

引用格式: 吕涛, 高剑, 王政. 长三角地区成品油应急储备布局优化研究[J]. 资源科学, 2018, 40(1): 1450-1458. [LV T, Gao J, Wang Z. Research on emergency reserves and layout of refined oil in the Yangtze River Delta[J]. *Resources Science*, 2018, 40(7): 1450-1458.] DOI: 10.18402/resci.2018.07.13

长三角地区成品油应急储备布局优化研究

吕涛^{1,2}, 高剑^{1,2}, 王政²

(1. 中国矿业大学, 江苏省能源经济管理研究基地, 徐州 221116;

2. 中国矿业大学管理学院, 徐州 221116)

摘要: 长三角地区作为中国成品油消费量较高的区域, 目前还没有建立完善的成品油应急储备体系, 对成品油供应中断事件的响应能力较弱。本文在确定储备基地、划分应急调运渠道的基础上, 建立了成品油应急运输网络, 并应用灰色预测和多目标优化模型对2020年成品油应急储备规模与布局展开了研究。研究结果表明, 随着预警等级的提高, 总体储备规模逐渐增加, 各储备基地储备规模受覆盖范围和服务区域应急需求量的影响; 应急调运方式由调运时间和成本共同决定, 在调运距离较近时, 铁路、水路和管道的应急调运量差别不大, 调运距离较远时, 铁路和水运表现出较大的优势。根据研究结论, 提出加快长三角地区成品油储备基地建设、完善成品油应急调运网络、建立联合储备和应急协调机制等政策建议。

关键词: 应急储备; 布局优化; 应急调运; 能源安全; 长三角地区

DOI: 10.18402/resci.2018.07.13

1 引言

近年来自然灾害、军事冲突、能源设施爆炸等突发事件的频发, 对煤炭、石油和天然气的安全供应带来了严峻挑战, “气荒”、“油荒”、“煤荒”的应对也在考验着能源应急体系。当前世界各国都高度重视能源应急体系的建设, 其中被誉为“工业的血液”的石油供应安全更是能源应急体系建设重点。目前, 美国、德国、法国和日本等发达国家在石油应急储备上都有比较完备的保障体系^[1]。中国作为石油消费大国, 石油应急体系的建立相比欧美国家起步较晚, 当前成品油应急储备存在法律依据缺乏、财政压力较大等问题^[2]。

长三角两省一市(江苏、浙江、上海)作为中国经济较为发达的地区, 2015年GDP总量占全国的20.15%, 成品油消费量(包括汽油、煤油、柴油、燃料油)约为6294.24万t, 占全国的17.46%。目前, 长三角地区有舟山、镇海、金坛三个国家石油储备基地, 但

以原油储备为主, 无论是应急响应的覆盖范围还是储备规模都不能满足成品油应急需要。另外, 受到成品油需求不断上升、高度外向依赖性、国际石油价格波动等因素的影响, 供应中断事件的发生概率可能增加, 长三角地区的成品油安全供应压力不断加大。

成品油储备布局和应急调运可借鉴应急资源调度优化方法。例如, MirHassani S A主要考虑运输成本、储存成本和惩罚成本建立了石油应急规划模型^[3]; Rahman S U等围绕应急设施最少与调运量最大来确定医疗应急最优运输路线和设施规划^[4]; Zografos K G等从服务覆盖最大、应急响应时间最小、服务水平最高的角度构建优化模型^[5]。考虑到未来突发事件的发生具有很大的不确定性, Barbarosoglu G等提前确定地震的范围及概率并设定相应的灾害情景, 通过构建两阶段应急物流网络解决应急物资的调配问题^[6]。Mei-Shiang Chang等结合历史数据, 考虑某一区域可能发生的洪灾情景, 建立了应急设施选

收稿日期: 2017-06-23, 修订日期: 2018-02-07

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金项目(2014XT06)。

作者简介: 吕涛, 男, 江苏沛县人, 博士、教授、博士生导师, 主要从事能源经济与管理领域的研究工作。E-mail: taocumt@cumt.edu.cn

通讯作者: 高剑, E-mail: 15162143863@163.com

2018年7月

址与资源配置的随机规划模型^[7]。另外,Shin E等研究了东亚地区石油联合储存机制和应急共享机制^[8]。

从国内相关研究看,关于区域性成品油应急储备和优化配置的研究不多。本文采用灰色预测方法和多目标优化模型,研究了2020年长三角地区成品油应急储备和布局优化问题。首先,在确定储备基地选址,运输方式和渠道分析的基础上,建立了基于四个区域的成品油应急运输网络;然后,根据不同等级的预警情景,测算了每个城市的成品油应急需求量,采用成本和时间为目标函数的多目标优化模型,得到了不同预警情景下的成品油储备布局方案;最后,以一般预警的布局为例分析了应急调运方案。研究成果为长三角地区成品油应急储备体系建设提供了参考和借鉴。

