

广东省地方标准

DB 44/T XXXX—XXXX

油气储运重大基础设施防御系统韧性评估
技术指南

Resilience assessment guide of prevention system of major infrastructure for oil &
gas storage and transportation

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

广东省市场监督管理局 发布

目 次

前 言 II

1 范围 3

2 规范性引用文件 3

3 术语和定义 3

4 需考虑的因素 4

5 评估内容与流程 5

6 信息收集 6

7 抵抗能力评估 6

8 适应能力评估 7

9 修复能力评估 9

10 韧性评估 9

附 录 A （资料性） 多灾种耦合下油气储运重大基础设施防御系统性能修正因子取值[1-2].. 11

附 录 B （资料性） 典型自然灾害下油气储运重大基础设施单元易损性模型[3]..... 12

参 考 文 献 13

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由广东省应急管理厅提出并组织实施。

本文件由广东省安全生产标准化技术委员会（GD/TC 81）归口。

本文件起草单位：华南理工大学、国家石油天然气管网集团有限公司华南分公司、广东华南智慧管道研究院、广东省安全生产科学技术研究院。

本文件主要起草人：陈国华、曾涛、马嘉俊、周利兴、冯少真、杨运锋、黄孔星、周池楼、赵杰、陶侠、田中山、王现中、陈思雅、张晨、袁智、赵远飞。

油气储运重大基础设施防御系统韧性评估技术指南

1 范围

本文件提供了多灾种耦合下油气储运重大基础设施防御系统韧性评估的内容与流程，给出了基本信息收集的基本要求、抵抗能力、适应能力、修复能力三个韧性指标的评估方法及韧性评估及分级方法。

本文件适用于新建及现有油气储运重大基础设施防御系统的自然灾害与技术灾害多灾种耦合场景抗灾韧性评估。

本文件不适用于多种自然灾害耦合场景的抗灾韧性评估。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 34275-2017 压力管道规范 长输管道

GB 50074-2014 石油库设计规范

AQ/T 3046—2013 化工企业定量风险评价导则

SY/T 7031-2016 油气储运术语

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

多灾种耦合 coupled multi-hazard

台风、雷电、洪水、地震等自然灾害和泄漏、火灾、爆炸等事故灾害间的相互关联，相互演化导致的灾害场景。

3.2

油气储运重大基础设施 major infrastructure for oil & gas storage and transportation

油气储存及运输涉及到的基础设施，包括站场、石油库、长输管道。

3.3

站场 station

对管输油气进行增压、减压、储存、注入、分输、计量、加热、冷却或清管等操作的设施及场地。

[来源：SY/T 7031-2016，2]

3.4

石油库 oil depot

收发、储存原油、成品油及其他易燃和可燃液体化学品的独立设施。

[来源：GB 50074-2014，2.0.1]

3.5

长输管道 long-distance transmission pipeline

产地、储存库、用户间的用于输送(油气)商品介质的管道。

[来源: GB/T 34275-2017, 3.1]

3.6

防御系统 prevention system

保障油气储运重大基础设施免受灾害侵袭或缓解灾害损伤的相关设备设施构成的系统。

3.7

抵抗能力 resisting ability

防御系统自身抵抗灾害破坏的能力。

3.8

适应能力 adaptive ability

防御系统在灾害演化场景中, 适应灾害场景并降低油气储运重大基础设施失效概率的能力。

3.9

修复能力 recovery ability

多灾种耦合事件后, 油气储运重大基础设施经修复活动恢复一定水平原有功能的能力。

3.10

系统韧性 system resilience

多灾种耦合下油气储运重大基础设施系统在一系列防御措施的作用后, 维持与恢复原有系统功能的能力。

3.11

系统基本功能 fundamental function of system

满足油气储运过程要求、维持其正常运行所必需的系统功能。

3.12

单元 unit

具有清晰边界和特定功能的一组设备、设施或场所, 在泄漏时能与其他单元及时切断。

[来源: AQ/T 3046—2013, 3.8]。

4 需考虑的因素

4.1 评估任务

韧性评估各步骤任务要点如下:

信息收集的任务是识别油气储运重大基础设施防御系统特征与可能出现的多灾种耦合场景, 并启动评估程序;

- a) 抵抗能力评估的任务是对油气储运重大基础设施防御系统应对灾害并保障正常启用的能力进行评估及分级;
- b) 适应能力评估的任务是对油气储运重大基础设施防御系统在多灾种耦合场景中保护设备不受损坏的能力进行评估及分级;
- c) 修复能力评估的任务是对油气储运重大基础设施防御系统灾后性能恢复水平进行评估及分级;
- d) 韧性评估的任务是对油气储运重大基础设施单个单元及系统韧性水平进行评估及分级。

