

中国天然气价格改革的关键因素及策略发展路径研究

高清贵¹, 庄拯², 张雨嫣², 陈广泽², 费晟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7月23日; 录用日期: 2024年8月27日; 发布日期: 2024年11月11日

摘要

我国天然气(Liquefied natural gas, LNG)价格存在不能及时反映市场信息、与进口LNG的价格倒挂、交叉补贴等问题, 因此本文首先整理这三个问题的10项影响因素, 再利用灰关联分析从这些影响因素中萃取重要关键因素, 接着再利用TRIZ分析建立改善策略, 并使用解释结构模型法建置系统化LNG价格改善策略发展路径。根据分析结果, 本文根据灰关联分析找出5项关键因素, 并使用TRIZ建立12项改善策略, 可归纳为三类, 分别为: 供给技术策略、预警机制策略、以及成本改善策略, 同时拟定短、中、长期三阶段策略发展先后顺序, 为LNG价格改善规划提供决策支撑。

关键词

天然气, 价格, 关键因素, 策略发展

Research on the Key Factors and Strategic Development Path of LNG Price Reform in China

Chingkuei Kao¹, Zheng Zhuang², Yuyan Zhang², Guangze Chen², Sheng Fei²

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

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

Received: Jul. 23rd, 2024; accepted: Aug. 27th, 2024; published: Nov. 11th, 2024

Abstract

In China, the price of liquefied natural gas (LNG) has problems, such as the inability to reflect market

文章引用: 高清贵, 庄拯, 张雨嫣, 陈广泽, 费晟. 中国天然气价格改革的关键因素及策略发展路径研究[J]. 低碳经济, 2024, 13(4): 228-243. DOI: 10.12677/jlce.2024.134022

information promptly, price inversion with imported LNG, and cross-subsidization. Therefore, this paper first identifies the ten factors influencing these three problems. Then, the grey relational analysis is used to extract key factors from these influencing factors. Next, TRIZ analysis is used to establish improvement strategies, and the interpretive structural modeling is used to establish the systematic development path of the LNG price improvement strategy. According to the analysis results, this paper finds out five key factors based on grey relational analysis, and then 12 improvement strategies are established by TRIZ, which can be summarized into three categories: supply technology strategy, early warning mechanism strategy, and cost improvement strategy. Meanwhile, the development sequence of short-term, medium-term, and long-term strategies is formulated to provide decision-making support for LNG price improvement planning.

Keywords

Liquefied Natural Gas, Price, Key Factor, Strategic Development

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

LNG 价格多数为与国际原油价格连动, 尤其是在国际 LNG 市场需求量巨大的亚太地区, 例如我国 LNG 长期合约价格经常以日本进口原油加权平均价(Japan Crude Cocktail, JCC)作为交易价格指针[1]。因 LNG 价格与国际原油价格连动之下, 使得 LNG 价格透明度无法确实反映市场实质价格。此外, 因为澳洲、美国及俄罗斯等国带动全球 LNG 出口产能供给, 导致国际 LNG 市场呈现供过于求的情况[2]。在市场 LNG 现货供给充足之情况下, 买家对于 LNG 气源的选择性增加, 使得 LNG 长期合约的重要性逐渐下降, 因此更具交易灵活与价格透明的 LNG 短期贸易或长短期结合贸易形式逐渐兴起[3]。

当 LNG 进口后在国内经营过程中, 居民 LNG 用气价格长期与进口 LNG 的价格倒挂(Price Inversion)[4]。由于我国是 LNG 进口大国, 在进口 LNG 价格上升时, 相比于工业用户而言, 居民用户的 LNG 用量较少, LNG 单位运营成本会高于工业用户, 因此居民 LNG 用气价格往往显著高于工业 LNG 用气价格。但是终端 LNG 销售价格会受地方政府管控, 因此形成居民 LNG 用气价格倒挂的问题。由于目前居民 LNG 用气价格较低, 对于 LNG 企业来说, 为了避免亏损采用交叉补贴(Cross Subsidization)方式, 通过工业用户的 LNG 用气利润来补贴居民用户 LNG 用气部分[5]。

确保 LNG 价格稳定是能源发展的重要任务之一, 因此为了解我国 LNG 价格的影响因素, 本文首先通过相关文献对我国 LNG 价格现状进行了解, 并汇总整理影响我国 LNG 价格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 价格的重要因素, 以此帮助 LNG 企业将有限的企业资源投入在较重要、较关键的因素上, 增加其成功改善 LNG 价格的机会。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, 并运用解释结构模型法(Interpretive Structural Modeling, ISM) [6]建置系统化 LNG 价格改善策略发展路径。传统对问题的「改善策略」往往取决于研究者本身的思维模式, 可以通过类似传统脑力激荡(Brainstorming)或是深层访谈法(In-Depth Interviews)整合不同的意见之外, 来协助问题的「改善策略」规划。本文则是有别于传统脑力激荡或深层访谈法产生新观点和问题解决方法, 根据 TRIZ 与 ISM 一定的程序与步骤进行问题的「改善策略」规划, 而非仅是随机或天马行空的跳跃式思考。因此, 本文建立 LNG 价格改善策略发展的标准作业流程, 以此建立短中长期策略规划, 为我国 LNG 价格改善规划提供参考。

2. 文献综述

当前我国 LNG 价格主要存在三个问题：一是 LNG 价格不能及时反映市场信息，不能充分反映 LNG 的稀缺性，亦不能抑制居民对 LNG 过度的消费；二是进口 LNG 的价格倒挂对 LNG 供应企业形成较大压力，同时 LNG 的涨价给电力、工业用户增加成本压力，从而制约部分工业燃料用户煤改气的进程；三是工业用户和城镇居民用户 LNG 价格关系不顺，形成交叉补贴。而影响上述三个问题的因素可以从供给需求、成本供给、政策等方面来看，详细内容整理于表 1。

Table 1. Uncertain factors affecting domestic LNG price reform

表 1. 影响国内天然气价格改革的不确定性因素

因素名称	因素内容	文献来源
c1. LNG 新勘探技术的应用	新勘探技术的应用，提升 LNG 产量，影响 LNG 供给与需求的平衡，进而影响 LNG 市场价格的震荡。	[7]
c2. 节性需求规律	冬季是 LNG 的消费旺季，气温越低，LNG 用量越高，因此在需求预期增长下，一定程度上可能会影响 LNG 价格。	[8]
c3. 替代能源价格	原油和煤炭在民生消费能源与工业能源上是 LNG 的替代能源，而原油、煤炭、LNG 三者之间的价格存在着长期均衡关系。一般来说，LNG 价格受到替代能源原油和煤炭价格的影响较大；而 LNG 价格对替代能源原油和煤炭的价格影响很小。	[9]
c4. 国际 LNG 价格	国际 LNG 价格主要是根据国际原油价格测算，具有及时性，是衡量国际 LNG 价格水平的重要标尺和价格涨跌的重要风向标。	[10]
c5. LNG 贸易合同方式	LNG 产业目前仍然是以“照付不议，长期合同”模式生存。所谓“照付不议”，是天然气供应的国际惯例和规则，就是指在市场变化情况下，付费不得变更，用户用气未达到此量，仍须按此量付款；供气方供气未达到此量时，要对用户作相应补偿。虽然国际 LNG 价格与原油价格挂钩，但又受到“照付不议，长期合同”合同模式的控制。	[11]
c6. 运营成本	产品成本除了生产发生的各项费用，还包括运营、管理和销售费用等。因此，LNG 的生产成本包含开采费用、净化液化费用、出口国征收的税赋和出口企业的利润等构成，而运营、管理成本主要包含运输费用、接收站和汽化、管输费用等。	[12]
c7. LNG 库存变化	影响 LNG 供需形势及预期心理的主要因素是天气、库存及产量等。当 LNG 低库存时会影响 LNG 供给量，对 LNG 市场价格可能会起到一定的预期心理作用。	[13]
c8. LNG 供给建设补贴政策	国家发改委对 LNG 应急储气设施的补助政策，主要是为解决 LNG 应急储气设施，避免出现供不应求造成断气现象，鼓励和推动社会资本积极投入到 LNG 储气设施的建设行列，平衡供给与需求，也可降低 LNG 市场价格的波动。	[14]
c9. LNG 价格完全放开的政策	根据国家发改委关于调整天然气价格的通知(发改价格[2013] 1246 号)中明确规定：页岩气、煤层气、煤制气出厂价格，以及液化天然气气源价格放开，由供需双方协商确定。但 LNG 气源处于高度垄断的状态，供需双方进行价格洽商的可操作性很低，难以形成市场自由化。	[15]
c10. LNG 价格补贴政策	冬季是 LNG 的消费旺季，通过价格补贴政策，稳定 LNG 市场价格波动，降低居民用气需求的影响。	[16]

