

基于STEPS的历史地段火灾疏散模拟研究

Research on Evacuation Simulation in Historic District Based on STEPS

朱 剡

文章编号1673-8985 (2016) 01-0045-06 中图分类号TU981 文献标识码A

摘 要 作为具有生命力的遗产,历史地段不断受到来自火灾的严重威胁。在保护历史地段自身安全的同时,地段内公众的疏散避难安全应得到保证。为了在保护历史地段的基础上保障公众的火灾疏散避难安全性,应用基于细胞自动机的理论的STEPS软件,以宁波走马塘古村落为例,以疏散时间、出口距离、通道使用强度3个指标为依据,对历史地段进行火灾疏散避难模拟分析,对历史地区空间规划提出相应的改造策略,并进行进一步的模拟验证。

Abstract As a kind of relic which still has its life, historic districts suffer the threat of fire hazard. At the same time, when we protect the safety of physical environment of historic district, the evacuation safety of the public living there should also be guaranteed. In order to protect the public evacuation safety in the premise of protecting the historical environment, the essay applies STEPS software, which is based on the theory of Cellular Automaton, taking Ningbo Zoumatang historical village for instance, using three indicators, evacuation time, exit potential, path using intensity, to simulate the evacuation in the fire and to analyze the possible problems. Then, the essay gives corresponding strategy and makes another simulation to prove the efficiency of the strategy.

关键词 历史地段 | 火灾 | STEPS软件 | 疏散模拟

Keywords Historic district | Fire disaster | STEPS Software | Evacuation simulation

作者简介

朱 剡

中国城市规划设计研究院上海分院
规划师, 硕士

0 引言

历史地段在火灾中的人员疏散避难存在极大隐患。历史街区火灾发生频率较高,人员伤亡灾害数不胜数。2011年1月,安庆市的巢山村破罡老街火灾导致3人死亡。2011年,南昌西湖区石头街连续两次火灾导致9人死亡。2012年5月,资中县状元街由于老建筑电线老化发生火灾,3岁男童在火灾中不幸身亡。

对历史地段进行人员避难模拟研究具有很高的现实价值。年代久远的古街区及古村落内往往人口密集,存在不安全的购物、旅游、祭祀活动,极易引起火灾。其次,中国传统古建筑由于以木材为主要建筑构件,在火灾中容易造成较大损失。最后,虽然历史街区由道路、河流、风火墙构成的防火分区尺寸小,但这些防火分区常遭到临时建筑的破坏,避难的通道及

避难的空間被挤占,生活其中的人民生命安全受到威胁。因此,研究历史地段火灾疏散避难问题刻不容缓。

对历史地段疏散避难模拟研究也具有重要的理论价值。国内外既有研究将历史地段防火的重点定在历史地段的物质环境保护上,对人员的疏散避难安全研究较少^[5]。研究建筑或街区疏散避难安全性最好的方式是进行模拟。然而,目前国内外疏散避难模拟相关的研究则主要针对建筑物,极少针对街区加以研究^[6]。

在防灾及疏散方面,日本和中国台湾的研究实践对历史街区的疏散安全研究具备借鉴价值。日本有一套完善的防灾观、防灾规划编制体系、防灾技术。中国台湾针对灾后救灾和人员避难提出避难圈体系,对指挥及后勤系统、危险源、疏散通道、避难场地等要素均有详

细规定^[9]。

在国内外疏散避难相关研究中,疏散避难的模型类型包括宏观、中观、微观模型3种。其中宏观模型中不考虑人的心理行为,分析中小尺度场景结果较不准确,适宜分析大尺度场景。微观模型也就是连续模型,计算量庞大,适宜分析小尺度场景^[1-4]。中观模型也就是网格模型,最适宜分析街区尺度的场景。

1 细胞自动机理论与STEPS软件技术方法

细胞自动机模型是中观模型的一种,适宜分析街区尺度的场景。细胞自动机是一种内部包含一系列离散分布并受规则作用的元胞的动态格网系统。由规则网格、元胞、局部行为规则3要素组成。散布在规则网格中的元胞一般取有限的离散状态,遵循相同的局部作用规则,并在局部作用规则的约束下同步更新,同时大量元胞也能在局部作用规则下进行相互影响,从而构成复杂的动态系统的演化^[11]。