2 储备基地及应急调运网络

2.1 储备基地选址

结合相关研究^[9],本文从以下几个条件选择成品油储备基地:

(1)临近区域交通枢纽,拥有水运、铁运和管道运输中的两种以上的运输条件;

(2)靠近大型成品油储备库,具备便捷的吸纳成品油填充入库的能力;

(3)靠近大型石油炼化厂,既便于将进口的原油加工炼化为各类成品油,也可以充分利用炼厂的储备设施;

(4)靠近石油消费量和市场辐射范围较大的地区,便于做出及时响应以弥补突发性短缺。

综合考虑交通、成本、安全、基础设施等现实条件,本文选择11个地区作为长三角储备基地(表1),其中舟山、镇海、金坛为国家石油储备基地,其他8个地区拥有大型石油炼化厂,包括上海石化、高桥石化、大榭石化、镇海炼化、金陵石化、扬子石化、泰州石化、扬州石化、杭州石化、徐州石化、清江石化和连云港炼化等。在11个储备基地中,江苏金坛地区具备岩穴存储条件,储备成本较低、安全性能较高;其他地区则采用地上油罐储备方式。

2.2 应急调运网络

成品油运输包括铁路、管道、水路、公路等方式。比较而言,铁路运输适应能力强,调运速度快,但运费较高;水路运输成本较低,主要承担长距离、大数量的

表1 成品油应急储备基地概况

Table 1 Overview of the emergency reserve bases of refined oil

储备基地	所属省份	储备方式
舟山(舟山国家石油储备基地)	浙江	油罐式存储
宁波(镇海国家石油储备基地,大榭石化、镇海炼化)	浙江	油罐式存储
上海(上海石化、高桥石化)	上海	油罐式存储
南京(金陵石化、扬子石化)	江苏	油罐式存储
常州(金坛国家石油储备基地)	江苏	岩穴式存储
泰州(泰州石化)	江苏	油罐式存储
扬州(扬州石化)	江苏	油罐式存储
杭州(杭州石化)	浙江	油罐式存储
徐州(徐州石化)	江苏	油罐式存储
淮安(清江石化)	江苏	油罐式存储
连云港(连云港炼化)	江苏	油罐式存储

运输;管道运量大,费用低且较为安全;公路运输单车配送量低,单位运输成本较高。本文主要考虑铁路、管道和水路三种调运方式,不考虑公路运输。由长三角地区管道建设情况得知,江苏管网主要包括中石化苏南管道和苏北管道,基本上实现了除沿海3市以外其他10地市成品油管道全覆盖;浙江管网由甬绍金衢管道,绍杭管道,甬台温管道,镇杭管道等构成;另外还包括省际间的金嘉湖管道和甬沪宁管道。水路运输方面,长江三角洲拥有8个沿海主要港口和26个内河规模以上港口,已形成以上海港为中心,江苏和浙江分别为南北两翼的水路运输格局,港口基础设施完善,水路运输较为便利。铁路方面,长三角区域拥有京沪铁路、沪昆铁路、宜杭铁路、萧甬铁路、新长铁路等铁路干线,构建了Z型的三条城市发展轴,串联了长三角城市群的主框架,即以沪宁铁路为基础的沪宁城市发展轴、以沪杭铁路为基础的沪杭城市发展轴和以萧甬铁路为基础的杭甬城市发展轴。

考虑到储备基地的布局、区域间运输方式、应急调运成本等因素,将长三角地区成品油应急调运网络分为沪浙沿海、沿江、浙西北和苏北四大区域。

(1)沪浙沿海地区包括舟山、宁波、上海、嘉兴、台州和温州,这一区域成品油需求规模较大,主要由舟山、宁波和上海三个储备基地满足应急需求。拥有连接宁波-上海-南京的甬沪宁管道,连接宁波-温州-台州的甬台温管道和连接上海-嘉兴的金嘉湖管道,拥有上海港、宁波港、舟山港、嘉兴港、台州港和温州港等沿海港口,另外该区域铁路发达,应急调运以铁路、海运和管道为主。

(2)沿江地区包括南京、镇江、常州、无锡、苏州、扬州、泰州和南通,由上海、南京、常州、泰州和扬州储备基地满足应急需求。拥有连接苏南五市的中石化苏南管道和扬子-扬州-泰州成品油管道,拥有南京港、苏州港、镇江港、常州港、无锡港、扬州港、泰州港等长江港口,同时沿江地区铁路发达,可以灵活选择铁路、水路和管道运输进行应急调运。

(3)浙西北地区包括杭州、绍兴、湖州、金华、丽水和衢州,主要由杭州和宁波储备基地满足应急需求。这一区域拥有连接宁波-绍兴-金华-衢州的甬绍金衢管道,连接绍兴-杭州的绍杭管道,连接宁波-绍兴-杭州的镇杭管道,区域内城市由铁路连接,应急调运以铁路和管道为主。

