

李杰亮,马肖彤.商业建筑室内地震应急避难场所空间设计[J].地震工程学报,2019,41(6):1643-1649.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2019.06.1643

LI Jieliang, MA Xiaotong. Spatial Design of Indoor Earthquake Emergency Shelter in Commercial Buildings[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2019, 41(6): 1643-1649. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2019.06.1643

商业建筑室内地震应急避难场所空间设计

李杰亮¹, 马肖彤²

(1. 晋中学院, 山西 晋中 030619; 2. 北方民族大学 土木工程学院, 宁夏 银川 750021)

摘要: 城市商业建筑避难所对保障人们生命安全和财产非常重要。室内应急避难所的空间布局和责任分区是一个涉及人口密集程度、建筑内环境、疏散方式和商业场所的适应性等因素的问题,我国针对该项目的设计和研发尚不完善,这对商业建筑受灾时人员的安全有很大威胁。本文提出商业建筑室内地震应急避难场所空间设计,从疏散效率角度出发,设计一个以P-中值模型为基础的避难所最佳分区模型,通过对模型分析和计算,得出商业建筑隔震层的最佳位置,在确定隔震层位置后,对应急避难所的室内空间进行设计,最后通过分析避难所的可达性,判定该避难所设计是否合理。通过仿真实验验证,本文设计的应急避难所辐射面积广,服务人数较大,总体性能较好,可为商业建筑避难设计领域提供有力的帮助。

关键词: 商业建筑避难设计; 应急避难所室内设计; 建筑空间设计; 地震应急避难所

中图分类号: TU976+.56

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2019)06-1643-07

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2019.06.1643

Spatial Design of Indoor Earthquake Emergency Shelter in Commercial Buildings

LI Jieliang¹, MA Xiaotong²

(1. Jinzhong University, Jinzhong 030619, Shanxi, China;

2. School of Civil Engineering, North Minzu University, Yinchuan 750021, Ningxia, China)

Abstract: To ensure public safety and protect property, the presence of urban commercial building shelters is very important. Decisions regarding the spatial layout of and division of responsibility for indoor emergency shelters involve several factors, i.e., population density, building environment, evacuation methods, and so on. To date in China, the design of these shelters and research in their regard has been limited, and the safety of personnel in commercial building is at stake. In this paper, we propose a spatial design for indoor earthquake emergency shelters located in commercial buildings. To realize evacuation efficiency, we designed an optimal zoning model for a shelter based on the P-median model. After model calculation and analysis, we obtained the optimal position of the isolation layer in a commercial building, and designed the interior space of an emergency shelter. Lastly, we determined the practicality of the design by analyzing the acces-

收稿日期: 2019-01-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(61672331)

第一作者简介: 李杰亮(1976-), 男, 山西祁县人, 硕士, 讲师, 研究方向: 环境艺术设计。E-mail: L137394576@163.com。

sibility of the shelter. The results of the simulation experiment prove that the emergency shelter designed in this study is accessible to a wide urban area, can serve a large number of people, and demonstrates good performance.

Keywords: design of commercial building shelter; interior design of emergency shelter; architectural space design; earthquake emergency shelter

0 引言

随着社会经济的发展,我国城市化进程不断加快,各种商业建筑层出不穷,而近几年高层建筑,特别是商业建筑中的地震等突发事件和灾害给人们带来很大危害,引起该领域相关人士的关注和重视^[1]。

考虑到建筑的抗震性能,并根据相关规范的要求,建筑高度超过 54 m,应该设置应急避难间^[2]。目前我国在商业建筑中设置避难间的理念还是非常薄弱的,但是关系到国民安危,因此商业建筑的应急避难间设计成为该领域急需研究的课题,很多工作人员和学者经过大量研究,取得了很多较好的成果。

武田艳等^[3]通过创建多目标函数,对约束条件进行确定,采用模拟退火算法对商业建筑应急避难间的空间进行设计,获得最佳配置方案,最后分析该避难所的协调性和服务情况。

於家等^[4]以能够快速、安全地到达应急避难所为目标,通过分析遥感影像、人口密集数据和专家知识等数据,采用智能体模型和多标准决策方法,对高层建筑内应急避难间的空间配置进行设计。

钟建敏^[5]以高层框架-核心筒结构为示例,将建筑结构刚度、结构重量、造价等因素作为设计建筑应急避难所的控制目标,同时需要满足国家建筑规范和限制审查的要求,对建筑结构的设计参数进行计算,包括建筑结构荷载、柱、墙、梁、板和钢结构,并对这些结构参数进行优化,以满足抗震性能的要求。

