

建筑高处作业两款智能安全带结构特性及应用研究

山传龙

上海建科工程咨询有限公司 天津 071700

摘要：建筑高处作业场景复杂、风险系数高，高处坠落事故在建筑施工伤害中占比居高不下，安全带违规使用、现场人工监管存在盲区是事故频发的核心诱因。传统纯机械安全带防护模式被动，难以约束作业人员习惯性违章行为，也无法适配吊篮外立面等特殊隐蔽作业场景的管控需求。文章依托两项专利智能安全带产品，系统剖析机械自动式与双挂钩智能检测安全带的结构组成、运行原理及功能特性，对比两款装备的技术差异与互补优势，探究其在建筑高处作业中的适配场景与应用价值，可有效弥补传统防护装备与现场安全管理的短板，为建筑高空智慧安全管控提供可靠的理论与工程参考。

关键词：建筑高处作业；智能安全带；结构设计；安全监理；吊篮作业

引言：城镇化建设的快速推进，让建筑高空施工作业体量持续扩增，外墙施工、幕墙安装、吊篮运维等作业场景普遍存在环境复杂、人员流动大、风险点位分散等特征。多数高处坠落事故均源于作业人员不规范使用安全带的人为隐患，行业安全管控压力持续攀升。国内已出台多项法规标准约束高空作业行为，但传统人工巡查模式存在效率不足、监管盲区突出等问题，常规安全带缺乏智能感知与预警能力，现有智能装备也存在场景适配性不足等缺陷，行业亟需新型防护技术完善高空安全管控体系。

1 建筑高处作业安全管理现状及传统安全带缺陷

1.1 高处作业风险与规范管理要求

建筑高处作业属于危险性较大的分部分项工程，作业环境易受高空风力、墙体遮挡、天气变化等因素干扰，存在大量潜在安全风险。施工现场作业人员文化水平参差不齐，部分人员安全意识薄弱，普遍存在习惯性违章行为，常简化安全带佩戴、挂设流程，大幅增加了高空坠落事故的发生概率。为严控高处作业安全风险，国家及住建部门持续出台多项规范标准，细化了安全带佩戴、挂设及全流程管理要求，明确“高挂低用、双钩规范挂设”等硬性施工准则，推动施工现场完善危大工程隐患排查机制，全面压实参建各方的安全生产主体责任。

1.2 人工监理巡视固有短板

建筑施工现场高处作业点位分散，覆盖脚手架、临边、屋面、外墙吊篮等多个区域，而现场监理及安全管理人员配置有限，无法实现全时段、全方位的旁站巡查^[1]。其中，外墙吊篮作业多依附建筑外立面布设，受墙体、脚手架结构遮挡，地面及楼层视角无法清晰核查安全带挂设状态，且管理人员难以抵达高空作业面近距离

核验，形成永久性巡视盲区。同时，传统人工巡视属于事后被动管控模式，仅能排查已发生的违章行为，无法提前预判隐患、实时干预风险。该管理模式高度依赖人力投入，不仅管理成本高、工作效率低，也难以适配现代化智慧工地的安全管控需求。

1.3 传统安全带固有缺陷

传统高空安全带以纯机械结构为核心，仅具备基础的承载防坠功能，防护模式单一，现场应用短板突出。一是功能被动化，无智能检测、违章识别及声光报警功能，无法自主判定佩戴、挂设的合规性，安全管控完全依赖作业人员自律和人工监管。二是操作繁琐，吊篮横向作业过程中，需频繁拆卸、手动挪动安全锁扣，高空作业分心极易引发操作失误，同时滋生偷懒不挂扣等违章行为。三是无预警溯源能力，无法识别低挂高用、单钩悬空、锁扣虚扣等典型隐患，突发险情时不具备一键呼救、位置定位功能，给事故救援和事后复盘工作带来极大阻碍。四是场景适配性差，仅能满足基础防坠需求，未结合工地复杂作业环境和监管管控需求优化设计，无法适配智慧工地的发展趋势。

2 两款智能安全带结构与工作原理

2.1 机械自动式智能安全带

2.1.1 整体结构组成

设备整体分为主体机构、锁扣移动机构、锁定机构三大协同模块，各模块分工明确、联动高效，同时保留传统安全带基础防护结构，满足安全冗余设计标准。主体机构由连接扣、连接绳、监测器、双防护带构成，负责基础穿戴、人体承载及被动防坠，沿用传统穿戴布局，贴合工人操作习惯，无需专项培训即可使用。锁扣移动机构为核心创新结构，包含爬绳单元与移动单元，

