

城镇燃气用聚乙烯管道风险评估导则

Guidelines for risk assessment of urban gas supply polyethylene(PE) pipings

2024-11-27 发布

2025-03-01 实施

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 基本要求 4

5 评估过程 4

6 评估结果及报告 6

附录 A（规范性） 城镇燃气用聚乙烯管道风险评估指标体系 7

附录 B（规范性） 城镇燃气用聚乙烯管道风险评估模糊综合评价 15

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。

本文件由天津市市场监督管理委员会提出并归口。

本文件起草单位：天津市特种设备监督检验技术研究院、天津泰达滨海清洁能源集团有限公司、中海油安全技术服务有限公司。

本文件主要起草人：司永宏、郝博、张瀚文、吕海潮、张贺宏、陈志刚、毛富杰、梁立斌、张跃、牛卫飞、苏东泊、王金柱、靳增峰、韩冬冰、石毅、王伟林、张志雄、申得济。

城镇燃气用聚乙烯管道风险评估导则

1 范围

本文件规定了城镇燃气用聚乙烯管道风险评估的基本要求、评估的过程和评估结果以及报告。

本文件适用于工作温度为-20℃~40℃、最大工作压力为0.1MPa~1.0MPa、公称直径大于等于DN50的城镇燃气用聚乙烯管道的风险评估。

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 32167 油气输送管道完整性管理规范
- GB/T 15558 燃气用埋地聚乙烯（PE）管道系统
- CJJ 63 聚乙烯燃气管道工程技术标准
- SY/T 6891.1-2012 油气管道风险评估方法第1部分：半定量评价法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

燃气用聚乙烯管道 gas polyethylene (PE) pipings

由燃气用埋地聚乙烯管材、管件、阀门及附件组成的管道系统，以下简称“管道”。

3.2

风险 risk

潜在损失的量度。

3.3

风险评估 risk assessment

识别对管道安全运行有不利影响的危害因素，评估失效发生的可能性和后果大小，评定管道风险等级。

3.4

失效可能性 failure probability

管段发生失效（泄漏、着火、爆炸等）的可能性大小。

3.5

失效后果 failure consequence

管段发生失效后造成的人员伤亡、环境损失、经济损失等不利影响的程度大小。

3.6

高后果区 high consequence areas; HCAs

管道泄漏后可能对公众和环境造成较大不良影响的区域。

3.7

半定量风险评估 semi-quantity risk assessment

按照评分体系对影响失效可能性和失效后果的各种因素进行打分,并综合得出以分数表示的风险值的过程。

3.8

层次分析法 analytic hierarchy process; AHP

将与决策总是有关的元素分解成目标、准则、方案等层次,在此基础之上进行定性和定量分析的决策方法。

3.9

模糊综合评价法 fuzzy comprehensive evaluation; FCE

一种基于模糊数学的综合评价方法。该综合评价法根据模糊数学的隶属度理论把定性评价转化为定量评价,即用模糊数学对受到多种因素制约的事物或对象做出一个总体的评价。

4 基本要求

- 4.1 管道风险评估时应采集能够有效反映当前管道服役状况的最新数据。
- 4.2 应根据管道服役状况的变化及时进行风险再评估,修正风险减缓措施。
- 4.3 风险评估可由特种设备安全监察机构核准的具有公用管道定期检验资质的机构进行,也可由管道使用单位或管理单位进行。

5 评估过程

5.1 风险评估流程

管道风险评估的流程见图1。

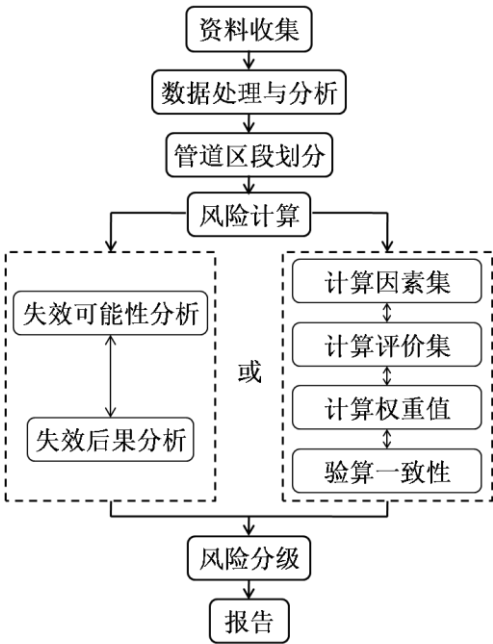


图1 风险评估流程图

5.2 资料收集

进行风险评估前应核查管道历史资料、运行管理数据、敷设环境情况等服役信息，并结合现场巡检及必要的开挖检验情况，完成待评估管道的数据采集。

5.3 数据处理与分析

收集的数据应真实有效，必要时，风险评估人员应对收集到的数据进行处理与分析，并保证数据质量。

5.4 管道区段划分

5.4.1 依据管道材质、管道规格、压力等级、人口密度、服役时间、敷设方式、地形地貌等关键属性数据，采用相似性原则进行区段划分。

5.4.2 采用人工分段法进行管道区段划分，应以人工走线的方式完成。在关键属性数据发生变化的位置插入分段点，具体区段划分如下：

- a) 当位于高后果区时，宜增加分段点，高后果区具体划分要求见《油气输送管道完整性管理规范》GB 32167；
- b) 当管道敷设方式发生变化时，宜增加分段点；
- c) 当管道出现上方活动水平、埋深、占压等变化时，宜增加分段点；
- d) 当管道敷设区域有可能发生地质灾害时，宜增加分段点；
- e) 风险评估人员认为有必要的其他情况。

