

ICS 点击此处添加 ICS 号

CCS 点击此处添加 CCS 号

# T/CASEI

团 体 标 准

T/CASEI XXXX—XXXX

## 站场压力管道风险评估方法

Risk assessment of station pressure pipeline

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国特种设备检验协会 发布

## 目 次

1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 风险评估的流程 .....	1
5 数据收集与整理 .....	2
6 风险因素识别 .....	3
7 失效可能性分析 .....	4
8 失效后果分析 .....	4
9 风险值计算和结果分析 .....	5
10 报告编制 .....	6
附录A（规范性） 站场压力管道失效可能性分析 .....	7
附录B（规范性） 站场压力管道失效后果分析 .....	17

## 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。

本文件由中国特种设备检验协会提出。

本文件由中国特种设备检验协会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

# 站场压力管道风险评估方法

## 1 范围

本文件规定了站场压力管道风险评估的程序、原则和方法,包括风险评估的流程、数据收集与整理、风险因素识别、失效可能性分析、失效后果分析、风险值计算和结果分析、报告编制等内容。

本文件适用于依据GB50251、GB50253和GB50028设计的输气管道工程、输油管道工程、城镇燃气输送和储配等站场内压力管道的风险评估工作。

## 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/T 19285 埋地钢质管道腐蚀防护工程检验
- GB 50028 城镇燃气设计规范
- GB 50251 输气管道工程设计规范
- GB 50253 输油管道工程设计规范

## 3 术语和定义

请选择适当的引导语

### 3.1 站场压力管道

站场内按照《特种设备目录》纳入监督管理的压力管道。

### 3.2 风险

潜在损失的度量,用失效发生的概率(可能性)和后果的大小来表示。

### 3.3 风险评估

识别管道运行的潜在危险、估计潜在不利事件发生的可能性和后果的一个系统过程。

### 3.4 风险因素

在运行过程中,对管道安全造成潜在不利影响的要素。

### 3.5 失效

管道丧失其规定的功能。

### 3.6 失效可能性

管道因风险因素发生失效的概率。

### 3.7 失效后果

管段发生泄漏事故后造成的人员伤亡、环境损失等不利影响的程度大小。由管道失效所引发的人员伤亡、环境破坏、经济损失以及社会影响等。

### 3.8 减薄类型

10%以下表面积受到腐蚀且壁厚变化大于等于1.27mm腐蚀现象为局部腐蚀,其余腐蚀情况为均匀腐蚀。

## 4 风险评估的流程

风险评估的流程如图1所示。

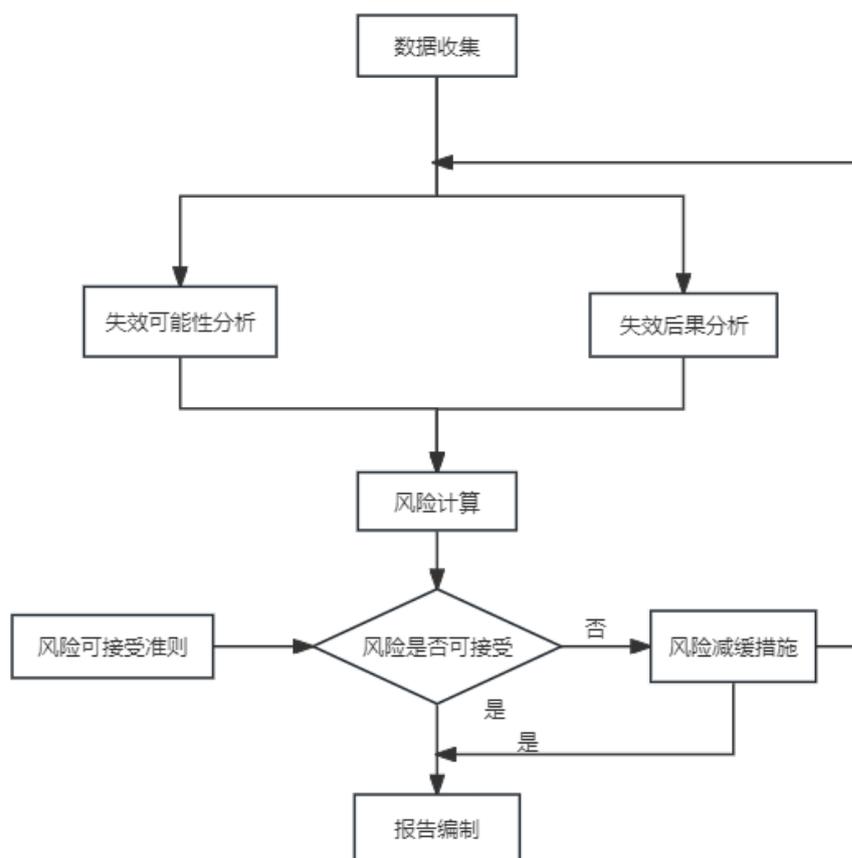


图1 风险评估流程

## 5 数据收集与整理

5.1 根据站场事故发生各个环节及日常维护等工作搜集站场信息，收集范围主要包括：工艺流程图（PFD）、工艺及仪表控制流程图（P&ID）、设备台账及基本参数、区域位置图与总平面布置图（或航拍图）、事故记录、消防检测及监测系统的配置和运行记录、检验检测报告、安全相关评价报告、人口分布图、气象数据等，相关内容如表 1 所示。

表1 站场现场调查信息表

序号	调查类别	主要内容
1	设计与施工资料调查	1. 建设立项论证报告，设计任务书，设计委托合同，设计说明书，施工资料，选址踏勘报告，设计方案修改文件，设计规范及标准。 2. 主要关键管道的参数信息。 3. 施工单位的资质信息及相关的验收报告。 4. 站场设计图、施工图和工艺流程图等。
2	站场运行管理资料	1. 站场分类、分级汇总表。 2. 站场事故（异常事件）与自然灾害情况。 （1）站场事故发生次数、原因、处置（处理）方式等； （2）站场管道、设施异常历史事件（设备故障）统计资料，分析报告等； （3）事故的影响范围，环境污染程度，事故造成的人身安全危害及管线输气中断的损失等； （4）危及站场管道的各类自然灾害事件（泥石流、路基坍塌、山体滑坡、灾害性风雪、洪水和地震等）报告； （5）设计对自然灾害情况的应对措施，是否考虑自然灾害情况对管道的可能破坏作

序号	调查类别	主要内容
		用及后果预测。 3. 站场运行条件 (1) 站场运行各类操作程序手册、作业指导书等； (2) 运行参数，每月运行天数，年度处理量任务书，年度任务完成总结报告等； (3) 气源检测报告。 4. 管理维护条件 (1) 站场管道管理维护制度、细则，维护操作规程，维护记录； (2) 站场管道检验、检测周期及相应的报告； (3) 故障记录、维护维修记录及报告。 5. 防护措施 (1) 管道内防腐措施和外防腐措施（区域阴极保护系统组成、运行参数、运行情况等）； (2) 安全放空系统的组成（管路、阀门、自控装置等）及运行状况； (3) 防止误操作的设施组成及运行状况； (4) 站场安防设施的类型、特点、运行状况等。
3	站场环境调查	1. 地形地貌特征描述 (1) 站场周围地貌特征描述、地理位置描述； (2) 附近重要建筑分布的准确位置（与站场围墙的距离）； (3) 站场所处地区的地区等级（文字描述并图示）； (4) 附近地区的地面活动程度：交通繁忙程度，农业生产活动，建设活动频繁程度，地质勘探活动等情况 200 米范围内）。 (5) 站内防洪与排涝设施情况，绿化状况和污水处理、排放状况等。 2. 进出气支线及气源与用户情况 (1) 进出气支线与干线管道相连的确定位置、支线的管径规格，支线与干线管道连通输气的确定时间，支线的输量、输压； (2) 进气来源，气源处理站的开工运转情况； (3) 用户的重要程度化及输气中断对用户的影响。 3. 站内土壤性质与气候条件 (1) 土壤性质分界点的准确位置，各测点的土壤类型、土壤腐蚀性（参照 GB/T 19285）； (2) 站场所处地区常年气候与气象特征，50 年内所发生的异常气象情况报告，自站场建成后该地区的年均降雨量、集中降雨月份及降雨量、年最高气温、年最低气温、年平均气温、月平均气温等气候特征资料数据。 (3) 该地区的大气环境、腐蚀性气体类型及大气的年平均空气相对湿度等。 4. 社会环境状况 (1) 站场所处地区的经济环境、法制环境； (2) 站场所处地区的相邻居民关系、政府关系、企业关系； (3) 历史上有无破坏、偷盗站场设施或跨越站场围墙的案例发生，关于破坏或偷盗对站场造成的影响后果及抢险情况的相关报告。
4	重要设备资料	1. 各类阀门、仪表、电气设备的基础资料类型、规格型号、工作原理、结构参数等； 2. 设备设施的运行管理资料台账、调节与控制方法、运转要求、常见故障及其原因故障诊断方法及解决措施； 3. 消防与安全监控报警系统资料台账、调节与控制方法、运转要求、常见故障及其原因故障诊断方法及解决措施。
5	检验检测与评价报告	1. 站场设备、管线检验检测报告； 2. 与站场有关的评价报告（安全预评价报告、环评报告等）。
6	其他资料	1. 站内工作人员工作情况资料（站内工作人员的本岗工作状况，环境及地质灾害风险识别能力，第三方破坏风险识别能力等）； 2. 站内工艺流程的适应性（能否满足现有的输配要求），以及更新改造情况。