4.2 不确定性来源

油气储运重大基础设施防御系统韧性评估全过程均区分不确定性来源。自然灾害和技术灾害为油气储运重大基础设施防御系统带来的不确定性宜分别评估。

5 评估内容与流程

5.1 评估内容

油气储运重大基础设施防御系统韧性评估主要包括信息收集、抵抗能力评估、适应能力评估、修复能力评估、韧性评估五部分内容。主要评估台风、雷电、洪水、地震等自然灾害和泄漏、火灾、爆炸等事故灾害耦合场景下油气储运重大基础设施防御系统的韧性。

5.2 评估流程

评估流程见图1。

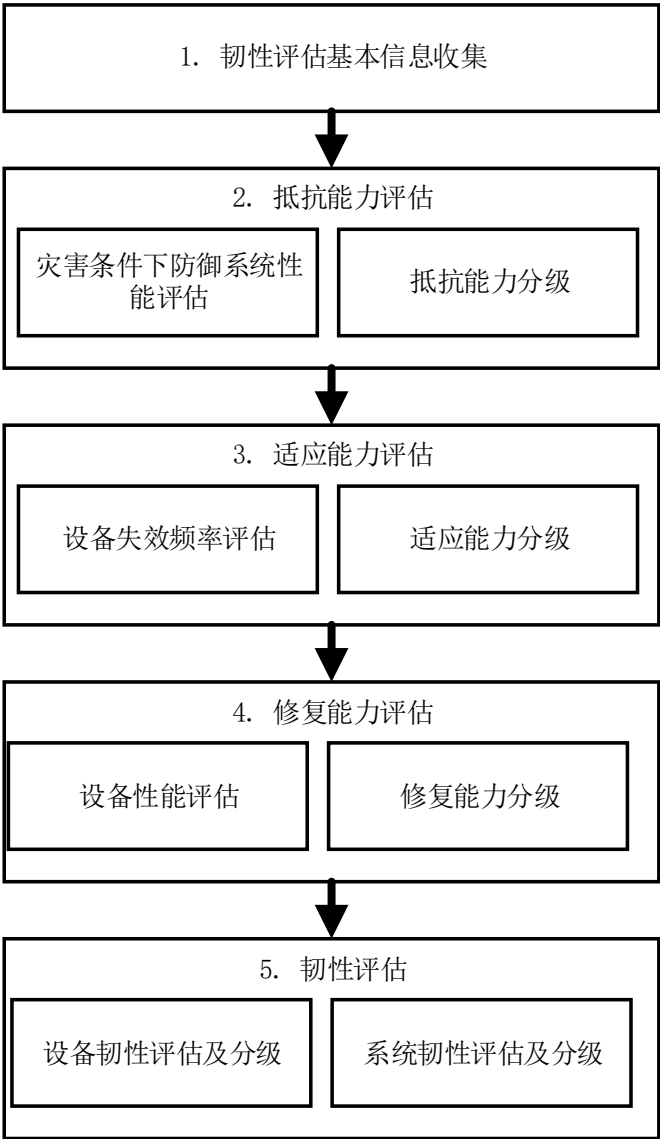


图 1 多灾种耦合下油气储运重大基础设施防御系统韧性评估基本流程图

6 信息收集

6.1 基本信息类型

信息收集应包括自然灾害、油气储运重大基础设施及防御系统的相关信息，应包括下列内容：

- a) 有关自然灾害的相关信息，包括自然灾害类型、自然灾害强度、自然灾害重现期等；
- b) 油气储运重大基础设施有效基础信息，包括油气储运重大基础设施类型、几何尺寸、设备功能、设备经济价值、设备运营参数等；
- c) 油气储运重大基础设施防御系统的有效基础信息，包括安全管理制度、安全屏障类型、安全屏障性能、应急救援力量等。

6.2 灾害识别

辨识油气储运重大基础设施所在区域最可能的自然灾害类型及可能引发的技术灾害类型，描述潜在的多灾种耦合事故场景。

6.3 评估启动

整理上述获得的基础信息，构建多灾种耦合场景下油气储运重大基础设施防御系统离散模型，分离单个设备单元及其所属的防御系统，启动评估程序。

——对于大容量、相关化学物质高危险性、位于油气储运重大基础设施防御系统中心位置的设备单元，宜优先开展韧性评估。

7 抵抗能力评估

7.1 防御系统特性确认

7.1.1 类型及数量

油气储运重大基础设施防御系统所涉及的安全屏障类型、数量应根据实际情况确定。

7.1.2 性能参数取值

安全屏障的有效性参数取值应参照现行技术标准，并根据自然灾害类型进行修正。若相关参数无相应技术标准规定，可由相关领域专家根据自然灾害类型及安全屏障失效机理，依据专家经验进行取值。

