

基于电子围栏与定位数据的电厂两票安措风险预警方法

黄永波

东莞深能源樟洋电力有限公司，广东 东莞 523637

DOI:10.61369/EPTSM.2025090011

摘要：“两票三制”中的“两票”安全，即两票工作（工作票、操作票），是抓好电力行业安全生产的最基本依据。传统“两票三制”以人为主管控、纸质记录为主，存在“两票”安措布置执行不充分、人员进“危”区域、监看时效性差等问题，本文创新性地提出了基于UWB高精度定位技术、电子围栏、BIM可视化的动态风险管理及违章提醒技术机制，通过为作业人员和设备固定绑定定位标签，虚拟场景建立对应工作票安措的动态电子围栏，人员位置、人员身份、作业许可状态动态关联，系统自动识别无票进入、超区、与作业区安全距离太近等违章情况，现场声光告警、远程告警。本文设计了总体技术方案、工作流程和关键技术方法，模拟场景应用验证了机制对于提高电厂“两票”执行、事前预知、事中预警、降低安全事故发生概率的“前瞻性”。

关键词：两票安措；电子围栏；风险管理；违章提醒；智慧电厂

Risk Warning Method for Power Plant Two-Ticket Safety Using Electronic Fencing and Positioning

Huang Yongbo

Dongguan Shenzhen Energy Zhangyang Electric Power Co., Ltd. Dongguan, Guangdong 523637

Abstract : The "two tickets" in the "two tickets and three systems" refer to the safety measures of the two tickets (work permits and operation permits), which serve as the fundamental basis for ensuring safety in the power industry. Traditional "two tickets and three systems" rely primarily on human control and paper records, leading to issues such as insufficient implementation of safety measures in the two tickets, unauthorized entry into hazardous areas, and poor real-time monitoring. This paper innovatively proposes a dynamic risk management and violation alert mechanism based on UWB high-precision positioning technology, electronic fences, and BIM visualization. By permanently binding positioning tags to personnel and equipment, virtual scenarios establish dynamic electronic fences corresponding to work permit safety measures. Personnel location, identity, and work permit status are dynamically linked, enabling the system to automatically detect violations such as unauthorized entry, exceeding designated zones, and being too close to work areas. On-site audiovisual alerts and remote notifications are triggered accordingly. The paper outlines the overall technical framework, workflow, and key methodologies, with simulated scenarios demonstrating the mechanism's "proactive" effectiveness in improving the execution of "two tickets," preemptive awareness, real-time alerts, and reducing the probability of safety incidents in power plants.

Keywords : two-ticket safety measures; electronic fence; risk control; violation alerts; smart power plant

引言

电力生产过程具有参数高、能量大、复杂性强的特点，火力发电、核电等企业内部有高温、高压、带电设备、旋转机械、有毒有害气体等固有危险因素。为规范行为、防止误操作，我国电力行业强制落实“两票三制”^[3]，“两票”（工作票、操作票）是现场安全生产管理的总开关。工作票“安全措施”栏所列隔离的能源、悬挂的标牌、设置的遮栏等是作业人员的生命屏障。

但是，由于传统“两票”管理过多依靠人的责任心和经验，存在布置安措靠人、易错失、区段监管盲区与滞后、过程监管及追溯难、难以主动预警等困难。

随着物联网技术、高精度定位技术、数字孪生技术的出现，上述问题解决思路得到了新方向^[1]，文章尝试着将电子围栏与人员定位数据技术、电厂“两票”管理业务深度融合，构建智能化、动态化、可视化的区域危险预知与违章警示系统，使安全管理数字化，从深层次上提升电厂安全生产质量，保障电厂安全生产水平。

作者简介：黄永波（1976.10-），男，汉族，湖北黄冈人，本科，工程师，从事热能动力研究。

一、技术基础

(一) UWB高精度定位技术

超宽带指的是单位时间极短的非正弦窄脉冲的信号传输，其信号传输速率很快。与其他无线通信技术（Wi-Fi、蓝牙等）相比，UWB具有穿透距离大、不易产生多径信号、发射功率小、定位精度高、尤其静态定位精度高达10–30cm，且适用于室内外复杂电厂环境的优势^[2]。通过将UWB基站部署于厂区内外，为作业人员、巡检工、设备等贴上UWB标签，就能准确定位人员和资产等的厘米级位置。

(二) 电子围栏技术

电子围栏是一种基于位置服务的虚拟地理边界。在数字地图或BIM模型上创建一个或多个封闭的多边形区域，并与特定的规则，如准入、滞留期限等关联^[4]。具有定位标签的实体进入、退出或停留在围栏内，可以自动触发事件。在本应用中，电子围栏根据每张工作票的入站要求实时准确地创建并激活。

(三) BIM与数字孪生技术

建筑信息模型不仅仅包括电厂物理实体的三维几何模型，而且还包含有大量的属性信息，通过BIM构建电厂孪生体，将人员实时地理位置、设备状态、电子围栏等实时动态信息与电厂静态的工厂模型结合起来，构建出直观的、统一的可视监控平台，极大地提升了管理人员态势感知能力^[3]。

