

中国 LNG 技术标准体系建设和 发展思路探讨

王品贤¹ 李福刚² 马武² 任庆君¹ 徐硕¹ 马伟平³

1. 中国石油天然气管道局工程有限公司管道投产运行分公司, 河北 廊坊 065001;
2. 中国石油管道局工程有限公司第四分公司, 河北 廊坊 065000;
3. 中国石油管道科技研究中心, 河北 廊坊 065000

摘要:液化天然气(LNG)作为清洁能源已成为中国能源结构重要组成部分,截至2018年7月中国已建成18座大型LNG接收站。随着中国LNG产业快速发展,为实现与国际接轨和安全、高效的目标,应建立和完善涵盖设计、施工、材料及设备、安全与运行管理等领域的LNG技术标准体系。为此,研究确定了LNG技术标准体系构建原则和框架结构,系统梳理了LNG技术标准体系涵盖的国内外标准。最后,提出中国未来LNG技术标准体系建设工作建议,包括制定LNG综合性和权威性工程建设标准、LNG产品质量标准和LNG站场风险评价标准,开展浮式LNG、浮式储存及再汽化装置和其他水上接收终端的技术进展跟踪和标准采标研究,提升采标标准适用性和可操作性等。建立系统的、完善的LNG技术标准体系,可为中国LNG产业健康发展提供有力技术支持。

关键词:液化天然气;标准体系;采标;工程建设;安全

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2020.02.020

Discussion on the Construction and Development of the Technical Standard System for LNG in China

Wang Pinxian¹, Li Fugang², Ma Wu², Ren Qingjun¹, Xu Shuo¹, Ma Weiping³

1. Commissioning & Operation Company of China Petroleum Pipeline Engineering Co., Ltd (CPPCOC), Langfang, Hebei, 065001, China;
2. No.4 Branch Company of China Petroleum Pipeline Engineering Co., Ltd., Langfang, Hebei, 065000, China;
3. PetroChina Pipeline R & D Center, Langfang, Hebei, 065000, China

Abstract: As a clean energy, liquefied natural gas (LNG) has become an important part of China's energy structure. By 2018, 18 large-scale LNG receiving terminals have been built in China. With the rapid development of China's LNG industry, in order to achieve the goal of international integration and safety and high efficiency, it is necessary to establish and improve a technical standard system covering design, construction, materials and equipment, safety and operation management. The construction principle and frame structure of LNG standard system are determined, and the domestic and foreign standards covered by LNG standard system are systematically collected. Finally, suggestions are put forward for the future work

收稿日期:2019-11-13

作者简介:王品贤(1981-),男,湖南邵东人,工程师,学士,从事长输油气管道的投产和运行管理工作。E-mail:wangpinxian@cnpc.com.cn

of LNG technical standard system in China, including the formulation of LNG comprehensive and authoritative engineering construction standards, LNG product quality standards and LNG station risk assessment standards, carrying out the research on technique status tracking and adoption of standard for floating LNG and floating storage and regasification unit and other water receiving terminals, improving the applicability and compliance of the standard. The establishment of a systematic and perfect LNG technical standard system can provide strong technical support for the healthy development of China LNG industry.

Keywords: Liquefied natural gas; Standard system; Adoption of standards; Engineering construction; Safety

0 前言

液化天然气(LNG)具有清洁能源的优越性,已成为世界供应增长最快的能源^[1],日本和韩国等能源缺乏国家 LNG 使用比例已超过 60%^[2]。LNG 是中国能源结构重要组成部分,自 2000 年以来,中国进入了大型 LNG 接收站和天然气液化厂的建设运营高峰期。截至 2018 年 7 月,中国已建成 18 座大型 LNG 接收站,包括中国石油、中海油、中国石化以及申能集团、新疆广汇集团等大型能源公司^[3-5]建设的接收站,随着中国 LNG 产业快速发展,LNG 生产、处理、运输和销售的产业链结构不断完善,对标准化工作提出了更高要求。

