

DOI: 10.16788/j.hddz.32-1865/P.2021.02.002

引用格式:郭东军,苏晶文,陈泳帆,等.中国新城新区深层地下物流系统规划若干思考及地质探测建议[J].华东地质,2021,42(2):137-146.

中国新城新区深层地下物流系统规划若干思考及地质探测建议

郭东军¹,苏晶文²,陈泳帆¹,赵子维¹,郑立宁³,朱星平¹

(1.陆军工程大学,江苏 南京 210007;2.中国地质调查局南京地质调查中心,江苏 南京 210016;
3.中建地下空间有限公司,四川 成都 610052)

摘要:地下物流系统是新城新区地下空间规划的重要内容。该文对深层地下物流系统进行了界定,从地下空间竖向规划基本原则、新城新区物流配送物流量及空间资源分配等角度,分析了深层地下物流系统规划建设的必要性,并对深层地下物流系统地质探测提出建议。结果表明:城市货物基本都适用于地下物流系统运输,通道形式可重点考虑独立配送网络和与地下基础设施协同(共构)运输网络2种形式;地下物流系统骨干网络宜置入深层地下空间,末端配送网络与人类活动联系较密切的部分可置入中浅层区域。目前,深层地下物流系统规划迫切解决的首要问题是深部地质条件探测和评价、基于城市长远利益的统一规划以及技术集成等。

关键词:深层地下物流系统;新城新区;地下空间探测

中图分类号:TU984.2

文献标识码:A

文章编号:2096-1871(2021)02-137-10

城市地下物流系统指基于自动运输技术,将地下管道或隧道作为运输通道,对货物实行运输及分拣配送的一种智慧物流系统。地下物流系统具有不占用地面道路、几乎不受外界环境干扰的优势,可以实现自动化和全天候物流运输,保证物流的时效性和可达性。

现代地下物流系统研究是一个比较新的领域,一些国外学者^[1-16]及国内学者和研究机构^[17-22]从不同角度对地下物流系统进行了研究。LIU H^[6]研究了利用气力舱体地下物流技术运输建筑材料、集装箱和垃圾等物资,评估了该系统落地应用的可行性。WINKELMANS W^[13]完成了安特卫普港河底铁路隧道与地下物流系统的比较研究,从适合运输的坡度、建设费用、建设时间等角度,认为利用地下物流系

统运输集装箱更具可行性;OKUMURA T等^[16]认为,建设东京地下物流配送系统可消除交通拥堵,减小环境压力,从运载工具尺寸、自动技术、地下深度、隧道“一洞多用”等角度进行了研究。RIJSENBRIJ J C等^[23]研究了利用地铁运输货物的可能性,分析了客货联合运输及客货分离的演化规律,认为利用地铁运输货物,必须对物流辨识、运载单元和专门货运标准进行深入研究。NAJAFI M^[1]提出“将地下货物运输整合至现有运输系统”的认识,研究了美国德克萨斯利用地下物流系统优化多式联运(尤其是卡车)系统的可行性。在规划实践方面,北京、上海等城市地下空间规划也纳入了地下物流系统。郭占全等^[22]对北京地下物流系统起始线路选择、上海港口(洋山港)地下集装箱仓库规划的可行性^[24]等进行了探索。

* 收稿日期:2021-01-05 修订日期:2021-04-15 责任编辑:叶海敏

基金项目:国家自然科学基金“新城新区地下物流系统规划导控与实证研究——以北京城市副中心为例(编号:52078481)”、国家自然科学基金“新型城镇化导向下城市地下物流集成与管理研究(编号:7162000094)”、国家自然科学基金“城市中心区深层地下空间利用规划关键指标参数优选量化及准则研究(编号:51878660)”和中建股份科技研发项目“地下物流系统关键技术研究(编号:CSCEC-2019-Z-10)”项目联合资助。

第一作者简介:郭东军,1976年生,男,副教授,主要从事地下空间(人防工程)规划与设计、重要经济目标防护(防灾减灾)研究。Email: guo_dongjun@163.com。

2015年,地下物流研究被列为《国家自然科学基金“十三五”发展规划》^[25]优先发展领域;2019年,城市地下物流配送系统已纳入国家发布的《交通强国建设纲要》^[26]。地下物流系统作为构建高效物流配送网络的新手段,涉及多学科交叉领域,来自城市规划与物流^[8,22]、地下空间^[18,20]、交通工程^[13]等不同领域的学者均进行了地下物流系统的规划及建设研究,近年来地下物流系统从理论建立、技术研发到规划实践有了较快发展,已成为中国新城新区地下空间规划的选项之一,目前地下物流系统的研究工作已纳入一些新城新区规划^[27-29]。然而,从已有中国新城新区地下物流实践探索来看,地下物流系统规划只到达中浅层地下空间开发利用,主要基于“先到先得”、“自上向下”等传统地下空间利用模式^[30-32],其关注点是使地下空间开发费用最小化,对深层地下空间开发利用考虑较少或几乎未考虑,因为相较于中浅层地下物流系统,深层地下物流系统情况更复杂、造价更高、风险更大。

为实现新城新区地下空间资源的优化利用,本文围绕深层地下物流系统开发需求,探讨地下物流系统开发利用中的关键节点,对开展地下物流系统科学规划提供参考。

1 新城新区地下物流需求与规划探索

1.1 深层地下物流概念

深层地下空间指地表40~50 m以下的空间^[33-35]。本文深层地下物流系统指部分或整体位于地下40~50 m以下的地下物流系统,以城市可持续发展为目标,以自动化和智能化为基础,货物从物流园区通过干线运输转移至支线,利用自动运载工具实现与物流末端网点、小区、商场或自提柜等设施的连接。地下物流系统通过自动化货物运输、装卸、仓储和连接地上、地下的斜坡或垂直电梯,货物在一定时间内可以完成空间上的转移(图1)。