STEPS是基于细胞自动机的预测行人在正常和紧急情况下运动的模拟工具。这个软件原本被应用于模拟交通枢纽内行人运动,经过不断地发展和实践,STEPS软件的疏散模拟场景已不再局限于地下车站或大型公建,开始向建筑组群和一定范围城市地区发展。

STEPS较同类软件具使用便捷、输入信息完善、输出数据直观有效3大优点,适宜分析历史街区的疏散避难模拟问题。首先,其界面清晰,使用便捷,支持其他多种软件文件格式的转换。其次,其能较完善精确地反映人员布局、人口构成、人的行为特征等多种避难主体信息,同时能准确地建构三维场地模型。最后,软件可对场地内各个位置的疏散避难数据信息予以图形化的直观表达,便于分析并解决空间布局的问题。

STEPS的原理来自细胞自动机。一个元胞代表一个人。某一空间内的一群人类似于自组织的系统。人群展现出的复杂的行动模式是由个体遵守行为原则以及周围人对他的影响产生的。STEPS软件对细胞自动机理论的应

用主要包括3个方面:格网系统、距离表格、人员决定过程(图1)。

历史地段疏散影响因子包括静态影响因子和动态影响因子,各个因子的一系列小的疏散特点可被总结。表1对历史地段各个影响因子与疏散避难特点进行分类和总结。

表1中的ABCD分别代表表2中的4个结论。各个影响因子疏散避难特点总结如表2所示。

STEPS软件中,“使用强度”表示疏散通道某点在疏散中人经过的次数。“出口距离”概念表示某点至避难空间所需的移动距离,受障碍物阻碍,出口距离往往大于空间直线距离。结合上表的结论,疏散用时、场地各位置出口距离、通道使用强度^[6]这3个指标是分析疏散避难安全性的核心指标。

2 走马塘的背景分析

2.1 走马塘人文地理背景

走马塘位于宁波市鄞州区的姜山镇,地处平原,枕于奉化江支流东江之滨,周围水网密布、相互通达,是一座典型的浙东水乡小村。本次研究重点针对村内11 hm²的建设用地。

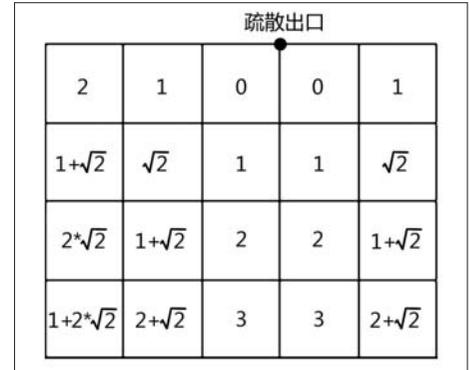


图1 某单出口平面各位置与出口距离
图片来源:笔者自绘

如图2所示,走马塘的范围约为460 m×255 m,整体肌理方正平直有序。四面的河道勾勒出方正的村庄轮廓,与村内井然有序的街道和建筑肌理相呼应,形成了富有文化内涵的村庄格局。

2.2 走马塘保护要素

村整体结构可概括为“两轴一点”,东西向联系强于南北向。南部以一条东西向的老街为轴线,在轴线的中心位置是祖堂及祠堂,北部以蟹肚脐和荷花池串联一条轴线,而荷花池为村内最具人气的地点。村内主要的文物建筑均沿这两线一点布置。

表1 历史地段疏散影响因子的疏散避难特点梳理表

疏散影响因子	软件模拟后总结的疏散避难特点	结论编号		
静态影响因子	相同道路面积率下,小尺度街区安全性大于大尺度街区	A		
	道路密度宽度及布局	道路宽度越窄则疏散避难安全性越低	B	
		道路分布不均匀比均匀的疏散避难安全性低	B	
	道路曲折度	网格路街区的安全性高于非网格路街区	C	
	可达性	局部位置可达性过低将极大增加总疏散时间	D	
	避难场地的尺度及布局	总面积相同的开放空间,拆分的数量越多,疏散安全性越高	C	
			均匀分布的避难空间安全性高于不均匀分布	D
		防火分区	缩小防火分区面积可提升疏散避难安全性	A, C
			在无电梯情况下,高层建筑疏散安全性低于低层建筑	A, C
	建筑形式	单出口建筑安全性低于多出口建筑	C	
动态影响因子	相同人数平面测试——同面积历史地段的平面组织结构与一般城市居住区组团相比疏散避难安全性更低	A		
	人口密度	人口密度低的区域疏散避难安全性高于人口密度高的同一区域	A	
	人口布局	人口均匀布局的区域疏散避难安全性高于人口不均匀分布的同一区域	B	

