



车载移动医用 CT 方舱在新型冠状病毒肺炎筛查中的研究设计*

王洪杰^① 于霞^② 王振宇^① 张鸣^③ 张恩东^{④*} 蒋旭强^⑤ 丛浩^⑤ 付文杰^⑤

①威海市妇幼保健院医疗设备科 山东 威海 264200

②威海市妇幼保健院 超声二科 山东 威海 264200

③威海市妇幼保健院 CT室 山东 威海 264200

④威海市妇幼保健院 耳鼻喉头颈外科 山东 威海 264200

⑤威海广泰特种车辆有限公司 山东 威海 264200

[摘要]目的: 研制一款新型智能车载移动医用 CT 方舱, 应对突发新型冠状病毒肺炎(COVID-19)疫情及自然灾害, 提升现场救助能力, 降低灾害的损失。**方法:** 采用二类运输车底盘, 根据医疗方舱的结构特点对方舱内部进行合理布局, 并采用 CT 减震和舱体辐射防护的设计方案。**结果:** CT 方舱布局合理, 减震设计可以使车辆适应野外环境, 其辐射防护方案可在满足使用要求的情况下有效降低整体重量。**结论:** 车载移动医用 CT 方舱能够机动、快速和高效适应于野外工作环境, 大力提升我国医疗机构现场救治的能力, 并可在 COVID-19 疫情的筛查中发挥重要的作用。

[关键词]新型冠状病毒肺炎; COVID-19; CT 方舱; 舱体布局; 辐射防护; 减震保护

Research and design of vehicle-mounted mobile medical CT shelter in the screening of COVID-19/WANG Hong-jie, YU Xia, WANG Zhen-yu, et al//China Medical Equipment,2020

[Abstract] Objective: To research a new type of intelligent vehicle-mounted mobile medical computed tomography (CT) shelter so as to cope with the epidemic situation of COVID-19 and natural disaster, to enhance ability of on-site salvation, and reduce loss of disaster. **Methods:** The chassis of the second type of carrier vehicle was adopted, and the interior structure of the medical shelter was reasonable arranged according to the structural features of medical shelter. And the design scheme that included CT shock absorption and the radiation protection of shelter was adopted. **Results:** The layout of CT shelter was reasonable, and the design of shock absorption could make the vehicle to adapt the field environment. And the scheme about radiation protection could effectively reduce the overall weight under the condition of meeting the use requirements. **Conclusion:** The vehicle-mounted mobile medical CT shelter can flexibly, rapidly, and efficiently adapt to the environment of field work. It can greatly improve the ability of on-site treatment of medical institutions in China, and also can play an important role in the screening of epidemic situation of COVID-19.

[Key words] COVID-19; Computed tomography (CT) shelter; Shelter layout; Radiation

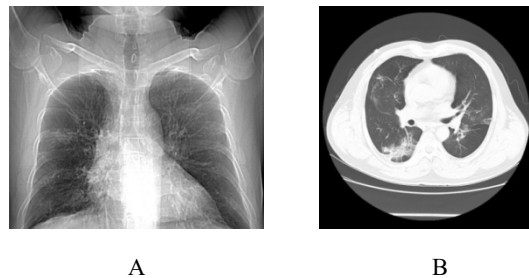
protection; Protection of shock absorption

[First-author's address] Department of Medical Equipment, Weihai Maternal and Child Health Care Hospital, Weihai 264200, China.

面对突然而来的武汉新型冠状病毒肺炎(WHO 归为 COVID-19)疫情,核酸检测在 COVID-19 确诊中发挥了重要的作用,但核酸检测对实验室的环境和操作人员技术要求较高,从取样、分离和提取均需严格按照要求执行,同时核酸检测本身有一定的技术局限性,且假阳性率相对较高。新型冠状病毒是核糖核酸(ribonucleic acid, RNA)病毒,如果长时间放置会因降解而影响检测的准确性。在疫情一线工作的医生发现,有些疑似病例或者核酸检测结果为阴性,病情却在持续发展,且家人也出现感染。因此专家提出,除核酸检测外 CT 检查影像结果也应纳入 COVID-19 的筛查标准。为此,本研究为应对突发自然灾害和公共卫生事件,提升现场救助能力,降低灾害的损失,研制一款新型智能车载移动医用 CT 方舱。

