

# 安全疏散视角的地下街步行路径自然采光分析

潘 峯<sup>1,3</sup>, 颜 勤<sup>1,2</sup>, 罗 雪<sup>2</sup>

(1. 重庆大学 建筑城规学院, 重庆 400044; 2. 重庆建筑工程职业学院, 重庆 400072;  
3. 山地城镇建设与新技术教育部重点实验室, 重庆 400044)

**摘要:** 通过现场调研重庆城市中心区地下街自然采光现状, 从地下街安全疏散步行路径体系中的出入口、街道、中庭节点三方面开展调研, 总结实例中影响自然采光条件的原因与其中存在的问题。分析现状问题对于地下街紧急时刻人们安全疏散的影响, 提出基于安全疏散视角的自然采光优化改善措施, 可利用主动式、被动式或两者相结合的采光法进行改善, 包括增加梯段自然采光面积、增设采光天窗、引入自然采光等方面。为地下空间的安全疏散提供具有较强空间感知的自然光标识系统指引, 有利于改善地下空间易迷路方向感缺失等问题, 探讨总结适宜地下空间安全疏散的自然采光技术。

**关键词:** 城市防灾, 天然光, 地下空间, 安全疏散, 采光设计

中图分类号: TU 92

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2019)04-0597-08

## Analysis of natural lighting in underground street walking path from perspective of safety evacuation

PAN Yin<sup>1,3</sup>, YAN Qin<sup>1,2</sup>, LUO Xue<sup>2</sup>

(1. Faculty of Architecture and Urban Planning, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. Chongqing Jianzhu college, Chongqing 400072, China;

3. Key Laboratory of New Technology for Construction of Cities in Mountain Area, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** The paper surveyed the natural lighting condition of underground streets in Chongqing urban center. The research focused on three aspects: the entrance, the street and the atrium node of the safe evacuation walking path system in the underground street. The problems of natural lighting cases, are summarised and the effect of current situation on the safety evacuation of people in the underground street analyzed. It proposed optimization methods on safety evacuation perspective of natural lighting, and could be improved by active lighting technology, passive lighting technology or both. It included increasing the natural lighting area of ladders, adding lighting skylights and introducing natural lighting. These measures will provide strong spatial awareness guidance for the safety evacuation of underground space with a natural light identification system. It will be helpful both in improving the problem of the lack of directional sense in the underground space, and in exploring the natural lighting technology for safety evacuation in underground space.

**Key words:** urban disaster prevention; natural lighting; underground space; safety evacuation; lighting design

国家统计局公布 2017 年中国城镇化率达到 58.52%, 中国的城市化处于快速发展时期, 土地资源稀缺让城市地下空间开发利用同步加快发展成为必然, 特别是随着大城市中心区商业综合体开发, 城市地铁与轻轨建设而高速发展。地下空间开发的规模、深度、数量不断增加的同时, 其中的人员容量与高峰小时人流量也随之增大, 防灾疏散的任务愈发艰巨, 地下空间的安全性研究凸显出重要性及紧迫性<sup>[1]</sup>。地下空间因其封闭等特

殊的环境特征, 防灾疏散与地面建筑有较大的差异, 环境使用的安全性一直是研究的焦点<sup>[2]</sup>。

地下空间环境的使用从人对环境的感知出发, 分为声、光、热三个方面, 其中光环境对于安全疏散具有先决条件, 人员疏散具有趋光性由光线引导疏散行为。通过近年来学术期刊数据库检索, 文献资料分类归纳, 发现我国对地下空间光环境的研究主要集中在节能、绿色生态技术、主动或被动技术、自然光引入等方面。如利用主动太阳

收稿日期: 2018-05-24

修改稿日期: 2019-06-10

基金项目: 中国博士后科学基金(2018M631062); 重庆市教委科学技术研究项目(KJ1504201); 重庆市建设科技计划项目(城科学 2015 第(1-33)号)。

第一作者: 潘 峯(1987—), 男, 博士后, 讲师, 主要从事城乡安全研究, E-mail: panyin@cqu.edu.cn

光学系统等导光装置在地下空间中引入自然光的方法,在城市地下空间自然光环境营造中提出了被动式自然采光法<sup>[3]</sup>,根据地下空间光环境特性,提出被动式、主动式自然采光技术,与人工照明技术集成应用的方法<sup>[4]</sup>,北方城市地下空间设计结合自然通风和采光的方法<sup>[5]</sup>.对地下空间防灾和步行路径方面的文献,主要有通过案例实证手段研究地下街防灾对策评价方法,探讨安全性评价的界限、防灾综合体系评价方法<sup>[6]</sup>.通过分析地下空间环境中人的心理与生理特征与无法利用日光变化、天然光不足相关,研究地下建筑提供自然光线的方法<sup>[7]</sup>.在寻路实验和空间导向的基础上,认为寻路设计建议包括地下空间与地上环境建立关联、平面布局简洁清晰、设置空间差异、出入口重点设计等结论<sup>[8]</sup>.有研究提出城市地下空间环境设计的心理影响因素主要包括环境舒适度、地图标识、空间方向识别、公共设施、人工环境、标识牌设置、环境多样性等7个方面<sup>[9]</sup>.防火区间、安全疏散口、疏散宽度取值等方面的现状问题,是解决疏散安全的关键<sup>[10]</sup>.地下空间视觉环境缺乏自然光情况下,疏散路径与临时避难空间双重避难空间格局至关重要.