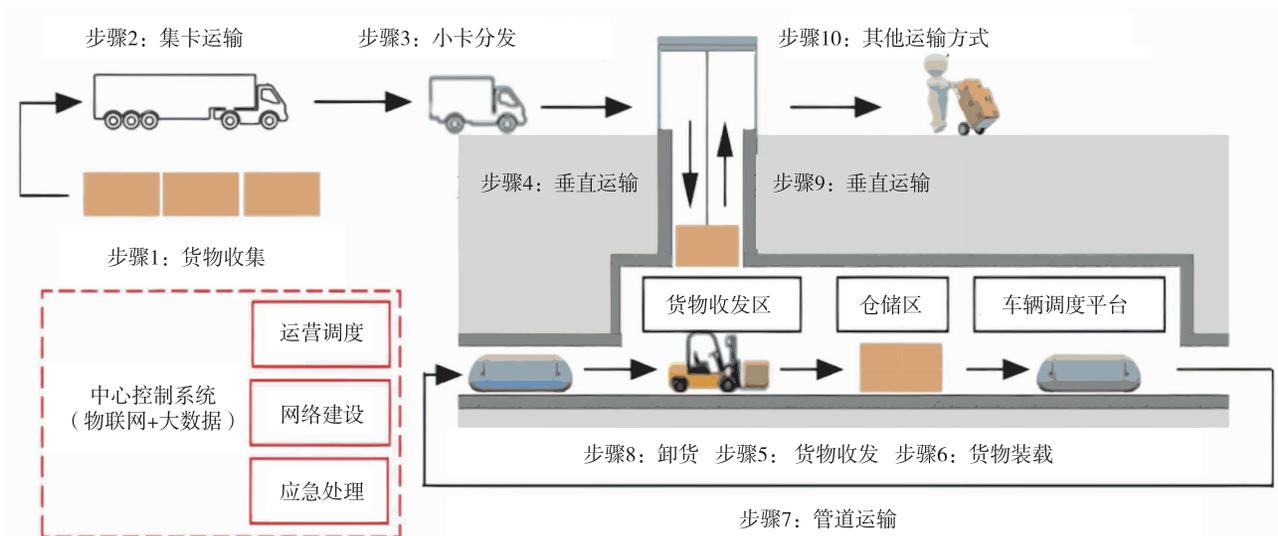


图1 地下物流系统概念图^[36]

Fig. 1 Schematic diagram for Underground Logistics System^[36]

1.2 中国新城新区建设现状

新城新区指为了实现政治、经济、社会、生态、文化建设等一个或几方面的需要,经主动规划与投资建设而成的空间单元^[37]。截止2017年6月,中国县及县以上的新城或新区数量超过3 500个,其中国家级新区19个,各类国家级新城新区约500个,各类省级产业园区超过1 600个。总体而言,中

国新城新区的发展与30年来的快速城镇化进程比较一致,形成了以国家级新区为龙头,国家高新区、经济开发区为骨干,省(市)级新城新区为支撑,新型化新城或新区为重要组成的中国新区发展建设体系^[38-40]。

中国快速城镇化为新城新区的发展提供了有利的环境,并成为国家工业化、城镇化的支撑力量。

《国家新型城镇化规划(2014—2020)》^[41]中专门设立章节为新城新区规划建设提供指导,新城新区建设面临新的发展机遇。中国新城新区及物流系统的快速发展,为新型地下物流规划与“落地”提供了“土壤”;此外,相比老城区,新城新区从零开始建设地下物流系统约束条件更少,建设更具可能性。

1.3 新城新区对地下物流系统的需求

1.3.1 应对新时代物流需求挑战

2020年,全国社会物流总额300.1万亿元,按可比价格计算,同比增长了3.5%;社会物流总费用14.9万亿元,同比增长了2.0%,社会物流总费用与国内生产总值(GDP)的比率为14.7%;物流业总收入10.5万亿元,同比增长了2.2%。货物运输总量463亿t,其中公路货物运输总量342.6亿t。值得关注的是,快递年业务量833.6亿件,同比增长31.2%,快递年业务收入8795亿元,预计快递业务量占全球快递业务量的60%^[42]。毫无疑问,新城新区正面临物流量激增的挑战。

1.3.2 缓解道路环境资源矛盾

物流量激增使地面物流车辆多频次、高强度使用,不仅占用大量道路资源,同时产生城市交通拥堵及环境、安全隐患。我国部分特大城市机动车排放已成为大气细颗粒物源(PM_{2.5})的首要来源,2018年生态环境部公布的第一批城市PM_{2.5}解析结果,北京、上海、杭州、济南、广州和深圳的移动源排放占比分别为45.0%、29.2%、28.0%、32.6%、21.7%和52.1%^[43]。世界经济合作组织(OECD)指出,发达国家主要城市的货运交通占城市交通总量的10%~15%,但货运车辆所产生的城市环境污染占污染总量的40%~60%。货车作为城市物流的主要运输工具之一,造成城市交通拥堵,安全隐患增加,其出行限制条件越来越多,由此引起的物流成本上升、效率降低。以快递为例,全国快递外卖交通事故占事故总数的20%~50%,死亡人数占20%~40%。货运事故金额损失为其他事故的8倍^[44]。

