

一、工作概况

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），华南理工大学汇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。

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，坚决遏制重特大事故发生。

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》等相关法律、法规和规定、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

本标准主要对照按照 GB/T1.1—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》要求进行编写，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。

规范性引用文件包括：

SY/T 7031-2016 油气储运术语

AQ/T 3046—2013 化工企业定量风险评价导则

五、标准有何先进性或特色性

本标准是结合广东省实际编制形成，填补了广东省油气储运重大基础设施韧性评估地标规范的空白，助力于广东省油气储运重大基础设施安全管理水平的提升，具有以下先进性或特色性：

(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；

(2) 采用矩阵计算的方法有利于程序实现，可对拥有大量设备的油气储运区域进行韧性快速量化评估。

六、标准调研、研讨、征求意见情况，重大分歧意见的处理经过和依据。

成立标准编写工作组。2020年12月，由华南理工大学、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的相关业务骨干、化工领域专家和标准化技术人员共同组成标准编写工作组。

立项前准备。2021年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。

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，向广东省地方标准归口管理部门广东省市场监督管理局递交了标准立项申请材料。

标准起草。2021年10月~2022年5月，在前期立项准备的基础上，根据项

目标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。

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。

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、韧性的基本组成要素、韧性评估流程、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。

征求意见稿公开征求意见。2022年11月2日-12月9日，《油气储运重大基础设施防御系统韧性评估技术指南》（征求意见稿）由广东省安全生产标准化技术委员会在广东省应急管理厅官网公开征求意见，并将《征求意见稿》发送相关单位和专家47份，收到回复的相关单位或专家个人30份，有建议和意见的单位或个人数量共6份，挂网公开征求意见收到的其他单位和个人意见数量2份。标准编写工作组根据专家和各参与起草单位的意见，形成了标准报批稿和标准编制说明。

报批稿公开征求意见。2023年6月21日-6月28日，《油气储运重大基础设施防御系统韧性评估技术指南》（报批稿）由广东省应急管理厅在广东省应急管理厅官网公开征求意见，挂网公开征求意见收到的其他单位和个人意见数量1

份。标准编写工作组根据专家和各参与起草单位的意见对标准进行了修改，形成了《油气储运重大基础设施防御系统韧性评估技术指南》（报批稿）征求意见汇总处理表、《油气储运重大基础设施防御系统韧性评估技术指南》（报批稿）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（9）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（3）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（7）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（8）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（9）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。

具体案例应用见下：

7.1 韧性评估基本信息收集

7.1.1 自然灾害信息收集

根据《中国石化销售股份有限公司广东佛山高明石油分公司富湾油库安全现状评价报告》(2020年12月28日)，佛山高明地区的抗震设防烈度为7度，设计基本地震加速度值为0.05g。

7.1.2 场站信息收集

高明站储罐信息及地理位置图等信息见表1与图1。

表1 高明站主要储罐一览表

序号	设备位号	储存介质	容积	直径(m)	高度(m)	壁厚(m)	临界量(t)	储存量(t)	材质
1	YG101	汽油	3000m ³	16	15.82	0.08	200	2250	Q235
2	YG102	汽油	3000m ³	16	15.82	0.08	200	2250	Q235
3	YG103	柴油	3000m ³	16	15.82	0.08	5000	2520	Q235
4	YG104	汽油	3000m ³	16	15.82	0.08	200	2250	Q235
5	YG105	柴油	3000m ³	16	15.82	0.08	5000	2520	Q235
6	YG106	汽油	3000m ³	16	15.82	0.08	200	2250	Q235
7	YG201	柴油	5000m ³	20	16.04	0.08	5000	4200	Q235
8	YG202	汽油	5000m ³	20	16.04	0.08	200	3750	Q235
9	YG203	汽油	5000m ³	20	16.04	0.08	200	3750	Q235
10	YG204	柴油	5000m ³	20	16.04	0.08	5000	4200	Q235
11	YG205	柴油	5000m ³	20	16.04	0.08	5000	4200	Q235
12	YG206	汽油	5000m ³	20	16.04	0.08	200	3750	Q235



