

中国天然气生产供应能力的影响因素分析及对策研究

高清贵¹, 张雨嫣², 庄拯², 费晟², 陈广泽²

¹福建理工大学LNG产业链研究中心, 福建 福州

²福建理工大学交通运输学院, 福建 福州

收稿日期: 2024年3月18日; 录用日期: 2024年4月11日; 发布日期: 2024年5月31日

摘要

由于我国天然气(Liquefied natural gas, LNG)生产供给能力受到众多不确定性因素的影响, 因此本文首先整理11项影响LNG生产供给能力的不确定性因素, 再利用灰关联分析从这些不确定性因素中萃取重要关键因素, 接着再利用TRIZ分析建立LNG产业在生产供给能力的转型与发展战略。本文根据灰关联分析找出6项关键因素, 并使用TRIZ建立11项改善策略, 可归纳为三类, 分别为: 气源供给策略、气源采购策略、以及气源储运策略, 同时拟定短、中、长期三阶段战略发展先后顺序, 为LNG能源产业在生产供给能力的转型与发展战略提供决策支撑。

关键词

天然气, 关键因素, 灰关联分析法, TRIZ分析法

Analysis of Influencing Factors and Countermeasure Research on LNG Production and Supply Capacity in China

Qinggui Gao¹, Yuyan Zhang², Zheng Zhuang², Sheng Fei², Guangze Chen²

¹Key Laboratory of LNG Industry Chain, Fujian University of Technology, Fuzhou Fujian

²School of Transportation, Fujian University of Technology, Fuzhou Fujian

Received: Mar. 18th, 2024; accepted: Apr. 11th, 2024; published: May 31st, 2024

Abstract

China's LNG production and supply capability is affected by many uncertain factors. Therefore,

文章引用: 高清贵, 张雨嫣, 庄拯, 费晟, 陈广泽. 中国天然气生产供应能力的影响因素分析及对策研究[J]. 现代管理, 2024, 14(5): 1010-1023. DOI: 10.12677/mm.2024.145116

this paper first summarizes 11 uncertain factors that affect LNG production and supply capability. Next, the grey relational analysis is used to extract important key factors from these uncertain factors. Finally, TRIZ analysis is used to establish the transformation and development strategy of the LNG industry in production and supply capability. This article identified 6 key factors based on grey relational analysis, and used TRIZ to establish 11 improvement strategies, which can be summarized into three categories: The supply strategy of gas source, the procurement strategy of gas source, and the storage and transportation strategy of gas source. Meanwhile, a three-stage strategic development sequence of short, medium and long-term is formulated to provide decision-making support for the transformation and development strategy of the LNG energy industry in production and supply capability.

Keywords

Liquefied Natural Gas, Key Factor, Grey Relational Analysis, TRIZ Analysis

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

传统上我国能源结构以煤炭为主,然而目前的煤炭企业大多是采取粗放式煤炭物流方式的自营企业,其开采流程从采煤、洗选、加工、储存、运输、销售到综合利用废物都对环境造成严重的影响[1],同时国际上应对气候变化的压力日益增大,使得我国能源结构迫切需要进行绿色转型发展。而天然气(Liquefied natural gas, LNG)是我国能源转型最为重要和现实的能源选项之一,其主要来源为油田和天然气田。但随着 LNG 需求的增加,以及易开采的传统石油和天然气蕴藏量减少,使得非传统的页岩气越来越受到重视。随着我国首个页岩气 LNG 工厂中石化涪陵 LNG 工厂一期顺利建成,页岩气 LNG 产量持续增长,但与当下进口 LNG 的增长幅度相比,仍存在供给与需求的落差。

我国是能源生产与消费大国,因此需要加快非化石能源的开发利用,除了满足能源的需求,也可降低能源污染对环境与气候的影响。但根据《能源发展战略行动计划(2014~2020 年)》的报告显示,我国 LNG 生产能力不足,到 2020 年,我国一次能源消费总量中 LNG 消费比重将占 10%以上,但 LNG 对外的依存度将超过 30% [2]。因此,国际 LNG 的生产和供应能力、国际市场 LNG 的需求和进口量、全球 LNG 运力情况、LNG 运价等都可能影响我国 LNG 的进口量。

确保 LNG 生产供给稳定是能源发展的重要任务之一,因此为了解我国 LNG 生产供给能力的影响因素,本文首先通过相关文献对我国 LNG 生产供给现状进行了解,并汇整理影响我国 LNG 生产供给能力的因素以此建立问卷进行调查,接着再针对回收问卷的数据进行分析,采用灰关联分析法(Grey relational analysis)萃取对影响我国 LNG 生产供给能力的重要因素。最后,再采用 TRIZ 分析法来找出各个重要影响因素对应的改善策略,以此建立短中长期策略规划,为我国 LNG 产业链生产供给规划提供参考。

2. 文献综述

关于影响国内天然气生产供应能力的不确定因素可以从 LNG 产业链的勘探、生产、供应、以及储运这些方面来看,详细内容整理于表 1。

首先是在勘探、生产方面:为确保 LNG 的生产供应能力的,最重要的就是保障 LNG 气源,因此“a1. LNG 新勘探技术的应用”可用于勘探和开发国内外新的气田。其次是在 LNG 供应方面:我国天然气对

“a2. 国际市场 LNG 的需求和进口量”的依存程度是不断提升，主要是因为我国天然气消费量是超过国内的生产量。因此，为确保 LNG 进口量，就必须保证“a3. 国际的 LNG 生产和供应能力”与“a4. 国际 LNG 市场价格”的稳定性。LNG 作为最重要的清洁替代能源之一，在全球能源消费结构中的占比不断提升，因此刺激“a5. 全球 LNG 运输船运力”的发展，目前 LNG 运输船朝向大型化的趋势发展，因此藉由 LNG 运输船的大载运量，将可以弥补我国 LNG 市场需求缺口，但也导致“a6. LNG 运输价格”的上涨。因此，为了能够更经济和实用的储存运输，藉由“a7. LNG 液化技术”，方便 LNG 运输船于长距离的运输。最后是在 LNG 储运方面：“a8. LNG 接收站的建设”可提高 LNG 进口接收能力，确保 LNG 能源的供给，而其中核心装备的能力是“a10. LNG 储罐存储能力”。接着，面向工业用户与最终用户的天然气配送则是需要通过“a9. LNG 运输配送能力”与“a11. LNG 管道输送能力”。

Table 1. Uncertain factors affecting domestic LNG production and supply capability

