

## 地铁疏散系统设计研究现状与进展

张志鹏, 方兴, 朱怡洁, 徐超  
(武汉理工大学 武汉 430070)

**摘要:** **目的** 对地铁疏散系统设计的研究现状进行梳理和分析, 提出存在问题和建议解决方案, 并对此领域后续研究重点进行探讨。**方法** 以易识性的概念为基础, 结合地铁突发事件的特点, 通过大量文献检索、搜集与整理, 对应急疏散路径、应急信息传达、应急设施技术、应急管理技术等影响地铁疏散系统设计的重要层面进行研究与分析。**结论** 地铁突发事件中火灾爆炸事故、水灾事故、紧急制动事故是事发最多的三种事故形式, 且具有突然性、封闭性、恐慌性、复杂性的特点; 完善的地铁疏散系统设计包含了应急行为特征、应急信息传达、应急设施技术、应急管理技术等多个方面; 地铁空间内应急信息的呈现和宣传应具备较高的易识性, 这可以极为有利地帮助人们理解和阅读相关的重要信息, 可使乘客熟知在突发情况中如何行动, 防患于未然, 但目前对于地铁应急信息易识性的研究较少, 并未形成体系, 可作为后续研究重点。

**关键词:** 地铁疏散系统设计; 地铁突发事件; 地铁应急; 易识性

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)24-0337-10

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.24.040

## Research Status and Progress of Subway Evacuation System Design

ZHANG Zhi-peng, FANG Xing, ZHU Yi-jie, XU Chao  
(Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

**ABSTRACT:** The work aims to put forward the existing problems and corresponding solutions by sorting out and analyzing the research status of subway evacuation system design and discuss the focus of follow-up research in this field. Based on the concept of legibility and combined with the characteristics of subway incidents, the important aspects affecting the design of subway evacuation system, such as emergency evacuation path, emergency information transmission, emergency facilities technology and emergency management technology were studied and analyzed through the retrieval, collection and arrangement of a large number of documents. Explosion, flood and emergency braking are the three most frequent accidents in subway accidents, which have the characteristics of suddenness, closure, panic and complexity. The perfect design of subway evacuation systems includes emergency behavior characteristics, emergency information transmission, emergency facilities technology, emergency management technology, etc. The presentation and publicity of emergency information in subway space should have higher legibility, which is highly advantageous to help people understand and read the related important information and know how to act in emergencies so as to take preventive measures. However, there are fewer researches on the legibility of subway emergency information, not forming a system, so this can be the focus of future research.

**KEY WORDS:** design of subway evacuation system; subway incidents; subway emergency; legibility

自 21 世纪初, 由交通运输部最新公布的各个城市轨道交通的相关数据可知, 我国各大城市的地铁建

设正呈现愈发蓬勃的发展态势。截至 2021 年 12 月 31 日收集到的数据表明, 共有 51 个内地城市进行了

收稿日期: 2022-07-22

基金项目: 武汉市直属单位博士后流动站与高校共同在研重点安全项目 (GS-JZ-475)

作者简介: 张志鹏 (1991—), 男, 博士生, 主要研究方向为数码艺术设计理论及应用研究、虚拟创新设计理论及应用研究。

地铁建设,并且2021年绍兴、嘉兴、文山、芜湖、海宁、洛阳、句容七个城市也进入了轨道交通城市的队伍之列。如今,全国运营城市轨道交通的总里程达8708 km,总客运量237.1亿人次,此人数在近两年中增长迅速,较2020年增长约35%,达到2019年的99.2%。基于如此庞大的客流量,轨道交通已成为大城市运转的基础保障之一,乘坐地铁的应急安全问题也成为了地铁建设的重中之重,但地铁车站处在地下较深的位置,空间结构和光照条件都存在着先天的不足,狭小封闭的空间、疏散路线单一、人群密集等特点都导致发生突发情况时的疏散工作困难重重。可以想象,一旦出现了紧急突发情况,如果没有合理有效的安全应急系统,乘客在这种封闭狭小且陌生的环境中将会失去秩序,行为和心里都将产生混乱,无法做出正确的判断,导致一系列的连锁反应,最终错失逃生机会。

“消防应急照明和疏散指示系统”是指为人员疏散和发生火灾时仍需工作的场所提供照明和疏散指示的系统。在此定义的基础之上,结合易识性的概念对地铁疏散指示信息设计进行深入研究,梳理可行性的设计解决方案。在紧急突发情况来临之时,具有易识性的应急指示信息可以有效地帮助人们理清撤离思路,有序从容地找到撤离路线,提高疏散的效率,更为应急人员的工作带来极大的便利,高效地维护人们的生命财产安全。

## 1 易识性的概念阐述

易识性也称作易认性或辨识性,对印刷材料而言,易识性即为可以有效地从视觉角度了解印刷文字的大小、排列顺序和位置关系等因素,这些因素将对人们的阅读速度和体验产生多角度的影响<sup>[1]</sup>。在1825年,人们开始对字母易识性进行学习和研究。1949年出版的一本报纸印刷手册首次从印刷角度关注了易识性问题。在这本手册中,主要向人们介绍了如何对报纸的版面和文字进行设计,达到让浏览者可以在较短的时间内获得最大可用信息的目的。

王海在《西安市购物场所应急标识有效性研究》<sup>[2]</sup>中提到,西安市历史悠久,城市商业布局较为复杂,对西安市购物场所的应急标识进行研究,总结出影响西安市购物场所应急标识的可辨识性,以及人群接受程度的因素。通过调查问卷和数据分析确定出包括易识别性、可理解度、适用度、易遵守性和可避免性在内的5类基本影响因素,具体到设计要素上即为应急标识需要具有高度识别的颜色与亮度、合理的设置位置以及能一眼辨别的图形标识三个因素。通过对地铁乘客的眼动仪研究找到了现阶段的设计缺陷,并提出了相应的对策,具体为:将应急标识的设计标准化、规范化;系统性地改良应急程序服务;细化应急标志的种类,增强其易识别性;获取政府支持和群众理解;

