

DOI:10.13409/j.cnki.jdpme.202101018

我国医院建筑防灾减灾现状及对策分析*

王亚安^{1,2}, 李爱群^{1,2,3}, 何凯璇^{1,2}, 周坤朋^{1,2}

(1. 北京建筑大学土木与交通工程学院, 北京 100044; 2. 北京未来城市设计高精尖创新中心, 北京 100044;
3. 东南大学土木工程学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 医院建筑是灾时与灾后医院提供医疗救治和应急救援服务的重要载体, 其防灾减灾能力决定着医院功能的发挥。我国医院建筑体量大, 主要受地震、火灾、洪涝、台风和重大传染性疾病等灾害的影响, 灾害暴露性高。同时, 既有医院建筑存在人员过度密集、老院区老旧建筑多、灾害隐患多、疏散与应急场地不足、防灾与应灾能力差等现实问题。一旦发生重大灾害, 极易丧失医疗救治功能, 给社会带来巨大的直接和间接损失。通过对我国医院建筑防灾减灾现状进行梳理归纳, 总结了既有医院建筑在承灾体本身、防震减灾、防火、防洪、防风及应对疫情等方面的现状与存在的问题, 并从防灾设计与改造等多方面对如何提升医院建筑防灾减灾能力给出了对策与建议。

关键词: 医院建筑; 防灾减灾; 现状与对策; 设计与改造

中图分类号: TU246.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2132(2021)04-0792-12

Research on the Current Situation and Countermeasures of Disaster Prevention and Mitigation of Medical Buildings in China

WANG Yaan^{1,2}, LI Aiqun^{1,2,3}, HE Kaixuan^{1,2}, ZHOU Kunpeng^{1,2}

(1. School of Civil and Transportation Engineering, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; 2. Beijing Advanced Innovation Center for Future Urban Design, Beijing 100044, China;
3. School of Civil Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: Medical buildings play an essential role in supporting hospitals to provide medical service and emergency rescue during and after disasters. The capacity of disaster prevention and mitigation of medical buildings is vital to hospitals and the whole society. The amount of existing medical buildings in China is very large, which are affected by earthquake, fire, flood, typhoon and severe epidemic, showing high exposure to disasters. Meanwhile, the existing medical buildings present many problems, such as, overcrowded people, old buildings occupy the old district with poor disaster resistance capacity, lots of potential danger spots which may develop into disasters, insufficient space for evacuation and emergency, poor capacity in disaster prevention and response. The functional failure of medical buildings will bring enormous direct and indirect losses to the society. Thus, we conducted the

* 收稿日期: 2021-01-18; 修回日期: 2021-09-19

基金项目: 国家重点研发计划课题(2017YFC0703602)、国家自然科学基金项目(51978033)、北京市属高校基本科研业务费项目(X21067)资助

作者简介: 王亚安(1991—), 男, 讲师, 博士。主要从事城市韧性与灾害风险研究。E-mail: wangyaan@bucea.edu.cn

通讯作者: 李爱群(1962—), 男, 教授, 博导, 博士。主要从事工程抗震、抗风与隔减震方面的研究。

E-mail: liaiqun@bucea.edu.cn

analysis of current situation and countermeasures of disaster prevention and mitigation of medical buildings in China and concluded the existing problems of medical buildings in the aspects of the exposure unit, seismic prevention and response, fire prevention, flood prevention, heavy wind prevention and response to severe epidemic. The disadvantages were summarized and the corresponding countermeasures on improving the capacity of disaster prevention and mitigation were proposed in terms of design and retrofit in disaster prevention and other aspects.

Keywords: medical building; disaster prevention and mitigation; current situation and countermeasure; design and retrofit

引言

医院是城市生命线工程的重要组成部分,承担着医疗救治和应急医疗救援的关键职能。在发生重大灾害时,医院能否提供足够的医疗救治服务,将极大地影响城市系统的安全和社会的稳定。

医院建筑是医院提供医疗救治和应急救援服务的重要载体,其防灾减灾能力决定着医院能否在灾时和灾后发挥应急救援、救死扶伤的功能。面对灾害,医院建筑除结构本身,其内部的人员、仪器设备、各功能系统等都是承灾体:医院内的主要人员是病弱群体,突发灾害发生时难以自救和转移;医院建筑内有大量精密且价格昂贵的仪器设备,地震、火灾、洪涝等灾害发生时会造成巨大的财产损失;病人的救治和手术需要水、电、暖、通风等系统保持功能性稳定;类似新冠疫情这类重大突发传染病疫情,更是要求医院建筑有合理的应急隔离救治分区和单独的污染物处理系统等。因此,医院建筑防灾减灾的对象除了建筑结构部分,还包括非结构构件与各功能系统,如设备与器物财产、水暖动力系统、电气系统和医疗专用设备系统、交通系统、应急避难场地等。

根据国家卫健委的最新统计数据,近十年我国医院数量逐年递增,截至2020年6月,我国除港澳台外的各省(直辖市、自治区)已有医院数量3.4万家^[1]。这一数字代表着我国医疗卫生体系的逐步发展与完善,更反映出我国现有医院建筑具有十分庞大的体量。一旦医院建筑的防灾能力不足,将给社会带来巨大的直接和间接损失。因此,在当前国家倡导提高城乡韧性与自然灾害综合防范能力的大政方针指导下,以及新冠疫情常态化的严峻形势下,亟需对我国现有医院建筑的防灾减灾现状进行梳理归纳,总结当前存在的问题,并针对如何提升

医院建筑防灾减灾能力给出对策与建议。

1 影响医院建筑安全与功能的主要灾害

1.1 自然灾害

自然灾害是地震、台风、洪涝、坍塌滑坡泥石流、风雹、寒潮、热浪等多种灾害的统称。我国是世界上自然灾害影响最严重的国家之一,表现为地域分布广、区域差异大、发生频率高、造成损失重等特点。我国各省(直辖市、自治区)均不同程度受到自然灾害的影响,全国70%以上的城市、50%以上的人口分布在地震、地质、气象等自然灾害严重的地区^[2],灾害暴露性高。一旦出现重大灾害,维持城市正常运转的生命线工程将面临重大考验。

医院建筑通过合理选址,在正常情况下能规避滑坡泥石流易发区域,也能通过正常建造和维护以减小或避免寒潮、热浪等对建筑结构与室内设备的不良影响。但有些自然灾害因其波及范围广或常发于特定地理区位,成为影响医院建筑安全与功能的主要自然灾害,分别为地震、洪涝和风灾。

