

中石化江苏成品油一次配送空间格局与优化

杨足膺¹, 赵媛^{2,3,4}, 周昊⁵, 潘家清⁶, 崔金山⁷

(1. 常州大学商学院, 常州 213100; 2. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210023; 3. 南京师范大学金陵女子学院, 南京 210097; 4. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023; 5. 常州大学石油工程学院, 常州 213164; 6. 中国石化审计局南京分局, 南京 210003; 7. 中国石化管道储运有限公司, 徐州 221008)

摘要: 基于详实准确的政府及企业调研数据, 以中石化江苏成品油一次配送为例, 从配置效益和空间结构视角出发, 借助运用地理网络分析和线性优化模型等方法, 通过单位输油成本计算、优化情景构建计算和成品油配送格局比较分析, 系统解析成品油一次配送空间格局与优化配置情况, 从理论上尝试探讨其地理网络结构。研究发现: 优化情境下的成本较2017年实际状况减少了30%左右, 表明中石化江苏成品油一次配送效益不够优化; 理论上, 根据成品油“就近配置”原则, 不同炼油企业各自在其优化情景区界内, 配送单位输油成本较低的成品油; 实际上, 由于炼油企业的炼油能力差异、成品油输油通道不完善和分销中心油库设置差异等原因, 不同炼油企业之间存在着相较优化情景区界或大或小的实际输油区界, 且存在着某些分销中心油库同时接纳不同炼油企业成品油的现象, 即存在混合输油区域。

关键词: 成品油一次配送; 地理网络; 空间格局; 优化

目前, 中国已经成为世界上最大的能源消费国, 占全球能源消费总量的24%和能源消费增长量的34%^[1]。过去几十年, 中国能源以增加供给满足能源快速增长需求为重点^[2], 转变为“开源节流”并举。一方面, 通过优化能源结构、推动节能减排技术、减少能源环境污染等措施, 有效提高能源利用效率; 另一方面, 通过扩大国内能源生产规模、提高对外进口比例、建立多元供应体系等措施, 保障国计民生对能源的巨大需求。其中, 由于能源生产与消费市场在地域分布上呈显著的错位态势, 形成了区域之间大规模的能源空间流动现象^[3,4]。

当前, 关于能源空间流动的研究, 在研究视角上可分为关系网络和地理网络两类。一方面, 关系网络视角下的能源空间流动, 表现为能源供应链体系与能源区际贸易网络相互交织, 呈现较为复杂的能源贸易格局^[5]。因而, 供应链风险评价^[6,7]、投资组合理论^[8-10]、复杂网络理论及其衍生的社会网络分析^[11-18]等人文管理学科理论与方法, 广泛用于分析中国及全球能源供应—需求状况、运输条件及其他影响因素所构成的中国及全球能源供应链体系安全程度, 并进一步用于探讨全球能源贸易格局的驱动机制^[5-18]。另一方面, 地理网络视角下的能源空间流动, 则表现为能源生产单位(煤矿、油气田、发电厂

收稿日期: 2020-01-15; 修订日期: 2020-06-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(41801194, 41971248); 江苏省高校人文社科项目(2017SJB1781)

作者简介: 杨足膺(1985-), 男, 江苏盐城人, 博士, 讲师, 研究方向为能源地理与区域可持续发展。

E-mail: yangzuying1985@163.com

通讯作者: 赵媛(1963-), 女, 江苏南京人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为能源经济与区域可持续发展。

E-mail: zhaoyuan@njnu.edu.cn

等)、运输通道(铁路、水运航线、管道等)、能源消费地域(国家、省份等)等地理要素及其组合^[19]。因而,地理网络视角下的相关研究,主要分析上述地理要素的特征结构、影响因素及其运行机制^[2-4,19-23]。

综上所述,关系网络视角下的相关研究,可以有效地从整体格局出发,研究全球或国家尺度下的能源贸易网络的形成、拓扑结构演化及其影响因素,为深刻理解正在变化的能源贸易联系和保障国家能源安全,提供了重要研究视角^[1]。而地理网络视角下的相关研究,受制于数据尺度,通常以较大行政区(国家、省级)抽象为地理网络中的节点要素,代替能源地理网络中的能源生产消费地理要素,以此探讨能源空间流动的特征与机制,如通过聚类分析、回归模型等数理方法,揭示帕累托分布、无标度区间等小世界网络特征^[4,13,21-23],这与关系网络视角下的复杂网络、社会网络等相关研究过程及结论较为相似。总体来看,地理网络视角下的研究,多集中于国家和省级层面,重在宏观空间差异研究,对市、县级或企业层面的研究还远不够^[24],不同空间尺度融合、空间联系的分析、整体解决方案的制定还远不够,对能源利用过程中的空间配置与组合模式、空间效益的系统研究尚显不足,难以在国家能源战略方面提出高水平、可操作的系统解决方案^[2]。

因此,上述地理网络视角下的研究仍有待进一步深入探讨。依据详实准确的政府及企业调研数据,本文以中石化江苏成品油一次配送为例,从市县级空间配置效益和空间结构视角出发,借助地理网络分析和线性优化模型等方法,通过单位输油成本计算、优化情景构建计算和成品油配送格局比较分析,系统解析成品油一次配送的空间格局与优化配置情况,从理论上尝试探讨其地理网络结构,以期进一步揭示成品油配送的空间格局规律,并为目前国家成品油市场化改革、国家管网公司与中石油、中石化和中海油等企业的油气配送业务融合调整等,提供可行的决策咨询。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究对象

成品油是经过原油的生产加工而成的石油燃料与化工原料。其中,石油燃料约占总产量的90%左右,主要包括汽油、柴油、煤油和燃料油四大类^[25]。成品油的成本构成,包括原油购买、原油配送、原油炼制和成品油配送等四个环节(表1)。在成品油的总成本中,原油购买和炼制这两个环节的成本比例较高。以江苏省内J炼油企业为例,