表 1. 影响国内天然气生产供应能力的不确定因素

因素名称	因素内容	文献来源
a1. LNG 新勘探技术的应用	发展 LNG 的最大挑战就是气源，因此透过 LNG 新勘探技术的应用，提升 LNG 产量，才能让 LNG 生产和供应能力获得保障。	[3]
a2. 国际市场 LNG 的需求和进口量	我国天然气对外进口量的依存程度不断提升。2019 年天然气进口量累计值达 9656 万吨，较 2018 年增长 7%。当我国天然气对外依存度越高，国家能源安全程度就越低，因此未来应该要加强天然气供给平衡。	[4]
a3. 国际的 LNG 生产和供应能力	由于我国天然气消费量是超过国内的生产量，2019 年我国天然气产量为 1761.74 亿立方米，同比增长 10%，但 2019 年我国天然气消费量累计达 3067 亿立方米，同比增长 9.42%，因此国际 LNG 生产和供应能力将影响到我国 LNG 供给的稳定性。	[5]
a4. 国际 LNG 价格	国际 LNG 价格通常以单位热值计价(美元/MMB TU)，当国际 LNG 价格可以保持稳定时，可降低 LNG 进口风险，确保 LNG 供给的稳定性。	[6]
a5. 全球 LNG 运输船运力	随着我国的 LNG 消费量大幅提升，对于 LNG 的需求进口量也随之增加，2017 年我国 LNG 进口量 3814 万吨，超过进口管道气量，进口 LNG 占全国天然气消费量的 21%，因此以 LNG 运输船的大载运量，将可以弥补我国 LNG 市场需求缺口。	[7]
a6. LNG 运输价格	由于我国市场对 LNG 的进口需求增加，因此运价上涨趋势已经形成。	[8]
a7. LNG 液化技术	作为液体 LNG，仅占气体形式的 LNG 体积的 1/600(在大气压下)，因此藉由 LNG 液化技术，LNG 能够更经济和实用的储存，也方便 LNG 运输船于长距离的运输。	[9]
a8. LNG 接收站的建设	2019 年我国新增的 LNG 接收站有 2 个，全部有 22 个，接收能力为 9035 万吨/年。LNG 接收站的建设可提高 LNG 进口接收能力，确保 LNG 能源的供给。	[10]
a9. LNG 运输配送能力	液化 LNG 通过槽车配送到大量的卫星站，藉此可以较大改善我国紧张的 LNG 能源供应形势。	[11]
a10. LNG 储罐存储能力	LNG 储罐是 LNG 产业链中的核心装备，LNG 储罐的储存能力有效提升，将能够大幅提高 LNG 存储周转能力，对保障我国 LNG 供应稳定性具有重要作用。	[3]
a11. LNG 管道输送能力	随着我国天然气消费市场的扩大，管道网路系统的建设具有多气源、多通道、供气灵活可靠等特点，将有效提升天然气的供给能力和储备能力。	[3]

3. 影响 LNG 生产供应能力不确定性的重要因素萃取

关键成功因素可帮助企业在进入某产业、市场前充分了解并发展该产业的关键成功因素，并以此建立竞争性策略，进而获取竞争优势[12] [13]。有鉴于关键成功因素应用之效益，本文透过问卷调查探讨 LNG 产业影响生产供应能力不确定性之影响关键因素，以利 LNG 业者在转型与发展过程时，在资源有限的情况下可将资源投入关键的因素中，以增加 LNG 业者成功转型与发展的机会。

根据表 1 所汇整的影响国内天然气生产供应能力的不确定因素作为研究问卷的问项。本问卷采用 Likert 五点量表，受访者对问卷的每一个问项的重要性进行回答，其中非常重要表示为 5 分，重要表示为

4分, 普通表示为3分, 不重要表示为2分, 非常不重要表示为1分, 问卷在线填答的网址为 <https://www.wjx.cn/vm/tvWAFtj.aspx>。本文采用滚雪球抽样方式(Snowball sampling), 主要是因为受限于受访者具有专业性且数量有限, 因此通过此方式由受测者帮忙找寻下一个受访者填答问卷。根据问卷回收的数据结果, 再利用灰关联分析进行分析, 藉此萃取 LNG 产业影响生产供应能力之关键因素。

灰关联分析的详细执行步骤说明如下:

Step 1. 首先, 差序列值 $\Delta_{0i}(k)$ 定义为比较序列与参考序列之间的绝对差值, 表示为 $\Delta_{0i}(k) = |x_0(k) - x_i(k)|$, 其中比较序列定义为 $x_i = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(k)\}$, 表示为第 i 个受访者对问卷第 k 个题项的回答分数; 而参考序列定义为 $x_0 = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(k)\} = 5$, 因为 Likert 五点量表以 5 分表示最重视该问项所描述的影响程度。

Step 2. 根据式(1)可计算灰关联系数(Grey relational coefficient; r), 其中辨识系数(Distinguished coefficient; ζ)在于显示比较序列与参考序列之间的对比, 一般取平均值 0.5 [14]。当 r 越趋近于 1 时, 表示参考序列 x_0 与比较序列 x_i 的关联程度愈高; 反之越趋近于 0 时, 则表示两者间的关联程度愈低。

Step 3. 根据式(2)可计算灰关联度(Grey relational degree), 代表参考序列 x_0 与比较序列 x_i 之间的关联程度[15]。当问卷题项的灰关联度越大, 代表问卷题项所对应的因素重要程度也越大。

Step 4. 将 $\gamma(x_0, x_i)$ 由大到小进行排序, 即可得灰关联序(Grey relational sequence), 排越前面即为越重要之因素, 藉此即可找出影响 LNG 生产供给不确定性的关键因素。

$$\gamma(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(k) + \zeta \Delta_{\max}} \tag{1}$$

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma(x_0(k), x_i(k)) \tag{2}$$

最后, 利用 k-平均算法(k-means clustering)进一步将各因素的 $\gamma(x_0, x_i)$ 进行分群, 结果可分为 5 群(表 2), 再根据 Daniel 原则[16]的建议选择 3 至 6 项的成功关键因素, 作为选择重要因素数量的理论依据。因此共萃取 6 项重要因素, 分别为: “a4. 国际 LNG 价格”(灰关联度数值为 0.7407)、“a1. LNG 新勘探技术的应用”(灰关联度数值为 0.7130)、“a11. LNG 管道输送能力”灰关联度数值为 0.6767)、“a3. 国际的 LNG 生产和供应能力”(灰关联度数值为 0.6667)、“a10. LNG 储罐存储能力”(灰关联度数值为 0.5880)以及 “a2. 国际市场 LNG 的需求和进口量”(灰关联度数值为 0.5833)。

4. 对策分析

根据上述萃取出的 6 个重要关键因素, 接着采用 TRIZ 分析法提出各因素相应的改善对策。

4.1. 拟定策略

首先针对 “a4. 国际 LNG 价格” 问题, 根据 TRIZ 分析法 4 个步骤来拟订改善策略[17]。

Table 2. Grey relational degree and grey relational sequence

表 2. 灰关联度与灰关联序

因素编号	灰关联度	灰关联序	组别
a4	0.7407	1	1
a1	0.7130	2	2
a11	0.6767	3	3
a3	0.6667	4	3

续表

a10	0.5880	5	
a2	0.5833	6	4
a5	0.5556	7	
a8	0.5556	8	
a7	0.5509	9	5
a9	0.5481	10	
a6	0.5324	11	

