

## 移动生物安全三级实验室在埃博拉病毒检测中的应用与展望

崔玉军 赵建军 贝祝春 张柯 童贻刚 孙业勤 房彤宇

【关键词】 埃博拉病毒病; 生物安全; 移动生物安全三级实验室

**The application and Expectation of mobile BSL-3 laboratory during outbreak of Ebola virus disease in Sierra Leone**

Cui Yujun<sup>1,2</sup>, Zhao Jianjun<sup>1,2</sup>, Bei Zhuchun<sup>1,2</sup>, Zhang Ke<sup>1,2</sup>, Tong Yigang<sup>1,2</sup>, Sun Yeqin<sup>1,3</sup>, Fang Tongyu<sup>1,2</sup>. 1 The Chinese Mobile Laboratory Team in Sierra Leone, Beijing 100071, China; 2 State Key Laboratory of Pathogen and Biosecurity; 3 Bureau of Medical Administration, the Health Department of General Logistics Department, Chinese People's Liberation Army

Corresponding authors: Fang Tongyu, Email: fangty@bmi.ac.cn; Sun Yeqin, Email: yeqinsun@163.com

【Key words】 Ebola virus disease; Bio-safety; Mobile BSL-3 laboratory

第一代移动生物安全三级实验室(移动P3)是按照国标GB 19489-2004《实验室生物安全通用要求》标准设计建设,其主体由2台车载方舱组成。展开使用时,主、辅舱通过桥接形成“三区两缓”的整体结构,实现其高等级生物安全防护的功能。生物战、生物恐怖袭击以及自然原因所致疫情突发时,移动P3能够及时抵达现场,就地展开烈性病原体相关的实验室工作,弥补中心实验室与疫情现场距离过远、延误病原体分离检测时机的问题。

西非埃博拉病毒病疫情为移动P3提供了首次长期运行的实战考验。作为我国目前最高防护等级的可移动式生物安全实验室,移动P3在2014年9月至2015年3月被部署到塞拉利昂。截止到任务完成,共进行了近5 000份埃博拉病毒样本的灭活和核酸分离提取相关工作。在当地无稳定电力供应以及水质无法满足实验室工作需求等恶劣条件下,技术保障人员克服各种困难,维护实验室连续运行达半年时

间,圆满保障了检测任务的顺利完成。移动P3在埃博拉疫情实战中的成功应用提供了许多宝贵经验,为此本文从技术保障工作角度,对遇到的实际问题作归纳总结,并对移动P3未来升级更新进行了思考和探讨,以期将来应对战时或者其他重大疫情的保障工作提供借鉴。

1. 移动P3在西非的运行概况:埃博拉病毒属于四级烈性病原体,主要通过接触血液或体液传播,可以通过黏膜和破损皮肤等途径感染。移动P3核心区的主要操作包括对埃博拉病毒疑似病例的血液或者咽拭子样品和样品信息单进行拍照存档;样品加入裂解液后60℃水浴灭活1h;进行人工或自动(后期)核酸提取。为保障上述操作正常进行,移动P3通常每天开启4~7h(视样品数量而定),在塞拉利昂半年期间共计运行约1 200h,最长单日连续运行时间14h。每天由2名技术人员启停机、巡视、高压、维护等实验室保障操作;另有一名厂家工程师待命,指导故障排除。

维护移动P3正常运转需要每天供应电、正压防护头罩、防护服和其他常用消耗品(手套、脚套、消毒液等)。在第三批队员保障期间(2015年1—3月),移动P3供电完全依赖外置发电机,日均耗油55L,约合人民币260元;正压防护头罩、防护服日均消耗2套,约合人民币2100元;常用消耗品成本每天约90元。因此,不考虑设备损耗和人力成本的情况下,移动P3日均运行成本合计约为2450元。

2. 在埃博拉病毒病疫情实战中出现的问题与解决方案:移动P3实验室原设计初衷主要是快速应对城市生物恐怖袭击,并未考虑在野外长期运行的情况。塞拉利昂当地环境恶劣,水电等基本保障条件不足,在这种情况下长期超负荷运行,不可避免给移动P3带来各种问题。表1归纳了主要设备故障和基础保障两个方面的问题及总结的解决方案。

3. 对今后移动P3升级更新的思考:虽然第一代移动P3经受了实战检验,在精心保障下圆满完成了检测任务,但如上所述,在设计上仍存在不足之处,如气路管道等脆弱部位进行加固、需经常消毒的部位选用更加耐腐蚀材料制造,以及高压灭菌器排水管道加装滤网等细节问题,需要解决改进。除此之外,轻型化、模块化和数字化应成为今后移动P3改造更新的主要方向。

(1)轻型化:虽然移动P3可通过汽车运输进行位置转移,但其单舱加上运输车的重量已接近25 000kg,整车总体庞大(12.6×2.5×4.3m)难以通过路况差的区域,实际移动能力受限。实验室共需约200m<sup>2</sup>的平整坚实地面供车辆连

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2015.09.031

作者单位:100071 北京,中国援助塞拉利昂移动实验室检测队(崔玉军、赵建军、贝祝春、张柯、童贻刚、孙业勤、房彤宇);病原微生物和生物安全国家重点实验室(崔玉军、赵建军、贝祝春、张柯、童贻刚、房彤宇);中国人民解放军总后勤部卫生部医疗管理局(孙业勤)

