

引用格式: 金蕾, 郭飞, 黄翔. 一种未来城市交能融合的自动物流配送系统设想——“路+”智慧城市地下自动物流配送系统 [J]. 南方能源建设, 2024, 11(6): 135-141. JIN Lei, GUO Fei, HUANG Xiang. A visionary concept for the integration of transportation and logistics distribution in a future city: "way + smart city underground logistics system [J]. Southern energy construction, 2024, 11(6): 135-141. DOI: 10.16516/j.ceec.2024.6.14.

一种未来城市交能融合的自动物流配送系统设想

——“路+”智慧城市地下自动物流配送系统

金蕾^{1,2}, 郭飞^{3,✉}, 黄翔⁴

- (1. 中国电力工程顾问集团有限公司, 北京 100029;
2. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广东 广州 510663;
3. 中国能源建设集团有限公司, 北京 100022;
4. 南方电网数字电网研究院有限公司, 广东 广州 510555)

摘要: [目的]为解决城市地面配送成本高、占用有限路面交通空间的问题,文章旨在构建新一代地下物流输送网,实现自动化与智能化的物流高效传输。[方法]利用先进的信息化技术,充分利用现有地下空间,在成本可控情况下实现高效经济的物流配送。[结果]提出了一种交能融合智慧物流配送系统——“路+”,该系统基于整合地下空间资源、融合信息技术、创新规划建筑理论与智能制造模式,为实现货物智能传送,建设货运的专用地下交通网。[结论]为新零售和未来绿色城市提供创新性建议。

关键词: 物流; 配送; 地下; 自动; 交能融合

中图分类号: TK01+9; U231

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2024)06-0135-07

DOI: 10.16516/j.ceec.2024.6.14

OA: <https://www.energychina.press/>



论文二维码

A Visionary Concept for the Integration of Transportation and Logistics Distribution in a Future City: "Way +" Smart City Underground Logistics System

JIN Lei^{1,2}, GUO Fei^{3,✉}, HUANG Xiang⁴

- (1. China Power Engineering Consulting Group Co., Ltd., Beijing 100029, China;
2. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, Guangdong, China;
3. China Energy Engineering Group Co., Ltd., Beijing 100022, China;
4. Digital Grid Research Institute, China Southern Power Grid, Guangzhou, 510555, Guangdong, China)

Abstract: [Introduction] In order to address the issues of high costs and occupation of limited road space in urban ground distribution, we build an underground logistics delivery networks, enabling efficient, automated, and intelligent logistics transportation. [Method] We aimed to achieve efficient and economical logistics distribution while keeping costs under control by using advanced information technology. [Result] This paper envisages an underground smart logistic system—"Way+". This system, based on underground municipal infrastructure, introduces information technology, breakthrough planning architecture theory and intelligent manufacturing technology, by building an underground high-speed intelligent channel network specialized for freight, so as to realize automatic and

收稿日期: 2024-10-10 修回日期: 2024-10-20

基金项目: 中国能建重大科技专项“综合交通与能源融合关键技术研究工程示范”(CEEC2021-KJZX-08-2); 中电工程重大科技专项“交能融合规划设计导则”(DG1-A01-2023)

intelligent delivery of goods [Conclusion] This paper provides innovative route for new retail and construction of future green smart cities.

Key words: logistics; delivery; underground; automatic; integration of transportation and energy

2095-8676 © 2024 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI.

