

ICS 91.140.10
CCS P 46



中华人民共和国国家标准

GB/T ×××-××××

热力管道安全风险评估方法

Technical method for safety risk assessment of thermal pipelines

××××-××-××发布

××××-××-××实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目次

前 言 11

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义、符号..... 1

4 一般规定 2

5 评估方法及工作流程..... 3

6 资料收集 3

7 失效可能性评估 4

8 失效后果严重性评估..... 5

9 安全等级划分及分类管理..... 6

10 安全评估报告编制..... 7

附录 A（规范性）底层影响因素失效可能性评分 8

附录 B（规范性）中间层和底层影响因素权重 13

附录 C（规范性）底层影响因素失效后果严重性评分 14

附录 D（资料性）安全等级划分原则 20

附录 E（资料性）全部底层影响因素分值不为 0 的安全评估算例 21

附录 F（资料性）部分底层影响因素分值为 0 的安全评估算例 24

前 言

本文件按照 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》的规定起草。

本文件由中华人民共和国住房和城乡建设部提出。

本文件由全国城镇供热标准化技术委员会（SAC/TC 455）归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次制定。

热力管道安全风险评估方法

1 范围

本文件规定了热力管道安全评估的术语和定义、符号、一般规定、评估方法及工作流程、资料收集、失效可能性评估、失效后果严重性评估、安全等级评估、安全等级分级管理、安全评估报告编制。

本文件适用于自热源出口至热用户之间既有或新建热力管道的安全评估，不包含热力站、中继泵站、隔压站等站房内管道。

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。

AQ8001-2007 安全评价通则

3 术语和定义、符号

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

热力管道 thermal pipelines

由热源向热用户输送和分配供热介质的室外管道及管道附件。

3.1.2

管道附件 fittings and accessories

热力管道上阀门、补偿器、支座（架）和器具的总称。

3.1.3

安全评估 safety assessment

以实现系统安全为目的，应用安全系统工程原理和方法，对系统中存在的危险、有害因素进行辨识与分析，预判系统发生事故和职业危害的可能性及其严重程度。

3.1.4

失效 failure

管道丧失其规定的功能。

3.1.5

失效可能性 failure probability

管道发生失效的概率。

3.1.6

失效后果严重性 failure consequence severity

由管道失效所引发的人员伤害、环境破坏、经济损失以及社会影响等后果的严重程度。

3.1.7

层次分析法 analytic Hierarchy Process (AHP)

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

3.1.8

半定量风险评估方法 semi-quantitative risk assessment method

根据管道属性及其对风险的贡献大小建立指标体系，对管道失效可能性和失效后果严重性进行评分，利用分值表示管道风险相对大小的管道风险评估方法。

3.1.9

最低合理可行原则 as Low as reasonably practicable (ALARP)

用于判定系统的安全风险严重程度，并按照其可能出现的安全风险进行安全等级分级的原则。

3.2 符号

下列符号适用于本文件。

C^f ——失效后果严重性分值；

c_j ——第 j 个底层影响因素失效后果严重性总分值；

m ——第 i 个中间层影响因素数量；

n ——第 j 个底层影响因素数量；

P^f ——失效可能性分值；

p_j ——第 j 个底层影响因素失效可能性总分值；

q ——第 j 个底层影响因素调查项目数量；

R^f ——安全等级分值；

s_l^j ——第 j 个底层影响因素第 l 个调查项目分值；

α_i^c ——第 i 个调整后的中间层失效后果严重性影响因素权重；

α_i^{c0} ——第 i 个中间层失效后果严重性影响因素权重；

α_i^p ——第 i 个调整后的中间层失效可能性影响因素权重；

α_i^{p0} ——第 i 个中间层失效可能性影响因素权重；

β_j^c ——第 j 个调整后的底层失效后果严重性影响因素权重；

β_j^{c0} ——第 j 个底层失效后果严重性影响因素权重；

β_j^p ——第 j 个调整后的底层失效可能性影响因素权重；

β_j^{p0} ——第 j 个底层失效可能性影响因素权重；

4 一般规定

4.1 管道安全评估应由供热企业或专业技术服务机构实施。安全评估团队应由从事检验、运行和管理等工作的相关专业人员组成。

4.2 管道出现下列情况之一的，应进行安全评估：

- a) 管道超过设计年限仍需使用；
- b) 上次管道安全评估周期到期；
- c) 管道运行参数超出设计范围；

- d) 管道出现异常形变、位移、振动、响声等;
 - e) 管道沿线环境发生重大变化;
 - f) 管道停用 3 年以上再次投入使用;
 - g) 与安全管理相关法规和制度发生重要修改;
 - h) 管道设计、安装资料缺失。
- 4.3 管道出现下列情况之一的, 宜进行安全评估:
- a) 管道进行改造或重大修理后;
 - b) 管网热损失率超出规定值;
 - c) 管网失水率超出规定值;
 - d) 新建管线投入运行前;
 - e) 管道温度、压力超出原有常态运行参数范围。
- 4.4 管道安全评估周期不应超过 12 年。
- 4.5 管道安全评估可分段、分区域进行。下列管道不应划分为同一个整体单元进行安全评估:
- a) 管道分属于一级管网和二级管网;
 - b) 管道建设年代不同;
 - c) 管道敷设方式不同。
- 4.6 管道安全评估应形成评估报告, 报告应明确管道安全等级, 并提出相应的整改措施。

5 评估方法及流程

5.1 评估方法

- 5.1.1 安全评估方法采用基于层次分析法 (AHP) 的半定量风险评估方法。
- 5.1.2 管道安全等级由失效可能性和失效后果严重性两个因素共同确定。

5.2 评估流程

管道应按下列流程进行安全评估:

- a) 资料收集;
- b) 失效可能性评估;
- c) 失效后果严重性评估;
- d) 安全等级划分;
- e) 安全等级分类管理;
- f) 安全评估报告编制。

6 资料收集

- 6.1 资料收集应涵盖评估过程中所需的相关信息。
- 6.2 资料收集应包括且不限于下列资料:
 - a) 设计类: 包括设计资料、设计施工图等;
 - b) 工程类: 包括竣工资料等;
 - c) 维修检测类: 包括维修、改造、抢修资料, 检验、检查资料;

- d) 管理类：包括运行管理资料，国家及行业的相关法律法规、企业内部的规章制度；
- e) 其他类：包括现场调研中发现和在线监测系统自动采集的相关数据、影像资料等。

7 失效可能性评估

7.1 底层影响因素分值

7.1.1 根据收集的资料，对照底层影响因素各调查项目，确定底层影响因素分值。当某调查项目影响因素失效可能性不存在时，其评分分值为 0。

7.1.2 底层影响因素失效可能性调查项目及评分分值应按附录 A 的规定执行。

7.1.3 按式（1）分别计算 15 项底层影响因素失效可能性分值。

$$p_j = \sum_{l=1}^q s_l^j \dots\dots\dots (1)$$

式中：

p_j ——第 j 个底层影响因素失效可能性总分值；

s_l^j ——第 j 个底层影响因素第 l 个调查项目分值；

q ——第 j 个底层影响因素调查项目数量。

7.2 影响因素权重

7.2.1 中间层和底层影响因素权重应按附录 B 的规定执行。

7.2.2 当部分底层影响因素失效可能性分值为 0 时，应对表 B.1 的底层影响因素权重和中间层影响因素权重进行调整，并按式（2）计算。

$$\alpha_i^p = \frac{\alpha_i^{p0}}{\sum_{i=1}^m \alpha_i^{p0}} \text{ 或 } \beta_j^p = \frac{\beta_j^{p0}}{\sum_{j=1}^n \beta_j^{p0}} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

