

# 空间信息的呈现界面对建筑火灾中寻路行为的影响

高晓童<sup>1,2</sup>, 秦 华<sup>1,2</sup>, 刘孟歆<sup>1,2</sup>, 马 靓<sup>3</sup>

(1. 北京建筑大学 机电与车辆工程学院, 北京 102600; 2. 北京市建筑安全监测工程技术研究中心, 北京 102600; 3. 清华大学 工业工程系, 北京 100084)

**摘要:** 为了提高危机救援过程中团体内部与外部的空间共享效率, 结合建筑火灾的动态建筑结构变化与人类空间信息的认知表征、空间信息的交互方式, 设计了两种空间信息界面: 静态朝向信息一致信息界面; 动态朝向信息一致信息界面, 探究动态环境中不同朝向信息对于寻路绩效的影响。通过Unity3D软件模拟实际空间环境的动态变化, 采集虚拟环境中内部人员的寻路行为, 并通过录像与访谈分析建筑内外人员的交互行为。实验结果表明: 1) 静态信息界面下寻路时间与路径更短, 寻路过程中的错误路径更少, 但交互行为更多。2) 动态信息界面下寻路时间与路径更长, 寻路过程中交互行为更少, 但错误路径更多。研究结果可以为消防救援队伍的内外协同提供支持, 提升救援效率。

**关键词:** 建筑火灾; 空间信息; 寻路行为; 呈现方式; 空间认知

**中图分类号:** TB18      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1007-7375(2022)01-0144-08

## Influence of Presentation Interface of Spatial Information on Path Finding Behavior in Building Fires

GAO Xiaotong<sup>1,2</sup>, QIN Hua<sup>1,2</sup>, LIU Mengxin<sup>1,2</sup>, MA Liang<sup>3</sup>

(1. School of Mechatronics and Vehicle Engineering, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 102600, China;  
2. Beijing Engineering Safety Monitoring Engineering Technology Research Center, Beijing 102600, China;  
3. Department of Industrial Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** In order to improve the space sharing efficiency between the internal and external groups during the crisis rescue process, two kinds of spatial information interfaces are designed by combining the dynamic building structure change of building fire with the cognitive representation of human spatial information and the interaction of spatial information: static orientation information consistent interface, dynamic orientation information consistent information interface; cognitive style consistent information interface, to explore the impact of orientation information on way-finding performance. The Unity3D software is used to simulate the actual dynamic space environment and to analyze the way-finding behavior of internal personnel in the virtual environment, and the interaction between the inside and outside of the building is recorded through video and interview. The results show that: 1) the way-finding time and travelling distance are shorter with the static information interface, and there are fewer errors in paths in the path-finding process, but the interaction behavior is more frequent; 2) with the dynamic information interface, the path-finding time and path are longer, and the interaction behavior is less in the way-finding process, but the error paths are more.

**Key words:** building fire; spatial information; path finding behavior; presentation method; cognitive space

美国消防局对1978~1999年的20年间消防员伤亡统计发现, 迷失方向是消防员死亡的重要原因之一<sup>[1]</sup>。火场勘探对火场救援又十分重要<sup>[2]</sup>, 消防员在

勘探过程中的迷路风险无法避免, 亟需提升消防员寻路绩效与寻路安全。目前国内的消防勘探过程中空间信息交互仅通过电台, 这种方式不能满足消防

收稿日期: 2019-12-18

基金项目: 北京市自然科学基金面上资助项目(9172008)

