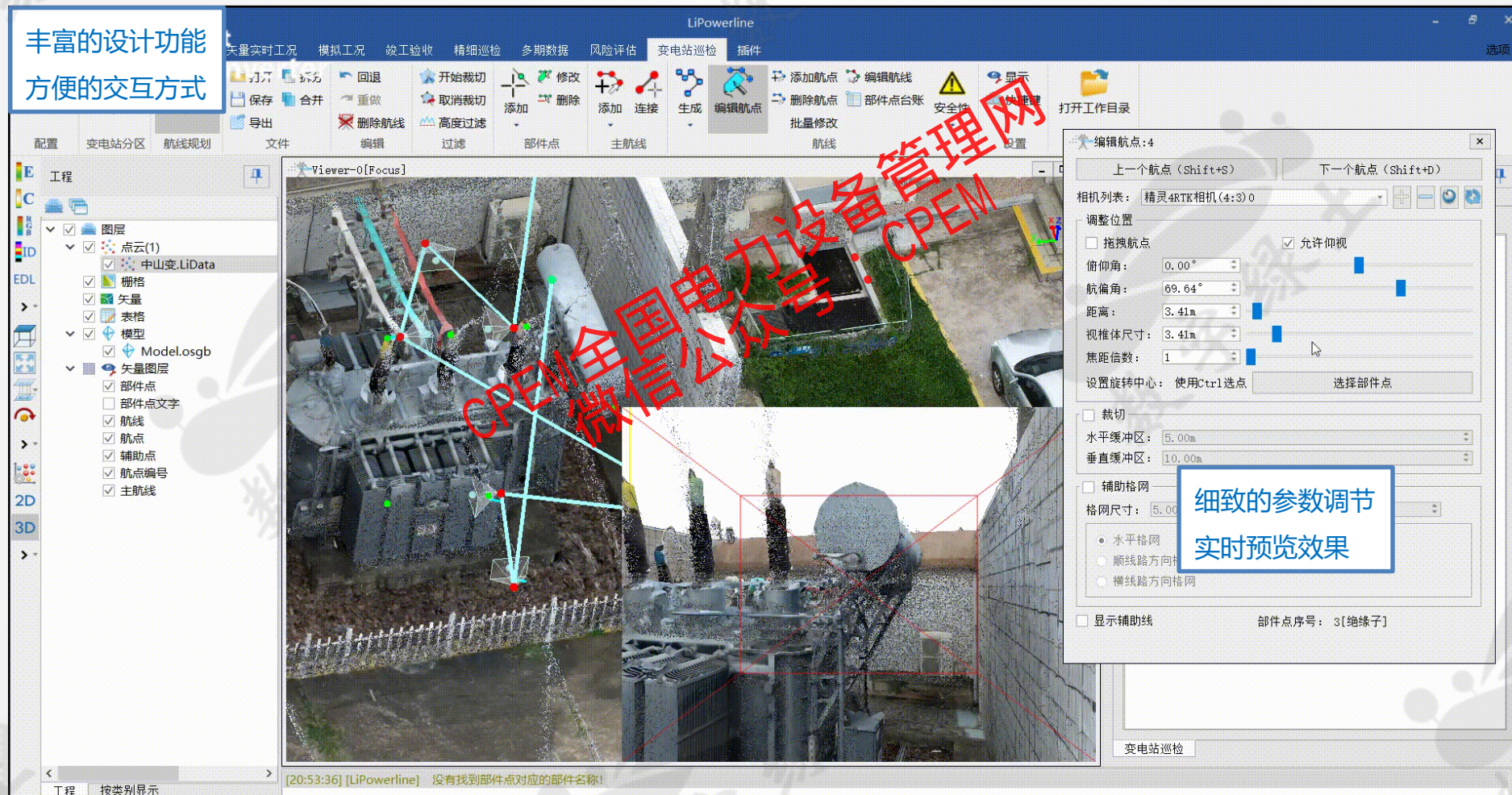


CPEM全国电力设备管理网
微信公众号：CPEM



变电站特色应用

■ 所见即所得，多参数直观设计，确保巡检照片质量



变电站特色应用

■ 支持

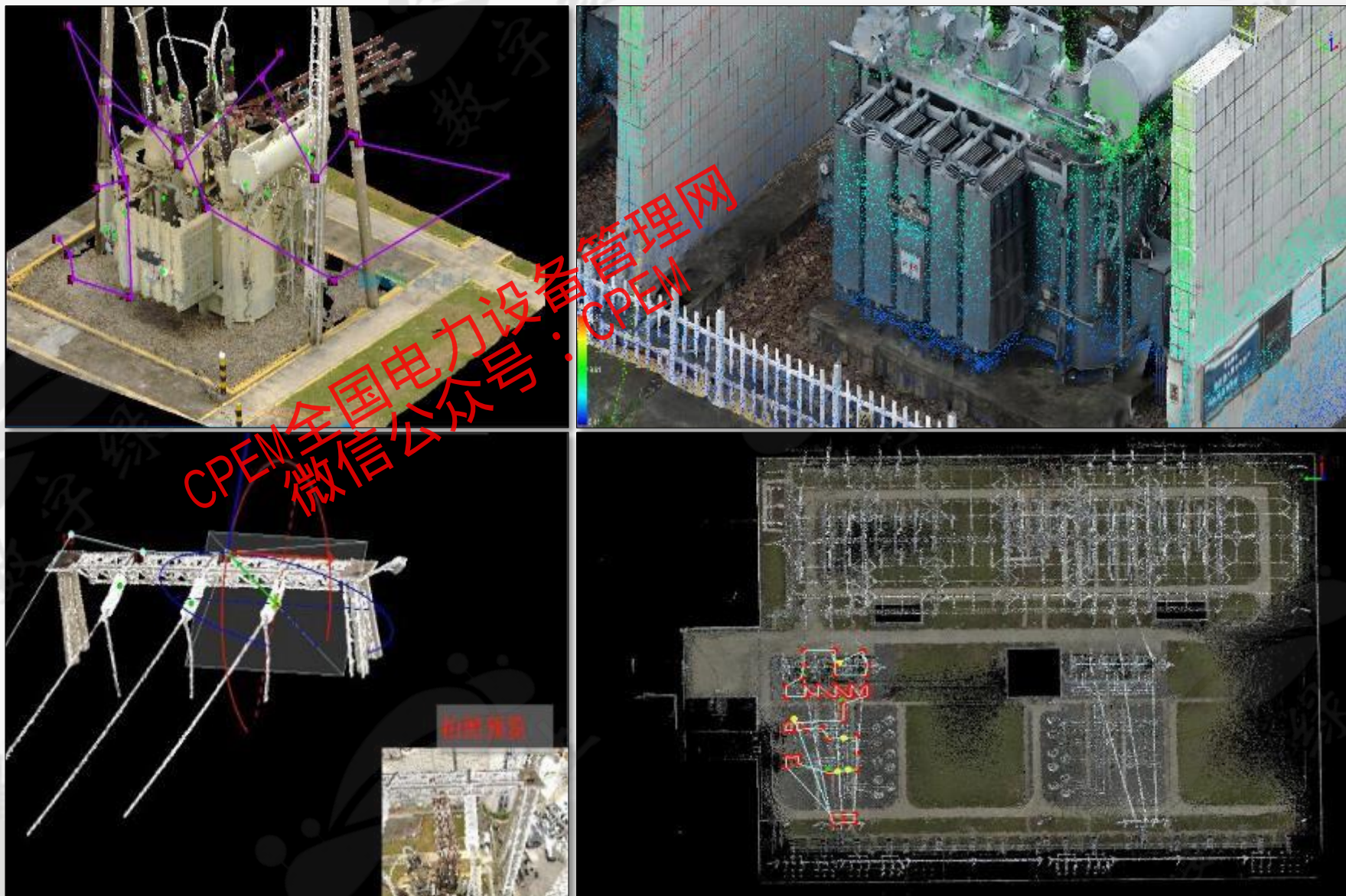
