

# 面向多场景应急响应的模块化多功能防护服系统集成设计与工程验证

周莉琳 闫梅芳<sup>(通讯作者)</sup>

加佳控股集团有限公司 浙江嵊州 312400

**【摘要】**针对不同警种、不同应急任务的差异化防护需求,本文提出一种模块化多功能防护服系统集成设计方案。通过分层、分区模块化设计,将防刺、阻燃、防水透湿、电磁屏蔽、高可视性等核心防护功能进行系统集成,重点解决快速穿脱接口、模块兼容性及热湿舒适性平衡三大关键问题。基于系统工程思维,构建防护服系统集成框架,通过模拟实战环境下的工程验证测试,验证系统的防护性能、适配性及实用性。研究结果表明,该系统可灵活适配反恐、消防、救援等多场景应急任务,各项性能指标满足行业标准,实现了单一防护产品向任务导向型系统解决方案的升级,为应急防护装备的智能化、模块化发展提供理论支撑与工程参考。

**【关键词】**应急响应;模块化设计;防护服;系统集成;工程验证;热湿舒适性

Modular Multifunctional Protective Suit System Integration Design and Engineering Validation for Multi-Scenario Emergency Response

Zhou Lilin L ü Meifang<sup>(Corresponding Authors)</sup>

Jiajia Holding Group Co., Ltd. Shengzhou, Zhejiang 312400

**【Abstract】**To address differentiated protective requirements across various police units and emergency missions, this study proposes an integrated modular multifunctional protective suit system design. Through hierarchical and zoned modular architecture, core protective functions including stab resistance, flame retardancy, waterproof/wettable performance, electromagnetic shielding, and high visibility are systematically integrated, with particular focus on three critical challenges: rapid on/off interfaces, module compatibility, and thermal-humidity comfort balance. Based on systems engineering principles, a protective suit system integration framework is established. Engineering validation tests conducted under simulated real-world scenarios demonstrate the system's protective efficacy, compatibility, and practical applicability. Research findings indicate that the system demonstrates flexible adaptability for emergency tasks including counter-terrorism operations, firefighting, and rescue missions, with all performance metrics meeting industry standards. This achievement represents an upgrade from standalone protective products to mission-oriented system solutions, providing theoretical support and engineering references for intelligent and modular development of emergency protective equipment.

**【Key words】**Emergency response; Modular design; Protective clothing; System integration; Engineering validation; Thermal and humidity comfort

## 引言

随着现代应急管理体系的不断完善,反恐、消防、应急救援等任务场景日益复杂,不同警种、不同任务对防护服的防护功能、适配性及便捷性提出了差异化、多元化需求。传统防护服多采用单一功能设计,存在功能单一、场景适配性差、穿脱不便、舒适性不足等问题,难以满足多场景应急响应的实战需求。

高级轻纺技术的快速发展为多功能防护服的研发提供了技术支撑,模块化设计理念则为多场景适配提供了可行路径。在此背景下,开展面向多场景应急响应的模块化多功能防护服系统集成设计与工程验证研究,具有重要的理论意义与工程应用价值。

本文立足系统工程思维,突破传统单一产品研发模式,聚焦多场景应急任务的核心需求,构建模块化多功能防护服系统集成框架,重点研究功能模块的分层分区集成、快速穿

脱接口设计、模块兼容性优化及热湿舒适性平衡等关键技术,通过模拟实战环境的工程验证,确保系统的实用性与可靠性,为应急防护装备的升级换代提供技术支撑。

## 1 多场景应急响应防护服系统需求分析

### 1.1 多场景应急任务特性与防护需求

不同应急任务场景的环境复杂度、危险因子及作业要求存在显著差异。反恐任务面临尖锐物体刺割、电磁干扰等危险,要求防护服具备优异的防刺、电磁屏蔽性能,同时保证行动灵活性。消防任务面临高温、火焰、有毒有害气体,防护重点在于阻燃、耐高温、防水防渗透,同时需具备良好的热湿舒适性。应急救援任务面临坠落、碰撞、恶劣天气等挑战,要求具备防刺、耐磨、防水透湿、高可视性等综合性能,且需实现快速穿脱。