表1 2017年江苏省内J炼油企业的成品油成本构成

Table 1 Composition of refined oil costs of J refining enterprises of Jiangsu province in 2017

环节	成本/亿元	比例/%	说明
原油购买	274.67	46.28	2017年全年购入原油的平均价格为1550.42元/t,购入原油1770多万t,主要为阿曼原油、沙特重油和巴西卢拉原油等进口原油,含进出口关税
原油配送	1.22	0.21	跨国运输采用VLCC超大型油轮,自所在国海港输送至中国境内宁波港;国内配送绝大部分采用管道运输,将进口原油自宁波港,通过甬沪宁原油管网进行配送
原油炼制	314.26	52.95	2017年汽油单位成本为4001.88元/t,产量约415万t;2017年柴油单位成本为3378.06元/t,产量约437万t
成品油配送	一次配送2.23 二次配送1.1	0.56	一次配送指成品油自炼油企业至分销中心油库过程;二次配送指分销中心油库至加油站和终端销售过程
总计	593.48	100	

2017年该企业原油购买和炼制成本分别为274.67亿元和314.26亿元，两者比例超过99%，而原油配送和成品油配送成本比例不到1%，影响成品油成本的首要因素依然是原油采购和炼制成本。原油采购成本与原油价格、原油市场供求关系等因素密切相关，而原油炼制成本则与炼油技术经济指标密切相关。

对本文而言，中石化江苏成品油一次配送属于成品油配送环节，其成本约为2.23亿元（二次配送约为1.1亿元），远超原油配送成本。对J炼油企业而言，其原油配送遵循较为固定的国际海运航线（中东地区、巴西至宁波港）和唯一原油管道（甬沪宁原油管网），其配送成本较为固定。因而，本文主要考虑成品油配送环节的研究。

成品油配送，主要是成品油自炼油企业至分销中心油库、再至终端加油站的配送过程。其中，成品油一次配送，指成品油自炼油企业至分销中心油库，一般由管道、水路或铁路配送；二次配送，指分销中心油库至加油站槽罐车辆配送，以及终端销售（加油枪“纯枪”加油销售为主）。一方面，成品油二次配送主要为城市层面的车辆配送管理系统和加油站营销过程，主要受到配送管理因素和终端消费市场需求的影响；另一方面，对J炼油企业而言，其成品油一次配送成本约为二次配送成本的两倍。因此，本文仅成品油研究一次配送过程，即炼油企业至分销中心油库这一过程（图1）。

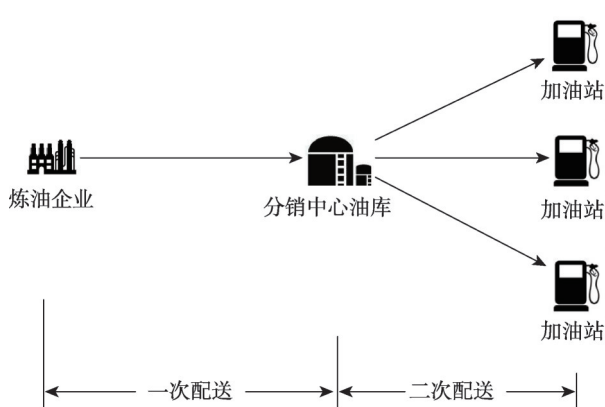


图1 成品油一、二次配送过程

Fig. 1 The process of refined oil's first and second distributions

自1998年中国重组石油天然气行业以来，江苏省成品油空间配送格局较为清晰，形成了以中国石油化工集团公司（中石化）为主导、中国石油天然气集团公司（中石油）及其他炼油销售企业各自运行的成品油空间配送格局。其中，中石化承担着江苏省内70%以上的成品油供应量（表2），主要通过所属成品油管网进行一次配送，将省内金陵石化、扬子石化和省外齐鲁石化、上海石化等炼油企业的成品油输送至中石化分销中心油库，再进行二次配送销售；中石油承担着江苏省内20%左右的成品油供应量（表2），主要将中石油所属华北、东北及西北等地炼油企业的成品油通过铁路或水路输送至中石油分销中心油库。另有10%左右为中国海洋石油集团有限公司（中海油）等其他炼油销售企业（表2）。

表2 江苏省内各企业成品油供应量及加油站数量（2017年底）

Table 2 Supply of refined oil and the number of petrol stations of different enterprises in Jiangsu province (as of the end of 2017)

	中石化	中石油	中海油
成品油销售量/万t	1595.5	420	53.89
在营大型油库数量/个	16	5	3
所属加油站数量/个	2295	661	53

注：资料来源于江苏省发改委能源局调研结果。

由于江苏省内成品油管道网络为中石化所辖，形成较为完整的成品油空间配送地理网络体系；而且中石化承担着江苏省内70%的成品油供应，为江苏省最大成品油供应企业。因此，选取中石化江苏销售分公司为研究对象，包括：成品油管道、水运输油航线、炼油企业、市县分销企业等，该分销企业开展相关分销市场（市县级区域）的成品油二次配送

(图2)。由于仅分析一次配送，将分销中心油库代替市县分销企业。

1.2 数据来源

数据主要来源于中石化华东管道设计研究院和中石化江苏销售分公司两家单位，其他数据来自于江苏省发改委能源局(表2)，具体数据来源情况详见表3。受限于数据保密因素，调研数据的时间点为2017年。