从以上文献综述可见地下空间光环境研究已经形成了主动式采光、被动式采光与人工照明的方法,学者们逐渐关注天然光在地下空间设计中的应用.而光学与地下空间防灾方面的交叉学科研究成果较少,仅有地下空间建筑消防、地下防灾系统构建等方面,较少有学者从安全疏散视角探讨自然光如何引导紧急时刻人们的安全疏散,鲜有基于安全疏散视角对地下街步行路径自然采光设计研究.所以本文基于安全疏散视角,探讨

步行路径中对自然采光的需求及技术应用方法,提出安全疏散步行路径构成框架,通过对地下街疏散步行路径进行实地现状调研,提出自然采光的优化措施,以期以交叉学科的研究方式拓展光学与建筑防灾学科研究领域的边界.

## 1 对自然光的需求与安全疏散指引

### 1.1 人对地下空间自然光的需求层次

美国社会学家马斯洛认为人有7种基本需要:生理、安全、归属与爱、尊重、认知、审美、自我实现.这7中需求层递进的关系,安全作为人的最基本需求在家庭与社会环境中得以实现.地下街中的人们对自然光的需求属于第一个层次的基础需求,消除人们在地下空间中的恐惧心理.第二个层次为安全感的完善需求,地下空间如果发生紧急事件或灾害时突然停电,自然光引入能保障人们顺利地疏散出去.第三个层次为舒适性的提升需求,自然光能保证植物存活让地下空间也具有地面环境的特征.

### 1.2 自然光引导的安全疏散可达性

自然光引导的安全疏散可达性分为三个层次,即层次一“思维可达性—自然光引入构建认知地图”;层次二“视线可达性—自然光标识便于辨别方向”;层次三“行为可达性—保障正确的疏散行动”.自然光引入地下空间步行路径中,将改变步行路径中的环境特征,从而为人们带来较强的空间感知<sup>[11]</sup>,进而在思维中构建对地下空间布局的认知地图,对地下空间的整体布局形成记忆框架(图1).空间是指一切围绕着人而形成的客观存在的物质实体构架,人在空间中的存在和活动作为空间的最基本构成要素<sup>[12]</sup>.地下空间中的自然光

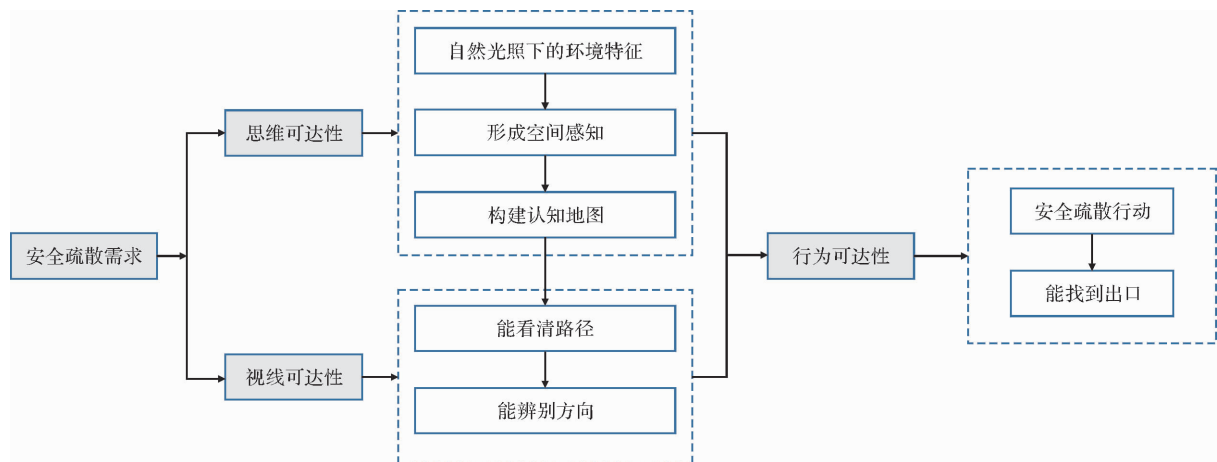


图1 地下空间自然光引导的安全疏散可达性

Fig. 1 Safe evacuation accessibility guided by natural light in underground space

作为一种白天的天然标识能照亮行径的路径,及时在紧急时候发生停电的情况下仍然能够有效地提供照明,为漆黑的地下空间提供视觉的安全疏散指引。人们需要首先看清楚前行的路径,那么就需要在步行路径中、出入口、中庭广场引入自然光,让人们能够在行径时辨别方向高效安全地疏散。地下空间内人们的行为可达是最终保障安全疏散的条件,通过自然光思维与视线的可达性构建,在人们的大脑中建立了空间的认知地图,让人们看清路径辨别出入口所在的方向,为疏散行为的可达性提供了基础支撑。

