

DOI: 10.20174/j.juse.2026.02.01

# 地铁车站的适老化改造：现状—挑战—发展

张海霞<sup>1,2</sup>, 朱合华<sup>1,3</sup>, 刘芳<sup>1,3</sup>, 李晓军<sup>1,4</sup>, 吕艳云<sup>1,4</sup>

(1. 同济大学 土木工程学院, 上海 200092; 2. 上海市建设工程勘察设计管理事务中心, 上海 200032;  
3. 同济大学 土木工程防灾国家重点实验室, 上海 200092; 4. 土木信息技术教育部工程研究中心,  
上海 200092)

**摘要:** 随着全球人口老龄化加剧, 城市公共交通系统特别是地铁车站面临重大挑战。本文概述了地铁车站适老化设计的基本理念, 分析了老年人的行为特征及其对地铁车站的无障碍设施、信息标识系统和车站环境等方面的特殊需求; 综述了现有的研究进展, 包括设施设备的适老化、智能技术的应用, 以及适老化评价体系的构建。指出适老化改造中存在的挑战, 如用户调研不足、数据分析不足、评价体系不完善、方案验证机制单一和整体发展不均衡, 并展望了未来的智能化发展路径, 以期推动地铁车站更好地适应老年人的需求, 提升其出行体验。

**关键词:** 城市交通; 地铁车站; 适老化; 无障碍; 老年人

中图分类号: U121

文献标识码: A

文章编号: 1673-0836(2026)02-0377-11

## Aging-Friendly Renovation of Subway Stations: Current Situation—Challenges—Development

Zhang Haixia<sup>1,2</sup>, Zhu Hehua<sup>1,3</sup>, Liu Fang<sup>1,3</sup>, Li Xiaojun<sup>1,4</sup>, Lü Yanyun<sup>1,4</sup>

(1. College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, P. R. China; 2. Shanghai Construction Engineering Survey and Design Management Center, Shanghai 200032, P. R. China; 3. State Key Laboratory of Disaster Reduction in Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, P. R. China; 4. Engineering Research Center of Civil Engineering Information Technology Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, P. R. China)

**Abstract:** With the global population aging, urban public transportation systems, particularly subway stations, face significant challenges. This paper outlines the basic concepts of age-friendly design for subway stations, analyzes the behavioral characteristics of elderly passengers, and examines their specific needs regarding barrier-free facilities, information signage systems, and station environments. The paper then reviews recent research advancements, including adaptations of facilities for elderly use, integration of smart technologies, and the development of assessment frameworks tailored to age-friendly criteria. Finally, it identifies key challenges in age-friendly renovations, such as insufficient user research, inadequate data analysis, incomplete evaluation systems, a single-scheme verification mechanism and uneven overall development. The paper also outlines future directions in enhancing intelligent systems and evaluation frameworks to better accommodate the needs of elderly passengers and improve their overall travel experience.

**Keywords:** urban transportation; subway station; aging-friendly; accessibility; elderly

收稿日期: 2025-06-10(修改稿)

作者简介: 张海霞(1976—), 女, 江苏如皋人, 博士生, 高级工程师, 主要从事地下工程与隧道工程、人因地下空间、建设工程管理等领域的研究工作。E-mail: 2380102@tongji.edu.cn

通讯作者: 刘芳(1978—), 女, 广东河源人, 博士, 教授, 主要从事人因地下空间、生态岩土工程、能源岩土工程等领域的研究工作。E-mail: liufang@tongji.edu.cn

基金项目: 上海市住房和城乡建设管理委员会科研项目(沪建科 2024-005-011); 上海申通地铁集团有限公司科研项目(JS-KY24R009)

## 0 引言

随着全球人口的快速老龄化,城市交通系统面临着前所未有的挑战。根据联合国的统计数据,到2050年,全球60岁及以上的老年人口将达到22亿,占总人口的比例将接近22%<sup>[1]</sup>。在中国,老年人口逐年增加,截至2022年60岁及以上的老年人口已达到2.8亿,占全国总人口的19.8%<sup>[2]</sup>。预计到2050年,这一数字将达到4.8亿,占总人口的近37.8%<sup>[3]</sup>。这种人口结构的变化对城市基础设施,特别是公共交通系统提出了更高的要求。地铁作为城市公共交通的重要组成部分,因其高效、便捷的特点成为市民日常出行的主要方式。然而,对于老年群体而言,传统地铁站的设计往往存在诸多问题,如缺乏无障碍设施、信息标识不够清晰等,这些问题严重影响了老年乘客的出行安全与舒适度。随着社会对老年群体关注度的提高,地铁站的适老化改造已成为提升城市公共交通服务质量的重要方向。

地铁站的适老化改造不仅是回应老龄化社会需求的必然选择,也是社会公平和可持续发展的重要体现。地铁站适老化设计旨在通过优化地铁站的环境和设施,减轻老年群体在使用地铁系统时面临的障碍,使其能够安全、便捷地使用地铁服务。这样的改造措施包括增设无障碍设施(如电梯、扶手等)、优化信息标识系统、改进车站空间设计等,这些措施有助于改善老年乘客的出行体验,促进社会的包容性和公平性。从社会层面来看,适老化改造能够提升老年人的出行自主性和生活质量。研究表明,当公共交通系统提供无障碍设施和友好的设计时,老年人的出行频率会增加,社会参与度也随之提高。这样的改造不仅有助于满足老年人的出行需求,还能促进社会的整体和谐与稳定<sup>[4]</sup>。美国<sup>[5]</sup>、日本<sup>[6-7]</sup>、欧洲<sup>[8-9]</sup>和新加坡<sup>[10]</sup>等发达国家已经开展了一系列关于地铁站适老化的研究和实践。相比之下,中国在这一领域的研究和实践起步较晚,当前的工作主要集中在制定基础设施标准和政策框架上,具体的实施细节和基本概念仍需进一步改进和完善。

本文通过对文献的系统整理,全面分析了地铁站适老化改造的现状、挑战和发展趋势,重点探讨以下问题:(1)地铁站适老化的基本概念;(2)老年乘客的行为特征和需求;(3)地铁站适老化改造的研究现状和发展趋势;(4)地铁站适老化改造的效果评价。

## 1 地铁车站适老化概念和理论基础

### 1.1 地铁车站适老化设计的基本概念

适老化设计是一种以老年人为中心的设计理念,在设计和改造的过程中,充分考虑老年人的生理和行为习惯,以满足其特殊需求。这不仅包括实施无障碍设计和急救系统的配置,还涵盖一系列其他设计策略。周燕珉等<sup>[11]</sup>提出,适老化应深入考虑老年人的身体和精神状态,以及他们对空间流动性的需求,并据此进行相应的调整。

