

# 青岛LNG接收站自然灾害风险识别、评价及防控

吴运逸<sup>1</sup>, 郑元杰<sup>2</sup>, 黄超<sup>2</sup>, 胡海燕<sup>3</sup>, 宗乐斌<sup>3</sup>, 安培源<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>中国石化天然气分公司华北天然气销售中心, 山东 青岛

<sup>2</sup>中国石化青岛液化天然气有限责任公司, 山东 青岛

<sup>3</sup>北京中地华安科技股份有限公司, 北京

收稿日期: 2022年11月8日; 录用日期: 2022年12月23日; 发布日期: 2022年12月31日

## 摘要

LNG接收站是我国接收进口LNG资源的重要中转站, 对于保障国家能源安全有重要作用。随着LNG接收站建设的快速发展, 在接收站建设及运营过程中遭受自然灾害危害事故时有发生, 对人民生命财产安全、企业安全运营构成了严重威胁。因此, 加强开展LNG接收站及附近区域内自然灾害风险详细调查, 对存在风险进行分级评价, 进一步提出对应的防范措施, 对保障我国能源安全具有重要意义。文章以青岛LNG接收站为研究区, 通过现场调研、实地测绘识别接收站存在的自然灾害风险, 采用风险指数法、层次分析法、城市雨洪模拟模型等多种方法对接收站面临的自然灾害开展分级风险评价, 最后提出LNG接收站自然灾害风险防控具体措施。成果应用表明: 通过LNG接收站自然灾害风险识别与评价并提出相应的风险防控措施, 对青岛LNG接收站的自然灾害现状与整体情况有了全面的了解, 手机APP的应用让管理人员实时全面掌握接收站及附近区域的气象、海洋、地质灾害情况, 及时获取到关于自然灾害相关的预警信息, 实现了自然灾害隐患从发现到处置、到事后持续管理的连续追踪, 为自然灾害系统管理提供技术支持。

## 关键词

LNG接收站, 自然灾害, 风险识别, 风险评价, 风险防控

# Natural Disaster Risk Identification, Assessment and Prevention of Qingdao LNG Terminal

Yunyi Wu<sup>1</sup>, Yuanjie Zheng<sup>2</sup>, Chao Huang<sup>2</sup>, Haiyan Hu<sup>3</sup>, Lebin Zong<sup>3</sup>, Peiyuan An<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Sinopec Gas Company North China Natural Gas Sales Center, Qingdao Shandong

\*通讯作者。

文章引用: 吴运逸, 郑元杰, 黄超, 胡海燕, 宗乐斌, 安培源. 青岛 LNG 接收站自然灾害风险识别、评价及防控[J]. 地球科学前沿, 2022, 12(12): 1669-1680. DOI: 10.12677/ag.2022.1212162

<sup>2</sup>Sinopec Qingdao LNG Co., Ltd., Qingdao Shandong

<sup>3</sup>Beijing Zhongdi Hua'an Technology Co., Ltd., Beijing

Received: Nov. 8<sup>th</sup>, 2022; accepted: Dec. 23<sup>rd</sup>, 2022; published: Dec. 31<sup>st</sup>, 2022

## Abstract

LNG terminal is an important transfer station for imported LNG resources in China, which plays an important role in ensuring national energy security. With the rapid development of LNG terminal construction, natural disasters often occur during the construction and operation of LNG terminal, which poses a serious threat to the safety of people's lives and property and the safety of enterprises. Therefore, we should strengthen the detailed investigation of natural disaster risk in LNG terminal and nearby area, carry out grading evaluation of existing risk, and further propose corresponding preventive measures; it is of great significance to ensure China's energy security. Taking the Qingdao LNG terminal as the research area, the natural disaster risk of the receiving station is identified through field investigation and field mapping, risk Index method, analytic hierarchy process (AHP-RRB-method and simulation model of urban rainfall and flood are used to carry out risk assessment of natural disasters faced by receiving stations, finally, the specific measures of natural disaster risk prevention and control for LNG terminal are put forward. The results show that the natural disaster status and the whole situation of the LNG terminal in Qingdao are fully understood through the identification and evaluation of the natural disaster risk and the corresponding risk prevention and control measures, the application of the mobile phone APP allows managers to fully grasp the weather, ocean and geological disasters in the receiving station and nearby areas in real time, and obtain early warning information about natural disasters in a timely manner, it can trace the hidden danger of natural disaster from discovery to disposal and to continuous management afterwards, and provide technical support for natural disaster system management.