1.3.3 释放城市空间提升城市运能

随着我国城市规模的进一步拓展,限制货运车辆出行的范围不断扩大,很多原有物流设施面临二次选址。目前,很多城市地面空间紧张,很难保障城市物流网点的合理布局。《关于推进土地节约集约利用的指导意见》^[45]明确指出,至2022年,新城

新区建设用地总体处于严控状态。在上述背景下,物流空间利用不断向“空中”、“水下”与“地下”拓展,如沃尔玛“漂浮仓库”与配送系统、亚马逊“空中物流中心”和“水下存储设施”等,而地下物流系统更将是新城新区发展的必然选择,地下空间立体交通体系已进入快速发展的新阶段。

综上所述,发展城市地下物流系统不仅能有效缓解城市交通拥堵和环境污染等问题,也能大大提高物流运输效率。中国新城新区在战略定位上承担着试点性和示范性特点,决定了在新区新城新区尝试地下物流系统将有更强烈的内在需求,是目前新城新区物流革新的最优选项之一。

1.4 新城新区地下物流规划探索

1.4.1 地下物流适用货物

根据货物的自然属性和货物用户性质的不同,货物运输的分类标准也不同,例如:在《TB/T 2690—1996 铁路货物运输品名分类与代码》^[46]中货物分为26大类;而在《JT/T 19—2001 中华人民共和国交通行业标准》^[47]中货物分为17大类。根据上述分类标准和城市规划交通部门调研实际,以北京市为例,GUO D J等^[36]将城市货物分为6大类,20余小类^[36]。除易燃易爆、有毒和放射性、腐蚀性等危险品外,其他大类货物在满足运输安全性和可靠性的前提下,基本都可纳入地下物流系统运输货物的范围。

新城新区的发展是渐进式的,其货物类型也逐步向多样化、多元化转变。在城市发展建设初期,钢铁和水泥等建筑材料需求量大,对运输量要求高,地下物流系统可建立主干网络,解决大运量、大荷载的交通问题。在城市发展建设基本成型后,经济结构转向高技术产业和服务业,快件、小商品等货物需求高,地下物流系统可依靠主干网络建立分线,服务整个城市范围,实现城市物流的地下化和自动化,满足物流的可达性、时效性、安全性和可靠性要求。

1.4.2 地下物流货运量预测

地下物流系统运营模式和运输工具,在一定程度上取决于地下物流的货运量,而货运量也关系到起始线路的选择。因此,地下物流运输的货运量预测是新城新区地下物流系统规划的重点之一。由于各地区经济、人口和产业结构不同,货物运输构成和总量也有区别。以北京为例,除大型钢材和建材外,75%以上的货物(直接运输、重新包装)适合

采取地下运输方式。为了确保数据的可靠性和有效性,通过与顺丰、京东等国内快递公司合作调研,发现当物流包裹平均重 5 kg/件时,北京地下物流系统运输人均每天物流件数为 1.32~1.76。根据电商和非电商快递包裹历史数据,考虑线下农副产品等货物运输,北京地下物流系统运输人均每天物流件数为 1.01~1.34^[36]。可以看出,两者结果较为接近,但是在地下物流系统设计中,常使用公路货物总量预测货运量,便于运营管理和调节物流量的波动,而且更安全可靠。

1.4.3 通道网络规划形式

(1)地下物流独立配送网络。货运与客运的特性不同,当共享一个运输网络时将影响运行能力与负载能力。因此,发展与客运相分离的地下物流系统是优先选择。新城新区地下物流系统独立成网配送,可实现与综合管廊、地铁和城市道路同步、同区域开发建设,节省工程造价,避免反复施工。独立的地下物流配送网络不受其他系统干扰,可以最大化实现货物的运输能力。在城市物流运输中,货物通过城外物流园区发往城区配送中心,再由城区配送中心发往各终端网点,其运输路线仅与城市道路相关,与城市地铁等客运系统无关。独立的地下物流系统通道可以分为单一运输模式和混合运输模式。单一运输模式指使用同一种运输方式运输货物;混合运输模式指使用多种运输方式运输货物,如在瑞士地下物流系统(Cargo Sous Terrain, CST)中,车辆由电力驱动,配有感应导轨,在三轨隧道中运行时速约 30 km,货物以托盘或改装容器运输。运输车辆与制冷系统相容,还可运输生鲜和冷藏货物,隧道顶部是一个快速的架空轨道,用于运输较小的货物(图 2)。

(2)与地下基础设施协同(共构)运输网络。中国新城新区地下空间规划规模较大,可与其他地下基础设施(如地铁、综合管廊等)协同(共构)建设。以地下物流与地铁协同为例,地铁与城市地下物流协同运输网络指地下物流系统借助地铁轨道网络和部分站台,必要时通过改造机车和站台来满足货运需求的一种运输网络设计方式,目前有客货共线运输和客货分线运输两种运营模式。客货共线运输是在一条轨道上既走货车也走地铁,有地铁外挂物流车厢或单独物流列车组两种方式,其中单独物流列车组又分站台并用和站台分离两种形式;客货分线运输是地铁与物流列车组在同一舱体的不同