7.2 抵抗能力计算

7.2.1 防御设施性能评估

防御系统抵抗能力应根据自然灾害下防御系统有效性进行评估。防御系统可能由多个安全设备设施组成，对于喷淋系统等安全设备设施，其有效程度因自然灾害的强危害作用而降低，可分为主动防护设施与被动防护设施两类，防护设施性能修正因子取值应符合附录B的规定。单个防护设施性能使用公式（1）计算：

$$\begin{cases} PFD = 1 + (\phi - 1) \times (1 - PFD_0); \eta = \eta_0 \text{ (主动防护设施)} \\ PFD = 1; \eta = \eta_0(1 - \phi) \text{ (被动防护设施)} \end{cases} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

PFD ——防护设施失效概率；
 Φ ——防护设施性能修正因子；
 PFD_0 ——防护设施原有失效概率；
 η ——防护设施有效性；
 η_0 ——防护设施原有有效性。

7.2.2 抵抗能力计算公式

单个安全设备设施在自然灾害下的有效性损失可认为是相互独立的，防御系统的抵抗能力使用公式（2）计算：

$$Re = \frac{1 - \prod_{a=1}^c PFD_a \times \prod_{p=1}^d (1 - \eta_p)}{1 - \prod_{a=1}^c PFD_{0-a} \times \prod_{p=1}^d (1 - \eta_{0-p})} \dots\dots\dots (2)$$

式中：
 Re ——防御系统抵抗能力；
 PFD_a ——自然灾害下主动防护设施 a 失效概率；
 PFD_{0-a} ——正常状态下主动防护设施 a 失效概率；
 c ——主动防护设施数量；
 η_p ——自然灾害下被动防护设施 p 有效性；
 η_{0-p} ——正常状态下被动防护设施 p 有效性；
 d ——被动防护设施数量。

7.2.3 抵抗能力分级

防御系统抵抗能力可根据 Re 值分为5级，包括：

- a) 弱（1级）：防护系统几乎不能抵抗自然灾害作用， $0 \leq Re < 0.2$ ；
- b) 较弱（2级）：防护系统难以抵抗自然灾害作用， $0.2 \leq Re < 0.4$ ；
- c) 中（3级）：防护系统可以一定程度的抵抗自然灾害作用， $0.4 \leq Re < 0.6$ ；
- d) 较强（4级）：防护系统可以较大程度的抵抗自然灾害作用， $0.6 \leq Re < 0.8$ ；
- e) 强（5级）：防护系统几乎不受自然灾害影响， $0.8 \leq Re \leq 1$ 。

8 适应能力评估

8.1 灾害来源影响

8.1.1 自然灾害来源

自然灾害下的设备损伤模式与自然灾害类型相关，只要能导致泄漏的破坏模式均宜考虑入自然灾害下设备失效频率分析。

8.1.2 技术灾害来源

技术灾害下的设备损伤（即多米诺事故影响）与低阶事故类型相关，火灾或爆炸场景均被考虑入技术灾害下设备失效频率分析。

8.2 适应能力计算

8.2.1 总体失效频率计算公式

多灾种耦合场景下设备失效原因涉及常规失效、自然灾害作用、多米诺事故作用，设备失效频率使用公式（3）计算：

$$f_{\text{total}} = f(\text{unit}) + f(\text{Natech}) + f(\text{domino}) \dots\dots\dots (3)$$

式中：

f_{total} ——多灾种耦合场景下的设备失效频率；

$f(\text{unit})$ ——由于人因失误、机械故障等常规失效原因导致的设备失效频率，宜依据风险评估报告取值；

$f(\text{Natech})$ ——因自然灾害冲击导致的设备失效频率；

$f(\text{domino})$ ——因多米诺事故导致的设备失效频率。

8.2.2 自然灾害失效频率计算公式

$f(\text{Natech})$ 涉及自然灾害发生频率与自然灾害下设备损伤概率两部分，使用公式（4）计算：

$$f_{\text{Natech}} = f_{\text{nh}} \times P_{\text{nh-d}} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

f_{nh} ——在评估区域某特定等级的自然灾害发生频率，可通过自然灾害重现期估计；

$P_{\text{nh-d}}$ ——特定灾害强度下设备失效频率，可通过自然灾害下设备易损性模型进行评估，具体方法为对自然灾害下设备极限状态方程进行可靠性分析，通过易损性曲线或曲面求取。极限状态方程相关参数分布宜采用随工程需求参数变化的分布表征。对于地震、洪水、雷电等典型自然灾害，可参照附录B选取易损性评估简化公式进行计算。

8.2.3 技术灾害失效频率计算公式

$f(\text{domino})$ 涉及初始事故发生概率与升级事故发生概率两部分，对于设备 k 的事故频率使用公式(5)计算：

$$f(\text{domino}) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n f_i P_i^j P_{e_{i^j \rightarrow k}} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

f_i ——初始设备 i 在多灾种耦合场景下失效概率；

P_i^j ——初始设备 i 失效后发生第 j 种事故场景的概率，宜通过事件树分析获得；

$P_{e_{i^j \rightarrow k}}$ ——初始设备 i 发生第 j 种事故场景导致设备 k 升级的概率，宜通过probit模型获得。

8.2.4 适应能力计算公式

防御系统适应能力可反映为防御系统保护下油气储运重大基础设施失效概率与无防御系统保护下油气储运重大基础设施失效概率的比值，使用公式（6）计算：

$$Ad = 1 - \frac{f'_{\text{total}}}{f_{\text{total},0}} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