1 CT 影像学诊断 COVID-19

国家卫生健康委员会与国家中医药管理局公布的《新型冠状病毒感染的肺炎诊疗方案(试行第五版)》^[1]中提到,CT 影像学方面针对的是疾病的影像进展表现:早期呈现多发小斑片影及间质改变,以肺外带明显;进而发展为双肺多发磨玻璃影、浸润影;严重者可出现肺实变,胸腔积液少见。同一 COVID-19 患者 DR 及 CT 影像见图 1。



注:图中 A 为 COVID-19 患者 DR 影像;B 为 COVID-19 患者 CT 影像

图 1 COVID-19 患者 DR 及 CT 图像

CT 作为重要的筛查手段势在必行,但医院受限于空间限制,短期内无法建造大规模机房,严重制约了疫情的防治^[2-3]。本研究研制的车载 CT 方舱,以实现突发重大自然灾害或公共卫生事件下能够早期及时诊断患者。

2 车载移动医用 CT 方舱设计

2.1 运输动力

车载方舱选用中国重汽汕德卡车头及汕德卡二类底盘,以实现高机动性,驾驶室采用德国曼(MAN)公司技术,轮胎为 295 真空胎,后悬挂气囊,发动机功率为 206 kW,排放标准为国 V,轴距 5775+1400,最大允许总重量为 26000 kg,工作席位为 2 个,前桥载荷为 7000 kg,后桥载荷为 19000 kg,将 CT 装置安装于舱体。运输时 CT 与舱体固定于车辆底盘上,安装整体自装卸装置,工作时舱体落地并调平衡。

2.2 舱体设计

环境保障是拓展医疗方舱完成医疗任务的重要一环,为了给医护人员提供良好的工作环

境,方舱前部设计为环境保障设备间:①上部安装有空调室外机组和通风机组,便于空调机组的冷热交换和新风注入,具有加湿和空气净化功能,制冷量可达25~35 kW,制热量达到25~45 kW;②中部区域设计为通讯系统,方便方舱中的CT与外界进行远程会诊;③下部区域设计为电力供应系统,配备发电机组,满足设备供电需要^[4-5]。整车箱体采用专用复合板,两侧为玻璃钢面板。骨架设计中芯部材料为挤塑聚苯乙烯保温板(XPS),采用真空技术保证两者完美粘结,该结构保温性能良好。厢板材料选用环保材料,无须二次喷漆,无甲醛污染,厢板侧围厚度46 mm、顶部厚70 mm,总热传导系数 ≤ 0.05 ,舱体采用电动双侧扩展方式,性能稳定可靠,舱体外型尺寸为9935 mm×2450 mm×3830 mm;厢体内部尺寸为7868 mm×2320 mm×2118 mm;左右扩展方舱净尺寸为3510 mm×2118 mm×650 mm。骨架设计和扩展原理见图2和图3。

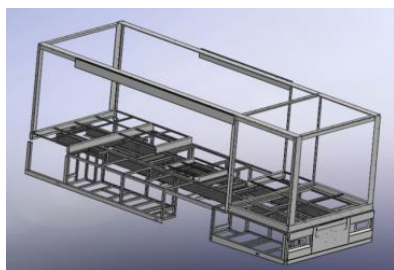


图2 骨架设计

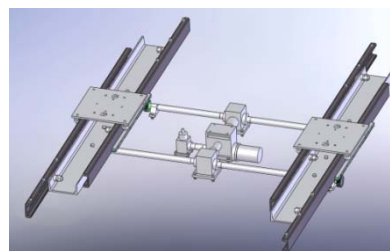


图3 扩展原理

2.3 设备选型

面对 COVID-19 疫情主要是将 CT 用于肺部筛查,由于人数众多,要求 CT 扫描速度快,需要满足每昼夜>300 人次。根据方舱大小、设备尺寸同时兼顾使用功能,确定选择 64 排赛诺威盛 CT 作为安装机型。64 排 CT 机型具有一键摆位和一键处理,同时配备人工智能肺部分析软件,极大降低医生劳动强度,760 mm 大孔径可以满足各种人群的需要,球管为 5.3 MV 金属陶瓷球管,最大连续散热率为 815 kHU/min,高压发生器输出功率为 50 kW,峰值电压可选 70 kV、80 kV、100 kV、120 kV 和 140 kV,输出管电流为 10~420 mA。

