



环渤海地区 LNG 码头布局 关键问题和选址研究*

房卓^{1,2}, 张民辉¹, 沈忱^{1,2}, 齐越^{1,2}, 梅蕾¹, 姚海元^{1,2}

(1. 交通运输部规划研究院, 北京 100028; 2. 综合交通规划数字化实验室, 北京 100028)

摘要: 通过系统分析环渤海地区天然气运输及储备体系发展和建设特点, 提出该区域 LNG 码头布局关键问题。首次提出环渤海地区 LNG 码头布局应将冬季 4 个月需求指标作为码头能力供给的主要依据, 并提出区域 LNG 泊位布局规模等指标。在此基础上, 围绕“十四五”期环渤海地区天然气供应迫切需要, 提出区域 LNG 码头布局和选址思路, 结合港址条件推荐重点发展的港址。

关键词: 环渤海地区; 天然气; 冬季需求; “十四五”期; LNG 码头

中图分类号: U 656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)02-0046-05

Key layout issues and site selection of LNG terminals in the Bohai-Rim region

FANG Zhuo^{1,2}, ZHANG Min-hui¹, SHEN Chen^{1,2}, QI Yue^{1,2}, MEI Lei¹, YAO Hai-yuan^{1,2}

(1. Transport Planning and Research Institute, Ministry of Transport, Beijing 100028, China;

2. Laboratory for Traffic & Transport Planning Digitalization, Beijing 100028, China)

Abstract: On the basis of the systematic analysis of the development and construction characteristics of the natural gas transportation and reserve system around the Bohai-Rim region, the key layout issues of liquefied natural gas (LNG) terminals in the region are put forward. It is proposed for the first time that the layout of LNG terminals around the Bohai-Rim region should take the four-month winter demand index as its main basis for the supply of terminal capacity. Furthermore, indicators such as the layout scale of regional LNG berths are advanced. On this basis, focusing on the urgent need for natural gas supply around the Bohai-Rim region over the “14th Five-Year Plan” period, this paper presents the regional LNG terminal layout and site selection ideas and recommends key port sites for development in view of port site conditions.

Keywords: the Bohai-Rim region; natural gas; winter demand; “14th Five-Year Plan” period; LNG terminal

环渤海地区(含辽宁、京津冀和山东)天然气消费量占全国消费总量比重超过 20%, 区域天然气消费和天然气进口需求在冬季相对集中^[1], 天然气储运设施在冬季供暖高峰期(高月高日)基本达到满负荷运作、能力相对紧张。国家近年来相继印发《关于加快储气设施建设和完善储气调峰辅助服务市场机制的意见》《关于加快推进天然气储备

能力建设的实施意见》等政策意见, 旨在着力解决储气能力严重不足和储气调峰机制不完善的问题, 要求天然气销售企业、县级以上地方人民政府及城镇燃气企业均需建立并具有相应的天然气储备能力; 支持峰谷差大的地区梯次提高建设目标, 优先建设地下储气库、北方沿海液化天然气 (LNG) 接收站和重点地区规模化 LNG 储罐。因

收稿日期: 2021-04-12

*基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFB2600700、2020YFE0201200)

作者简介: 房卓(1982—), 女, 博士, 高级工程师, 从事港口规划、新型港口水工结构物研究。

此,环渤海地区的 LNG 码头布局和建设对于保障北方地区供气、完善我国天然气多层次储备体系建设具有双重意义。

已有相关文献中,王殿华等^[2]对环渤海地区的油气资源需求与供应进行了研究,并得出充分发挥环渤海港口优势、提高油气资源的供应能力等结论;赵仓龙等^[3]、姚海元等^[4]、张宝刚等^[5]、李红亮等^[6]对 LNG 船舶通航对港口运营效率影响问题开展了定量研究;沈忱等^[7-8]对单个港址 LNG 泊位组的运营效率开展了仿真研究;房卓等对环渤海地区 LNG 码头近中期合理通过能力进行了探讨;孙家庆等^[9]对我国 LNG 码头建设现状及存在问题进行分析;张刚雄等^[10]、丁国生等^[11]对我国地下储气库发展面临的挑战和对策进行分析,提出我国在天然气供应中尚存在着季节性调峰矛盾日益突出、地下储气库优质库源缺乏和建库难度大等主要问题。