激光点云

+

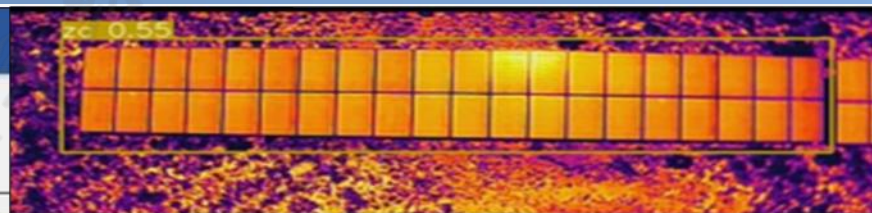
倾斜摄影

||

航线规划更直观



光伏电站特色应用



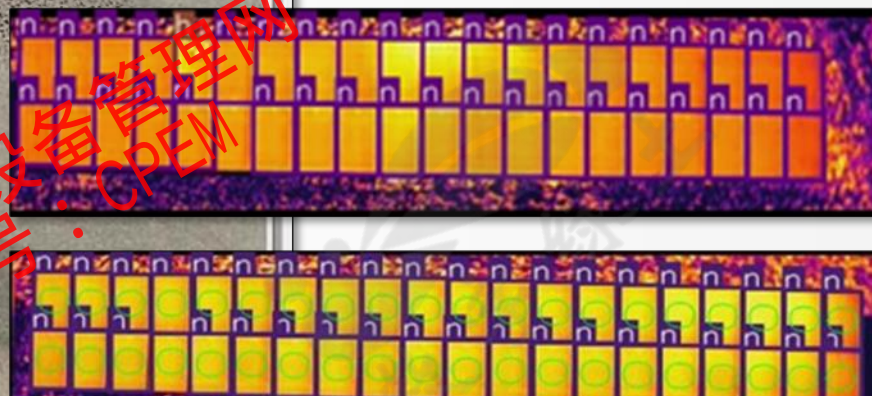
组串位置检测



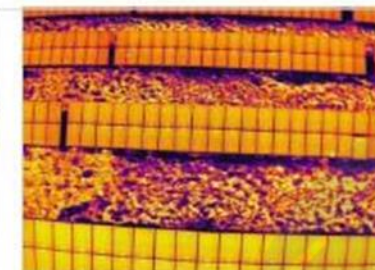
