



The Building Structure of the New Crown Nucleic Acid Testing Laboratory Was Quickly Constructed Several Program Studies

Li Wenqi¹, Chen Wurong¹, Chen Zhaorong^{2,*}, Su Yunsheng³, Cai Zhili², Yin Ye¹, Li Ruoyu⁴

¹BGI Genomics Co., Ltd, Shenzhen, China

²China Construction Fifth Engineering Bureau the Third Construction Co., Ltd., Changsha, China

³College of Design and Innovation, Tongji University, Shanghai, China

⁴Shanghai Etopia Building Technology Co., Ltd, Shanghai, China

Email address:

245140142@qq.com (Chen Zhaorong)

*Corresponding author

To cite this article:

Li Wenqi, Chen Wurong, Chen Zhaorong, Su Yunsheng, Cai Zhili, Yin Ye, Li Ruoyu. The Building Structure of the New Crown Nucleic Acid Testing Laboratory Was Quickly Constructed Several Program Studies. *Science Discovery*. Vol. 10, No. 4, 2022, pp. 255-262.

doi: 10.11648/j.sd.20221004.18

Received: July 28, 2022; Accepted: August 20, 2022; Published: August 29, 2022

Abstract: Natural disasters, especially major infectious disease outbreaks, have brought very heavy disasters to human beings. The novel corona-virus pneumonia that broke out at the end of 2019 has spread to many countries around the world. It has been more than two years so far, and the world's public health security is facing great challenges. Faced with the urgent new demand for new crown testing, laboratory buildings must be fast, flexible and low-cost. This paper introduces the essential requirements for rapid laboratory construction, airflow control, negative pressure environment, and cleanliness under the emergency of COVID-19 testing, and discusses the traditional laboratory construction scheme and new modular air-film structure scheme for rapid laboratory construction at present, box-type container mode scheme; the innovation of the new modular air-film structure product developed has the characteristics of positive and negative pressure conversion, intelligent integration, and environmentally controllable features, which can meet the inherent requirements of the current nucleic acid virus detection, and can be used in A total of 370 Fire Eye laboratories (283 domestic and 95 international) have been launched in 37 countries and regions to help prevent and control the global epidemic.

Keywords: Natural Disasters, Rapid Construction, Temporary Buildings, Positive and Negative Pressure Conversion, Air Conditioning Intelligent Systems

新冠核酸检测实验室建筑结构快速建造的若干方案研究

李雯琪¹, 陈戊荣¹, 陈兆荣^{2,*}, 苏运升³, 蔡志立², 尹焯¹, 李若羽⁴

¹深圳华大基因股份有限公司, 深圳, 中国

²中建五局第三建设有限公司, 长沙, 中国

³同济大学设计创意学院, 上海, 中国

⁴上海易托邦建筑科技有限公司, 上海, 中国

邮箱

245140142@qq.com (陈兆荣)

摘要: 自然灾害, 特别重大传染病疫情给人类带来的灾难非常沉重。2019年底爆发的新型冠状病毒肺炎疫情已蔓延至全球多国, 迄今为止已有两年有余, 世界公共卫生安全面临极大挑战。面对新冠检测紧急的新需求, 实验室建筑必须快速、灵活、低成本。本文介绍了新冠检测紧急下对实验室建造的快速建造、气流控制、负压环境、洁净度的本质要求; 探讨了当下实验室快速建造的具有传统实验室建造方案、新型模块化气膜结构方案、箱式集装箱模式方案三种方案; 所研新型模块化气膜结构产品的创新具有正负压转换特性、智能化集成特性、环境可控特性, 能够满足当下新冠病毒检测的内在要求, 并在37个国家和地区累计启动火眼实验室建设逾370座(国内283座、国际95座), 助力全球疫情防控工作。

