

油气储存重大基础设施脆弱性评估导则

Vulnerability assessment guideline of major infrastructure for oil & gas storage

（征求意见稿）

（本草案完成时间：2022 年 8 月 21 日）

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

目 次

前言 II

引言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 评估原则 2

5 脆弱性的基本组成要素 3

6 脆弱性评估基本流程 3

7 脆弱性组成要素评估 4

8 脆弱性分级标准 7

9 脆弱性评估的更新 7

附录 A（规范性） 油气储存重大基础设施脆弱性的基本组成要素 9

附录 B（规范性） 油气储存重大基础设施脆弱性评估基本流程 10

附录 C（规范性） 危险物质暴露性因素分析清单 11

附录 D（规范性） 承灾体的中心暴露性因子分析清单 12

附录 E（规范性） 承灾体的中心敏感性因子分析清单 13

参考文献 14

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、黄孔星、周利兴、陶侠、冯少真、杨运锋、曾涛、赵杰、周池楼、马嘉俊、田中山、王现中、张晨、袁智、赵远飞。

引 言

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、行政部门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，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。依据《广东省沿海经济带综合发展规划（2017-2030年）》，广东正加快建设惠州、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，与之配套的油气储存设施势必增多，区域安全风险也随之增大。

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。这些致灾因素可能导致油气储存重大基础设施周边的环境发生剧烈变化，引发设施本体失效，造成危险物质泄漏，并可能引发火灾、爆炸、环境污染等事故。自然灾害与火灾爆炸等事故灾害耦合的多灾种事故对油气安全造成了巨大威胁。为了全面地分析油气储存重大基础设施安全状态，需要建立一套基于多灾种耦合的脆弱性评估规范。该规范从设备设施对灾害的暴露性、事故扩展升级的敏感性、系统的抗灾性出发，综合考虑油气储存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，对承灾体的脆弱性进行评估分级，能够深层次剖析油气储存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存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。

油气储存重大基础设施脆弱性评估导则

1 范围

本标准给出了油气储存重大基础设施脆弱性评估的术语和定义、评估原则、脆弱性的基本组成要素、脆弱性范畴与等级划分、脆弱性评估基本流程、脆弱性组成要素评估和脆弱性更新。

本文件适用于广东省油气储存重大基础设施的脆弱性评估工作。

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 18218 危险化学品重大危险源辨识
- GB/T 20368 液化天然气（LNG）生产、储存和装运
- GB 50074 石油库设计规范
- GB 50160（2018年版） 石油化工企业设计防火标准
- GB 50341 立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范
- GB 50453 石油化工建（构）筑物抗震设防分类标准
- GB 50650 石油化工装置防雷设计规范
- GB 50737 石油储备库设计规范
- GB/T 50761 石油化工钢制设备抗震设计标准
- GB 50984 石油化工工厂布置设计规范
- GB 51156 液化天然气接收站工程设计规范
- SH/T 3007 石油化工储运系统罐区设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

危险化学品 hazardous chemicals

具有毒害、腐蚀、爆炸、燃烧、助燃等性质，对人体、设施、环境具有危害的剧毒化学品和其他化学品。

[来源：GB 18218—2018, 3.1]

3.2

油气储存重大基础设施 major infrastructure for oil & gas storage

油气（汽油、柴油、煤油、LNG、LPG等）生产、加工、分配、存储过程中涉及到大量危险化学品的基础设施，包括库区、场站等。

3.3

应急资源 emergency resources

参与应急的物质、装备、资金、设施、信息和技术等各类资源的总和。

3.4

承灾体 hazard-affected body

直接受到灾害扰动影响和损害的设备设施。

3.5

单元 unit

用于储存危险化学品的储罐或仓库组成的相对独立的区域，储罐区以罐区防火堤为界限划分为独立的单元，仓库以独立库房（独立建筑物）为界限划分为独立的单元。

[来源：GB 18218—2018，3.6]

3.6

临界量 threshold quantity

某种或某类危险化学品构成重大危险源所规定的最小数量。

[来源：GB 18218—2018，3.3]