## 2 地下街步行路径自然采光现状调研

重庆主城中心区地下空间的类型主要包括:地下过街通道、地下商业街、地下商场、地铁及轨道站点、地下车库等。其中地下过街通道、商业街等功能属于浅层开发,且人流量较大,本文针对此类的地下街,选取重庆主城五大商圈中具有特征性的8个实例进行集中调研。通过构建安全疏散步行路径,根据不同位置的步行路径,如出入口、街道中、中庭等三类不同的空间,归纳统计地下街自然采光的现状。

### 2.1 安全疏散步行路径的构建

当地下街发生火灾导致停电等紧急事件时,人们可能从任意起点位置,通过水平步行路径、防灾广场、扩大节点或中庭空间、垂直步行路径疏散至地面出口,构建地下街安全疏散步行路径网络(图2)。本文以安全疏散的起点在地下街街道中进行举例,在疏散的整个过程中需要自然光直接或间接地指引人们疏散的行为,从而最大限度地保证人们在地下空间中的安全。

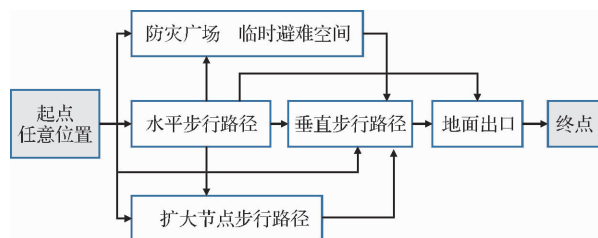


图2 地下空间安全疏散步行路径构成分析

Fig. 2 Analysis on safety evacuation of walk path in underground space

### 2.2 出入口步行路径自然采光现状

从地下街实例的平面形态、层数、开发起源、实例功能、地面功能、地面环境、出入口数量等方面进行调研记录(图3)。在调研中发现目前地下街步行路径中自然采光存在如下问题,包括出入

口自然采光未照射到出入口节点、未能形成趋光性的空间感知构建人们的认知地图,实例未从安全疏散角度引入自然光,地下街自然采光受开发起源与外部环境等因素限制。

#### 2.2.1 出入口自然采光指引空间感知弱

在调研的8个案例中,有自然采光的出入口数量占出入口总数量的81.82%,其中顶部采光的垂直出入口的数量占采光出入口总量的90.48%,侧向采光的水平出入口占总量的9.52%。顶部采光的垂直出入口中有玻璃顶的占57.89%,无玻璃顶的占42.11%。从统计数据来看,地下街已经具有良好的出入口采光情况,然而在出入口对应的地下空间中,却仅有较少的空间能够真正感知到地面的阳光或自然光线。因出入口的自然采光面积多为1个梯段的垂直投影面积,而地下街深度较大,大多地下街需要2至3个梯段的高差才能下到地下街负一层地面的标高。一个梯段面积的自然光无法照射到地下街的出入口节点空间中,所以对于步行路径中人们的安全疏散空间感知指引较弱。

实例中仅有沙坪坝三角碑转盘地下街的自然采光基本能满足安全疏散需求,三角碑转盘地下街的面积在最小为1500 m<sup>2</sup>。它于1987年建成,平面形态为十字形,过街通道的交通功能,步行路径中的方向性较强。顶部为采光的中庭空间,8个出入口均有较大光通量,路径中部能明确感知出入口的方位,自然光能构建人们在地下街中安全疏散的空间感知与认知地图(图4~5)。

#### 2.2.2 出入口节点空间环境差异性不足

地下街实例出入口的地面环境以步行广场居多,步行广场与人行道均具有自然采光引入地下街的条件。其中三峡广场地下购物广场的出入口共16个,15个出入口有自然光引入,11个无采光玻璃顶,部分出入口具有自然采光的改造条件(图6)。地下商业街为实现商业利益最大化,将能够布置为商铺的空间几乎用尽,地下街出入口的节点空间通常仅预留出了疏散通道的宽度,对于地下空间人流的安全疏散并未作充分的考虑。鲜有部分出入口稍微设置了节点放大空间或景观标识的差异化,为人们建立地下空间的认知地图提供了些许感知的场所。且出入口的地面自然光并未引入到地下街节点空间,节点空间的环境景观与地下街步行路径无较大的差异,导致空间的可识别性低,对于紧急事件或灾害发生时的安全疏散不利。