Ad ——防御系统适应能力；

f'_{total} ——防御系统保护下油气储运重大基础设施失效概率；

$f_{\text{total},0}$ ——无防御系统保护下油气储运重大基础设施失效概率。

8.2.5 适应能力分级

防御系统适应能力可根据 Ad 值分为5级，包括：

- a) 弱（1级）：几乎无法适应灾害环境，保护性能弱， $0 \leq Ad < 0.2$ ；
- b) 较弱（2级）：难以适应灾害环境，保护性能较弱， $0.2 \leq Ad < 0.4$ ；
- c) 中（3级）：一定程度地适应灾害环境，保护性能中等， $0.4 \leq Ad < 0.6$ ；
- d) 较强（4级）：较大程度地适应灾害环境，保护性能较强， $0.6 \leq Ad < 0.8$ ；
- e) 强（5级）：极大程度地适应灾害环境，保护性能强， $0.8 \leq Ad \leq 1$ 。

9 修复能力评估

9.1 性能指标要求

应按受损设备综合性修复后的设备性能进行评估，设备性能可通过危险物质日使用量^[4]、设备价值等进行表征。

9.2 修复能力计算

9.2.1 修复能力计算公式

经修复活动后，油气储运重大基础设施性能恢复到特定水平，修复能力 Rec 使用公式（7）计算：

$$Rec = \frac{Per'}{Per} \dots\dots\dots (7)$$

式中：
 Per' ——修复后的设施性能；
 Per ——多灾种耦合场景发生前的设施性能。

9.2.2 修复能力分级

修复能力可根据 Rec 值分为3级，包括：

- a) 低水平（1级）：经修复活动后设施性能低于原有性能， $Rec < 1$ ；
- b) 预期水平（2级）：经修复活动后设施性能恢复原有性能， $Rec = 1$ ；
- c) 高水平（3级）：经修复活动后设施性能高于原有性能， $Rec > 1$ 。

10 韧性评估

10.1 单元韧性计算

10.1.1 韧性计算公式

油气储运重大基础设施单元防御系统韧性 R 基于抵抗能力、适应能力、修复能力三个指标分级值进行综合评估，使用公式（7）计算：

$$R = Re \times Ad \times Rec \dots\dots\dots (8)$$

10.1.2 韧性分级

油气储运重大基础设施单元防御系统韧性可根据 R 值分为 5 级，包括：

- a) 低（1级）： R 值范围处于 1~7；
- b) 较低（2级）： R 值范围处于 8~14；
- c) 中（3级）： R 值范围处于 15~24；
- d) 较高（4级）： R 值范围处于 25~36；
- e) 高（5级）： R 值范围处于 37~75。

10.2 系统韧性计算

油气储运重大基础设施防御系统韧性评估依据高韧性等级单元占有设备单元数量的比例进行判定，判定方式应符合表 1 的规定。

表 1 油气储运重大基础设施防御系统韧性分级

韧性等级	评定标准
低韧性	低韧性与较低韧性单元数量占比高于80%
较低韧性	低韧性与较低韧性单元数量占比高于60%，低于80%
中等韧性	低韧性与较低韧性单元数量占比高于40%，低于60%
较高韧性	低韧性与较低韧性单元数量占比高于20%，低于40%
高韧性	低韧性与较低韧性单元数量占比低于20%；且较高韧性与高韧性单元数量占比高于50%（单纯的占比是否可行，整体与个体的统一）

附 录 A
(资料性)

多灾种耦合下油气储运重大基础设施防御系统性能修正因子取值[1-2]

表B.1给出了多灾种耦合下油气储运重大基础设施防御系统性能修正因子取值。

表 B.1 油气储运重大基础设施防御系统性能修正因子取值表

防护设施	地震场景下性能修正因子	洪水场景下性能修正因子
惰性气体保护系统	0.625	0.5
浮盘与罐壁间密封圈灭火装置	0.5	0.15
泡沫灭火系统	0.5	0.375
水幕、水喷淋装置	0.75	0.375
消防栓	0.5	0.5
防火阀	0.375	0.5
火焰或气体探测器	0.5	0.5
紧急截止阀	0.5	0.25
排污阀	0.25	0.25
防火墙	0.5	0.2
防爆墙	0.25	0.15
防火涂层	0.25	0.15

附录 B
(资料性)

典型自然灾害下油气储运重大基础设施单元易损性模型[3]

