

# 基于 SEM 的 LNG 工厂设备运行安全影响因素分析

程松民

昆仑能源湖北黄冈液化天然气有限公司, 湖北 黄冈 438000

**摘要:** 针对液化天然气(Liquefied Natural Gas, LNG)工厂设备的运行安全问题, 首先对设备运行安全的影响因素进行全面分析, 在此基础上, 对结构方程模型(Structural Equation Modeling, SEM)进行简单介绍, 通过建立 SEM 以及假设关系, 对 LNG 工厂设备运行安全影响因素进行全面研究, 为 LNG 工厂制定设备运行安全措施奠定基础。研究表明: 在 LNG 工厂设备运行的过程中, 工作人员、环境因素、设备运行状况、管理因素以及外来人员等因素都会对设备运行安全产生重要的影响。其中, 工作人员、环境因素、设备运行状况以及管理因素会对设备运行安全产生显著的正向影响; 与其它因素相比, 工作人员对设备运行安全的影响并不十分明显; 对于外来人员而言, 设备运行安全对其产生的影响大于外来人员对设备运行安全产生的影响。研究成果有利于完善 LNG 工厂设备安全评价体系, 有利于 LNG 工厂制定相关措施保障设备的运行安全。

**关键词:** 结构方程模型(SEM); LNG 工厂; 运行安全; 影响因素; 评价指标体系

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2022.04.008

## SEM-based analysis on the influencing factors of the equipment operation safety in LNG plants

CHENG Songmin

Kunlun Energy Hubei Huanggang Liquefied Natural Gas Co., Ltd., Huanggang, Hubei, 438000, China

**Abstract:** Aiming at the operation safety of LNG plants equipment, this research started with analyzing comprehensively the factors affecting equipment operation safety. On this basis, this research briefly introduced the SEM (Structural Equation Modeling), and conducted a comprehensive research on the factors affecting equipment operation safety in LNG plants by building up the SEM, making use of relationship assumptions. It laid the foundation for the development of equipment operation safety measures for LNG plants. Research results show that during the operation of LNG equipment, factors such as staff, environment, equipment operating status, equipment management factors, and outsiders will have an important impact on the safety of equipment operation. Among them, staff, environment, equipment operating status and equipment management have a positive and significant impact on its safety. Compared with other factors, the impact of staff is not very obvious. For outsiders in the factory, safety has a greater

收稿日期: 2022-04-29

基金项目: 国家重点研发计划项目“油气管道及储运设施完整性评价技术研究”(2016YFC0802105)

作者简介: 程松民(1988-), 男, 湖北大悟人, 工程师, 学士, 主要从事液化天然气工厂生产运行与管理工作。E-mail: chsomi@

qq.com

impact on outsiders than the outsiders' impact on safety. The results of this research are conducive to improving the equipment safety evaluation system of LNG plants, and are conducive to the development of relevant measures for LNG plants to ensure the safe operation of equipment.

**Keywords:** Structural Equation Modeling (SEM); LNG plant; Operational safety; Influencing factors; Evaluation index system

## 0 前言

液化天然气 (Liquefied Natural Gas, LNG) 工厂内设备数量相对较多, 如果设备的运行安全出现问题, 不但会影响 LNG 工厂的生产效率以及工作人员的人身安全, 还会产生消极的社会影响, 对 LNG 工厂的发展十分不利<sup>[1-3]</sup>。如果可以确定 LNG 工厂内设备运行安全的影响因素, 管理人员就可以提前制定预防措施, 保障设备的运行安全, 延长设备的使用寿命<sup>[4-6]</sup>。因此, 对 LNG 工厂内设备运行安全的影响因素进行全面分析十分重要。