做好应急宣传教育;培养良好的对突发事件的处理意识和社会安全风气等。

朱小雷<sup>[3]</sup>以人在不同环境下产生的心理反应为理论基础,探究了地铁站内空间标识的导向性和易识别性对人在地铁环境中的行为影响。边卓等的文章《区域环境导向系统的易识别性研究》<sup>[4]</sup>,表明了环境导视系统的易识别性对其功能实现的巨大帮助,分析了乘客对出行环境中导视系统的具体需求,并加以设计利用。李斌等<sup>[5]</sup>为了得到轨道交通站的路径设计原则,在上海的轨道交通枢纽站中展开行人行为路径的实验,分析得到的数据和观察到的现象,提出了三项空间路径设计的建议:标识系统的改善细化,空间布局的清晰合理化以及空间的易识别性,并通过特殊的装修风格来实现。

王家民等<sup>[6]</sup>从造型、字体、图形、色彩等视觉要素开始研究,利用了色彩心理学和人机工程学,对产品包装设计中的设计要素加以研究。结果表明字体色彩与背景色彩的差异,将会给消费者带来不一样的心理暗示和作用,产生不一样的消费感受。包装设计不仅要美学的角度出发,也要通过设计语言让消费者更容易读取产品的相关有效信息,并引发消费心理,因此,必须更加关注设计图案的易识性。

基于以上研究可总结出,空间环境的信息对于人类来说是从二维的简单信息向三维的复杂信息的过渡,其中位置、文字、图案、色彩、结构、密度、光照等因素都对环境中的信息产生了巨大的影响。易辨识的、有秩序的信息可以给人们带来行为上的顺畅和心理上的安宁,混乱的、无条理的信息则会给人们一种不知所措的慌乱感。这在人群密集的公共空间环境中更需要避免和改善,在地铁空间环境中,易识别的信息更加有利于对人群的疏散。

## 2 地铁突发事件的类型与特点

### 2.1 地铁突发事件的类型

对地铁突发事件的定义为:在地铁运营的时间里,由不确定因素导致的突然发生的事件。突发事件会给地铁相关人员带来生命财产安全隐患,更需要地铁工作人员在极短时间内做出正确的反应。地铁站内突发事件可以究其自身的引发条件分为自然灾害突发事件、施工安全事件、卫生防护事件、恐怖袭击、运行障碍事件等。通过对近年来地铁发生的突发事件进行梳理,发现事故发生最多的三类事件为:火灾爆炸事故、水灾事故和停电、紧急制动事故。

#### 2.1.1 火灾和爆炸事故

回首世界地铁发展历史来看,地铁火灾和爆炸事故是地铁发生最多、造成人员伤亡最大的紧急情况。引起火灾和爆炸的既有线路老化、人为操作失误等原因,更有恐怖袭击等恶性事件,见表1。

表 1 地铁火灾和爆炸事故统计  
Tab.1 Statistics of subway fire and explosion accidents

时间	地点	原因	后果
1903 年 8 月 10 日	法国巴黎	木制车厢在运行中着火	84 人死亡
1969 年 11 月 11 日	中国北京	电机短路	6 人死亡, 200 多人中毒
1995 年 7 月 25 日	法国巴黎	炸弹恐怖袭击	8 人死亡, 117 人受伤

2.1.2 水灾事故

地铁, 顾名思义, 其建设和运营多在低于地平面之下的空间。短小时内极端的暴雨等灾害会导致洪水冲破地铁站外挡水墙, 倒灌入地铁内部空间, 淹没地铁车厢、线路等。由于洪水可能导电, 在紧急状况中, 管理者多会切断洪水淹没部分的电源, 以防人员触电伤亡。而在失去电力照明和通讯的情况下, 被困在水中的人群实行疏散和自救的难度会成倍增加, 见表 2。

2.1.3 停电、紧急制动事故

地铁系统的动力来源主要为电能。突发的供电线路、供电设备和电力信号故障, 均会造成地铁列车的停运。在地铁突然停电后, 地铁车厢或其他地铁空间

的人群易发生恐慌而四散奔逃, 造成拥挤、踩踏和窒息等人为伤害, 见表 3。

综合以上统计的典型案例分析来看, 火灾爆炸事故在三类事故之中发生频次最高, 事故占比达到 62.5%; 在火灾爆炸事故中, 恐怖袭击和列车故障引起的事故比例达到了 80%, 见图 1。

2.2 重点事故案例分析

2.2.1 伦敦地铁及巴士爆炸事件

2005 年 7 月 7 日上午, 四名极端分子分别在伦敦地铁上连续引爆了三枚炸弹, 后来又在塔维斯托克广场的一辆双层巴士上引爆了第四枚炸弹。第一起爆炸发生在伦敦地铁环线 (Circle Line) 一列地铁的车

表 2 地铁水灾事故统计  
Tab.2 Statistics of subway flood accidents

时间	地点	原因	后果
2001 年 9 月 17 日	中国台北	台风百合登陆市区多地严重水淹	地铁多支线因水淹停运 6 个月左右, 数十万人交通受到影响
2021 年 7 月 20 日	中国郑州	遭受极端特大暴雨	五号线一列车厢遭遇暴雨被淹, 14 人遇难

表 3 地铁停电、紧急制动事故统计  
Tab.3 Statistics of subway power failure and emergency braking accidents

时间	地点	原因	后果
2003 年 7 月 14 日	中国上海	一号线供电线路故障	停止运营一小时许, 数以万计乘客受到影响
2007 年 10 月 23 日	日本东京	地铁停电	1 300 人得不到救助, 近十万人受到影响
2008 年 5 月 23 日	中国广州	一号线供电设备故障	停止运营一个半小时许, 数以万计乘客受到影响, 一些乘客因恐慌而四散奔逃
2009 年 12 月 22 日	中国上海	一号线发生四处故障	全线暂停工作, 无伤亡

