



中华人民共和国国家标准

GB/T 34346—2017

基于风险的油气管道 安全隐患分级导则

Guidelines for risk based safety hazard classification of oil and gas pipelines

2017-10-14 发布

2018-05-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总则 2

5 隐患分类 3

6 隐患排查 4

7 隐患评级 4

8 隐患处置 8

附录 A（规范性附录） 隐患分类辨识方法 9

附录 B（规范性附录） 隐患一级评估方法 12

附录 C（规范性附录） 隐患二级评估方法 14

附录 D（资料性附录） 隐患处置的方法 31

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国锅炉压力容器标准化技术委员会(SAC/TC 262)提出并归口。

本标准起草单位:中国特种设备检测研究院、中国石化管道储运有限公司、中国石化销售有限公司、中国石油化工股份有限公司天然气分公司、国家质检总局压力管道安全技术中心、中国安全生产科学研究院、中国石油化工股份有限公司青岛安全工程研究院、中国石化青岛石油化工有限公司、福建省锅炉压力容器检验研究院、深圳市燃气集团股份有限公司、中国石油天然气股份有限公司乌鲁木齐石化分公司。

本标准主要起草人:刘三江、王俊强、何仁洋、张惠民、卜文平、宗照峰、吉建立、黄贤滨、刘哲、蓝麒、吴海东、李因田、许学瑞、林武春、张维顺、韩非、孙伟。

基于风险的油气管道 安全隐患分级导则

1 范围

本标准规定了油气管道基于风险的安全隐患(以下简称“隐患”)分级方法、流程和技术要求,包括管道隐患的排查、评级和处置等内容。

本标准中的“隐患”仅包括占压,间距不足,不满足规范要求的交叉、并行(含穿跨越),地质灾害和管道本体及附属设施缺陷。

本标准适用于满足 GB 50251 或 GB 50253 的陆上长输原油、成品油、天然气管道。油气田集输管道、城镇燃气管道可参照本标准的相关规定执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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/T 27699 钢质管道内检测技术规范
GB/T 28704 无损检测 磁致伸缩超声导波检测方法
GB/T 30582 基于风险的埋地钢质管道外损伤检验与评价
GB/T 31211 无损检测 超声导波检测总则
GB 32167—2015 油气输送管道完整性管理规范
GB 50251 输气管道工程设计规范
GB 50253 输油管道工程设计规范
GB 50470 油气输送管道线路工程抗震技术规范
SY/T 6828 油气管道地质灾害风险管理技术规范
NB/T 47013 承压设备无损检测

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

隐患 hazard

在油气管道建设施工或运行使用过程中,由于管道及附属设施的外部环境条件变化以及生产经营单位或相关方未执行法律法规、标准规范要求,导致存在的可能造成人身伤害、环境污染或经济损失的不安全状态,包括占压;间距不足;不满足规范要求的交叉、并行(含穿跨越);地质灾害和管道本体及附属设施缺陷。隐患按风险可接受程度可划分为一般隐患、较大隐患和重大隐患。

3.2

隐患排查 hazard identification

根据国家法律法规和油气管道标准规范的相关要求,识别管道安全隐患的过程。

3.3

隐患评级 hazard classification

对识别出的各类管道安全隐患,按照风险可接受程度划分等级的过程。

3.4

一级评估 level 1 assessment

采用筛选方式,依据风险可接受程度区分一般与较大及以上隐患的过程。

3.5

二级评估 level 2 assessment

采用定量风险评价方法,依据风险可接受程度区分重大与较大隐患的过程。

4 总则

4.1 应建立基于风险的油气管道隐患分类、分级治理模式,即在隐患排查的基础上,结合管道本体安全状况及介质、环境等因素,评价划分隐患等级,进行分类、分级管理。

4.2 按照本标准进行油气管道隐患分级时,除应遵循本标准的规定外,还应遵守相关法律法规和标准规范。

4.3 油气管道隐患分级工作可由管道使用单位组织实施,较大及以上隐患可委托第三方专业评估机构实施。隐患分级所涉及的检验、检测工作,其承担机构的资质要求应符合特种设备相关法律法规的规定。

4.4 油气管道隐患分级工作流程应包括隐患的排查、评级、处置 3 个步骤。隐患分级的流程如图 1 所示。

4.5 较大及以上隐患的处置应制定处置方案,并限期处置。一般隐患应加强管理,如果影响管道运行管理,应优先消除。

4.6 隐患排查和评级工作应定期实施,实施时间间隔应根据完整性管理规范和前次工作结论综合确定。

4.7 应定期检查更新管道周边环境变化情况,当管道属性和周边环境发生较大变化时,应再次进行隐患排查和评级。

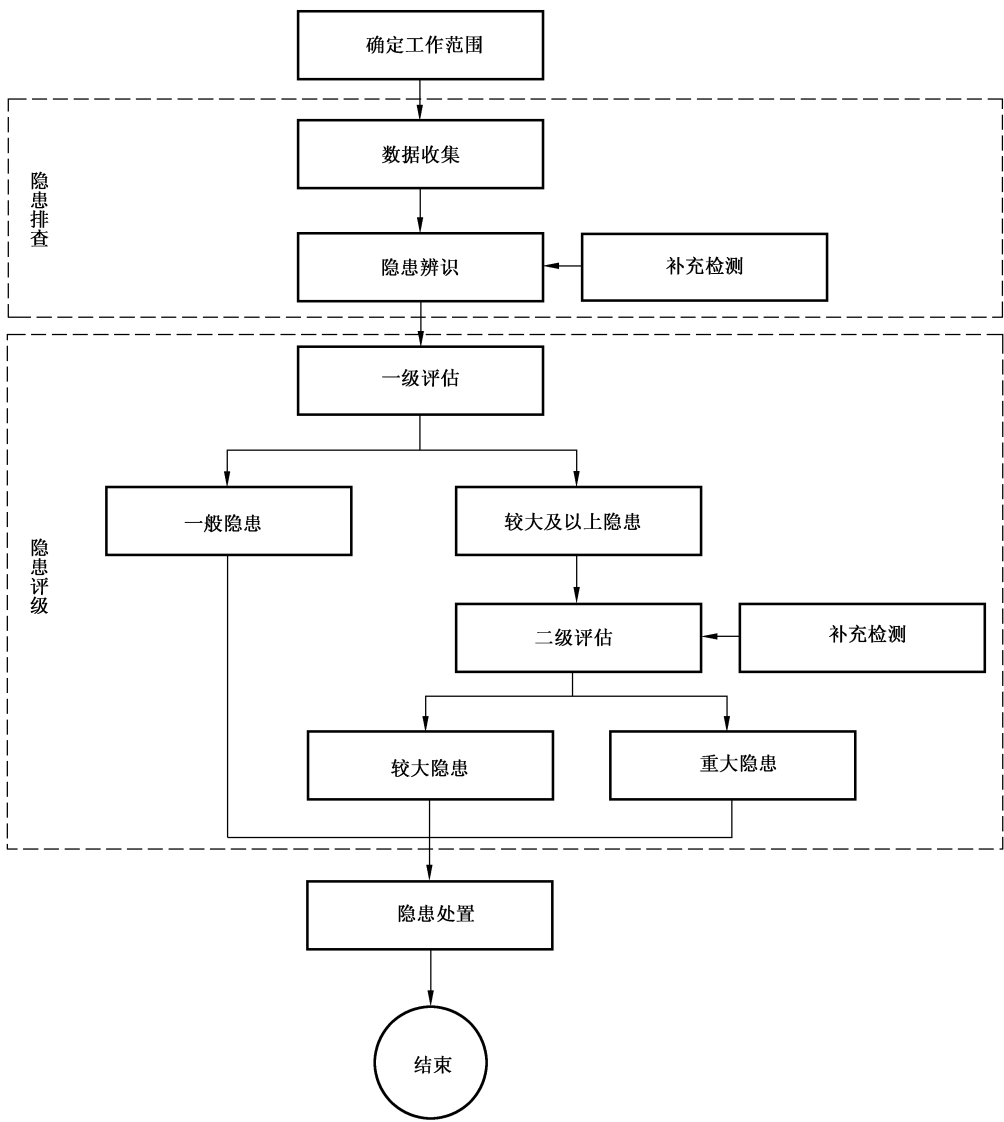


图 1 隐患分级流程

5 隐患分类

5.1 占压

占压指《中华人民共和国石油天然气管道保护法》、GB 50251 和 GB 50253 规定的管道中心线两侧各 5 m 地域范围内存在建(构)筑物及其附属设施、大型物料或设备堆场、根系深达管道埋设部位的深根植物等。

5.2 间距不足

间距不足指除 5.1 规定以外的,人口密集区,建(构)筑物,易燃易爆危险生产、经营、存储场所,特殊作业区与管道及其附属设施的距离不符合国家法律法规和技术规范的要求。

5.3 不满足标准规范要求的交叉、并行(含穿跨越)

不满足标准规范要求的交叉、并行(含穿跨越)指河流、水源地、公路、铁路、输电线缆及设施、埋地管线、市政管网等与管道及附属设施的距离不符合国家法律法规和技术规范的要求。

5.4 地质灾害

地质灾害指对管道输送系统的安全和运营环境造成危害的地质作用或与地质环境有关的灾害。

5.5 管道本体及附属设施缺陷

管道本体及附属设施缺陷指在设计、制造、建设施工中产生的制管缺陷、机械损伤或焊接缺陷等,及在运行使用中发生的由于外力作用、介质影响或腐蚀防护有效性不足造成的管体变形、腐蚀、开裂等。

6 隐患排查

6.1 数据收集

收集的数据应反映管道和隐患的实际状况,并应包含隐患辨识和评级所要求的必要数据。收集的数据应包括但不限于以下内容:

- a) 管道基本属性信息:
 - 1) 管道的规格、材质、防腐/保温层类型、设计参数、设计/安装时间、焊接施工工艺、路由位置、埋地段覆土厚度、腐蚀防护措施;
 - 2) 介质的类型、腐蚀性成分分析结果。
- b) 管道运行维护数据与记录:
 - 1) 管道的运行参数;
 - 2) 阴极保护系统运行记录;
 - 3) 安全管理与风险监控措施;
 - 4) 管道检测、维修及更换记录;
 - 5) 历史失效数据记录。
- c) 管道外部环境信息:
 - 1) 土壤腐蚀性、杂散电流干扰情况;
 - 2) 周边自然气候与地质情况;
 - 3) 周边人口、建(构)筑物、水源及其他公共基础设施分布情况。

6.2 隐患辨识

6.2.1 管道隐患应按照第5章规定进行分类辨识,辨识方法见附录A。

6.2.2 隐患辨识应基于6.1所收集的基础数据,结合现场勘查测量进行。

7 隐患评级

7.1 一般要求

7.1.1 隐患评级应针对已辨识的隐患,在补充检测的基础上,评估风险可接受程度划分等级。

7.1.2 地质灾害类隐患的评级按照SY/T 6828执行。

7.1.3 对于管道本体及附属设施缺陷中的管道本体缺陷类隐患,应根据缺陷类型,按照相关标准规范

进行安全评定。其中,按照标准规范评判超标的缺陷确定为重大隐患,应及时处置;标准规范允许范围内的缺陷不需要处置。

7.1.4 对于除 7.1.2、7.1.3 规定范围以外的隐患类型,评级流程如图 2 所示。

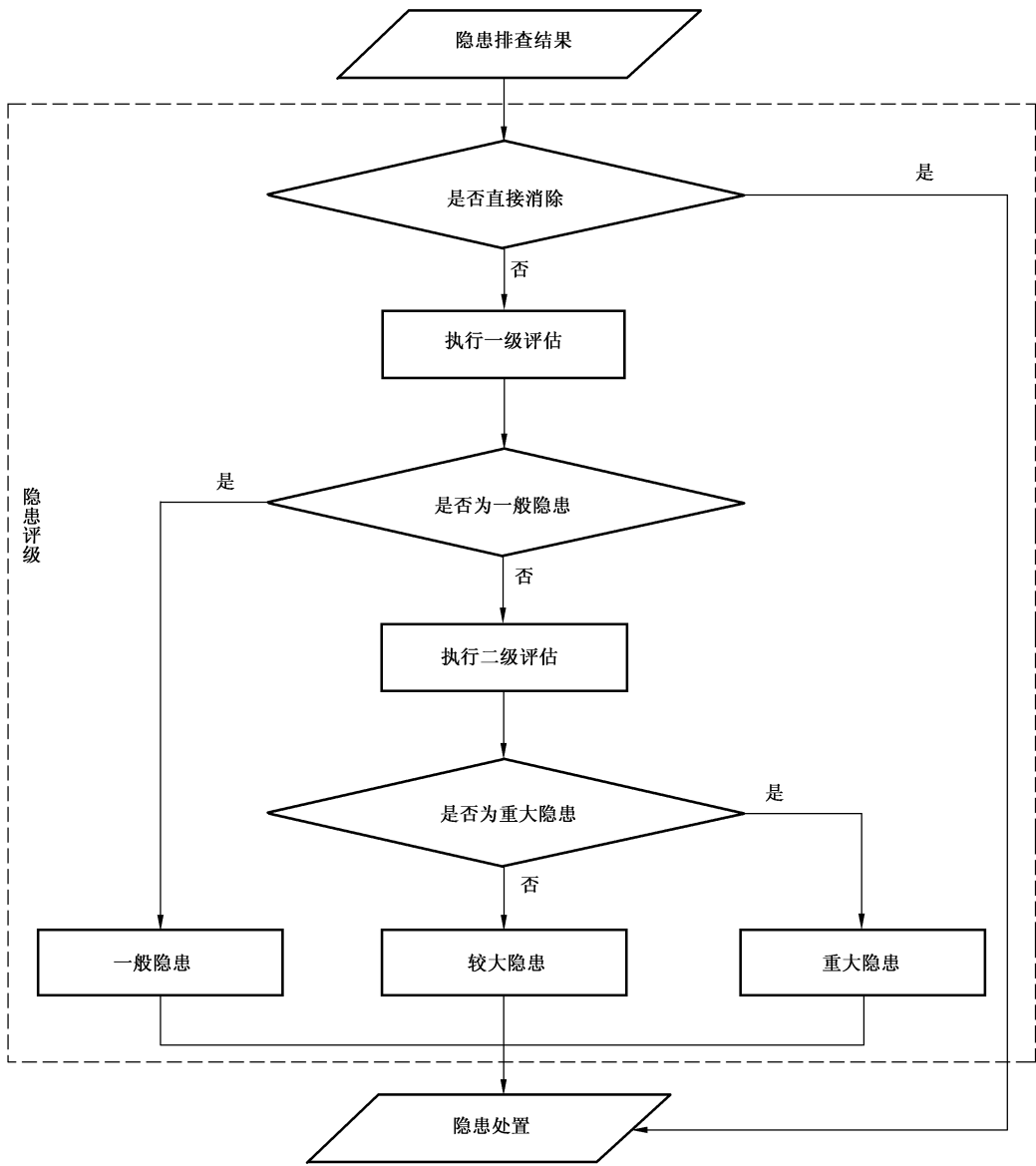


图 2 隐患评级流程

7.2 隐患等级划分

7.2.1 隐患按风险可接受程度应划分为一般隐患、较大隐患和重大隐患。

7.2.2 隐患等级的划分应采用风险评估方法进行,较大及以上的隐患应进行详细的风险计算,风险计算可参照二级评估。

7.3 隐患评级原则

7.3.1 隐患评级应包括对隐患失效影响因素的分析与隐患风险的评估。

7.3.2 对隐患风险的评估应基于管道本体安全状况进行。

7.3.3 对隐患风险的评估按照工作复杂程度和评价结果保守度不同,分为一级评估和二级评估。隐患评级一般按照一级评估至二级评估顺序执行。

7.4 补充检测

7.4.1 当管道本体安全状况不明时,应开展必要的补充检测。

7.4.2 补充检测的项目、方法和推荐标准按照表 1 执行。

表 1 检测项目的推荐标准

序号	管道本体缺陷类隐患		损伤模式	检测项目	检测方法	推荐标准
1	腐蚀	外腐蚀	减薄	外腐蚀防护系统、金属损失	外腐蚀检测 漏磁内检测 开挖检测	GB/T 30582 GB/T 19285 GB/T 27699
		内腐蚀	减薄	金属损失	内腐蚀直接检测 漏磁内检测 开挖检测	GB/T 31211 GB/T 28704 GB/T 27699
		应力腐蚀	开裂	应力腐蚀裂纹	应力腐蚀直接检测 超声内检测	NB/T 47013 GB/T 27699
2	外力破坏 (非自然外力)	误开挖、 故意破坏	机械 损伤	路由环境、地面标识、 埋深、机械损伤	埋深检测 漏磁和变形内检测 开挖检测	GB/T 30582 GB/T 27699
3	制造安装缺陷	焊接缺陷 管体缺陷 管体几何变形	减薄/开裂 /机械 损伤	缺陷性质、位置、尺寸	漏磁和变形内检测 开挖检测	GB/T 31211 GB/T 28704 GB/T 27699 GB/T 30582 NB/T 47013
4	地质灾害	管体几何变形 管道位移	机械 损伤	管道位移、局部 变形位置及尺寸	不良地质条件检测	GB/T 30582