首先，在供给需求方面：“c1. LNG 新勘探技术的应用”、“c2. 节性需求规律”、以及“c7. LNG 库存变化”会影响 LNG 供给与需求的平衡，进而影响 LNG 市场价格的震荡。此外，其他替代能源也会影响 LNG 供给与需求的平衡，因此“c3. 替代能源价格”也影响 LNG 市场价格。其次，在成本供给方面：LNG 成本是指销售的 LNG 产品或服务所产生的费用，LNG 价格是客户愿意为 LNG 产品或服务支付的金额，二者的差价为利润。LNG 成本主要受到“c4. 国际 LNG 价格”、“c5. LNG 贸易合同方式”、

以及“c6. 运营成本”的影响。最后，在政策方面：LNG 供给与需求的平衡，会影响 LNG 市场价格，因此“c8. LNG 供给建设补贴政策”鼓励和推动社会资本积极投入到 LNG 储气设施的建设行列，平衡供给与需求，也可降低 LNG 市场价格的波动。此外，为合理控制 LNG 市场价格的波动，藉由“c9. LNG 价格完全放开的政策”与“c10. LNG 价格补贴政策”等补贴政策稳定 LNG 市场价格。

目前我国 LNG 市场需求量越来越大，其价格变动无疑对国民经济、民生生活等方面产生影响。但影响 LNG 价格的因素众多，若能了解影响 LNG 价格变动的因素，则可进一步规划降低 LNG 价格对市场、社会民生产生的影响。为了解影响 LNG 价格变动的因素，常见的方法有定性和定量分析方法。定量分析方法，如聂光华[17]建立 LNG 价格与物价水平、经济发展水平、电价、化工产品价格等 4 个经济指标因素的数学分析模型；聂光华[18]、刘志伟[19]则是采用博弈论构建 LNG 定价机制模型；宋杰鲲与张宇[20]建立 LNG 合理价格体系，主要考虑天然气产业链中的固定成本与变动成本，其中固定成本包含操作与维护支出中的固定部分、经营成本、折旧摊销支出、所得税支出、投资收益，变动成本包含操作与维护支出中的变动部分。但从表 1 来看，如 LNG 新勘探技术的应用、LNG 贸易合同方式、以及 LNG 相关政策等因素难以量化处理。因此，为了全面了解相关因素对 LNG 价格变动的影响，本文将采用定量分析进行分析。

3. 萃取影响 LNG 价格改革的重要因素

从表 1 来看，影响 LNG 价格改革因素众多。因此对于 LNG 行业或企业来说，需要考虑在资源有限的情况下，将资源投入在较重要、较关键的 LNG 价格改革的影响因素上，增加其成功发展价格改革的机会。关键成功因素(Key Success Factors, KSFs)是指在任何行业或企业中，皆存在某些的关键领域，若是能够将这些关键领域进行强化，则可使行业或企业在绩效上有成功的表现，并以此提升行业或企业的竞争优势，而该关键领域即为关键成功因素[21]。因此，本文透过问卷调查探讨影响 LNG 价格改革不确定性之重要关键因素，用以规划 LNG 价格改革发展战略。

根据表 1 所汇整的影响 LNG 价格改革不确定的因素作为研究问卷的问项，问卷采用 Likert 五点量表，受访者对问卷的每一个因素问项的重要性进行回答，其中 5 分为最高分，表示该因素问项非常重要，1 分为最低分，表示该因素问项非常不重要，问卷在线填答的网址为 <https://www.wjx.cn/vm/tvWAFtj.aspx>。由于受访者具有专业性且数量有限，因此采用滚雪球抽样方式(Snowball Sampling)收集问卷，接着根据问卷回收的数据利用灰关联分析[22]萃取影响 LNG 价格改革不确定性的重要关键因素。

3.1. 灰关联分析

本文将根据灰关联分析的执行步骤萃取影响 LNG 价格改革不确定性的重要关键因素，分析结果列于表 2，详细计算步骤说明如下：

Step 1. 本文以 Likert 五点量表作为评估标准，因此比较序列定义为 $x_i = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(k)\}$ ，其中 $x_i(k)$ 表示第 i 个问卷填写者对调查问卷中第 k 个问项的回答分数；因为问卷填写者若回答 5 分表示其最重视该问项所描述的影响程度，故参考序列定义为 $x_0(1) = x_0(2) = \dots = x_0(k) = 5$ 。因此，「差序列」值定义为比较序列与参考序列之间的绝对差值，表示为 $\Delta_{oi}(k) = |x_0(k) - x_i(k)|$ 。

Step 2. 灰关联系数(Grey Relational Coefficient; $\gamma(x_0(k), x_i(k))$) 计算如式(1)，式中的 $\Delta \min$ 和 $\Delta \max$ 分别表示 $\Delta_{oi}(k)$ 的最小值与最大值，因此 $\gamma(x_0(k), x_i(k)) \in [0, 1]$ ，辨识系数 ζ (Distinguished Coefficient) 的作用在于比较序列 x_i 与参考序列 x_0 之间的对比，决策者可以根据个人偏好进行设定，一般取值为 0.5 [22]。从式(1)来看可知，当 $\gamma(x_0(k), x_i(k))$ 越接近 1 时，则 $\Delta_{oi}(k)$ 也就靠近 $\Delta \min$ ，表示因素问项重要性的回答分数越接近最高分数 5 分；反之越接近 0 时， $\Delta_{oi}(k)$ 也就靠近 $\Delta \max$ ，表示因素问项重要性的回

答分数越接近最低分数 1 分。

Step 3. 灰关联度(Grey Relational Degree)为 $\gamma(x_0(k), x_i(k))$ 的平均值(式(2)), 因此 $\gamma(x_0, x_i) \in [0, 1]$, 用以代表参考序列 x_0 与比较序列 x_i 之间的关联程度[23]。当问卷问项的灰关联度越接近 1 时, 代表问卷问项所对应因素的重要性程度也越高。

Step 4. 将 $\gamma(x_0, x_i)$ 按降序排列, 该排序即为灰关联序(Grey Relational Sequence), 排序前面的因素重要性越高, 以此可找出影响 LNG 价格改革不确定性的关键因素。

