

Construction of low-altitude safety protection system for important buildings and opportunities for construction enterprises to participate

Yuekun Ma Hui Wang Xing Wang

China Construction Innovation Group Co., Ltd., Shanghai, 200000, China

Abstract

The rapid proliferation of low-altitude drones has created unprecedented security challenges. As a comprehensive defense system against illegal drone intrusions, the Critical Site Anti-UAV System (CSAUS) is becoming an essential security barrier for critical infrastructure. This paper provides a comprehensive analysis of CSAUS's technical architecture, market potential, and application scenarios, focusing on protection requirements and solutions for seven categories of critical buildings. Leveraging the unique advantages of construction enterprises in the industry, the study innovatively proposes multiple pathways to integrate CSAUS into architectural design. These approaches cover value chain segments including technological innovation, engineering implementation, and operational services, thereby creating strategic development opportunities for construction companies in the emerging low-altitude security sector.

Keywords

Important buildings; low-altitude safety; anti-embedded; lightning rod

重要建筑低空安全防护体系构建与建筑企业参与机遇

马跃坤 王辉 王行

中国中建科创集团有限公司，中国·上海 200000

摘要

低空无人机的迅猛普及带来了前所未有的安全挑战，重要建筑低空安全防护系统（Critical Site Anti-UAV System）作为应对非法无人机入侵的综合性防御体系，正成为关键基础设施的必要安全屏障。本文全面分析了重要建筑低空安全防护系统的技术架构、市场前景与应用场景，聚焦于七类重要建筑的防护需求与解决方案。针对建筑企业作为建筑领域深耕的独特优势，创新性地提出了将反无设施“嵌入式”整合于建筑设计的多种路径，涵盖技术创新、工程实施与运营服务等价值链环节，为建筑企业在低空安全新赛道开辟战略发展机遇。

关键词

重要建筑；低空安全；反无；“嵌入式”；“避雷针”

1 行业背景与现状

1.1 行业的定义与分类

重要建筑低空安全防护系统是指针对重要场所建筑建立的综合性防御体系，通常由探测、识别、跟踪和反制等模块组成，旨在防范无人机可能带来的偷窥侦察、投掷爆炸物、干扰设施运行或碰撞坠落等安全威胁。根据防护等级与风险特征，重要建筑可分为七类，每类均有独特的防护需求和技术侧重：主要涵盖政治敏感类（如政府机关）、人员密集类（如体育场馆）、重要民用设施类（如核电站）、重点建筑类（如城市地标）、交通设施类（如机场）、重大活动与临时要地（如

国际会议场地）、边境及军事基地类（如军港），不同类型场所面临的威胁形式从侦察、恐怖袭击到军事攻击不等，防护等级要求也从高到极高存在差异，部分场景需 24 小时监测或快速响应。

1.2 市场驱动因素与规模

主要有三大驱动因素：一是无人机普及带来的安全威胁，2023 年全球范围内无人机入侵敏感空域事件显著增加 [1] [2]，体育场馆、机场等重点场所非法无人机事件年增幅超过 20%。二是政策法规不断完善，中国近年来密集出台多项法规推动重要建筑低空安全防护系统建设。2025 年修订的《治安管理处罚法》将无人机“黑飞”明确列为违法行为；《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》进一步规范反制设备的使用场景与审批流程。此外，国家关键信息基础设施安全保护要求中也明确将反无人机系统纳入部分高风险场所的

【作者简介】马跃坤（1983-），男，中国浙江杭州人，硕士，高级工程师，从事建筑+低空经济研究。

安防标配[3]。三是技术成熟与成本优化，多传感器融合探测、AI 目标识别、定向电磁干扰等核心技术的成熟，显著提升系统可靠性与适用性。随着国产化设备比例提高，中高端系统的部署成本逐年下降，推动重要建筑安全防护从军事、航空等特殊领域向民用基础设施扩展。

据市场研究数据，2024 年全球反无人机系统市场规模已达 21.6 亿美元，预计到 2031 年将增至 146 亿美元，年复合增长率高达 27.9%[2]。

中国反无人机市场 2024 年 13.97 亿元，2025 年中国反无人机市场销售额预计落在 45-50 亿元区间，2030 年预计 115-150 亿元，年复合增长率 20% 左右 [2]。其中“重要建筑基础设施低空防护”场景占比最大，2025-2030 年，该场景市场规模从约 11.6 亿元逐步增长至约 34.6 亿元，六年合计约 128 亿元，年均复合增速约 24%，高于行业整体 20% 的增速，期间将为中国反无人机行业贡献保守 120 亿元市场规模，且在公共安全类订单里，机场、高层建筑群/商业综合体等“建筑物本体及其上空禁飞区”项目占比约 55%-60%。