## 6 风险因素识别

风险因素识别应考虑所有影响目标管道风险的因素，站场压力管道的主要风险因素基本分类如表2所示。

表2 管道风险因素

分类	风险因素	子因素
设备固有因素	与制管有关的缺陷	a) 管体焊缝缺陷; b) 管体缺陷;
	与焊缝/施工有关的因素	a) 环焊缝缺陷, 包括支管和 T 型接头焊缝; b) 褶皱弯管或屈曲; c) 螺纹磨损/管子破损/接头失效。
与时间相关	外腐蚀	—
	内腐蚀	—
	应力腐蚀开裂/氢致损伤	—
	凹陷及其他疲劳损伤	—
与时间无关	机械损失	a) 甲方、乙方或第三方造成的损坏 (瞬间/立即失效); b) 管子旧伤 (如凹陷或划痕等) (滞后性失效);
	误操作	—
	自然与地质灾害	a) 低温; b) 雷电; c) 地震; d) 暴雨或洪水; e) 土体移动、沉降等; f) 其他。

## 7 失效可能性分析

### 7.1 失效场景

应选择设备设施典型的失效场景, 分析确定其失效频率。对于符合以下条件之一的失效场景, 可不予考虑:

- a) 发生的频率小于  $10^{-8}$ /年。
- b) 导致小于 1% 的致死率。

7.2 失效可能性分析应结合失效的各类影响因素进行, 分析过程中应考虑已采取的降低风险措施的效果。

7.3 失效可能性以失效概率表征, 管道失效概率计算可参照附录 A。

7.4 如直接采用历史失效数据进行失效可能性分析, 或对失效可能性分析结果进行验证, 需对历史数据的适用性和与被评价管道的可比性进行评价。

## 8 失效后果分析

8.1 失效后果分析用于确定管道失效对周边潜在影响的严重程度。潜在影响可能由可燃性油气介质从管道泄漏、扩散引起。

### 8.2 泄漏速率与泄漏量

发生泄漏的油气介质, 在进行泄漏速率、泄漏量的计算时, 应注意:

- c) 泄漏速率应全面考虑温度、压力、流体热力学属性、孔径形状和大小、流动阻力等因素的影响;
- d) 泄漏量通过泄漏速率与泄漏时间相乘来计算, 最终估算的泄漏量不能超过总存量。

### 8.3 扩散范围

8.3.1 对于输气站场, 分析可燃气体浓度分布。

8.3.2 对于输油站场, 计算液体泄漏形成的液池面积, 并计算液池蒸发速率, 分析蒸发气云的浓度分布。计算液池面积时应考虑地面粗糙度、障碍物以及液体收集系统等因素。如果存在围堰、防护堤等拦

蓄区，且泄漏的介质不溢出拦蓄区时，液池最大半径不超过拦蓄区的等效半径。

#### 8.4 点火概率

可采用事件树对立即点火、延迟点火和不点火的点火概率进行分析，概率值参考事故统计分析结果。

8.5 在综合泄漏分析、扩散分析和点火概率分析结果的基础上，考虑输送介质着火爆炸对人身安全的影响，必要时应考虑失效导致的经济损失、环境污染及对管道使用单位声誉的影响。

8.6 失效后果的计算可参照附录 B。

### 9 风险值计算和结果分析

#### 9.1 风险计算

特定位置管道的风险可通过失效概率与失效后果的乘积计算。基于燃烧爆炸导致人员伤害的管道风险按公式（1）计算：

$$R = F \times F_1 \times CA \times D_p \dots\dots\dots (1)$$

式中：

F—管道失效概率；

$F_1$ —点火概率（百分比）；

CA—人员伤害面积，单位为 $m^2$ ；

$D_p$ —人员伤害区域内的人口密度，单位为 $人/m^2$ 。

#### 9.2 风险可接受准则

9.2.1 个体风险是指在评价区域未采取任何防护措施的人员遭受特定危害而死亡的概率，以个人年度死亡率表示。油气管道站场个人风险可接受准则见表 3。

表3 个人风险可接受准则

不可接受风险 年 <sup>-1</sup>	可忽略风险 年 <sup>-1</sup>	范围
$1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-6}$	站场界外居住类场所（如居民区、宾馆、度假村等）及公众聚集类场所（如办公场所、商场、饭店、娱乐场所等）
$1 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{-7}$	站场界外高敏感场所（如学校、医院、幼儿园、养老院等）、重要目标（如党政机关、军事管理区、文物保护单位等），及特殊场所（如大型体育场、大型交通枢纽等）
$1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-5}$	站场界内人员

9.2.2 社会风险是指事故发生的可能性和灾害导致人员伤亡数量之间的关系，即导致 N 人以上死亡事故的发生概率 F，以社会风险曲线（F-N 曲线）表示。油气管道站场社会风险可接受准则见表 4。

表4 站场社会风险可接受准则

不可接受风险 (死亡人数/每年累积频率)	可忽略风险 (死亡人数/每年累积频率)
$1/(1 \times 10^{-3})$	$1/(1 \times 10^{-5})$
$10/(1 \times 10^{-4})$	$10/(1 \times 10^{-6})$
$100/(1 \times 10^{-5})$	$100/(1 \times 10^{-7})$

#### 9.3 风险减缓措施

对于高风险等级的管段，应分析其风险的主要来源，并针对其风险主要来源，提出相应的降低风险措施的建议。

## 10 报告编制

完成评价后，应编制评价报告，报告内容主要包含：

- a) 项目概况：说明项目的来源、评价范围和评价依据。
- b) 评价方法：说明评价的流程、采用的评价模型、后果评价方法，以及风险接受标准。
- c) 数据资料：说明资料的来源、数据的种类、获取时间，以及具体数据内容。
- d) 危险源辨识：说明识别的危险因素。
- e) 失效概率分析：说明管道泄漏频率、频率修正方法和修正值，以及管道泄漏后引起的事故频率。
- f) 失效后果分析：说明泄漏、扩散、蒸发等模型的输入/输出结果，火灾、爆炸后果等引起的灾害程度和灾害范围，敏感环境区油品的污染范围及油品量。
- g) 风险计算结果：给出个人风险、社会风险结果。
- h) 结果分析：说明风险接受标准、风险减缓的措施及建议。

**附录 A**  
**(规范性)**  
**站场压力管道失效可能性分析**

A.1 站场压力管道失效可能性以失效概率表征，失效概率  $F$  计算方法如式 (A.1)、式 (A.2) 所示。

$$F = gff \times F_M \times D \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

