

Lean Construction and Engineering Practice Based on Modular Assembly Integration

Chen Zhaorong¹, Zhang Jichao², Cai Zhili¹, Chen Wurong³, Zeng Changluo¹

¹China Construction Fifth Engineering Bureau the Third Construction Co., Ltd. Changsha, China

²School of Civil Engineering, Guangzhou University, Guangzhou, China

³BGI Genomics Co., Ltd, Shenzhen, Shenzhen, China

Email address:

245140142@qq.com (Chen Zhaorong)

To cite this article:

Chen Zhaorong, Zhang Jichao, Cai Zhili, Chen Wurong, Zeng Changluo. Lean Construction and Engineering Practice Based on Modular Assembly Integration. *Science Discovery*. Vol. 10, No. 6, 2022, pp. 427-432. doi: 10.11648/j.sd.20221006.18

Received: September 27, 2022; Accepted: November 16, 2022; Published: November 29, 2022

Abstract: Prefabricated modular building is a new type of industrial building. The traditional buildings can be reasonably divided into modular units for streamlined production in the factory, then transported to the construction site or project construction site, and then assembled into a whole building through special connection methods and special equipment. And its technology has been gradually applied because of its green, low-carbon, ecological characteristics. In order to make it more efficient, low cost and good quality, the integrated system of design and construction is studied in this paper, and the design concepts of modular unit and modular film combination are put forward. This paper introduces the characteristics of modular assembly building from four aspects: engineering overview, design scheme, modular embodiment and lean construction, combined with the case of Changsha Makeshift Hospital and "mold and film combination" Fire-eye laboratory, and discusses several schemes of main modular unit design, equipment component prefabrication and quick and convenient installation. It has achieved the goals of flexible layout, rapid construction, cost reduction, resource waste reduction and environmental pollution reduction. And it is illustrated by a case that different small modules are combined to form products with different functions - Changsha Shelter Hospital and Gas Film Laboratory (mold film combination) are also products formed by modularization, and multiple small independent and interactive components are combined to realize the product functions that people need.

Keywords: Unitized Modularization, Prefabricated, Mobile Cabin Hospital, Air Membrane Laboratory, Rapid Construction

基于模块化装配整体式的精益建造及工程实践

陈兆荣¹, 张季超², 蔡志立¹, 陈戊荣³, 曾常洛¹

¹中建五局第三建设有限公司, 长沙, 中国

²广州大学土木工程学院, 广州, 中国

³深圳华大基因股份有限公司, 深圳, 中国

邮箱

245140142@qq.com (陈兆荣)

摘要: 装配整体式建筑是一种新型的工业化建筑, 能够将传统建筑合理划分为若干单元, 在工厂进行流水化生产制作, 然后运输至施工现场或者项目建设地点, 再通过专业的连接方式和特殊的设备组装成整体建筑。因其技术具有绿色、低碳、生态等优势而被逐渐被应用。为使其更加具有施工效率高、成本低、质量好的优势, 本文进行了设计与施工一体化体系研究, 提出了单元式模块化和膜膜组合的设计概念。结合“箱膜组合”长沙市方舱医院和“膜膜组合”火眼实验室案例, 从工程概况、设计方案、模块化设计、精益建造的若干体现等方面介绍了模块化装配建筑的特点, 探讨了主体模

块化单元设计、装备部件预制、安装时快速便捷的若干方案,实现了其具有灵活布置、快速建造、降低成本、减少资源浪费和环境污染的目标。并通过案例进行了说明:利用组合不同的小模块形成不同功能的产品——长沙市方舱医院和气膜实验室高新产品,把多个小的独立、互相作用的组件,通过技术集成组合在一起来实现人们需要的产品功能。