(4)苏北地区包括徐州、淮安、连云港、盐城和宿迁,由徐州、淮安和连云港三个储备基地满足应急需求。拥有连接徐州-宿迁-淮安的苏北管道,城市间有铁路连接,应急调运以铁路和管道为主。

在确定长三角地区成品油应急储备基地以及调运渠道的基础上,可构建成品油应急调运网络,如图1所示,包括四大区域、11个储备基地和25个应急需求地区。

3 储备布局优化方法与数据

3.1 模型假设

在储备布局与调运优化中,为了简化模型,提出如下设想:

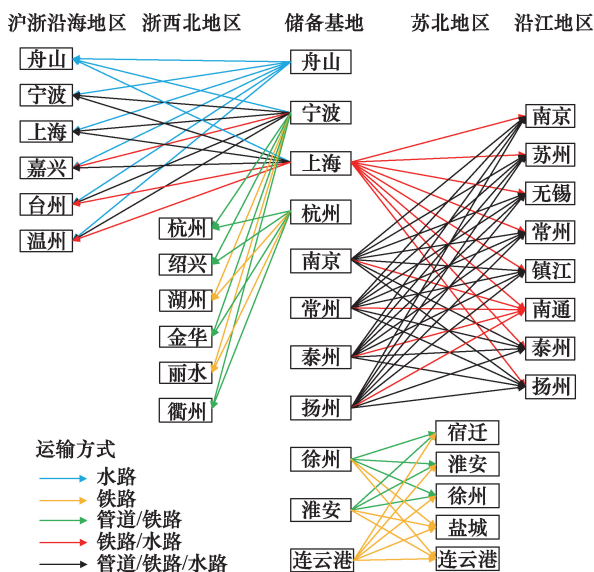


图1 成品油物流运输网络

Figure 1 The logistics network of refined oil

(1)作为变动成本,运输成本的下降空间较大,因此以运输成本作为成本函数;

(2)尽管运输方式不同,相同起始点之间的运输距离相同;

(3)不考虑各运输方式的容量约束。

3.2 模型构建

一般而言,应急资源的运输需要考虑两类目标函数:应急响应时间最短,即在储备基地到需求城市之间以最短的时间完成成品油的应急配送;成品油调运成本最小,主要是运输成本,考虑能以最佳的调运方式、最少的成本完成应急调度。

约束条件的建立主要考虑以下三个方面:

(1)需求点所接收到的成品油总量要满足其自身的应急需求量;

(2)需求点所接收的成品油总量来源于物流运输网络中所划分的储备基地;

(3)储备基地必须保证所有的成品油可以全部完成分配,即储备基地的储备量必须保证足量供应所覆盖的需求点。

综合湖南、广东、四川、贵州等省区公布的成品油供应应急预案,研究设定了四种不同等级的预警情景,成品油应急需求量有所差别。一般而言,成品油常备库存量不得低于15天需求量,当成品油库存低于10天需求的,启动一般预警(IV级);当成品油库存低于8天需求的,启动较重预警(III级);当成品油库存低于6天需求的,启动严重预警(II级);当成品油库存低于4天需求的,启动特别严重预警(I级)。

综上所述,建立长三角地区成品油应急储备及布局优化模型如下所示:

$$\begin{aligned}
 \min f_1 &= \sum_{i=1}^{11} \sum_{j=1}^{25} \sum_{k=1}^3 T_{ijk}^l \cdot G_k \cdot D_{ij} \\
 \min f_2 &= \sum_{i=1}^{11} \sum_{j=1}^{25} \sum_{k=1}^3 T_{ijk}^l \cdot t_{ijk} \\
 s.t. \quad R_{jl} &= Q_{jl} \\
 \sum_{i=1}^{11} \sum_{k=1}^3 T_{ijk}^l &= R_{jl} \\
 \sum_{j=1}^{25} \sum_{k=1}^3 T_{ijk}^l &= S_{il} \\
 T_{ijk}^l &> 0 \\
 (i &= 1, 2, \dots, 11; j = 1, 2, \dots, 25; \\
 k &= 1, 2, 3; l = 1, 2, 3, 4)
 \end{aligned} \tag{1}$$

2018年7月

式中 i 表示成品油储备基地; j 表示成品油需求点; k 表示成品油运输方式; l 表示成品油中断预警情景; T_{ijk}^l 表示在情景 l 下,储备基地 i 采用第 k 种运输方式向需求点 j 的发运量; G_k 表示成品油运输方式 k 的单位运输成本; D_{ij} 表示储备点 i 与需求点 j 之间的距离; t_{ijk} 表示储备基地 i 以运输方式 k 运往需求点 j 的单位运输时间; R_{jl} 表示在情景 l 下,需求点 j 接收到的成品油总量; Q_{jl} 表示在情景 l 下需求点 j 的成品油需求量; S_{il} 表示在情景 l 下储备基地 i 的成品油储备量。