$F$ —站场压力管道失效概率；

$gff$ —站场压力管道平均失效概率；

$F_M$ —管理措施修正因子；

$D$ —损坏修正因子；

A.2 站场管道平均失效概率优先选择运营单位统计的历史失效数据。无法依据相关历史数据确定时可参考表 A.1 选取。

**表A.1 管道平均失效概率**

管道特征 (mm)	各破裂尺寸对应的失效概率				总失效概率 $gff$
	>0mm~6mm	>6mm~25mm	>25mm~100mm	>100mm	
DN25	$2.8 \times 10^{-5}$	0	0	$2.6 \times 10^{-6}$	$3.06 \times 10^{-5}$
DN50	$2.8 \times 10^{-5}$	0	0	$2.6 \times 10^{-6}$	$3.06 \times 10^{-5}$
DN100	$8 \times 10^{-6}$	$2 \times 10^{-5}$	0	$2.6 \times 10^{-6}$	$3.06 \times 10^{-5}$
DN150	$8 \times 10^{-6}$	$2 \times 10^{-5}$	0	$2.6 \times 10^{-6}$	$3.06 \times 10^{-5}$
DN200	$8 \times 10^{-6}$	$2 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-6}$	$6 \times 10^{-7}$	$3.06 \times 10^{-5}$
DN250	$8 \times 10^{-6}$	$2 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-6}$	$6 \times 10^{-7}$	$3.06 \times 10^{-5}$
DN300	$8 \times 10^{-6}$	$2 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-6}$	$6 \times 10^{-7}$	$3.06 \times 10^{-5}$
DN400	$8 \times 10^{-6}$	$2 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-6}$	$6 \times 10^{-7}$	$3.06 \times 10^{-5}$
DN>400	$8 \times 10^{-6}$	$2 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-6}$	$6 \times 10^{-7}$	$3.06 \times 10^{-5}$

**A.3 管理措施修正因子**

管理措施影响因素包括安全管理机构及人员 ( $F_{MB}$ )、安全技术档案 ( $F_{MC}$ )、安全管理制度和操作规程 ( $F_{ME}$ )、维护保养与检查 ( $F_{MS}$ )、隐患排查与异常情况处理 ( $F_{MP}$ )、应急预案与事故处置 ( $F_{MM}$ )。管理措施修正因子计算见式 (A.3)，各因子取值见表A.2~表A.7。

$$F_M = 10^{[1 - \frac{(F_{MB} + F_{MC} + F_{ME} + F_{MS} + F_{MP} + F_{MM})}{300}]} \dots\dots\dots (A.2)$$

**表A.2 安全管理机构及人员取值**

安全管理机构及人员	$F_{ab}$
使用单位按照相关要求设置安全管理机构及人员，其相关职责明确、合理	100
使用单位按照相关要求设置了安全管理机构及人员，其相关职责不明确或混乱	60
使用单位按照相关要求设置了安全管理机构及人员，未明确其相关职责	40
使用单位未按照相关要求设置了安全管理机构及人员	0

**表A.3 安全技术档案因子取值**

安全技术档案	$F_{mc}$
齐全	100
不齐全	50
无	0

表A.4 安全管理制度和操作规程因子取值

安全管理制度和操作规程	$F_{me}$
齐全	100
不齐全	50
无	0

表A.5 维护保养与检查因子取值

维护保养与检查	$F_{ms}$
严格按照有关技术规范和文件的要求进行维护保养、检验检测，相关记录齐全，每年至少进行1次年度检查	100
维修保养记录齐全，按照规范进行全面检验，部分年份未进行年度检查	60
维修保养记录齐全，按照规范进行全面检验，从未进行年度检查	40
维修保养记录齐全，未进行全面检验	20
安全附件及仪表超期未校验、检定	0

表A.6 隐患排查与异常情况处理因子取值

隐患排查与异常情况处理	$F_{mp}$
按照相关要求，定期进行隐患排查，相应排查记录及隐患整改记录齐全	100
按照相关要求，定期进行隐患排查，相应记录齐全，但未对排查的隐患采取纠正和预防措施	80
按照相关要求，定期进行隐患排查，相应记录缺失	60
按照相关要求，定期进行隐患排查，排查频率1年1次	40
未按照相关要求，进行隐患排查	0

表A.7 应急预案与事故处置因子取值

应急预案与事故处置	$F_{mm}$
按照相关要求制定专项应急预案，至少每年进行1次应急演练，并且有演练记录	100
按照相关要求制定专项应急预案，超过1年进行1次应急演练，并且有演练记录	60
有专项应急预案，演练记录缺少	40
无专项应急预案，未进行应急演练	0

## A.4 损坏因子

#### A.4.1 减薄次因子

##### A.4.1.1 腐蚀速率的确定

通过检测得到的壁厚、结合管道使用年限计算腐蚀速率，缺乏实际腐蚀速率时，也可采用试片失重法测算或采用相同管材、相近腐蚀环境的管道腐蚀速率数据。

##### A.4.1.2 $A_{rt}$ 的计算

$A_{rt}$  为腐蚀减薄严重程度指数，计算方法见公式(A.3)：

$$A_{rt} = \frac{t-t_{rd}+a \times r}{t-A} \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

- $t$ —名义厚度，单位毫米（mm）；
- $t_{rd}$ —最近一次检验测量的最小壁厚，单位毫米（mm）；
- $a$ —管道使用年限，单位为年；
- $r$ —腐蚀速率，单位毫米每年（mm/年）；
- $A$ —腐蚀裕量，单位为毫米（mm）；

##### A.4.1.3 减薄类型的确定

根据近期的检验数据等资料确定管道减薄类型（全面减薄或局部减薄），如全面减薄和局部减薄两者均有可能，则将减薄类型制定为局部减薄。

##### A.4.1.4 检验有效性等级

根据表A.8给出了外部检测确定的检验有效性等级。

表A.8 检验有效性等级

检验有效性等级	全面减薄	局部减薄
高度有效	覆盖 50%-100%区域超声扫查或射线检测	在腐蚀工程师或专家指定的区域内 50%-100%自动超声波扫查或断面射线检测
中高度有效	不低于 20%超声波扫查（自动或人工）或断面射线检测或外部的点测厚	在腐蚀工程师或专家指定的区域内 20%自动超声波扫查，或 50%断面射线检测
中度有效	检测比例 2%-3%，外部超声测厚抽检和很少或无内部目视检查	在腐蚀工程师或专家指定的区域内 20%自动超声波扫查，或断面射线检测和超声测厚
低度有效	少量测厚，有正式检测计划	断面射线检测或局部超声测厚，腐蚀工程师或专家不指定区域
无效	随机测厚，无正式检测计划	局部超声测厚，腐蚀工程师或专家不指定区域