This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

0 城市物流配送现状

随着现代商业模式的发展,物流已成为人们必须的基础性服务,当人们大部分的生活资料、生产资料都来自于城市配送服务时,物流也成为一种能源流,就像供水、供电、供气一样维持着现代快节奏城市生活的高速运转,成为交通能源融合的重点发展板块与亟待解决的核心问题。

2023年,中国快递业务量突破1320.7亿件,同比增长19.4%,快递业务收入达到12074亿元,同比增长14.3%,已居世界榜首。电子商务的迅猛发展导致快递行业还会保持持续的增速。如果再加上同城配送、外卖、B2C仓储直销,路面交通情况将更加严峻。

物流集装箱车、城市箱式货车、面包车、电动三轮车等,已经对路面交通形成重压力,成为新的城市道路景观^[1]。平时在生活中也会有很多物品交接的情景:采购生产、生活资料、送取物品等,很多客车的出行也只是解决物流的目的,但却让人们在路途耗费大量时间与精力。这都是还未精确统计但却更加需要解放的部分。

人们更趋向于采用地铁出行^[2],除了人流入地,电、燃气、蒸汽、水、信息通讯等也纷纷入地,城市已经出现了地上地下立体发展的格局^[3]。地下空间的开发为城市赢得宝贵的发展空间^[4-5]。

文章设计了一种将城市客运、货运分层运输的模式,将目前混乱和分散的城市配送由路面转为地下,增加专项集约化的物流路径,形成高效的地下物流管线,继而发展为地下物流输送网,解决道路拥堵问题,将地面环境与时间留给人类,这将会对城市综合发展带来巨大的收益,不仅能减少交通事故,减小路面交通压力,降低温室效应,更能降低物流成本,提升物流运输效率,协同新零售发展^[6-8]。

自动物流系统在很多场景下^[9-11],显得尤为重要:例如在疫情期间,人们在物理空间上被隔离,快递员

配送受到限制的情况中;在夜间或传统节假日需要急速配送,缺少快递员的情况中;在老年人康养中心、医院等客户行动不便的情况中;在高端豪宅对私密性与生活便捷性要求高的情况中,等等,自动物流系统能够快速完成无人、24 h的配送任务。

1 研究背景

自1999年首届国际地下物流会议召开至今,来自世界各地的专家学者们持续的推动地下物流研究不断深入和发展,加快技术的转化和应用。

城市地下物流系统是指在城市内部或者城市之间,通过地下交通实现物流自动化,如通过地下管道或隧道等。它将是未来城市的一种新的交通和能源流系统。发展城市地下物流系统符合国家重大战略需求。北京、上海等地已尝试将其列入城市地下空间规划纲要^[12-13]。近年来,城市地下物流系统已成为国家自然科学基金重点资助领域,多家科研院所、企业在该领域做了大量工作,城市地下物流系统在我国已受到关注与重视^[14-16]。

地下物流或可借助城市市政工程的春风,整合社会资源,打造城市基础设施物流的共同配送平台。

目前,城市地下物流系统在全世界范围内得到广泛的研究和应用。2016年开始,瑞士开展了CST项目,该项目规划了一条用于运输包裹和货运托盘的地下物流隧道,全长450 km,目前已获得第一轮融资,有望成为首个现代城市地下物流系统。除此以外,近20年来,法国、意大利、英国和比利时等国也持续开展了相关研究,包括地下磁悬浮轨道运输技术、地下真空管道技术以及地下无人轨道运输技术等。中国的城市地下物流系统也得到广泛的研究,包括上海市的连接港区和物流园区的地下集装箱专线,雄安新区的综合管廊,北京副中心的地下货运系统,青岛城区结合既有人防设施的城市地下物流系统以及覆盖苏南地区的城际集装箱运输专线。

1.1 地下物流相关文献研究情况

目前地下物流相关研究论文不断涌现, 而且近几年急速增长。图 1 为 1980—2020 年地下物流领域的相关论文情况。

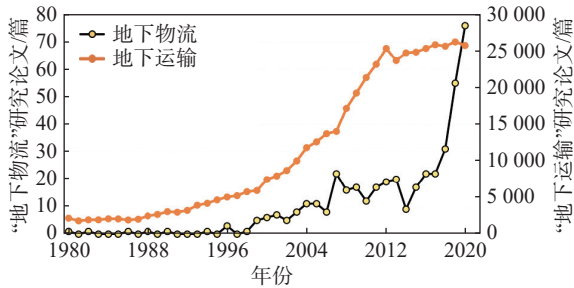


图 1 地下物流及地下运输相关论文趋势图^[17]