组串故障检测



组串错偏检测



DJI_0536.jpg



DJI_0536.jpg

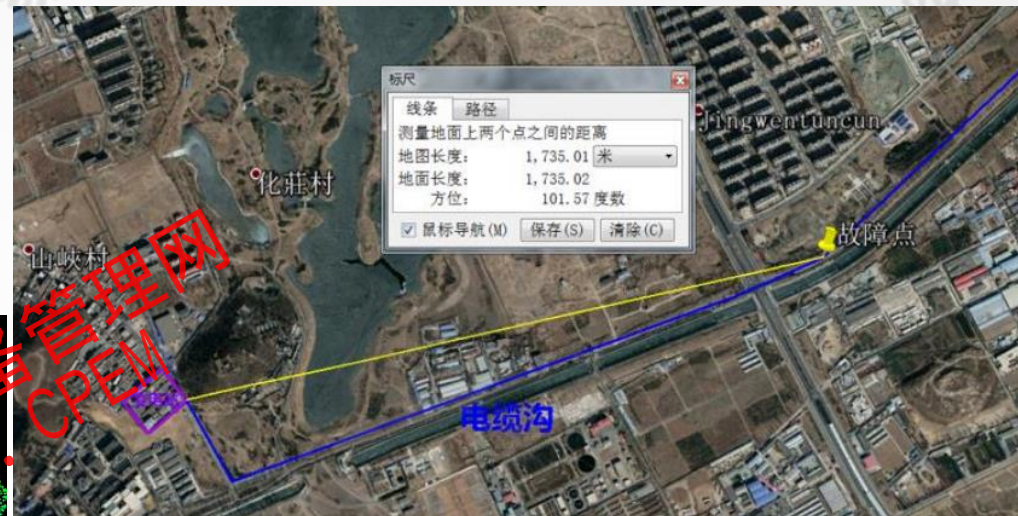
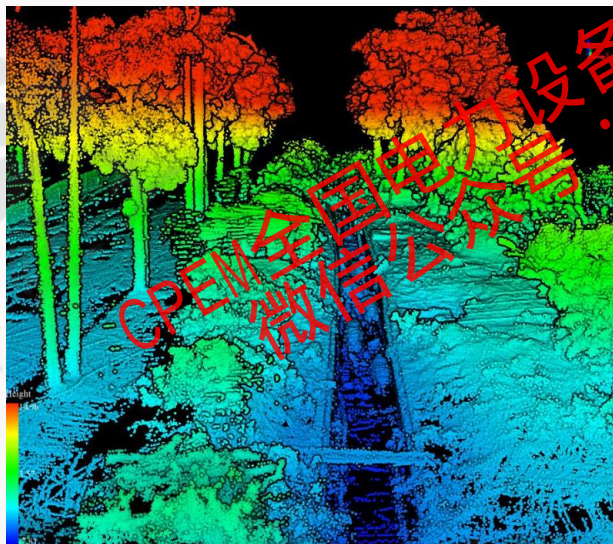
故障组件定位