综上,已有研究尚未见涉及环渤海地区 LNG 码头布局研究的相关工作。本文通过对环渤海地区天然气消费和供应特点、储运体系建设现状进行综合分析,提出环渤海地区 LNG 码头布局选址的思路和方法;在此基础上,综合资源、通航等港址条件研究,提出区域 LNG 码头布局的重点港址建议。研究结论可为区域 LNG 码头布局、规划等工作提供技术支撑。

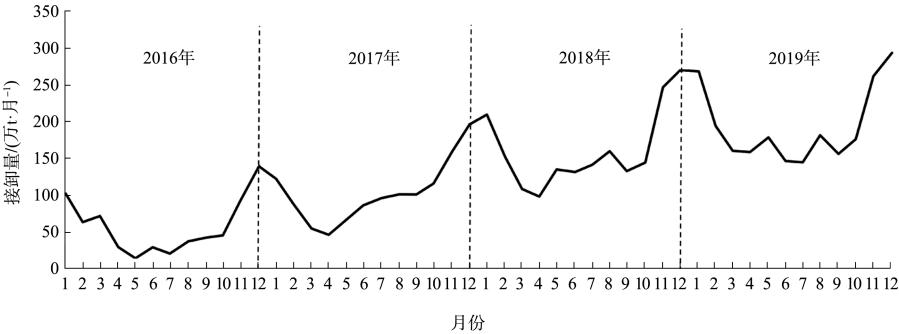


图 2 2016—2019 年环渤海地区 LNG 接收站月度接卸量变化

1.2 区域储气设施建设现状

目前环渤海地区地下储气库群有效工作气量仅占环渤海地区年度消费量约 5.7%,现状储气能力与国际平均储气能力水平(12%~15%)相比尚有较大差距,储气设施能力尚欠缺。现阶段环渤海

1 区域天然气供应和储运体系发展现状

1.1 区域消费和供应特点

环渤海地区是我国天然气的主要消费区,近年来天然气消费量占全国消费量的比重一直超过 20%,2010 年以来区域消费量年均增速 15%、高于全国约 3%。2010—2019 年环渤海地区天然气消费量变化情况见图 1。

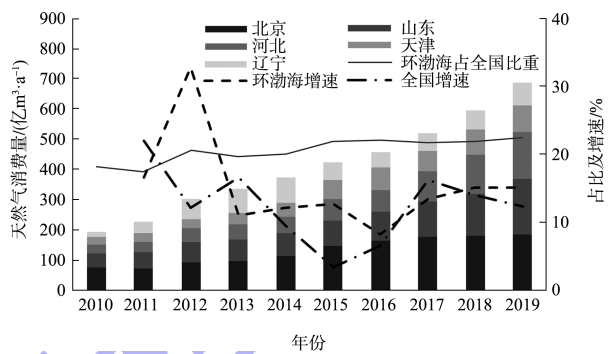


图 1 2010—2019 年环渤海地区天然气消费量变化

在区域天然气供应方面,沿海港口进口 LNG 已成为区域主力气源,现状已建成大连鲅鱼湾、唐山曹妃甸、天津大港、天津南疆和青岛董家口 5 座 LNG 接收站, LNG 年接收量占区域供应总量比重超过 30%,在冬季保供和调峰中发挥了重要作用。区域天然气供应季节性峰谷差较大,冬季 4 个月(11 月—次年 2 月)的 LNG 接卸量占全年比重高达 50%~60%。2016—2019 年环渤海地区 5 座接收站的月度接卸量变化趋势见图 2。

地区建成的 LNG 接收站配套罐数量多为 2~4 个、单罐罐容以 16 万 m³ 为主,各接收站投产储罐总罐容约 262 万 m³,基本为正常生产周转使用,欠缺季节性储气调峰能力。在东北亚地区中,地下储气库不足的日本、韩国,均主要依托沿海 LNG 接

收站建设储气调峰设施，其单个大型接收站的规模已超过我国环渤海地区各接收站的罐容总和，如：日本最大 LNG 接收站袖浦储罐 35 个、罐容 266 万 m³；韩国最大接收站平泽储罐 23 个、罐容 336 万 m³。综上，为保障环渤海地区天然气供给和储气能力建设，进一步扩大沿海 LNG 接收站数量、规模及其储备罐容势在必行。环渤海地区 LNG 接收站储罐设施建设情况见表 1。

