

土地利用模型与货运交通模型的整合 ——英国货运模型实例分析

Integrated Land Use and Freight Transport Modelling: A Case Study of Freight Model in the UK

焦熙和
Jiao Xihe

摘要：城市货运是城市经济活动中的一个重要组成部分，也是典型的土地利用与交通规划相互结合的研究课题，亦是土地利用与交通交互模型的主要应用领域之一。关于货运模型的研究起始于1970年代，时至今日全世界已有上百种城市货运模型，但其在规划实践中的运用仍十分有限，主要原因是物流活动的复杂性以及数据的局限性。大多数货运模型止于对起始地（工厂、农田、港口）和最终消费终端（消费者）的模拟，忽略了中间复杂的分销过程，而这样会导致对货物相关类经济活动（土地利用）的明显低估。本文首先对各种类型货运交通模型作简要回顾；然后以英国城市科学有限公司研发的“城市科学国家货运模型”为实例，深入剖析货运交通模型的搭建过程及其运用；最后归纳总结英国国家货运用地与交通模型的先进性和局限性，并为在国内搭建类似模型提出针对性方法并给出数据整合方面的具体建议。

Abstract: Logistics and related freight movements is an essential part of urban economic activities. It is highly relevant to both land use and transport planning interventions. Therefore, it is the area where Land Use and Transport Interaction (LUTI) model has been extensively applied. The earliest freight model was developed in the 1970s. Since then there are more than 100 freight models have been developed. However, the application of freight model in practice is very limited, freight modelling is focusing on production and consumption. Transport logistics hubs that are primarily used for distribution seem to be not considered adequately in most freight models. Those hubs are crucial for freight movements. Failure to capture the distribution channel adequately will result in underestimating the goods movement significantly. This paper firstly reviews how freight modelling have been studied systematically. Then using the UK national freight model developed by City Science as an example to depict how the City Science National Freight Model (CSNFM) was developed in detail. In the final section, the paper is concluded with a number of suggestions on developing freight models in China and directions for future research.

关键词：土地利用与交通交互模型；物流活动；分销渠道；

嵌套式评定模型；空间输入输出模型；货运模型

Keywords: LUTI Model; Logistic Movement; Distribution Channel; Nested Logit Model; Spatial Input Output Model; Freight Model

作者：焦熙和，博士，英国城市科学有限公司（City Science），首席模型顾问。
joshua.jiao@cityscience.com

引言

城市数学模型是对复杂城市系统的理论概括，以相互关联的数学模型模拟城市体系中各个重要部分之间的关联，可以作为研究城市规划理论和政策方针的载体^[1]。随着数据获取日益便捷且规范化，通过数学模型来解决城市问题，尤其是用地与交通规划问题，已成为规划实践与科研体系中的一个标准流程。以英国交通部为例，自2013年起，政府就在交通规划大纲中规定，将搭建符合质量要求的数学模型作为基础设施投资评估流程中的必须步骤^[2]。数学模型可以作为规划政策评估的“实验室”，帮助政策制定者更直观地评估规划策略对未来经济、社会以及环境的影响^[3-4]，尤其是在复杂的城市体系中，用地、交通、能源等基础设施建设紧密关联，其中某一项政策的推动对其他各项建设产生哪些影响很难通过定性分析得到结论。除辅助政策制定外，数学模型的另外一个主要应用领域是填补数据上的缺口。在大数据时代，虽然我们每天都生产着海量数据，但这并不代表所有数据都会被完整捕捉，再者有些数据牵涉个人和商业隐私，即便被捕捉也无法被公开。从规划的角度来说，这些数据的缺口为完整了解相关的经济活动带来了屏障，而通过模型的方式可以帮助规划者在有数据缺口的情况下更完整、全面地了解城市经济活动。

城市货运就是一个典型的因缺少完整数据而给规划带来挑战的实例。城市货运是城市经济活动中的一个重要组成部分，与用地、交通分布有着密切的联系。虽然城市物流每天都产生着海量的数据，但由于行业历史悠久，从事该行业的公司繁多，规模参差不齐，加上数据本身的商业特性，物流相关的公开数据十分稀少甚至根本无法获取，导致城市规划过程对物流相关活动一直存在盲点^[5]。然而货运对城市经济生产和市民的基本生活起着至关重要的作

用,例如2020年底英国出现货车司机短缺,一度导致各类生活物资供应告急,市民恐慌性抢购,使得市场和社会秩序一度陷入混乱,给市民生活带来极大不便。也正因为物流活动与市民生活息息相关,物流活动的存在同时具有其必然性,该活动的频率与人口和国民生产总值成正比,对单体成本变化的敏感度较低。即便在特殊情况下,如疫情封城期间,物流活动也在短期减少之后迅速恢复甚至超出了疫情前的水平(图1)。可见,掌握城市物流活动相关信息对制定用地和交通规划政策有着至关重要的意义。

城市用地与货运模型的搭建一直是一个热门科研课题。全世界有上百种城市货运模型,然而由于数据的局限性,大多数货运模型止于对起始地(工厂、农田、港口)和最终消费终端(消费者)的模拟,忽略了中间复杂的分销过程^[7]。我国近些年来虽然在交通模型领域有了显著的发展,但货运相关模型还停留在发展初期阶段,主要是对宏观总量的预测^[8]。本文将首先对目前主流的各种物流模型种类进行回顾,然后以英国城市科学有限公司(City Science)开发的土地利用与交通交互模型(LUTI Model)——城市科学国家货运模型(CSNFM: City Science Nation Freight Model)为实例,深入剖析货运交通模型的搭建过程及其应用场景,并对模型的未来发展提出展望。