下排 第17个组件 热斑 置信度:0.996838

配网特色应用

■ 地下电缆故障巡视

■ 开挖=>扫描=>铺线 =>故障点导航

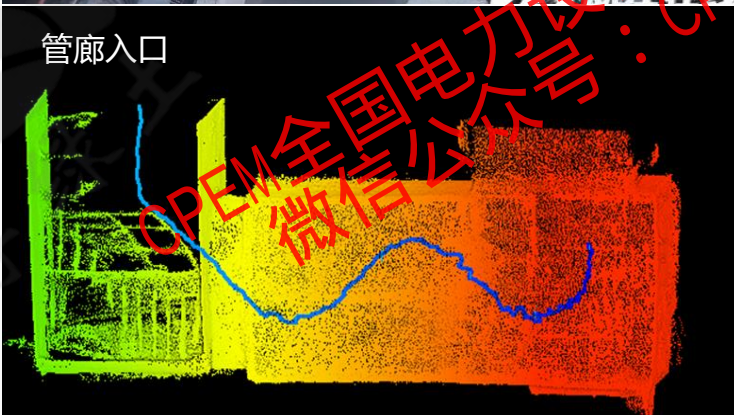


配网特色应用

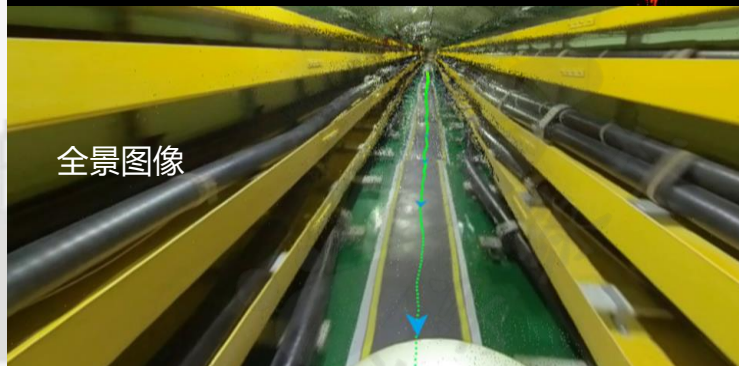
- 地下电缆管廊巡视
- 传统模型美观，但成本高，更新周期长
- 机器人、机器狗长期运行轨迹需纠偏
- 利用激光雷达扫描，快速建立管廊高精度地图，为机器人定位导航