1.3 研究方法

本文采用 ArcGIS Pro 2.4 软件的地理网络分析功能，将图2所示的炼油企业、运输通道、市县分销企业(分销中心油库)等构建为成品油一次配送运输距离矩阵，依据国家发展和改革委员会、交通运输部等关于管道、水运的成品油运输规范文件^[25]，考虑不同管道、水运航线的运输成本差异^[25]，将距离矩阵转化为运费矩阵，计算每一个炼油企业*i*到市县分销企业*j*之间的运输费用和成品油到达相应市县分销企业的单位输油成本(万元/t)，作为成品油空间格局的评价指标。

$$\text{单位输油成本} = \frac{\text{输油费用}}{\text{输油量}} \quad (1)$$

在优化配置方面，根据调研结果可知，由于市县层面的成品油空间配送，一般遵循“就近配置”原则，即某一市县分销企业，由其就近的炼油企业提供成品油，如果就近炼油企业供应能力不足，则由距离稍远的其他炼油企业提供。据此，市县层面的成品油空间配送，运费指向特征较为明显。因此，本文借鉴了 Mou 等^[26]、Dantzig 等^[27]关于煤炭、原油运输优化模型，构建运费最低原则下的江苏省成品油空间配送线性优化模型，采用 Lingo 11.0 软件编写程序，模型如下：

$$\text{Min}C = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} \times x_{ij} \quad (2)$$

$$\text{对某一炼油企业}i, \text{满足} S_i \geq \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad (3)$$

$$\text{对某一市县分销企业}j, \text{满足} D_j \leq \sum_{i=1}^m x_{ij} \quad (4)$$

$$\text{对某一成品油管道或水运通道}k, \text{满足} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq L_k \quad (5)$$

式中：有 *m* 个炼油企业，每个炼油企业供应的成品油为 *S_i*；*n* 个市县分销企业，每个市县分销企业需要的成品油为 *D_j*；*x_{ij}* 为某一炼油企业 *i* 运至某一市县分销企业 *j* 的成品油管道或水运通道优化运量。

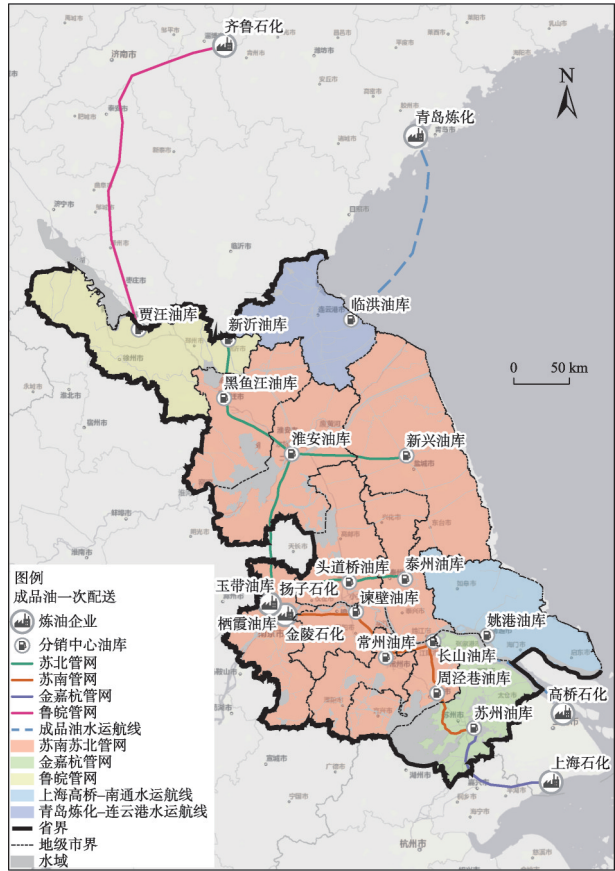


图2 2017年中石化江苏成品油一次配送实际状况
Fig. 2 Actual situation of Sinopec's first distribution of Jiangsu refined oil in 2017

其中,齐鲁石化至徐州的运费最高,为8893.47万元;金陵石化至苏州、扬子石化至盐城的两条线路运费均超过3000万元;金陵石化至常州与无锡的运费、扬子石化至泰州、淮安、宿迁及盐城的运费、青岛炼化至连云港的7条线路运费均超过2000万元。上述10条运费占总运费比例超过80%,是总运费的主要构成部分。

成品油来源以省内金陵石化、扬子石化为主,达1100多万t,其余400多万t由上海石化、高桥石化、齐鲁石化和青岛炼化提供。省内成品油主要通过苏南苏北管网(江苏境内主要成品油管网)输送至南京、镇江、常州、江阴、无锡、苏州(50%)、扬州、泰州、淮安、盐城、宿迁等县市分销企业。省外成品油主要供应四个县市分销企业:苏州50%的成品油为上海石化经金嘉杭管网(上海金山—浙江嘉兴—浙江杭州—江苏苏州)供应,徐州全部由齐鲁石化经鲁皖管网(齐鲁石化—江苏徐州—安徽宿州)供应,南通和连云港各由高桥石化和青岛炼化经水路运输供应。其中,属于苏南苏北管网系统的新沂油库2019年开始投入试运行,2017年仍全部由鲁皖管网贾汪油库提供成品油,因而其成品油供应区划仍属于鲁皖管网的徐州分销企业。

根据式(1)计算实际状况单位输油成本,结果表明:对某一能源输出地(如炼油企业)而言,如果只考虑运距远近因素,一般会出现单位输油成本逐渐上升的规律^[9]。因此,根据上述所列的计算过程及方法,计算得到了2017年中石化江苏省不同县市分销企业的一次配送单位输油成本。从结果来看,其数值随着距炼油企业距离增大而增大(表5)。其中,苏南苏北管网的单位输油成本,分别自南京至苏州、自南京至盐城,其单位输油成本逐渐增大,由2.86万元/t,分别增大至52.338万元/t和40.755万元/t。由于苏州距上海石化较近,其单位输油成本为18.447万元/t,远低于南京所属炼厂至苏州的52.338万元/t。因而,如果上海石化能够供应就近苏州、无锡等苏南地区足够的成品油,其单位输油成本将会降低,有利于中石化江苏成品油的优化配置,理论上是否可行,需要在接下来的优化部分探讨。此外,齐鲁石化至徐州的单位输油成本最高,为64.493万元/t,基于成品油“就近配置”原则,如何降低较高的单位输油成本,需要在优化部分探讨。而南通、连云港的成品油为水路运输,是否需要改为管道运输,也需要在优化部分探讨。