1 货运模型的研究回顾

最早关于货运模型的研究起始于1970年代,经历近50年的发展后,现有的各类货运模型在搭建方法、覆盖的空间范围、精度和功能方面都有所不同。总体来

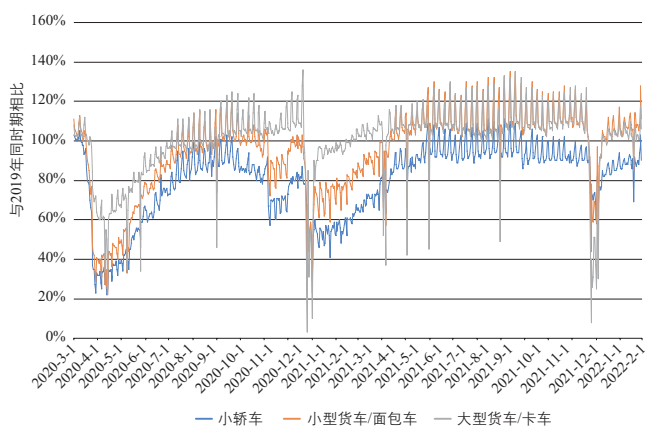


图1 英国新冠疫情期间车流量较2019年同时期对比

资料来源:参考文献[6]

说,可大致分为三类:“自上而下”、“自下而上”和混合模型(表1)。

1.1 “自上而下”模型

“自上而下”模型以国家宏观经济数据为起点,根据当地的人口、用地等相关指标细分到各个地区。这种方法是目前主流的模拟方式,通常以四步模型为基础^[11],即生产/消费总量估算—交通工具选择—目的地选择—线路选择,在物流总量部分加入输入/输出经济模型^[12],车辆、目的地和线路选择则是以嵌套式评定模型(Nested Logit Model)为骨架^[13-14],该模型以效用最大化(random utility maximisation)为理论基础。英国货运模型(GBFM: Great Britain Freight Model)就是典型的“自上而下”模型。然而基础的四步模型在模拟货物流动时有一个明显的缺陷:模型框架不包括中间点——货物和交通分销地。换句话说,因为数据有限,模型只模拟货物的生产地和最终的消费端,而忽略了中间的分销过程,导致最终的对货运量的估算明显低于实际的活动体量。以德国为例,每年有将近20亿吨的货物(约等同于10%的全国货运总量)会在货物和交通分销地进行重新整合与分配^[7],如果在模拟过程中忽略这部分货物和交通分销地的相关信息将会导致该部分货运活动的缺失。

2005年科进集团^①受英国交通部委托,开发了可被视作GBFM升级版的货运交通模型(EUNET),该模型在四步模型的基础上加入了对货物仓库和分销中心的选择^[15](图2)。2020年英国城市科学有限公司受英国地理信息学会(Geospatial Commission)^②委托,对英国货运交通与用地模型进行新一轮的开发。考虑到货运相关数据的有限性,英国货运用地与交通模型的搭建将有助于更加准确地掌握物流活动的规律,从而有助于规划政策的制定与评估,本文将会在实例分析中对这一模型做具体分析。

表1 货运模型属性

地理精度	模拟方式	变量基础	模型种类	深度
国际	自上而下	以路网车流量为基础	统计模型	宏观
全国	自下而上	以物流活动为基础	空间均衡模型	微观(个体)
区域	混合	混合	路网模型	
城市				
郊区				

注:表中仅纵向对应模型的不同属性,横向不具备对应关系。

资料来源:参考文献[7,9-10]

① 科进集团(WSP Global Inc.)是一家加拿大设计、工程咨询公司,现在全球逾40个国家运营。

② 英国地理信息学会成立于2018年,是由学术界和行业专家组成的政府机构,隶属于英国内阁。该部门主要负责英国地理空间数据的规范整合,并协助制定国家空间规划策略方针。

1.2 “自下而上”模型

与“自上而下”模型正好相反，“自下而上”模型以个体（如货运公司、消费者）为起点，通过模拟个体之间的活动联系来推测宏观变化。鉴于物流活动的多样性与复杂性，“自下而上”的方法被认为是更为理想的模拟方式。但此类模型之所以没能成为主流模型，主要原因是搭建此类模型对数据的要求极高——数据需要详细记录一定时间范围内活动个体（如公司、货运司机）的具体活动轨迹和时间点。在大数据的概念出现之前，此类数据几乎不存在；近些年随着大数据的出现，此类数据开始得以捕捉。例如：货运微观模拟模型（FAME: Freight Activity Micro Simulation Estimator）由芝加哥的伊利诺伊州立大学开创于2010年^[16]，它以模拟物流货运行行为为基础，涵盖了活动中的各种决策行为，如车辆种类、尺寸、货源地、目的地，等等。另一个典型的“自下而上”模型是由IVU交通科技股份有限公司（IVU Traffic Technologies AG）开发的柏林基地周边城市货运模型（WIVER）^[7]。“自下而上”的货运模型以模拟参与活动的个体和货运活动本身为起点，比起“自上而下”的模拟方式，这种微观模拟可以自由涵盖各种仓库和交通分销中心等重要用地，在更准确模拟物流活动的同时保留了活动载体的多样性；其缺点如之前提到也十分明显——此类模型数据的收集会耗费大量的人力物力，而且关系到个人和商业隐私，导致收集过程更加复杂。