关键词: 自然灾害, 快速建造, 临时建筑、正负压转换, 空调智能系统

1. 引言

自然灾害, 特别是地震给人类带来的灾难非常沉重。由于地震的随机性和突发性[1], 在2008年汶川大地震中, 地震震级为8级, 有70000余人遇难, 375000余人受伤, 失踪达17900人, 共倒塌房屋700万余间, 破坏2400万余间; 在2010年玉树地震中, 地震震级为7.1级, 有2700余人遇难, 270人失踪, 12000人受伤等给人类带来巨大伤亡。比自然灾害更为严重的莫过于是全球疫情。从2019年底至今, 新型冠状病毒肺炎疫情令世界公共卫生安全面临极大挑战。据当时世界卫生组织发布的新冠疫情统计数据显示, 截止北京时间2021年11月30日, 全球疫情累计262,203,718例, 累计死亡5,207,775例[2]。我国是最早出现以及发现新型冠状病毒肺炎疫情的地方。新冠疫情已在全世界范围迅速发展成一起特别重大传染病疫情, 在疫情持续的三年时间中, 始终没有完全消失的趋势, 在世界范围内, 疫情总是此起彼伏, 困扰着人们正常的生活, 也严重影响了经济的发展[3, 4]。

新冠感染病例的激增[5, 6]威胁到了全球医疗系统资源的供给, 给医院带来了很大的压力, 对于全民核酸检测的需求, 医院方面没有办法完全应对, 主要受制于医院场地和设备都是有限的。据不完全统计, 500万人口以内的城市, 应在2天内完成全员核酸检测任务。国务院联防联控机制综合组下发的《全员新冠核酸检测实施指南》要求, 500万人口以上的城市, 应当在3天内完成全员核酸检测任务。在持久的抗疫过程中, 一轮又一轮的全民核酸检测, 令核酸检测的需求量始终呈现着递增的趋势。实验室的设计必须构建规划合理, 布局科学, 同时具备安全性、智能

化和可持续性, 能做到快速响应, 精准无误地检测。实验室在科研、计量、检测方面占据着非常重要的位置, 实验室的建设水平影响着科研成就和国民经济的发展。

在本次疫情防控过程中, 我国国家治理体系的制度优势和强大基建能力得到了充分体现, 但另一方面也暴露了城市流行病防疫的软肋, 尤其在公共卫生医疗系统较薄弱的国家, 如果没有强大基建能力和紧急调度的协控能力, 疫情将会在该国全面失控。为应对全球百年来最大公共卫生危机和不同流行病在人类社会加剧蔓延的危险, 以及冬季时期疫情复发的可能, 加强综合筛查检测常态化建设能力极为重要。

传统实验室主要是指已有实验室, 从属于在用的医院; 或者重新建造出一个医院, 利用医院里面的实验室, 如雷神山和火神山[7, 8]。是新冠病毒核酸检测实验室的理想型中的主要模式, 但因为存在建设费用高, 建设周期长两大局限性, 在实际应急检测应用中成为主要限制因素。对于雷神山和火神山来讲, 在极短时间内下建造的医院, 消费了巨大的人力和物力; 同时在疫情传播的环境中进行建造生产, 存在被感染的风险。

传统实验室的局限大, 新冠病毒肺炎疫情核酸检测实验室主要涉及实验室建设、样本接收、实验室检测和检测报告四个环节, 其中实验室建设环节涉及立项审批、工商注册、设置批复、实验室设计、量价核实、现场监督、环评批复、消防备案、住建局、医疗机构执业许可验收、临床基因扩增检验实验室批复、环保验收等13个环节, 要完成一个传统实验室的建设, 需要建设费用高, 动辄上千万的成本, 而且建设周期长, 甚至长达数月的时间需求, 新冠病毒核酸检测实验室整体流程图如图1所示。



图1 新冠病毒核酸检测实验室整体流程图。

在此次新冠疫情防控过程中，需进行大量病毒核酸检测实验室以确诊病例、发现疑似病例和监控病人的病程动态发展，同时还需监测病毒在传播过程中可能发生的变异和其他病原体。但病毒核酸检测的环节多，污染危险大，其检测实验室对气流控制、负压环境、洁净度等[9-11]还有极为严苛的要求，突发急性感染病原微生物核酸检测时往往需要高级别的生物安全要求。

2. 核酸检测实验室快速建造的若干方案对比

随着疫情在全球地快速蔓延的范围加大和疫情加重，迅速提升本地检测能力成为各国疫情防控工作重点。在本次新冠肺炎疫情中，核酸检测实验室和隔离病房作为关键性的医疗资源[12, 13]，特别是医疗建筑[14, 15]的后台补充和供给，直接影响了各国应对疫情的管控能力。