表5 2017年中石化江苏成品油一次配送单位输油成本分异

Table 5 The differentiation of first distribution unit oil transportation cost of Sinopec Jiangsu's refined oil in 2017 (万元/t)

单位输油成本		南京	镇江	常州	江阴	无锡	苏州
苏南苏北管网	金陵石化扬子石化	2.86	11.44	20.306	30.602	40.04	52.338
金嘉杭管网	上海石化	—	—	—	—	—	18.447
单位输油成本		南京	扬州	淮安	泰州	宿迁	盐城
苏南苏北管网	金陵石化扬子石化	2.86	14.014	23.595	24.453	38.467	40.755
单位输油成本		徐州	南通	连云港			
鲁皖管网	齐鲁石化	64.493	—	—			
水路运输	高桥石化	—	11.5	—			
	青岛炼化	—	—	25.35			

2.2 中石化江苏成品油一次配送优化状况

2.2.1 优化情景假设

在成品油消费侧,随着天然气、电力、燃料乙醇等成品油替代能源的不断出现和迅

速发展, 新能源动力汽车、高速动车和依靠乙醇航空煤油为动力的新型客货飞机的使用比例逐渐提高, 以及对全社会节能减排要求的逐步提高, 使得汽柴煤燃等传统成品油消费量增长幅度开始降低, 即成品油消费量增量开始放缓。

在成品油供给侧, 随着2014年中国大力推进能源消费、能源供给、能源技术、能源体制革命等“四个革命”的能源改革战略, 包括石油炼制在内等传统化石燃料产业, 其产能受到更为严格的限制, 即成品油加工炼制行业发展放缓。

因此, 上述成品油消费侧和供给侧的变化, 对成品油地理网络要素的影响, 主要表现在: (1) 限制炼油企业产能, 国家发改委及各省发改委严格审批新投产的炼油企业, 对现有炼油企业的产业也有严格限制; (2) 限制地方销售企业的销售量, 控制成品油销售量; (3) 对现有成品油输油通道, 以现有管道技术改造(如加大输油量、增设反向输油能力等)和局地新管道建设为主, 不开展大规模成品油管网建设。

与此同时, 通过对江苏省发改委能源局调研, 可知2019—2022年, 中石化江苏成品油炼制、储运和分销项目建设, 主要集中在: (1) 2022年地方炼厂连云港盛虹炼化建成投产, 可增加约500万t成品油供应量(汽油约300万t、柴油约200万t); (2) 2022年中石化连云港—徐州—河南商丘成品油管道建成投产, 最大输油能力约600万t/年, 盛虹炼化所产的成品油可以输送至新沂、徐州、河南商丘等地; (3) 中石化拟对苏南苏北成品油管网开展反向输油改造, 如增加上海方向对苏州、无锡等苏南地区成品油输油能力等。

据此, 本文设定了2022年左右的优化配置情景: (1) 中石化江苏省内外炼油企业成品油供应量足够, 能够满足就近市县分销企业的需求; (2) 中石化江苏省内各市县分销企业的成品油需求与2017年相比变化不大, 新沂油库完全投入使用, 增加新沂分销企业, 使中石化江苏所属县市分销企业达15个(表1); (3) 中石化江苏省成品油一次配送网络, 包括管道和水运通道, 增加现有成品油管道的反向输油能力, 并增加连云港—徐州—河南商丘成品油管网(连徐商管网), 将新沂、徐州及苏南苏北管网连通。

2.2.2 优化配置计算与分析

采用式(2)~式(5), 计算得到上述情景下的中石化江苏成品油一次配送优化结果。总体来看, 基于“就近配置”原则, 计算所得的优化运费约为2.64亿元, 与2017年实际运费3.75亿元相比, 减少约1.1亿元, 减少幅度约为30%。具体来看, 与表4所示2017年实际情况相比, 表6所示的优化运费构成, 表现为: (1) 超过2000万元运费的配送线路减少, 由实际情况的10条减至6条, 尤其是盛虹炼化至徐州线路, 其优化运费为3146万元, 较实际情况减少了5000多万元; (2) 省内外炼油企业的成品油配送范围缩小, 例如, 优化情况下的金陵石化成品油仅配送至江阴, 而不是实际情况下配送给苏州(苏州50%成品油为金陵石化提供), 其成本运费也相应减少。表明实际情况下的中石化江苏成品油一次配送的运输量不足及运输成本过高, 配置效益不够优化, 还有一定提升空间。

优化情境下, 中石化江苏成品油一次配送以管道运输为主, 主要分为三个次级管网配送区域: (1) 苏南苏北管网, 包括南京、镇江、常州、江阴、扬州、泰州、淮安、盐城等8个市县分销企业; (2) 金嘉杭管网, 包括无锡、苏州2个市县分销企业; (3) 连徐商管网, 包括连云港、新沂、徐州、宿迁4个市县分销企业。此外, 南通成品油仍由高桥石化经长江内河水路运输供应(图3)。

与2017年实际状况相比, 优化情景下的配送格局发生了一定的改变, 主要变化为: (1) 苏南苏北管网配送区域缩小, 苏州和无锡转为金嘉杭管网配送, 宿迁转为连徐商管网