2 重要建筑防护体系架构

重要建筑低空安全防护系统遵循“侦测 - 识别 - 干扰 - 打击”的闭环流程，由探测、决策与反制三层构成，各层协同形成完整的防御体系。

2.1 探测与识别层

探测与识别是重要建筑低空安全防护系统的第一道防线，由多种传感器融合实现，包括：

雷达探测：通过发射电磁波探测无人机的位置、速度，覆盖范围广（达数公里），精度高，但易受地形干扰。现代雷达系统可同时追踪 200 个目标，在强电磁干扰下仍保持

98.7% 的探测精度。

射频频谱分析：监测无人机遥控信号，不仅能发现无人机，还能定位操控者位置。这一技术对复杂城市环境中的无人机探测尤为有效。

光电传感器：结合可见光与红外成像，实时识别无人机外形及热信号，适用于城市复杂环境。先进的光电系统可通过深度学习算法提取目标轮廓特征，实现 0.1℃ 温差的细微感知。

声学探测器：捕捉无人机旋翼噪声，成本低且隐蔽性强，但有效距离短（通常 <500 米）。

在实际应用中，多传感器融合是提升探测可靠性的关键，通过雷达、光电和射频技术的协同，结合 AI 目标识别算法，可显著降低误报率，提高威胁识别准确性。

2.2 决策与指挥层

决策层是安全防护系统的“大脑”，负责多源数据融合与威胁评估，并生成最优反制策略。先进的系统采用 AI 威胁评估模块，基于多项参数建立动态风险模型，实现智能化决策。

中国船舶重工集团公司第七〇九研究所提出的重要建筑低空防御辅助决策方法颇具代表性，该方法通过构建重要建筑低空防御分界线，将空域划分为硬打击区、软打击区、驱离告警区、预警区、监视区和自由活动区等多层次防御等级[4]。系统根据无人机位置、速度和意图自动判断威胁级别，并生成相应的反制指令集。

2.3 反制与处置层

反制与处置层根据决策层指令对确认的威胁无人机采取行动，主要分为软杀伤和硬杀伤两类，软杀伤包括信号干扰、导航诱骗和协议劫持等非动能手段，硬杀伤包括激光武器、微波武器和物理拦截等动能手段，各反制技术对比如下：

表 1 主要反制技术对比分析

技术类型	原理	优点	缺点	适用场景
信号干扰	阻断控制链路或 GPS/ 北斗信号	成本低、响应快（毫秒级）、非接触式	受环境遮挡影响，可能误伤合法通信	城市安防、大型活动
导航诱骗	伪造卫星信号误导无人机偏离航线	隐蔽性强，可诱导至安全区	技术门槛高，需破解导航协议	敏感设施周边
协议劫持	破解通信协议注入虚假指令	完全控制目标，获取情报	依赖逆向工程，对新型无人机无效	反间谍行动
激光武器	高能激光精准熔毁无人机关键部件	精准毁伤、可连续打击多目标，单次成本低	造价高，受雨雾天气限制	军事基地、边境防护
物理拦截	网捕系统或拦截无人机	无附带损伤，可回收目标	仅限低空慢速目标，操作精度要求高	监狱、核电站

3 建筑企业的参与机会

建筑企业在重要建筑安全领域拥有独特的竞争优势和丰富的参与机会，可将反无设施与建筑设计、施工和运维深度融合，开创低空安全与建筑一体化的新模式。

3.1 嵌入式反无设施与建筑一体化

将固定式反无设备作为建筑安全防范的“避雷针”嵌

入建筑之中，是实现重要建筑低空防护的前瞻性解决方案。

结构融合设计：在建筑设计阶段预置重要安全防护设备的集成接口、电力供应和数据传输通道。例如，在高层建筑顶部预留雷达、光电传感器和干扰器的安装位置与基础结构，避免后期改造对建筑外观和结构的破坏。可借鉴西安奥体中心项目经验 [5]，该场馆创新性地配备国内领先的无人

机防御系统，由分布于场馆内的探测设备及打击设备组成， 360° 全方位探测无人机。

隐蔽式部署：将探测与反制设备融入建筑美学设计，实现功能与形态的统一。例如，将射频探测器隐藏在建筑装饰构件内，将干扰天线与幕墙系统结合，在保障功能的同时不破坏建筑视觉效果。这种部署尤其适用于对城市景观要求高的地标性建筑和历史风貌区。

分布式传感器网络：利用建筑群构成协同探测网络，通过多节点定位提升探测精度。在大型项目中，可通过在群体建筑中分布式部署传感器，构建更广阔的探测覆盖网络，通过各建筑顶部部署的探测设备协同工作，可实现对建筑区及周边空域的无缝监控。