## A.4.1.5 减薄次因子的确定

根据表A.9，按照计算的 $A_{r1}$ 和最高等级有效性检测活动的次数，确定壁厚减薄的基本损坏因子D。

表A.9 减薄次因子

$A_{r1}$	检测次数																							
	1次				2次				3次				4次				5次				6次			
	检验有效性				检验有效性				检验有效性				检验有效性				检验有效性				检验有效性			
	无效	低度有效	中度有效	中高度有效	高度有效	低度有效	中度有效	中高度有效																
0.02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.04	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.06	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.08	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.12	6	5	3	2	1	4	2	1	1	3	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
0.14	20	17	10	6	1	13	6	1	1	10	3	1	1	7	2	1	1	5	1	1	1	4	1	1
0.16	90	70	50	20	3	50	20	4	1	40	10	1	1	30	5	1	1	20	2	1	1	14	1	1
0.18	250	200	130	70	7	170	70	10	1	130	35	3	1	100	15	1	1	70	7	1	1	50	3	1
0.2	400	300	210	110	1	290	120	20	1	260	60	5	1	180	20	2	1	120	10	1	1	100	6	1
0.25	520	450	290	150	2	350	170	30	2	240	80	6	1	200	30	2	1	150	15	2	1	120	7	1
0.3	650	550	400	200	3	400	200	40	4	320	110	9	2	240	50	4	2	180	25	3	2	150	10	2
0.35	750	650	550	300	8	600	300	80	1	540	150	20	5	440	90	1	4	350	70	6	4	280	40	5
0.4	900	800	700	400	13	700	400	120	3	600	200	50	1	500	140	2	8	400	110	10	8	350	90	8
0.45	1050	900	810	500	20	800	500	160	4	700	270	60	2	600	200	3	15	500	160	2	1	400	130	2
0.5	1200	1100	970	600	27	1000	600	200	6	900	360	80	4	800	270	5	40	700	210	4	4	600	280	4
0.55	1350	1200	1130	700	35	1100	750	300	1	1000	500	100	9	900	350	1	90	800	260	9	9	700	340	9
0.6	1500	1400	1250	850	50	1300	900	400	2	1200	620	120	2	1000	450	2	100	900	360	2	2	800	400	2
0.65	1900	1700	1400	1000	70	1600	1100	600	5	1300	850	150	5	1200	700	5	1100	1100	600	5	5	1000	600	5

## A. 4. 1. 6 减薄次因子的修正

## A. 4. 1. 6. 1 安全系数的确定

根据最高操作压力（MAWP）和操作压力（OP）比值按照表A. 10确定安全系数。

表A. 10 安全系数的确定

MAWP/OP	安全系数
1.0~1.5	1.0
>1.5	0.5

## A. 4. 1. 6. 2 注入/混合点的修正

对含有腐蚀性注入点或混合点的管道，修正系数为3。如果无或者已专门对注入/混合点进行了高度有效的腐蚀检测，其值为1。

## A. 4. 1. 6. 3 分支段修正系数的确定

管道存在分支时，分支处减薄可能性较高，其修正系数为3，如果无，其值为1。

## A. 4. 1. 6. 4 盲管段修正系数的确定

断续工作（如启动、停车或连续工作以外的再生循环等期间使用）的管道，其修正系数为3，如采用了高度有效的检测来查明盲管中可能出现的局部腐蚀，其值为1。

## A. 4. 2 机械疲劳损伤次因子

A. 4. 2. 1 管线机械疲劳破坏因子用来计算由于机械疲劳而导致的管件破坏的可能性，确定步骤如下：

- a) 确定以前已经失效发生的次数，按表 A. 11 确定基本失效因子  $D_{fB}^{PF}$ 。

表A. 11 历史疲劳失效

已失效次数	$D_{fB}^{PF}$
无	1
1次	50
大于1次	500

- b) 确定管道中发生的可见的/可听的振动或可听见的噪声量，按表A. 12确定振动噪声因子  $D_{fB}^{AB}$ 。

表A. 12 振动噪声

振动噪声	$D_{fB}^{AB}$
较小	1
中等	50
严重	500

c) 确定振动修正因子  $F_{fB}^{AB}$ ，如表 A.1.3 所示。

表A.13 振动修正因子

振动持续时间	$F_{fB}^{AB}$
振动少于两周	1
振动在 2-13 周	0.2
振动在 13-52 周	0.02

d) 确定 15.24m 管道范围内直接或间接连接的循环应力类型，按表 A.15 确定基准敏感度  $D_{fB}^{CF}$ 。

表A.14 循环应力类型

15.24m 内连接的循环力来源	$D_{fB}^{CF}$
往复式机械	50
安全阀振动	25
具有高压降的阀门	10
无	1

A.4.2.2 按照公式 A.4 确定基本的破坏因子：

$$D_{fB}^{mfat} = \max[D_{fB}^{PF}, (D_{fB}^{AB} \cdot F_{fB}^{AB}), D_{fB}^{CF}] \dots\dots\dots (A.4)$$

A.4.2.3 按照公式 A.5 确定最终损害因子：

$$D_f^{mfat} = D_{fB}^{mfat} \cdot F_{CA} \cdot F_{PC} \cdot F_{CP} \cdot F_{JB} \cdot F_{BD} \dots\dots\dots (A.5)$$

式中：

a) 纠正措施修正因子  $F_{CA}$ ，根据表 A.15 确定。

表A.15 采取的纠正措施

纠正措施	$F_{CA}$
基于完整的工程分析修正	50
基于经验修正	25
无修正	10

b) 修正管线复杂度  $F_{PC}$ ，根据表 A.16 确定。

表A.16 管道系统的复杂度

复杂度	$F_{CA}$
每 15.24m 的管道 0-5 个支管、管接头等	0.5
每 15.24m 的管道 5-10 个支管、管接头等	1
每 15.24m 的管道 >10 个支管、管接头等	2

c) 管道工作支撑条件修正因子  $F_{CP}$ ，根据表 A. 17 确定。

表A. 17 管道条件

条件	$F_{CP}$
管支架丢失或损坏	2
重量未作支撑	2
加力板破裂	2
加力板/管支架直接焊到管道上	2
良好状态	1

d) 接头类型和支管形式修正因子  $F_{JB}$ ，根据表 A. 18 确定。

表A. 18 接头或支管形式

接头形式	$F_{JB}$
螺纹连接	2
承插焊	2
凸鞍形	2
凹鞍形	1
小焊管	0.2
变径小管	0.02

e) 分支管道直径修正因子  $F_{BD}$ ，根据表 A. 19 确定。

表A. 19 支管直径

支管直径	$F_{BD}$
支管直径小于等于 50mm	1
所有支管直径均大于 50mm	0.02

### A. 4.3 外部损失次因子

#### A. 4.3.1 碳钢和低合金钢的大气腐蚀

年降雨量大的区域或温暖湿润的海边区域的管道易产生大气腐蚀。相应温度下碳钢的大气腐蚀速率如表A. 20所示。

表A. 20 推荐的碳钢腐蚀速率

运行温度/℃	外部环境		
	海上	温和环境	干旱/干燥环境
≤-12	0	0	0
>-12~15	0.13	0.076	0.025
>15~49	0.05	0.025	0
>49~93	0.13	0.05	0.025
>93~121	0.025	0	0
>121	0	0	0

根据防腐涂层的质量对管道使用年限 $a$ 进行调整，如表A. 21所示。

表A. 21 设备服役时间的调整

涂层质量		
无（没有涂层或仅涂底漆）	中等（单层环氧涂料）	高（多层环氧涂层或填充环氧涂料）
$a = \text{检测日期} - \text{安装日期}$	$a = \text{检测日期} - (\text{安装日期} + 5 \text{年})$	$a = \text{检测日期} - (\text{安装日期} + 15 \text{年})$

腐蚀速率的修正，主要考虑管道支承、界面修正因子，如表A. 22、A. 23所示。

表A. 22 管道支撑的修正

直接与支承接触	无
腐蚀速度=腐蚀速率×2.0	腐蚀速度=腐蚀速率×1.0

表A. 23 界面的调整

有分界面，例如入土或水	无
腐蚀速度=腐蚀速率×2.0	腐蚀速度=腐蚀速率×1.0

大气腐蚀检验有效性等级，如表A. 24所示。

表A. 24 检验有效性等级

检验有效性等级	检测方法
高度有效	对>95%的外表面目视检查及UT、RT、深度尺检测
中高度有效	对>60%的外表面目视检查及UT、RT、深度尺检测
中度有效	对>30%的外表面目视检查及UT、RT、深度尺检测
低度有效	对>5%的外表面目视检查及UT、RT、深度尺检测
无效	对≤5%的外表面目视检查及UT、RT、深度尺检测