表6 中石化江苏成品油一次配送优化运费构成

Table 6 The composition of optimal transportation cost for first distribution of Sinopec Jiangsu's refined oil (万元)

		南京	镇江	常州	江阴	无锡	苏州	扬州	泰州
省内炼油企业	金陵石化	110.52	869.80	2910.86	1346.18	—	—	—	—
	扬子石化	135.23	—	—	—	—	—	1299.32	2339.13
	盛虹炼化	—	—	—	—	—	—	—	—
省外炼油企业	齐鲁石化	—	—	—	—	—	—	—	—
	上海石化	—	—	—	—	1978.53	2544.15	—	—
	高桥石化	—	—	—	—	—	—	—	—
	青岛炼化	—	—	—	—	—	—	—	—
		淮安	宿迁	盐城	新沂	徐州	南通	连云港	—
省内炼油企业	金陵石化	—	—	—	—	—	—	—	—
	扬子石化	2000.29	—	3656.57	—	—	—	—	—
	盛虹炼化	—	1869.11	—	634.92	3146	—	84.47	—
省外炼油企业	齐鲁石化	—	—	—	—	—	—	—	—
	上海石化	—	—	—	—	—	—	—	—
	高桥石化	—	—	—	—	—	1802.81	—	—
	青岛炼化	—	—	—	—	—	—	—	—

配送；(2) 连云港盛虹炼化与连徐商管网投入运行，使得山东炼油企业（齐鲁石化、青岛炼化）不再向江苏输送成品油，运输距离相对缩减，其单位输油成本较实际情况降低，如盛虹炼化向徐州输油的单位输油成本为31.46万元/t，仅为实际情况下齐鲁石化向徐州输油的单位输油成本的1/2（64.493万元/t），类似地，宿迁的单位输油成本也降为25.454万元/t、无锡单位输油成本也降为30.745万元/t；(3) 苏南苏北管网与金嘉杭管网之间配送分区，以江阴—无锡为分界，分界西北为苏南苏北管网，分界东南为金嘉杭管网；(4) 苏南苏北管网与连徐商管网之间配送分区，以宿迁—淮安为分界，以北为连徐商管网，以南为苏南苏北管网。

根据式(1)计算优化情景单位输油成本，结果表明：成品油一次配送“就近配置”更加显著，例如，在苏南苏北管网，自南京至苏州沿线，其单位输油成本由2.86万元/t上升至52.338万元/t；而在金嘉杭管网，自苏州至南京沿线，其单位输油成本由18.447万元/t上升至67.925万元/t，两者在江阴—无锡形成数值交叉（表5），这与图3所示的苏南苏北管网与金嘉杭管网的优化情景分区一致；类似情况也出现在苏南苏北管网与连徐商管网的

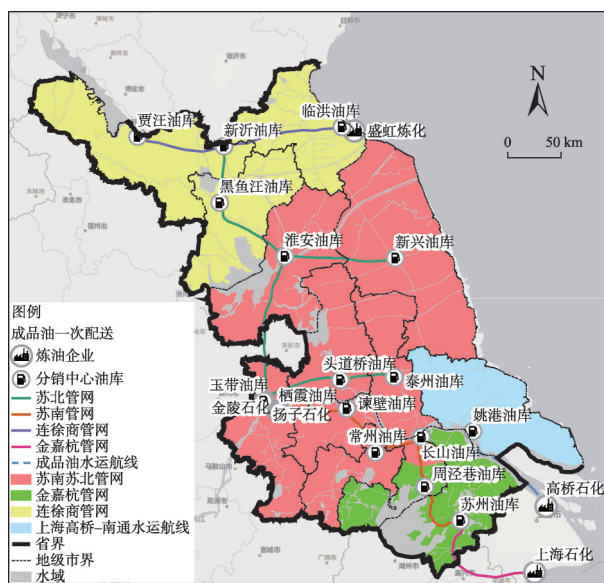


图3 优化情境下江苏成品油一次配送空间优化格局
Fig. 3 The optimization of spatial flow pattern of refined oil's first distribution in Jiangsu province

优化情景分区,在苏南苏北管网,自南京至宿迁沿线,其单位输油成本由2.86万元/t上升至38.467万元/t;而在连徐商管网,自连云港至淮安沿线,其单位输油成本由4.29万元/t上升至40.326万元/t,两者在淮安—宿迁形成数值交叉(表7),这与图3所示的两者之间的优化情景分区一致。

表7 优化情境下石化江苏成品油一次配送单位输油成本分异预测

Table 7 Prediction of unit oil transportation cost differentiation of refined oil's first distribution in Jiangsu province under optimized situation (万元/t)

单位输油成本		南京	镇江	常州	江阴	无锡	苏州
苏南苏北管网	金陵石化扬子石化	2.86	11.44	20.306	30.602	40.04	52.338
金嘉杭管网	上海石化	67.925	59.345	50.479	40.183	30.745	18.447
单位输油成本		南京	扬州	泰州	淮安	宿迁	盐城
苏南苏北管网	金陵石化扬子石化	2.86	14.014	24.453	23.595	38.467	40.755
连徐商管网	盛虹炼化	63.921	80.795	91.234	40.326	25.454	57.486
单位输油成本)		徐州	新沂	连云港			
苏南苏北管网	金陵石化扬子石化	62.491	46.761	66.781			
连徐商管网	盛虹炼化	31.46	17.16	4.29			
单位输油成本		南通					
水路运输	高桥石化	11.5					

2.2.3 成品油一次配送地理网络结构探讨

依据上述优化分析结果,进一步探讨成品油一次配送地理网络结构,如图4所示。如果有两个炼油企业,理论上,其优化情景输油区界(实线框)应为相切,即根据“就近配置”原则,不同炼油企业之间各自在其优化情景区界内,配送单位输油成本较低的成品油,不会出现某一分销中心油库接纳单位输油成本较高的成品油来源,也不会出现某一分销中心油库分别接纳不同炼油企业的成品油。