α_i^p ——第 i 个调整后的中间层失效可能性影响因素权重；

α_i^{p0} ——第 i 个中间层失效可能性影响因素权重；

m ——第 i 个中间层影响因素数量；

β_j^p ——第 j 个调整后的底层失效可能性影响因素权重；

β_j^{p0} ——第 j 个底层失效可能性影响因素权重；

n ——第 j 个底层影响因素数量。

7.3 失效可能性分值

失效可能性分值应根据底层影响因素失效可能性分值、底层影响因素权重和中间层影响因素权重，按式（3）计算。

$$P^f = \sum_{i=1}^m \alpha_i^p \left[\sum_{j=1}^n (\beta_j^p \times p_j) \right] \dots\dots\dots (3)$$

式中：

P^f ——失效可能性分值；

α_i^p ——第 i 个调整后的中间层失效可能性影响因素权重；

β_j^p ——第 j 个调整后的底层失效可能性影响因素权重；

p_j ——第 j 个底层失效可能性影响因素总分值；

m ——第 i 个中间层影响因素数量；

n ——第 j 个底层影响因素数量。

7.4 失效可能性等级

失效可能性等级划分应按表 1 的规定执行。

表 1 失效可能性等级划分

失效可能性等级	失效可能性分值 P^f
P1	$P^f < 40$
P2	$40 \leq P^f < 60$
P3	$60 \leq P^f < 80$
P4	$80 \leq P^f \leq 100$

8 失效后果严重性评估

8.1 底层影响因素分值

8.1.1 根据收集的资料，对照底层影响因素各调查项目，确定底层影响因素分值。当某调查项目影响因素失效后果严重性不存在时，其评分分值为 0。

8.1.2 底层影响因素失效后果严重性调查项目及评分分值应按附录 C 的规定执行。

8.1.3 按式（4）分别计算 15 项底层影响因素失效后果严重性分值。

$$c_j = \sum_{l=1}^q s_l^j \dots\dots\dots (4)$$

式中：

c_j ——第 j 个底层影响因素失效后果严重性总分值；

s_l^j ——第 j 个底层影响因素第 l 个调查项目分值；

q ——第 j 个底层影响因素调查项目数量。

8.2 影响因素权重

8.2.1 中间层和底层影响因素权重应按附录 B 的规定执行。

8.2.2 当部分底层影响因素失效后果严重性分值为 0 时，应对表 B.2 的底层影响因素权重和中间层影响因素权重进行调整，并按式（5）计算。

$$\alpha_i^c = \frac{\alpha_i^{c0}}{\sum_{i=1}^m \alpha_i^{c0}} \text{ 或 } \beta_j^c = \frac{\beta_j^{c0}}{\sum_{j=1}^n \beta_j^{c0}} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

α_i^c ——第 i 个调整后的中间层失效后果严重性影响因素权重；

α_i^{c0} ——第 i 个中间层失效后果严重性影响因素权重；

m ——第 i 个中间层影响因素数量；

β_j^c ——第 j 个调整后的底层失效后果严重性影响因素权重；

β_j^{c0} ——第 j 个底层失效后果严重性影响因素权重；

n ——第 j 个底层影响因素数量。

8.3 失效后果严重性分值

失效后果严重性分值应根据底层影响因素失效可能性分值、底层影响因素权重和中间层影响因素权重，按式（6）计算。

$$C^f = \sum_{i=1}^m \alpha_i^c \left[\sum_{j=1}^n (\beta_j^c \times c_j) \right] \dots \dots \dots (6)$$

- 式中：
- C^f ——失效后果严重性分值；
 - α_i^c ——第 i 个调整后的中间层失效后果严重性影响因素权重；
 - β_j^c ——第 j 个调整后的底层失效后果严重性影响因素权重；
 - c_j ——第 j 个底层失效后果严重性影响因素总分值；
 - m ——第 i 个中间层影响因素数量；
 - n ——第 j 个底层影响因素数量。

8.4 失效后果严重性等级

失效后果严重性等级划分应按表2的规定执行。

表 2 失效后果严重性等级划分

失效后果严重性等级	失效后果严重性分值 C^f
C1	$C^f < 20$
C2	$20 \leq C^f < 70$
C3	$70 \leq C^f < 80$
C4	$80 \leq C^f \leq 100$

9 安全等级划分及分类管理

9.1 安全等级划分

- 9.1.1 安全等级划分应根据失效可能性等级（分值）和失效后果严重性等级（分值）按表3的规定执行，安全等级划分的原则见附录D。
- 9.1.2 全部底层影响因素分值不为0的安全评估算例见附录E，部分底层影响因素分值为0的安全评估算例见附录F。

表 3 安全等级划分

失效后果严重性等级	失效可能性等级			
	P1 ($P^f < 40$)	P2 ($40 \leq P^f < 60$)	P3 ($60 \leq P^f < 80$)	P4 ($80 \leq P^f \leq 100$)
C1 ($C^f < 20$)	S1	S2	S2	S2
C2 ($20 \leq C^f < 70$)	S2	S2	S3	S3
C3 ($70 \leq C^f < 80$)	S2	S3	S3	S4
C4 ($80 \leq C^f \leq 100$)	S3	S4	S4	S4

9.2 安全等级分类管理

9.2.1 安全等级为 S4 级的管道表示存在重大安全风险，应在下个采暖季前按安全评估报告提出的建议措施完成整改，并应重新进行安全评估。

9.2.2 安全等级为 S3 级的管道表示存在一定安全风险，应在 3 年内按安全评估报告提出的建议措施完成整改，并应重新进行安全评估。

9.2.3 安全等级为 S2 级的管道表示存在较小安全风险，应在 5 年内按安全评估报告提出的建议措施完成整改，并应重新进行安全评估。

9.2.4 安全等级为 S1 级的管道表示有一定安全裕度，可正常运行管理。

10 安全评估报告编制

10.1 安全评估报告应包含项目概况、资料汇总、评估过程、评估结论和建议。

10.2 安全评估报告格式应按 AQ8001-2007 的规定执行。

附录 A

(规范性)