7.5 一级评估

7.5.1 一级评估方法按附录 B 执行。

7.5.2 通过一级评估划分为较大及以上隐患的应执行以下措施之一：

- 当消除隐患的成本可接受时,可直接消除；
- 当消除隐患的成本不可接受时,执行二级评估。

7.6 二级评估

7.6.1 二级评估流程

二级评估方法的流程如图 3 所示。

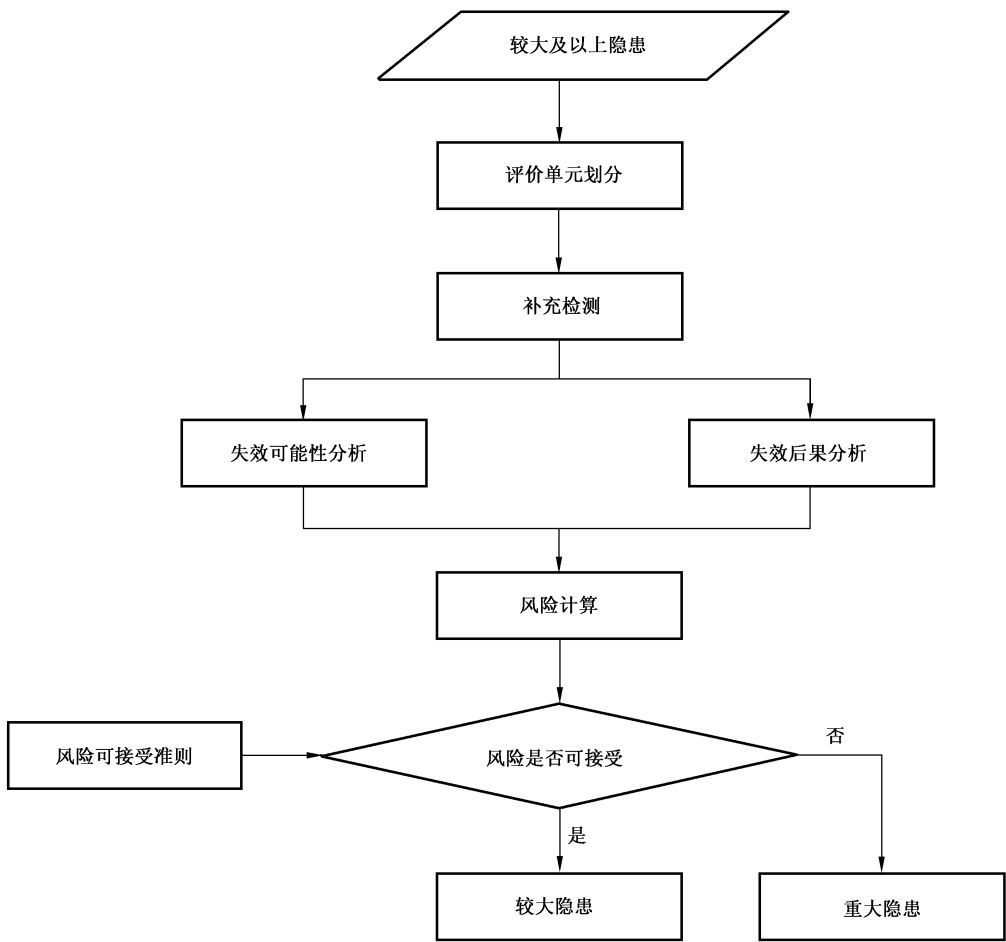


图 3 二级评估流程

7.6.2 评价单元划分

应根据管道的属性和周边环境对管道进行评价单元划分。以单元为单位作管道状况描述,包括但不限于:

- a) 管材、管径、防腐层类型、管道附属设施及起止里程;
- b) 管体、防腐层和附属设施状况的评价;
- c) 管道运行参数,包括输送介质、运行压力和温度;
- d) 管道沿线自然环境。

7.6.3 风险分析

7.6.3.1 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。

7.6.3.2 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。

7.6.3.3 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。

7.6.3.4 失效后果分析应基于管道失效对周边人员造成伤害等潜在影响的严重程度进行,必要时应考虑

考虑管道失效导致的经济损失、环境污染及对管道企业声誉的影响。

7.6.3.5 失效可能性和后果分析应根据 7.6.2 中划分的评价单元逐一进行,分析采用的方法应根据隐患类型而定。失效可能性和后果分析方法可按照附录 C 执行。

7.6.4 风险可接受准则

7.6.4.1 较大及以上隐患应依据风险可接受性划分为较大隐患与重大隐患。

7.6.4.2 确定风险可接受准则应考虑国家法律法规和标准的相关要求及降低风险的成本,同时参照国内外同行业或其他行业已确立的风险可接受准则。可通过以下途径确定风险的可接受准则:

- a) 国内外同行业风险可接受准则,或据以往经验认为可接受的风险水平;
- b) 管道平均安全水平,可按照 GB 32167—2015 附录 G。

8 隐患处置

8.1 隐患处置的原则

8.1.1 不同类型、不同级别的隐患,根据失效可能性和失效后果应采取适合有效的处置措施。

8.1.2 隐患处置的本质是降低风险,既可采用降低失效可能性的方法,也可采用降低失效后果的方法,或者两者同时采用。

8.1.3 较大及以上隐患的处置应事先编制方案,必要时进行专家评审。

8.2 隐患处置的措施

8.2.1 隐患的处置措施分为加强管理、风险防控与专项整治类,对不同类型的隐患应选取合理、适用的处置方法。

8.2.2 对于各级隐患,推荐的处置措施参见附录 D。

8.2.3 对于处置后的隐患可采用风险评估方法进行再评估,核实风险是否降低到可接受范围。

8.3 隐患处置的验收

8.3.1 隐患处置的验收应按照相关法规、标准和方案要求进行验收。

8.3.2 隐患处置的验收,必须确保风险降低到可接受范围之内。

8.3.3 隐患的处置、验收过程应留有文字或影像记录。

8.3.4 隐患处置验收完成后,应及时将处置的全过程信息数据整理归档。已建立数字化管道管理系统的使用单位应纳入管理系统中。

8.3.5 信息归档涉及信息描述规则、编码规则、分类及其维护管理等方面的内容,参照国家安全生产监督管理总局办公厅〔2014〕97 号《安全生产监督管理信息隐患排查治理数据规范(修订)》执行。

8.3.6 对处置后的隐患应进行后期跟踪,形成闭环管理。

附录 A
(规范性附录)
隐患分类辨识方法

油气管道隐患排查过程中的分类辨识方法如表 A.1 所示。

表 A.1 隐患分类辨识方法

一级序号	隐患类别	二级序号	隐患种类	隐患辨识判定原则
1	占压	1.1	建(构)筑物占压	埋地油气管道中心线两侧各 5 m 地域范围内与房屋、温室(有地基的)、存在施工活动的水塘、沟渠及其他建(构)筑物的主建筑结构或实体围墙等附属设施整体或部分交叠
		1.2	大型物料或设备堆压	埋地油气管道中心线两侧各 5 m 地域范围内堆放大型物料或放置设备,以及在地面管道线路、架空管道线路和管桥上放置重物
		1.3	深根植被占压	埋地油气管道中心线两侧各 5 m 地域范围内种植乔木、灌木、藤类、芦苇、竹子或其他根系深达管道埋设部位或损坏防腐层的植物
2	间距不足	2.1	与人口密集区间距不足	1) 输气管道及附属设施与周边人口经常性聚集滞留的区域场所之间的距离小于输气管道潜在影响半径或不满足其他相关技术规范的限制性要求 ^{a)} ; 2) 埋地输油管道与周边等人口经常性聚集滞留的区域场所之间的距离小于 20 m
		2.2	与建(构)筑物间距不足	1) 输气管道及附属设施与周边民用、商用建筑物之间的距离小于输气管道潜在影响半径或不满足其他相关技术规范的限制性要求 ^{a)} ; 2) 埋地输油管道与民房建筑的距离小于 15 m,或与机场、码头、工厂等公共建筑的距离小于 20 m;地上输油管道与民房的距离小于 30 m,或与机场、码头、工厂等公共建筑的距离小于 40 m
		2.3	与易燃易爆场所间距不足	1) 输气管道与易燃易爆物品仓库、军工场所和设施的距离小于 200 m; 2) 输油管道与易燃易爆物品仓库、军工场所和设施的距离小于 50 m
		2.4	特殊作业间距不足	在油气管道中心线两侧各 50 m 地域范围内进行挖掘等建筑工程施工,或在油气管道中心线两侧各 200m 地域范围内进行爆破、工程钻探及采矿

表 A.1 (续)

一级序号	隐患类别	二级序号	隐患种类	隐患辨识判定原则
3	不满足标准 规范要求的交叉、并行 (含跨越)	3.1	与管线交叉、 并行	1) 输油管道与其他用途管道交叉或并行敷设时距离小于 0.5 m,与电力电缆、通信光(电)缆交叉或并行敷设时距离小于 0.3 m; 2) 输气管道与其他用途管道交叉或并行敷设时距离小于 0.3 m,与电力电缆、通信光(电)缆交叉或并行敷设时距离小于 0.5 m; 3) 输气管道与高压交流输电线路杆(塔)基脚的距离小于杆(塔)高,或与交流输电系统接地装置的距离不满足相关设计规范要求导致管道阴极保护有效性不足; 4) 输气管道直接与城镇雨(污)水、热力、电力、通信等管涵或密闭空间交叉,且未采取有效保护措施
				1) 输气管道与铁路平行敷设时与铁路用地边界距离小于 3 m,或埋地管道距铁路轨道中心线距离小于 25 m,或地上管道与铁路轨道中心线距离小于 50 m; 2) 管道与铁路交叉角度小于 30°,或采用顶进套管、顶进防护涵穿越铁路时交叉角度小于 45°; 3) 管道采用顶进套管穿越铁路路基时,套管顶部外缘距自然地面垂直距离小于 2 m; 4) 管道采用定向钻穿越铁路路基时,出入土位置与铁路用地边界距离小于 5 m,或路肩处管顶距自然地面的距离小于 10 m;管道外缘距铁路桥梁基础外缘的距离小于 5 m,或最小埋深小于 5 m
				1) 输油管道与高速公路、一级公路、二级公路平行敷设时,与公路用地边界距离小于 10 m,或与三级及以下公路用地边界距离小于 5 m; 2) 输气管道与公路并行敷设时,与公路用地边界距离小于 3 m; 3) 管道与公路交叉夹角小于 45°; 4) 管道(或套管)顶面距公路路面小于 1 m,或距公路边沟底面小于 0.5 m; 5) 管道从公路桥梁自然地面以下空间穿越时,符合以下条件之一的: ● 管道与桥墩(台)水平净距小于 5 m,或交角小于 30°; ● 管顶与桥下自然地面间距小于 1 m; ● 管顶上方未铺设钢筋混凝土盖板,或铺设盖板宽度小于管径、长度小于公路用地范围宽度以外 3 m
				1) 管道穿越岸坡不稳定地段未做护岸、护坡等整治加固工程; 2) 管道开挖穿越河流埋设时交角小于 60°,或管道中心线与桥梁边缘间距小于 50 m; 3) 管道水平定向钻穿越河流时交角小于 30°,或管道中心线与桥梁墩台冲刷坑外边缘小于 10 m; 4) 管道通过易受水流冲刷的河岸时护岸宽度小于 5 m 或护岸顶高出设计洪水位不足 0.5 m

表 A.1 (续)