## Keywords

LNG Terminal, Natural Disasters, Risk Identification, Risk Assessment, The Risk Prevention and Control

Copyright © 2022 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

液化天然气(LNG)被认为是地球上最清洁的化石能源,随着我国能源需求的不断增长,引进 LNG 将对我国能源结构优化、保障能源供应安全、生态环境保护起到巨大作用。当前,我国大力发展 LNG 产业,在天津、山东、浙江、福建、广东沿海规划和实施了一大批 LNG 项目,截至 2020 年我国已投运 LNG 接收站 22 座[1]。随着 LNG 接收站建设的快速发展,安全问题也越来越明显,由于 LNG 具有易燃、易爆等特性,国内外 LNG 储罐、运输船、运输车爆炸等事故时有发生,对石油化工企业安全运营、人民生命财产安全构成了严重威胁,如何保障 LNG 接收站安全运行已是我们需要解决的重要课题。尽管当前已有部分国内外学者对 LNG 接收站的风险防控等方面开展了一些工作,但这些工作大多从单个角度或从生产安全风险角度进行研究,缺少针对 LNG 接收站受自然灾害风险威胁下的风险识别、评价及防控全过程系

统性的研究。当前已有学者对 LNG 接收站开展了风险评价方法研究[2] [3] [4], 进一步的也有学者针对 LNG 接收站的应急保障体系开展了相关研究[5]。就目前而言, 还没有学者对 LNG 接收站自然灾害风险识别与评价以及后期的灾害防控等方面展开系统性的研究。

因此, 本文以青岛 LNG 接收站为研究区, 针对接收站可能遭受到的不同类型的自然灾害, 采取适宜的评价方法开展 LNG 接收站自然灾害风险评价, 并提出相应的防控对策, 为 LNG 接收站自然灾害防治提供技术支持。

## 2. 接收站自然灾害风险识别

### 2.1. 接收站概况

青岛 LNG 接收站位于山东省青岛市黄岛区董家口嘴, 琅琊湾西南角, 东侧为琅琊台湾, 西侧为棋子湾, 紧邻青岛市与日照市的分界线, 董家口半岛南部岬角突出部位, 东、南、西侧三面环海, 北侧深入陆域腹地。青岛 LNG 接收站内生产设施包括 1 个可以停靠 8~27 万立方米船型的 LNG 专用码头、1 个工作船码头、LNG 气化外输、槽车充装设施以及国内唯一一套轻烃回收装置。

青岛 LNG 接收站位于鲁东南丘陵区的边缘, 陆域地势北高南低, 起伏不大, 以波状剥夷准平原为主要特征, 地表风化残积层普遍较发育, 近岸处潮滩礁石密布, 海底为向南缓倾之黄海水下岸坡。

区内属暖温带季风气候区域。夏半年盛行东南风, 气候湿润多雨, 易受台风侵扰, 平均每年影响该区域的台风约 2 个; 7、8 月份易出现雷暴天气。

所在海区潮汐类型判别系数为 0.4, 属正规半日潮。平均高潮位 5.185 m; 波浪季节变化明显, 2020 年青岛 LNG 接收站附近海区共发生有效波高超过 2.5 m 的灾害性海浪过程 14 次。超过 4.0 m 的灾害性海浪过程出现 8 次。

青岛 LNG 接收站所处地区地质环境条件、气象、海洋水文相对复杂, 区内主要受台风、暴雨、风暴潮以及地面沉降等自然灾害的影响。

### 2.2. 接收站自然灾害风险识别

通过现场调查、资料收集以及文献调研, 青岛 LNG 接收站自然灾害分为气象灾害、海洋灾害、地质灾害三大类, 气象灾害主要包括台风、暴雨、大风、大雾等; 海洋灾害主要包括风暴潮、海浪等; 地质灾害主要包括地面沉降灾害隐患等。

#### 1) 气象灾害

青岛 LNG 接收站的气象灾害主要包括台风、暴雨等。台风主要影响 LNG 接收站码头, 不利于接收站接船; 暴雨主要对 LNG 的场区及工艺区产生影响, 场区或工艺区因暴雨形成的积水对 LNG 的工艺设施浸泡腐蚀。

#### 2) 海洋灾害

青岛 LNG 接收站的海洋灾害主要包括风暴潮灾害、海浪灾害。风暴潮是由于受热带气旋(主要包括台风、强热带风暴和热带风暴)或温带气旋(寒潮)等灾害性天气系统引起的海面异常升高的现象。根据引起风暴潮的不同天气系统, 风暴潮灾害分为两类, 台风风暴潮灾害和温带风暴潮灾害。风暴潮往往伴随狂涛巨浪, 使潮水暴涨, 冲毁海堤, 吞噬码头。海浪是发生在海洋表面上的表面波, 亦即沿着水与空气界面间传行的一种波动, 属于重力波的一种类型。海浪灾害会对 LNG 船舶、工作船造成威胁, 使船舶起伏摇摆碰撞码头、断缆失控。