3.7

技术灾害 technological disasters

储存危险化学品的设备单元受外界致灾因素影响导致的火灾、爆炸等严重的事故类型。

3.8

脆弱性 vulnerability

承灾体暴露于灾害扰动作用影响时，结构和功能因其本身的敏感性以及缺乏对应的抗灾性而发生改变的性质。

3.9

暴露性 exposure

承灾体接触或受到扰动影响的程度、持续的时间或范围。

3.10

敏感性 sensitivity

承灾体在扰动影响下，发生反应的灵敏程度。

3.11

抗灾性 hazard resistance

承灾体在发生事故后应对外界扰动的能力，即各类能够降低事故发生可能性和后果的手段。

4 评估原则

4.1 系统性

运用系统的脆弱性评估方法，识别油气储存重大基础设施中的脆弱性单元，分析构成脆弱性的要素及相互间关系，综合评定脆弱性等级。

4.2 专业性

发挥专业机构及专家作用，运用信息化技术手段和各行业领域适用的专业评估方法，开展脆弱性评估。

4.3 持续性

基于应急救援人员与应急资源的优化、设备结构的强化、安全屏障的配备，评估脆弱性变化情况，实现脆弱性持续更新。

5 脆弱性的基本组成要素

本规范从灾害演化特性和油气储存重大基础设施致损特征出发，综合评估油气储存重大基础设施的脆弱性水平。

从灾害演化特性的角度分析，脆弱性组成要素包括：

- a) 受到自然灾害扰动导致的脆弱性；
- b) 受到技术灾害扰动导致的脆弱性。

从油气储存重大基础设施致损特征的角度分析，脆弱性组成要素包括：

- a) 暴露性，承灾体接触或受到扰动影响的程度、持续的时间或范围；
- b) 敏感性，承灾体在扰动影响下，发生反应的灵敏程度；
- c) 抗灾性，承灾体在发生事故后应对外界扰动的能力，即各类能够降低事故发生可能性和后果的手段，包括响应与应对能力、适应能力。

油气储存重大基础脆弱性所涵盖的基本组成要素关系应符合附录A的规定。

6 脆弱性评估基本流程

油气储存重大基础设施脆弱性评估的基本流程应符合附录B的规定，具体包括以下5个步骤。

步骤1 数据收集。

收集的数据包括承灾体的基本参数、所需分析的自然灾害危险性程度和各类事故防护措施。表1中提供了脆弱性评估中通常应收集的数据信息（包括但不限于此）。

表1 脆弱性评估所需要收集的数据信息

类别	一般资料数据
危险源危险要素信息	危险物质存量、危险物质安全技术说明书（SDS）、现有的工艺危害分析（如危险与可操作性分析（HAZOP））结果等。
自然灾害危害信息	区域地震安全性评价信息、区域水文条件信息、区域雷电灾害评价信息等。
设计和运行数据	区域位置图、平面布置图、设计说明、工艺技术规范、安全操作规程、工艺流程图（PFD）、管道和仪表流程图（P&ID）、设备数据、管道数据、运行数据等。
安全屏障配置信息	应对自然灾害的各类屏障，如避雷设施、锚固处理、防洪堤设置等；应对技术灾害的各类屏障，如：探测和隔离系统（可燃气体和有毒气体检测、火焰探测、视频监控、联锁切断等）、消防、水幕等。
应急救援力量配置信息	应急人员和应急资源配置情况，应急池的有效容量，应急演练水平等。

步骤2 单元划分。

根据危险源的危险要素信息，进行单元划分。

步骤3 自然灾害节点的脆弱性计算。

自然灾害扰动的致灾过程即为自然灾害节点（ $a=1$ ），承灾体的脆弱性按式（1）计算。

$$V_{i,1}=E_{i,1} \times S_{i,1} \times (1-R_{i,1}) \cdots \cdots \cdots (1)$$

式中：

$V_{i,1}$ ——第*i*个承灾体在自然灾害节点的脆弱性；
 $E_{i,1}$ ——第*i*个承灾体在自然灾害节点的暴露性；
 $S_{i,1}$ ——第*i*个承灾体在自然灾害节点的敏感性；
 $R_{i,1}$ ——第*i*个承灾体在自然灾害节点的抗灾性。

步骤 4 技术灾害节点的脆弱性计算。

技术灾害扰动的致灾过程即为技术灾害节点（ $a>1$ ），根据技术灾害的升级过程，每个节点的脆弱性状态值是在上一节点脆弱性状态 $V_{i,a-1}$ 基础上进一步耦合叠加，按式（2）计算。

$$V_{i,a} = V_{i,a-1} + E_{i,a} \times S_{i,a} \times (1 - R_{i,a}) \dots\dots\dots (2)$$

式中：
 $V_{i,a}$ ——第*i*个承灾体在第*a*个技术灾害节点的脆弱性；
 $E_{i,a}$ ——第*i*个承灾体在第*a*个技术灾害节点的暴露性；
 $S_{i,a}$ ——第*i*个承灾体在第*a*个技术灾害节点的敏感性；
 $R_{i,a}$ ——第*i*个承灾体在第*a*个技术灾害节点的抗灾性。

步骤 5 承灾体整体脆弱性程度分析。

当所评估的事件节点达到设定阈值时，可以实现对承灾体整体脆弱性状态分析，从而针对不同事故阶段采取相应的应对措施。技术灾害脆弱性增量随着节点的增加逐步减小，设定值*a*可推荐为6。