作者简介: 高晓童(1995—), 男, 北京市人, 硕士研究生, 主要研究方向为人因工程。

抢险过程中的空间交互需求, 需要进一步设计和采用更加高效的信息沟通方式。

设计更高效的沟通方式, 首先要了解内外人员的空间感知过程。由于身处不同的救援现场, 建筑内外人员会有不同的空间感知对象。建筑内部是环境空间, 身处其中的人员不能通过一个观察点感知整个楼层, 需要通过自身的移动从多个观察点对其构建完整的知觉<sup>[1]</sup>。并且障碍物与火源会影响人员的移动, 进而影响人员对周围环境的感知方式, 从而使得内部人员对于建筑环境的感知变得局部、不完整。不同于建筑内部空间, 建筑外部是街景/图形空间, 它可以由一个观察点通过整体的观察或扫视完全掌握, 即建筑外部人员可以通过观察建筑轮廓或建筑平面图来构建空间知觉。建筑外部人员对于环境原始特征的感知是完整的, 但是外部人员无法实时感知到建筑内部发生的动态变化。所以建筑内部人员需要复杂平面空间的原始特征, 而外部人员则需要动态火源的实时信息。建筑内部外部的人员需要进行实时沟通。在沟通过程中由于先前的感知对象不同, 建筑内外的人脑海中会拥有不同的空间知识表征, 即地标(landmark)、路线(route)、测量(survey)知识<sup>[4]</sup>, 建筑内部人员可以利用环境中的房间号、门牌号、醒目的壁画等等来构建地标, 这些路标可以用来定义附近地理对象的空间位置<sup>[5]</sup>, 并形成路径知识。路径知识是路标的次序信息与次序之间行为要求的组合, 例如从路标1直行到路标2, 直行是行为要求, 路标1、2为先后次序, 它可以构成行进的路径并帮助人在小范围躲避障碍物。建筑外部人员通过识别建筑轮廓与平面布局图可以形成测量知识。测量知识是更加详细与准确的布局型知识, 它包括地理对象间的空间关系<sup>[4]</sup>, 可以辅助人在大范围上进行空间定向。在建筑内部人员因为无效的路径知识与复杂路线等原因往往无法准确表征环境的原始特征<sup>[6]</sup>。而测量知识是更高水平的知识, 相较而言更能准确反映建筑的原始特征<sup>[7]</sup>。所以内部人员需要拥有测量知识的外部人员辅助形成建筑的测量知识。但是, 不同的知识表征会作为先验经验影响双方对决策的判断。拥有不同类型空间知识的双方很难进行协作, 他们不仅需要建立共同的参照物, 同时还需要描述自身的空间参考框架或观点, 进而推断与参照物的相对位置或方向<sup>[8]</sup>。特别是, 当参照物是会随机出现的火灾或障碍物的情

况下, 交互双方的协作面临不同知识与动态环境的双重影响。

空间信息交互的研究通常有两种任务模式: 通过交互统一各自的空间框架, 在各自所处框架一致情况下完成一系列空间任务, 空间任务的种类与交互的方式则作为研究的重点。在交互方式的研究中, 如文献[9]针对空间信息不同的交互方式进行研究。其中, 语音、文本、视频包含不同的交互特性。语音由于无法描述准确的空间关系, 描述两个空间物体的关系时需要很多额外的描述。文本虽然可以准确地描述空间关系并且不需要进行额外的描述, 但是包含的信息有限, 在实际任务中会缺失细节并且需要更久的加工时间。视频赋予更高层次的是交互特性, 如“我了解了”等反馈, 但包含的信息不仅仅包括空间信息。3种不同交互方式的差异主要体现在空间信息的感知与认知, 在统一参考框架方面具备各自的特点。在协同完成空间任务的研究中, 如文献[10-11]在交互双方同样处于自我参考框架的情况下共享彼此的视角, 但随着视角的共享面对不同空间对象的命名变得困难<sup>[12]</sup>。文献[13]将共享的内容改变为合作者的模型, 彼此可以判断对方视野所及的区域与意图, 但也增加了对视野与意图的判断和沟通过程。文献[14]在此基础上进一步增加标志的使用, 增加批示与标注信息来优化沟通过程。可见, 当任务变得不再是空间框架的统一时, 跟随任务目标变化的空间标识影响完成空间任务的结果。以上文献从不同方面包含了空间信息交互研究的要素, 其中文献[12]针对的是空间定向任务但并不涉及动态性的环境变化, 而文献[10-11]、[13-14]的空间任务虽然会随着操作发生变化, 但任务本身是在一个稳定的环境下, 无论是空间本身还是空间框架都是不变的。而在建筑火场中, 环境经常会发生变化, 同时也需要进行空间框架的转换统一, 这就需要综合考虑两种任务方式。从已有文献[9-11]、[13-14]中可以发现, 空间信息沟通过程中参照物的选取、对可视对象的命名、参考框架的转换、批示与理解是空间沟通需要考虑的关键因素。文献[15]对火场的协作交互进行初步探索, 在文献[9]的基础上进一步引入平面地图, 提供建筑的原始特征对不同情景意识下的空间框架统一任务进行研究, 结果表示基于平面地图的整体绩效最优。但实地模拟环境的动态性不足, 且并未统计与分类被试在动态空间情境下交互内容(对象的命名、修正、理解、批示), 人