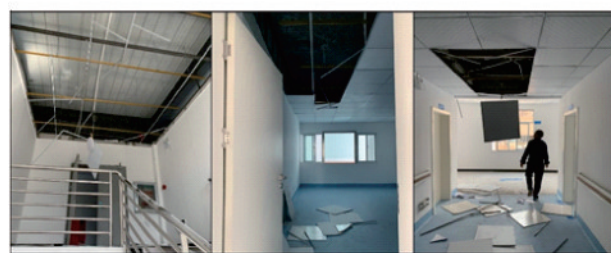
1.1.1 地震

在各类自然灾害中,对医院建筑打击最大的为地震灾害。地震作用可能导致:医院建筑主体结构出现破坏,甚至严重损坏或倒塌;医院建筑的非结构构件发生坠落或倒损,造成人员伤亡和设备损坏;水电暖等网络发生结构性破坏;建筑内外交通系统中断,影响人员逃生、疏散和救援;消防设施与系统被破坏进而出现次生灾害等。历史震害数据记录了地震灾害对我国医院建筑的严重影响。2008年汶川地震中,灾区超过1.1万所医疗机构遭到地震不同程度的破坏^[3],处于震中的绵竹、什邡地区大部分医疗机构均丧失能力,德阳市人民医院有60 000 m²建筑受损,200余台医疗、办公设备受到破

坏;绵竹汉旺人民医院、绵竹第三医院均在地震中化为废墟^[4]。2013年的芦山地震,医院建筑结构虽没有大量倒塌或破坏,但填充墙、吊顶、设备等非结构构件损失严重^[5],几乎所有在2008年以前建造的医院建筑,其内部的医疗设备均有损坏^[6],失去了震后应急救灾的能力。2021年“5·21”云南漾濞地震,位于震中的漾濞县人民医院各建筑主体结构损坏较轻,但住院楼与新建成的发热门诊与隔离病房楼内吊顶、储物柜等坠落、倒损严重(图1),所有住院病人被迫紧急撤离,楼栋在震后数天仍无法恢复使用,严重影响医疗秩序与震后救治能力。



(a) 住院楼一吊顶坠落、储物柜倒损



(b) 发热门诊与隔离病房楼(新建待投入使用)一吊顶坠落

图1 漾濞县人民医院灾后现场(作者摄于2021年5月29日)

Fig.1 Post-earthquake scenes of the People's Hospital of Yangbi County (Shot by the author on 29/05/2021)

1.1.2 洪涝

洪涝灾害是洪水灾害和城市内涝的统称,是所有自然灾害中最常见的灾害^[7]。近年来,受全球气候变化的影响,极端降水事件发生概率大大增加^[8],不仅使河网经流地区的洪水灾害风险增大,也造成城市雨洪径流量远超过城市排涝系统的设计标准,引发严重的城市内涝灾害^[9]。一旦医院建筑处于洪涝淹没区,很容易导致地下建筑部分积水甚至淹没。而医院的配电室、水暖设备、控制系统,以及重量大而不适合放于楼上的昂贵设备(如CT设备、直线加速器等)又多设置在地下层,很容易致使科室失能、设备间故障、水电网瘫痪等^[10],严重影响医疗秩序正常进行。2021年7月河南省特大暴雨洪涝灾害,使郑州、新乡等重灾区多家医院受灾严重^[11];郑

大一附院河西院区在7月20日暴雨当晚一楼和负一层浸水,配电室被淹,院区整体停电,约600名重症病人当晚被迫紧急向外转运;而一楼与负一楼放置的贵重设备与精密仪器泡水受损,包括CT、核磁、DR、彩超、PET-CT、直线加速器、伽马刀、高压氧仓、配电室、控制系统、安防系统等,直接经济损失惨重^[12]。新乡医学院第一附院受洪水影响,地下楼层核心供电设备和众多昂贵设备浸水失效,医院功能停摆,仅设备损坏造成的直接经济损失就达上亿元^[13]。

1.1.3 风灾

风灾是指暴风或台风过境时,强风造成的灾害。风灾对建筑的破坏是从外向内的,先是屋顶、门、窗、围护结构等外部建材破坏,然后才到建筑主体结构部分^[14]。既有的医院建筑主体结构多为混凝土框架结构,建造年代较久或县镇地区的医院建筑也有砖混结构或砌体结构。这些房屋的主体大多能抵抗过境强风的影响,但屋顶(包括女儿墙、围栏等)、门、窗等很容易在强风下发生损坏。特别是现代的建筑设计,建设和装修大量使用玻璃材料,包括玻璃幕墙、中庭天幕、连廊顶棚到玻璃围栏等,在强风过境时,容易造成医院建筑外立面的悬挂物或玻璃墙面、顶棚等破坏、坠落,造成人员伤亡或财产损失。

此外,强台风过境还有可能带来短时的极端降水,易触发台风-暴雨-内涝的链式反应,威胁医院建筑的安全。

1.2 火灾

火灾是各类灾害中最常见的危害公共安全的灾害之一。医院建筑是最复杂的民用建筑,其内部组成和使用功能决定了它的火灾风险远高于其他民用建筑。医院建筑内部布局形式复杂,电网线路密集且复杂、电气设备数量和类型多且相当一部分需长时间运行,耗电量大^[15]。赵志全等^[16]对2000~2017年全国医院的火灾事件进行了统计分析,在此期间全国医院共发生火灾7288起,造成88人死亡、120人受伤,受灾建筑面积达12万m²,其中由于电气起火引发的医院火灾事件,占总数的40%以上。此外,一些部门和科室存放有大量易燃物、药品、化学试剂等,如病理实验室、分析室、高压氧舱等,不仅火灾隐患大,一旦遇到火情,火势会非常凶猛并迅速蔓延。

1.3 重大传染病疫情

重大传染病疫情属于突发公共卫生事件,对医院的应急能力有极高的要求。2003年的SARS、2009年H1N1流感病毒均造成了全国乃至全球范围的重大疫情。2020年初爆发并迅速席卷全球的新冠疫情,是I级(特别重大)突发公共卫生事件,对我国各地医院的应急处置、感染防控和救治能力进行了严峻的考验。从灾时的应急医院,到各地陆续增设的发热门诊,在后疫情时代“常态化防控”的现实压力下,医院建筑的设计或改造需充分考虑“平疫结合”和“平疫转换”,在场地位置、空间布局、流线设计、通风性与密封性、污染分区、污物处理、设施设备等方面均需要有更多的思考与实践^[17]。特别是2021年8月河南暴雨洪涝灾害与疫情叠加的多灾种耦合情况,对医院建筑的建设与防灾减灾能力提出了更高的要求。

2 我国医院建筑综合防灾减灾现状

2.1 医院建筑承灾体现状与问题分析

2.1.1 我国既有医院建筑体量大,灾害暴露度高

近年来,我国医院数量逐年递增,伴随而来的医院建筑数量也呈现爆发式增长。根据国家卫健委2020年最新统计资料,我国现有医院数量34 658家,其中公立医院11 903家,民营医院22 755家^[1]。而医院建筑的数量远大于医院的数量,以北京市属三甲医院为例,23家医院就有建筑167栋^[18],因此全国医院建筑具有十分庞大的体量。同时,医院的整体分布以东部、中部较多,西部较少(图2),与我国人口的空间分布趋势相一致。一旦出现重大灾害,受影响的医院建筑和涉及的人口数量非常大,承灾