本文设计了一个以 P-中值模型为基础的避难所最佳分区模型,通过对模型分析和计算,获得商业建筑隔震层的最佳位置,并在此基础上对应急避难所的室内空间进行设计,最后对避难所的可达性进行分析。通过实验计算室内地震应急避难场所危险度及服务重叠率,得出所设计的避难所的设计较为合理,且服务水平得到改善的结论。

1 室内震后应急避难所空间设计

1.1 数学模型

本文提出的研究方向是针对商业建筑,创建对室内空间的责任分区,以便于在发生突发事件时,指

导人们的疏散方向,为疏散标识的设置提供根据。商业建筑应对突发事件的思想应该基于步行疏散为主。人们步行疏散至避难场所的过程中,商业建筑内的步行道路是主要载体。在研究中对商业建筑避难场所的可达性影响因素进行分析,并创建一个评价模型和效率模型^[6]。根据对商业建筑内避难场所安全性能评价因子的分析,创建一个基于商业建筑室内避难场所的分区模型。具体分区的模型框架如图 1 所示。

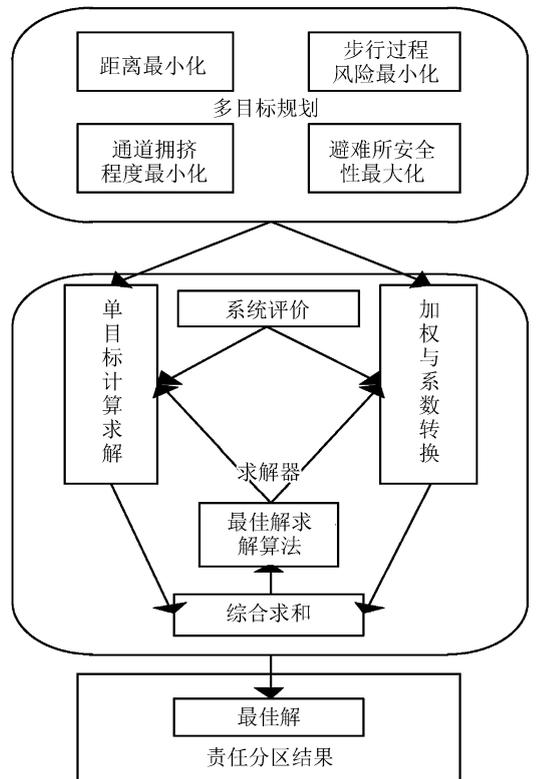


图 1 避难所设计责任分区框架图

Fig.1 Framework of responsibility partition in shelter design

分析图 1 可知,整个过程分为 3 步,分别是多目标规划、求最佳解及责任分区结果。通过对分析距离、安全性及可达性确定避难建筑范围;通过单目标计算求解与加权与系数转换求得最佳解;最后获得责任分区结果。结合传统的研究经验,针对突发事件下,商业建筑内人员的疏散过程,提出基于 P-中值模型理论的综合疏散模型,对疏散路程、商业建筑

内道路风险、建筑内人员密度分布和避难场所的实用性 4 个指标进行分析^[7]。具体计算公式如下:

$$\min z_1 = \sum_{i \in N} \sum_{j \in M} a_i l_{i,j} y_{i,j} \quad (1)$$

$$\min z_2 = \sum_{i \in N} \sum_{j \in M} a_i l_{i,j} r_{i,j} y_{i,j} \quad (2)$$

$$\min z_3 = \sum_{i \in N} \sum_{j \in M} a_i l_{i,j} d_{i,j} y_{i,j} \quad (3)$$

$$\min z_4 = \sum_{i \in N} \sum_{j \in M} a_i l_{i,j} s_{i,j} y_{i,j} \quad (4)$$

式中: N 表示研究区域内商业建筑的集合; M 表示研究区域内商业建筑内应急避难所的集合; a_i 表示建筑 i 中的人员数量; $l_{i,j}$ 表示商业建筑 i 到建筑内应急避难所 j 的距离; $y_{i,j}$ 表示是否在商业建筑 i 内存在紧急避难所 j ,该值为 1 时代表是,该值为 0 是代表否; $r_{i,j}$ 表示商业建筑 i 与紧急避难所 j 之间的总危险度,为系数值; $d_{i,j}$ 表示商业建筑 i 到紧急避难所 j 的疏散过程中人员的平均密度,该值为系数值; s_j 表示紧急避难所 j 的实用性评价系数值,该值越小,表明紧急避难所的安全性能越好。

