

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 6891.2—2020

油气管道风险评价方法 第 2 部分：定量评价法

Oil & gas pipeline risk assessment methods—
Part 2 : Quantitative risk assessment method

2020 — 10 — 23 发布

2021 — 02 — 01 实施

国家能源局 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 一般要求	2
5 评价流程	2
6 数据收集	2
7 管道分段	3
8 失效频率分析	3
8.1 失效场景	3
8.2 失效频率计算	4
9 失效后果分析	4
9.1 一般要求	4
9.2 泄漏速率与泄漏量	4
9.3 油气扩散	5
9.4 火灾爆炸	5
9.5 人员危害影响	5
10 风险计算	5
10.1 个人风险	5
10.2 社会风险	6
11 结果分析	8
11.1 结果展示	8
11.2 风险可接受标准	8
11.3 风险可接受性分析	9
12 管道风险减缓措施	9
13 报告编制	9
附录 A (资料性附录) 基于历史失效数据修正的方法	11
附录 B (资料性附录) 结构可靠性分析推导的方法	12
附录 C (资料性附录) 故障树分析法	13

SY/T 6891.2—2020

附录 D (资料性附录) 油气介质泄漏事件树	15
附录 E (资料性附录) 着火概率	16
附录 F (资料性附录) 管道失效后果计算流程图	18
附录 G (资料性附录) 热辐射及超压伤害准则	19
参考文献.....	21

前 言

SY/T 6891《油气管道风险评价方法》分为两个部分：

——第1部分：半定量评价法；

——第2部分：定量评价法。

本部分为SY/T 6891的第2部分。

本部分按照GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本部分由油气储运专业标准化技术委员会提出并归口。

本部分起草单位：中国石油天然气股份有限公司管道分公司、中石油管道有限责任公司、中国石油化工股份有限公司天然气分公司、中海石油气电集团有限责任公司。

本部分主要起草人：张华兵、杨玉锋、吴志平、常景龙、冯文兴、张强、王维斌、戴联双、贾韶辉、冯庆善、宗照峰、吴斌、项小强、赵新伟、王联伟、王晓霖、齐先志、牛化昶、王新、魏然然、韩小明、张希祥、刘硕。

