



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112633552 B

(45) 授权公告日 2022.05.13

(21) 申请号 202011354455.5

(22) 申请日 2020.11.27

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 112633552 A

(43) 申请公布日 2021.04.09

(73) 专利权人 合肥泽众城市智能科技有限公司  
地址 230000 安徽省合肥市经开区习友路  
5999号

专利权人 清华大学合肥公共安全研究院  
北京理工大学  
安徽泽众安全科技有限公司

(72) 发明人 侯龙飞 袁宏永 付明 端木维可  
袁梦琦 钱新明 朱明星

(74) 专利代理机构 合肥市浩智运专利代理事务  
所(普通合伙) 34124

专利代理师 张景云

(51) Int.Cl.  
G06Q 10/04 (2012.01)  
G06Q 10/06 (2012.01)  
G06Q 50/06 (2012.01)  
G06Q 50/26 (2012.01)

(56) 对比文件  
CN 103939749 A, 2014.07.23  
CN 111932120 A, 2020.11.13

审查员 张磊

权利要求书6页 说明书27页 附图4页

## (54) 发明名称

一种燃气管线与周边管线耦合隐患识别与风险评估方法与系统

## (57) 摘要

本发明提供一种燃气管线与周边管线耦合隐患识别与风险评估方法及系统,包括燃气泄漏可能性评估、燃气扩散可能性计算、待评估周边管线易损性计算、燃气点火可能性 $P_I$ 计算、爆炸后果分析、应急能力 $\beta$ 计算、周边管线风险评估。本发明通过对燃气泄漏,燃气扩散聚集、周边管线的易损性分析、点火可能性、爆炸后果分析、应急能力综合分析,能够实现对燃气管线与周边管线耦合隐患进行辨识,实现对风险的量化处理。



1. 一种燃气管线与周边管线耦合隐患识别与风险评估方法,其特征在於,包括以下步骤

S01. 燃气泄漏可能性评估,燃气泄漏可能性评估值 $H'_1$ 指标包括定量指标、半定量指标和定性指标;所述定量指标每项得分通过插值法计算,具体公式为

$$Q = \frac{f_m(x)_t - f_m(x)_{min}}{f_m(x)_{max} - f_m(x)_{min}} \times 9 + 1$$

其中 $Q$ 为第 $m$ 项函数最终得分, $f_m(x)_{max}$ 为第 $m$ 项函数计算得到的全市燃气管段该项最大值, $f_m(x)_{min}$ 为第 $m$ 项函数计算得到的全市燃气管段该项最小值; $f_m(x)_t$ 为第 $t$ 段燃气管段第 $m$ 项函数的计算值;

所述半定量指标及定性指标分别包括多级指标;

待评估燃气管段泄漏可能性由下式计算

$$H_1 = \sum Q_{ki} w_{ki} w_k$$

式中 $H_1$ 为待评估燃气管段泄漏可能性, $Q_{ki}$ 为第 $k$ 项一级指标的第 $i$ 项二级指标得分, $w_{ki}$ 为该指标对应权重, $w_k$ 为二级指标对应一级指标权重;

根据待评估燃气管段周边设定范围内其他监控设备报警情况,对 $H_1$ 进行修正,得

$$H'_1 = H_1 \times 1.2^{\frac{25n}{l}}$$

其中 $H'_1$ 为燃气泄漏可能性评估值, $l$ 为待评估燃气管段长度, $n$ 为报警设备数量,当 $H'_1$ 大于10时, $H'_1$ 取10;

S02. 燃气扩散可能性计算,根据如下公式计算燃气扩散可能性 $P_D$

$$P_D = \begin{cases} 1 & (d \leq 2.5) \\ -0.1d + 1.25 & (2.5 \leq d \leq 12.5) \\ 0 & (d \geq 12.5) \end{cases}$$

其中 $d$ 为待评估燃气管段距待评估周边管线的最短距离, $d$ 以米为单位;

S03. 待评估周边管线易损性计算,易损性 $P_V$ 通过以下公式计算获得

$$P_V = \sum_{x=1}^y P_{V_x} \varphi_x$$

其中, $P_{V_x}$ 为第 $x$ 个评价项 $V_x$ 的值, $\varphi_x$ 为第 $x$ 个评价项 $V_x$ 的权重, $y$ 表示共计 $y$ 个评价项;

S04. 燃气点火可能性 $P_I$ 计算,至少根据待评估周边管线的内部因素 $P_1$ 、外部因素 $P_2$ 、天气因素 $P_3$ 对点火可能性 $P_I$ 进行计算

$$P_I = aP_1 + bP_2 + cP_3$$

其中 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 分别为对应因素的权重;所述内部因素 $P_1$ 为待评估周边管线的自身故障率,所述外部因素 $P_2$ 根据待评估周边管线的功能区域划分、人流量划分等级而得,天气因素 $P_3$ 为实时天气情况划分等级而得;

S05. 爆炸后果分析,爆炸后果 $C$ 通过以下公式计算

$$C = \sum_{z=1}^j \epsilon_z \times \frac{C_z}{C_{zmax}} \times 10$$

其中, $j$ 表示有 $j$ 个评价项影响爆炸后果, $C_z$ 表示第 $z$ 个评价项的值, $\epsilon_z$ 为 $C_z$ 的权重, $C_{zmax}$ 为第 $z$ 个评价项的最高等级值;

S06. 应急能力 $\beta$ 计算,

$$\beta = f \cdot m'$$

其中 $f$ 为消防救援补偿系数, $m'$ 为医疗救援补偿系数;所述 $f$ 、 $m'$ 取值根据事故点距消防单位、医疗机构的距离而定;

S07. 周边管线风险评估 $R$ 通过以下公式计算

$$R = \frac{H'_1 P_D P_V P_I C}{\beta} \alpha$$

其中, $\alpha$ 为社会影响,根据待评估周边管线所在区域位置重要性进行取值;

S08. 隐患识别,根据 $P_D$ 、待评估燃气管段与待评估周边管线的距离、对发生过燃气聚集的周边管线与检查井是否处理来认定周边管线是否存在安全隐患。

2. 根据权利要求1所述的一种燃气管线与周边管线耦合隐患识别与风险评估方法,其特征在于:所述步骤S03中,

当周边管线为电力管线或通信管线时,易损性评价项 $V_x$ 包括地下管沟的侧壁材质、设备使用年限、地质灾害稳定性、第三方施工、道路等级;

当周边管线为排水管线时,易损性评价项 $V_x$ 包括排水管脆弱性 $P_{V_1}$ 、排水管周边水位高度 $P_{V_2}$ ;

其中,

$$P_{V_1} = \sum Q_{pi} \omega_{pi} \omega_p$$

式中 $P_{V_1}$ 为排水管道的脆弱性; $Q_{pi}$ 为第 $p$ 项一级指标的第 $i$ 项二级指标得分, $\omega_{pi}$ 为该指标对应权重, $\omega_p$ 为二级指标对应一级指标权重;所述指标权重由专家打分法获取;当排水管道曾出现渗漏且未被修复, $P_{V_1}$ 取10分;

$$P_{V_2} = \sum Q_{ri} \omega_{ri} \omega_r$$

式中 $P_{V_2}$ 为排水管周边水位高度; $Q_{ri}$ 为第 $r$ 项一级指标的第 $i$ 项二级指标得分, $\omega_{ri}$ 为该指标对应权重, $\omega_r$ 为二级指标对应一级指标权重,指标权重由专家打分法获取。

3. 根据权利要求1所述的一种燃气管线与周边管线耦合隐患识别与风险评估方法,其特征在于:所述步骤S04中,根据不同的应用场景,内部因素 $P_1$ 、外部因素 $P_2$ 、天气因素 $P_3$ 均不同:

当周边管线为电力管线或通信管线时,内部因素

$$P_1 = \sum_1^4 T_i$$

$$f_i(x) = \frac{n_i}{FN}$$

$f_i(x)$ 为电缆部件故障率, $n_i$ 为不同电缆部件引起电缆系统故障的案件数;FN为所有故障数, $T_i$ 为电缆部件故障率 $f_i(x)$ 对应的分值;

当周边管线为排水管线时,内部因素 $P_1$ 为0。

4. 根据权利要求1所述的一种燃气管线与周边管线耦合隐患识别与风险评估方法,其特征在于:所述步骤S05中,

当周边管线为电力管线或通信管线时,爆炸后果 $C$ 的评价指标包括断网影响 $C_1$ 、社会影响 $C_2$ 、爆炸影响 $C_3$ ;所述断网影响 $C_1$ 根据断网影响范围进行故障等级划分;所述爆炸影响 $C_3$

包括破片伤害 $C_{31}$ 和火焰伤害 $C_{32}$ ,

$$C_3 = \sum_{i=1}^2 \sigma_i \beta_i C_{3i}$$

$$C_{31} = \pi \left( \frac{2\mu \theta v_w \rho_1 Q_1}{a' m_w g} \right)^2 \rho$$

$$C_{32} = 0.7 (0.8h_1 + 0.65) \rho$$

其中, $\beta_i$ 为 $C_{3i}$ 的权重, $Q_1$ 为燃气的燃烧热, $\theta$ 为甲烷体积当量, $\rho_1$ 为可燃气体密度, $a'$ 为空气阻力系数, $g$ 为重力加速度, $v_w$ 取0.385立方米;其中 $\mu$ 取6.41%; $m_w$ 为井盖质量, $\rho$ 表示排水管线50米范围内的人口密度最大值,实时获取, $h_1$ 为窰井深度, $\sigma_1$ 为破片伤害可能性判断系数, $\sigma_2$ 为火焰伤害可能性判断系数;

当周边管线为排水管线时,爆炸后果

$$C = u_1 C_1 + u_2 C_2 + u_3 C_3 + u_4 C_4 + u_5 C_5$$

其中, $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 、 $C_4$ 、 $C_5$ 分别为排水管线爆炸超压对人员伤害、排水管线爆炸超压对建筑物的损伤后果、排水管线爆炸振动对建筑物的损伤范围、排水管线爆炸破片对人损伤后果、排水管线爆炸对交通的影响, $u_1$ 、 $u_2$ 、 $u_3$ 、 $u_4$ 、 $u_5$ 分别为 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 、 $C_4$ 、 $C_5$ 的对应权重系数。

5. 根据权利要求4所述的一种燃气管线与周边管线耦合隐患识别与风险评估方法,其特征在于:当周边管线为排水管线时, $C_1$ 由下式计算得到:

$$C_1 = A_{cr} \rho$$

$$R_{cr} = 5.152 \sqrt[3]{S}$$

$$A_{cr} = 2lR_{cr} + \pi R_{cr}^2$$

其中, $R_{cr}$ 为排水管线爆炸超压对人员伤害范围, $A_{cr}$ 为超压人员伤害面积, $\rho$ 为排水管线50米范围内的人口密度最大值, $l$ 取50米, $S$ 为排水管线截面积;

$C_2$ 由下式计算得到:

$$C_2 = 0.6n_{c1} + 0.4n_{c2}$$

其中, $n_{c1}$ 为超压影响范围内气站、加油站、石油和天然气企业危险源数量, $n_{c2}$ 为银行、商业区、火车站、汽车站防护目标数量;

$C_3$ 由下式计算得到:

$$C_3 = 0.35n_{s1} + 0.15n_{s2} + 0.5n_{s3}$$

其中, $n_{s1}$ 、 $n_{s2}$ 、 $n_{s3}$ 分别为振动影响范围内危险源数量、防护目标数量、地下管线数量;

$C_4$ 由下式计算得到:

$$C_4 = A_f \rho$$

$$R_f = 0.42 \frac{S_0}{S_1}$$

$$A_f = 2lR_f + \pi R_f^2$$

其中, $S_1$ 为排水管线上方覆盖物截面积, $S_0$ 为管道截面积, $R_f$ 为破片损伤半径, $A_f$ 为破片损伤面积, $\rho$ 表示排水管线50米范围内的人口密度最大值;