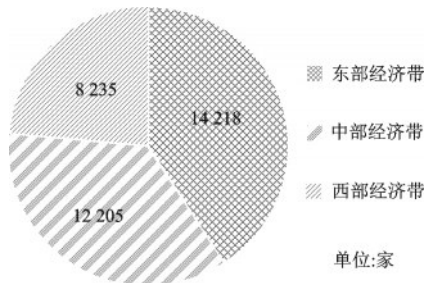


图2 中国东部、中部、西部地区现有医院数量

Fig.2 The amount of existing hospitals in Eastern, Middle and Western China

体灾害暴露性高。

2.1.2 大型医院人员过度密集,防灾压力大

我国医院的分级诊疗体系尚未从根本上完善,加上优质医疗资源短缺、在城乡区域之间的分布严重失衡,使得我国80%的医疗资源都集中在大城市、大医院^[19],二、三级医院人满为患,而一级医院门庭冷落。根据2019年全国医疗服务统计数据,1~10月医院就诊人次达31亿,其中一半以上选择三级医院,导致三级医院以占全部医疗机构0.25%的数量,承担了全国22.8%的诊疗量及38.1%的住院人数^[20]。加上病患就诊时的陪同人员未计入统计,大型医院的实际人员容纳量远超出设计时的设计接诊容纳量。以北京市为例,根据作者团队参与的北京市属医院门急诊部用房调研结果显示,当前北京市属医院的门诊量远远大于设计门诊量(表1),设计门诊量高于国家建设标准,过高的门诊负荷,给院区防灾安全带来了沉重的压力。一旦灾害发生,大量密集人群暴露在灾害威胁下,对大型医院的应急、疏散、救援等工作均造成不可估量的影响。

2.1.3 老旧医院建筑广泛存在,防灾能力薄弱

我国许多城市有较长的历史,许多市内医院的既有院区建造时间久,且仍处于服役状态。以北京市属医院为例,既有院区多数建于20世纪50~90年代^[21]。受制于医院建筑的长期服役状态,很多老旧建筑多年来缺少系统的结构评估与维护,结构安全隐患大、抗震设防低、消防设施不完善、地震与火灾风险极高。2014年前北京市系统组织了既有建筑的安全性鉴定和抗震鉴定工作,重点对2002年前建成的建筑(101.038 6万m²)进行了安全性和抗震鉴定。鉴定结果表明,绝大部分(约89.51万m²)的建筑物存在安全或抗震隐患,不符合抗震设防要求,其中问题严重的C类、D类建筑有26万m²。对于不满足抗震要求的门诊楼、医技楼和病房楼而言,一旦发生地震,整个医院的医疗救护能力将丧失,无法起到灾后应急医疗救助服务的作用,将会带来不可估量的损失^[22]。此外,老旧院区的医院建筑相对空间格局固定,无法充分满足新冠疫情的常态化发展的要求。

2.1.4 医院建筑大量改扩建,但防灾能力未获得全面提升

近些年,随着城市化进程快速推进与人口的快速增长,医疗服务需求急剧增长。在市场的需求和

政策的指引下,大量公立医院在原有地块上改建整合、分期扩建,推动了医疗建筑向大型化、综合化发展^[23]。然而,许多地区公立医院规模越建越大,突破了《全国医疗卫生服务体系规划纲要(2015—2020年)》规定的省级综合医院建设规模1 500张床以上^[24]的规定,不仅给运营、管理带来问题,也使医院建筑的防灾能力受到了很大挑战。多数公立医院身处市区,预留用地捉襟见肘,只能“见缝插针”

式的改扩建。而医院的管理者出于发展的需求,改扩建过程中并不会优先考虑防灾与应急要求是否满足。这导致医院出现新老建筑混杂,规划布局凌乱,医疗功能分区不合理,支持保障系统不流畅,挤占应急交通、疏散、消防通道,缺乏应急避难场地等问题。这些问题,不仅严重影响院区运行效率,阻碍院区灾害防御能力的提升,也对院区应对地震、疫情等灾害带来了较大考验。

表1 北京市属三甲医院门诊量统计

Table 1 The statistics of outpatient volume in Beijing municipal hospitals

序号	医院名称	标准门诊量/ (人次)	设计门诊量/ (人次)	实际门诊量/ (人次)	实际门诊量/ 标准门诊量	实际门诊量/ 设计门诊量
1	北京友谊医院	3 000	5 000	9 371	3.12	1.87
2	北京同仁医院(本院)	2 500	3 000	5 690	2.28	1.90
3	北京中医医院	2 000	2 500	8 680	4.34	3.23
4	首都儿科研究所	2 400	2 500	7 633	3.18	3.05
5	北京地坛医院	400	800	2 166	5.42	2.71
6	北京积水潭医院	3 000	2 500	6 557	2.19	2.62
7	北京安定医院	1 600	600	1 576	0.98	2.62
8	北京儿童医院	4 500	5 000	12 625	2.81	2.53
9	北京朝阳医院(西院)	1 500	1 500	3 671	2.45	2.45
10	北京朝阳医院(本院)	3 300	5 000	10 558	3.2	2.11
11	北京天坛医院(原址)	2 850	2 400	5 109	1.79	2.13
12	北京世纪坛医院	2 500	3 000	6 277	2.09	2.09
13	北京肿瘤医院	626	1 000	2 033	3.25	2.03
14	北京安贞医院	3 000	4 500	8 579	2.86	1.91
15	北京佑安医院	300	1 200	2 175	7.25	1.81
16	北京妇产医院(本院)	300	2 000	1 780	5.93	0.89
17	北京清华长庚医院	3 000	500	339	0.11	0.68
18	北京老年医院	1 800	1 600	1 224	0.68	0.77

2.2 医院建筑防震减灾现状与问题分析

2.2.1 医院建筑防震减灾已有工作

地震是造成建筑损坏和损失最严重的灾害,防震减灾一直是国家防震减灾建设的重头戏。汶川地震后,国家高度重视医院建筑的防震减灾能力,已通过颁布与修订法律、出台文件以及制定、修订行业规范,逐步提升既有和新建医院建筑的抗震能力,使我国医院建筑的防震减灾建设有“法”可依,有“规”可循。