油气管道风险评价方法

第2部分：定量评价法

1 范围

SY/T 6891 的本部分规定了油气管道定量风险评价工作要求、评价流程和失效频率计算、失效后果计算、结果分析等内容。

本部分适用于陆上油气输送管道人口密集型高后果区管段的定量风险评价。

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。

AQ/T 3046 化工企业定量风险评价导则

SY/T 6891.1 油气管道风险评价方法 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

定量风险评价 **quantitative risk assessment**

基于数学模型，量化失效可能性、后果的风险评价过程。

3.2

失效频率 **failure frequency**

失效事件发生的频率。

注：统计时间为年。

3.3

事件树分析 **event tree analysis**

根据一些规则用图形来表示由初因事件可能引起的许多事件链，以追踪事件破坏的过程及各事件链发生的频率的方法。

3.4

致死率 **probability of death**

表示个体死于暴露下的概率大小。

注：为0～1之间的无因次数。

3.5

个人风险 **individual risk**

假设个体100%处于某一危险地点且无保护，由于发生事故而导致的死亡频率。

3.6

社会风险 societal risk

能够引起大于或等于 N 人死亡的事故累积频率 (F)。

注：即单位时间内（通常每年）的死亡人数。常用社会风险曲线 ($F-N$ 曲线) 表示。

3.7

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

在当前的技术条件和合理的费用投入下，将风险尽可能降低的原则。

4 一般要求

4.1 油气管道定量风险评价应由专业技术人员完成，宜使用专业技术软件辅助评价工作。

4.2 管道定量风险评价所采用的数据应反映管道的最新状况，数据应全面、准确。

4.3 当管道运行压力或介质、周边人口分布发生较大变化时，应再次进行评价。

5 评价流程

油气管道定量风险评价流程见图 1。

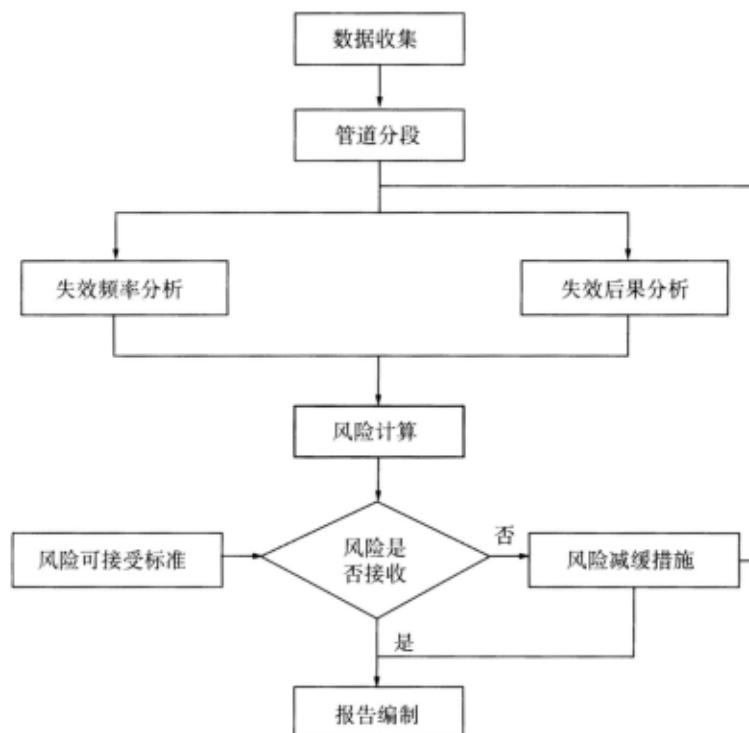


图 1 管道定量风险评价流程

6 数据收集

6.1 开展定量风险评价应至少但不限于收集的资料见表 1。

6.2 收集数据的方式宜选用现场踏勘、与管道管理人员访谈和查阅资料等。

表 1 数据收集清单

序号	分类	数据名称
1	基础数据	a) 管道初步设计报告。 b) 管道基本参数, 如管道的运行年限、管径、壁厚、管材等级及执行标准、输送介质、设计压力、防腐层类型、管段处敷设方式、阀室、管道里程等。 c) 施工情况, 如施工单位、检测单位、监理单位提供的相关资料等。 d) 管道通行带的遥感或航拍影像图和线路竣工图。 e) 安全泄漏监测系统、安全预警系统等设置情况
2	周边环境	a) 气象条件, 包括风速、风向、大气稳定度等。 b) 管道高后果区、高风险段。 c) 管道周边人口分布情况, 人口数量按白天、夜晚分别统计。 d) 地形地貌条件, 包括周边地形条件、地面粗糙度等
3	运行维护	a) 阴极保护电位报表及当年的通断电电位测试结果。 b) 管道清管杂质分析报告。 c) 管道输量、管道运行压力报表。 d) 管道泄漏事故历史信息, 含打孔盗油等情况。 e) 第三方交叉施工信息表及相关规章制度, 如开挖响应制度。 f) 管输介质的来源和性质、油气介质分析报告, 包括燃烧热、饱和蒸气压等。 g) 管道更新改造工程资料, 含管道改线、管体缺陷修复、防腐层大修、站场改造等
4	检测评价	管道内、外检测报告, 内容应包括内、外检测及结果信息
5	管道风险	a) 管道地质灾害调查/识别及危险性评估报告。 b) 管道安全隐患识别清单。 c) 管道环境影响评价报告。 d) 管道安全评价报告。 e) 站场危险与可操作性分析及其他危害分析报告。 f) 高后果区识别报告。 g) 其他专项评价报告
6	应急管理	管道维抢修情况及应急预案

7 管道分段

当待评价管段需要分段时, 分段方法按照 SY/T 6891.1 执行。

8 失效频率分析

8.1 失效场景

8.1.1 管道失效场景应根据泄漏孔径大小分为破裂及孔泄漏两大类, 管道的典型失效场景参见表 2。当管道直径小于 150mm 时, 取小于管道直径的孔泄漏场景及完全破裂场景。

8.1.2 当实际管道失效统计没有全部孔径失效统计数据时, 可根据实际情况设置失效场景。

8.1.3 在管道定量风险评价中, 应选择对风险有贡献的失效场景, 失效场景满足以下两个条件时, 可不考虑:

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

8.1.4 应沿管道选择一系列泄漏点，泄漏点的初始间距可取为 50m，泄漏点数量的选取应确保当增加泄漏点数量时，风险曲线不会显著变化。

表 2 管道的典型失效场景

单位为毫米

失效场景	泄漏孔径范围 d	代表值
小孔泄漏	$0 < d \leq 5$	5
中孔泄漏	$5 < d \leq 50$	25
大孔泄漏	$50 < d \leq 150$	100
完全破裂	$d > 150$	管道直径

8.2 失效频率计算

8.2.1 管道失效频率应考虑的因素至少包括：

- a) 腐蚀，包括外腐蚀、内腐蚀、应力腐蚀开裂。
- b) 管体制造与施工缺陷。
- c) 第三方损坏，如开挖施工损坏、打孔盗油（气）等。
- d) 自然与地质灾害，如滑坡、崩塌和水毁等。
- e) 误操作。

8.2.2 管道失效频率分析方法的选择应考虑不同失效因素的特点，失效频率分析可采用但不限于如下方法：

- a) 基于历史失效数据修正的方法，参见附录 A。
- b) 结构可靠性分析推导的方法，参见附录 B。
- c) 故障树分析法，参见附录 C。

9 失效后果分析

9.1 一般要求

9.1.1 可采用事件树分析确定各种事件发生的类型及概率。油气介质泄漏事件树参见附录 D；其中发生火灾爆炸概率值参见附录 E。

9.1.2 应按照时间顺序计算管道泄漏失效后的不利影响，包括泄漏、扩散、火灾/爆炸及人员危害影响。具体流程图参见附录 F，后果计算模型按照 AQ/T 3046 执行。

9.2 泄漏速率与泄漏量

应对可能发生的油气泄漏事件选择合适的计算模型计算泄漏速率和泄漏量。计算时应符合下列要求：

- a) 泄漏速率应考虑温度、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，采用合适的泄漏模型计算。
- b) 泄漏量通过泄漏速率与泄漏时间相乘来计算，计算结果超过总存量时取总存量。
- c) 输气管道泄漏量的计算应考虑上下游阀室或站场放空对泄漏量的影响。
- d) 输油管道泄漏量的计算应考虑管道高程变化对泄漏量的影响。

- e) 泄漏时间应综合考虑泄漏监测系统状况、泄漏应急反应、以往泄漏历史及管道管理人员访谈结果来确定。

9.3 油气扩散

对于泄漏出来的油气介质，应分析其扩散范围。计算时应符合下列要求：

- 对于输气管道，分析可燃气体浓度分布。
- 对于输油管道，计算油品泄漏形成的液池面积，并计算液池蒸发速率，分析蒸气云的浓度分布。计算液池面积时，应考虑地面粗糙度、障碍物及周边地形等因素。
- 在计算扩散时，宜选择稳定、中等稳定、不稳定、低风速、中风速和高风速等多种天气条件。当使用帕斯奎尔大气稳定度时，可选择表 3 中所列的六种天气类别。

表 3 大气稳定度级别划分表

地面上 10m 处的风速 v m/s	白天日照强度			阴云密布的白天或夜晚	夜晚的云量	
	强	中	弱		薄云遮天或低云 $> 3/8$	低云 $\leq 3/8$
$v \leq 2$	A	A-B	B	D	—	—
$2 < v \leq 3$	A-B	B	C		E	F
$3 < v \leq 5$	B	B-C			D	D
$5 < v \leq 6$	C	C-D	D			
$v > 6$		D				

9.4 火灾爆炸

9.4.1 对于油气介质泄漏应考虑泄漏扩散后发生池火、喷射火、蒸气云爆炸及闪火等火灾、爆炸场景。

9.4.2 着火应分为立即着火和延迟着火。立即着火的概率应考虑油气介质种类和泄漏形式（瞬时泄漏或者连续泄漏）。

9.5 人员危害影响

危害影响的分析方法如下：

- 对人身的伤害以热辐射和超压来表征。
- 热辐射和超压的暴露影响范围对应的浓度或强度参见附录 G。

10 风险计算

10.1 个人风险

计算程序见图 2，步骤如下：

- 对潜在受影响区域进行网格划分。
- 选择一个失效场景 LOC ，确定每个场景的年失效频率 f_s 。
- 选择一种天气等级 M 和该天气等级下的一种风向 ϕ ，给出天气等级 M 和风向 ϕ 同时出现的联合频率 $P_M \times P_\phi$ 。
- 如果是可燃物释放，选择一个点火事件 i 并确定点燃频率 P_i 。