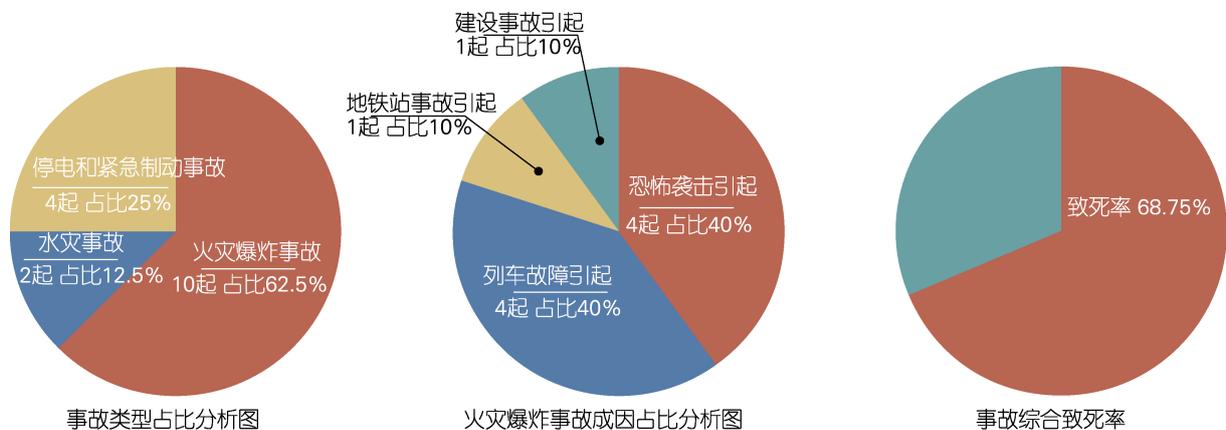


图 1 已统计典型案例分析图  
Fig.1 Analysis chart of statistical typical cases

厢中,除了造成人员伤亡外,利物浦街附近的地铁轨道也在爆炸中被损坏。第二起爆炸同样发生在伦敦地铁环线(Circle Line)另一辆地铁的车厢中,爆炸发生时附近还有几辆列车,同样受到了不同程度的损伤。第三起爆炸发生在伦敦地铁皮卡迪利线(Piccadilly Line)上,该列车从国王十字车站(King's Cross Station)离开一分钟后爆炸,周围的隧道受到严重破坏。2006年5月,英国政府公布的一份五十二页的调查报告指出,伦敦地铁及巴士恐怖爆炸事件,是在伦敦市中心发生的一系列计划周密的恐怖主义自杀式炸弹袭击,目标是在早高峰期间使用公共运输系统的平民。此次恐怖袭击导致了52名平民丧生,超过七百人受到影响。根据相关资料显示,在地铁发生爆炸后,地铁内部乘务人员和乘客马上开始了自救、疏散和逃生。然而,作为世界上最老旧的在营地地铁线路,伦敦地铁依然暴露了许多问题,特别是在应急视觉传达指示方面,基本上处于半瘫痪状态。

当恐怖袭击爆炸发生后,地铁内所有常规系统均断电,靠照明的视觉传达因素随即全部失效。在爆炸发生的初期,当乘务工作人员想要进行应急照明时,却发现地铁站缺少相应的应急照明设备。根据英国广播公司推测,由于不清楚是否还有更多的炸弹,以及防止手机拨打引爆炸弹,电话系统有可能被安全部门整体关闭,而这也使得想要拨打电话给警察局和医院进行求助的人群变得更为被动。在一段时期内,被困人员无法根据视觉信息指示了解自己所在的位置,无法找寻自救设施,甚至不清楚疏散逃生方向等,带着绝望的恐慌情绪四散奔逃。最后,自救和逃生的人们只有在漆黑的地铁隧道中,靠着手机的光亮摸黑前进,惊魂未定地走出一片混乱的地铁。

### 2.2.2 河南郑州“7·20”暴雨事件

2021年7月20日,一场特大暴雨在我国河南郑州降下。持续的强降雨给城市的排水系统带来了巨大的压力。当日16时起,郑州市的降雨量达到了201.9毫米每小时,有数万名市民的出行受到影响。这样的灾害性降雨造成郑州地铁五号线五龙口停车场及其周边区域发生极为严重的积水现象。暴雨裹挟着泥沙倒灌入郑州地铁五号线地下隧道和行驶在隧道内的列车中,造成许多乘客受困于车厢,生命和财产安全得不到保障。地铁五号线车厢内快速进水,水位甚至到达部分乘客的胸部,许多乘客都存在缺氧的情况。当日20时许,消防救援队员到达现场,立刻用工具撬开车厢顶部,帮助被困市民迅速逃离现场,在呼吸新鲜空气后,乘客们通过救援人员开辟的应急逃生路线陆续离开受灾地点。根据官方数据,7月20日暴雨期间,有五百多名乘客都被洪水困在了郑州地铁5号线沙口路站附近,最终仍然有14名乘客不幸罹难。

## 2.3 地铁突发事件的特点

地铁的地理环境位置十分独特,一般都处在城市

交通便利、人群流动量大的地区。复杂的交通环境和多样的人群结构就导致了突发事件出现的可能性提高,往往在不经意间就会产生不可避免的重大后果。地铁突发事件具有其他突发事件不具有的特点,如事件发生的突然性和处理事件的紧迫性。地铁事件的突然性表明事件在发生之前没有具体的征兆,人们也不易察觉,就算察觉到了也没办法做出正确的判断,导致事件发生时大部分情况都极其混乱,对社会和人群都有不小的危害。地铁事件的紧迫性告诉我们在发生突发事件后由于地铁的人流量大,需要在短时间里让所有的人群尽快从地铁空间疏散出去,并且在此期间不能引发人群的混乱。在灾难面前,时间尤为紧迫,一分一秒都关乎人们的利益和安全。地铁突发事件的特点可概括为以下几点:

1) 突然性。地铁内部空间无论出现火灾、暴恐、水灾、停电或紧急制动情况,往往都是瞬时发生的,充满着突然性,这也就考验了整个地铁应急系统的处理能力。一般情况下,当有情况出现时,地铁线路、列车车厢和站台的相关信息传达设备会向总控室调度管理人员进行反馈,调度管理人员根据所掌握信息再按照操作流程进行处理,通知列车司乘人员进行下一步的操作。在应急情况中,依赖传统视觉信息报警系统的人工巡检和设备监控,往往展现出滞后性。传统视觉信息传达模式下,调度室只能通过地铁隧道区间内部的感应装置来判断故障和紧急情况,甚至摄像头、各种传感器、信号交换机等获得信息的手段很可能被破坏。这导致总控调度管理人员无法掌握车厢、隧道和站台险情的细节,从而耽误调度进程安排,总体管理难度加大。