4.1.1. 叙述问题内容

国际 LNG 价格通常以单位热值计价(美元/MMB TU)，当国际 LNG 价格可以保持稳定时，可以适当降低 LNG 进口风险，确保 LNG 供给的稳定性。然而，影响国际 LNG 价格的因素众多且复杂，涉及许多不确定性的因素，例如国际 LNG 价格与国际油价相关，在图 1 中显示 2010 年到 2018 年 LNG 日本进口到岸价、LNG 德国平均进口价、LNG 美国亨利港价格、LNG 加拿大阿尔伯塔价格、以及 OECD 原油价格的趋势变化[18]，图中显示 LNG 价格与原油价格的变化趋势是一致的。因此在传统 LNG 价格预测模型中，会将国际油价作为预测国际 LNG 价格的参数[19] [20]。此外，国际 LNG 价格也可能与天然气供给与需求的现状及未来趋势有关，或是与全球经济活动的形势有关。

4.1.2. 定义问题的改善与恶化参数

根据“a4. 国际 LNG 价格”问题的定义可知，由于国际 LNG 价格会受到国际原油价格、天然气供给与需求的现状及未来趋势、或是受到全球的经济活动形势等外在因素的影响，而维持国际 LNG 价格的稳定，可以适当地降低 LNG 进口风险，确保 LNG 供给的稳定性，因此改善参数(Improving parameter)可以从表 3 中的 39 个工程参数[21]中对应选择为“35. 适合性—系统或物体外在条件改变后，仍能运作的的能力”，也就是希望国际 LNG 价格能够适应外界因素改变，维持其价格的稳定性。然而，当国际 LNG 价格长期处在一个稳定的水平时，可能对导致 LNG 供给市场缺乏活力，因此恶化参数(Worsening parameter)可以从表 3 中的 39 个工程参数中对应选择为“39. 生产性—单位时间内完成操作的次数”。

4.1.3. 根据改善与恶化参数找出对应的创新原则

根据改善参数“35. 适合性—系统或物体外在条件改变后，仍能运作的的能力”与恶化参数“39. 生产性—单位时间内完成操作的次数”，对应矛盾矩阵的创新原则共有四项，针对“a4. 国际 LNG 价格”因素所选择的合适创新原则有“原则 6: 普遍性(Universality)”、“原则 35: 改变参数(Parameter Change)”、以及“原则 37: 热膨胀(Thermal Expansion)”。

4.1.4. 根据创新原则的内涵拟定改善策略

Table 3. 39 engineering parameters [21]

表 3. 39 个工程参数[21]

参数名称	参数名称	参数名称
1. 移动件重量 (Weight of moving object)	14. 强度(Strength)	27. 可靠度(Reliability)
2. 固定件重量 (Weight of nonmoving object)	15. 移动件耐久性 (Durability of moving object)	28. 量测精确度 (Accuracy of measurement)
3. 移动件长度 (Length of moving object)	16. 固定件耐久性 (Durability of nonmoving object)	29. 制造精确度 (Accuracy of manufacturing)

续表

4. 固定件长度 (Length of nonmoving object)	17. 温度(Temperature)	30. 物体上有害因子 (Harmful factors acting on object)
5. 移动件面积(Area of moving object)	18. 亮度(Brightness)	31. 有害的副作用 (Harmful side effects)
6. 固定件面积 (Area of nonmoving object)	19. 移动件消耗能量 (Energy spent by moving object)	32. 制造性(Manufacturability)
7. 移动件体积 (Volume of moving object)	20. 固定件消耗能量 (Energy spent by nonmoving object)	33. 使用方便性(Convenience of use)
8. 固定件体积 (Volume of nonmoving object)	21. 动力(Power)	34. 可修理性(Repairability)
9. 速度(Speed)	22. 能量浪费(Waste of energy)	35. 适合性(Adaptability)
10. 力量(Force)	23. 物质浪费(Waste of substance)	36. 装置复杂性(Complexity of device)
11. 张力、压力(Tension, pressure)	24. 信息丧失(Loss of information)	37. 控制复杂性 (Complexity of control)
12. 形状(Shape)	25. 时间浪费(Waste of time)	38. 自动化程度(Level of automation)
13. 物体稳定性(Stability of object)	26. 物质数量(Amount of substance)	39. 生产性(Productivity)

首先，“原则 6：普遍性(Universality)”的解释是使物体或结构能执行多项功能。因此，根据“原则 6：普遍性(Universality)”的解释，针对“a4. 国际 LNG 价格”所拟定策略(A1)为采用弹性合约，合理掌控国际 LNG 价格的趋势变化，进而有效的控制 LNG 采购成本，并确保 LNG 供给的稳定性。

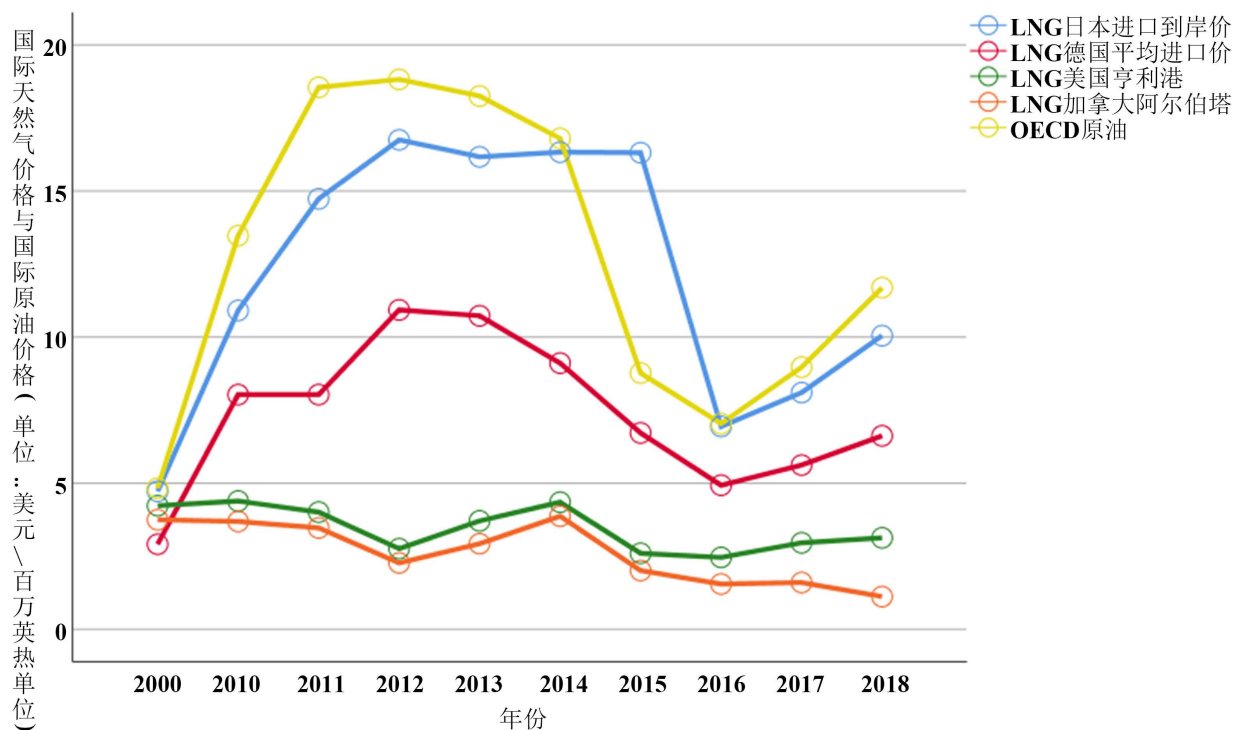


Figure 1. International LNG prices and international crude oil prices [18]