为满足与国际接轨和国际贸易的要求,实现安全、可靠、高效的目标,应建立和完善涵盖设计、施工、材料及设备、安全与运行管理等领域的 LNG 技术标准体系^[6]。“十三五”期间,应深入开展 LNG 标准体系建设工作^[7-8],总体技术路线根据中国 LNG 产业实际情况,由采标为主阶段逐步过渡到自主制修订阶段,即统筹规划、自主制定行业核心技术标准,有针对性和选择性采标国外 LNG 重点标准,重视增强技术标准对生产业务的规范和指导作用。建立系统的、完善的 LNG 技术标准体系,可为中国 LNG 产业健康发展提供有力技术支持。

1 中国 LNG 标准现状及差距

2009 年中国成立了液化天然气技术委员会,在标准制修订工作方面取得显著成绩,制定了一系列 LNG 工程建设和生产储运类国家标准和行业标准,针对国际标准 ISO、欧洲标准 EN 的试验测试系列标准进行采标,但与国外发达国家相比,LNG 标准技术水平、应用程度和指导作用还存在差距。

1) 中国 LNG 标准涵盖包括国家能源局、交通运输部、质检总局、出入境检验检疫总局等多部门制定的国家标准和行业标准,LNG 标准存在交叉、共用情形。

2) 缺少综合性、先进适用的 LNG 工程建设标准,GB/T 20368-2012《液化天然气(LNG)生产、储运和装运》和 GB/T 22724-2008《液化天然气设备与安装陆上

装置设计》采标 NFPA 59 A、EN 1473 欧美标准,欧美标准在选址原则、管材选型、设施防火间距、自动控制、人员资质和语言习惯等方面的特殊性,不能完全适用于中国 LNG 产业实际情况和指导新建 LNG 项目设计、施工和验收工作^[9]。

3) 中国 LNG 标准采标国外标准较零星、分散,采标工作缺乏前瞻性和前期适用性研究^[10],部分国外采标标准版本年代久远且技术工艺已更新。中国侧重根据设计、施工与运行管理的特定环节制定标准,还未建立系统全面、先进适用的 LNG 技术标准体系。

4) 中国还缺少 LNG 质量标准,GB 17820-2018《天然气》适用于管输天然气,管输天然气的水露点、烃露点等指标随着输送过程发生变化,相对管道进口指标,终端指标过于宽松,不适用于 LNG^[11]。GB 18047-2017《车用压缩天然气》在甲烷含量、热值、生产工艺等方面的要求也不适用 LNG,应制定 LNG 产品质量国家标准。

5) LNG 节能、安全和环保标准还需进一步完善^[12],主要体现:缺少 LNG 输送过程损耗分析方法^[13];缺少符合中国国情的 LNG 场站安全间距规范^[14];LNG 储罐预防地下水污染措施有待改进,包括隔堤、拦蓄区和防渗膜设计等方面。特别是 LNG 站场消防主要执行石油行业的相关国家标准^[15],例如 GB 50183-2004《石油天然气工程设计防火规范》、GB 50351-2014《储罐区防火堤设计规范》等,这些规范并不完全适用于 LNG 场站的实际情况。

2 中国 LNG 技术标准体系构建方法

中国 LNG 产业未来发展应以技术标准支撑,建立全领域、全产业链、全流程、具有可操作性的技术标准体系。LNG 技术标准体系构建遵循以下几点:

1) 本研究涵盖的 LNG 产业链过程阶段起点是从动力船舶运输,经船岸交接和码头接卸/加注,到达 LNG 接收站和天然气液化厂的储罐,通过计量站进入外输管道(管网)。LNG 标准化对象及范围包括船舶、码头、接收站、天然气液化厂、加注站和汽化站等。