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

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

3.2. 重要因素萃取

根据 $\gamma(x_0, x_i)$ 通过 K-平均算法(K-means Clustering)进一步将影响 LNG 消费改革的因素进行分群, 结果分为 7 群(图 1), 再根据 Daniel 原则[24]选择 3 至 6 项的成功关键因素。图 1 中可知前 3 群共计 5 项因素, 若再加入第 4 群包含的 2 项因素, 则会超出 Daniel 原则。因此共萃取 5 项重要因素, 分别为: “c4. 国际 LNG 价格”(灰关联度数值为 0.6250)、“c6. 运营成本”(灰关联度数值为 0.5968)、“c1. LNG 新勘探技术的应用”(灰关联度数值为 0.5926)、“c2. 节性需求规律”(灰关联度数值为 0.5787)以及“c8. LNG 供给建设补贴政策”(灰关联度数值为 0.5694)。

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	因素编号	灰关联度	灰关联序
c4	0.6250	1	c10	0.5556	6
c6	0.5968	2	c5	0.5463	7
c1	0.5926	3	c3	0.5139	8
c2	0.5787	4	c7	0.5000	9
c8	0.5694	5	c9	0.4537	10

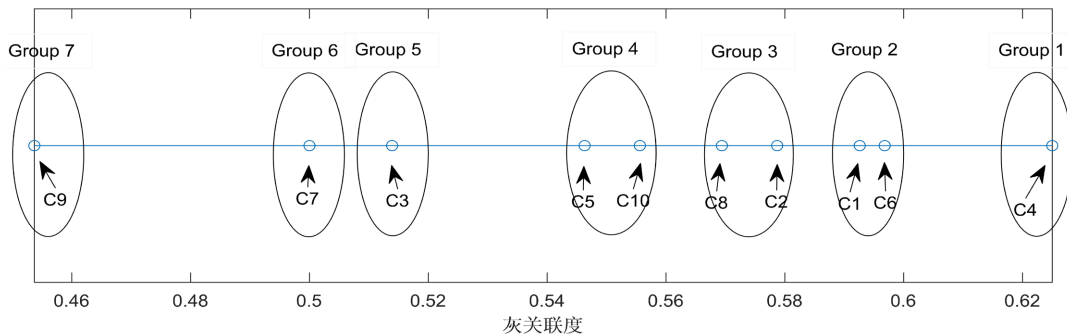


Figure 1. Number line of grey relational degree
图 1. 灰关联度数值线图

4. 策略分析

根据萃取出的 5 项重要关键因素(c4、c6、c1、c2、c8)分别采用 TRIZ 分析法提出对应的改善对策。

4.1. 拟定策略

首先针对“c4. 国际 LNG 价格”问题，根据 TRIZ 分析法 4 个步骤来拟订改善策略[25]。

4.1.1. 叙述问题内容

LNG 气源成本是 LNG 产业链运营的重要关键因素，决定 LNG 的消费量和 LNG 产业链的盈利能力。从图 2 可知，我国 LNG 消费量(包含发电、工业、化工、交通、交通等产业的消费量)呈现快速成长趋势，而且接近国内 LNG 产量和 LNG 进口量的加总供应量，显示进口 LNG 与我国 LNG 消费需求存在高度的依存度，其中 2019 年 LNG 对外依存度高达 43% [26]，这也显示进口 LNG 的价格会影响我国 LNG 气源成本价格。

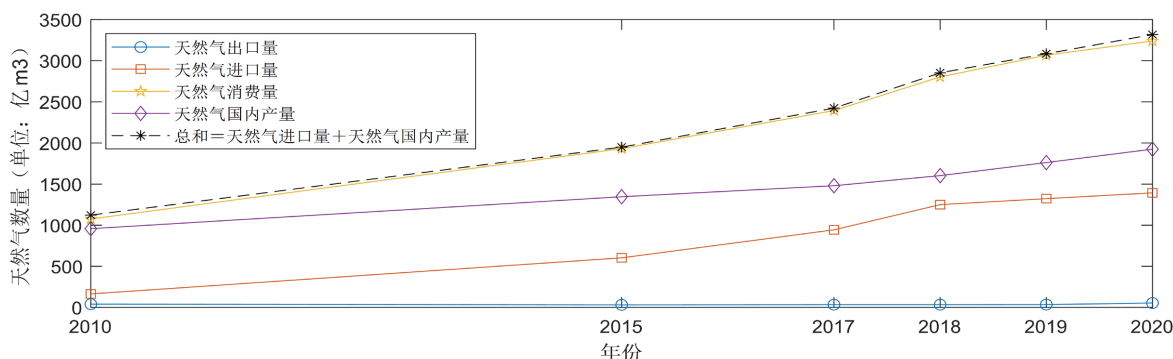


Figure 2. LNG consumption, production, import volume, and export volume in China [27]

图 2. 我国 LNG 消费量、产量、进口量、与出口量[27]

4.1.2. 定义问题的改善与恶化参数

根据“c4. 国际 LNG 价格”问题的定义可知，由于我国 LNG 需求高度依存进口 LNG，这使得我国 LNG 气源成本价格将会受到 LNG 价格的影响。因此，维持进口 LNG 价格的稳定，可以降低对我国 LNG 气源成本价格的影响，也可以适当地降低 LNG 进口风险，因此改善参数(Improving Parameter)可以从 39 个工程参数[28]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 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”，“c4. 国际 LNG 价格”因素对应矛盾矩阵的创新原则[28]为“原则 6: 普遍性(Universality)”、“原则 28: 替代机械(Mechanics Substitution)”、“原则 35: 改变参数(Parameter Change)”、以及“原则 37: 热膨胀(Thermal Expansion)”等四项。根据创新原则意义的解释，针对“c4. 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

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“c4. 国际 LNG 价格”所拟定策略(C1)为采用弹性合约，合理掌控国际进口 LNG 价格的趋势变化，进而有效的控制 LNG 采购成本。目前全球 LNG 主要有三大区域的

贸易市场,分别为北美地区、欧洲地区和亚太地区,而国际市场上对于 LNG 的订价机制有两类,分别为天然气交易中心竞价模式以及竞争能源价格挂钩模式。目前,我国 LNG 进口主要采用中长期合约,在合约中对于 LNG 的采购价格主要采取后者的定价模式,也就是与国际原油价格挂钩。至于进口 LNG 的现货定价与国际原油价格相关性较弱,主要会与当下国际 LNG 的供给需求的现状有关。传统上,进口 LNG 贸易合约一般会以中长期合约为基础,再搭配短期合约或是现货交易作为 LNG 需求的补充。但近几年 LNG 国际市场处于供大于求的状态,使得 LNG 价格持续走低,因此采用 LNG 现货将有助于降低 LNG 进口采购成本。所以,LNG 的定价机制与供给需求的关系都将影响国际 LNG 价格的定价。

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“c4. 国际 LNG 价格”所拟定策略(C2)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 价格在市面上的变动及其幅度,掌握 LNG 价格变动对国内 LNG 消费价格的影响,并可以此拟定 LNG 采购策略。

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,根据“原则 37: 热膨胀(Thermal Expansion)”的解释,针对“c4. 国际 LNG 价格”所拟定策略(C3)为搭配其他替代能源的使用,如柴油、电、动力煤、汽油、新能源、或是再生能源,当国际进口 LNG 价格涨幅较大时,可以更有弹性的选择替代能源。