目前, 针对 LNG 工厂内设备的运行安全问题, 国内外学者进行了多方面的研究。杨焯等人<sup>[7]</sup>针对 LNG 工厂内脱碳贫液泵的运行安全问题, 引入了层次分析方法, 对各种类型的风险问题进行了全面研究, 研究结果表明使用层次分析方法可以提前了解脱碳贫液泵可能出现的风险问题, 有利于工作人员提前制定解决措施, 保障设备的使用安全, 同时还有利于提高 LNG 工程的管理水平; Vinnem J E 等人<sup>[8]</sup>对挪威市区的 LNG 工厂风险问题进行了全面分析, 在分析过程中充分考虑了 LNG 工厂所处地理位置以及风险的接受标准, 还充分考虑了 LNG 工厂内的生产工艺技术以及设备的操作要求, 研究结果表明提高 LNG 工厂的管理水平对于保障设备运行安全十分关键; 李长俊等人<sup>[9]</sup>在充分了解设备跌落风险的前提下, 对 LNG 工厂内计量装置的失效问题进行了全面研究, 在研究过程中以动量定理为主要依据, 对计量装置的失效后果进行了全面分析, 研究结果表明跌落风险对设备产生的危害远大于机械损伤。

分析目前研究情况可以发现, 国内学者主要是对 LNG 工厂内某种单一设备进行风险研究, 由于 LNG 工厂内的设备数量相对较多, 单一的研究作用有限, 国外学者已经开始对整个 LNG 工厂内的设备进行整体评价。由于中国 LNG 工厂在生产技术以及管理方面与国外存在较大差异, 国外的研究成果无法对保障中国 LNG 工厂设备的安全运行起到很大作用。针对此问题, 本文主要引入结构方程模型 (Structural Equation Modeling, SEM), 对 LNG 工厂设备运行安全的影响因素进行全面的评价研究, 为中国制定相关措施保障设备的运行安全奠定基础。

## 1 LNG 工厂设备运行安全影响因素分析

对于 LNG 工厂内的设备而言, 其安全问题主要受到工作人员、管理因素、环境因素、设备运行状况以及外来人员等因素的影响。例如, 工作人员的安全意识和操作水平、天气的变化情况等都与设备的运行安全有关<sup>[10-12]</sup>。结合中国 LNG 工厂的运行特点, 将设备运行安全的影响因素分为 5 种, 影响因素的关系见图 1。

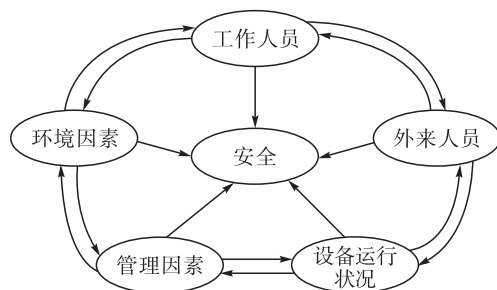


图 1 LNG 工厂设备运行安全影响因素关系图

Fig. 1 LNG factory equipment operation safety factor relationship diagram

设备的运行状况会不断变化, 这 5 种影响因素无法表现出设备运行的复杂性。事实上, LNG 工厂内设备的运行情况将会受到多种因素的联合影响, 由于设备运行动态性的特点, 可以将上述 5 种影响因素划分为多种类型的变量, 这些变量共同构成了一个联合体系<sup>[13]</sup>。

## 2 基于 SEM 理论构建模型

### 2.1 SEM 理论

SEM 是指一种基于变量的协方差矩阵模型, 使用 SEM 可以显示出显变量与潜变量之间的关系<sup>[14]</sup>。显变量主要指可以通过测量得到的变量, 潜变量主要指无法通过测量得到的变量, 一般情况下, 一种类型的潜变量可以与多个显变量相互对应<sup>[15]</sup>。潜变量又可以分为内生潜变量和外生潜变量, 外生潜变量不会受到其它因素的影响, 反而可以对其它因素产生影响, 内生潜变量无法对其它因素产生影响, 但是会受其它因素影响<sup>[16-17]</sup>。

使用 SEM 进行影响因素分析, 可以将上述联合体系内的变量划分为潜变量和显变量, 通过显变量可以推断出潜变量对设备运行安全产生的影响。LNG 工厂内设备运行安全的潜变量及显变量见表 1, 表 1 中各因素即

构成了设备运行安全的评价体系。

表 1 设备运行安全影响因素表

Tab.1 Equipment operation safety factors

| 潜变量    | 显变量                                                   |
|--------|-------------------------------------------------------|
| 工作人员   | 工作经验 $a_1$ 、安全意识 $a_2$ 、身体状况 $a_3$ 、操作水平 $a_4$        |
| 外来人员   | 安全意识 $a_5$ 、身体状况 $a_6$ 、自救能力 $a_7$                    |
| 设备运行状况 | 防护系统 $a_8$ 、运行时间 $a_9$ 、维修保养 $a_{10}$                 |
| 管理因素   | 管理制度合理性 $a_{11}$ 、管理制度完善性 $a_{12}$ 、管理制度落实情况 $a_{13}$ |
| 环境因素   | 工作环境 $a_{14}$ 、自然环境 $a_{15}$ 、社会环境 $a_{16}$           |
| 安全     | 安全 $a_{17}$ 、事故率 $a_{18}$ 、故障率 $a_{19}$               |