管廊入口

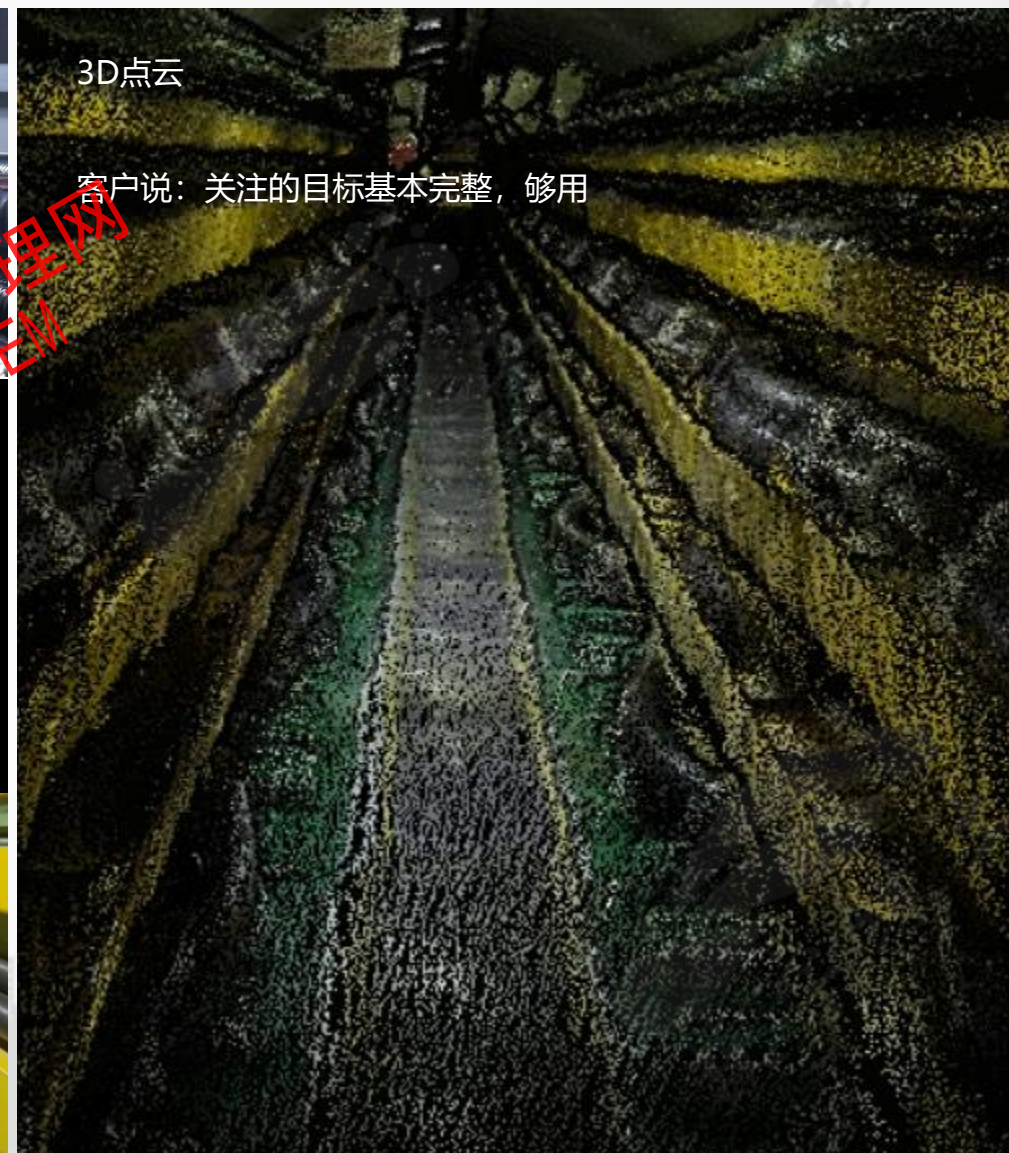


全景图像



3D点云

客户说：关注的目标基本完整，够用



探索——如何降低飞行规划、准备时间和难度



■ 现状

- 室内参照地图标绘概率位置
- 现场踏勘，逐塔确认
- 室内整理踏勘资料
- 恢复简易台账
- 编制飞行航线

■ 每天5公里

■ 应对，采用3D环境感知技术

- 无人机三维激光扫描线路拓扑

■ 无需预设航线

■ 无需RTK信号

■ 激光自主导航L3级无人驾驶

- 三维激光点云规划航线

■ 每小时10公里

CPEM全国电力设备管理网
微信公众号：CPEM

探索——如何降低飞行规划、准备时间和难度 能飞尽飞



GNSS2 GNSS1

LiAir X3

激光雷达智能巡检系统

正式发布

数字绿土
GreenValley