员的绩效水平仅统计总体绩效,没有统计寻路过程中的动态寻路行为特征(搜寻路标的时间占比),动态性<sup>[10-13]</sup>需进一步研究。从本文对内外人员的空间感知过程的分析可以发现,寻路行为与环境与寻路主题的交互密切相关,寻路主体在所处空间环境中的一系列交互行为,例如探索、定向、对空间标识的识别都决定着寻路行为本身。在楼层或者陌生房间中,初始寻路方向通常由墙壁与楼道所决定,这表示空间的入口。如果想确保方向感,入口所定义的朝向需要不随着移动变化,但人员的转向会产生误差,误差会随着转向次数的增加而增大。在特殊的环境中,例如火场,复杂变化的寻路要求会使得转向增多,最终导致朝向迷失。故火场中寻路主体与空间环境的交互集中于转动。

寻路过程中朝向参考的形成与转动过程涉及人类空间信息的认知模式。鲁学军等<sup>[16]</sup>用3个层次来描述空间认知模式:空间特征感知、空间对象认知和空间格局认知。其中,空间特征感知是发生在感知空间的,受到自下而上的感知手段与自上而下的空间分类约束。空间对象识别与分类的基础是空间特征感知,而空间格局构成的基础又是空间对象的分类与推理。这3层认知模式对应于地标—路线—测量知识表征的次序变化<sup>[6]</sup>。建筑内部人员对于空间的动态性变化把握得更全面,外部人员对于空间的原始结构把握得更全面,这是两种不同层面的空间特征感知。在文献[15]中没有将内部人员的朝向信息从感知层面完全剥离开。本文在文献[15]基础上,将交互过程中的朝向特征在空间信息的种类上分为动态与静态。利用仿真软件建立实验平台,模拟动态火源、障碍物的复杂环境。设置基于自我参考框架倾向、共享视角与环境参考框架倾向、共享概览知识的不同空间信息界面,探索该环境中空间信息的交互方式。动态信息界面倾向于构建自我参考框架,更利于对复杂环境变动情况的把握。静态信息界面倾向于构建环境参考框架,更利于双方对建筑格局的构建。

## 1 实验设计

实验平台采用Unity3D仿真软件进行搭建,以还原真实环境的动态性。实验对符合实验环境的建筑物和真实的火灾场景进行模拟构建,还原建筑物的结构以及发生火灾时可能出现的危险情况及障碍

物,例如坍塌点、起火点等等。任务情境被设置为建筑内部人员的撤离任务。实验选用两种不同的信息界面分别进行实验,每组实验独立进行。参试者需在时间压力下进行逃生,实验将记录逃生时间、逃生路程以及逃生搜索时间,并以视频录像的方式记录参试双方沟通内容。每一组的两名参试者被安排在彼此分隔的实验房间内。在实验过程中参试双方通过手机语音通话进行沟通交流。实验刺激将通过NetWork组件进行同步,同步时长将不高于0.05 s。

### 1.1 自变量

实验中的自变量为外部指挥者两种不同呈现形式的信息界面,信息界面中包括空间信息与朝向信息。不同种类的空间概念体现在不同的信息界面中。第1种信息界面是通过以平面次序展现与建筑环境一致的局部布局图的形式,使朝向信息与空间信息构成双方沟通点,如图1所示。第2种信息界面是通过共享建筑内人员第一视角的形式,使朝向信息与空间信息构成双方沟通点,如图2所示。虽然两种信息界面的信息呈现形式不同,但二者均能够提供逃生楼层整体的平面布局信息,同时还能在地图中实时更新内部逃生人员的具体位置。



图1 指挥者的静态信息界面

Figure 1 Static information interface of commander



图2 指挥者的动态信息界面

Figure 2 Dynamic information interface of commander

两种信息界面的呈现形式会使得参试者的认知方式有一定的差别。静态信息界面的信息以平面次序呈现,参试双方以静态空间结构为基础构建朝向从而进行信息交互。这种形式使得参试者的认知方式更倾向于环境参考框架,有助于掌握空间的次序关系。动态信息界面由于参试双方拥有相同的视

角, 使得二者拥有相同的感知对象, 因此双方以动态空间结构为基础构建朝向从而进行信息交互。这种形式使得参试者的认知方式更倾向于自我参考框架, 有助于避开障碍物。实验过程中, 指挥者将利用信息界面中右上角展示的内部环境信息, 通过点击左下角的静态地图告知逃生者逃生路线, 进行语音通话的同时协助逃生者寻找到正确的逃生出口。