5.5 风险计算

5.5.1 本标准提供了半定量风险评估（见 5.5.2）和基于层次分析法的模糊综合评价法（见 5.5.3）两种风险计算方法风险计算。

5.5.2 按附录 A 管道风险评估指标体系对管道各区段失效可能性（敷设环境、第三方破坏、检查检验、本质安全）和失效后果进行半定量风险评估，并根据公式(1)计算风险值：

$$R = P \times C \cdots \cdots (1)$$

式中：
R——风险值；
P——失效可能性评分， $P=P_1+P_2+P_3+P_4$ ；
其中，P1为敷设环境风险评分、P2为第三方破坏风险评分、P3为检查检验风险评分、P4为本质安全风险评分。
C——失效后果评分。

5.5.3 按附录 A 对管道各区段进行专项风险评分，按附录 B 中基于层次分析法的模糊综合评价方法实施计算综合风险值 $\bar{S}$ （注）。

注：综合风险值 $\bar{S}$ ，按附录B中基于层次分析法的模糊综合评价方法计算的管道各区段风险的量度。

5.6 风险分级

5.6.1 以风险值 R 的大小对管道的各区段风险等级进行半定量风险评估，管道风险等级按各区段中的最高风险等级确定，见表 1。

表1 半定量风险评估法管段风险值和风险等级

风险值 R	风险等级
$12600 \leq R \leq 15000$	高
$7800 \leq R < 12600$	较高
$3600 \leq R < 7800$	中
$R < 3600$	低

5.6.2 以综合风险值 $\bar{S}$ 的大小对管道的各区段风险等级进行基于层次分析法的模糊综合评价，管道风险等级按各区段中的最高风险等级确定，见表 2。

表2 基于层次分析法的模糊综合评价法管段综合风险值和风险等级

综合风险值 $\bar{S}$	风险等级
$90 \leq \bar{S} \leq 100$	高
$80 \leq \bar{S} < 90$	较高
$70 \leq \bar{S} < 80$	中
$60 \leq \bar{S} < 70$	低

6 评估结果及报告

风险评估工作，应出具管道风险评估报告，主要内容至少包括：

- a) 管道基本情况；
- b) 管道区段划分；
- c) 风险计算；
- d) 风险评估结果；
- e) 风险管控建议。

附 录 A
(规范性)
城镇燃气用聚乙烯管道风险评估指标体系

A.1 指标体系构成

管道风险评估指标体系包括敷设环境 u_1 、第三方破坏 u_2 、检查检验 u_3 、本质安全 u_4 、失效后果 u_5 五个指标。

A.2 敷设环境

A.2.1 城镇燃气用聚乙烯管道敷设环境专项风险评分见表A.1。

表A.1 敷设环境调查评分表

分类	编号	评分项目	分值	评分内容	评分
敷设环境	A1	水平净距	10	a) 管道与建（构）筑物的水平净距满足要求，为0分； b) 管道与建（构）筑物的水平净距不满足要求，为10分。	
	A2	垂直净距	10	a) 管道与建（构）筑物或者相邻管道之间的垂直净距满足要求，为0分； b) 管道与建（构）筑物或者相邻管道之间的垂直净距不满足要求，为10分。	
	A3	地面活动频繁程度	30	a) 基本无活动（如无人区、无任何施工作业的城区等），为0分； b) 低活动水平（如农耕活动等），为10分； c) 中等活动水平（如零星的民房建设等），为20分； d) 高活动水平（如大规模住宅建设、交通工程、水利工程建设、矿业工程等），为30分。	
	A4	地区级别	30	a) 一级地区，为0分； b) 二级地区，为10分； c) 三级地区，为20分； d) 四级地区，为30分。	
	A5	占压	10	a) 不存在建（构）筑物占压情况，为0分； b) 存在建（构）筑物占压情况（1~4处），为5分； c) 建（构）筑物占压情况严重（5处及以上），为10分。	
	A6	地质条件	10	a) 未经过不良地质条件，为0分； b) 经过不良地质条件，为10分。	
	A7	周围是否有热源	10	a) 不存在影响管道本体及介质温度的热源，为0分； b) 存在影响管道本体及介质温度的热源，为10分。	
合计	/	/	110	/	

A.2.2 以风险评分的大小对管道的各区段敷设环境专项风险等级进行评价，管道专项风险等级按各区段中的最高风险等级确定，见表A.2。

表A.2 管段风险评分和风险等级

风险评分	$P_1 \in [0, 30)$	$P_1 \in [30, 60)$	$P_1 \in [60, 85)$	$P_1 \in [85, 110]$
专项风险情况	低	中	较高	高