7 脆弱性组成要素评估

7.1 暴露性评估

7.1.1 自然灾害作用下的暴露性

油气储存重大基础设施在自然灾害作用下承灾体的暴露性影响因素有三个：

- a) 灾害特性因素 *L*，表征承灾体可能遭受的自然灾害威胁程度。灾害特性因素 *L* 与自然灾害类别有关：对于地震、洪水、飓风等区域性灾害，不同承灾体的灾害特性因素差异性很小，可以视为相同；对于雷电等局部性灾害，不同承灾体的灾害特性因素受自身结构特征影响较大。灾害特性因素可由相关领域专家根据油气储存重大基础设施所在地的地质条件和气象条件，结合自然灾害致灾原理与承灾体的结构特征进行评估，主要的评估依据为区域内自然灾害的频率与强度、以及灾害发生后承灾体暴露于灾害作用的可能性。通过所有承灾体的综合对比，进行归一化处理， $L_i \in [0,1]$ （ $i \in \{1,2,3,\dots,N\}$ ，*N* 为评估区域内的承灾体总数）。危险物质暴露性因素分析清单应符合附录 C 的规定。
- b) 危险物质暴露性因素 *DM*，表征承灾体所储存物质的危险程度。依据 GB 18218—2018，通过重大危险源的辨识指标 W_i 表征 *DM*。重大危险源按的辨识指标 W_i 按式（3）计算。

$$W_i = \frac{q_{i,1}}{Q_1} + \frac{q_{i,2}}{Q_2} + \dots + \frac{q_{i,C}}{Q_C} \dots\dots\dots (3)$$

式中：
 W_i ——第*i*个承灾体的重大危险源辨识指标；
 $q_{i,1}, q_{i,2}, \dots, q_{i,C}$ ——每种危险化学品的实际存在量，单位为吨（t）；
 $Q_1, Q_2, \dots, Q_C$ ——与每种危险化学品相对应的临界量，单位为吨（t）。
 根据计算出来的 W_i 值，按表2确定危险物质暴露性因素*DM*。

表2 重大危险源的辨识指标 W_i 与危险物质暴露性因素 DM 值的对应关系

W_i 值	DM 值
$W_i < 10$	0.25
$50 > W_i \geq 10$	0.5
$100 > W_i \geq 50$	0.75
$W_i \geq 100$	1

c) 承灾体在上一事件节点的脆弱性状态 $V_{i,a-1}$ 。如果自然灾害节点 a 为初始事故节点（即 $a=0$ ），那么 $V_{i,a-1}=0$ 。

第 i 个承灾体在自然灾害事件节点 a 的暴露性按式（4）计算：

$$E_{i,ND} = E_{i,a} = f(L_i, DM_i, V_{i,a-1}) = (1 - V_{i,a-1}) \times L_i \times DM_i \dots\dots\dots (4)$$

7.1.2 技术灾害作用下的暴露性

油气储存重大基础设施在技术灾害作用下的暴露性影响因素有三个。

a) 承灾体的中心暴露性因素 CE_i ，表征其他承灾体作为事故单元时对承灾体 i 的影响程度。首先需要事故场景进行分析，根据危险物质的性质确定技术灾害类型。 CE_i 是一个 $N \times K$ 维的矩阵（ K 为技术灾害中可能的升级因子数量，升级因子通常包括热辐射、冲击波和碎片）。 CE_i 中的元素 $\phi_{k,j \rightarrow i}$ 表示第 i 个承灾体受到事故单元 j 的第 k 种升级因子作用时的影响程度，用对应的升级因子强度与升级阈值的比值 $\omega_{k,j \rightarrow i}$ 进行表征， $\omega_{k,j \rightarrow i}$ 按式（5）计算：

$$\omega_{k,j \rightarrow i} = \frac{R_{k,j \rightarrow i}}{TH_{k,i}} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$R_{k,j \rightarrow i}$ ——第 j 个承灾体产生的第 k 种升级因子在第 i 个承灾体位置的强度；

$TH_{k,i}$ ——第 i 个承灾体对于第 k 种升级因子的升级阈值。

计算完所有的 $\omega_{k,j \rightarrow i}$ 后，通过数据标准化处理，按式（6）计算得到 $\phi_{k,j \rightarrow i}$ 。

$$\phi_{k,j \rightarrow i} = \frac{\omega_{k,j \rightarrow i}}{\omega_{\max}} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$\omega_{\max}$ ——所有 $\omega_{k,j \rightarrow i}$ 中的最大值，即 $\max(\omega_{k,j \rightarrow i})$ 。

承灾体 i 受事故单元 j 影响的中心暴露性因子 $\phi_{k,j \rightarrow i}$ 分析清单应符合附录D的规定，分析完所有承灾体后可以得到各中心暴露性因素矩阵 CE_i 。

b) 承灾体的危险物质暴露性因素 DM_i 。

c) 承灾体在上一事件节点的脆弱性状态 $V_{i,a-1}$ 。

第 i 个承灾体在技术灾害事件节点 a 的暴露性 $E_{i,TD}$ 按式（7）计算：

$$E_{i,TD} = E_{i,a} = f(CE_i, DM_i, V_{i,a-1}) = (1 - V_{i,a-1}) \times \sum_K \sum_J (\phi_k \times u_k \times \phi_{k,j \rightarrow i}) \times DM_i \dots\dots\dots (7)$$

式中：

ϕ_k ——对第 k 种技术灾害阈值的判断，如果大于第 k 种升级因子阈值， ϕ_k 等于1，否则等于0；
 u_k ——承灾体发生事故后第 k 种升级因子发生的可能性占比。

