

建筑设计在铁路无人值守房屋中安全防护方向的应用研究

邢 怡

北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 北京 100073

摘 要：随着我国铁路路网延伸与智能化升级，区间通信站、信号机房等铁路无人值守房屋数量大幅增加，其作为铁路运输核心配套设施，安全稳定运行直接关系到铁路运输安全与连续性。因无人值守房屋具有分布分散、地处偏远、环境复杂、缺乏实时管控等特点，传统建筑安全防护模式已无法满足现代铁路运营需求。本文结合其功能特性与安全风险，系统研究安全防护技术在建筑设计中的应用路径，构建全方位、多层次、智能化防护体系，为铁路基础设施安全保障提供理论与实践参考。

关键词：铁路；无人值守房屋；建筑设计；安全防护；智能联动

引言：当前，我国铁路路网持续加密，运营自动化水平不断提升，无人值守已成为铁路配套设施运营管理的主流趋势。铁路无人值守房屋作为铁路系统的“神经末梢”，承担着信号传输、通信联络、电力供应等关键功能，其安全运行至关重要。与常规有人值守建筑相比，此类房屋具有显著特殊性：分布分散且偏远、交通不便，维护难度大；内部多为精密电子、高压电气设备，面临极端自然环境，对防火、防雷要求极高；缺乏现场实时管控，易受人为破坏，隐患处置不及时。一旦发生事故，不仅造成财产损失，更可能中断铁路运输，威胁行车安全。传统建筑设计侧重基本使用功能，对无人值守场景的安全防护考量不足。本文结合铁路行业标准规范与房屋安全风险特点，多维度探讨安全防护技术在建筑设计中的应用，为其设计、建设与运维提供支撑。

1 铁路无人值守房屋建筑设计中的核心安全风险分析

铁路无人值守房屋的安全风险贯穿全生命周期，结合其功能与运营环境，核心风险可分为六大类，各类风险相互关联，需在建筑设计阶段全面考量、重点防控。

1.1 自然环境风险

此类房屋多分布于铁路沿线，受自然环境影响显著。地质灾害风险，部分选址于山区、丘陵地带，易遭遇滑坡、泥石流、地面沉降等，损坏建筑结构；极端气象风险，高温加速设备老化，严寒导致管道冻裂、设备故障，暴雨、暴雪引发房屋渗漏、坍塌，强风、沙尘暴破坏围护结构；雷电风险，室内精密电子、高压电气设备易受雷电直击或感应损坏，甚至引发火灾、中断信号传输^[1]。

1.2 结构安全风险

结构安全是防护基础，风险主要源于设计与施工质量。结构选型不合理，部分房屋为控制成本，抗震、抗

灾能力不足，难以抵御极端环境冲击；基础设计不完善，未充分考量地质条件，导致房屋不均匀沉降、墙体开裂，影响稳定性；结构耐久性不足，偏远地区恶劣环境导致混凝土碳化、钢筋锈蚀，降低结构强度、缩短使用寿命。此外，铁路行车调度、通信等类型房屋，抗震设防需划为重点设防类，严格遵循相关标准。

1.3 围护系统风险

围护系统是抵御外部风险的重要防线，防护性能直接影响室内安全。墙体防护不足，墙体未做保温、防潮、防渗处理，导致室内温湿度超标影响设备运行，且强度不足易受人为破坏；门窗设计不合理，未采取防盗、防火、防冲击措施，易被破坏且无法阻隔火灾蔓延；屋面设计有缺陷，防水、保温性能不足，易出现渗漏、积雪堆积，引发屋顶坍塌、设备损坏。同时，电缆、光缆穿过隔墙、楼板时，需进行防火封堵设计。

1.4 消防安全风险

室内多为精密电子、高压电气设备，消防安全风险极高。火灾隐患多，电气线路老化、设备短路等易引发火灾，室内易燃物品加速火势蔓延；消防设计不完善，部分房屋消防设施不足或布置不合理，无法及时遏制火势；处置不及时，无人值守导致火灾发现、报警滞后，偏远地区救援难度大，易扩大灾害损失^[2]。

1.5 设备配套风险

铁路无人值守房屋的核心功能是保障室内设备正常运行，相关风险主要包括：设备安装与建筑设计不协调，布置不合理，影响空间利用率、消防通道及维护空间；管线设计不规范，电气、通信、给排水管线混乱，易出现老化、泄漏、短路等问题；防雷、接地设计不完善，无法抵御雷电冲击；通风、散热不足，室内温湿度

超标，加速设备老化。

1.6 人为破坏风险

铁路无人值守房屋屋地处偏远、管理难度大，易受人为破坏和盗窃。室内精密电子设备、电缆、蓄电池等经济价值较高，易成为盗窃目标，不仅造成财产损失，更会导致设备停运、影响铁路运营。