Fig. 1 Trend chart of underground logistics and underground transportation related papers

1.2 地下物流相关专利情况

近 10 年来, 地下物流相关的专利数量逐年递增, 特别是中国, 近年来相关专利成倍数增长。图 2 为主要国家地下物流专利数趋势图。

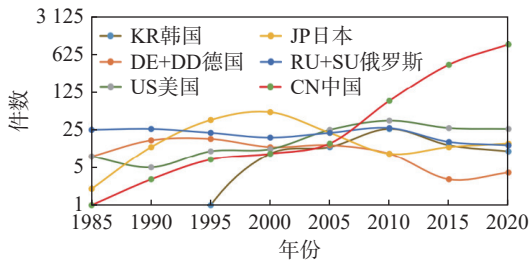


图 2 主要国家地下物流专利数趋势图^[17]

Fig. 2 Trend chart of patent number of underground logistics in major countries

2 “路+”智慧物流系统

2.1 “路+”智慧物流系统方案设想

文章提出一种地下智慧物流配送系统——“路+”，该系统基于地下市政基础设施, 引入信息技术、规划理论与现代智能制造技术, 建设货运专用的高速智能交通网, 以实现货物的自动化传送。

“路+”是指把物流输送与地下交通等结合起来, 形成新的生命线, 物流网。对路网的升级与增值, 是城市市政基础设施使用模式的升级与增值, 也是物流经营模式的升级与增值。“路+”地下智慧物流系统是一个集运输、配送与仓储的共配平台, 在这个平台上打通物流信息网络, 实现物流信息共享, 让整个

物流过程更加智能、经济。整个物流过程通过大数据等信息技术监测控制, 预判商品的存量和提前备货, 地下运输网承担流动仓储的功能, 减小库存。

“路+”智慧物流配送系统在城市内将分为三级配送, 如图 3 所示。

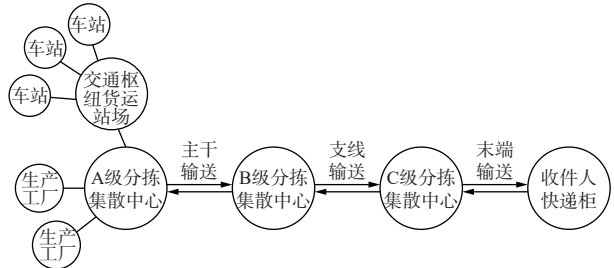


图 3 自动物流系统配送示意图(自绘)^[18]

Fig. 3 Distribution diagram of automatic logistics system

主干配送: 指区集散点之间的主干输送, 如从一个区集散点到另一区集散点, 包括从港口、火车站、机场到各城区的主干道配送。

支线配送: 指经由次干道, 从区集散点到附近各社区或各建筑物的输送。

末端配送: 与社区管廊、建筑物结合, 送达快递柜或通过楼宇自动化完成到户到家的终极目标。

末端配送还可设想为在一个园区或居住小区内独立完成, 园区内的营配+仓储房通过自动物流系统与各楼栋各户相连, 形成一个闭环的自动物流配送系统, 完成生活资料的配送, 如图 4 所示。

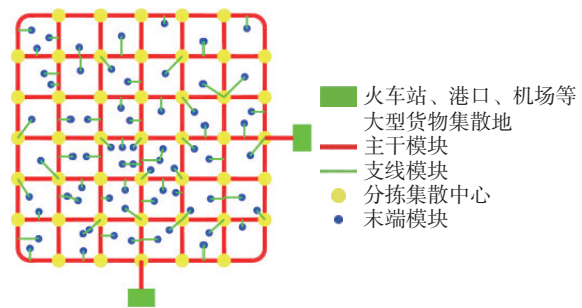


图 4 城市自动物流系统拓扑图^[18]