走马塘古村落内的文物古迹丰富,主要包括文物建筑、历史水系、文物小品、古桥。通过建筑质量及建筑风貌评价分析,村内80%以上的建筑年代久远,为需受保护的文物建筑和历史建筑。在未来的保护规划中,对文物建筑应采用严格保护,对一般历史建筑应以保留和修缮为主。少量临时建筑风貌一般,质量一般或较差,可以视规划需要改造或拆除。走马塘街巷的布局结构为树枝状结构。多条南北向的小巷从两条东西向的主路上延伸出来,将整个村落联系在一起。街巷的基本机理为横平竖直的形式,有利于建筑组群的采光和布局。但街巷的具体走线形式较为曲折,形成了诸多尽端路、曲线路、鱼骨路、丁字路。现状开放空间由村内广场和绿地组成。开放空间主要分布在沿两条轴线及沿水区域。共有13处开放空间的面积超过250 m²。这些空间均是合适的紧急避难空间。

2.3 走马塘火灾分析

走马塘有较高的火灾可能。在历史上村内也曾发生过大火。清末年间的一场大火曾将遗宗祠烧毁。据调查,走马塘内电线老化严重,电线电缆的更新速度很慢,建筑内部大量使用木材作为构架和装饰,且村中有明火祭祀活动。此外,村内道路狭窄曲折,不利于扑救。最后,村内的消防设施分布不全,消防能力有限,使火灾的危险性进一步提升。

因此,火灾是走马塘较易发生且危害较大的灾害类型,须重点防治。

3 基于STEPS的走马塘古村落A区现状疏散模拟分析

3.1 疏散避难安全因子提取

3.1.1 防火分区的划分

由于村内马头墙及道路天然形成的防火分区的存在,火灾发生后着火的防火分区外围区域不会受到火灾威胁,因此只需要考虑每个防火分区自身的疏散避难问题即可。界定防火分区边界为两侧建有封火墙的街道或是水岸等自然防火分隔。根据此原则,村落可分为11

表2 历史地段疏散避难特点总结表

结论编号	结论内容	
A	整体疏散通道的使用强度越高	疏散所需时间越长,疏散避难安全性越低
B	局部疏散通道的使用强度越高	
C	整体出口距离越大(场地远离避难地或防火分区过大)	
D	局部出口距离越大(避难地分布不均匀或局部位置可达性过低)	

表3 走马塘紧急避难场地门槛要求

场所类型	服务半径	避难人数	人均避难面积	房屋倒塌退让
公园、空地	300 m	至少50人以上	1 m ²	5 m

个防火分区,编号为A至K(图3)。本次研究着重对A分区进行详细的疏散模拟。

3.1.2 疏散通道的实景建构

STEPS软件通过封锁墙、封锁墙出入口和楼梯平面来界定疏散通道的走向和尺寸。封锁墙被用以表达建筑墙和水面;封锁墙出入口被用以表达建筑物和院落的对外开口;楼梯平面被用以表达立体楼层间的联系通道。

3.1.3 紧急避难场地的识别

紧急避难场地的服务半径设为300 m,距研究地区300 m以外的避难场地不做统计;避难场地的规模应至少容纳50人;每个人员需要的避难面积选取为1 m²;建筑倒塌退让范围结合国家规范和案例应设置为5 m(表3)。