CPEN全国电力设备管理网
微信公众号: CPEN

探索——如何降低飞行规划、准备时间和难度 能飞尽飞



L3级别 "自动驾驶"
自动导线跟踪\自动过塔转弯

智能算法在线升级
时刻保持最佳性能

AI

接入绿土云迹
无基站作业

LiCloud

树障实时检测
现场状况一目了然

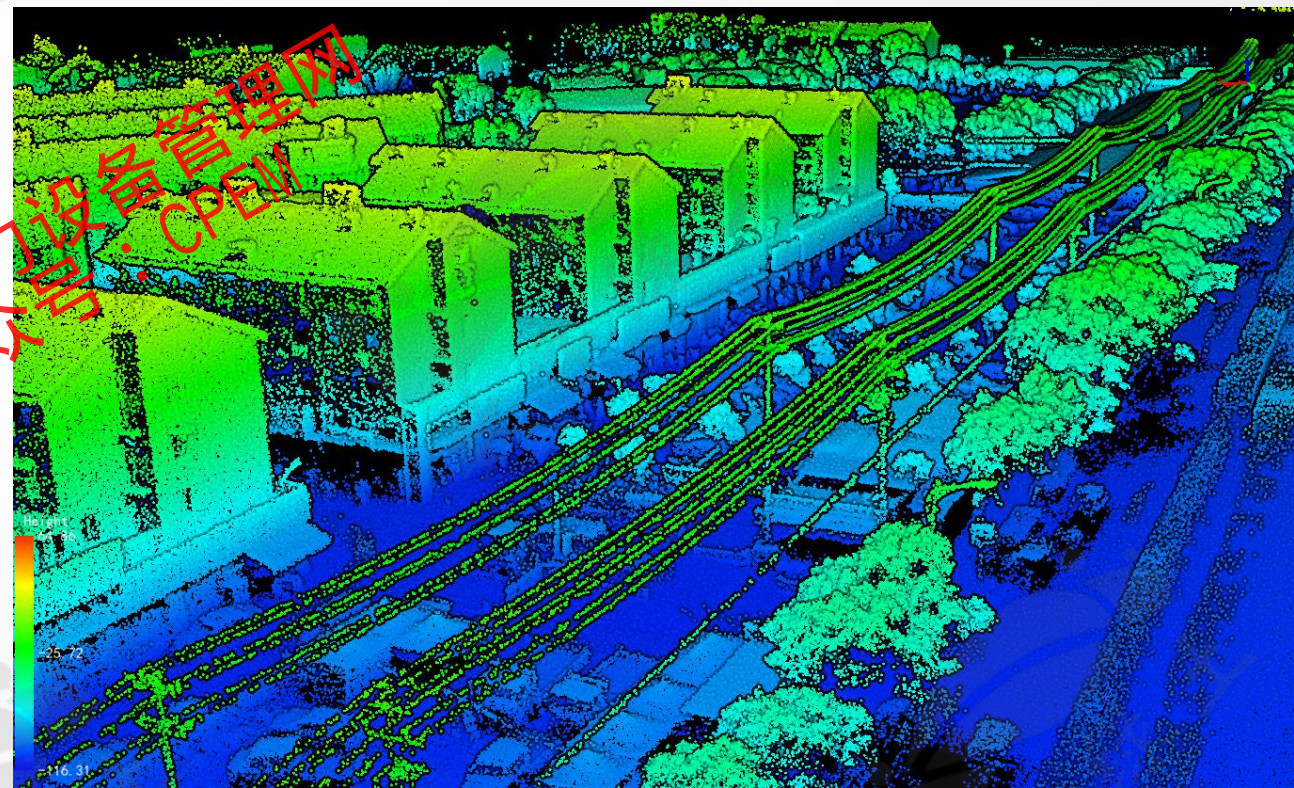
多端远程操控
外业更加得心应手

CPEN全国电力设备管理网
微信公众号: CPEN

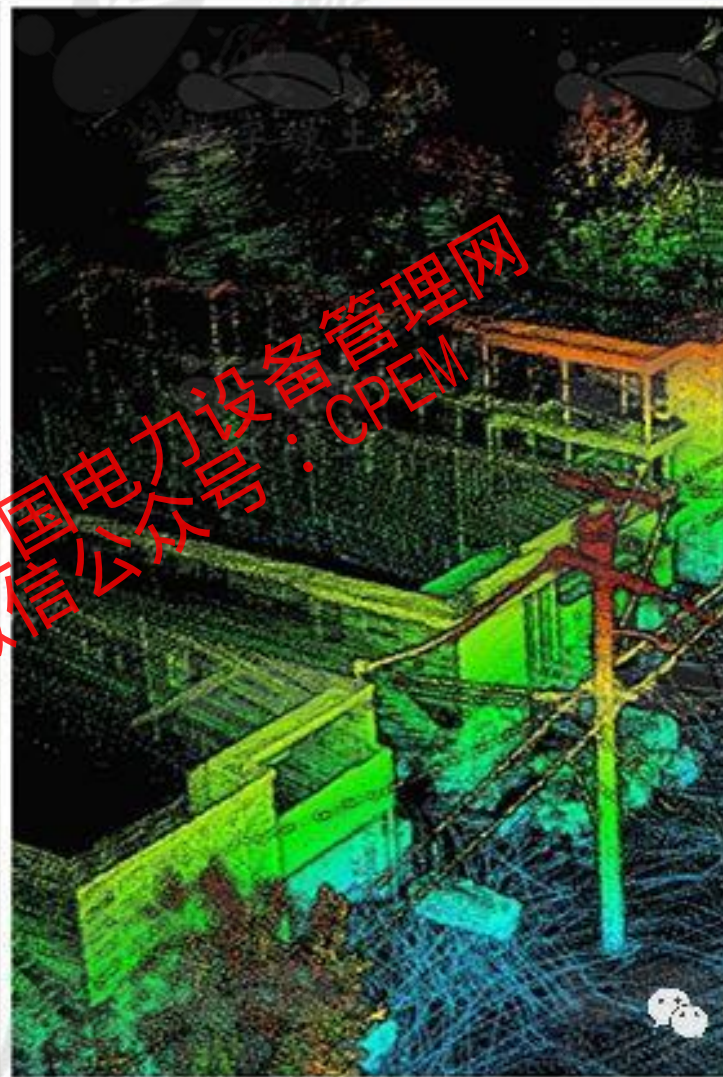
- 无需预设航线
- 无基站
 - 支持实时RTK
 - 支持云迹后处理
- 高精度
 - 净空危险点
 - 精细巡检航线
 - 竣工分析
- 持续升级
 - 充沛的算力资源
 - AI模型持续迭代
 - 远程在线升级