2) 立足学习国外先进 LNG 标准的经验理念,充分调

研国外 LNG 技术标准。

3) 为避免与相近专业领域的标准交叉、重复, 不列入井口天然气和压缩天然气 (CNG) 标准, 列入适用的管输天然气标准。

4) 注重 LNG 标准与国内交通、质检、石油、化工、燃气等相关行业标准的协调统一。

LNG 技术标准体系结构按照 GB/T 13016-2009《标准体系表编制原则和要求》进行构建, 分为具有上下级关系的七个层级, 见图 1。

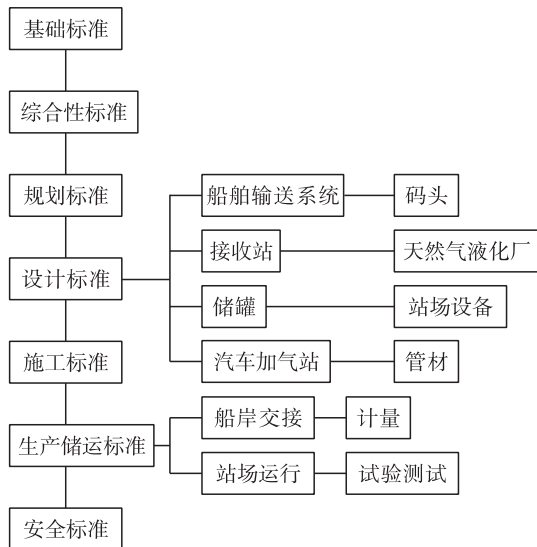


图 1 LNG 标准体系结构框架图

Fig. 1 The construction frame of LNG standard systems

1) 第一层级为基础标准, 即 LNG 产品质量和检验标准。

2) 第二层级为综合性标准, 例举了美国、加拿大、欧盟、澳大利亚制定的 LNG 综合性标准, 这类标准具有较高的权威性和通用性, 代表了世界 LNG 标准的技术水平和发展趋势。

3) 第三层级为规划标准, 包括 LNG 项目可研、选址和初设标准。

4) 第四层级为设计标准, 包括船舶输送系统、码头、接收站、天然气液化厂、储罐、站场设备、汽车加气站和管材等标准。

5) 第五层级为施工标准, 包括接收站和天然气液化施工等标准。

6) 第六层级为生产储运标准, 包括船岸交接、计量、站场运行和试验测试等标准。

7) 第七层级为安全标准, 包括 LNG 接收站安全管理和 LNG 储罐防火堤标准。

3 LNG 技术标准体系及国外 LNG 标准明细

LNG 技术标准体系主体是 LNG 产业相关的国家标

准和行业标准。为提高 LNG 技术标准体系的完整性、先进性和适用性, 充分借鉴国外 LNG 标准的先进经验, 下面标注了已经采标国外 LNG 标准的一致性程度 (IDT 等同采用, MOD 修改采用), 并列出了美国、加拿大、澳大利亚、日本和欧盟等国外 LNG 标准, 可作为未来的工作重点和研究方向。应持续跟踪国外 LNG 标准的发展动态和修订信息, 例如重要条款内容、参数指标和版本的变更情况。如国内已有相关标准, 可通过对标方式提升国内标准技术水平 (国外标准标注为“对标标准”); 如国内无相关标准且有技术需求, 考虑进行采标 (国外标准标注为“拟采标标准”)。

3.1 基础标准

1) GB/T 19204-2003《液化天然气的一般特性》(BS EN 1160-1997, IDT)。

2) SN/T 2491-2010《进出口液化天然气质量评价标准》。

3) SN/T 2378.2-2010《进口液化天然气检验规程第 2 部分: 船舱检验》。

3.2 综合性标准

1) GB/T 20368-2012《液化天然气 (LNG) 生产、储运和装运》。该标准参考 NFPA 59 A-2009 制定, 最新版本是 NFPA 59 A-2016, 适用于 LNG 产业的设计、选址、施工、操作、设施维护和人员培训。该标准具有很高的权威性, 在国际上获得高度认可并广泛使用。

2) GB/T 22724-2008《液化天然气设备与安装陆上装置设计》(EN 1473-1997, MOD)。最新版本 EN 1473-2016, 被欧洲 36 个国家采用为本国标准, 用于规范和指导 LNG 装置的设计、建设和运行, 重点是 LNG 岸上设施运行管理, 规定了 LNG 设施安全分析和设计的要求。

