

# 传染病员空运医疗后送防护隔离装备现状研究

蒋 伟, 陈活良, 鲍向红, 周开园, 胡雪军

**【摘要】** 为了解国内外传染病员空运医疗后送防护隔离装备发展现状, 文章采用情报调研的方法, 全面收集国内外 8 种典型传染病员空运医疗后送防护隔离装备的参数资料, 分析比较其外形载量、运输方式、设备配置、救治功能和适用范围等特点, 为我国传染病员空运医疗后送防护隔离装备的研制和改进提供参考。

**【关键词】** 传染病防控; 空运医疗后送; 隔离; 装置

**【中图分类号】** R821 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1672-271X(2021)06-0663-04

**【DOI】** 10.3969/j.issn.1672-271X.2021.06.024

## 0 引言

21 世纪以来, 相继出现了 SARS、禽流感、甲型流感 H1N1 和埃博拉出血热等疾病的爆发流行。2020 年, 新冠疫情席卷全球, 截止 2021 年 8 月, 全球累计确诊病例已达 2 亿余例<sup>[1]</sup>。为及时救治感染者, 欧美国家率先使用空运方法后送传染病员<sup>[2]</sup>。针对空运医疗后送途中隔离防护难题, 国内外先后研制了多种专用隔离防护装备。全面梳理国内外空运隔离装备现状特点, 为我军传染病员空运隔离装备的发展建设提供启示。

## 1 传染病员空运隔离装备基本情况

当前, 传染病员空运隔离装备有封闭式和开放式两种类型。封闭式系统将医护人员与传染病员隔开, 通过预留的密闭端口和“半套服”对病员进行医疗操作<sup>[3]</sup>。开放式系统则能够提供足够大的隔离设施空间, 从而医护人员可穿戴个人防护设备进入隔离设施为传染病员提供医疗保障。

### 1.1 封闭式传染病员空运隔离装备

**1.1.1 美军航空运输隔离单元** 1975 年, 美军研发了航空运输隔离单元, 这是世界上最早的空运隔离装备<sup>[4]</sup>。该隔离单元采用透明的聚氯乙烯包裹在金属框架上。载有供医护人员为病员提供护理的“半套服”, 以及可连接氧气罐、监护仪等设备的

对接端口。此外, 由飞机电气系统或便携式电池供电的负压生成装置来保持舱内负压状态。同时, 在进气口和排气口安装有高效过滤器来净化空气。直至 2007 年, 美国陆军传染病医学研究所, 一直将其作为航空医学隔离小组的标准配套装备<sup>[5]</sup>。

**1.1.2 英军 Trexler 航空运输隔离单元** 1982 年, 英国皇家空军 Lyneham 研发了最初的 Vickers 隔离装备 (Vickers Isolator), 并于 1985 年首次使用<sup>[6]</sup>。之后在此基础上改进开发了 Trexler 航空运输隔离单元。该隔离单元主要部件为金属框架和一次性被膜。舱体两侧预留可连接监护设备线缆及输气管、输液管的密封端口, 还包括的“半套服”及手套端口, 可允许多个医护人员同时操作。飞行期间可能使用的气囊阀面罩、抽吸装置等, 须在舱体密封之前放入。舱内负压由配有高效过滤器的通风系统维持<sup>[7]</sup>。自 2012 年以来, 运用该装备已成功转移了 1 名晚期出血热患者和 5 例埃博拉病毒病患者<sup>[8]</sup>。

**1.1.3 英国 HSTI-TCOL 传染病隔离担架** 英国 TCOL 公司制造了 HSTI-TCOL 传染病隔离担架<sup>[9]</sup>。主要部件包括担架和透明 PVC 被膜, 内有 8 个与金属框架相连的手套、以及压力计、温、湿度计。其负压生成装置由 2 个高效过滤器 (过滤效率为 99.997%) 及电动风机组成, 并由两枚续航时间约为 6 h 的 12 V 电池提供电力, 可维持 20~50 Pa 的负压差, 且每小时可更新空气 20~30 次。2015 年法国军方医疗队采用该隔离装备, 将 4 例疑似感染埃博拉病毒的卫生工作者由几内亚 N'Zerekore 空运至护理人员治疗中心进行救治<sup>[10]</sup>。

作者单位: 710032 西安, 空军军医大学空军卫勤训练基地卫生勤务教研室 (蒋 伟, 陈活良, 鲍向红, 周开园, 胡雪军)  
通信作者: 胡雪军, E-mail: hu-xuejun@hotmail.com