A.3 第三方破坏

A.3.1 城镇燃气用聚乙烯管道第三方破坏专项风险评分见表A.3。

表A.3 第三方破坏调查评分表

分类	编号	评分项目	分值	评分内容	评分
埋深	B1	管道埋深评分	10	a) 资料完整可信且开挖检验或阀井符合规范或设计要求，为0分； b) 资料完整可信，但开挖检验或阀井未验证，为2分； c) 资料完整可信，但开挖检验或阀井不符合规范或设计要求，为5分； d) 资料不完整，但开挖检验或阀井符合规范或设计要求，为3分； e) 资料不完整且开挖检验或阀井未验证，为5分； f) 资料不完整且开挖检验或阀井不符合规范或设计要求，为8分； g) 无资料，但开挖检验或阀井符合规范或设计要求，为5分； h) 无资料且开挖检验或阀井未验证，为7分； i) 无资料且开挖检验或阀井不符合规范或设计要求，为10分。	
回填质量	B2	回填记录	5	a) 资料完整可信，为0分； b) 资料不完整，为3分； c) 无资料，为5分。	
	B3	回填土质情况	8	a) 无尖硬物体接触管壁，为0分； b) 有少量尖硬物体接触管壁，为4分； c) 有较多尖硬物体接触管壁或存在地表沉降，为8分。	
	B4	警示标识	6	a) 警示带或示综带符合规定，为0分； b) 警示带或示综带不齐全，为3分； c) 未按要求设置警示带或示综带，为6分。	
	B5	保护板	6	a) 无保护板要求或保护板情况符合施工标准要求，为0分； b) 施工标准有要求但未设置保护板或无法确认，为6分。	
地面标志	B6	地面标志	20	a) 标志准确、完整、清晰，为0分； b) 标志存在少量字迹不清、轻微破损、少量缺失或个别错误，为6分； c) 标志存在多处错误、破损严重、大量缺失，为12分； d) 无标志，为20分。	
管道定位	B7	管道定位	50	a) 管道本体地理位置信息明确，且与其他管道相互距离信息明确，管道在地面标志位置1.5m范围内，为0分； b) 管道本体地理位置信息明确，且与其他管道相互距离信息明确，管道在地面标志位置1.5m~2m范围内或未开挖验证，为0分； c) 管道本体地理位置信息明确，且与其他管道相互距离信息明确，管道在地面标志位置2m范围外，为0分； d) 管道本体地理位置信息基本明确，且与其他管道相互距离信息基本明确，管道在地面标志位置1.5m范围内，为1分~12分； e) 管道本体地理位置信息基本明确，且与其他管道相互距离信息基本明确，管道在地面标志位置1.5m~2m范围内或未开挖验证，为1分~20分； f) 管道本体地理位置信息基本明确，但与其他管道相互距离信息不明，管道在地面标志位置1.5m范围内，为12分~25分； g) 管道本体地理位置信息基本明确，但与其他管道相互距离信息不明，管道在地面标志位置1.5m~2m范围内或未开挖验证，为20分~40分； h) 管道本体地理位置信息基本明确，但与其他管道相互距离信息不明，管道在地面标志位置2m范围外，为25分~50分；	

表 A.3 第三方破坏调查评分表（续）

分类	编号	评分项目	分值	评分内容	评分
管道定位	B7	管道定位	50	i) 管道本体地理位置信息不明，且管道在地面标志位置 1.5m 范围内，为 25 分； j) 管道本体地理位置信息不明，且管道在地面标志位置 1.5m~2m 范围内或未开挖验证，为 40 分； k) 管道本体地理位置信息不明，且管道在地面标志位置 2m 范围外，为 50 分。	
应急预案及演练	B8	应急预案及演练	20	a) 好（如完善的应急预案且按期开展应急演练），为 0 分； b) 一般（如应急预案不健全或未按期开展应急演练），为 12 分； c) 差（无应急预案或未开展过应急演练），为 20 分。	
公众教育	B9	公众教育	10	a) 好（公众教育程度高，宣传到位），为 0 分； b) 一般（公众教育程度一般，或宣传少），为 5 分； c) 差（公众教育程度差，或无宣传），为 10 分。	
政府保护态度	B10	政府保护态度	15	a) 积极（如建立了良好的协作保护机制），为 0 分； b) 一般（如与沿线政府很少来往），为 8 分； c) 差（如管道沿线经常发生纠纷、破坏管道等情况），为 15 分。	
合计	/	/	150	/	

A.3.2 以风险评分的大小对管道的各区段第三方破坏专项风险等级进行评价，管道专项风险等级按各区段中的最高风险等级确定，见表A.4。

表A.4 管段风险评分和风险等级

风险评分	$P_2 \in [0, 40)$	$P_2 \in [40, 80)$	$P_2 \in [80, 115)$	$P_2 \in [115, 150]$
专项风险情况	低	中	较高	高

A.4 检查检验

A.4.1 城镇燃气用聚乙烯管道检查检验专项风险评分见表A.5。

表A.5 检查检验调查评分表

分类	编号	评分项目	分值	评分内容	评分
使用管理资料审查	C1	安全管理资料	10	a) 安全管理规章制度与安全操作规则（规程）齐全，为 0 分； b) 安全管理规章制度与安全操作规则（规程）不齐全，为 5 分； c) 无安全管理规章制度与安全操作规则（规程），为 10 分。	
	C2	运行状况资料	10	a) 日常运行维护记录齐全，为 0 分； b) 日常运行维护记录不齐全，为 3 分； a) 无日常运行维护记录，为 5 分。	
				a) 隐患排查治理、故障与事故记录齐全，为 0 分； b) 隐患排查治理、故障与事故记录不齐全，为 3 分； b) 无隐患排查治理、故障与事故记录，为 5 分。	

表 A.5 检查检验调查评分表（续）

分类	编号	评分项目	分值	评分内容	评分
使用单位自检	C3	巡线频率	15	a) 1天1次, 为0分; b) 2天1次, 为3分; c) 3天1次, 为6分; d) 1周1次, 为9分; e) 不定期, 为12分; f) 不巡线, 为15分。	
	C4	巡线方式	10	a) 沿管道区段逐步巡线, 为0分; b) 只巡检建设、挖掘频繁的管段, 为5分; c) 只巡检乘车方便的管段, 为8分; d) 不巡线, 为10分。	
	C5	巡检人员能力	5	a) 能够胜任, 为0分; b) 基本胜任, 为3分; c) 不能胜任, 为5分。	
	C6	巡检人员培训	5	a) 定期培训并考核, 为0分; b) 仅定期培训, 为1分; c) 不定期培训, 为3分; d) 不培训, 为5分。	
	C7	阀井、凝水缸、调压箱等泄漏检查频率	10	a) 1月1次, 为0分; b) 1季度1次, 为2分; c) 半年1次, 为4分; d) 1年1次, 为6分; e) 不定期, 为8分; f) 不检查, 为10分。	
	C8	全线地面泄漏检查频率	10	a) 1季度1次, 为0分; b) 半年1次, 为2分; c) 1年1次, 为4分; d) 仅发现泄漏后进行全线检查, 为7分; e) 不检查, 为10分。	
法定检验	C9	年度检查	15	a) 本检验周期按要求进行年度检查, 为0分; b) 本检验周期年度检查报告不齐全, 但上一年度检查报告齐全, 为5分; c) 本检验周期年度检查报告不齐全, 无上一年度检查报告, 为10分; d) 本检验周期未进行年度检查, 为15分。	
	C10	全面检验	30	a) 按要求进行全面检验, 经焊缝无损检测未发现超标缺陷, 为0分; b) 按要求进行全面检验, 未进行焊缝无损检测, 为5分; c) 本次为首次全面检验, 为10分; d) 按要求进行全面检验, 经焊缝无损检测发现超标缺陷并修理合格的, 为15分; e) 未进行全面检验, 为30分。	
合计	/	/	120	/	
注: 按要求进行全面检验, 经焊缝无损检测发现超标缺陷未修理的; 或上次全面检验结论为不符合要求的; 检查检验专项取满分。					