底层影响因素失效可能性评分

A.1 设计及自身缺陷

A.1.1 管道缺陷调查项目与评分分值见表 A.1。

表 A.1 管道缺陷调查项目与评分分值

序号	调查项目	分值
1	未采用符合国家、行业标准或规范的管道	16
2	无针对管道缺陷的管理制度或管理措施	6
3	文档管理制度不完善, 存在管道出厂质量文件缺失的问题	6
4	管道结构设计不合理	14
5	管道存在制造缺陷	14
6	存在老旧管道, 且未进行有效检测	10
7	利旧管道选材不当或不符合现行规范要求	12
8	管道存在剧烈振动	12
9	管道运行纪录偏离设计值 (如超温超压)	10
合计 (满分)		100
注: 本标准的评估所需数据或信息, 应优先推荐采用相关书面资料或现场现状所提供的有关信息, 当以上相关资料缺乏时, 推荐选择现场人员或专家的实践经验, 最后, 当以上条件均无法满足时, 可采用同行业的类似经验或保守估测结果。以下各表填写过程中均遵守上述原则。		

A.1.2 管道附件缺陷调查项目与评分分值见表 A.2。

表 A.2 管道附件缺陷调查项目与评分分值

序号	调查项目	分值
1	未采用符合国家、行业标准或规范的管道附件	15
2	无针对管道附件缺陷的管理制度或管理措施	6
3	补偿器、支座 (架) 存在设计不合理或制造不规范	12
4	法兰、关断阀、排气阀、疏水阀、泄水阀等设计不符合规范要求	6
5	安全阀存在设计不合理问题或制造缺陷	9
6	补偿器本体或结构件热变形异常, 存在明显弯曲、压缩、拉伸变形, 以及焊缝开裂等状况	15
7	支座 (架)、固定节、旁通阀、弯头、三通、异径管、法兰等存在缺陷	6
8	关断阀、排气阀、泄水阀、疏水阀等存在缺陷 (如关闭不严等) 或已无法使用	6
9	无针对法兰和排气阀、泄水阀或疏水阀的隐患记录或记录不完整	6
10	管道附件存在剧烈振动	12
11	管道附件运行纪录偏离设计值 (如超温超压)	7
合计 (满分)		100

A.2 安装施工缺陷

A.2.1 管道本体安装施工质量缺陷调查项目与评分分值见表 A.3。

表 A.3 管道本体安装施工质量缺陷调查项目与评分分值

序号	调查项目	分值
1	未按施工图纸施工（如改变路由、改变敷设方式、改变管径、改变坡度、转角、接头发泡等）	25
2	施工后未进行竣工验收即投用	12
3	施工后未完好恢复附属设施即投用	12
4	预制保温管接口未进行工序验收且未进行气密性试验	12
5	焊缝存在超标缺陷	14
6	焊缝仅存在未超标缺陷，但数量较多且仍继续使用	7
7	管道施工过程中存在强制对接的情况	6
8	管道出厂质检材料不完备即进行施工安装	4
9	施工、维修过程中出现破坏防腐层、外护层但未做修复即投用	4
10	施工、维修过程中出现破坏保温层但未做修复即投用	4
合计（满分）		100

A.2.2 管道敷设施工质量缺陷调查项目与评分分值见表 A.4。

表 A.4 管道敷设施工质量缺陷调查项目与评分分值

序号	调查项目	分值
1	管道敷设埋深未达到设计规范要求	17
2	管道敷设时，发现土壤土质情况与前期地勘报告有差异	26
3	管道基础未按要求进行加固和地基处理	8
4	管道周围存在或新增植被	19
5	管道周围未按要求进行回填和夯实	8
6	直埋管道上方未覆盖警示带	8
7	管道结构施工未按设计规范要求即投入使用 注：管道结构易发生沉降、开裂等现象	8
8	管道竣工资料不完整。	6
合计（满分）		100

A.2.3 管道附件安装施工质量缺陷调查项目与评分分值见表 A.5。

表 A.5 管道附件安装施工质量缺陷调查项目与评分分值

序号	调查项目	分值
1	管道附件安装质量未按相关标准进行严格控制即投入使用	53
2	当管道附件与管道材料不同时，对其之间可能存在的严重且快速的腐蚀问题，或异种材料焊接缺陷问题未进行有效识别	28
3	在施工质量验收时对管道附件未有明确的质量管控措施	13
4	管道附件竣工资料不完整。	6
合计（满分）		100

A.3 运行管理缺陷

A.3.1 隐患识别情况调查项目与评分分值见表 A.6。

表 A.6 隐患识别情况调查项目与评分分值

序号	调查项目	分值
1	未制订隐患判断标准	25

2	对管道发生泄漏无有效的监测手段	20
3	未设置运行温度异常的监测或报警装置	10
4	未设置运行压力异常的监测或报警装置	10
5	未设置运行流量的监测或报警装置	10
6	未设置补水量异常的监测或报警装置	10
7	未进行定期巡检，包括未定期进行补偿器伸缩量观测、未定期进行滑动支座位移量观测等	15
合计（满分）		100

A.3.2 运行处置情况调查项目与评分分值见表 A.7。

表 A.7 运行处置情况调查项目与评分分值

序号	调查项目	分值
1	未制订或执行运行管理规程	10
2	无运行温度异常的处置措施	10
3	无运行压力异常的处置措施	10
4	无运行流量异常的处置措施	10
5	无补水量异常的处置措施	10
6	无水质异常的处置措施	10
7	管道曾出现过严重水锤现象	15
8	管网内介质温度变化幅度未按调度指令所要求的幅度执行	10
9	安全阀未按规定定期校验	10
10	关断阀、疏水阀、放水阀等工作状态未定期进行排查判断	5
合计（满分）		100

A.4 维修管理缺陷

A.4.1 维修计划及执行有效性调查项目与评分分值见表 A.8。

表 A.8 维修计划及执行有效性调查项目与评分分值

序号	调查项目	分值
1	未制订维修计划	18
2	在制订计划过程中，检验单位未及时向运行单位提供缺陷和潜在隐患信息	8
3	制订计划时未参考检验单位的意见	8
4	制订计划时未参考运行单位的缺陷管理信息	8
5	在维修执行过程中，原计划的部分维修内容无法执行	16
6	维修计划经常由于因各种原因部分或整体被迫延期实施	8
7	存在有明显缺陷而无法处理的情况	16
8	对于焊接缺陷未采取及时的检验和修复措施	10
9	缺乏正式的缺陷记录及措施，如缺陷管理台账等	8
合计（满分）		100

A.4.2 维修质量调查项目与评分分值见表 A.9。

表 A.9 维修质量调查项目与评分分值

序号	调查项目	分值
1	未执行维修技术规程	34
2	维修过程中缺少质量检验和管控	22

3	维修后未进行验收即投入运行	22
4	未对采取的应急或临时措施制订后续专项整改处置方案	22
合计（满分）		100

A.5 外力破坏

A.5.1 人为因素调查项目与评分分值见表 A.10。

表 A.10 人为因素调查项目与评分分值

序号	调查项目	分值
1	管道、结构或周边土壤发生局部沉降	14
2	管道穿越公路段出现公路承载增加	12
3	管道上方或周围经常发生第三方施工作业且运行单位无法有效监管	12
4	管道上方或周围移运土层、冻土层厚度变化	14
5	管道上方或周围进行挖掘作业且无法进行有效管控	14
6	管道上方堆积重物且无法进行有效管控	10
7	管道上方存在建筑物、构筑物占压	10
8	外来水侵蚀管道或破坏管道土层结构	14
合计（满分）		100