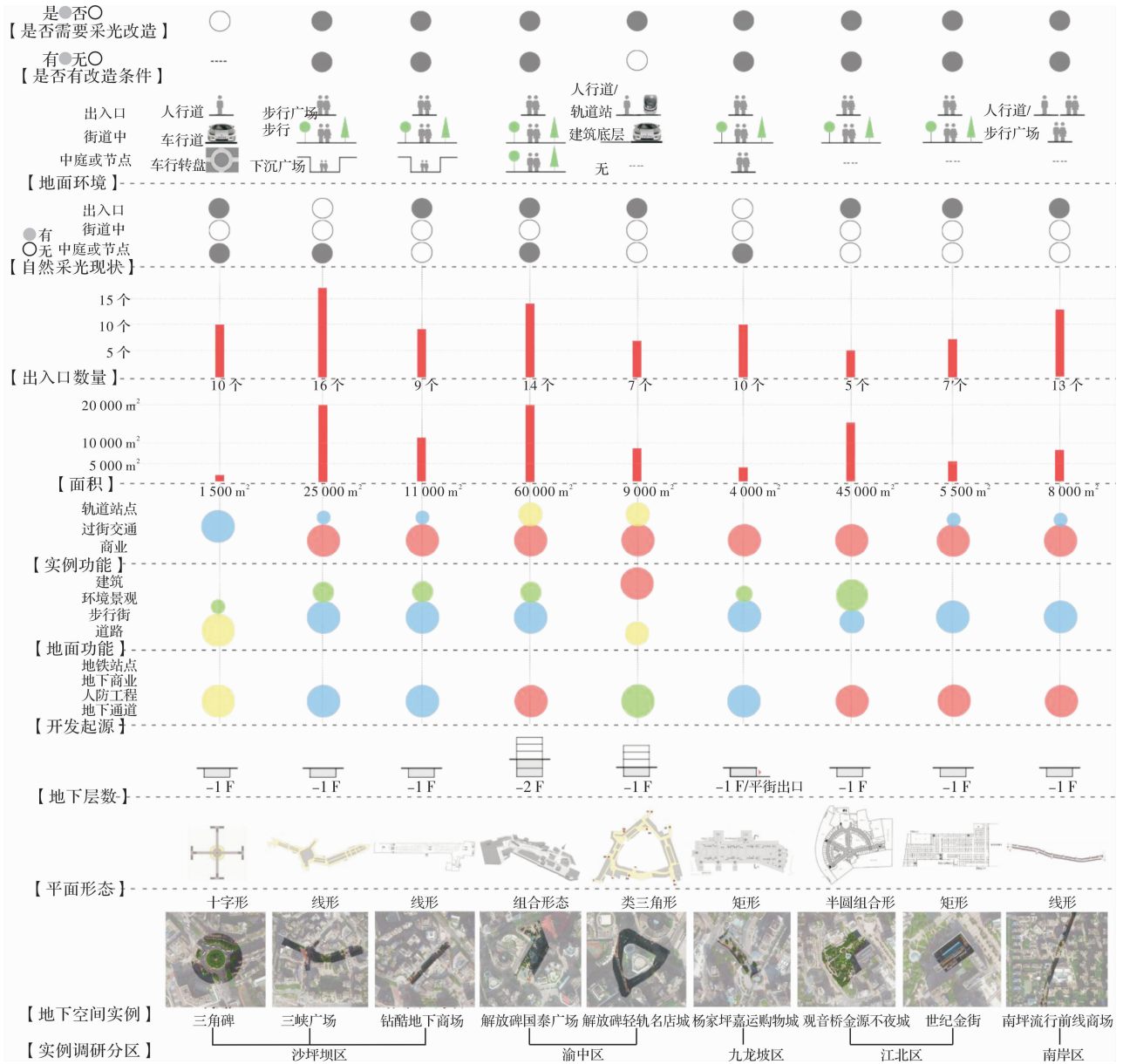


图 3 地下街实例特征对比图  
Fig. 3 Comparison of underground street instance feature

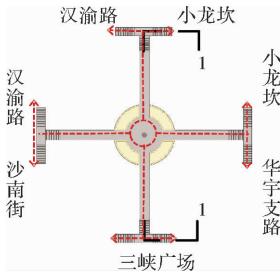


图 4 沙坪坝区三角碑地下通道平面图  
Fig. 4 Plan of underground path in Shapingba Delta Tablet

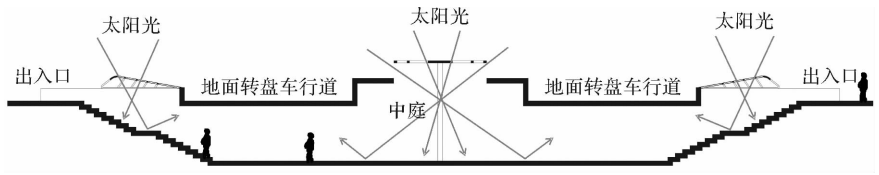


图 5 沙坪坝区三角碑地下通道 1-1 剖面示意图  
Fig. 5 Profile of underground path in Shapingba Delta Tablet

### 2.3 街道步行路径自然采光现状

#### 2.3.1 步行路径照明仅依赖人工光

笔者在重庆主城商圈地下空间步行路径的调研过程中,统计出地下街的步行路径全部依赖人

工光源照明,均无自然采光设计作为安全疏散的光线标识.造成调研中的直观体验感受为地下空间步行路径标识不明—容易迷路、方位感知缺乏—难以辨别方向、空间感封闭—易产生恐惧感,