A.4.2 以风险评分的大小对管道的各区段检查检验专项风险等级进行评价, 管道专项风险等级按各区段中的最高风险等级确定, 见表A.6。

表A.6 管段风险评分和风险等级

风险评分	$P_3 \in [0, 30)$	$P_3 \in [30, 60)$	$P_3 \in [60, 90)$	$P_3 \in [90, 120]$
专项风险情况	低	中	较高	高

A.5 本质安全

A.5.1 城镇燃气用聚乙烯管道本质安全专项风险评分见表A.7。

表A.7 本质安全调查评分表

分类	编号	评分项目	分值	评分内容	评分
施工过程	D1	施工单位资质	8	a) 施工单位有资质，为0分； b) 施工单位无资质，为8分。	
	D2	管道元件控制	18	a) 管道元件制造单位有资质，为0分； b) 管道元件制造单位无资质，为6分。	
				a) 管道元件质量证明文件齐全，为0分； b) 管道元件质量证明文件不齐全，为3分； c) 管道元件无质量证明文件，为6分。	
				a) 管道元件有进货检验，为0分； b) 管道元件无进货检验，为6分。	
	D3	焊接及其检验	12	a) 焊接操作人员有资质，为0分； b) 焊接操作人员无资质，为4分。	
				a) 焊接工艺评定齐全，为0分； b) 焊接工艺评定不齐全，为2分。 c) 无焊接工艺评定，为4分。	
				a) 进行了焊接质量检验，为0分； b) 未进行焊接质量检验，为4分。	
	D4	强度试验	8	a) 进行了强度试验，为0分； b) 未进行强度试验，为8分。	
	D5	严密性试验	6	a) 进行了严密性试验，为0分； b) 未进行严密性试验，为6分。	
	D6	监理	6	a) 进行了监理且结论为合格，为0分； b) 未进行监理或进行了监理但结论为不合格，为6分。	
竣工资料	D7	监督检验	8	a) 进行了监检且结论为合格，为0分； b) 未进行监检或进行了监检但结论为不合格，为8分。	
	D8	施工检验记录	4	a) 施工过程的检验记录齐全，为0分； b) 施工过程的检验记录不齐全，为2分； c) 无施工过程的检验记录，为4分。	
	D9	竣工资料	4	a) 竣工资料齐全，为0分； b) 竣工资料不齐全，为2分； c) 无竣工资料，为4分。	
	D10	验收报告	4	a) 有验收报告，为0分； b) 无验收报告，为4分。	

表 A.7 本质安全调查评分表（续）

分类	编号	评分项目	分值	评分内容	评分
运行情况	D11	运行安全裕量	12	a) 运行安全裕量>2，为 0 分； b) 运行安全裕量∈(1.5,2]，为 4 分； c) 运行安全裕量∈(1,1.5]，为 8 分； d) 运行安全裕量=1，为 12 分。 注：设计压力_____MPa 最大正常运行压力_____MPa 计算运行安全裕量_____（运行安全裕量=设计压力/最大正常运行压力）	
	D12	设计系数	6	a) 设计系数大于最小要求设计系数，为 0 分； b) 等于最小要求设计系数，为 3 分； c) 小于最小要求设计系数，为 6 分。 注：设计系数 $C=2 \times MRS / (MOP \times (SDR-1))$ 最小要求强度（MRS）_____MPa，PE80 取 8.0 MPa， PE100 取 10.0 MPa； 最大操作压力（MOP）_____MPa，以 20℃为参考工作温度； 标准尺寸比（SDR）_____。 天然气，最小要求设计系数 2.5； 液化石油气（混空气），最小要求设计系数 4.0； 液化石油气（气态），最小要求设计系数 6.0； 人工煤气（干气），最小要求设计系数 4.0； 人工煤气（其他），最小要求设计系数 6.0。	
	D13	示踪线	9	a) 示踪线完备，为 0 分； b) 示踪线有一定缺陷，为 3 分； c) 示踪线缺陷严重，为 7 分； d) 无示踪线，为 9 分。	
	D14	管道服役年限 （以竣工之日起算）	15	a) 服役年限∈(0 年,10 年]，为 5 分； b) 服役年限∈(10 年,30 年]，为 10 分； c) 服役年限∈(30 年,50 年]，为 15 分。	
合计	/	/	120	/	

A.5.2 以风险评分的大小对管道的各区段本质安全专项风险等级进行评价，管道专项风险等级按各区段中的最高风险等级确定，见表A.8。

表A.8 管段风险评分和风险等级

风险评分	$P_4 \in [0, 30)$	$P_4 \in [30, 60)$	$P_4 \in [60, 90)$	$P_4 \in [90, 120]$
专项风险情况	低	中	较高	高