3.3 数据来源

2005—2015年长三角地区(江苏、浙江、上海)成品油消费量数据来源于历年《中国能源统计年鉴》^[10],主要品种包括汽油、煤油、柴油和燃料油。在时间序列数据的基础上,应用灰色模型对2020年长三角成品油消费总量进行了预测,结果为8044.60万t,其中残差的相对误差均值小于5%,模型检验精度为合格,发展灰数为-0.038,证明GM(1,1)模型可用于中长期预测^[11]。根据预测结果,2020年长三角地区的成品油日消费量约为22.04万t。

根据成品油常备库存天数(15天)和预警状态下成品油库存可满足的需求天数,计算库存短缺天数=15-现有库存天数,得到一般预警、较重预警、严重预警和特别严重预警四种情景下库存短缺天数分别为5天、7天、9天和11天。以补足成品油常备库存的库存量为储备规模,即成品油储备量=库存短缺天数×成品油日消费量,确定四种预警情景下的应急需求总量(表2)。由于各城市成品油需求量数据获取困难,考虑到相关研究表明地区成品油消费量与GDP成正相关关系^[12],本文根据各城市2015年GDP比重赋予相应的权值,利用所预测的应急需求总量测算出了不同预警状态下各城市成品油的需求量,见图2。参考市场运价和已有研究结果^[13,14],设定水路单位运输成本为0.04元/(t·km),铁路的单

位运输成本为0.23元/(t·km),管道的单位运输成本为0.05元/(t·km),铁路、管道和水路的速度分别为80.0km/h、7.2km/h、28.0km/h。储备基地和需求点之间的距离根据其地理坐标测算得出,单位运输时间由运输距离和单位速度相除所得。

4 储备布局优化结果分析

在单目标状态下,初步应用lingo软件来寻找最优解,即分别考虑应急响应时间最短以及成本最低两种目标条件下的最优目标值。为了实现多目标的平衡,即时间和成本之间的协调,进一步应用Matlab将单目标状态下的最优值设定为多目标函数fgoalattain的期望目标,权重设定为期望目标的绝对值^[15],从而计算得到四种应急预警情景下的运输方案的满意解。以一般预警情景为例,从储备规模和布局优化两个角度对运输方案作进一步分析,并对长三角地区的整个优化结果进行符号化处理,其他情景同样适用。

4.1 储备规模分析

随着预警情景等级的提升,成品油可用库存天数减少,需达到安全库存的需求量越大,每个储备点的储备量也逐渐增加,储备总量由110.19万t增长到242.42万t,见表3。根据储备规模优化结果,可以大致将储备点划分为三个层次。第一层次包括舟山、宁波、上海和杭州,这四个储备基地满足沪浙沿海地区以及浙西北地区的成品油应急需求,覆盖范围大,覆盖区域成品油需求大,需要较大的储备规模。第二层次包括南京、常州、泰州和扬州,主要负责沿江地区的成品油应急供应,这些城市的工业化和城市化程度较高,成品油需求相对较高。徐州、淮安和连云港三个储备基地服务于经济发展较苏南地区相对滞后的苏北地区,储备规模相对较小,属于第三层次。

4.2 储备布局分析-以一般预警情景为例

在确定各储备基地储备规模的基础上,以一般

表2 不同预警情景的成品油需求量

Table 2 Demand for refined oil in different warning scenarios

预警等级	含义	库存短缺天数/天	成品油储备量/万t
一般预警(IV级)	成品油库存低于10天需求	15-10=5	110.19
较重预警(III级)	成品油库存低于8天需求	15-8=7	154.27
严重预警(II级)	成品油库存低于6天需求	15-6=9	198.35
特别严重预警(I级)	成品油库存低于4天需求	15-4=11	242.42

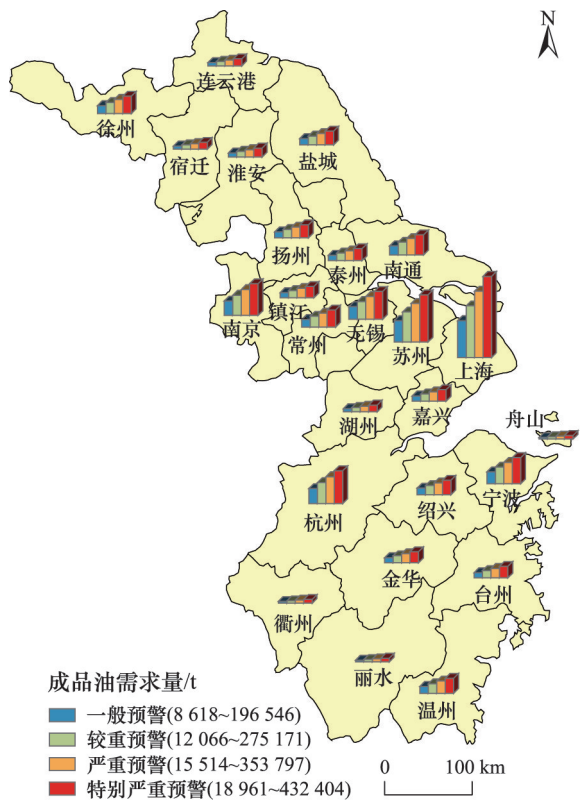


图2 各城市成品油的需求量

Figure 2 The demand of refined oil in each city

表3 储备基地的储备规模优化结果

Table 3 The optimization results of reserves in each base (万 t)