$C_5$ 由下式计算得到:

$$C_5 = 2SR$$

其中 $SR$ 为影响城市主干道交通单向车道数量。

6. 一种燃气管线与周边管线耦合隐患识别与风险评估系统,其特征在于,包括燃气泄漏可能性评估模块,燃气泄漏可能性评估值 $H'_1$ 指标包括定量指标、半定量指标和定性指标;所述定量指标每项得分通过插值法计算,具体公式为

$$Q = \frac{f_m(x)_t - f_m(x)_{min}}{f_m(x)_{max} - f_m(x)_{min}} \times 9 + 1$$

其中 $Q$ 为第 $m$ 项函数最终得分, $f_m(x)_{max}$ 为第 $m$ 项函数计算得到的全市燃气管段该项最大值, $f_m(x)_{min}$ 为第 $m$ 项函数计算得到的全市燃气管段该项最小值; $f_m(x)_t$ 为第 $t$ 段燃气管段第 $m$ 项函数的计算值;

所述半定量指标及定性指标分别包括多级指标;

待评估燃气管段泄漏可能性由下式计算

$$H_1 = \sum Q_{ki} w_{ki} w_k$$

式中 $H_1$ 为待评估燃气管段泄漏可能性, $Q_{ki}$ 为第 $k$ 项一级指标的第 $i$ 项二级指标得分, $w_{ki}$ 为该指标对应权重, $w_k$ 为二级指标对应一级指标权重;

根据待评估燃气管段周边设定范围内其他监控设备报警情况,对 $H_1$ 进行修正,得

$$H'_1 = H_1 \times 1.2^{\frac{25n}{l}}$$

其中 $H'_1$ 为燃气泄漏可能性评估值, $l$ 为待评估燃气管段长度, $n$ 为报警设备数量,当 $H'_1$ 大于10时, $H'_1$ 取10;

燃气扩散可能性计算模块,根据如下公式计算燃气扩散可能性 $P_D$

$$P_D = \begin{cases} 1 & (d \leq 2.5) \\ -0.1d + 1.25 & (2.5 \leq d \leq 12.5) \\ 0 & (d \geq 12.5) \end{cases}$$

其中 $d$ 为待评估燃气管段距待评估周边管线的最短距离,  $d$ 以米为单位;

待评估周边管线易损性计算模块,易损性 $P_V$ 通过以下公式计算获得

$$P_V = \sum_{x=1}^y P_{V_x} \varphi_x$$

其中, $P_{V_x}$ 为第 $x$ 个评价项 $V_x$ 的值, $\varphi_x$ 为第 $x$ 个评价项 $V_x$ 的权重, $y$ 表示共计 $y$ 个评价项;

燃气点火可能性 $P_1$ 计算模块,至少根据待评估周边管线的内部因素 $P_1$ 、外部因素 $P_2$ 、天气因素 $P_3$ 对点火可能性 $P_1$ 进行计算

$$P_1 = aP_1 + bP_2 + cP_3$$

其中 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 分别为对应因素的权重;所述内部因素 $P_1$ 为待评估周边管线的自身故障率,所述外部因素 $P_2$ 根据待评估周边管线的功能区域划分、人流量划分等级而得,天气因素 $P_3$ 为实时天气情况划分等级而得;

爆炸后果分析模块,爆炸后果 $C$ 通过以下公式计算

$$C = \sum_{z=1}^j \epsilon_z \times \frac{C_z}{C_{zmax}} \times 10$$

其中, $j$ 表示有 $j$ 个评价项影响爆炸后果, $C_z$ 表示第 $z$ 个评价项的值, $\epsilon_z$ 为 $C_z$ 的权重, $C_{zmax}$ 为第 $z$ 个评价项的最高等级值;

应急能力 $\beta$ 计算模块,

$$\beta = f \cdot m'$$

其中 $f$ 为消防救援补偿系数, $m'$ 为医疗救援补偿系数;所述 $f$ 、 $m'$ 取值根据事故点距消防单位、医疗机构的距离而定;

周边管线风险评估模块,周边管线风险评估 $R$ 通过以下公式计算

$$R = \frac{H'_1 P_D P_V P_I C}{\beta} \alpha$$

其中, $\alpha$ 为社会影响,根据待评估周边管线所在区域位置重要性进行取值;

隐患识别模块,根据 $P_D$ 、待评估燃气管段与待评估周边管线的距离、对发生过燃气聚集的周边管线与检查井是否处理来认定周边管线是否存在安全隐患。

7.根据权利要求6所述的一种燃气管线与周边管线耦合隐患识别与风险评估系统,其特征在于:所述待评估周边管线易损性计算模块中,

当周边管线为电力管线或通信管线时,易损性评价项 $V_x$ 包括地下管沟的侧壁材质、设备使用年限、地质灾害稳定性、第三方施工、道路等级;

当周边管线为排水管线时,易损性评价项 $V_x$ 包括排水管脆弱性 $P_{V_1}$ 、排水管周边水位高度 $P_{V_2}$ ;

其中,

$$P_{V_1} = \sum Q_{pi} \omega_{pi} \omega_p$$

式中 $P_{V_1}$ 为排水管道的脆弱性; $Q_{pi}$ 为第 $p$ 项一级指标的第 $i$ 项二级指标得分, $\omega_{pi}$ 为该指标对应权重, $\omega_p$ 为二级指标对应一级指标权重;所述指标权重由专家打分法获取;当排水管道曾出现渗漏且未被修复, $P_{V_1}$ 取10分;

$$P_{V_2} = \sum Q_{ri} \omega_{ri} \omega_r$$

式中 $P_{V_2}$ 为排水管周边水位高度; $Q_{ri}$ 为第 $r$ 项一级指标的第 $i$ 项二级指标得分, $\omega_{ri}$ 为该指标对应权重, $\omega_r$ 为二级指标对应一级指标权重,指标权重由专家打分法获取。

8.根据权利要求6所述的一种燃气管线与周边管线耦合隐患识别与风险评估系统,其特征在于:所述燃气点火可能性 $P_I$ 计算模块中,根据不同的应用场景,内部因素 $P_1$ 、外部因素 $P_2$ 、天气因素 $P_3$ 均不同:

当周边管线为电力管线或通信管线时,内部因素

$$P_1 = \sum_1^4 T_i$$

$$f_i(x) = \frac{n_i}{FN}$$

$f_i(x)$ 为电缆部件故障率, $n_i$ 为不同电缆部件引起电缆系统故障的案件数; $FN$ 为所有故障数, $T_i$ 为电缆部件故障率 $f_i(x)$ 对应的分值;

当周边管线为排水管线时,内部因素 $P_1$ 为0。

9.根据权利要求6所述的一种燃气管线与周边管线耦合隐患识别与风险评估系统,其特征在于:所述爆炸后果分析模块中,

当周边管线为电力管线或通信管线时,爆炸后果 $C$ 的评价指标包括断网影响 $C_1$ 、社会影响 $C_2$ 、爆炸影响 $C_3$ ;所述断网影响 $C_1$ 根据断网影响范围进行故障等级划分;所述爆炸影响 $C_3$ 包括破片伤害 $C_{31}$ 和火焰伤害 $C_{32}$ ,

$$C_3 = \sum_{i=1}^2 \sigma_i \beta_i C_{3i}$$

$$C_{31} = \pi \left( \frac{2\mu\theta v_w \rho_1 Q_1}{a' m_w g} \right)^2 \rho$$

$$C_{32} = 0.7 (0.8h_1 + 0.65) \rho$$

其中,  $\beta_i$  为  $C_{3i}$  的权重,  $Q_1$  为燃气的燃烧热,  $\theta$  为甲烷体积当量,  $\rho_1$  为可燃气体密度,  $a'$  为空气阻力系数,  $g$  为重力加速度,  $v_w$  取 0.385 立方米; 其中  $\mu$  取 6.41%;  $m_w$  为井盖质量,  $\rho$  表示排水管线 50 米范围内的人口密度最大值, 实时获取,  $h_1$  为窰井深度,  $\sigma_1$  为破片伤害可能性判断系数,  $\sigma_2$  为火焰伤害可能性判断系数;

当周边管线为排水管线时, 爆炸后果

$$C = u_1 C_1 + u_2 C_2 + u_3 C_3 + u_4 C_4 + u_5 C_5$$

其中,  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 、 $C_4$ 、 $C_5$  分别为排水管线爆炸超压对人员伤害、排水管线爆炸超压对建筑物的损伤后果、排水管线爆炸振动对建筑物的损伤范围、排水管线爆炸破片对人损伤后果、排水管线爆炸对交通的影响,  $u_1$ 、 $u_2$ 、 $u_3$ 、 $u_4$ 、 $u_5$  分别为  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 、 $C_4$ 、 $C_5$  的对应权重系数。

10. 根据权利要求 9 所述的一种燃气管线与周边管线耦合隐患识别与风险评估系统, 其特征在于:

当周边管线为排水管线时,  $C_1$  由下式计算得到:

$$C_1 = A_{cr} \rho$$

$$R_{cr} = 5.152 \sqrt[3]{S}$$

$$A_{cr} = 2lR_{cr} + \pi R_{cr}^2$$

其中,  $R_{cr}$  为排水管线爆炸超压对人员伤害范围,  $A_{cr}$  为超压人员伤害面积,  $\rho$  为排水管线 50 米范围内的人口密度最大值,  $l$  取 50 米,  $S$  为排水管线截面积;

$C_2$  由下式计算得到:

$$C_2 = 0.6n_{c1} + 0.4n_{c2}$$

其中,  $n_{c1}$  为超压影响范围内气站、加油站、石油和天然气企业危险源数量,  $n_{c2}$  为银行、商业区、火车站、汽车站防护目标数量;

$C_3$  由下式计算得到:

$$C_3 = 0.35n_{s1} + 0.15n_{s2} + 0.5n_{s3}$$

其中,  $n_{s1}$ 、 $n_{s2}$ 、 $n_{s3}$  分别为振动影响范围内危险源数量、防护目标数量、地下管线数量;

$C_4$  由下式计算得到:

$$C_4 = A_f \rho$$

$$R_f = 0.42 \frac{S_0}{S_1}$$

$$A_f = 2lR_f + \pi R_f^2$$

其中,  $S_1$  为排水管线上方覆盖物截面积,  $S_0$  为管道截面积,  $R_f$  为破片损伤半径,  $A_f$  为破片损伤面积,  $\rho$  表示排水管线 50 米范围内的人口密度最大值;

$C_5$  由下式计算得到:

$$C_5 = 2SR$$

其中  $SR$  为影响城市主干道交通单向车道数量。

## 一种燃气管线与周边管线耦合隐患识别与风险评估方法与系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及燃气安全监管技术领域,具体来说是一种燃气管线与周边管线耦合隐患识别与风险评估方法与系统。

### 背景技术

[0002] 随着城市化进程不断加剧,新旧管网纵横交错,甚至存在并行,周边管线如电力管线、通信管线、排水管网等无法避免的受到燃气管网的威胁。城市面临着越来越多的公共安全风险,给城市社会、经济的正常发展带来巨大威胁。由于社会系统内部及之间的相互依存、相互制约关系,往往产生连锁效应,这表现在一起灾害的发生会引发一系列次生灾害的相继发生。当两种风险交汇时,其不确定状态会被放大,影响也会从一个地域空间扩散到另一个更广阔的地域空间。

[0003] 其中,燃气管网和排水管线作为城市管道工程中的重要组成部分,二者交叉、并行的情况普遍存在。一旦燃气管线发生泄漏,燃气会通过土壤扩散至排水管线中进而带来一系列的次生衍生灾害,这也势必将威胁整个城市的安全运行。

[0004] 随着我国通信技术的日新月异,通信网络的建设也加快脚步,市政工程每年都新建扩建大量的地下通信空间,以期满足不断增长的通信要求。

[0005] 通信管线的存在能够减少信息传递过程中的外界干扰,实现电磁波信号从一个地点传输到另一个地点。通信管线的铺设与其他管线铺设类似,城市建设一般将通信线路放置在地下空间内,地下空间的铺设方式方便对通信设备的布局与检修。

[0006] 城市化建设对空间利用极为苛刻,许多城市通信管线周边都会存在燃气管线,通信管线所在的地下空间极有可能会成为燃气扩散聚集的场所。燃气管线由于自身腐蚀或者外界干扰,会出现泄漏情况,燃气通过泄漏点从管道内部向周边介质扩散,在扩散与聚集条件满足的情况下,会在相邻的地下空间聚集,遇到点火源会发生爆炸事故。

[0007] 因此,当燃气管线周边存在通信管线时,通信设施所在的地下空间就可能成为燃气泄漏聚集的场所。对燃气管线与通信管线耦合隐患进行辨识,并分析存在的风险,给出风险值十分有必要,能够让城市管理者了解其所辖区域风险大小。