- e) 计算在特定的场景、天气等级 M 、风向 ϕ 及点火事件 i (可燃物) 条件下网格单元上的死亡频率 $P_{\text{个人风险}}$ ，计算中参考高度取 1m。
- f) 按公式 (1) 计算 (LOC 、 M 、 ϕ 、 i) 条件下对网格单元个人风险的贡献：

$$\Delta IR_{S,M,\phi,i} = f_S \times P_M \times P_\phi \times P_i \times P_{\text{个人风险}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

- g) 对所有的点火事件，重复 c) ~ e) 的计算；对所有的天气等级和风向，重复 b) ~ e) 的计算；对所有的场景，重复 a) ~ e) 的计算，则网格点处的个人风险按照公式 (2) 计算：

$$IR = \sum_S \sum_M \sum_\phi \sum_i \Delta IR_{S,M,\phi,i} \quad \dots\dots\dots (2)$$

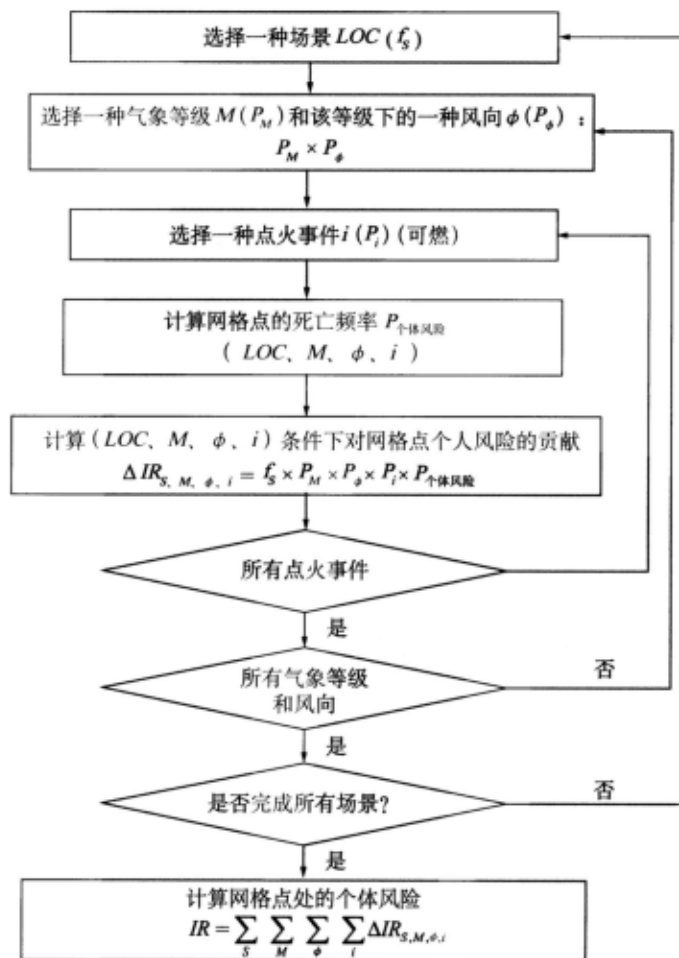


图 2 个人风险计算程序

10.2 社会风险

计算程序见图 3，步骤如下：

- a) 对潜在受影响区域进行网格划分，选择以下计算参数：
 - 1) 确定场景及其失效频率 f_S ；
 - 2) 选择频率为 P_M 的天气等级 M ；
 - 3) 选择条件频率为 P_ϕ 的风向 ϕ ；

- 4) 对于可燃物，选择条件频率为 P_i 的点火事件 i 。
- b) 选择一个网格单元，确定网格单元内的人数 N_{cell} 。
- c) 计算在特定的场景、 M 、 ϕ 及 i 下，网格单元内的死亡频率 $P_{\text{社会风险}}$ ，计算的参考高度为 1m。
- d) 计算在特定的场景、 M 、 ϕ 及 i 下的网格单元的可能死亡人数 $\Delta N_{S, M, \phi, i}$ 。

$$\Delta N_{S, M, \phi, i} = P_{\text{社会风险}} \times N_{\text{cell}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