## 1.2 控制变量

实验中的控制变量为逃生者所看到的信息界面, 如图3所示。与外部指挥者的信息界面不同, 内部寻路者的信息界面包含可以用作形成地标知识的不同种类的地标, 如房间号、安全出口等。楼层的局部平面地图以及路线会出现在信息界面的右上方, 有助于逃生者把握自身与环境之间的空间关系以及构成逃生者的路线知识。地图中显示的路线需要指挥者与寻路者进行实时的信息交互, 因为逃生路线并不会随着寻路者的移动而进行自动更新。寻路者的操作方式是鼠标与键盘同时使用: 使用键盘上的按键以控制移动方向, 其中, W键是向前, S是向后, A键是向左, D键是向右; 使用鼠标控制朝向。寻路者全程以第一人视角进行实验。



图3 寻路者的信息界面

Figure 3 Information interface of pathfinder

## 1.3 因变量

实验中的因变量包括寻路时间、寻路路程、搜寻时间占比、修正次数和确认次数。寻路时间是参试者完成一次实验任务所花费的总时间, Unity3D可以实时输出寻路时间。寻路路程是参试者完成一次实验任务所走过的总路程, Unity3D可以记录参试者在实验过程中的动态信息坐标, 实验后通过坐标计算出各个点之间的距离, 并将其累加计算。搜寻时间占比是通过参试者在实验过程中转动搜寻的次数与采集点的总次数二者的比值得到, 其中是否发生转动搜寻行为是通过鼠标两点间的坐标进行判断。修正次数是指在实验过程中指挥者或寻路者发现路线出现问题, 二者通过语音沟通使寻路者找到正确的路线。确认次数是指在实验过程中指挥

者或寻路者无法判断当前情况, 二者通过与对方语音确认使寻路者找到正确的路线。修正次数和确认次数的确定则是通过语篇分析统计得到。

## 1.4 参试者

实验共招募32名参试者, 其中女生8人, 男生24人。根据两种指挥者的信息界面, 将参试者分为两组, 每组16人, 一次实验需要两名参试者, 即一组进行8次实验。实验分为建筑外部指挥者和建筑内部被火灾困住的寻路者, 二者需要通过沟通协作完成寻路。指挥者要求具有较强的空间能力或足够熟悉虚拟建筑物, 统一用前、后、左、右几个方位词来描述方位并指挥寻路者; 寻路者则需要对虚拟建筑完全陌生。两组参试者具有相同的性别构成, 且通过测定两组参试者的空间能力均不存在显著性差异( $F = 4.6, P = 0.9 > 0.5$ )。

## 1.5 实验场景

实验选取的场景为位于北京市大兴区的北京建筑大学学院楼B座, 其具有高层建筑复杂的空间结构特点。该建筑由B1~4F共5层组成。通过各楼层结构复杂度比较, 选取4F进行虚拟场景构建, 构建过程中按照真实的火灾场景布置不同的寻路障碍物。4F整体为U型结构, 用AutoCAD展示出的楼层俯视图见图4。其中黑色实心圆表示寻路者不同的起始位置, 共3个。黑色实心长方形表示寻路者在实验过程中的障碍物, 一旦障碍物被触将以图5和图6的形式呈现: 起火点或标志牌。在寻路者与障碍物的距离大于5 m时, 会触发障碍物突然呈现出如图5火焰的形式阻挡通路; 在寻路者与障碍物的距离小于5 m时, 会触发障碍物突然出现如图6标志牌标明“此路不通”文字的形式阻挡通路。障碍物的设计用来模拟实际火灾场景的突变性与紧迫性。

## 1.6 实验任务

采取组间实验形式。两组参试者在两种不同信息界面下进行独立实验, 第1组的两位参试者通过界面呈现的静态信息进行沟通交流寻路; 第2组的两位参试者通过界面呈现的动态信息进行沟通交流寻路。实验任务是参试者从虚拟建筑物里成功逃生, 实验需两人协作完成, 1人充当建筑外的指挥者, 另1人充当建筑内的逃生者, 两人需要通过信息的实时沟通不断完善寻路决策, 找到逃生出口。