关键词: 单元式模块化, 装配式, 方舱医院, 气膜实验室, 快速建造

1. 模块化预制装配概述

预制装配整体式模块化建筑是一种新型的工业化建筑,能够将传统建筑合理划分为模块化若干单元,在工厂进行流水化生产,然后运输至施工现场或者项目建设地点,再通过专门的连接方式和特殊设备组装成整体建筑。模块化[1, 2]产品是指将一个复杂的产品拆分成一个个不同的模块,模块属于产品中的某个或者某些标准结构单元,通过组合不同的模块来完成不同功能的产品。近年来,模块化设计已受到广泛的关注,并在很多工业产品上得到了应用,比如建筑、汽车、机电产品、飞机、船舶等。目前,该建造技术已在高层建筑和复杂结构中取得了突破,其预制率可达约95%。

模块化产品具有多样性、可拆卸性、可扩展性和多样化组合形式,因为模块化的产品在生产时,企业可以提高生产效率,降低成本,所以产品的交货时间快,性价比高。这样可以降低设计失误的风险,可缩短设计周期,降低生产制造成本,提高产品的可靠性。标准化[3, 4]可以使模块化更为容易,能加快产品设计和生产准备过程,保证和提高产品质量;降低产品成本;促进科研成果和新技术、新工艺的推广;合理利用能源和资源。预制装配式[5, 6]建筑主要是指在建筑期间,通过设计将整体建筑细分成一个个构件,即将建筑模块化,要完成一个复杂的建筑时,自里里外外,上上下下逐层把建筑划分成若干模块的过程,具有多种属性,分别反映其内部特性。建筑构件预先在工厂进行加工,待现场需要施工使用构件时再将构件运输到施工现场,现场人员操作吊装、连接、与其他部分结合等步骤形成完整的结构。预制装配式建筑是未来建筑工业化的发展方向,采用工厂预制构件,再现场装配的方式,有效地减少现场湿作业量,减少了现场工作人员配置,构件工业化生产,生产模具重复使用率高,构件尺寸精度高,在现场装配方便快捷,能有效提高施工的效率,同时有些建筑材料的拆解重组,减少建筑材料的浪费,减少施工现场的环境污染,符合绿色建筑的理念。在建筑过程中,优化设计、精确生产以及控制施工,切实保证预制构件精度、安装质量,真正打造精品工程。

预制装配式建筑的设计与施工需要一体化融合[7],使设计与施工相互配合、相互促进,优化提高,为建设项目增值。发展装配式建筑符合我国可持续发展战略,2014年《装配式混凝土结构技术规程》正式发布实施,进一步促进了建筑行业的技术革命,为实现建筑产业化跨出了一大步。对于混凝土结构工程降板节点可采用图1做法,梁板交接节点可采用图2做法;主次梁节点可采用图3做法,梁柱节点可采用图4做法。完全从设计源头开始,通过过程融合,使得设计方案效果落地。对于非混凝土结构,可

