·医学工程·

重症医学车的设计与性能验证

姚申思[1*] 王猛[1] 马杰[1] 宋宝芳[1] 姚利民[1] 马睿[1] 王润泽[1] 苏圣琨[1] 徐健[2]

（1.应急总医院，北京 100028；2.苏州江南航天机电工业有限公司，苏州 215101）

【摘要】 重症医学车作为移动医疗救援体系的核心装备，是应对突发公共卫生事件、灾害事故现场急救的关键载体，可实现急危重症患者的现场生命体征维持、重症监护与紧急救治，有效前移重症医疗救援平台，抓住黄金救援时间窗。本文结合重症医学救援的实际需求，从设计原则、整车结构与布局、核心功能系统、专用医疗设备配置、智能控制系统等方面，对重症医学车的设计要点展开研究，通过车厢扩展气密性、极端环境温控稳定性、颠簸路况设备可靠性3项性能实验开展验证。结果表明，整车密封性能优良、极端环境温控精准、车载设备运行稳定可靠，整体满足现场重症监护使用要求，可显著提升应急救援能力，为我国紧急医学救援体系提供装备与技术支撑。

【关键词】 重症医学车；移动医疗救援；紧急救治；设计；验证

【中图分类号】 R197.38 【文献标识码】 A 【DOI】 10.11876/mimt202602005

Design and performance verification of the critical care medical vehicle

Yao Shensi[1], Wang Meng[1], Ma Jie[1], Song Baofang[1], Yao Limin[1], Ma Rui[1], Wang Runze[1], Su Shengkun[1], Xu Jian[2]*

(1.Emergency General Hospital, Beijing 100028, China; 2.Suzhou Jiangnan Aerospace Electromechanical Industry Co., Ltd., Suzhou 215101, China)

【Abstract】 As a core piece of equipment of the mobile medical rescue system, the critical care medical vehicle serves as a key platform for on-site emergency treatment in public health emergencies and disaster accidents. It can maintain vital signs, deliver intensive care and provide emergency treatment for critically ill patients on site, effectively moving the critical care rescue gateway forward and seizing the golden rescue window. According to practical demands of critical care rescue, this paper studies the design of the critical care medical vehicle in terms of design principles, overall structure and layout, core functional systems, medical equipment configuration and intelligent control system. Three performance experiments were carried out for verification, including cabin air tightness test, extreme environment temperature control stability test and bump road equipment reliability test. The results show that the vehicle features excellent sealing, precise temperature control in extreme environments and reliable operation under vibration, which fully meets the requirements of on-site critical care. The equipment can significantly improve on-site emergency rescue capacity and provide solid technical and equipment support for China's emergency medical rescue system.

【Key words】 Critical care medical vehicle; Mobile medical rescue; Emergency treatment; Design; Verification

我国自然灾害频发，突发公共卫生事件防控形势复杂，地震、洪涝、事故灾难及重大传染病疫情等场景常伴随批量急危重症伤员的产生，现场快速、稳定、规范的重症监护与生命支持成为降低死亡率、改善预后的核心环节。传统现场急救多以简易监护、转运为主，缺乏独立闭环的重症救治单元，难以满足持续呼吸支持、循环维持、感染控制等专业需求。移动重症救治装备作为应急医学救援体系的关键组成，能够将重症加强护理病房（intensive care unit, ICU）功能前移至救援一线，显著提升“黄金1小时”内救治效能[1]。近年来，国内围绕移动手术方舱、急救方舱、重症转运单元等

第一作者：姚申思，女，硕士研究生，工程师，研究方向：生物医学工程

开展了大量研究，在结构布局、环境控制、设备集成等方面形成了成熟方案，为移动重症救治装备研发奠定了良好基础[2]。但现有装备仍存在明显短板[3]：①多数移动医疗单元空间有限，难以满足双床位重症监护需求；②极端环境（高温、高寒）下温控精度不足；③空气净化与负压稳定性欠佳；④设备集成度、智能化水平与远程协同能力有待提升；⑤部分装备在复杂路况下的抗震防抖性能不佳，难以保障连续可靠运行。

针对上述短板，本研究以实战化、模块化、智能化、高可靠为目标，开展重症医学车整车集成设计与关键技术研发，明确整车布局、环境保障系统、医疗与通信设备配置及智能集中控制方案，并通过车厢扩展气密性、极端环境温控稳定性、颠簸路况设备可靠性3项实验验证性能，旨在实现一款可独立完成现场重症监护、生命支持、感染控制与远程会诊的一体化移动重症救治装备，为突发事件现场紧急医学救援提供高性能、高适应性装备支撑，完善我国应急医学救援装备体系[4]。