A.5.2 自然因素调查项目与评分分值见表 A.11。

A.11 自然因素调查项目与评分分值

序号	调查项目	分值
1	地震烈度发生变化	25
2	管道穿越地区存在台风经常性袭扰	25
3	管道穿越地区存在洪水风险	25
4	管道穿越地区存在泥石流滑坡风险或发生过类似灾害	25
合计（满分）		100

A.6 腐蚀/结垢

A.6.1 服役时间调查项目与评分分值见表 A.12。

表 A.12 服役时间调查项目与评分分值

序号	调查项目		分值
1	管道超期服役 注：管道使用时间超过设计寿命		25
2	管道使用年限 y	≤10	(8)
		11~20	(13)
		21~30	(20)
		>30	25
3	有检测、实验数据证明管道平均减薄速率≥0.254mm/y		25
4	3年内管道抢修频次 次	1	(5)
		2	(15)
		≥3	25
合计（满分）			100

A.6.2 冲蚀或结垢调查项目与评分分值见表 A.13。

表 A.13 冲蚀或结垢调查项目与评分分值

序号	调查项目	分值
----	------	----

1	管道发生过内部结垢	9
2	无针对结垢问题进行日常监测工作	24
3	管道存在因走向形成的低点或拐点部位	16
4	管道结垢淤堵引发压力明显波动	11
5	管道直径 DN300 以下的管道曾发生过结垢、内部介质长期不流动或流量波动大等问题	10
6	管道存在停用、长期不流动的管段、盲端等	11
7	管道使用前未经过冲洗清理	9
8	管道内曾经发现过生物粘泥或泥沙	10
合计（满分）		100

A. 6.3 保护层、保温层和防腐层失效腐蚀调查项目与评分分值见表 A.14。

表 A.14 保护层、保温层和防腐层失效调查项目与评分分值

序号	调查项目	分值
1	管道及其管道附件保护层破损	14
2	管道及其管道附件保温层失效	9
3	未定期进行保护层及防腐层破损，保温层厚度、密度、吸水率等抽查检验	9
4	架空管道存在入地管段	3
5	直埋管道周边存在高压电缆通过	3
6	直埋管道周边存在地铁	3
7	保温管道长期浸泡在水中	14
8	穿墙部位管道、管道盲端未加保温或未采取密封保护措施	11
9	检查室、管沟、穿墙部位漏水	11
10	管道曾发生过严重外腐蚀	18
11	管沟、检查室长期积水	5
合计（满分）		100

A. 6.4 运行介质腐蚀调查项目与评分分值见表 A.15。

表 A.15 运行介质腐蚀调查项目与评分分值

序号	调查项目	分值
1	未制订管网循环水水质管理制度	13
2	未制订管网补水水质管理制度	15
3	运行介质未进行含氧量监测或监测到管网水质含氧量升高现象	18
4	运行操作中，存在使用自来水等非处理水进行补水的情况	18
5	为满足负荷增大需求而提高管网运行温度	5
6	管网水中曾发现大量滋生的藻类或细菌	9
7	因工况不稳定造成温度波动频繁	9
8	非供热期未进行保压水养护	10
9	运行介质无定期检测报告	3
合计（满分）		100

附 录 B
(规范性)
中间层和底层影响因素权重

B.1 中间层和底层影响因素失效可能性权重见表 B.1。

表 B.1 中间层和底层影响因素失效可能性权重

影响因素		权重		对应评分表
		底层 β_j^{p0}	中间层 α_i^{p0}	
设计及自身缺陷	管道缺陷	0.65	0.16	表 A.1
	管道附件缺陷	0.35		表 A.2
安装施工缺陷	管道本体安装施工质量缺陷	0.12	0.27	表 A.3
	管道敷设施工质量缺陷	0.56		表 A.4
	管道附件安装施工质量缺陷	0.32		表 A.5
运行管理缺陷	隐患识别情况	0.83	0.10	表 A.6
	运行处置情况	0.17		表 A.7
维修管理缺陷	维修计划及其执行有效性	0.67	0.09	表 A.8
	维修质量	0.33		表 A.9
外力破坏	人为因素	0.60	0.04	表 A.10
	自然因素	0.40		表 A.11
腐蚀/结垢	服役时间	0.06	0.34	表 A.12
	冲蚀或结垢	0.23		表 A.13
	保护层、保温层和防腐层失效	0.57		表 A.14
	运行介质腐蚀	0.14		表 A.15

B.2 中间层和底层影响因素失效后果严重性权重见表 B.2。

表 B.2 中间层和底层影响因素失效后果严重性权重

影响因素		权重		对应评分表
		底层 β_j^{c0}	中间层 α_i^{c0}	
人员伤亡	经过区域人口密度	0.07	0.167	表 C.1
	经过地下或低洼空间	0.17		表 C.2
	次生灾害危险程度	0.29		表 C.3
	泄漏监测与防控能力	0.47		表 C.4
环境破坏	环境敏感区域	0.08	0.167	表 C.5
	次生灾害环境威胁	0.23		表 C.6
	泄漏监测与防控能力	0.69		表 C.7
经济损失	居民财产损失	0.09	0.167	表 C.8
	公共财产损失	0.27		表 C.9
	泄漏监测与防控能力	0.64		表 C.10
社会影响	居民生活影响范围	0.26	0.499	表 C.11
	交通中断	0.05		表 C.12
	社会焦点或敏感区域	0.16		表 C.13
	次生灾害影响范围	0.10		表 C.14
	泄漏监测与防控能力	0.43		表 C.15

附录 C

(规范性)

底层影响因素失效后果严重性评分

C.1 人员伤亡

C.1.1 管道经过区域人口密度调查项目与评分分值见表 C.1。

表 C.1 人口密度调查项目内容与评分分值

序号	调查项目		分值
1	管道上方有建筑（构）物占压并可能导致人员或设施受到影响	介质为热水	25
		介质为蒸汽	（10）
2	管道经过同一时间内聚集人数超过 50 人的公共活动场所	介质为热水	25
		介质为蒸汽	（10）
3	管道经过交通主要干线	介质为热水	25
		介质为蒸汽	（10）
4	管道直径 DN mm	≤200	（8）
		201～500	（12）
		501～800	（15）
		801～1000	（20）
		>1000	25
合计（满分）			100

C.1.2 管道经过地下或低洼空间调查项目与评分分值见表 C.2。

表 C.2 地下或低洼空间调查项目与评分分值

序号	调查项目		分值
1	管道与其他市政设施的安全间距不符合规范		30
2	管道在地下商场或车库等空间内敷设		30
3	管道附近有地下通道、公路低洼地段、桥下涵洞		15
4	管道直径 DN mm	≤200	(8)
		201~500	(12)
		501~800	(15)
		801~1000	(20)
		>1000	25
合计（满分）			100

C.1.3 管道次生灾害危险程度调查项目与评分分值见表 C.3。

表 C.3 次生灾害危险程度调查项目与评分分值

序号	调查项目		分值
1	无周期性的次生灾害的影响评估制度和管理文件		20
2	热力管道与其他相邻管道达不到规范要求的安全距离		20
3	热力管道与燃气等易燃易爆类管道存在重叠交错的区域，可能引发其发生次生人身伤害		25
4	热力管道与电力输配线路存在重叠交错的区域，可能引发其发生次生人身伤害		10
5	次生灾害管道的直径 DN mm	≤200	(7)
		201~500	(12)
		501~800	(15)