3) 加拿大标准 CAN/CSA Z276-2015《液化天然气生产、储存和装运》。该标准是加拿大的综合性 LNG 标准, 适用于 LNG 项目的设计、选址、施工和操作, LNG 的储存、汽化、转运、装卸和卡车运输, LNG 操作人员资质要求。

4) 澳大利亚标准 AS 3961-2005《液化天然气的储存和操作方法》。该标准是澳大利亚的综合性 LNG 标准, 用于规范和指导 LNG 储存和运输装置的设计、建造和运行, 主要内容包括海运常压储罐的安装、管道峰值补偿和压力储罐等。

3.3 规划标准

1) SY/T 6807-2010《液化天然气项目申请报告编制指南》。

2) SY/T 6935-2013《液化天然气接收站工程初步设计内容规范》。

3)SY/T 7434-2018《液化天然气接收站能力核定方法》。

3.4 设计标准

3.4.1 船舶输送系统标准

1)SY/T 6986.1-2014《液化天然气设备与安装船用输送系统的设计和测试第1部分:输送臂的设计和测试》(EN 1474.1-2008,MOD)。

2)SY/T 6986.2-2016《液化天然气设备与安装船用输送系统的设计和测试第2部分:输送软管的设计和测试》(EN 1474.2-2008,MOD)。

3)SY/T 6986.3-2016《液化天然气设备与安装船用输送系统的设计和测试第3部分:海上输送系统》(EN 1474.3-2008,MOD)。

3.4.2 码头标准

1)JTS 165-5-2016《液化天然气码头设计规范》。

2)JTS 196-11-2016《内河液化天然气加注码头设计规范(试行)》。

3)欧洲标准 EN 13645-2001《存储容量为5~200 t的港口设备设计标准》(对标标准)。

3.4.3 接收站和天然气液化厂标准

1)GB 51156-2015《液化天然气接收站工程设计规范》。

2)SY/T 6933.1-2013《天然气液化工厂设计建造和运行规范:第1部分:设计建造》。

3.4.4 储罐标准

1)GB/T 26978-2011《现场组装立式圆筒平底钢质液化天然气储罐的设计与建造》(EN 14620-2006,MOD)。

2)SY/T 0608-2014《大型焊接低压储罐的设计与建造》(API Std 620-2008,MOD)。

3)GB/T 50938-2013《石油化工钢制低温储罐技术规范》。

4)GB/T 18442-2011《固定式真空绝热深冷压力容器》。

5)日本标准 JGA-107-02《LNG 地下储罐指南》(国内 LNG 储罐基本为全包容式预应力混凝土顶地上储罐,拟采标标准)。

6)日本标准 JGA-108-02《LNG 地上储罐指南》(对标标准)。

7)美国标准 API Std 625-2014《低温液化气储罐系统》。

3.4.5 站场设备标准

1)JB/T 4780-2002《液化天然气罐式集装箱》。

2)日本标准 JGA-102-03《LNG 接收站设备指南》

(国内缺少 LNG 站场设备分级和管理标准,拟采标标准)。

3.4.6 汽车加气站标准

1)NB/T 1001-2011《液化天然气汽车加气站技术规范》。

2)GB/T 25986-2010《汽车用液化天然气加注装置》。

3)GB/T 26980-2011《液化天然气(LNG)车辆燃料加注系统规范》(NFPA 52-2006,MOD)。

4)GB/T 20734-2006《液化天然气汽车专用装置安装要求》。

5)GB/T 34510-2017《汽车用液化天然气气瓶》。

6)美国标准 NFPA 57-2002《LNG 汽车燃料系统标准》(对标标准)。

3.4.7 管材标准

1)GB/T 32964-2016《液化天然气用不锈钢焊接钢管》。

2)英国标准 BS 4089-1999《液化石油气和液化天然气用金属软管组件规范》(对标标准)。

3.5 施工标准