2) 封闭性。地铁出现紧急情况时,电力系统大多被破坏或人为关闭,所有由常规电力驱动的设备都会停止工作,如照明系统、通风系统、广播系统、监控系统等。如果涉及或怀疑涉及到恐怖袭击,可能通信系统也会像当时的伦敦地铁一样瘫痪。在一定的时间内,地铁将会成为一个封闭的空间。缺少光源照明会导致人群无法确认自己的位置和逃生方向。而地铁区间隧道和部分站台所设计的逃生出入口数量是一定的,逃生通道也相对较窄。在缺少应急类视觉传达因素指示的情况下,非常容易产生踩踏等二次事故,造成人员伤亡。缺少通风会导致大量有害气体无法及时排出,这些有毒气体会对人们造成巨大的威胁。缺少广播指引和手机讯号会导致人群随大流而动,容易出现盲目跟随情况。在缺少光源照明、没有换气通风、缺少广播指引、没有手机通讯信号的情况下,人群的恐慌程度会在封闭的地铁空间内呈几何倍放大,无法做到成功率很高的自救、避难、疏散和逃生。

3) 恐慌性。在恐慌蔓延的情况下,乘客无法找到最为可靠的避难或逃生路线。在发生重大突发情况时,如果大量的乘客按照既定的视觉指示系统,同时

向最近的出入口或安全通道、避难所逃离, 势必会降低疏散的可靠度和成功度。而当最近的出入口或安全通道、避难所也出现险情, 乘客将会陷入“进退维谷”的境地, 这样的情形最容易出现踩踏事故。

4) 复杂性。疏散逃生和救援部署是一个相向且复杂的整体。紧急情况下的疏散, 必定会遵循从地下往地上的垂直行进轨迹, 而被称为“逆行者”的救援队伍则要从地上往地下行进。因此, 疏散的人群和救援的队伍可能会在地铁的某个空间相遇。如果没有很好的引导和安排, 两者的相遇可能会造成一定的拥堵, 从而降低逃生和救援的效率。

### 3 地铁疏散系统研究

#### 3.1 对人员应急行为特征的研究

Chan 等<sup>[7]</sup>探讨了社会人口特征与交通安全风险认知之间的关系, 以及急救培训知识和反应之间的关系, 研究结果显示有 87% 的居民每天使用公共交通工具, 即使在发生地铁火灾事故后, 对地铁安全的信任比例仍有 85.6%。女性、收入较低的人和未婚的人更有可能对交通安全表示担心。有 46.1%~63.2% 的受访者具有正确的火灾相关应对知识。同类的研究还有 Torpan 等于 2021 年发表的文章《Handling false Information in

Emergency Management》<sup>[8]</sup>。

董书衡<sup>[9]</sup>对乘坐地铁的人员进行问卷调查, 探究其乘坐地铁的行为和心理, 进行地铁结构的再设计, 为人群在应对突发事件时更快地疏散提供保障。王立晓等<sup>[10]</sup>对地铁乘客进行潜在心理的数学建模和分类, 通过相关性和方差分析, 找到了不同类别的人群对地铁疏散路径的不同选择及深层次原因, 为后期的疏散系统设计提供理论指导。

Philpot 等<sup>[11]</sup>以微观行为学为基础, 对地铁列车上发生小型爆炸和火灾时乘客的行为进行视频分析。研究记录了乘客在紧急情况发生后的第一个行动, 实验表明乘客的第一个行动差别很大, 其中反社会行为是较为罕见的, 而亲社会行为的表现则比较普遍。此外研究发现, 在跑步行为和退出选择方面, 既有同质性也有异质性。

#### 3.2 对应急信息传达的研究

夏雅琴等<sup>[12]</sup>认为地铁的公共信息中包括了指示交通的信息、提示警示的信息、辅助出行的信息、经济信息、娱乐信息和安全教育宣传信息。对乘坐地铁的人员行为路径、心理特征和交互触点进行分类整合, 见表 4 摘自夏雅琴《“互联网+”背景下的城市轨道交通公共信息整合设计》。应急信息是地铁公共信息中拥有较高价值的信息内容。

表 4 地铁乘客不同乘车阶段的行为、心理与接触信息分类

Tab.4 Classification of behavior, psychology and contact information of subway passengers in different riding stages

	乘客主要行为	行为分类	乘客心理状态	主要接触信息分类
到达地铁站前	个人活动; 个人掌上娱乐; 找寻地铁位置	环境应对行为	具有明确目的性, 情绪较为稳定且放松	出行辅助; 城市轨道交通指示; 警示提示
进入过渡空间	乘坐扶梯或走楼梯; 经过走道; 碎片时间观察周边空间; 准备购票; 出示票据; 整理包装袋预备安检	环境应对行为	开始由放松状态进入较为专注的准备状态	城市轨道交通指示; 城市公共宣传; 娱乐; 金融信息
进入地铁空间	经过安检; 使用手机/地铁卡; 通过闸机; 找寻乘车位置	环境应对行为; 休闲行为	因人流量大、某些行为不顺畅而产生一些焦虑	城市轨道交通指示; 城市公共宣传; 娱乐; 金融信息; 警示提示
站台候车	排队; 等待列车; 打量周围环境; 个人掌上娱乐; 休息	环境应对行为; 休息/休闲行为	有一定的疲劳感, 心态略焦急, 对于车厢空位有一定期待	城市轨道交通指示; 城市公共宣传; 娱乐; 金融信息; 警示提示
进入车厢乘车	等安全门打开; 抓扶手; 休息; 个人掌上娱乐; 关注车辆到站信息; 规划行程; 打量周围; 等车辆到站	环境应对行为; 休息/休闲行为	根据自身情况, 进行适当的休息、娱乐, 心态逐渐放松	城市轨道交通指示; 城市公共宣传; 出行辅助; 娱乐; 金融信息; 警示提示
站厅换乘空间	等安全门打开; 找指示信息和乘车处; 楼梯扶梯或电梯在站内换乘; 通过走道和站厅; 打量周围环境	环境应对行为	开始从放松状态进入较为专注的状态, 会担心换乘中出现问题	城市轨道交通指示; 城市公共宣传; 娱乐; 金融信息; 警示提示
换乘后地铁内空间	等安全门打开; 找寻出站指示信息; 个人掌上娱乐; 准备出示票据过安检; 了解站点周边	环境应对行为	开始逐渐进入放松状态, 专注于找寻正确出口	城市轨道交通指示; 城市公共宣传; 出行辅助; 娱乐; 金融信息; 警示提示
进入过渡空间	了解周边信息; 乘坐扶梯; 经过走道; 观察周边空间; 个人掌上娱乐	环境应对行为; 休闲行为	比较放松, 期待稍后的个人活动	城市轨道交通指示; 城市公共宣传; 娱乐; 金融信息
出地铁站	个人活动; 找寻目标地点	环境应对行为	情绪较为放松	出行辅助; 城市轨道交通指示
疫情期间乘客的特殊行为	地铁内全程佩戴口罩, 进站前接受“测温”检查; 进行线上健康信息登记; 在车站/车厢内“隔位”而坐; 出站后记录出行行程信息			出行辅助信息; 城市公共宣传信警示提示信息