图 1. 国际 LNG 价格与国际原油价格[18]

早期LNG市场主要是以长期合约为主的市场交易模式,这是因为早期国际上的LNG市场规模较小,市场上的买家及卖家数量较少,因此在市场选择不多的情况下,买卖双方采取签订长期合约的模式,对于LNG买方可以确保LNG供气的稳定性,而对于卖方也可以有稳定的收入来源,这样对于买卖双方皆有保障。一般来说,LNG长期合约期限大约约落在20~25年之间,且合约中对于LNG的价格多数会与国际原油价格连动,导致LNG市场合约弹性很小,除非利用「价格重议」(pricing review)条款,在触发特定市场条件,则可以定期检查及协商新LNG价格公式。然而近年来,LNG市场合约有着明显的改变,主要是因为澳洲、美国及俄罗斯等国家的LNG出口产能增加,导致LNG市场的供给过剩,使得买家对于LNG市场的选择性增加,进而导致LNG长期合约对买家的重要性逐渐下降。因此LNG市场合约开始朝向订购量变小、合约年限长度缩短、以及LNG价格计算公式的改变,降低长期合约对于买家LNG采购策略的限制,使得LNG市场逐渐转向买方市场,致使这样具弹性的定期合约越来越受买家的接受。

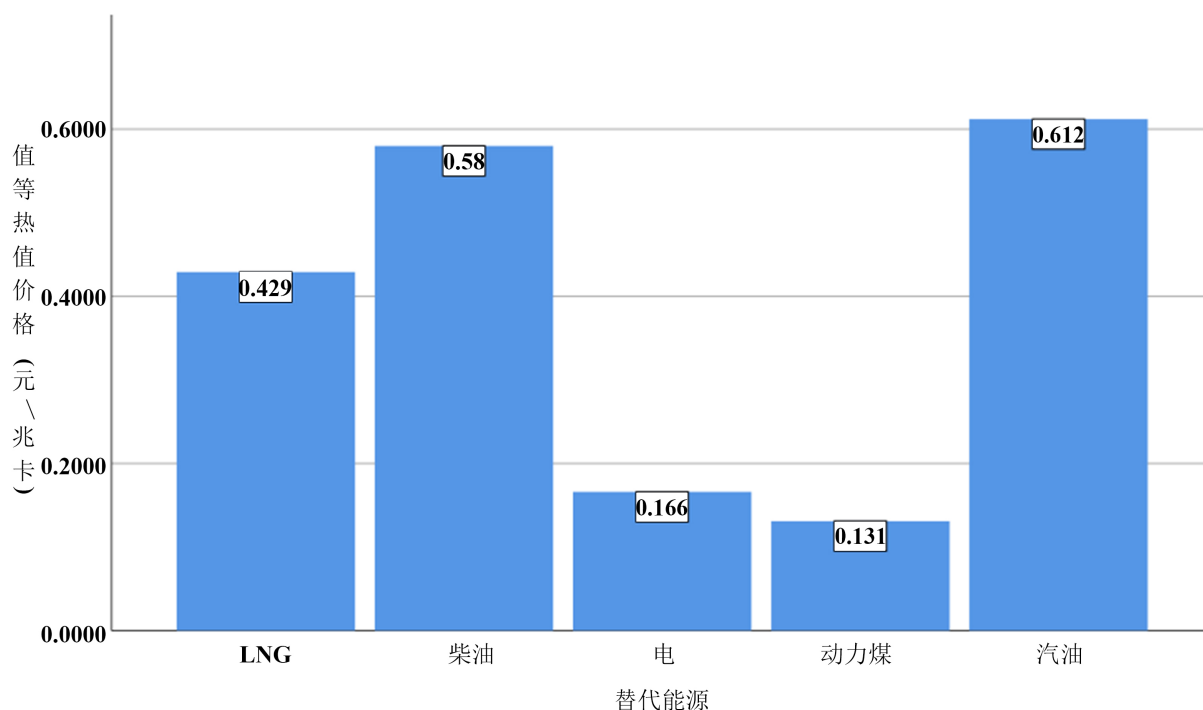


Figure 2. Thermal equivalent price of related alternative energy sources [22]

图 2. 相关替代能源的热等值价格[22]

其次,“原则 35: 改变参数(Parameter Change)”的解释是改变物体或系统的物理状态,因此针对“a4. 国际 LNG 价格”所拟定策略(A2)可以通过建立一个有效的 LNG 价格预测模型预测 LNG 价格未来趋势的变化,藉此可以了解未来 LNG 价格市场上的变动及其幅度,掌握 LNG 价格变动对 LNG 供给的影响,并可以此拟定 LNG 采购策略,保障能源供给的稳定性。

最后,“原则 37: 热膨胀(Thermal Expansion)”的解释是若是热膨胀已被使用,则使用不同膨胀系数的多重材料。因此,“原则 37: 热膨胀(Thermal Expansion)”的解释,针对“a4. 国际 LNG 价格”所拟定策略(A3)为搭配其他替代能源的使用,确保能源供给的稳定性,例如柴油、电、动力煤、或是汽油。

图 2 为 LNG 与其他替代能源(例如柴油、电、动力煤、或是汽油)在 2017 年的等热值价格。当时由于动力煤的价格在相对低价,因此动力煤的等热值价格最低,为 0.131 元/兆卡;柴油与汽油的等热值价

格较高，分别为 0.580 元/兆卡以及 0.612 元/兆卡；另外电力与 LNG 介于中间，分别为 0.166 元/兆卡以及 0.429 元/兆卡，因此可知能源的等热值价格会随着能源的价格波动[22]。而未来，在伴随着能源科技技术的进步下，其他绿色能源如太阳能、风力等的发展应用会更加的成熟，将使得能源多元化成为发展趋势，这将使得对 LNG 替代能源的选择更具有弹性，也能更为确保能源供给的稳定性。

4.2. 策略汇总

接着，“a1. LNG 新勘探技术的应用”问题主要在于为了满足对于能源的需求以及减少对环境的污染影响，像是 LNG 这样的绿色清洁能源将扮演重要的角色。因此，为了保障 LNG 的供给需求，则是需要相关新勘探技术的研发与应用，例如页岩气是近期 LNG 成熟新勘探技术的使用，可从页岩层中开采出来的天然气。我国页岩气蕴藏量丰富，图 3 中显示我国页岩气产量从 2013 年的 2 亿立方米增长至 2020 年的 200.4 亿立方米，成长高达 100 倍左右[23] [24]，表示我国页岩气勘探技术的应用取得突破性的进步，对来对于页岩气的供给是具有相当的潜力与开发前景。因此，保障 LNG 供给的稳定性，需要适时研发或导入新的 LNG 勘探技术。但是，新勘探技术的研发与应用，有时也不一定能够取得有效生产量的保证。因此选择改善参数为“10. 力量一试图改变物体状态的任何子系统间之互动”；而恶化参数为“39. 生产性一单位时间内完成操作的次数”，即信息无法取得或利用。