A.6 失效后果

A.6.1 城镇燃气用聚乙烯管道失效后果专项风险评分见表A.9。

表A.9 失效后果调查评分表

分类	编号	评分项目	分值	评分内容	评分
介质情况	E1	介质安全性	3	a) 燃气介质为天然气，为 1 分； b) 燃气介质为沼气，为 2 分； c) 燃气介质为液化石油气，为 2 分； d) 燃气介质为人工煤气，为 3 分。	
	E2	最高工作压力	2	a) 最高工作压力 $\in$ [0.1 MPa, 0.2 MPa]，为 0.5 分； b) 最高工作压力 $\in$ (0.2 MPa, 0.4 MPa]，为 1 分； c) 最高工作压力 $\in$ (0.4 MPa, 1 MPa]，为 2 分。	
泄漏情况及应对情况	E3	泄漏量	4	a) 评估区段介质最大泄漏量 $\leq 1\text{ m}^3$ ，为 0.5 分； b) 评估区段介质最大泄漏量 $\in (1\text{ m}^3, 10\text{ m}^3]$ ，为 1 分； c) 评估区段介质最大泄漏量 $\in (10\text{ m}^3, 100\text{ m}^3]$ ，为 2 分； d) 评估区段介质最大泄漏量 $\in (100\text{ m}^3, 500\text{ m}^3]$ ，为 3 分； e) 评估区段介质最大泄漏量 $>500\text{ m}^3$ ，计 4 分。	
	E4	泄漏发现情况	2	a) 燃气泄漏后便能及时发现，为 0 分； b) 燃气泄漏后能短时间内被发现，为 0.5 分； c) 燃气泄漏到被发现需要时间不长，为 1 分； d) 燃气泄漏到被发现要经过很长时间，为 1.5 分； e) 燃气泄漏无法及时发现及监测到，计 2 分。	
	E5	应急反应性	1	a) 燃气泄漏发现后能够处理且处理有条理，处理设备、人员专业，为 0 分； b) 燃气泄漏发现后能够处理，但处理无应急方案，为 0.5 分； c) 燃气泄漏发现后无法马上处理，为 1 分。	
	E6	事故场地情况	1	a) 事故场地情况良好能完全满足灭火和救援工作，为 0 分； b) 事故场地情况一般能够满足基本的事故抢险、救援、灭火工作，为 0.5 分； c) 事故场地情况恶劣无法进行现场的灭火和救援工作，为 1 分。	
	E7	连锁事故可能性	2	a) 管道事故周围无易燃易爆品，为 0 分； b) 管道事故周围易燃易爆点很少，为 0.5 分； c) 管道事故周围易燃易爆点很多可以短时间转移，为 1 分； d) 管道事故周围易燃易爆点很多且难以转移，为 2 分。	
	E8	周围是否有明火	2	a) 事故周围不存在明火的可能性，为 0 分； b) 事故周围存在明火的可能性，可能引起燃气点火，为 0.5 分； c) 事故周围存在明火，容易引起燃气点火，为 1 分； d) 事故周围明火很多，极易引起燃气点火，为 2 分。	
地理情况	E9	扩散性	1	a) 可能的泄漏处年平均风速高，为 0 分； b) 可能的泄漏处年平均风速中等，为 0.5 分； c) 可能的泄漏处年平均风速低，为 1 分。	
	E10	地形情况	1	a) 可能的泄漏处地形开阔，为 0 分； b) 可能的泄漏处地形闭塞，为 1 分。	

表 A.9 失效后果调查评分表（续）

分类	编号	评分项目	分值	评分内容	评分
经济损失情况	E11	人口密度	4	a)可能的泄漏处是荒无人烟地，为 0 分； b)可能的泄漏处 1.6km 长度范围内，管道区段两侧各 50m 的范围内，人口数量∈[1,100)，为 1 分； c)可能的泄漏处 1.6km 长度范围内，管道区段两侧各 50m 的范围内，人口数量∈[100,300)，为 2 分； d)可能的泄漏处 1.6km 长度范围内，管道区段两侧各 50m 范围内，人口数量∈[300,500)，为 3 分； e)可能的泄漏处 1.6km 长度范围内，管道区段两侧各 50m 的范围内，人口数量≥500，为 4 分。	
	E12	沿线环境 （财产密度）	3	a)可能的泄漏处是荒无人烟地区，为 0 分； b)可能的泄漏处 1.6km 长度范围内，管道区段两侧各 50m 的范围内，大多为农业生产区，为 1 分； c)可能的泄漏处 1.6km 长度范围内，管道区段两侧各 50m 的范围内，住宅、宾馆、娱乐休闲地，为 1.5 分； d)可能的泄漏处 1.6km 长度范围内，管道区段两侧各 50m 的范围内，大多为商业区，为 2 分； e)可能的泄漏处 1.6km 长度范围内，管道区段两侧各 50m 的范围内，大多为仓库、码头、车站等，为 2.5 分； f)可能的泄漏处 1.6km 长度范围内，管道区段两侧各 50m 的范围内，大多为工业生产区、住宅区，为 3 分。	
	E13	供应中断的影响范围和程度	2	a)如果无重要用户，供应中断对其他单位影响一般，为 0.5 分； b)如果供应中断影响一般企业的工业用燃料或小范围城市生活，为 1 分； c)如果供应中断影响重点企业或工业园区的工业生产，为 1.5 分； d)如果供应中断大范围影响城市生活，为 2 分。	
	E14	抢修时间	1	a)如果抢修时间<1 天，则为 0 分； b)如果抢修时间∈[1 天,3 天]，则为 0.5 分； c)如果抢修时间>3 天，则为 1 分。	
	E15	用户对管道所输送介质的依赖性	1	a) 如果供应中断的影响很小，则为 0 分； b) 如果供应中断有一定影响，则为 0.5 分； c) 如果用户对所输送介质绝对依赖，则为 1 分。	
合计	/	/	30	/	