#### 3) 地质灾害

青岛 LNG 接收站的地质灾害主要是地面沉降灾害隐患。接收站内的地面沉降灾害隐患主要是由于地

层基岩面起伏不平, 后续填土层厚不同, 导致固结程度不同引起的不均匀沉降。地面沉降灾害隐患主要对接收站内的构筑物产生影响, 造成工艺设施、管线变形等。另外接收站及周边地带无断层分布、也无陡峭山坡、沟谷等不良地段, 不存在岩体崩塌、滑坡灾害。依据场地工程地震勘察资料, 场地地震钻孔 20 米以内未见饱和砂土或饱和粘土。因此可不考虑砂土液化和软土震陷问题。

### 3. 接收站自然灾害风险评价

青岛 LNG 接收站的自然灾害风险评价采用风险矩阵方法、风险指数法、层次分析法、城市雨洪模拟模型等方法[6] [7]。

风险矩阵方法: 该方法是将致灾体危险性和承灾体的脆弱性进行量化, 由量化结果确定致灾体的危险性等级和承灾体的脆弱性等级, 灾害的风险等级由致灾体的危险性等级和承灾体的脆弱性等级共同决定, 通过构建灾害风险评价矩阵确定 LNG 接收站自然灾害风险等级。

风险指数法是指将一定区域灾害风险定义为由灾害危险性(hazard)、承灾体的易损性(vulnerability)和失效后果(consequence of failure)三个因素相互综合作用而形成的。在灾害风险形成过程中, 危险性(H)、易损性(V)和失效后果(C)是缺一不可的, 是三者综合作用的结果, 灾害风险数学计算公式为:

$$R = f(H, V, C) \tag{1}$$

式中,  $R$  为灾害风险;  $H$  为危险性;  $V$  为易损性;  $C$  为失效后果。

层次分析法是指将与评估有关的因素分解成目标、指标、方案等层次, 并在此基础上构造成对比较矩阵, 进行定性和定量分析的评估方法。层次分析法(AHP)在多要素综合评价方面具有独特的优势。本次评价将采用该方法确定每个指标的权重, 步骤如下: 先根据人们的主观偏好构造每一准则下各指标间的判断矩阵, 然后求判断矩阵的最大特征值和特征向量, 再对判断矩阵做一致性检验, 如果检验通过, 则将求得的特征向量做归一化处理, 即得到该准则下  $n$  个指标之间的相对权重( $w_1, w_2, \dots, w_n$ ); 否则, 重新构造判断矩阵, 重复上述过程。

#### 3.1. 气象灾害风险评价

##### 3.1.1. 台风灾害风险评价

LNG 接收站台风灾害风险评价使用风险矩阵方法, 基于台风灾害危险性等级和承灾体脆弱性等级, 构建 LNG 接收站台风灾害风险分级矩阵, 见表 1。台风灾害风险等级参照《自然灾害风险分级方法》确定为四级[8]。

**Table 1.** Typhoon disaster risk classification matrix  
**表 1.** 台风灾害风险分级矩阵

台风危险性	台风承灾体脆弱性			
	低(IV 级)	较低(III 级)	较高(II 级)	高(I 级)
低(IV 级)	低风险(IV 级)	低风险(IV 级)	较低风险(III 级)	较低风险(III 级)
较低(III 级)	低风险(IV 级)	较低风险(III 级)	较高风险(II 级)	较高风险(II 级)
较高(II 级)	较低风险(III 级)	较高风险(II 级)	较高风险(II 级)	高风险(I 级)
高(I 级)	较低风险(III 级)	较高风险(II 级)	高风险(I 级)	高风险(I 级)

青岛 LNG 接收站台风灾害危险性等级为较低(III 级); 码头、引桥、LNG 储罐、工艺设施、办公楼等构筑物的台风脆弱性等级为低(IV 级)、LNG 船舶的台风脆弱性等级为较高(II 级), 依据台风灾害风险