Fig. 4 Topology of urban automatic logistics system

未来城市地下物流网愿景——以深圳为例, 如图 5 所示。

2.2 “路+”智慧物流系统关键技术

1) 地下空间规划与建设。利用先进的地质勘探与工程技术, 在不影响地面城市功能的前提下, 科学规划并建设地下货运通道, 包括隧道、管道等多种



图 5 愿景-未来城市地下物流网

Fig. 5 Vision-future urban underground logistics network

形式。

2) 智能调度与控制系统。基于 AI 算法和大数据分析, 实现货物的智能路径规划、车辆调度、交通流量优化, 确保物流效率最大化。

3) 自动化装载/卸载/分拣技术。采用机器人、自动化传送带等智能设备, 实现货物的快速、精准装卸与分拣, 减少人工干预, 提高作业效率。

4) 绿色能源与环保技术。利用太阳能、风能、地热能等新能源为系统供电, 同时采用低噪音、低排放的运输工具, 减少对环境的影响。

5) 物联网与大数据平台。构建全面的物联网网络, 实时监控货物运输状态、交通流量、设备状态等关键数据, 为决策提供科学依据。

2.3 “路+”智慧物流系统实施步骤

1) 需求分析与规划。深入调研城市物流需求, 结合城市规划, 制定“路+”系统建设规划。

2) 技术研发与试点。开展关键技术攻关, 建设示范项目, 验证系统可行性与效果。

3) 基础设施建设。根据规划方案, 分阶段推进地下货运通道、智能站点等基础设施建设。

4) 系统集成与调试。完成各子系统建设后, 进行系统集成与联合调试, 确保系统稳定运行。

5) 运营优化与推广。正式投入运营后, 持续收集数据, 优化系统性能, 并逐步向其他城市推广。

2.4 “路+”智慧物流系统预期效益

1) 促进交通与能源融合与协同, 提升物流整体效率。通过升级的新型交通体系完成人类的生活资料、生产资料等能源输送, 减少地面交通拥堵, 缩短货物运输时间, 提高物流整体效率。

2) 降低环境污染。采用绿色能源和环保技术,

减少碳排放和噪音污染。

3) 节约土地资源。有效利用地下空间, 缓解城市用地紧张问题。

4) 促进产业升级。推动物流行业向智能化、绿色化转型, 带动相关产业发展。

5) 提升城市品质。减少地面货运车辆, 提升城市形象, 改善居民生活环境。

3 近期地下物流相关研究进展

3.1 雄安开展地下物流研究

雄安新区开展地下物流系统的示范性建设。在总体的城市立体交通网络规划中, 雄安新区将客运车辆与货运车辆通过物理空间进行安全有效的隔离, 客运车辆主要运行于地上公路网络, 城市货运车辆则运行于地下物流网络。

雄安新区的地下综合管廊物流通道层主体结构已经建设完成(图 6), 采用分舱建设形式, 最上面是物流通道层, 计划通过车辆无人驾驶技术, 利用 5G 信号, 自动在停靠点卸货、装货。



图 6 雄安地下管廊示意图

Fig. 6 Schematic diagram of Xiongan underground pipe gallery

3.2 瑞士开展地下物流项目建设

瑞士国家委员会已批准 Cargo Sous Terrain (CST) 地下物流项目的建设, 预计 2032 年建成首条从哈金根-尼德比普(Hrkingen-Niederbipp)到苏黎世的隧道。隧道全长约 70 km, 将位于地下 40~80 m, 自动驾驶舱将以 30 km/h(18.6 mph)的速度沿着三条车道行驶。项目目标是: 预计到 2045 年, 在博登湖和日内瓦湖之间建立一个总长 500 km 的网络, 分支到巴塞尔、卢塞恩和图恩, 如图 7 所示^[9]。

3.3 以色列的物流创企 Fabric

总部位于以色列的物流创企 Fabric(原名为 CommonSense Robotics)是一家致力于研发微型订单履行配送中心技术的公司。该公司曾推出世界上最小的微型物流中心。Fabric 在以色列第二大城市特