如果紧急时刻停电, 地下空间人们的安全疏散逃生将存在视线不可达等问题。

### 2.3.2 步行路径未形成主次体系

在地下街水平步行路径无自然采光的情况下, 均为人工照明维持地下空间照度。当地下街仅有一条主要步行路径的情况下(图7), 具有较强的识别性, 人们可在水平步行路径中沿着街道行径就能够通往垂直步行路径到达出口; 有的地下街局

部为两条水平步行路径, 人们在街道中能够沿着街道长边方向疏散; 有三条或多条平行的水平步行路径的地下街(图8), 形成步行网络, 这种情况下无自然光照比较容易迷失方向而找不到出口。地下街的步行路径未形成主次步行道的关系, 导致人们难以在地下街中准确的把握其形状和边界, 对于初次进入地下街的人们, 不熟悉地下街的布局 and 步行路径, 紧急事件发生时难以安全疏散。

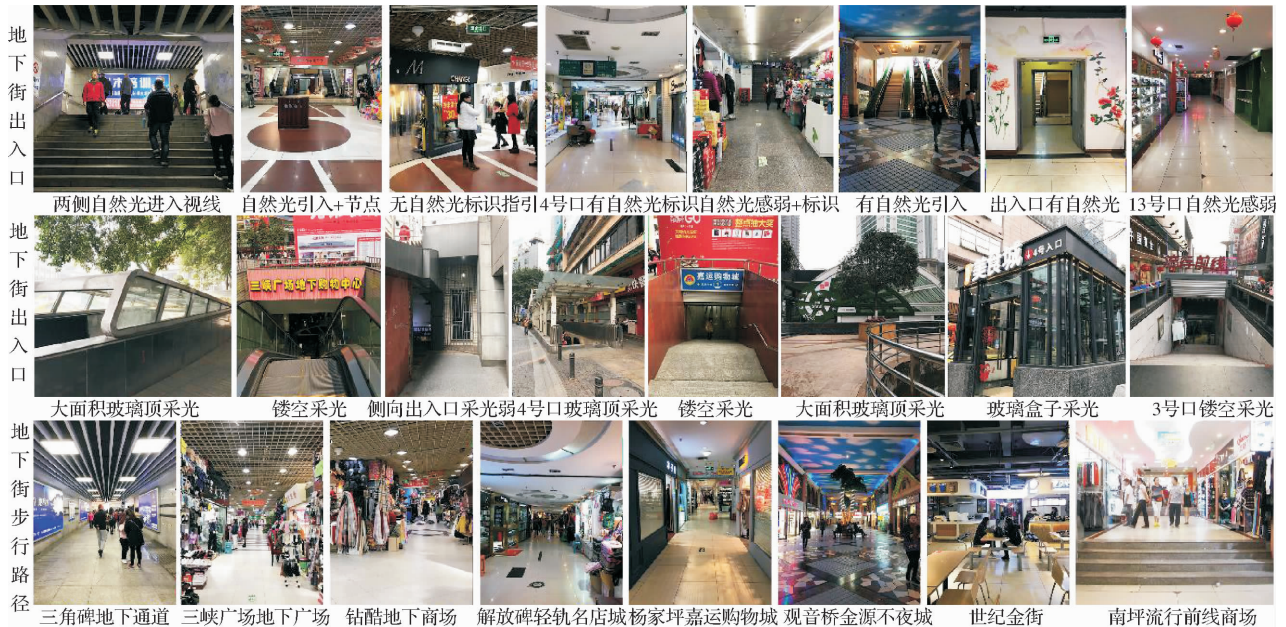


图6 调研实例出入口与街道中步行路径现状照片

Fig. 6 The entrance to a street pedestrian paths in the status quo

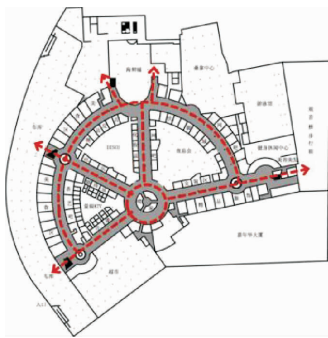


图7 金源不夜城平面图及步行路径

Fig. 7 Pedestrian paths in Jinyuan underground street

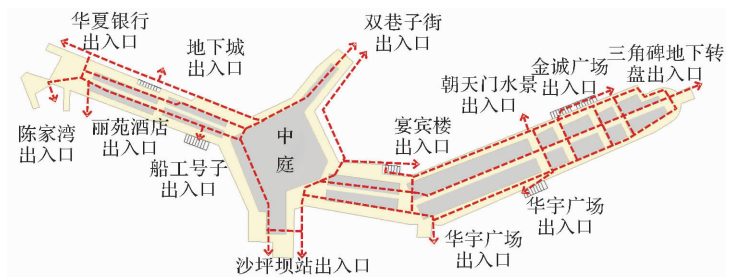


图8 三峡广场地下购物广场平面图及步行路径

Fig. 8 Pedestrian paths in Sanxia underground shopping mall

### 2.3.3 标识系统不明确方向感缺失

目前地下空间仍然仅采用标识系统指引方位, 如低位安全出口指示灯, 悬挂指示出口的文字牌, 然而发生火灾事故时, 高位的方向指示牌可能会被烟雾遮住而无法辨识, 所以仅能依赖低位的安全出口方向的指示灯判断方位。在地下街中的安全出口指示灯未形成完善体系的情况下, 不能保证在任何位置都能找到正确的出口方向<sup>[13]</sup>。