一级序号	隐患类别	二级序号	隐患种类	隐患辨识判定原则
4	地质灾害	4.1	滑坡、泥石流、 塌陷、冻土影响	管道中心线两侧各 200 m 地域范围内存在滑坡、泥石流、地面塌陷等影响范围较大的灾害地质体,且依据 SY/T 6828 的定性评价法或半定量评价法评为中等级及以上风险等级的单体管道
		4.2	崩塌、水毁、 黄土失陷影响	管道中心线两侧各 200 m 地域范围内存在崩塌、水毁、黄土失陷等影响范围较小的灾害地质体,且依据 SY/T 6828 的定性评价法或半定量评价法评为中等级及以上风险等级的单体管道
		4.3	地震影响	管道位于地震带影响区域,且不满足 GB 50470 相关要求
5	管道本体及 附属设施 缺陷	5.1	管体缺陷超标	管道本体或附属设施存在缺陷经相关标准规范评定为不合格或应维修的
		5.2	埋深不足	1) 输油管道管顶覆土层厚度小于 0.8 m; 2) 输气管道符合以下条件之一的: ● 旱地土壤一级地区管顶覆土厚度小于 0.6 m,或二、三、四级地区管顶覆土厚度小于 0.8 m; ● 水田地土壤管顶覆土厚度小于 0.8 m; ● 岩石地带管顶覆土厚度小于 0.5 m
		5.3	腐蚀防护系统 有效性不足	1) 依据 GB/T 19285 对管道外防腐层状况、阴极保护有效性、腐蚀环境、排流保护效果检测结果进行模糊综合评价腐蚀防护系统等级为 3、4 级; 2) 由相关专业机构认可的其他可行方法评价腐蚀防护系统存在缺陷且不能满足设计要求
^a 天然气管道潜在影响半径 r 计算方法为: $r=0.099D\sqrt{P_{\max}}$ 。其中, r 单位为米(m); D 为管道外径,单位为毫米(mm); $P_{\max}$ 为管道最大允许工作压力,单位为兆帕(MPa)。				

附录 B
(规范性附录)
隐患一级评估方法

油气管道隐患一级评估采用的判据见表 B.1。

表 B.1 隐患一级评估判据

一级编号	一级类型	二级编号	二级类型	一般隐患	较大及以上隐患
1	占压	1.1	建(构)筑物占压	同时满足以下条件的： 1) 无人员经常滞留的建(构)筑物占压管道； 2) 管道及其附属设施可实施检测，管道本体安全状况满足规范要求，且管道警示、防护设施有效	除一般隐患以外的
		1.2	大型物料或设备堆压	同时满足以下条件的： 1) 可移除且非易燃易爆物品； 2) 管道及其附属设施可实施检测，管道本体安全状况满足规范要求，且管道警示、防护设施有效	除一般隐患以外的
		1.3	深根植被占压	深根植物占压管道视为一般隐患	—
2	间距不足	2.1	与人口密集区间距不足	同时满足以下条件的： 1) 存在 10 人以下经常滞留的场所与管道间距不足； 2) 管道及其附属设施可实施检测，管道本体安全状况满足规范要求，且管道警示、防护设施有效	除一般隐患以外的
		2.2	与建(构)筑物间距不足		
		2.3	与易燃易爆场所间距不足	—	易燃易爆场所与管道安全距离不足均视为较大及以上隐患
		2.4	特殊作业间距不足	管道使用单位有效实施监管，并设有防护措施的	除一般隐患以外的

表 B.1 (续)

一级编号	一级类型	二级编号	二级类型	一般隐患	较大及以上隐患
3	不满足标准规范要求 求的交叉、并行(含穿越)	3.1	与管线交叉、并行	同时满足以下条件的： 1) 与线缆交叉净距小于 0.5 m； 2) 管道及其附属设施可实施检测，管道本体安全状况满足规范要求，且管道警示、防护设施有效	除一般隐患以外的
		3.2	与铁路、公路交叉、并行	同时满足以下条件的： 1) 管道与二级及以下等级的公路并行且安全距离不足，或与国铁Ⅲ级及以下铁路并行且安全距离不足，或管道受交叉干扰且未采取排流措施及措施未达标的； 2) 管道及其附属设施可实施检测，管道本体安全状况满足规范要求，且管道警示、防护设施有效	除一般隐患以外的
		3.3	与河流、水源地交叉、并行	同时满足以下条件的： 1) 埋深不符合设计要求，各种支护、水工保护破损，架空段腐蚀严重的； 2) 管道及其附属设施可实施检测，管道本体安全状况满足规范要求，且管道警示、防护设施有效	除一般隐患以外的
4	地质灾害	4.1	滑坡、泥石流、塌陷、冻土影响	—	地质灾害均视为较大及以上隐患
		4.2	崩塌、水毁、黄土失陷影响	—	
		4.3	地震影响	—	
5	管道本体及附属设施缺陷	5.1	管体缺陷超标	—	管体缺陷均视为较大及以上隐患
		5.2	埋深不足	埋地油气管道管顶覆土厚度大于 0.5 m 的	除一般隐患以外的
		5.3	腐蚀防护系统有效性不足	依据 GB/T 19285 对管道外防腐层状况、阴极保护有效性、腐蚀环境、排流保护效果检测结果进行模糊综合评价腐蚀防护系统等级为 3 级的	除一般隐患以外的

附 录 C
(规范性附录)
隐患二级评估方法

C.1 失效可能性分析

C.1.1 油气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(C.1)、式(C.2)所示。

$$PoF = aff \times F_M \times F_D \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

$$F_D = F_C \times V_C + F_L \times V_L + F_V \times V_V + F_P \times V_P + F_F \times V_F \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

PoF ——管道失效概率,单位为次每公里年[次/(km·a)];

aff ——油气管道平均失效概率,单位为次每公里年[次/(km·a)];

F_M ——管理措施修正因子;

F_D ——损伤修正因子;

F_C ——腐蚀环境修正因子;

V_C ——腐蚀环境修正因子的权重;

F_L ——管道本体缺陷修正因子;

V_L ——管道本体缺陷修正因子的权重;

F_V ——第三方破坏修正因子;

V_V ——第三方破坏修正因子的权重;

F_P ——制管与施工修正因子;

V_P ——制管与施工修正因子的权重;

F_F ——疲劳修正因子;

V_F ——疲劳修正因子的权重。

式(C.2)中各修正因子权重值 V_C 、 V_L 、 V_V 、 V_P 、 V_F 宜根据管道运营企业实际情况选取,但应满足 $V_C + V_L + V_V + V_P + V_F = 1$,情况未知时可均取 0.2。

C.1.2 油气输送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 C.1 选取,并应依据国内长输油气管道的实际失效统计情况作适当修正。

表 C.1 油气管道平均失效概率

管道类别	管道特征/mm	平均失效概率 aff /[次/(km·a)]
输油管道	管道公称直径 ≤ 200	1.0×10^{-3}
	$200 < \text{管道公称直径} \leq 350$	8.0×10^{-4}
	$350 < \text{管道公称直径} \leq 550$	1.2×10^{-4}
	$550 < \text{管道公称直径} \leq 700$	2.5×10^{-4}
	管道公称直径 > 700	2.5×10^{-4}
输气管道	管道公称壁厚 ≤ 5	4.0×10^{-4}
	$5 < \text{管道公称壁厚} \leq 10$	1.7×10^{-4}
	$10 < \text{管道公称壁厚} \leq 15$	8.1×10^{-5}
	管道公称壁厚 > 15	4.1×10^{-5}
注:以上数据来源于国际油气生产企业联合会(OGP)。		

C.1.3 油气管道隐患失效概率的修正因子

C.1.3.1 修正因子分类

油气管道隐患失效概率的修正因子如表 C.2 所示。

表 C.2 管道隐患失效概率修正因子

修正因子		子因子	
管理措施修正因子 F_M		埋深因子 F_{MB}	
		地区等级因子 F_{MC}	
		公众教育因子 F_{ME}	
		地面标识因子 F_{MS}	
		巡线频率因子 F_{MP}	
		监测预警因子 F_{MM}	
损伤修正因子 F_D	腐蚀环境修正因子 F_C	外腐蚀因子 F_E	土壤腐蚀性因子 F_{ES}
			外防腐层整体状况因子 F_{ER}
			阴极保护有效性因子 F_{EC}
			杂散电流干扰因子 F_{EI}
		内腐蚀因子 F_I	介质腐蚀性因子 F_{IC}
			内腐蚀防护有效性因子 F_{IP}
		应力腐蚀因子 F_S	土壤腐蚀性因子 F_{ES}
			介质腐蚀性因子 F_{IC}
			应力水平因子 F_{SC}
	本体缺陷修正因子 F_L	—	
	第三方破坏修正因子 F_V	打孔偷盗易发性因子 F_{VS}	
		违章占压因子 F_{VO}	
		恐怖活动因子 F_{VT}	
		破坏防范措施有效性因子 F_{VP}	
	制管与施工修正因子 F_P	制管质量因子 F_{PM}	
		施工质量因子 F_{PW}	
	疲劳修正因子 F_F	—	

C.1.3.2 管理措施修正因子

管理措施影响因素包括管道埋深、地区等级、公众教育、地面标识、巡线频率、监测预警措施。管理措施修正因子计算见式(C.3),各因子取值见表 C.3~表 C.8。

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

.....(C.3)

表 C.3 埋深因子取值

最 小 埋 深/m	F_{MB}
>1.6	100

表 C.3 (续)

最小埋深/m	F_{MB}
(1.2~1.6]	75
(0.8~1.2]	50
(0.4~0.8]	25
≤ 0.4	0

表 C.4 地区等级因子取值

地区等级	F_{MC}
一级地区	100
二级地区	60
三级地区	40
四级地区	0

表 C.5 公众教育因子取值

公众教育	F_{ME}
无公众教育	0
工程第三方告知	50
居民社区管道保护宣传	50
政府部门沟通	50
完成 2~4 项中的 2 项	75
完成 2~4 项中的 3 项	100