在地铁站的适老化设计中,这一概念被进一步扩展和应用。在车站的规划、设计、建设和更新过程中,设计者需要充分考虑老年人的生理特点、心理需求、行为特征以及社会环境等因素。通过实施一系列人性化的设计措施,如无障碍设计<sup>[12]</sup>、易于识别的导向标识<sup>[13]</sup>、舒适的候车环境<sup>[14]</sup>、便捷的购票和检票方式<sup>[15]</sup>、及时的紧急救援措施<sup>[16]</sup>以及温馨的环境氛围,为老年人创造一个安全、舒适、便捷、无障碍的出行环境。例如,在德国,公共交通系统通过改造设备设施和优化乘车环节,在费用可承担的基础上实现保障老年人自尊的无障碍乘车,确保老年人能够独立出行<sup>[9]</sup>;在日本,轨道交通部门不仅对设施设备进行改造,还建立了相关人性化框架平台,为老年人提供精准无障碍服务<sup>[17]</sup>。这种基于适老化的设计理念不仅有助于老年人与环境的有效和谐匹配,还能促进他们的出行便利和社会参与。

### 1.2 老年人行为特征

随着年龄的增长,老年人的生理机能逐渐减退,这直接影响到其出行的能力与方式。如表1所示,老年人的生理机能种类及其老化特征对老年人出行的影响主要体现在以下几个方面:老年人关节活动范围受限,肌肉力量减弱,步态改变,导致行走速度减慢,对体力要求较高的出行方式(如行走、攀爬)变得困难<sup>[18]</sup>;视力下降、色盲、听力减退,影响对环境的感知与判断,特别是夜间或光线不足的情况下,增加了出行的安全隐患<sup>[19]</sup>;老年人身体平衡感减弱,容易摔倒<sup>[20]</sup>;认知能力的变化,短期记忆、注意力与决策能力可能下降,导致他们在复杂环境或紧急情况下的应对能力受到影响<sup>[21]</sup>。

受多种因素影响,老年人更倾向于选择近距离的、熟悉的、有足够便利设施的地点出行,研究表明,随着年龄的增加,老年群体的移动性降低,活动空间收缩,但对公共交通的依赖性增强<sup>[22]</sup>。在出行时间方面,老年人更喜欢避免高峰时段出行,偏

好于早上或晚上较为空闲的时间段<sup>[23]</sup>。

表1 老年人生理特征

Table 1 Physiological characteristics of the aged

生理机能种类	老化特征
运动机能	肌肉萎缩、关节老化
感觉机能	视觉、听觉、触觉等下降
认知机能	记忆退化、注意力下降、思考能力衰退

### 1.3 老年人对地铁车站的需求

老年人对地铁车站的需求包括无障碍设施、清晰的指示信息、优化的照明和适宜的热舒适性。地铁车站适老化改造应综合考虑这些因素,以改善老年乘客的使用体验。

#### 1.3.1 设施设备

地铁车站通行设施是老年乘客完成正常地铁出行的必要条件。当前,老年乘客更倾向于使用无障碍电梯和自动扶梯而非楼梯<sup>[24]</sup>。然而,无障碍电梯的缺乏以及进出口闸机宽度的不足,给老年乘客带来了地铁出行的困难。因此,地铁站的通行设计应充分考虑到老年乘客的生理需求,提供必要的无障碍通道和适宜的闸机宽度<sup>[25]</sup>。特别是对于老年女性,她们对人行道的通畅性有更高的要求。地铁站的设计应注重人行道的疏通与拓宽,以降低拥堵和碰撞的风险<sup>[26]</sup>。

由于身体机能下降,老年人在处理复杂信息时需要更多的时间,他们对能迅速理解的方向信息有着迫切需求。近年来,一些学者通过实地调研发现,现有的标识系统存在指示不明确和数量不足的问题,这无法满足老年乘客对方向信息的需求<sup>[25]</sup>。杜艳春<sup>[13]</sup>通过问卷调查和现场调研,深入了解了老年乘客在使用地铁时遇到的问题,指出老年人存在看清导视牌、坐对地铁方向、出站时选择正确出口等需求。

#### 1.3.2 光环境

照明对于老年人的视觉感知和心理体验具有重要影响。老年人的行为特征多样,包括静态和动态活动,因此他们对照明环境的需求也各有差异。研究表明,不一致的灯具色温和普遍较低的显色指数可能会降低老年人的视觉舒适度,影响他们对空间中物体的识别能力<sup>[27]</sup>。随着年龄增长,老年人的视觉系统及其他生理功能逐渐衰退,表现为记忆力减退、注意力分散、认知能力下降和思维速度减慢<sup>[28]</sup>。这些变化使其对强光和眩光更加敏感,容易产生视觉疲劳。因此张立诚等<sup>[29]</sup>强调,在照明

设计中,应考虑老年人的视觉感知、心理感受与行为模式。合理的光环境设计可以显著提高老年人的生活质量<sup>[30]</sup>。王雅静等<sup>[31]</sup>通过实地调查和案例分析,探讨了光环境对老年人日常生活和安全性的重要性,以及合理光环境设计对老年人行为、生理和心理健康的积极影响。石程<sup>[32]</sup>同样提出,老年人对空间的色彩、光照、声音等有特定的需求,环境刺激的种类和强度对老年人行为有显著影响。老年人在低色温光照下阅读更不易感到视疲劳,且低色温照明有利于提升阅读效率和增进愉悦情绪。相反,高色温照明可能引发更多消极情绪,不利于集中注意力<sup>[33]</sup>。王一妃<sup>[34]</sup>利用软件模拟老年人照料设施的光环境,并通过线性回归分析了光环境物理指标与主观舒适度评价之间的关系。该研究确定了老年人照料设施内不同行为状态下的光物理指标舒适区间,并提出了提升光环境舒适性的设计策略。

#### 1.3.3 热舒适性

室内环境的多个因素对老年人的热舒适度有着直接的影响。与年轻人相比,老年人对温度环境的偏好存在显著差异。老年人的热中性温度通常低于年轻人,同时他们对室内温度、相对湿度和风速等环境因素的敏感度也有所提高。吕程等<sup>[35]</sup>的研究深入探讨了影响老年人热舒适度的多种因素,系统回顾了相关研究方法及热舒适评价模型,并从环境和个人两个维度分析了主要影响因素。他们指出,室内环境条件是影响老年人热舒适度的直接因素,而室外气候条件则通过改变老年人的热适应行为而间接影响热舒适度。此外,个体的生理和健康状况、心理和行为特征,以及经济条件等也显著影响老年人的热舒适度。研究强调,整合机器学习算法的数据驱动模型可更精确地捕捉个体差异,从而为老年人提供更加个性化的热舒适解决方案。