探索——如何降低飞行规划、准备时间和难度 近路驾车

■ 便携、经济、一站式

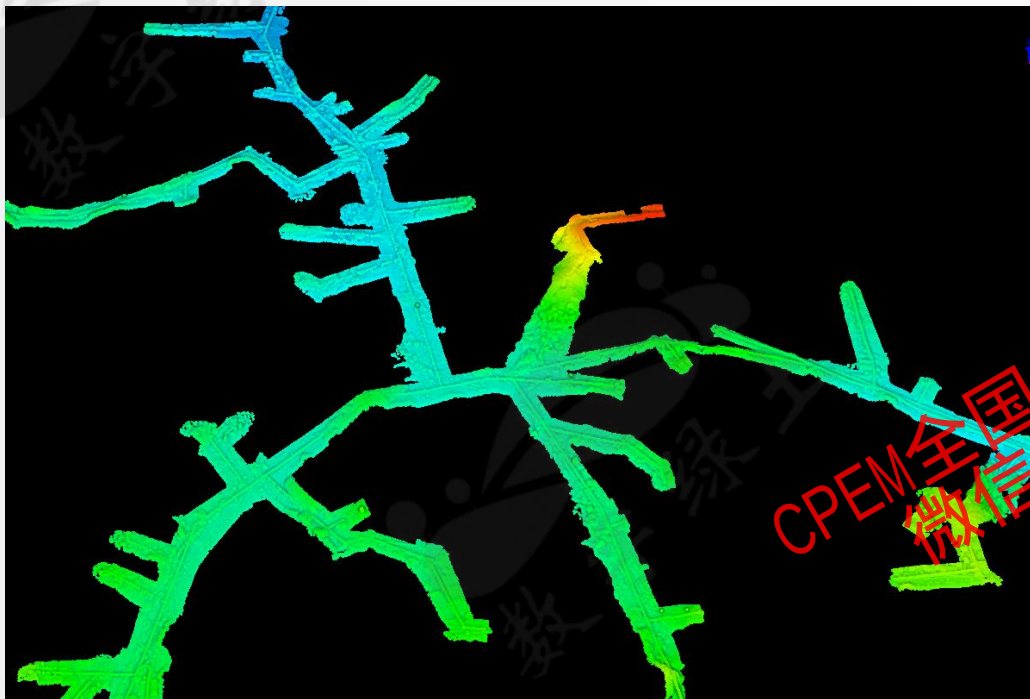


探索——如何降低飞行规划、准备时间和难度 末梢人背



探索——如何提高通道巡视能力 高频覆盖

■ 挑战，243公里



■ 对策

■ 自主飞行+孪生线路+机巢/场

■ 激光自主飞行获取数字孪生线路

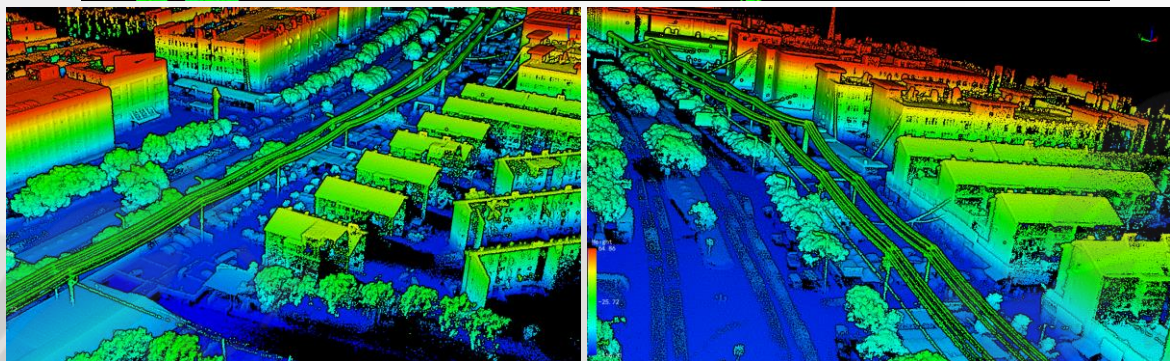
■ 孪生线路高精线路地图，规划任务

■ 定时、定点，排班式飞行作业

■ 部署机巢/简易机场

■ A点起飞A点降落

■ A点起飞B点降落

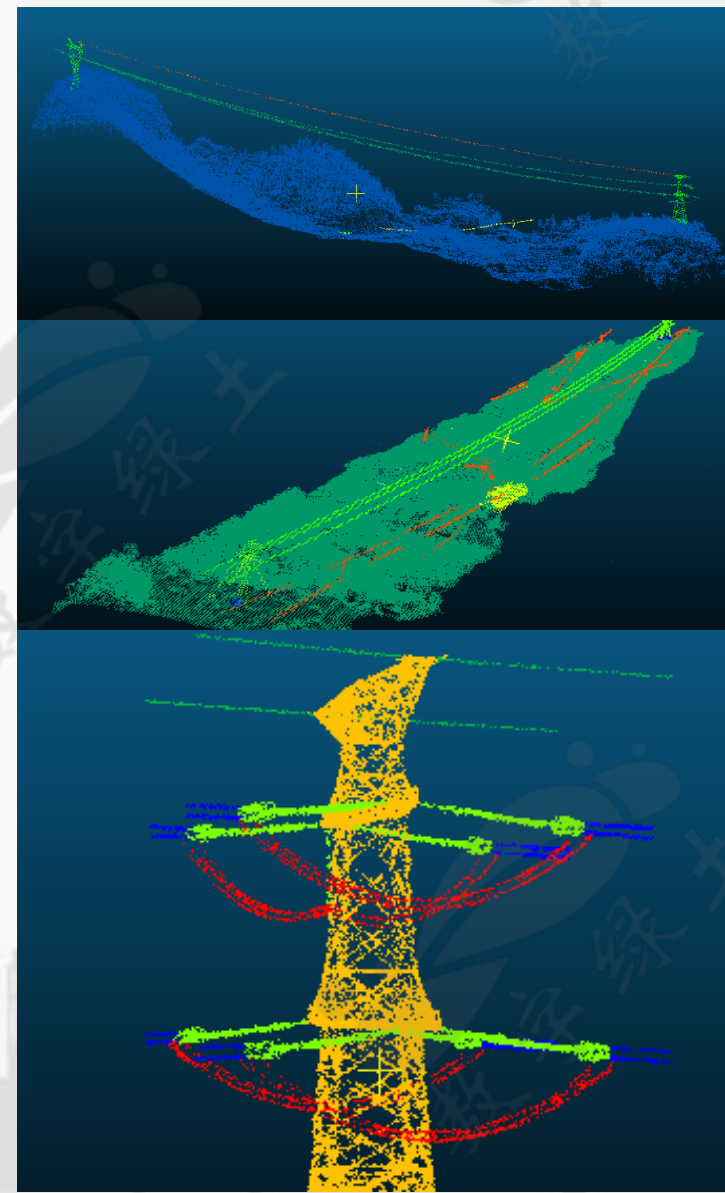


探索——如何提高通道巡视能力 高效处理