2.4 舱内布局

CT 的宽度和扫描床的运动范围决定扫描室大小,CT 扫描时产生 X 射线,对人体造成伤害,因此方舱布局设计在满足 CT 工作和防护条件下,优化控制室和扫描室的空间分布比例,使其达到最优^[6-8]。CT 方舱按照功能区域划分为扫描区、操作区,扫描区位于舱体的尾部(沿运输方向),安装 CT 机架和可升降扫描床,操作区于舱体前部,安装控制主机、工作站及医用显示器等设备设施。

为了便于患者上、下方舱门,设计独立进出通道,为了保障患者安全,舱内扫描间安装监视系统并铺设防静电地板。CT 方舱顶板装有紫外线灯管、照明灯带及空调风道等。方舱由 1 台燃油暖风机和 1 台分体式空调作保障,空调回风口位于 CT 区的下部,出风口位于 CT 室的顶部,暖风机出风口位于 CT 室前后两侧,回风口风道位于扫描室内方舱前壁板底部。通过合理布局,对 CT 方舱整装质心位置及轴荷进行合理分配,从而保障在行驶和运输过程中的稳定性和安全性^[9-11]。CT 方舱整体结构布局见图 4。

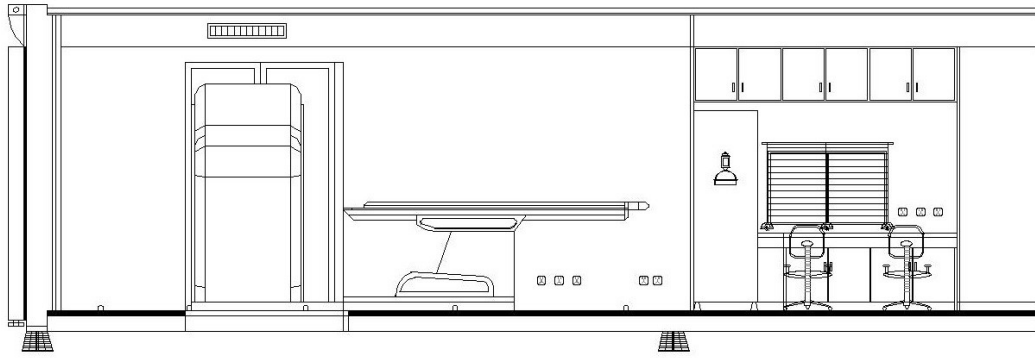


图 4 CT 方舱整体结构布局

2.5 电源供应

CT 电源要求电压 380 V，最大偏差不得超过正负 10%。最大功率 150 kVA，连续功率 30 kVA，待机功率 11 kVA，功率因子 0.85。设备连续电流 38 A，设备要求专线供电。电源线缆要求专线供电，三项导线标明相序后与零线(N)、地线(PE)一并进入车厢配电柜，进线电缆必须采用多股铜芯线，可以用车载发电，也可以接入动力电源^[12]。

2.6 辐射防护

根据国家职业卫生标准“医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范”(GBZ/T180-2006)^[13]中对 CT 机房屏蔽防护的要求，机房外的人员受到照射的年有效剂量应 <0.25 mSv；空气比释动能率在距机房外表面 0.3 m 处 <7.5 μ Sv/h。以 CT 方舱使用赛诺威盛 64 排为例，其在曝光条件下，最大管电压为 140 kV，管电流为 10~420 mA，根据设备性能参数绘制空间辐射剂量分布曲线见图 5。