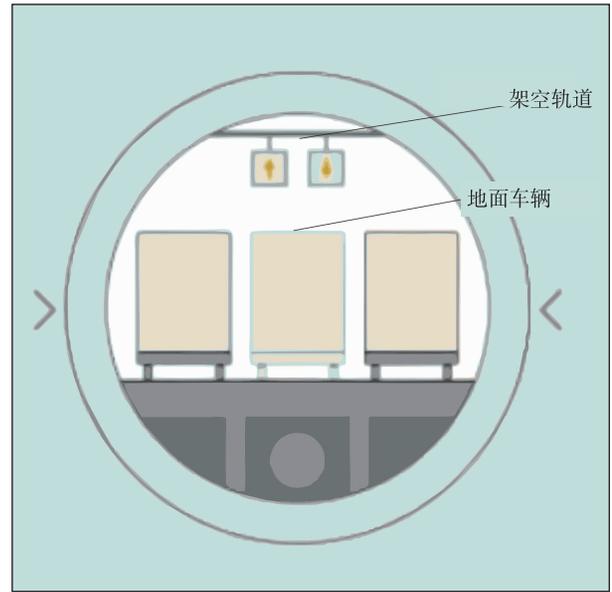


图 2 瑞士 CST 系统混合运输模式通道布局^[48]

Fig. 2 The cross section of CST channel with multimodal transport in Swiss^[48]

轨道线上行驶,分开运行。根据中国某新城的调研结果,其轨道交通运营时间为 5 点至 23 点,共 18 小时,而根据该新城客流量,预测全天仅需开行列车 283 对即可完全满足客流运输。如在 18 小时内按最大开行能力发车,理论上全天可开行 500 对列车。因此,扣除客运列车,全天可开行货运列车 217 对,根据地下物流系统的货运量预测,剩余的货运列车能够满足新城新区货物的运输需求。此外,新建地铁在设计上更易于为货运需求预留空间,并充分与城市地下物流系统衔接,可考虑与地下综合管廊进行合舱或分舱建设(图 3)^[49]。

2 地下空间利用与深层地下物流系统

2.1 地下空间利用现状与深层地下物流系统的优势

2015 年中国城市地下空间占地面建筑竣工面积的 15%,2019 年城市地下空间占地面建筑竣工面积的 19%。至 2020 年年底,中国综合管廊在建里程已超过 12 000 km,现有地下空间总面积超过 22 亿 m²。受开发理念、施工技术和造价等因素限制,目前已建成和在建的大部分城市地下空间利用场所均在地下 20 m 以内(即地下浅层空间)。由于城市(尤其城市中心区)地下空间利用规模越来越大,

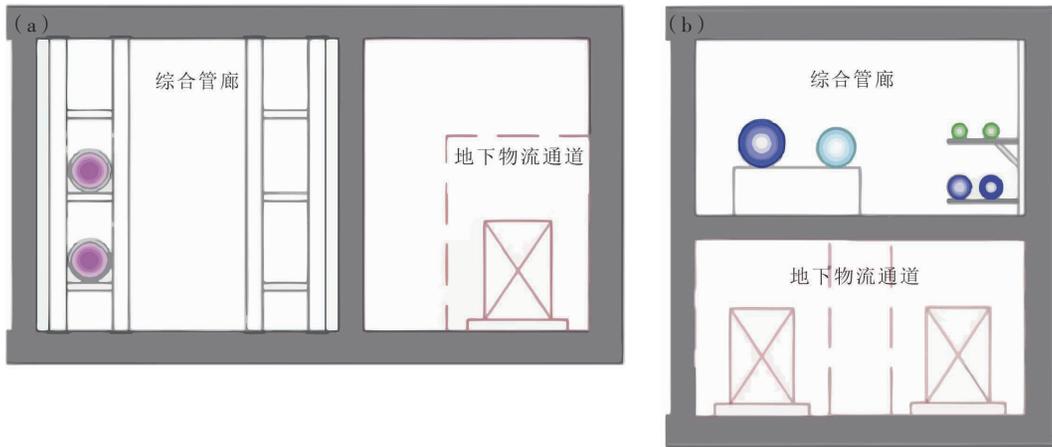


图 3 地下物流系统与综合管廊典型分舱方案一(a)及方案二(b)示意图

Fig. 3 Schematic diagram of typical subdivision scheme I (a) and II (b) of ULS and multi-purpose utility tunnels

部分城市中心区浅层地下空间已饱和,对深层地下空间的需求日趋强烈,目前的地下工程施工技术已完成地下 100 m 以内的建设,深层地下空间开发利用已成为现实^[50-51]。

地下物流作为地下空间的组成部分,符合地下空间竖向规划的基本规律。地下空间规划的基本原则是“地下空间深度越大,人类活动程度越低,无人自动化活动程度越高”。因此,深层地下物流系统是深层地下空间主要功能之一^[33]。

自动运输的地下物流系统在深层地下运行不受外界条件干扰,更加可靠。同时,深层地下物流对环境要求较低,可以节省建设及维护费用。因此,地下物流系统主干运输系统最好规划置入深层地下空间,其末端配送网络与人类活动联系较密切的部分可置入中浅层区域。

2.2 深层地下物流系统典型案例

OKUMURA T^[16]等提出日本东京地下 40 m 以下建设地下集装箱运输系统,在港口与物流园区之间将大井集装箱码头附近的点连接到圈央道八王子北立交附近的配送基地,沿路线连接到主要道路的交汇区附近配置物流节点(图 4)。

新加坡深层地下仓储物流系统概念图如图 5 所示,连接工业园区和港口,规划单向交通系统,将仓储区域划分为开放式仓库、分区仓库和标准仓库,提高了地下空间的利用效率。按照功能将洞库划分为 8 个单元,分别为地下与地面连接单元、地下物流接口单元、空集装箱暂存单元、返回集装箱暂存单元、集装箱装(拆箱)单元、进入托盘存储系统单