分级矩阵得到码头、引桥、LNG 储罐、工艺设施、办公楼等区域的台风灾害风险为低风险(IV 级), LNG 船舶的台风灾害风险为较高风险(II 级)。

### 3.1.2. 暴雨灾害风险评价

暴雨灾害风险评价主要围绕在暴雨积水风险评价分析上。暴雨积水风险评价分析采用基于 GIS 与 SWMM 的城市雨洪模拟模型[9] [10] [11], 对青岛 LNG 接收站暴雨积水风险进行分析。模型构建思路为: 1) 数字高程模型建立, 2) 雨排水系统测绘, 3) 接收站排水系统概化模型建立, 4) 模拟暴雨强度确定, 5) 暴雨积水情景模拟结果。

#### 1) 暴雨积水情景模拟结果

分别选取不同暴雨预警等级的降雨时间序列, 并进行降雨模拟, 得到青岛 LNG 场区内的积水情况, 如图 1 所示为暴雨红色预警(3 小时内降雨量 100 mm)强降雨下接收站内的积水境况(图中随蓝色 - 黄色 - 橙色 - 红色变化积水程度增加)。

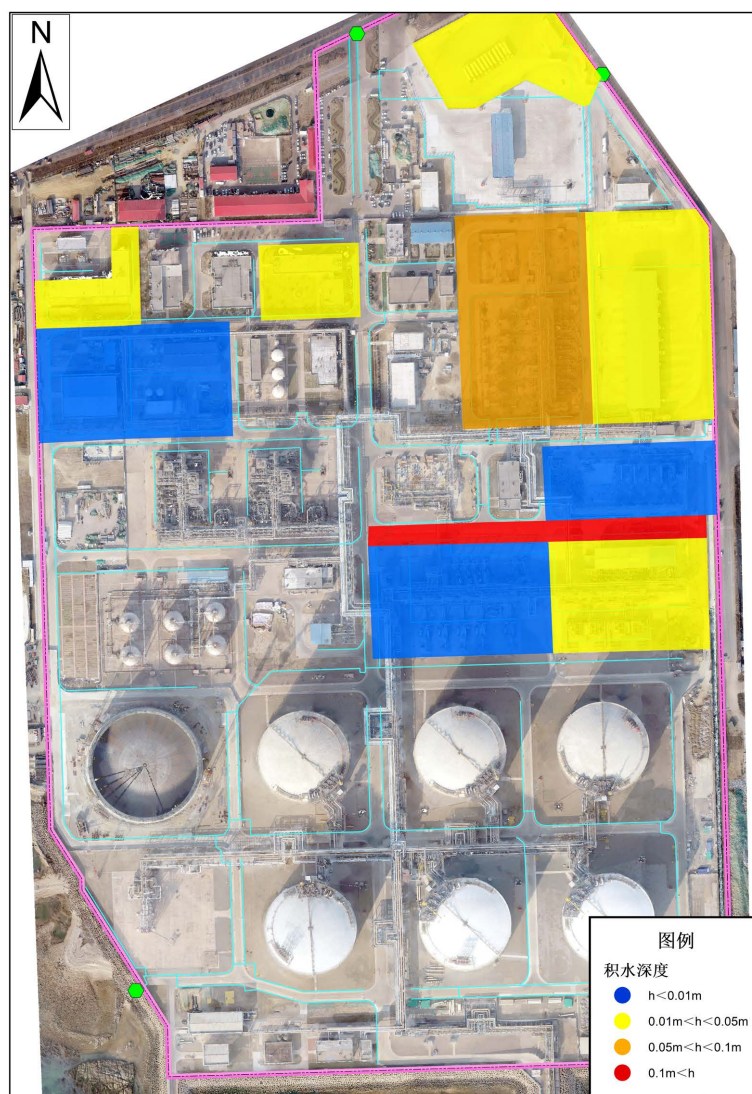


Figure 1. Water accumulation in Qingdao LNG terminal (Rainfall of 100 mm in 3 hours)

图 1. 青岛 LNG 场区积水情况(3 小时内降雨量 100 mm)

### 2) 积水风险分级

通过基于 GIS 与 SWMM 的城市雨洪模拟模型,对青岛 LNG 接收站进行暴雨积水模拟,得到场区内的降水过程,积水点分布及积水程度情况,在不同降雨条件下接收站内的积水情况有所区别,从青岛 LNG 接收站积水情况分布图可以看到随着降雨量的增加,接收站内的积水面积和积水程度明显提高,其中工艺设施区域最易积水,北部槽车充装站停车区和办公楼区域在暴雨橙色预警情况下同样存在积水可能。考虑到接收站所在地区历史最大降雨量为 358 mm,结合国家预报暴雨量级,采用 400 mm 降雨量(12 小时内)下的暴雨模拟结果对接收站内各区域暴雨灾害积水风险进行分级。分级标准见表 2。