葛萌<sup>[13]</sup>研究的对象为西安地铁的导向标识系统及其信息交互界面,提出信息界面设计的交互性是以用户为中心来满足使用者需求的,在交互设计的理念下,注重用户体验和用户行为,为地铁交互设计的发展提供新的思路。

韩国学者李世贤(Seokhyun Lee)<sup>[14]</sup>针对江南新道林地铁站的用户,从信息标牌设计的可见性、审美价值、功能性和独特性四个方面进行了用户调查,总结了研究结果,并提出了未来改进的建议。为了探索地铁安全标志的合适颜色,陈娜等<sup>[15]</sup>设计了四种不同颜色的安全标志,并将虚拟现实技术、眼球追踪技术和生理指标测量用于虚拟地铁火灾逃生实验,见图2图片摘自陈娜《The Physiological Experimental Study on the Effect of Different Color of Safety Signs on a Virtual Subway Fire Escape-an Exploratory Case Study of Zijing Mountain Subway Station》。实验共有96名参与者,参与者的眼球追踪和生理数据都通过ErgoLAB V3.0实时记录整个实验过程。实验结果表明,对于“绿色和黑色”人们的认知效率最高,压力最小,学习的负荷也最小,这项研究对改善地铁消防基础设施的功能和提高地铁系统的抗灾能力具有一定的意义。



图2 不同色彩疏散标识的模拟

Fig.2 Simulation of evacuation signs in different colors

在信息发布与宣传方面,梁燕冰<sup>[16]</sup>通过对广州地铁现有运营应急信息发布平台进行全面分析和研究,从系统管理层面出发,提出广州地铁运营应急信息发布平台的优化策略,以提高信息发布效率,扩大信息发布范围,提升服务水平,打造广州地铁品牌典范。同类研究还包括洪超等撰写的《地铁区间智能疏散指示系统的指示原则及实现方案浅析》<sup>[17]</sup>,以及潘宁撰写的《地铁应急行车组织中如何做好信息传递工作》<sup>[18]</sup>等。

### 3.3 对应急设施技术的研究

潘运娴<sup>[19]</sup>从词组复杂度和熟悉度两个角度,探索

了视线矩阵突显技术和视线单项突显技术的显示特点,进一步揭示了两种视线突显技术的显示规律,并在地铁出口路标搜索应用情景中验证了两种视线突显技术对视线材料信息呈现的辅助作用。王冬<sup>[20]</sup>提出具有特殊标志的指示设计可以给予乘客明确的信息提示,较好地帮助人群在暗环境下更好地撤离危险区域。彭一又等<sup>[21]</sup>在传统地铁疏散系统的研究基础上,探讨新型的智能地铁车站疏散指示系统,结合供电设施、照明指示设施和标识设计,对人群疏散进行智能化控制,并在青岛地铁3、11号线中验证了方案的可用性。

王军华等<sup>[22]</sup>分析了地铁人群的火灾逃生路线,利用烟雾蔓延的特性,在逃生路线的各个节点和环节处设置烟温探测器和指示标识,共同设计了一套诱导指示系统,运用智能处理终端进行烟雾报警,并对人群进行提示,更加有效地帮助乘客在地铁发生火灾时进行疏散和撤离。

### 3.4 对应急管理技术的研究

王苗苗<sup>[23]</sup>通过研究互联网技术对地铁管理系统的加持,将互联网的内涵、技术和相关特点与地铁运行应急管理的网络触点布局相结合,充分将新型技术利用在人群疏散和指导步骤的相关流程中,提出了“一案三制”应急管理体系,以促进平台、体系和制度之间的互相配合,见图3图片摘自王苗苗《“互联网+”背景下青岛地铁运营应急管理研究》。

邵志国等<sup>[24]</sup>在大数据、云计算、物联网和移动互联网等现代技术环境下,对地铁应急的特点和互联网技术进行了介绍,提出了整个地铁应急管理系统的相关要素,并分析了如何在其中介入信息技术的方法。地铁应急系统的功能还应该包括视线收集设备的预警、系统评估等子系统,并对数据采集、设备接入、网络承载、应用支撑和用户应用等五个层次提出了系统模型的构建方案,以此来改善现代地铁突发事件中的信息闭塞、人员疏散不到位等缺陷。何健飞等<sup>[25]</sup>对上海地铁的相关人群数据进行采集,利用两种计算机算法构建出人群疏散的新的合理路径,比对之前的最短路径选择后,此路径可提供人群撤离的最佳位置,提高人群通过率和路径的使用率,并研究了在人群不完全服从的前提下进行撤离路径的优化改良,为拥挤程度不同的地铁环境构建了可行方案。

孙艺博<sup>[26]</sup>以危机管理理论与海因里希法则为理论依据,分析西安市发生地铁火灾的可能性和应急预案,结合德尔菲法、层次分析法对地铁应急预案的可行性进行分析,得出其指标体系,包括科学性、有效性、衔接性、完整性与可操作性5个一级指标及19个二级指标,并赋予指标权重,通过模糊评价法构建模糊评价模型,对西安地铁火灾应急预案的整体质量进行评价分析。李佳阳等<sup>[27]</sup>基于动力学模型、传播动力学模型和传染病模型,构建了车厢内乘客恐慌的动