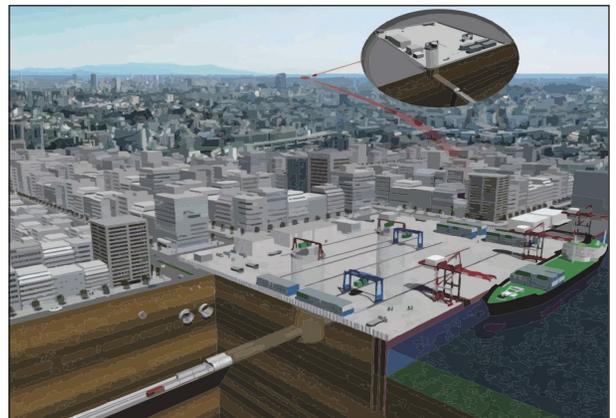


图 4 东京深层地下集装箱运输系统概念图^[16]

Fig. 4 Schematic diagram for deep underground container transportation system in Tokyo^[16]

元、托盘储存单元、存储系统卸货和托盘处理单元,可根据需要布置各类洞穴单元^[52]。

3 深层地质探测与地下物流系统规划及难点

3.1 深层地质探测与开发适宜性评价

深层地下空间的地质情况复杂,深部地下空间开发过程中应首先对地质条件的进行调查与分析。地下地质结构不明的情况下,难以科学地对地下空间进行分层利用或深层设施进行布局规划^[53],极有可能诱发地质环境效应,威胁城市安全。因此,深部地质条件探测和评价是深层地下物流系统规划建设的重要前提。

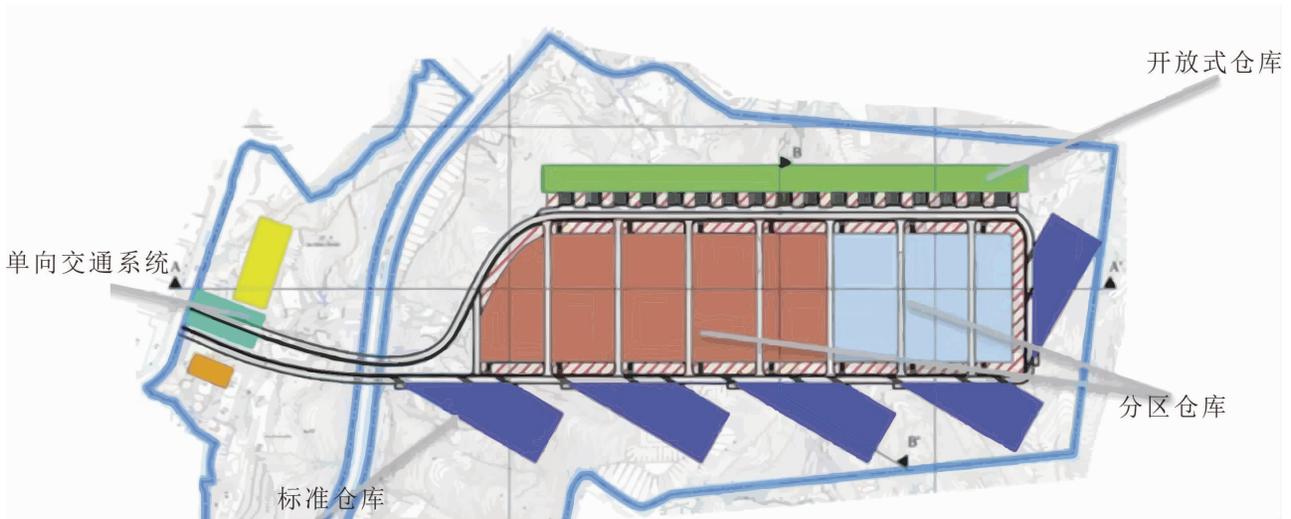


图5 新加坡深层地下仓储物流概念图^[52]

Fig. 5 Schematic diagram for deep underground warehousing and logistic facility in Singapore^[52]

一般来说,深部地下空间的地质条件可分为三种类型:以松散层为主、以基岩层为主或松散层与基岩层相混合的地质条件^[53]。针对不同的地质条件,需开展松散层分布、沉积地层、岩体、风化壳、岩溶、褶皱、断裂及大型地质体边界的精细探测,获取地下水、工程力学、地应力、地温场、地球化学场等参数,研究地下岩、土、水、气等地质平衡系统的形成与演变规律,研究地下空间工程扰动下地质环境的演变与致灾机理。

北京、上海、天津等城市的地下是以松散地层岩石为主,地下空间开发应考虑基底稳定性、地质结构变化、软土变形、地下水流场、饱和砂土等复杂地质问题,地质探测的难点是地下水位高、含水层多,地下水在地下空间开发中的作用和影响较大。需要掌握地面沉降等地质环境问题的演化趋势,研究地下水动力场的演化及其对地下空间开发利用的制约作用。

基岩区城市以重庆市为代表。基岩区城市按地质条件又可分为岩溶区城市、沉积岩区城市和花岗岩区城市,地下空间开发面临断裂带、岩溶、厚风化壳、深部地应力等问题。岩溶区城市地下空间探测的重点是隐伏岩溶(溶洞、土洞)规模、分布、埋深及岩溶地下暗河走向、地下水补径排、流量等;沉积岩区城市地下空间探测的重点是能层和软弱层分布范围、厚度及埋深,探测不同岩层的分界线及不同层位的物理力学参数;花岗岩区城市地下空间

探测的重点是岩体风化壳范围、厚度及埋深,探测岩体的完整性及裂隙分布特征。松散层与基岩层混合区城市地下空间探测的重点是下伏基岩结构、松散层下基岩风化层特征、大区域宏观盆地基底构造、断裂及其活动性等。