表B.1给出了三类典型自然灾害（地震、洪水、雷电）下部分油气储运重大基础设施单元的简化易损性模型。

表 B.1 典型自然灾害下油气储运重大基础设施单元易损性模型

自然灾害类型	易损性模型	参数说明
地震	管道 $P_{ea-d} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Y-5} \exp(-u^2 / 2) du$ $Y = k_{p,1} + k_{p,2} \ln(PGA)$ 储罐 $P_{ea-d} = k_1 + k_2 \ln(PGA)$	P_{ea-d} ,洪水作用下设备失效概率; Y , Probit变量; $k_{p,1}$ 、 $k_{p,2}$, Probit函数系数, 与管径、失效等级相关; k_1 、 k_2 , 与储罐类别、填充率、损伤等级相关的Probit 常数;
洪水	$P_{fl-d} = (CFL - \varphi_{min}) / (\varphi_{max} - \varphi_{min})$ 常压立式储罐: $CFL_v = (\frac{\rho_w k_w}{2} v_w^2 + \rho_w g h_w - P_{cr}) / \rho_f g H$ $P_{cr} = J_1 C + J_2$ 卧式储罐: $CFL_h = \frac{\rho_{ref} \cdot A}{\rho_l - \rho_v} \cdot (h_w - h_c) + \frac{\rho_{ref} \cdot B - \rho_v}{\rho_l - \rho_v}$	P_{fl-d} ,洪水作用下设备失效概率; CFL , 储罐临界填充率; φ_{min} , 储液最低填充率; φ_{max} , 储液最高填充率; CFL_v , 常压立式储罐临界失效填充率; ρ_w , 水流密度; k_w , 水力系数; v_w , 洪水流速; h_w , 洪水或海啸深度; ρ_f , 储液密度; H , 储罐高度; P_{cr} , 储罐临界压力; J_1 、 J_2 , P_{cr} 简化关系式系数; C , 储罐容积; ψ , 洪水或海啸设备致损概率; CFL_h , 卧罐临界失效填充率; ρ_{ref} , 定义 CFL 关系的参考储液密度; ρ_l , 储液密度; ρ_v , 储气密度; A 、 B , CFL_h 关系式系数
雷电	立式储罐: $\ln(P_{li-d-i}) = 0.8944 - 0.908 \ln(t_i)$ $P_{li-d} = \frac{\sum_i P_{li-d-i} \times S_i}{S_{tot}}$	P_{li-d-i} , 罐壁雷击穿透概率; t , 罐壁壁厚; P_{li-d} , 罐壁直接损伤导致物料泄漏概率; P_{li-d-i} , 第 <i>i</i> 个圈板雷击穿透概率; S_i , 第 <i>i</i> 个圈板的暴露外表面积; S_{tot} , 总外表面积(包括罐顶外表面积, 但不包括罐底外表面积)

参 考 文 献

- [1] Misuri A, Landucci G, Cozzani V. Assessment of safety barrier performance in Natech scenarios[J]. Reliability Engineering & System Safety, 2020, 193.
- [2] Misuri A, Landucci G, Cozzani V. Assessment of safety barrier performance in the mitigation of domino scenarios caused by Natech events[J]. Reliability Engineering and System Safety, 2021, 205.
- [3] 黄孔星, 陈国华, 曾涛, 胡昆. 化工园区Na-Tech事件定量风险评价与防控体系评述[J]. 化工进展, 2019, 38(7): 3482-3494.
- [4] Chen C, Yang M, Reniers G. A dynamic stochastic methodology for quantifying HAZMAT storage resilience [J]. Reliability Engineering and System Safety, 2021, 215.
- [5] 中华人民共和国国务院令 第708号 《生产安全事故应急条例》
- [6] 中华人民共和国应急管理部印发〔2019〕78号 《化工园区安全风险排查治理导则（试行）和危险化学品企业安全风险隐患排查治理导则》
- [7] 中共中央办公厅 国务院办公厅印发〔2020〕 关于全面加强危险化学品安全生产工作的意见
- [8] 《标准编写规则 第7部分：指南标准》GB/T 20001.7-2017
- [9] 《建筑抗震韧性评价标准》GB 38591-2020
- [10] 《安全与韧性 应急管理 能力评估指南》GB/T 40151-2021
- [11] 《安全韧性城市评价指南》GB/T 40947-2021
-

广东省地方标准《油气储运重大基础设施防御系统韧性评估技术指南》编制说明

一、工作概况

本标准来源于“广东省重点领域研发计划项目——油气储运重大基础设施灾害防御关键技术及装备研发与示范（2019B111102001）”，为上述项目科研成果之一。

本标准根据文件广东省市场监督管理局文件《广东省市场监督管理局关于批准下达 2021 年第二批广东省地方标准制修订计划项目的通知》（粤市监标准〔2022〕26 号），华南理工大学会同国家石油天然气管网集团有限公司华南分公司、广东华南智慧管道研究院、广东省安全生产科学技术研究院等单位共同承担广东省地方标准《油气储运重大基础设施防御系统韧性评估技术指南》的制定任务。