**1.1.4 中国便携式医用负压隔离舱** 目前国内最新成果为便携式医用负压隔离舱。主要由可折叠舱体和负压生成系统组成,舱体采用高透明度的 TPU 膜,并配备两对密闭操作手孔,一个中效过滤进气口,一个输液管道口;负压生成系统综合集成高效过滤器、直流风机、控制单元、锂电池及负压测试仪等<sup>[11]</sup>。其高效过滤器效率达 99.99%,可有效防止病菌外溢,智能控制单元可将舱内负压稳定在 -15 Pa,换气量为 75 L/min,并具备电量、压力显示和声光报警功能,供电方式采用交流市电或 UPS 电源,噪声测试低于 72 dB<sup>[12]</sup>。2016 年,我国医疗队搭载医用专机前往乌兰巴托将 1 例重症麻疹患者空运回国,是国内首次使用空运隔离装备对传染病员进行跨国空运后送<sup>[13]</sup>。

**1.1.5 中国台湾航空隔离单元** 我国台湾地区的轻便型航空隔离单元由充气式负压隔离袋和负压生成装置两部分组成。隔离袋采用热塑性聚氨酯材料,并由一体成型的气柱支撑,可承受舱体 30 Pa 以上的负压<sup>[14]</sup>。两侧附有手套,并预留有呼吸管和输液管端口。负压生成装置可维持舱内 30 Pa 以上的负压持续 6 h,风量约 80 L/min,换气率 12 次/h。进气阀配有过滤效率为 95% 的粗滤,并可连接呼吸机,从而根据病情来调整呼吸频率和潮气量。排气阀的高效过滤器效率达 99.99%,可通过调节排气阀控制舱内的最小压力,以防止塌陷<sup>[15]</sup>。2003 年 5 月,我国台湾外岛报告了 SARS 病例,卫生部门派遣了一架福克 50 型飞机运输传染病员前往台北指定的 SARS 医院<sup>[16]</sup>。

## 1.2 开放式传染病员空运隔离装备

**1.2.1 美国航空医学生物隔离系统** 2005 年,全球 SARS 疫情爆发后,美国开发了针对 SARS 传染病员的空运隔离装备,即“航空医学生物隔离系统”。该系统采用金属外骨骼支撑,内部塑料衬里,依托气泵,形成一个气密的、负压隔离单元,可容纳 1 名传染病员。隔离系统缓冲区可供医护人员在进入隔离室之前穿戴个人防护装备。进气和排气均经过高效过滤器过滤,排气通过飞机机身中的阀门泵送<sup>[17]</sup>。

**1.2.2 美国集装箱式生物控制运输系统** 埃博拉疫情期间,美国研制的集装箱式生物控制运输系统,是全球首个具备完整生物防护能力的可空运

多人医疗运输单元,适用于所有类型的高致病性传染病<sup>[18]</sup>。外壳为标准集装箱,自带通风和消毒系统、影像监视系统、通信设备接口,整个舱体均为负压,进气和排气均配置高效过滤器,可保证 16 h 的氧气供给。其内部分为 3 个区域:一是治疗区,可容纳 4 名病患和 4 名护理人员;二是缓冲区,用于安全穿脱防护设备;三是休息区,供 2 名医护人员轮班休息。在新冠疫情期间,美国使用该系统将 14 名“新冠”病毒感染者从日本成功运回美国本土<sup>[19]</sup>。

**1.2.3 美军运输隔离系统** 为应对埃博拉疫情,美国空军开发了运输隔离系统。该系统设计与航空医学生物隔离系统类似,外框架由塑料布覆盖。该系统采用模块化设计,可组合 2 个病员载量为 4 人的护理舱,还设有一间供医护人员穿戴防护装备的准备室。整个单元处于负压状态。所有进排气均经过高效过滤器过滤。美国空军共装备 25 套运输隔离系统,虽从未用于确诊病例的运输,但已在军事演习中成功部署。

## 2 传染病员空运隔离装备比较分析

既往实践表明,上述空运隔离装备密闭性强,安全可靠,能够满足疫情环境条件下传染病员的空运后送。以下将从外形载量、运输方式、设备配置、救治功能、适用范围五方面进行分析,见表 1。