4.2. 策略汇总

针对剩余的 4 项关键因素,根据上述的 TRIZ 分析步骤拟定改善策略说明如下。首先,关于“c6. 运营成本”问题主要在于需要建立一个可行有效的运营成本管理模式。自 2014 年以来,因为非常规气源(如页岩气)的快速发展,使得国际 LNG 市场的供给大增,因此 LNG 市场开始由卖方市场逐渐转向为买方市场,因而衍伸出多样性的 LNG 贸易商业模式,进而为 LNG 企业的运营带来极大的压力。一般来说,LNG 企业主要的成本构成除了 LNG 生产发生的各项费用之外,还包括运营、管理和销售费用等,其中 LNG 的生产成本包含开采费用、净化液化费用、出口国征收的税赋和出口企业的利润等构成;运营、管理成本主要包含运输费用、接收站和汽化、管输费用等;销售费用是指在 LNG 产品销售或提供服务过程中发生的各项费用,主要包括销售人员职工薪酬、资料费、包装费、保险费、广告费、租赁费、物料消耗、低值易耗品摊销等。对于企业来说,运营成本的增加,将会带来产品或服务销售价格的提升。LNG 是一种重要的清洁能源,对于国家经济发展与生态环境保护具有重要的角色,因此为了保证国家经济的稳定发展和生态环境的永续发展,同时也为保障企业自身的永续发展与经济效益,需要有效地降低企业运行的相关成本,通过建立可行有效的运营成本管理模式对 LNG 企业的运营成本进行全面的分析,提升成本管理的能力,保证 LNG 价格的平稳,实现 LNG 供给的稳定。因此根据“c6. 运营成本”问题的定义,改善参数(Improving Parameter)可以从 39 个工程参数中对应选择“10. 力量 - 试图改变物体状态的任何子系统间之互动”,也就是建立新的成本管理运作机制。然而,当新的成本管理机制建立运行后,需要整合各部门的成本信息进行分析与改善,这就可能导致成本管理机制运行的复杂度,因此恶化参数(Worsening Parameter)可以从 39 个工程参数中对应选择为“36. 装置复杂性 - 构成物体或系统的组件数量,以及元件间彼此的差异性”。

其次,关于“c1. LNG 新勘探技术的应用”问题主要在于需要适时研发或导入新的 LNG 勘探技术以保障 LNG 供给的稳定性。近年来,由于 LNG 新勘探技术的应用,提升 LNG 产量,让 LNG 生产和供应能力获得保障。例如页岩气是近期 LNG 成熟新勘探技术的使用,我国页岩气产量从 2013 年的 2 亿立方米,到 2020 年突破 200 亿立方米,再到 2023 年突破 250 亿立方米,表示我国页岩气勘探技术的应用取得突破性的进步,使得页岩气产量持续不断的攀高(图 3),显示 LNG 新勘探技术的应用可以保障 LNG 供

给,也助于 LNG 价格的稳定。因此根据“c1.LNG 新勘探技术的应用”问题的定义可知,为了保障 LNG 供给的稳定性,需要适时研发或导入新的 LNG 勘探技术,因此改善参数(Improving Parameter)可以从 39 个工程参数中对应选择为“10. 力量 - 试图改变物体状态的任何子系统间之互动”。然而,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,因此恶化参数(Worsening Parameter)可以从 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”。

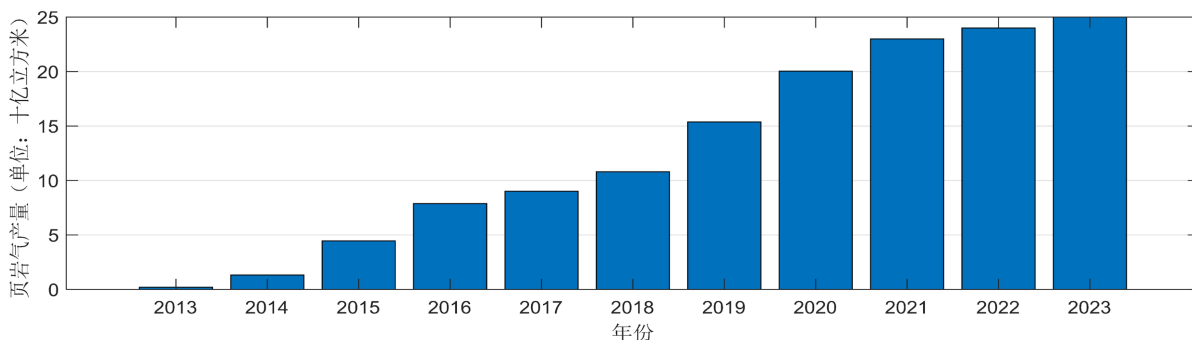


Figure 3. Shale gas production in China [29]

图 3. 我国页岩气产量[29]

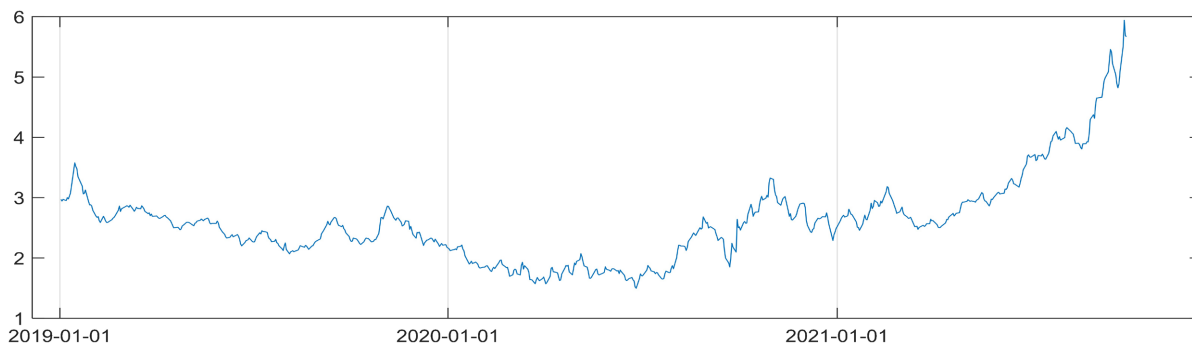


Figure 4. Price of the Chicago mercantile exchange LNG futures [30]

图 4. 芝加哥交易所天然气期货价[30]

接着,关于“c2. 节性需求规律”问题主要在于冬季是 LNG 的需求消费旺季。图 4 为芝加哥交易所天然气期货历史数据,本文选取当日交易的最高价与最低价作为均价,从图中可以看出,2019 年在年初与年末时 LNG 的交易价格相对较高,2020 年则是在年末时 LNG 的交易价格相对较高,2021 年 LNG 交易价格则是一直攀升;另外,根据上海石油天然气交易中心的中国 LNG 出厂价格全国指数数据[31]可以看出我国 LNG 出厂价格在冬季时相对的价格较高,因为冬季是 LNG 的需求消费旺季,当气温越低,LNG 需求用量则会越高,因此在需求预期增长下,一定程度上可能会影响 LNG 价格的波动。若是可以保障 LNG 的供给,则因季节性需求所产生的气荒影响程度将可大大降低,进而减少对 LNG 价格的影响。一般夏季是 LNG 需求淡季,此时可将过剩的 LNG 进行储存;而冬季 LNG 需求旺季,可将淡季储存的 LNG 释出,以平衡 LNG 市场的供给与需求。因此,改善参数(Improving Parameter)可以从 39 个工程参数中对应选择为「26. 物质数量 - 制造一系统所需的组件数目」。然而,将淡季过剩的 LNG 进行储存则会产生储存成本的增加,因此恶化参数(Worsening Parameter)可以从 39 个工程参数中对应选择为「20. 固定件消耗能量 - 静止物体在其做用期间所消耗的能量」。