走马塘现状满足上述要求的紧急避难空间共23个,其中村对外出口9个,村内紧急避难场地14个。紧急避难空间的分布如图4所示,编号为1至23号。

3.1.4 人口结构分布与行为特征

走马塘共有本地家庭615户,村民1 559人。外来游客占本地居民的比例约为10%。其中本文重点研究的实验地块A区总人口为308人,其中本地居民280人,外地游客设定为28人。人口按年龄结构分为幼儿(无行动能力)、少年、青年、成年男性、成年女性、老年人。在居住人口和旅游人口中各类人群的比例如表4所示。人口数量及比例来源于对村人口资料的收集统计。

根据人口、年龄、性别不同,人员心理行为特征分为6类,包括幼儿、少年、青年、成年男



图2 走马塘现状平面图
图片来源:笔者自绘。

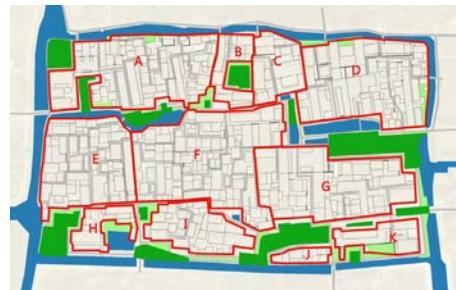


图3 现状防火分区分布图
图片来源:笔者自绘。

性、成年女性、老年人。其中幼儿由其父母携带疏散,因此在STEPS软件中输入的人群只包括其余少年、青年、成年男性、成年女性、老年人这五类。表5为各类人群行为参数一览表^[10]。移动速度取实测该年龄段人群的平均值^[7]。

3.2 走马塘古村落A区现状疏散模拟分析

3.2.1 走马塘A区不同时刻疏散场景与疏散时间

在占地面积1.06 hm²的A区内模拟消耗的疏散时长为2分07秒,时间较长。各时刻避难场景如图5所示。通过场景模拟可见,避难于17号

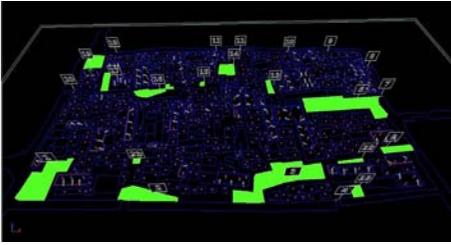


图4 走马塘紧急避难空间分布
图片来源:笔者运用STEPS软件自绘。

出口的人数最多,由A区北部向17号出口移动人群的疏散避难时间最长。

各个时刻成功到达避难场地人数统计如图6所示。疏散避难的高峰期在0:14至1:29之间。

通过现状的模拟场景和数据初步总结, A地块北部疏散有待改进。

3.2.2 A区疏散通道使用强度分析

使用强度 (Usage) 反映了从疏散开始时刻到某一时刻内疏散通道某一位置的避难通过人次。使用次数多的位置则疏散压力较大,重要性较高。A区的使用强度如图7所示。

根据色块图分析,地块面积较大,整体疏散通道使用强度偏高,中北部疏散通道使用强度过大,疏散路线曲折过长,且通道经过民居的过街楼,存在一定的安全隐患。

3.2.3 走马塘A分区出口距离分析

STEPS可以设定任一个平面中各个点的出口距离。出口距离指某一位置与最近的出口的距离。某一位置出口距离值越高,反映该位置与最近出口距离越远,疏散避难安全性越低。STEPS软件为避难场所分布合理性提供了直观的评判。

A分区的出口距离如图8所示。地块中部偏东区域出口距离较大,离避难空间较远,存在疏散问题。

3.2.4 现状疏散避难问题分析

首先,走马塘需要保护的现状要素较多,包括历史街巷、历史小品、历史建筑等。不能以损害村内历史要素或降低村庄历史文化价值为代价进行任何规划改造。

其次,基于疏散模拟场景,走马塘A区面积较大,疏散避难时间较长,通过拆除部分违章建筑,加固防火墙,杜绝局部建筑之间的相

表4 居住人口与旅游人口年龄构成一览表

居住人口	比例	旅游人口	比例
幼儿 (0—6)	4%	幼儿 (0—6)	2%
少年 (7—12)	5%	少年 (7—12)	11%
青年 (13—18)	7%	青年 (13—18)	13%
成年男性 (19—59)	17%	成年男性 (19—59)	31%
成年女性 (19—59)	29%	成年女性 (19—59)	28%
老年人 (>60)	38%	老年人 (>60)	15%