1.3 混合模型

混合模型中和了之前两种模型——通过宏观数据模拟地区经济活动分布，减轻数据体量和对精度的要求；但在微观模拟部分，依然需要通过个体问卷调查来获取数据。其优点在于此类模型因为其具备微观模型的性质，可以用于测试针对个体而制定的规划政策。例如：瑞典国家货运模拟系统（Swedish National Goods Model System，图3）用“自上而下”的方式模拟货物的生产与消费，同时运用微观模拟的方式模拟活动个体（公司）的行为，最终活动的总量由先前自上而下估算的生产消费总量来控制^[10]。另外一个典型的混合模型是由芝加哥大都市区规划局（Chicago Metropolitan Agency for Planning）为大芝加哥地区开发的货运用地与交通模型——生产与消费活动以传统的经济模型“自上而下”推算，具体的流通渠道、物流活动则通过微观模拟方式量化^[17]。

2 案例分析——城市科学国家货运模型

英国物流系统由近20万家企业、250万员工组成，每年创造近1200亿英镑的国内生产总值^[18]。但同时，货运交通承担道路交通排碳总量的30%，这其中又有30%以上的货车处于无载货状态^[19]。如何通过用地与交通规划来优化货运活动，从而达到高效减排目的，是近些年来十分热门的研究课题。但由于物流数据本身的商业敏感性，相关数据很难通过政策强制公开，因此研究多停留在理论基础，规划货运

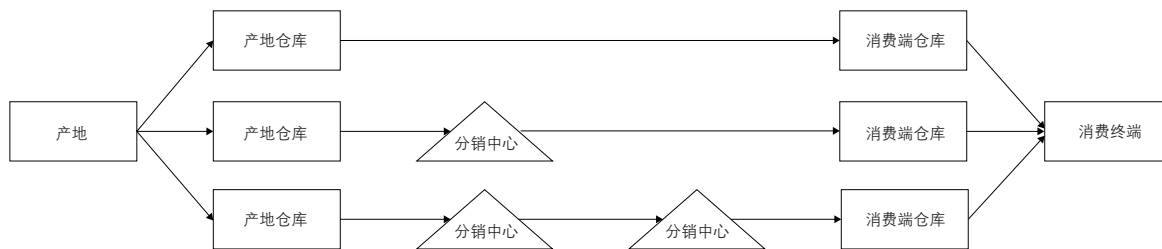


图2 EUNET 分销渠道模型结构

资料来源：参考文献[15]

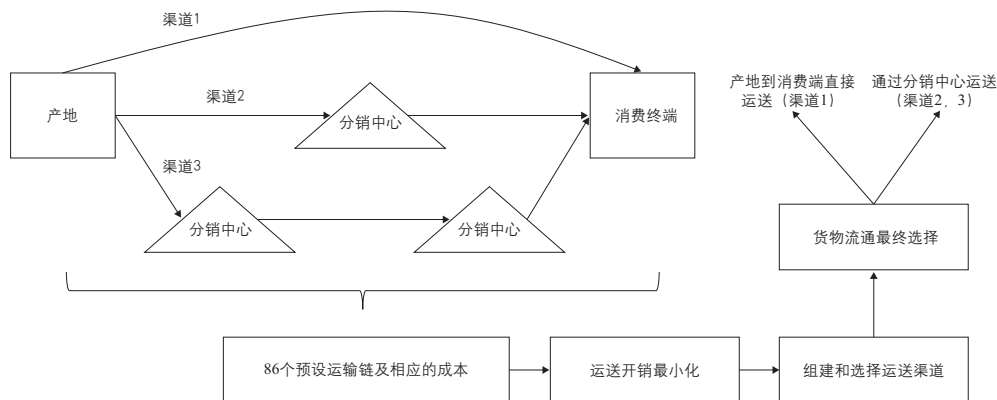


图3 瑞典国家货运模拟系统的模型结构

资料来源：参考文献[10]

活动的实践经验十分有限。自 1990 年代起,英国政府曾多次尝试通过模型填补数据上的空缺,在 2020 年初,英国城市科学有限公司受英国地理信息学会委托,对英国货运用地与交通模型进行了新一轮的开发,搭建了“城市科学国家货运模型”。

2.1 模型覆盖范围和数据来源

城市科学国家货运模型以英国中层居住分区(MSOA: Middle Super Output Area)^①为模型分区基础,覆盖了整个英格兰、苏格兰和威尔士地区。以中层居住分区为分区起点的主要原因是由于英国的大多数公共数据,如人口、就业等都是以中层居住分区为基本统计单位。整个英格兰和威尔士地区共可分为 7 201 个中层居住分区。考虑到模拟所有 7 201 个分区需要耗费较多计算时间,且城市科学国家货运模型是针对货物的生产与流通活动的模型,此类活动通常集中在特定部分区域如港口、分销中心、工业园区等,所以城市科学国家货运模型的分区在基于中层居住分区的基础上,又将每个单位区域内的居住面积与其他商业用地面积的比例进行了整合。例如:如果居民用地在几个相邻的中层居住分区区域内占地面积在 80% 以上,同时商业用地在同区域内占比小于 10%,从货运的角度考虑,这一组区域具有类似的区域功能定义,即消费终端,可以将这一组中层居住分区归为一个模型区域来处理,从而减小模型运算量。根据这一方法,城市科学国家货运模型最终将英格兰、苏格兰和威尔士地区划分为 2 000 个模型区域。