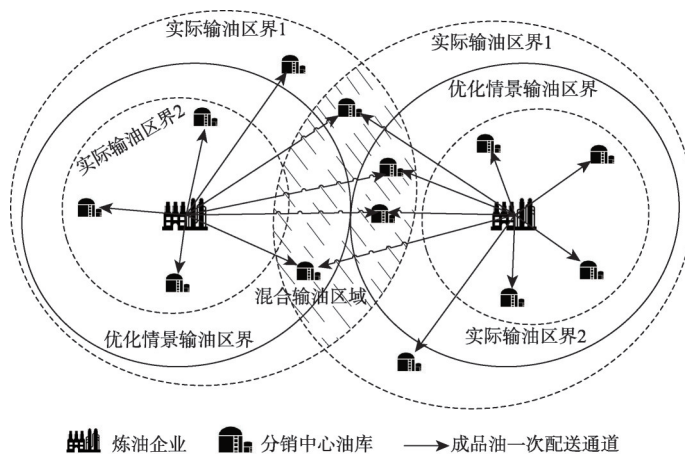


图4 成品油一次配送地理网络结构

Fig. 4 The geographical network structure of first distribution of refined oil

但在现实中,由于炼油企业的炼油能力差异、成品油输油通道不完善(例如不能反向输油)和分销中心油库设置差异等原因,一些炼油企业的实际输油区界,可能达不到

优化情景输油区界，即表现为该炼油企业优化情景区界内的分销中心油库，部分或全部接纳其他炼油企业的成品油，即表现为图4中的实际输油区界2（较小虚线框）；而另一些炼油企业的实际输油区界，可能超过了其优化情景区界，部分或全部供应其优化情景区界外的一些分销中心油库成品油，即表现为图4中的实际输油区界1（较大虚线框），形成混合输油区域。

因此，这对成品油一次配送地理网络提出了相应要求：（1）对炼油企业而言，需要其炼油产能至少能供应其优化情景输油区界内的分销中心油库成品油，或者布局一些新的炼油企业；（2）对输油通道而言，需要在理论上的混合输油区域内，将成品油管道设置反向输油功能；（3）对分销中心油库而言，需要尽可能将其布置在某一炼油企业优化情景输油区界内。

以中石化江苏成品油一次配送为例，2017年，由于连云港、徐州一带单位输油成本相对较高，为保障成品油供应，降低输油成本，江苏省与中石化开工建设位于连云港的盛虹炼化与连徐商成品油管网，预计2022年完成相关项目建设，形成连云港—新沂—徐州（宿迁）布局的成品油配置区域，不仅能满足连云港和徐州地区，还能将盛虹炼化成品油输送至河南商丘一带。与此同时，苏南苏北管网的宿迁—新沂段，已经完成了管道反向输油工程升级改造，即在原来宿迁至新沂单向输油的基础上，改为宿迁至新沂的双向输油模式，便于盛虹炼化的成品油就近输送至新沂、宿迁一带；中石化预计将成立新沂分销企业，就近接纳盛虹炼化成品油。

上述优化配置结果表明：推动成品油管网的互联互通，有利于更好地进行成品油调配和统筹规划建设管网，一方面能有效降低成品油的配送环节成本，另一方面能保障成品油的安全稳定供应。2019年底成立、隶属于国务院国资委的国家管网公司，不仅仅是对成品油管网地理空间层面的优化配置，更是对石化行业上下游产业链关系层面的调整与完善。其上下游产业链关系将按照“X+1+X”，全国集中输送的油气管网，形成“1”局面；上下游市场充分竞争，形成“X”局面。上游是多元源头，下游是多元终端销售。

在江苏省成品油配送领域，目前仍存在着一定的政策障碍，主要包括中石化的上下游垄断经营和未来成品油管网公平开放等两块问题。江苏原油炼制由中石化一家承担、成品油销售也由中石化主导，在成品油配送销售的下游环节依然存在着垄断经营现象。而且，未来江苏省内中石化所属成品油管网移交给国家管网公司后，其管网面对不同企业的配送价格、配送额度等，能否做到相对公平，也是未来深入推进江苏省成品油管网公平开放的重要内容。

因此，对国家及江苏省而言，今后一段时间需要在政策方面开展三个方面的工作：

首先，要继续推进“X+1+X”成品油市场体系改革方向，推动石化企业股权结构重组，加快建设地方炼厂和地方成品油销售公司，例如，江苏省采用国有资本与民间资本共组，布局地方炼厂盛虹炼化，推进原油炼制的多元化。

其次，要构建相关成品油配送市场，包括配送价格、配送额度市场化体系，例如，依托上海石油天然气交易中心（SHPGX），构建包括江苏省在内的国家成品油配送交易平台，国家管网公司通过该平台与炼厂、成品油销售公司在配送价格、配送额度等方面达成配送合同。

最后，需要国家、省级层面的相关立法和政策出台，以及成立成品油配送监管委员会等方式，有效监管成品油配送市场体系，包括“X+1+X”成品油市场体系中的多元化上游和下游市场主体、管网公司独立运营、管网设施公平开放、管输价格和额度调配市

场化等内容。

3 结论与讨论

3.1 结论

本文对中石化江苏成品油一次配送,进行了空间格局分析与优化配置,总体结果显示:优化情境下的中石化江苏成品油一次配送成本,较2017年实际状况减少了30%左右;具体来看,一些配送线路不够优化,配送成本较高,例如徐州地区的成品油,2017年仍由齐鲁石化通过鲁皖管网供油,而非相对较近的盛虹炼化通过连徐商管网供油,仅这一条线路的运费,理论上增加5000多万元。