3.2 工程实施与系统集成

在工程实施与系统集成方面，可将在 BIM 技术和工程管理方面的优势延伸至低空安全防护领域：

BIM+ 反无系统模拟：将低空安全防护系统纳入 BIM 模型，实现可视化部署与 4D 施工模拟。如中国建筑在银川绿地中心项目中已实践“BIM+ 无人机”技术，利用无人机每天定时定点对施工现场进度及安全管理进行 360° 无死角巡视。这一经验可延伸至反无领域，在施工前通过模拟发现安全隐患，优化反无设备部署方案。

总包集成服务：提供从土建施工到反无系统安装调试的一站式解决方案。可整合雷达、光电、干扰器等设备供应商，形成标准化的重要建筑低空防护套餐，降低业主的多方协调成本。在第十四届全运会场馆建设中，中建八二团队展示了这种集成能力，他们在 60 天内完成 54 万米配管及 273 万余米穿线，35 天完成综合布线、安防、楼控系统，共计 2.8 万余个前端设备安装。

智慧工地延伸：将低空安全防护技术应用于在建工程，形成可复制的低空防护样板。可在自身项目中率先使用重要建筑低空安全防护系统保护工地安全，如防止无人机偷拍工程进展、撞击塔吊或投掷异物，同时积累实战经验向客户展示系统效能。

3.3 运营与商业模式创新

除了工程集成，还可探索多种运营模式和创新商业模式，持续参与重要建筑低空防护价值链：

重要建筑低空安全运营服务：建立专业团队，为各类重要建筑低空安全提供 7×24 小时监控与处置服务。建筑业可依托现有物业管理和城市运营业务，培养低空安全专业人才，为客户提供低空安全防护系统运营服务。例如，在管理的写字楼、商业综合体、住宅小区中，增加低空安全监控服务，形成新的收入来源。

动态风险评估与演练：利用建筑企业的工程经验与数据积累，开发重要建筑低空安全专用的无人机威胁评估模型。可为客户提供定制化的风险评估服务，识别建筑漏洞，提出防护方案，并定期组织低空安全防护安全演练。如卡巴

斯基创建的按威胁类型对无人机进行分类的系统，就是此类专业化服务的典范。

软硬件一体化解决方案：开发适合建筑环境的低成本、高效能反无装备。建筑企业可联合技术伙伴，针对不同类别重要建筑低空安全防护的特点，开发标准化、模块化的低空安全防护系统产品，如适用于高层建筑的定向干扰设备、适用于园区的探测定位系统等，实现技术产品的产业化。

4 实施路径

可遵循“试点应用 - 技术融合 - 标准制定”的三阶段发展路径：

第一阶段（近期）：试点应用与数据积累。在自持物业和在建项目中进行技术试点，如总部大楼、重点项目工地等，通过试点熟悉技术特性，积累运行数据，培养专业团队。可选择技术相对成熟的射频探测与干扰设备，结合视频监控系统，构建基础防护能力。

第二阶段（中期）：技术融合与方案成型。将反无系统与智能建筑管理系统深度融合，开发智慧建筑低空安全解决方案。可借鉴头部企业的“全天候低空卫士”系统经验，该系统采用“雷达预警 + 光电追踪 + 电磁干扰或激光打击”复合探测架构，形成空天地一体化感知网络。同时，开始反无设计的标准化工作，形成建筑企业的设计指南。

第三阶段（远期）：标准引领与生态构建。参与或主导编制行业标准，将反无设计纳入建筑设计与施工规范，引领建筑行业低空安全防护发展。同时，依托广泛的项目实践，构建重要建筑防护生态圈，成为低空安全领域的重要参与者。

重要建筑安全防护领域正处于快速发展阶段，建筑业凭借在建筑行业的深厚积累和广泛的项目覆盖，有望在这一新兴领域占据重要位置。通过将反无设施与建筑深度融合，将反无系统定义为建筑“安全避雷针”，创新商业模式，加强技术合作，企业不仅能提升自身项目的安全等级，还能开辟新的业务增长点，在低空经济时代赢得先机，在低空安全赛道构建长期竞争壁垒。

参考文献

- [1] 中国低空经济研究中心. 中国低空安全白皮书（2023年）. 2023.
- [2] 中航智创, 智研咨询. 2024-2030年中国反无人机系统市场深度调研与投资前景预测报告. 2024.
- [3] 公安部. 关于进一步加强低空慢速小目标探测反制系统应用的意见. 2024.
- [4] 中国船舶重工集团公司第七〇九研究所. 要地防空反无人机系统辅助决策方法研究. 系统工程与电子技术, 2021, 43(8): 2105-2114.
- [5] 中建八局第二建设有限公司. 西安奥体中心项目智能化系统工程总结报告. 2023.