按照调整后的腐蚀速率、检验有效性等级和次数，依据公式A. 4、表A. 9确定大气腐蚀损坏因子  $D_{fB}^{thin}$ 。

#### A. 4. 3. 2 碳钢和低合金钢的层下腐蚀

隔热层内的管道腐蚀主要由于积水或水蒸气等，其来源可能由于水泄漏、雨水等，其腐蚀也和其地理有关，比如多雨水、沿海地区等。

相应温度下碳钢和低合金钢的层下腐蚀速率如表A. 25所示。

表A. 25 推荐的层下腐蚀速率

运行温度/℃	外部环境		
	海上	温和环境	干旱/干燥环境
≤-12	0	0	0
>-12~15	5	3	1
>15~49	2	1	0
>49~93	10	5	2
>93~121	2	1	0
>121	0	0	0

根据防腐涂层的质量对管道使用年限a进行调整，如表A. 21所示。

表A. 26 设备服役时间的调整

涂层质量		
无（没有涂层或仅涂底漆）	中等（单层环氧涂料）	高（多层环氧涂层或填充环氧涂料）
a=检测日期-安装日期	a=检测日期-（喷涂日期+5年）	a=检测日期-（喷涂日期+15年）

腐蚀速率的修正，主要考虑管道复杂度、保温层状况、管道支承、界面等修正因子，如表A. 27~表A. 30所示。

表A. 27 管道复杂度的修正

低于平均水平	平均水平	高于平均水平
腐蚀速度=腐蚀速率×0.75	腐蚀速度=腐蚀速率×1.0	腐蚀速度=腐蚀速率×1.25

表A. 28 管道保温层状况的修正

低于平均水平	平均水平	高于平均水平
腐蚀速度=腐蚀速率×1.0	腐蚀速度=腐蚀速率×0.5	腐蚀速度=腐蚀速率×0.25
注：根据目视检查的保温层状况确定。良好的保温层表面没有任何受损迹象（如破损、撕裂或防水圈脱落、填充料脱落）或积水（如发棕色、发绿或黑色污迹）。		

表A. 29 管道支撑的修正

直接与支承接触	无
损失速度=损伤速率×2.0	损失速度=损伤速率×1.0

表A.30 界面的调整

有分界面，例如入土或水	无
损失速度=损伤速率×2.0	损失速度=损伤速率×1.0

大气腐蚀检验有效性等级，如表A.24所示。

表A.31 检验有效性等级

检验有效性等级	拆除保温层	不拆除保温层
高度有效	拆除 95%以上的保温层，对露出的表面进行目视检查，然后再用 UT、RT、深度尺进行检测	大于 95%表面的射线检测或实时射线检测
中高度有效	拆除保温层前对 95%以上区域进行目视检查，然后拆除包括可疑部位在内的 60%以上的保温层，对露出的表面进行目视检查，再用 UT、RT、深度尺进行检测	对 95%以上进行目视检查，且对包括可疑部位在内的 60%~95%表面的射线检测或实时射线检测
中度有效	拆除保温层前对 95%以上区域进行目视检查，然后拆除包括可疑部位在内的 30%以上的保温层，对露出的表面进行目视检查，再用 UT、RT、深度尺进行检测	对 95%以上进行目视检查，且对包括可疑部位在内的 30%~60%表面的射线检测或实时射线检测
低度有效	拆除保温层前对 95%以上区域进行目视检查，然后拆除包括可疑部位在内的 5%以上的保温层，对露出的表面进行目视检查，再用 UT、RT、深度尺进行检测	对 95%以上进行目视检查，且对包括可疑部位在内的 5%~30%表面的射线检测或实时射线检测
无效	仅拆除 5%以上的保温层进行目视检查，或不检测或检测无效	不检测或对保温层的目视检查范围小于 5%

按照调整后的腐蚀速率、检验有效性等级和次数，依据公式A.4、表A.9确定大气腐蚀损坏因子  $D_{fB}^{thin}$ 。

**附录 B**  
(规范性)  
**站场压力管道失效后果分析**

管道失效后果定量计算包括介质泄漏后泄漏速率和泄漏量的计算、泄漏后介质的扩散计算，扩散介质引发的或者爆炸计算以及人员伤亡等。

### B.1 泄漏速率和泄漏量计算

#### B.1.1 泄漏孔径

根据泄漏孔径 $d_n$ 的大小分为小孔、中孔、大孔和完全破裂四种情景，如表B.1所示，最大泄漏孔直径限定为400mm。

表B.1 泄漏孔规格

泄漏孔序号	泄漏孔大小	泄漏孔直径范围 (mm)	泄漏孔直径 $d_n$ (mm)
1	小	>0~6	$d_1=6$
2	中	>6~50	$d_2=25$ $d_2=\min(D, 25)$
3	大	>50~150	$d_3=100$ $d_3=\min(D, 100)$
4	破裂	>150	$d_4=\min(D, 400)$

泄漏孔的选取原则如下：

- a) 不同外径的管道所选取的泄漏孔直径应不大于管道自身的外径。
- b) 外径大于 150mm 的管道, 选取 4 种直径的标准泄漏孔:6mm、25mm、100mm 及破裂。
- c) 外径不大于 150mm 且大于 50mm 的管道, 选取 3 种直径的标准泄漏孔:6mm、25mm 及破裂。
- d) 外径不大于 50mm 的管道, 选取 2 种直径的标准泄漏孔:6mm 及破裂。

每种泄漏孔, 按式B.1计算其泄漏面积 $A_n$ ：

$$A_n = \frac{\pi d_n^2}{4} \dots\dots\dots (B.1)$$

#### B.1.2 理论泄漏速率计算

##### B.1.2.1 液相介质泄漏速率按照式 B.2 计算：

$$W_n = A_n C_d \sqrt{2\rho_1(P_s - P_o)} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

$W_n$ —第 $n$ 中泄漏情景对应的泄漏速率，单位为千克每秒 (kg/s)；

$C_d$ —液相泄漏系数，湍流介质通过边缘尖锐孔的泄漏系数为[0.60,0.65]，推荐保守的取值为0.61；

$\rho_1$ —液体密度，单位为千克每立方米 (kg/m<sup>3</sup>)；

$A_n$ —泄漏孔面积，单位为平方米 (m<sup>2</sup>)；

$P_s$ —运行压力，单位为兆帕 (MPa)；

$P_o$ —环境压力，单位为兆帕 (MPa)。

##### B.1.2.2 气相介质泄漏速率按照式 B.3、B.4 计算：

介质流速由音速向亚音速的转换压力按式B.3计算：

$$P_{trans} = P_o \left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{k}{k-1}} \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：

$P_{trans}$ —标准大气压，单位为兆帕 (MPa)；

$k$ —理想气体比热容。

当运行压力大于转换压力时，则气体以音速泄漏，对每种泄漏孔，泄漏速率计算方法如式 B.所示。

$$W_n = A_n C_d P_s \sqrt{\frac{Mk}{RT} \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \dots\dots\dots (B. 4)$$

式中：

$W_n$ —第 $n$ 种泄漏情景对应的泄漏速率，单位为千克每秒(kg/s)；

$A_n$ —泄漏孔面积，单位为平方米(m<sup>2</sup>)；

$C_d$ —气相泄漏系数，湍流介质通过锋利孔取值范围为[0.85, 1.0]，推荐取值为0.9；

$P_s$ —运行压力，单位为兆帕(MPa)；

$M$ —摩尔质量，单位为克每摩尔(g/mol)；

$k$ —理想气体比热容；

$R$ —气体常数，8.314J/(mol·K)；

$T$ —操作温度，单位为开尔文(K)。

当运行压力小于或等于转换压力时，则气体以亚音速泄漏，对每种泄漏孔，泄漏速率计算方法如式B.5所示。

$$W_n = Y A_n C_d P_s \sqrt{\frac{Mk}{RT} \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \dots\dots\dots (B. 5)$$