对比分析实际状况和优化情境下的空间格局与单位运输成本分异,结果表明:理论上,成品油一次配送地理网络结构,不同炼油企业的优化情景输油区界,需要根据“就近配置”原则,在各自优化情景区界内,配送单位输油成本较低的成品油;但实际上,由于炼油企业的炼油能力差异、成品油输油通道不完善和分销中心油库设置差异等原因,不同炼油企业之间存在着相较优化情景区界或大或小的实际输油区界,且存在着某些分销中心油库同时接纳不同炼油企业成品油的现象,即存在混合输油区域。

3.2 讨论

以上结果表明:尽管国家管网公司已经挂牌成立,但由于中石化在江苏省内及周边省市形成了较完整的上下游产业链,包括垄断所有炼油企业、较大规模的成品油终端销售体系,因而江苏成品油配送体系,依然会以中石化为主导。中石化江苏成品油配送体系,依然处于中石化集团的统一计划下,对于部分市县分销企业而言,缺乏自主购买权,“就近配送”原则,无法完全贯彻实施。

对炼油企业、管网至分销中心油库等地理网络而言,优化成品油一次配送空间格局、降低总体及局地配送成本,需要深化“X+1+X”成品油市场体系改革,尤其在推动“管住中间”储运配送的同时,更需要“放开两头”,推动炼油企业和市县分销企业的经营自主权。否则,即便将江苏省内中石化所属成品油管网移交给国家管网公司,由于中石化在江苏省内原油炼制的垄断地位和成品油销售的主导地位,无法形成“X+1+X”成品油市场体系,当前江苏成品油一次配送的空间格局也不会有较大变化。

因此,需进一步考虑成品油产业环节的炼油企业和市县分销企业的投资主体多元化,如,中石化江苏石油一次配送关系网络,较之地理网络复杂,不仅包括县市分销企业,还包括中外合资子公司——中石化壳牌(江苏)石油销售公司等企业。如何将成品油空间配送的关系网络纳入到地理网络研究视角下,进一步探讨成品油空间配送的地理—关系网络耦合,包括其空间格局与配置效益耦合,是下一步研究的重难点。

参考文献(References):

- [1] British Petroleum. BP Statistical Review of World Energy 2019. https://www.bp.com/content/dam/bp/country-sites/zh_cn/china/home/reports/statistical-review-of-world-energy/2019/2019srbook.pdf.
- [2] 蔡国田,李沛,赵黛青.中国能源战略研究的经济地理学视角探讨.世界地理研究,2018,27(1):94-103. [CAI G T, LI P, ZHAO D Q. China's energy strategy research: From the perspective of economic geography. World Regional Studies, 2018, 27(1): 94-103.]
- [3] 赵媛,郝丽莎.20世纪末期中国石油资源空间流动格局与流场特征.地理研究,2006,25(5):753-764. [ZHAO Y, HAO L S. Spatial flow pattern and flow characteristics of China's oil resources in the late twentieth Century. Geographical Research, 2006, 25(5): 753-764.]