二、系统总体架构设计

本系统设计遵循分层设计的理念，即感知全面感知、传输稳健传输、决策智能决策、应用高效应用。系统主要是将系统的前端物理世界的数据与后台的业务逻辑紧密地结合起来，分成了4层，分别是：

感知层是系统“末梢神经”，承担系统内所有信息采集的工作，主要包含部署于厂区内外的UWB定位基站设备，部署于现场作业人员、安全帽的UWB人员标签、部署于关键移动装备的UWB设备标签、部署于危险场所周边的声光报警器及其他环境探测器。感知层是精准管控的物理层，是信息来源和质量的源头。

网络层是“神经网络”，承担着无缝隙传输数据覆盖全厂，以工业以太网、5G / IP等通信技术为基础的通信，将感知层感知的海量原始数据（尤其是位置数据）以恒定、低延时、高可靠方式传输给后端的平台层进行处理，保障实时性。

平台层是系统的脑部，负责算数据、跑逻辑，主要有几个引擎：位置解算引擎是将UWB原始信号变成厘米级的三维坐标位置；电子围栏管控模块实时管理着“两票”安措所勾画的虚拟地理范围；而规则引擎是智能大脑，实时匹配实时位置、人、电子围栏和已配置安全规则，自动甄别违章违纪行为；数据中台则汇聚全局历史、实时数据，支持分析、决策。

应用层是系统实现“五官和触手”，是面向不同用户（安全员、工作负责人等）的可视化大屏，集成BIM+风险可视化监测、实时违章告警推送、两票管理流程联动、多维度统计分析报表

等，将后台的智能研判进行可视化呈现，实现数到点决策闭环。

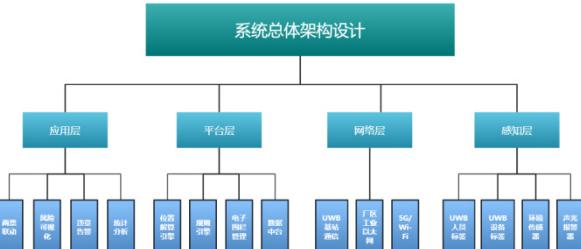


图1 系统总体架构图

三、“两票安措”区域风险管控与违章警示机制

(一) 动态电子围栏的生成与管理

动态电子围栏机制实现安全空间生命周期自动。主要思路是把安措电子围栏的生成、投用、取消与工作票业务过程紧密结合，将安全工作许可期间运行人员在BIM数字孪生模型上，通过安措需求，勾画“安措电子围栏”，实现物理隔离区域的虚拟、精细定义，系统默认预设的“预警电子围栏”是对应风险源高风险区域做缓冲。重点创新是状态耦合，电子围栏的生命周期状态（启/休）与对应的工作票许可、间断、终结保持一致，是一个具备“空、权、时”耦合关系，智能管控单元，实现了风险的区域动态定义、动态启用和待终结后其电子围栏取消释放系统，实现精准授权、及时回收，从根源上避免了安措的虚设与滞后。

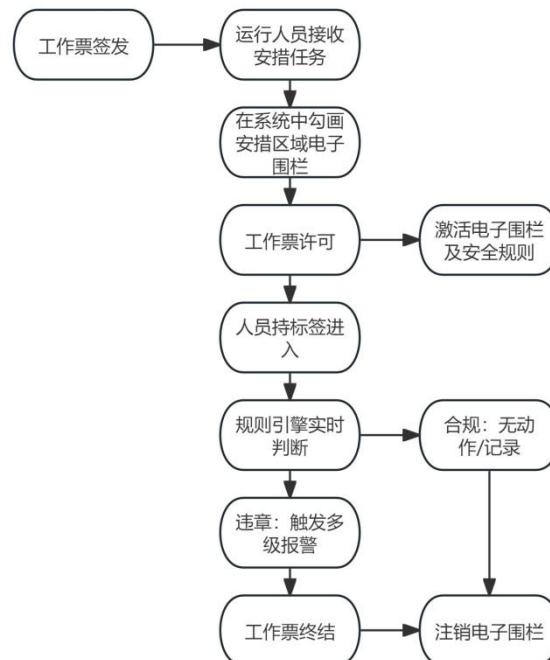


图2：动态电子围栏生成与工作票状态联动流程图

(二) 违章行为识别与多级警示机制

本方法是以规则引擎为驱动，实时根据定位解算结果和电子围栏、人、设备等信息的规则关系判定常见型违章，规则预置“无票”“安全距离”“滞留”“超时”，规则触发后，现场即时预警，

通过人员标签触觉 / 声觉信息反馈、区域声光等发出报警信号，现场级、平台级、数据中心级联动，利用“端一边一云”预警体系让安全风险预警从事后追溯转化为事前预警、事中拦截，实现实时高效管控。