2 铁路无人值守房屋建筑设计中安全防护的应用路径

针对上述核心安全风险，从建筑选址、结构设计、围护系统设计和消防设计四个方面，提出安全防护技术应用路径，构建全方位防护体系。

2.1 科学选址：规避自然环境与人为风险

建筑选址是安全防护的前提，需结合铁路线路规划，充分考量自然环境等因素等，从源头规避安全风险。

一是规避自然环境风险，选址应优先选择地势平坦、排水通畅、气象条件稳定的区域，远离极端气象频发区和地质灾害隐患点；对于必须布置在偏远山区的房屋，应采取针对性的防护措施，如加固地基、设置排水

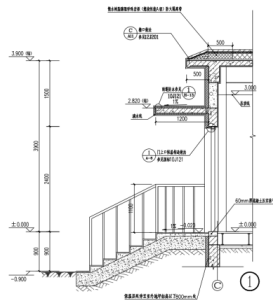


图2.1 大秦线某站室外安全加高

2.2 结构设计：强化结构稳定性与耐久性

结构设计是安全防护的核心，结合房屋功能与环境特点，保证结构防护能力。根据地质条件，采用合理的基础形式，如独立基础、桩基等，确保基础承载力满足要求，避免房屋出现不均匀沉降；对于地质灾害隐患点的房屋，应设置抗滑桩、挡土墙等防护设施，强化基础稳定性；根据房屋的功能、规模和所处环境，选择合适的结构形式，对于偏远山区、地质条件复杂的区域，可采用框架或抗震墙结构，提升结构的抗风、抗震、抗滑坡能力；提升结构耐久性，采用耐腐蚀、抗老化的建筑材料，减少环境侵蚀^[4]。

2.3 围护系统设计：构建第一道安全防线

围护系统是房屋抵御外部风险的关键，从墙体、门窗、屋面等方面优化设计，提升防护性能，保障房屋安全。

一是墙体设计。采用保温、防潮、防渗透、高强度的墙体材料，做好墙体的保温、防潮处理，确保室内温湿度稳定，避免设备因温湿度超标而损坏；同时，墙

系统、安装防雷装置等^[3]。同时，严格遵循洪水位相关要求，铁路区间生产设备房屋室外地面高程需符合相关洪水位和内涝水位规定，其中区间设备房屋需采用100年一遇洪水位或内涝水位，并增加0.5m安全超高，以抵御洪涝风险。如大秦线某中继站考虑洪涝风险，室内外高差设置为0.9m。（见图2.1）

二是规避人为风险，选址远离居民区、施工工地等人员密集区域，减少人为破坏和误操作的可能性；同时兼顾交通便利性，便于巡检、救援人员快速到达；性质相近的生产房屋宜集中修建，实现资源共享、统一管理，提升运维效率。对于易受盗窃的房屋，应选择视野开阔、便于远程监控的区域，同时设置防护围墙及设施，根据规范要求，通信基站、信号中继站等应设高度不小于2.5m实体围墙和具有防盗功能的院门。围墙上方应设0.5m刺丝滚笼，门上应设内、外翻45°尖刺。日常设计的铁路上无人值守房屋所在院落，均按规范要求设置，保证保障房屋的安全。（见图2.2）

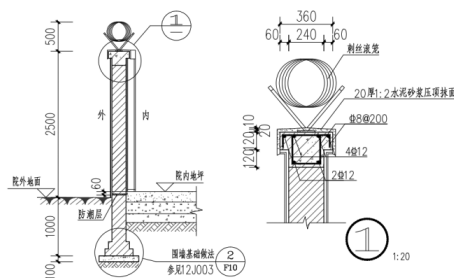


图2.2 实体围墙及刺丝滚笼设计

体强度应满足抗冲击、抗破坏要求，对于易受人为破坏的区域，可采用钢筋混凝土墙体，提升墙体的抗破坏能力。如某通信机房建设项目，通信机房采用200厚钢筋混凝土墙体，屋面放置空调室外机等设备，加高女儿墙，保障房屋及设备安全。（见图2.3）

二是门窗设计。规范要求，无人值守通信机械室、信号机械室应设防盗及其他安全设施，不宜设窗；设窗时，应采用双层密闭或双玻密闭窗。故设计中应采用防盗、防火、防冲击、密闭性好的门窗，门窗玻璃采用安全玻璃，提升防护性能；门窗安装应牢固，设置防盗锁、防盗螺栓等设施，防止破坏。如吐鲁线某通信基站考虑无人值守房屋的安全防护，设计了含甲级防盗的乙级防火门，未设置外窗。（见图2.4）