表5 各类人群行为参数一览表

人群类别 (周岁)	自由移动速度 (m/s)	耐性	身高 (m)	肩宽 (cm)	胸厚 (cm)
幼儿 (0—6)	成年人携带疏散	—	—	—	—
少年 (7—12)	0.9	0	1.40	35	18.0
青年 (13—18)	1.0	0.2	1.60	38	19.0
成年男性 (19—59)	1.3	0.6	1.75	44	21.7
成年女性 (19—59)	1.1	0.4	1.60	40	21.4
老年人 (>60)	0.8	1.0	1.60	40	21.4

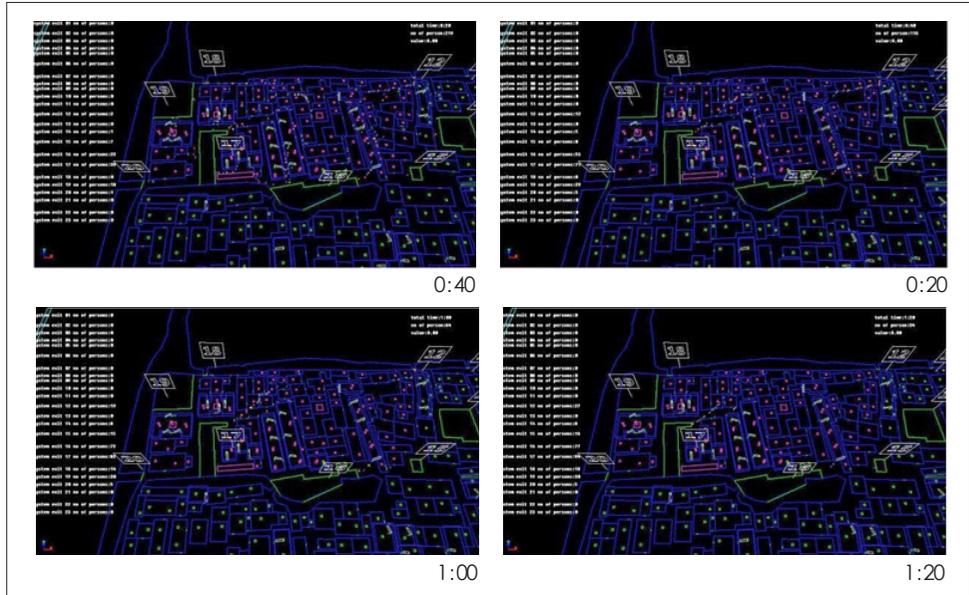


图5 A地块各时刻疏散场景

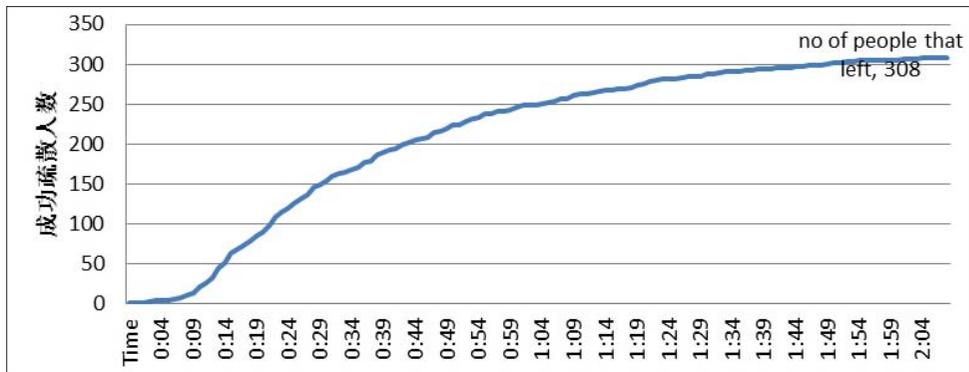


图6 各个时刻成功疏散统计图

互火灾影响隐患,可将A区拆分成两个小的防火分区,从而减少火灾的避难时间。

再次,走马塘A区中北部使用强度较高,这不仅因为此区域的紧急避难空间较少,人员到最近的紧急避难场地需较长距离,人群集中到主要道路上造成了拥挤。而且因为局部地区疏散通道数量太少,疏散道路宽度过窄,也造成使用强度过高。在保护遗存的前提下,应当适度增加某些地区疏散通道的宽度或数量,从而缩短疏散总时间。