对上述 4 项采用下式条件进行约束:

$$\min \sum_{j \in M} y_{i,j} = 1, i \in N \quad y_{i,j} \in \{0,1\} \quad (5)$$

根据上述对评价因子的分析结果,对上述 4 项创建线性加权求解的规划模型,如下式:

$$\min z = w_l f_l(\min z_1) + w_r f_r(\min z_2) + w_d f_d(\min z_3) + w_s f_s(\min z_4) \quad (6)$$

式中: w_l 、 w_r 、 w_d 、 w_s 均为系数值,表示上述 4 项的线性加权系数。

对其按照以下条件进行约束:

$$\begin{aligned} f_l(x) &\in (0,1), f_r(x) \in (0,1), \\ f_d(x) &\in (0,1), f_s(x) \in (0,1) \end{aligned} \quad (7)$$

式中: $f_l(x)$ 、 $f_r(x)$ 、 $f_d(x)$ 、 $f_s(x)$ 表示转换系数函数,可将目标值转换为(0,1)的范围之间,令其更具相同尺度的可相加性。

1.2 商业建筑隔震层设计

隔震结构的实质是隔离地震,最佳的解决办法是使建筑物悬浮起来,以避免地震的干扰,显然这种办法操作并不容易,因此,出现了隔震层这一概念。隔震层是通过叠层橡胶垫将建筑主体与地面分割起来,以黏滞性阻尼器抑制地震的水平位移。为了设计应急避难场所,需要对商业建筑隔震层进行设计。隔震层具有较强的抗震性能,比较适合用于高烈度地区的商业等建筑^[8-10]。

首先对隔震层的层数进行确定,隔震层的层数不能过高,过高对结构安全性能存在影响,并且需要

的建筑资金也会过高,同样不能过低,过低会导致日后的检查和维修。在本文中隔震层的梁底和地面之间的距离设计为不超过 8 m。

(1) 对隔震层的位置进行设定,商业建筑一般都会有地下室或地下车库,将隔震层设置在负一层,将隔震支座放于隔震层内墙的任意位置,具体还要根据负一层的实际使用功能,对隔震层支座的位置进行确定。依据相关的建筑资料和经验得知,将隔震层支座放在负一层的墙顶,这样可以避免单独支墩的物力和财力支出,可以保证建筑的经济性。但是在实际设计中,应该注重负一层的墙需要承担隔震层的剪力,还有负一层上不整体结构竖向荷载和隔震层发生位移引发的 $P-\Delta$ 效应^[11-12]。若将隔震层支座放置在墙顶,这样会导致支墩变得粗大,对负一层的空间使用率造成影响,因此需要将墙体下部支墩做成牛腿形状,或是在墙体底部支墩顶端设置拉梁。

(2) 将对人防工程隔震层的位置进行确定,应相关要求,人防工程隔震层的位置需要设置在人防地下室的上一层,隔震体系和人防体系之间互不干扰。

(3) 对隔震层整体进行调整。隔震层支座尽量放置在高处,以避免隔震支座造成相关构造的复杂,给整体设计和操作带来麻烦。对于商业建筑而言,可以将每个隔震支座的顶部都设置在同一个高度上。

总体来看,隔震层的位置还是要依据具体情况进行分析,按照结构形式、有无地下室和周边环境以及建筑内业主要求来设定。

2 商业建筑室内防震设计

2.1 应急避难所的室内规划

根据相关规定分析,城市应急避难所的室内布局应该遵循如下规则:以人为本、安全性能、可操作性、可通达性、综合备灾性和平灾原则。

根据上述规划原则,给出商业建筑室内应急避难所的空间设计如下:

(1) 避难所功能区的划分

一方面运用简洁规整的平面和立体布局,将多元入口的理念结合到住区空间的设置中,在住区内留出较安全的通道,可以摆脱传统的箱式格局。将传统的砖结构隔墙转变成隔板、低柜或屏风等灵活的空间设计,将休息区安置在住区内三角支撑结构的墙角,这样可以保证相对安全。另一方面可以按照国内古代建筑的格式,采用常见的矩形平面进行分区,令中间区域较大、两侧的区域依次减小,