表 C.6 地面标识因子取值

地面标识	F_{MS}
地面标识完好率 $>90\%$	100
地面标识完好率(70%,90%]	60
地面标识完好率(50%,70%]	40
地面标识完好率 $\leq 50\%$	0

表 C.7 巡线频率因子取值

巡线频率	F_{MP}
每日巡线	100
每周 3 次~6 次	80

表 C.7 (续)

巡 线 频 率	F_{MP}
每周 2 次	60
每周 1 次	40
每月 1 次~3 次	20
少于每月 1 次	0

表 C.8 监测预警因子取值

监 测 预 警 系 统	F_{MM}
全线配备监测预警系统	100
监测预警系统覆盖率不足 100%	50
未配备监测预警系统	0

C.1.3.3 腐蚀环境修正因子

腐蚀环境包括外腐蚀、内腐蚀与应力腐蚀 3 类。腐蚀环境修正因子计算见式(C.4)。

$$F_C = F_E + F_I + F_S \quad \dots\dots\dots (C.4)$$

- a) 外腐蚀影响因素包括土壤腐蚀性、外防腐层整体状况、阴极保护有效性、杂散电流干扰。外腐蚀因子计算见式(C.5),各因子取值见表 C.9~表 C.12。

$$F_E = F_{ES} \cdot F_{ER} \cdot F_{EC} \cdot F_{EI} \quad \dots\dots\dots (C.5)$$

表 C.9 土壤腐蚀性因子取值

土壤腐蚀性	F_{ES}
弱(1)	1.0
较弱(2)	1.2
中(3)	1.6
强(4)	2.0

表 C.10 外防腐层整体状况因子取值

外防腐层整体状况评级	F_{ER}
优(1)	0.5
良(2)	0.8
中(3)	1.0
差(4)	2.0
注：外防腐层整体状况评级根据 GB/T 19285 确定。	

表 C.11 阴极保护有效性因子取值

阴极保护有效性	F_{EC}
全段正常保护	0.1
20%以上欠保护或过保护	0.2
40%以上欠保护或过保护	0.3
60%以上欠保护或过保护	0.5

表 C.12 杂散电流干扰因子取值

干扰程度	交流电流密度/(A/m ²)	直流管地电位正向偏移/(mV)	F_{EI}
弱	≤ 30	≤ 20	1.0
中	(30, 100]	(20, 200]	1.5
强	> 100	> 200	2.0

注：杂散电流干扰程度根据交流干扰和直流干扰两者中程度较强者确定。

- b) 内腐蚀影响因素包括介质腐蚀性、内腐蚀防护有效性。内腐蚀因子计算见式(C.6),各因子取值见表 C.13~表 C.14。

$$F_I = F_{IC} \cdot F_{IP} \quad \dots\dots\dots (C.6)$$

表 C.13 介质腐蚀性因子取值

介质腐蚀性	腐蚀增长速率/(mm/年)	F_{IC}
低	≤ 0.1	0.5
中	(0.1, 0.5]	1.0
高	> 0.5	2.0

表 C.14 内腐蚀防护有效性因子取值

内涂层、定期清管、缓蚀剂	F_{IP}
三者均有	0.2
三者有其二	0.4
三者有其一	0.6
三者均无	1.0

- c) 应力腐蚀影响因素包括土壤腐蚀性、介质腐蚀性和应力水平。应力腐蚀因子计算见式(C.7)。土壤腐蚀性因子、介质腐蚀性因子和应力水平因子取值分别见表 C.9、表 C.13 和表 C.15。

$$F_S = F_{ES} \cdot F_{IC} \cdot F_{SC} \quad \dots\dots\dots (C.7)$$

表 C.15 应力水平因子取值

应力比	F_{sc}
<0.5	0.1
$[0.5\sim0.6]$	0.5
>0.6	1.0

表 C.15 中,应力比计算见式(C.8)。

$$L_r = PD/2t\sigma_s \dots\dots\dots (C.8)$$

式中:

- L_r ——应力比;
- P ——管道运行压力,单位为兆帕(MPa);
- D ——管道外径,单位为毫米(mm);
- t ——名义壁厚,单位为毫米(mm);
- σ_s ——管道最小屈服强度,单位为兆帕(MPa)。

C.1.3.4 本体缺陷修正因子

油气输送管道的本体缺陷修正因子主要考虑管道存在超标缺陷:

- a) 管道本体不存在超标缺陷时,取 $F_L=0$;
- b) 管道本体存在超标缺陷时,根据下述条件对超标缺陷修正系数取值:
 - 超标缺陷在定期检验规程允许范围内,或合于使用评价合格且安全系数大于 2 时,取 $F_L=0$;
 - 对超标缺陷进行合于使用评价合格且安全系数小于 2 时,取 $F_L=2$;
 - 对超标缺陷进行合于使用评价不合格时,取 $F_L=10$;
 - 当管道无法检验时,取 $F_L=10$ 。

C.1.3.5 第三方破坏修正因子

第三方破坏影响因素包括打孔偷盗易发性、违章占压、恐怖活动、破坏防范措施有效性。第三方破坏修正因子计算见式(C.9),各因子取值见表 C.16~表 C.19。

$$F_V = (F_{VS} + F_{VO} + F_{VT} + 1) \cdot F_{VP} \dots\dots\dots (C.9)$$

表 C.16 打孔偷盗易发性因子取值

打孔盗油(气)可能性	F_{VS}
打孔偷盗高发区,存在打孔盗油(气)记录	3.0
具备打孔偷盗客观条件,但无打孔盗油(气)记录	1.0
不具备打孔盗油(气)的客观条件	0

表 C.17 违章占压因子取值

管道用地违章占压	F_{VO}
存在占压,并导致管道检测维护无法实施	3.0
存在占压,对管道检测维护造成一定影响	1.0
存在占压,但不影响管道检测维护	0.2
无违章占压	0

表 C.18 恐怖活动因子取值

恐怖活动	F_{VT}
存在恐怖极端势力,且发生过恐怖活动	3.0
存在恐怖极端势力,但未发生过恐怖活动	1.0
不存在恐怖势力,未发生过恐怖活动	0

表 C.19 破坏防范措施有效性因子取值

防范措施	F_{VP}
监测管道泄漏与压降,并可快速定位	0.1
监测、防范措施有效性不足	0.5
无监测、防范措施	1.0

C.1.3.6 制管与施工修正因子

制管与施工影响因素包括制管质量和施工质量。制管与施工修正因子计算见式(C.10),各因子取值见表 C.20~表 C.21。查无制管和施工记录时,也可根据管道安装年限对 F_P 取值,见表 C.22。

$$F_P = F_{PM} \cdot F_{PW} \dots\dots\dots (C.10)$$

表 C.20 制管质量因子取值

制管质量	F_{PM}
制管工艺先进(2000年之后生产流水线和工艺),有详细制管记录	0.5
制管工艺粗糙(2000年之前生产设施),制管记录不完善	1.0
制管工艺粗糙(2000年之前生产设施),无制管记录	2.5

表 C.21 施工质量因子取值

施工质量	焊接质量评定	F_{PW}
优	I、II级占比100%	0.4
中	$80\% \leq \text{I、II级占比} < 100\%$	1.0
差	$\text{I、II级占比} < 80\%$	4.0
注:焊接质量评定以超声检测、射线检测占比低者为准。		

表 C.22 制管与施工修正因子取值

制管与施工质量	生产安装年限	F_P
优	2000年1月及以后安装	0.2
中	1990年1月至1999年12月间安装	1.0
差	1989年12月及以前安装	10.0

C.1.3.7 疲劳修正因子

疲劳影响因素包括启停输操作、道路车辆载荷、温差载荷及其他形式载荷作用。疲劳修正因子取值见表 C.23。

表 C.23 疲劳修正因子取值

疲 劳 因 素	F_F
不存在任何可能对管道造成破坏的循环载荷	0.1
频繁启停输,存在较大载荷变化	2.5
穿越等级公路,且无套管或管涵保护	2.5
受温差引发的载荷作用,管体明显变形	2.5
存在其他形式的循环载荷作用,特定部位存在严重的疲劳隐患	2.5
以上情况存在 2 种	5.0
以上情况存在 3 种~4 种	10.0

C.2 失效后果分析

C.2.1 失效后果定量计算流程

管道失效后果的定量计算是根据失效情景建立数学模型,分析管道失效后发生的灾害类型和影响范围,估算其造成的损失情况。失效后果定量计算模型应考虑输送介质的物理化学特性、泄漏速率、点燃概率、灾害种类等因素。

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计算、泄漏后介质的扩散计算,扩散介质引发的火灾爆炸计算以及人员伤亡等,计算流程如图 C.1 所示。

C.2.2 泄漏速率和泄漏量的计算

C.2.2.1 泄漏孔径

根据泄漏孔径 d_n 可分为小孔、中孔、大孔和完全破裂四种情景,见表 C.24,不同孔径的泄漏概率按照表 C.24 中占比计算。

表 C.24 管道泄漏孔径与概率选取

序号	泄漏情景	泄漏孔直径范围/mm	采用泄漏孔直径 d_n /mm	泄漏概率占比 $F_L/\%$	
				液体管道	气体管道
1	小孔	(0,20]	$d_1=5$	23	50
2	中孔	(20,80]	$d_2=25$	33	18
3	大孔	(80,150]	$d_3=150$	15	18
4	断裂	>150	$d_4=\min(D,400)$	29	14