**Table 2.** Standard for classification of water accumulation risk in rainstorm disasters  
**表 2.** 暴雨灾害积水风险等级划分标准

积水风险等级	I 级(高)	II 级(较高)	III 级(较低)	IV 级(低)
积水深度(m)	$0.1 \leq H$	$0.05 \leq H_s < 0.1$	$0.01 \leq H_s < 0.05$	$H_s < 0.01$

根据降雨积水模拟情况,依照暴雨灾害积水风险等级划分标准确定青岛 LNG 接收站暴雨灾害积水风险等级,其中工艺设施区的暴雨灾害积水风险等级为高(I 级),槽车充装站停车区、办公区、总变电站的暴雨灾害积水风险等级为较低(III 级),空分空压站、软化水站、锅炉房的暴雨灾害积水风险等级为低(IV 级)。

## 3.2. 海洋灾害风险评价

### 3.2.1. 风暴潮灾害风险评价

LNG 接收站风暴潮灾害风险评价使用风险矩阵方法。基于风暴潮灾害危险性等级和承灾体脆弱性等级,构建 LNG 接收站风暴潮灾害风险分级矩阵,见表 3。风暴潮灾害风险等级参照《海洋灾害风险评估和区划技术导则第 1 部分:风暴潮》确定为四级,高风险区(I 级)、较高风险区(II 级)、较低风险区(III 级)、低风险区(IV 级) [12]。

**Table 3.** Storm surges disaster risk classification matrix  
**表 3.** 风暴潮灾害风险分级矩阵

风暴潮危险性	风暴潮承灾体脆弱性			
	低(IV 级)	较低(III 级)	较高(II 级)	高(I 级)
低(IV 级)	低风险(IV 级)	低风险(IV 级)	较低风险(III 级)	较低风险(III 级)
较低(III 级)	低风险(IV 级)	较低风险(III 级)	较高风险(II 级)	较高风险(II 级)
较高(II 级)	较低风险(III 级)	较高风险(II 级)	较高风险(II 级)	高风险(I 级)
高(I 级)	较低风险(III 级)	较高风险(II 级)	高风险(I 级)	高风险(I 级)

青岛 LNG 接收站风暴潮灾害危险性等级为较低(III 级),青岛 LNG 接收站风暴潮灾害脆弱性等级为较高(II 级),依据风暴潮灾害风险分级矩阵确定青岛 LNG 接收站灾害风险等级为较高风险(II 级)。其中工作船舶位码头的风暴潮灾害危险性等级为较高(II 级),工作船舶位码头属于海上设施,其风暴潮灾害脆弱性等级为高(I 级),依据风暴潮灾害风险分级矩阵风暴潮灾害风险为高风险(I 级),需在风暴潮灾害防治工作中重点关注。

### 3.2.2. 海浪灾害风险评价

LNG 接收站海浪灾害风险评价使用风险矩阵方法。基于海浪灾害危险性等级和承灾体脆弱性等级,构建 LNG 接收站海浪灾害风险分级矩阵,见表 4。依照风暴潮灾害风险等级划分原则亦将海浪灾害的风

险等级确定为四级，高风险区(I级)、较高风险区(II级)、较低风险区(III级)、低风险区(IV级)。

**Table 4.** Sea wave disaster risk classification matrix  
**表 4.** 风暴潮灾害风险分级矩阵

海浪危险性	海浪承灾体脆弱性			
	低(IV级)	较低(III级)	较高(II级)	高(I级)
低(IV级)	低风险(IV级)	低风险(IV级)	较低风险(III级)	较低风险(III级)
较低(III级)	低风险(IV级)	较低风险(III级)	较高风险(II级)	较高风险(II级)
较高(II级)	较低风险(III级)	较高风险(II级)	较高风险(II级)	高风险(I级)
高(I级)	较低风险(III级)	较高风险(II级)	高风险(I级)	高风险(I级)

青岛 LNG 接收站海浪灾害危险性等级为较低(III级)，青岛 LNG 接收站海浪灾害脆弱性等级为较低(III级)，依据 LNG 接收站海浪灾害风险分级矩阵确定青岛 LNG 接收站海浪灾害风险等级为较低风险(III级)。其中 LNG 船舶海浪灾害危险性等级为较低(III级)，脆弱性等级为较高(II级)，依据 LNG 接收站海浪灾害风险分级矩阵确定 LNG 船舶的海浪灾害为较高风险(II级)，需在海浪灾害防治工作中重点关注。