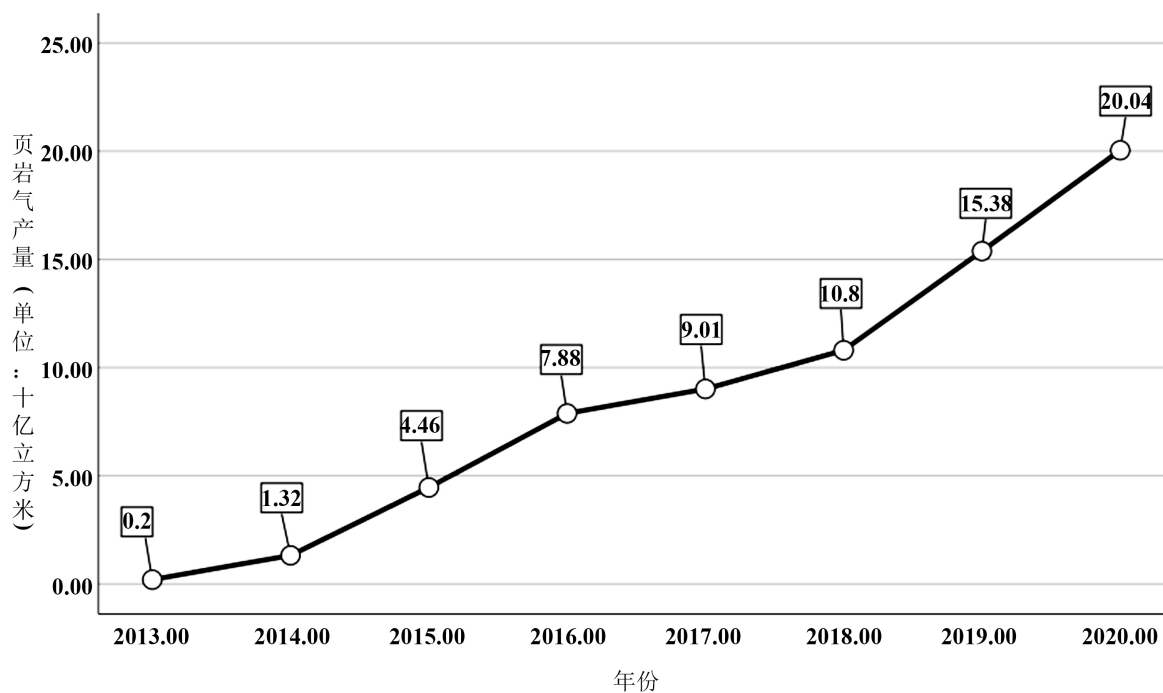


Figure 3. Shale gas production in China [23] [24]

图 3. 我国页岩气产量[23] [24]

“a11. LNG 管道输送能力”问题主要在于我国 LNG 集输管线建设相比于其他国家仍然具有较大差距。在图 4 中显示 2018 年时我国的 LNG 集输管线建设总长度约为 7.7 万公里，而美国约为 51.38 万公里 [25]，到了 2020 年时，我国的 LNG 集输管线建设总长度约为 8.6 万公里[26]。因此为了保障 LNG 供给的稳定性，需要积极建设 LNG 管道运输网络系统的密度，故对应的改善参数为“26. 物质数量一制造一系统所需的组件数目”，也就是增加可利用资源数量总额。然而，增加 LNG 管道运输网络系统的密度，需要投入建设成本，故对应的恶化参数为“19. 移动件消耗能量一移动物体在其做用期间所消耗的能量”。

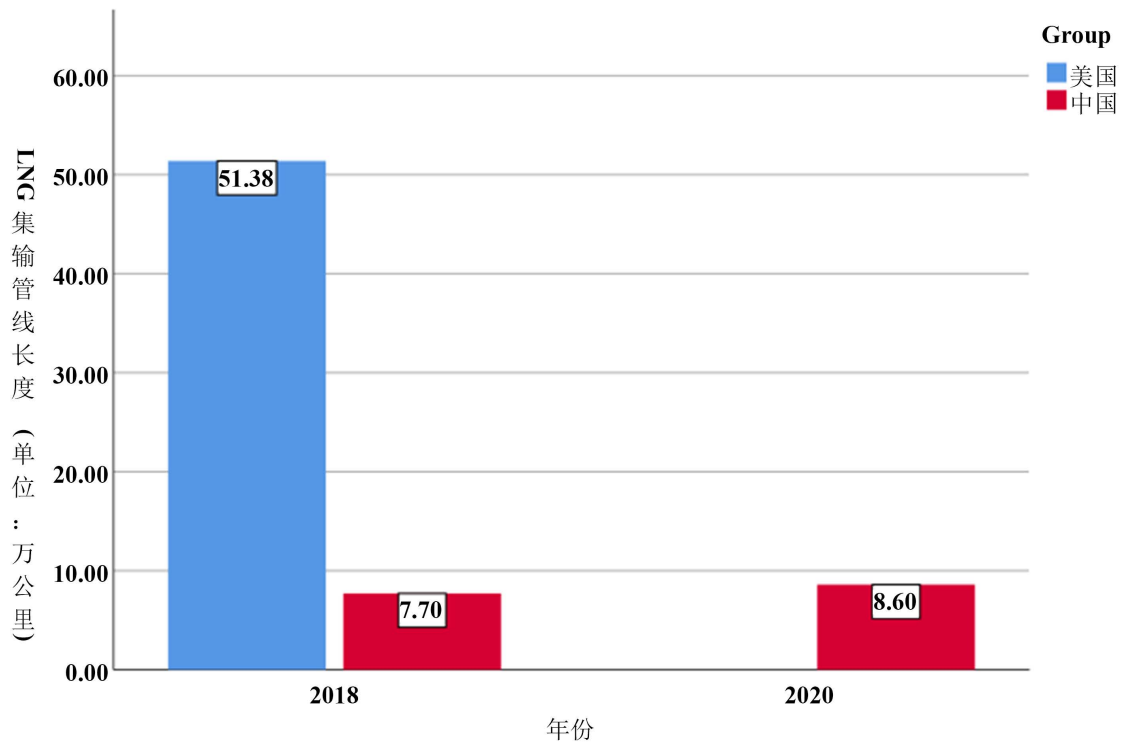


Figure 4. Length of LNG pipelines for centralized transportation [25] [26]

图 4. LNG 集输管线长度[25] [26]