目前,深层地下物流的空间利用形式主要为基坑和隧道,地下空间适宜性评价也主要针对基坑和隧道。以上海市为例^[54],中心城区40~65 m基坑工程地质环境适宜性可分为基本适宜区和适宜性差区,其中适宜性差区的第一承压含水层和第二承压含水层沟通,基坑开挖、降水、排水及隔水难度大,施工风险大;基本适宜区应注意可能产生的流砂及基坑突涌问题。65~100 m竖井(基坑)工程开挖极易引发流砂现象,中心城区均为适宜性差区。埋深40~65 m的隧道工程,中心城区北部、西北部及浦东部分地区为基本适宜区,盾构隧道主要在黏性土中穿越,工程施工难度较小,风险相对较低。其他地区盾构隧道主要在粉土和砂土中穿越,盾构掘进阻力大,工程施工难度大,风险相对较高,为适宜性差区。65~100 m盾构隧道一般在灰色砂性土层中掘进施工,施工较困难,工程施工风险极高,且工程运营及维护成本高,地质灾害后果严重。因此,对65~100 m盾构隧道工程而言,中心城区总体为适宜性差区。

3.2 基于城市长远利益的统一规划与预留

政策、法规的制定是解决城市地下物流系统投

资建设和运营管理的基础保障。20 世纪 90 年代,荷兰学者^[55]进行地下物流项目(OLS-ASH)规划研究,计划在 2005 年正式运营,然而由于很难量化及考虑计入地下物流的间接效益,使得该项目在价格方面无法展现优势而未能成功。相较于西方国家,在以社会主义土地公有制为经济基础和有着浓厚“天下为公”传统的中国,基于城市长远利益并结合深层地下物流系统间接效益,其规划更有可能落地。

地下物流系统建设满足我国鼓励完善综合交通运输网络、发展城市地下空间和建设智慧城市等重大战略需求,作为城市物流共配的形式,也是城市基础设施的重要组成部分,其使用的地下空间资源非常宝贵,不可再生。因此,研究制定地下物流系统管理办法,明确投资建设主体、货物运输种类,规范规划设计、建设和运营维护等流程机制及政策法规,是目前亟需解决的问题。由于大多新城新区进行深层地下物流系统在规律认识、资金筹措等方面还处于准备期,还不完全成熟,建议在现阶段可对深层地下空间进行“规划预留为主”的方式。例如 20 世纪 80 年代新加坡政府^[56]对规划地下道路系统相关地上及地下空间进行近 40 年的保护预留,2017 年才根据建设需求释放相关地上及地下空间,为缓解城市道路交通、改善生态环境和促进经济可持续发展提供保障。

3.3 深层地下物流系统技术集成与创新

虽然自动运输、隧道建设等技术已日臻成熟^[8],但因涉及城市规划、城市地下空间、物流和城市地质等学科交叉合作,各项技术难以统合,还处于离散、无序状态,目前仍无具有地下物流系统技术集成能力的单位或组织。如从网络设计看,包含节点和通道,构成了地下物流系统的设施骨架,涉及城市综合交通、地下工程施工等。从地下运输流程看,首先,货物通过网络节点进入地下物流系统,经过打包、装箱等服务,选择合适的路线装车运输,涉及自动化仓储物流运营组织,在这个过程中地下物流节点需要进行货物的收发预测,预留好货物装卸、储存和运输的空间,牵涉到地下空间开发利用。其次,货物在装车运输过程中,通常以规则的尺寸型号制定统一的运输单元,并选取相应的运载机车,牵涉到道路或轨道交通的运输管理等。作为深层地下物流系统,如何与中浅层地下物流系统以及

现有地面物流方式实现无缝对接,也是目前亟待解决的问题。

另一方面,地下物流系统的规划为城市空间开发利用展示了一个全新的天地,甚至在未来将可能引起交通物流领域一场革命,但地下物流并不是万能的,这种扩展有着明显的边界。如目前地下物流系统很难独立完成“门到门”的物流运输,将其作为传统运输方式的补充将是比较符合实际的选项。在中国新城新区城市空间规划设计实践中,将城市地下物流系统的建设运营纳入城市基础设施网络建设的组成部分,解决城市规划与货运网络布局面临的“痛点”,以此为“契合点”,可将地下物流规划纳入城市规划范畴方案,然其技术集成与运营模式选择仍有待深入研究。

4 结论

(1)新城新区对地下物流系统具有强烈需求,城市货物基本都适用于地下物流系统运输,通道形式可重点考虑独立配送网络和与地下基础设施协同(共构)运输网络 2 种形式;骨干网络宜置入深层地下空间,末端配送网络与人类活动联系较密切的部分可置入中浅层区域。

(2)摸清地下地质结构是规划深层地下物流系统的前提,应重点对深层地下物流系统空间利用形式(基坑和隧道)进行适宜性评价。深层地下物流系统在规划、建设及运营等方面的规律认识还处于准备期,建议对其进行“预留为主”的规划。

(3)虽然深层地下物流系统主要支撑基础技术(如自动运输和隧道建设等)已成熟,但各项技术难以统合仍处于离散、无序状态,需要从规划、建设和运营管理等层面促进城市地质、规划、物流、地下空间、综合交通等多学科整体协同攻关。

参考文献

- [1] NAJAFI M. Integrating underground freight transportation into existing intermodal systems[R]. 2nd Stakeholder Committee Meeting, 2015.
- [2] ROOP S. The freight shuttle: the crisis in freight transportation and the opportunity for a green alternative[C]. Long Beach: METRANS National Urban Freight Conference, 2006: 1-3.
- [3] JAMES A P, DIXON. Differential drayage and short-haul costs of container movement among ports in