## 2 研究现状

现有对地铁车站适老化的研究,主要集中在通行设施、服务设施及信息交流设施的适老化,同时引入智能技术和评价体系。

### 2.1 地铁车站设施设备适老化

#### 2.1.1 通行设施设备适老化

地铁车站作为城市轨道交通网络的枢纽,其设计对于乘客的出行效率和安全性至关重要。适老化通行设施的设计目标是让老年乘客能够轻松地进出地铁站,享受一个便捷且舒适的出行体验。段进等<sup>[36]</sup>强调应用人性化原则和疏散技术的重要

性。陆玮<sup>[37]</sup>指出楼梯踏步的设计应适合老年乘客的身体条件,确保他们上下楼梯时的安全与舒适。时雨<sup>[24]</sup>建议换乘通道设计应避免长距离步行和复杂路径,减少老年乘客的体力消耗和行动难度。陈妍<sup>[38]</sup>从换乘空间设计角度出发,提出改善换乘效率的策略,这对老年乘客出行尤为重要。史雯雯<sup>[39]</sup>强调,包容性设计能够满足老年乘客的出行需求,同时提升地铁站的整体使用体验。褚冬竹等<sup>[40]</sup>提出站厅换乘空间对携物老年乘客出行的影响。

李明<sup>[41]</sup>进一步探讨了地铁站公共空间的功能复合化设计,强调空间综合利用在提高通行效率中的作用。通过合理规划空间布局和功能设置,地铁站能够更好地满足乘客的多样化需求,提升运营效率。翁振<sup>[42]</sup>提出,设立老年人专用的绿色通道、人工通道和零钱兑换处,可以解决购票问题,提高老年乘客的出行便利性和安全性。张黎<sup>[43]</sup>指出,优化轨道交通出入口的布局和设计,能够提升乘客的出行体验和安全性。韩孟席<sup>[44]</sup>强调,出入口设计应考虑老年人的行动特点,通过设置无障碍电梯和自动扶梯等设施,减少老年人的体力消耗和出行难度。王顺辉等<sup>[45]</sup>提出,适老化设计应考虑室内外温差和冬季湿滑路面等问题,为老年乘客提供安全、便捷的通行环境。

### 2.1.2 服务设施设备适老化

在地铁站的适老化设计中,确保设施的便利性、完善性以及设计与老年人需求的契合度至关重要,这直接关系到老年人乘坐地铁的舒适度和便利性。熊伟<sup>[46]</sup>很早便提出了从功能布局、服务设施、适老空间、环境设施等多个维度优化老年人居住空间的观点,这一观点对地铁站适老化设计同样适用。在地铁公共环境的设计中,应避免过度追求科技感,而应更多地融入地域性的文化元素,增强老年人的场所感和舒适度<sup>[47]</sup>。同时,将地域文化元素融入地铁站的设计中,不仅能够提升车站的辨识度,还能够使车站设施更加贴近老年人的实际需求<sup>[48]</sup>。

地铁站内的休息、卫生和商业设施应齐全,布局合理,便于老年人寻找和使用。休息座椅应根据老年人的体力和休息需求进行设置,考虑座椅的简洁性、材质适宜性、牢固性和实用性,确保座椅高度适中,便于倚靠,以提升老年人的舒适度<sup>[24-25,49]</sup>。卫生设施应包含无障碍卫生间和紧急呼叫按钮,确保老年人使用时的安全和便利;商业设施应设置在易于到达的位置,方便老年人的购物和用餐

需求<sup>[46,49]</sup>。

设置紧急呼叫装置并提供医疗救助服务在地铁站内尤为必要。这一举措能够在老年人遭遇突发状况时,为他们提供迅速而有效的援助与支持,从而确保他们的生命安全和身体健康得到最大程度的保障<sup>[42]</sup>。黄国敏<sup>[50]</sup>在研究中也进一步强调了为老年群体提供相关设施的重要性。这些设施的完善能在紧急关头为他们提供及时有效的帮助和支援,确保他们在面对突发情况时能够迅速得到援助,从而安心出行。

### 2.1.3 信息交流设施设备适老化

#### (1) 导向标识

适老化导向标识的合理设置对于提升老年乘客在地铁站内的出行便利性和安全性至关重要<sup>[51]</sup>。钱才云等<sup>[52]</sup>深入研究了城市空间与交通一体化设计,特别强调了提升标识系统的可读性和易用性,确保包括老年乘客在内的所有乘客都能轻松理解。一些学者进一步分析了老年人的视觉、听觉和行动衰老特征并提出了适老化设计原则,如提高信息可读性、使用易于辨识的颜色和字体、优化导视标识的位置和间距,有效降低老年乘客迷路风险<sup>[37,45]</sup>。有学者提出,导向标识信息应简洁明了,避免信息过载,建议使用大字号、高对比度标识,并引入自动语音播报系统,以简化老年乘客的认知负担<sup>[5,7,35]</sup>。

#### (2) 信息传递

为老年乘客提供精确的数据信息,有助于降低他们在行程中可能遇到的困难。黄超<sup>[47]</sup>强调了车站信息呈现的易读性,建议通过多种渠道确认乘车信息,减轻心理压力。刘玉贤<sup>[49]</sup>提出,导向标识应醒目易懂,减少人流交叉干扰和视觉混乱,创造一个清晰的乘车环境。随着科技的发展,地铁站智能化设计成为趋势,但也需考虑老年乘客的接受能力和操作便利性。有学者建议提供可调节字体大小的电子显示屏、线下放大镜和一键报警小程序等辅助措施,同时保留传统服务方式,满足老年乘客的多元化需求<sup>[24,36]</sup>。崔译文<sup>[53]</sup>通过量化分析模型,基于场所理论提出了优化设计,帮助老年乘客更好地理解和使用地铁系统。

本节综述了现有研究中关于地铁车站通行设施、服务设施和信息交流设施适老化改造的成果,包括对无障碍通道、电梯、扶手、座椅、卫生间、导向标识等方面的改进措施。研究主要集中在改善老年人通行效率、提升舒适度和增强安全感方面,为地铁站适老化提供了理论支持与实践指导。

## 2.2 智能技术的引入

由于科技在持续不断地进步,地铁车站适老化设计也随之不断创新。其中,一些城市的地铁车站逐步开始运用智能技术,如自动扶梯智能监测<sup>[54]</sup>、电子标识<sup>[55]</sup>以及导航系统<sup>[56]</sup>等,以此来增进老年人的出行体验。例如,通过虚拟现实技术展示公共空间的立体环境,使老年人能够更容易地找到目的地<sup>[57-58]</sup>。