这样可以有效地减少在地震时发生扭矩的现象。由于地震后会发生一些次生灾害,尤其是火灾,因此在电气管线开关的设计中,应该注重防火。可以在住区室内的开阔处设计一个较明显联动开关,这样在发生灾害时,居住的人们可以及时的切断电源。

(2) 避难所家具的布局

在避难所的抗震防范设计中,还需要注重家具的设计和布局。运用国内传统的榫卯结构,采用实木等天然有机材料设计出斗拱式框架结构。该结构不仅能够承受的荷载较大,还能在一定范围内允许变形,在发生地震时,可以通过变形吸收地震能量,降低结构的地震响应。将该结构运用在家具的设计中,可以增强家具整体结构的稳定性。采用实木材料构成的梁架结构和避难所室内的柱基础相结合的方式,可以有效地降低结构之间的摩擦力,从而起到隔震作用。

(3) 避难所室内设计材料的选用

根据防震建筑中的基础隔震理念,设计室内隔断,将避难所室内的隔墙设计成钢骨架结合橡胶的柔性结构,可以增加整个结构的强度,控制结构变形以满足抗震的要求。运用钢结构的目的是为了增强结构的强度,在主受力墙面和柱体添加斜向支撑,在结构的顶部做水平拉结;采用钢板和碳素纤维包裹室内柱体可以增加控制整体结构的力度。

2.2 避难所室内规划评价指标

(1) 服务面积比

指的是应急避难所能够覆盖的总面积占整个商业建筑面积的比重,用于反映避难所的服务能力。具体计算公式为:

$$C = \frac{\sum S_A}{A} \times 100\% \quad (8)$$

式中: C 表示服务面积比重; S_A 表示所有避难所覆盖的总面积; A 表示商业建筑的总面积。

(2) 服务人数比

指的是避难所服务覆盖范围内的人数占商业建筑内总人数的比重,用来表明避难所为避难人群提供服务的情况。具体计算公式如下:

$$P = \frac{\sum S_P}{P_S} \times 100\% \quad (9)$$

式中: P 表示服务人数比; S_P 表示所有避难所覆盖范围内避难人数; P_S 表示商业建筑内总人数。

(3) 服务重复率

指的是各个避难所和其他避难所服务范围的重叠部分占所有避难所覆盖范围之和的比重,用于避

难所设计的冗余性和各个避难所之间的增援性^[10]。具体计算公式如下:

$$O = \frac{\sum S_O - \sum S_A}{\sum S_O} \times 100\% \quad (10)$$

式中: O 表示服务重复率; $\sum S_O$ 表示各个避难所服务范围面积和; $\sum S_A$ 表示所有避难所服务总面积。

(4) 人均可达避难所面积

指的是在特定的服务半径下,商业建筑内人均可到达并使用的避难所面积,用于表示人们在出行时,可享有避难所的情况。具体计算方式如下:

$$A_P = \frac{\sum S_B}{\sum S_P} (d_{ij} \leq r) \quad (11)$$

式中: A_P 表示人均可达避难所面积; S_B 表示商业建筑内所有避难所的面积; r 表示避难所覆盖的最大半径。

(5) 人口配置缺陷

应急避难所作为政府提供的公共服务设施,其空间配置应满足覆盖所有避难人员的要求^[13-15],因此需要对该建筑内无法享用到避难所服务的人数进行分析,便于了解服务状态及需要配置避难所的部分,保证所有人的的人身安全。

人口配置缺陷指的是在特定的服务半径之内,建筑内需要避难的人数和现有避难所覆盖范围半径之内的人数差^[16-19]。具体计算公式如下:

$$G = P_S - \sum S_P (d_{ij} \leq r) \quad (12)$$

式中: G 表示人口配置缺陷; $\sum S_P$ 表示所有避难所服务范围内避难总人数; r 表示避难所服务覆盖最大半径。

当 G 的值小于等于0时,说明这个区域内不存在人口配置缺陷。

3 仿真实验证明

实验对象为某市商业建筑,区域内人口密集复杂,城市整体呈现坡度平缓断面较宽的特点,室内含有多个避难所。

对整体数据的计算和求解,采用 Open Street Map 相关的商业建筑数据、OSM 编程接口,Python 编程语言进行编写算法。软件为 matplotlib 绘图、networkX 网络图像计算和 numpy 等。