通信作者:房彤宇, Email: fangty@bmi.ac.cn; 孙业勤, Email: yeqinsun@163.com

表1 移动P3在塞拉利昂抗击埃博拉病毒疫情期间出现的问题与解决方案

项 目	问题描述	解决或替代方案	
主要设备故障	送排风控制系统	初效过滤器短期内被粉尘完全覆盖,造成实验核心区压力异常	更换初效过滤器
	核心区密封门	被消毒剂长期腐蚀变形、锁舌损坏,无法实现密封	应更换配件
	双扉高压灭菌器	高压时污物袋破裂或融化,细小污物落入腔体内的排水管道,造成堵塞	①清理污物,在排水管道口加装铜质滤网;②更改高压灭菌模式;③使用专用高压污物袋
	通信监控	①固定对外通话装置因消毒频繁,腐蚀损坏; ②核心区摄像头通信故障	①采用电脑局域网和步话机联络;步话机故障时,用笔书写,通过核心区观察窗交流传递即时消息;②加装备用摄像头
基础保障问题	电力供应	市电不稳,停电频繁	使用柴油发电机作为实验室外接电源,并定期保养维护
	实验室供水	水质差,杂质偏多,且供水不稳,经常停水	①减少整体用水量,省略沐浴步骤;②加配净水机和软水器;③增设2个容积在3 000 kg以上的水囊,增加储水量
	气路管道	管壁薄,不够坚固,两次发生断裂	更换备用配件并加固

接和展开。主、辅舱进行桥接时,除了要把折叠式软连接进行舱间固定,还要把电、水、气、通信线路等几十根管道、线缆一一对接后调试,操作繁琐,耗时较长。因此,第一代移动P3距真正无障碍野外移动还有一定差距。将来移动P3应考虑去除非必要组件,如沐浴间和配套的污物煮沸罐;必要组件尽量选用体积小、重量轻的设备,减轻方舱整体重量和体积,提高通过能力;甚至做到直升机空中吊运,摆脱对道路的依赖,实现在山区或海岛上展开使用。

(2)模块化:包括两个方面:第一是易损配件模块化。如双扉高压灭菌器或其他精密仪器的电路板等,制成可方便拆卸的模块,随行携带,并在发生故障时,由现场保障人员迅速自行更换,不影响实验室的连续运行。第二是附属设备模块化,包括发电机、水处理装置、附加的空气过滤装置等,将这些设备设计成便于运输的标准化模块。根据展开现场的实际选择特定模块,与移动实验室主体共同部署到现场。譬如类似西非的落后地区,需要携带电、水、气多种模块;而在风沙大但供电、供水稳定的发达地区,可仅携带附加的空气过滤装置即可。

(3)自动化:是指实验室控制系统的自动和集成。目前实验室控制装置和各类仪表分散在主、辅舱和指挥车三处。启动实验室时,依靠人员在方舱之间进出操作,手动开启几十个开关按钮和阀门;并手工记录操作过程和设备运行日志。将来应设计中控平台,可在获得指令后自动开启实验室各类支持设备,并记录实验室使用时间和各种设备的运行状况。同时,在设备出现异常状态时能够自动报警。将移动P3的人工管理与自动化控制有机结合,将更好的维持实验室的稳定运行状态,保障相关工作的顺利进行。

4. 不同环境下移动P3使用的建议:未来任务面临的环境千变万化,尽管移动P3集成度高、功能强大,如不做好充分准备,也会在保障上出现问题。结合本次任务中出现的为题,为今后移动P3使用提出如下建议。

首先应对目标展开地点进行充分勘察。内容包括①通往展开地点的路线和路况(从长、宽、高、承重四方面考察移动P3是否能顺利通过);②展开地点的平整土地的面积、硬度、排水情况;③展开地点的供水、供电情况;如无电源供应,

应考虑调查附近是否能购买到足量燃油;如无自来水供应,调查附近是否有天然地表水源或者方便获得的地下水,以及水源质量;④附近是否具备移动P3之外所需试验操作进行的场所;⑤附近是否有合适的人员驻扎地点及饮食等后勤保障条件;⑥展开地点的有线、移动和网络通信情况;⑦展开点的安全保卫情况;⑧展开地点附近的人口密度和流动情况;⑨展开地点的气候状况,包括风向、降雨、温度、湿度、风沙等。

其次在出发前,应对P3实验室主、辅舱和运输车辆的状况进行评估,确定硬件状态良好。在携带移动P3标准随行配件的基础上,针对目标地点不同环境条件,为移动P3实验室前出配备不同附属设备、配件及消耗类物资(表2)。

表2 不同环境下移动P3实验室出发前的建议附属装备和物资

环境特点	附属装备	配件物资
无稳定电源	100 kW以上发电机2台	空气、柴油、机油滤清器(300 h更换一次);机油、油桶、油泵
无稳定水源	3 000 kg以上水囊或运水车	水管
水源质量差	净水器和软水机	水管、软水专用盐、滤芯
严寒地区	水囊和各种管路、线缆的保温装备	防冻液、工业盐、防冻水管
多尘地区	-	增加初效和中效过滤器随行数量
高湿地区	-	增加中效过滤器及各类电路板的随行数量
大风地带	阻风板	

5. 展望:在未来战场或者野外条件下应对其他重大疫情时,将可能面对更加复杂恶劣的环境(如在高寒地区长期运行),因此除了对移动P3自身加以升级改造外,在制定前出计划时,应充分考虑各方面不利因素,全面考察现场情况,有针对性的在人员、附属设备和零配件方面做好准备。此外我国移动P3集成化程度高,但机动性能相对较弱,技术保障负担重。应充分分析不同环境条件下的各类疫情应对需求,开发针对性强、移动性好的小型生物安全防护装备,以满足高山、海岛以及海外等特殊情况下疫情应对的需要。

(收稿日期:2015-05-06)

(本文编辑:张林东)