SEM 主要由两部分构成,分别是测量模型以及 SEM 关系。通过测量模型可以表示出内生显变量、内生潜变量、外生显变量、外生潜变量之间的相互关系,使用 SEM 关系可以表示出内生潜变量以及外生潜变量之间的关系<sup>[18]</sup>。测量模型可以表示为:

$$x = A_x \xi + \delta \quad (1)$$

$$y = A_y \eta + \varepsilon \quad (2)$$

式中: $x, y$  分别为外生显变量及内生显变量; $\delta, \varepsilon$  分别为外生显变量及内生显变量测量的误差; $A_x$  为外生显变量与外生潜变量之间的相互关系; $A_y$  为内生显变量与内生潜变量之间的相互关系; $\xi, \eta$  分别为外生潜变量及内生潜变量。SEM 关系可以表示为:

$$\eta = B\eta + G\xi + \zeta \quad (3)$$

式中: $B$  为内生潜变量的系数矩阵; $G$  为外生潜变量的系数矩阵; $\zeta$  为一种残差向量。

## 2.2 SEM 的建立

根据 LNG 工厂内设备运行安全的影响因素建立 SEM,见图 2(图中  $e$  为与某一变量相关的误差, $z_1$  为变量残差)。设备的运行安全并不是独立的,而是受到了多种潜变量的严重影响,在使用 SEM 的过程中,需要对变量之间的关系进行估计,然后使用样本进行全面验证<sup>[19-20]</sup>。在本文建立的 SEM 中存在 1 种内生潜变量、3 种内生显变量、4 种外生潜变量以及 16 种外生显变量。

## 2.3 假设关系的建立

根据建立的设备运行安全 SEM,并基于潜变量和显变量之间的关系,提出以下假设。

$H_1$ :对于 LNG 工厂内的工作人员而言,其工作经验越丰富、安全意识越强、身体素质越好以及操作水平越高,则对于保障设备的运行安全越有利,因此,工作人员与设备的运行安全之间存在正向的影响。

$H_2$ :对于 LNG 工厂内的外来人员而言,其安全意识越强、身体素质越高以及自救方面的知识越丰富,则对

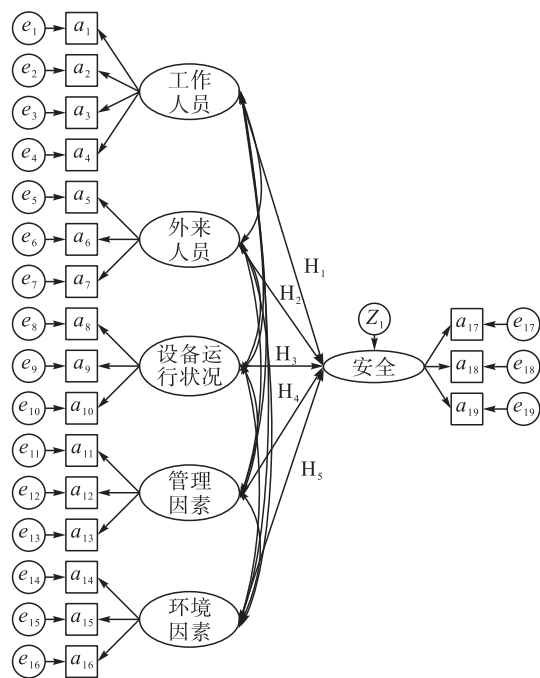


图 2 设备运行安全 SEM 图

Fig. 2 The SEM of the equipment operation safety

设备的运行安全越有利,因此,外来人员与设备的运行安全之间存在正向的影响。

$H_3$ :对于设备运行状况而言,设备的连续运行时间越短、设备的防护措施越完善以及运行过程中的维修保养越及时,则设备的运行安全性就越高,因此,设备运行状况与设备的运行安全之间存在正向的影响。