[0008] 地下电力管网密度与日俱增,不可避免的存在与燃气管线相邻或交叉的情况。由于燃气的易燃易爆特性,一旦埋地燃气管线泄漏,易在周边地下空间聚集爆炸,形成燃气管线-电力管线耦合突发事件。

[0009] 《城镇埋地输油管道泄漏事故风险评价技术研究》陈玉超,该方法运用层次分析法得出输油管道泄漏可能性各影响因素的权重,结合模糊综合评价方法得到管道泄漏可能性等级,针对油品泄漏进暗渠的事故,运用Fluent软件模拟半密闭空间内油蒸汽的扩散规律,得到达到爆炸极限的危险区域与浓度变化曲线,分析浓度扩散趋势,将爆炸点位置与半密闭空间的浓度值用于后果计算中,进而综合评判事故等级,并以“11·22”事故为研究对象进行实例计算后果损伤半径、确定事故影响范围,最终得出该事故风险等级为高风险。该方

法的缺点是在分析泄漏可能性指标与事故后果类型时考虑不够全面,而且也没有考虑社会影响与城市应急能力对于管线泄漏事故风险评估的影响。

[0010] 《城市地下管线风险评价体系研究----以莱芜市地下管线风险评价为例》戴金英,该方法综合考虑给排水、燃气、供热、供电等各种地下管线之间的相互作用与影响,基于地下管线系统的特点,从系统的角度出发构建了地下管线风险指标体系,并运用AHP层次分析法对其权重展开研究。通过采用定性与定量分析相结合的方法,构建了基于模糊综合评价的城市地下管线风险评价模型。该方法的缺点是对各类地下管线的风险进行了评估,但没有考虑燃气管线与周边管线之间耦合风险的变化,评估方法比较单一,实用性不高。

[0011] 由城市燃气管线泄漏而引发的爆炸、火灾事故会导致周边管线处于不安全状态,并构成隐患。其中包括多种致灾模式,如爆炸冲击波超压、破片、振动以及由第三方施工而引发的喷射火热辐射等,因此,对周边管线周边的燃气管线进行隐患识别显得尤为重要,同时进行燃气管线与周边管线的风险评估,了解耦合风险大小。

### 发明内容

[0012] 本发明所要解决的技术问题在于如何提供一种燃气管线与周边管线耦合隐患识别与风险评估的方法。

[0013] 本发明通过以下技术手段实现解决上述技术问题的:

[0014] 一种燃气管线与周边管线耦合隐患识别与风险评估方法,包括

[0015] S01.燃气泄漏可能性评估,所述燃气泄漏可能性评估值 $H'_1$ 指标包括定量指标、半定量指标和定性指标;

[0016] S02.燃气扩散可能性 $P_D$ 计算,

[0017] S03.待评估周边管线易损性 $P_V$ 计算

[0018] S04.燃气点火可能性 $P_I$ 计算,

[0019] S05.爆炸后果C计算

[0020] S06.应急能力 $\beta$ 计算,

[0021] S07.周边管线风险评估R通过以下公式计算

$$[0022] \quad R = \frac{H'_1 P_D P_V P_I C}{\beta} \alpha$$

[0023] 其中, $\alpha$ 为社会影响,根据待评估周边管线所在区域位置重要性进行取值;

[0024] S08.隐患识别。

[0025] 本发明的优点在于:

[0026] 本发明实现对燃气管线与周边管线耦合隐患辨识与风险评估,以燃气管线泄漏为基础,从燃气扩散、点火可能性、爆炸后果等方面分析,以应急救援与社会影响进行修正,最终给出定量的风险评估值,对于管理者以后依据风险评估值进行管理策略调整,同时隐患辨识能够让管理者进行耦合隐患排查,以便及时进行隐患治理工作。

[0027] 进一步的,基于风险评估模型可实现对管道风险、区域风险对预测。根据预测期内管段失效可能性评估因子可获取的变化信息,如气象、施工进度、管龄变化等带入失效可能性评估程序,即可获取管段失效可能性预测值。相同的,根据承灾体评估因子可获取的变化信息,如预测期内存在重大会议、赛事、人员聚集等信息,根据既往相同级别活动人口密度,

带入承灾体评估程序,即可获取承灾体预测值。即根据预测期内可预知的评估因子的变化,代入风险评估各模块重新计算,实现风险的预测。

### 附图说明

[0028] 图1为本发明实施例中燃气管线与周边管线的隐患识别与风险评估方法流程图;

[0029] 图2为本发明实施例中案例一的执行流程图;

[0030] 图3为本发明实施例中案例二的执行流程图;

[0031] 图4为本发明实施例中案例三的执行流程图。

### 具体实施方式

[0032] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0033] 如图1所示,一种燃气管线与周边管线耦合隐患识别与风险评估方法,包括以下步骤:

[0034] 步骤1、燃气泄漏可能性评估,所述燃气泄漏可能性评估值 $H'_1$ 指标包括定量指标、半定量指标和定性指标;所述定量指标每项得分通过插值法计算,具体公式为

$$[0035] \quad Q = \frac{f_m(x)_t - f_m(x)_{\min}}{f_m(x)_{\max} - f_m(x)_{\min}} \times 9 + 1$$

[0036] 其中Q为该项最终得分, $f_m(x)_{\max}$ 为第m项函数计算得到的全市燃气管段该项最大值, $f_m(x)_{\min}$ 为第m个函数计算得到的全市燃气管段该项最小值; $f_m(x)_t$ 为第t段燃气管段第m项函数的计算值;

[0037] 所述半定量指标及定性指标的选取及分级参照现行标准与相关文献,分别包括多级指标;

[0038] 待评估燃气管段泄漏可能性由下式计算

$$[0039] \quad H_1 = \sum Q_{ki} w_{ki} w_k$$

[0040] 式中 $H_1$ 为待评估燃气管段泄漏可能性, $Q_{ki}$ 为第k项一级指标的第i项二级指标得分, $w_{ki}$ 为该指标对应权重, $w_k$ 为二级指标对应一级指标权重;

[0041] 根据待评估燃气管段周边设定范围内其他监控设备报警情况,对 $H_1$ 进行修正,得

$$[0042] \quad H'_1 = H_1 \times 1.2^{\frac{25n}{l}}$$

[0043] 其中 $H'_1$ 为燃气泄漏可能性评估值,l为待评估燃气管段长度,n为报警设备数量,当 $H'_1$ 大于10时, $H'_1$ 取10;

[0044] 步骤2、燃气扩散可能性计算,根据如下公式计算燃气扩散可能性 $P_D$

$$[0045] \quad PD = \begin{cases} 1 & (d \leq 2.5m) \\ -0.1d + 1.25 & (2.5m \leq d \leq 12.5m) \\ 0 & (d \geq 12.5m) \end{cases}$$

[0046] 其中d为待评估燃气管段距待评估周边管线的最短距离;

[0047] 步骤3、待评估周边管线易损性计算,易损性 $P_V$ 通过以下公式计算获得

$$[0048] \quad P_V = \sum_{x=1}^y P_{V_x} \varphi_x$$

[0049] 其中, $P_{V_x}$ 为第x个评价项 $V_x$ 的值, $\varphi_x$ 为第x个评价项 $V_x$ 的权重,共计y个评价项;

[0050] 当周边管线为电力管线或通信管线时,易损性评价项 $V_x$ 包括地下管沟的侧壁材质、设备使用年限、地质灾害稳定性、第三方施工、道路等级;

[0051] 当周边管线为排水管线时,易损性评价项 $V_x$ 包括排水管脆弱性 $P_{V_1}$ 、排水管周边水位高度 $P_{V_2}$ ;

[0052] 其中,

$$[0053] \quad P_{V_1} = \sum Q_{pi} \omega_{pi} \omega_p$$

[0054] 式中 $P_{V_1}$ 为排水管道的脆弱性; $Q_{pi}$ 为第p项一级指标的第i项二级指标得分, $\omega_{pi}$ 为该指标对应权重, $\omega_p$ 为二级指标对应一级指标权重;所述指标权重由专家打分法获取;当排水管道曾出现渗漏且未被修复, $P_{V_1}$ 取10分;

$$[0055] \quad P_{V_2} = \sum Q_{ri} \omega_{ri} \omega_r$$

[0056] 式中 $P_{V_2}$ 为排水管周边水位高度性; $Q_{ri}$ 为第r项一级指标的第i项二级指标得分, $\omega_{ri}$ 为该指标对应权重, $\omega_r$ 为二级指标对应一级指标权重,指标权重由专家打分法获取。

[0057] 步骤4、燃气点火可能性 $P_I$ 计算,至少根据待评估周边管线的内部因素 $P_1$ 、外部因素 $P_2$ 、天气因素 $P_3$ 对点火可能性 $P_I$ 进行计算

$$[0058] \quad P_I = aP_1 + bP_2 + cP_3$$

[0059] 其中a、b、c分别为对应因素的权重;所述内部因素 $P_1$ 为待评估周边管线的自身故障率,所述外部因素 $P_2$ 根据待评估周边管线的功能区域划分、人流量划分等级而得,天气因素 $P_3$ 为实时天气情况划分等级而得;

[0060] 本实施例中,根据不同的应用场景,内部因素 $P_1$ 、外部因素 $P_2$ 、天气因素 $P_3$ 均不同;

[0061] 当周边管线为电力管线或通信管线时,内部因素

$$[0062] \quad P_1 = \sum_1^4 T_i$$

$$[0063] \quad f_i(x) = \frac{n_i}{FN}$$

[0064]  $f_i(x)$ 为电缆部件故障率, $n_i$ 为不同电缆部件引起电缆系统故障的案件数;FN为所有故障数, $T_i$ 为 $f_i(x)$ 为电缆部件故障率对应的分值;

[0065] 当周边管线为排水管线时,内部因素 $P_1$ 为0。

[0066] 步骤5、爆炸后果分析,爆炸后果C通过以下公式计算

$$[0067] \quad C = \sum_{z=1}^j \epsilon_z \times \frac{C_z}{C_{zmax}} \times 10$$

[0068] 其中,j表示有j个评价项影响爆炸后果, $C_z$ 表示第z个评价项的值, $\epsilon_z$ 为 $C_z$ 的权重, $C_{zmax}$ 为第z个评价项的最高等级值;

[0069] 当周边管线为电力管线或通信管线时,爆炸后果C的评价指标包括断网影响 $C_1$ 、社会影响 $C_2$ 、爆炸影响 $C_3$ ;所述断网影响 $C_1$ 根据断网影响范围进行故障等级划分;所述爆炸影响 $C_3$ 包括破片伤害 $C_{31}$ 和火焰伤害 $C_{32}$ ,

$$[0070] \quad C_3 = \sum_{i=1}^3 \sigma_i \beta_i C_{3i}$$

$$[0071] \quad C_{31} = \pi \left( \frac{2\mu\theta v_w \rho_1 Q_1}{a' m_w g} \right)^2 \rho$$

$$[0072] \quad C_{32} = 0.7 (0.8h_1 + 0.65) \rho$$

[0073] 其中, $\beta_i$ 为 $C_{3i}$ 的权重, $Q_1$ 为燃气的燃烧热, $\theta$ 为甲烷体积当量, $\rho_1$ 为可燃气体密度, $a'$ 为空气阻力系数, $g$ 为重力加速度, $v_w$ 取 $0.385\text{m}^3$ ;其中 $u$ 取 $6.41\%$ ;  $m_w$ 为井盖质量, $\rho$ 表示排水管线50m范围内的人口密度,实时获取, $h_1$ 为窰井深度;

[0074] 当周边管线为排水管线时,爆炸后果

$$[0075] \quad C = u_1 C_1 + u_2 C_2 + u_3 C_3 + u_4 C_4 + u_5 C_5$$

[0076] 其中, $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 、 $C_4$ 、 $C_5$ 分别为排水管线爆炸超压对人员伤害、排水管线爆炸超压对建筑物的损伤后果、排水管线爆炸振动对建筑物的损伤范围、排水管线爆炸破片对人损伤后果、排水管线爆炸对交通的影响, $u_1$ 、 $u_2$ 、 $u_3$ 、 $u_4$ 、 $u_5$ 分别为 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 、 $C_4$ 、 $C_5$ 的对应权重系数。