编号	储备点	一般预警 储存量	较重预警 储存量	严重预警 储存量	特别严重预警 警储存量
1	舟山	12.49	17.48	22.46	27.43
2	宁波	14.11	19.78	25.43	31.12
3	上海	13.84	19.35	24.88	30.40
4	杭州	13.18	18.42	23.70	28.96
5	南京	10.87	15.22	19.60	23.94
6	常州	10.88	15.26	19.61	23.97
7	泰州	10.91	15.26	19.58	23.96
8	扬州	10.87	15.24	19.61	23.95
9	徐州	4.42	6.18	7.97	9.70
10	淮安	4.42	6.20	7.96	9.75
11	连云港	4.20	5.88	7.54	9.24

预警情景为例,按照沪浙沿海地区、沿江地区、浙西北地区和苏北地区对优化结果进行整理,从储备基地与需求点之间的调运关系、调运方式、调运量三个方面分析储备布局(图3)。

4.2.1 沪浙沿海地区

沪浙沿海地区拥有舟山,宁波和上海三个储备基地,覆盖的城市包括舟山、宁波、上海、嘉兴、台州和

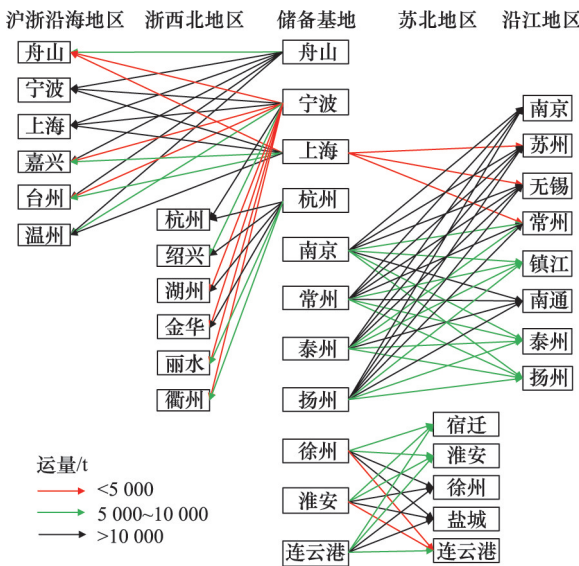


图3 一般预警情景下长三角地区成品油应急调运量

Figure 3 The emergency scheduling of refined oil in the Yangtze River Delta in the general warning

温州,主要采用管道、水路和铁路三种运输方式。在一般预警情景下(表4),舟山储备基地供应本区域的应急调运量为8510t,采用海运分别满足宁波、上海、嘉兴、台州和温州约22 083t、40 911t、16 921t、17 403t和19 047t的应急需求量;宁波储备基地满足宁波16 643t应急需求,通过管道、铁路和海路向上海的应急调运量分别为23 357t、24 599t和24 463t,向嘉兴、台州和温州的应急调运量分别为1120t、1909t和5492t。上海储备基地供应本市83 216t的成品油应急需求,向宁波、嘉兴、台州和温州的应急调运量为24 347t、9649t、8700t和11 833t。

从优化结果看,当储备点和应急需求点的距离较近时,管道、铁路和海路方式应急调运量差别不大,如上海通过管道、铁路和海路运往宁波的成品油分别为7295t、8815t和8237t。当储备点与需求点的运输距离较大时,三种调运方式的应急调运量差别较大,管道运输明显减少,如由宁波通过管道向温州的应急调运量仅为200t,而通过铁路和海路的应急调运量分别为2789t和2503t。

4.2.2 沿江地区

沿江地区涵盖了江苏省苏南苏中的八市,由上海、南京、常州、泰州和扬州储备基地满足应急需求,主要采用中石化苏南管道、苏北管道、长江水运和沿江铁路应急调运。由于南通缺乏成品油管道,

2018年7月

表4 沪浙沿海地区成品油调运方案

Table 4 The layout plan of refined oil in the Hu-Zhe coastal area

(t)