首先基于 Open Street Map 得到商业建筑的实际数据,并提取内部商业街网格及店铺分布,采用

JOSM 工具进行必要的编辑。

为了模拟避难所在实际地震反应中的效果,本文增加了对地震反应的分析,以获得更为贴切的实

验结果。通过实地调研的形式,对上述实验对象的避难所进行统计,并采用以下地震参数进行实验,将实验分为两组:

表 1 地震参数

横向运动加速度(300 gal)		竖向运动加速度(150 gal)	
楼层	波型	楼层	波型
低层避难所	Electro 地震波	低层避难所	圣费尔南多记录波
中层避难所	Electro 地震波	中层避难所	圣费尔南多记录波
高层避难所	Electro 地震波	高层避难所	圣费尔南多记录波

将上述地震波输入到各个楼层,得出反应谱如图 2、图 3 所示。

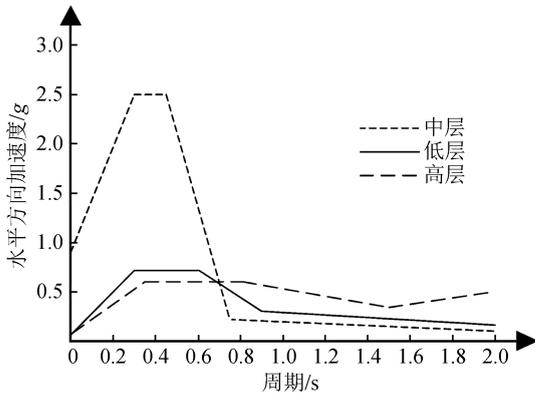


图 2 水平方向加速度反应谱

Fig.2 Horizontal acceleration response spectrum

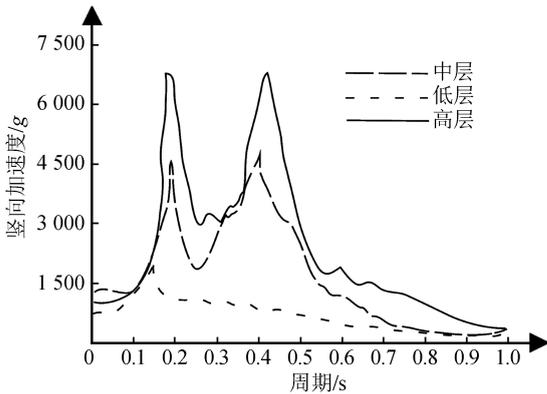
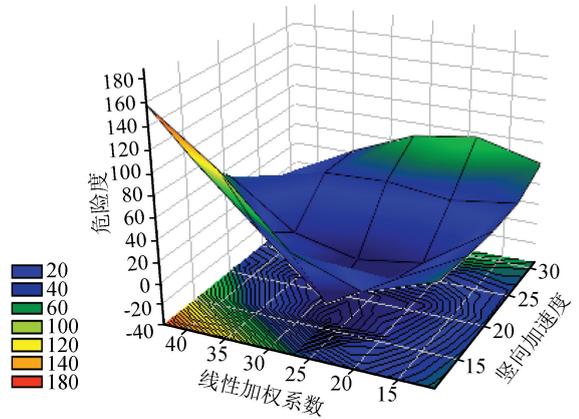


图 3 竖向加速度反应谱

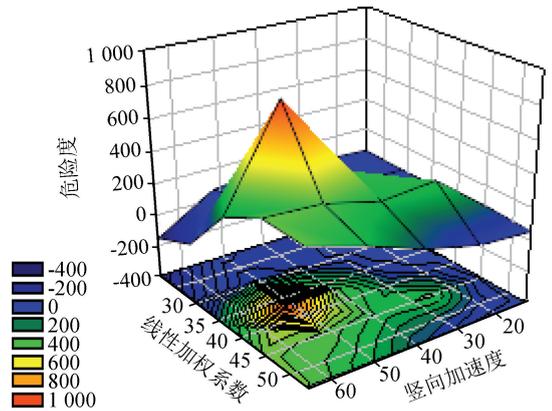
Fig.3 Vertical acceleration response spectrum

通过分析图 2 和图 3 可知:在模拟水平地震的作用下,中层建筑避难所的反应加速度变化较大,模拟竖向地震作用时反应随着楼层的增高而变大。由此可见,当避难所处于某个不利的楼层时,该楼层的反应加速度是非常显而易见的。但是除高层的避难所以外,其他避难所的变化情况都处在安全范围之内,说明避难所位置应设置在较低层,与本文设计理念一致。