面对新冠检测紧急的新需求，必须快速、灵活、低成本。从2020年2月中旬开始，课题组经历了充气膜结构防护隔离系统的初步阶段、“火眼”实验室一体化建造方案的高产应急阶段、火眼实验室（气膜版）的升级阶段。总的来说，当下实验室快速建造的具有传统实验室建造方案、新型模块化气膜结构方案、箱式集装箱模式方案三种方案。

2.1. 传统实验室建造方案

传统实验室是新冠病毒核酸检测实验室的理想型模式，传统实验室主要是指已有实验室，从属于在用的医院；或者重新建造出一个医院，利用医院里面的实验室，如雷神山和火神山等较为快速建造的现代固定式建筑结构[16, 17]。但因为存在建设费用高，建设周期长两大局限性，在实际应急检测应用中成为主要限制因素，其现场实验工作环境如图2所示，常规建造全过程需要的建造时间分析如表1所示。通常情况下需要41周-78周，时间上难于满足要求。



图2 传统实验室现场工作环境示意图。

表1 常规建造全过程需要的建造时间分析。

建设流程	审批单位	周期
立项审批	企业	4周-6周
工商注册	银行税务部	1周-2周
设置批复	卫健委	1周-2周
实验室设计	设计单位	4周-6周
量价核实	咨询造价公司	2周-4周
现场监督	监理单位	1周-2周
环评批复	生态环境局	2周-4周
消防备案	住建局	2周-4周
实验室施工	施工单位	12周-24周
消防验收	住建局	2周-4周
医疗机构执业许可验收	卫健委	4周-8周
临床基因扩增检验实验室批复	省临检中心	4周-8周
环保验收	生态环境局	2周-4周
合计		41周-78周

2.2. 新型模块化气膜结构方案

鉴于新冠病毒通过气溶胶传播的特性，密闭性良好的膜结构空间对于有效阻断病毒传播具有先天的优势。气膜结构采用了阻燃、耐磨、稳定性高的PVC材料[18, 19]作为

建筑主材，通过双层气膜形成气拱结构进行模块化布局，共设置四大功能区——样本接收区、试剂准备区、样本制备区和扩增区，配备新冠核酸检测试剂盒，自动化样本制备、核酸提取设备，Class II生物安全柜，QPCR仪等实验

设备，未来可扩充抗体检测设备、基因测序仪、高性能服务器等先进设备。

气膜结构具有全国产、高集成、智能化、可收纳、易运输等特点。具有高体积压缩比，可折叠运输[20, 21]；展开后可快速部署、快速建设、快速投用，提供负压环

境；还可根据需求灵活调整配置，达到几千到二十万的日检测通量规模，帮助各个国家地区快速建立和提升新冠病毒核酸检测能力[22-24]。标准实验室设计图示例可参见图3所示。充气膜结构病毒检测实验室实物图见图4所示。