储备点 \ 运量/t	需求点					
	舟山	宁波	上海	嘉兴	台州	温州
舟山	—	—	—	—	—	—
	8 510	—	—	—	—	—
		海 22 083	海 40 911	海 16 921	海 17 403	海 19 047
宁波	—	—	管 23 357	—	管 0	管 200
	—	16 643	铁 24 599	铁 711	铁 1 055	铁 2 789
	海 100	—	海 24 463	海 409	海 854	海 2 503
上海	—	管 7 295	—	管 2 965	—	—
	—	铁 8 815	83 216	铁 3 741	铁 4 555	铁 6 302
	海 8	海 8 237	—	海 2 943	海 4 145	海 5 531

注:“—”代表不存在这种调运关系,下同。

主要通过铁路和长江水运进行应急调运。布局方案表明(表5),上海储备基地向沿江地区的应急调运量几乎为0,只有少量成品油调运至距离较近的苏州和无锡。由于沿江八市距离较近,各储备基地的储备规模相差不大,调运方式多样且相对均衡,在满足自身应急需求的同时,对外应急调运量和调运方式基本相当。以南京为储备基地为例,满足本区域的应急需求量为20 849t;分别通过管道、铁路和江路向苏州应急调运8215t、10 079t和9694t;向无锡、常州、镇江、南通、泰州和扬州的应急调运总量分别为16 095t、9852t、7072t、12 168t、6339t和8358t。也是

由于各城市距离较近的原因,长江水运在应急调运中发挥了重要的作用。

4.2.3 浙西北地区

浙西北地区包括杭州、绍兴、湖州、金华、丽水和衢州六个需求城市,供应基地包括宁波和杭州。由于湖州和丽水还没有建成油气管道,因此只依赖于铁路应急调运。从优化结果看(表6),宁波储备基地通过管道和铁路向杭州的应急调运量分别为13 344t和15 481t,向绍兴的应急调运量分别为2811t和4522t,通过铁路向湖州、金华的应急调运量分别为3499t、2743t,通过铁路向丽水和衢州的成品油应急

表5 沿江地区成品油调运方案

Table 5 The layout plan of refined oil in the areas along the Yangtze River

(t)

储备点 \ 运量/t	需求点							
	南京	苏州	无锡	常州	镇江	南通	泰州	扬州
上海	铁 0	铁 331	铁 117	铁 0	铁 0	铁 0	铁 0	铁 0
	江 0	江 170	江 1	江 5	江 0	江 0	江 0	江 0
南京		管 8 215	管 4 319	管 2 467	管 1 830	—	管 1 304	管 2 465
	20 849	铁 10 079	铁 6 036	铁 3 809	铁 2 523	铁 6 314	铁 2 671	铁 3 045
		江 9 694	江 5 740	江 3 576	江 2 719	江 5 854	江 2 364	江 2 848
常州	管 5 218	管 9 506	管 5 609	—	管 2 132	—	管 1 868	管 1 560
	铁 6 428	铁 9 966	铁 5 865	11 453	铁 2 250	铁 5 904	铁 2 529	铁 2 674
	江 6 424	江 9 847	江 6 098	—	江 2 298	江 6 034	江 2 531	江 2 645
泰州	管 5 398	管 8 523	管 4 933	管 2 839	管 1 682	—	—	管 2 249
	铁 6 612	铁 10 118	铁 6 288	铁 3 598	铁 2 401	铁 6 390	8 369	铁 2 916
	江 6 349	江 9 795	江 5 850	江 3 384	江 2 442	江 6 183	—	江 2 793
扬州	管 5 847	管 8 112	管 4 493	管 2 959	管 2 083	—	管 2 182	—
	铁 6 819	铁 9 902	铁 5 887	铁 3 755	铁 2 731	铁 6 169	铁 2 826	8 429
	江 6 587	江 9 930	江 5 887	江 3 671	江 2 482	江 5 557	江 2 391	—

表6 浙西北地区成品油调运方案

Table 6 The layout plan of refined oil in North-west of Zhejiang (t)

储备点 \ 运量/t	需求点					
	杭州	绍兴	湖州	金华	丽水	衢州
宁波	管 13 344	管 2 811	—	管 0	—	管 0
	铁 15 481	铁 4 522	铁 3 499	铁 2 743	铁 164	铁 864
杭州	50 326	管 13 646	—	管 11 359	—	管 2 824
		铁 14 187	铁 12 910	铁 12 717	铁 8 514	铁 5 336

调运量分别为164t和864t;杭州储备基地满足本区域应急需求50 326t,通过管道和铁路向绍兴、金华和衢州的应急调运总量分别为27 833t、24 076t和8160t,通过铁路向湖州和丽水的应急调运量分别为12 910t和8514t。由此可见,与宁波相比,杭州与浙西北地区内的需求城市距离较近,且位于区域中心,辐射范围较广,向其他城市的应急调运量普遍多于宁波。另外,虽然宁波-金华-衢州有管道相连,但是宁波储备基地通过管道运往金华和衢州的应急调运量均为0,表明距离较远时铁路具有快速补充的优势。