1 设计原则

重症医学车的设计以实战化、智能化、适应性、安全性为核心原则，同时兼顾平战结合、功能集成与操作便捷性，这与移动医疗装备的通用设计准则高度契合[5]。实战化要求设备配置与空间布局贴合现场重症救治需求，可快速开展标准化监护与救治；智能化聚焦设备联动、数据监控与远程协同，旨在提升救援效率；适应性强调车辆可在不同地形、复杂环境下稳定作业，满足灾害救援、公共卫生应急等多场景使用需求[4]；安全性则围绕医疗环境洁净、医患防护、设备稳定运行展开，要求杜绝交叉感染与操作风险。此外，遵循模块组配原则，对医疗、电气、环境控制等系统进行模块化设计，便于设备装卸、维护与后期升级，同时兼顾日常医疗保障与应急救援的平战结合需求[6]。

2 整车集成设计与模块构成

2.1 整车结构与空间布局设计

重症医学车采用驾驶室与车厢分离的厢式结构，选用重型专用底盘，具备良好的动力、悬挂和安全性能，以适应复杂路况和转运要求。车厢采用双侧电动扩展大板方舱结构，扩展后整车作业宽度达4.33 m，可满足2张标准ICU护理病床并行作业需求，见图1。扩展舱体采用全密封结构，缝隙处采用三元乙丙橡胶密封条与金属压条双重密封，具备IP54级防尘、防雨、防渗漏性能。车辆四角配置4套电动自动调平千斤顶，单腿承载力≥8 t，调平精度±3 mm，展开时间≤5 min，可在非硬化地面快速稳固车厢，扩展舱体可直接在底盘上展开，无需落地支撑，适配地震、洪涝等灾害事故后的复杂救援现场。



图1 重症医学车外形

车内遵循“功能分区、动静分离、医患分流”原则，划分为前部设备间与后部医疗间，各区域独立布局且动线清晰，避免设备运行与医疗操作的相互干扰，见图2。

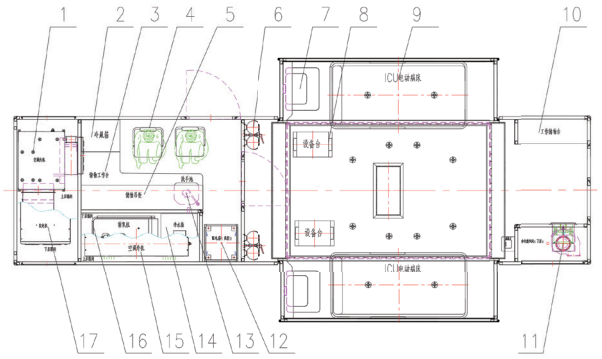


图2 重症医学车内部布局

注：1为空调；2为冰箱；3为工作储物台；4为工作椅；5为储物吊柜；6为氧气瓶；7为医用吊塔；8为设备台；9为ICU电动病床；10为工作储物台；11为排风净化装置；12为配电箱；13为洗手池；14为净水箱；15为空调外机；16为制氧机；17为发电机。

设备间位于车厢前部，为非扩展区域，集中布置15 kW静音柴油发电机、双转子制氧机、分体式车载专用空调、配电箱、净/污水箱等基础保障设备，同时整合各类管路、线路接口，实现能源、氧气、温控、水路的集中统一管理，减少对医疗作业空间的占用。

医疗间位于车厢后部，为双侧扩展区域，是重

症医学车的核心作业区域，进一步划分为医护值班室与独立负压净化ICU采光护理室。医护值班室配备工作储物台，满足医护人员操作、记录与物资临时存放需求，同时预留人员活动空间，保障救援过程中的工作效率。护理室作为核心监护救治区，设置2张符合国家标准的电动ICU护理病床，配置医用吊塔、设备架、洗手池、储物吊柜等，设备就近布置，操作距离≤1.2 m，符合重症救治流程[7-8]。

2.2 环境保障系统

2.2.1 温控空调系统

空调系统采用分体式车载专用空调，安装于前部设备间，兼顾制冷、制热与新风供给功能，额定制冷量8 kW，制热量9 kW，适配工作环境温度–20～55℃。新风量可达500 m³/h，新风装置集成于空调内机回风口，经前部空气净化系统过滤后为车内输送洁净新鲜空气，保障车内空气质量。为适配不同区域的温度需求，系统采用多支路风管送风与末端变风量控制相结合的风道布局，在医护值班室与护理室的风管上均设置调节风阀和温控传感器，控温精度 ±1℃。通过空调控制系统实时采集室内热负荷与温度数据，动态调整冷、热送风量，实现护理室温度的独立精准控制，满足重症患者对环境温度的严格要求。