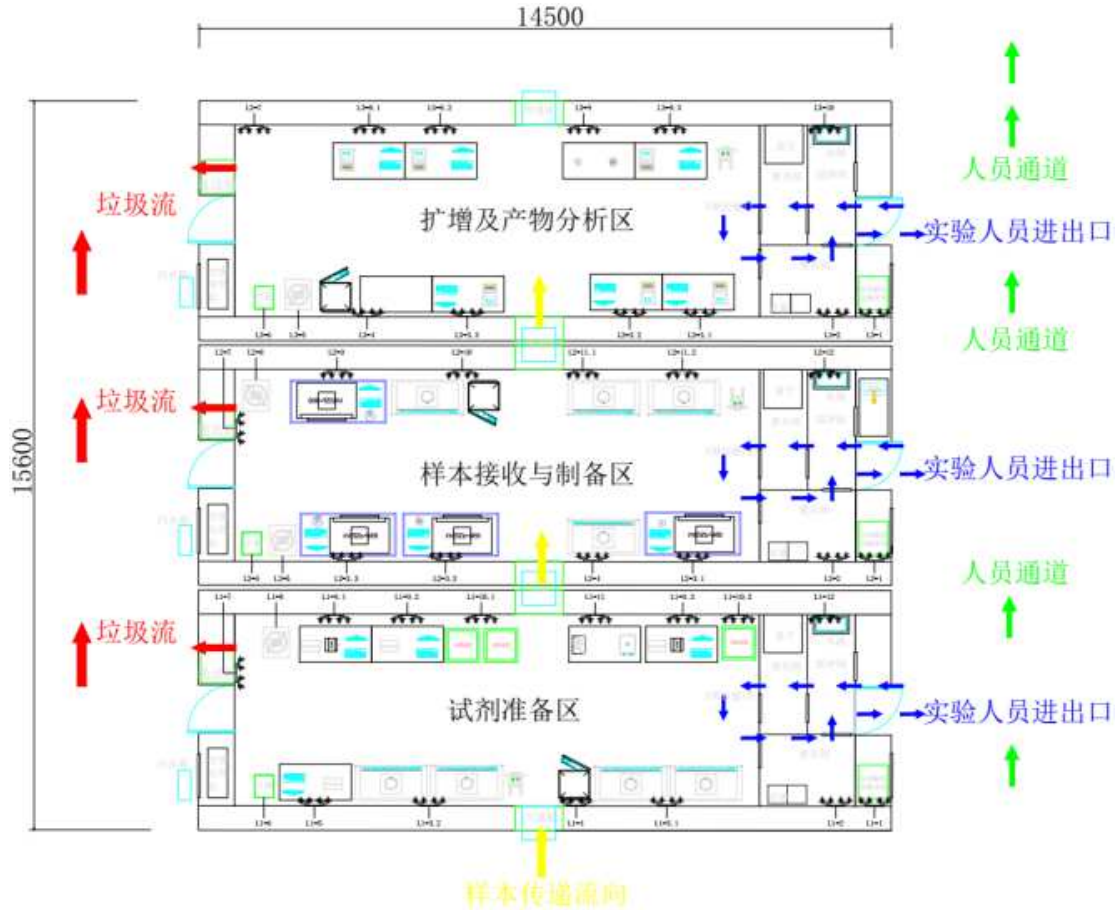


图3 充气膜结构病毒检测实验室设计图。



图4 充气膜结构病毒检测实验室实物图。

新型模块化气膜结构方案具有快速搭建的特性。火眼实验室(气膜版)通过充气膜结构和预制化建造系统结合，确保整个系统密闭，气膜被内部气压顶起，大大简化建筑支承的结构，搭建单个气膜舱只需要20分钟。核酸检测结

束后，实现半天内快速拆卸，之后进行折叠打包储存，可反复多次使用。除了气膜主体能够快速搭建外，强电配电箱、电缆插座、智能设备等设备也会在工厂预制化安装好，大幅度节约安装时间和减小安装难度。在快速解决需求方面，

提出创新型火眼实验室（气膜版），可大幅度降低实验室建设工程难度，大幅度缩减实验室建设时间，并实现可移动，可扩展的功能，为全球大规模应用提供可靠技术支撑。

新型模块化气膜结构方案具有机动性强的特性。火眼实验室（气膜版）通过充气膜结构和预制化建造系统结合，确保整个系统密闭，气膜被内部气压顶起，简化了建筑支撑的结构，大大降低了建筑建造能耗。一个气膜实验室利用智能充气设备充气，只需要20分钟，便可完成充气，挺立成型。使用完后，经过消杀便可放气折叠打包储存，循环利用，十分环保。因为气膜结构特性，设置灵活，对搭建场地基础要求低，可适应不同的基地，室内室外均可，并且可随时搬迁。气膜自重轻，可搭建于原有建筑之上，搭建在疫情期间空闲的体育馆等公共场合内，不破坏建筑物本身，也不会对周边的环境造成影响。并且，根据疫情不确定性的局势，如果需要突然增加通量需求，也可快速搭建起多个新的气膜实验室，而如果是传统检测实验室，就不能做到应对突发公共卫生事件的快速响应。

2.3. 箱式集装箱模式方案

在本次新冠肺炎疫情中，核酸检测实验室和隔离病房作为关键性的医疗资源，直接影响了各国应对疫情的管控能力。在检测实验室创新方面，德国、美国、法国等国家均推出了集装箱式或汽车货车改造的核酸检测实验室。意大利和新加坡也采用模块化的集装箱作为新冠隔离病房，中国推出了移动式核酸检测实验室、装配式P2+实验室、P2+移动方舱实验室、中国CDC传染病所移动实验室以及集成式核酸检测实验室的创新设计方案。