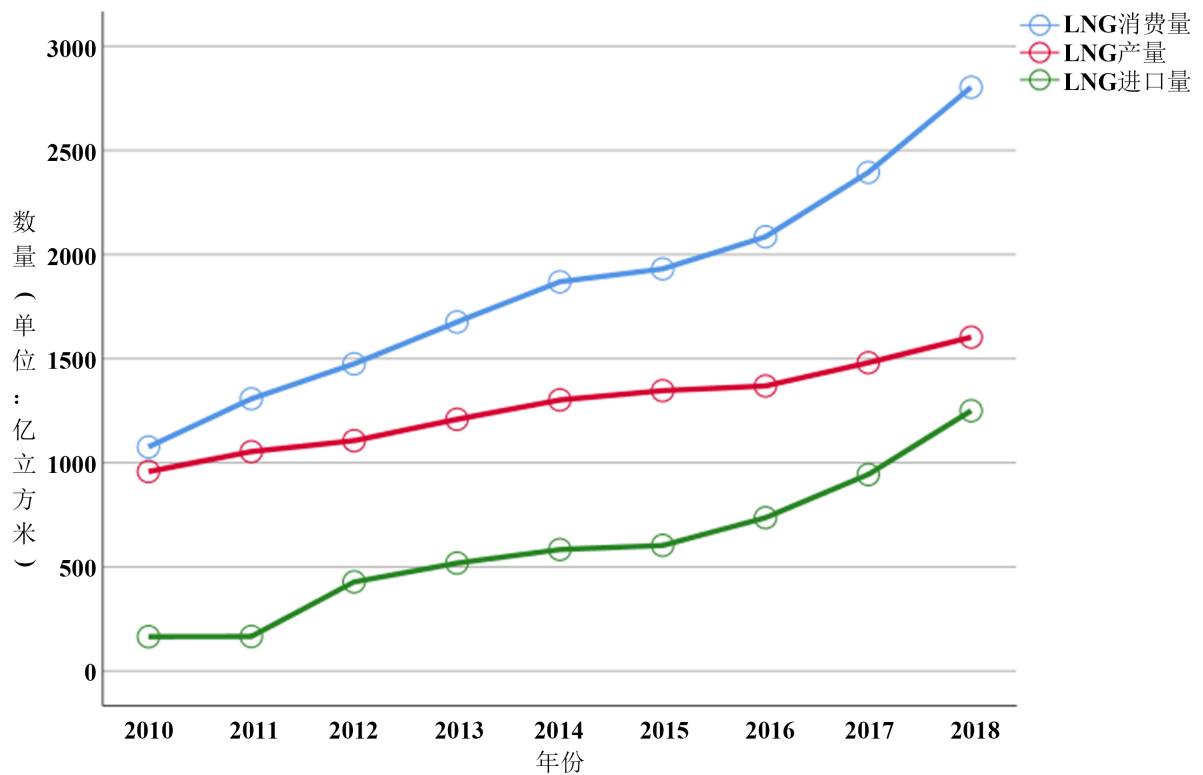


Figure 5. Demand, production, and import volume of LNG in China [18]

图 5. 我国天然气需求量、生产量与进口量[18]

“a3. 国际的 LNG 生产和供应能力”问题主要在于 LNG 供给和需求的不平衡。2019 年与 2020 年我国天然气产量分别为 1761.74 亿立方米和 1925 亿立方米，但 2019 年与 2020 年我国天然气需求消费量则分别为 3067 亿立方米和 3240 亿立方米[18]，因为我国天然气消费量是超过国内的生产量，因此国际 LNG 生产和供应能力将影响到我国 LNG 供给的稳定性。从图 5 可以看出，从 2010 开始，我国对于 LNG 需求消费量与 LNG 产量的差距逐年增加，因此为保障 LNG 供给的需要，所以 LNG 的进口量也随之增加，在 2020 年我国 LNG 进口量来到 1403 亿立方米。因此为了保障 LNG 供给的稳定性，需要积极开拓 LNG 进口来源的多源化，故选择改善参数为“26. 物质数量—制造一系统所需的组件数目”。然而，开拓 LNG 进口来源的多源化，可能增加 LNG 气源供应商管理难度，造成订货成本费用的增加，故选择恶化参数为“23. 物质浪费—对系统工作没有贡献所消耗的物质”。

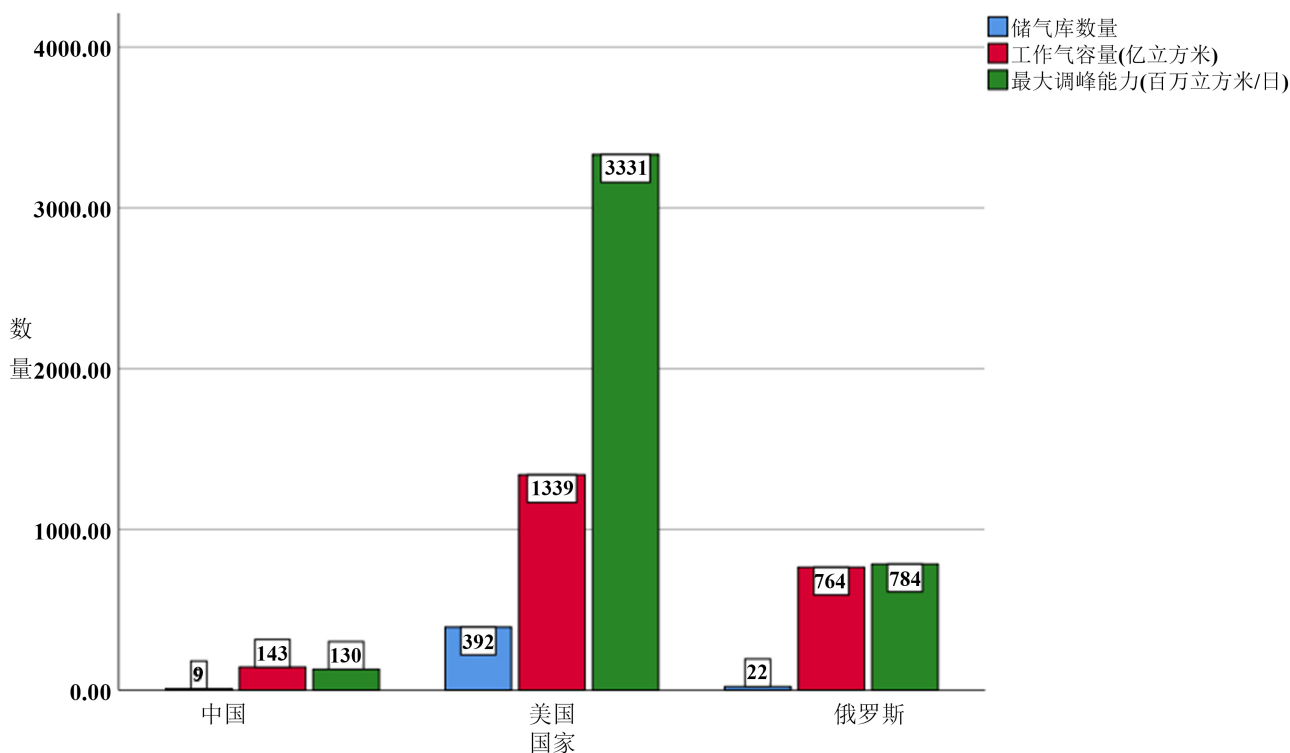


Figure 6. Comparison of underground LNG storage facilities between China, USA, and Russia [27]

图 6. 中美俄三国地下储气库对比[27]