从材料、组合单元形式等进行模块化生产和标准化建设[5-7]。

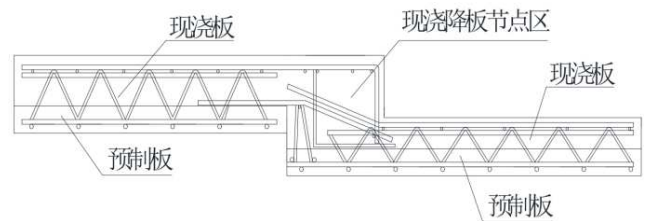


图1 降板节点。

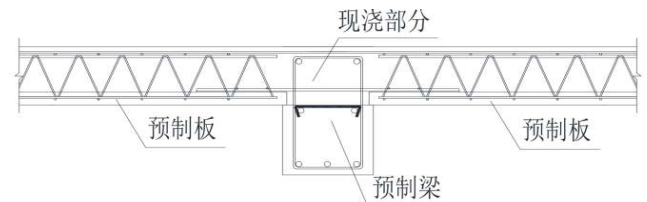


图2 梁板节点。

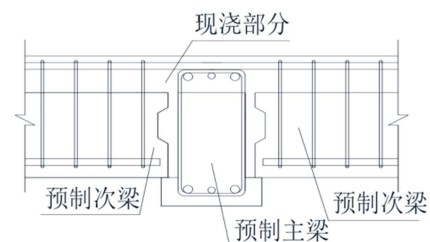


图3 主次梁节点。

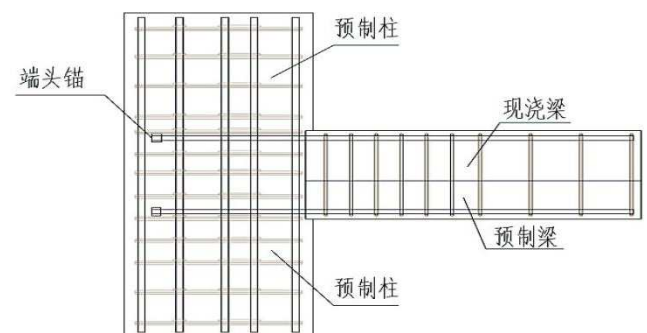


图4 梁柱节点。

2. 案例1（长沙市方舱医院建设项目）

2.1. 工程概况

面对国内本土疫情形势复杂多变,社区传播风险不断提升,疫情防控的艰巨性、反复性相当严峻,国务院联防联控机制综合组要求,每个省能够至少有2-3家方舱医院[8,

9], 从严从紧把好外防输入关口, 精准精细落实疫情防控措施。为全面做好新冠肺炎[10, 11]疫情防控工作, 有效应对可能发生的大规模疫情流行, 根据国家、省、市有关要求, 结合当前新型冠状病毒变异株[12]流行实际情况, 结合长沙市方舱医院建设项目, 对模块化装配整体式的精益建造进行了研究。

在湖南长沙地区按2800张床位进行方舱医院建设, 以有效应对可能出现的新冠疫情大量传播蔓延, 在早期集中收治阳性无症状感染者及轻症患者, 阻断病毒快速传播, 最大限度保障经济稳步发展, 守护百姓健康安全。项目选址位于长沙绕城高速以南, 开福大道以西。长沙市方舱医院的技术经济指标表如表1所示。

表1 主要技术经济指标表。

项目	单位	数据	备注
规划用地面积	m ²	112850	86.4亩
计容建筑面积	m ²	50452	
其中	隔离病房	m ²	38600 2450床
	工作人员生活区 (4人间)	m ²	5400 480人
	医护工作区、后勤	m ²	4000
	污水处理站、废水处理	m ²	2518
容积率		0.45	
建筑占地面积		26208	
建筑密度		23.22%	

2.2. 设计方案

长沙市方舱医院以箱体为基本单元, 采用装配式、模块化设计。为了实现快速建造, 机电管线都提前预埋在场体内, 通过工厂预制加工、现场拼装的方式。结合卫生安全等级划分“三区两通道”, 设计洁污分区、医患分离, ”三区“即清洁区、半污染区、污染区, “两通道”即医务通道和患者通道; 项目包含14栋轻症病房、1栋应急医院病房, 设置2320张病房床位。方舱医院医护宿舍平面图如图5所示。

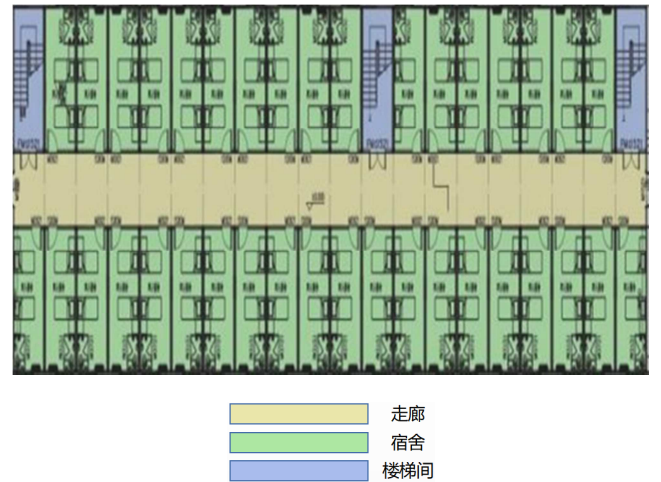


图5 医护宿舍(单元式)平面图。

2.3. 模块化概念设计

本项目采用3m×6m标准厢体模块进行拼装设计, 以此模数进行拼装, 所有病房均采用标准化设计, 机电管线

提前在场体内进行预埋安装, 设计期间可根据设计图纸按标准模块在工厂进行加工, 以减少传统先设计再施工造成的时间浪费。方舱医院的外观如图5、图6所示。卫生间采用一体化整体式卫浴, 在工厂一体化成型, 流水线加工。现场直接进行吊装。不仅在工期上有保障, 其一体化成型的工艺也解决了方舱医院卫生间进行常规铺砖常见的地面渗水对环境造成的污染问题。