(1) 组织制定了相关法规、政策

2008年汶川地震发生后,各地政府相继出台文件,迅速组织高校与科研院所共同开展针对医院建

筑和学校校舍的抗震安全隐患排查工作。2008年12月27日,第十一届全国人民代表大会常务委员第六次会议通过修订了《中华人民共和国防震减灾法》^[25],其中第三十五条明确规定:“对学校、医院等人员密集场所的建设工程,应当按照高于当地房屋建筑的抗震设防要求进行设计和施工,采取有效措施,增强抗震设防能力”;第三十九条规定已建成的医院建筑,“未采取抗震设防措施或者抗震设防措施未达到抗震设防要求的,应当按照国家有关规定进行抗震性能鉴定,并采取必要的抗震加固措施”。

2013年的芦山地震中,汶川地震灾后重建的芦山县人民医院新门诊楼因采用了隔震技术的框架结构,震后能继续正常使用,成为震后灾区抢救伤

员的主要医院之一^[18]。因此,住建部先后出台文件《住房城乡建设部关于房屋建筑工程推广应用减隔震技术的若干意见(暂行)》^[26]和《城乡建设抗震防灾“十三五”规划》^[27],要求“提高学校、医院等公共建筑避难和保障能力;位于抗震设防烈度8度(含8度)以上地震高烈度区医院、学校等人员密集公共建筑,应优先采用减隔震技术进行设计”。

2019年,司法部发布《建设工程抗震管理条例(征求意见稿)》^[28]公开征求意见,其中第十五条规定位于高烈度设防地区、地震重点监视防御区的新建医院应当采用隔震减震技术,保证发生本区域设防地震时不丧失建筑功能。2021年5月12日,国务院第135次常务会议正式通过《建设工程抗震管理条例》^[29],自2021年9月1日起施行。

(2) 组织编制和修订了通用、专用规范

2008年汶川地震后,住房和城乡建设部迅速组织修订并颁布了《建筑工程抗震设防分类标准》^[30],将二级、三级医院的设防分类提高为重点设防类;对二级医院的急救处理范围不能或难以覆盖的县和乡镇,要求设立具有外科手术室和急诊科的医院或卫生院,提高其抗震设防类别。

目前,我国现行的《建筑抗震设计规范》^[31]、《建筑抗震鉴定标准》^[32]、《建筑抗震加固技术规程》^[33]等抗震技术标准除了适用于城市各类建筑外,对医院建筑也提出了抗震设计与抗震措施等要求。

一些针对医院建筑的专用规范,如《综合医院建筑设计规范》^[34]、《既有医疗建筑抗震鉴定与加固技术规程》^[35]、《精神专科医院建设标准》^[36]和《中医医院建设规范》^[37]等相继颁布和修订,进一步规范了医院建筑的防震减灾建设,为提高医院建筑的防灾能力提供了有力保障。

2.2.2 存在的问题

(1) 医院建筑功能特殊,需要更严格的抗震设计

医院是灾害时期的安全岛,结构安全是医院设计建筑的基本要求。医院建筑由于其特殊的功能及设备要求,有时需要在同一单体中实现不同的使用功能,这就使得医院建筑的抗震设计不同于其他建筑结构。例如,有的医院建筑上部为病房层,下部为医技与手术楼层,下部楼层面积常远大于上部楼层,当差异过大时,就形成了大底盘小塔楼的不规则结构形式,容易出现楼层承载力突变等问题;手术室有洁净要求,需设置设备夹层,一般层高低

且刚度大,容易形成刚度突变。医院的抗震设防和建筑类别高于一般建筑,仅作常遇地震下的弹性分析是不够的,还必须针对弹塑性工作状态进行性能设计。

(2) 非结构构件和设备抗震能力薄弱

地震中,非结构构件的破坏有两类^[3],一类是对位移敏感的部件,如隔墙、吊顶、建筑饰面、设备管道等,它们会随着建筑主体的破坏而损坏;另一类是受楼面晃动影响而发生损坏,如医疗设备、置物架、对震动敏感的电气设备等。这些非结构构件和设备是医院发挥应急救护功能的重要保证,同时也容易在地震中发生损坏。目前已有《非结构构件抗震设计规范》^[38]、《建筑抗震支吊架通用技术条件》^[39]、《建筑机电工程抗震设计规范》^[40]等标准对非承重墙、顶棚、附属于楼屋面的悬臂构件、大型储物架等以及建筑附属设备构件的抗震设计进行了规范,也有一些学者对非结构构件的抗震性能进行研究^[5,41-47]。但由于既有的非结构构件与设备体量庞大,抗震能力提升改造工作受资金与工期影响,整体抗震能力依然薄弱。

(3) 医院建筑体量大,完成更新改造需要相当长一段时间

已有法律法规和相关规范^[29-35,48-49]对新建、既有医院建筑的抗震设计和强制性隔震技术推广做了要求。但目前各地既有医院建筑体量庞大,特别是城市内大型综合医院既有院区的门诊楼、医技楼和病房楼等需持续服役,要完成抗、减、隔震的更新改造、实现医疗建筑防震能力的整体提升,仍需要相当长一段时间来进行。

(4) 缺少地震应急预案,缺乏地震应急演练

各地医院管理者与医务工作者对地震灾害的了解和关注度不够,部分医院既有院区“见缝插针”式的改扩建更是挤占了应有的地震应急疏散空间,许多医院甚至缺少完善的、适合本院的地震应急预案,更缺乏定期的地震应急演练。

2.3 医院建筑防火能力现状与存在的问题

2.3.1 医院建筑火灾危险性特点

火灾是每一类公共建筑都需要重点防范的灾害。医院建筑,特别是大型公立综合性医院建筑,正不断朝着大型化、高层化方向发展。复杂的空间布局、大量耗电需求高的设备、大量堆放的易燃易爆药品和试剂和密集的人群,都使得医院建筑火灾

危险性非常高,具有火灾发生率高、人员疏散难度大、火势蔓延迅速和扑救难度大的特点^[50-51]。

2.3.2 存在的问题

(1) 老旧建筑隐患多,改造难度大,消防工作开展难

现存医院建筑中有大量老旧建筑,由于建设时间早,没有合理的消防安全规范设计,常存在电网老化、耐火性弱等问题,楼内的装饰、装修材料的可燃性也不在现代标准的安全范围内^[52],火灾隐患大。由于医院建筑的使用功能不能长时间中断,加上越老旧的建筑改造(或重置)时间越长,成本越高,很多老旧建筑的问题仍存在。同时大部分老旧建筑缺少火灾预警系统和喷淋系统,加上楼梯与通道狭窄等问题,造成消防扑救难度大。

(2) 防火意识淡薄,自救能力不强

一般的大型医院都是城市的一级防火单位,各医院也都有消防培训和自上而下的防火安全负责人。但因大型医院的接诊人数常处于饱和状态,医护人员忙于工作自顾不暇,对于防火培训和消防演练只是走过场,防火安全意识方面较为薄弱,对于本岗位的火灾辨识风险意识较低,无视火灾隐患也无法在火灾发生之初控制住火情。同时,医院的病患和陪护人员大多关注病情本身,无暇关注消防知识、消防设施和医院的逃生通道,自防自救能力相对较弱,以致引发严重后果。