图7 瑞士地下物流示意图^[19]

Fig. 7 Schematic diagram of underground logistics in Switzerland

拉维夫的繁华区域罗斯柴尔德大道(Rothschild Boulevard)街区的沙洛姆梅厄大厦(Shalom Meir-Tower)下方的停车场内部署了世界上第一个地下自动化配送中心。近日,Fabric宣布该配送中心正式投入使用,如图8所示^[20]。

图8 以色列的物流创企 Fabric 地下物流配送示意图^[20]

Fig. 8 Underground distribution diagram of Fabric, an Israeli logistics startup

该空间面积约为 1672 m²,平均高度约 3.35 m。在这样一个空间内,Fabric 部署了一整套自动化设备,当收到订单后,货物分拣机器人会从货架中取出存放商品的料箱,并交给地面上的 AGV,AGV 再将料箱运送到工作站,工作人员按照订单数量对商品进行打包,从而完成订单的快速分拣。这个微型配送中心还设置了多个温度区,可以存储冷藏或冷冻的物品。

它最大的特点是:规模小,仓库空间、面积小;与大型物流中心一样高度自动化;但它可以在现有的零售空间内部搭建;可建设在城市市中心接近消费者的地方。

3.4 中国地铁物流开始运行

2023年8月18日,深圳市地铁集团与顺丰速运公司签署合作协议,旨在合作建设深圳首个空铁轨

联运的示范型物流项目,推进轨道交通与物流产业的融合与发展,为探索共享复用型的轨道物流网络体系建设的可行性,以提高城市轨道交通运力资源的利用效率。该示范项目采用了“枢纽到站”的建设模式,构建了横跨福田枢纽、碧海湾地铁站,以及深圳顺丰机场的地下空间物流联合运输。具体而言,在福田枢纽建立一体化空间,实现货物到发、装卸传输、安检分拣一体化的处理,在碧海湾地铁站重点建立支持货物中转的空间,最终实现现代轨道交通与新型物流空间融合复用的新型物流模式^[21]。

2023年9月23日起,北京地铁部分线路实现在非高峰时段运输快递,在不影响乘客乘坐地铁出行的情况下,利用现有的地铁线路和设置的情况下实现客货两用。该事件是全国首个利用城市地下轨道交通开展快递运输的试点工程,标志着地下物流结合地铁配送翻开了开创性的篇章^[22]。

4 结论

“路+”交能融合智慧物流配送系统是一种创新性的物流解决方案,通过整合地下空间资源、融合先进技术,构建高效、环保、智能的地下货运网络。该系统的实施将显著提升物流效率,降低环境污染,促进城市可持续发展,具有重要的社会意义和经济价值。

建设地下物流工程涉及到政策支持、商业运营、物流管理、信息技术、设备研发等多方面因素^[23]。建议将地下物流、地下仓储、集散中心等纳入城市地下空间开发体系,并与城市地下轨道交通与地下市政管线等基础设施共同规划设计,在新型智慧城市、智能建筑中示范试点,节省投资造价。可从点到线,也可以线带点,逐步建设,逐步连通。借助国家发展城市市政设施建设,推动地下物流工程落地^[24]。

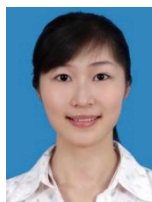
参考文献:

- [1] 钱七虎. 建设特大城市地下快速路和地下物流系统——解决中国特大城市交通问题的新思路 [J]. 科技导报, 2004, 22(4): 3-6. DOI: 10.3321/j.issn:1000-7857.2004.04.001.
QIAN Q H. Constructing underground highways and logistic systems in metropolises of China [J]. Science & technology review, 2004, 22(4): 3-6. DOI: 10.3321/j.issn:1000-7857.2004.04.001.
- [2] 陈湘生. 地铁域地下空间利用的工程实践与创新 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2015.