图6 方舱医院的外观。



图7 医院室外景观。



图8 医院室外景观。

在景观设计方面, 方舱医院室外景观主要以草皮结合硬质铺装, 局部点缀观景树, 围绕集装箱形成内外被自然包裹的流动空间, 实现内与外的相互渗透, 使医护人员和患者近距离亲近自然, 瑞典查尔姆斯理工大学(Chalmers University of Technology)医疗建筑研究中心的建筑教授罗杰·厄尔里奇研究表明, 越靠近自然, 对患者的康复越有利。景观整体设计以简洁明快的线条为主, 草皮与道路铺装直接相邻, 尽可能缩短建造周期和减少投入成本。在满足方

舱医院功能为主的前提下, 营造一个安全、受人喜爱、以病人为主的治愈环境。方舱医院室外景观如图7、图8所示。

随着人工智能、大数据、物联网等信息技术的发展, 方舱医院的运行与维护方式也在朝智能化[13]方向发展, 长沙市方舱医院的智能化设计包括:

- (1) 每间病床设置一个iptv点位, 床头设置一个网络点。
- (2) 走廊及办公区公共区域设置无线网络接入点。
- (3) 医护办公区设置网络及电话点, 预留与上级单位通讯的接口。
- (4) 负压病房设置医护对讲系统。
- (5) 重点区域、护士站、医护通道等区域设置视频监控。护士站如图9所示。
- (6) 医护通道设置人脸门禁, 医院出入口设置人脸测温通道闸。
- (7) 医疗设备方面, 配备了移动PCR、移动CT、移动DR等便利设施。



图9 护士站。

2.4. 精益建造的若干体现

- (1) 灵活组合, 长沙市方舱医院采用箱体结构, 可以根据不同场景的具体需求, 通过装载不同的设备及装置来实现特定功能。
- (2) 快速安装, 对于方舱医院这种模块化装配设计, 可通过标准化、批量化生产、施工, 达到快速安装以应急使用。
- (3) 集成化, 卫浴、空调热水器、过滤器、排风机等配套设备, 具有预制化、灵活性高、可标准化生产。
- (4) 智能化, 通过各类智能设备的配套, 形成了智慧医院管理平台, 对医护人员医务活动的开展, 以及对医院的运营和管理提供了强大的技术支持。

3. 案例二 (火眼实验室气膜, 模膜组合)

3.1. 工程概况

全球疫情仍未平息, 特别是新冠病毒变异株Omicron的出现, 容易造成局部疫情迅速多点爆发。全球环境上的气候变化造成的极端灾害频发和年初俄乌战争爆发的国际关系影响, 都在警示我们把应急防灾和防疫放在同等重要的位置, 高机动性的空间产品设计和应用成为关键支撑之一。“模膜结合”式应急防灾防疫空间产品, 具有低成本、高性能的特点, 能实现“平时储存”、“战时应急”的高效部

署, 配以集产品需求定位、设计研发、生产调配、物流安装、收储培训等全流程跨地区供应链系统, 能极大地提升全球防灾防疫能力。

3.2. 设计方案

“模膜组合”式防疫防灾应急空间产品研究是基于当前精准防控策略以及近年来灾害频发背景下, 提出的一种更加精准高效、更少社会资源消耗的新型产品体系。“模膜组合”防灾防疫空间产品采用阻燃、耐磨、稳定性高的PVC材料作为建筑主材, 以气膜结构[14, 15]进行模块化布局, 将智能模块的集成度高、敏捷性高的特点与膜结构的折叠拓展性高、气密性好的特性结合起来。它是经过实践验证的更加精准高效、更少社会资源消耗的新型产品体系。