最后,通过紧急避难空间出口距离分析,走马塘A分区中部偏东区域出口距离值较大,适宜增加额外的紧急避难场地。

4 改造策略与模拟验证

4.1 改造策略与方案

4.1.1 改造策略

走马塘古村落A区改造的目标是在保护走马塘历史文化遗存和韵味的基础上,提升其火灾公众疏散避难的安全性。

在对走马塘A分区的改造中,应当坚持四大原则:历史遗存保护原则、缩小受灾范围原则、便利疏散原则、过程安全原则。

(1) 历史遗存保护原则。对历史地段各保护要素进行完善的保护,不断完善其各项功能,保持历史地段的活力,推动其逐步有序更新。

(2) 缩小受灾范围的原则。为了避免过大的防火分区内火势蔓延失控而导致大面积房屋被毁,大量群众疏散避难距离过长,应当通过拆除局部违章建筑、隔绝局部建筑间的火灾影响来缩小防火分区面积。

(3) 便利疏散原则。通过缩短疏散距离、减少疏散通道通过压力、增加避难空间等手段,尽量缩短疏散避难所需时间。

(4) 过程安全原则。为了尽量避免在疏散过程中人员被倒塌建筑物砸伤,应避免疏散通道经过架空建筑、悬挑构筑物等。

4.1.2 改造方案

在A地块中,方案拆除部分疏散通道经过的违章过街楼,疏通主要通道,隔绝局部建筑间可能的火灾蔓延影响,将较大面积的A分区

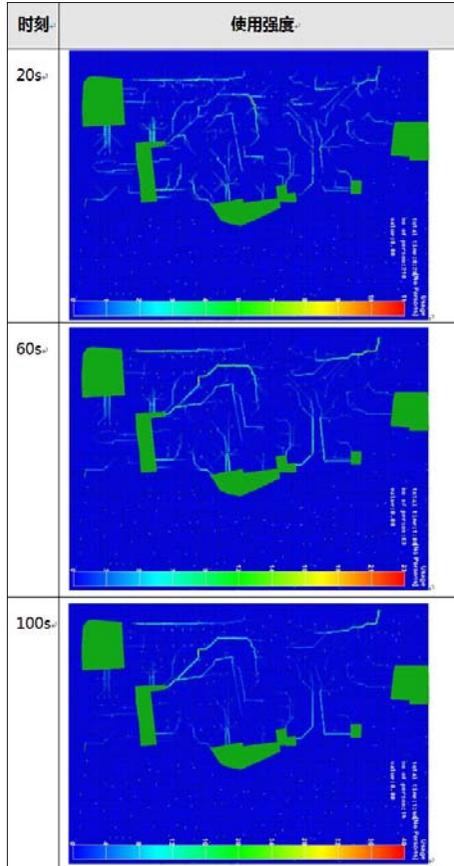


图7 A区各时刻使用强度

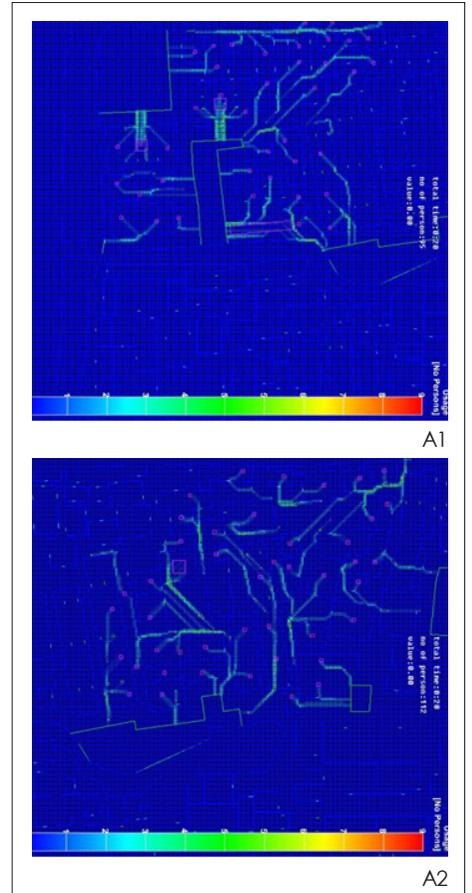


图10 走马塘A1及A2区20秒使用强度

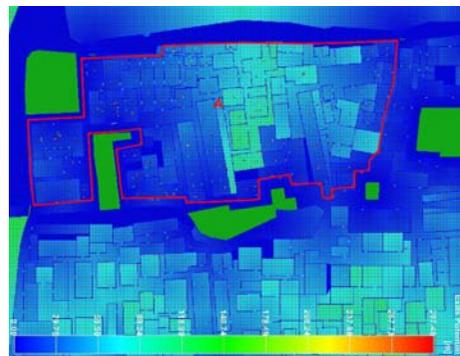