[0077]  $C_1$ 由下式计算得到:

$$[0078] \quad C_1 = A_{cr} \rho$$

$$[0079] \quad R_{cr} = 5.152 \sqrt[3]{S}$$

$$[0080] \quad A_{cr} = 2lR_{cr} + \pi R_{cr}^2$$

[0081] 其中, $R_{cr}$ 为排水管线爆炸超压对人员伤害范围, $A_{cr}$ 为超压人员伤害面积, $\rho$ 为排水管线50m范围内的人口密度最大值, $l$ 取50m, $S$ 为排水管线截面积;

[0082]  $C_2$ 由下式计算得到:

$$[0083] \quad C_2 = 0.6n_{c1} + 0.4n_{c2}$$

[0084] 其中, $n_{c1}$ 、 $n_{c2}$ 分别为超压影响范围内气站、加油站、石油和天然气企业等危险源数量,银行、商业区、火车站、汽车站等防护目标数量;

[0085]  $C_3$ 由下式计算得到:

$$[0086] \quad C_3 = 0.35n_{s1} + 0.15n_{s2} + 0.5n_{s3}$$

[0087] 其中, $n_{s1}$ 、 $n_{s2}$ 、 $n_{s3}$ 分别为振动影响范围内危险源数量、防护目标数量、地下管线数量;

[0088]  $C_4$ 由下式计算得到:

$$[0089] \quad C_4 = A_f \rho$$

$$[0090] \quad R_f = 0.42 \frac{S_0}{S_1}$$

$$[0091] \quad A_f = 2lR_f + \pi R_f^2$$

[0092] 其中, $S_1$ 为排水管线上方覆盖物截面积, $S_0$ 为管道截面积, $R_f$ 为破片损伤半径, $A_f$ 为破片损伤面积, $\rho$ 为人口密度;

[0093]  $C_5$ 由下式计算得到:

[0094]  $C_5 = 2SR$

[0095] 其中SR为影响城市主干道交通单向车道数量。

[0096] 步骤6、应急能力 $\beta$ 计算，

[0097]  $\beta = f \cdot m'$

[0098] 其中f为消防救援补偿系数， $m'$ 为医疗救援补偿系数；所述f、 $m'$ 取值根据事故点距消防单位、医疗机构的距离而定；

[0099] 步骤7、周边管线风险评估R通过以下公式计算

$$[0100] \quad R = \frac{H'_1 P_D P_V P_I C}{\beta} \alpha$$

[0101] 其中， $\alpha$ 为社会影响，根据待评估周边管线所在区域位置重要性进行取值。

[0102] 步骤8、隐患识别，根据 $P_D$ 、待评估燃气管段与待评估周边管线的距离、对发生过燃气聚集的周边管线与检查井是否处理来认定周边管线是否存在安全隐患。

[0103] 接下来以电力管线、通信管线、排水管线为例详细说明。

[0104] 概念说明：

[0105] 1. 泄漏可能性

[0106] 耦合隐患的之所以存在是由于燃气管线发生泄漏，燃气管道泄漏原因分为自身原因与外界原因，其泄漏可能性的大小直接影响耦合隐患存在的可能性，进行风险评估时必须对泄漏可能性大小进行计算。

[0107] 2. 燃气扩散可能性

[0108] 燃气管道发生破损后，燃气会沿着泄漏点在附近介质中扩散（一般为土壤），由于土壤为多孔介质，燃气扩散会沿着空隙向更远距离推进，但受到自身扩散压力与土壤阻力等因素影响，燃气扩散的距离不可能无限远，会保持在一定范围内，如果在该区域内出现地下空间，燃气可能扩散至地下空间内部形成聚集，这是地下空间爆炸事故发生的必要条件，因此需要对燃气扩散可能性进行评估。

[0109] 3. 易损性分析

[0110] 当燃气通过土壤扩散至通信管线附近时，如通信管线存在损坏，则燃气会通过破损处扩散至管线内部形成聚集。通信管线的易损性从窰井位置、地质条件、施工破坏、定期巡查四方面就行评估。

[0111] 4. 后果影响分析

[0112] 通信管道如发生爆炸事故势必对通信线路以及周边人员等造成损伤。事故后果通过故障等级、爆炸后果等方面进行分析，最终得出综合后果评估值。

[0113] 5. 风险计算

[0114] 根据风险计算结果将风险值进行计算，以风险值大小为依据进行风险分级，便于有针对性的对高风险区域进行安全布控。

[0115] 6. 隐患辨识

[0116] 根据隐患存在的条件判断管线与管线之间是否存在耦合隐患的存在。

[0117] 一、电力管线

[0118] 电力管线-燃气管线耦合隐患表现为双方的相互影响，本案例主要指燃气管线泄漏后扩散至电力管线内发生爆炸的隐患。

[0119] 1. 泄漏可能性

[0120] 管道泄漏可能性评估以历史失效记录数据为基础。在不具备当地实际的燃气管网事故历史数据时,可以根据国外的PHMSA、EGIG等油气管道数据库管网事故历史数据进行估算。

[0121] 表1管道基本失效概率表

失效类型	美国PHMSA数据库比例%
腐蚀	18.23
第三方破坏	21.17
自然力破坏	7.22
材料/焊接/装备	37.17
其他因素	16.21
合计	100

[0123] 为了减少评价过程中的主观性,对修正因子指标进行了尽可能多的量化。考虑到量化修正因子的难度不同,修正因子指标分为定量指标(见表2、半定量指标(见表3)和定性指标(见表4)三大类。

[0124] 对于定量指标,需要大量的统计数据来提供相关的结果。本文利用EGIG数据库构建定量指标体系。该数据库表明,燃气管道的故障频率取决于管道的基本特征参数,如管道直径、壁厚、覆盖层深度。每个定量指标对应一个基本特征参数。虽然EGIG的数据库事故仅限于欧洲,但故障频率与管道基本参数之间的一般关系也适用于统计数据不够详细的世界其他地区的管道系统。定量指标各项得分取值范围为[1,10]。通过插值法获取每项最终得分,即

$$[0125] \quad Q = \frac{f_m(x)_t - f_m(x)_{min}}{f_m(x)_{max} - f_m(x)_{min}} \times 9 + 1$$

[0126] 其中Q为该项最终得分, $f_m(x)_{max}$ 为第m项函数计算得到的全市燃气管段该项最大值, $f_m(x)_{min}$ 为第m个函数计算得到的全市燃气管段该项最小值; $f_m(x)_t$ 为第t段燃气管段第m项函数的计算值。取计算值中排名前0.1%(待评估燃气管段数量大于5万,取0.1%;待评估燃气管段数量大于1万小于5万,取0.5%;当待评估燃气管段数量小于1万条,取1%)的最小值作为 $f_m(x)_{min}$ 的取值,所有计算结果大于 $f_m(x)_{max}$ 的管段 $Q_m$ 取10,这样做的目的是避免较小样本量的离群点对整体计算的干扰。相关函数见表2。

[0127] 半定量指标包括土壤腐蚀速率、阴极保护电位、防腐层最大衰减率、杂散电流干扰、管道安全系数、系统安全系数等。相关指标选取及分级参照现行标准及相关文献。对于定性指标,由于没有确切数据作为支撑不能量化,相关指标选取及分级参照了相关文献。半定量指标和定性指标各等级对应不同分值,其中“Ⅰ”对应“1”,“Ⅱ”对应“3”,“Ⅲ”对应“5”,“Ⅳ”对应“7”,“Ⅴ”对应“10”。

[0128] 对于聚乙烯管道,其泄漏原因主要为泄漏原因包括第三方破坏、焊接质量、管材等问题。因此本模型定量、半定量、定性评估均不考虑腐蚀对聚乙烯管的影响。

[0129] 待评估燃气管段泄漏可能性由下式计算

$$[0130] \quad H_1 = \sum Q_{ki} w_{ki} w_k$$

[0131] 式中 $H_1$ 为待评估燃气管段泄漏可能性。 $Q_{ki}$ 为第k项一级指标的第i项二级指标得

分,  $w_{ki}$  为该指标对应权重,  $w_k$  为二级指标对应一级指标权重。相关指标权重根据专家打分法获得, 具体推荐数值见表5。若相关数据获取存在困难, 则将该项权重等比分配到该一级指标对应可获取数据二级指标上。

[0132] 另外当管线周边12.5m范围内存在监测设备报警时, 其泄漏可能性增加。规定当待评估燃气管段周边12.5m范围内监测设备报警, 则其泄漏可能性

[0133] 
$$H'_1 = H_1 \times 1.2^{\frac{25n}{l}}$$

[0134] 其中  $H'_1$  为燃气泄漏可能性评估值,  $l$  为待评估燃气管段长度,  $n$  为报警监测设备数量。当  $H'_1$  大于10时,  $H'_1$  取10。

[0135] 表2定量指标

一级指标 (Fi)	二级指标 (Fij)	拟合曲线
腐蚀(钢管、铸铁管等非聚乙烯管道)	壁厚	$f(x) = -0.0063 + 0.19697e^{-x/5.6943}$
	管龄	$f(x) = -0.0023 + 0.0024e^{x/15.7158}$
自然力破坏	直径	$f(x) = 0.0527 - 0.00203x + 2.04046 \times 10^{-5}x^2$ (管径大于 50mm 时, $f(x)$ 取 0.0005)
[0136] 第三方破坏	壁厚	$f(x) = 0.8805e^{-0.346x}$
	直径	$f(x) = 0.9075e^{-0.006x}$
	覆土厚度	$f(x) = 2.4234e^{-0.029x}$
材料/施工缺陷	管龄 (材料泄漏)	$f(x) = 1.43812 \times 10^{-4} \times e^{x/9.49411} + 8.8862 \times 10^{-4}$
	管龄 (施工缺陷)	$f(x) = 0.01679 - 0.00161x + 4.45119 \times 10^{-5}x^2$

[0137] 表3半定量指标

一级指标	二级指标	判断标准	修正因子等级				
			I	II	III	IV	V
[0138] 腐蚀 (钢管、	防腐层	种类	三层 PE 复合涂料	煤焦油瓷漆或环氧煤沥青	沥青加玻璃布	防锈油漆或高密度聚乙烯	无防腐层

[0139]

铸铁管等非聚乙烯管道)	土壤腐蚀性	土壤电阻率 $F_{C4}$ ( $\Omega \cdot m$ )	$F_{C4} > 50$	$40 \leq F_{C4} < 50$	$30 \leq F_{C4} < 40$	$20 \leq F_{C4} < 30$	$F_{C4} < 20$
	阴极保护	管地电位 $F_{C5}$ (V)	$F_{C5} < -1.5$	$-1.5 \leq F_{C5} < -0.95$	$-0.95 \leq F_{C5} < -0.9$	$-0.9 \leq F_{C5} < -0.85$	$F_{C5} > -0.85$ 或无
		检测频率 $F_{C6}$ (年/次)	$F_{C6} < 0.5$	$0.5 \leq F_{C6} < 1$	$1 \leq F_{C6} < 2$	2	$F_{C6} > 2$
	杂散电流	电位梯度 $F_{C7}$ (mV/m)	0	$0 < F_{C7} \leq 0.5$	$0.5 < F_{C7} \leq 1.5$	$1.5 < F_{C7} \leq 2.5$	$F_{C7} > 2.5$
	腐蚀系数	增长速度 $F_{C8}$ (mm/年)	$F_{C8} < 0.02$	$0.02 \leq F_{C8} < 0.1$	$0.1 \leq F_{C8} < 0.5$	$0.5 \leq F_{C8} < 2.5$	$F_{C8} > 2.5$
	地铁运行影响	距地铁距离 $F_{C8}$ (m)	$F_{C8} > 150$	$100 < F_{C8} \leq 150$	$50 < F_{C8} \leq 100$	$25 < F_{C8} \leq 50$	$0 < F_{C8} \leq 25$
	腐蚀单位长度次数	近 5 年管道 50m 范围内腐蚀单位长度次数 (次/m)	[0, 0.04)	[0.04-0.12)	[0.12-0.2)	[0.2-0.28)	$\geq 0.28$
第三方破坏	巡线	巡线频率 (日/次)	$\leq 1$	2	3	4	$\geq 5$
	施工位置	施工点距管段最短距离	1)最高工作压力小于或等于 1.6MPa 的燃气管道及附属设施, 外缘周围 20m 范围外的区域; 2)最高工作压力大于 1.6MPa 的燃气管道及附属设施, 外缘周围 100m 范围外的区域。 (范围超规范, 考虑施工单位在管道附近进行施工, 造成地质沉降、管道应力改变, 引发管道泄漏)	1) 最高工作压力小于或等于 1.6MPa 的燃气管道及附属设施, 外缘周围 (10~20)m 范围外的区域; 2) 最高工作压力大于 1.6MPa 的燃气管道及附属设施, 外缘周围 (75-100)m 范围外的区域。	1) 最高工作压力小于或等于 1.6MPa 的燃气管道及附属设施, 外缘周围 (5~10)m 范围外的区域; 2) 最高工作压力大于 1.6MPa 的燃气管道及附属设施, 外缘周围 (50~75)m 范围外的区域。	1) 最高工作压力小于或等于 1.6MPa 的燃气管道及附属设施, 外缘周围 (0.7~5.0)m 范围内的区域; 2) 最高工作压力大于 1.6MPa 的燃气管道及附属设施, 外缘周围 (5, 50)m 范围内的区域。 (控制范围)	1)最高工作压力小于或等于 1.6MPa 的燃气管道及附属设施, 外缘周围 0.7m 范围内的区域; 2)最高工作压力大于 1.6MPa 的燃气管道及附属设施, 外缘周围 5m 范围内的区域。 (保护范围)
	管道标识	标准完整度	100%	[90%, 100%)	[70%, 90%) 或无数	[50%, 70%)	<50%