$H_4$ :对于管理因素而言,管理制度越完善、合理,并得到了全面落实,此时设备的运行安全就可以得到保障,因此,管理因素与设备的运行安全之间存在正向的影响。

$H_5$ :对于环境因素而言,LNG 工厂的工作环境、自然环境以及社会环境与 LNG 工厂内部分设备的运行安全十分紧密,因此,环境因素与设备的运行安全之间存在正向的影响。

## 3 SEM 结果分析

### 3.1 问卷调查及信度检验

以某 LNG 工厂为例,对基于 SEM 的 LNG 工厂设备运行安全影响因素分析方法进行验证,其主要设备见表 2。基于上文所提出的假设,为了确定这些影响因素的有效性,需要对 LNG 工厂内设备的运行安全问题进行充分调研,因此,根据上文中设备运行安全的评价体系设计调查问卷,为防止调查问卷中出现导向性问题,问卷中的问题基本保持了中性原则。同时,调查问卷采用了 Likert10 级量表方法,对表 1 中的 19 个显变量进行了充分调研,调研过程中评价结果为 1 分表示对设备运行安

全产生的影响最小,评价结果为 10 分表示对设备运行安全产生的影响最大,对每种因素的评分进行平均值计算,平均值作为该显变量对设备运行安全影响的最终评价结果。本次问卷调查的对象为 LNG 工厂员工以及科研院所教师,共发放调查问卷 238 份,收回 224 份,回收率为 94%。进行问卷调查后采用信度检验方法对数据进行一致性及稳定性检验,信度检验在 SPSS 软件中进行,检验结果见表 3。

表 2 某 LNG 工厂主要设备表

|           |                                        |
|-----------|----------------------------------------|
| 设备类型      | 设备型号                                   |
| 立式气液分离器   | LF8W5A-03                              |
| 卧式气液分离器   | Eason-15                               |
| 吸收塔       | JC-1-1500                              |
| 重沸器       | ED-1000-145                            |
| 换热器       | YQ-LG-002                              |
| 潜液泵       | H5489                                  |
| 螺杆式压缩机    | DG-60A                                 |
| 立式 LNG 储罐 | 150 m <sup>3</sup> 、200 m <sup>3</sup> |
| LNG 槽车    | KS-24200                               |

表 3 调查问卷信度检验结果表

|        |       |    |
|--------|-------|----|
| 因素     | 信度系数  | 项数 |
| 工作人员   | 0.872 | 4  |
| 外来人员   | 0.684 | 3  |
| 设备运行状况 | 0.781 | 3  |
| 管理因素   | 0.762 | 3  |
| 环境因素   | 0.794 | 3  |
| 安全     | 0.776 | 3  |

信度检验的结果越接近 1,说明调查问卷结果的可靠性越强,高于 0.7 证明调查问卷结果的信度相对较高,高于 0.5 证明调查问卷的结果可以接受。通过全面分析表 2 可以发现,只有外来人员的信度系数小于 0.7,其它因素的信度都相对较好,由于外来人员因素的信度系数高于 0.5,所以此次调查问卷的结果可以接受。

3.2 设备安全因素及安全关系分析

本次研究使用 Amos 软件建立 SEM,并将调查问卷调查结果转化为 SAV 格式导入模型中,得到标准化的路径系数,见图 3。同时得到了不同因素与设备运行安全之间关系的参数估计值以及参数拟合值,见表 4~5。在对模型进行评价的过程中,需要对这些参数的意义进行研究,对路径系数和载荷系数进行全面检验,其路径系

数大于 0 且载荷系数小于 0.05,才能证明影响因素与设备运行安全之间存在正向的影响。同时,还需要对拟合指数进行分析研究,Amos 软件中提供了多种拟合指数参数,如果这些参数的拟合值相对较差,则需要对路径进行重新修正,本次研究所选择的拟合参数为 CMIN/df、RMSEA、TLI 以及 CFI。