2.2.2 空气净化与负压隔离系统

车内设置独立的空气净化系统，由送风净化装置与排风净化装置组成，采用上送下回（排）的气流组织方式，使医疗间洁净度达到10万级，符合重症监护的环境标准[9-10]。

（1）送风净化：空调送风口配置3级过滤装置，依次为G4板式初效过滤器、F7/F8袋式中效过滤器、H14高效空气过滤器，对进入车内的空气层层净化，对≥0.3 μm颗粒物的过滤效率可达99.995%，净化后的空气经静压箱稳流后，通过送风管道与气流分配器送至各医疗区域。

（2）排风净化：护理室设置独立排风间，排风经由H14级高效过滤器组成的排风净化装置处理后排出室外，同时送、排风机两端加装压差传感器，实时监测风机运转状态。

（3）负压控制：系统实现送、排风机的连锁控制，排风先于送风开启、后于送风关闭，通过精确调节风机风量，使护理室形成—10～—30 Pa的负压环境，有效防止患者的感染性细菌向外扩散，保障医护人员的安全，同时避免车内污染空气对外界环境的影响[11]。

2.3 医疗与通信设备配置

2.3.1 核心重症医疗设备

围绕患者生命体征维持与紧急救治需求，医疗区配备全套ICU级监护与急救设备，包括：壁式医用吊塔、心电图机、多参数监护仪、除颤监护仪、呼吸机、呼吸湿化治疗仪、输注工作站、心肺复苏机、电动吸引器、储血冰箱、便携式数字X线摄影（digital radiography, DR）机及消毒设备等，实现对患者心电、呼吸、血氧、血压等多项生命体征的实时监测与生命支持。车内核心重症医疗设备均采用车载减震支架固定，避免车辆转运与现场作业过程中设备移位，同时预留设备接口，支持后期设备升级与扩展，振动耐受值≤0.5 g。ICU护理病床选用山东铭泰M7型，承重≥400 kg，具备电动升降、称重、心肺复苏术（cardiopulmonary resuscitation, CPR）与护栏自锁功能，可全面满足现场重症监护与救治需求。

（1）除颤监护仪：除颤监护仪采用科曼S3型，具备自动阻抗补偿、宽能量调节范围（能量1～360 J可调），可快速充电并实现多模式一键切换，同时支持全年龄段患者的多参数监护与双报警功能，适配现场心脏骤停等紧急情况的救治。

（2）多参数监护仪：多参数监护仪采用科曼K12型，支持心电、血氧、无创血压、双体温等主流参数监测，可扩展呼末二氧化碳、有创血压等功能，电池续航≥4 h；配备大尺寸高清彩色屏，便于医护人员快速读取患者数据，及时发现病情变化。

（3）呼吸机：急救转运呼吸机采用科曼EV20型，支持有创/无创通气，电池续航≥320 min。

（4）心肺复苏机：智能心肺复苏机采用科曼ES5B型，可自动控制按压深度与频率，实现24 h不间断稳定按压，标配$ETCO_2$监测，可同步开展除颤、插管、给药等操作。

2.3.2 通信与远程协同设备

为实现现场救援与后方医疗中心的联动，重症医学车配备完善的通信与远程协同设备，构建“现场–后方”的远程会诊与调度体系。车辆搭载北斗三号短报文车载终端，实现高精度北斗定位，同时可接入应急管理部应急装备综合信息大数据智能服务系统，满足应急救援的定位、调度与信息上报需

求；配备专业车载电台，具备发射功率稳定、接收灵敏度高、抗干扰能力强的特点，适配急救现场、多车协同的通信需求，实现院前院内、救援队伍间的清晰通话与一键呼叫；整合 4G/5G 远程会诊终端设备、5G 单兵图传与超视距网络电台，支持现场患者体征数据、医疗影像的实时传输，实现后方专家的远程指导，让患者现场获得高质量的重症医疗救治服务[12]。

2.4 智能集中控制系统

智能集中控制系统采用 10.1 英寸嵌入式触摸屏，采用一体化图形化界面，可实时监测温湿度、$PM_{2.5}$、氧压、液位等参数并实现智能告警与联动控制，见图 3。