4.2.4 苏北地区

苏北地区的储备基地包括徐州、淮安和连云港,覆盖范围包括宿迁、淮安、徐州、盐城和连云港,主要通过铁路和管道进行应急调运。从优化结果看(表7),徐州储备基地满足本市应急需求量为17 102t,通过管道和铁路运输向宿迁和淮安的应急调运总量分别为5472t和6443t,通过铁路向盐城和连云港的应急调运量分别为10 214t和4945t;淮安储备基地供应本市应急需求量为8664t,通过管道和铁路向宿迁和徐州的应急调运量分别为5868t和14 465t,铁路运往盐城和连云港的应急数量约10 364t和4878t;连云港储备基地满足本市的成品油应急需求

量为7187t,通过铁路向宿迁、淮安、徐州、盐城的应急调运量分别为5399t、6506t、10 315t、12 587t。

5 结论

随着中国石油对外依存度的增加,石油供应安全和石油储备引起了政府和学者的关注,但石油储备以原油为主,对成品油应急供应和应急储备的关注不多。不论是从经济总量、成品油消费量,还是从地理位置来看,长三角地区的成品油储备在全国都具有突出地位,是专家建议的国家储备布局两片两线(东北、西北两片和沿海、沿江两线)的重要组成部分^[6]。本文以长三角地区为例,研究了成品油的储备布局优化问题,建立了包含11个储备基地、25个应急需求点、4个应急区域的调运网络,应用灰色预测方法和多目标优化模型研究了2020年成品油应急储备规模和布局方案,并以一般预警为例详细分析了应急调运关系,主要研究结论如下:

(1)考虑区域位置、储备条件、运输条件等因素,选择舟山、宁波、上海、南京、常州、泰州、扬州、杭州、徐州、淮安和连云港11个地区为长三角成品油储备基地;考虑到区域间运输方式和应急调运成本等因素,将长三角地区成品油应急调运网络分为沪浙沿海、沿江、浙西北和苏北四大区域。另外,沿海和沿江地区的舟山、宁波(镇海)、常州(金坛)储

表7 苏北地区成品油调运方案

Table 7 The layout plan of refined oil in Northern Jiangsu (t)

储备点 \ 运量/t	需求点				
	宿迁	淮安	徐州	盐城	连云港
徐州	管 2 136	管 2 266	17 102	—	—
	铁 3 336	铁 4 177		铁 10 214	铁 4 945
淮安	管 2 575	8 664	管 6 118	—	—
	铁 3 293		铁 8 347	铁 10 364	铁 4 878
连云港	铁 5 399	铁 6 506	铁 10 315	铁 12 587	7 187

2018年7月

备基地除了满足本区域的应急需求外,还要承担国家石油储备基地的作用。

(2)随着预警等级的提高,长三角地区成品油储备规模不断增加,由110.19万t增长到242.42万t。由于覆盖范围及服务区域应急需求量的不同,长三角地区各储备基地储备规模差别较大,分为三个层次:第一层次为舟山、宁波、上海和杭州储备基地,第二层次为南京、常州、泰州和扬州储备基地,第三层次为徐州、淮安和连云港储备基地。

(3)从储备布局优化结果看,在调运关系既定时,调运方式的选择受时间和成本的共同作用,在调运距离较近时,铁路、水路和管道的应急调运量差别不大,且管道调运表现出成本优势,调运距离较远时,铁路和水运表现出较大的优势。

根据研究结论,提出以下相关建议。首先,作为成品油消费量较大的区域,江浙沪三地政府应该尽快出台成品油应急储备管理办法,合理布局储备基地,加大成品油储备规模,完善成品油储备体系。其次,加强成品油调运通道建设,尤其是管道建设,确保储备基地与应急需求点之间至少有两种或两种以上的应急运输方式,保障应急调运渠道的通畅和快捷。第三,将长三角作为一个整体,建立成品油联合储备机制和应急协调机制。

本文研究成果可以为成品油应急储备布局 and 优化的研究和实践提供参考,对于其他物质的储备布局 and 应急调运研究也具有借鉴意义。但是由于数据和模型所限,也存在一定的局限性,如简化了成品油应急需求的测算,未考虑储备基地的储备能力上限和应急调运通道的运输能力上限等。

参考文献(References):