C.2.2.2 泄漏速率

液相泄露速率和气相泄漏速率应分别按下列方法计算：

a) 液相泄漏速率计算方法如式(C.11)所示。

$$W_n = AC_o \sqrt{2\rho(P_s - P_o)} \quad \dots\dots\dots (C.11)$$

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 ——泄漏孔面积,单位为平方米(m^2)；

C_o ——液相泄漏系数,湍流介质通过锋利孔取值范围为[0.6,1.0],保守取值为 0.61；

ρ ——介质密度,单位为千克每立方米(kg/m^3)；

P_s ——运行压力,单位为兆帕(MPa)；

P_o ——环境压力,单位为兆帕(MPa)。

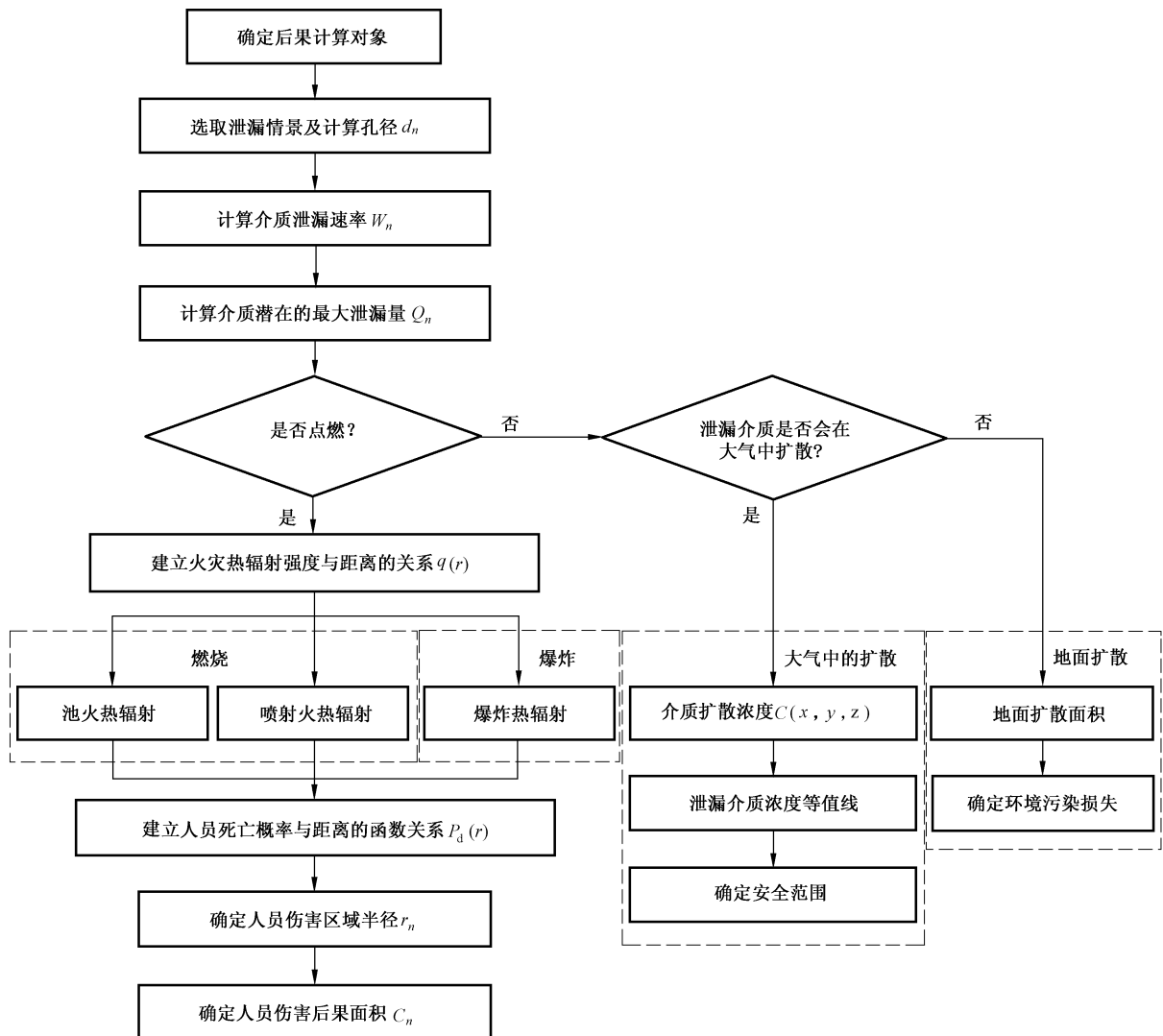


图 C.1 失效后果计算流程

b) 气相泄漏速率计算方法如式(C.13)、式(C.14)所示。

按式(C.12)计算转换压力 P_{trans} 。

$$P_{\text{trans}} = P_{\text{atm}} \left(\frac{k+1}{2} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad \dots\dots\dots (\text{C.12})$$

式中:

P_{atm} ——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,泄漏速率计算方法如式(C.13)所示。

$$W_n = A C_d P_s \sqrt{\frac{Mk}{RT} \cdot \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad \dots\dots\dots (\text{C.13})$$

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 ——泄漏孔面积,单位为平方米(m^2);

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,8.314 J/(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,泄漏速率计算方法如式(C.14)所示。

$$W_n = Y A C_d P_s \sqrt{\frac{Mk}{RT} \cdot \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad \dots\dots\dots (\text{C.14})$$

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 ——泄漏孔面积,单位为平方米(m^2);

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,8.314 J/(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(C.15)计算:

$$Y = \left(\frac{P_0}{P_s} \right)^{\frac{1}{k}} \cdot \left[1 - \left(\frac{P_0}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \left[\left(\frac{2}{k-1} \right) \left(\frac{k+1}{2} \right)^{\frac{(k+1)}{(k-1)}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (\text{C.15})$$

式中:

P_s ——运行压力,单位为兆帕(MPa);

P_0 ——环境压力,单位为兆帕(MPa);

k ——理想气体比热容。

C.2.2.3 潜在的最大介质泄漏量

管道潜在的最大介质泄漏量按式(C.16)计算。

$$Q_n = Q_s + Q_{\text{add}} \quad \dots\dots\dots (\text{C.16})$$

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} ——截断阀关断时间内的介质补充量,单位为千克(kg)。

管段内介质存量 Q_s 不能确定时可按管容计算,截断阀关断时间不能确定时推荐按 3 min 计算。

C.2.2.4 泄漏类型的确定

泄漏类型分为连续泄漏和瞬时泄漏。当泄漏孔直径 d_n 不大于 6 mm 的确定为连续泄漏;泄漏孔直径 d_n 大于 6 mm 时,须按式(C.17)计算介质泄漏量 Q_n 等于 4 500 kg 时消耗的时间 t_n 。

$$t_n = Q_n / W_n \quad \dots\dots\dots (\text{C.17})$$

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

C.2.3 扩散计算

气体或易挥发性液体发生连续泄漏时,扩散浓度按式(C.18)计算。

$$C(x, y, z) = \frac{2W_n}{\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right] \quad \dots\dots\dots (\text{C.18})$$

式中:

$C(x, y, z)$ ——连续排放时,形成稳定流场后,地面给定地点(x, y, z)的扩散浓度,单位为千克每立方米(kg/m³);

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);

u ——风速,单位为米每秒(m/s);

σ_y, σ_z ——侧风向和垂直风向的扩散系数(见表 C.25),单位为米(m);

y ——侧风向距离,单位为米(m);

z ——垂直风向距离,单位为米(m)。

表 C.25 烟羽模型扩散系数

稳定度等级	σ_y / m	σ_z / m
乡村条件 A	$0.22x(1+0.000\ 1x)^{-1/2}$	$0.20x$
乡村条件 B	$0.16x(1+0.000\ 1x)^{-1/2}$	$0.12x$
乡村条件 C	$0.11x(1+0.000\ 1x)^{-1/2}$	$0.08x(1+0.000\ 2x)^{-1/2}$
乡村条件 D	$0.08x(1+0.000\ 1x)^{-1/2}$	$0.06x(1+0.001\ 5x)^{-1/2}$
乡村条件 E	$0.06x(1+0.000\ 1x)^{-1/2}$	$0.03x(1+0.000\ 3x)^{-1}$
乡村条件 F	$0.04x(1+0.000\ 1x)^{-1/2}$	$0.016x(1+0.000\ 3x)^{-1}$
城镇条件 A~B	$0.32x(1+0.000\ 4x)^{-1/2}$	$0.24x(1+0.000\ 1x)^{-1/2}$
城镇条件 C	$0.22x(1+0.000\ 4x)^{-1/2}$	$0.20x$
城镇条件 D	$0.16x(1+0.000\ 4x)^{-1/2}$	$0.14x(1+0.000\ 3x)^{-1/2}$
城镇条件 E~F	$0.11x(1+0.000\ 4x)^{-1/2}$	$0.08x(1+0.001\ 5x)^{-1/2}$

其中,大气稳定度采用 Pasquill 分类方法确定,见表 C.26。

表 C.26 Pasquill 大气稳定度确定

地面风速/(m/s)	白天日照			夜间条件	
	强	中	弱	云量 4/8	云量 3/8
<2	A	A~B	B	E	F
[2,3)	A~B	B	C	E	F
[3,4)	B	B~C	C	D	E
[4,6)	C	C~D	D	D	D
≥6	C	D	D	D	D

气体或易挥发性液体发生瞬时泄漏时,扩散浓度按式(C.19)计算。

$$C(x,y,z,t)=\frac{Q_n}{\sqrt{2}\pi^{3/2}\sigma_x\sigma_y\sigma_zu}\exp\left[-\frac{(x-ut)^2}{2\sigma_x^2}-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}-\frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