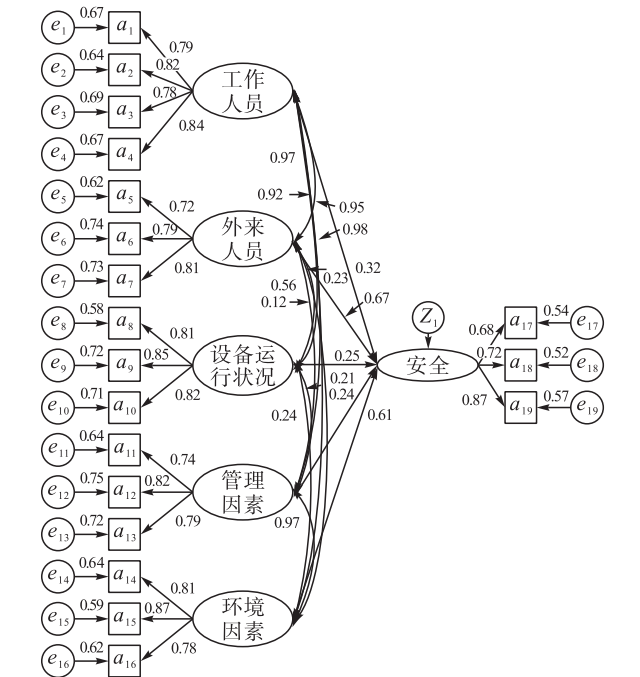


图 3 SEM 标准化路径系数图

Fig. 3 SEM model standardization path coefficient diagram

表 4 设备运行安全影响因素关系参数估计值表

|           |       |        |       |       |
|-----------|-------|--------|-------|-------|
| 路径        | 实际估计值 | 近似标准误差 | 临界比率  | 载荷系数  |
| 工作人员→安全   | 0.36  | 0.394  | 1.341 | 0.042 |
| 外来人员→安全   | -0.68 | 0.682  | 5.846 | —     |
| 设备运行状况→安全 | 0.24  | 0.284  | 5.648 | —     |
| 管理因素→安全   | 0.26  | 1.241  | 5.284 | —     |
| 环境因素→安全   | 0.69  | 0.241  | 5.387 | —     |

表 5 设备运行安全影响因素拟合指数表

|      |         |         |                 |        |
|------|---------|---------|-----------------|--------|
| 指标   | 卡方除以自由度 | 近似误差均方根 | Tucker-Lewis 指数 | 拟合优度指数 |
| 拟合指数 | 2.314   | 0.072   | 0.884           | 0.862  |
| 标准范围 | <3      | <0.1    | >0.9            | >0.9   |



通过全面分析图 3 可以发现,外来人员与设备运行安全之间的系数为负值,说明外来人员和设备运行安全之间并不存在正向的影响。通过分析表 4 发现,载荷系数小于 0.05,说明各因素对于设备运行安全产生的影响都十分显著。将拟合指数与标准范围进行对比可以发现,Tucker-Lewis 指数及拟合优度指数都不在可以接受的标准范围内,所以需要原来的 SEM 进行全面修正,修正过程中将外来人员删除,然后重新对 SEM 进行检验,修正后的路径见图 4,修正后设备运行安全影响因素拟合指数见表 6。

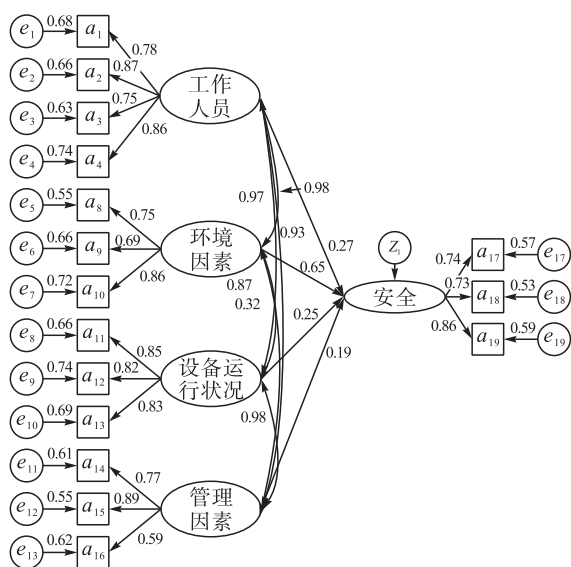


图 4 修正后的 SEM 路径系数图

Fig. 4 Fixed SEM model path coefficient diagram

表 6 修正后的设备运行安全影响因素拟合指数表

Tab. 6 Fitting parameter of the fixed influencing factors of the equipment operation safety

| 指标   | 卡方除以自由度 | 近似误差均方根 | Tucker-Lewis 指数 | 拟合优度指数 |
|------|---------|---------|-----------------|--------|
| 拟合指数 | 2.348   | 0.083   | 0.937           | 0.962  |
| 标准范围 | <3      | <0.1    | >0.9            | >0.9   |