采用 C4D 软件直接获得室内建筑危机度,结果如图 4 所示。



(a) 本文方法危险度



(b) 传统方法危险度

图 4 室内地震应急避难场所危险度

Fig.4 Risk degree of indoor earthquake emergency shelters

上图中绿色到红色表示危险程度逐渐增加,蓝色部分表示危险性低。由图 4 可知,本文方法室内建筑危险性较低,图中投影部分大部分为蓝色;而采用传统方法设计的室内地震应急避难场所危险度较大,图中下方投影多为绿色或红色。综合来说,本文方法的安全性较高,地震应急避难场所设计较为合理。

基于可达性视角,将商业建筑室内应急避难所的辐射半径设置为 75 m,从各楼层的避难所中随机挑选出 10 间进行实验,对该建筑内应急避难所的服务情况进行分析,结果如图 5 所示。

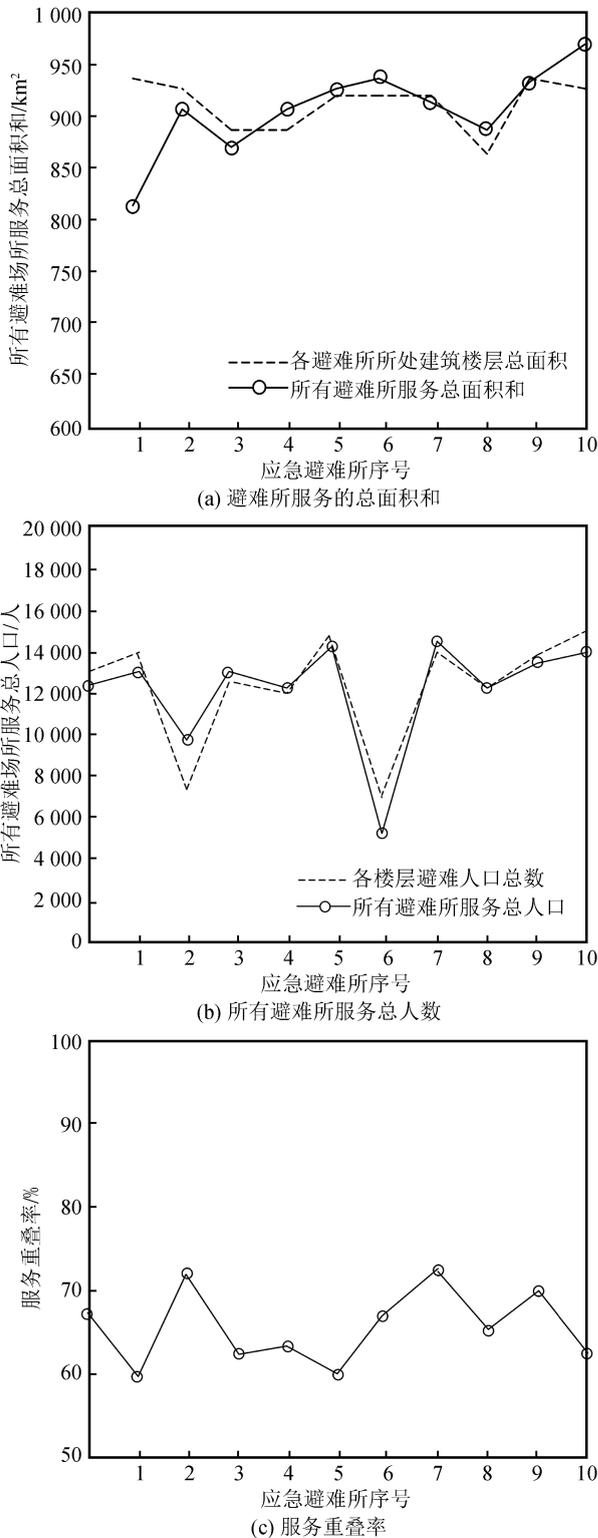


图5 商业建筑室内应急避难所的服务情况

Fig.5 Service situation of indoor emergency shelters in commercial buildings

通过分析图5可知:在该商业建筑室内设计的应急避难所服务的总面积和,基本与各楼层总面积相近,说明应急避难所基本可以覆盖各个楼层。由

避难所服务总人数可知,该建筑的避难所设计基本可以满足建筑内需要避难的人口数。通过图5(c)可以看出,该建筑内避难所的服务重叠率均处在80%以下,说明该应急避难所的空间布局较为合理。综上所述,本文的应急避难所设计的服务效果较好。