此外,一些高新技术也被应用于地铁车站的设计和评估过程中,为设计师提供了更加直观和全面的参考和验证工具。例如,赵科鹏<sup>[59]</sup>运用数字孪生技术,通过仿真模拟实现了地铁车站内通行设施的优化。赵玮<sup>[60]</sup>通过改进深度神经网络算法(DNN)和基于改进Lasso算法的交通枢纽老年人换乘能力分析模型,可以量化老年人换乘特征表征参数,并对影响因素进行关联性分析。李俊斌<sup>[61]</sup>使用Spark、Kafka、Zookeeper、Redis等技术设计并实现实时计算模块,完成相应的客流指标计算工作,对客流变化分析具有重要意义。有学者利用Apache Hive、Pandas、Google TensorFlow和Spark ML-lib等开源软件工具建立相关平台,通过集成和分析多个数据源,可以对地铁乘客进行客流预测和高效管理<sup>[62-64]</sup>。陈世栋<sup>[65]</sup>利用环境感知技术实时监测车站内的光照条件和人流量,自动调节灯光亮度,为乘客提供最佳的视觉舒适度和安全性。

相关技术的应用有效提升了设计的效率和质量,不仅为老年人提供了更加友好和便捷的出行体验,也推动了数字技术在地铁车站适老化改造中的深度融合。未来的地铁车站适老化将更加依赖于智能化和数据驱动的方法,提升老年人乘坐地铁的整体体验。

## 2.3 地铁车站适老化评价体系

地铁车站适老化评价体系为评估地铁车站的适老化水平提供了重要的决策参考,能够有效识别并改善其在适老性方面的不足。近年来,学者们从不同视角对轨道交通站点的适老化评价进行了深入探讨。王永心<sup>[66]</sup>聚焦于评价体系的构建,其研究识别了轨道交通站点空间与老年乘客出行适应度低的问题,建立了一个综合性评价体系。通过实地调研和频数统计,其筛选出的31项适老评价指标被层次化组织,并利用德尔菲法与层次分析法确定了各层指标的权重。宋永钦<sup>[67]</sup>的研究构建了涵盖空间、硬件设备、服务等方面的评价指标体系,并利用层次分析法确定指标权重。通过模糊综合评

价方法,对南京地铁双龙大道站的适老化水平进行了等级评定。林玲<sup>[68]</sup>的研究运用层次分析法构建了评价体系,并以南昌市地铁站点为例进行了适老性调研与分析。

针对老人感觉较难准确获取问题,部分学者通过直接测量人体生理参数,以量化模糊的感觉体验。例如,有研究者根据人体舒适度与脑电图之间的关系,直接测量乘客在地铁车站环境下的脑电波,以此反映人体对当前地铁车站的舒适感觉程度<sup>[69]</sup>。Fakir等<sup>[70]</sup>使用穿戴传感器测量人体温度,进而预测个人的热舒适。Tang等<sup>[71]</sup>运用眼动和脑电图测量,研究分析个人在复杂地下公共空间的寻路认知。Li等<sup>[72]</sup>通过人体血氧节律评估确定地下空间对环境舒适度和认知能力的影响。Zhang等<sup>[73]</sup>运用眼动追踪技术,研究色彩与视觉舒适度的关系,并证明眼动指数可以作为视觉舒适度的评价参数。

## 3 挑战与未来发展方向

### 3.1 地铁车站适老化面临的挑战

#### 3.1.1 用户调研需求不足

在公共交通设施,如地铁车站的适老化设计中,用户需求调研是设计过程中不可或缺的一环。然而,实际的设计和改造工作中往往存在对老年人需求调研不足的问题,这导致一些地铁车站不能很好地满足老年人的实际需求。现有问题主要为以下几个方面:

(1)研究方法的局限性:目前的设计研究多依赖于文献回顾和专家意见,缺少直接从老年人群体获取的第一手资料。

(2)样本代表性的不足:研究对象往往局限于特定地域和文化背景的老年人,这限制了研究结果的普适性和适用性。一个全面的调研应该考虑到不同地域、文化和经济背景下老年人的需求。

(3)需求识别的不全面性:当前对老年人需求的分析往往停留在表面层次,缺乏对老年人心理、社会和情感需求的深入挖掘。一个全面的适老化设计应该综合考虑老年人的多方面需求。

(4)长期跟踪研究的缺失:目前缺乏对改造措施长期效果的全面评估,这导致无法及时调整和优化方案以适应老年人需求的变化。

#### 3.1.2 数据采集和分析不足

定量研究在地铁车站适老化设计改造中的应用存在显著的不足。首先,数据收集方面存在问题,缺乏系统化和全面性,如对老年人使用地铁车

站的频率、时间和偏好的详细数据。此外,对老年人的生理、心理特征数据了解不足,如视力、听力和行动能力等,这导致了改造方案的缺乏针对性。当前的分析方法过于传统,未能充分利用现代数据分析技术,如数据挖掘和机器学习,以深入分析老年人的需求和行为模式。

由于数据更新滞后,难以及时反映老年人需求的变化,进而影响到设计方案的科学性和实效性。此外,缺乏有效的数据整合机制导致不同来源和类型的数据未能充分结合,限制了分析的深度和广度。现代信息技术在数据收集和分析中的应用也显得不足,例如智能穿戴设备和移动应用的利用不足。这些问题直接影响了地铁车站适老化改造的多个方面:改造方案缺乏精确性、效果评估困难、资源分配不均和政策制定缺乏科学依据。长期规划方面,缺乏对老年人需求变化趋势的定量分析,使得改造策略缺乏持续优化的基础。

### 3.1.3 现有评价体系不完善

现有的地铁适老化评价体系在评估适老化成果时存在一定的局限性,无法准确全面地反映实际改造效果。首先,评价体系缺乏全面性,未能涵盖所有与老年人使用便利性相关的要素,如车站内部的导航系统、紧急求助设施以及休息区域的设置。其次,现有的评价标准过于笼统,没有针对不同地区或文化背景的老年人群体进行细化,导致某些特定需求被忽视。此外,评价体系没有充分考虑到老年人个体差异,如健康状况、行动能力和认知能力,这些差异对老年人使用地铁车站的便利性有显著影响。

### 3.1.4 适老化方案验证形式单一

由于主要依赖以往的经验来制定适老化方案,并将其应用于地铁车站的实际环境中。改造方案的验证往往依赖于老年乘客的使用反馈。如果所提出的改造方案未能有效满足老年人的实际需求,已实施的改造将会造成资源浪费。该验证评估过程效率较低,且存在较大的误差风险。因此,亟需探索更为系统化的方案验证机制,以提高适老化改造方案的科学性与有效性。

### 3.1.5 适老化发展不均衡

地铁车站适老化改造呈现显著的不均衡发展态势,主要体现在地域差异和建设时间差异。发达城市与欠发达城市之间存在明显差距,经济发达地区,尤其大型城市,因具备雄厚的经济实力和技术条件,能够投入更多资源进行适老化改造。这些地区通常拥有更完善的无障碍设施标准、更先进的智能应用和更专业的技术团队,从而能够更好地提升