分析图 4 可以发现,各项因素的路径系数均为正值,同时,拟合参数都处于可接受的标准范围内,说明该模型已经达到了适配的基本标准,证明模型已经通过了检验。分析表 6 可以发现,工作人员、设备运行状况、环境因素以及管理因素都会对设备运行安全产生正向的影响,说明  $H_1$ 、 $H_3$ 、 $H_4$ 、 $H_5$  的假设成立,其中工作人员对于设备运行安全的影响相对较低,在外来人员方面,设备运行安全对外来人员产生的影响要大于外来人员对设备运行安全产生的影响,说明外来人员与设备运行安全之间并不存在正向的联系,但是外来人员也会对设备运行安全产生一定的影响。SEM 的分析结果,有利于完善

LNG 工厂内设备运行的安全评价体系,有助于相关企业加强设备运行安全管理工作。

## 4 结论

1) LNG 工厂内设备运行具有非常明显的动态变化特点,其运行情况将会受到多种因素的联合影响,根据设备运行动态性的基本特点,可以将设备运行安全的影响因素划分为多种变量,这些变量共同构成了一个联合体系。

2) 工作人员、设备运行状况、环境因素以及管理因素都会对设备的运行安全产生正向的影响。工作人员工作经验越丰富、安全意识越强、身体素质越好以及操作水平越高,则对于保障设备的运行安全越有利;设备的连续运行时间越短、设备的防护措施越好以及运行过程中的维修保养及时,则设备的运行安全性就越高;管理制度越完善以及合理,并得到了全面的落实,此时设备运行安全就可以得到保障;自然环境的变化情况以及 LNG 工厂所处的社会环境都与设备的运行安全联系紧密。

3) 与其它影响因素相比,工作人员对于设备运行安全的影响相对较低。在外来人员方面,设备运行安全对其产生的影响要大于外来人员对设备运行安全产生的影响,说明外来人员与设备运行安全之间并不存在正向的联系,但是外来人员也会对设备的运行安全产生一定的影响。

## 参考文献:

- [1] 邓 军,梁天天,程方明. 液化天然气厂区风险量化计算与分级管控[J]. 西安科技大学学报,2019,39(4):571-580.  
DENG Jun, LIANG Tiantian, CHENG Fangming. Quantitative risk calculation and grading control of LNG plant area [J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2019, 39 (4): 571-580.
- [2] 杨 烨,李魁亮,卢绪涛,等. 大型 LNG 工厂夏季生产装置安全控制方案[J]. 油气储运,2019,38(11):1282-1287.  
YANG Ye, LI Kuiliang, LU Xutao, et al. A safety control scheme on the production devices of large LNG plants in summers [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2019, 38 (11): 1282-1287.
- [3] 郭明晶,卜 炎,陈从喜,等. 中国天然气安全评价及影响因素分析[J]. 资源科学,2018,40(12):2425-2437.  
GUO Mingjing, BU Yan, CHEN Congxi, et al. Assessment of natural gas security and its impact factors in China [J]. Resources Science, 2018, 40 (12): 2425-2437.
- [4] 周 娜,于传见,沈 斌,等. 液化天然气 LNG 接收站选址