A. 6.2 以风险评分的大小对管道的各区段失效后果专项风险等级进行评价，管道专项风险等级按各区段中的最高风险等级确定，见表A. 10。

表A. 10 管段风险评分和风险等级

风险评分	$C \in [2.5, 11)$	$C \in [11, 18)$	$C \in [18, 24)$	$C \in [24, 30]$
专项风险情况	低	中	较高	高

附录 B

(规范性)

城镇燃气用聚乙烯管道风险评估模糊综合评价

B.1 总则

本附录提出了基于城镇燃气用聚乙烯管道敷设环境 u_1 、第三方破坏 u_2 、检查检验 u_3 、本质安全 u_4 及失效后果 u_5 等五个因素对城镇燃气用聚乙烯管道进行风险评估的基于层次分析法的模糊综合评价方法。

B.2 基于层次分析法的模糊综合评价

B.2.1 评价步骤

B.2.1.1 建立模糊集

a) 建立因素集

依据影响城镇燃气用聚乙烯管道风险分级评价的五个因素：敷设环境 u_1 、第三方破坏 u_2 、检查检验 u_3 、本质安全 u_4 、失效后果 u_5 ，建立因素集 $U=[u_i]=[u_1, u_2, u_3, u_4, u_5]$ ($i=1, 2, 3, 4, 5$)，即： $U=\{\text{敷设环境 } u_1, \text{第三方破坏 } u_2, \text{检查检验 } u_3, \text{本质安全 } u_4, \text{失效后果 } u_5\}$ 。因素集 $U=[u_i]$ 中各因素 u_i 的性能优劣分别由相应的评价指标进行评判，各因素 u_i 的评价指标见本标准附录A。

b) 建立评价集

按本标准规定的城镇燃气用聚乙烯管道风险评价等级属性，建立评价集 V ，即：

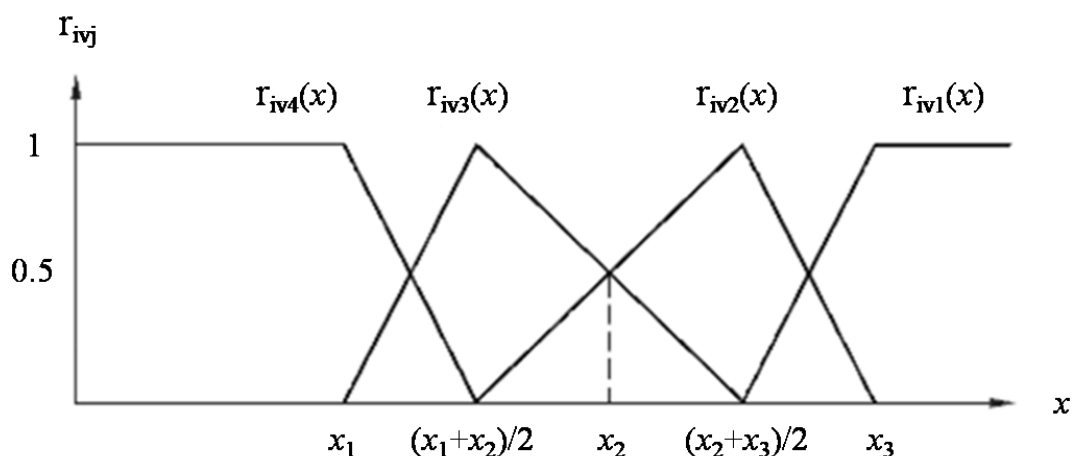
$$V=[v_j]=[v_1, v_2, v_3, v_4]=[1, 2, 3, 4] \quad (j=1, 2, 3, 4)$$

评价集中，各评价等级对应附录A中表A.2、表A.4、表A.6、表A.8、表A.10中低、中、较高、高的四个等级。

B.2.1.2 建立单因素评价矩阵

a) 评价向量

确定因素集 $U=[u_i]$ 中各因素 u_i 的评价指标对评价集 $V=[v_j]$ 中各评价等级 v_j 的隶属度值，建立单因素 u_i 的评价向量 $R_i=[r_{ivj}(x)]$ ($i=1, 2, 3, 4, 5; j=1, 2, 3, 4$)。其中， $r_{ivj}(x)$ 为因素集中各因素 u_i 的隶属度函数，表示各因素 u_i 隶属于评价等级 v_j 的程度，其值在 $[0, 1]$ 上取值，见图B.1，图中 x 为因素集中各因素 u_i 对应评价指标的专项风险评分， x_1 、 x_2 、 x_3 为评价指标在本标准中进行等级划分时的指标值，即表A.2、表A.4、表A.6、表A.8、表A.10中低、中、较高、高四个等级的分界数。在确定隶属度函数时，首先确定各评价指标的取值范围，即通过因素集中各单因素对应评价指标的评价标准来确定。由于本标准把因素集中各评价指标的分级定为低风险、中风险、较高风险、高风险，其对应的评分区段依次为 $(-\infty, x_1]$ 、 $(x_1, x_2]$ 、 $(x_2, x_3]$ 、 $[x_3, +\infty)$ ，评价指标值越大风险越高。