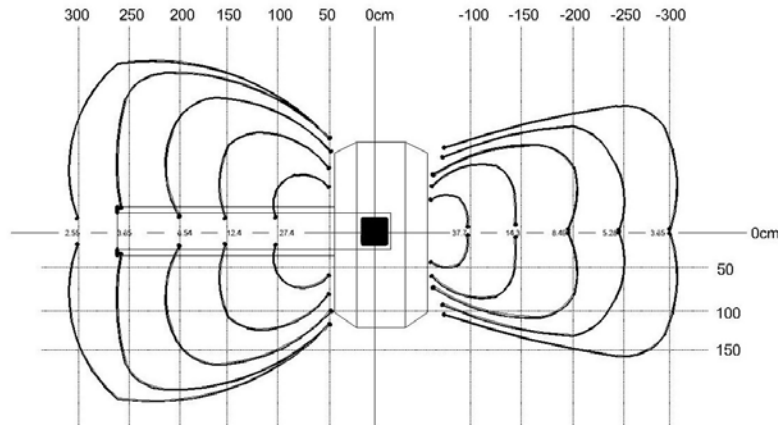


图 5 空间辐射剂量分布曲线

图 5 显示，X 射线辐射强度在空间区域呈现蝴蝶形状分布，距离 CT 机架越远，辐射剂量越低，CT 机架上方和侧方区域辐射剂量最低^[14-15]。为了降低重量，方舱 CT 屏蔽应该在满足防护要求的情况，根据 CT 辐射剂量分布曲线分布特点，对不同区域依据辐射强弱选择不同厚度的防护材料，在满足防护要求前提下降低防护材料的用量，以达到降低总质量的目的。

2.7 减震保护

CT 机是一种高精密的设备，对震动比较敏感，超过一定负荷的震动就会造成图像质量不佳，所以需要对方舱中的 CT 机做减震处理，从而满足其在野外急救环境中工作的可能。

CT 设备主要包括机架和扫描床，其减震设计主要考虑机架的减震，在 CT 方舱设计中，为 CT 机安装 8 个减震器，以满足不同方向的减震需求。减震器采用金属橡胶材料，以金属丝为原材料，是一种均质的弹性多孔物质，经过相互缠绕螺旋拉长模压而成，内部结构是螺旋金属丝之间相互嵌合、勾联而形成的类似于橡胶成分结构的网状空间网状结构，在受力变形时由金属丝的相对应位移产生摩擦，使一部分震动能量转变为热能，达到良好的效果。在运输中使减震器处于弹性状态，保证 CT 扫描机架与舱体达到弹性连接，同时加装保护和限位装置，避免当减震器超出弹性工作范围时，可能遇到的突发情况。对 CT 的球管、探测器和高压发生器进行刹车固定，避免运输过程中带来的冲击力对设备和箱体的破坏。为了防止持续的振动造成螺丝和螺母松动脱落，在相应的螺丝和螺母处加特制弹簧垫片并打上固定胶^[16]。在相关措施下，可以确保 CT 机在运输过程中能够承受剧烈冲击，从而保证 CT 机能够稳定地用于野外恶劣环境。

2.8 信息化系统

CT 方舱配备赛诺云远程诊断系统，解决专用应急 CT 的数据链“孤岛”问题。赛诺云支持诊断不足的医院，与异地专家进行会诊、数据共享及语音通讯等。同时 CT 方舱是方舱医院的一部分，通过局域医院信息系统(hospital information system, HIS)，可将图像传递至信息中心、方舱手术室和方舱重症监护室(intensive care unit, ICU)，并可通过移动网络形成云胶片传递给后方的医院，实现远程会诊^[17-18]。同时，CT 方舱也配备激光打印机和图文工作站，便于医师出具相关报告。

3 结果与讨论

本研究设计的车载 CT 方舱，从方舱底盘选择、舱体设计、设备选型、电源供应、辐射防护、减震保护及信息化系统等多个方面对车载 CT 方舱进行了深入研究，通过增加金属减震器等一系列手段解决了 CT 设备的减震问题，并根据 CT 机在最大 140 kV 工作时剂量分布曲线，对方舱防护铅板的厚度进行了优化设计^[19]。该车载 CT 方舱能够有效应对 COVID-19 疫情，并带有自消毒装置，避免交叉感染。COVID-19 疫情结束后也可用于应急救援和突发公共卫生事件处置，能够提升我国医疗机构现场救治的作业能力和作业效果，提升执行医疗救治过程中伤员救治率，降低伤残率和死亡率^[20-21]。

目前，美国 GE 公司和德国西门子相继研发了车载式 CT，但其车身均 >12 m，相当于一个完整的 CT 机房搬迁至机动车上，机动性差，只能应用于市内路况较好的区域，而国内东软集团、深圳艾克瑞相继开发车载 CT。本研究设计的移动车载 CT 方舱，具有机动性强、适应能力强和平战适用的特点，可以应对各种突发公共卫生事，以及边远山区的巡回医疗。