“a10. LNG 储罐存储能力”问题主要在于目前 LNG 储罐存储能力不足。LNG 储罐是 LNG 产业链中的核心装备，LNG 储罐的存储能力有效提升，将能够大幅提高 LNG 存储周转能力，对保障我国 LNG 供应稳定性具有重要作用[3]。图 6 是 2017 年时中美俄三国地下储气库数量、工作气容量(亿立方米)以及最大调峰能力(百万立方米/日)的比较[27]，经过发展在 2020 年时我国储气库工作气量也已经达到 147 亿立方米[26]，但相比较之下我国在地下储气库的发展上还有很大的发展空间。因此为了保障 LNG 供给的稳定性，需要积极建设 LNG 储罐并增加存储能力，故选择改善参数为“26. 物质数量—制造一系统所需的组件数目”。然而，LNG 储罐的建设成本高昂，如中石油投资建设的呼图壁储气库，其投资金额约为 110 亿人民币，而中石油投资建设的相国寺储气库，也需要高达 144 亿人民币的投资成本[25]，这些高昂的投资成本造成企业投资的压力，故选择恶化参数为“31. 有害的副作用—作用于系统的内部影响力，造成系统品质降低”。

“a2. 国际市场 LNG 的需求和进口量”问题主要在于我国 LNG 需求与供给的不平衡。图 5 所示，我国对于 LNG 需求消费量与 LNG 产量的差距逐年增加，因此为保障 LNG 供给的需要，所以 LNG 的进口量也随之增加。但是当我国天然气对外依存度越高，国家能源安全程度就越低，因此未来应该要加强 LNG 供给与需求的平衡。因此需要从国际上进口 LNG 以满足国内 LNG 供给与需求的平衡，故选择改善参数为“29. 制造精确度—物体真正特性与设计特性接近的程度”。然而，在 LNG 供给与需求的平衡下，当遇到需求突然增加时，可能会造成供给无法满足而导致需求缺口的产生，故选择恶化参数为“27. 可靠度—系统适当执行其功能的能力”。最后，将 6 个重要关键因素所有的改善策略汇总于表 4。

Table 4. Improvement strategies
表 4. 改善策略

关键核心问题	改善参数	恶化参数	创新原则	策略规划
a4. 国际 LNG 价格	35. 适合性	39. 生产性	原则 6: 普遍性 原则 35: 改变参数 原则 37: 热膨胀	A1: 采用弹性合约, 合理掌控国际 LNG 价格的趋势变化, 进而有效的控制 LNG 采购成本, 并确保 LNG 供给的稳定性。 A2: 建立一个有效的 LNG 价格预测模型预测 LNG 价格未来趋势的变化, 藉此可以了解未来 LNG 价格在市面上的变动及其幅度, 掌握 LNG 价格变动对 LNG 供给的影响, 并可以此拟定 LNG 采购策略, 保障能源供给的稳定性。 A3: 搭配其他替代能源的使用, 确保能源供给的稳定性, 例如柴油、电、动力煤、或是汽油。
a1. LNG 新勘探技术的应用	10. 力量	39. 生产性	原则 35: 改变参数	A4: 建设实验平台, 针对勘探技术进行实验模拟评价研究, 通过实验的模拟, 验证勘探技术的可行, 为验证 LNG 成藏条件规律和勘查技术提供可靠的模拟实验环境。 A5: 通过改变研发新技术小组结构, 例如与高校和企业建立合作伙伴, 让 LNG 的新勘探技术可以获得充分的扩展空间。
a11. LNG 管道输送能力	26. 物质数量	19. 移动件消耗能量	原则 1: 区隔	A6: 在规划建设 LNG 管道运输网络系统时可以根据不同的规划目的进行规划布局。
a3. 国际的 LNG 生产和供应能力	26. 物质数量	23. 物质浪费	原则 10: 初步的动作 原则 24: 中介	A7: 规划 LNG 海外探勘投资计划, 保障 LNG 供给的安全与稳定。 A8: 建立 LNG 需求预测模型, 评估 LNG 需求与 LNG 供给量的缺口, 以此规划未来的 LNG 采购模式与储备量。 A9: 通过第三方物流或是自建 LNG 的船舶运力, 连接 LNG 供应链上下游, 以此建立一个稳定的 LNG 供应链。
a10. LNG 储罐存储能力	26. 物质数量	31. 有害的副作用	原则 35: 改变参数	A10: 改变 LNG 储罐投资建设的结构, 例如采用合资合作的建设模式, 开拓资金渠道, 分散降低投资 LNG 储罐建设的风险。
a2. 国际市场 LNG 的需求和进口量	29. 制造精确度	27. 可靠度	原则 11: 事先缓冲	A11: 为长期合约与弹性合约配合使用, 以长期合约的供给量作为 LNG 储存供给量, 当 LNG 实际需求与长期合约的供给量出现缺口时, 再利用弹性合约购买 LNG 现货补足 LNG 需求缺口。

4.3. 建立短中长期策略规划

根据表 4, 针对「影响我国天然气生产供应能力的不确定因素」本文共发展出 11 项的创新改善策略, 根据这 11 项策略的内容本文将归纳为三类, 分别为: 气源供给策略、气源采购策略、以及气源储运策

略。同时，为使这 11 项策略能有效使用，以下将针对 11 项策略以短、中、长三个阶段说明策略发展的先后顺序。透过实行策略耗费的时间长短，执行难易，为天然气生产供应能力的发展划归纳出在各阶段使用的策略，如表 5 所示。

第一，“气源供给策略”共有 4 项策略，分为 A3、A4、A5、以及 A7。为了确保天然气生产供应能力的稳定性，短期供给策略应该考虑其他替代能源的使用，例如柴油、电、动力煤、或是汽油，以此确保能源供给的稳定性。接着，中期供给策略应该考虑建设实验平台，并可以与高校和企业建立合作伙伴，提升 LNG 新勘探技术的能力。最后，长期供给策略则是规划 LNG 海外探勘投资计划，保障 LNG 供给的安全与稳定。

第二，“气源采购策略”共有 4 项策略，分为 A1、A2、A8、以及 A11。为了确保天然气生产供应能力的稳定性，短期采购策略应该利用弹性合约购买 LNG 现货补足 LNG 需求缺口。接着，中期采购策略应该建立 LNG 价格预测模型，以此拟定 LNG 采购策略，保障能源供给的稳定性。最后，长期采购策略则是建立 LNG 需求预测模型，评估 LNG 需求与 LNG 供给量的缺口，以此规划未来的 LNG 采购模式与储备量。

第三，“气源储运策略”共有 3 项策略，分为 A6、A9、以及 A10。为了确保天然气生产供应能力的稳定性，短期储运策略应该通过第三方物流或是自建 LNG 的船舶运力，连接 LNG 供应链上下游，以此建立一个稳定的 LNG 供应链。接着，中期储运策略应该改变 LNG 储罐投资建设的结构，例如采用合资合作的建设模式，开拓资金渠道，分散降低投资 LNG 储罐建设的风险。最后，长期储运策略则是规划建设 LNG 管道运输网络系统。