[0140]

					据		
材料/焊接/装备	焊口无损检测	无损检测一次合格率	100%	[90%, 100%)	[80%, 90%)	[70%, 80%)	<70%
	管道安全系数	最大壁厚/计算壁厚	>1.40	[1.21, 1.40)	[1.11, 1.21)	[1.00, 1.10)	<1.00
	系统安全系数	设计压力/最大工作压力	>1.51	[1.26~1.51)	[1.10, 1.26)	[1.00, 1.10)	<1.00
	材料/焊接/装备泄漏原因单位长度次数	近五年管道50m范围内材料/焊接/装备泄漏原因单位长度次数(次/m)	[0, 0.04)	[0.04-0.12)	[0.12-0.2)	[0.2-0.28)	≥0.28
其他	白蚁侵蚀单位长度次数	近五年管道50m范围内白蚁侵蚀事件密度(次/m)	[0, 0.04)	[0.04-0.08)	[0.08-0.12)	[0.12-0.16)	>0.16

[0141]

表4定性指标

一级指标	二级指标	判断标准	修正因子等级				
			I	II	III	IV	V
第三方破坏	地区活动程度	周边 100m 内建设活动	没有建筑活动	1	2	3	≥4
	第三方施工管理	1) 管线分布交底; 2) 制定燃气设施保护方案; 3) 采取相应的安全保护措施; 4) 燃气公司监护;	全部满足	满足三项	满足两项	满足一项	全部不满足
材料/焊接/装备	焊缝缺陷	缺陷程度	无异常	已修复或无需修复	轻度	中度	重度或未检测
	车辆碾压	管道所在位置	几乎没有车辆通行	支路	次干路	主干路	快速路
	非法占压	是否存在非法占压	无	—	—	—	有
自然力破坏	恶劣天气	暴雨、洪水、台风发生可能性	非常低	低	中等	高	非常高
	泄漏可能性	灾害发生后造成管道泄漏的可能性(或燃气管线距地灾点距离)	周边无地灾点(≥100)	较低([50, 100)m)	中((25, 50)m)	较高((0, 25)m)	高(地灾影响范围内)
[0143]	地质灾害易发性	地质灾害隐患点稳定性	周边无地灾点	稳定性好		稳定性较差	稳定性差

[0144] 表5各级指标对应权重

[0145]

一级指标	一级指标权重	二级指标	二级指标权重
腐蚀 (Fc)	0.239	壁厚 (Fc1)	0.2
		管龄 (FC2)	0.2
		防腐层 (FC3)	0.13
		土壤腐蚀性 (FC4)	0.046
		阴极保护管地点位 (FC5)	0.046
		阴极保护检测频率 (FC6)	0.046
		杂散电流 (FC7)	0.046
		腐蚀系数 (FC8)	0.093
		地铁运行影响 (FC9)	0.046
		腐蚀单位长度次数 (FC9)	0.147
自然力破坏 (FN)	0.078	直径 (FN1)	0.265
		地质灾害 (FN2)	0.37
		恶劣天气 (FN3)	0.10
		泄漏可能性 (FN4)	0.265
第三方破坏 (FT)	0.338	壁厚 (FT1)	0.125
		直径 (FT2)	0.125
		覆土厚度 (FT3)	0.125
		巡线 (FT4)	0.125
		施工位置 (FT5)	0.125
		管道标识 (FT6)	0.125
		地区活动程度 (FT7)	0.125
		第三方施工管理 (FT8)	0.125
材料/焊接/装备 (FM)	0.303	管龄 (材料泄漏) (FM1-1)	0.0625
		管龄管龄 (施工缺陷) (FM1-2)	0.0625
		焊口无损检测 (FM2)	0.125
		管道安全系数 (FM3)	0.125
		系统安全系数 (FM4)	0.0625
		车辆碾压 (FM5)	0.0625

[0146]			焊缝缺陷 (FM6)	0.125
			材料/焊接/装备泄漏原因单位长度次数 (FM7)	0.25
			非法占压 (FM8)	0.125
	其他 (F0)	0.042	白蚁侵蚀单位长度次数 (F0)	1

[0147] 2. 燃气聚集可能性计算

[0148] 根据现有研究实验,扩散距离总存在一个最小值 $R_{min}$ 和最大值 $R_{max}$ ,当 $d \leq R_{min}$ 时,肯定可以监测到泄漏,故扩散可能性 $P_D = 1$ ;当 $d > R_{max}$ 时,测点肯定监测不到泄漏,故可能性 $P_D = 0$ ;当 $R_{min} < d \leq R_{max}$ 时,可能性与泄漏距离之间存在函数关系,参考德国水和燃气协会(DVGW)研究成果 $R_{min} = 2.5m, R_{max} = 12.5m$ ,对于函数 $f(d)$  ( $d$ 单位为米),目前尚无研究,假设为一元一次线性函数,即:

$$[0149] \quad P_D = \begin{cases} 1 & (d \leq 2.5) \\ -0.1d + 1.25 & (2.5 \leq d \leq 12.5) \\ 0 & (d \geq 12.5) \end{cases}$$

[0150] 3. 燃气点火可能性 $P_I$ 计算

[0151] 地下空间发生爆炸,点火是必不可少的一个环节,点火可能性的大小直接影响地下空间爆炸的可能性。电力井内存在燃气聚集其点火可能性受到很多因素影响。

[0152] 电力井内的点火可能性的分为内部因素与外部因素,内部点火因素主要是电线设备内部故障出现的电打火现象,外部人流因素主要因为人流量的不同会直接影响点火可能性,同时天气因素也会影响点火可能性。本文从内部因素、外部因素、天气因素对点火可能性进行分析,权重由专家打分法获得,推荐权重0.5、0.3、0.2。

$$[0153] \quad P_I = 0.5P_1 + 0.3P_2 + 0.2P_3$$

[0154] 3.1 电缆内部因素 $P_1$

[0155] 查阅文献得出,电缆系统故障设备类型主要分为线缆本体、线缆终端、线缆接头、其他位置。电缆设备的故障会造成电打火乃至火灾的发生,使用电缆设备的历史损坏故障数据进行评分。

$$[0156] \quad f_i(x) = \frac{n_i}{FN}$$

[0157]  $f_i(x)$  为电缆部件故障率, $n_i$ 为不同电缆部件引起电缆系统故障的案件数;FN为所有故障数,根据不同部件的故障率进行评定,如下表。

[0158] 表6电缆设备故障取值表

	电缆设备故障率 $f_i(x)$ (%)	分值 $T_i$
[0159]	[0-10)	1
	[10-30)	4
[0160]	[30-70)	7
	[70-100]	10

[0161]  $P_1 = \sum_1^4 T_i$

[0162] 3.2外部人流因素 $P_2$

[0163] 当人流量增加时,会影响点火可能性,根据人流分布情况进行评估,具体的分值评定见下表。

[0164] 表7人流密度标准

[0165]

当前人流量	评估分值 $P_2$
大于0.069人/ $m^2$	10
[0.0416-0.069]人/ $m^2$	7
[0.0139-0.0416)人/ $m^2$	4
小于0.0139人/ $m^2$	1

[0166] 3.3天气因素 $P_3$

[0167] 环境条件中的降雨能影响点火的难易、降雪覆盖报警井盖孔防止火源进入被点燃,二者都是影响点火难易的因素,故环境条件 $P_2$ 包括当前是否降雨和是否降雪,具体分值设置见表。

[0168] 表8环境条件分值取值表

[0169]

序号	环境条件	等级	取值
1	降雨	小雨	7
2		中雨	5
3		中雨以上	3
4	降雪	小雪	7
5		中雪	5
6		中雪以上	3
7	雨夹雪	雨夹雪	3

[0170] 无降雨降雪情况, $P_2$ 取值为10。

[0171] 4.待评估周边管线易损性 $P_v$ 计算

[0172] 燃气通过土壤扩散至电力管线附近,其是否能够扩散至电力管线内部,还与电力管线易损性有关,本文选取了侧壁材质、使用年限、周边环境三方面对其易损性进行评估,三部分权重分配分别为0.3、0.3、0.4。

[0173] 4.1侧壁材质 $b_1$

[0174] 电力管线有多种敷设方式,隧道式敷设其侧壁为预制混凝土拼装板墙体,管沟式的敷设方式其侧壁为钢筋混凝土浇筑体,部分简易的工程项目,电力管线侧壁为砖砌墙体,而一些管道敷设的电力管线其与土壤接触的仅为外侧PE套管。钢筋混凝土浇筑墙体整体性强,抗外部破坏能力相比于其他三种更强,直埋的PE套管其很容易受到车辆碾压破损,同时老化现象也很严重,随着使用年限的增加与外部影响,会出现破损与孔洞现象,这一点为可燃气体蔓延扩散提供有利条件。侧壁材质易损性指标得分如下表所示:

[0175] 表9侧壁材质对应分值

[0176]

材料类型	得分 $b_1$
PE套管	10
砖砌墙体	7
预制混凝土拼装板墙体	4

钢筋混凝土浇筑体	1
----------	---

[0177] 4.2使用年限 $b_2$

[0178] 一般电力设备设施规定为10年免维护,20年使用寿命,30年设计寿命,如今城市化发展加速,新建的电力设备设施管道大多处于10年以内,为能够进一步准确评估,设定5年内的设备实施为最低评估标准,具体指标得分如表所示。

[0179] 表10使用年限得分情况

使用年限	得分 $b_2$
$\leq 5$	1
(5,10]	2
(10,20]	3
(20,30]	4
$> 30$	5

[0181] 4.3周边环境 $b_3$

[0182] 周边环境的复杂性对电力管线的影响很大,周边环境从地质灾害稳定性 $b_{31}$ 、第三方施工 $b_{32}$ 、道路等级 $b_{33}$ 三方面进行评估。根据专家打分法确定权重值,推荐权重如下表11。

[0183] 表11周边环境影响因素权重分布

周边环境影响因素	因素权重 $\delta_i$
地质灾害稳定性 $b_{31}$	0.235
第三方施工 $b_{32}$	0.408
道路等级 $b_{33}$	0.357

[0185] 周边环境评估值计算公式如下:

[0186] 
$$b_3 = \sum_1^3 b_{3i} \times \delta_i$$

[0187] 4.4地质灾害稳定性 $b_{31}$

[0188] 根据电力管线周边地形地貌、岩土体类型及性质、地质构造以及地下水特征等地质环境条件,结合已有地质灾害类型和发育程度,将评估区域划分为地质灾害高易发区、地质灾害中易发区、地质灾害低易发区及地质灾害不易发区,同时根据各易发区可能发生的斜坡类地质灾害(即崩塌、滑坡地质灾害)、岩溶塌陷地质灾害、地面沉降地质灾害划分了亚区。

[0189] 表12地质灾害稳定性对应分值

	分级	分值
	地质灾害高易发区	3.5
	地质灾害高易发亚区	3.0
	地质灾害中易发区	2.5
	地质灾害中易发亚区	2.0
[0191]	地质灾害低易发区	1.5
	地质灾害低易发亚区	1.0
	地质灾害不易发区	0.5