**2.1 外形容量** 封闭式空运隔离装备具有体积小、重量轻的特点,使用时组装、运输更加便捷,一定程度上提高了危重症传染病员救治的时效性。而开放式空运隔离装备空间更大,医疗设备更完善,病员舒适度得到改善。但是,以上隔离装备在病员载量方面均受到一定限制,即使载量最大的运输隔离系统一次至多只能运载 8 名传染病员,运载效率远低于普通伤病员空运后送。

**2.2 运输方式** 大多数空运隔离装备由轻中型飞机或直升机即可完成搭载,而集装箱式生物控制运输系统因其体积及重量限制,必须使用大型运输机来完成运输任务。除空中运输外,空运隔离装备还可由机动车辆搭载进行道路转运,如此医院与机场之间运输的安全性得以保证,并减少了传染病员不必要的转移次数,降低了病原体扩散风险。同样,根据不同任务需求,也可通过列车或船只进行转运后送。

表 1 8 种传染病员空运隔离装备特点比较

项目	国家	年份	体积 (mm)	重量 (kg)	运载 机型	功能 分区	护理操作	外壳 材质	最大病员 载量
ATI	美国	1975	2210 ×690 ×860	112	C-17	-	受限	聚氯乙烯	1
T-ATI	英国	1980s	/	/	C-17 C-130	-	受限	-	1
HSTI-TCOL	英国	2006	2300 ×800 ×1100	45	赛斯纳-208 型	-	受限	PVC	1
便携式医用 负压隔离舱	中国	2016	2000 ×750 ×450	20	豪客比奇-400A	-	受限	TPU	1
PIU	中国 台湾	2003	2100 ×600 ×600	8	福克 50 型	-	受限	聚氨酯	1
ABCS	美国	2005	/	/	湾流 G-III	缓冲区 隔离区	直接	塑料布	1
CBCS	美国	2014	13 411 ×2438 ×2438	约 10 000	C-17 波音 747	休息区 缓冲区 治疗区	直接	集装箱	4
TIS	美国	2014	/	/	C-17 C-130	休息室 护理舱	直接	塑料布	8

**2.3 设备配置** 负压生成装置和高效过滤器是保证切断病原体空气传播途径的基础,几乎所有空运隔离装备都有配置,但便携式电池无法长时间供电来维持负压状态。另外,负压生成装置产生噪音、飞机存在背景噪音及密闭的舱体外壳等因素,使病员与医生沟通困难。因此,部分隔离装备选择采用手持式双向无线电的方式来解决,集装箱式生物控制运输系统则预留有通信设备接口,并自带影像监视系统帮助外部人员实时了解舱内动态,通风消毒系统使该装备快速净化重复使用成为可能。

**2.4 救治能力** 此类空运隔离装备的使用必须由经过专业培训的医疗团队来负责。封闭式空运隔离装备的所有医疗操作只能通过“半套服”来实施,操作受到一定的限制。且若飞行中病情恶化,因舱体密闭性要求只能给予静脉补液,止吐和镇静等有限的干预措施。而开放式空运隔离装备允许医护人员进入隔离区实施直接医疗护理,增加了医疗处置的灵活性,必要时还可进行胸外按压等急救措施,这是在封闭式空运隔离装备上无法实现的。

**2.5 适用范围** 由于空运隔离装备要在高空低气压状态下维持负压,因此具有呼吸衰竭、气胸、肠梗阻等症状病员无法适用,否则可能产生致命的危险。其次,当飞机发生颠簸时,部分隔离装备的金

属框架容易对丧失意识的传染病员造成意外身体伤害<sup>[20]</sup>。最后,部分隔离装备空间狭窄,对于躁动不安或幽闭恐惧症的传染病员也不宜进行转运<sup>[21]</sup>。综上所述,病情不稳定、躁动不合作、失去知觉的传染病员均不可通过隔离装备进行空运后送。

3 展 望

本文通过分析国内外典型传染病员空运医疗后送隔离装备的特点,发现当前装备主要存在以下几方面问题:①舱体强度较弱,易损坏;②外接管线较多,使用不方便;③电池的容量较小,使用时间短;④换气量较小;⑤噪音较大。因此,传染病员空运医疗后送隔离装备轻量化、模块化、智能化发展将是下一步的主要趋势。同时,需要建立与之配套的疾病评估标准及意外事件快速应对预案,为患者与医护人员提供安全基础。

【参考文献】

[1] 田博群. 世卫组织:全球新冠肺炎确诊病例超 2.1235 亿例 [EB/OL]. <https://www.chinanews.com/>, 2021-08-25/2021-08-27.