图8 A分区出口距离图
图片来源:笔者自绘。

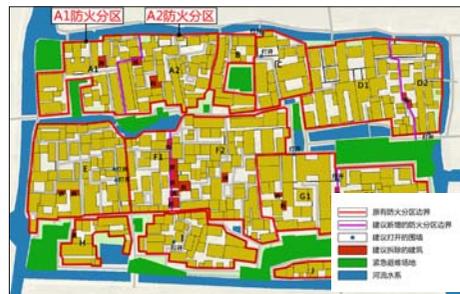


图9 A分区改造措施
图片来源:笔者自绘。

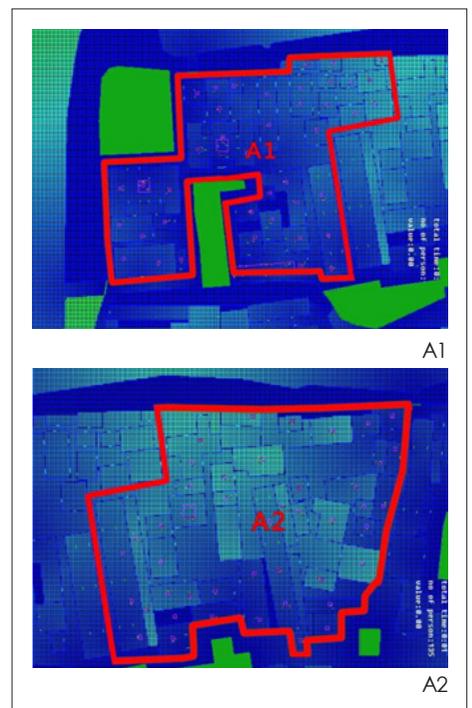


图11 A1及A2分区出口距离

拆分为A1和A2两个防火分区。所有拆除的建筑均为建筑综合评价中适宜拆除的违章建筑。改造的方案如图9所示。

4.2 模拟验证

A区改造前疏散时间为2分07秒,改造后A1分区的疏散时间缩短为1分28秒,A2分区缩短为1分47秒。改造方案从疏散时间的验证上是有效的。

对改造方案进行疏散通道使用强度验证,通过模拟可见,疏散通道的长度和使用强度均较低,分布较均匀,安全性较好(图10)。

将改造方案进行出口距离的模拟,可确定平面各点与避难空间的通达性是否良好,从而可以验证方案避难空间布局的合理性。

对改造方案进行出口距离校验,各防火分区的出口距离值均较低,避难空间的分布也较为合理(图11)。

5 结语

本文针对历史地段最易发生的火灾危害,从人员避难安全的视角,运用STEPS软件模拟分析历史地段的疏散安全性,并对原本的保护规划提出修改建议,从而可在最短时间内有针对性地达到避灾减灾的目的。

本文对规划领域的疏散安全、历史地段的防灾疏散空间布局优化具有一定的理论创新价值。

以往研究对于疏散避难问题的解决策略往往归结于简单的拆违拓路,缺少定量分析的技术方法,尤其是缺乏运用软件进行模拟的手段。本研究运用软件模拟的手段,大大优于原本的定性方式。