### 3.3. 地质灾害风险评价

#### 地面沉降灾害隐患风险评价

##### 1) 地面沉降灾害隐患风险评价指标体系的建立

LNG 接收站地面沉降灾害隐患风险评价采用风险指数法与层次分析法结合的方法。从系统论观点出发，根据自然灾害风险指数法的理论，遵循科学性、综合性、主导性、层次性、动态性和可操作性原则，确定地面沉降灾害隐患风险评估指标体系[13]。

与地震等突发性灾害不同，地面沉降是缓发性并逐年累积的，因此累计地面沉降量是反映地面沉降危险性的主要指标；

LNG 接收站场区易损性考虑接收站内各建构物类型，承灾体的数量多、密度大、价值高，遭受灾害时人员伤亡和经济损失就大。

LNG 接收站场区失效后果考虑环境污染和停产影响。

LNG 接收站地面沉降灾害隐患风险评价因素权重见表 5。

**Table 5.** Weight of ground subsidence disaster risk assessment factors  
**表 5.** 地面沉降灾害隐患风险评价因素权重

因素层(权重)	因子层(权重)
危险性(0.15)	累计地面沉降量(1)
易损性(0.27)	建构物结构类型(1)
失效后果(0.58)	环境影响(0.33) 停产影响(0.67)

##### 2) 指标的量化

地面沉降灾害隐患风险评价的目标集共分为 4 级，即低、较低、较高和高。评价指标是数学模型中的变量，必须量化。因此要对各指标进行无量纲处理和定量转化。根据对地面沉降灾害隐患风险的贡献率大小进行重新分类，将每个指标分为 1~4 等，分别对应的风险等级为低、较低、较高和高。之后对各

指标进行归一化处理，分级结果见表 6。

**Table 6.** Weight of ground subsidence disaster risk evaluation classification  
**表 6.** 地面沉降灾害隐患风险评价分级

指标		分级与取值			
因素	因子	低	较低	较高	高
危险性	累计地面沉降量(mm)	0~2 (0.1)	2~4 (0.3)	4~6 (0.5)	>8 (0.7)
易损性	建构筑物类型	办公楼(0.1)	LNG 储罐(0.3)	工艺设施、防波堤(0.5)	码头、引桥(0.7)
失效后果	环境影响	无影响(0.1)	轻微影响(0.3)	区域影响(0.5)	重大影响(0.7)
	停产影响	无影响(0.1)	对生产有重大影响(0.3)	对上下游公司有重大影响(0.5)	国内或国际影响(0.7)

### 3) 地面沉降灾害隐患风险评价结果

根据地面沉降灾害隐患风险评价指标体系分级，结合收集资料，对青岛 LNG 接收站内各建构筑物进行风险因子打分，各因子取值情况见表 7：

**Table 7.** Risk factors marking table for ground subsidence disaster risk  
**表 7.** 地面沉降灾害隐患风险因子打分表

评价对象	累计地面沉降量	建构筑物类型	环境影响	停产影响
办公楼	0.1	0.1	0.1	0.1
工艺设施	0.1	0.5	0.7	0.5
LNG 储罐	0.1	0.3	0.7	0.5
码头	0.3	0.7	0.3	0.3
引桥	0.1	0.7	0.5	0.3
防波堤	0.7	0.5	0.3	0.1

根据前述中对灾害风险的定义，在数值上采用了如下表达式进行计算

$$R = \sum_{i=1}^n W_i N_j (i = 1, 2, \dots, n) \tag{2}$$

式中： $R$  为地面沉降风险评价指数；

$W_i$  为权重；

$N_j$  为各因素指数。

根据表 7 地面沉降灾害隐患风险评价中各因子取值大小，依照公式(2)对各评价对象的风险评价指数进行计算，计算结果见表 8：

**Table 8.** Risk Assessment index table for ground subsidence disaster risk  
**表 8.** 地面沉降灾害隐患风险评价指数表

评价对象	办公楼	工艺设施	LNG 储罐	码头	引桥	防波堤
评价指数	0.1	0.47828	0.42428	0.48572	0.41628	0.33628

参照 MZ/T 031-2012 自然灾害风险分级方法等相关标准，对地面沉降灾害隐患风险评价指数进行分级，评价指数在(0.1~0.3)为低风险(IV 级)，(0.3~0.5)为较低风险(III 级)，(0.5~0.7)为较高风险(II 级)，(>0.7)



为高风险(I级)。

依照上述风险评价指数计算结果及分级标准,青岛 LNG 接收站内各建构物地面沉降灾害隐患风险评价结果为:办公楼的地面沉降灾害隐患风险等级为低(IV级),工艺设施、LNG 储罐、码头、引桥及防波堤的地面沉降灾害隐患风险等级为较低(III级)。