4 结语

针对现有的建筑避难所设计存在的局限性,设计商业建筑室内地震应急避难所空间。以P-中值模型为基础,设计避难所的最佳分区模型,通过分析和计算获得商业建筑隔震层的最佳位置,创建隔震层,并设计应急避难所的室内空间,分析避难所的可达性,实现商业建筑应急避难所的空间规划。经过实验证明,本文设计的避难所基本可以满足建筑内需要避难的人口数。且该建筑内避难所的服务重叠率均处在80%以下,说明该应急避难所的空间布局较为合理。

目前研究的应急避难所设计还不够完善,在接下来的研究中,需要更进一步完善应急避难所的空间规划,令其服务性能更好,合理性更高。

参考文献(References)

- [1] 王滢,曾坚,王强.日本城镇海啸避难所规划策略研究[J].国际城市规划,2017,32(6): 84-90.
WANG Ying,ZENG Jian,WANG Qiang.Study on Strategy of Tsunami Refuges Planning in Japanese Towns[J].Urban Planning International,2017,32(6): 84-90.
- [2] 顾惠娜,唐波.基于GIS的应急避难场所空间布局及优化:以河源市中心城区为例[J].华南地震,2017,37(3): 35-40.
GU Huinaapos,TANG Bo.Emergency Shelter Space Layout and Optimization Based on GIS in Heyuan City[J].South China Journal of Seismology,2017,37(3): 35-40.
- [3] 武田艳,宋璐璐,梁坤宇.基于SA算法的应急公共服务设施布局优化研究:以上海市市长宁区应急避难场所为例[J].数学的实践与认识,2018,48(24): 32-40.
WU Tianyan,SONG LULU,LIANG Kunyu.Study on Optimization of Emergency Public Service Facilities Layout Based on SA Algorithm—Shanghai Changning District Emergency Shelter as an Example[J].Mathematics in Practice and Theory,2018,48(24): 32-40.
- [4] 於家,温家洪,陈芸,等.基于应急疏散智能体模型模拟的城市避难所空间配置:以上海市静安区为例[J].地理学报,2017,72(8): 1458-1475.
YU Jia,WEN Jiahong,CHEN Yun,et al.Spatial Configuration of Urban Shelters Based on Simulation Using Emergency Evacuation Agent-based Model: A Case Study in Jingapos;an District,Shanghai[J].Acta Geographica Sinica,2017,72(8): 1458-1475.