- [1] 冯春艳. 发达国家的石油供应应急机制[J]. 中国石化, 2007, (1): 45-47. [Feng C Y. Emergency mechanism for oil supply in developed countries [J]. *Sinopec Monthly*, 2007, (1): 45-47.]
- [2] 张晶. 建立我国地方成品油应急储备的必要性及相关建议[J]. 国际石油经济, 2016, 24(7): 70-73. [Zhang J. The necessity and suggestions on establishing the emergency reserve of local refined oil in China [J]. *International Petroleum Economics*, 2016, 24(7): 70-73.]
- [3] MirHassani S A. An operational planning model for petroleum products logistics under uncertainty [J]. *Applied Mathematics and Computation*, 2008, 196(2): 744-751.
- [4] Rahman S U, Smith D K. Use of location-allocation models in health service development planning in developing nations [J]. *European Journal of Operational Research*, 2000, 123(3): 437-452.
- [5] Zografos K G, Androutsopoulos K N, Vasilakis G M. A real-time decision support system for roadway network incident response logistics [J]. *Transportation Research Part C Emerging Technologies*, 2002, 10(1): 1-18.
- [6] Barbarosoglu G, Arda Y. A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response [J]. *Journal of the Operational Research Society*, 2004, 55(1): 43-53.
- [7] Chang M S, Tseng Y L, Chen J W. A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty [J]. *Transportation Research Part E Logistics & Transportation Review*, 2007, 43(6): 737-754.
- [8] Shin E, Savage T. Joint stockpiling and emergency sharing of oil: arrangements for regional cooperation in East Asia [J]. *Energy policy*, 2011, 39(5): 2817-2823.
- [9] 尹峰. 煤炭应急储备规模与布局研究[D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2013. [Yin F. Study on the Scale and Layout of Coal Emergency Reserve [D]. Beijing: China University of Mining & Technology, 2013.]
- [10] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2006-2016. [Energy Statistics Division of Chinese National Bureau of Statistics. China Energy Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2006-2016.]
- [11] 刘树, 王燕, 胡凤阁. 对灰色预测模型残差问题的探讨[J]. 统计与决策, 2008, (1): 9-11. [Liu S, Wang Y, Hu F G. Discussion on the residual problem of gray forecasting model [J]. *Statistics and Decision*, 2008, (1): 9-11.]
- [12] 鄢琼伟, 陈浩. GDP与能源消费之间的关系研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(7): 13-19. [Yan Q W, Chen H. Research on the relationship between GDP and energy consumption [J]. *China Population Resources and Environment*, 2011, 21(7): 13-19.]
- [13] 王亮. 成品油物流系统的构建与优化[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2010. [Wang L. Research on the Construction and Optimization of Oil Product Logistics System [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2010.]
- [14] 晋安岑. 长江流域原油需求预测及运输系统方案研究[D]. 上海: 上海海事大学, 2007. [Jin A C. Research on the Demand Forecasting and Transportation System of Crude Oil in the Yangtze River [D]. Shanghai: Shanghai Maritime University, 2007.]
- [15] 尚佳宁, 赵京, 司洪波, 等. 基于多目标规划的地震应急救援营救装备的优化配置[J]. 灾害学, 2013, 28(4): 193-196. [Shang J N, Zhao J, Si H B, et al. The optimal allocation for earthquake emergency rescue equipment based on multi-objective optimization [J]. *Journal of Catastrophology*, 2013, 28(4): 193-196.]
- [16] 李杰训, 李效姝, 陈艳. 对于国家石油战略储备的建议[J]. 石油规划设计, 2004, 15(5): 7-9. [Li J X, Li X S, Chen Y. Some suggestions for strategic oil reserve in China [J]. *Petroleum Planning & Engineering*, 2004, 15(5): 7-9.]

Research on emergency reserves and layout of refined oil in the Yangtze River Delta

LV Tao^{1,2}, GAO Jian^{1,2}, WANG Zheng²

(1. Jiangsu Energy Economy and Management Research Base, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;

2. School of Management, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: A comprehensive emergency response system for refined oil has not been established in the Yangtze River Delta of China, a region with a high consumption of refined oil. This lack of an emergency reserve response system results in a weak response ability to supply disruption. Based on the determination of reserve bases and division of emergency logistics channels we constructed a systematic logistics network of refined oil for emergency transportation. We applied gray forecasting modeling and multi-objective optimization modeling to the emergency reserve scales and emergency layout of refined oil in 2020 in the Yangtze River Delta. Results show that with the increase in warning levels, the overall reserve scale of refined oil gradually increased and the reserve scale of each base is largely affected by the coverage of demand cities and the emergency demand of the service area. Emergency scheduling methods, including railways, waterways and pipelines, are decided jointly by scheduling time and transportation costs. Specifically, when the transportation distance from reserve bases to demand cities is relatively short, the emergency scheduling volumes of railway, waterway and pipeline show little difference. When the transportation distance is relatively longer, railway and waterway have a greater advantage with larger emergency scheduling volumes of refined oil; the allocation by pipeline is smaller than railway and waterway. We propose that the Chinese government should promote the construction of reserve bases of refined oil in the Yangtze River Delta region and improve the emergency transportation network for refined oil. At the same time, we suggest that the joint reserve and emergency coordination mechanisms be established in the future.

Key words: emergency reserve; layout optimization; emergency scheduling; energy security; Yangtze River Delta