在数据方面,宏观的经济生产活动根据英国年投入产出统计表(UK Input-Output Analytical Table)^②计算。该数据库记录了全国范围内各种货物相关经济活动的年度体量,包括生产所需原材料的进口量、最终的消费需求,以及各个中间生产物的总量。人口和经济数据来源为英国国家统计局(Office for National Statistics)^③的常驻人口和商业注册统计数据,此外英国国家估价局(Valuation Office Agency)^④也详细记录了英格兰和威尔士的非居住建筑用地面积,该数据还根据用地种类进行了进一层的细分。

英国货运相关的主要数据来源于英国年度道路货物运输统计(Continuing Survey of Road Goods Transport)^⑤。该统

计由英国交通部主导,通过货运物流交通调研的方式收集完成,主要对象是净重 3.5 吨以上的货车。调研以问卷调查为主,针对过去两周内的行程,调查记录行程细节,如单趟行驶距离、货车种类、运送货物的种类、每一站点装卸货物重量、起始地和目的地以及运行成本(单程耗油量)(表 2)。

与路网交通相关的数据来源是由交通部提供的路网年度车辆运行估算^⑥。估算以实地抽样调查为基础,覆盖所有主要交通干道和部分地方道路,车辆统计细分到车型(如摩托车、轿车、公交车、货车等),此数据库主要记录道路的日平均车流量(图 4)。

最后一类数据类型是与地理信息系统相关的空间数据,该数据主要来源于开放街区地图(Open Street Map)^⑦——被称作地理数据的维基百科,由用户自发提供并完善,目前有超过 200 万注册用户,企业注册账户有苹果、脸书、亚马逊、优步等大型公司。开放街图也是城市科学国家货运模型路网数据的主要来源。

2.2 模型构架

城市科学国家货运模型沿用了 EUNET 的基本结构(图 2),以空间输入输出模型(Spatial Input Output Model)为骨架,通过离散选择模型^[14]将生产、运输和分销等一系列物流相关经济活动囊括在一个整体框架中。

总体而言,城市科学国家货运模型的搭建可分为以下步骤(图 5)。(1)通过英国输入输出宏观数据以及人口、商业数据,估算每个模型区域、各种货物种类的生产量和消费总量。(2)通过离散选择模型计算选择每种货物分销渠道的可能性(图 6 详细描述每种货运分销渠道的组成)。与传统四步模型不同的是,目的地选择以嵌套评定模型(Nested Logit Model)的形式包括在分销渠道选择当中。(3)离散选择模型计算的核心是效用(utility)计算,针对的是每条分销渠道,估算从消费终端开始,用嵌套决策模型中对数求和(logsum)的计算方式,反向倒推至起点(生产或进口端),最终得到完整的点到点的货运交通矩阵。(4)货运交通矩阵转化成交通工具,带入路网,推算出最终的路网承载量。

城市科学国家货运模型的突破点在于对需求总量和运送渠道选择的模拟,下文将对这两部分的计算进行详细阐述。

① <https://www.ons.gov.uk/methodology/geography/ukgeographies/censusgeography>

② <https://www.ons.gov.uk/economy/nationalaccounts/supplyandusetable/datasets/ukinputoutputanalyticaltables-detailed>

③ <https://www.ons.gov.uk/>

④ <https://www.gov.uk/government/organisations/valuation-office-agency/about/statistics>

⑤ <https://www.gov.uk/government/statistics/continuing-survey-of-road-goods-transport-gb-respondents-section>

⑥ <https://roadtraffic.dft.gov.uk/#/6/55.254/-6.053/basemap-regions-countpoints>

⑦ <https://www.openstreetmap.org/#map=5/54.915/-3.428>

表 2 2019 货物种类、运输距离与运输量

货物种类	运输量 / 百万吨							总量
	运输距离							
	<25 km	25~50 km	50~100 km	100~150 km	150~200 km	200~300 km	>300 km	
农产品	9	13	25	14	10	10	8	89
矿物质	26	52	59	17	6	5	2	166
副食产品	30	30	54	38	34	35	19	239
纺织品、皮革	2	1	2	2	1	1	—	9
木材	4	7	9	8	6	9	4	46
精炼石油产品	5	7	14	10	4	2	—	43
化学产品	5	4	10	6	7	8	4	44
非金属产品（如玻璃、水泥）	34	25	23	10	6	8	4	111
金属产品	6	4	5	3	3	4	1	25
仪器设备	3	4	6	3	3	5	3	27
运输设备	4	3	6	5	3	4	1	25
家具及其他手工产品	1	1	1	1	1	1	1	8
废料	43	40	42	10	7	7	2	151
邮件、快递	3	3	7	7	10	6	4	40
包装	3	4	7	4	2	2	2	25
家居及办公用品搬迁	8	6	6	2	2	2	—	25
集装箱	26	35	41	20	21	20	9	173
未识别货物	4	2	4	3	3	4	2	22
总量	216	240	320	166	128	132	69	1 272