(3) 疏散路线复杂,造成应急逃生困难

许多医院内部的平面布置十分复杂,走道迂回曲折,安全疏散路线复杂、距离长。许多医院的住院部因床位不够,在走廊上加床,使疏散路线畅通性受阻。在高层医院建筑中,病人多集中于其中的某几层楼,这些楼层人员密度大,加上病患需要医护人员或家人协助才能逃生,导致安全疏散时间过长。尤其是垂直疏散,需要较长时间才能疏散到安全地带,极易在疏散过程中造成伤亡^[53]。

2.4 面对重大传染病疫情,医院建筑现状与存在的问题

自2003年SARS烈性传染病的爆发以来,我国又陆续爆发了禽流感、新型甲型H1N1流感、黄热病等新型传染病,每次疫情后,我国应对突发公共卫生事件的医疗卫生与应急管理体系都在逐步增强。2020年初的新冠疫情爆发并迅速席卷全国,国家卫健委、住房城乡建设部在2020年2月8日编制印发了《新型冠状病毒肺炎应急救治设施设计导

则》^[54],对医院建筑的应急救治设施设计、建设、空间布局和结构上给出了指导意见。2020年7月30日,国家卫健委办公厅、国家发改委办公厅颁布了《综合医院“平疫结合”可转换病区建筑技术导则(试行)》^[55],进一步为综合医院建筑的发展建设提供了参考。但目前医院建筑在应对重大传染病疫情时,仍存在诸多不足,主要体现在以下方面。

2.4.1 医院建筑应急拓展性不足

综合医院一般设置有发热门诊及传染病房,但规模一般较小,配置也相对较低,只能应对“平时”常规传染病的诊疗工作,不能满足“平疫结合”的要求;一旦大规模烈性传染病爆发,发热门诊及传染病房迅速人满为患,缺乏弹性的拓展空间,特别是建造年代较早的老院区,院内建筑布局固定,已“见缝插针”式填满,不能发挥出综合医院较强的应急救治能力。

2.4.2 现有医院建筑的功能空间不满足救治要求

目前医院建筑的科室设置为分散性布局^[22],门诊、医技、住院等部门常分布在医院建筑的不同楼层,平面布置混乱,交通流线不合理^[56]。患者从就诊到各种医技检查常需跑遍医院的多个位置,就医路线拉长、寻路难,导致院内感染的风险增加,给患者以及医护人员的人身安全带来严重的威胁。

2.4.3 现行传染病专科医院建设标准亟待修订

新冠肺炎疫情反映了我国现行传染病专科医院建设标准对医院建设的指导不力,亟待修订。例如,由于规范落后以及资金限制,传染病专科医院负压病房、负压隔离病房的设置数量及质量受限,不能够充分应对突然爆发的新冠疫情,导致患者无法集中收治,只能隔离于社区之间,造成严重的社区聚集性感染;部分传染病病房的设置并不能满足典型的三区两线布局,且不具备改扩建要求^[57]。

2.5 医院建筑应对洪涝与风灾的现状与存在的问题

2.5.1 应对洪涝灾害的现状与问题

目前随着国家防洪水利工程的发展,国家防洪应急体制的完善,以及不断积累的抗洪抗涝经验,城市的防洪抗涝能力在逐步提高。医院的防洪抗涝工作依托于城市防洪抗涝应急管理框架,在应急储备和应急预案上予以落实。不过仍存在①院区内硬化路面全覆盖,缺少绿地等天然渗水区,导致积水无处下渗;②医院管理层防洪抗涝意识淡薄,不能较好的落实应急储备、完善应急预案,导致无

法落实灾时应急工作的问题。

2.5.2 应对台风灾害的现状与问题

早在2006年,在国家防汛抗旱总指挥部和沿海省市防汛指挥部的统一部署下,沿海各地根据台风灾害的特点、影响范围和工程设施的现状,按照“以防为主、防避结合”的原则,全面开展了防台风预案的编制和修订工作。目前沿海地区各县均已有了较完整的台风应急预案。在医院建筑的设计建造方面,目前已有《屋盖结构风荷载标准》^[58]、《玻璃幕墙工程技术规范》^[59]等行业标准来规范医院建筑的抗风设计。目前存在的问题主要反映在医院管理上,缺乏对山墙顶边、女儿墙、外墙立面、屋顶瓦面的定期排查,以及对私搭乱建的建筑如彩钢棚、临时板房等的严格检视,导致大风情况下易出现构件掉落等情况。

2.6 存在的共性问题

2.6.1 应急场地不足

不论是自然灾害、火灾还是突发传染病疫情,医院建筑的应急场地不足都已成为防灾减灾能力的短板。对于地震、洪涝等自然灾害和火灾,医院需要有足够的应急疏散场地,供人员疏散逃生或作为紧急救治场地;对于传染病疫情,也需要院区内有一定的应急预留用地,用于建设应急工程。

2.6.2 缺少完备的医院建筑防灾标准和建设、监管机制

目前各类建筑的设计和建设,都是参照行业标准来进行。医院建筑的功能特殊性和复杂性,需要有专门的防灾标准来指导建筑设计、施工、维护、鉴定、加固等工作。同时,医院建筑防灾的监管机制亟待加强,以确保医院各项防灾工作落到实处。

3 提高医院建筑防灾减灾能力的对策

3.1 制定、修订、完善医院建筑防灾减灾标准

鉴于医院建筑的特殊性和功能复杂性,医院建筑的防灾减灾能力建设,建立在多学科融合、多层次管控、多过程实施的基础之上,为保证医院建筑达到预期的防灾能力,每一个设计、建造、改造、维护的环节都需要有明确的规范和指导。特别是面对当前疫情常态化的严峻形势,“平疫结合”对医院建筑的灾害应对能力提出了更高的要求。因此,制

定、修订与医院建筑防灾有关的标准是必要且亟需的。

3.2 通过防灾设计与改造,提高大型综合医院的综合防灾能力

大型综合医院,特别是三级医院,在灾害中发挥着关键的应急救治作用,是灾时医疗救助的核心力量。对大型综合医院建筑进行防灾能力整体提升,不仅能够提高医疗系统的应灾能力,也为其他医院起到示范作用。防灾设计和改造可遵循以下建议。