[0192] 4.5第三方施工 $b_{32}$

[0193] 当电力管线周边一定范围内存在施工时,第三方施工活动会影响影响电力管线的完整性,不同的施工类型对地下燃气管线的影响方式有所不同,可将施工类型按照空间位置进行分类,包括地表施工(道路铺设、建筑施工引发地面振动和地面不均匀沉降)、开挖施工(机械开挖,人工开挖引发的撞击,贯穿等)、钻探施工、地下施工(地铁施工引发的振动、物理撞击等)。

[0194] 表1施工影响评分标准

施工类型	指标	10	7	5	3	1
地表施工 F <sub>1</sub>	施工范围 0.3	≤5	(5, 10]	(10, 15]	(15, 20]	≥20m
	施工强度 0.3	道路铺设和建筑 施工	道路铺 设	建筑施 工	其他构筑物施 工	-
	施工频率/次/周 0.4	>7	[6, 7]	[4, 5]	[2, 3]	[0, 1]
开挖施工 F <sub>2</sub>	施工范围 0.4	≤5	(5, 10]	(10, 15]	(15, 20]	≥20m
	施工频率/次/周 0.6	>7	[6, 7]	[4, 5]	[2, 3]	[0, 1]
地下施工 F <sub>3</sub>	施工范围 0.4	≤5	(5, 10]	(10, 15]	(15, 20]	≥20m
	施工频率/次/周 0.6	>7	[6, 7]	[4, 5]	[2, 3]	[0, 1]
钻探施工 F <sub>4</sub>	施工范围 0.4	≤5	(5, 10]	(10, 15]	(15, 20]	≥20m
	施工频率/次/周 0.6	>7	[6, 7]	[4, 5]	[2, 3]	[0, 1]

[0196] 
$$F_i = \sum_{i=1}^4 \mu_i f_i$$

[0197]  $\mu_i$ 为第i项指标指标权重因子, $f_i$ 为第i项指标评估分值。

[0198] 如果只有一种类型施工,

[0199] 则 $b_{32}=F_i$

[0200] 若存在多种施工类型,按照下式计算施工影响结果。设施工种类为n,n=1,2,3,4。

[0201] 
$$b_{32} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i - n}{n} + 1$$

[0202] 4.6道路等级 $b_{33}$

[0203] 当电力设施处在马路下方,车辆的碾压加剧破损。人员活动密集地也会加剧设备破损。当电力管线处于不同的道路等级区域内时,其受到的车辆碾压与人为活动干扰不同,根据城市道路等级划分标准,对不同道路进行分值评估,如下表。

[0204] 表2道路等级划分标准

道路类型	环境情况分值 $b_{33}$
快速路	10
主干路	7
次干路	5
支路	3
绿化/不受干扰区域	1

[0206] 窨井的易损性受到很多因素影响,在进行易损性评估时,查阅资料主要从窨井位置、地质条件、施工破坏、定期巡查四个方面进行评估,权重分配如下表。

[0207] 表15易损性评估权重表

	影响因素 V	权重 $\phi$
[0208]	窰井位置	0.21
	地质条件	0.19
	施工破坏	0.33
	定期巡查	0.27

[0209] 
$$P_V = \sum_{x=1}^y P_{V_x} \phi_x$$

[0210] 其中,  $P_{V_x}$  为第 x 个评价项  $V_x$  的值,  $\phi_x$  为第 x 个评价项  $V_x$  的权重, 共计 y 个评价项。

[0211] 5. 爆炸后果影响 C

[0212] 电力管线-燃气管线耦合的后果分析主要从爆炸后果、电力事故等级两方面进行分析, 综合专家意见对这两方面的权重分配如表3所示。

[0213] 表3后果分析对应权重  $\phi$

[0214]

后果分析 C	权重 $\phi$
爆炸后果	0.64
电力事故等级	0.36

[0215] 事故造成总的损失可由下式表示:

[0216] 
$$C = \sum_1^2 \phi_i \frac{C_i}{C_{imax}} \times 10$$

[0217] 式中: C 为耦合风险后果,  $\phi_i$  为第 i 项指标的权重因子,  $C_i$  为第 i 项指标的得分,  $C_{imax}$  为第 i 项指标的最大得分值。

[0218] 5.1 爆炸后果

[0219] 敷设在地下的电力管线, 如果内部充满可燃性气体, 发生爆炸后对检查井的影响最大, 因为检查井内部空间大, 可燃气体聚集较多, 检查井盖会在爆炸压力作用下打开, 释放井内压力, 因此检查井附近的人很容易受到爆炸伤害。

[0220] 5.11 独立窰井爆炸损伤可能性判断系数  $\sigma_1, \sigma_2$

[0221] 独立窰井爆炸伤害分为破片伤害与火焰伤害, 两种伤害模式能够造成损伤是需要一定前提条件的, 如果条件不满足, 那么燃气管道泄漏至电力井发生爆炸造成损伤的隐患将不存在, 因此在进行事故后果分析前, 进行隐患的辨识十分有必要,  $\sigma_1$  为破片伤害可能性判断系数,  $\sigma_2$  火焰伤害可能性判断系数。

[0222] 窰井的铰链能够防止爆炸时井盖飞出, 如果铰链完好, 能够发挥作用, 那么窰井爆炸破片伤害带来的损伤就很小。根据实验研究结果, 窰井深度 2m 时, 爆炸火焰长度大于 1m 持续时间最长, 为 550ms, 此时热计量为  $104.5 \text{kJ/m}^2$ , 在 1m 处火焰对人的伤害为皮肤疼痛, 趋近于一度烧伤。因此当井深大于 2m 时, 火焰伤害能够对人体构成趋近于一度烧伤的损害, 当井深小于 2m 时, 火焰伤害可以忽略, 井深数据通过管网办信息库获取。

[0223] 表4可能性判断系数取值表

系数取值	0.1	1
[0224] 破片伤害可能性判断系数 $\sigma_1$	井盖铰链没有破损, 铰链连接正常	铰链缺失或断裂
火焰伤害可能性判断系数 $\sigma_2$	井深小于 2m	井深大于等于 2m

[0225] 5.1.2独立窨井爆炸 $C_1$

[0226] 独立地窨井的爆炸损伤模式主要分为两种,破片伤害 $C_{11}$ 和火焰伤害 $C_{12}$ ,两种损伤模式对人员伤害的程度不同。通过咨询专家的方法,可以得到破片伤害 $C_{11}$ 的权重 $\beta_1$ 为0.62,火焰伤害 $C_{12}$ 的权重 $\beta_2$ 为0.38。

[0227]  $C_1 = \sum_{i=1}^2 \sigma_i \beta_i C_{1i}$

[0228] 独立窨井爆炸的破片伤害是指爆炸造成井盖飞起,对井附近人员产生伤害。

[0229] (1) 破片伤害 $C_{11}$ 可表示为:

[0230]  $C_{11} = \pi \left( \frac{2\mu\theta V_w \rho_1 Q_1}{am_w g} \right)^2 \rho$

[0231] 其中 $Q_1$ 为燃气的燃烧热,kJ/kg,对于天然气, $Q_1$ 取50200kJ/kg; $\theta$ 为甲烷体积当量,取值10%; $\rho_1$ 为可燃气体密度,kg/m<sup>3</sup>,天然气取值0.77kg/m<sup>3</sup>(标准状态); $a$ 为空气阻力系数,一般为1.1~1.2,此处取值1.1; $g$ 为重力加速度,取9.8N/kg; $V_w$ 取0.385m<sup>3</sup>;其中 $u$ 取6.41%; $m_w$ 为井盖质量,可从管网办获取。 $\rho$ 表示人口密度,人/m<sup>2</sup>,可实时获取;

[0232] (2) 火焰伤害 $C_{12}$ 可表示为:

[0233]  $C_{12} = 0.7 \times (0.8h_1 + 0.65) \rho$

[0234] 其中 $h_1$ 为独立地下空间窨井深度。

[0235] 5.2电力事故等级 $C_2$

[0236] 在得到受事故灾害影响管线信息后,由电力公司通过数据分析提供电力管段事故等级,将电力安全事故等级划分为四个等级,各事故等级对应分值如表5。

[0237] 表5电力安全事故等级取值表

[0238]

事故等级	事故分值 $C_2$
特别重大事故	10
重大事故	7
较大事故	4
一般事故	1

[0239] Tip:若该项无法获得,则在后果中不再考虑停电影响。

[0240] 6.应急能力评估 $\beta$

[0241] 救援补偿因子是指窨井发生爆炸后的救援对事件后果所发挥的作用,用 $\beta$ 表示。通常由消防救援补偿系数 $f$ 、医疗救援补偿系数 $m'$ 两部分组成即 $\beta = f \cdot m'$ 。在本文中消防、医疗补偿因子的取值主要考虑事故点距消防单位、中型以上医疗机构的距离 $d_1$ ,来表征消防、医疗单位对事故的控制能力。救援补偿因子如表6所示。

[0242] 表6消防、医疗救援补偿系数表征值

[0243]

控制等级	$d_1$ /km	因子取值
1	5	1.3

2	10	1.2
3	15	1.1
4	>15	1

[0244] 7. 风险计算

[0245] 燃气管线-通信耦合风险可表示为

$$[0246] \quad R = \frac{H'_1 P_D P_V P_I C}{\beta} \alpha$$

[0247] 其中,其中, $\alpha$ 为社会影响。社会影响主要考虑敏感地点及影响,描述取值见下表。根据待评估燃气管段50m范围内是否存在敏感地点,结合对应分值获取本项评估值。

[0248] 表20敏感地点及影响取值

	敏感地点	对周边的影响	分值 $V_3$
[0249]	党政军机关及宿舍, 医院, 敬老院, 学校, 幼儿园, 干休所、车站、报社、电视台	易造成周边人群心理恐慌	10
	主要商业区、博物馆、体育馆、图书馆、宗教庙宇、景区、监狱	较大	7
[0250]	居民区	较小	4
	一般建筑、工厂或无建筑	很少	1

[0251] 将风险值转化成百分制,对管段风险等级进行划分: $0 < R < 40$ 分为四级, $40 \leq R < 60$ 分为三级, $60 \leq R < 80$ 为二级, $80 \leq R < 100$ 分为一级。

[0252] 8. 隐患辨识

[0253] 燃气管线发生泄漏后,燃气通过土壤扩散至通信管线内部发生聚集,形成隐患。提前做好隐患辨识对燃气管线重点监测十分重要,隐患通过确认燃气管线与通信管线位置进行识别,同时结合检查井基本信息进行隐患辨识分析,具体如下。

[0254] (1) 当电力管线与燃气管线之间的距离小于安全距离时定义为存在隐患。具体的距离要求参照《城镇燃气设计规范2020年版》,直埋电力管线与中低压燃气管道水平净距不小于0.5m,套管电力管线与中低压燃气管道水平净距不小于1m。直埋电力管线与中低压燃气管道垂直净距不小于0.5m,套管电力管线与中低压燃气管道垂直净距不小于1m。

[0255] (2) 当检查井盖铰链缺失或破损时,即 $\sigma_1 = 1$ ,存在破片伤害的隐患。同时井深大于2m时,即 $\sigma_2 = 1$ 时,存在火焰伤害。

[0256] (3) 评估燃气在土壤中扩散可能性表征值时得出 $P_D$ 值大于0时,燃气管道12.5m范围内的通信管线都存在燃气泄漏聚集的隐患。

[0257] 二、通信管线

[0258] 相对于电力管线,不同点在于点火概率和爆炸后果影响这两部分。具体为:

[0259] 1、通信管线的点火概率相对于电力井,不存在内部短路出现电火花等点火源,所以内部因素为0。

[0260] 2、爆炸后果影响C

[0261] 燃气管线泄漏后在连通信管线内部聚集,发生爆炸的后果影响从断网影响、社会影响、爆炸影响三方面进行分析,根据专家经验打分原则,确认三者影响的权重系数,权重数值见下表。

[0262] 表21后果影响权重分布

	后果影响 C	权重ε
[0263]	断网影响	0.35
	社会影响	0.26
	爆炸影响	0.39

[0264] 爆炸后果影响分析评估计算如下：

[0265] 
$$C = \sum_{z=1}^3 \epsilon_z \times \frac{C_z}{C_{zmax}} \times 10$$

[0266] 5.1断网影响C<sub>1</sub>

[0267] 当燃气管线发生泄漏,燃气通过土壤扩散至相邻的通信管线地下空间,在内部聚集,浓度达到爆炸下限后,遇到点火源发生地下空间爆炸事故,爆炸所产生的超压与火焰会造成内部线路故障,造成断网事故,根据断网影响范围,进行断网影响评估。