老年人出行体验。相对而言,经济欠发达地区或中小城市因财政预算有限和技术力量薄弱,适老化改造进展缓慢,存在较多不足,从而阻碍老年人的出行。

新建地铁车站与老旧地铁车站之间也存在显著的差异。新建地铁车站的设计和建设过程中,通常会将适老化理念融入到整体规划之中,从初始阶段就考虑老年人的需求,采用更先进的无障碍设施和更人性化的设计方案。因此,新建车站的适老化水平通常相对较高,能够为老年人提供更加便捷和舒适的出行环境。而老旧地铁车站由于建成时间较早,其设计理念和技术水平难以满足当前的适老化需求,改造难度较大,成本也相对较高。许多老旧车站需要进行大规模的改造才能达到适老化的标准,这需要克服资金、技术和施工等多方面的挑战。此外,老旧车站的改造往往需要考虑与原有车站结构和功能的协调性,这增加了改造的复杂性,也可能导致改造效果不尽如人意。

## 3.2 未来发展方向

### 3.2.1 智能化发展

针对地铁车站适老化改造现有问题,可以建立标准化、系统化的数据收集机制,确保数据的全面性和准确性;利用现代技术实时收集老年人的使用数据;运用数据挖掘和机器学习等现代数据分析技术,深入分析老年人的需求和行为模式;建立跨部门、跨领域的数据共享平台,整合不同来源和类型的数据;定期更新数据,及时反映老年人需求的变化;加强跨学科研究,提高研究的深度和广度;加强数据分析人才的培养和引进,提高研究团队的能力。

其中数字孪生技术是对地铁车站适老化设计改造研究的前沿先进模式,也是城市精细化管理和数字化转型的重要内容。可以在不实际改动车站的情况下,通过构建虚拟模型,实时监测地铁车站的运营状态,预测客流趋势和老年乘客的行走路线,预测潜在的问题和障碍。还可以在虚拟环境中模拟改造过程,预测改造效果,使其更加符合老年人的使用习惯和需求,从而进行有针对性的改造设计。同时,在虚拟模型中也应制定针对不同城市规模和车站类型的适老化改造策略,以实现地铁车站适老化的均衡发展。

数字孪生技术的应用有利于提高地铁车站改造效率,降低改造成本,确保改造效果的最大化;也有利于进一步推动数字化技术在适老地铁车站建设中的深度融合应用,符合面向“新基建”的高质量发展需要,顺应数字转型、智能升级、融合创新等

数字孪生城市的趋势和潮流。

### 3.2.2 完善评价体系

一个能够全面考量物理环境、心理舒适度、社会包容性以及技术应用等多方面因素的综合性评价体系对于地铁车站适老化准确评估是必要的。该体系应覆盖多个维度,包括但不限于物理环境的无障碍设施、心理舒适度的氛围营造、社会包容性的多元需求满足、以及技术应用的智能化服务等,旨在从多个角度衡量地铁车站适老化的实际效果。同时,需要通过专家咨询、数据分析等方法,科学合理地确定各指标的权重分配,确保评价体系的公正性和准确性。在此基础上,制定一套科学合理的评分标准,确保评价过程具有可操作性。

具体而言,可以开发和验证一系列评估工具,如设计指标、量表、模拟实验等,以实现地铁车站适老化设计的全面、精准评估。以数学模型或仿真模型的形式,对评价标准的可行性和有效性进行模拟分析,从而进一步提升评价体系的科学性和实用性。最终,基于上述评价体系,提出具体的改造策略,以有效解决当前地铁车站适老化评价体系在量化分析方面的不足,为后续的适老化改造提供有力的支持和指导。

### 3.2.3 多学科融合

地铁车站适老化是一个系统性和交叉性的问题。其未来发展趋势将不再局限于单一学科的视角,而是朝着多学科融合的方向深度发展。这不仅体现在设计理念的革新上,更贯穿于规划、建设、运营和管理的整个生命周期。地铁车站设计改造将深度融合建筑学与人机工程学,以老年人为中心,从空间布局、设施尺寸、标识系统等方面进行优化。人机工程学研究将提供数据支撑,确保方案的科学性和有效性。此外,地铁车站的规划将更加注重与周边环境的无缝衔接,充分考虑老年人的出行需求,优化周边道路交通,完善无障碍设施,构建老年人友好的城市交通网络。同时,地铁车站的适老化建设将更加注重社会学和心理学的研究成果,深入了解老年人的出行习惯、心理感受和社会需求,并将其融入到设计和运营管理中。

未来地铁车站的适老化建设将朝着多学科融合、科技赋能、以人为本的方向发展,通过整合各方资源,构建一个安全、便捷、舒适、人性化的老年人出行环境,最终实现老有所依、老有所乐的目标。

## 4 结论

(1)本文详细论述了地铁车站适老化的研究现状,归纳为3类。地铁车站设施设备的适老化,

如通行设施、服务设施和信息交流设施,在物理空间上直接确保了老年人的安全和体验。智能技术的引入,可以为地铁车站适老化提供强有力的支持,推动设计改造进程。适老化评价体系的建立,可以为适老化设计改造提供决策依据,有效反映适老化成果,为方案实施提供必要反馈。

(2)本文深入探讨了地铁车站适老化目前面临的挑战和未来发展方向。地铁车站适老化目前面临用户需求调研不足、数据采集和分析不足、评价体系不够完善、方案验证机制单一和发展不均衡等挑战。根据现有挑战指出未来发展方向,包括智能化发展、完善评价体系和多学科融合。

### 参考文献(References)

- [1] 何靖楠,李宇华,张毅,等. 国内外人口老龄化现状及我国面临的挑战[J]. 中华临床医师杂志(电子版), 2011, 5(13): 3894-3897. (He Jingnan, Li Ninghua, Zhang Yi, et al. The current situation of population aging at home and abroad and the challenges faced by our country [J]. Chinese Journal of Clinicians (Electronic Edition), 2011, 5(13): 3894-3897. (in Chinese))
- [2] 中华人民共和国中央人民政府. 2022年度国家老龄事业发展公报[EB/OL]. [https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202312/content\\_6920261.htm](https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202312/content_6920261.htm), 2023-12-14. (The central people's government of the People's Republic of China. 2022 National Development Bulletin on Aging [EB/OL]. [https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202312/content\\_6920261.htm](https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202312/content_6920261.htm), 2023-12-14. (in Chinese))
- [3] 杜鹏,李龙. 新时代中国人口老龄化长期趋势预测[J]. 中国人民大学学报, 2021, 35(1): 96-109. (Du Peng, Li Long. Forecast of the long-term trend of population aging in China in the new era[J]. Journal of Renmin University of China, 2021, 35(1): 96-109. (in Chinese))
- [4] 李若男,朱荔丽. 老龄化社会下公共交通系统辅助设施优化设计研究[J]. 综合运输, 2017, 39(8): 74-79. (Li Ruonan, Zhu Lili. Optimization design of auxiliary facilities of public transportation system in aging society[J]. China Transportation Review, 2017, 39(8): 74-79. (in Chinese))
- [5] 陈雪明. 美国交通技术在适老交通中的应用[J]. 城市交通, 2022, 20(4): 47-52. (Chen Xueming. Application of the United States' transportation technology in senior-friendly transit [J]. Urban Transport of China, 2022, 20(4): 47-52. (in Chinese))
- [6] Tsujimura S. Proposal of guideline for the development of announcement at a railroad station in Japan