表 1 环渤海 LNG 接收站储罐规模现状

省(市)	接收站	已建储罐 个数×罐容/ (个·万 m ³)	在建/核准储罐 个数×罐容/ (个·万 m ³)
辽宁	大连鲅鱼湾接收站	3×16	—
天津	天津港大港接收站	4×16	5×22
	天津港南疆接收站	1×16、2×3	6×22
河北	唐山港曹妃甸接收站	4×16	4×16
山东	青岛港董家口接收站	4×16	2×16

1.3 区域 LNG 接收站运营现状

根据调研，2017—2019 年区域 LNG 接收站月度到港船舶艘次变化趋势见图 3。主要接收站在冬季高峰期已达满负荷运作。以唐山港曹妃甸接收站为例，在冬季高峰月，码头月均接卸 LNG 船舶达 8~11 艘次、码头已达满负荷运作，冬季高月高日供应量最高超过 4 200 万 m³/d，其管线、气化装置等气化外输设施也均达到满负荷运行。

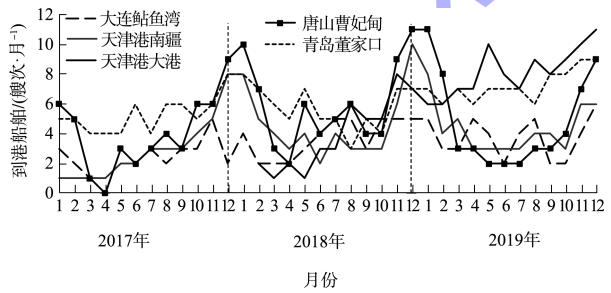


图 3 2017—2019 年环渤海地区 LNG 接收站月度到港船舶艘次

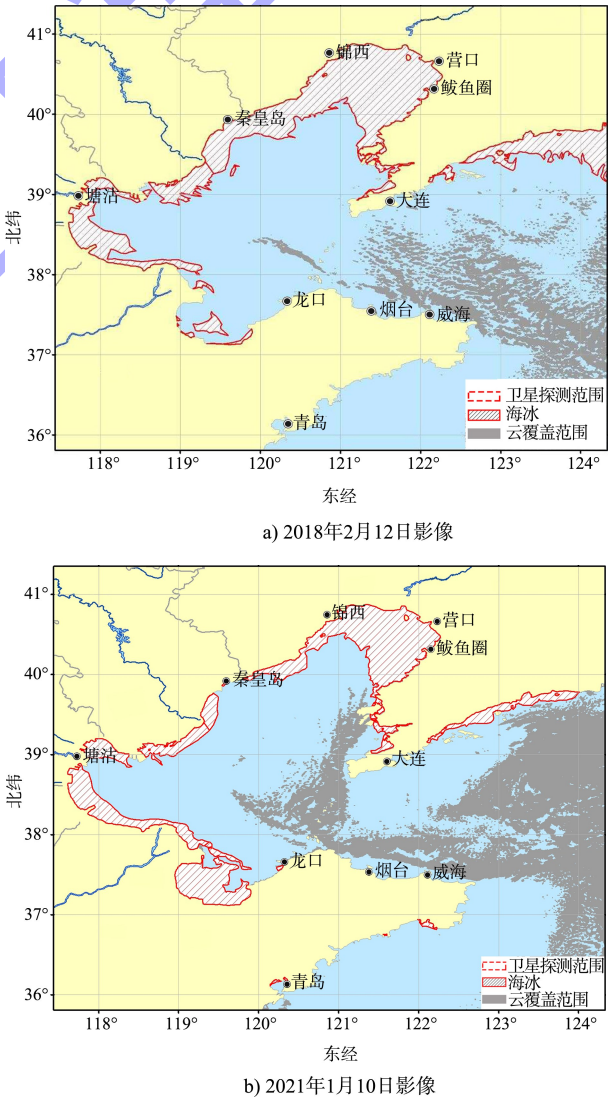
结合上述分析，环渤海地区天然气储运体系建设和运营特点总体如下：1) 区域天然气消费在我国占比高、增速快，在能源结构调整及“煤改气”等政策持续推进下，未来消费需求仍会保持较大增速；2) 天然气消费需求在冬季呈现显著的高峰季，现状冬季高峰期 LNG 接收站的接收及气化外输设施能力已显紧张、中远期明显不足；3) 区域的储气调