式中：

$W_n$ —第 $n$ 种泄漏情景对应的泄漏速率，单位为千克每秒(kg/s)；

$A_n$ —泄漏孔面积，单位为平方米(m<sup>2</sup>)；

$C_d$ —气相泄漏系数，湍流介质通过锋利孔取值范围为[0.85, 1.0]，推荐取值为0.9；

$P_s$ —运行压力，单位为兆帕(MPa)；

$M$ —摩尔质量，单位为克每摩尔(g/mol)；

$k$ —理想气体比热容；

$R$ —气体常数，8.314J/(mol·K)；

$T$ —操作温度，单位为开尔文(K)；

$Y$ —流出系数。

流出系数按式B.6计算：

$$Y = \left(\frac{P_o}{P_s}\right)^{\frac{1}{k}} \cdot \left[1 - \left(\frac{P_o}{P_s}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]^{\frac{1}{2}} \cdot \left[\left(\frac{2}{k-1}\right) \left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{(k+1)}{(k-1)}}\right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (B. 6)$$

式中：

$P_s$ —运行压力，单位为兆帕(MPa)；

$P_o$ —环境压力，单位为兆帕(MPa)；

$k$ —理想气体比热容。

### B.1.3 潜在的最大介质泄漏量计算

管道潜在的最大介质泄漏量按式B.7计算。

$$Q_n = Q_s + Q_{add} \dots\dots\dots (B. 7)$$

式中：

$Q_n$ —第 $n$ 种泄漏情景对应的最大介质泄漏量，单位为千克(kg)；

$Q_s$ —泄漏位置所在管段(两截断阀间)的介质存量，单位为千克(kg)；

$Q_{add}$ —相关控制系统关断阀门时间内的介质补充量，单位为千克(kg)；

管段内介质存量 $Q_s$ 不能确定时可按照管道容积计算，相关控制系统关断阀门时间按照3min计算。

### B.1.4 泄漏类型的确定

泄漏类型分为连续泄漏和瞬时泄漏两种。当泄漏孔直径 $d_n$ 小于或等于6mm，则确定为连续泄漏；当泄漏孔直径 $d_n$ 大于6mm，对每种泄漏孔，按式B.8计算泄漏4500kg介质消耗的时间 $t_n$ ：

$$t_n = \frac{4500}{W_n} \dots\dots\dots (B. 8)$$

如果 $t_n > 180s$ ，则确定为连续泄漏；如果 $t_n \leq 180s$ ，则确定为瞬时泄漏。

### B.1.5 探测及隔离系统对泄漏的影响评价

根据探测系统类型,按照表B.2确定探测系统等级。

表B.2 探测系统分级表

探测系统类型	探测系统等级
可依据操作条件的变化(例如压力波动或流速降低)检测出介质损失的探测系统	A
可直接检测出介质泄漏的探测系统	B
目视检测、照相或检测范围有限的探测系统	C

根据隔离系统类型,按照表B.3确定隔离系统等级。

表B.3 隔离系统分级表

隔离系统类型	隔离系统等级
直接由工艺仪表或探测器启动,而不需要操作者对此进行干预的隔离或切断系统	A
由控制室内或其他远离泄漏点的操作者启动的隔离或切断系统	B
依靠手动阀门的隔离系统	C

泄漏速率减少系数:连续泄漏时,泄漏速率减少系数 $fact_{di}$ 按照B.4确定。

表B.4 泄漏速率减小系数

系统等级		泄漏调整量	减少系数 $fact_{di}$
探测系统	隔离系统		
A	A	将泄漏量或泄漏速率减小25%	0.25
A	B	将泄漏量或泄漏速率减小20%	0.20
A或B	C	将泄漏量或泄漏速率减小10%	0.10
B	B	将泄漏量或泄漏速率减小15%	0.15
C	C	不作调整	0.00

最大泄漏持续时间 $T_{max,n}$ 按照表B.5确定。

表B.5 最大泄漏持续时间

探测系统	隔离系统	最大泄漏持续时间( $T_{max,n}$ )		
		小泄漏孔 (直径 $d_1=6mm$ )	小泄漏孔 (直径 $d_1=25mm$ )	小泄漏孔 (直径 $d_1=100mm$ )
A	A	20	10	5
A	B	30	20	10
A	C	40	30	20
B	A或B	40	30	20
B	C	60	30	20
C	A, B或C	60	40	20

#### B.1.6 实际泄漏速率和泄漏量的确定

##### a) 实际泄漏速率

对于连续泄漏,采用泄漏速率进行后果分析,实际泄漏速率按式B.9计算:

$$rate_n = W_n(1 - fact_{di}) \dots\dots\dots (B.9)$$

##### b) 实际泄漏量

实际泄漏持续时间 $T_n$ ,按式B.10计算:

$$T_n = \min\left[\left(\frac{Q_n}{rate_n}\right), (60 \times T_{max,n})\right] \dots\dots\dots (B.10)$$

对于破裂泄漏孔(直径 $d_1=\min[D, 400]$ )或直径大于100 mm的泄漏孔,实际泄漏持续时间按式B.11计算:

$$T_n = \frac{Q_n}{rate_n} \dots\dots\dots (B. 11)$$

对于瞬时泄漏，采用泄漏量进行后果分析，实际泄漏量按式B. 12计算：

$$mass_n = \min[(rate_n \times T_n, Q_n)] \dots\dots\dots (B. 12)$$

## B. 2 燃烧与爆炸后果面积计算

### B. 2.1 后果面积减少系数 $fact_{mit}$ 选取

减缓系统主要指放空系统、消防喷淋系统、消防监视器、泡沫喷洒器。减缓系统对设备燃烧与爆炸后果面积减少系数 $fact_{mit}$ 按照表B. 6确定。

表B. 6 减缓系统对燃烧与爆炸后果面积减少系数

减缓系统类型	后果面积减少系数 $fact_{mit}$
放空系统,且切断系统类型为自动关断或远程控制系统	0. 25
消防喷淋系统和消防监视器	0. 20
泡沫喷洒器	0. 15
消防监视器	0. 05

### B. 2.2 能量效率调整系数 $eneff_n$ 计算

对于瞬时泄漏，按式B. 13分别计算各种泄漏孔对应的能量效率调整系数 $eneff_n$ ：

$$eneff_n = 4lg(2.2223 \times mass_n) - 15 \dots\dots\dots (B. 13)$$

对于连续泄漏，不考虑能量效率调整系数，取 $eneff_n=1$ 。

### B. 2.3 连续泄漏设备破坏面积计算

连续泄漏设备破坏面积计算应当分别考虑介质不可能自燃和可能自燃两种情况。

对每种泄漏孔，介质不可能自燃的设备破坏面积 $CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}$ 按下列步骤计算：

a) 根据站场压力管道输送的介质泄漏相态，从表B. 7中选择合适的常数a和b；

b) 按式B. 14计算设备破坏面积：

$$CA_{cmd,n}^{AINL-CONT} = a(rate_n)^b(1 - fact_{mit}) \dots\dots\dots (B. 14)$$

对每种泄漏孔，介质可能自燃的设备破坏面积 $CA_{cmd,n}^{ALL-CONT}$ 按照下列步骤计算：

a) 根据站场压力管道输送的介质泄漏相态，从表B. 7中选择合适的常数a和b；

b) 按式B. 15计算设备破坏面积：

$$CA_{cmd,n}^{ALL-CONT} = a(rate_n)^b(1 - fact_{mit}) \dots\dots\dots (B. 15)$$

### B. 2.4 瞬时泄漏设备破坏面积计算

瞬时泄漏设备破坏面积计算应当分别考虑介质不可能自燃和可能自燃两种情况。

对每种泄漏孔，介质不可能自燃的设备破坏面积 $CA_{cmd,n}^{AINL-INST}$ 按下列步骤计算：

a) 根据站场压力管道输送的介质泄漏相态，从表B. 7中选择合适的常数a和b；

b) 按式B. 16计算设备破坏面积：

$$CA_{cmd,n}^{AINL-INST} = a(mass_n)^b \left( \frac{1 - fact_{mit}}{eneff_n} \right) \dots\dots\dots (B. 16)$$

