

# 智能安全帽定位系统强化高风险作业过程管控

张 策

大唐山东发电有限公司新能源分公司 山东 济南 250000

**【摘要】**：随着高风险作业场景日益复杂，传统安全管理方式难以满足需求。智能安全帽定位系统应运而生，该系统借助先进定位技术、多种传感器及数据传输与处理功能，实现对作业人员精准定位与实时追踪，能全方位监测人员状态与环境信息，并及时处理与反馈数据。在高风险作业过程中，可用于作业人员定位与轨迹追踪、安全状态监测与预警、作业流程管理与优化以及应急救援支持与响应，显著提升管控效率与安全性，为高风险作业安全管理提供有力技术支撑。

**【关键词】**：智能安全帽；定位系统；高风险作业；过程管控；安全管理

DOI:10.12417/2811-0722.25.10.005

## 引言

高风险作业如工程施工、高处作业、有限空间作业等，因其环境复杂、危险因素多，极易引发安全事故，严重威胁作业人员生命安全与企业财产安全。传统安全管理手段在实时性、精准性和全面性上存在不足，难以有效应对此类作业的安全挑战。智能安全帽定位系统凭借先进技术，为高风险作业过程管控带来新契机。通过对该系统深入研究，旨在探索如何利用其提升管控水平，降低事故发生率，保障高风险作业安全、高效进行。

## 1 智能安全帽定位系统技术构成

### (1) 高精度定位技术的多场景适配

在新能源行业电力安全监督领域，作业环境的复杂性对定位精度提出极高要求。智能安全帽定位系统融合卫星与室内双重定位技术，形成互补式定位体系。在开阔的光伏电站、风力发电场等室外场景，GPS与北斗卫星定位系统通过接收多颗卫星信号，能够将作业人员位置误差控制在极小范围，使管理人员在电子地图上实时掌握人员动态分布。当作业转入变电站设备检修、地下电缆隧道等室内环境时，卫星信号易受遮挡，此时蓝牙定位与UWB超宽带定位技术发挥作用。蓝牙定位依托低功耗蓝牙基站组网，以较低成本实现百米级区域内的人员位置识别，满足日常巡检的基础定位需求。

### (2) 传感器阵列的多维数据采集

智能安全帽内置的传感器矩阵构成全方位监测网络。运动感知层面，加速度计与陀螺仪协同工作，通过捕捉人体姿态角变化与三轴加速度数据，持续分析作业人员的动作模式。当检测到重心突然偏移、剧烈翻转等异常动作时，系统会立即触发摔倒报警机制，同时记录动作发生的时间与位置。生理监测方面，集成的光电式心率传感器与温度传感器，可实时采集作业人员的心率变异性、体表温度等数据，结合电力作业强度模型，动态评估人员疲劳程度。在高温环境下的光伏板维护作业中，系统能及时发现因中暑前兆导致的心率异常，避免因体力透支引发安全事故。环境监测模块则配备气体传感器、温湿度传感

器等设备，针对新能源电站可能存在的氢气泄漏（燃料电池场景）、SF<sub>6</sub>气体超标（变电站场景）等隐患，进行7×24小时不间断监测，确保作业环境始终处于安全阈值内。

### (3) 数据链路的智能处理体系

数据传输与处理模块构建起从终端到管理平台的智能通道。在通信层，5G网络的低时延、高带宽特性，使安全帽采集的定位数据、传感器信息以及现场视频得以毫秒级传输至云端。即使在偏远山区的风电运维现场，也能保障数据实时同步。后台管理系统采用分布式计算架构，通过大数据分析引擎对海量数据流进行实时清洗、聚合与建模。基于电力作业场景的深度学习算法，可从复杂数据中提取关键特征：例如通过分析作业人员移动速度与设备检修流程的关联性，判断是否存在违规操作；利用环境参数的时序变化预测潜在风险。系统还支持数据可视化呈现，以热力图展示人员密度分布，用趋势曲线预测环境指标演变，为安全监督决策提供直观的数据支撑。

## 2 高风险作业场景下定位系统功能实现

### (1) 人员动态管控与轨迹回溯

在新能源电力工程建设与运维场景中，人员定位与轨迹管理是安全监督的核心环节。智能安全帽定位系统通过实时刷新作业人员坐标，在三维电子地图上标注出每个人的精确位置，管理人员可直观查看光伏场区、风电场升压站等作业区域的人员分布态势。系统具备轨迹存储与分析功能，能够完整记录作业人员从入场到离场的全过程行动路径。在高压设备带电检修作业中，通过回放轨迹可核查人员是否严格遵循绝缘安全距离要求，是否按规定顺序操作设备。对于偏离预定路径的行为，系统自动生成异常事件报告，结合时间戳与环境数据，辅助安全监督人员快速定位违规原因，为后续流程优化提供实证依据。