面向防疫防灾仓储、投送、建造需求, 设定“以最小储备体积和最小运输重量换取最大使用空间”的理念, 采用气膜结构作为主体空间, 功能模块作为气膜运输的刚体支撑(气膜收纳于功能模块内储运), 聚焦高体积压缩比, 节省储运空间。应对卫生事件、灾后救援等不同用途, 设计适应不同条件的应急空间产品体系, 并开展膜体表面喷筑固化技术研究, 满足长期使用需求, 适应防疫、医疗、安置等用途。“模膜组合”结构示意图如图10所示。

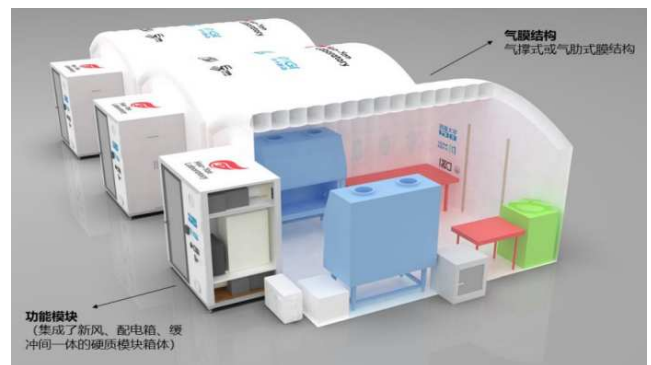


图10 “模膜组合”结构示意图。

3.3. 模块化体现

气膜建筑采用模块化组合的形式, 实现了组合化、通用化和标准化[16-18], 在单个的气膜里面, 通过预先对系统的功能与结构进行仔细地分析, 划分了不同的功能区, 设计了一系列的功能模块, 对应放置不同的产品设备, 以有限的品种和规格的设备来最大限度、且经济合理地满足使用需求, 避免安装时出现混乱的情况, 减少安装的时间, 以最短的反应时间完成装配, 同时可以保证充分利用空间, 力求以有限的空间实现最高的效益, 模块化配置出来的产品更能符合批量化生产的实际情况, 解决定制化和批量化生产的矛盾。除了气膜主体本身能够快速搭建外, 强电配电箱、电缆插座、智能设备等设备都已在工厂预制化安装好, 大大节约了安装时间和减小了安装难度。在组装的时候, 能做到分工更细化, 模块化制造、模块化装配缩短了产品的生产周期, 缩短了产品投入使用的时间。操作人员无需特殊培训即可在短时间内顺利完成整套系统的建立与撤离。