7.2 敏感性评估

7.2.1 自然灾害作用下的敏感性

油气储存重大基础设施在自然灾害作用下的敏感性影响因素有三个。

- 灾害特性因素 L_i 。
- 自然灾害作用下承灾体的结构强度因素 $ST_{i,ND}$ ，表示承灾体自身结构承受不同强度自然灾害影响的能力。通过所有承灾体的综合对比，根据承灾体的结构特性、材料属性、运行工况、安全屏障有效功能等信息确定自然灾害作用下的承灾体结构强度因素， $ST_{i,ND} \in [0,1]$ ($i \in \{1,2,3,\dots,N\}$)。
- 承灾体在上一事件节点的脆弱性状态 $V_{i,a-1}$ 。如果自然灾害节点 a 为初始事故节点（即 $a=0$ ），那么 $V_{i,a-1}=0$ 。

第 i 个承灾体在自然灾害事件节点 a 的敏感性按式（8）计算：

$$S_{i,ND}=S_{i,a}=f(L_i, V_{i,a-1}, ST_{i,ND})=(1-V_{i,a-1}) \times L_i \times (1-ST_{i,ND}) \cdots \cdots (8)$$

7.2.2 技术灾害作用下的敏感性

油气储存重大基础设施在技术灾害作用下的敏感性影响因素有三个。

- 承灾体的中心敏感性因素 OC_i ，表示承灾体 i 为事故单元时，对其他承灾体的影响程度。 OC_i 是一个 $N \times K$ 维的矩阵， OC_i 中的元素 $\phi_{k,i \rightarrow j}$ 表示第 i 个承灾体作为事故单元时产生的第 k 种升级因子作用于第 j 个承灾体的影响程度。
 事故单元 i 对承灾体 j 的中心敏感性因子 $\phi_{k,i \rightarrow j}$ 分析清单应符合附录 E 的规定，分析完所有可能事故单元后可以得到承灾体中心敏感性因素矩阵 OC_i 。
- 技术灾害作用下承灾体的结构强度因素 $ST_{i,TD}$ ，表示承灾体自身结构承受不同强度技术灾害影响的能力。通过所有承灾体的综合对比，根据承灾体的结构特性、材料属性、运行工况等信息确定技术灾害作用下的承灾体结构强度因素，且 $ST_{i,TD} \in [0,1]$ ($i \in \{1,2,3,\dots,N\}$)。
- 承灾体在上一事件节点的脆弱性状态 $V_{i,a-1}$ 。

第 i 个承灾体在技术灾害事件节点 a 的敏感性按式（9）计算：

$$S_{i,TD}=S_{i,a}=f(OC_{i,TD}, V_{i,a-1}, ST_{i,TD})=(1-V_{i,a-1}) \times \sum_K \sum_J [\phi_k \times \phi_{k,i \rightarrow j} \times (1-ST_{i,k})] \cdots \cdots (9)$$

7.3 抗灾性评估

7.3.1 响应与应对能力

响应与应对能力是指能够向处于事故状态的承灾体提供应急救援支持的能力。响应与应对能力由事故监测预警概率、应急启动能力、应急响应时间、应急人员和应急资源决定，按式（10）计算。

$$R_{i,CRC}=DE_i \cdot \sum_{d=1}^D (EU_{i,d} \cdot ET_{i,d} \cdot EP_{i,d} \cdot ES_{i,d}) \cdots \cdots (10)$$

式中：

D ——应急队伍数量。

DE_i ——第 i 个承灾体的事故监测预警概率；

$EU_{i,d}$ ——对第 d ($d=1,2,\dots,D$) 个应急队伍的启动能力评估值, $EU_{i,d} \in [0,1]$;
 $ET_{i,d}$ ——对第 d 个应急队伍的响应时间评估值, $ET_{i,d} \in [0,1]$;
 $EP_{i,d}$ ——对第 d 个应急队伍的人员数量和综合素质评估值, $EP_{i,d} \in [0,1]$;
 $ES_{i,d}$ ——对第 d 个应急队伍的资源配置评估值, $ES_{i,d} \in [0,1]$ 。
 DE_i 通过独立检测系统的累积评估概率计算得到, 按式 (11) 计算。

$$DE_i = 1 - \prod_{\lambda=1}^{\alpha} (1 - DE_{i,\lambda}) \dots\dots\dots (11)$$