- CHEN X S. The engineering practice and innovation of underground space utilization in metro zone [M]. Beijing: China Communications Press, 2015.
- [3] 朱合华, 骆晓, 彭芳乐, 等. 我国城市地下空间规划发展战略研究 [J]. *中国工程科学*, 2017, 19(6): 12-17. DOI: [10.15302/J-SSCAE-2017.06.003](https://doi.org/10.15302/J-SSCAE-2017.06.003).
- ZHU H H, LUO X, PENG F L, et al. Development strategy on urban underground space planning in China [J]. *Strategic study of CAE*, 2017, 19(6): 12-17. DOI: [10.15302/J-SSCAE-2017.06.003](https://doi.org/10.15302/J-SSCAE-2017.06.003).
- [4] VISSER J. 城市自动化运输系统——地下物流系统 [J]. *城乡建设*, 2017(20): 54-57. DOI: [10.3969/j.issn.1002-8455.2017.20.030](https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-8455.2017.20.030).
- VISSER J. Urban automated transportation system: underground logistics system [J]. *Urban and rural development*, 2017(20): 54-57. DOI: [10.3969/j.issn.1002-8455.2017.20.030](https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-8455.2017.20.030).
- [5] 何凌晖, 段征宇, 陈川, 等. 基于疏港通道交通特征的地下物流效益分析 [J]. *地下空间与工程学报*, 2019, 15(5): 1283-1289.
- HE L H, DUAN Z Y, CHEN C, et al. A benefit analysis on underground logistics system based on traffic characteristics of transport corridor for the port [J]. *Chinese journal of underground space and engineering*, 2019, 15(5): 1283-1289.
- [6] 郭东军, 韦凌翔, 赵光, 等. 我国基于存量地铁开展快递物流运输的前景及方向探讨 [J]. *隧道建设(中英文)*, 2024, 44(6): 1145-1153. DOI: [10.3973/j.issn.2096-4498.2024.06.002](https://doi.org/10.3973/j.issn.2096-4498.2024.06.002).
- GUO D J, WEI L X, ZHAO G, et al. Directions and prospect of express logistics transportation based on stock metro in China [J]. *Tunnel Construction*, 2024, 44(6): 1145-1153. DOI: [10.3973/j.issn.2096-4498.2024.06.002](https://doi.org/10.3973/j.issn.2096-4498.2024.06.002).
- [7] 张梦霞, 汤宇卿, 鲁斌. 地下物流与城市基础设施整合研究 [J]. *地下空间与工程学报*, 2020, 16(增刊1): 30-38.
- ZHANG M X, TANG Y Q, LU B. Research on integration of underground logistics system and urban infrastructure [J]. *Chinese journal of underground space and engineering*, 2020, 16(Suppl.1): 30-38.
- [8] 黄鑫, 周长荣. 基于物联网的车间物流自动配送系统研究 [J]. *物联网技术*, 2023, 13(1): 100-103. DOI: [10.16667/j.issn.2095-1302.2023.01.030](https://doi.org/10.16667/j.issn.2095-1302.2023.01.030).
- HUANG X, ZHOU C R. Research on automatic distribution system of workshop logistics based on internet of things [J]. *Internet of things technologies*, 2023, 13(1): 100-103. DOI: [10.16667/j.issn.2095-1302.2023.01.030](https://doi.org/10.16667/j.issn.2095-1302.2023.01.030).
- [9] 孙明伟, 卢会超, 汤颖佳, 等. 某大型医药配送中心自动化立体仓库系统的规划与设计 [J]. *物流技术与应用*, 2020, 25(10): 161-167. DOI: [10.3969/j.issn.1007-1059.2020.10.024](https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-1059.2020.10.024).
- SUN M W, LU H C, TANG Y J, et al. The planning and designing of automated highbay warehouse system in the large medicine distribution center [J]. *Logistics & material handling*, 2020, 25(10): 161-167. DOI: [10.3969/j.issn.1007-1059.2020.10.024](https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-1059.2020.10.024).