- e) 对所有网格单元，重复 b) ~ d) 的计算，对场景、 M 、 ϕ 及 i ，计算所有的网格单元对死亡总人数 $N_{S, M, \phi, i}$ 的贡献：

$$N_{S, M, \phi, i} = \sum_{\text{所有网格单元}} \Delta N_{S, M, \phi, i} \quad \dots\dots\dots (4)$$

- f) 计算场景、 M 、 ϕ 及 i 的联合频率 $f_{S, M, \phi, i}$ ：

$$f_{S, M, \phi, i} = f_S \times P_M \times P_\phi \times P_i \quad \dots\dots\dots (5)$$

对所有 $LOC (f_S)$ 、 M 、 ϕ 及 i ，重复 a) ~ f) 的计算，用累计死亡总人数 $N_{S, M, \phi, i} \geq N$ 的所有事故发生的频率 $f_{S, M, \phi, i}$ 构造 $F-N$ 曲线：

$$F_N = \sum_{S, M, \phi, i} f_{S, M, \phi, i} \longrightarrow N_{S, M, \phi, i} \geq N \quad \dots\dots\dots (6)$$

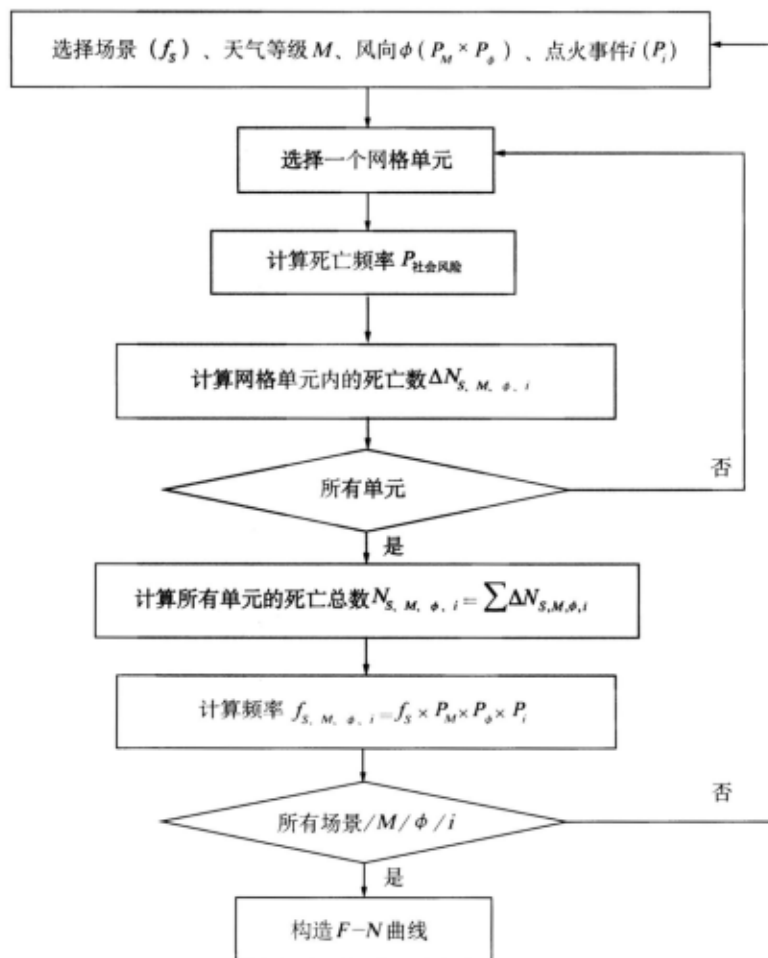


图 3 社会风险计算流程

11 结果分析

11.1 结果展示

风险计算结果展示形式包括个人风险等值线和社会风险曲线。

个人风险等值线应在标准比例尺地理图上以等高线的形式给出，曲线内区域表示频率大于该曲线频率值，典型结果如图 4 所示。

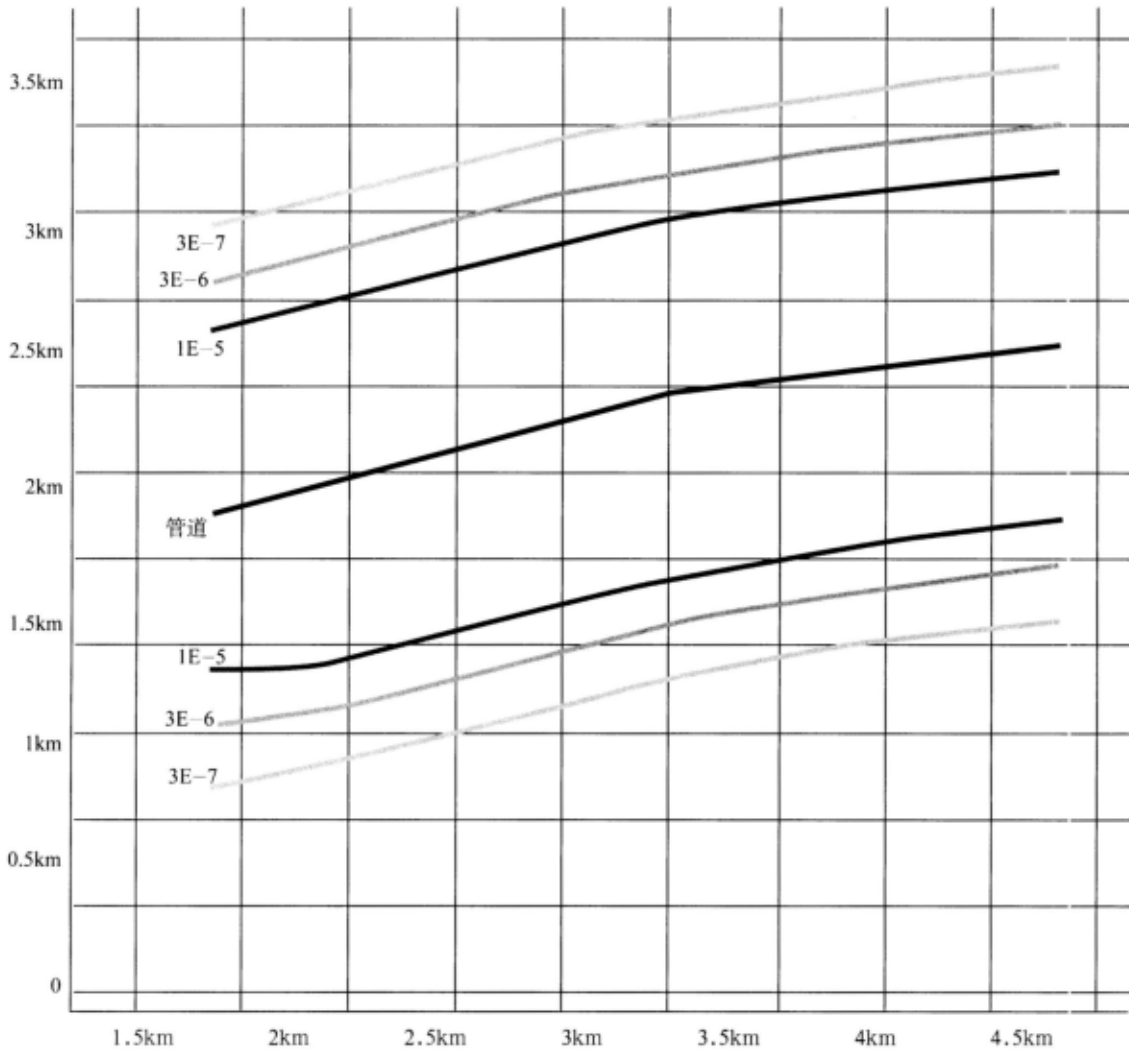


图 4 个人风险等值线示意图

社会风险可表现为对应的二维曲线，表示累积频率与死亡人数或者泄漏量的关系，典型结果如图 5 所示。

11.2 风险可接受标准

11.2.1 确定风险可接受性标准应考虑以下因素：

- a) 国家法律法规和标准相关要求。
- b) 管道的重要性。
- c) 管道状况。
- d) 降低风险的成本。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/758065133141006031>