峰设施能力有较大欠缺。因此环渤海地区 LNG 接收站建设不仅需要增加数量、扩大能力，还需要加强具有储备和调峰能力规模化港址的选址和布局。

2 LNG 码头布局关键问题

2.1 空间上的重点考虑

环渤海地区在冬季易受强冷空气和寒潮天气影响，渤海湾、辽东湾、莱州湾大部分海域极易遭遇大面积冰冻(图 4)，对海上交通、油气生产等均会带来较大影响，港口作业受限往往与需求峰值重叠，冬季天然气保供任务艰巨。因此，在 LNG 码头布局空间考虑中，需要注意加强黄海和近黄海侧的港址布局，如烟台港至青岛港一带，尽量降低冬季冰冻期恶劣天气对码头供给能力的不利影响。



注：图片源自国家卫星海洋应用中心官网。

图 4 环渤海地区冬季光学卫星遥感海冰图

2.2 码头布局规模

为确保强寒流持续期间不发生“气荒”, 预计十四五期环渤海地区接收站高月高日的供气保障能力仍需提高至现有能力的 2~4 倍, 如基于全年均衡进口总需求确定码头规模和能力, 将无法有效保障高峰季的运输需求, 并将在高月高日期间出现巨大缺口。为此, 研究提出“注重保障能力, 提升资源效率, 兼顾多重目标”的布局思路。在 LNG 码头布局和规模充分满足地区高峰季运输需求的基础上, 按连续多日不可靠船的不利气象水文情况, 测算接收站应急储备罐容的基本需求, 通过“卸船直供+释放储供”的方式保障高月高日的气化外输需求, 即: 接收站气化外输极端需求将由码头和储罐联合运营来完成。

在理想状态下, 环渤海地区连续高日期间总外输需求(T_h)由储罐供给(S_h)与码头供给(B_h)联合完成, 见公式(1)。考虑到在此期间环渤海海域存在受大风、冰冻等恶劣气象条件影响导致船舶连续数日无法靠泊的情形, 额外增加的 LNG 应急储备罐容(S_h)至少应能够满足连续数日(D_h)稳定供气的要求, 其余时间的气源由码头接卸供给(B_h)。经该方法测算, 环渤海地区需 14~16 个 LNG 泊位+一定的应急储备罐容可保障“十四五”期高月高日需求。

$$T_h = S_h + B_h \tag{1}$$

其中 $T_h = D_h t_h \tag{2}$

$$S_h = D_w t_h \tag{3}$$

$$B_h = (D_h - D_w) b_h N_h \tag{4}$$

式中: T_h 为高月高日期间环渤海地区接收站气化外输总需求(亿 m^3); S_h 为高月高日中出现持续恶劣天气情况下的应急储罐供给量(亿 m^3); B_h 为高月高日中非恶劣天气情况下的通过码头直接接卸的供给量(亿 m^3); D_h 为高月高日持续天数(d), 根据现状可取 10~20 d; D_w 为高月高日中发生持

续恶劣天气的天数(d), 根据环渤海地区海域实际情况可取 5~7 d; t_h 为高月高日期间接收站日气化外输需求(亿 m^3/d), 根据国家对环渤海地区 LNG 接收站日气化外输能力建设的要求进行复核; b_h 为单个 LNG 泊位一天供应量(亿 m^3/d), 可按一个泊位每月接卸 8~9 艘 16 万 m^3 主力 LNG 船型测算, 1 个泊位 1 d 平均接卸量约折合 0.3 亿~0.4 亿 m^3 气态天然气; N_h 为高月高日期间环渤海地区需要 LNG 泊位个数(个)。

2.3 单港址合理泊位规模

根据沿海港口 LNG 船舶进出港监管规则, LNG 船舶进出港时需采取移动安全区及进出港管制等管理措施, 因此会对所在港区的船舶进出港产生不同程度的影响; 鉴于目前我国尚缺乏针对 LNG 泊位组和 LNG 船舶高密度通航的管理经验, 因此现阶段单个港址 LNG 泊位建设和发展规模不宜过大, 应结合港区规划资源容量和航道条件充分研究论证, 保障单个港址 LNG 规模合理适度; 根据文献 [7-8], 在 LNG 港址具备专用航道条件下, 基于目前一般通航规则, 当单个港址 LNG 泊位达到 4 个时, LNG 船舶进出港时自身之间亦受到明显干扰, 潜在运营风险较高。