- [4] 赵媛, 郝丽莎. 我国石油资源空间流动的形成机制. 地理研究, 2008, 27(5): 1027-1036. [ZHAO Y, HAO L S. Formation mechanism of spatial flow of petroleum resources in China. Geographical Research, 2008, 27(5): 1027-1036.]
- [5] 刘立涛, 沈镭, 刘晓洁. 能源安全研究的理论与方法及其主要进展. 地理科学进展, 2012, 31(4): 403-411. [LIU L T, SHEN L, LIU X J. Theories, methods and progress of energy security research. Progress in Geography, 2012, 31(4): 403-411.]
- [6] ZHANG H Y, JI Q, FAN Y. An evaluation framework for oil import security based on the supply chain with a case study focused on China. Energy Economics, 2013, 38(2): 87-95.
- [7] ZHAO C F, CHEN B. China's oil security from the supply chain perspective: A review. Applied Energy, 2014, 136: 269-279.
- [8] WU G, WEI Y M, FAN Y, et al. An empirical analysis of the risk of crude oil imports in China using improved portfolio approach. Energy Policy, 2007, 35(8): 4190-4199.
- [9] WU G, LIU L C, WEI Y M. Comparison of China's oil import risk: Results based on portfolio theory and a diversification index approach. Energy Policy, 2009, 37(9): 3557-3565.
- [10] GE F L, FAN Y. Quantifying the risk to crude oil imports in China: An improved portfolio approach. Energy Economics, 2013, 40(2): 72-80.
- [11] 何则, 杨宇, 刘毅, 等. 世界能源贸易网络的演化特征与能源竞合关系. 地理科学进展, 2019, 38(10): 1621-1632. [HE Z, YANG Y, LIU Y, et al. Characteristics of evolution of global energy trading network and relationships between major countries. Progress in Geography, 2019, 38(10): 1621-1632.]
- [12] 刘华军, 刘传明, 孙亚男. 中国能源消费的空间关联网络结构特征及其效应研究. 中国工业经济, 2015, (5): 83-95. [LIU H J, LIU C M, SUN Y N. Spatial correlation network structure of energy consumption and its effects in China. China Industry Economics, 2015, (5): 83-95.]
- [13] 程淑佳, 于国政, 王肇钧, 等. 中国原油进口空间格局演进与优化策略研究. 北京: 科学出版社, 2014. [CHENG S J, YU G Z, WANG Z J, et al. Study on the Evolution and Optimization Strategy of China's Crude Oil Import Spatial Pattern. Beijing: Science Press, 2014.]
- [14] 刘立涛, 沈镭, 刘晓洁, 等. 基于复杂网络理论的中国石油流动格局及供应安全分析. 资源科学, 2017, 39(8): 1431-1443. [LIU L T, SHEN L, LIU X J, et al. Spatial-temporal features of China's oil trade network and supply security simulation. Resources Science, 2017, 39(8): 1431-1443.]
- [15] AN H Z, ZHONG W Q, CHEN Y R, et al. Features and evolution of international crude oil trade relationships: A trading-based network analysis. Energy, 2014, 74(5): 254-259.
- [16] GAO C X, SUN M, SHEN B. Features and evolution of international fossil energy trade relationships: A weighted multi-layer network analysis. Applied Energy, 2015, 156: 542-554.
- [17] ZHONG W Q, AN H Z, FANG W, et al. Features and evolution of international fossil fuel trade network based on value of energy. Applied Energy, 2016, 165: 868-877.
- [18] CHEN B, LI J S, WU X F, et al. Global energy flows embodied in international trade: A combination of environmentally extended input-output analysis and complex network analysis. Applied Energy, 2018, 210: 98-107.
- [19] 郝丽莎, 赵媛. 石油资源流动空间结构的要素解析. 自然资源学报, 2013, 28(10): 1817-1826. [HAO L S, ZHAO Y. Elemental analysis for the spatial structure of oil horizontal flow. Journal of Natural Resources, 2013, 28(10): 1817-1826.]
- [20] 徐增让, 成升魁, 谷树忠, 等. 资源区域流动的驱动因子分析与流动潜力测度: 以晋煤输出为例. 自然资源学报, 2008, 23(5): 773-780. [XU Z R, CHENG S K, GU S Z, et al. Driving forces of resource flow among regions and measurement of resource flow potential: Taking coal flow from Shanxi to other provinces as a case. Journal of Natural Resources, 2008, 23(5): 773-780.]
- [21] 马丽, 张博. 中国省际电力流动空间格局及其演变特征. 自然资源学报, 2019, 34(2): 348-354. [MA L, ZHANG B. The spatial distribution and evolution of interprovincial electricity flow in China. Journal of Natural Resources, 2019, 34(2): 348-354.]
- [22] 王诺, 张进, 吴迪, 等. 世界煤炭资源流动的时空格局及成因分析. 自然资源学报, 2019, 34(3): 487-500. [WANG N, ZHANG J, WU D, et al. The temporal and spatial patterns and causes of coal resource flow in the world. Journal of Natural Resources, 2019, 34(3): 487-500.]
- [23] 柳君波, 高俊莲, 徐向阳. 中国煤炭供应行业格局优化及排放. 自然资源学报, 2019, 34(3): 473-486. [LIU J B, GAO J L, XU X Y. Pattern optimization and carbon emissions of coal supply in China. Journal of Natural Resources, 2019, 34(3): 473-486.]
- [24] 王伟, 王成金. 中国沿海港口煤炭运输的空间分异格局及演化. 地理学报, 2016, 71(10): 1752-1766. [WANG W, WANG C J. Spatial evolution of coal transportation of coastal ports in China. Scientia Geographica Sinica, 2016, 71

(10): 1752-1766.]

- [25] 中华人民共和国商务部. 成品油市场管理办法(2015修正). <http://www.mofcom.gov.cn/article/b/c/201511/20151101152451.shtml>. [Ministry of Commerce of the People's Republic of China. Refined oil market management measures (Revised in 2015). <http://www.mofcom.gov.cn/article/b/c/201511/20151101152451.shtml>.]
- [26] MOU D, LI Z. A spatial analysis of China's coal flow. *Energy Policy*, 2012, 48(9): 358-368.
- [27] DANTZIG, G B, Chapter 3.3. In *Linear Programming and Extensions*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1963: 211-272.

Spatial flow pattern and optimization of Sinopec's first distribution of refined oil of Jiangsu province

YANG Zu-ying¹, ZHAO Yuan^{2,3,4}, ZHOU Hao⁵, PAN Jia-qing⁶, CUI Jin-shan⁷

(1. Business School, Changzhou University, Changzhou 213100, Jiangsu, China; 2. School of Geographic Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 3. Jinling College, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China; 4. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China; 5. School of Petroleum Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, Jiangsu, China; 6. Nanjing Branch of Sinopec Audit Bureau, Nanjing 210003, China; 7. Storage and Transportation Company of Sinopec Group, Xuzhou 221008, Jiangsu, China)

Abstract: Based on detailed and accurate statistical data of the government and enterprises, this paper studied the spatial flow pattern and optimization of Sinopec's first distribution of refined oil of Jiangsu province. In this study, we used the methods of Geographical Network Analysis and Linear Programming to calculate the unit oil transportation cost, combined with the optimized scenario construction and the comparative analysis of distribution pattern of refined oil. Then, we systematically analyzed the spatial flow pattern and optimized configuration of first distribution of refined oil, and attempted to explore its geographical network structure in theory, in the perspectives of allocation benefits and spatial structure. The results show that: (1) The cost under the optimization scenario is reduced by about 30% compared with the actual situation in 2017, indicating that the primary distribution benefit of Sinopec Jiangsu refined oil is not fully optimized. (2) Theoretically, according to the principle of "nearby allocation" of refined oil, different refining enterprises distribute the refined oil with lower unit oil transportation cost within their respective optimization scenario boundaries. (3) In fact, due to the differences in refining capacity of refineries, imperfect product oil transportation channels and different distribution center oil depots, there are relatively optimized scenario boundaries or large or small actual oil transportation boundaries between different refineries, and there are some distribution center oil depots (mixed oil transportation regions) that simultaneously accept the product oil of different refineries. We hope to further reveal the basic laws of spatial flow of refined oil, and provide decision-making advice from the field of economic geography for the current national market-oriented reform of refined oil and the preparation of national pipeline company.

Keywords: first distribution of refined oil; geographical network; spatial pattern; optimization