搭载驱动电机、爬绳轮、齿轮组、丝杠、同步轮等精密传动部件,实现锁扣自动化调位。锁定机构由齿轮轴、锥齿轮、蜗杆蜗轮、升降杆、锁定扣等部件组成,可在锁扣调位完成后自动卡合锁定,杜绝作业过程中滑脱移位问题。

2.1.2 模块工作原理

爬绳单元通过驱动电机输出动力,带动爬绳轮同步旋转,依托齿轮啮合、键轴与槽轴卡接结构传递动力,借助爬绳轮与防护绳的摩擦力实现设备沿绳自主行走。搭配导板导向、蜗杆蜗轮预紧结构,可灵活调节爬绳轮与防护绳的贴合与分离状态,无需人工拆卸锁扣即可完成初步移位,运行稳定灵活。移动单元以双轴电机为动力源,通过齿轴、同步轮、同步带传动带动丝杠旋转,利用丝杠螺母副将旋转运动转化为直线位移,驱动锁扣整体平稳滑动,精准适配作业人员横向移动轨迹,定位精准、运行无卡顿^[2]。锁定机构复用双轴电机剩余动力,经齿轮轴、锥齿轮换向传动,通过蜗杆蜗轮驱动升降杆直线升降,带动锁定扣紧密卡合防护绳,全程自动完成调位、锁定操作,无需人工干预。

2.1.3 产品优势与适用场景

该产品核心优势是彻底省去高空手动挪扣操作,有效减少人工操作分心及偷懒违章的诱因;全机械传动冗余设计,即便智能机构故障,仍可保留传统防坠功能,安全可靠性能极高;结构紧凑,适配吊篮狭小作业空间,传动运行平稳无卡顿。产品主要适用于建筑外墙幕墙施工、外墙清洗、翻新维修等需连续横向移动的吊篮作业场景,针对性解决吊篮频繁调扣引发的各类安全风险。

2.2 双挂钩智能检测安全带

2.2.1 整体结构组成

设备集成基础防护、智能主控、感知检测、声光预警、定位通信五大功能模块,模块化布局紧凑,兼顾防护性、智能性与便携性。基础防护模块配备双安全绳、对称安全扣与加固块,符合高处作业“高挂低用”规范及国标承载安全标准。智能主控模块内置中央控制单元与电源管理芯片,统筹各模块协同运行,负责逻辑运算与指令下发。感知检测模块集成压力传感器、姿态检测单元与气压计,分别检测锁扣受力、人员作业姿态与实时作业高度。声光预警模块由状态指示灯、声光报警器组成,可实现现场即时隐患警示。定位通信模块搭载单北斗定位、4G全网通、SOS按键与麦克风,支持轨迹溯源、远程传数与双向语音对讲。

2.2.2 核心功能与工作原理

产品以中央控制单元为核心,通过多传感器实时采集作业状态数据,依托内置算法自动判别作业合规性,实现多重智能防护。一是违章智能识别,通过压力传感器采集安全扣受力数据,结合姿态检测信号,精准识别单钩使用、锁扣虚扣/未扣、低挂高用等典型违章,即时触发声光报警,督促现场整改。二是超高作业预警,通过气压计换算实时作业高度,预设安全阈值,超限后自动预警,规避超高作业坠落风险。三是北斗轨迹追溯,实时采集人员位置信息,后台全程记录作业轨迹,为违章溯源与安全考核提供数据支撑。四是SOS应急呼救,突发险情时按下SOS按键,即可向监管平台推送报警信息,搭配语音对讲功能,大幅提升应急救援效率。五是平台联动拓展,预留标准数据接口,可无缝对接数字监理APP、智慧工地平台,实现作业状态、违章信息远程实时推送,达成智能化远程监管。

2.2.3 产品性能与适用特性

产品配备4200mAh电池,常规工况续航可达10天,支持插槽快充;整机防水等级达IP55,具备防尘、防雨、耐高低温性能,可适配工地露天、多粉尘、温差大的复杂作业环境。设备采用一键开机设计,操作简单无需专业培训,模块化结构便于维修更换。该产品通用性极强,可适配脚手架、临边、屋面、电力运维、吊篮等各类高处作业场景,既能规范作业人员安全带使用行为,又能辅助监理远程掌控现场作业状态,有效弥补高空作业监管盲区。