最后,关于“c8.LNG 供给建设补贴政策”问题主要在于冬季是 LNG 的需求消费旺季。国家发改委

对 LNG 应急储气设施的补助政策,主要是为解决 LNG 应急储气设施,避免出现供不应求造成断气现象,鼓励和推动社会资本积极投入到 LNG 储气设施的建设行列,平衡供给与需求,也可降低 LNG 市场价格的波动。从图 5 看,我国 LNG 接收站数量从 2014 年的 12 座增加到 2020 年的 22 座[32]。LNG 接收站包含 LNG 码头和 LNG 储罐区,当 LNG 气源通过运输船或是管道将 LNG 排放到储罐后,接着再向外输送到用户,也就是说,LNG 接收站是我国接收进口 LNG 气源的重要中转站,对于保障我国的 LNG 供应能力具有重要的影响。LNG 供给建设补贴政策主要是为鼓励和推动社会资本积极投入到 LNG 储气设施的建设行列。因此,改善参数(Improving Parameter)可以从 39 个工程参数中对应选择为“17. 温度 - 物体或系统之热量情况”,希望 LNG 供给建设补贴政策能起到积极的鼓励作用,吸引投资建设 LNG 储气设施。但是,LNG 储气设施的投资建设成本高昂,过度的投资会造成 LNG 储气设施的利用率下降,导致投资成本的浪费,因此恶化参数(Worsening Parameter)可以从 39 个工程参数中对应选择为“23. 物质浪费 - 对系统工作没有贡献所消耗的物质”。综上所述,将 5 项重要关键因素所有的改善策略汇总于表 3。

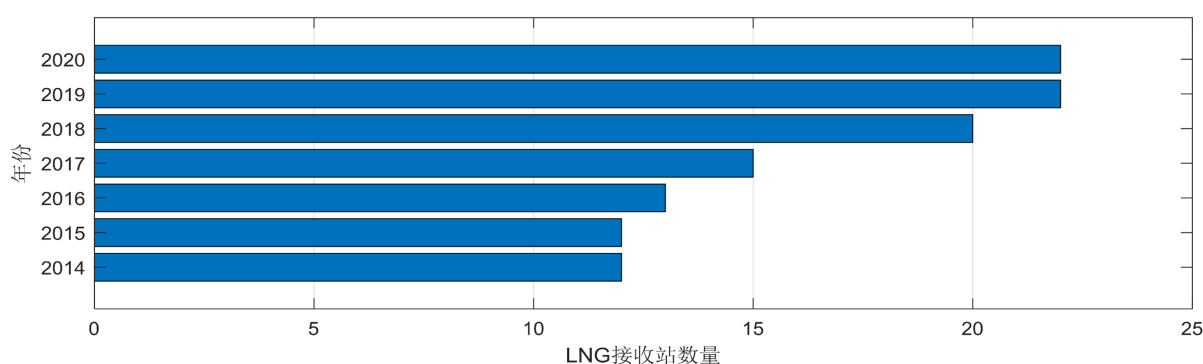


Figure 5. Number of LNG terminals in China [32]

图 5. 我国 LNG 接收站数量[32]

5. 策略发展路径规划分析

虽然建立 LNG 价格改革的策略,但还需要制定策略执行的先后顺序。由于策略之间可能会具有关联性,因此需要分析出相关性高的策略进行并行规划,建立策略之间的阶层关系,以此建立一套系统化的 LNG 产业转型与发展策略执行流程,有效缩减策略导入的时间周期,提升效率。

因此,根据表 4 设计调查问卷,主要是针对发展策略的相关性进行调查,目的是为了找出两两策略之间的从属关系。发展策略的相关性调查问卷,采用矩形单选题的形式对表 4 中的两两解决策略之间的相关性提问,根据回答“是”或“否”的比例来判断解决策略之间是否具有相关性,其中以“0”表示无影响,而“1”表示有影响作为评估。问题叙述的方式为“请问您认为【策略因素 C1】与下列哪项策略因素密切相关?”,某指标有影响则勾选“是”,无影响则勾选“否”。

5.1. ISM 分析

本文采用解释结构模型(Interpretative Structural Modeling, ISM)分析问卷数据,以此建立一套系统化策略发展流程体系。ISM 共有 7 个分析步骤[33],步骤 1 是找出研究的相关因素,也就是根据灰关联分析所萃取的重要因素的解决策略,如表 3 所示,剩余的 6 个步骤将分别说明如下。

步骤 2 是决定判定因素间的关系。本研究通过问卷调查 LNG 相关业者的意见,由此确认两两因素之间的从属关系,并且将问卷的结果进行分析,以 80%作为门槛值,即 80%以上则证明该两两因素之间有从属关系。根据表 5 统计结果可知,C1 策略因素会影响 C3、C10、C11、和 C12 策略因素,C2 策略因素

会影响 C1、C11 和 C12 策略因素，C3 策略因素会影响 C1、C7 和 C12 策略因素，C4 策略因素会影响 C1、C3、C5、C6 和 C7 策略因素，C5 策略因素会影响 C6 和 C7 策略因素，C6 策略因素会影响 C4、C4、C5 和 C7 策略因素，C7 策略因素会影响 C1、C2、C3、C4、C5 和 C6 策略因素，C8 策略因素会影响 C9 策略因素，C9 策略因素会影响 C8 策略因素，C10 策略因素会影响 C1、C3、C11、和 C12 策略因素，C11 策略因素会影响 C1、C3、C10 和 C12 策略因素以及 C12 策略因素会影响 C10 和 C11 策略因素。整理结果后得出以下的策略因素从属关系如下表 6 所示。

Table 3. Improvement strategies
表 3. 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
c4. 国际 LNG 价格	35. 适合性	39. 生产性	原则 6: 普遍性	C1: 采用弹性合约，合理掌控国际进口 LNG 价格的趋势变化，进而有效的控制 LNG 采购成本。
			原则 35: 改变参数	C2: 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 价格变动对国内 LNG 消费价格的影响，并可以此拟定 LNG 采购策略。
			原则 37: 热膨胀	C3: 搭配其他替代能源的使用，如柴油、电、动力煤、汽油、新能源、或再生能源，当国际进口 LNG 价格涨幅较大时，可更有弹性的选择替代能源。
c6. 运营成本	10. 力量	36. 装置复杂性	原则 10: 初步的动作	C4: 让企业的高阶管理人员参与运营成本管理改善项目，因为成本管理是企业的重要项目，因此为了达成运营成本管理改善的目标，需要有高阶管理人员的支持，让成本管理机制的建立能够自上而下的整体通力合作达成。
			原则 18: 机械震动	C5: 导入新进团队或是顾问，为运营成本管理提供相关的改善经验，为 LNG 企业提供最适合的成本管理机制方案。
			原则 25: 自我服务	C6: 导入品管圈，当企业或组织在落实成本管理机制的建立时，可以由相同、相近或互补性质的人员组成一个团体，由团体成员相互合作、脑力激荡、集思广益，了解运营成本的产生以及由谁产生，重新考虑运营成本的分摊和映像流程，以此提升成本的透明度。
			原则 26: 复制	C7: 建立良好的成本管理信息系统进行成本优化分析，以建立合理成本预算方案。
c1. LNG 新勘探技术的应用	10. 力量	39. 生产性	原则 35: 改变参数	C8: 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。 C9: 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。
			原则 3: 局部质量	C10: 对不同地区的 LNG 需求进行 ABC 分类，A 类地区为 LNG 高度需求的地区，需要特别注意保障 LNG 供给的稳定，B 类和 C 类地区分别为 LNG 中度需求和低度需求的地区，通过 LNG 的需求管理规划与供给调度方案。
c2. 节性需求规律	26. 物质数量	20. 固定件消耗能量	原则 35: 改变参数	C11: 建立 LNG 产业链动态模拟仿真平台，对需求管理规划、供给调度评估、库存管理优化进行评估和优化，确立可行方案，提升方案执行可靠度。
			原则 36: 阶段的转变	C12: 建立能源需求预测预警评估机制，对 LNG 的需求与供给、LNG 产业链重要设施资源进行投资需求风险评估，以此建立 LNG 供给建设补贴政策的预警机制，当投资需求风险过高时，则发布预警并管控补贴政策的申请。
c8. LNG 供给建设补贴政策	17. 温度	23. 物质浪费	原则 36: 阶段的转变	