		801~1000	(20)
		>1000	25
合计（满分）			100

C.1.4 人员伤害相关的泄漏监测与防控能力调查项目与评分分值见表 C.4。

表 C.4 人员伤害相关的泄漏监测与防控能力调查项目与评分分值

序号	调查项目	分值	
1	对于泄漏事故无有效的控制措施，或有措施但未形成明确的健康、安全与环境管理体系（HSE）管理文件（有在线泄漏监控）	（4）	
	对于泄漏事故无有效的控制措施，或有措施但未形成明确的健康、安全与环境管理体系（HSE）管理文件（无在线泄漏监控）	8	
2	无热力管道事故可能导致的人员伤亡评估文件，包括人员烫伤、冲击伤害等	20	
3	无针对人身伤害事故的应急预案	15	
4	未定期组织应急演练	15	
5	存在事故无法及时处理的局部管道	12	
6	管道直径 DN300 以下，且存在 DN50 以下的支管	6	
7	泄漏响应及时性 min	≤30	（7）
		31～60	（10）
		61～120	（12）
		>120	17
8	每次事故/事件之后，未进行事故/事件分析和调查		7
合计（满分）			100

C.2 环境破坏

C.2.1 环境敏感区域调查项目与评分分值见表 C.5。

表 C.5 环境敏感区域调查项目与评分分值

序号	调查项目		分值
1	无 HSE 文件		28
2	周边存在自然保护区		20
3	周边存在自来水厂或水源地，可能造成无法供给干净可用饮用水		18
4	周边存在农业生产用地或绿地		12
5	生活用水供水停水影响范围 户	≤1000	(7)
		1001~5000	(12)
		5001~10000	(17)
		>10000	22
合计（满分）			100

C.2.2 次生灾害环境威胁调查项目与评分分值见表 C.6。

表 C.6 次生灾害环境威胁调查项目与评分分值

序号	调查项目		分值
1	无周期性的次生灾害的影响评估制度和管理文件		20
2	热力管道与其他相邻管道达不到安全距离		20
3	热力管道与燃气等易燃易爆类管道存在重叠交错的区域，可能引发其发生次生人身伤害		25
4	热力管道与电力输配线路存在重叠交错的区域，可能引发其发生次生人身伤害		10

5	次生环境威胁会扩展或影响到的范围	扩展或影响到周边区域	(7)
		扩展或影响到全市区域	(12)
		扩展或影响到其他城市	(22)
		扩展并产生国际影响	25
合计（满分）			100

C.2.3 环境破坏相关的泄漏监测与防控能力调查项目与评分分值见表 C.7。

表 C.7 环境破坏相关的泄漏监测与防控能力调查项目与评分分值

序号	调查项目		分值
1	对于泄漏事故，无有效的控制措施，或有措施但未形成明确的 HSE 文件（有在线泄漏监控）		（4）
	对于泄漏事故，无有效的控制措施，或有措施但未形成明确的 HSE 文件（无在线泄漏监控）		8
2	无热力管道事故可能导致的环境破坏评估文件，包括污染等级、环保罚金等		20
3	无针对泄漏环境污染控制的应急预案		15
4	未定期组织应急演练		15
5	存在事故无法及时处理的局部管道		12
6	管道直径 DN300 以下，且存在 DN50 以下的支管		6
7	如泄漏不能事前预防，事后发现的及时性 min	≤30	（7）
		31～60	（10）
		61～120	（12）
		>120	17
8	每次事故/事件之后，未进行事故/事件分析和调查		7
合计（满分）			100

C.3 经济损失

C.3.1 居民财产损失调查项目与评分分值见表 C.8。

表 C.8 居民财产损失调查项目与评分分值

序号	调查项目		分值
1	管道泄漏冲刷作用下会造成附近居民建筑物、地面设施的地基土壤流失，导致该设施破坏或浸泡物品损失		20
2	管道与居民建筑之间安全距离不足时，供热介质的影响	介质为热水	(10)
		介质为蒸汽	25
3	管道引发的次生灾害，可造成居民财产的附加经济损失		15
4	无热力管道事故可能导致的其他居民经济损失的评估文件		15
5	管道直径 DN mm	≤200	(7)
		201～500	(12)
		501～800	(15)
		801～1000	(20)
		>1000	25
合计（满分）			100

C.3.2 公共财产损失调查项目与评分分值见表 C.9。

表 C.9 公共财产损失调查项目与评分分值

序号	调查项目	分值
----	------	----

1	管道泄漏冲刷作用下会造成附近公共建筑物、地面设施的地基土壤流失，导致该设施破坏或浸泡物品损失		20
2	管道与公共建筑之间安全距离不足时，供热介质的影响	介质为热水	(10)
		介质为蒸汽	25
3	管道引发的次生灾害，可造成公共财产的附加经济损失		15
4	无热力管道事故可能导致的其他公共经济损失的评估文件		15
5	管道直径 DN mm	≤200	(7)
		201～500	(12)
		501～800	(15)
		801～1000	(20)
		>1000	25
合计（满分）			100

C.3.3 经济损失相关的泄漏监测与防控能力调查项目与评分分值见表 C.10。

表 C.10 经济损失相关的泄漏监测与防控能力调查项目与评分分值

序号	调查项目	分值
1	对于泄漏事故，无有效的控制措施，或有措施但未形成明确的 HSE 文件（有在线泄漏监控）	(4)
	对于泄漏事故，无有效的控制措施，或有措施但未形成明确的 HSE 文件（无在线泄漏监控）	8
2	无热力管道事故可能导致的经济损失的评估文件，包括直接经济损失、间接经济损失等	20
3	无针对减少经济损失的应急预案	15
4	未定期组织应急演练	15
5	存在事故无法及时处理的局部管道	12
6	管道直径 DN300 以下，且存在 DN50 以下的直径支管	6
7	如泄漏不能事前预防，事后发现的及时性 min	≤30 (7)
		31~60 (10)
		61~120 (12)
		>120 17
8	每次事故/事件之后，未进行事故/事件分析和调查	7
合计（满分）		100

C.4 社会影响

C.4.1 居民生活影响范围调查项目与评分分值见表 C.11。

表 C.11 居民生活影响范围调查项目与评分分值

序号	调查项目	分值
1	无热力管道事故可能导致的社会及居民生活影响评估文件，包括居民取暖、堵塞交通等	25
2	居民日常生活保障受到影响	10
3	停热影响面积 万 m ²	≤20 (12)
		21~100 (25)
		101~500 (30)
		>500 35
4	停热后恢复供热所需时间 h	≤8 (7)
		9~24 (17)