[0268] 表22断网影响评估

[0269]

故障等级	评估标准	评估分值
一般通信故障	当个用户断网	1
较大通信故障	以一栋楼为单位	4
重大通信故障	以小区为单位	7
特大通信故障	因不可抗力、非公司能力所致的大面积断网	10

[0270] 5.2社会影响C<sub>2</sub>

[0271] 社会影响主要考虑敏感地点及影响,描述取值见下表。根据待评估燃气管段50m范围内是否存在敏感地点,结合对应分值获取本项评估值。

[0272] 表23敏感地点及影响取值

[0273]

敏感地点	对周边的影响	分值 V <sub>3</sub>
党政军机关及宿舍, 医院, 敬老院, 学校, 幼儿园, 干休所、车站、报社、电视台	易造成周边人群心理恐慌	10
主要商业区、博物馆、体育馆、图书馆、宗教庙宇、景区、监狱	较大	7
居民区	较小	4
一般建筑、工厂或无建筑	很少	1

[0274] 5.3爆炸影响C<sub>3</sub>

[0275] 当燃气管线发生微小泄漏后,泄漏气体存在通过土壤扩散至相邻地下空间聚集爆炸的可能。考虑到爆炸后果,这里地下空间主要指独立通信检查井。

[0276] 独立地窖井的爆炸损伤模式主要分为两种,破片伤害C<sub>31</sub>和火焰伤害C<sub>32</sub>,两种损伤模式对人员伤害的程度不同。通过咨询专家的方法,可以得到独立窖井爆炸后果破片伤害C<sub>31</sub>的权重β<sub>1</sub>为0.62,火焰伤害C<sub>32</sub>的权重β<sub>2</sub>为0.38。

[0277] 
$$C_3 = \sum_{i=1}^2 \sigma_i \beta_i C_{3i}$$

[0278] 独立窨井爆炸的破片伤害是指爆炸造成井盖飞起,对井附近人员产生伤害。

[0279] 破片伤害 $C_{31}$ 可表示为:

$$[0280] \quad C_{31} = \pi \left( \frac{2\mu d v_w \rho_1 Q_1}{a' m_w g} \right)^2 \rho$$

[0281] 其中 $Q_1$ 为燃气的燃烧热,kJ/kg,对于天然气, $Q_1$ 取50200kJ/kg; $d$ 为甲烷体积当量,取值10%; $\rho_1$ 为可燃气体密度,kg/m<sup>3</sup>,天然气取值0.77kg/m<sup>3</sup>(标准状态); $a'$ 为空气阻力系数,一般为1.1~1.2,此处取值1.1; $g$ 为重力加速度,取9.8N/kg; $v_w$ 取0.385m<sup>3</sup>;其中 $u$ 取6.41%; $m_w$ 为井盖质量,可从管网办获取。 $\rho$ 表示人口密度,人/m<sup>2</sup>,实时获取;

[0282] (3) 火焰伤害 $C_{32}$ 可表示为:

$$[0283] \quad C_{32} = 0.7 (0.8h_1 + 0.65) \rho$$

[0284] 其中 $h_1$ 为窨井深度。

[0285] 三、排水管线

[0286] 本实施例一种燃气管线-排水管线耦合风险评估方法,主要考虑燃气泄漏可能性、燃气扩散可能性、点火可能性以及爆炸后果等的影响。

[0287] 具体算法步骤如下:

[0288] 步骤一,计算燃气泄漏

[0289] 排水管线的燃气泄漏计算与电力计算方法相同,在此不再详述。

[0290] 步骤二,计算燃气扩散可能性表征值

[0291] 排水管线的燃气扩散可能性计算与电力计算方法相同,在此不再详述。

[0292] 步骤三,排水管网易损性计算

[0293] (1) 计算燃气管线在排水管线中扩散的可能性系数 $\Phi$

[0294] 燃气泄漏通过土壤扩散进入排水管线中可能性主要与排水管线的脆弱性以及排水管线中的水位高度变化有关。

[0295] 当排水管线存在破损且内部水位未充满时,燃气易通过破损处进入排水管道中扩散,此时取 $\Phi = 1$ 。否则即便是排水管线没有破损且内部水位充满或排水管线没有破损且内部水位未充满或排水管线有破损且内部水位充满时,燃气进入排水管线扩散的可能性都较低,此时取 $\Phi = 0.1$ 。

[0296] (2) 计算燃气管线在排水管线中扩散的可能性

$$[0297] \quad P_V = P_{V_1}^{\xi_1} P_{V_2}^{\xi_2}$$

[0298] 其中 $\xi_1$ 、 $\xi_2$ 分别为排水管线的脆弱性 $P_{V_1}$ 、排水管线中的水位高度变化 $P_{V_2}$ 的对应权重,可由专家打分法获取。

[0299] 1) 排水管线的脆弱性 $P_{V_1}$

[0300] 通过调研发现,市政排水管线管材多为混凝土管和PE管,本方法主要对这两类排水管线进行评估,排水管道破损的可能性主要与管道本身性质以及外界因素影响有关。利用层次分析法和半定量、定性评价方法对排水管道的脆弱性进行评估。定量指标和定性指标如下表2、表3所示,各等级对应不同分值,其中“Ⅰ”对应“1”,“Ⅱ”对应“3”,“Ⅲ”对应“5”,“Ⅳ”对应“7”,“Ⅴ”对应“10”。

[0301] 待评估排水管段的破损可能性由下式计算:

[0302] 
$$P_{V_1} = \sum Q_{pi} \omega_{pi} \omega_p$$

[0303] 式中  $P_{V_1}$  为排水管道的脆弱性。 $Q_{pi}$  为第  $p$  项一级指标的第  $i$  项二级指标得分,  $\omega_{pi}$  为该指标对应权重,  $\omega_p$  为二级指标对应一级指标权重。相关指标权重可由专家打分法获取。当排水管道曾出现渗漏且未被修复,  $P_{V_1}$  取10分。

[0304] 表24半定量指标

一级指标	二级指标	判断标准	修正因子等级				
			I	II	III	IV	V
排水管道属性 (Dc)	管龄	管龄 Dc1 (年)	Dc1<10	10≤ Dc1<15	15≤ Dc1<20	20≤ Dc1<30	Dc1≥30
	管径	PE 管径 Dc2 (mm)	Dc2<50	50≤ Dc2<100	100≤ Dc2<200	200≤ Dc2<300	Dc2≥300
		混凝土管径 Dc3 (mm)	Dc3<500	500≤ Dc3<700	700 ≤ Dc3<800	800 ≤ Dc3<1600	Dc3≥1600
	埋深	埋深 Dc4 (m)	Dc4≥ 2.3	1.5≤ Dc4<2.3	0.7≤ Dc4<1.5	0.6≤ Dc4<0.7	Dc4<0.6
外界因素影响 (Dn)	地质沉降	地表沉降高度 (mm)	0	(0, 10]	(10, 25]	(25, 50]	>50
	树根侵蚀	管道与树木的距离 (m)	>2	(1, 2]	(0.5, 1]	(0, 0.5]	0
	养护频率	年养护次数 (次/年)	1	[0.5, 1)	[0.3, 0.5]	(0, 0.3)	无

[0306] 表25定性指标

一级指标	二级指标	判断标准	修正因子等级				
			I	II	III	IV	V
排水管道属性 (Dc)	管材	种类		聚乙烯管		混凝土钢筋管	水泥管
外界因素影响 (Dn)	车辆碾压	管道所在位置	几乎没有车辆通行	支路	次干路	主干路	快速路

[0308] 2) 排水管线中的水位高度变化  $P_{V_2}$

[0309] 通过查阅文献, 燃气扩散进排水管道内的可能性主要与管道内水位高度有关, 水位高度变化的影响因素主要包括: 地下水位高度、周边河道水位高度、周边活动程度等。对上述指标进行量化, 不同等级对应不同分值, 其中“I”对应“1”, “II”对应“3”, “III”对应“5”, “IV”对应“7”, “V”对应“10”。如下表7。

[0310] 
$$P_{V_2} = \sum Q_{ri} \omega_{ri} \omega_r$$

[0311] 式中  $P_{V_2}$  为待评估燃气管段失效可能性。 $Q_{ri}$  为第  $r$  项一级指标的第  $i$  项二级指标得分,  $\omega_{ri}$  为该指标对应权重,  $\omega_r$  为二级指标对应一级指标权重。相关指标权重可由专家打分法获取。

[0312] 表26定性指标

一级指标	二级指标	判断标准	修正因子等级				
			I	II	III	IV	V
排水管道属性	水位设计高度	水位充满度 (%)	(0.7, 0.75]	(0.65, 0.7]	(0.55, 0.65]	(0.5, 0.55]	(0, 0.5]
自然因素影响	地下水入渗	地下水位高程与排水管内水位高程关系	地下水位高程比排水管内水位高程高		地下水位高程与排水管内水位高程持平		地下水位高程比排水管内水位高程低
	周边河道水位反渗	河道水位高程与排水管内水位高程关系	河道水位高程比排水管内水位高程高		河道水位高程与排水管内水位高程持平		河道水位高程比排水管内水位高程低
	日降雨量	降雨等级	暴雨及特大暴雨等	大雨	中雨	小雨	微量降雨
第三方影响	管道处置情况	1) 管道一年内进行过疏浚; 2) 管道上游有改道施工; 3) 管道上游排水量减少; (如学校寒暑假); 4) 管道下游污水处理厂处理能力增强	全部不满足	满足一项	满足两项	满足三项	全部满足

[0314] 步骤四, 计算点火可能性 $P_1$

[0315] 燃气扩散进入排水管线中发生聚集, 此时如果被点燃, 就可能发生燃爆事故。因此需要确定燃气的点火可能性, 它与人的活动密集程度有关, 基本原则是接近地面及人员活动密集的区域, 被点燃的可能性增大, 反之则减小。其中, 排水管线的内部因素不考虑,  $P_1$  为 0。外部因素 $P_2$  具体为:

[0316] 1) 人口密度(人/ $m^2$ )

[0317] 当可获得实时人口密度时应采用实时人口密度来保证模型算法的准确性。

[0318] 表27人口密度分级标准

等级	I 级	II 级	III 级	IV 级
排水管线周边 50 m 最大人口密度 $\rho$ (人/ $km^2$ )	$\rho \geq 0.02$	$0.02 > \rho \geq 0.0125$	$0.0125 > \rho \geq 0.00625$	$\rho < 0.00625$
$P_1$ 值	10	7	4	1

[0320] 2) 土地性质

[0321] 人员密度取值也可参照下表, 当影响范围内有多种土地用途时, 以范围内对应人口密度最大值作为影响范围内人口密度分值。

[0322] 表28人口密度分值取值表

[0323]	土地用途	P <sub>I</sub> 值
	重大赛事活动区	10
	商业区	10
	十字路口	8.75
	城市居民区	8
	城市郊区	7.5
	工业区	6.25
	半农村	5
	农村	2.5
	偏远地区	1.25

[0324] 步骤五,计算排水管线的爆炸后果

[0325] (1) 计算排水管线的安全埋深系数 $\Psi$

[0326] 当燃气扩散至排水管线内时,如果排水管线的埋深足够大,那么燃气被点燃发生爆炸的破坏能量不足以影响到地面周边设施的安全性,也就不会造成人员伤亡及财产损失。因此需要确定排水管线的临界安全埋深,当管线埋深小于临界安全埋深时,燃气泄漏爆炸会损坏排水管线,进而影响周边设施,即此时存在燃气管线泄漏到排水管线聚集爆炸导致排水管线损毁隐患。

[0327] 根据相关模拟研究显示,当排水管道( $0 < h \leq 1.2\text{m}$ )埋深达到一定深度时,管道爆炸对路面混凝土层将不会造成明显破坏,该埋深可以看作为管道安全临界埋深。当管道直径或当量直径大于1.2m时,这类管道多为地下暗渠,通常埋深较浅,因此,在这种条件下,就不需要考虑安全埋深,直接按连通井爆炸后果进行计算。无量纲安全临界埋深随管径的增大呈较好指数衰减规律,即:

$$[0328] \quad \frac{H_{safe}}{D_e} = 5.481 - 0.145e^{2.3D_e}$$

[0329] 对于圆形管线, $D_e$ 为管道直径 $D$ 。对于非圆形管, $D_e$ 为当量直径 $D_e$ 可由下式计算:

$$[0330] \quad D_e = 4 \frac{S_0}{c_L}$$

[0331] 当排水管线埋深 $h$ 大于安全临界埋深下,认为排水管线爆炸不会造成相关事故。定义修正系数 $\Psi$

$$[0332] \quad \Psi = \begin{cases} 1, & h < H_{safe} \\ 0.1, & h > H_{safe} \end{cases}$$