在充分考虑了全球生物安全要求和行业规范, 以气膜结构进行模块化升级布局, 共设置了三大功能区, 含试剂

准备区、样本制备区、扩增区，并配备了光交互锁门禁系统、医用传递窗、缓冲间、消杀灯等。其中“模膜组合”实验室平面布置见图11所示。

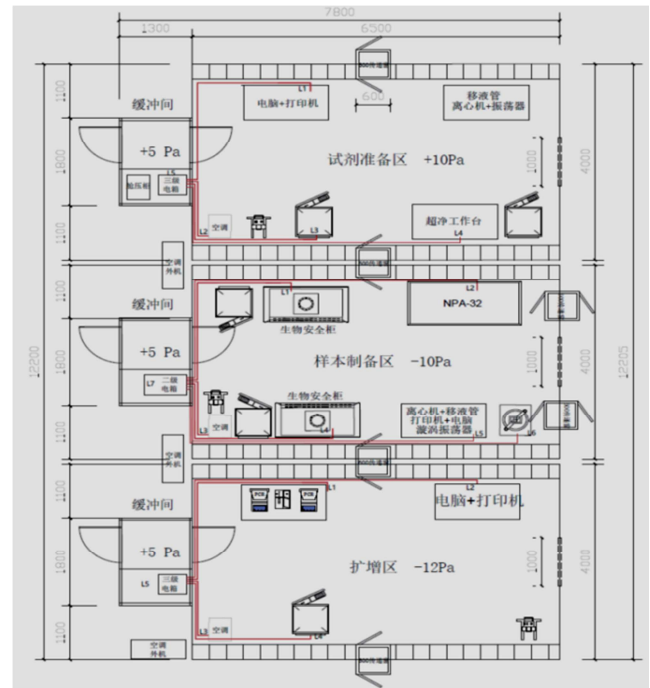


图11 “模膜组合”实验室平面布置。

“模膜组合”的配置：

- (1) 实验室由三个双层气膜和三个智能调压模块箱构成；
- (2) 实验室总用地面积约为95m²；
- (3) 缓冲间入口箱尺寸为1.8x1.3x2.2m；其中，试剂准备区的缓冲间入口箱内包含1台1500风量送风机、1台1200风量抽风机、1个三级配电箱、1台舱压控制柜；
- (4) 样本制备区的缓冲间入口箱包含1台1200风量送风机、一台1500风量抽风机、1台二级配电箱；
- (5) 扩增区的缓冲间入口箱包含1台1200风量送风机、1台1500风量抽风机、1台三级配电箱；
- (6) 缓冲间入口箱体材质选用镀锌钢板，白色喷漆；
- (7) 传递窗选用600x600x750的机械传递窗；
- (8) 空调均选用3P立式空调。

“模膜组合”实验室实体示意图12所示。



图12 “模膜组合”实验室实体示意图。

“模膜组合”实验室配备了多种智能化设备以提高产品的性能和增加维护的便利性，以及增强实验室的安全性。

- (1) 智能充气泵能够实时反馈数据，并且可以通过手机小程序查看，让气膜建筑更加安全！如果发生压力数据异常，它会立刻将数据反馈给用户，并且停止充气或者补充气体，让使用者更加放心、安全。
- (2) 智能舱压控制柜是各个功能区气压控制的一套系统，可通过手机集成软件远程监控系统运行情况，自动模式下可根据用户设定的压差值随时自动调节风阀的开合度，从而实现功能区与室外压差的自动控制，使压差稳定在设定值。
- (3) 光交互传递窗一侧打开时另一侧会自动保持闭锁状态；窗锁遇断电常闭，以免造成污染物泄露。传递窗采用304医用级不锈钢，优异密封性能，手机or光ID闪光，密码开窗，高可靠性电子互锁和断电自锁。
- (4) 光交互门禁，实现一闪无接触式开门，彻底避免肢体与室内设施接触，无需戴口罩、无需指纹、无需密码，一闪即可打卡认证通行，能够有效防控因接触导致的二次感染。
- (5) 新风系统可实现室内正负压的转换，通过利用智能自动风阀控制新风机的送风风量和排风机的排风风量，形成内部气流的定向流动，可实现室内正负压转换。空气的进入与排出均经过HEPA高效过滤，并且在气体排出环境前做消杀工作。

3.4. 精益建造的若干体现

“模膜组合”应急产品发展了一种高效抗疫的全球布局战略。可根据各国与地区的海、陆、空运输、区位环境等条件定位最佳的全球抗疫节点。各地区的节点连接成一张牢固的抗疫网络。

模块化集成屋作为气膜材料运输的刚体支撑、设备运送预制架和展开后的医疗缓冲间，聚焦高体积压缩比，节省运输空间。因气膜结构特性，可实现快速搭建、灵活布局，并能折叠打包储存，反复多次使用。

“模膜组合”应急产品应对突发应急事件、灾后救援等不同用途，充分结合气撑式、气肋式气膜建筑的结构特点，结合医疗标准的气密性负压需求，利用高温高压热合技术，将气膜主体进行密集气肋空腔式安排，符合医疗负压要求。

“模膜组合”的智能化程度高，配备了尖端专业的自动化实验设备、光交互无接触式门禁和传递窗系统、智能舱压控制系统、新风系统保证正负压转换、高效过滤系统HEPA；所有系统通过手机集成管理。