- with consideration for an elderly people [A]// INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings [C]. 2023: 629-637.
- [7] 栾志理. 人口减少时代日本九州市应对老龄化社会的公共交通规划及启示 [J]. 上海城市规划, 2018 (2): 76-83. (Luan Zhili. Public Transport planning and enlightenment for an aging society of Kyushu city in the era of population reduction [J]. Shanghai Urban Planning Review, 2018(2): 76-83. (in Chinese))
- [8] Labus A. Transport infrastructure renewal in the context of an ageing society in european cities in the 21st century [A]// International Symposium for Next Generation Infrastructure 2013 [C]. 2013.
- [9] 张玉, 李明帅. 保障老年人独立出行的德国公交系统适老化服务及设施设计 [J]. 装饰, 2022(1): 104-108. (Zhang Yu, Li Mingshuai. The Senices and the Design of German public transport facilities for the elderly people to travel independently [J]. Zhuangshi, 2022(1): 104-108. (in Chinese))
- [10] 张晓梅, 于河海. 新加坡城市交通无障碍设计及对我国的启示 [J]. 综合运输, 2021, 43 (2): 138-142. (Zhang Xiaomei, Yu Hehai. The barrier-free design of urban traffic in Singapore and enlightenment to China [J]. China Transportation Review, 2021, 43(2): 138-142. (in Chinese))
- [11] 周燕珉, 程晓青, 林菊英. 老年住宅 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011. (Zhou Yanmin, Cheng Xiaoqing, Lin Juying. Elderly housing [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2011. (in Chinese))
- [12] 祝长康, 吴迪. 城市轨道交通车站的无障碍设计 [J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(8): 192-194, 200. (Zhu Changkang, Wu Di. Accessibility design of urban rail transit station [J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(8): 192-194, 200. (in Chinese))
- [13] 杜艳春. 地铁导视系统的适老化服务设计研究—以武汉地铁为例 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2021. (Du Yan Chun. Study on the design of suitable aging service for subway guiding system—take Wuhan subway as an example [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2021. (in Chinese))
- [14] 杨林川, 唐祥龙, 石亚灵, 等. 人口老龄化背景下香港地铁服务满意度分析与改进策略研究 [J]. 都市快轨交通, 2023, 36(3): 96-101. (Yang Linchuan, Tang Xianglong, Shi Yaling, et al. Satisfaction of older adults with the metro in Hong Kong: implications for elderly-friendly metro improvement [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2023, 36(3): 96-101. (in Chinese))
- [15] 张舒. 基于通道补偿机制的地铁自助售票机适老化交互设计研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2022. (Zhang Shu. Research on the elderly-friendly interaction design of subway self-service ticket vending machines based on the channel compensation mechanism [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2022. (in Chinese))
- [16] Baffoe B O K, Zheng S Y. Subway emergency preparedness in Shanghai: A focused group and interview study exploring the perceived experiences of senior citizens and the disabled [J]. Journal of Emergency Management, 2017, 15(1): 29-48.
- [17] 张家瑞. 日本铁路运输客运车站无障碍与人性化设计启示研究 [A]// 2020 万知科学发展论坛 [C]. 西安, 2020: 876-886. (Zhang Jiarui. Research on the enlightenment of barrier-free and humanized design of Japanese railway passenger stations [A]// 2020 wan zhi science and development forum [C]. Xi'an, 2020: 876-886. (in Chinese))
- [18] Cai Y, Tian Q, Gross A L, et al. Motor and physical function impairments as contributors to slow gait speed and mobility difficulty in middle-aged and older adults [J]. The Journals of Gerontology: Series A, 2022, 77(8): 1620-1628.
- [19] Sorbello S, Do V Q, Palagyi A, et al. Poorer visual acuity is independently associated with impaired balance and step length but not overall physical performance in older adults [J]. Journal of aging and physical activity, 2020, 28(5): 756-764.
- [20] 李长虹, 李立, 李壮志, 等. 石家庄市老年人跌倒的发生现况及其下肢平衡能力 [J]. 中国老年学杂志, 2014, 34(24): 6941-6943. (Li Changhong, Li Li, Li Zhuangzhi, et al. The current status of falls among the elderly in Shijiazhuang city and their lower limb balance abilities [J]. Chinese Journal of Gerontology, 2014, 34(24): 6941-6943. (in Chinese))
- [21] Taylor M E, Delbaere K, Lord S R, et al. Neuropsychological, physical, and functional mobility measures associated with falls in cognitively impaired older adults [J]. The Journals of Gerontology: Series A, 2014, 69(8): 987-995.
- [22] 谷志莲, 柴彦威. 城市老年人的移动性变化及其对日常生活的影响——基于社区老年人生活历程的叙事分析 [J]. 地理科学进展, 2015, 34(12): 1617-1627. (Gu Zhilian, Chai Yanwei. The changes in mobility of urban elderly people and their impact on daily life: a narrative analysis based on the life course of community elderly people [J]. Progress in Geography, 2015, 34 (12): 1617-1627. (in Chinese))
- [23] 王彬, 江迎. 基于 IC 卡数据的老年人地铁出行特征研究分析 [A]// 2016 年中国城市交通规划年会