3 两款智能安全带异同对比分析

3.1 相同点

两款智能安全带同属建筑高处作业专用个体防护装备,均遵循GB6095-21、JGJ80-2016等国家及行业规范标准。设计目标高度契合,均针对传统安全带功能单一、人工监管盲区大、违章行为多发等行业痛点,以降低高处坠落事故、规范作业行为、提升现场安全管控水平为核心研发目标^[3]。产品均保留传统安全带双绳、挂扣等基础机械防护架构,采用安全冗余设计,智能模块或传动结构失效时,仍可依靠基础结构实现被动防坠,保障极端工况安全。同时均突破传统纯被动防护模式,向智能化、便捷化、可监管方向升级,契合智慧工地安全管控发展趋势,适配建筑施工现场常态化安全管理需求。

3.2 不同点

两款产品技术路线、核心功能与应用侧重差异明显,具体对比见表1。

表1 两款智能安全带对比分析

对比维度	机械自动式智能安全带	双挂钩智能检测安全带
专利类型	发明专利，机械结构创新	实用新型专利，电子集成创新
技术路线	电机+齿轮+丝杠纯机械传动	传感器+北斗+4G物联网智能架构
核心解决痛点	吊篮作业频繁手动挪扣、操作风险大	违章难发现、巡视盲区、应急呼救难
核心功能	自动行走、精准调位、机械自锁	违章识别、高度预警、声光报警、定位溯源、SOS呼救
自动化侧重	作业操作自动化	状态监测与预警自动化
防护逻辑	从源头减少操作类违章诱因	实时监测、现场警示、远程监管溯源
场景定位	吊篮横向作业专用化	全高处作业场景通用化
监理价值	简化操作、降低人为失误	补齐巡视盲区、实现远程智慧监管

由此可见，两款安全带分别从机械自动化、智能监测两条路线完成创新，可根据现场作业类型单独选用或搭配使用。

4 工程应用价值与推广前景

4.1 破解吊篮监理巡视盲区难题

高处作业吊篮作为高频施工设备，长期存在位置高、外立面遮挡、人员无法近距离巡查的管控痛点。两款智能安全带搭配使用后，无需监理现场肉眼巡查，机械结构自动规范锁扣位置，智能模块自动识别低挂高用、单钩漏挂等违章，现场声光即时提醒整改，同时违章数据远程推送至监理管理端，管理人员可远程实时掌握作业状态，彻底消除人工巡视的空间与时效盲区，大幅减轻监理现场管控压力^[4]。

4.2 规范高处作业人员操作行为

通过机械自动约束与电子智能提醒双重作用，改变以往仅靠制度约束、人工说教的管理模式，从被动要求转变为主动约束。自动调位功能减少操作偷懒借口，智能报警功能实时震慑习惯性违章，持续引导作业人员规范佩戴、正确挂设安全带，从人为层面降低高处坠落事故诱因，筑牢现场安全作业基础，如图1所示。



图1 智能安全带现场规范作业管控效果示意图

4.3 助力智慧工地数字化管控

双挂钩智能安全带预留平台对接接口，可无缝接入数字监理、智慧工地OA系统，实现安全带使用数据、违章记录、人员轨迹自动采集存储，支持按项目、班组、个人进行数据统计分析，为安全考核、隐患复盘提供数据支撑。推动施工现场安全管理从传统人工经验管控，向数据化、智能化、远程化转型，契合智慧工地建设发展方向。

4.4 适配复杂施工现场推广应用

两款产品均兼顾工地复杂工况设计，具备防尘、防风、耐高低温、低功耗、易维护特性，适配露天、粉尘、温差大等施工环境；操作简洁、学习门槛低，适配一线工人及管理人员使用；模块化结构便于维修更换，制造成本可控，具备大规模工程推广应用的基础条件。

结束语

传统防护装备与人工管控模式的局限性，难以适配当前建筑高处作业的安全施工与智慧管理要求，高空作业违章隐患与监管盲区始终无法彻底消除。机械自动式智能安全带依托机械传动结构实现锁扣自动化调位锁定，有效解决吊篮横向作业的操作难题。双挂钩智能检测安全带依托物联网传感技术，实现违章识别、实时预警与远程监管，补齐现场巡视短板。两款装备技术路径互补、适配场景各异，可从操作与监管双重维度强化高空作业防护能力，在建筑施工现场具备良好的实用价值与推广前景。

参考文献

[1]王圣宾.基于人工智能的登高作业智能安全带监护持续监测系统[J].电子设计工程, 2025,33(13):166-170.
[2]郑欢, 刘德亮, 席荣军.高空作业智能防呆安全带应用及风险管理策略研究[J].电工技术, 2024(19):7-9.
[3]李航, 王少帅.高空作业安全带智能报警与远程监控设备的研究[J].模具制造, 2024(4):201-203.
[4]施威魏, 王新元.高处作业吊篮安全状态识别与监控技术研究[J].安徽建筑, 2026(3):138-141.