式中:
 α ——检测评估的总个数, $\lambda=1,2,\dots,\alpha$ 。

7.3.2 适应能力

适应能力 R_{AC} 表示承灾体发生事故后, 系统具有的防止事故后果进一步扩大的能力。在油气储存重大基础设施区域内, 适应能力主要针对的是事故应急池, 其能够暂时贮存泄漏的废液, 预防事故蔓延。通过对承灾体配备的事故应急池有效容量的综合评估, 按式 (12) 计算承灾体的适应能力水平 $R_{i,AC}$ 。

$$R_{i,AC} = \sum_{l=1}^L EL_{i,l} \dots\dots\dots (12)$$

式中:
 L ——承灾体 i 对应的事故应急池数量;
 $EL_{i,l}$ ——对第 l ($l=1,2,\dots,L$) 个应急池可用性和有效性的评估值, 主要与应急池的容量有关, $EL_{i,l} \in [0,1]$ 。
因此, 脆弱性评估中的韧性按式 (13) 计算。

$$R_i(a) = f(R_{i,CRC}, R_{i,AC}) = DE_i \cdot \sum_{d=1}^D (EU_{i,d} \cdot ET_{i,d} \cdot EP_{i,d} \cdot ES_{i,d}) \cdot \sum_{l=1}^L EL_{i,l} \dots\dots\dots (13)$$

将计算所得的不同事件节点上的暴露性、敏感性和抗灾性代入式 (1) 和式 (2) 求得各个承灾体的脆弱性值, 根据等级划分准则, 得到脆弱性等级。

8 脆弱性分级标准

根据计算出来的脆弱性 V 值, 按表3确定脆弱性的级别。

表3 脆弱性级别和脆弱性 V 值的对应关系

脆弱性级别	脆弱性 V 值	表征颜色
V级	$0 < V \leq 0.2$	绿色
IV级	$0.2 < V \leq 0.4$	蓝色
III级	$0.4 < V \leq 0.6$	黄色
II级	$0.6 < V \leq 0.8$	橙色
I级	$0.8 < V \leq 1$	红色

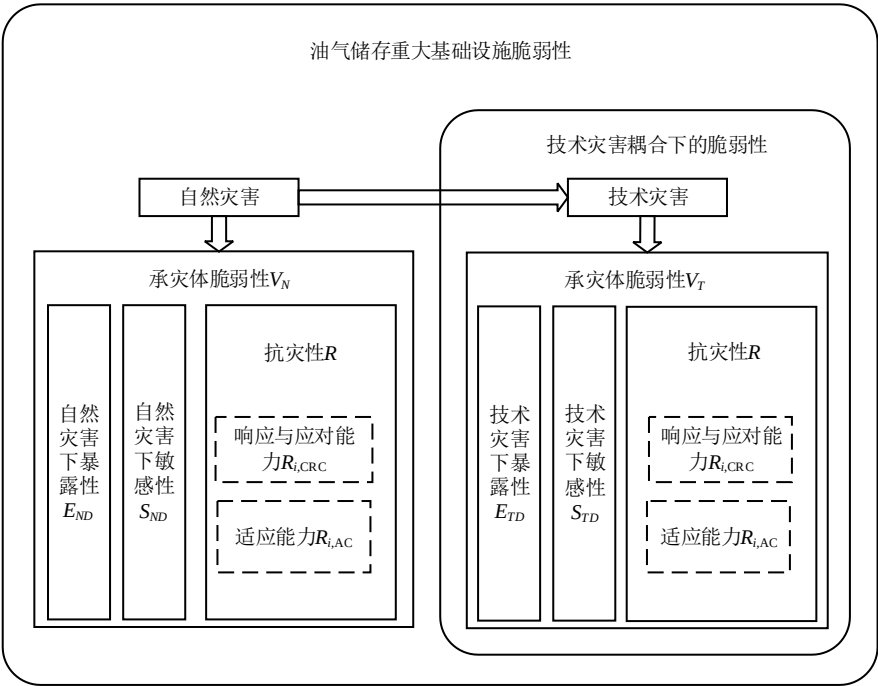
9 脆弱性评估的更新

根据评估结果，脆弱性级别达到II级和I级的单元应按GB 50074、GB 50341、GB 50737、GB 51156、GB/T 50761、GB 50160、GB 50453、GB 50650、GB 50984、GB/T 20368、SH/T 3007的规定加强风险控制并强化应急救援能力，降低承灾体的暴露性和敏感性，提升承灾体的抗灾性，及时更新区域内承灾体基本状况，降低脆弱性级别。根据新工艺、新技术、新材料和新业态，辨识并划分新的单元，更新区域内所有的承灾体脆弱性状态。

附录 A
(规范性)