- [10] 王强晖, 邵忠瑛. 短途无人配送车自动驾驶技术研究综述 [J]. *专用汽车*, 2023(6): 10-12. DOI: [10.19999/j.cnki.1004-0226.2023.06.003](https://doi.org/10.19999/j.cnki.1004-0226.2023.06.003).
- WANG Q H, SHAO Z Y. Research review on autonomous driving technology of short-distance unmanned delivery vehicles [J]. *Special purpose vehicle*, 2023(6): 10-12. DOI: [10.19999/j.cnki.1004-0226.2023.06.003](https://doi.org/10.19999/j.cnki.1004-0226.2023.06.003).
- [11] 覃运梅, 毛海军, 黑秀玲. 基于自动快递机的快递配送车辆路径优化研究 [J]. *公路交通科技*, 2015, 32(10): 134-140. DOI: [10.3969/j.issn.1002-0268.2015.10.022](https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-0268.2015.10.022).
- QIN Y M, MAO H J, HEI X L. Optimizing of vehicle routing for express delivery based on automatic parcel machine [J]. *Journal of highway and transportation research and development*, 2015, 32(10): 134-140. DOI: [10.3969/j.issn.1002-0268.2015.10.022](https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-0268.2015.10.022).
- [12] 郭东军, 陈志龙, 钱七虎. 发展北京地下物流系统初探 [J]. *地下空间与工程学报*, 2005, 1(1): 37-41. DOI: [10.3969/j.issn.1673-0836.2005.01.009](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-0836.2005.01.009).
- GUO D J, CHEN Z L, QIAN Q H. Discussion on developing underground logistic system in Beijing [J]. *Chinese journal of underground space and engineering*, 2005, 1(1): 37-41. DOI: [10.3969/j.issn.1673-0836.2005.01.009](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-0836.2005.01.009).
- [13] 周庆芬, 束昱, 路珊. 电子商务时代上海地下物流系统发展前景 [J]. *地下空间与工程学报*, 2011, 7(增刊1): 1269-1273. DOI: [10.3969/j.issn.1673-0836.2011.z1.001](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-0836.2011.z1.001).
- ZHOU Q F, SHU Y, LU S. The prospect of underground logistics system of shanghai in E-commerce era [J]. *Chinese journal of underground space and engineering*, 2011, 7(Suppl.1): 1269-1273. DOI: [10.3969/j.issn.1673-0836.2011.z1.001](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-0836.2011.z1.001).
- [14] 范益群, 游克思. 地下集装箱物流系统在港城融合发展中的应用 [J]. *地下空间与工程学报*, 2018, 14(增刊1): 49-54.
- FAN Y Q, YOU K S. Application of underground container freight transportation on integration development of city and port [J]. *Chinese journal of underground space and engineering*, 2018, 14(Suppl.1): 49-54.
- [15] 梁承姬, 裴国涛, 潘洋, 等. 基于时间窗的地下集装箱物流系统自动导引车调度研究 [J]. *工程研究-跨学科视野中的工程*, 2019, 11(2): 137-145. DOI: [10.3724/SP.J.1224.2019.00137](https://doi.org/10.3724/SP.J.1224.2019.00137).
- LIANG C J, PEI G T, PAN Y, et al. Research on AGV scheduling of underground container logistics system based on time window [J]. *Journal of engineering studies*, 2019, 11(2): 137-145. DOI: [10.3724/SP.J.1224.2019.00137](https://doi.org/10.3724/SP.J.1224.2019.00137).
- [16] 胡万杰, 董建军, 陈志龙. 基于地铁货运系统的城市物流发展模式探讨 [J]. *铁道运输与经济*, 2022, 44(2): 8-15. DOI: [10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.2022.02.02](https://doi.org/10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.2022.02.02).
- HU W J, DONG J J, CHEN Z L. Development patterns of city