Table 4. Judgment of affiliation relationship between strategic factors in questionnaire design
表 4. 问卷设计之各策略因素间关系判断释例

1. 您认为【策略因素 C1】与下列哪项措施密切相关?			
措施指标	是	否	
策略因素 C2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
策略因素 C3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
.....	
策略因素 C12	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

接着,步骤 3 是决定关系矩阵。由表 6,可得到影响国内天然气消费不确定因素各策略因素之间的从属关系,并将此结果转换为关系矩阵如下表 7 所示。接着,步骤 4 是决定相邻矩阵。由于策略因素本身自我相关,因此根据表 7 关系矩阵,将其与单位矩阵相加可以得到相邻矩阵,如表 8 所示。接着,步骤 5 是将相邻矩阵转化为可达矩阵。由于 ISM 需要符合递移关系,即如果 C_i 策略因素影响 C_j 策略因素, C_j 策略因素影响 C_k 策略因素,则 C_i 策略因素能影响 C_k 策略因素,所以将符合递移关系的因素之间的值变为 1,可以得到如表 9 的可达矩阵。接着,步骤 6 是将可达矩阵转化为阶层矩阵。将可达矩阵转换为阶层矩阵,是由表 9 中找出各策略因素的可达集合、前导集合以及交集集合,如表 10 所示。其中,可达集合的计算方式是指各个策略因素在可达矩阵的行中,找出值为 1 的策略因素,表示 C_i 策略因素会影响 C_j 策略因素,即 $C_i \rightarrow C_j$; 前导集合的计算方式是指各个策略因素在可达矩阵的列中,找出值为 1 的策略因素,表示 C_j 策略因素会影响 C_i 策略因素,即 $C_j \rightarrow C_i$; 而交集集合的计算方式是指可达集合与前导集合共有的策略因素,表示 C_i 和 C_j 策略因素两两相互影响,即 $C_i \leftrightarrow C_j$ 。

Table 5. Affiliation proportion between strategic factors
表 5. 策略因素之间相关性比例

策略因素编号 ¹	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
C1		0.6667	0.9167	0.6667	0.7500	0.6667	0.8333	0.2500	0.2500	0.8333	0.9167	0.9167
C2	0.8333		0.6667	0.6667	0.5833	0.4167	0.7500	0.2500	0.2500	0.7500	0.9167	0.9167
C3	0.9167	0.5833		0.6667	0.5833	0.6667	0.8333	0.2500	0.2500	0.6667	0.6667	0.8333
C4	0.8333	0.7500	0.8333		1.0000	0.9167	1.0000	0.2500	0.3333	0.6667	0.6667	0.6667
C5	0.6667	0.5000	0.5000	0.7500		1.0000	0.9167	0.3333	0.3333	0.4167	0.5000	0.4167
C6	0.8333	0.4167	0.7500	0.9167	0.9167		1.0000	0.2500	0.3333	0.5833	0.5833	0.6667
C7	1.0000	0.9167	0.9167	0.9167	0.8333	0.9167		0.3333	0.2500	0.7500	0.6667	0.7500
C8	0.2500	0.2500	0.3333	0.2500	0.2500	0.1667	0.2500		1.0000	0.2500	0.4167	0.3333
C9	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.3333	0.2500	1.0000		0.2500	0.2500	0.2500
C10	0.9167	0.5000	0.9167	0.5833	0.5000	0.7500	0.7500	0.2500	0.2500		0.8333	0.9167
C11	0.8333	0.6667	0.9167	0.3333	0.4167	0.4167	0.6667	0.2500	0.2500	0.8333		0.8333
C12	0.7500	0.6667	0.7500	0.4167	0.4167	0.4167	0.5833	0.2500	0.2500	0.8333	0.9167	

注: ¹ 各策略因素编号参照表 3。

最后,步骤 7 是决定阶层关系图。从表 10 看出,策略因素 C8 和策略因素 C9 的可达集合与交集集合完全一样,所以将 C8 和 C9 选择出来作为阶层关系图的第一层;接着在表 10 中将已选择的策略因素

C8 和 C9 删除后, 再以相同的方法, 选出可达集合与交集集合完全一样的策略因素作为第二层, 所以选择策略因素 C1、策略因素 C2、策略因素 C3、策略因素 C4、策略因素 C5、策略因素 C6、策略因素 C7、策略因素 C10、策略因素 C11、与策略因素 C12 作为第二层。结合表 6 的策略因素从属关系结果, 在阶层关系图中使用箭头来表示两两策略因素之间的从属关系, 得到图 6 的 ISM 关系阶层结构图。从图 6 可知, 策略可以分为三类, 一为 LNG 供给技术策略, 二为 LNG 成本改善策略, 三为 LNG 预警机制策略。

Table 6. Affiliation relationship between strategic factors

表 6. 两两策略因素从属关系

编号	从属关系	编号	从属关系	编号	从属关系	编号	从属关系	编号	从属关系
1	C1 ¹ ↔C3	6	C1↔C10 ³	11	C1↔C11	16	C1→C12 ²	21	C2→C1
2	C2→C11	7	C2→C12	12	C3↔C7	17	C3→C12	22	C4→C1
3	C4→C5	8	C4↔C6	13	C5↔C6	18	C5↔C7	23	C6→C1
4	C6↔C7	9	C7→C1	14	C7→C2	19	C7→C4	24	C8↔C9
5	C10→C3	10	C10↔C11	15	C10↔C12	20	C11→C3	25	C11↔C12

注: ¹ 各策略因素编号参照表 3; ² C_i→C_j 表示 C_i 策略因素会影响 C_j 策略因素; ³ C_i↔C_j 表示 C_i 和 C_j 策略因素两两相互影响。

5.2. 策略发展短中长期规划

根据上述讨论, 以及策略之间的从属关系(表 6), 建立 12 项策略以短、中、长三阶段规划策略发展的先后顺序, 如表 11 所示。

第一, “供给技术策略”共有 2 项策略, 分为 C8、以及 C9。为了避免 LNG 供给波动, 而造成 LNG 价格的振荡, 因此短期策略可以考虑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。接着, 中期策略应该考虑建设实验平台, 提升 LNG 新勘探技术的能力, 以保障气源来源供给。