油气储存重大基础设施脆弱性的基本组成要素

图A. 1规定了油气储存重大基础设施脆弱性的基本组成要素。

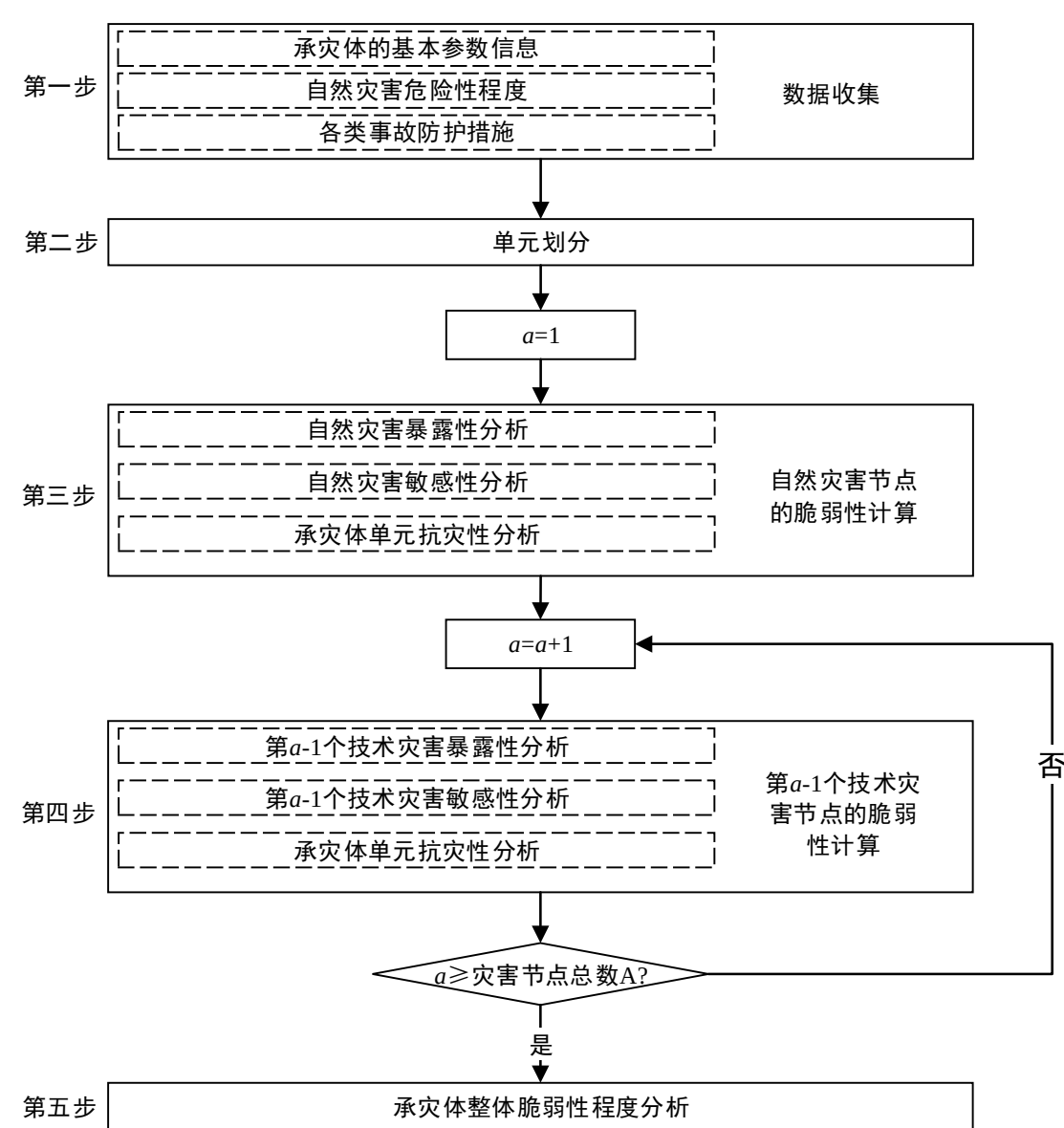


图A. 1 油气储存重大基础设施脆弱性的基本组成要素

附录 B
(规范性)

油气储存重大基础设施脆弱性评估基本流程

图B. 1规定了油气储存重大基础设施脆弱性评估基本流程。



图B. 1 油气储存重大基础设施脆弱性评估基本流程

附 录 C
(规范性)
危险物质暴露性因素分析清单

表C.1给出了承灾体危险物质暴露性因素分析清单。

表C.1 承灾体的危险物质暴露性因素分析清单

承灾体 <i>i</i>	危险化学品类别					
	危险化学品1	危险化学品2	...	危险化学品 <i>C</i>	重大危险源的辨识 指标 <i>W_i</i>	危险物质暴露性因素 <i>DM_i</i>
1						
2						
3						
4						
5						
...						
<i>N</i> -1						
<i>N</i>						

附 录 D
(规范性)
承灾体的中心暴露性因子分析清单

表D. 1给出了承灾体*i*受事故单元影响的中心暴露性因子分析清单。

表D. 1 承灾体 *i* 受事故单元影响的中心暴露性因子 $\phi_{k,j \rightarrow i}$ 分析清单

事故单元 <i>j</i>	技术灾害升级因子				
	升级因子1	升级因子2	...	升级因子 <i>K</i> -1	升级因子 <i>K</i>
1					
2					
3					
4					
5					
...					
<i>N</i> -1					
<i>N</i>					

附 录 E
(规范性)
承灾体的中心敏感性因子分析清单

表E. 1给出了事故单元*i*对承灾体的中心敏感性因子分析清单。

表E. 1 事故单元*i*对承灾体的中心敏感性因子 $\phi_{k,i \rightarrow j}$ 分析清单

承灾体 <i>j</i>	技术灾害升级因子				
	升级因子1	升级因子2	...	升级因子 <i>K</i> -1	升级因子 <i>K</i>
1					
2					
3					
4					
5					
...					
<i>N</i> -1					
<i>N</i>					