4 结论

COVID-19 患者肺部影像表现早于临床症状，影像学检查在临床分流中具有不可替代的补充作用，故用 CT 进行筛查刻不容缓，但 CT 机对应用环境要求苛刻，通常安装于医院固定场所，不能随意挪动。为应对此局面，本研究研制的车载移动 CT 方舱通过车辆运输实现 CT 设备机动式应用，满足 COVID-19 的筛查，不仅对于 COVID-19 具有机动、快速和高效的诊断能力，在疫情结束后还可用于自然灾害或战争条件下伤病员早期救治。本研究因为受限于舱体空间大小，存在可选 CT 机型不多，对舱内布局设计带来一定的难度，未来将加强与生产厂家的沟通，设计出适合更多 CT 机型的车载医用 CT 方舱。

参考文献

- [1] 国家卫生健康委办公厅,国家中医药管理局办公室.关于印发新型冠状病毒感染的肺炎诊疗方案(试行第五版)的通知:国卫办医函(2020)103[EB/OL](2020-02-05)[2020-02-12]<http://www.nhc.gov.cn/yzygj/s7653p/202002/3b09b894ac9b4204a79db5b8912d4440.shtml>.
- [2] 冯琼,许建阳.国外国家救援队组成及其装备要览[J].中国医学装备,2017,14(6):171-175.
- [3] 刘立,刘东会.国际医疗救援行动风险分析[J].解放军医院管理杂志,2015,22(4):357-358.
- [4] 晁勇,帅万均,苏卫华,等.CT方舱CT选型及舱内布局研究[J].中国医疗设备,2014,29(5):17-19.
- [5] 晁勇,帅万均,张少东,等.CT方舱CT装置的技术改造研究[J].中国医疗设备,2014,29(4):24-26.
- [6] 苏卫华,谭树林,晁勇,等.CT方舱舱体布局研究与设计[J].医疗卫生装备,2013,34(8):29-30.
- [7] 帅万均,苏卫华,刘帅,等.车载CT方舱整装质心位置及轴荷分配的计算[J].中国医疗设备,2014,29(6):25-27.
- [8] 武超,谭树林,苏卫华,等.车载移动式CT方舱的设计[J].医疗卫生装备,2013,34(6):7-10.
- [9] [9]李明,孟晓东,郑静晨,等.新型大扩展比智能拓展车载医疗方舱及综合检查检验车的研制[J].中国医疗设备,2018,33(5):1-5.
- [10] 李立新,马斌,陈建明.基于数字化集成的野战医疗综合保障平台研制[J].中国数字医学,2013,8(1):90-92.
- [11] 丁辉,侯世科,樊毫军,等.武警方舱医院CT方舱的研制[J].医疗卫生装备,2012,33(11):81-82.
- [12] 李明,孟晓东,郑静晨,等.多级拓展医疗方舱环境保障系统的设计[J].中国医疗设备,2018,33(4):5-9.
- [13] 卫生部.医用X射线CT机房的辐射屏蔽规范:GBZ/T 180-2006[S].卫生部,2006-11-03.
- [14] 晁勇,帅万均,张少东,等.CT方舱电离辐射适形防护方法的研究[J].医疗卫生装备,2014,35(5):91-94.
- [15] 晁勇,帅万均,苏卫华,等.车载CT方舱减震装置的研制[J].中国医疗设备,2014,29(6):22-24.
- [16] 白松,于宝国,范斌,等.基于ANASY的CT方舱有限元建模与模态分析[J].医疗卫生装备,2015,36(9):14-16.
- [17] 晁勇,帅万均,李安民,等.野外机动应用的车载CT方舱研究[J].中国医疗设备,2014,29(4):27-29.
- [18] 刘磊汉,林村河,王苓,等.以第二代医疗方舱为依托的野战医院快速展开[J].解放军医院管理杂志,2008,15(6):525-526.
- [19] 陶学强,伍瑞昌,张晓峰,等.国家紧急医疗救援装备建设探讨[J].中国急救复苏与灾害医学杂志,2016,11(8):811-813.
- [20] 孟晓东,郑静晨,王藩,等.武警智能拓展车载方舱医院的研制[J].医疗卫生装备,2015,36(10):27-29.
- [21] 冯琼,许建阳.国外国家救援队组成及其装备要览[J].中国医学装备,2017,14(6):171-175.

***基金项目：**山东省科技厅重点研发计划(2019GGX104078)“关于新型智能拓展移动医疗方舱医院的研究”

***通信作者：** entzed@sina.com

作者简介： 王洪杰，男，(1980-)，本科学历，工程师，研究方向：医疗设备管理及人工智能。