### 2.4 中庭或节点步行路径自然采光现状

在调研的8个案例中5个案例有中庭, 其中室内中庭3个, 室外中庭2个。室内中庭天窗自然采光良好, 室内中庭位于中部情况通常为顶部玻璃顶采光, 如金源地下城、三角碑转盘地下街、钻酷地下商场, 采光天窗能够为地下空间营造良好的空间感(图9), 为人们的安全疏散提供可识别性较强的空间, 对于安全疏散的方位判断极为有利。



室外中庭位于一端的情况通常为下沉广场,能为引入出入口的侧向采光,如三峡广场地下商业购物广场、杨家坪嘉运购物城,但出入口侧向采光

对地下街安全疏散的指引性不强,因光通量对步行路径的影响范围有限、出入口识别度低等原因。



图9 实例中庭现状照片

Fig. 9 The photos of atrium status

### 3 地下街步行路径自然采光优化改善措施

针对以上调研中发现的问题,结合地下空间建筑自然采光方法,提出在地下街引入自然光的策略。为地下街安全疏散提供双重保障,在正常情况下以使用人工照明为主,辅以应急照明体系;在紧急情况停电的情况下也能通过自然光作为标识系统引导人们的安全疏散逃生,保障人们的安全。自然采光的方法主要有被动式采光法和主动式采光法两类:被动式采光法是通过利用不同类型的建筑窗户进行采光的方法;主动式采光法则是利用集光、传光和散光等装置与配套的控制系统将自然光传送到需要照明部位的采光法。根据实例中不同位置的步行路径将采用不同的采光优化改善措施,如出入口处可增设被动式的采光天窗、步行路径中采用主动式和被动式结合的采光法、中庭处以被动式为主和主动式为辅的采光法等。

#### 3.1 出入口步行路径自然采光优化改善措施

##### 3.1.1 增加梯段中自然采光的面积

在地下街垂直步行路径楼梯台阶的出入口空间,一般具有自然采光的条件,垂直步行路径采用楼梯、自动扶梯或两者兼有的方式联系地下空间与地面出入口。优化改善可参照沙坪坝三角碑转盘地下通道实例,其出入口采光顶面积较大,自然光引入效果明显。出入口地面环境多为人行道、步行广场等,具有被动式自然采光优化改造建设的条件,可采用增加梯段采光面积的方法(图10、11),位于地下街中庭下沉广场的出入口多采用侧面自然采光的方式,可引入主动式的导光方法,增加出入口处的自然光通量。

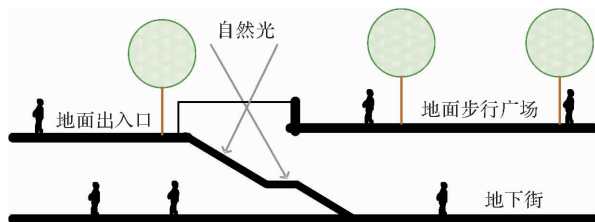


图10 地下街出入口优化前剖面示意图

Fig. 10 Profile of the entrance of the underground street before optimization

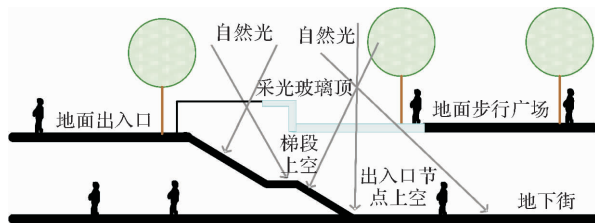


图11 地下街出入口增设玻璃顶优化后剖面示意图

Fig. 11 Profile of the entrance of the underground street after optimization

##### 3.1.2 节点顶部增设自然采光天窗

在地下空间出入口节点处的顶部垂直投影处,改造增设自然采光玻璃顶天窗或天井(图10、11),为地下街中的人们形成趋光性的出入口空间感知。若改造处为地面广场可处理为钢化玻璃地面,优化改善将不减少地面步行广场面积;改造处为环境景观,可适当减少环境景观面积,增设玻璃顶天窗。优化改善后地下街出入口节点将会有更加明晰的自然光作为出入口标识,指引人们在地下街的安全疏散。

##### 3.1.3 设计节点空间构建认知地图

在地下空间出入口处设计具有识别性的节点空间,形成与街道环境景观有差异性的空间,构建人们在地下空间中的认知地图,为人们的安全疏散提供思维可达性与视觉可达性,让人们在思

维上识别出入口空间, 并能够清楚明细地看到出入口空间节点. 采用扩大出入口节点空间、增设不同景观环境、拆除出入口空间视线遮挡物等方法优化改善, 结合前两个优化措施自然光引入节点空间, 形成光导向性的标识系统, 为人们的方位导向提高效率.