参 考 文 献

- [1] 应急管理部关于印发《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》的通知（应急〔2019〕78号）
 - [2] 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》（厅字〔2020〕3号）
 - [3] 《危险化学品目录（2015版）》（原国家安全监管总局等十部委公告2015年第5号）
-

广东省地方标准《油气储存重大基础设施脆弱性评估导则》

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《油气储存重大基础设施脆弱性评估导则》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）。

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，国内外油气储运重大基础设施事故多发，如 2022 年“8·6”古巴石油储库火灾事故，2021 年

河北沧州“5·31”油罐着火事故等。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》，全面地对油气储存重大基础设施安全状态进行评估，辨识设备设施的脆弱环节，需要建立一套基于多灾种耦合的脆弱性评估导则。该导则能够综合考虑油气储存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，对承灾体的脆弱性进行评估分级，能够深层次剖析油气储存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存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存重大基础设施脆弱性评估的术语和定义、评估原则、脆弱性的基本组成要素、脆弱性范畴与等级划分、脆弱性评估基本流程、脆弱性组成要素评估和脆弱性更新。其主要框架和内容如下：

（1）术语和定义

确立了油气储存重大基础设施脆弱性评估的相关术语和定义，包括：危险化学品、油气储存重大基础设施、应急资源、承灾体、单元、临界量、技术灾害、

脆弱性、暴露性、敏感性、抗灾性共 11 个术语和定义。

（2）评估原则

明确了油气储存重大基础设施脆弱性评估应坚持“系统性、专业性、延续性”的原则。

（3）脆弱性的基本组成要素

分别从灾害演化特性及油气储存重大基础设施致损特征的角度分析脆弱性组成要素，

从灾害演化特性的角度分析，脆弱性组成要素包括：

- 1) 受到自然灾害扰动导致的脆弱性；
- 2) 受到技术灾害扰动导致的脆弱性。

从油气储存重大基础设施致损特征的角度分析，脆弱性组成要素包括：

- 1) 暴露性，是指承灾体接触或受到扰动影响的程度、持续的时间或范围；
- 2) 敏感性，是指承灾体在扰动影响下，发生反应的灵敏程度；
- 3) 抗灾性，是指承灾体在发生事故后应对外界扰动的能力，即各类能够降低事故发生可能性和后果的手段，包括响应与应对能力、适应能力。

（4）脆弱性评估基本流程

明确油气储存重大基础设施脆弱性评估包括五个步骤，主要包括：数据收集；根据危险源的危险要素信息，进行单元划分；自然灾害节点（初始事故节点， $a=1$ ）的脆弱性计算；技术灾害节点（ $a>1$ ）的脆弱性计算；承灾体整体脆弱性程度分析。并列举了相关工作附录，包括规范性附录：《多灾种耦合下油气储存重大基础设施脆弱性评估基本要素》、《多灾种耦合下油气储存重大基础设施脆弱性评估基本流程》、《危险物质暴露性因素分析清单》、《中心暴露性因子分析清单》、《中心敏感性因子分析清单》。

（5）脆弱性组成要素评估

明确了自然灾害、技术灾害作用下暴露性、敏感性及抗灾性评估依据，结合风险控制和应急救援能力强化的情况（具体可依据 GB 50160、GB 50453、GB 50650、GB/T 50761、GB 50984 等标准规范展开），可及时更新区域内承灾体基本状况和脆弱性，调整脆弱性等级。根据新工艺、新技术、新材料和新业态，辨识并划分新的单元，更新区域内所有的承灾体脆弱性状态。

（6）脆弱性分级标准

脆弱性级别划分包括五等级：V级（稳定状态，脆弱性状态值为0-0.2），IV级（较稳定状态，脆弱性状态值为0.2-0.4）、III级（较脆弱状态，脆弱性状态值为0.4-0.6）、II级（脆弱状态，脆弱性状态值为0.6-0.8）、I级（极度脆弱状态，脆弱性状态值为0.8-1）。

（7）脆弱性评估的更新

根据评估结果，脆弱性级别达到II级和I级的单元应加强风险控制并强化应急救援能力，降低承灾体的暴露性和敏感性，提升承灾体的韧性，及时更新区域内承灾体基本状况，降低脆弱性级别。根据新工艺、新技术、新材料和新业态，辨识并划分新的单元，更新区域内所有的承灾体脆弱性状态。

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》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。

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、规章和标准的要求，具有一致性。

五、标准有何先进性或特色性

(1) 通过计算多灾种耦合场景下不同事件节点的脆弱性，可以辨识关键脆弱性单元，筛选化工系统中放大和缓解灾害后果的关键要素，有助于高效控制油气储存重大基础设施事故风险，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，导则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前期资料的收集和整理，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，结合广东省油气储存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：《油气储存重大基础设施脆弱性评估导则》适用范围为“本文件适用于广东省油气储存重大基础设施的脆弱性评估工作”。