在以静态信息呈现界面的实验过程中, 指挥者看到的界面是以平面次序呈现, 无法看到动态的起

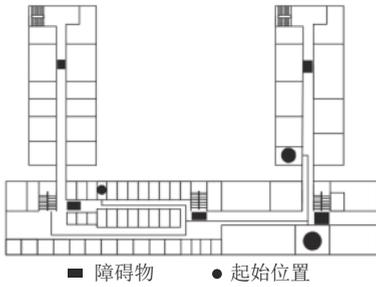


图 4 障碍及起始位置设置

Figure 4 Barriers and starting position settings



图 5 起火点

Figure 5 Fire point



图 6 标志牌

Figure 6 Sign board

火点和障碍物，因此逃生者必须与指挥者沟通，向他描述当前遇到的情况，例如，“我前面遇到起火情况了”或者“我前面标志显示此路不通了”。指挥者根据平面布局图通过点击界面设置导航路径引导。如果在逃生者到达出口前遭遇到火灾或障碍物导致无法前行的情况，双方重新制定路线直到实验结束，到达终点。

在以动态信息呈现界面的实验过程中，指挥者和逃生者可以看到相同的内部环境，因此指挥者可以知道逃生者的实时情况，比如遭遇的困难。但是由于在此界面下，指挥者无法得知逃生者所看到的界面，因此逃生者需要向指挥者描述其当前的界面状态，例如，“你在地图上给我标记的路径我现在

可以看到”等。指挥者根据动态信息界面通过点击界面设置导航路径引导。如果在逃生者在到达逃生出口前遭遇到火灾或障碍物导致无法前行的情况，双方重新制定路线直到实验结束，到达终点。

## 2 实验结果与分析

### 2.1 描述性统计分析

参试者在静态信息界面和动态信息界面下，寻路时间、寻路路程、搜寻时间占比、修正次数和确认次数的平均值统计如表1所示。结果显示，静态信息界面下参试者寻路所用时间是130.1s，寻路所走路程长度是386.9 m，搜寻时间的占比是23.3%，共进行5.63次的路线修正以及11.25次的路线确认。动态信息界面下参试者寻路所用时间是219.4 s，寻路所走路程长度是475.6 m，搜寻时间的占比为30.3%，共进行8.43次的路线修正以及9.14次的路线确认。以上结果可以看出，与动态信息界面相比，静态信息界面下人员寻路时所花费的时间更少，寻路所走的路程更短、搜寻时间的占比更低，寻路过程中对路线进行修正的次数更少，但对路线进行确认的次数更多。

表 1 描述性统计量

Table 1 Descriptive statistics

实验因变量	界面	
	静态	动态
寻路时间/s	130.1	219.4
寻路路程/m	386.9	475.6
搜寻时间占比/%	23.3	30.3
修正次数/次	5.63	8.43
确认次数/次	11.25	9.14

对实验过程中视频拍摄记录的参试者沟通过程进行汇总后，对其进行语言编码分析。依据文献[9]、[17]，本文将参试者的沟通内容共划分为指路、修正路线、进行确认以及请求修正4个部分。将实验过程中参试者的语言归到4个部分中，如表2所示。

表 2 语言编码分析

Table 2 Language coding analysis

编码	沟通内容
指路	沿着所走的道路前进，向右转，前进，直走顶到头
修正路线	不是这条路，马上掉头，往回走。向左走，快向左走。
进行确认	你能从这个出口出去吗？你看到电梯吗？你看见前面的岔路口了么？
请求修正	我需要新的指示，这里路不通。我该怎么走？你说的是这儿么？

将静态信息界面和动态信息界面下的指路、修正路线、进行确认以及请求修正次数平均值进行统计, 如图7所示。结果表明, 静态信息界面下的指路次数为17.25次, 共进行5.63次的路线修正, 11.25次的确认, 请求修正6.88次。动态信息界面下的指路次数为17.86次, 共进行8.43次的路线修正, 9.14次的确认, 请求修正6.86次。上述结果表明, 与动态信息界面相比, 静态信息界面下指挥者进行指路的次数与请求修正的次数差别不大, 进行修正的次数更低, 但进行确认的次数更高。

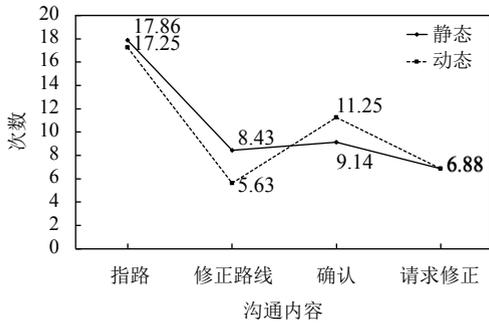


图7 编码分析统计  
Figure 7 Coding analysis statistics

## 2.2 方差分析

为验证逃生所走的路程、逃生所用的时间、逃生的搜寻时间占比、逃生路线的修正次数和逃生路线的确认次数在静态信息界面和动态信息界面下是否存在显著性差异, 本文采用单因素方差分析的方法, 如表3和表4所示。