- Galveston Bay Texas [C]. Netherlands: ISUFT 2000 Proceedings, 2000.
- [4] JAMES A P, SANDERS F, ARENDS G. Houston projects 2000 and 2001 research leading to the design of a palletized cargo consolidation and distribution ULS for Houston, Texas [C]. Bochum: 3rd Conference of International Society on Underground Freight Transport, 2002.
- [5] LIU H, LENAUC. Pneumatic capsule pipeline (PCP): recent progress [C] // 5th International Symposium on Underground Freight Transportation by Capsule Pipelines and Other Tube/Tunnel systems, 2008.
- [6] LIU H. Feasibility of using pneumatic capsule pipelines in New York City for Underground Freight Transport [R]. San Diego: ASCE Pipeline Division Specialty Congress, 2004.
- [7] VISSER J G S N. The development of underground freight transport: an overview [J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2018, 80: 123-127.
- [8] GROOTHEDDE B. Collaborative logistics and transportation networks: a modeling approach to hub network design [R]. Delft: TRAIL Research School, 2005.
- [9] RIJSENBRIJ J C, PIELAGE B A, VISSER J G S N. State-of-the-art on automated (underground) freight transport systems for the EU-TREND Project [C]. Delft: Delft University of Technology, 2006.
- [10] KONINGS R, PRIEMUS H, NIJKAMP P. The future of automated freight transport: concepts, design and implementation (Transport economics, management and policy series) [M]. Northampton: Edward Elgar Publishing, 2006: 65-85.
- [11] STEIN D, STEIN R, BECKMANN D, et al. Cargocap: feasibility study of transport containers through underground pipelines [C]. Shanghai: Proceedings of the 4th International Symposium on Underground Freight Transport by Capsule Pipelines and Other Tube/Tunnel Technologies, 2005.
- [12] What is cargocap [EB/OL]. [2021-04-15]. <http://www.cargocap.com/content/what-is-cargocap>.
- [13] WINKELMANS W. Redressing the balance between demand for mobility and supply of transport by means of new modes of transportation [C]. Arlington: ISUFT 2008 Conference (International Symposium on Underground Freight Transport), 2008.
- [14] VERNIMMENA B, DULLAERTA W, GEENSB E, et al. Underground logistics systems (ULS): a way to cope with growing internal container traffic in the port of antwerp [J]. Transportation Planning and Technology, 2007(3): 391-416.
- [15] TANIGUCHI E, THOMPSON R G. Innovations to freight transport [M]. Southampton: WIT Press, 2003.
- [16] OKUMURA T, YOKOTSUKA M. Environmental contribution by a deep underground logistical system in the metropolitan area [C]. Pyongyang: Republic of Korea, 2014.
- [17] 钱七虎, 郭东军. 地下仓储物流系统规划与设计 [M]. 上海: 同济大学出版社, 2016: 3.
- [18] 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, 4(1): 37-41.
- [19] 钱七虎, 郭东军. 城市地下物流系统导论 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2007: 9.
- [20] 马保松, 汤凤林, 曾聪. 发展城市地下管道快捷物流系统的初步构想 [J]. 地下空间, 2004, 24(1): 94-97.
- [21] 范益群, 钱七虎. 基于地下集装箱运输的城市地下环境物流系统建设 [J]. 科技导报, 2011, 29(7): 31-35.
- [22] 郭占全, 石晓冬, 郭东军. 北京市发展地下物流系统的前景 [J]. 北京规划建设, 2007, 4(1): 79-82.
- [23] RIJSENBRIJ J C, PIELAGE B A. The potential of metro systems for city logistics [C]. Bochum: 3rd International Symposium on Underground Freight Transportation by Capsule Pipelines and Other Tube/Tunnel Systems, 2002.
- [24] 郭东军, 俞明健. 上海地下集装箱运输系统基础研究 [J]. 上海建设科技, 2009, 4(2): 1-3.
- [25] 国家自然科学基金委员会. 国家自然科学基金“十三五”发展规划 [EB/OL]. (2015-09-17) [2021-04-15] <http://www.nsf.gov.cn/publish/portal0/xxgk/043/info72249.htm>.
- [26] 中共中央国务院. 交通强国建设纲要 [EB/OL]. (2019-09-19) [2021-04-15] http://www.gov.cn/gongbao/content/2019/content_5437132.htm.
- [27] 中国雄安官网. 河北雄安新区启动区控制性详细规划 [EB/OL]. (2020-01-15) [2021-05-15] http://www.xiongan.gov.cn/2020-01/15/c_1210440126.htm.
- [28] 北京市规划和自然资源委员会. 北京城市副中心控制性详细规划(街区层面)(2016年—2035年) [EB/OL]. (2018-06-01) [2021-04-15] http://www.mee.gov.cn/gkml/sthjbgw/qt/201806/t20180601_442293.htm.
- [29] 武汉长江新城管理委员会. 武汉长江新城(区)地下物流布局规划研究中标公告 [EB/OL]. (2018-12-7) [2021-04-15] <http://www.hbzbw.com/news/2018-12-7/1115758.html>.
- [30] GUO D J, NELSON P P, XIE J R. Vertical planning