### 3.4. 小结

经过对气象灾害、海洋灾害、地质灾害的调查与风险评价,青岛 LNG 接收站面临的主要有台风灾害、暴雨灾害、风暴潮灾害、海浪灾害和地面沉降灾害等三类五种自然灾害。青岛 LNG 接收站场区面临的自然灾害有台风灾害、暴雨灾害、风暴潮灾害和地面沉降灾害;码头、引桥、船舶面临的自然灾害有台风灾害、风暴潮灾害、海浪灾害和地面沉降灾害。

青岛 LNG 接收站 LNG 船舶的台风灾害风险为较高风险(II级),码头、引桥、LNG 储罐、工艺设施、办公楼等区域的台风灾害风险为低风险(IV级);青岛 LNG 接收站工艺设施区的暴雨灾害积水风险等级为高(I级),槽车充装站停车区、办公区、总变电站的暴雨灾害积水风险等级为较低(III级),空分空压站、软化水站、锅炉房的暴雨灾害积水风险等级为低(IV级)。青岛 LNG 接收站码头、引桥风暴潮灾害风险等级为较高风险(II级),工作船泊位码头风暴潮灾害风险为高风险(I级);青岛 LNG 接收站海浪灾害风险等级为较低风险(III级),LNG 船舶海浪灾害风险等级为较高风险(II级);办公楼的地面沉降灾害风险等级为低(IV级),工艺设施、LNG 储罐、码头、引桥及防波堤的地面沉降灾害风险等级为较低(III级)。

## 4. 接收站自然灾害风险防控

### 4.1. 接收站自然灾害防控体系建设

随着我国能源需求的不断增长,国家开始大力发展 LNG 产业,伴随而来的是各类自然灾害严重威胁国家经济、社会、环境安全,LNG 接收站安全保障已经成为事关国家能源安全的重大现实问题。为了有效防范 LNG 接收站自然灾害危害事故的发生,必须尽快开展 LNG 接收站自然灾害防控体系建设,以期系统全面布局 LNG 接收站自然灾害防控工作,为我国 LNG 接收站安全运行提供全面支撑和有力保障。

LNG 接收站自然灾害防控是一项复杂的系统工程,涉及到气象、海洋、地质三个学科,需要考虑环境条件、诱发因素、保护对象等三个基本方面[14],必须系统布局、统筹安排。同时要遵循“以防为主、防治结合、抓早抓小、风险可控、应对科学、处置规范、经济合理、保障有力”的基本思路。

LNG 接收站自然灾害防控可以概括为四个基本体系建设,即调查评价体系、监测预警体系、应急处置体系、技术标准体系[15]。四个体系建设中,调查评价体系、监测预警体系是自然灾害防控的基础,应急处置体系是接收站安全具体保障,技术标准体系是自然灾害防控工作的技术准则[16]。

接收站自然灾害防控体系建设最后形成 LNG 接收站自然灾害风险评价报告、LNG 接收站自然灾害监测系统、LNG 接收站自然灾害防控管理规定和 LNG 接收站自然灾害防控应急预案。最终实现 LNG 接收站自然灾害风险有效管控、实现自然灾害风险管理由应急为主逐步转向以风险管理为主,为能源石化公司接收站建设及安全运行提供坚实有力的地质安全保障。

### 4.2. 接收站自然灾害监测预警

根据青岛 LNG 接收站自然灾害的特征,选择对接收站可能造成危害的气象灾害、海洋灾害以及地质灾害进行监测,监测内容包括雨量监测、雷电监测、台风监测、潮汐监测、海浪监测、海面风速监测、海流流速监测、海水位监测、地面沉降监测。针对上述监测内容采取的监测预警措施包括:① 与国家气象局、海洋局合作,获取青岛 LNG 接收站周边及海域的气象与海洋预警信息;② 接收站内安装多种类

型监测设备(包括: 雷电预警装置、雨量站、地表位移监测站、浮标气象站等, 设备照片见图 2)。



Figure 2. Monitoring equipment  
图 2. 监测设备



Figure 3. Mobile Application interface (Early warning information/monitoring curve/typhoon path)  
图 3. 手机 APP 界面(预警信息/监测曲线/台风路径)

### 4.3. 接收站自然灾害防治手机 APP

依托原有监测预警应用平台,开发了 LNG 自然灾害防治手机 APP“海防通”,APP 具有预警预报、专业监测、台风路径、海洋天气等多个模块,实现各类监测预警信息的实时互通。手机 APP 界面见图 3,分别为预警信息查询,地表位移实时监测曲线,以及 2022 年台风“梅花”的实时路径、登陆信息查询。2022 年台风“梅花”来临期间,接收站管理人员根据手机 APP 的预报信息及时部署防汛防台工作,有效应对了台风的来袭,避免了台风所带来的次生灾害。