注：“—”代表在特定距离区间的运输量可以忽略不计。
资料来源：参考文献 [18]

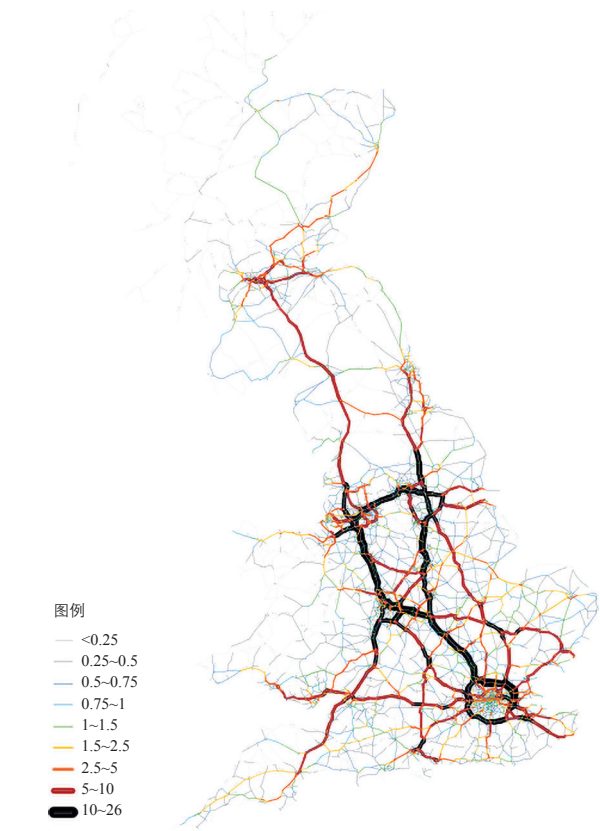


图 4 英国 2015 年货车路网日均承载量分布（单位：千辆）
资料来源：<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=56786835>

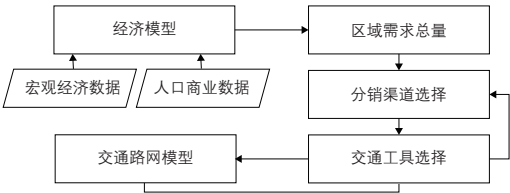
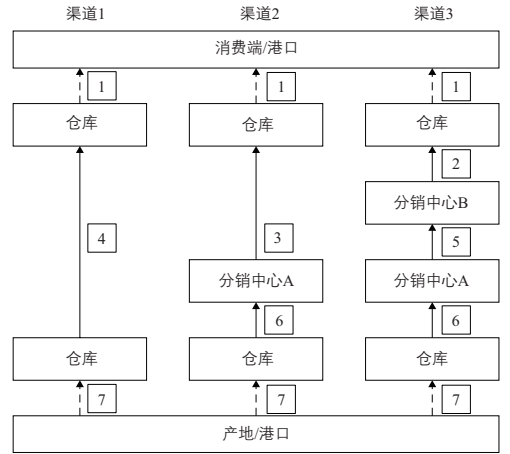


图 5 英国货运用地与交通模型结构



注：图中数字代表货运环节，1 为仓库到消费终端，2 为二级分销中心到仓库，3 为一级分销中心到仓库，4 为仓库到仓库，5 为分销中心到分销中心，6 为仓库到分销中心，7 为起始地到仓库。→ 代表包含在模型中的货运过程；→ 代表现阶段未模拟的货运过程。

图 6 分销渠道构成

整个模型的基础是空间输入输出模型。基本的输入输出模型最早由列昂季耶夫 (Leontief) 于 1936 年开发, 其基本理念是生产制造某一种最终产品或者服务 (output) 需要各种其他物品作为原材料 (input), 而每一种原材料本身同样也可被视作产品 (output), 所以同样需要其他产品的输入, 上述关系可表示为可用公式 (1):

$$D^m = Y^m + \sum_n a^{mn} X^n \quad (1)$$

D^m 代表最终产品的消耗总量; Y^m 代表最终产品被作为终端消耗的量, 即被居民、政府消耗或者出口; X^m 或者 X^n 代表产品 m 或者 n 的生产总量。根据市场清空原则 $X^m = D^m$, a^{mn} 被称作输入输出系数, 代表生产单位 n 产品所需要 m 的量, 因此 $\sum_n a^{mn} X^n$ 代表产品 m 作为其他产品原材料的需求量。基本的输入输出模型只是一个经济模型, 不包含空间元素, 故基本模型在空间规划中的运用十分有限。空间输入输出模型衍生于基本的输入输出模型, 将生产和消费活动明确在具体的地理位置^[19,20], 具体变形如下:

$$D_c^m = Y_c^m + \sum_n a_{[c]}^{mn} X_{[c]}^n \quad (2)$$

公式 (2) 与公式 (1) 基本相同, 区别在于每个部分都具体到了空间区域 c 。如果用 T_{pc}^m 来代表产品 m 从产地 p 到消费地 c 的流通量, 则:

$$T_{pc}^m = D_c^m p_{p|mc} \quad (3)$$

$p_{p|mc}$ 代表在消费地 c 的产品源于产地 p 的可能性。我们运用以效用最大化为理论基础的离散选择模型解决选择问题, 而离散选择模型的重点在于效用的计算, 计算效用的两个重要元素是生产地 p 的生产规模和从产地 p 进货到消费地 c 的开销, 这里用 U_{pc}^m 表示。 U_{pc}^m 由 W_p^m 代表在产地 p 生产单个产品 m 的成本, 以及 $\hat{u}_{pc}^m$ 即运送 m 从产地 p 到 c 的运输成本组成。