### 3.2 街道中步行路径自然采光优化改善措施

#### 3.2.1 主要步行路径中引入自然采光

视觉认知心理学研究成果表明, 光不仅仅被看成是一种刺激, 而更应该被看作为一种结构. 在地下空间中设计线形网络的自然采光结构, 为灾时的安全疏散提供保障防线. 在地面步行广场环境允许的情况下, 为地下空间步行路径引入自然采光. 根据不同地下街的面积大小与形状特征, 针对性地确定自然采光分区、采光区的面积、路径长度. 在优化改善时确定地下街中需要引入自然光的主要步行路径网络, 主要的步行路径网络将联系各个出入口, 形成步行网络体系, 在网络体系中引入带状的自然光. 持续不断地为地下街提供自然光线, 指引人们在地下街的空间感知, 建立主要路径的认知地图, 形成良好的方向感.

#### 3.2.2 间隔式采光点作为标识系统

街道中步行路径的地面环境位于车行道、步行广场、绿化景观或建筑底层, 通常不具有被动式自然采光优化改造与建设的条件, 是地下空间步行路径中自然采光设计的难点. 步行路径中可采用主动式自然采光设计的方法, 结合线形的步行路径网络体系, 间隔式地布置自然光点光源导光管(图12). 光导管照明系统将通过采光装置聚集室外的自然光线并导入系统内部, 再经过特殊制作的导光装置多次反射改变自然光的传播方向, 并将光线反射到系统底部的漫射器, 由系统底部的漫射装置把自然光线均匀导入到室内任何需要光线的地方<sup>[14]</sup>. 采光点数量与间隔距离根据主要步行路径面积、长度、采光分区等因素确定, 将采光点作为地下街安全疏散的标识系统来建立, 为人们照亮前行的路径, 指引正确的疏散逃生方向.

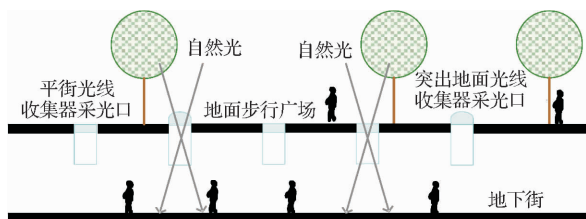


图12 间隔式光线收集器采光口示意图

Fig. 12 Interval type daylighting collector

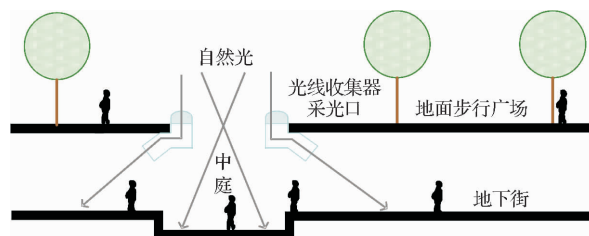


图13 中庭侧向出入口光线收集器采光口示意图

Fig. 13 Lateral daylighting collector in atrium entrances

### 3.3 中庭或节点步行路径自然采光优化改善措施

中庭空间作为地下街或城市步行广场中具有标识性的空间节点, 具有良好空间识别性, 是人们建立认知地图的重要节点. 目前有中庭的实例为采光玻璃顶和下沉广场两种方式<sup>[15]</sup>, 没有中庭或节点步行路径的实例, 其原因包括地面环境为车行道、建筑等, 不具备设计中庭的空间或未考虑设计中庭的情况. 在下一步优化改造中较难采用被动式采光的方式, 可尝试在步行路径网络体系中选择位于地下街中央位置的节点空间, 进行扩大节点设计, 采用主动采光的导光方式为地下街增加自然光(图13).

## 4 结语

本文探讨了我国地下空间设计中长期忽视的自然采光引导疏散安全问题, 面对快速大规模地下空间开发的进程中, 地下空间人员容量不断增加, 更加科学有效地保障人们在地下空间的安全疏散具有紧迫性. 通过分析现状地下街存在的问题, 提出以下主要设计策略: (1) 增设出入口梯段、关键节点中自然采光天窗或主动式导光设备, 设计节点空间构建认知地图; (2) 在地下街道中引入间隔式自然采光点作为紧急时刻安全疏散标识系统; (3) 依靠中庭或节点本身的标识性, 在其步行路径引入自然采光优化导向系统. 基于安全疏散视角探讨地下街步行路径自然采光技术, 形成安全理论设计方法与模式, 为地下空间人们的安全疏散提供视觉可达性层次的保障是一个迫切严肃的问题. 地下空间安全疏散的建筑技术科学理论需要满足现实与未来的需求, 为人们营造安全可靠的城市地下空间, 提供保障安全疏散的自然采光条件, 对城市长期安全可持续发展有重要作用.