以往疏散避难模拟研究局限于微观建筑尺度。本研究将模拟的视野拓展至一个城市片区尺度,无论从研究内容的复杂性还是研究对象的范围上都具有一定的理论突破性。未来对城市街区空间的疏散安全研究均可从出口距离、通道使用强度、总体疏散时间3个方面作为衡量标准,从而优化人群、城市避难空间及疏散通道的分布。

同时,本文的研究在所用软件上也存在一定不足之处。

软件难以完全反映人的一切疏散行为模式。例如,社会文化对人的行为模式具约束作用。英国人的绅士精神会导致女士优先疏散。

STEPS软件只适合模拟中观步行场景疏散,历史地区疏散安全问题的最终解决有待软件进一步发展及多学科综合研究。■

参考文献 References

- [1] 孔维伟,刘栋栋.北京复兴门地铁火灾时人员安全疏散研究[J].北京建筑工程学院学报,2009,25(4):29-32.
KONG Weiwei, LIU Dongdong. Study of evacuation under fire in the Fuxingmen Subway station in Beijing[J].Journal of Beijing Institute of Civil Engineering and Architecture,2009,25(4):29-32.
- [2] 唐涛,李星华,何亮,等.在STEPS中的三维宿舍火灾的人群疏散研究[J].地理空间信息,2011,9(1):91-96.
TANG Tao, LI Xinghua, HE Liang, et al. Study of 3D dormitory under fire with STEPS[J].Geographic Spatial Information,2011,9(1):91-96.
- [3] 周晓峰.基于STEPS的某学校餐厅人员疏散模拟研究[J].中国制造业信息化,2008,25(12):66-68.
ZHOU Xiaofeng.Simulation study on the evacuation of a dining room in a school based on STEPS[J].Chinese Manufacturing Information,2008,25(12):66-68.
- [4] 吴春雨.人员疏散基础数据研究[J].科技创新导报,2009,25(30):180-181.
WU Chunyu.The basic data for the study of evacuation[J].Science and Technology Innovation Herald,2009,25(30):180-181.
- [5] 胡敏.我国历史街区火灾现状及技术分析[C]//城市规划年会论文集:工程规划.北京:中国水利水电出版社,2005:1368-1373.
HU Ming. Chinese historic district fire status and technical analysis[C]//City Planning Annual Meeting Proceedings: Project Planning. Beijing: China Water

& Power Press,2005:1368-1373.

- [6] 陈鼎超.历史文化街区抗震疏散救援通道规划方法研究[C]//城市规划年会论文集:工程规划.北京:中国水利水电出版社,2005:5174-5182.
CHEN Dingchao. Research on planning method of evacuation and rescue route in historical and cultural blocks[C]//City Planning Annual Meeting Proceedings: Project Planning. Beijing: China Water & Power Press,2005:5174-5182.
- [7] 叶建红,陈小鸿,刘莹,等.行人交通人体设计尺寸研究[J].武汉理工大学学报,2010,34(1):10-14.
YE Jianhong, CHEN Xiaohong, LIUYing, et al.Human dimensions for pedestrian traffic design[J].Journal of Wuhan University of Technology,2010,34(1):10-14.
- [8] 高健,赵雅娟.设置疏散避难区解决疏散宽度不足的探讨[J].消防科学与技术,2011,30(11):1018-1019.
GAO Jian, ZHAO Yajuan. Study on setting the evacuation zone to solve the insufficient width of evacuation [J].Fire Science and Technology,2011,30(11):1018-1019.
- [9] 吴一洲,贝涵璐,罗文斌等.都市防灾系统空间规划初探——台湾地区经验的借鉴[J].国际城市规划,2009,24(3):84-95.
WU Yizhou, BEI Hanlu, LUO Wenbin, et al.Spatial planning of urban disaster prevention system—experience of Taiwan area[J].International City Planning,2009,24(3):84-95.
- [10] Helbong D., Farkas L., Vicsek T. Simulating dynamical feature of escape panic[J].Letters to Nature,2000,407(28):487-490.
- [11] HoffmannN A., HensonD A.Simulating transient evacuation and pedestrian movements in stations[R].Kuala Lumpur, Malaysia: International Conference on Mass Transit Management,1997.