Table 5. Short, medium, and long-term strategic planning

表 5. 短中长期策略规划

	短期	中期	长期
气源供给策略	A3: 搭配其他替代能源的使用，确保能源供给的稳定性，例如柴油、电、动力煤、或是汽油。	A4: 建设实验平台，针对勘探技术进行实验模拟评价研究，通过实验的模拟，验证勘探技术的可行，为验证 LNG 成藏条件和勘查技术提供可靠的模拟实验环境。 A5: 通过改变研发新技术小组结构，例如与高校和企业建立合作伙伴，让 LNG 的新勘探技术可以获得充分的扩展空间。	A7: 规划 LNG 海外探勘投资计划，保障 LNG 供给的安全与稳定。
气源采购策略	A1: 采用弹性合约，合理掌控国际 LNG 价格的趋势变化，进而有效的控制 LNG 采购成本，并确保 LNG 供给的稳定性。 A11: 为长期合约与弹性合约配合使用，以长期合约的供给量作为 LNG 储存供给量，当 LNG 实际需求与长期合约的供给量出现缺口时，再利用弹性合约购买 LNG 现货补足 LNG 需求缺口。	A2: 建立一个有效的 LNG 价格预测模型预测 LNG 价格未来趋势的变化，藉此可以了解未来 LNG 价格变动对 LNG 供给的影响，并可以此拟定 LNG 采购策略，保障能源供给的稳定性。	A8: 建立 LNG 需求预测模型，评估 LNG 需求与 LNG 供给量的缺口，以此规划未来的 LNG 采购模式与储备量。
气源储运策略	A9: 通过第三方物流或是自建 LNG 的船舶运力，连接 LNG 供应链上下游，以此建立一个稳定的 LNG 供应链。	A10: 改变 LNG 储罐投资建设的结构，例如采用合资合作的建设模式，开拓资金渠道，分散降低投资 LNG 储罐建设的风险。	A6: 在规划建设 LNG 管道运输网络系统时可以根据不同的规划目的进行规划布局。

5. 结论

本文的目的在于对我国 LNG 生产供给能力的现状进行分析，找出影响 LNG 生产供给能力的重要影

响因素,并根据重要影响因素建立相应的改善战略,以此建立 LNG 产业在生产供给能力的转型与发展战略规划。首先根据文献汇总 11 项 LNG 生产供给能力的影响因素,并通过灰关联分析法萃取出 6 项重要关键因素,分别为 a4. 国际 LNG 价格、a1. LNG 新勘探技术的应用、a11. LNG 管道输送能力、a3. 国际的 LNG 生产和供应能力、a10. LNG 储罐存储能力、以及 a2. 国际市场 LNG 的需求和进口量。最后,利用 TRIZ 分析法定制的 11 项改善策略,并将其归纳为三类,分别为:气源供给策略、气源采购策略、以及气源储运策略,接着拟定短、中、长期三阶段战略发展先后顺序,为 LNG 能源产业在生产供给能力的转型与发展战略提供决策支撑。

基金项目

本文受国家社科基金项目“大数据背景下 LNG 能源产业转型与发展战略问题研究”(19BGL013)的资助。

参考文献

- [1] 安钰龙,李源.对煤炭企业规划设计的几点思考[J].科技致富向导,2013(19):328.
- [2] 国家能源局.国务院办公厅关于印发能源发展战略行动计划(2014-2020年)的通知[EB/OL].
http://www.nea.gov.cn/2014-12/03/c_133830458.htm,2014-12-03.
- [3] 邹才能,李君,杨慎,杨智,何东博,位云生,李剑,贾爱林,陈建军,赵群,李易隆,李君,杨慎.常规-非常规天然气理论、技术及前景[J].石油勘探与开发,2018,45(4):575-587.
- [4] 国际天然气网.2020年中国天然气行业供需产量增幅创新高[EB/OL].
<https://gas.in-en.com/html/gas-3401616.shtml>,2020-09-05.
- [5] 前瞻经济学人.2020年中国天然气行业供需现状与发展趋势分析产量增幅创新高[EB/OL].
<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1676598941114921166&wfr=spider&for=pc>,2020-09-01.
- [6] 华贲,罗家喜.国际 LNG 市场价格走势分析[J].天然气工业,2007,27(1):140-144.
- [7] 华经情报网.2019年中国液化天然气运行现状分析,未来 LNG 液态运输方式多样化[EB/OL].
<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1648895275069508626&wfr=spider&for=pc>,2019-10-31.
- [8] 谢丹.国内天然气定价方式对 LNG 进口的影响[J].天然气工业,2009(5):122-124.
- [9] 王保庆.天然气液化技术及其应用[J].天然气工业,2004,24(7):92-95.
- [10] 中国能源网.LNG 接收站建设似应审慎行事[EB/OL].
<https://www.china5e.com/news/news-1102226-1.html>,2020-10-22.
- [11] 戚爱华,杨雷.关于我国天然气产业市场化发展模式的几点思考[J].中国能源,2020,42(8):16-20,39.
- [12] Ketelhöhn, W. (1998) What Is a Key Success Factor? *European Management Journal*, **16**, 335-340.
[https://doi.org/10.1016/S0263-2373\(98\)00010-3](https://doi.org/10.1016/S0263-2373(98)00010-3)
- [13] David, A.A. (2005) *Strategic Market Management*. 7th Edition, John Wiley & Sons, Hoboken.
- [14] Deng, J.L. (1989) Introduction to Grey System Theory. *The Journal of Grey System*, **1**, 1-24.
- [15] Deng, J.L. (1997) A Novel GM (1,1) Model for Non-Equigap Series. *The Journal of Grey System*, **9**, 111-116.
- [16] Daniel, D.R. (1961) Management Information Crisis. *Harvard Business Review*, **39**, 111-121.
- [17] Savransky, S.D. (2002) *Engineering of Creativity: Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving*. CRC Press, Boca Raton. <https://doi.org/10.1201/9781420038958>
- [18] 王庆一.2019 能源数据[M].北京:绿色创新发展中心,2019.
- [19] 许军,赵倩琼.LNG 进口价格与国际原油价格相关性研究[J].市场经济与价格,2015(5):34-37.
- [20] 肖建忠,王璇.我国液化天然气现货价格的传导机制[J].经济管理,2019,39(11):117-125.
- [21] Kao, C.K. and Chen, A.P. (2018) Service Blueprint Development for China's College Campus Express Delivery Based on Grey Relational Analysis and TRIZ. *Journal of China Studies*, **21**, 217-247.
<https://doi.org/10.20288/JCS.2018.21.4.217>
- [22] 郭一凡,蒲强,霍堃,陈铖,何雄.替代燃料对石油需求的冲击究竟有多大?能源转型系列报告之一[R].成都:

国金证券, 2017.

- [23] 中国电力网. 2020 年中国页岩气行业市场分析[EB/OL].
<http://mm.chinapower.com.cn/zx/hyfx/20200320/11947.html>, 2020-03-20.
- [24] 马新华, 张晓伟, 熊伟, 刘钰洋, 高金亮, 于荣泽, 孙玉平, 武瑾, 康莉霞, 赵素平. 中国页岩气发展前景及挑战[J]. 石油科学通报, 2023, 8(4): 491-501.
- [25] 罗四维, 徐昆, 仝薛阳. 天然气基础设施建设任重道远-管道建设加速创万亿市场[R]. 北京: 东兴证券, 2019.
- [26] 全国能源信息平台. 中国能源大数据报告(2021)天然气篇[EB/OL].
<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1702774692974262023&wfr=spider&for=pc>, 2021-06-17.
- [27] 重庆石油天然气交易中心. 差距有多大? 中美俄三国地下储气库对比[EB/OL].
<https://www.chinacqpx.com/hy/shownews?id=3046>, 2019-07-03.