W_p^m 单个产品成本已在公式 (2) 中求和部分提到, 主要取决于生产 m 所用原材料的开销。这一步可以看出不同产品之间可互为原材料, 从而形成一个闭合链, 最终通过满足市场清空原则而达到均衡, 这个均衡也是用来估算各种货物流动量的关键。

U_{pc}^m 的另外一个重要组成部分是产地 p 到消费地 c 之间的运送成本 $\hat{u}_{pc}^m$ 。一般的四步模型在考虑交通成本时仅限于区域 p 和 c 之间的广义开销^[8], 但正如在研究回顾中提到的, 对于物流交通来说, 货运的分销站点 (如货物 / 交通分销地) 有着至关重要的作用, 忽略这类用地的存在将显著低估物流经济活动, 所以城市科学国家货运模型在运输成本的计算过程中包含了分销渠道的选择。然而情况的复杂性就在于, 每种货物可选择的分销渠道有所不同。即便是同一种货物,

作为最终消费品或者中间消耗品, 运输渠道也不尽相同, 比如超市的土豆和用于食品加工的土豆的运送渠道是不同的。所以我们要做的是将产地 p 与消费地 c 之间的货物流动量细分成不同的物流渠道。

如图 6 所示, 最终区域 c 内对产品 m 的需求可以通过: 直接从产地送出 (环节 4), 或者由分销中心送出 (环节 2 & 环节 3); 分销中心也可以是直接从产地仓库提供 (环节 6) 或由其他分销中心提供 (环节 5)。以图 6 为例, 产品 m 从产地 p 到消费地 c 的流通量 T_{pc}^m 又可以表示为直接从产地送出 (环节 4) 和由分销中心送出 (环节 2 & 环节 3) 的和:

$$T_{pc}^m = T_{pc}^{m4} + \sum_j (T_{jc}^{m3} p_{p|mj6}) + \sum_j (T_{jc}^{m2} \sum_i p_{ijm5} p_{p|mi6}) \quad (4)$$

公式 (4) 中的 P 代表选择某种货物来源地的可能性, 货物的来源地取决于运送阶段, 如果环节 6 代表来源地是产地仓库, 环节 5 则代表来源地是分销中心。进货开销的计算方式也会因为进货渠道不同而不同。公式 (4) 中的 T_{pc}^{m4} 相对简单, 只需要生产成本加上生产地 p 到消费地 c 的运输成本。而 T_{jc}^{m3} 的成本则需要先计算所有分销中心 A 到消费地 c 的运输成本, 然后用嵌套 Logit 模型中对数求和的方式计算预计的最小成本^[21], 最后再加上生产成本, 得到渠道 3 的总成本。渠道 2 与渠道 3 类似, 区别在于分销地成本需要通过对数求和多叠加一次。

表 2 中每种货物都有自己相对独特的分销渠道。图 6 中的例子只有三种运输渠道, 实际运输中货物可选择的流通渠道可能会有多达数十种。然而基本的运算理念是相同的, 即从消费终端开始, 逐步倒推到最初的生产地。分销渠道模型的最终结果是点到点的货物流动矩阵, 接下来可再次通过离散选择模型将货物矩阵转化成货运车辆矩阵, 然后带入路网, 进一步推算出最终路网上货物车辆的承载量。

3 总结

货运活动作为国家经济活动中的重要组成部分, 对社会发展和人民生活有着重要的影响。与土地利用相结合的货运交通模型对城市和经济规划有重要的指导意义, 但即使在欧美国家, 目前货运模型的运用也十分有限。英国城市科学国家货运模型对了解货运与用地的关系、填补相关数据中的空缺、辅助与货运相关政策的制定有着重要意义。本章节对这一模型的先进性和局限性进行总结, 并为类似模型在国内的搭建提出建议。

3.1 模型的先进性

这一模型最主要的突破点在于将分销渠道和分销中心通过嵌套式离散选择模型的形式嵌入整个模拟过程。在模拟货

运交通的过程中,如果忽略了分销环节,将会明显低估货运交通活动的总量。根据文献回顾中对此类问题的研究可以发现,大部分货运交通模型并不具备模拟分销环节的功能。而城市科学国家货运模型由于结合了输入输出经济模型和交通模型,不仅可以用于研究货物的流通轨迹,还可以用于评估相关用地规划政策。例如:如果新建一个分销中心,该模型除了可以估算不同选址对该地区经济活动总量的影响,还可以模拟对路网承载量产生的影响,并且估算人口就业变化对货物的经济活动所产生的影响。

另外城市科学国家货运模型的整个搭建过程没有涉及任何新的数据收集活动,而是通过对现有公开数据的系统性整合,同时结合相关研究论文搭建而成。这种搭建方式不仅提高了模型的可转移性,而且减少了模型的搭建成本,最终的模型结果还可以用于填补目前英国货运相关数据中的缺口,如点到点的货运数据向来只归各公司个体所有而不被公开,给交通与用地规划造成了极大的不便。此外,该模型可有效帮助从地方政府到中央交通部对于货运相关用地和交通的政策方针制定。例如:英国城市科学有限公司目前正在运用该模型指导英国 A34 高速公路电货运车 (electric freight) 电缆布线的可行性研究。