		25~72	(25)
		>72	30
合计（满分）			100

C.4.2 交通中断调查项目与评分分值见表 C.12。

表 C.12 交通中断调查项目与评分分值

序号	调查项目		分值
1	存在可能导致破坏路面的隐患		13
2	管道经过主干道		17
3	受影响的干道性质	属于城乡区域	(7)
		属于市内中心区	(12)
		属于省际公路	20
4	受影响的干道恢复通车时间 h	≤3	(7)
		4~12	(20)
		13~24	(30)
		25~48	(35)
		>48	50
合计（满分）			100

C.4.3 社会焦点或敏感区域调查项目与评分分值见表 C.13。

表 C.13 社会焦点或敏感区域调查项目与评分分值

序号	调查项目	分值
1	将有可能造成文物、古建筑等重要文化设施的破坏	30
2	受影响区域包括政府机关	15
3	受影响区域包括学校、医院	15
4	受影响区域包括军事单位	15
5	受影响区域包括涉外领区	15
6	受影响区域包括容易引发社会舆论影响的其他区域	10
合计（满分）		100

C.4.4 次生灾害影响范围调查项目与评分分值见表 C.14。

表 C.14 次生灾害影响范围调查项目与评分分值

序号	调查项目		分值
1	无周期性的次生灾害的对社会影响的评估制度和管理文件		20
2	热力管道与其他相邻管道达不到安全距离		20
3	可能导致危化品设施发生次生灾害导致更为严重的社会影响		20
4	可能导致供水、供电等设施发生次生灾害导致更为严重的社会影响		10
5	可能导致通讯设施发生次生灾害导致更为严重的社会影响		(5)
6	次生灾害所影响用户的性质	涉及公建用户	(5)
		涉及居民用户	(12)
		涉及混合用户	20
		涉及重点用户	25
合计（满分）			100

C.4.5 社会影响相关的泄漏监测与防控能力调查项目与评分分值见表 C.15。

表 C.15 社会影响相关的泄漏监测与防控能力调查项目与评分分值

序号	调查项目		分值
1	对于泄漏事故，无有效的控制措施，或有措施但未形成明确的 HSE 文件（有在线泄漏监控）		（4）
	对于泄漏事故，无有效的控制措施，或有措施但未形成明确的 HSE 文件（无在线泄漏监控）		8
2	无热力管道事故可能导致的社会影响、热力企业名誉损失评估材料，包括社会恐慌、热力企业名誉损失等		20
3	无针对减少社会影响的应急预案		15
4	未定期组织应急演练		15
5	存在事故无法及时处理的局部管道		12
6	管道直径 DN300 以下，且存在 DN50 以下的支管		6
7	如泄漏不能事前预防，事后发现的及时性 min	≤30	（7）
		31～60	（10）
		61～120	（12）
		>120	17
8	每次事故/事件之后，未进行事故/事件分析和调查		7
合计（满分）			100

附录 D

(资料性)

安全等级划分原则

D.1 安全等级分值的计算方法

安全等级分值应按式 (D.1) 计算:

$$R^f = P^f \times C^f \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

R^f ——安全等级分值;

P^f ——失效可能性分值;

C^f ——失效后果严重性分值。

D.2 安全等级的划分原则

D.2.1 安全等级按最低合理可行 (ALARP) 原则进行划分。

D.2.2 首先区分高危险 (S4级安全等级) 和低危险 (S1级安全等级) 管道, 并且考虑到热力管道管理中更加关注后果严重性, 从而增加了失效后果严重性的权重, 因此对高失效后果严重性的考虑应更为保守, 以 R^f 分值 5000 作为安全等级 S4 级的临界值; 并以 R^f 分值的数量级为划分标准, 设立 2 个中间过度安全等级, 则安全等级 S1 级的临界值应较 S4 级低 2 个数量级, 因此以 R^f 分值 50 作为安全等级 S1 级临界值, 在如表 3 所示的 4×4 表格中分别对应画出安全等级 S4 级和 S1 级的临界线, S4 级的临界线右下方即为 S4 级区域, S1 的临界线左上方即为 S1 级区域, S4 级与 S1 级之间划分为 2 个过度等级 S3 级和 S2 级, 最终将安全等级分为 4 个等级。

附录 E

(资料性)

全部底层影响因素分值不为 0 的安全评估算例

E.1 被评估项目基本情况

被评估管道为学校、古建寺庙供暖，且被评估热力管道存在保温层破损、保温层低点存水、雨水淹没检查室、外腐蚀、穿墙段管道无保护等问题。

E.2 管道失效可能性分值计算

E.2.1 底层影响因素失效可能性

E.2.1.1 按表A.14的规定进行调查与评分，保护层、保温层和防腐层失效调查项目与评分分值见表E.1。

表 E.1 保护层、保温层和防腐层失效调查项目与评分分值

序号	调查项目	分值	是 (√) 否 (×)	得分
1	管道及其管道附件保护层破损	14	√	14
2	管道及其管道附件保温层失效	9	√	9
3	未进行保护层、保温层厚度、防腐层、密度、吸水率等抽查检验	9	×	0
4	存在架空管道入地管段	3	×	0
5	直埋管道周边存在高压电缆通过	3	×	0
6	直埋管道周边存在地铁	3	√	3
7	保温管道长期浸泡在水中	14	√	14
8	穿墙部位管道盲端未加保温或未采取外包覆保护	11	√	11
9	检查室、管沟、穿墙部位漏水	11	√	11
10	管道曾发生过严重外腐蚀	18	×	0
11	管沟、检查室长期积水	5	×	0
合计				62

E.2.1.2 按E.2.1.1的方法，完成全部底层影响因素失效可能性的调查与评分，评分分值见表E.2。

表 E.2 失效可能性影响因素分值与权重

影响因素		底层		中间层权重 α_i^{p0}
中间层	底层	评分分值	权重 β_j^{p0}	
设计及自身缺陷	管道缺陷	60	0.65	0.16
	管道附件缺陷	62	0.35	
安装施工缺陷	管道本体安装施工质量缺陷	65	0.12	0.27
	管道敷设施工质量缺陷	69	0.56	
	管道附件安装施工质量缺陷	71	0.32	
运行管理缺陷	隐患识别情况	66	0.83	0.10
	运行处置情况	64	0.17	
维修管理缺陷	维修计划及其执行有效性	77	0.67	0.09
	维修质量	55	0.33	
外力破坏	人为因素	43	0.60	0.04

	自然因素	25	0.40	
腐蚀/结垢	服役时间	70	0.06	0.34
	冲蚀或结垢	55	0.23	
	保护层、保温层和防腐层失效	62	0.57	
	运行介质腐蚀	66	0.14	

E.2.2 中间层和底层影响因素权重

E.2.2.1 由于被评估管道全部底层影响因素分值均不为0，故中间层影响因素权重和底层影响因素权重直接使用B.1中的值。

E.2.2.2 将各影响因素的分值及权重进行对应整理，失效可能性影响因素分值与权重见表E.2。

E.2.3 中间层影响因素的分值

按式（3）计算中间层影响因素的分值，计算结果如下：

- a) 设计及自身缺陷： $0.65 \times 60 + 0.35 \times 62 = 60.7$ ；
- b) 安装施工缺陷： $0.12 \times 65 + 0.56 \times 69 + 0.32 \times 71 = 69.16$ ；
- c) 运行管理缺陷： $0.83 \times 66 + 0.17 \times 64 = 65.66$ ；
- d) 维修管理缺陷： $0.67 \times 77 + 0.33 \times 55 = 69.74$ ；
- e) 外力破坏： $0.60 \times 43 + 0.40 \times 25 = 35.8$ ；
- f) 腐蚀/结垢： $0.06 \times 70 + 0.23 \times 55 + 0.57 \times 62 + 0.14 \times 66 = 61.23$ 。