图 1 高明站主要储罐位置

7.1.3 防御系统信息收集

根据《中国石化销售股份有限公司广东佛山高明石油分公司富湾油库安全现状评价报告》(2020年12月28日),高明站现有的主被动防护设施分别如下:

主动型防护设施: 惰性气体密封系统;泡沫消防系统;水幕、水喷淋装置;消防栓;防火阀;火焰或气体探测器;紧急截至阀;排污阀,共8种。

被动型防护设施: 防火墙;防爆墙;防火涂层;阻尼器;避雷针,共5种。

高明站内各储罐所设置的安全防护设施如下:

YG101:

主动: 惰性气体密封系统;泡沫消防系统;水幕、水喷淋装置;消防栓;防火阀;火焰或气体探测器;紧急截至阀;排污阀,共8种。

被动: 防火墙;防爆墙;防火涂层;阻尼器;避雷针,共5种。

YG102:

主动: 泡沫消防系统;水幕、水喷淋装置;消防栓;排污阀;防火阀,共5种。

被动: 防火墙;防爆墙;防火涂层;阻尼器;避雷针,共5种。

YG103:

主动: 惰性气体密封系统; 泡沫消防系统; 水幕、水喷淋装置; 消防栓; 防火阀; 火焰或气体探测器; 紧急截至阀; 排污阀, 共 8 种。

被动: 防火墙; 防爆墙; 防火涂层; 阻尼器; 避雷针, 共 5 种。

YG104:

主动: 泡沫消防系统; 水幕、水喷淋装置; 消防栓; 排污阀; 防火阀, 共 5 种。

被动: 防火墙; 防爆墙; 防火涂层; 阻尼器; 避雷针, 共 5 种。

YG105:

主动: 泡沫消防系统; 水幕、水喷淋装置; 防火阀; 紧急截至阀, 共 4 种。

被动: 防火墙; 阻尼器; 避雷针, 共 3 种。

YG106:

主动: 泡沫消防系统; 水幕、水喷淋装置; 防火阀; 紧急截至阀, 共 4 种。

被动: 防火涂层; 阻尼器; 避雷针, 共 3 种。

YG201:

主动: 惰性气体密封系统; 泡沫消防系统; 水幕、水喷淋装置; 消防栓; 防火阀; 紧急截至阀, 共 6 种。

被动: 防火涂层; 阻尼器; 避雷针, 共 4 种。

YG202:

主动: 惰性气体密封系统; 泡沫消防系统; 水幕、水喷淋装置; 消防栓; 防火阀; 紧急截至阀, 共 6 种。

被动: 防火墙; 阻尼器; 避雷针, 共 3 种。

YG203:

主动: 泡沫消防系统; 水幕、水喷淋装置; 消防栓; 排污阀; 防火阀, 共 5 种。

被动: 防火涂层; 阻尼器; 避雷针, 共 3 种。

YG204:

主动: 惰性气体密封系统; 泡沫消防系统; 水幕、水喷淋装置; 消防栓, 共 4 种。

被动：防爆墙；防火涂层；阻尼器；避雷针，共 4 种。

YG205：

主动：惰性气体密封系统；泡沫消防系统；水幕、水喷淋装置；消防栓，共 4 种。

被动：防爆墙；防火涂层；阻尼器；避雷针，共 4 种。

YG206：

主动：泡沫消防系统；水幕、水喷淋装置；消防栓；防火阀；排污阀；紧急截至阀，共 6 种。

被动：防爆墙；阻尼器；避雷针，共 3 种。

7.2 抵抗能力评估

油气储存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。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，依据专家经验对相关参数进行取值。

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。主动防御设施性能与被动防御设施性能分别使用公式(1)与公式(2)计算：

$$\begin{cases} PFD^1 = 1 + (\phi - 1) \times (1 - PFD^0) \\ \eta^1 = \eta^0 \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} PFD^1 = PFD^0 \\ \eta^1 = \eta^0 (1 - \phi) \end{cases} \quad (2)$$