其中预警预报模块可以查看海洋警报(海浪、风暴潮)、气象风险警报(台风、暴雨、冰雹)、地质灾害警报、雷电警报等自然灾害的预警信息,以及未来 7 天的天气预报。

专业监测模块可以查看地表位移监测和雨量监测数据。

台风路径可以查询浏览台风位置、中心附近最大风力,中心最低气压,风圈半径,台风未来路径,距离青岛 LNG 接收站的实时方位与距离,登陆青岛的概率,预测台风登陆时间以及台风预警信息等。

海洋天气可以查看接收站附近海域的潮汐、浪高、波向、海表面风速、海表面风向、海流流速、海流流向等。

通过上述模块可以实现对台风、暴雨(积水)、风暴潮、雷电、地面沉降等自然灾害的监测数据的实时浏览与预警信息的及时获取。

## 5. 结语

目前我国的 LNG 接收站产业才刚刚起步,经验不足,随着世界能源结构的不断调整,未来我国进口天然气的需求仍会大幅增长。LNG 接收站的自然灾害风险管理关系着人民的生命与财产安全,对于 LNG 接收站项目建设意义重大。

本文通过 LNG 接收站自然灾害风险识别与评价并提出相应的风险防控措施,对 LNG 接收站的自然灾害现状与整体情况有了全面的了解。风险识别能够为接收站精准管控自然灾害提供有效帮助;分级评价结果让后续自然灾害防治管理能够做到井然有序;防范措施的提出为接收站灾害风险管控提供了技术基础。总体实现了自然灾害隐患从发现到处置、到事后持续管理的连续追踪,可以为自然灾害系统管理提供技术支持。

## 参考文献

- [1] 陈正惠,宋明国,樊慧.基于国家管网集团运行下的中国 LNG 接收站运营模式及趋势分析[J].国际石油经济,2022,30(1):77-84.
- [2] 祁云清.液化天然气接收站风险评价方法研究[D]:[硕士学位论文].成都:西南石油大学,2015.
- [3] 孟凡凡.天津 LNG 接收站风险评价及管控措施[D]:[硕士学位论文].东营:中国石油大学(华东),2016.
- [4] 赵顺喜.液化天然气接收站安全风险评价指标体系研究[D]:[硕士学位论文].深圳:深圳大学,2018.
- [5] 张文冬,路江华,傅培辉,李相环.浅析 LNG 接收站应急保障体系建设[J].石油化工安全环保技术,2016,32(2):36-39+6.
- [6] 石勇,许世远,石纯,孙阿丽,赵庆良.自然灾害脆弱性研究进展[J].自然灾害学报,2011,20(2):131-137.
- [7] 王静静.沿海港口典型自然灾害风险分析与评估[D]:[硕士学位论文].上海:华东师范大学,2011.
- [8] 殷杰.中国沿海台风风暴潮灾害风险评估研究[D]:[博士学位论文].上海:华东师范大学,2011.
- [9] 刘旭.基于 UAV 倾斜摄影测量和 SWMM 的城市暴雨积水模拟研究[D]:[硕士学位论文].武汉:华中科技大学,2019.
- [10] 朱海燕.北京市地铁站暴雨内涝脆弱性评估研究[D]:[硕士学位论文].北京:首都经济贸易大学,2018.
- [11] 朱呈浩,夏军强,陈倩,侯精明.基于 SWMM 模型的城市洪涝过程模拟及风险评估[J].灾害学,2018,33(2):

224-230.

- [12] 石先武, 谭骏, 国志兴, 刘钦政. 风暴潮灾害风险评估研究综述[J]. 地球科学进展, 2013, 28(8): 866-874.
- [13] 胡喜梅, 马传明, 邓波, 张晶晶. 江苏省沿海地区地面沉降风险评价[J]. 地质科技情报, 2017, 36(2): 222-228.
- [14] 李保俊, 袁艺, 邹铭, 范一大, 周俊华. 中国自然灾害应急管理研究进展与对策[J]. 自然灾害学报, 2004(3): 18-23.
- [15] 陈其针, 仲平, 张贤, 刘家琰, 贾莉. 构建中国自然灾害防灾减灾新体系[J]. 水文地质工程地质, 2020, 47(4): 1-4.
- [16] 林艳兰. 阳江市气象灾害应急管理体系建设研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2014.