牵头单位：华南理工大学，主要工作包括：负责前期资料的整理和现场资料的收集，起草标准草案及编制说明，组织召集专家对该标准进行研讨并修改。

参与单位：国家石油天然气管网集团有限公司华南分公司（负责协调、沟通广东省内相关单位配合标准调研工作，并协助组织召集专家对该标准进行研讨）、广东华南智慧管道研究院（负责协调、沟通广东省内相关单位配合标准调研工作，并协助组织召集专家对该标准进行研讨）；广东省安全生产科学技术研究院（负责立项申请和报批材料的审核校对及组织上报）。

二、标准制定目的及意义

油气储存重大基础设施是我国油气安全稳定供应的重要保障，是国民经济的生命线，同时也是重大危险源，其安全运行受到油气企业、政府以及社会民众的广泛关注。广东省是我国非常重要的石油石化产业基地，截止 2021 年 7 月，省内大型油气储存基地多达 29 家，分布于 9 个地市，拥有庞大的石油化工市场容量、发达完善的储运体系、坚实的产业基础。据 2020 年《广东统计年鉴》数据，广东年原油加工量近 5600 万吨，天然气生产量超 110 亿立方米，依据《广东省沿海经济带综合发展规划（2017-2030 年）》，广东还要加快建设惠州、湛江、茂名、揭阳四大炼化一体化基地，进一步提升整体炼油能力。然而，危险化学品

安全生产的事故依旧多发，如 2019 年江苏响水“3·21”特别重大爆炸事故，2021 年河北沧州“5·31”油罐着火事故等，暴露出了我国在危险化学品安全生产事故防控方面存在的不足。2020 年 2 月 26 日，中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于全面加强危险化学品安全生产工作的意见》，要求有力防范化解系统性安全风险，坚决遏制重特事故发生。

自然灾害是油气储存重大基础设施事故的重要诱发因素，广东省由于其特殊的地理位置，台风、雷电、洪水等自然灾害发生频率较高，并存在偶发地震的可能性。在自然灾害条件下，油气储存重大基础设施所承受的外界扰动增大，自然灾害与危险源之间的相互耦合并导致事故演化，极易产生各种原生、次生及衍生灾害，对重大危险源的油气储存重大基础设施影响极大，严重制约经济发展和社会稳定。

为贯彻落实习近平总书记关于加强关键核心技术攻关的系列重要讲话精神，落实《粤港澳大湾区发展规划纲要》、《广东省突发事件应急体系建设“十三五”规划》，全面地对油气储运重大基础设施安全状态进行评估，辨识设备设施的薄弱环节，需要建立一套基于多灾种耦合的韧性评估指南。该指南能够综合考虑油气储运重大基础设施区域内可能存在的灾种及其之间的耦合关系，对承灾体的韧性进行评估分级，能够深层次剖析油气储运重大基础设施区域的内在风险与降低风险的有效途径，可以有效指导油气储运重大基础设施的区域规划、应急管理以及防灾减灾工作的实施。

三、标准编制原则、主要内容及其确定依据

1、编制原则

本标准的制定工作遵循“统一性、协调性、适用性、一致性、规范性”的原则，本着科学性、适用性和可操作性的原则，按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第一部分：标准的结构和编写》、给出的规则编写。

2、主要内容

本标准规定了油气储运重大基础设施防御系统韧性评估的术语和定义、评估原则、韧性的基本组成要素、韧性范畴与等级划分、韧性评估基本流程、韧性组成要素评估。其主要内容如下：

(1) 术语和定义

确立了油气储运重大基础设施防御系统韧性评估的相关术语和定义，包括：多灾种耦合、油气储运重大基础设施、站场、石油库、长输管道、防御系统、抵抗能力、适应能力、修复能力、系统韧性、系统基本功能、单元共 12 个术语和定义。

（2）评估原则

明确了油气储运重大基础设施防御系统韧性评估应坚持“系统性、专业性、延续性”的原则。

（3）韧性的基本组成要素

分别从灾害演化特性及油气储运重大基础设施防御系统的角度分析韧性组成要素，包括：

- 1) 抵抗能力，是指防御系统自身抵抗灾害破坏的能力；
- 2) 适应能力，是指防御系统在灾害演化场景中，适应灾害场景并降低油气储运重大基础设施失效概率的能力；
- 3) 修复能力，是指多灾种耦合事件后，油气储运重大基础设施经修复活动恢复一定水平原有功能的能力。

（4）韧性评估基本流程

明确油气储运重大基础设施防御系统韧性评估包括五个步骤，主要包括：韧性评估基本信息收集；抵抗能力评估；适应能力评估；修复能力评估；韧性评估。并列出了相关工作附录，包括资料性附录：《多灾种耦合下油气储运重大基础设施防御系统性能修正因子取值》、《典型自然灾害下油气储运重大基础设施单元易损性模型》。