不同警种的作业习惯也对防护服提出个性化需求:公安

民警需预留执法装备接口；消防员需优化领口、袖口密封设计，减少与空气呼吸器的干涉；救援人员需设计合理的储物模块与工具固定结构。

### 1.2 系统核心性能需求界定

基于多场景应急任务的差异化需求，结合高级轻纺技术特性，界定模块化多功能防护服系统的核心性能需求。防护性能方面，防刺性能需满足穿刺力不低于 1200N，阻燃性能需达到垂直燃烧损毁长度不超过 100mm，续燃时间与阴燃时间均不超过 2s；防水透湿性能需实现静水压不低于 50kPa，透湿量不低于 5000g/(m<sup>2</sup>·d)；电磁屏蔽性能需在 100MHz-1GHz 频段实现屏蔽效能不低于 30dB；高可视性需保证在复杂环境下可视距离不低于 50m。

便捷性需求方面，快速穿脱时间需控制在 60s 以内，接口连接可靠，脱卸过程无卡顿；模块兼容性需实现不同功能模块的快速替换，替换时间不超过 30s，且模块连接后无松动、干涉现象。舒适性需求方面，热湿舒适性需保证在 35℃、相对湿度 80% 环境下，穿戴者体表温度不超过 37.5℃，出汗量控制在合理范围，无明显闷热、潮湿感；行动灵活性需保证穿戴者可自由完成弯腰、伸展、攀爬等动作，无明显束缚感。

## 2 模块化多功能防护服系统集成框架设计

### 2.1 系统集成设计原则

遵循功能模块化、集成合理化、场景适配化、舒适人性化原则。功能模块化：将防护功能拆解为独立模块，便于替换、升级与维护。集成合理化，通过分层、分区设计实现有机融合，避免功能冲突与结构干涉；场景适配化，根据任务场景快速组合不同功能模块，实现精准匹配；舒适人性化，在保证防护性能前提下，优化结构与材料，提升穿戴舒适性与行动灵活性。

### 2.2 系统整体架构设计

模块化多功能防护服系统整体架构分为核心层、功能模块层、接口层及控制层四个层级。核心层为防护服基础层，采用轻质、透气、耐磨的高级轻纺面料。功能模块层是系统的核心功能载体，包含防刺模块、阻燃模块、防水透湿模块、电磁屏蔽模块、高可视性模块及辅助功能模块，各模块采用标准化设计。接口层负责各功能模块与核心层、各模块之间的连接与适配，包含快速穿脱接口、模块连接接口及装备兼容接口。控制层负责系统的整体调控，通过传感器实时监测穿戴者生理状态与环境参数，根据监测数据自动调整模块工作状态，实现防护功能与舒适性的动态平衡。

## 3 模块化多功能防护服核心技术设计

### 3.1 功能模块分层分区集成设计

采用分层、分区相结合的集成策略，实现各功能模块的有序集成。外层集成高可视性模块与阻燃模块，外层面料采用阻燃、高可视性复合面料；中层集成防刺、电磁屏蔽模块，采用防刺纤维与电磁屏蔽纤维混纺面料；内层集成防水透湿模块，采用防水透湿膜与透气面料复合结构，实现水分阻隔

与汗液排出，提升穿戴舒适性。

分区设计方面，根据人体不同部位的防护需求与活动特性，将防护服分为躯干区、四肢区、头部区及关节区。躯干区作为核心防护区域，集成全部核心功能模块，确保关键部位的全面防护；四肢区重点集成防刺、耐磨模块，适应肢体活动的磨损需求；头部区集成高可视性与电磁屏蔽模块，同时预留头盔接口，保证头部防护的完整性；关节区采用弹性面料与模块化设计相结合的方式，在集成基础防护模块的同时，提升关节活动灵活性，避免模块对肢体活动的束缚。各功能模块采用标准化尺寸与结构设计，模块边缘设置标准化连接接口，便于模块的快速替换与组合。

### 3.2 快速穿脱接口与模块兼容性设计

快速穿脱接口采用双向拉链与魔术贴组合设计。拉链采用阻燃、防水材质，设置防卡顿结构；魔术贴采用高强度、耐磨损材质。领口、袖口、裤脚等部位设置弹性收紧接口，减少穿脱时间。