E.2.4 失效可能性等级

E.2.4.1 按式（3）计算管道失效可能性分值为：

$$P^f = 0.16 \times 60.7 + 0.27 \times 69.16 + 0.10 \times 65.66 + 0.09 \times 69.74 + 0.04 \times 35.8 + 0.34 \times 61.23 = 63.55。$$

E.2.4.2 按表1的规定，管道失效可能性等级为P3级。

E.3 管道失效后果严重性分值计算

E.3.1 底层影响因素失效后果严重性

E.3.1.1 按表 C.13 的规定进行调查与评分，社会焦点或敏感区域调查项目与评分分值见表E.3。

表 E.3 社会焦点或敏感区域调查项目与评分分值

序号	调查项目	分值	是 (√) 否 (×)	得分
1	将有可能造成文物、古建筑等重要文化设施的破坏	30	√	30
2	受影响区域包括政府机关	15	×	0
3	受影响区域包括学校、医院	15	√	15
4	受影响区域包括军事单位	15	×	0
5	受影响区域包括涉外领区	15	×	0
6	受影响区域包括容易引发社会舆论影响的其他区域	10	×	0
	合计			45

E.3.1.2 按E.3.1.1的方法，完成全部底层影响因素失效后果严重性的调查与评分，评分分值见表E.4。

表 E.4 失效后果严重性影响因素分值与权重

影响因素	底层		中间层权重 α_i^{c0}
	评分分值	权重 β_j^{c0}	

人员伤亡	经过区域人口密度	75	0.07	0.167
	经过地下或低洼空间	45	0.17	
	次生灾害危险程度	45	0.29	
	泄漏监测与防控能力	46	0.47	
环境破坏	环境敏感区域	50	0.08	0.167
	次生灾害环境威胁	47	0.23	
	泄漏监测与防控能力	46	0.69	
经济损失	居民财产损失	65	0.09	0.167
	公共财产损失	70	0.27	
	泄漏监测与防控能力	46	0.64	
社会影响	居民生活影响范围	67	0.26	0.499
	交通中断	72	0.05	
	社会焦点或敏感区域	45	0.16	
	次生灾害影响范围	70	0.10	
	泄漏监测与防控能力	46	0.43	

E.3.2 中间层和底层影响权重

E.3.2.1 由于被评估管道全部底层影响因素分值均不为0，故中间层影响因素权重和底层影响因素权重直接使用B.2中的值。

E.3.2.2 将各影响因素的分值及权重进行对应整理，失效后果严重性影响因素分值与权重见表E.4。

E.3.3 中间层影响因素的分值

按式（6）计算中间层影响因素的分值，计算结果如下：

a) 人员伤亡： $0.07 \times 75 + 0.17 \times 45 + 0.29 \times 45 + 0.47 \times 46 = 47.57$ ；

b) 环境破坏： $0.08 \times 50 + 0.23 \times 47 + 0.69 \times 46 = 46.55$ ；

c) 经济损失： $0.09 \times 65 + 0.27 \times 70 + 0.64 \times 46 = 54.19$ ；

d) 社会影响： $0.26 \times 67 + 0.05 \times 72 + 0.16 \times 45 + 0.10 \times 70 + 0.43 \times 46 = 55.00$ ；

E.3.4 失效后果严重性等级

E.3.4.1 按式（6）计算失效后果严重性分值为：

$$C^f = 0.167 \times 47.57 + 0.167 \times 46.55 + 0.167 \times 54.19 + 0.499 \times 55 = 52.21。$$

E.3.4.2 按表2的规定，管道失效后果严重性等级为C2级。

E.4 管道安全等级

根据计算得到的失效可能性等级和失效后果严重性等级，按表3的规定，管道安全等级为S3级，为较小安全风险。

附录 F

(资料性)

部分底层影响因素分值为 0 的安全评估算例

F.1 被评估项目基本情况

被评估管道为学校、古建寺庙供暖，且被评估热力管道存在保温层破损、保温层低点存水、雨水淹没检查室、外腐蚀、穿墙段管道无保护等问题。

F.2 管道失效可能性分值计算

F.2.1 底层影响因素失效可能性

F.2.1.1 按表A.14的规定进行调查与评分，保护层、保温层和防腐层失效调查项目与评分分值见表F.1。

表 F.1 保护层、保温层和防腐层失效调查项目与评分分值

序号	调查项目	分值	是 (√) 否 (×)	得分
1	管道及其管道附件保护层破损	14	√	14
2	管道及其管道附件保温层失效	9	√	9
3	未进行保护层、保温层厚度、防腐层、密度、吸水率等抽查检验	9	×	0
4	存在架空管道入地管段	3	×	0
5	直埋管道周边存在高压电缆通过	3	×	0
6	直埋管道周边存在地铁	3	√	3
7	保温管道长期浸泡在水中	14	√	14
8	穿墙部位管道盲端未加保温或未采取外包覆保护	11	√	11
9	检查室、管沟、穿墙部位漏水	11	√	11
10	管道曾发生过严重外腐蚀	18	×	0
11	管沟、检查室长期积水	5	×	0
合计				62

F.2.1.2 按F.2.1.1的方法，完成其他底层影响因素失效可能性的调查与评分，评分分值见表F.2。

表 F.2 失效可能性影响因素分值与权重

影响因素		底层			中间层	
		评分分值	原权重 β_j^{p0}	调整后权重 β_j^p	原权重 α_i^{p0}	调整后权重 α_i^p
设计及自身缺陷	管道缺陷	60	0.65	0.65	0.16	0.17
	管道附件缺陷	62	0.35	0.35		
安装施工缺陷	管道本体安装施工质量缺陷	65	0.12	0.12	0.27	0.28
	管道敷设施工质量缺陷	69	0.56	0.56		
	管道附件安装施工质量缺陷	71	0.32	0.32		
运行管理缺陷	隐患识别情况	66	0.83	0.83	0.10	0.11
	运行处置情况	64	0.17	0.17		
维修管理缺陷	维修计划及其执行有效性	77	0.67	0.67	0.09	0.09
	维修质量	55	0.33	0.33		

外力破坏	人为因素	0	0.60	0	0.04	0
	自然因素	0	0.40	0		
腐蚀/结垢	服役时间	70	0.06	0.07	0.34	0.35
	冲蚀或结垢	55	0.23	0.27		
	保护层、保温层和防腐层失效	60	0.57	0.66		
	运行介质腐蚀	0	0.14	0		