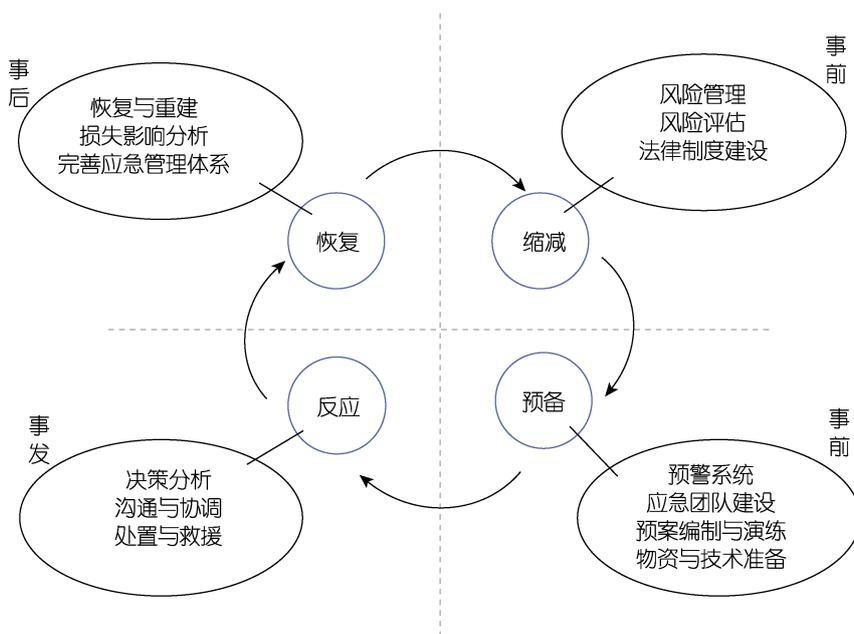


图 3 地铁运营应急管理循环图

Fig.3 Cycle diagram of subway operation emergency management

态传播模型, 还利用 Routh-Hurwitz 准则, 分析了动态微分方程的稳定性平衡。在计算机上进行了模拟模型的测试和稳定性评价, 对模型的有效性提供支撑。最后, 通过数学分析和模拟测试证明了官方引导指令可以有效控制恐慌的蔓延, 并迅速稳定系统。

Andreassen 等<sup>[28]</sup>重点研究了不同的管理角色如何影响复杂的救援行动中参与者之间的信息共享。对斯瓦尔巴群岛水域的救援行动的深入案例研究, 研究显示在救援行动中, 信息共享、协调机制和管理角色的调整, 对完成救援任务有着重要影响。

## 4 地铁疏散系统设计

基于上述对地铁疏散系统的研究, 结合易识性的概念可得出相关结论, 以此指导地铁疏散系统设计, 在发生地铁突发事件时, 由于人们的生命安全在极端危险的情况下会受到威胁, 心理的紧张感和思维的慌乱将不可避免, 时间的紧迫程度也会在不同情景下影响人们做出不正当的判断和行为。但乘客的共同行为特点都是朝着相对安全的区域行动, 不同的职业和受教育程度可能会影响人们对突发事件的反应。此时可供不同人群阅读的易识性标识或信息将会在人群疏散的过程中提供更加有利的外部保障, 更会直接影响到客流疏散的结果。

### 4.1 地铁应急信息的设计标准

疏散指示标识是地铁空间内最为常见的应急信息, 其中最为广泛运用的材料为自发光材料, 用其制作的安全疏散指示标志种类繁多, 如双电路带蓄电池的应急指示灯、应急指示标识、场致发光标识、LED 显示屏、导流灯箱、普通印刷标识、自发光指

示标识等, 其中自发光指示标识作为近几年的新产品被越来越多的人重视起来, 它具有其他类型产品无法比拟的优势。自发光指示标识所用的材料主要是长余辉发光材料, 其制作工艺一般为注塑、喷涂、覆膜、印刷, 最终制成塑料、玻璃、陶瓷、金属等标识, 广泛应用到地面、墙面、屋顶、楼梯等位置。

将地铁的应急疏散指示标识根据其供电特性分为灯光型、蓄光型、普通型三种, 灯光型的标识最为常见, 运用也最广, 在应急照明系统中把它称之为疏散照明。其中蓄光型的疏散指示标识具有从环境中的其他灯光中吸取光能的能力, 可以做到不携带电源产生自照明, 多用在空间较大、照明光线充足的室内空间, 但其也有使用的局限性, 对环境光的要求较高。在地铁应急疏散的不同位置, 需要的应急标识的种类也各不相同, 大致可以将公共区域、疏散通道和出入口作为疏散标识设计的三大重点区域。根据规定, 备用照明、疏散照明和安全照明为一般的地铁应急照明。疏散照明在人群撤离中的作用为提供合理、安全、有效的快速撤离信息照明, 具有较高的辨识度。备用照明是一种安全冗余设置, 在其他照明都失效的情况下还可以为人员疏散提供必要的行动光线。安全照明则是在复杂危险的环境中为人们提供的完成逃生或救援任务的必要照明条件。在我国越来越重视地铁消防安全的前提之下, 刘丽萍等<sup>[29]</sup>对地铁车站的结构和地理位置特点, 运用此标准的主旨理念, 破除旧的设计观念, 对地铁车站的消防应急照明系统提出了新的设计要素和方案, 在照明强度、灯具材料、环境光比对的基础上实行了更加合理的优化方案, 见表 5 摘自刘丽萍《地铁车站设计如何合理执行新规范——《消防应急照明

表5 新旧应急照明规范主要差异对比  
Tab.5 Comparison of main differences between old and new emergency lighting specifications

内容	新规范	相关旧规范
系统制式	(1)集中控制型。 (2)8 m以下采用A型灯(DC36V)。	无特别要求。
配电形式	(1)集中电源时,电源直接输出至灯具。 (2)对集中电源、配电箱的设置规则、输出回路、电流等有严格限制,减少故障影响范围 (3)对线缆选型、敷设配件IP等级等增加明确要求。	(1)集中电源可下设分配电装置输出至灯具。 (2)对输出回路、电流等无限制。
照明灯具	(1)8m及以下选用输入电压DC 36V灯具。 (2)灯具面板、尺寸、IP等级、响应时间等分场所做详细要求。	(1)灯具输入电压无限制 (2)灯具面板、尺寸、IP等级、响应时间等无细化要求。
标志灯	(1)8 m及以下选用输入电压DC 36V。 (2)加强引导,如增设吊顶及保持视觉连续区域标志灯等。 (3)不同场合细分种类,如增加安全出口、疏散出口禁止入内、楼层标识等。	(1)灯具输入电压无限制。 (2)无细化要求。
照度要求	(1)细化特殊区域要求,如:人员密集区域、寄宿制幼儿园和小学的寝室、医院手术室及重症监护室、室内步行街两侧商铺等。 (2)增加最低照度监测要求,明确最低照度监测区域。	无细化要求。
平面布置	(1)细化出口标志:疏散出口、安全出口、禁止入内等。 (2)加强方向标识,增加通道上方、保持视觉连续是地面等处方向标志灯的要求。	无细化要求。
运行模式	对于应急点亮、切断主电源、不同疏散预案场所联动方式及疏散形式等进行了细化的要求。	无细化要求。