## 参考文献 References

- [1] ZHOU Tiejun, YAN Qin, ZUO Jin. Analysis of sight and activity of safe escaping in underground commer-

- cial space-Taking Chongqing underground commercial space as example [J]. Disaster advances, 2010, 3(4): 157-162.
- [2] 曾坚,王峻,臧鑫宇. 高密度城市中心区地下防灾系统构建[J]. 建筑学报,2013(S1): 56-60.  
ZEN Jian, WANG Qiao, ZANG Xinyu. Constructing underground disaster-prevention system for high density area of city center[J]. Architectural journal, 2013 (S1): 56-60.
- [3] 宿晨鹏,陈剑飞. 城市地下空间的自然光环境营造[J]. 华中建筑,2007(9):122-123.  
XU Chenpeng, CHEN Jianfei. Construction of environment with natural light for urban underground space[J]. Huazhong Architecture, 2007(9):122-123.
- [4] 马守为,束昱. 世博地下空间生态化光环境技术及其应用研究[J]. 地下空间与工程学报,2010(S1): 1343-1345.  
MA Shouwei, SHU Yu. Ecological light environment technology in Expo underground space and their integrated application study[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2010(S1): 1343-1345.
- [5] 吴正旺. 结合自然通风与采光的北方城市地下空间生态设计[J]. 华中建筑,2011(10): 67-70.  
WU Zhengwang. Ecological design of combination of natural lighting and ventilation of the orthern underground space[J]. Huazhong Architecture, 2011(10): 67-70.
- [6] 孔军,赵超阳,束昱. 地下街防灾对策评价方法的研究[J]. 地下空间,1994(4): 269-276.  
KONG Jun, ZHAO Chaoyang, SHU Yu. A study on evaluation of countermeasures for disaster prevention in underground shopping centers [J]. Underground space, 1994(4): 269-276.
- [7] 薛华培. 向地下空间延伸的建筑学:对地下建筑学的理论体系和研究内容的探讨. 建筑师,2006(1): 59-62.  
XUE Huapei. To the underground space of architecture: the content of the theoretical system and research for underground architecture[J]. The architect, 2006 (1): 59-62.
- [8] 米佳,徐磊青,汤众. 地下公共空间的寻路实验和空间导向研究:以上海市人民广场为例[J]. 建筑学报,2007(12): 66-70.  
MI Jia, XU Leiqing, TANG Zhong. Pathfinding underground public space experiment and spatial orientation: People's square in Shanghai as an example[J]. Architectural journal, 2007(12): 66-70.
- [9] 马璇. 大城市地下空间环境设计的心理影响因素研究:以南京市新街口地下商业步行街为例[J]. 城市规划学刊,2009(5): 90-95.  
MA Xuan. Negative psychological factors arising from environmental design in underground space of big cities: a case study of Nanjing urban underground commercial pedestrian street[J]. Urban Planning Forum, 2009(5): 90-95.
- [10] 孙礼军,洪卫,郭奕辉. 大型地下空间建筑消防设计探讨:广州珠江新城核心区地下空间建筑消防设计[J]. 建筑学报,2009(3): 74-76.  
SUN Lijun, HONG Wei, GUO Yihui. Large underground space building fire design: Guangzhou pearl-river CBD underground space building fire protection design[J]. Architectural Journal, 2009(3): 74-76.
- [11] 盛科荣,王海. 城市规划的弹性工作方法研究[J]. 重庆建筑大学学报,2006(1): 4-7.  
CHENG Kerong, WANG Hai. Study on the flexible paradigm of urban planning[J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2006(1): 4-7.
- [12] 袁红,赵世晨,戴志中. 论地下空间的城市空间属性及本质意义[J]. 城市规划学刊,2013(1): 85-89.  
YUAN Hong, ZHAO Shichen, DAI Zhizhong. Urban spatial properties and essential significance of underground space[J]. Urban Planning Forum, 2013(1): 85-89.
- [13] 汤雅莉,吉颖. 西安地铁商业衔接空间与导向标识系统的调查研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版),2013,45(5): 726-731.  
TANG Yali, JI Ying. Study on the commercial connection space and wayfinding signage system in the Metro of Xi'an[J]. Journal of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition), 2013, 45 (5): 726-731.
- [14] 王力红,杜庆,马坤,等. 光导管装置和小型照明智能控制系统研究应用[J]. 绿色建筑,2013(6): 53-55.  
WANG Lihong, DU Qing, MA Kun, et al. Research and application of optical waveguide devices and intelligent control system for small lighting[J]. Green building, 2013(6): 53-55.
- [15] 杨洁如,王珊. 地下空间自然光应用初探[J]. 工业建筑,2010,40(12): 125-128.  
YANG Jieru, WANG Shan. An initial study on the application modes of daylight in the underground space [J]. Industrial construction, 2010, 40(12): 125-128.

(编辑 桂智刚)