F.2.2 中间层和底层影响因素权重

F.2.2.1 由于被评估管道部分底层影响因素分值为0，故中间层影响因素权重和底层影响因素权重不可直接使用B.1中的值，应进行计算调整。

F.2.2.2 由于底层影响因素“运行介质腐蚀”的评分分值为0，故中间层因素“腐蚀/结垢”中底层影响因素权重应按式（2）重新计算调整如下：

- a) 服役时间： $0.06 / (0.06 + 0.23 + 0.57) = 0.07$ ；
- b) 冲蚀或结垢： $0.23 / (0.06 + 0.23 + 0.57) = 0.27$ ；
- c) 保护层、保温层和防腐层失效： $0.57 / (0.06 + 0.23 + 0.57) = 0.66$ 。

F.2.2.3 由于中间层影响因素“外力破坏”的评分分值为0，故各中间层影响因素权重应按式（2）重新计算调整如下：

- a) 设计及自身缺陷： $0.16 / (0.16 + 0.27 + 0.09 + 0.10 + 0.34) = 0.17$
- b) 安装施工缺陷： $0.27 / (0.16 + 0.27 + 0.09 + 0.10 + 0.34) = 0.28$
- c) 运行管理缺陷： $0.10 / (0.16 + 0.27 + 0.09 + 0.10 + 0.34) = 0.11$
- d) 维修管理缺陷： $0.09 / (0.16 + 0.27 + 0.34 + 0.10 + 0.09) = 0.09$
- e) 腐蚀/结垢： $0.34 / (0.16 + 0.27 + 0.34 + 0.10 + 0.09) = 0.35$

F.2.2.4 将各影响因素的分值及权重进行对应整理，失效可能性影响因素分值与权重见表F.2。

F.2.3 中间层影响因素的分值

按式（3）计算中间层影响因素的分值，计算结果如下：

- a) 设计及自身缺陷： $0.65 \times 60 + 0.35 \times 62 = 60.70$ ；
- b) 安装施工缺陷： $0.12 \times 65 + 0.56 \times 69 + 0.32 \times 71 = 69.16$
- c) 运行管理缺陷： $0.83 \times 66 + 0.17 \times 64 = 65.66$ ；
- d) 维修管理缺陷： $0.67 \times 77 + 0.33 \times 55 = 69.74$ ；
- e) 外力破坏： $0.6 \times 0 + 0.4 \times 0 = 0$
- f) 腐蚀/结垢： $0.07 \times 70 + 0.27 \times 55 + 0.66 \times 62 = 60.68$

F.2.4 失效可能性等级

F.2.4.1 按式（3）计算管道失效可能性分值为：

$$P^f = 0.17 \times 60.7 + 0.28 \times 69.16 + 0.11 \times 65.66 + 0.09 \times 69.74 + 0.35 \times 60.68 = 64.42$$

F.2.4.2 按表1的规定，管道失效可能性等级为P3级。

F.3 管道失效后果严重性分值计算

F.3.1 底层影响因素失效后果严重性

F.3.1.1 按表C.13的规定进行调查与评分，社会焦点或敏感区域调查项目与评分分值见表F.3。

表 F.3 失效后果严重性中社会焦点或敏感区域调查项目与评分表

序号	调查项目	分值	是 (√) 否 (×)	得分
1	将有可能造成文物、古建筑等重要文化设施的破坏	30	√	30
2	受影响区域包括政府机关	15	×	0
3	受影响区域包括学校、医院	15	√	15
4	受影响区域包括军事单位	15	×	0
5	受影响区域包括涉外领区	15	×	0
6	受影响区域包括容易引发社会舆论影响的其他区域	10	×	0
	合计 (累加)			45

F.3.1.2 按F.3.1.1的方法，完成其他底层影响因素失效后果严重性的调查与评分，评分分值见表F.4。

表 F.4 失效后果严重性影响因素分值与权重

影响因素		底层			中间层	
		评分分值	原权重 β_j^{c0}	调整后权重 β_j^c	原权重 α_i^{c0}	调整后权重 α_i^c
人员伤亡	经过区域人口密度	75	0.07	0.08	0.167	0.20
	经过地下或低洼空间	0	0.17	0		
	次生灾害危险程度	45	0.29	0.35		
	泄漏监测与防控能力	46	0.47	0.57		
环境破坏	环境敏感区域	0	0.08	0	0.167	0
	次生灾害环境威胁	0	0.23	0		
	泄漏监测与防控能力	0	0.69	0		
经济损失	居民财产损失	65	0.09	0.09	0.167	0.20
	公共财产损失	70	0.27	0.27		
	泄漏监测与防控能力	46	0.64	0.64		
社会影响	居民生活影响范围	67	0.26	0.26	0.499	0.60
	交通中断	72	0.05	0.05		
	社会焦点或敏感区域	45	0.16	0.16		
	次生灾害影响范围	70	0.10	0.10		
	泄漏监测与防控能力	46	0.43	0.43		

F.3.2 中间层和底层影响因素权重

F.3.2.1 由于被评估管道部分底层影响因素分值为0，故中间层影响因素权重和底层影响因素权重不可直接使用表B.2中的值，应进行计算调整。

F.3.2.2 由于底层影响因素“经过地下或低洼空间”的评分分值为0，故中间层因素“人员伤亡”中底层影响因素权重应按式(5)重新计算调整如下：

- a) 经过区域人口密度： $0.07 / (0.07 + 0.29 + 0.47) = 0.08$ ；
- b) 次生灾害危险程度： $0.29 / (0.07 + 0.29 + 0.47) = 0.35$ ；
- c) 泄漏监测与防控能力： $0.47 / (0.07 + 0.29 + 0.47) = 0.57$ 。

F.3.2.3 由于中间层影响因素“环境破坏”的评分分值为0，故各中间层影响因素权重应按式(5)重新计算调整如下：

- a) 人员伤亡： $0.167 / (0.167 + 0.167 + 0.499) = 0.20$ ；
- b) 经济损失： $0.167 / (0.167 + 0.167 + 0.499) = 0.20$ ；
- c) 社会影响： $0.499 / (0.167 + 0.167 + 0.499) = 0.60$ 。

F.3.2.4 将各影响因素的分值及权重进行对应整理，失效后果严重性影响因素分值与权重见表F.4。

F.3.3 中间层影响因素的分值

按式（6）计算中间层影响因素的分值，计算结果如下：

a) 人员伤害： $0.08 \times 75 + 0.35 \times 45 + 0.57 \times 46 = 47.97$ ；

b) 环境破坏： $0.08 \times 0 + 0.23 \times 0 + 0.69 \times 0 = 0$ ；

c) 经济损失： $0.09 \times 65 + 0.27 \times 70 + 0.64 \times 46 = 54.19$ ；

d) 社会影响： $0.26 \times 67 + 0.05 \times 72 + 0.16 \times 45 + 0.10 \times 70 + 0.43 \times 46 = 52.30$ 。

F.3.4 失效后果严重性等级

F.3.4.1 按式（6）计算管道后果严重性分值为：

$$C^f = 0.20 \times 47.97 + 0.20 \times 54.19 + 0.60 \times 52.3 = 51.81$$

F.3.4.2 按表2的规定，管道失效后果严重性等级为C2级。

F.4 管道安全等级

根据计算得到的失效可能性等级和失效后果严重性等级，按表3的规定，管道安全等级为S3级，为较小安全风险。