1)SY/T 4114-2016《天然气管道、液化天然气站(厂)干燥施工技术规范》。

2)SY/T 7302-2016《液化天然气接收站陆域形成和土建工程技术指南》。

3)SY/T 7303-2016《液化天然气管道低温氮气试验技术规程》。

4)SH/T 3561-2017《液化天然气(LNG)全容式钢制内罐组焊技术规范》。

5)SY/T 7349-2016《低温储罐绝热防腐技术规范》。

3.6 生产储运标准

3.6.1 船岸交接标准

1)GB/T 24963-2019《液化天然气设备与安装-船岸界面》(ISO 28460-2010/BS EN 1532-1997,MOD)。

2)GB/T 24964-2010《冷冻轻烃流体-液化天然气船上贸易交接程序》(ISO 13398-1997,IDT)。

3)SY/T 7029-2016《液化天然气船对船输送作业指南》。

3.6.2 计量标准

1)GB/T 24959-2010《冷冻轻烃流体液化气储罐内温度的测量电阻温度计和热电偶》(ISO 8310-1991,IDT)。

2)GB/T 24960-2010《冷冻轻烃流体液化气储罐内液位的测量电容液位计》(ISO 8309-1991,IDT)。

3) GB/T 24961-2010《冷冻轻烃流体液化气储罐内液位的测量浮子式液位计》(ISO 10574-1993, IDT)。

4) GB/T 24962-2010《冷冻烃类流体静态测量计算方法》(ISO 6578-1991, IDT)。

3.6.3 站场运行标准

1) SY/T 6928-2018《液化天然气接收站运行规程》。

2) SY/T 6929-2012《液化天然气码头操作规程》。

3) SY/T 6933.2-2014《天然气液化工厂设计建造和运行规范:第2部分:运行》。

4) SY/T 6934-2013《液化天然气(LNG)车辆加注站运行规程》。

3.6.4 试验测试标准

1) GB/T 20603-2006《冷冻轻烃流体液化天然气的取样连续法》(ISO 8943-1991, IDT)。

2) GB/T 21608-2007《液化天然气密度计算模型规范》(ASTM D4784-1993(R2003), IDT)。

3) EN 12838-2000《液化天然气设备与安装 LNG 采样系统适用性检验》(国内缺少 LNG 取样检定标准,拟采标准)。

3.7 安全标准

1) SY/T 6711-2014《液化天然气接收站技术规范》。

2) GB 50183-2004《石油天然气工程设计防火规范》。

3) GB 50351-2014《储罐区防火堤设计规范》。

4) 日本标准 HK/KL KS0850-7-2005《安全检查标准(LNG接收站)》(对标标准)。

5) 欧洲标准 EN 12065-1997《LNG 灭火材料的性能试验》(对标标准)。

4 LNG 技术标准体系建设建议

“十三五”期间,根据中国 LNG 产业发展目标,应进一步提升 LNG 标准体系的完整性、先进性和适用性,提升标准技术水平和应用普及程度,建议开展下列标准专项研究工作:

1) LNG 产业链特点要求接收站必须按照时间节点完成试运并顺利投产, LNG 施工验收和正式运行之间的试运投产还属薄弱阶段。为避免投产期间发生事故,或者延迟投产,应制定 LNG 接收站试运投产质量控制规范^[16],包括储罐预冷降温速率控制、工艺管道干燥、吹扫、密封性检查和重要设备单机试车,避免试运投产事故和保证日后平稳高效运行。

2) 完善 LNG 接收站和天然气液化厂的设计施工和

生产储运标准,制定包括 LNG 接收站和天然气液化厂的设备分级管理、可视化管理、站场和储罐完整性管理标准^[17]。

3) 中国还未制定 LNG 站场风险量化分析标准^[18],建议建立 LNG 火灾科学实验基地,研究 LNG 蒸气云扩散机理、LNG 池火灾热辐射强度模型等,为 LNG 站场火灾扑救技术和应急消防设备配备提供依据。