（5）韧性组成要素评估

明确了多灾害耦合作用下抵抗能力、适应能力及修复能力评估依据，可对区域内多设备单元的防御系统设施性能、修复程度、适应性高低进行评估分析。

（6）韧性分级标准

韧性级别划分包括五等级：1 级（低，韧性值范围处于 1~7），2 级（较低，韧性值范围处于 8~14）、3 级（中，韧性值范围处于 15~24）、4 级（较高，韧性值范围处于 25~36）、5 级（高，韧性值范围处于 37~75）。

3、编制依据

本标准参照《GB 18218 危险化学品重大危险源辨识》、《GB 50183 石油天然气工程设计防火规范》《GB 18218—2018 危险化学品重大危险源辨识》、《GB 50160—2008（2018 年版） 石油化工企业设计防火标准》、《GB 50453—2008 石油化工建（构）筑物抗震设防分类标准》、《GB 50650—2011 石油化工装置防雷设计规范》、《GB 50984—2014 石油化工工厂布置设计规范》、《GB 50341—2014 立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》、《GB 50074—2014 石油库设计规范》、《GB 50737—2011 石油储备库设计规范》、《GB 51156—2015 液化天然气接收站工程设计规范》、《GB/T 50761—2018 石油化工钢制设备抗震设计标准》、《GB/T 20368—2012 液化天然气（LNG）生产、储存和装运》、《SH/T 3007—2014 石油化工储运系统罐区设计规范》、《GB/T 34275-2017 压力管道规范 长输管道》、《AQ/T 3046—2013 化工企业定量风险评估导则》、《SY/T 7031-2016 油气储运术语》等相关法律、法规 and 规定、以及危险化学品单位原有的管理规范，在编制过程中着重考虑了科学性、适用性和可操作性。

四、与现行法律法规、强制性标准等上位标准关系

本文件的宗旨：本标准的制定工作遵循“统一性、协调性、适用性、一致性、规范性”的原则，本着先进性、科学性、合理性和可操作性的原则，按照 GB/T 1.1-2009《标准化工作导则第一部分：标准的结构和编写》给出的规则编写，不违背现行相关法律、法规和强制性标准，而且具备自身地方特色。

本文件符合现行安全生产相关法律、法规、规章和标注的要求，具有一致性。

五、标准有何先进性或特色性

（1）可以计算多灾种耦合场景下的韧性，辨识自然灾害阶段和技术灾害阶段的关键设施单元，有助于高效控制油气储运重大基础设施的事故风险，便于决策者快速识别危险单元，为制定决策提供技术支持，保障公共安全和社会稳定。

（2）针对广东省自然灾害频发的特性，指南推荐的方法考虑了自然灾害引发油气储存重大基础设施事故并与技术灾难耦合的场景，具有鲜明的地域特性。

（3）采用简单的矩阵运算方法统一了技术要求，降低了应用壁垒，且便于编程实现，具有较高的可操作性和统一性。

六、标准调研、研讨、征求意见情况

立项前准备。2020 年 5~9 月，标准编写工作组进行了资料的收集和整理，深入了解我省油气储运重大基础设施韧性评估的工作及全国各地油气储运重大基础设施韧性评估管理标准化现状，为项目立项做好技术储备。

标准调研。2020 年 12 月 03 日前往中国石化销售有限公司华南分公司深圳输油管理处南沙站开展现场调研；

2021 年 01 月 12 日前往国家石油天然气管网集团有限公司华南分公司黎塘站开展现场调研；

2021 年 6 月 29 日至 7 月 10 日，标准编写工作组前往广东省 12 家大型油气储运重大基础设施基地进行实地调研，重点听取安全管理工作主管、一线操作人员的建议和意见；

2021 年 08 月 11 日前往国家石油天然气管网集团有限公司华南分公司茂名站开展现场调研；

2021 年 11 月 24 日前往国家石油天然气管网集团有限公司华南分公司高明站开展现场调研。

立项申请。2021 年 10 月，标准编写工作组开展项目立项查新，同时完成了标准草案的编制和标准项目立项准备相关工作，向安全生产地方标准主管部门广东省应急管理厅递交了标准立项申请材料。于 2022 年 1 月收到批准立项通知。

标准起草。2022 年 2 月~2022 年 5 月，在前期立项准备的基础上，根据项目标准体系建设方案的时间要求，为加快项目进程，标准编写工作组在项目批准立项前启动了标准起草工作。

标准编写工作组采用线上线下相结合的模式，开展标准编写工作。线上主要采取建立微信群的形式，针对标准涉及的技术疑难点和关注点展开讨论。线下主要采用集中会议形式。

标准研讨。2022 年 4 月~2022 年 6 月，在标准初稿的基础上，标准编写工作组内部在华南理工大学 29 号楼 213 会议室多次召开研讨会议，讨论草稿完善工作。