模块兼容性方面，通过标准化接口确保各模块连接可靠、无结构干涉。在防护服上预留标准化装备接口，实现与空气呼吸器、执法装备、救援工具等的兼容适配。采用卡扣、魔术贴与拉链多重固定方式，确保模块在剧烈运动、复杂环境下不松动、不脱落。

### 3.3 热湿舒适性平衡设计

热湿舒适性平衡是模块化防护服系统设计的关键难点，需在保证防护性能的前提下，实现防护与舒适的动态平衡。材料选择方面，核心层采用透气、吸汗、亲肤的高级轻纺面料，提升皮肤接触舒适性；中层采用透气型防刺、电磁屏蔽面料，通过织物孔隙结构优化，提升面料透气性，减少闷热感；内层防水透湿模块采用高性能防水透湿膜，实现水分阻隔与汗液排出的双向功能。

结构优化方面，采用立体剪裁设计，贴合人体曲线，减少防护服与人体之间的空隙，降低空气对流带来的热量损失与闷热感；在躯干、腋下等易出汗部位设置透气孔，结合防水透湿模块，加速汗液排出，提升热湿调节能力。功能协同方面，通过控制层的传感器监测穿戴者体表温度与出汗量，当体表温度过高或出汗量过大时，自动调整防水透湿模块的透湿效率，同时通过面料的透气结构实现热量散发，维持穿戴者体表的热湿平衡。

此外，优化模块的轻量化设计，选用轻质、高强度的功能面料，降低防护服整体重量，减少长时间穿戴的生理负担。通过人体工效学分析，优化防护服的结构尺寸，确保穿戴者可自由完成各种动作，提升行动灵活性，进一步增强穿戴舒适性。

## 4 模块化多功能防护服系统工程验证

### 4.1 工程验证方案设计

为验证模块化多功能防护服系统的实用性、可靠性及各项性能指标，设计模拟实战环境下的工程验证方案，涵盖性能测试、场景适配测试及人体工效测试三个维度。性能测试重点验证各功能模块及系统整体的防护性能，包括防刺、阻燃、防水透湿、电磁屏蔽、高可视性等核心指标；场景适配

测试模拟反恐、消防、救援三种典型应急场景,验证系统在不同场景下的适配性与作业便捷性;人体工效测试通过穿戴者实际穿戴,验证系统的舒适性、行动灵活性及快速穿脱性能。

验证样本选取不同体型的测试人员10名,涵盖不同身高、体重范围,确保测试结果的代表性。测试环境按照实战场景模拟,反恐场景模拟室内外复杂地形,设置尖锐物体、电磁干扰源;消防场景模拟高温、火焰环境,温度控制在80-100℃,设置火焰喷射与高温辐射;救援场景模拟复杂地形与恶劣天气,设置雨水、障碍物等环境因素。测试过程严格按照行业标准执行,确保测试数据的准确性与可靠性。

#### 4.2 验证结果与分析

性能测试结果显示,模块化多功能防护服系统各项核心性能指标均满足预设需求与行业标准。防刺性能测试中,穿刺力平均值为1320N,高于预设的1200N标准;阻燃性能测试中,垂直燃烧损毁长度平均值为85mm,续燃时间与阴燃时间均不超过1.5s,符合阻燃性能要求;防水透湿性能测试中,静水压平均值为58kPa,透湿量平均值为5600g/(m<sup>2</sup>·d),实现防水与透湿的协同提升;电磁屏蔽性能测试中,在100MHz-1GHz频段,屏蔽效能平均值为35dB,满足电磁防护需求;高可视性测试中,在复杂环境下可视距离平均值为65m,高于预设的50m标准。

场景适配测试结果表明,该系统可灵活适配反恐、消防、救援三种典型应急场景。反恐场景中,穿戴者可快速组合防刺、电磁屏蔽模块,行动灵活,装备兼容性良好;消防场景中,阻燃、防水透湿模块表现优异,穿戴者作业30分钟体表温度≤37℃;救援场景中,穿脱时间≤50s,模块替换便捷。