- [C]. 深圳, 2016: 2113-2121. (Wang Bin, Jiang Ying. Research and analysis on the characteristics of elderly people's subway travel based on IC card data[A] // 2016 China Urban Transportation Planning Annual Meeting [C]. Shenzhen, 2016: 2113-2121. (in Chinese))
- [24] 时雨. 地铁站公共空间适老性设计研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2017. (Shi Yu. Study on the aged-oriented design of the public space in the subway station [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2017. (in Chinese))
- [25] 陈智慧, 张彝彝, 牛瑞妮, 等. 天津地铁站点内部公共空间“适老设计”研究改造——以王顶堤站为例[J]. 艺术与设计(理论), 2020, 2(1): 71-73. (Chen Zhihui, Zhang Benben, Niu Ruini, et al. Study on the aged-oriented design of the public space in the Tianjin subway station, taking Wangdingdi station as an example[J]. Art and Design (Theory), 2020, 2(1): 71-73. (in Chinese))
- [26] 钟文钰. 基于女性视角的地铁站域景观适老化设计研究——以广州市为例[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2024. (Zhong Wenyu. Research on the aging design of subway station landscape based on female perspective—a case study of Guangzhou [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2024. (in Chinese))
- [27] 温芳, 苏妤, 王亚婕. 基于老年人行为特征的改造型养老机构照明环境优化研究[J]. 城市建筑空间, 2024, 31(3): 79-82. (Wen Fang, Su Yu, Wang Yajing. Lighting environment optimization of transformed elderly care institution based on behavior characteristic of the elderly [J]. Urban Architecture Space, 2024, 31(3): 79-82. (in Chinese))
- [28] Lindenberger U, Ghisletta P. Cognitive and sensory declines in old age: Gauging the evidence for a common cause [J]. Psychology and Aging, 2009, 24(1): 1-16.
- [29] 张立诚, 严永红. 步行空间适老化照明研究进展[J]. 照明工程学报, 2023, 34(4): 114-120. (Zhang Licheng, Yan Yonghong. Research progression lighting of pedestrian space for the elderly [J]. China Illuminating Engineering Journal, 2023, 34(4): 114-120. (in Chinese))
- [30] 王祖君, 宾一帆. 老年人居住空间光环境设计研究[J]. 中国建筑装饰装修, 2021(12): 112-113. (Wang Zujun, Bin Yifan. Research on the design of light environment in the living space for the elderly [J]. Interior Architecture of China, 2021(12): 112-113. (in Chinese))
- [31] 王雅静, 黄海静. 老年人行为活动及光环境满意度调研分析——以重庆地区养老院为例[J]. 照明工程学报, 2017, 28(4): 47-54. (Wang Yajing, Huang Hai Jing. Investigation and analysis on the satisfaction degree of light environment and behavior activities of the elderly —A case study of nursing homes in Chongqing [J]. China Illuminating Engineering Journal, 2017, 28(4): 47-54. (in Chinese))
- [32] 石程. 基于环境—行为关系理论的老年公寓空间环境设计研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2018. (Shi Cheng. Research on space environment design of elderly apartment based on environment-behavioral relationship theory [D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2018. (in Chinese))
- [33] 王雅静, 黄海静. 适宜老年人阅读行为的健康光环境研究[J]. 照明工程学报, 2023, 34(3): 162-172. (Wang Yajing, Huang Haijing. Study on healthy light environment suitable for reading behavior of the elderly [J]. China Illuminating Engineering Journal, 2023, 34(3): 162-172. (in Chinese))
- [34] 王一妃. 基于行为特征的老年人照料设施光舒适设计策略研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2022. (Wang Yifei. research on design strategies for lighting comfort of elderly care facilities based on behavior characteristics [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2022. (in Chinese))
- [35] 吕程, 吕阳. 建筑室内环境老年人热舒适的研究进展[J]. 暖通空调, 2022, 52(增2): 324-328. (Lü Cheng, Lü Yang. Research progress on the thermal comfort of the elderly in indoor building environments [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2022, 52(Supp. 2): 324-328. (in Chinese))
- [36] 段进, 陈晓东, 钱艳. 城市设计引导下的空间使用与交通一体化设计——南京青奥轴线交通枢纽系统疏散的设计方法与创新[J]. 城市规划, 2014, 38(7): 91-96. (Duan Jin, Chen Xiaodong, Qian Yan. Space utilization and transport integrated design under the guidance of urban Design: methods and innovations on systematic dispersion of transport hubs along youth Olympic axis in Nanjing [J]. City Planning Review, 2014, 38(7): 91-96. (in Chinese))
- [37] 陆玮. 基于老年人使用需求的地铁车站设计研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2015. (Lu Wei. A Study of the Subway Station Designed Especially for the Aged People [D]. Suzhou: Soochow University, 2015. (in Chinese))
- [38] 陈妍. 中小型城际铁路站与地铁的换乘空间设计研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2021. (Chen Yan. Research on space design of medium-sized intercity railway station transfer to subway stations [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2021. (in Chinese))

- Chinese))
- [39] 史雯雯. 杭州地铁包容性设计及优化策略[J]. 城市轨道交通, 2020, 18(6): 75-83, 17. (Shi Wenwen. Inclusive design and optimization strategy of Hangzhou subway[J]. Urban Transport of China, 2020, 18(6): 75-83, 17. (in Chinese))
- [40] 褚冬竹, 宋登高. 轨道交通换乘站厅携物老人行为-空间适配研究[J]. 地下空间与工程学报, 2024, 20(3): 721-736. (Chu Dongzhu, Song Denggao. Research on the adaptation between transfer hall space of urban rail transit and the behavior of the elderly with goods[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2024, 20(3): 721-736. (in Chinese))
- [41] 李明. 地铁站域公共空间功能复合化设计研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2022. (Li Ming. Research on the functional composite design of public space in metro station area[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2022. (in Chinese))
- [42] 翁振. 城市轨道交通车站公共设施适老化设计要点分析[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(12): 296-297. (Weng Zhen. Analysis of key points for elderly-friendly design of public facilities in urban rail transit stations[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(12): 296-297. (in Chinese))
- [43] 张黎. 城市轨道交通出入口建筑设计方案研究[J]. 城市住宅, 2021, 28(增1): 267-268. (Zhang Li. Research on architectural design schemes for urban rail transit entrances and exits [J]. Urban Architecture Space, 2021, 28(Supp. 1): 267-268. (in Chinese))
- [44] 韩孟席. 地铁站适老化设计研究—以徐州市为例[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2023. (Han Mengxi. Study on aging design of subway station—a case study of Xuzhou city [D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2023. (in Chinese))
- [45] 王顺辉, 谢佳宏. 哈尔滨地铁交互系统适老化设计研究[J]. 设计, 2024, 37(3): 86-89. (Wang Shunhui, Xie Jiahong. Study on adaptive aging design of Harbin metro interactive system[J]. Design, 2024, 37(3): 86-89. (in Chinese))
- [46] 熊伟. 住区规划中的适老化设计对策[J]. 规划师, 2012, 28(增1): 89-92. (Xiong Wei. Adaptive Aging design in residential planning [J]. Planners, 2012, 28(Supp. 1): 89-92. (in Chinese))
- [47] 黄超. 基于老龄化社会下的地铁车站的包容性设计研究[J]. 综合运输, 2016, 38(1): 74-76. (Huang Chao. Research on Inclusive Design of subway stations in an aging society [J]. China Transportation Review, 2016, 38(1): 74-76. (in Chinese))
- [48] 孙静. 基于地域文化的地铁站空间特色表达研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2020. (Sun Jing. Research on the expression of spatial characteristics of metro station based on regional culture [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2020. (in Chinese))
- [49] 刘玉贤. 基于老龄化视域下城市地铁站空间中的包容性设计研究[D]. 南昌: 南昌航空大学, 2019. (Liu Yuxian. Research on Inclusive Design of urban subway station space based on the perspective of Aging [D]. Nanchang: Nanchang Hangkong University, 2019. (in Chinese))
- [50] 黄国敏. 武汉城市轨道交通公共空间适老化设施研究[J]. 时代汽车, 2023(4): 11-13. (Huang Guomin. Research on age-appropriate facilities in public space of Wuhan urban rail transit [J]. Auto Time, 2023(4): 11-13. (in Chinese))
- [51] 马亮. 地铁公共交通空间设计分析[J]. 住宅与房地产, 2020(30): 78-79. (Ma Liang. Analysis of the design of public transportation spaces in the subway [J]. Housing and Real Estate, 2020(30): 78-79. (in Chinese))
- [52] 钱才云, 周扬. 对复合型的城市公共空间与城市交通一体化设计方法的探讨[J]. 建筑学报, 2009(增2): 135-140. (Qian Caiyun, Zhou Yang. A Discussion on the design method of the integration of compound urban public space and urban transportation [J]. Architectural Journal, 2009(Supp. 2): 135-140. (in Chinese))
- [53] 崔译文. 基于场所理论的城市综合体与地铁站衔接空间优化设计研究[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2021. (Cui Yiwen. Research on the optimal design of the connection space between urban complex and subway station based on place theory [D]. Qingdao: Qingdao University of Technology, 2021. (in Chinese))
- [54] 彭恒义, 王启锋, 郭将, 等. 深圳地铁14号线地铁自动扶梯智能监测系统应用[J]. 装备制造技术, 2023(10): 177-179. (Peng Hengyi, Wang Qifeng, Guo Jiang, et al. Shenzhen metro line 14 metro escalator intelligent monitoring system application [J]. Equipment Manufacturing Technology, 2023(10): 177-179. (in Chinese))
- [55] Schweiger C L. Electronic signage for public transport: is it history? [A]// 20th ITS World Congress ITS Japan [C]. 2013.
- [56] Marciniak J B, Wiktorzak B. Automatic generation of guidance for indoor navigation at metro stations [J]. Applied Sciences. 2024, 14(22): 10252.
- [57] 田瑾, 张萍. 老龄化背景下公共空间智能导视系统设计[J]. 现代电子技术, 2019, 42(14): 173-176. (Tian Jin, Zhang Ping. Design of intelligent guidance system for public spaces under background of