式中：

PFD^1 ——防御设施失效概率；

ϕ ——防御设施性能修正因子；

PFD^0 ——防御设施原有失效概率；

η^1 ——防御设施有效性；

η^0 ——防御设施原有有效性。

其中，单个安全设备设施在自然灾害下的性能可认为是相互独立的，防御系

统的抵抗能力可按式(3)计算:

$$Re = \frac{1 - \prod_{i=1}^m PFD_i^1 \times \prod_{j=1}^n (1 - \eta_j^1)}{1 - \prod_{i=1}^m PFD_i^0 \times \prod_{j=1}^n (1 - \eta_j^0)} \quad (3)$$

式中:

Re ——防御系统抵抗能力;

PFD_i^1 ——自然灾害下第*i*个主动防御设施的失效概率;

PFD_i^0 ——正常状态下第*i*个主动防御设施的失效概率;

m ——主动防御设施数量;

η_j^1 ——自然灾害下第*j*个被动防御设施的有效性;

η_j^0 ——正常状态下第*j*个被动防御设施的有效性;

n ——被动防御设施数量。

最后, 防御系统抵抗能力可根据 Re 值分为5级, 包括:

- a) 1级(弱): 防御系统几乎不能抵抗自然灾害作用, 各组件受损严重, 无法发挥预期安全功能, $0 \leq Re < 0.2$;
- b) 2级(较弱): 防御系统难以抵抗自然灾害作用, $0.2 \leq Re < 0.4$;
- c) 3级(中): 防御系统可以一定程度的抵抗自然灾害作用, $0.4 \leq Re < 0.6$;
- d) 4级(较强): 防御系统可以较大程度的抵抗自然灾害作用, $0.6 \leq Re < 0.8$;
- e) 5级(强): 防御系统几乎不受自然灾害影响, $0.8 \leq Re \leq 1$ 。

其中, 高明站各储罐所设安全设施的有效性与失效概率取值可按照表2(标准中的附录A与附录B)参考。

表2 高明站储罐安全设施参数。e=地震

安全屏障	PFD_{0-a}	η_{0-a}	ϕ_e	PFD_a	η_a
惰性气体密封系统	0.00613	0.99	0.625	0.627299	0.99
泡沫消防系统	0.06133	0.982	0.5	0.530665	0.982
水幕、水喷淋装置	0.06133	0.99	0.75	0.765333	0.99
消防栓	0.06133	0.99	0.5	0.530665	0.99
防火阀	1.43×10^{-6}	0.99	0.375	0.375001	0.99
火焰或气体探测器	1.8×10^{-7}	0.999	0.5	0.5	0.999
排污阀	4.5×10^{-7}	0.9	0.25	0.25	0.9

紧急截至阀	1.42×10^{-5}	0.9	0.5	0.500007	0.9
防火墙	0.001	0.97	0.5	0.001	0.485
防爆墙	0.001	0.99	0.25	0.001	0.7425
防火涂层	0.001	0.98	0.25	0.001	0.735
阻尼器	0.001	1	0	0.001	1
避雷针	0.001	1	0	0.001	1

按照式(1)—式(3)，结合标准 7.2 节内容分别对高明站共 12 个储罐的抵抗力进行计算，得到结果如下。

表 3 高明站储罐抵抗能力 Re

储罐序号	Re	等级
YG101	0.999888644	5
YG102	0.999289942	5
YG103	0.999888644	5
YG104	0.999289942	5
YG105	0.960781893	5
YG106	0.979819809	5
YG201	0.993282305	5
YG202	0.986944856	5
YG203	0.989291079	5
YG204	0.990774519	5
YG205	0.990774519	5
YG206	0.993472428	5

7.3 适应能力评估

应按设备失效频率削减情况对防御系统适应能力进行评估，设备失效频率由常规失效频率、自然灾害导致的失效频率、多米诺事故导致的失效频率组成。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被考虑入自然灾害下设备失效频率分析。

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，设备失效频率可按式(4)计算：

$$f_T = f_u + f_N + f_d \quad (4)$$

式中：

f_T ——多灾种耦合场景下的设备失效频率；

f_u ——由于人因失误、机械故障等常规失效原因导致的单元失效频率，宜依据风险评估报告取值；

f_N ——因自然灾害作用导致的单元失效频率；

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/33530213324011234>