3.2 模型的局限性

诚然,这一模型同时也存在一些需要继续改进的地方。由于数据的局限性,该模型目前只应用于道路交通的部分,其他多途径货运选择如铁路、航运以及空运将是未来的主要发展方向,尤其是铁路货运,在英国起着极为重要的作用。另外,被用来检验模型准确性的道路车流量统计数据对于车型的分类,与以英国年度道路货物交通统计为基础的货物用车的车型分类有着明显不同:道路车流量统计以机动车外观分类,如小型货车、两轴或四轴整体式货车或鞍型车;而货物车辆选择模型以车辆载重吨位为标准。虽然城市科学国家货运模型根据英国交通部的数据设置了互换的算法,但其间的误差有待进一步研究。

另外,城市科学国家货运模型目前暂时忽略了起点与终点到仓库之间的部分(图6中的环节1和环节7)。这两部分通常发生在模型分区的区域内部,所以未做详细模拟。然而这两部分尤其是消费端的运送与居民的生活关系十分密切,也更适合推广新交通方式(如载货电动车[electric cargo bike])。所以在未来的研究过程中,可以就如何将图6中环节1和环节7加入模型框架进行更深入的研究,尤其可以考虑如何通过微观个体活动模拟的方式来实现最初和最终阶段的模拟。这也意味着在数据的收集上要有创新,比如通过手机数据、GPS等大数据方式收集更多行为数据,从而提供

微观模拟所需要的信息。

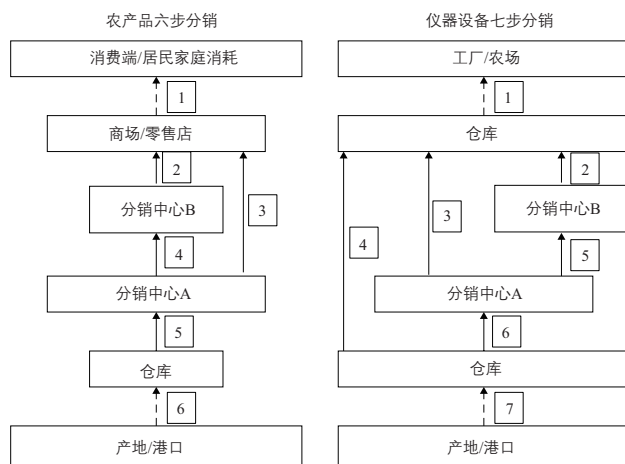
3.3 可被借鉴的经验以及货运用地模型未来发展方向

我国交通科学方面的研究起步较晚,1990年起才逐渐出现以国外相关成果为研究框架、依照中国国情对土地利用与交通需求之间关系开展的研究,对于货运交通的预测还处于宏观总量预测的阶段^[22]。然而货运活动作为国家经济活动中的重要组成部分,对社会发展和人民生活有着重要的影响,对系统化了解货运活动与用地之间的关联有着至关重要的科研与实践意义。货运活动相关模拟的难点在于其活动行为的复杂性与数据的不完整性,如果在国内搭建类似模型,必须针对这两点制定相应的解决方案。

模型搭建的复杂性主要体现在以下方面。

(1) 普通交通模型可以通过标准的四步法模拟,虽然交通出行量与用地和人口分布相关,但公开的人口统计数据基本可以避免模拟土地利用的步骤。而货运交通模型则不同,标准的四步法无法准确模拟货物流通过程——货运活动需求总量与国家宏观经济状况、生产产品种类、进出口量、国家经济发展规律和人口分布有着密切且细微的关联,因此首先需要基于当地数据搭建的土地利用模型来演算需求总量,再根据用地种类细分到各个地区。

(2) 为了准确模拟货运活动,模拟分销渠道的选择必不可少。分销渠道由通常四步模型中目的地选择和交通工具选择组成,每种产品都具有其特有的货物分销渠道,如图7所示,农产品和仪器设备的运送渠道方式就完全不同,在能够搭建包含分销渠道的货运模型前,必须具备与我国发展规律相关的分销渠道的研究。



注:图中数字代表货运环节,1为仓库到消费终端,2为二级分销中心到仓库,3为一级分销中心到仓库,4为仓库到仓库,5为分销中心到分销中心,6为仓库到分销中心,7为起始地到仓库。→代表包含在模型中的货运过程;→代表阶段未模拟的货运过程。

图7 农产品、仪器设备的分销渠道构成

(3) 土地利用模型和分销渠道选择在模拟货运交通活动中不可或缺, 因此只有包括这两种功能, 才能保证模拟的准确性, 模型才能适用于制定、评估城市和经济相关的用地和交通规划政策。

货运交通结合土地利用的模型搭建的另外一个重要阻力是数据的局限性。由于数据的商业敏感性, 此类数据通常由个体公司持有且不公开。货运交通模型可以用来填补此类数据上的盲区, 但前提是有宏观统计数据的支持, 这主要包括国家和区域经济数据(如进出口数据)。这部分数据主要用于模拟各个商品的生产和进出口总量, 然后通过商业用地数据推算生产的具体空间分布, 再通过人口数据模拟消费端的需求。货运交通用地模型的一个难点在于模拟分销渠道的构成, 如图7所示, 分销渠道因产品类型而异, 也因国家地区情况而有所不同。城市科学国家货运模型是基于欧洲学者对于欧洲货运体系多年的研究搭建而成, 在搭建中国土地利用货运交通模型时, 则需要针对国内国情进行具体研究, 总结出符合中国国情的分销渠道的组成构架。