第二, “预警机制策略”共有 6 项策略, 分为 C1、C2、C3、C10、C11、以及 C12。预警机制主要是针对 LNG 需求与价格进行预警, 因此短期策略可考虑采用弹性合约, 合理掌控国际进口 LNG 价格的趋势变化, 进而有效的控制 LNG 采购成本, 同时可建立一个有效的 LNG 价格预测模型预测 LNG 价格未来趋势的变化, 藉此了解未来 LNG 价格在市场上的变动及其幅度, 掌握 LNG 价格变动对国内 LNG 消费价格的影响, 并可以此拟定 LNG 采购策略, 建立能源需求预测预警评估机制, 对 LNG 的需求与供给、LNG 产业链重要设施资源进行投资需求风险评估, 以此建立 LNG 供给建设补贴政策的预警机制, 当投资需求风险过高时, 则发布预警并控管补贴政策的申请。接着, 中期策略应该建立 LNG 产业链动态模拟仿真平台以及能源需求预测预警评估机制, 进行需求管理规划、供给调度评估、库存管理优化的评估和优化, 同时可以对不同地区的 LNG 需求进行 ABC 分类, A 类地区为 LNG 高度需求的地区, 需要特别注意保障 LNG 供给的稳定, B 类和 C 类地区分别为 LNG 中度需求和低度需求的地区, 通过 LNG 的需求管理规划与供给调度方案。最后, 长期策略则是可以搭配其他替代能源的使用, 如柴油、电、动力煤、汽油、新能源、或是再生能源, 当国际进口 LNG 价格涨幅较大时, 能够可以更有弹性的选择替代能源。

第三, “成本改善”共 4 有项策略, 分为 C4、C5、C6、以及 C7。为了让 LNG 运营成本得到合理控制, 因此短期策略应该在高阶管理人员的支持开始成本管理机制的运作, 并导入新进团队或是顾问, 为运营成本管理提供相关的改善经验, 为 LNG 企业提供最适合的成本管理机制方案。接着, 中期策略可导入品管圈, 由成本管理团体成员相互合作、脑力激荡、集思广益, 进行运营成本改善。最后, 长期策略则是应该建立良好的成本管理信息系统进行成本优化分析, 以此建立合理成本预算方案。

Table 7. Relation matrix
表 7. 关系矩阵

策略因素编号 ¹	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
C1		0 ²	1 ³	0	0	0	0	0	0	1	1	1
C2	1		0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
C3	1	0		0	0	0	1	0	0	0	0	1
C4	1	0	1		1	1	1	0	0	0	0	0
C5	0	0	0	0		1	1	0	0	0	0	0
C6	1	0	0	1	1		1	0	0	0	0	0
C7	1	1	1	1	1	1		0	0	0	0	0
C8	0	0	0	0	0	0	0		1	0	0	0
C9	0	0	0	0	0	0	0	1		0	0	0
C10	1	0	1	0	0	0	0	0	0		1	1
C11	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1		1
C12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	

注：¹各策略因素编号参照表 3；²表示两两策略因素没有从属关系；³表示两两策略因素具有从属关系。

Table 8. Adjacent matrix
表 8. 相邻矩阵

策略因素编号 ¹	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
C1	1	0 ²	1 ³	0	0	0	0	0	0	1	1	1
C2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
C3	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1
C4	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
C5	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
C6	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
C7	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
C8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
C9	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
C10	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
C11	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
C12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

注：¹各策略因素编号参照表 3；²表示两两策略因素没有从属关系；³表示两两策略因素具有从属关系。

6. 结论

本文的目的在于了解我国 LNG 价格存在的问题现状，找出影响 LNG 价格的重要影响因素，并根据重要影响因素建立相应的改善战略，以此建立系统化 LNG 价格改善策略发展路径，为我国 LNG 价格改善规划提供参考。首先根据文献汇整 10 项 LNG 价格的影响因素，并通过灰关联分析法萃取出 5 项重要关键因素，分别为 c1. LNG 新勘探技术的应用、c2. 季节性需求规律、c4. 国际 LNG 价格、c6. 运营成本、以及 c8. LNG 供给建设补贴政策。最后，利用 TRIZ 分析法制定的 12 项改善策略，并通过解释结构模型法建置系统化 LNG 价格改善策略发展路径，以此将改善策略归纳为三类，分别为：供给技术策略、预警

机制策略、以及成本改善策略，接着拟定短、中、长期三阶段战略发展先后顺序，为 LNG 价格改善规划提供决策支撑。

Table 9. Reachable matrix
表 9. 可达矩阵

策略因素编号 ¹	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
C1	1	1*	1 ³	1*	1*	1*	1*	0 ²	0	1	1	1
C2	1	1	1*	1*	1*	1*	1*	0	0	1*	1	1
C3	1	1*	1	1*	1*	1*	1	0	0	1*	1*	1
C4	1	1*	1	1	1	1	1	0	0	1*	1*	1*
C5	1*	1*	1*	1*	1	1	1	0	0	1*	1*	1*
C6	1	1*	1*	1	1	1	1	0	0	1*	1*	1*
C7	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1*	1*	1*
C8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
C9	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
C10	1	1*	1	1*	1*	1*	1*	0	0	1	1	1
C11	1	1*	1	1*	1*	1*	1*	0	0	1	1	1
C12	1*	1*	1*	1*	1*	1*	1*	0	0	1	1	1

注：¹各策略因素编号参照表 3；²表示两两策略因素没有从属关系；³表示两两策略因素具有从属关系；*表示原本无从属关系，但因为具有递移关系而变成有从属关系。

Table 10. Hierarchy matrix
表 10. 阶层矩阵

策略因素编号 ¹	可达集合 ²	前导集合 ³	交集集合 ⁴
C1	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12
C2	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12
C3	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12
C4	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12
C5	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12
C6	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12
C7	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12
C8	C8、C9	C8、C9	C8、C9
C9	C8、C9	C8、C9	C8、C9
C10	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12
C11	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12
C12	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C10、C11、C12