3.2.1 整体防灾规划方面

①医院建设应遵循“平灾结合,坚守安全底线,突出灾后功能保障”的原则,以地震灾害防御为主,综合考虑火灾等其他灾害和突发事件影响。

②整合应急通道和绿地,连接应急服务设施,形成安全廊道。

③以防灾设施为支撑,整合应急服务设施周边公共服务场所和设施,形成防灾分区的安全据点。

3.2.2 防震减灾方面

①建筑结构宜选用规则的建筑形体,平面均匀对称、结构布局竖向连续。

②按照不同使用功能确定抗震性能目标,采用不同的抗震技术进行设计:对位于高烈度区医院的门诊、住院、医技楼房,承担外科手术或急诊手术的医疗楼房,应采用隔震技术进行设计;对医院非医疗建筑中的行政、办公、教学、科研等功能建筑应根据功能重要性,采用隔震、减震或抗震技术进行设计。

③屋顶非结构构件包括女儿墙、广告牌、雨棚等,均应进行大震下构件锚固的抗震承载力验算。

④医院建筑内部的家具、设备、设施等应进行大震下抗震锚固或倾覆验算。

⑤医院建筑的幕墙应符合在设防烈度地震作用及其组合荷载作用下的面板不破损和幕墙框格杆件无残余变形,在罕遇地震作用下应进行弹塑性变形验算。在幕墙与主体结构的连接部位,应当采取加强措施,以避免地震作用造成连接部分的损坏。

值得指出的是,对于既有院区,不同建筑因安全性能和停业需求不同,可结合改造技术、时空安排,制定三种改造模式:对急诊、门诊、住院等建筑可优先采用隔震、减震技术进行抗震加固,采用装配式设备集成技术,分区、分项、分步、分时实施改

造,即“不停业或少停业改造模式”;对于办公、行政、科研、教学等功能较重要建筑,实施局部综合改造或局部分项、分时、分阶段改造,即“半停业改造模式”;对于预防保健、后勤保障等功能一般的建筑,可采用“全停业改造模式”。

3.2.3 结构抗风方面

屋顶非结构构件包括女儿墙、广告牌、雨棚等,均应进行构件锚固的抗大风承载力验算;幕墙的抗风压性能指标值应严格按照现行国家标准设计;对于私搭乱建的建筑,如彩钢棚、临时板房及各种标示牌,应及时拆除,并规范标识牌安装。

3.2.4 建筑防火方面

①医院建筑防火设计应遵循国家的有关方针政策,针对医院建筑及其火灾特点,从全局出发,统筹兼顾,做到安全适用、技术先进、经济合理。

②消防设施配置宜考虑综合救援和次生灾害防御的要求,对消防道路、消防供水和消防通信等提出规划指引。

3.2.5 防洪抗涝方面

①加强防灾宣传和培训,落实防洪抗涝储备和应急预案。

②采用建设海绵医院的理念,用一定比例的透水砖路代替院区内的全硬化路面,并增加绿化基础设施,以“疏、引、排、渗”为改造目标,增强医院的内涝防治能力。

③新建院区时,应适当提高建筑工程与城市道路的高差,防止道路洪水侵害医院建筑。

3.2.6 应急疏散与避难方面

①医院院区应编制抗震防灾规划,合理划分防灾分区,配置防灾资源,构建有效的防灾设施体系。

②应制定自然灾害和其它突发事件的人员疏散方案,并且定期演练,必要时能够迅速、有序、安全地将患者、员工、外来访者等人员疏散到安全地带。

③医院建筑的疏散通道,应设定最大灾害效应下保障通行的规划控制要求;疏散通道低洼地段应提出排水等内涝防治设施设置要求和防灾措施,保障内涝灾害时通行或快速恢复;疏散主通道、疏散次通道不得设置路内停车场地。

④避难场所应与应急医疗救护、应急物资储备分发等应急服务设施布局相协调,形成安全、有效的防灾空间格局。

⑤紧急避难场所应当满足就地疏散避难的需

要;固定避难场所应以院区为主,满足就近疏散避难的需

⑥综合医院在用地指标上应增加独立的传染病区或预留临时应急传染病区的建设空间。应急用地在非疫情时期可作为应急避难场所。

3.2.7 建设信息化、智能化医院建筑

面向未来,医院建筑的发展应充分利用网络信息化技术,如物联网监控、大数据分析等,建设全方位的建筑信息化和智能化一体平台,对医院建筑内各电气系统、管道系统、网络设备、人流量等进行统一的信息集成和管理。不仅能有效提高医院运营、维护的工作效率,实现就医流程最优化、医疗质量最佳化、工作效率最高化,更能提高灾害防控能力、优化应急资源储备调配、提高应急响应速度。

3.3 加强医院建筑网络建设

城市在遭受灾害打击时,特别是遭受重大自然灾害和突发传染病疫情,波及的范围不仅仅是一个点,而是整片区域。医疗救治工作的完成也不是一家医院独立完成,而是由不同空间位置的多家医院形成医疗救治网络,共同发挥应急医疗与救治功能。加强医疗建筑网络建设,能使一个网络节点在灾害打击下失效时发生迅速响应,就近由相邻节点分担救治任务。这将有助于提高医疗系统的应急响应能力,增强整个医疗系统的鲁棒性和稳健性。因此,政府及医疗管理部门需要发挥主观能动性,支持并推动医院建筑网络建设,配置智能化医疗建筑信息共享平台,以便及时汇集、共享信息和迅速响应调配资源。

3.4 推广装配式应急医院建筑

新冠疫情期间,“雷神山”、“火神山”两座应急装配式医院的快速落成,成为了新冠肺炎防疫战的重要节点,并充分展示了装配式应急医院建筑的优点:标准化、模块化和可生长性,根据需要可以不断延伸。这些优点完全满足医院应对重大传染病疫情的应急收治需求,对我国医疗卫生体系快速应急能力的提高和发展具有重要意义。

4 结 语

我国医院建筑体量庞大,不同地区、不同院区的防灾减灾现状问题也呈现多层次和多面性。加

强医院建筑的防灾减灾能力建设,不仅需要院方采取综合性能全面提升的策略,统筹多专业和学科,协同安全、功能空间、设备设施、交通、环境等多方面改造,也要在防灾意识和演练行动上持续迭代提升。同时,更需要政府与相关行业部门共同支持参与,多主体、多部门、多层次、多学科协同并进,才能真正实现防灾减灾能力的整体提升。

参考文献:

- [1] 国家卫生健康委员会. 2020中国卫生健康统计年鉴[M]. 北京:中国协和医学院出版社, 2020.
- [2] 汪明. 全国自然灾害综合风险普查工程(二)开展第一次全国自然灾害综合风险普查的重要意义[J]. 中国减灾, 2020(19):24-27.
- [3] 郭小东, 李晓宁, 王志涛. 针对地震灾害的综合医院救灾安全性评价及减灾策略[J]. 工业建筑, 2016, 46(6): 21-24, 89.
Guo X D, Li X N, Wang Zh T. Relief safety evaluation and design strategies for the general hospital on the study of earthquake disaster[J]. Industrial Construction, 2016, 46(6): 21-24, 89. (in Chinese)
- [4] 张博闻. 基于抗震救灾背景的灾时据点医院建筑设计策略研究[D]. 南京:南京工业大学, 2018.
Zhang B W. Study on design strategy of hospital building for earthquake relief [D]. Nanjing: Nanjing University of Technology, 2018. (in Chinese)
- [5] 李威齐, 曲哲, 解全才, 等. 我国公共建筑中吊顶的震害特征及其易损性分析[J]. 工程力学, 2019, 36(7): 207-215.
Li Q Q, Qu Zh, Xie Q C, et al. Seismic damage characteristics and fragility of suspended ceilings in Chinese public buildings[J]. Engineering Mechanics, 2019, 36(7): 207-215. (in Chinese)
- [6] 王玉梅, 熊立红, 许卫晓. 芦山7.0级地震医疗建筑震害与启示[J]. 地震工程与工程振动, 2013, 33(4): 44-53.
Wang Y M, Xiong L H, Xu W X. Earthquake damage and damage enlightenment of medical building in Lushan M_s 7.0 Earthquake [J]. Journal of Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2013, 33(4): 44-53. (in Chinese)
- [7] 涂家畅. 上海市住宅、商业、办公和工厂建筑的极端风暴洪水风险分析[D]. 上海:上海师范大学, 2020.
Tu J Ch. Extreme flood risk assessment of residential, commercial, office and industrial buildings in Shanghai [D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2020. (in Chinese)
- [8] 王璐阳. 上海复合风暴洪水灾害模拟[D]. 上海:上海师范大学, 2019.
Wang L Y. Simulation of compound coastal flooding in Shanghai [D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2019. (in Chinese)
- [9] 乔典福. 海绵城市背景下南昌市防洪排涝规划对策研究[D]. 广州:广东工业大学, 2016.
Qiao D F. Planning countermeasures of Nanchang city flood control and drainage under the background of the Sponge City [D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2016. (in Chinese)
- [10] 周坤玉, 林家奕, 李文红. 粤东地区大型医院建筑地下室防洪涝设计探讨——以海丰县彭湃纪念医院新院区为例[J]. 城市建筑, 2019, 16(26): 111-114.
Zhou K Y, Lin J Y, Li We H. Study on flood prevention design in basement of large hospital building in Eastern Guangdong—A case study of new hospital district of Peng Pai Memorial Hospital in Haifeng County [J]. Urban Architecture, 2019, 16(26): 111-114. (in Chinese)
- [11] 21世纪经济报道. 郑州多家医院受灾: 医护在齐腰深的洪水中背着患者转移 [EB/OL]. [2021-7-21]. <https://m.21jingji.com/article/20210721/herald/49563fe00641a185b16b07435c16ed2a.html>.
- [12] 第一财经网. 还原郑大一附院万人转移: 暴雨中的24小时生死时速 [EB/OL]. [2021-7-25]. <https://www.yicai.com/news/101120658.html>.
- [13] 腾讯网. 数千病患连夜撤离, 新医一附院医生: 上亿医疗器材面临泡水危机 [EB/OL]. [2021-07-29]. <https://new.qq.com/omn/20210729/20210729A06LBF00.html>.
- [14] 王金红, 陈武, 张葆蔚, 等. 2014年超强台风“威马逊”灾害特征与社会致灾机制分析[J]. 灾害学, 2016, 31(3): 78-83.
Wan J H, Chen W, Zhang B W, et al. Analysis on flood disaster characteristics and disaster mechanism caused by the super typhoon Rammasun in 2014 [J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(3): 78-83. (in Chinese)
- [15] 谢婧瑶. 浅析医院火灾特点以及消防安全对策[J]. 今日消防, 2020, 5(5): 114-115.
Xie J Y. Analysis on characteristics and countermeasures of hospital fire [J]. Fire Protection Today, 2020, 5(5): 114-115. (in Chinese)
- [16] 赵志全, 马捷. 2000-2017年全国医院火灾形势分析[J]. 今日消防, 2021, 6(2): 98-101.
Zhao Zh Q, Ma J. Trend analysis of fire disaster in hos-

- pitals in China between 2000-2017[J]. Fire Protection Today, 2021, 6(2):98-101. (in Chinese)
- [17] 滕伟. 平疫结合需求下的综合医院建筑改造设计研究[D]. 北京:北京建筑大学, 2021.
Teng W. Research on the building renovation design of general hospital under the demand of combining the usual states and epidemic prevention state: A case study of Beijing area[D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2021. (in Chinese)
- [18] 李爱群, 陈敏, 曾德民, 等. 基于减隔震技术的某既有钢筋混凝土框架医疗建筑抗震性能提升[J]. 工业建筑, 2019, 49(5):184-188.
Li A Q, Chen M, Zeng D M, et al. Seismic Behavior improvement of an existing RC frame medical building based on seismic isolation and energy dissipation technique[J]. Industrial Construction, 2019, 49(5): 184-188. (in Chinese)
- [19] 侯昌印. 当代医院建筑协同发展策略研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2012.
Hou Ch Y. Research on modern hospital architecture synergetic development strategy [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2012. (in Chinese)
- [20] 勾振远, 祁俊英. 基于我国医疗现状的医院建筑设计探索[J]. 当代建筑, 2020(3):28-30.
Gou Zh Y, Qi J Y. Exploration on design of hospital building based on the current medical situation [J]. Contemporary Architecture, 2020(3):28-30. (in Chinese)
- [21] 周坤朋, 李爱群, 解琳琳. 医院历史院区保护改造策略探究——以北京市属医院为例[J]. 华中建筑, 2021, 39(4):47-50.
- [22] 陈亚威. 疏解与提升背景下北京市属医院既有院区改扩建策略研究[D]. 北京:北京建筑大学, 2020.
Chen Y W. Research on strategies for reconstruction and expansion of Existing Beijing Municipal Hospitals under the background of remediation and Promotion [D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2020. (in Chinese)
- [23] 钱敏. 大型综合医院弹性扩容设计的协同性研究[D]. 广州:华南理工大学, 2019.
Qian M. Study on synergy of elastic expansion design in large general hospitals [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2019. (in Chinese)
- [24] 朱晞. 我国公立医院新建、改扩建医疗建筑的社会责任研究[J]. 城市建筑, 2018(14):28-30.
Zhu X. Study on the social responsibility of newly constructed and extended medical buildings in public hospitals in China [J]. Urban Architecture, 2018(14):28-30. (in Chinese)
- [25] 中华人民共和国第十一届全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国防震减灾法[EB/OL]. [2008-12-27]. http://www.gov.cn/bumenfuwu/2014-02/24/content_2620342.htm.
- [26] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 住房和城乡建设部关于房屋建筑工程推广应用减隔震技术的若干意见(暂行)[EB/OL]. [2014-02-21]. http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201402/t20140226_217207.html.
- [27] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城乡建设抗震防灾“十三五”规划[EB/OL]. [2016-11-26]. http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201611/t20161130_229689.html.
- [28] 司法部. 建设工程抗震管理条例(征求意见稿)[EB/OL]. [2019-10-08]. http://www.moj.gov.cn/news/content/2019-10/08/zlk_3233593.html.
- [29] 国务院. 建设工程抗震管理条例[N]. 中华人民共和国国务院公报, 2021(23):13-19.
- [30] 建筑工程抗震设防分类标准:GB 50223—2008[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2008.
Standard for classification of seismic protection of building constructions: GB50223—2008[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2008. (in Chinese)
- [31] 建筑抗震设计规范:GB50011—2010[S]. 2016年版. 北京:中国建筑工业出版社, 2016.
Code for seismic design of buildings: GB50011—2010[S]. 2016 Edition. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010. (in Chinese)
- [32] 建筑抗震鉴定标准:GB 50023—2009[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2009.
Standard for seismic appraisal of buildings: GB50023—2009 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009. (in Chinese)
- [33] 建筑抗震加固技术规程:JCJ 116—2009[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2009.
Technical specification for seismic strengthening of buildings: JCJ116—2009[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009. (in Chinese)
- [34] 综合医院建筑设计规范:GB 51039—2014[S]. 北京:中国计划出版社, 2014.
Code for design of general hospital: GB51039—2014[S]. Beijing: China Planning Press, 2014. (in Chinese)
- [35] 既有医疗建筑抗震鉴定与加固技术规程:DGJ32/TJ 209—2016[S]. 南京:江苏凤凰科学技术出版社, 2016.
Technical specification for seismic appraisal and strengthening of existing hospital buildings: DGJ32/TJ 209—2016[S]. Nanjing: Jiangsu Phoenix Science and Technology Press, 2016. (in Chinese)
- [36] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 住房和城乡建设部