4. 结论

随着模块化的发展，生产从复杂、无序走向整洁、系统，更高效地满足更多的个性化需求。在系统的结构中，通过模块化将复杂系统分解成为更好的可管理模块的方式。通过组合不同的小模块形成不同功能的产品，文章中长沙市方舱医院和气膜实验室（模膜组合）也是模块化形

成的产品,把多个小的独立、互相作用的组件,组合在一起来实现人们需要的产品功能。在设计、生产和装配过程中,要优化设计,尽量标准化,以先进技术和产业化生产为手段,以满足产品多样化需求,缩短产品开发周期,降低整体成本,快速应对市场变化。

参考文献

- [1] 曹虹剑, 张建英, 刘丹. 模块化分工、协同与技术创新——基于战略性新兴产业的研究 [J]. 中国软科学, 2015 (07): 100-110.
- [2] 程贤福, 周健, 肖人彬, 刘俊杰, 游敏华. 面向绿色制造的产品模块化设计研究综述 [J]. 中国机械工程, 2020, 31 (21): 2612-2625.
- [3] 冯艳英, 郝素利, 丁日佳. 企业标准化管理模式及运行机制研究 [J]. 中国科技论坛, 2014 (06): 77-82.
- [4] 叶浩文, 樊则森, 周冲, 刘程炜. 装配式建筑标准化设计方法工程应用研究 [J]. 山东建筑大学学报, 2018, 33 (06): 69-74+84.
- [5] 徐家麒. 预制装配式建筑精细化设计研究 [D]. 吉林建筑大学, 2013.
- [6] 谢双双, 刘江华, 吴宇航. 预制装配式建筑施工技术的研究与应用 [J]. 中国住宅设施, 2022 (03): 25-27.
- [7] 李德全, 郑翔. 我国建筑业设计施工一体化发展研究 [J]. 建筑, 2009 (07): 30-35.
- [8] 刘俊峰, 翟晓辉, 向准, 赵靖, 张竞由, 王健. 应对新型冠状病毒肺炎疫情的方舱医院建设管理探讨 [J]. 中国医院管理, 2020, 40 (03): 12-14.
- [9] 王当瑞, 马友才, 王春香, 郝爽, 董建锴. 武汉方舱医院问题分析及未来方舱建设思考 [J]. 建筑节能 (中英文), 2021, 49 (09): 166-170.
- [10] 虞乔木, 郑东桦. 新冠肺炎疫情防控常态化研究 [J]. 中国公共安全 (学术版), 2020 (01): 65-68.
- [11] 邹力行. 新冠肺炎疫情对全球的影响和启示 [J]. 东北财经大学学报, 2020 (04): 3-10.
- [12] 吴俣, 刘珏, 刘民, 梁万年. 新型冠状病毒Omicron变异株的流行病学特征及防控研究 [J]. 中国全科医学, 2022, 25 (01): 14-19.
- [13] 吴艳艳, 唐源. 医院智能化建设及其在智慧医疗发展中的作用 [J]. 医学信息学杂志, 2015, 36 (03): 38-41.
- [14] 王乐楠. 基于结构特性的充气膜大空间设计与应用研究 [D]. 西安建筑科技大学, 2021.
- [15] 李惠玲, 张越, 张龙淼, 王景春. 气膜结构工程施工质量控制研究 [J]. 建设监理, 2019 (03): 67-73.
- [16] 陈戊荣, 陈兆荣, 苏运升, 李雯琪, 尹烨, 李若羽. 超短临时建筑核酸检测实验室设计若干技术研究 [J]. 建筑结构, 2022, 52 (S1): 704-708.
- [17] 陈戊荣, 陈兆荣, 苏运升, 李雯琪, 尹烨, 温丽娟, 李若羽, 陈唯军. 气膜性建筑结构核酸检测实验室的创新设计研究 [J]. 建筑结构, 2022, 52 (S1): 698-703.
- [18] Chen Wurong, Su Yunsheng, Chen Zhaorong, Li Wenqi, Yin Ye, Wen Lijuan, Li Ruoyu, Chen Weijun. Innovative Practice of Key Technologies in Nucleic Acid Detection Laboratory of Gas Membrane Building Structure [J]. Science Discovery, 2022, 10 (1).