箱式集装箱模式方案既充分考虑全球生物安全要求和行业规范，又具备迅速响应、迅速移动、迅速投用的特点，使实验室更具有科技感。但缺点也不能完全忽视，一是通量小，只适用于局部快速检测，二是不能上飞机，只能通过陆运或海运方式进行运输，对于远距离运输的需求地，并不能快速响应需求。其箱式集装箱实物示意图见图5所示。



图5 箱式集装箱实物示意图。

2.4. 检测实验室方案综合对比

项目组针对以上方案，从实验室建设周期、实验室建设成本、产品全生命周期、气密性、灵活性、自动化、扩展性、运输性等多个方面的进行分析选择,最终确定“模块化气膜结构”方案。其主要对比指标见表2所示。

表2 检测实验室方案综合对比。

方案	传统实验室建造模式	箱式集装箱模式	模块化气膜结构
实验室建设周期（1万份/天）	至少3个月	0.5天	0.5天
实验室建设周期（10万份/天）	至少6个月	1-2天	1-2天
实验室建设成本	千万级	千万级	百万级
产品生命周期	使用50年以上	一次性使用	反复使用10次以上
气密性	很好	一般	很好
灵活性	不可移动，固定区域使用	可移动	可移动、可拆卸
自动化程度	低集成、中自动化	高集成、高自动化	高集成、高自动化
扩展性	不可扩展，实验室空间受限	可扩展性一般，通量受限	可扩展性强，可随时根据疫情变化调整通量
运输性	不可运输	只可陆运和海运，不可空运	高体积压缩比，可上飞机

综上所述，面对新冠检测紧急的快速、灵活、低成本的需求，模块化气膜结构方案可以满足。

但病毒核酸检测的环节多，污染危险大，其检测实验室对气流控制、负压环境、洁净度等还有极为严苛的要求，突发急性感染病原微生物核酸检测时往往需要高级别的生物安全要求。

3. 新型模块化气膜结构的创新特点

3.1. 气膜建筑特性

充气膜结构按照形态可分为单层充气膜结构、双层充气膜结构和管式充气膜结构；按传力途径和膜内气压

不同,分为气承式和气囊式。本气膜建筑采用双层充气膜结构,属于气囊式充气膜结构,通过在膜面形成的密闭空间中充气使膜面张紧以获得抵抗外部荷载所需的张力。

本气膜建筑主体采用PVC夹网布,具有易成型、防风雨、防潮湿、抗紫外线、阻燃的特点,并用热合技术确保气膜结构密闭性。使用环境也可满足不同地区的环境条件,既可放在室内,也可放在室外。且经实践检测,本气膜实验室的抗风等级:7级(极限9级);最大积雪载荷 45kg/m^2 ;耐温: $-40^{\circ}\text{C}\sim 120^{\circ}\text{C}$;阻燃性能等级:B1(B-s1);抗紫外线等级:灰级等级4。

3.2. 正负压转换特性

火眼实验室(气膜版)的功能区是通过膜结构将其分开,并和气压差分区相结合,从而实现人流、物流和垃圾流的有效分离。空调系统可调节室内温湿度,产生的冷凝水和洗手池排放的污水也会被分别收集在污水箱并放入消毒片经由无害化处理后排放。通过设置新风机与排风机,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。舱压控制系统会根据各个区域软管检测到空气压力值,通过调节不同区域的风阀的开合度来控制送风量,以保持每个区域不同的空气压力值,并保证气流从低风险区向高风险区流动。

3.3. 智能化集成特性

火眼实验室(气膜版)应用智能化集成技术。光交互技术可免接触认证人员真实身份,无需摘口罩、无需指纹、无需密码,能够有效防控因接触导致的二次感染,确保在工作人员穿戴防护服,无法掏手机的情况下,不使用人脸扫描,也能够实现,无接触开关门和设备控制,对各个舱体内的所有智能设备的数据进行查看和管理,还可通过此软件实现闪光开门、控制灯光等操作。