图 3 重症医学车智能集中控制系统显示界面

2.4.1 系统组成

集中控制系统由硬件平台与软件平台组成。硬件平台包括系统主控制器、多类型传感器网络（温湿度、$PM_{2.5}$、压力、液位）及高性能一体式嵌入式触摸屏；软件平台为定制化图形化监控软件，预装于触摸屏内，无需复杂调试，开机即可使用。控制触摸屏集成安装于配电箱面板，布置在医护值班室便于操作的位置，为医护人员提供直观、便捷的人机交互界面。

2.4.2 核心功能

系统启动后，触摸屏主界面作为统一的信息仪表盘，实现关键数据的一屏尽览，主要监控内容包括：环境状态（日期、时间、温度、湿度、$PM_{2.5}$浓度）、流体管理（清水箱、污水箱液位高度）、压力监控（氧气压力）。同时系统具备完善的智能告警功能，当清水箱液位过低、污水箱液位过高、氧气压力低于预设阈值时，通过屏幕颜色闪烁、弹出告警框等方式及时提醒，避免设备干转、溢流或供气不足等问题，保障医疗设备的稳定运行[5]。

3 应用测试

重症医学车的应用测试以整车性能为核心，主要对车厢扩展气密性、极端环境温控稳定性、颠簸路况设备可靠性进行验证。

3.1 车厢扩展气密性

采用压力衰减法检测扩展方舱气密性，在舱门接缝、扩展对接面、观察窗及管线穿舱部位布设测点。舱内压力由 20 Pa 衰减至 5 Pa 用时 92 s，平均压力泄漏率 3.0 Pa/min，各测点压力变化趋势一致，无局部明显泄压，整车密封性能满足负压隔离与感染控制使用要求。见图 4。

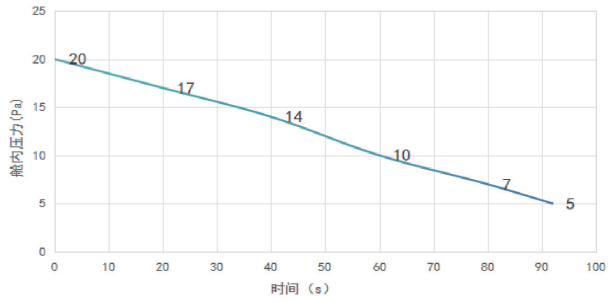


图 4 扩展方舱舱内压力衰减曲线

3.2 极端环境温控稳定性

在高温（40℃，太阳辐射）、高寒（−15℃）两种工况下各开展 3 次、每次 120 min 的舱内温度连续监测。如图 5 所示，在高温工况下，舱内温度稳定在 24 ~ 26℃，波动 ≤ ± 1℃，无过热保护与频繁启停；在高寒工况下，舱内温度稳定在 22 ~ 24℃，波动 ≤ ± 1℃，出风口无霜，温度场均匀，满足重症监护环境要求。温度存在小幅波动，主要由环境热负荷变化、空调动态调节及舱体散热导致。

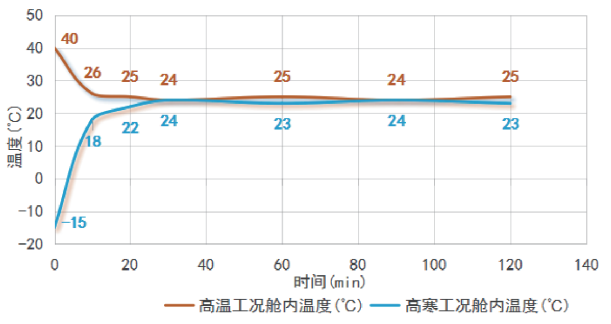


图 5 极端环境舱内温度控制曲线

3.3 颠簸路况设备可靠性

选取砂石路、颠簸路、扭曲路等典型非铺装路面，以 30 ~ 40 km/h 连续行驶 2 h，在呼吸机、监护仪、输注设备基座布设传感器监测振动加速度。如图 6所示，医疗设备安装位置振动加速度最大值≤0.45 g，处于医疗设备允许范围，设备无移位、无松动、无异常报警，数据采集连续稳定，满足车载重症救治设备运行要求。