城市科学国家货运模型的搭建过程中, 对货运司机进行的抽样普查起到了至关重要的作用。该数据以匿名的方式调查记录货运司机过去两周内每趟行程的行程细节, 如单趟行驶距离、货车种类和运送货物的种类、每一站点装卸货物重量、起始地和目的地以及运行成本等。如此, 可以在不泄露商业机密的情况下获取足够的信息校对模型参数。除此之外, 在数据收集方面, 我们也可以考虑利用大数据(如手机数据、GPS数据)来填补出行行为数据的空缺。然而需要谨慎对待的是, 此类数据对数据清理、分析的要求较高, 需要收集实地的交通出行数据来进行校对。路网实地交通数据是最终模型的验证标准, 包括路网本身特征的数据如货车禁行道路、限速等, 以及路网承载量数据。路网交通数据的准确性, 尤其是车辆分类的方法, 例如如何通过车辆外观关联到货车载重, 对校对模型的准确性也起到了至关重要的作用。UPI

注: 文中未注明资料来源的图片均为作者绘制。

参考文献

- [1] BATTY M. Cities as complex systems: scaling, interaction, networks, dynamics and urban morphologies[C]. New York: Encyclopedia of Complexity and Systems Science, 2009.
- [2] Department for Transport. Transport analysis guidance-GOV.UK[EB/OL]. London: Department for Transport, 2021[2022-03-23]. <https://www.gov.uk/guidance/transport-analysis-guidance-tag#introduction>.
- [3] YANG T. Understanding commuting patterns and changes: countefactual analysis in a planning support framework[J]. Urban analytics and city science, 2020, 47(8): 1440-1455.
- [4] 杨天人, 金鹰, 方舟. 多源数据背景下的城市规划与设计决策——城市系统模型与人工智能技术应用[J]. 国际城市规划, 2021, 36(2): 1-6. DOI: 10.19830/j.upi.2021.034.

- [5] City Science. National freight model phase one final report[R]. Exeter: City Science, 2021.
- [6] Department for Transport. Transport use during the coronavirus (COVID-19) pandemic-GOV.UK[EB/OL]. London: Department for Transport, 2021[2022-03-23]. <https://www.gov.uk/government/statistics/transport-use-during-the-coronavirus-covid-19-pandemic>.
- [7] HUBER S, KLAUENBERG J, THALLER C. Consideration of transport logistics hubs in freight transport demand models[J]. European transport research review, 2015, 7(4): 1-14.
- [8] Department for Transport. TAG UNIT M3.2 Public Transport Assignment[EB/OL]. London: Department for Transport, 2020[2022-03-23]. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/938870/tag-m3-2-public-transport-assignment.pdf.
- [9] 周江评, 戴帅. 城市与大都市货物运输交通: 现有模型综述[J]. 交通运输系统工程与信息, 2012, 12(4): 106-114.
- [10] DE JONG G, BEN-AKIVA M. A micro-simulation model of shipment size and transport chain choice[J]. Transportation research part b, 2007, 41(9), 950-965.
- [11] ORTÚZAR J de D, LUIS W G. Modelling transport[M]. Oxford: John Wiley & Sons, 2011.
- [12] LEONTIEF W. Quantitative input and output relations in the economic systems of the United States[J]. The review of economic, 1936, 18: 105-125.
- [13] TRAIN K. Discrete choice methods with simulation[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
- [14] McFADDEN D. Conditional logit analysis of qualitative choice behaviour[M/OL]. New York: Academic Press, 1974[2022-03-23]. <https://eml.berkeley.edu/reprints/mcfadden/zarembka.pdf>.
- [15] JIN Y, WILLIAMS I, SHAHKARAMI M. Integrated regional economic and freight logistics modelling: results from a model for the Trans-Pennine Corridor, UK[C]. Strasbourg: European Transport Conference, 2005.
- [16] SAMIMI A, MOHAMMADIAN A, LETTERS K K. A behavioral freight movement microsimulation model: method and data[J]. Transportation letters, 2010, 2(1): 53-62.
- [17] URBAN M S, BEAGAN F G, FISCHER M J. A working demonstration of a mesoscale freight model for the Chicago Region[C]. Florida: 4th Transportation Research Board Conference, 2012.
- [18] Department for Transport. Road freight statistics: 2019 and 2020[R/OL]. London: Department for Transport, 2021[2022-03-23]. <https://www.gov.uk/government/statistics/road-freight-statistics-2020>.
- [19] Climate Change Committee. 2021 progress report to parliament[R/OL]. London: Climate Change Committee, 2021[2022-03-23]. <https://www.theccc.org.uk/publication/2021-progress-report-to-parliament/>.
- [20] WILLIAMS I N. An approach to solving spatial-allocation models with constraints[J]. Environment and planning a: economy and space, 1979, 11(1): 3-22.
- [21] WEN C H, KOPPELMAN F S. The generalized nested logit model[J]. Transportation research part b: methodological, 2001, 35(7): 627-641.
- [22] 冯小虎. 基于运输通道的货运交通需求预测理论与方法研究[D]. 西安: 长安大学, 2011.

(本文编辑: 王枫)