（3）对标准的术语定义进行深入讨论，最后明确油气储存重大基础设施、脆弱性、暴露性、敏感性、抗灾性的定义。

（4）对标准评估范围及评估要素的确定进行研讨，明确暴露性、敏感性、抗灾性为主要评估要素。

（5）讨论脆弱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、自然灾害脆弱性计算等步骤的具体要求。

（7）分别对五个附录《油气储存重大基础设施脆弱性的基本组成要素》、《油气储存重大基础设施脆弱性评估基本流程》、《危险物质暴露性因素分析清单》、

《承灾体的中心暴露性因子分析清单》、《承灾体的中心敏感性因子分析清单》和相关内容进行讨论。

形成征求意见稿。2022年6月，标准编写工作组召开了《油气储运重大基础设施防御系统韧性评估技术指南》初稿专家评审会，邀请了油气、化工和标准化领域的三位专家，对标准草案范围、术语和定义、脆弱性的基本组成要素、脆弱性评估流程、附录等内容进行指导并提出了修改意见。标准编写工作组根据专家和各参与起草单位的意见，形成了标准征求意见稿和标准编制说明。

七、技术指标设置的科学性和可行性、量化指标的确定依据。

本标准从灾害演化特性和油气储存重大基础设施致损特征出发，考虑扰动的不同来源，从脆弱性的组成要素出发，分别构建暴露性、敏感性和抗灾性三个方面的量化函数。

在对自然灾害节点脆弱性进行量化过程中，考虑到暴露性、敏感性与脆弱性的正相关性，抗灾性与脆弱性的负相关性，综合构建了暴露性、敏感性和抗灾性量化脆弱性的模型，如式（1）所示。

针对技术灾害节点脆弱性进行量化过程中，节点的脆弱性状态值在上一节点脆弱性状态基础上进一步耦合叠加，如式（2）所示。

针对自然灾害作用下的暴露性量化过程中，从暴露性的影响因素灾害特性因素、危险物质暴露性因素及承灾体在上一事件节点的脆弱性状态出发，考虑到灾害特性因素、危险物质暴露性因素与暴露性的正相关性，上一事件节点的脆弱性状态与暴露性的负相关性，综合构建了自然灾害作用下暴露性的量化模型，如式（4）所示。

针对技术灾害作用下的暴露性量化过程中，从暴露性的影响因素承灾体的中心暴露性因素、承灾体的危险物质暴露性因素及承灾体在上一事件节点的脆弱性状态出发，考虑到承灾体的中心暴露性因素、危险物质暴露性因素与暴露性的正相关性，上一事件节点的脆弱性状态与暴露性的负相关性，综合构建了技术灾害作用下暴露性的量化模型，如式（7）所示。

针对自然灾害作用下的敏感性量化过程中，将敏感性的影响因素分解为灾害特性因素、自然灾害作用下承灾体的结构强度因素及承灾体在上一事件节点的脆弱性状态出发，考虑到灾害特性因素与敏感性的正相关性，自然灾害作用下承灾

体的结构强度、上一事件节点的脆弱性状态与暴露性的负相关性，综合构建了自然灾害作用下敏感性的量化模型，如式（8）所示。

针对技术灾害作用下的敏感性量化过程中，将敏感性的影响因素分解为承灾体的中心敏感性因素、技术灾害作用下承灾体的结构强度因素及承灾体在上一事件节点的脆弱性状态出发，考虑到承灾体的中心敏感性因素与敏感性的正相关性，技术灾害作用下承灾体的结构强度、上一事件节点的脆弱性状态与敏感性的负相关性，综合构建了技术灾害作用下敏感性的量化模型，如式（9）所示。

针对抗灾性量化过程中，将抗灾性的影响因素分解为响应与应对能力、自适应能力。考虑到响应与应对能力、自适应能力与抗灾性的正相关性，综合构建了抗灾性的量化模型，如式（13）所示。

根据上述量化思路，油气储存重大基础设施受自然灾害和技术灾害扰动下，脆弱性值可被量化在 0~1 的区间内，将该区间等值划分为 5 个级别进行分级。

八、与国际、国家、行业、其他省同类标准技术内容的对比情况，或者与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况。采标情况，以及是否合规引用或采用国际国外标准。

根据科技查新报告（报告编号：202136000L200491，项目名称：油气储存重大基础设施脆弱性评估导则），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计算多灾种耦合场景下不同事件节点的脆弱性并筛选出油气储存系统中放大和缓解灾害后果的关键要素，模拟多灾种耦合事故高阶多米诺效应传播过程，辨识出油气储存系统在自然灾害阶段和技术灾害阶段的关键脆弱性单元，用矩阵法对油气储存系统脆弱性进行快速的量化评估。

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《油气储存重大基础设施脆弱性评估导则》宣贯教育及典型基础设施脆弱性评估案例培训班，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脆弱性评估工作，提高安全水平。

《油气储存重大基础设施脆弱性评估导则》

起草牵头单位：华南理工大学

2022 年 09 月 03 日