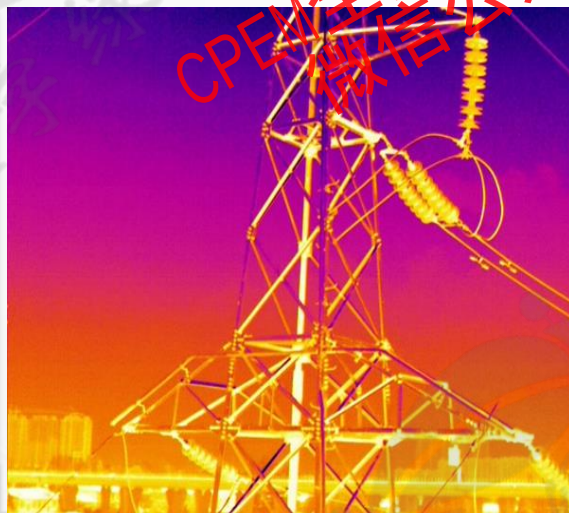
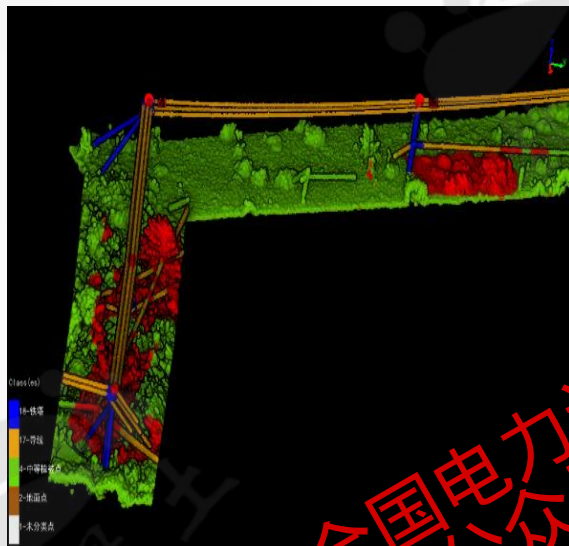
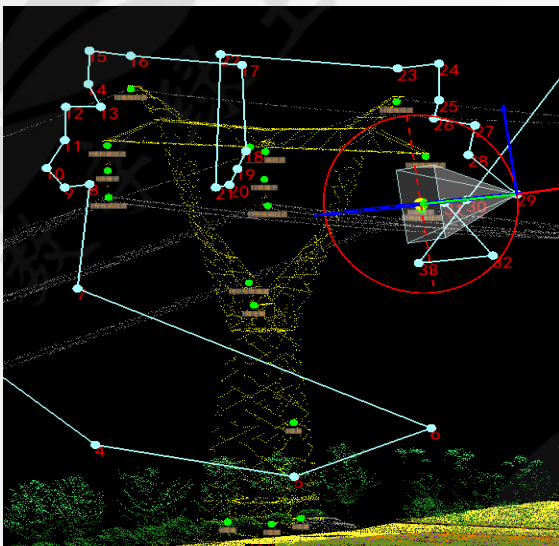
类别	背景	导线	地线	杆塔	绝缘子	引流线	建筑	交跨
精度(%)	99.02	97.98	98.46	97.64	97.84	96.56	73.26	88.30



实测：4节点组网处理，效率为单节点12倍

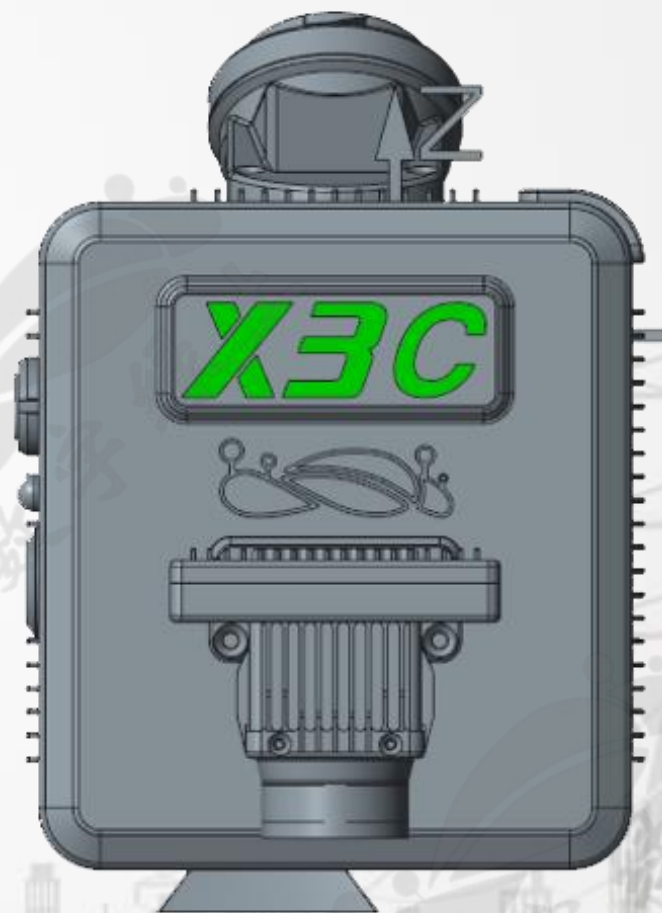


展望——档间设备自主巡视



当前：
更关注通道
和杆塔本体

我们即将发
布一款专门
针对档间设
备自主巡视
的产品，敬
请期待。



汇报完毕，感谢聆听！

CPEM全国电力设备管理网
微信公众号：CPEM

数字绿土

致力提供全球领先的电网技术服务