对每种泄漏孔，介质可能自燃的设备破坏后果面积 $CA_{cmd,n}^{ALL-INST}$ 按照下列步骤计算：

a) 根据站场压力管道输送的介质泄漏相态，从表B. 7中选择合适的常数a和b；

b) 按式B. 17计算设备破坏面积：

$$CA_{cmd,n}^{ALL-INST} = a(mass_n)^b \left( \frac{1 - fact_{mit}}{eneff_n} \right) \dots\dots\dots (B. 17)$$

### B. 2.5 连续泄漏人员伤害面积计算

连续泄漏人员伤害面积计算应当分别考虑介质不可能自燃和可能自燃两种情况。

对每种泄漏孔，介质不可能自燃的人员伤害面积 $CA_{inj,n}^{AINL-CONT}$ 按下列步骤计算：

- a) 根据站场压力管道输送的介质泄漏相态，从表B. 8中选择合适的常数a和b；  
b) 按式B. 18计算人员伤害面积：

$$CA_{inj,n}^{AINL-CONT} = a(rate_n)^b(1 - fact_{mit}) \dots\dots\dots (B. 18)$$

对每种泄漏孔，介质可能自燃的人员伤害面积 $CA_{inj,n}^{AINL-CONT}$ 按照下列步骤计算：

- a) 根据站场压力管道输送的介质泄漏相态，从表B. 8中选择合适的常数a和b；  
b) 按式B. 19计算人员伤害面积：

$$CA_{inj,n}^{AIL-CONT} = a(rate_n)^b(1 - fact_{mit}) \dots\dots\dots (B. 19)$$

### B. 2. 6 瞬时泄漏人员伤害面积计算

瞬时泄漏人员伤害面积计算应当分别考虑介质不可能自燃和可能自燃两种情况。

对每种泄漏孔，介质不可能自燃的人员伤害面积 $CA_{inj,n}^{AINL-INST}$ 按下列步骤计算：

- a) 根据站场压力管道输送的介质泄漏相态，从表B. 8中选择合适的常数a和b；  
b) 按式B. 20计算人员伤害面积：

$$CA_{inj,n}^{AINL-INST} = a(mass_n)^b\left(\frac{1-fact_{mit}}{eneff_n}\right) \dots\dots\dots (B. 20)$$

式中：

对每种泄漏孔，介质可能自燃的人员伤害面积 $CA_{inj,n}^{AINL-INST}$ 按照下列步骤计算：

- a) 根据站场压力管道输送的介质泄漏相态，从表B. 8中选择合适的常数a和b；  
b) 按式B. 21计算人员伤害面积：

$$CA_{inj,n}^{AIL-INST} = a(mass_n)^b\left(\frac{1-fact_{mit}}{eneff_n}\right) \dots\dots\dots (B. 21)$$

### B. 2. 7 基于泄漏类型的后果面积平衡

对每种泄漏孔，按式B. 或B. 确定泄漏类型平衡因子 $fact_n^{IC}$ ：

连续泄漏，泄漏类型平衡因子应按式B. 22确定：

$$fact_n^{IC} = \min\left(\frac{rate_n}{25}, 1.0\right) \dots\dots\dots (B. 22)$$

表和表中瞬时泄漏计算公式常数a和b没有给出的相关介质，平衡因子 $fact_n^{IC}=0$ 。

瞬时泄漏，不需要进行平衡，平衡因子 $fact_n^{IC}=1.0$ 。

对每种泄漏孔，根据泄漏类型平衡因子 $fact_n^{IC}$ 和后果面积，按式B. 23~B. 26计算基于泄漏类型平衡后的设备破坏后果面积和人员伤害面积：

$$CA_{cmd,n}^{AIL} = CA_{cmd,n}^{AIL-CONT}(1 - fact_n^{IC}) + CA_{cmd,n}^{AIL-INST}fact_n^{IC} \dots\dots\dots (B. 23)$$

$$CA_{inj,n}^{AIL} = CA_{inj,n}^{AIL-CONT}(1 - fact_n^{IC}) + CA_{inj,n}^{AIL-INST}fact_n^{IC} \dots\dots\dots (B. 24)$$

$$CA_{cmd,n}^{AINL} = CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}(1 - fact_n^{IC}) + CA_{cmd,n}^{AINL-INST}fact_n^{IC} \dots\dots\dots (B. 25)$$

$$CA_{inj,n}^{AINL} = CA_{inj,n}^{AINL-CONT}(1 - fact_n^{IC}) + CA_{inj,n}^{AINL-INST}fact_n^{IC} \dots\dots\dots (B. 26)$$

### B. 2. 8 基于自燃温度的后果面积平衡

按式B. 27、式B. 28或式B. 29计算自燃温度平衡因子 $fact^{AIT}$ ：

$$\text{当 } T_s + 55.6 \leq AIT \text{ 时, } fact^{AIT} = 0 \dots\dots\dots (B. 27)$$

$$\text{当 } T_s - 55.6 < AIT < T_s + 55.6 \text{ 时, } fact^{AIT} = \frac{T_s - AIT + 55.6}{111.2} \dots\dots\dots (B. 28)$$

$$\text{当 } AIT \leq T_s - 55.6 \text{ 时, } fact^{AIT} = 1 \dots\dots\dots (B. 29)$$

对每种泄漏孔，采用上述自燃温度平衡因子 $fact^{AIT}$ 和B. 2. 7所计算的基于泄漏类型平衡后的设备破坏后果面积和人员伤害面积，按式B. 30和式B. 31计算基于自燃温度平衡后的设备破坏后果面积和人员伤害面积：

$$CA_{cmd,n}^{falm} = CA_{cmd,n}^{AIL}fact^{AIT} + CA_{cmd,n}^{AINL}(1 - fact^{AIT}) \dots\dots\dots (B. 30)$$

$$CA_{inj,n}^{falm} = CA_{inj,n}^{AIL}fact^{AIT} + CA_{inj,n}^{AINL}(1 - fact^{AIT}) \dots\dots\dots (B. 31)$$

### B. 2. 9 燃烧后果面积计算

根据式B. 30计算的每种泄漏孔所对应的设备破坏面积，按式B. 32计算燃烧后果设备破坏面积：

$$CA_{\text{cmd}}^{\text{falm}} = \frac{\sum_{n=1}^4 \text{gff}_n \times CA_{\text{cmd},n}^{\text{falm}}}{\text{gff}} \dots\dots\dots (\text{B. 32})$$

式中：

$\text{gff}_n$ —每种泄漏孔的平均失效概率，见表A. 1；

$\text{gff}$ —所有泄漏孔的平均失效概率之和。

根据式B. 31计算的每种泄漏孔所对应的人员伤害面积，按式B. 33计算燃烧后果人员伤害面积：

$$CA_{\text{inj}}^{\text{falm}} = \frac{\sum_{n=1}^4 \text{gff}_n \times CA_{\text{inj},n}^{\text{falm}}}{\text{gff}} \dots\dots\dots (\text{B. 33})$$

#### B. 2. 10 后果面积确定

最终后果面积取设备破坏面积和人员伤害面积两者中的最大值，即：

$$CA = \max(CA_{\text{cmd}}^{\text{falm}}, CA_{\text{inj}}^{\text{falm}}) \dots\dots\dots (\text{B. 64})$$

表B.7 烧后果设备破坏面积计算公式中的常数选取

介质	泄漏相态	自燃温度 AIT (°C)	连续泄漏								瞬时泄漏							
			不可能自燃				可能自燃				不可能自燃				可能自燃			
			气态		液态		气态		液态		气态		液态		气态		液态	
			a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
甲烷	气态	558	8.669	0.98	—	—	55.13	0.95	—	—	6.469	0.67	—	—	163.7	0.62	—	—
汽油	液态	223	5.846	0.98	34.17	0.89	63.98	1.00	103.4	0.95	2.188	0.66	0.749	0.78	41.49	0.61	8.180	0.55
柴油、煤油	液态	208	2.419	0.98	24.60	0.90	76.98	0.95	110.3	0.95	1.111	0.66	0.559	0.76	42.28	0.61	0.848	0.53
航空燃料、煤油、汽油	液态	202	—	—	12.11	0.90	—	—	196.7	0.92	—	—	0.086	0.88	—	—	1.714	0.88
柴油、典型原油	液态	202	—	—	3.785	0.90	—	—	165.5	0.92	—	—	0.021	0.91	—	—	1.068	0.91
渣油、重质原油	液态	202	—	—	2.098	0.91	—	—	103.0	0.90	—	—	0.006	0.99	—	—	0.284	0.99