2022 年 4 月 14 日开展第一次标准内部研讨会，研讨相关术语定义和重要部

位设置，明确项目整体工作安排；

2022年4月21日开展第二次标准内部研讨会，完成标准初稿，对相关术语定义进行修正，对初稿内容进行调整；

2022年5月5日开展第三次标准内部研讨会，对文稿内容和配置标准提出修改建议，明确了相关术语定义。

经过三次内部研讨会，主要对标准以下内容开展了论证和修改：

（1）对标准框架结构搭建进行讨论，着重探讨标准构架结构与通则的一致性程度，参照国内相关工作经验，结合广东省油气储运重大基础设施基地的特性及其区域内可能存在的灾种及其之间的耦合关系，经多次讨论、研究，确立了标准的结构与通则的基本对应性。

（2）对标准的适用范围进行深入讨论，最后明确适用范围为：《油气储运重大基础设施防御系统韧性评估技术指南》适用范围为“本文件适用于广东省油气储运重大基础设施防御系统的韧性评估工作”。

（3）对标准的术语定义进行深入讨论，最后明确油气储运重大基础设施、防御系统、系统韧性、抵抗能力、适应能力、修复能力的定义。

（4）对标准评估范围及评估要素的确定进行研讨，明确抵抗能力、适应能力、修复能力为主要评估要素。

（5）讨论韧性等级划分的主要内容。

（6）对标准评估流程的计算方式进行讨论，明确数据收集、单元划分、韧性计算等步骤的具体要求。

（7）分别对两个附录《多灾种耦合下油气储运重大基础设施防御系统性能修正因子取值》、《典型自然灾害下油气储运重大基础设施单元易损性模型》和相关内容进行讨论。

七、技术指标设置的科学性和可行性

本标准从灾害演化特性和油气储运重大基础设施致损特征出发，考虑多种灾害类型，从韧性的组成要素出发，分别构建抵抗能力、适应能力和恢复能力三个方面的量化函数。

在对不同类型灾害韧性进行量化过程中，考虑到抵抗能力、适应能力和恢复能力与韧性的关系，综合构建了油气储运重大基础设施防御系统抵抗能力、适应

能力和恢复能力量化韧性的模型，如式（8）所示。

针对灾害作用下的抵抗能力量化过程中，从防御系统的有效性与种类和数量进行评估。考虑到单个安全设备设施在自然灾害下的有效性损失可认为是相互独立的，构建出防御系统的抵抗能力量化模型如式（2）所示，并基于量化结果确定了抵抗能力的 5 个等级分级。

针对自然灾害与技术灾害作用下的适应能力量化过程中，考虑到自然灾害下的设备损伤模式与自然灾害类型相关，只要能导致泄漏的破坏模式均宜考虑入自然灾害下设备失效频率分析。而技术灾害下的设备损伤（即多米诺事故影响）与低阶事故类型相关，火灾或爆炸场景均被考虑入技术灾害下设备失效频率分析。则综合考虑多灾种耦合场景下设备失效原因涉及常规失效、自然灾害作用、多米诺事故作用与设备失效频率，构建出防御系统的适应能力量化模型如式（6）所示，并基于量化结果确定了适应能力的 5 个等级分级。

针对灾害作用下的恢复能力量化过程中，综合考虑受损设备综合性修复后的设备性能，构建出防御系统的恢复能力量化模型如式（7）所示，并基于量化结果确定了恢复能力的 3 个等级分级。

根据上述量化思路，综合考虑抵抗能力、适应能力和恢复能力，构建出防御系统的韧性量化模型如式（8）所示，油气储运重大基础设施受自然灾害和技术灾害扰动下的韧性值可被量化在 0~75 的区间内，并基于量化结果确定了韧性的 5 个等级分级。

八、与国际、国家、行业、其他省同类标准技术内容的对比情况

根据科技查新报告（报告编号：202136000L200492，项目名称：油气储运重大基础设施防御系统韧性评估技术指南），目前国内公开发表的文献与资料中，尚无同类标准技术提及研究油气储运基础设施防御系统在多灾种耦合场景下灾害扰动、防御系统和基础设施之间的相互关系，分析多灾种耦合场景灾害演化过程并量化其不确定性，然后构建该系统的韧性评估方法。

九、涉及专利的有关说明

标准编制未涉及专利。

十、报批阶段应补充专家审定会情况。

无。

十一、其他应当说明的事项。

无。

十二、贯彻地方标准的要求，以及组织措施、技术措施、过渡期和 实施日期等建议。

该标准发布后国家石油天然气管网集团有限公司华南分公司将组织《油气储运重大基础设施防御系统韧性评估技术指南》宣贯教育及典型基础设施韧性评估案例培训班，通过对标准及具体案例的讲解，组织各相关部门和单位开展对标准的学习，做好宣贯培训工作，大力宣贯标准以促进其应用，进一步规范油气储存重大基础设施韧性评估工作，提高安全水平。

《油气储运重大基础设施防御系统韧性评估技术指南》

起草牵头单位：华南理工大学

2022 年 09 月 03 日