- aging [J]. *Modern Electronics Technique*, 2019, 42(14): 173-176. (in Chinese))
- [58] 安晓晓. 地下空间疏散指示标志设置对寻路效率影响研究[J]. *地下空间与工程学报*, 2023, 19(6): 1760-1768, 1781. (An Xiaoxiao. Study on the impact of evacuation signage configuration on wayfinding efficiency in underground spaces [J]. *Chinese Journal of Underground Space and Engineering*, 2023, 19(6): 1760-1768, 1781. (in Chinese))
- [59] 赵科鹏. 基于数字孪生的地铁站内通行设施资源优化研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2023. (Zhao Kepeng. Research on optimization of access facility resources in subway station based on digital twin [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2023. (in Chinese))
- [60] 赵玮. 基于老年人出行能力的高铁交通枢纽换乘系统评价及仿真[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2019. (Zhao Wei. Elderly's mobility based on evaluation and simulation of high-speed railway transfer system [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2019. (in Chinese))
- [61] 李俊彬. 智能车站的客流量分析系统设计与实现[D]. 广州: 广东工业大学, 2021. (Li Junbin. Design and implementation of passenger flow analysis system for intelligent station [D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2021. (in Chinese))
- [62] Mulerikkal J, Thandassery S, Rejathalal V, et al. JP-DAP: An intelligent data analytics platform for metro rail transport systems [J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2021, 23(7): 9146-9156.
- [63] 陈彬彬, 蔡燕歆, 姚勇, 等. 城际地下站公共空间使用效率预测与评价方法[J]. *地下空间与工程学报*, 2021, 17(增1): 22-33, 54. (Chen Binbin, Cai Yanxin, Yao Yong, et al. Method for forecasting and evaluating public space utilization efficiency of intercity underground stations [J]. *Chinese Journal of Underground Space and Engineering*, 2021, 17(Supp. 1): 22-33, 54. (in Chinese))
- [64] 褚冬竹, 董志凌. 短时激增客流下的轨道交通换乘空间应变研究[J]. *地下空间与工程学报*, 2024, 20(5): 1401-1417. (Chu Dongzhu, Dong Zhiling. Research on transformation of urban rail transit transfer space under the condition of short-term rapid increase passenger flow [J]. *Chinese Journal of Underground Space and Engineering*, 2024, 20(5): 1401-1417. (in Chinese))
- [65] 陈世栋. 地铁车站人工照明智能控制与节能研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2014. (Chen Shidong. Study on artificial lighting control and energy saving of subway station light environment [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2014. (in Chinese))
- [66] 王永心. 轨道交通站点空间适老评价体系构建及应用研究[D]. 济南: 济南大学, 2024. (Wang Yongxin. Construction and application of spatial aging appraisal system for rail transit stations [D]. Jinan: Jinan University, 2024. (in Chinese))
- [67] 宋永钦. 基于模糊综合评价的地铁站点设施适老性分析[J]. *物流科技*, 2022, 45(16): 78-82. (Song Yongqin. Analysis on the suitability for the elderly of subway station facilities based on fuzzy comprehensive evaluation [J]. *Logistics Sci-Tech*, 2022, 45(16): 78-82. (in Chinese))
- [68] 林玲. 城市地铁站点空间适老性评价与优化设计研究—以南昌地铁站点为例[D]. 南昌: 江西财经大学, 2023. (Lin Ling. Research on evaluation and optimization of space aging suitability of urban subway stations design—taking Nanchang metro stations as an example [D]. Nanchang: Jiangxi University of Finance and Economics, 2023. (in Chinese))
- [69] Kim Y, Han J, Chun C. Evaluation of comfort in subway stations via electroencephalography measurements in field experiments [J]. *Building and Environment*, 2020, 183: 107130.
- [70] Fakir M H, Yoon S E, Mohizin A, et al. Prediction of individual dynamic thermal sensation in subway commute using smart face mask [J]. *Biosensors*, 2022, 12(12): 1093.
- [71] Tang S, Xiang D, Yang H, et al. Research on pathfinding cognition in complex underground public space utilizing eye movement and EEG synchronous detection [J]. *Developments in the Built Environment*, 2023, 16: 100251.
- [72] Li J, Wu W, Jin Y, et al. Research on environmental comfort and cognitive performance based on EEG plus VR plus LEC evaluation method in underground space [J]. *Building and Environment*, 2021, 198: 107886.
- [73] Zhang L, Li X, Li C, et al. Research on visual comfort of color environment based on the eye-tracking method in subway space [J]. *Journal of Building Engineering*, 2022, 59: 105138.