注：¹各策略因素编号参照表 3。

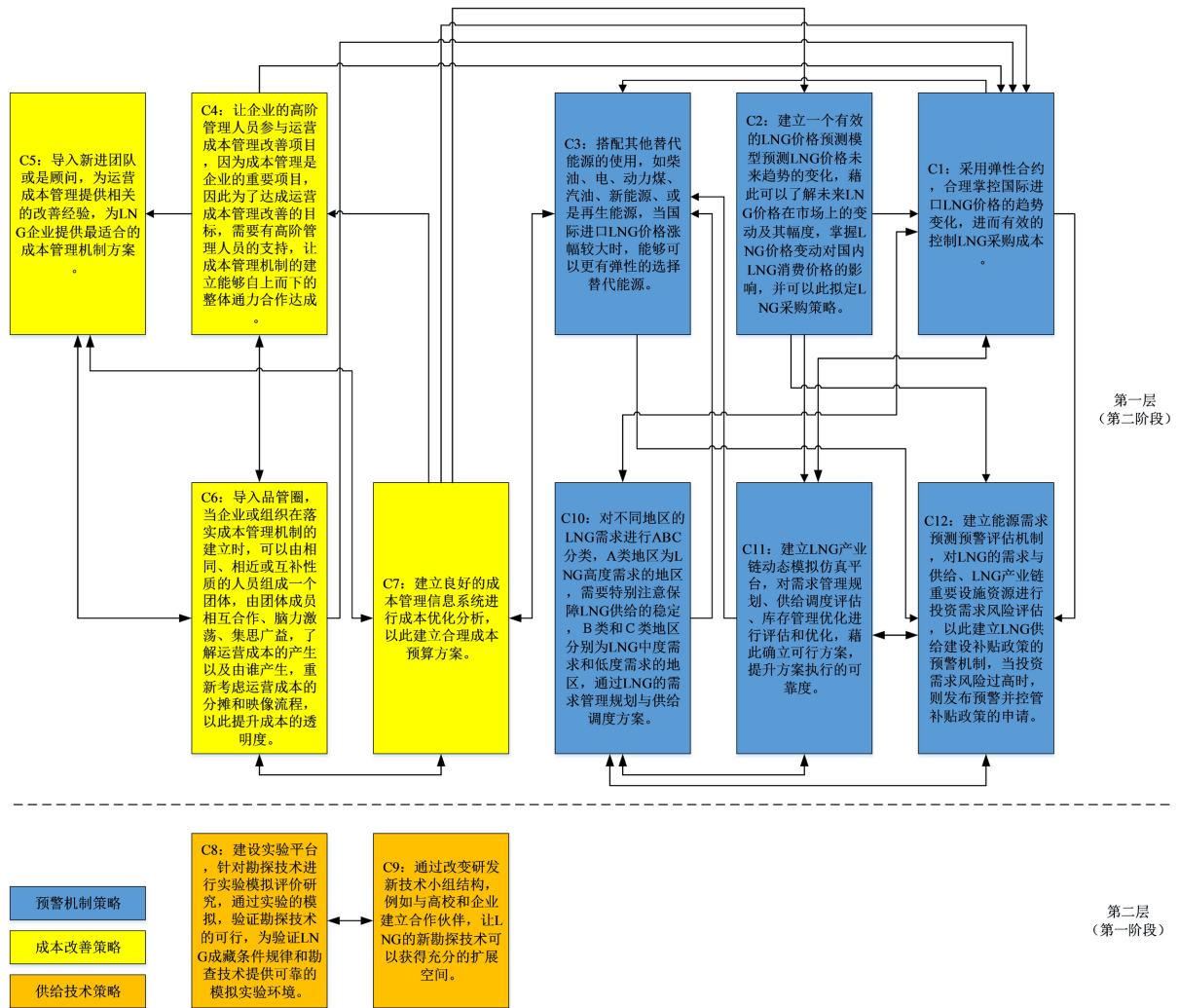


Figure 6. ISM relational hierarchy
图 6. ISM 关系阶层结构

Table 11. Short, medium, and long-term strategic planning
表 11. 短中长期策略规划

	短期	中期	长期
供给技术策略	C9	C8	
预警机制策略	C1、C2、C12	C11、C10	C3
成本改善	C4、C5	C6	C7

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] 孙杜芬, 邹倩, 吴义平, 史海东. 油价低位震荡期间中国进口 LNG 定价机制改革思考[J]. 中国矿业, 2022, 31(4): 31-35.

- [2] 孙文. 2018 年全球液化天然气市场回顾与展望[J]. 国际石油经济, 2019, 27(4): 78-87.
- [3] 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, 29(5): 1-3.
- [4] 侯东林, 沈晓悦, 贾蕾, 冯雁. “气荒”背后的价格倒挂与利益博弈[J]. 环境与可持续发展, 2018, 43(5): 77-79.
- [5] 彭知军, 肖皖林. 电改之后的天然气[C]//中国土木工程学会燃气分会. 2016 中国燃气运营与安全研讨会论文集. 天津: 煤气与热力, 2016: 11-18.
- [6] Warfield, J.N. (1973) Intent Structures. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, **3**, 133-140.
<https://doi.org/10.1109/tsmc.1973.5408494>
- [7] 邹才能, 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.
- [8] 李剑, 畚源琦, 高阳, 李明鹏, 杨桂茹, 史艳军. 中国天然气产业发展形势与前景[J]. 天然气工业, 2020, 40(4): 133-142.
- [9] 孙仁金, 谢亮. 原油、天然气与煤炭价格关系研究[J]. 价格月刊, 2020(7): 16-24.
- [10] 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.
- [11] 梁永宽, 魏光华, 皇甫立霞. 国际 LNG 贸易合同演变及其动因[J]. 天然气工业, 2009, 29(5): 125-127.
- [12] 韩广忠. 中国新建 LNG 接收站的经营困境及其对策[J]. 天然气工业, 2014, 34(5): 1-6.
- [13] 张薇. LNG 项目的储气调峰作用-兼论 LNG 项目建设理念的转变[J]. 经济管理与安全环保, 2010, 30(7): 1-4.
- [14] 姜子昂, 杨再勇, 邹晓琴, 王智雄, 杨雅雯. 对加快建设我国现代化 LNG 市场体系的策略思考[J]. LNG 工业, 2018, 38(10): 120-128.
- [15] 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.
- [16] 何春蕾, 肖学兰. 中国天然气行业政策研究进展及框架构建[J]. 天然气工业, 2012, 32(6): 1-5.
- [17] 聂光华. 中国天然气价格变动传导效应分析[J]. 天然气工业, 2012, 32(12): 114-117.
- [18] 聂光华. 基于 stackelberg 博弈的天然气定价机制研究[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2013, 37(6): 184-188.
- [19] 刘志伟. 天然气定价市场化对天然气价值链的影响[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国石油大学, 2022.
- [20] 宋杰鲲, 张宇. 我国天然气产业链定价机制研究[J]. 未来与发展, 2009, 30(1): 21-24.
- [21] Rockart, J.F. (1979) Chief Executives Define Their Own Data Needs. *Harvard Business Review*, **57**, 81-93.
- [22] Deng, J.L. (1989) Introduction to Grey System Theory. *Journal of Grey System*, **1**, 1-24.
- [23] Deng, J.L. (1997) A Novel GM (1,1) Model for Non-Equigap Series. *The Journal of Grey System*, **9**, 111-116.
- [24] Daniel, D.R. (1961) Management Information Crisis. *Harvard Business Review*, **39**, 111-121.
- [25] Savransky, S.D. (2002) *Engineering of Creativity: Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving*. Taylor & Francis.
- [26] 王玮嘉, 吴祖鹏, 施静. 国际油价对我国天然气成本影响几何[M]. 南京: 华泰证券, 2020.
- [27] 王庆一. 2019 能源数据[M]. 北京: 绿色创新发展中心, 2019.
- [28] 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.
- [29] 王庆一. 2021 能源数据[M]. 北京: 绿色创新发展中心, 2021.
- [30] 英为财经. 天然气期货历史数据[EB/OL].
<https://cn.investing.com/commodities/natural-gas-historical-data?cid=1178040>, 2024-7-21.
- [31] 上海石油天然气交易中心. 中国 LNG 出厂价格全国指数历史数据[EB/OL].
<https://www.shpgx.com/html/qgig.html>, 2024-07-19.
- [32] 前瞻网. 2020 年我国 LNG 接收站建设现状与发展趋势分析 未来 LNG 接收站接收能力将更进一步[EB/OL].
<https://www.qianzhan.com/analyst/detail/220/210329-7ac8c6cf.html>, 2021-03-29.
- [33] Olsen, S. (1982) *Group Planning and Problem-Solving Methods in Engineering Management*. John Wiley & Sons, Inc.