- 要点[J]. 水运工程, 2018(6): 83-86.
- ZHOU Na, YU Chuanjian, SHEN Bin, et al. Key points for site selection of LNG receiving terminal [J]. Port and Waterway Engineering, 2018 (6): 83-86.
- [5] WANG Cong, ZHANG Yongxue, HOU Hucan, et al. Entropy production diagnostic analysis of energy consumption for cavitation flow in a two-stage LNG cryogenic submerged pump [J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2019, 129 (9): 342-356.
- [6] FEENSTRA M, MONTEIRO J, VAN D A J T, et al. Ship-based carbon capture onboard of diesel or LNG-fuelled ships [J]. International Journal of Greenhouse Gas Control, 2019, 85: 1-10.
- [7] 杨 烨, 李浩宇, 代文平, 等. LNG 工厂脱碳贫液泵运行工况分析[J]. 石油与天然气化工, 2018, 47(5): 58-62.
- YANG Ye, LI Haoyu, DAI Wenping, et al. Analysis on operation condition of decarbonization lean liquid pump in LNG plant [J]. Chemical Engineering of Oil and Gas, 2018, 47 (5): 58-62.
- [8] VINNEM J E. Risk analysis and risk acceptance criteria in the planning processes of hazardous facilities—A case of an LNG plant in an urban area [J]. Reliability Engineering & System Safety, 2010, 95 (6): 662-670.
- [9] 李长俊, 彭玉霞, 吴 瑕. 考虑设备跌落的天然气计量站失效后果计算方法[J]. 中国安全生产科学技术, 2018, 14 (10): 95-100.
- LI Changjun, PENG Yuxia, WU Xia. Study on calculation method of failure consequence for metering station of natural gas considering equipment drop [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2018, 14 (10): 95-100.
- [10] TANABE M, MIYAKE A. Forced ventilation effect by Air-Fin-Cooler in modularized onshore LNG plant [J]. Process Safety and Environmental Protection, 2013, 91 (5): 351-366.
- [11] TANABE M, MIYAKE A. Risk reduction concept to provide design criteria for emergency systems for onshore LNG plants [J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2011, 24 (4): 383-390.
- [12] JANG W, HAN S H, PARK H, et al. A stage-gate integrated risk control system for LNG plant projects: Focusing on the design phase [J]. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2015, 22 (7): 437-446.
- [13] 刘继新. 基于 SVG 工艺自控流程图的天然气浅冷站设备管理系统[J]. 油气田地地面工程, 2018, 37(10): 72-75.
- LIU Jixin. Interactive equipment management system for natural gas shallow cooling stations based on SVG process instrumentation diagram [J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 2018, 37 (10): 72-75.
- [14] 陈伟珂, 王炳淳. 基于 SEM 的地铁施工不安全行为与认知关系的研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2015, 11 (3): 154-160.
- CHEN Weike, WANG Bingchun. Study on relationship between unsafe behaviors and cognition in subway construction based on SEM [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2015, 11 (3): 154-160.
- [15] 高文杰, 高 旭. 基于 SEM 的我国重要城市现代化水平综合评价模型研究[J]. 数学的实践与认识, 2010, 40 (18): 56-64.
- GAO Wenjie, GAO Xu. Research on the comprehensive evaluation model based on SEM for the level of modernization of major cities in our country [J]. Mathematics in Practice and Theory, 2010, 40 (18): 56-64.
- [16] 陆静丹, 陈培玲. 基于 SEM 的大学生创新能力测量模型[J]. 统计与决策, 2011(3): 71-73.
- LU Jingdan, CHEN Peiling. SEM-based measurement model of college students' innovation ability [J]. Statistics & Decision, 2011 (3): 71-73.
- [17] GENG Yong, LIU Xiaoqing, ZHANG Pan, et al. Evaluation of sustainable development of Dalian Economic and Technological Development Zone based on MuSIASEM theory [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21 (10): 2615-2620.
- [18] 姚庆国, 郭秀菊, 张学睦. 基于 SEM 理论的沟通满意度对煤矿矿工不安全行为的影响研究[J]. 安全与环境工程, 2017, 24(6): 101-106.
- YAO Qingguo, GUO Xiuju, ZHANG Xuemu. Research on the influence of communication satisfaction on unsafe behavior of coal miners based on SEM theory [J]. Safety and Environmental Engineering, 2017, 24 (6): 101-106.
- [19] 余 豪, 周江红. 基于 SEM 的道路交通安全评价研究[J]. 公路与汽运, 2019(5): 35-38.
- YU Hao, ZHOU Jianghong. Research on road traffic safety evaluation based on SEM [J]. Highways & Automotive Applications, 2019 (5): 35-38.
- [20] 褚 杰. 基于 SEM 的地铁施工不安全行为与认知关系分析[J]. 房地产导刊, 2015(20): 179.
- CHU Jie. Analysis of the relationship between unsafe behaviors and cognition in subway construction based on SEM [J]. Real Estate Guide, 2015 (20): 179.