表3 不同信息呈现下路程单因素方差分析  
Table 3 Single factor analysis of variance in different information presentation

源	类III平方和	自由度	均方	F 检验统计量	显著性概率P值
组间	63 811.918	1.000	63 811.918	7.270	0.019
组内	105 334.686	14.000	8 777.891		
总计	169 146.604	15.000			

通过对静态信息界面和动态信息界面下的寻路路程长度进行分析, 发现两种信息呈现形式下的寻路路程长度有显著性差异 ( $P = 0.019 < 0.05$ )。结果表明, 在寻路过程中, 界面信息不同的呈现方式会导致参试者在路径选择的方式上有显著差别, 如表3所示。结合表1的结果可以看到, 静态信息呈现形式下的寻路路程长度显著小于动态信息呈现形式下的寻路路程长度。

通过对静态信息界面和动态信息界面下的寻路时间进行分析, 发现两种信息呈现形式下的寻路时间长短有显著性差异 ( $P = 0.026 < 0.05$ )。结果表明, 在寻路过程中, 界面信息不同的呈现方式会导致参试者在路径行走时间上有显著差别, 如表4所示。结合表1的结果可以看到, 静态信息呈现形式下的寻路时间显著小于动态信息呈现形式下的寻路时间。

表4 不同信息呈现下时间单因素方差分析  
Table 4 Analysis of time single factor variance under different information rendering

源	类III平方和	自由度	均方	F 检验统计量	显著性概率P值
组间	27 901.785	1.000	27 901.785	6.370	0.026
组内	52 558.571	14.000	4 379.880		
总计	80 460.357	15.000			

通过对静态信息界面和动态信息界面下搜寻时间占比进行显著性分析, 发现两种信息呈现形式下的搜寻时间占比有显著性差异 ( $P = 0.003 < 0.05$ )。结果表明, 在寻路过程中, 不同的寻路信息提示方式会导致指挥者和寻路者在搜寻次数上存在显著差别, 如表5所示。结合表1的结果可以看到, 动态信息呈现形式下, 也就是参试者双方拥有相同视角时的搜寻时间占比要显著高于参试者双方共享局部静态信息时的搜寻时间占比。这表明参试者在不同的信息呈现形式下会作出不同的寻路决策。

表5 搜寻时间占比显著性分析

Table 5 Significance analysis of the proportion of search time

源	类III平方和	自由度	均方	F 检验统计量	显著性概率P值
组间	0.019	1	0.019	12.60	0.003
组内	0.021	14	0.001		
总计	0.041	15			

通过对静态信息界面和动态信息界面下修正路线的次数进行分析, 发现两种信息呈现形式下对路线进行修正的次数有显著性差异 ( $P = 0.043 < 0.05$ )。结果表明, 在寻路过程中, 不同的寻路信息提示方式会导致指挥者和寻路者在修正寻路路线上存在显著差别, 如表6所示。

结合图7的结果可以看到, 指挥者在指挥过程中给寻路者指示信息的数量不存在显著差异, 但就对路线修正的次数而言, 静态信息呈现形式要显著低于动态信息呈现形式。这表明当双方拥有相同视

表6 不同信息呈现下修正路线显著性分析

Table 6 Significance analysis of modified routes under different information rendering

源	类III平方和	自由度	均方	F 检验统计量	显著性概率P值
组间	73.142	1	73.142	5.086	0.043
组内	172.571	14	14.380		
总计	245.714	15			

角时, 在寻路沟通过程中选取参照物的数量会更多, 出错以及进行路线修正的次数也会更多。

通过对静态信息界面和动态信息界面下确认路线的次数进行分析, 发现两种信息呈现形式下对路线进行确认的次数有显著性差异 ( $P = 0.004 < 0.05$ )。结果表明, 在寻路过程中, 不同的寻路信息提示方式会导致指挥者和寻路者在确认寻路路线上存在显著差别, 如表7所示。

表7 不同信息呈现下确认数量显著性分析

Table 7 Significance analysis of the number of confirmations under different information rendering

源	类III平方和	自由度	均方	F 检验统计量	显著性概率P值
组间	31.5	1	31.5	11.918	0.004
组内	31.714	14	2.642		
总计	63.214	15			