[2] 胡名玺, 孙秋明, 刘圣军, 等. 折叠式传染病员负压隔离转运舱研究[J]. 医疗卫生装备, 2014, 35(12): 97-100.

[3] European Centre for Disease Prevention and Control. Assessment

- and planning for medical evacuation by air to the EU of patients with Ebola virus disease and people exposed to Ebola virus [R/OL]. [2014-9-19]. <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/assessment-and-planning-medical-evacuation-air-eu-patients-ebola-virus-disease>.
- [4] Christopher GW, Eitzen EM. Air Evacuation under High-Level Biosafety Containment: The Aeromedical Isolation Team [J]. *Emerg Infect Dis*, 1999, 5(2): 241-246.
- [5] Kortepeter MG, Kwon EH, Hewlett AL, *et al*. Containment care units for managing patients with highly hazardous infectious diseases: a concept whose time has come [J]. *Infect Dis*, 2016, 214(3): 137-141.
- [6] Fisher-hoch SP. Safe Intensive-Care Management Of A Severe Case Of Lassa Fever With Simple Barrier Nursing Techniques [J]. *Lancet*, 1985, 326(8466): 1227-1229.
- [7] Nicol ED, Mephram S, Naylor J, *et al*. Aeromedical Transfer of Patients with Viral Hemorrhagic Fever [J]. *Emerg Infect Dis*, 2019, 25(1): 5-14.
- [8] Barr DA, Aitken C, Bell DJ, *et al*. First confirmed case of Crimean-Congo haemorrhagic fever in the UK [J]. *Lancet*, 2013, 382:1458.
- [9] Dindart J, Peyrouset O, Palich R, *et al*. Aerial medical evacuation of health workers with suspected Ebola virus disease in Guinea Conakry-interest of a negative pressure isolation pod-a case series [J]. *BMC Emerg Med*, 2017, 17(1): 9.
- [10] Raffin H. Évacuation aérienne d'une patiente Ebola: critères de décisions et modalités de transport (Air evacuation of a patient with Ebola: criteria decision and carriage modalities) [J]. *J Europ Urge Réanimat*, 2015, 27:9-13.
- [11] 高耀乐. ANSYS 机械工程应用精细化 60 例 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2012:37.
- [12] 尚 辉, 刘乃智, 李 静. 便携式防传染医用负压隔离舱的设计 [J]. *中国医疗设备*, 2018, 33(2): 60-62.
- [13] 李 贝, 张春刚, 王立新. 使用负压隔离舱跨国航空医疗转运重症成人麻疹 1 例分析 [J]. *空军医学杂志*, 2016, 32(3): 213-215.
- [14] Eubank S. Scalable, efficient epidemiological simulation [C]// *Proceedings of the 2002 ACM Symposium on Applied Computing*, 2002: 139-145.
- [15] National Research Council. Defense Modeling' Simulation' and Analysis: Meeting the Challenge [M//OL]. Washington DC: National Academy Press, 2006. [2020-05-16]. <http://www.nap.edu/catalog/11726.heml>.
- [16] Tsai SH, Tsang CM, Wu HR, *et al*. Transporting Patient with Suspected SARS [J]. *Emerg Infect Dis*, 2004, 10(7): 1325-1326.
- [17] Whirter C, Kay B. Special Planes Are Lifeline for Ebola Patients [J]. *The Wall Street Journal*, 2015.
- [18] Glatter R. The new weapon in the fight against Ebola and other deadly pathogens [J]. *Forbes*, 2015, 13:2015.
- [19] Containerized Bio-Containment System (CBCS)-Flyable Bio-containment Sytem-MRIGlobal [EB/OL]. [2020/4/29]. <https://www.mriglobal.Org/containerized-bio-containment-system-cbcs/>.
- [20] 张建霞, 胡名玺, 田 丰. 传染病员负压隔离转运装备产品标准撰写探讨 [J]. *医疗卫生装备*, 2015, 36(7): 123-124.
- [21] Withers MR. Aeromedical evacuation of biological warfare casualties: a treatise on infectious diseases on aircraft [J]. *Mil Med*, 2000, 165(11): 21.

(收稿日期:2020-11-26; 修回日期:2021-02-09)

(责任编辑:刘玉巧)