图B.1 单因素评价矩阵隶属函数

因素集中各因素的隶属度函数为：

$$r_{iv1}(x) = \begin{cases} \frac{x - (x_2 + x_3)/2}{x_3 - (x_2 + x_3)/2}, & (x_2 + x_3)/2 \leq x \leq x_3, \\ 1, & x > x_3, \\ 0, & \text{其他.} \end{cases} \quad \text{B.1}$$

$$r_{iv2}(x) = \begin{cases} \frac{x - (x_1 + x_2)/2}{(x_2 + x_3)/2 - (x_1 + x_2)/2}, & (x_1 + x_2)/2 \leq x \leq (x_2 + x_3)/2, \\ \frac{x - x_3}{(x_2 + x_3)/2 - x_3}, & (x_2 + x_3)/2 < x \leq x_3, \\ 0, & \text{其他.} \end{cases} \quad \text{B.2}$$

$$r_{iv3}(x) = \begin{cases} \frac{x - x_1}{(x_1 + x_2)/2 - x_1}, & x_1 \leq x \leq (x_1 + x_2)/2, \\ \frac{x - (x_2 + x_3)/2}{(x_1 + x_2)/2 - (x_2 + x_3)/2}, & (x_1 + x_2)/2 < x \leq (x_2 + x_3)/2, \\ 0, & \text{其他.} \end{cases} \quad \text{B.3}$$

$$r_{iv4}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq x_1, \\ \frac{x - (x_1 + x_2)/2}{x_1 - (x_1 + x_2)/2}, & x_1 < x \leq (x_1 + x_2)/2, \\ 0, & \text{其他.} \end{cases} \quad \text{B.4}$$

b) 建立单因素评价矩阵

把因素集中各因素 u_i 对应评价指标的专项风险评分 x 代入隶属函数，计算各单因素评价指标对评价集中 v_j 的隶属度值 $r_{ivj}(x)$ ，建立单因素评价矩阵 $R=[R_i]^T=[r_{ivj}(x)]^T$ ，即：

$$R = [R_i]^T = [r_{ij}(x)]^T = \begin{bmatrix} r_{1v1}(x)r_{1v2}(x)r_{1v3}(x)r_{1v4}(x) \\ r_{2v1}(x)r_{2v2}(x)r_{2v3}(x)r_{2v4}(x) \\ r_{3v1}(x)r_{3v2}(x)r_{3v3}(x)r_{3v4}(x) \\ r_{4v1}(x)r_{4v2}(x)r_{4v3}(x)r_{4v4}(x) \\ r_{5v1}(x)r_{5v2}(x)r_{5v3}(x)r_{5v4}(x) \end{bmatrix} \quad \text{B.5}$$

c) 单因素评价矩阵计算方法

首先依据本标准给出的单因素评价矩阵隶属函数，计算各单因素 u_i 的评价指标对各评价等级 v_j 的隶属度值 $r_{ij}(x)$ ，建立单因素 u_i 的评价向量 $R_i=[r_{ij}(x)]$ 。

依据上述计算出的单因素评价向量，建立城镇燃气用聚乙烯管道风险的单因素评判矩阵 $R=[R_i]^T=[r_{ij}(x)]$ ，即：

$$R = [R_i]^T = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \\ R_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{1v1}(x)r_{1v2}(x)r_{1v3}(x)r_{1v4}(x) \\ r_{2v1}(x)r_{2v2}(x)r_{2v3}(x)r_{2v4}(x) \\ r_{3v1}(x)r_{3v2}(x)r_{3v3}(x)r_{3v4}(x) \\ r_{4v1}(x)r_{4v2}(x)r_{4v3}(x)r_{4v4}(x) \\ r_{5v1}(x)r_{5v2}(x)r_{5v3}(x)r_{5v4}(x) \end{bmatrix} \quad \text{B.6}$$

B.2.1.3 基于层次分析法确定评价指标的权重

B.2.1.3.1 构造判断矩阵

应用层次分析法（Analytical Hierarchy Process，简称“AHP”法）确定因素集 $U=[u_i]$ 中各因素 u_i 在评判城镇燃气用聚乙烯管道风险等级时所占的权重大小 W_i 建立评价指标的权重向量 $W=(W_1W_2W_3W_4W_5)$ 。首先需要因素集 $U=[u_i]$ 中各因素 u_i 进行两两比较，建立判断矩阵 B ，即：

$$B = [b_{ij}] = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} & b_{15} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} & b_{25} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & b_{34} & b_{35} \\ b_{41} & b_{42} & b_{43} & b_{44} & b_{45} \\ b_{51} & b_{52} & b_{53} & b_{54} & b_{55} \end{bmatrix} (i, j=1,2,3,4,5) \quad \text{B.7}$$

判断矩阵的结构如表B.1所示。

表B.1 构造的判断矩阵 B

B	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5
u_1	b_{11}	b_{12}	b_{13}	b_{14}	b_{15}
u_2	b_{21}	b_{22}	b_{23}	b_{24}	b_{25}
u_3	b_{31}	b_{32}	b_{33}	b_{34}	b_{35}
u_4	b_{41}	b_{42}	b_{43}	b_{44}	b_{45}
u_5	b_{51}	b_{52}	b_{53}	b_{54}	b_{55}

判断矩阵 $B = (b_{ij})_{5 \times 5}$ 具有下述性质：

$$b_{ij} > 0, b_{ij} = \frac{1}{b_{ji}}, b_{ii} = 1 \quad (i, j = 1, 2, 3, 4, 5) \quad \text{B.8}$$

其中， b_{ij} 代表因素 u_i 与 u_j 相互之间重要性的比例标度，其值反映了因素集中各因素 u_i 之间的相对重要性，采用1~9比例标度对各因素 u_i 之间的相对重要性程度进行赋值，赋值原则如表B.2所示，其标度由专家根据实际检验结果判定两两因素之间的重要性并赋值。

表B.2 判断矩阵标度及其含义

标度	含义
1	表示两个因素相比，具有同等重要性
3	表示两个因素相比，前者比后者稍微重要
5	表示两个因素相比，前者比后者明显重要
7	表示两个因素相比，前者比后者强烈重要
9	表示两个因素相比，前者比后者极端重要
2, 4, 6, 8	表示上述相邻判断的中间值
倒数	因素 u_j 、 u_i 的重要性之比为 b_{ij} ，因 u_j 、 u_i 的重要性之比为 $b_{ji}=1/b_{ij}$