4) 中国 LNG 站场安全分析标准还处于初步阶段, LNG 产业涉及多种工艺流程和设备设施,欧洲标准 EN 1473 采用危险与可操作分析(HAZOP)对各种潜在风险进行辨识和评估^[19]。应研究适合中国 LNG 产业实际情况的危险评价方法,制定 LNG 站场设施和操作危险分析规范。

5) 开展浮式 LNG 接收装置技术标准采标前期研究^[20],跟踪浮式储存及再汽化装置(Floating Storage and Regasification Unit, FSRU)、浮式接收装置(Floating Storage Unit, FSU)等浮式 LNG 水上接收终端的技术进展和标准发布情况,开展 FLNG、FSRU 等水上接收终端的国际标准采标研究,采标国外标准应注重提高标准的实用性和可操作性。

5 结论

中国天然气市场规模潜力巨大,可以预见,未来几年 LNG 在中国能源结构和天然气供应中占比会越来越来大,中国 LNG 接收站建设发展思路及相关建议是以扩建现有接收站为主,适时增加储存容量和汽化能力,积极参与市场调峰。在此基础上,提高中国 LNG 技术标准的系统性和先进性,未来 LNG 产业和 LNG 技术标准的发展趋势包括以下方面:

LNG 工艺流程优化和节能减排技术; LNG 接收站低负荷率运行和优化调峰技术; LNG 国际标准技术要点更新对应的相关研究成果,标准技术内容更新的研究和采用; LNG 接收站运行管理国内外标准对标及技术水平提升。

参考文献:

- [1] 郑玉华,李静云,汪棘钦. 基于复杂网络的全球 LNG 市场分析[J]. 天然气与石油, 2016, 34(3): 106-111.
Zheng Yuhua, Li Jingyun, Wang Lianqin. Analysis on Global LNG Market Based on Complex Network [J]. Natural Gas and Oil, 2016, 34(3): 106-111.
- [2] 祝志智,吴超,李秋扬,等. 全球油气管道发展现状及未来趋势[J]. 油气储运, 2017, 36(4): 375-380.
Zhu Quezhi, Wu Chao, Li Qiuyang, et al. Development Status and Trend of Global Oil and Gas Pipelines [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2017, 36(4): 375-380.