结合图7的结果可以看到, 就路线确认的次数而言, 静态信息呈现形式显著高于动态信息呈现形式。这表明在静态信息界面下, 双方在寻路沟通过程中无法共享视角, 所以产生更多次的路线确认。而当双方拥有相同视角时, 无需口头确认看到的对象, 所以产生较少次的路线确认。虽然先前认为路线确认次数的增加不仅会使寻路时间加长, 还可能使认知地图的构建难度增大, 但由于在实际寻路的过程中确保了寻路的正确性, 使得修正路线的时间大大减少。虽然自我参考框架的认知方式为人员带来更高的自由度, 但出错率也会增加, 从而导致寻路的有效性降低。

### 3 讨论

针对实验结果, 从寻路层面针对时间、路程进行分析, 在空间信息的交互层面在寻路层面的基础上结合搜寻时间占比、确认次数、修正次数进行讨论。

寻路层面, 如表3~4所示, 基于静态信息界面的寻路时间更短, 寻路路程更短。静态信息界面的

空间认知对象是基于平面布局图的, 包含概览知识, 在空间要素层面, 它的认知对象层级更高, 更趋向于一种空间布局。它使得空间感知更倾向对空间整体格局的感知, 更易于形成环境空间表征的认知方式。在多数研究中, 环境空间表征包含更低的误差, 往往会有更好的寻路表现<sup>[6-7]</sup>。动态信息界面的空间认知对象是基于寻路者自身, 它包含更多的空间认知对象, 例如门牌号、障碍物等, 在空间要素层面, 它的认知对象层级更低, 更趋近于游览式的空间认知。空间感知更倾向于路径知识, 优点是更准确地自我指向控制, 缺点是随着时间的增加, 路径知识会带来更多的误差, 使得在单一寻路任务中随着转角增加路径方向效应增加。

在空间交互层面, 如表5~7所示, 静态信息界面包含更多的确认、更少的修正、更少的搜寻时间占比。结合寻路层面这种表现是正确的, 即在拥有相同视角的情况下, 人员会产生更少的交互行为与更多的探索<sup>[15]</sup>, 在相同空间布局中会有更多空间对象的确认<sup>[9,18]</sup>。结合交互行为来看寻路行为, 更少的修正代表更少的错误路径, 更多的确认代表双方基于的空间框架为环境参考框架, 更多的搜寻代表双方的空间框架为自我参考框架。所以基于自我参考框架有更多的搜寻时间占比、修正空间对象及路程。基于环境参考框架有更多空间对象的确认、更短的路程及更少的空间对象的修正。

就实验数据而言, 相比在动态空间信息下, 人员在建筑内寻路时使用静态空间信息更有助于逃生路线的精准制定, 更稳定与更少空间标识的使用使得寻路更优。火焰、障碍塑造的紧迫与对空间布局的破坏没有影响到环境参考框架在寻路中的结果。造成这种结果可能是由于实验所选取的环境是基于实际存在的建筑, 建筑设计经过多年发展有明确规定, 逃出口要尽可能的集中、更利于人员寻路, 在设计理念上考虑过一定程度的道路阻塞对空间结构的影响<sup>[19]</sup>。在山地救援、开放空间、黑暗环境等空间中, 可能基于自我参考框架针对不确定空间感知更优。综上所述, 消防日常演练、定点训练等基于所负责片区的空间救援、训练基于静态参考框架的交互方式更利于完成寻路目的, 针对非规范建筑中空间信息的交互模式还有待进一步研究。

### 4 结论

本文探讨了建筑火灾中远程空间信息不同呈

现形式对人员寻路决策的影响。研究搭建模拟真实火灾的虚拟逃生平台, 将参与者设立为指挥者和逃生者, 研究火场中空间信息的交互行为, 获得不同信息呈现形式下的人员寻路数据并进行分析。结果表明, 基于概览知识的环境参考框架进行沟通可以使双方更快在高水平空间要素上达成共识缩短用时。基于路径知识的自我参考框架虽然使得双方更能把握火场中动态变化的空间信息要素, 但参照物的增多反而让空间信息的交互策略变得更低效。因此就高层建筑火灾中的寻路行为而言, 障碍物存在的情况下无论在寻路本身或交互层面基于概览知识的环境框架都优于基于路径知识的自我参考框架。