### (2) 安全风险的立体监测预警

智能安全帽构建起覆盖人员、设备、环境的三重预警防线。在人员安全监测方面，当运动传感器检测到作业人员从高空坠落、触电抽搐等突发状况时，系统立即向后台发送包含位置信

息的紧急报警，并同步启动语音呼救功能。生理监测模块通过持续分析心率变异性、血氧饱和度等指标，对疲劳作业、过度紧张等状态进行分级预警。在环境监测层面，针对风力发电机舱内的高温、高振动环境，或变电站内的有害气体积聚风险，安全帽内置的多参数传感器一旦检测到指标超标，会通过声光报警提示作业人员采取防护措施，同时将预警信息推送至安全管理平台，触发应急预案响应流程。

### (3) 作业流程的数字化协同管理

通过与电力安全监督管理系统深度集成，智能安全帽定位系统实现作业流程的全周期管控。在作业计划阶段，管理人员根据任务类型与风险等级，在系统中划定电子围栏，设定作业禁区与许可区域。作业过程中，系统实时校验人员位置与任务要求的匹配度，当发现作业人员擅自进入未授权区域时，立即发出语音警示并通知现场负责人。结合任务进度跟踪功能，系统可自动分析各作业小组的完成情况，动态调配人力资源。例如在大型光伏电站组件更换作业中，当某区域进度滞后时，系统可智能规划最优支援路径，引导邻近作业人员快速响应，确保整个项目在安全前提下高效推进。

## 3 智能安全帽定位系统优势展现

### (1) 安全监督的实时响应能力

相较于传统人工巡检模式，智能安全帽定位系统彻底改变了电力安全监督的响应机制。传统方式依赖巡检人员定时上报数据，信息传递存在明显延迟，难以应对电力作业中的突发风险。而智能系统通过实时数据流传输，使管理人员能够同步掌握作业现场动态。在风力发电机叶片抢修作业中，当维修人员遭遇强风天气或设备突发故障时，安全帽可瞬间将现场图像、位置信息与传感器数据传回指挥中心，安全监督人员得以第一时间启动应急处置程序，协调救援力量，将事故风险降至最低。这种即时响应能力大幅缩短了从风险发现到处置的时间链条，显著提升安全管理效能。

### (2) 风险管控的精准识别水平

在新能源电力复杂作业环境中，传统安全管理手段对风险的识别存在模糊性与滞后性。智能安全帽定位系统凭借高精度定位与多源数据融合技术，实现对风险的精准定位与预判。通过厘米级定位精度，系统可精确判定作业人员与带电设备、高空危险区域的距离，一旦突破安全阈值立即触发警报。结合环境参数与作业行为数据的关联分析，系统能够识别潜在风险模式：例如通过分析人员操作设备时的动作频率与环境温湿度的关系，预测因设备过热引发火灾的可能性。这种精准化的风险识别能力，使安全监督从被动应对转向主动防控，有效降低事故发生概率。

### (3) 安全管理的全要素覆盖体系

传统电力安全管理往往局限于部分环节，难以形成系统性

防护。智能安全帽定位系统构建起覆盖人员、设备、环境与流程的全要素管理体系。在人员管理方面，系统不仅监测位置与安全状态，还通过生理数据评估作业能力；设备管理层面，结合作业人员操作行为与设备运行参数，可预判设备故障风险；环境监测涵盖温湿度、气体浓度、电磁辐射等多维度指标；流程管理则通过轨迹分析与任务校验，确保作业严格遵循安全规程。这种全面性管理模式，使安全监督能够穿透作业全流程，及时发现并消除各类潜在隐患，为新能源电力作业构筑起立体防护网络。

## 4 实际应用案例成效分析

### (1) 某大型光伏电站的安全革新

在西北某百万千瓦级光伏电站，智能安全帽定位系统的应用重塑了安全管理模式。通过实时定位与行为监测，系统有效遏制了违规作业行为。在组件清洗作业中，系统自动识别出未系安全绳登高作业、未按规定路线行走等危险行为，并通过语音提醒与后台通报双重机制进行纠正。环境监测功能则及时发现了逆变器舱室因散热不良导致的温度异常，避免了设备起火事故。系统实施后，电站安全事故发生率显著下降，作业人员安全意识大幅提升，形成了“数据驱动、智能防控”的新型安全文化。