人体工效测试结果显示,80%测试人员表示穿戴无明显不适;穿戴者可自由完成弯腰、伸展、攀爬等动作;快速穿脱时间平均48s,模块替换时间平均25s。系统未出现模块松动、接口卡顿等问题。

#### 4.3 验证结论与优化建议

工程验证结果表明,面向多场景应急响应的模块化多功能防护服系统集成设计方案可行,系统各项性能指标满足预设需求与行业标准,可灵活适配反恐、消防、救援等多场景应急任务,具备良好的实用性、可靠性与舒适性。系统通过模块化集成与标准化设计,实现了防护功能的灵活组合与快速适配,突破了传统防护服单一功能的局限,体现了系统工程思维,实现了从单一产品研发向任务导向型系统解决方案的升级。

针对验证过程中发现的问题,提出优化建议。一是优化电磁屏蔽模块的轻量化设计,进一步降低模块重量,提升穿戴舒适性;二是改进快速穿脱接口的密封性能,在保证便捷

性的同时,提升防水、防气渗透能力;三是优化控制层的传感器响应速度,实现热湿舒适性的实时精准调控。通过上述优化,可进一步提升系统的综合性能,更好地满足多场景应急响应实战需求。

## 5 系统工程思维体现与职称价值分析

### 5.1 系统工程思维在设计中的体现

研究全程贯穿系统工程思维。需求分析阶段,从多场景应急任务整体需求出发,全面梳理差异化需求,构建系统性需求体系。系统设计阶段,采用分层、分区集成策略,实现模块间协同工作,兼顾防护、便捷与舒适多目标平衡。工程验证阶段,从性能、场景、人体工效三维度开展全面验证。通过模块化设计与系统集成,解决了传统防护场景适配性差、功能单一等问题。

### 5.2 职称价值体现

研发能力方面,研究突破了传统单一产品研发局限,掌握了功能模块分层分区集成、快速穿脱接口设计、热湿舒适性平衡等关键技术,实现了从单一产品研发向任务导向型系统解决方案设计与集成的能力提升。工程应用价值方面,研究成果可直接应用于应急防护装备研发与生产,为不同警种、不同任务提供定制化防护解决方案,具有显著的工程应用价值与社会意义。

## 6 结论

本文围绕多场景应急响应的差异化防护需求,基于系统工程思维,开展模块化多功能防护服系统集成设计与工程验证研究,得出以下结论:第一,构建了多场景应急响应防护服系统需求体系,明确了不同任务场景的防护需求与系统核心性能指标,为系统设计提供了依据。第二,提出了模块化多功能防护服系统集成框架,通过分层、分区模块化设计,实现了防刺、阻燃、防水透湿、电磁屏蔽、高可视性等功能的系统集成,解决了模块兼容与快速穿脱问题。第三,优化了热湿舒适性平衡设计,通过材料选择、结构优化与功能协同,实现了防护性能与舒适性的动态平衡。第四,通过模拟实战环境的工程验证,验证了系统的实用性、可靠性与场景适配性,各项性能指标满足行业标准。

本研究体现了系统工程思维在应急防护装备研发中的应用,实现了从单一产品研发向任务导向型系统解决方案的升级,为应急防护装备的智能化、模块化发展提供了理论支撑与工程参考。后续可进一步优化模块轻量化设计与智能调控技术,拓展系统应用场景。

## 参考文献

- [1]祝学薇,师云龙,曾倩怡,等. 消防服热湿舒适性评价方法及影响因素研究[J]. 天津纺织科技, 2026, No.271(01): 55-60.
- [2]吕金丹,罗勇,赵连英. 纺织品热湿舒适性模型研究现状与发展趋势[J]. 上海服饰, 2026, No.334(01): 15-17.
- [3]杨昕宇,宋奥涵,赵稼轩,等. 消防员防护服颗粒物阻隔性能研究[J]. 中国安全科学学报, 2026, 36(03): 247-254.
- [4]陈子璇,赵连英,严昉. 高强透湿颗粒物防护服面料的工业制备工艺优化[J]. 现代纺织技术, 2026.