2.4 大型接收站用地规模

现阶段环渤海区域储气设施缺乏, 针对 LNG 接收站均有储气设施建设的迫切需求, 在大型接收站港址的选址和发展中应为接收站后方的储罐设施、气化装置等用地规模留有余地, 才能充分发挥接收站的码头、储罐设施、气化外输设施等环节的系统能力。根据唐山港曹妃甸、天津港大港等大型接收站的气化外输能力建设计划 and 建设经验, 测算得到大型 LNG 接收站(年接收能力在 1 000 万~2 000 万 t、日气化外输能力达 1 亿~2 亿 m^3) 选址和发展需要 1~2 km^2 的土地资源。具体分项测算见表 2。

表 2 大型接收站用地面积需求测算

大型接收站 气化外输需求/ (亿 m ³ ·d ⁻¹)	对应泊位及匹配储罐规模		对应用地需求/ km ²			
	所需泊位数	匹配储罐规模/ (个·万 m ³)	储罐	气化装置 等设施	公共服务区	需求合计 (按 1.5 倍富余度)
1	2	12×16	12×0.03=0.36	0.2 (1 套气化区)	0.05	0.9
2	4	27×16	27×0.03=0.81	0.4 (2 套气化区)	0.05	1.9

3 选址思路和选址研究

为保障“十四五”期北方地区天然气供应，围绕能够较快形成能力、加强空间保障等，提出选址思路：1)依托已建 LNG 港址扩建，尽快形成与既有码头相匹配的系统能力；2)依托已建 LNG 港址增建码头，同步推进储罐等配套设施建设，可以较快形成能力；3)发挥黄海侧港口的重要作用，在烟台港—青岛港等新增港址，尽量减少渤

海湾内冬季恶劣天气等可能产生的不利影响。

根据上述布局思路，综合考虑岸线资源、土地资源、航道资源、与区域管网体系衔接等多方面要素，在地理位置和发展空间较好、建设条件较为成熟的港口，筛选了 5~6 处具备发展成为具有一定储运规模和外输能力的港址，形成以唐山港、天津港、烟台港、青岛港等为重点的发展格局。港址条件见表 3。

表 3 环渤海地区港址条件

港口	是否有已建 LNG 港址	是否具备 21 万 m ³ 以上 LNG 船舶通航条件	土地资源条件	管线连接条件	岸线资源条件	是否需新增大规模围填海
大连港(鲇鱼湾等)	是	具备	1~2 km ²	已连接沈大线、但扩建条件有限	2 个泊位	否
唐山港(曹妃甸等)		具备	2 km ² 以上	已连接永唐秦、陕京管线	2 个以上泊位	否
天津港(大港等)		具备	2 km ² 以上	已连接中石化华北管网等	2 个以上泊位	否
青岛港(董家口等)		具备	2 km ² 以上	已连接济青线	2 个泊位	否
烟台港(西港区等)	否	具备	2 km ² 以上	可连接山东天然气管网或济青复线	2 个以上泊位	否

4 结论

1)环渤海地区是我国天然气主消费区之一，天然气运输需求在冬季集中，LNG 进口需求季节不均衡性突出，冬季供气高峰期 LNG 接收及气化外输设施能力较为紧张。

2)综合环渤海地区天然气储运体系发展特点和供需特点，提出环渤海地区 LNG 码头布局规划应重点考虑加强具有储备和调峰能力的大型港址布局、码头布局规模应兼顾高峰期用气需求、大型港址的选择应具备一定的土地资源条件等四方面关键问题。

3)针对环渤海地区供气冬季高峰特点，提出宜将冬季高峰期需求指标作为区域 LNG 码头能力

供给的主要依据；研究提出环渤海地区高月高日的气化外输总需求(T_h)应由储罐供给(S_h)与码头供给(B_h)联合完成的接卸-外输平衡公式，以此测算提出了需 14~16 个 LNG 泊位并增加适当的应急储备罐容，可保障“十四五”末期区域冬季天然气供应需求。

4)围绕环渤海地区“十四五”期天然气保供需求，立足尽快形成 LNG 接卸能力，提出环渤海地区大型 LNG 码头选址应综合考虑岸线资源、土地资源、航道资源、新增用海需求以及与区域管网体系衔接等港址条件要素；研究提出形成以唐山港、天津港、烟台港、青岛港等为重点的发展格局。