表1：核心违章行为识别规则库

违章类型	规则描述	系统动作（警示机制）
无票进入	检测到人员标签已经进入激活的“安措电子围栏”之中，但并非属于本工作票的认证人员。	1. 现场级：标签人员震动 / 蜂鸣；区域声光报警器：音闪“没权力，请快走！” 2. 平台级：监控中心告警弹窗，通知安全管理员和工作负责人。
超范围作业	许可人员进入工作票所对应的围栏内，但活动范围长时间 (>60 秒) 不在主要工作区域，出现在相邻的潜在危险区域。	1. 现场级：人员标签震动提醒：“您已偏离作业区”。 2. 平台级：记录事件并提示工作负责人关注。
安全距离不足	移动起重机等大型施工机械的定位标签与带电设备(位置固定)之间的距离，小于《电业安全工作规程》规定的最近距离。	1. 现场级：机械操作室声光报警；机械标签告警。 2. 平台级：紧急告警，建议远程锁定机械操作。
单人误入危险区域	对于至少需要两人同时进入区域才能工作的区域，系统识别出仅有一人进入区域保持时间超过阈值。	1. 现场级：进入者标签告警。 2. 平台级：立即通知其同伴及负责人。
滞留超时	人员在高温、有限空间等高危环境下作业时间超过安全时限。	1. 现场级：提前预警（如剩余5分钟时标签震动）。 2. 平台级：超时后强制告警，提醒轮换或撤离。

（三）与“两票”管理流程的深度融合

系统使用同一 API 接口与现行工作票管理系统进行数据交互，打通“两票”流程全链条自动化 [1]。许可环节，以电子围栏勾画，赋予安措布置数字“身份证”。作业环节，使用位置信息、票面信息，对工作负责人、安管人员、工作成员进行实时位置可视化、状态异常化，实现穿透式、高效化远程监管。终结环节，系统自动归置带时空信息轨迹、违章事件的安全电子档案，实现数据全链条、事故反演、溯源分析、考核管理，为安全管理提供客观、可靠的数据支撑，实现安全管理持续改进提升。

四、应用场景模拟与效益分析

（一）场景模拟：汽轮机本体检修

背景：汽机高压缸检修，四周装设遮栏上挂“止步，危险！”标牌。

传统模式：由运行人员用物理围栏将一块区域围住。或是因为围圈太大了走不过去，或是因为围圈太小没有隔开的必要性。安全员频繁在场。

智能模式：

运行人员使用 BIM 紧贴汽轮机检修处画一个定位精确的“检修隔离区”电子围栏，工作票上张三、李四两位检修人员的定位标签授权检修隔离区。

模拟场景1：一个非本工作组王五误入。当进入电子围栏边缘，他身上佩带的标签就会立刻震动、发声，现场报警灯亮起，并监控中心报警。王五随即离开，报警解除。

模拟场景2：检修人员张三在作业过程中因其取工具过于靠近运行中的汽轮机系统，发现其标签进入汽轮机区域的预警围栏时，在其标签弹出“注意安全距离”的温馨提示时，及时撤回到自己的安全区域。

（二）效益分析

本系统的使用，达到了良好效益，表现在两个方面：一方面，本系统的安全价值，最重要的价值体现在风险管理从事后处理，向事前控制和事前预防的转变。基于 UWB 的厘米级定位和电子围栏，对风险点进行准确定位，将粗放的物理隔离转化为精确的数字空间管理，实时干预通过规则引擎实现对不安全行为的有效控制，减少人为失误，真正从根本上保障安全。

在管理端，构建全域感知、远程可视的监管体系，拓展了安全监督的范围和质量，节约了人力。推动了“两票”管理由纸质化、片段化过程向全过程数字化可视、闭环管理跨越，做到从设置到收回的全过程无缝隙、可溯源。最后，系统运行产生的时空轨迹和违章事件数据积淀成为安全的数据资产，通过大数据为安全风险规律揭示、安全改进、精准培训提供了客观的量化指标，驱动着安全治理体系不断迭代升级 [1]。

五、结论

本文进而研究和设计了基于电子围栏和 UWB 定位数据信息融合的电厂“两票安措”区域风险管控及违章警示系统，通过物理世界数字化、空间化，安措数字化、空间化、与人员身份、作业许可状态等实时关联，实现对“无票进入”“超范围作业”等典型违章自动识别、自动干预，对“两票”管理空间化、实时性、主动性不足进行有效补充，将“人防”转化为“技防”，其实践落地将为电厂“数字安全”，保障人身和设备安全运行提供有力支撑和参考。

参考文献

- [1] 国家能源局. 电力安全工作规程(发电厂和变电站部分)[M]. 中国电力出版社, 2012.02
- [2] 王磊, 李强. 基于 UWB 的电厂人员定位系统设计与实现 [J]. 自动化仪表, 2021, 42(5): 78-82.
- [3] 张伟, 刘洋. “两票”管理面向智慧电厂框架的研究与创新设计 [C]//2021 中国电力设备管理大会论文集, 2021: 12.
- [4] 陈晓, 高飞. 电子围栏技术及其在工业生产中的应用 [J]. 工业安全与环保, 2020, 46(8): 1-5.