及疏散指示系统技术标准》的探讨》。

国家相关规范和标准对应急系统的硬件配置、安放位置、显示内容等在进行不断地补充和完善,但对于安放位置和显示内容的具体设计形式没有标准的限定。冯志文<sup>[30]</sup>对应急疏散标志进行多感官交互设计,提出了交互设计在应急标识中的重要地位,不仅仅是单纯视觉上的提示和警告,而应当结合听觉、触觉、嗅觉等其他感觉器官的共同参与,为人群疏散提供多种信息通道的提示,并提出了地铁安全应急信息应当具有统一的规范标准,通过静态和动态标识的结合为不同人群提供接受紧急信息的可能性。

## 4.2 应急信息标识设计

在发生突发事件时,应急标语、警示信息、备用疏散方案以及各类应急标识的设计对于人群的及时疏散都有着重大意义。通过研究,目前最迫切需要改进的因素是结合易识性对审美价值的提高,其次是标志分布的数量和适当性、对身体不便的人的考虑、安全和维护以及扩大地铁站以外公共空间信息标志的设计评估范围,以提高行人空间的可用性。

1) 易识性良好的标识设计需要保证可见性、独特性和可读性,标识设计的改进包括对通用设计概念的持续应用,以确保用户使用设施的便利,需考虑到区域的独特色彩和对不同用户的影响,需提供清晰准确的信息。在分析了一些火灾案例现场后,发现尽管现有的紧急疏散标识在正常情况下被利用得比较好,但在特殊光照环境中以及紧迫的时间条件下也无法保障人员的有效阅读,难以应对各种突发事件造就的特殊环境。因此,可结合相关技术比如光闪烁疏散指

示系统、人工智能技术、视线突显技术等提升标识易识性,丰富视觉信息显示设计。

2) 易识性良好的标识设计还应具有交互性,聚焦于人,揭示人们潜在的需要、行为和想法,交互界面设计需要进行严格的调查和研究,洞察用户的目标、行为和心理习惯,提供可以实现的方案,交互设计与导向标识的目的,都是让人们的使用更加方便快捷,使用户能简单地识别并使用。交互性是导向标识设计“精神”与“物质”的统一,体现了“以人为本”的本质特征。同时对于应急管理技术进行相应的优化与提升,实现应急预案编制“自上而下”到“自下而上”的转变,进行专业培训与能力测试,以发现问题为目的进行预案演练,皆可最大化地发挥标识的易识性作用。

## 5 结语

通过对大量文献的检索、搜集与整理,可知在关于地铁疏散系统设计的研究中,人员应急行为特征、应急信息传达、应急设施技术优化及应急管理是四个被给予最多关注的类别,此外地铁应急疏散的辅助资源、伤害预防与减轻、应急响应与重建也是被众多学者关注的重点。相比于地铁空间内的导向标识信息、广告信息等,目前对地铁应急信息标识设计的研究少之又少,就地铁应急信息而言,将其标识设计与易识性相结合具有重要意义。另外,如何在地铁正常运行中对应急信息进行宣传,使乘客熟知在突发情况中应如何行动,防患于未然可以帮助应急信息发挥更大的作用。因此,易识性与地铁应急信息标识设计的结合,