- 国家发展改革委关于批准发布《精神专科医院建设标准》的通知[EB/OL].[2016-11-18]. http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201705/t20170522_231947.html.
- [37] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 住房和城乡建设部办公厅关于《中医医院建设标准(征求意见稿)》公开征求意见的通知[EB/OL].[2020-12-1]. http://www.mohurd.gov.cn/zqyj/202012/t20201202_248298.html.
- [38] 非结构构件抗震设计规范:JGJ339—2015[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.
Code for seismic design of non-structural components: JGJ339—2015 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press,2015.(in Chinese)
- [39] 建筑抗震支吊架通用技术条件:GB/T 37267—2018 [S].北京:中国标准出版社,2018.
General specification of seismic bracing for building: GB/T 37267—2018 [S]. Beijing: Standards Press of China,2018.(in Chinese)
- [40] 建筑机电工程抗震设计规范:GB50981—2014[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.
Code for seismic design of mechanical and electrical equipment: GB50981—2014[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2015. (in Chinese)
- [41] 韩森,刘洋博,杜红凯,等.非结构构件抗震性能研究进展[J].建筑结构,2020,50(增2):270-277.
Han M, Liu Y B, Du H K, et al. Research progress on seismic performance of non-structural components [J]. Building Structure, 2020, 50(Sup 2): 270-277.(in Chinese)
- [42] 刘志斌,郭恩栋,李倩,等.室内管道系统抗震研究综述[J].震灾防御技术,2019,14(3):591-599.
Liu Zh B, Guo E D, Li Q, et al. Review on seismic research of indoor piping system [J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 2019, 14(3): 591-599. (in Chinese)
- [43] 贺思维,曲哲,周惠蒙,等.非结构构件抗震性能试验方法综述[J].土木工程学报,2017,50(9):16-27.
He S W, Qu Zh, Zhou H M, et al. State of the art of testing methods for nonstructural components in seismic areas[J]. China Civil Engineering Journal,2017,50(9): 16-27.(in Chinese)
- [44] 韩庆华,赵一峰,芦燕.大型公共建筑非结构构件抗震性能及韧性提升研究综述[J].土木工程学报,2020,53(12):1-10.
Han Q H, Zhao Y F, Lu Y. Seismic behavior and resilience improvements of nonstructural components in the large public buildings—a review [J]. China Civil Engineering Journal, 2020, 53(12): 1-10.(in Chinese)
- [45] 尚庆学,李吉超,王涛.管线系统抗震性能研究方法综述[J].世界地震工程,2018,34(4):174-181.
Shang Q X, Li J Ch, Wang T. State of the art of study on seismic performance of piping system [J]. World Earthquake Engineering, 2018, 34 (4) : 174-181. (in Chinese)
- [46] 丁幼亮,梁启慧,朱浩樑,等.医院建筑抗震支吊架的抗震设计方法研究[J].建筑设计管理,2017(12):72-75.
Ding Y L, Liang Q H, Zhu H L, et al. Study on the seismic design method of aseismic braces of hospital building [J]. Architectural Design Management, 2017 (12):72-75.(in Chinese)
- [47] 曹宇腾,曲哲,纪晓东.考虑结构地震反应特性的非结构构件动力加载制度[J].世界地震工程,2018,34(4):143-147.
Cao Y T, Qu Zh, Ji X D. Dynamic loading protocol for experiments of non-structural components considering the seismic response characteristics of building structures [J]. World Earthquake Engineering, 2018, 34(4): 143-147.(in Chinese)
- [48] 建筑隔震设计标准:GB/T51408—2021[S].北京:中国计划出版社,2021.
Standard for seismic isolation design of building: GB/T51408—2021 [S]. Beijing: China Planning Press, 2021. (in Chinese)
- [49] 建筑消能减震技术规程:JGJ-297—2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2013
Technical specification for seismic energy dissipation of buildings: JGJ-297—2013[S]. Beijing: China Architecture & Building Press,2013.(in Chinese)
- [50] 沈新卫.大型医院消防现状与提高安全意识的必要性[J].消防界(电子版),2019,5(3):52-53.
Shen X W. Current situation of fire protection in large hospitals and the necessity of raising safety awareness [J]. Fire Protection Industry (Electronic Edition) , 2019,5(3):52-53. (in Chinese)
- [51] 倪勇.公立综合性医院消防安全管理探究[J].今日消防,2020,5(8):76-77.
Ni Y. Study on fire safety management in public general hospitals [J]. Fire Protection Today, 5 (8) : 76-77. (in Chinese)
- [52] 陈巨岩,肖迪.三级甲等医院建筑生命安全消防设防对策优化的创新研究[J].门窗,2014(10):313.
Chen J Y, Xiao D. An innovative study on the optimization of fire protection countermeasures for life and building safety in Grade 3A Hospital [J]. Windows and Doors ,2014(10):313. (in Chinese)

(本文责编:赵霞)

(下转第 812 页)