- logistics for metro-based underground logistics system [J]. *Railway transport and economy*, 2022, 44(2): 8-15. DOI: 10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.2022.02.02.
- [17] 中国仓储与配送协会. 2022年中国仓储配送行业发展报告 [M]. 北京:中国商业出版社, 2022.
China Association of Warehousing and Distribution. China warehousing and distribution industry development report 2022 [M]. Beijing: China Commercial Publishing House, 2022.
- [18] 金蕾, 黄翔, 丁超群, 等. 一种面向智慧城市的自动物流配送系统初探 [J]. *南方能源建设*, 2018, 5(1): 45-50. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.01.007.
JIN L, HUANG X, DING C Q, et al. Discuss on an innovative automatic distribution system for smart city [J]. *Southern energy construction*, 2018, 5(1): 45-50. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.01.007.
- [19] TUTTON M. Self-driving pods could transport freight in tunnels beneath Switzerland [EB/OL]. (2023-08-07) [2024-10-01]. <https://edition.cnn.com/2023/08/07/travel/self-driving-underground-pods-switzerland-cargo-sous-terrain/index.html>.
- [20] VentureBeat. Fabric's Tel Aviv robot-powered microfulfillment center begins grocery delivery [EB/OL]. (2019-12-16) [2024-10-16]. <https://venturebeat.com/ai/fabrics-tel-aviv-robot-powered-microfulfillment-center-begins-grocery-delivery/>.
- [21] 新华网. 深圳打造首个“低空+轨道”空铁联运项目 [EB/OL]. (2024-06-28) [2024-10-16]. <http://www.xinhuanet.com/photo/20240628/c6956d3f39f549899277cb4d622d16b7/c.html>.
Xinhua Net. Shenzhen has built the first "low-altitude + rail" air-rail intermodal transport project [EB/OL]. (2024-06-28) [2024-10-16]. <http://www.xinhuanet.com/photo/20240628/c6956d3f39f549899277cb4d622d16b7/c.html>.
- [22] 新华网. 北京试点地铁非高峰时段运输快递 [EB/OL]. (2023-09-24) [2024-10-16]. <http://www.bj.xinhuanet.com/20230924/557f8a4be0e74bdabd1b3e2ca26831d9/c.html>.
Xinhua Net. Beijing pilots the subway to transport express delivery during off-peak hours [EB/OL]. (2023-09-24) [2024-10-16]. <http://www.bj.xinhuanet.com/20230924/557f8a4be0e74bdabd1b3e2ca26831d9/c.html>.
- [23] 鲁斌, 张梦霞. 城市轨道交通开展物流配送的可行性及运行模式研究 [J]. *物流技术*, 2019, 38(8): 8-12. DOI: 10.3969/j.issn.1005-152X.2019.08.002.
LU B, ZHANG M X. Study on feasibility and operation mode of logistics distribution through urban rail transit system [J]. *Logistics technology*, 2019, 38(8): 8-12. DOI: 10.3969/j.issn.1005-152X.2019.08.002.
- [24] 金蕾. 基于中国国情的现代会展中心地下空间设计初探 [D]. 华南理工大学, 2008.
JIN L. Preliminary exploration of underground space design for modern exhibition centers based on China's national conditions [D]. South China University of Technology, 2008.

作者简介:



金蕾

金蕾(第一作者)

1982-, 女, 正高级工程师, 主要从事能源电力、智慧城市、智慧物流等工作(e-mail) jinlei@gedi.com.cn。

郭飞(通信作者)

1987-, 女, 高级工程师, 主要从事新能源市场管理、电力系统规划、智慧城市等工作(e-mail) fguo4428@ceec.net.cn。

黄翔

1982-, 男, 正高级工程师, 主要从事数字电网、云计算、大数据、智慧物流等工作(e-mail) huangxiang@csg.cn。

(编辑 徐嘉铨)

广 告

封面图片: 基于智能控制的燃煤锅炉灵活调峰技术 ----- 封一

《南方能源建设》入选 CACJ 中国应用型核心期刊 ----- 封二

喜报: 《南方能源建设》收获期刊首个 CiteScore ----- 封三

中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司 ----- 封四