- of urban underground space use in China [C]. Singapore: ACUUS 2012 Conference, 2012.
- [31] BOBYLEV N. Underground space in the Alexanderplatz area, Berlin: research into the quantification of urban underground space use [J]. *Tunneling and Underground Space Technology*, 2010, 25(5):495-507.
- [32] BOBYLEV N. Mainstreaming sustainable development into a city's master: a case of urban underground space use [J]. *Land use policy*, 2009, 26:1128-1137.
- [33] 吉迪恩·S·格兰尼, 尾岛俊雄, 许方, 等. 城市地下空间设计 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [34] 田村英之. 日本大深度地下利用 [C]. 上海: 上海地下空间学术交流会, 2004.
- [35] 贾建伟, 彭芳乐. 日本大深度地下空间利用状况及对我国的启示 [J]. *地下空间与工程学报*, 2012, 8(S1): 1339-1343.
- [36] GUO D J, CHEN Y C, YANG J S. Planning and application of underground logistics systems in new cities and districts in China [J]. *Tunneling and Underground Space Technology*, 2021(113).
- [37] 国家统计局. 中华人民共和国 2020 年国民经济和社会发展统计公报 [EB/OL]. (2021-02-28) [2021-04-15] http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/202102/t20210227_1814154.html.
- [38] 冯奎. 改革开放进程中新城新区的角色功能 [J]. *中国发展观察*, 2018, 4(23):28-32.
- [39] 冯奎. 中国新城新区现状与创新重点 [J]. *区域经济评论*, 2016, 4(6):15-25.
- [40] 刘士林. 雄安新区战略解读与战略规划 [J]. *学术界*, 2017, 4(6):5-12.
- [41] 中共中央国务院. 国家新型城镇化规划 (2014—2020) [EB/OL]. (2014-03-17) [2021-05-15] http://www.gov.cn/xinwen/2014-03/17/content_2639873.htm.
- [42] 中国物流与采购联合会. 2020 年物流运行情况分析 [EB/OL]. (2021-02-23) [2021-04-15] <http://www.chinawuliu.com.cn/lhhzq/202102/23/541764.shtml>.
- [43] 生态环境部. 中国机动车环境管理年报 (2018) [EB/OL]. (2018-06-01) [2021-04-15] http://www.mee.gov.cn/gkml/sthjbgw/qt/201806/t20180601_442293.htm.
- [44] 京东物流. 地下物流在城配领域的应用分析 [R]. 北京: 第八届国际地下物流会议, 2018.
- [45] 国土资源部. 关于推进土地节约集约利用的指导意见 [EB/OL]. (2014-09-26) [2021-04-15] http://www.gov.cn/xinwen/2014-09/26/content_2756852.htm.
- [46] 国家铁路局. TB/T 2690—1996 铁路货物运输品名分类与代码 [S]. 1996.
- [47] 中华人民共和国交通部. JT/T 19—2001 运输货物分类和代码 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [48] Cargo Sous Terrain, was ist cst? [EB/OL]. [2021-04-15] <https://www.cst.ch/was-ist-cst/>.
- [49] 鲁斌. 地下物流与城市基础设施整合研究 [R]. 成都: 第六次国际地下空间学术大会, 2019.
- [50] 新京报. 目前地下工程施工技术已完成地下 100 米以内的建设 [EB/OL]. (2010-12-17) [2021-04-15] <http://www.bjnews.com.cn/2010/12/17/91318.html>.
- [51] 中国工程院战略咨询中心, 中国岩石力学与工程学会地下空间分会, 中国城市规划学会. 2020 中国城市地下空间发展蓝皮书 [Z]. 北京: 中国岩石力学与工程学会地下空间分会——中国城市规划学会, 2020.
- [52] WALLACE M, LEE S. Underground freight moving system & developing underground logistics cavern [R]. shanghai: CSUFT 2017, 2017.
- [53] 程光华, 苏晶文, 李采, 等. 城市地下空间探测与安全利用战略构想 [J]. *华东地质*, 2019, 40(3):226-233.
- [54] 史玉金, 张先林, 陈大平. 上海深层地下空间开发地质环境条件及适宜性评价 [J]. *地质调查与研究*, 2016, 39(2):130-135.
- [55] VISSER J, WIEGMANS B W, KONINGS R, et al. Review of underground logistic systems in the Netherlands: an ex-post evaluation of barriers, enablers and spin-off [C]. Arlington: ISUFT 2008 Conference (International Symposium on Underground Freight Transport), 2008.
- [56] TAN Y H. Unveiling the underground development and planning in Singapore [R]. Qingdao: invited speech for IACUS 2017 conference, 2017.

Some thoughts on the planning of deep underground logistics system new cities and districts of China and suggestions on geological exploration

GUO Dongjun¹, SU Jingwen², CHEN Yongfan¹, ZHAO Ziwei¹, ZHENG Lining³, ZHU Xingping¹

(1. *Army Engineering University of PLA, Nanjing 210007, Jiangsu, China*;

2. *Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China*;

3. *China Construction Underground Space Co., Ltd, Chengdu 610052, Sichuan, China*)

Abstract: The Underground Logistics System (ULS) is an important content of urban underground space planning, as well as one of necessary elements especially in new cities and districts. This paper defines the deep ULS and analyzes the necessity of its planning and construction from the perspective of the vertical planning principles on underground space, the challenges from sharply increasing logistics volume and spatial constraints which would be faced by newly planning area, and presents suggestions on geological exploration of deep ULS. The research results are shown in the followings: most of the urban goods distribution are suitable for the ULS transportation with both dedicated networks and the networks integrating with other underground infrastructure; ULS trunk network should be located in deep underground space, while the ULS last-time delivery network with a lot of human activities can be located at medium-shallow underground zones; The critical problems of the deep ULS application including geological exploration, planning based on long-term benefits, and technical integration and innovation should be solved as soon as possible.

Key words: deep underground logistics system; new cities and districts; underground space exploration