表B.8 燃烧后果人员伤害面积计算公式中的常数选取

介质	泄漏相态	自燃温度 AIT (°C)	连续泄漏								瞬时泄漏							
			不可能自燃				可能自燃				不可能自燃				可能自燃			
			气态		液态		气态		液态		气态		液态		气态		液态	
			a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
甲烷	气态	558	21.93	0.96	—	—	143.2	0.92	—	—	12.46	0.67	—	—	473.9	0.63	—	—
汽油	液态	223	13.49	0.96	96.88	0.89	169.7	1.00	252.8	0.92	4.216	0.67	2.186	0.78	147.2	0.63	31.89	0.54
柴油、煤油	液态	208	5.755	0.96	70.03	0.89	188.6	0.92	269.4	0.92	2.035	0.66	1.609	0.76	151.0	0.63	2.847	0.54
航空燃料、煤油、汽油	液态	202	—	—	34.36	0.89	—	—	539.4	0.90	—	—	0.242	0.88	—	—	4.834	0.88
柴油、典型原油	液态	202	—	—	10.7	0.89	—	—	458.0	0.90	—	—	0.061	0.91	—	—	3.052	0.99
渣油、重质原油	液态	202	—	—	6.196	0.89	—	—	303.6	0.90	—	—	0.016	0.99	—	—	0.833	0.99

# 《站场压力管道风险评估方法》 编制说明

## 1 工作简况

### 1.1 任务来源

《站场压力管道风险评估方法》团体标准，结合压力管道检验联盟单位多年的检验实践经验制定。由中国特种设备检验协会批准立项，立项号为：2022012。该标准由中国特种设备检验协会归口管理。

### 1.2 起草单位

略。

### 1.3 主要起草人及其所承担工作的简要说明

略。

## 2 编制原则和主要内容

### 2.1 编制原则

1) 标准的编写格式按国家标准 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第一部分：标准的结构和编写规则》的规定和要求进行编写；

2) 本标准依托压力管道检验技术联盟，结合了压力管道检验联盟单位实践经验，进行综合凝练，以保证标准的先进水平；

3) 以科研成果为基础，充分考虑工程试应用的结果，以保证标准的适用性；

4) 充分考虑站场压力管道失效模式及特点、我国企业技术、经济、管理水平和人员素质；

5) 为政府安全监察和企业安全管理的提供技术支撑；

6) 满足标准的科学性、先进性、有效性原则，规范我国站场压力管

道风险评估方法选择。

## 2.2 标准主要内容说明

本标准给出站场压力管道风险评估方法，由 10 个章节和 2 个规范性附录组成，包括范围、规范性引用文件、术语和定义、风险评估的一般程序、数据收集与整理、风险因素识别、失效可能性分析、失效后果分析、风险值计算和结果分析、报告编制、附录 A（站场压力管道失效可能性分析）、附录 B（站场压力管道失效后果分析）。

### 1) 确定本标准的适用范围

本文件适用于依据 GB50251、GB50253 和 GB50028 设计的输气管道工程、输油管道工程、城镇燃气输送和储配等站场内压力管道的风险评估工作。

### 2) 风险评估的一般程序

规定了站场压力管道风险评估的流程，数据收集，失效可能性及后果分析，确定风险可接受准则。

### 3) 数据收集与整理

根据站场事故发生各个环节及日常维护等工作搜集站场信息，收集范围主要包括：工艺流程图（PFD）、工艺及仪表控制流程图（P&ID）、设备台账及基本参数、区域位置图与总平面布置图（或航拍图）、事故记录、消防检测及监测系统的配置和运行记录、安全相关评价报告、人口分布图、气象数据等。

### 4) 风险因素

主要考虑设备的固有因素、与时间有关的腐蚀因素以及与时间无关的因素。

#### 5) 失效可能性分析

失效可能性分析以失效概率进行表征，并根据管理措施和损伤模式对失效概率进行修正。

参照工业管道安全管理规定，从安全管理机构及人员、安全技术档案、安全管理制度和操作规程、维护保养与检查、隐患排查与异常情况处理、应急预案与事故处置等 6 个部分，对管理措施进行修正。

损坏因子，主要由腐蚀减薄（全面腐蚀、局部腐蚀）因子、机械疲劳、外部损失等方面确定，并结合管道的实际情况进行修正。

#### 6) 失效后果分析

管道失效后果分析，主要包括介质泄漏后泄漏速率和泄漏量的计算、泄露后介质的扩散计算，扩散介质引发的或者爆炸计算以及人员伤亡等。

#### 7) 风险值计算和结果分析

通过失效概率与失效后果确定风险值，并给出相关风险可接受准则，对于高风险等级，还应提出相应的降低风险的措施。

#### 8) 报告编制

风险评价报告内容，应包括：项目概况、评价方法、数据资料、危险源辨识、失效概率分析、失效后果分析、风险计算结果以及相关减缓措施等。

### 3 综述报告及预期经济效益

油气输送管道站场作为整个油气管道输送系统中必不可少的一个重

要枢纽，担负着对输送介质汇集、储存、加工处理以及运输等重要任务，随着我国西气东输、川气东送等国家能源项目的开发与使用，长输管道站场、城镇燃气门站、分输站等数量迅速增加。

站场管道与其他管道比较，“复杂性”是其所具有的最为明显的特征。站场内压力管道种类繁多，系统管路复杂，与长输管道相比其管径尺寸范围广、管道元件(三通、弯头、管座、阀门及大小头等)多，且具有化工炼制企业高压、易燃易爆、压力容器集中、生产连续性强、火灾危险性大等特点，同时输油输气站场还具有输送非净化介质(内腐蚀及冲刷严重)、高压大流量输送、埋地敷设条件复杂的显著特性，使得其更加容易受到内部腐蚀的破坏。另外，在管道本体制造缺陷、外界环境变化等因素的共同作用下，管道也会出现不同程度的损伤和外腐蚀，这也成了威胁站场压力管道安全的重要因素。

本标准针对不同类别站场压力管道运行中面临的风险因素，制定了一套针对站场压力管道运行安全的风险辨识与评价方法，用于指导管理与生产工作，从而将站场压力管道运行的风险水平控制在合理的、可接受的范围内，最终达到持续改进、减少和预防管道事故发生、经济合理地保证管道安全运行的目的。

#### 4 标准水平

本标准给出了站场压力管道的风险评估方法，是《压力管道定期检验规则—工业管道》(TSG D7004-2010)的有效补充，是根据不同站场压力管道运行管理的工程实际，在对前期研究成果的凝练与整合、工程适用性研究的基础上，充分考虑国内外管道制造、安装、维护、管理、检验水平的差距，充分考虑我国特种设备安全监察的总体要求，与我国的经济水平、社会保障条件以及有关安全技术法规相适宜，是国内外同类方法不能替代的。

## 5 与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准给出了具体明确的站场压力管道风险评估方法，依据《特种设备安全法》、《特种设备安全监察条例》及特种设备安全技术规范中关于压力管道安全监管的有关要求，是压力管道安全管理及定期检验相关安全技术规范的支撑标准，与 GB50251、GB50253 和 GB50028 等国家强制性标准协调一致。

## 6 重大分歧意见的处理经过和依据

无。

## 7 贯彻团体标准的要求和措施建议

- 1) 标准发布后，应组织对实施标准的单位和技术人员进行宣贯培训；
- 2) 主管部门对标准的实施情况进行检查，发现问题及时反馈，确保本标准的贯彻实施。

## 8 废止现行有关标准的建议

无。

## 9 其他应予说明的事项

无。

《站场压力管道风险评估方法》

标准编制工作组