可视为后续研究重点。

### 参考文献:

- [1] 胡正凡. 易识别性与环境设计[J]. 新建筑, 1985(1): 22-31.  
HU Zheng-fan. Identification and Environmental Design[J]. New Architecture, 1985(1): 22-31.
- [2] 王海. 西安市购物场所应急标识有效性研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2017.  
WANG Hai. Xi'an Shopping Site Emergency Signs Effectiveness Research[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2017.
- [3] 朱小雷. 地铁车站高效空间环境的导向性和易识别性设计初探[J]. 南方建筑, 2002(3): 62-64.  
ZHU Xiao-lei. Preliminary Study on the Orientation and Easy Identification Design of Efficient Space Environment in Subway Station[J]. South Architecture, 2002(3): 62-64.
- [4] 边卓, 翟松桥. 区域环境导向系统的易识别性研究[J]. 科技传播, 2011, 3(6): 211-212.  
BIAN Zhuo, ZHAI Song-qiao. Study on the Identifiability of Regional Environmental Guidance System[J]. Public Communication of Science & Technology, 2011, 3(6): 211-212.
- [5] 李斌, 陈晔, 秦丹尼. 上海轨道交通枢纽站路径探索研究[J]. 建筑学报, 2010(S2): 129-134.  
LI Bin, CHEN Ye, QIN Dan-ni. A Case Study on Wayfinding in Subway Interchange Station in Shanghai[J]. Architectural Journal, 2010(S2): 129-134.
- [6] 王家民, 房金谱, 赵欣. 产品包装设计视觉语言的易识别性[J]. 包装学报, 2014, 6(1): 62-65.  
WANG Jia-min, FANG Jin-pu, ZHAO Xin. Distinctive Identification of Visual Language in Product Packaging Design[J]. Packaging Journal, 2014, 6(1): 62-65.
- [7] CHAN E, HUANG Zhe, HUNG K K, et al. Health Emergency Disaster Risk Management of Public Transport Systems: A Population-Based Study after the 2017 Subway Fire[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019, 16(2): 228.
- [8] TORPAN S, et al. Handling False Information in Emergency Management: A Cross-National Comparative Study of European Practices[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2021, 57: 102151.
- [9] 董书衡. 地铁疏散人员行为特征及应急疏散仿真[D]. 郑州: 郑州大学, 2017.  
DONG Shu-heng. Personnel Behavior Characteristics and Emergency Evacuation Simulation of Subway Evacuation[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2017.
- [10] 王立晓, 于江波, 孙小慧. 考虑心理异质性的地铁应急疏散行为决策建模[J]. 中国安全科学学报, 2021, 31(10): 119-126.  
WANG Li-xiao, YU Jiang-bo, SUN Xiao-hui. Decision-Making Modeling of Metro Emergency Evacuation Behavior Considering Psychological Heterogeneity[J]. China Safety Science Journal, 2021, 31(10): 119-126.
- [11] PHILPOT R, LEVINE M. Evacuation Behavior in a Subway Train Emergency: A Video-Based Analysis[J]. Environment and Behavior, 2022, 54(2): 383-411.
- [12] 夏雅琴, 江家慧. “互联网+”背景下的城市轨道交通公共信息整合设计[J]. 美术大观, 2020(5): 132-134.  
XIA Ya-qin, JIANG Jia-hui. Public Information Integration Design of Urban Rail Transit under the Background of "Internet Plus"[J]. Art Panorama, 2020(5): 132-134.
- [13] 葛萌. 西安城铁导向标识的信息交互性研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2013.  
GE Meng. The Research on the Interacting Information of Xi'an Metro Guiding Signs[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2013.
- [14] LEE S. A Study on the Design Improvement Methods of a Subway Public Sign[J]. Archives of Design Research, 2014, 111(3): 251-269
- [15] CHEN N, ZHAO M, GAO K, et al. The Physiological Experimental Study on the Effect of Different Color of Safety Signs on a Virtual Subway Fire Escape-an Exploratory Case Study of Zijing Mountain Subway Station[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17(16): E5903.
- [16] 梁燕冰. 运营应急信息发布优化策略——以广州地铁为例[J]. 价值工程, 2014, 33(7): 175-176.  
LIANG Yan-bing. The Optimization of Operational Emergency Information Display Platform: Taking Guangzhou Metro as an Example[J]. Value Engineering, 2014, 33(7): 175-176.
- [17] 洪超, 付芳容, 戴军. 地铁区间智能疏散指示系统的指示原则及实现方案浅析[J]. 科技创业家, 2013(24): 196.  
HONG Chao, FU Fang-rong, DAI Jun. Analysis on the Indication Principle and Implementation Scheme of Intelligent Evacuation Indication System in Metro Area[J]. Technological Pioneers, 2013(24): 196.
- [18] 潘宁. 地铁应急行车组织中如何做好信息传递工作[J]. 科技创新与应用, 2019(9): 191-192.  
PAN Ning. How to do a Good Job of Information Transmission in Subway Emergency Traffic Organization[J]. Technology Innovation and Application, 2019(9): 191-192.
- [19] 潘运娴. 视线信息呈现材料对视线突显技术显示效率的影响[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2019.  
PAN Yun-xian. The Impact of Visual Information Material Onthe Effectiveness of Eye-Controlled Highlighting[D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2019.
- [20] 王冬. 地铁场所应急疏散指示标志分析[J]. 消防技术

- 与产品信息, 2013(12): 42-44.
- WANG Dong. Analysis of Emergency Evacuation Signs in Subway Places[J]. Fire Technique and Products Information, 2013(12): 42-44.
- [21] 彭一又, 郭建波. 地铁车站智能疏散指示系统的研究与应用[J]. 设备管理与维修, 2020(1): 106-107.
- PENG Yi-you, GUO Jian-bo. Research and Application of Intelligent Evacuation Indication System in Subway Station[J]. Plant Maintenance Engineering, 2020(1): 106-107.
- [22] 王军华, 孙华盛, 刘盛鹏. 基于烟雾蔓延的地铁疏散诱导指示系统设计[J]. 消防科学与技术, 2016, 35(7): 964-967.
- WANG Jun-hua, SUN Hua-sheng, LIU Sheng-peng. The Design of Guiding and Indicating System for Subway Evacuation Based on Smoke Spreading[J]. Fire Science and Technology, 2016, 35(7): 964-967.
- [23] 王苗苗. “互联网+”背景下青岛地铁运营应急管理研究[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2018.
- WANG Miao-miao. The Study of Subway Operation of Emergency Management in "Internet+" Background[D]. Qingdao: Qingdao Tehcnology University, 2018.
- [24] 邵志国, 张凯. 基于现代信息技术的地铁应急管理系统构建[J]. 技术与市场, 2015, 22(12): 40-41, 43.
- SHAO Zhi-guo, ZHANG Kai. Construction of Metro Emergency Management System Based on Modern Information Technology[J]. Technology and Market, 2015, 22(12): 40-41, 43.
- [25] 何健飞, 刘晓. 基于拥挤度的地铁应急疏散路径优化方法[J]. 中国安全科学学报, 2013, 23(2): 166-171.
- HE Jian-fei, LIU Xiao. A Subway Emergency Evacuation Routing Optimization Method Based on Congestion Degree[J]. China Safety Science Journal, 2013, 23(2): 166-171.
- [26] 孙艺博. 西安市地铁火灾事故应急预案质量评价与优化研究[D]. 西安: 西北大学, 2019.
- SUN Yi-bo. Study on Quality Evaluation and Optimization of Emergency Plan for Subway Fire Accidents in Xi'an City[D]. Xi'an: Northwest University, 2019.
- [27] LI Jia-yang, TANG Jia-fu, WANG Dan. Dynamic Spreading Model of Passenger Group Panic Considering Official Guidance Information in Subway Emergencies[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2019, 2019: 4691641.
- [28] ANDREASSEN N, et al. Information Sharing and Emergency Response Coordination[J]. Safety Science, 2020, 130: 104895.
- [29] 刘丽萍, 赵美君. 地铁车站设计如何合理执行新规范——《消防应急照明及疏散指示系统技术标准》的探讨[J]. 智能建筑电气技术, 2019, 13(6): 104-109.
- LIU Li-ping, ZHAO Mei-jun. How to Adhere to the New Standard Rationally for Metro Station Design Discussion on "Technical Standard for Fire Emergency Lighting and Evacuate Indicating System"[J]. Electrical Technology of Intelligent Buildings, 2019, 13(6): 104-109.
- [30] 冯志文. 交互设计视野下的地铁导视系统设计与发展趋势[J]. 工业设计, 2020(1): 135-136.
- FENG Zhi-wen. Design and Development Trend of Metro Guide System from the Perspective of Interactive Design[J]. Industrial Design, 2020(1): 135-136.

责任编辑: 马梦遥