- [5] 钟建敏.某超限高层框架-核心筒结构优化设计[J].结构工程师,2018,34(2):33-40.DOI:10.15935/j.cnki.jggcs.2018.02.005.
ZHONG Jianmin.A Super High-rise Frame-core Wall Structure Optimization Design Example[J].Structural Engineers,2018,34(2):33-40.
- [6] 赵峰,王柯楠,朱芳芳.基于 TRIZ 的校园地震应急避难产品设计[J].包装工程,2018,39(14):8-12.
ZHAO Feng,WANG Kenan,ZHU Fangfang.Campus Earthquake Emergency Shelter Product Design Based on TRIZ[J].Packaging Engineering,2018,39(14):8-12.
- [7] 王女英,修春亮,魏治.沈阳城市应急避难场所的识别、空间格局与服务功能[J].地域研究与开发,2017,36(5):75-79,86.
WANG Nvying,XIU Chunliang,WEI Ye.Identification,Spatial Pattern and Service Function of Emergency Shelters in Shenyang City[J].Areal Research and Development,2017,36(5):75-79,86.
- [8] 卢啸,陆新征,李梦珂,等.地震作用设计参数调整对框架结构抗震设计及安全性的影响[J].工程力学,2017,34(4):22-31.
LU Xiao,LU Xinzhen,LI Mengke,et al.Influence of Seismic Action Adjustments on Seismic Design and Safety of Rc Frames[J].Engineering Mechanics,2017,34(4):22-31.
- [9] 杜云霞,公茂盛,谢礼立.两次地震作用下 RC 框架结构设计方法初步研究[J].地震工程与工程振动,2017,37(2):151-158.
DU Yunxia,GONG Maosheng,XIE Lili.Preliminary Study on Seismic Design Method of RC Frame Structure under the Excitations of Two Earthquakes[J].Earthquake Engineering and Engineering Dynamics,2017,37(2):151-158.
- [10] 王培先,王超,彭立顺.强震环境下带钢避难建筑抗震模型设计[J].地震工程学报,2018,40(2):213-218.
WANG Peixian,WANG Chao,PENG Lishun.Aseismic Model Design of Steel Strip Refuge Buildings under Strong Earthquakes[J].Northwestern Seismological Journal,2018,40(2):213-218.
- [11] 郭伟,张栋,蒋胜.国有建筑企业股权多元化对战略绩效的影响[J].西安工程大学学报,2017,31(6):822-827,834
GUO Wei,ZHANG Dong,JIANG Sheng.The Influence of Equity Diversification of State-owned Construction Enterprises on Strategic Performance[J].Journal of Xi'an University of Engineering Science and Technology,2017,31(6):822-827,834.
- [12] 潘震宇,蔡欣欣,方伟华.厦门市地震应急避难场所(指南)网络服务系统[J].华南地震,2019,39(1):31-39.
PAN Zhenyu,CAI Xinxin,FANG Weihua.Xiamen Earthquake Emergency Shelter(Guide) Network Service System[J].South China Journal of Seismology,2019,39(1):31-39.
- [13] 杨文杰,王志涛,朱月河.宿迁市地震应急避难场所规划建设探讨[J].江苏建筑,2017(3):1-3,20.
YANG Wenjie,WANG Zhitao,ZHU Yuehe.Planning and Construction of Earthquake Emergency Shelters in Suqian[J].Jiangsu Construction,2017(3):1-3,20.
- [14] 马程伟,方硕,储帅.山地小城市地震应急避难场所布局合理性评价研究:以昆明市东川区为例[J].价值工程,2018,37(13):23-26.
MA Chengwei,FANG Shuo,CHU Shuai.Research on the Rationality Evaluation of Earthquake Emergency Evacuation Site Distribution in Small Mountainous Cities: Take Dongchuan District of Kunming City as an Example[J].Value Engineering,2018,37(13):23-26.
- [15] 杨志勇,马克俭,张瑞鹏,等.高层住宅新型“成束筒”空间钢网格式结构扭转性能对比分析[J].贵州大学学报(自然版),2015,32(4):79-85.
YANG Zhiyong,MA Kejian,ZHANG Ruipeng,et al.A Torsion Performance Comparison Analysis of High-rise Residential New" Bundled Tube" Space Steel Grid Cassette Structure[J].Journal of Guizhou University(Natural Science),2015,32(4):79-85.
- [16] 焦雪峰,马霄,雷宏刚.空间多支管复杂相贯节点静力足尺试验研究[J].太原理工大学学报,2015,46(3):303-307.
JIAO Jinfeng,MA Xiao,LEI Honggang.Full-Scale Test on Static Behavior of Spatial Complicated Penetrated Joints with Several Braces[J].Journal of Taiyuan University of Technology,2015,46(3):303-307.
- [17] 高峰,熊学玉,张少红,等.考虑区域约束的预应力型钢混凝土梁受弯承载力研究[J].河海大学学报(自然科学版),2015,43(3):249-254.
GAO Feng,XIONG Xueyu,ZHANG Shaohong,et al.Flexural Bearing Capacity of Prestressed Steel-reinforced Concrete Frame Beams Considering Regional Constraints[J].Journal of Hohai University(Natural Sciences),2015,43(3):249-254.
- [18] 王东辉,陈绪钰,朱德明,等.成渝经济区南部城市群孕灾条件与地质灾害发育特征[J].地质力学学报,2016,22(3):695-705.
WANG Donghui,CHEN Xuyun,ZHU Deming,et al.Formation Conditions and Spatial Distribution of Geohazards in Southern Urban Agglomeration of Chengdu-chongqing Economic Zone[J].Journal of Geomechanics,2016,22(3):695-705.
- [19] 孙敬明,马克俭,陈红鸟,等.高烈度区新型装配整体式空间钢网格式筒中筒结构抗震性能研究[J].贵州大学学报(自然科学版),2015,32(4):102-105.
SUN Jingming,MA Kejian,CHEN Hongniao,et al.Study on Seismic Performance of New Assembled Monolithic Space Steel Grid Box Tube-in-Tube Structures in High Earthquake Intensity Area[J].Journal of Guizhou University(Natural Science),2015,32(4):102-105.