每个舱体前后门都安装了光交互智能门。智能前门作为人员主要的出入口,在门上高度集成了环境采集器、新风面板、光交互门禁和灯控无线开关。工作人员可以使用手机软件开门,也支持输入门禁密码,或利用光ID闪光开门,保证工作人员实现无接触开门。环境采集器检测到室内的二氧化碳含量、PM_{2.5}值、挥发性有机化合物含量、温湿度等空气质量指数,将在新风面板上显示,以保证达到P2实验室的环境参数要求。智能后门作为紧急出口,装有紧急开关门按钮,以便工作人员及时逃生。

根据生物实验室“专门设计以确保存储、转运、收集、处理和处置危险物料的安全”的规定,设置了不同功能的传递窗。样本接收区、标本制备区之间和扩增区内分别设置了不同功能的智能传递窗,每个传递窗内都有紫外消杀灯对传递物进行消杀,传递窗的门锁也采用了光交互技术。

舱压智能控制系统实现各个功能区气压控制,可通过手机远程监控系统获知运行情况。舱压智能控制系统利用智能自动风阀控制新风机的送风量和排风机的排风量,当送风量低于排风量时即可实现负压环境,不同的控制方法使各功能区形成不同气压差。

3.4. 环境可控特性

气膜结构实验室可以根据需要调整气膜实验室的压力,温度和湿度,并且可以实现远程的精确调控。这个实验室的整体功能、布局 and 传统实验室是一致的,通过模块化创新,依托气膜材料能够快速搭建起一个具备检测能力的实验室,迅速提升核酸检测能力。这处实验室,除了3个气膜舱作为样本接收区,另外6个气膜舱能容纳14台自动化核酸提取设备,核酸检测能力能达到每天上万人份。实验室还采用了新鲜空气系统和高效过滤系统的创新设计来过滤每个功能区域的进风和出风,以确保每个功能空间彼此独立,同时确保为了达到临床基因扩增检测实验室和病毒检测实验室的生物安全性的有关标准和指导方针,对实验室的对外排放进行清洁。

3.5. 气膜结构实验室的应用

华大火眼实验室资质齐全、装备精良、质控严格,是经过我国疫情防控实践证明的有效技术措施,体现了我国医疗技术先进水平,现已从中国走向全球,成为国际社会携手应对新冠疫情的“前哨”。截止2022年4月初,华大火眼团队在37个国家和地区累计启动火眼实验室建设逾370座(国内283座、国际95座),累计生产新冠病毒核酸提取和检测试剂盒逾3亿人份(提取试剂2.16亿人份、核酸检测试剂1.2亿人份),累计生产高通量样本制备系统3800台套;新冠检测和服务产品已覆盖全球191个国家和地区,全球累计检测9044万人份,当前全球日通量为223.7万人份(按10混一测算)。全球已启用“火眼”实验室最大日检测通量超过100万人份。各地火眼实验室接受了当地政要(总统、特首、卫生部长、大使等)和行业专家的检阅,也为当地缓解了检测能力不足的燃眉之急,得到广大民众的欢迎和支持,产生了非常积极的社会影响,其中部分火眼气膜结构实验室在城市助力防疫的展现如图6所示。

气膜火眼 @ 中国广州

20万通量, 14.5h建成

快速补充广州核酸检测能力,助力广州普筛



气膜火眼 @ 中国哈尔滨

2万通量, 9小时建成

助力哈尔滨疫情普筛行动,省委书记到访。





图6 部分火眼气膜结构案例展现。

4. 结论

自然灾害给人类带来的灾难非常沉重, 2019年底爆发的新型冠状病毒肺炎疫情已蔓延至全球多国。超短临时建筑核酸检测实验室的保障作为关键性医疗资源, 直接影响各国应对疫情的管控和防控能力。面对新冠检测紧急的新需求, 必须快速、灵活、低成本。从2020年2月中旬开始, 课题组经历了充气膜结构防护隔离系统的初步阶段、“火眼”实验室一体化建造方案的高产应急阶段、火眼实验室(气膜版)的升级阶段。本文主要研究结论如下:

- (1) 介绍了新冠检测紧急下对实验室建造的快速、灵活、低成本的外在要求, 对室内的气流控制、负压环境、洁净度的内在要求;
- (2) 探讨了当下实验室快速建造的具有传统实验室建造方案、新型模块化气膜结构方案、箱式集装箱模式方案三种方案;
- (3) 新型模块化气膜结构的创新具有正负压转换特性、智能化集成特性、环境可控特性;
- (4) 截止2022年4月初, 所研产品在37个国家和地区累计启动火眼实验室建设逾370座(国内283座、国际95座), 助力全球疫情防控工作;
- (5) 下一步将开展平疫结合下的融合研究, 即平时可为正常常规实验室使用, 疫情时为核酸检查使用。

参考文献

- [1] 张季超等, 土木工程事故处理[M]. 北京: 科学出版社, 2012.03.
- [2] COVID-19 Dashboard [EB/OL]. the Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at Johns Hopkins University (JHU). <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>, 2021.
- [3] 沈国兵, 徐源晗, 袁征宇. 新冠疫情全球蔓延对我国就业的影响及机制分析[J]. 经济问题探索, 2021, (12): 1-12.
- [4] 余宗全. 新冠肺炎疫情爆发初期武汉市政府应对行为研究[D]. 云南财经大学, 2021.
- [5] 曾永明, 骆泽平, 杨敏, 等. 人口流动与城市早期新冠肺炎疫情空间扩散及分布关系研究[J]. 人口与社会, 2020, 36(5): 69-84.
- [6] 李梅. 定点医院在新冠肺炎疫情中的应急管理探讨[J]. 科技与创新, 2020, (5): 109-111.
- [7] 彭冠平, 黄文海, 刘军, 等. 武汉火神山、雷神山医院污水处理工程设计[J]. 中国给水排水, 2021, 37(2): 42-48.
- [8] 陈朝阳, 王腾, 刘宇太, 等. 以科技力量成就抗“疫”的“中国速度”——中建三局武汉火神山、雷神山医院优质高效建成背后的秘密[J]. 建筑, 2020, (6): 51-53.
- [9] 王露莹, 陈品儒, 郑国湾, 等. 新型冠状病毒检测方法的研究进展[J]. 现代药物与临床, 2020, 35(3): 411-416.
- [10] 钟慧钰, 赵珍珍, 宋兴勃, 等. 新型冠状病毒核酸临床检测要点及经验[J]. 国际检验医学杂志, 2020, 41(5): 523-526.
- [11] 姚璜, 杨盛力, 魏守蓉. 新型冠状病毒肺炎应以防控为首[J]. 医药导报, 2020, 39(3): 327-329.
- [12] 楚廷勇. 中国医疗保障制度发展研究[D]. 东北财经大学, 2012.
- [13] 乌日图. 医疗保障制度国际比较研究及政策选择[D]. 中国社会科学院研究生院, 2003.
- [14] 张晔. 上海市第一人民医院新建医疗综合楼结构设计[J]. 建筑结构, 2016, 46(1): 71-74+81.

- [15] 刘男. 防控突发性传染病的医疗建筑网络结构研究[D]. 哈尔滨工业大学,2015。
- [16] 斯塔夫·里诺. 医院建筑方案设计中的问题研究[J]. 城市建筑,2021,18(35):148-150。
- [17] 吕达,程美涛,陶蕊. 应急医院建筑项目的装配式设计与施工[J]. 建筑施工,2021,43(5):751-753。
- [18] 林广成,周义凯,蒋飞远,等. PVC耐辐照材料的制备及性能研究[J]. 聚氯乙烯,2021,49(12):16-18+25。
- [19] 唐敢,黄李纲,杜元开,等. 医用聚氯乙烯材料的研究进展[J]. 塑料工业,2021,49(12):1-6。
- [20] 曹沐凡,王志伟,林锦路,等. 一种可折叠的物流配送飞行汽车的设计、控制和验证[J]. 科技与创新,2021,(22):71-72+74。
- [21] 王瑞林,魏媛杰,邹明利,等. 可折叠快递周转箱设计[J]. 科学技术创新,2020,(33):165-166。
- [22] 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。
- [23] 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。
- [24] 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).

作者简介

陈兆荣，工学硕士，工程师，中建五局第三建设有限公司，主要从事建筑设计及复杂结构分析的相关研究。