### (2) 新能源汽车充电站运维优化

在城市新能源汽车充电网络运维场景中，智能安全帽定位系统显著提升了作业效率与安全性。巡检人员佩戴安全帽后，系统根据充电站设备分布与运行状态，动态规划最优巡检路线，并通过实时视频回传功能，使后台专家能够远程指导疑难问题处理。在一次充电桩内部电路故障排查中，巡检人员通过安全帽摄像头实时传输的画面，在专家指导下快速定位故障点，维修时间缩短60%以上。系统对作业人员的安全状态监测，有效预防了因触电、机械伤害等导致的事故，保障了城市充电基础设施的稳定运行。

### (3) 海上风电运维的应急突破

在某海上风电项目中，智能安全帽定位系统彻底改变了海上作业的应急救援模式。海上环境复杂多变，一旦发生事故，传统救援方式存在响应慢、定位难等问题。引入该系统后，当风机平台作业人员遭遇突发状况时，安全帽立即将位置信息与现场情况传输至岸基指挥中心，救援船只可借助高精度定位数据快速抵达事发海域。在一次模拟人员落水演练中，系统从报警到确定落水位置仅用时2分钟，救援人员到达现场时间较传统方式缩短，极大提升了海上作业的应急保障能力，为海上风电安全生产提供了可靠支撑。

## 5 智能安全帽定位系统发展展望

### (1) 定位技术的极限突破

未来智能安全帽定位系统将在精度与覆盖范围上实现双

重突破。卫星定位领域，随着低轨卫星星座的完善与星基增强技术的应用，室外定位精度有望达到分米级甚至厘米级，满足新能源电力工程中设备安装调试对高精度定位的需求。室内定位技术方面，UWB超宽带与毫米波雷达的融合应用，将使地下电缆隧道、变电站室内等场景的定位精度提升至毫米级，实现对作业人员操作轨迹的亚毫米级追踪。新型量子定位技术的探索应用，可能为极端环境下的电力作业（如极地风电运维）提供颠覆性定位解决方案。

### （2）智能决策的深度进化

依托人工智能与边缘计算技术，未来系统将具备更强大的自主决策能力。通过构建电力作业安全知识图谱，结合深度学习算法对海量历史数据的学习，系统可实现风险的智能预测与主动干预。基于作业人员的历史行为数据与设备运行规律，预测设备故障高发时段，并提前安排预防性维护；利用环境参数变化趋势，自动调整作业计划以规避恶劣天气风险。系统还将支持自然语言交互，作业人员可通过语音指令获取安全提示、查询操作规范，实现“人机协同”的智能化安全管理。

### （3）生态融合的全域拓展

智能安全帽定位系统深度嵌入新能源电力安全生态体系。在数据交互上，通过标准化API接口与智能电网调度系统、设

备健康管理平台双向通讯，利用边缘计算节点实现毫秒级数据同步，构建“人员-设备-电网”协同联动网络。以风电集群运维为例，当智能电网调度系统监测到风机塔筒过载，设备健康管理平台生成预警，智能安全帽定位系统触发分级告警，一级预警用蜂鸣器和震动模块提示，二级预警规划撤离路径并生成导航图，保障作业人员安全撤离。在终端设备集成方面，智能安全帽与智能护目镜、电子脚扣形成安全监测矩阵。智能护目镜捕捉高温点与设备异常，电子脚扣监测人员姿态与摔倒事件，三者通过蓝牙Mesh网络互联，构建全维度生命体征监测网络。在智能设备协同领域，系统与无人机巡检、机器人运维形成立体化作业体系。无人机检测高空设备，机器人巡检地面设备，智能安全帽是指挥中枢。

## 6 结语

智能安全帽定位系统在高风险作业过程管控中已展现出显著优势，通过精准定位、实时监测、高效管理等功能，有效提升了作业安全性与效率。从当前应用案例来看，其在降低事故率、提升作业效率及应急响应能力等方面成效斐然。展望未来，随着定位精度提升、数据分析预测功能强化以及与其他智能设备深度融合，该系统将为高风险作业安全管理带来更多可能，持续为保障作业人员生命安全和企业稳定生产发挥重要作用，推动高风险作业领域安全管理水平迈向新高度。

## 参考文献：

- [1] 杨磊,黄志良,朱永涛.智能安全帽在建筑施工安全管理中的应用[J].建筑安全,2023,38(05):45-48.
- [2] 王涛,黄振武,张雷.基于物联网的智能安全帽系统设计与实现[J].电子技术应用,2022,48(10):120-123.
- [3] 杨震,马利强,魏忠华.智能安全帽定位技术在矿山安全管理中的应用研究[J].矿业安全与环保,2024,51(03):85-88.
- [4] 何志平,吴文渊,黄东.电力作业中智能安全帽的功能拓展与应用分析[J].电力设备管理,2025(02):102-104.
- [5] 杨晓敏,周红波,胡伟.智能安全帽系统对化工企业安全管理的提升作用[J].化工安全与环境,2024,37(15):15-17.