.....(C.19)

- $C(x,y,z,t)$

——瞬时排放时,给定地点和时间的扩散浓度,单位为千克每立方米(kg/m³);
- 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);
- u

——风速,单位为米每秒(m/s);
- σ_x

——下风向的扩散系数,见表 C.27,单位为米(m);
- σ_y

——侧风向的扩散系数,见表 C.27,单位为米(m);
- σ_z

——垂直风向的扩散系数,见表 C.27,单位为米(m);
- x

——下风向距离,单位为米(m);
- y

——侧风向距离,单位为米(m);
- z

——垂直风向距离,单位为米(m)。

表 C.27 烟团模型扩散系数

稳定度等级	σ_x /m 或 σ_y /m	σ_z /m	稳定度等级	σ_x /m 或 σ_y /m	σ_z /m
A	$0.18x^{0.92}$	$0.60x^{0.75}$	D	$0.06x^{0.92}$	$0.15x^{0.70}$
B	$0.14x^{0.92}$	$0.53x^{0.73}$	E	$0.04x^{0.92}$	$0.10x^{0.65}$
C	$0.10x^{0.92}$	$0.34x^{0.71}$	F	$0.02x^{0.89}$	$0.05x^{0.61}$

C.2.4 火灾爆炸热辐射通量计算

管道火灾爆炸中需要计算热辐射通量的情况包括池火、火球和喷射火,并按下列方法计算:

a) 池火

最大液池面积 S 应根据实际地形条件确定,地形不确定时则按式(C.20)计算。

$$S=Q/(H_{\min}\times\rho)$$

.....(C.20)

式中:

- Q

——介质泄漏量,对于管道, Q 可按式(C.16)中 Q_n 进行计算,单位为千克(kg);
- $H_{\min}$

——最小物料层厚度,见表 C.28,单位为米(m);
- ρ

——介质密度,单位为千克每立方米(kg/m³)。

表 C.28 不同性质地面物料层厚度

地面性质	最小物料层厚度 $H_{\min}/\text{m}$
草地	0.020
粗糙地面	0.025
平整地面	0.010
混凝土地面	0.005
平静的水面	0.001 8

火焰高度 L 按式(C.21)计算。

$$L = 42D \times [m_f / (\rho_0 \sqrt{gD})]^{0.61} \dots\dots\dots (\text{C.21})$$

式中：

L ——火焰高度,单位为米(m);

D ——液池直径(应根据实际地形确定,地形不确定则按圆形液池计算),单位为米(m);

m_f ——燃烧速率,单位为千克每平方米秒 $[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$;

ρ_0 ——空气密度,单位为千克每立方米 (kg/m^3) ;

g ——重力加速度,单位为米每二次方秒 (m/s^2) 。

目标接收到的热通量 $q(r)$ 按式(C.22)计算。

$$q(r) = \frac{S \Delta H_c m_f \eta}{S + \pi D L} (1 - 0.058 \ln r) V \dots\dots\dots (\text{C.22})$$

式中：

$q(r)$ ——目标接收到的热通量,单位为千瓦每平方米 (kW/m^2) ;

S ——最大液池面积,单位为平方米 (m^2) ;

ΔH_c ——介质燃烧热,单位为千焦每千克 (kJ/kg) ;

m_f ——燃烧速率,单位为千克每平方米秒 $[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$;

η ——热辐射系数,推荐取值为 1.5;

D ——液池直径,单位为米(m);

L ——火焰高度,单位为米(m);

r ——目标到泄漏中心的水平距离,单位为米(m);

V ——视角系数。

视角系数计算见式(C.23)至式(C.31)。

$$V = \sqrt{(V_V^2 + V_H^2)} \dots\dots\dots (\text{C.23})$$

$$V_H = (A - B) / \pi \dots\dots\dots (\text{C.24})$$

$$A = (b - 1/s) \left\{ \tan^{-1} \left[\frac{(b+1)(s-1)}{(b-1)(s+1)} \right]^{0.5} \right\} / (b^2 - 1)^{0.5} \dots\dots\dots (\text{C.25})$$

$$B = (a - 1/s) \left\{ \tan^{-1} \left[\frac{(a+1)(s-1)}{(a-1)(s+1)} \right]^{0.5} \right\} / (a^2 - 1)^{0.5} \dots\dots\dots (\text{C.26})$$

$$V_V = \{ \tan^{-1} [h / (s^2 - 1)^{0.5}] / s + h(J - K) / s \} / \pi \dots\dots\dots (\text{C.27})$$

$$J = \left[\frac{a}{(a^2 - 1)^{0.5}} \right] \tan^{-1} \left[\frac{(a+1)(s-1)}{(a-1)(s+1)} \right]^{0.5} \dots\dots\dots (\text{C.28})$$

$$K = \tan^{-1} [(s-1)/(s+1)]^{0.5} \dots\dots\dots (C.29)$$

$$a = (h^2 + s^2 + 1)/(2s) \dots\dots\dots (C.30)$$

$$b = (s^2 + 1)/(2s) \dots\dots\dots (C.31)$$

式中:

s ——目标到火焰垂直轴的距离与火焰半径之比;

h ——火焰高度与直径之比。

b) 火球

蒸气云爆炸形成的火球直径 R 按式(C.32)计算。

$$R = 2.9Q^{1/3} \dots\dots\dots (C.32)$$

式中:

Q ——火球中消耗的可燃物质量,对于管道可燃物质量未知时,可按 Q_n 进行计算,单位为千克(kg)。

目标接收到热辐射通量 $q(r)$ 按式(C.33)计算。

$$q(r) = q_0 R^2 r (1 - 0.058 \ln r) / (R^2 + r^2)^{3/2} \dots\dots\dots (C.33)$$

式中:

q_0 ——火球表面的热辐射通量,单位为瓦每平方米(W/m²);

R ——火球直径,单位为米(m);

r ——目标到火球中心的平均距离,单位为米(m)。

c) 喷射火

1) 垂直方向喷射火:

目标接收到的热辐射通量按式(C.34)计算。

$$q(r) = 2.02 (P_w r_0)^{-0.09} \eta W_n \Delta H_c / 4\pi r^2 \dots\dots\dots (C.34)$$

式中:

P_w ——大气中水蒸气的分压,单位为帕(Pa);

r_0 ——目标到火焰表面的距离,单位为米(m);

η ——热辐射系数;

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);

ΔH_c ——介质燃烧热,单位为千焦每千克(kJ/kg);

r ——目标到火焰中心的距离,单位为米(m)。

其中,大气中水蒸气分压 P_w 按式(C.35)计算。

$$P_w = 101\,325 \times RH \times e^{(14.4114 - \frac{5.328}{T_a})} \dots\dots\dots (C.35)$$

式中:

P_w ——大气中水蒸气的分压,单位为帕(Pa);

RH ——相对湿度,%;

T_a ——环境温度,单位为开尔文(K)。

2) 水平方向喷射火:

距离火焰点源为 X 处接收到的热辐射通量 $q(r)$ 按式(C.36)计算。

$$q(r) = \eta W_n \Delta H_c \tau / (4\,000\pi r^2) \dots\dots\dots (C.36)$$

式中:

η ——热辐射系数;

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);

ΔH_c ——介质燃烧热,单位为千焦每千克(kJ/kg);

τ ——大气传输率, $\tau = 1 - 0.0565 \ln r$;

r ——目标到火焰中心的距离,单位为米(m)。

C.2.5 热辐射危害

火球、池火及喷射火的死亡概率值按式(C.37)计算:

$$P_r = -36.38 + 2.56 \ln(q^{4/3} \times t) \quad \dots\dots\dots (C.37)$$

式中:

P_r ——热辐射暴露下的死亡概率值;

q ——热辐射强度,单位为瓦每平方米(W/m²);

t ——暴露时间,单位为秒(s),参考值取 20。

死亡概率 P_d 与相应的概率值 P_r 的关系见式(C.38)、式(C.39)。

$$P_d = 0.5 \times \left[1 + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \right] \quad \dots\dots\dots (C.38)$$

$$x = \frac{P_r - 5}{\sqrt{2}} \quad \dots\dots\dots (C.39)$$

式中:

t ——暴露时间,单位为秒(s),参考值取 20。

在计算热辐射暴露死亡概率时,处于火球、池火及喷射火火场中或热辐射强度不小于 37.5 kW/m² 时,人员的死亡概率为 100%。

C.2.6 人员伤害后果面积的计算

假设热辐射强度为 37.5 kW/m² 时的目标到火焰中心距离 r_n 为人员伤害后果区域半径,则第 n 种泄漏情景的评价人员伤害后果面积 C_n 按式(C.40)计算。

$$C_n = 4\pi r_n^2 \quad \dots\dots\dots (C.40)$$

按式(C.41)计算总人员伤害后果面积 C 。

$$C = \frac{\sum_{n=1}^4 F_n \times C_n}{\sum_{n=1}^4 F_n} \quad \dots\dots\dots (C.41)$$

式中, F_n 为第 n 种泄漏情景对应的平均失效概率, $F_n = P_o F \times F_L$, F_L 可依表 C.24 确定。

C.3 风险计算

C.3.1 管道的风险受管道规格、输送介质、操作压力、管道失效概率、失效模式和灾害类型等因素的影响。

C.3.2 特定位置的风险可通过管道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油气管道风险按式(C.42)计算。

$$R = P_o F \cdot F_1 \cdot C \cdot D_p \quad \dots\dots\dots (C.42)$$

式中:

$P_o F$ ——管道失效概率,单位为次每公里年[次/(km·a)];

F_1 ——点燃概率(百分比);