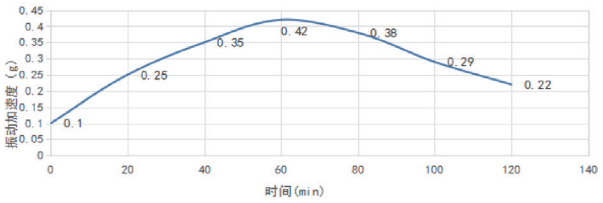


图 6 复杂路况医疗设备振动加速度曲线

4 总结与展望

基于重症医学救援的实战需求，本研究完成了重症医学车的整体结构设计、环境控制系统优化、生命支持设备集成及智能集中管控平台构建，构建了适配现场救援的移动重症救治技术方案，并通过车厢扩展气密性、极端环境温控稳定性、颠簸路况设备可靠性3项性能实验完成全面验证。实验结果表明，整车扩展方舱密封性能稳定，极端高低温环境下温度控制精准，复杂颠簸路况下医疗设备运行可靠、数据采集连续，整体性能满足灾害及应急场景下重症监护与救治的使用要求，能够快速部署并开展规范化重症救援作业[13-14]。

重症医学车的设计与研发仍需不断优化升级，未来可围绕智能化、轻量化、一体化方向进一步探索：一是深化设备间的智能联动，实现监护数据自动分析、设备异常自动预警与联动处置，提升无人化、智能化作业水平[5]；二是优化车辆与设备的轻量化设计，采用新型环保材料，在保障功能的前提下降低整车重量，提升车辆的机动性能与远程投送能力[4]；三是推动移动重症医疗体系的一体化建设，实现重症医学车与移动手术车、检测车等移动医疗装备的信息互通、资源共享，构建模块化、系统化的移动重症医疗救援平台[15]。

同时，需结合实际救援场景开展常态化的实战演练，根据演练反馈持续优化车辆布局与设备配置，让重症医学车的设计更贴合实战需求[3]。通过技术创新与实战打磨，不断提升重症医学车的救援能力[16]，为我国突发事件紧急医学救援体系建设提供坚实的装备支撑，更好地保障人民群众的生命健康与安全。

[参 考 文 献]

[1] 张学, 王秀梅. 国家紧急医学救援移动方舱医院手术车的设置与管理[J]. 实用医技杂志, 2017, 24(1): 69-70.
[2] 应朝宇, 陈艳, 程时栋. 方舱医院移动手术车的设计管理研究[J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志, 2023, 18(9): 1224-1227.
[3] 李俊涛, 崔雅清, 朱坤, 等. 移动医院模式下手术方舱建立与管理[J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志, 2022, 17(3): 313-315, 327.
[4] 张媛, 高洪莲, 杨文俊, 等. 多功能手术车的研制及应用[J]. 中华护理杂志, 2017, 52(11): 1384-1386.
[5] 何武兵, 朱晓婧, 林孟波, 等. 移动方舱医院医学设备的保障[J]. 创伤与急诊电子杂志, 2018, 6(1): 41-43.
[6] 黄忠义, 王洪杰, 于霞, 等. 新型智能手术拓展医疗方舱的研究与设计[J]. 中国医疗设备, 2020, 35(7): 54-56.
[7] 王洪杰, 于霞, 王振宇, 等. 新型智能拓展医疗移动方舱医院的设计[J]. 中国医学装备, 2020, 17(5): 197-200.
[8] 于美华, 卢承志, 张镇城, 等. 野战医疗方舱手术救护标准化流程构建[J]. 解放军医院管理杂志, 2021, 28(9): 837-839.
[9] 詹蕙欣, 薛鑫, 牛晓红, 等. 方舱手术室空气消毒策略：现状和挑战以及展望[J]. 中华卫生杀虫药械, 2025, 31(6): 731-735.
[10] 贺瑞鹏, 曹颂阳, 何丰. 模块化方舱洁净手术室的产品开发与研究[J]. 住宅与房地产, 2023(14): 26-29.
[11] 简钢仁, 郑若菲, 叶诚栋, 等. 标准化作业程序在移动方舱医院全面快速展开的应用研究[J]. 中华灾害救援医学, 2019, 7(10): 551-554.
[12] 周云皓, 李静, 张维娇, 等. 方舱医院的医疗设备物联网部署方案设计[J]. 医疗装备, 2025, 38(12): 19-24.
[13] 勾燚, 王燕, 李小龙, 等. 新冠肺炎疫情下国家紧急医学救援队建设探讨与思考[J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志, 2023, 18(2): 157-161.
[14] 范永祥, 冀鹏飞, 王晓雷, 等. 车厢式野战手术室的研制及应用[J]. 医疗卫生装备, 2025, 46(8): 113-117.
[15] 张怡敏, 石粟萍, 孔宁, 等. 基于智慧控制的移动方舱物理环境构建研究[J]. 科技与创新, 2023(8): 43-47.
[16] 丁科, 邓应彪, 丁小勇, 等. 野战手术/急救方舱在前沿外科手术队中的应用研究[J]. 中华灾害救援医学, 2024, 11(9): 1014-1016.