三是屋面设计。做好屋面的防水、保温处理，避免屋面渗漏、积雪堆积；屋面坡度应合理，便于排水和积雪滑落，减少屋面坍塌风险；对于强风、暴雨频发区域，应强化屋面的防风掀固定措施，防止屋面破坏。

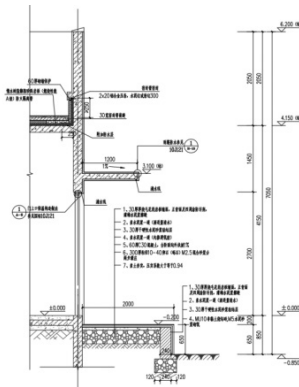


图2.3 某通信机房钢筋混凝土墙体



图2.4 吐库线某通信基站

2.4 消防设计：构建全流程消防防护体系

优化室内设备布置和管线设计，电气线路采用阻燃电缆，规范布线，避免线路老化、短路；设备安装应符合要求，与墙体、屋面保持足够的安全距离，避免设备过热引发火灾；根据房屋的规模、功能和火灾风险等级，配备足够的消防设施，对于存放高压电气设备、精密电子设备的房屋，可采用气体灭火系统（如七氟丙烷灭火系统），避免灭火过程中损坏设备。同时应构建消防联动机制，将火灾自动报警系统与智能监控、应急处置系统联动，火灾发生时，自动触发报警信号，推送至运维中心，同时自动启动灭火系统、切断非消防电源、开启应急照明，为后续救援争取时间；对于偏远房屋，可设置远程消防控制装置，实现消防设施的远程操控。

3 建筑设计中智能防护技术的策略与应用

结合铁路智能化发展，将智能防护技术与建筑设计深度融合，构建“感知-预警-处置-运维”全闭环系统，弥补无人值守短板。

3.1 智能感知系统设计

在房屋内外布置温湿度、烟雾、水浸、振动、红外入侵、雷电等传感器，实时采集环境参数、结构状态、设备运行及隐患信息；构建设备房屋三维模型，实时映射物理状态，为智能管控提供数据支撑。

3.2 智能预警系统设计

基于大数据、人工智能技术，分析传感器采集数据，识别温湿度超标、烟雾报警、结构变形等异常情况，及时发出预警信号并推送至运维中心及相关负责人，实现风险早发现、早预警。

3.3 智能处置系统设计

针对不同的安全风险，设置自动处置机制，火灾时自动启动灭火系统，水浸时关闭给排水阀门，入侵时启动声光报警并联动摄像头取证；配备远程操控设备，运维人员可通过终端远程操控设备及消防设施，实现智能应急处

置。例如，杭黄铁路四电房屋采用机器人值守方案，实现场区室内外巡逻、设备数据采集、资料定时上传等全自动无人值守功能，有效提升了安全管控效率。

3.4 智能运维系统设计

整合感知、预警、处置数据，构建智能运维平台，实现房屋状态、设备运行、隐患的实时管控；设置设备维护提醒功能，自动提醒运维人员开展维护，降低运维成本。结合卫星监测、无人机巡检和物联网传感器，实现房屋及周边环境全方位监测，提升防护精准度。

4 结束语

铁路无人值守房屋作为铁路运输的核心配套设施，其安全稳定运行直接关系到铁路运输的安全性和连续性。本文通过分析铁路无人值守房屋建筑设计中的核心安全风险，从建筑设计中的应用路径及智能防护集成设计系统两方面，研究了无人值守房屋的安全防护设计策略。设计中的物理防护是基础，科学选址规避源头风险，合理结构设计强化结构稳定、耐久性，完善围护系统构建防线，针对性消防设计防范火灾风险；技术防护是保障，智能防护实现全流程管控，弥补无人值守不足。

铁路无人值守房屋建筑安全防护是系统工程，需结合铁路行业特点、自然环境条件和智能化趋势，持续优化设计方案、创新防护技术，构建全方位、多层次、智能化防护体系，为铁路运输安全稳定运行提供有力保障。

参考文献

- [1]王健,李娟.铁路无人值守机房智能安全防护系统设计与应用[J].铁路通信信号工程技术,2023,20(5):89-93.
- [2]陈明,赵阳.铁路无人值守房屋结构安全监测技术应用研究[J].铁道标准设计,2024,58(2):123-127.
- [3]王嘉鑫,李亚男,姜旭东.铁路信号机房的无人化建设及巡检机器人使用初探[J].科学与信息化,2022(13):154-156.
- [4]刘仑.数据驱动的陆路交通工程设计模式研究——以铁路建筑工程为例[J].铁道标准设计,2025,69(3):148-156.