C ——人员伤害后果面积,单位为平方米(m²);

D_p ——人员伤害区域内的人口密度,单位为人每平方米(人/m²)。

C.3.3 点燃概率主要与泄漏速率和泄漏点所处的位置环境有关。典型情景下油气管道泄漏后发生点火的概率见表 C.29。

表 C.29 4 种典型情景下泄漏速率与点燃概率之间对应值

泄漏速率 kg/s	不同情景的点燃概率			
	输油管道在工业区 或城区泄漏(1)	输油管道在 乡村泄漏(2)	输气管道在工业区 或城区泄漏(3)	输气管道在 乡村泄漏(4)
0.1	0.001 0	0.001 0	0.001 0	0.001 0
0.2	0.001 6	0.002 2	0.001 7	0.001 1
0.5	0.002 8	0.003 7	0.003 3	0.001 3
1	0.004 5	0.004 1	0.005 6	0.001 4
2	0.007 0	0.004 5	0.009 5	0.001 6
5	0.012 6	0.005 0	0.001 8	0.001 8
10	0.019 8	0.005 5	0.031 6	0.002 0
20	0.031 1	0.006 0	0.053 2	0.003 5
50	0.056 3	0.006 7	0.105 7	0.007 3
100	0.070 0	0.007 0	0.177 8	0.012 6
200	0.070 0	0.007 0	0.299 1	0.002 0
500	0.070 0	0.007 0	0.594 6	0.045 9
1 000	0.070 0	0.007 0	1.000	0.080

其中,泄漏速率 W 按式(C.43)计算。

$$W = \frac{\sum_{n=1}^4 F_n \times W_n}{\sum_{n=1}^4 F_n} \dots\dots\dots (C.43)$$

式中:

- W ——泄漏速率,单位为千克每秒(kg/s);
- F_n ——第 n 种泄漏情景对应的平均失效概率,单位为次每公里年[次/(km·a)];
- 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)。

C.4 风险可接受准则

C.4.1 个体风险可接受准则

- C.4.1.1 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。特定位置个体受到管道事故影响的风险可根据管道失效概率、点燃概率和对应灾害情景造成人员死亡概率等因素计算。
- C.4.1.2 管道的个体风险等值线是沿管道轴线平行分布的,个体风险受管道规格、输送介质、操作压力、管道失效概率、失效模式和灾害类型等因素的影响。
- C.4.1.3 个体风险可接受准则采取最低合理可行原则(ALARP),分为三个区域,即不可接受风险区、可容忍风险区和可接受风险区,如图 C.2 所示。其中,可容忍风险区需进行成本效益分析。

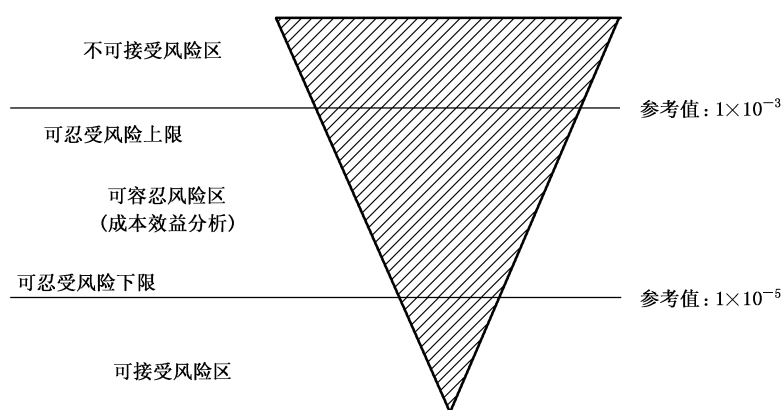


图 C.2 个体风险可接受准则

C.4.2 社会风险可接受准则

C.4.2.1 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。

C.4.2.2 特定管道隐患位置的社会风险受事故影响区域面积、事故影响区域中的人口分布及事故造成人员死亡概率等因素的影响。事故影响面积取决于隐患管段的长度、事故影响半径等因素。

C.4.2.3 特定管道隐患位置的社会风险可根据事故影响区域面积、事故影响区域中的人口分布及事故造成人员死亡的概率等因素计算。

附 录 D
(资料性附录)
隐患处置的方法

D.1 对于各级隐患,推荐的隐患处置方法见表 D.1。宜根据隐患类别和等级由表 D.1 中选取适用的处置措施用于降低风险,不必实施全部对应措施项。

D.2 以下项目为油气管道应满足的基本管理措施,不作为隐患处置措施:

- a) 管道保护宣传和公众教育;
- b) 管道警示标识的设置与维护;
- c) 管道巡检看护管理制度的建立、执行与考核;
- d) 管道的定期检验;
- e) 安全预案的制定与演练。

表 D.1 隐患处置方法

一级 序号	隐患 类别	二级 序号	隐患种类	一般隐患处置措施	较大隐患处置措施	重大隐患处置措施
1	占压	1.1	建(构)筑物 占压	A1、A2、A3、A5、 A6、A7、B3	A1、A2、A3、A5、A6、 A7、B3、B9、C4	A1、A2、A3、A5、A6、 A7、B3、C4 或 C5、C3*
		1.2	大型物料或 设备堆压	A1、A2、A3、A5、A7、B3	A1、A2、A3、A5、A6、 A7、B3、B9、C4	A1、A2、A3、A5、A6、 A7、B3、C4
		1.3	深根植被占压	A2、A4、B3	—	—
2	间距 不足	2.1	与人口密集区 安全距离不足	A1、A2、A3、A5、 A6、A7、B3	A1、A2、A3、A5、A6、 A7、B2、B3、B9	A1、A2、A3、A5、A6、 A7、B2、B3、C5 或 C6
		2.2	与建(构)筑物 安全距离不足	A1、A2、A3、A5、 A6、A7、B3	A1、A2、A3、A5、A6、 A7、B2、B3、B9	A1、A2、A3、A5、A6、A7、 B2、B3、C5 或 C6
		2.3	与易燃易爆场 所间距不足	—	A1、A2、A3、A5、A6、 A7、B2、B3、B9	A1、A2、A3、A5、A6、 A7、B2、B3、C5
		2.4	特殊作业 间距不足	A1、A2、A3、A5、 A7、B3	A1、A2、A3、A5、 A6、A7、B2、B3	A1、A2、A3、A5、A6、 A7、B2、B3、C7
3	不满 足标 准规 范要 求的 交叉、 并行 (含穿 跨越)	3.1	与管线交叉 并行	A1、A2、A3、A5、A7、B3	A1、A2、A3、A5、A7、 B2、B3、B6、B9	A1、A2、A3、A5、A7、 B2、B3、B6、B9、C3 或 C5
		3.2	与铁路交叉 并行	A1、A2、A3、A5、A7、B3	A1、A2、A3、A5、A7、 B2、B3、B6、B9	A1、A2、A3、A5、A7、B2、 B3、B6、B9、C3 或 C5
		3.3	与公路交叉 并行	A1、A2、A3、A5、A7、B3	A1、A2、A3、A5、 A7、B2、B3、B9	A1、A2、A3、A5、A7、 B2、B3、B9、C3 或 C5
		3.4	与河流、水源地 交叉并行	A1、A2、A3、A5、A7、B3	A1、A2、A3、A5、A7、 B2、B3、B7、B9	A1、A2、A3、A5、A7、B2、 B3、B7、B9、C3 或 C5
4	地质 灾害	4.1	滑坡、泥石流、 采空区塌陷、 冻土影响	—	A2、A3、A4、B3、 B7、B8、B9	A2、A3、A4、B3、B7、 B8、B9、C3 或 C5
		4.2	崩塌、水毁、 黄土失陷影响	—	A2、A3、A4、B3、 B7、B8、B9	A2、A3、A4、B3、B7、 B8、B9、C3 或 C5
		4.3	地震影响	—	A2、A3、A4、B3、 B7、B8、B9	A2、A3、A4、B3、B7、 B8、B9、C3 或 C5

表 D.1 (续)

一级序号	隐患类别	二级序号	隐患种类	一般隐患处置措施	较大隐患处置措施	重大隐患处置措施
5	管道本体及附属设施缺陷	5.1	管体缺陷	—	A2、A3、A4、B3、B9、B4 *	A2、A3、A4、B3、B9、C1 或 C2、B4 *
		5.2	埋深不足	A2、A3、A4、B1、B3	A2、A3、A4、B1、B3、B9	A2、A3、A4、B1、B3、B9、B2 *
		5.3	腐蚀防护系统有效性不足	A2、A3、A4、B3、B4、B5	A2、A3、A4、B3、B4、B5、B9	A2、A3、A4、B3、B4、B5、B9
注 1：隐患处置措施代码如下： A 加强管理：A1 签订管道保护协议；A2 制定隐患管段专项预案和定期演练；A3 缩短巡检时间间隔；A4 增设运行监控手段；A5 加密设置警示标识；A6 进行高后果区管理；A7 向地方政府有关部门报备。 B 风险防控：B1 增大管道埋深；B2 增设物理保护或排流设施；B3 缩短检验周期；B4 防腐层修复；B5 阴极保护系统整改；B6 交直流干扰治理；B7 改善水工保护；B8 灾害监测；B9 增设泄漏监测或安防监控系统。 C 专项整治：C1 管体修复或补强；C2 管道局部换管；C3 降压运行；C4 拆除或移除占压物；C5 管道局部改线；C6 人口密集场所或建筑物搬迁；C7 第三方施工叫停。 其中，加注“*”的为可根据情况选用的项目。 注 2：A 类、B 类、C 类措施均可用于各级隐患的处置。 注 3：措施等级由 A 级至 C 级依次增高，可采取适合有效的较高等级措施替代较低等级措施。						