B.2.1.3.2 计算权重值 W

采用方根法计算判断矩阵 $B = (b_{ij})_{5 \times 5}$ 的最大特征根 $\lambda_{\max}$ ， $\lambda_{\max}$ 所对应的判断矩阵 B 的特征向量即为因素集 $U=[u_i]$ 中各因素 u_i 的权重值，其计算步骤如下：

a) 计算判断矩阵 $B = (b_{ij})_{5 \times 5}$ 每一行各元素的乘积 M_i ：

$$M_i = \prod_{j=1}^5 b_{ij} \tag{B.9}$$

b) 计算乘积 M_i 的 5 次方根 $\bar{W}_i$ ：

$$\bar{W}_i = \sqrt[5]{M_i} \tag{B.10}$$

对向量 $\bar{W} = (\bar{W}_1 \bar{W}_2 \bar{W}_3 \bar{W}_4 \bar{W}_5)^T$ 进行正规化：

$$W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{i=1}^5 \bar{W}_i} \tag{B.11}$$

所得 $W = (W_1 W_2 W_3 W_4 W_5)^T$ 即为 $\lambda_{\max}$ 所对应的特征向量，亦即因素集 $U=[u_i]$ 中各因素 u_i 的权重值。计算判断矩阵 $B = (b_{ij})_{5 \times 5}$ 的最大特征根 $\lambda_{\max}$ ：

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^5 \frac{(BW)_i}{5W_i} \tag{B.12}$$

式中， $(BW)_i$ 表示向量 BW 的第 i 分量。

B.2.1.3.3 一致性检验

计算出判断矩阵 $B = (b_{ij})_{5 \times 5}$ 的最大特征根 $\lambda_{\max}$ 后，需要检验判断矩阵 B 的一致性是否满足要求，首先定义一致性指标CI，即：

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - 5}{4} \tag{B.13}$$

将CI与平均随机一致性指标RI（见表B.3）进行比较。

表B.3 1~9 阶矩阵的平均随机一致性指标

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

然后, 检验判断矩阵 B 的随机一致性比例 $CR=CI/RI$, 由于本判断矩阵 B 的阶数为5阶, 则 $CR=CI/1.12$ 。若 $CR<0.10$, 判断矩阵 B 具有满意的一致性; 否则, 需要重新调整判断矩阵 B 中的标度, 即两两因素比较的值。

失效后果根据附录B计算的比重值 W 宜大于0.35。

B.2.1.4 城镇燃气用聚乙烯管道风险模糊综合评价

城镇燃气用聚乙烯管道风险的综合评价结果 A , 即:

$$A = W \cdot R = (W_1, W_2, W_3, W_4, W_5) \cdot \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \\ R_5 \end{bmatrix} \quad \text{B.11}$$

$$= (W_1, W_2, W_3, W_4, W_5) \cdot \begin{bmatrix} r_{1v1}(x)r_{1v2}(x)r_{1v3}(x)r_{1v4}(x) \\ r_{2v1}(x)r_{2v2}(x)r_{2v3}(x)r_{2v4}(x) \\ r_{3v1}(x)r_{3v2}(x)r_{3v3}(x)r_{3v4}(x) \\ r_{4v1}(x)r_{4v2}(x)r_{4v3}(x)r_{4v4}(x) \\ r_{5v1}(x)r_{5v2}(x)r_{5v3}(x)r_{5v4}(x) \end{bmatrix}$$

经过模糊计算得到的城镇燃气用聚乙烯管道风险综合评价结果 $A=[a_j]$ ($j=1, 2, 3, 4$), 具有一定的模糊性, 为了能准确评价城镇燃气用聚乙烯管道的状况, 对评价集 $V=[v_j]=[v_1, v_2, v_3, v_4]$ 中的评价等级 v_j 采用百分制记分的方法进行量化处理, 即用评语 $90 \leq c_1 \leq 100$ (代表一级 v_1)、 $80 \leq c_2 < 90$ (代表二级 v_2)、 $70 \leq c_3 < 80$ (代表三级 v_3)、 $60 \leq c_4 < 70$ (代表四级 v_4)表示, 从而得到评语的分数向量 $C=[c_i]=[c_1, c_2, c_3, c_4]$, 计算评语得分:

$$S = \frac{1}{\sum_{j=1}^4 a_j} AC^T = \frac{\sum_{j=1}^4 a_j c_j}{\sum_{j=1}^4 a_j} \quad \text{B.12}$$

由于各评语得分为一区间, 通过计算评语的高、中、低得分 S_h 、 S_m 、 S_l , 用它们的平均值 $\bar{S}$ 作为评价城镇燃气用聚乙烯管道风险状况等级的依据, 即:

$$S_k = \frac{\sum_{i=1}^4 a_i c_{ki}}{\sum_{i=1}^4 a_i} \quad (k = h, m, l) \quad \text{B.13}$$

$$\bar{S} = \frac{S_h + S_m + S_l}{3} \quad \text{B.14}$$

式中:

$k=h, m, l$ ——分别代表评价等级分数的高、中、低;

C_{hi} ——区间上限组成的评语分数向量, $C_{hi}=(C_{h1}, C_{h2}, C_{h3}, C_{h4})=(100, 89, 79, 69)$;

C_{mi} ——区间中间向量组成的评语分数向量, $C_{mi}=(C_{m1}, C_{m2}, C_{m3}, C_{m4})=(95, 85, 75, 65)$;

C_{li} ——区间下限组成的评语分数向量, $C_{li}=(C_{l1}, C_{l2}, C_{l3}, C_{l4})=(90, 80, 70, 60)$ 。

最后, 由计算出的 $\bar{S}$ 值所在评语区间 c_j ($j=1, 2, 3, 4$)对应的评语作为评定城镇燃气用聚乙烯管道风险等级的依据。