#### 参考文献:

- [1] 李建华, 张光俊, 黄郑华. 人员密集场所火灾扑救内攻搜救战术研究[J]. *消防科学与技术*, 2011, 30(4): 326-329.  
LI Jianhua, ZHANG Guangjun, HUANG Zhenghua. Study on firefighting inner rescue of assembly occupancies[J]. *Fire Science and Technology*, 2011, 30(4): 326-329.
- [2] 颜学华. 研究新时期下高层办公建筑人员疏散及灭火救援战术[J]. *建设科技*, 2017(20): 148.
- [3] MONTELLO D R. Spatial cognition[J]. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 2001, 22(22): 14771-14775.
- [4] SADALLA E K, BURROUGHS W J, STAPLIN L J. Reference points in spatial cognition[J]. *Journal of Experimental Psychology Human Learning & Memory*, 1980, 6(5): 516.
- [5] BARTIE P, MILLS S, KINGHAM S. An egocentric urban viewshed: a method for landmark visibility mapping for pedestrian location based services[M]. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2008.
- [6] 李丹, 杨昭宁. 空间导航: 路标学习和路径整合的关系[J]. *心理科学进展*, 2015, 23(10): 1755-1762.  
LI Dan, YANG Zhaoning. Spatial navigation: the relationship between landmark learning and path integration[J]. *Advances in Psychological Science*, 2015, 23(10): 1755-1762.
- [7] SIEGEL J J, NITZ D, BINGMAN V P. Spatial-specificity of single-units in the hippocampal formation of freely moving homing pigeons[J]. *Hippocampus*, 2005, 15(1): 26.
- [8] THORNDYKE P W, HAYESROTH B. Differences in spatial knowledge acquired from maps and navigation[J]. *Cognitive Psychology*, 1982, 14(4): 560-589.
- [9] FU W T, D'ANDREA L, BERTEL S. Effects of communication methods on communication patterns and performance in a remote spatial orientation task[J]. *Spatial Cognition & Computation*, 2013, 13(2): 150-180.
- [10] HINDMARSH J, FRASER M, HEATH C, et al. Fragmented interaction: establishing mutual orientation in virtual environments[C/OL]//Proceeding of the 1998 Acm Conference on Computer Supported Cooperative Work. New York: ACM, 1998(1998-11-01). <https://dl.acm.org/doi/10.1145/289444.289496>.
- [11] LOMBARD M, JONES M T. Defining presence[M]. Switzerland: Springer International Publishing, 2015.
- [12] GAVER W W, SELLEN A, HEATH C, et al. One is not enough: multiple views in a media space[C/OL]// Proceeding of the Interact 93 & Chi 93 Conference on Human Factors in Computing Systems. New York: ACM, 1993. (1993-05-01). <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/169059.169268>
- [13] HINDMARSH J, FRASER M, HEATH C, et al. Object-focused interaction in collaborative virtual environments[J]. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 2000, 7(4): 477-509.
- [14] CHELLALI A, MILLEVILLE-PENNEL I, CÉDRIC D. Influence of contextual objects on spatial interactions and viewpoints sharing in virtual environments[J]. *Virtual Reality*, 2013, 17(1): 1-15.
- [15] 高晓童, 秦华. 建筑火灾中远程交互模式对寻路绩效的影响[J]. *工业工程*, 2019, 22(4): 116-122.  
GAO Xiaotong, QIN Hua. Influence of remote interaction mode on pathfinding performance in building fires[J]. *工业工程*, 2019, 22(4): 116-122.
- [16] 鲁学军, 秦承志, 张洪岩, 等. 空间认知模式及其应用[J]. *遥感学报*, 2005, 9(3): 277-285.  
LU Xuejun, QIN Chengzhi, ZHANG Hongyan, et al. Spatial cognitive mode and its application[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2005, 9(3): 277-285.
- [17] CARPMAN J R, GRANT M A, SIMMONS D A. Hospital design and wayfinding: a video simulation study[J]. *Environment & Behavior*, 1985, 17(17): 296-314.
- [18] 谌小猛, 刘春玲, 乔福强, 等. 盲人建构陌生环境空间表征的策略及其作用[J]. *心理学报*, 2016, 48(6): 637-647.  
CHEN Xiaomeng, LIU Chunling, QIAO Fuqiang, et al. The process of construction of spatial representation in the unfamiliar environment in the blind: The role of strategies and its effect[J]. *Acta Psychologica Sinica*, 2016, 48(6): 637-647.
- [19] HÖLSCHER C, MEILINGER T, VRACHLIOTIS G, et al. Up the down staircase: wayfinding strategies in multi-level buildings[J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2006, 26(4): 284-299.

(责任编辑: 刘敏仪)