- [3] 黄献智,杜书成.全球天然气和LNG供需贸易现状及展望[J].油气储运,2019,38(1):12-19
Huang Xianzhi, Du Shucheng. Status and Prospect Supply and Demand Trading of Global Natural Gas and LNG [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2019, 38 (1): 12 - 19.
- [4] 周淑慧,范金慰,李广,等.经济新常态与低油价下的中国天然气市场发展[J].国际石油经济,2015,23(6):4-12.
Zhou Shuhui, Fan Jinwei, Li Guang, et al. Natural Gas Market Development Under China's New Normal and Low International Oil Prices [J]. International Petroleum Economics, 2015, 23 (6): 4 - 12.
- [5] 杨莉娜,韩景宽,王念榕,等.中国LNG接收站的发展形势[J].油气储运,2016,35(11):1148-1153.
Yang Lina, Han Jingkuang, Wang Nianrong, et al. Development Situations of LNG Terminals in China [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2016, 35 (11): 1148 - 1153.
- [6] 杨静,边文娟,王楚琦.LNG产业规范标准现状与启示[J].油气储运,2014,33(5):469-473.
Yang Jing, Bian Wenjuan, Wang Chuqi, et al. Status and Implications of LNG Industry Regulation Standards [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2014, 33 (5): 469 - 473.
- [7] 华贵.中国LNG产业发展策略刍议[J].天然气工业,2014,34(8):141-146.
Hua Ben. A Discussion on Some Strategies of China's LNG Industry Development [J]. Natural Gas Industry, 2014, 34 (8): 141 - 146.
- [8] 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):168-173.
Han Guangzhong. The Business Difficulties in China Newly Built LNG Receiving Terminals and Countermeasures [J]. Natural Gas Industry, 2014, 34 (5): 168 - 173.
- [9] 张成伟,洪宁,彭建刚.LNG标准在江苏LNG项目建设中的应用探讨[J].石油工程建设,2012,38(2):6-10.
Zhang Chengwei, Hong Ning, Peng Jiangang. Application of LNG Standard in Jiangsu LNG Project Construction and Discussion [J]. Petroleum Engineering Construction, 2012, 38 (2): 6 - 10.
- [10] 姜宁,李林,许涛.大型国际LNG项目模块化建造管理[J].天然气与石油,2018,36(6):125-127.
Jiang Ning, Li Lin, Xu Tao. Modularized Construction Management for Large International LNG Project [J]. Natural Gas and Oil, 2018, 36 (6): 125 - 127.
- [11] 牛斌,陶克.LNG贸易交接流程及控制要点[J].天然气与石油,2017,35(3):25-29.
Niu Bin, Tao Ke. Procedures and Key Control Points of Imported LNG Custody Transfer in China [J]. Natural Gas and Oil, 2017, 35 (3): 25 - 29.
- [12] 李廷勋,郭开华.LNG安全规范现状[J].天然气工业,2007,27(6):130-132.
Li Tingxun, Guo Kaihua. LNG Safety Codes and Standards Status Quo in China [J]. Natural Gas Industry, 2007, 27 (6): 130 - 132.
- [13] 都大永,王蒙.浮式LNG接收站与陆地LNG接收站的技术经济分析[J].天然气工业,2013,33(10):122-126.
Du Dayong, Wang Meng. Tech-economic Analysis of Floating and Onshore LNG Terminals [J]. Natural Gas Industry, 2013, 33 (10): 122 - 126.
- [14] 任珂,李德强,曲胜利.新旧液化天然气安全技术标准的比较分析[J].化工设计,2011,21(3):48-50.
Ren Ke, Li Deqiang, Qu Shengli. Comparison and Analysis Between Old and New Standards of LNG Safety Technology [J]. Chemical Engineering Design, 2011, 21 (3): 48 - 50.
- [15] 王楼明,叶锐钧.我国液化天然气标准的现状和展望[J].石油工业技术监督,2019,25(4):24-26.
Wang Louming, Ye Ruijun. The Status and Prospect of Liquefied Natural Gas Standards in China [J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2019, 25 (4): 24 - 26.
- [16] 陈文杰,靳由顺,王同吉,等.LNG接收站试运投产关键环节的质量控制[J].油气储运,2018,37(9):1019-1024.
Chen Wenjie, Jin Youshun, Wang Tongji, et al. Quality Control in the Key Links of LNG Terminal's Commissioning [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2018, 37 (9): 1019 - 1024.
- [17] 杨焯.数字化LNG工厂建设与应用[J].天然气与石油,2015,33(5):66-69.
Yang Ye. Construction and Application of Digital LNG Plant [J]. Natural Gas and Oil, 2015, 33 (5): 66 - 69.
- [18] 冯文斌.基于层次分析法的LNG储罐风险评估[J].天然气与石油,2017,35(4):125-130.
Feng Wenbin. Risk Assessment of LNG Storage Tank Based on Analytic Hierarchy Process [J]. Natural Gas and Oil, 2017, 35 (4): 125 - 130.
- [19] 翁浩铭,李自力,边江,等.LNG接收站泄漏事故及火灾爆炸后果分析[J].天然气与石油,2016,34(6):40-45
Weng Haoming, Li Zili, Bian Jiang, et al. Leakage and Explosion Hazard Analysis of LNG Receiving Station [J]. Natural Gas and Oil, 2016, 34 (6): 40 - 45.
- [20] 都大永,王蒙.浮式LNG接收站与陆地LNG接收站的技术经济分析[J].天然气工业,2013,33(10):122-126.
Du Dayong, Wang Meng. Tech-economic Analysis of Floating and Onshore LNG Terminals [J]. Natural Gas Industry, 2013, 33 (10): 122 - 126.