[0333] (2) 计算排水管线的爆炸后果

[0334] 1) 排水管线爆炸超压对人员伤害范围为:

$$[0335] \quad R_{cr} = 5.152\sqrt[3]{S}$$

[0336] 因此超压人员伤害面积为:

$$[0337] \quad A_{cr} = 2lR_{cr} + \pi R_{cr}^2$$

[0338] 超压对人的损伤后果为:

$$[0339] \quad C_1 = A_{cr} \rho$$

[0340] 其中,  $\rho$ 为排水管线50m范围内的人口密度最大值。 $l$ 取50m。 $S$ 为排水管线截面积,  $m^2$ 。

[0341] 2) 排水管线爆炸超压对建筑物的损伤范围为

$$[0342] \quad R_{cb} = 8.693 \sqrt[3]{S}$$

[0343] 获取超压影响范围内气站、加油站、石油和天然气企业等危险源数量 $n_{c1}$ 、银行、商业区、火车站、汽车站等防护目标数量 $n_{c2}$ 。

[0344] 超压对建筑物的损伤后果为:

$$[0345] \quad C_2 = 0.6n_{c1} + 0.4n_{c2}$$

[0346] 3) 振动对建筑物的损伤范围为

$$[0347] \quad R_s = 2.058 \sqrt[3]{S_0}$$

[0348] 获取振动影响范围内危险源数量 $n_{s1}$ 、防护目标数量 $n_{s2}$ 、地下管线数量 $n_{s3}$ (含自身)。

$$[0349] \quad C_3 = 0.35n_{s1} + 0.15n_{s2} + 0.5n_{s3}$$

[0350] 4) 破片人员伤害

$$[0351] \quad R_f = 0.42 \frac{S_0}{S_1}$$

$$[0352] \quad A_f = 2lR_f + \pi R_f^2$$

[0353] 破片对人损伤后果为:

$$[0354] \quad C_4 = A_f \rho$$

[0355] 其中,  $S_1$ 为排水管线上方覆盖物截面积,  $m^2$ 。

[0356] 5) 爆炸对交通的影响

[0357] 若排水管线爆炸超压、破片、振动影响范围内存在城市主干道, 则

$$[0358] \quad C_5 = 2SR$$

[0359] 其中SR为影响城市主干道交通单向车道数量。

[0360] 综上所述, 排水管线爆炸后果可表示为:

$$[0361] \quad C = u_1 C_1 + u_2 C_2 + u_3 C_3 + u_4 C_4 + u_5 C_5$$

[0362] 其中,  $u_1$ 、 $u_2$ 、 $u_3$ 、 $u_4$ 、 $u_5$ 分别为 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 、 $C_4$ 、 $C_5$ 的对应权重系数, 可由专家打分法获取。

[0363] 6) 爆炸对社会影响 $C_6$

[0364] 社会影响修正系数是指地下空间发生爆炸后造成的相关负面影响, 爆炸所处位置的重要性也极大影响了爆炸的后果, 即爆炸产生的社会影响。在学校、医院等附近发生爆炸会带来更大的恐慌, 用 $C_6$ 表示。该值可根据排水管线50m范围内是否存在下表建筑物的类型和用途选取, 当类型较多时, 以高得分为准。

[0365] 表29社会影响修正系数 $\alpha$

	建筑描述	建筑特性及对周边的影响	C <sub>6</sub> 值
[0366]	党政机关主要驻地、单位及宿舍, 医院, 敬老院, 学校, 幼儿园、干休所	易造成周边人群心理恐慌	1.3
	主要商业区(购物中心等)、博物馆、体育馆、图书馆、宗教庙宇、景区、监狱、居民区(小区、住宅区、宿舍等)	较大	1.2
	工厂、一般建筑	较小	1.1
	无	很少	1

[0367] 步骤六、应急能力β

[0368] 对于同一城市燃气公司、应急服务部门并不会太大区别。在假定应急救援力量相对充沛且应急制度完善、应急人员素质较强的情况下, 应急救援能力可由应急救援车辆到达现场时间进行表征。

[0369]  $\beta = f \cdot m'$

[0370] 其中f为消防救援补偿系数, m'为医疗救援补偿系数; 所述f、m'取值根据事故点距消防单位、医疗机构的距离而定;

[0371] 步骤七, 评估燃气管段风险

[0372] 排水管线-通信耦合风险可表示为

[0373] 
$$R = \frac{H'_1 P_D P_V P_I C}{\beta} \alpha$$

[0374] 其中, 其中, α为社会影响, 同C<sub>6</sub>。

[0375] 根据风险值从大至小依次划分为重大风险、较大风险、一般风险、低风险四个等级, 分别用红、橙、黄、蓝八种颜色进行表示, 并确定各级风险阈值。

[0376] 表30风险等级划分标准

[0377]

风险等级	程度	风险颜色	分值(R_~)
I级	重大风险	红	$R \geq 80$
II级	较高风险	橙	$60 \leq R < 80$
III级	一般风险	黄	$30 \leq R < 60$
IV级	低风险	蓝	$R < 30$

[0378] 步骤八, 辨识燃气管线与排水管线隐患

[0379] 隐患是造成事故的原因, 通过隐患辨识消除隐患, 实现更安全的风险管理。电力管线-燃气管线耦合隐患指燃气泄漏至排水管线或者检查井内, 可燃气体在管道内或者井内发生聚集, 当聚集浓度达到爆炸下限后, 内部或者外部的点火源都会引发爆炸。通过隐患辨识实现对隐患的消除, 减少事故的发生。排水-燃气管线耦合隐患通过判断燃气能否进入排水管线及附属检查井进行判断。

[0380] (1) 当排水管线与燃气管线之间的距离小于安全距离时定义为存在隐患。具体的距离要求参照《城镇燃气设计规范2020年版》, 排水管线与低压燃气管道水平净距不小于1m, 排水管线与中压燃气管道水平净距不小于1.2m, 排水管线与中低压燃气管道垂直净距不小于0.15m。

[0381] (2) 发生过燃气聚集的排水管线与附属的检查井, 排水管线未做处理, 未添加防护

措施,即认定为存在隐患。

[0382] (3) 评估燃气在土壤中扩散可能性表征值时得出 $P_D$ 值大于0时,燃气管道12.5m范围内的排水管线都存在燃气泄漏聚集的隐患。

[0383] 本实施例还提供一种燃气管线与周边管线的隐患识别与风险评估系统,包括

[0384] 燃气泄漏可能性评估模块,所述燃气泄漏可能性评估值 $H'_1$ 指标包括定量指标、半定量指标和定性指标;所述定量指标每项得分通过插值法计算,具体公式为

$$[0385] \quad Q = \frac{f_m(x)_t - f_m(x)_{min}}{f_m(x)_{max} - f_m(x)_{min}} \times 9 + 1$$

[0386] 其中 $Q$ 为该项最终得分, $f_m(x)_{max}$ 为第 $m$ 项函数计算得到的全市燃气管段该项最大值, $f_m(x)_{min}$ 为第 $m$ 个函数计算得到的全市燃气管段该项最小值; $f_m(x)_t$ 为第 $t$ 段燃气管段第 $m$ 项函数的计算值。

[0387] 所述半定量指标及定性指标的选取及分级参照现行标准与相关文献,分别包括多级指标;

[0388] 待评估燃气管段泄漏可能性由下式计算

$$[0389] \quad H_1 = \sum Q_{ki} w_{ki} w_k$$

[0390] 式中 $H_1$ 为待评估燃气管段泄漏可能性, $Q_{ki}$ 为第 $k$ 项一级指标的第 $i$ 项二级指标得分, $w_{ki}$ 为该指标对应权重, $w_k$ 为二级指标对应一级指标权重;

[0391] 根据待评估燃气管段周边设定范围内其他监控设备报警情况,对 $H_1$ 进行修正,得

$$[0392] \quad H'_1 = H_1 \times 1.2^{\frac{25n}{l}}$$

[0393] 其中 $H'_1$ 为燃气泄漏可能性评估值, $l$ 为待评估燃气管段长度, $n$ 为报警设备数量,当 $H'_1$ 大于10时, $H'_1$ 取10;

[0394] 燃气扩散可能性计算模块,根据如下公式计算燃气扩散可能性 $P_D$

$$[0395] \quad P_D = \begin{cases} 1 & (d \leq 2.5) \\ -0.1d + 1.25 & (2.5 \leq d \leq 12.5) \\ 0 & (d \geq 12.5) \end{cases}$$

[0396] 其中 $d$ 为待评估燃气管段距待评估周边管线的最短距离, $d$ 以米为单位;

[0397] 待评估周边管线易损性计算模块,易损性 $P_V$ 通过以下公式计算获得

$$[0398] \quad P_V = \sum_{x=1}^y P_{V_x} \varphi_x$$

[0399] 其中, $P_{V_x}$ 为第 $x$ 个评价项 $V_x$ 的值, $\varphi_x$ 为第 $x$ 个评价项 $V_x$ 的权重;

[0400] 燃气点火可能性 $P_I$ 计算模块,至少根据待评估周边管线的内部因素 $P_1$ 、外部因素 $P_2$ 、天气因素 $P_3$ 对点火可能性 $P_I$ 进行计算

$$[0401] \quad P_I = aP_1 + bP_2 + cP_3$$

[0402] 其中 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 分别为对应因素的权重;所述内部因素 $P_1$ 为待评估周边管线的自身故障率,所述外部因素 $P_2$ 根据待评估周边管线的功能区域划分、人流量划分等级而得,天气因素 $P_3$ 为实时天气情况划分等级而得;

[0403] 爆炸后果分析模块,爆炸后果 $C$ 通过以下公式计算

$$[0404] \quad C = \sum_{z=1}^j \epsilon_z \times \frac{C_z}{C_{zmax}} \times 10$$

[0405] 其中,  $j$ 表示有  $j$ 个评价项影响爆炸后果,  $C_z$ 表示第  $z$ 个评价项的值,  $\epsilon_z$ 为  $C_z$ 的权重,  $C_{zmax}$ 为第  $z$ 个评价项的最高等级值;

[0406] 应急能力  $\beta$  计算模块,

$$[0407] \quad \beta = f \cdot m'$$

[0408] 其中  $f$ 为消防救援补偿系数,  $m'$ 为医疗救援补偿系数;所述  $f$ 、 $m'$ 取值根据事故点距消防单位、医疗机构的距离而定;

[0409] 周边管线风险评估模块,周边管线风险评估  $R$ 通过以下公式计算

$$[0410] \quad R = \frac{H'_1 P_D P_V P_I C}{\beta} \alpha$$

[0411] 其中,  $\alpha$ 为社会影响,根据待评估周边管线所在区域位置重要性进行取值;

[0412] 隐患识别模块,根据  $P_D$ 、待评估燃气管段与待评估周边管线的距离、对发生过燃气聚集的周边管线与检查井是否处理来认定周边管线是否存在安全隐患。

[0413] 以上各个模块的执行过程与上述方法一致,在此不再详述。

[0414] 以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

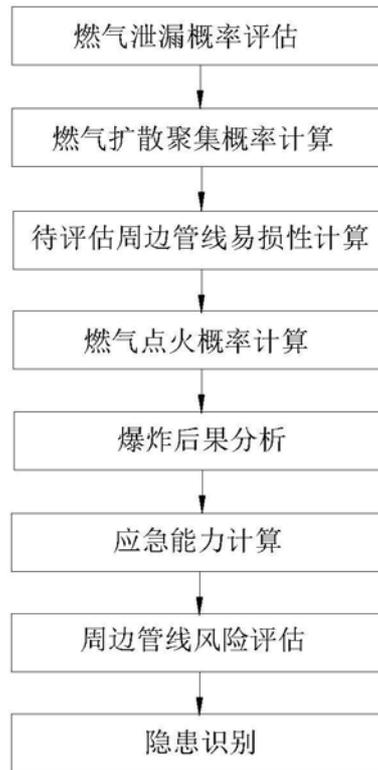


图1

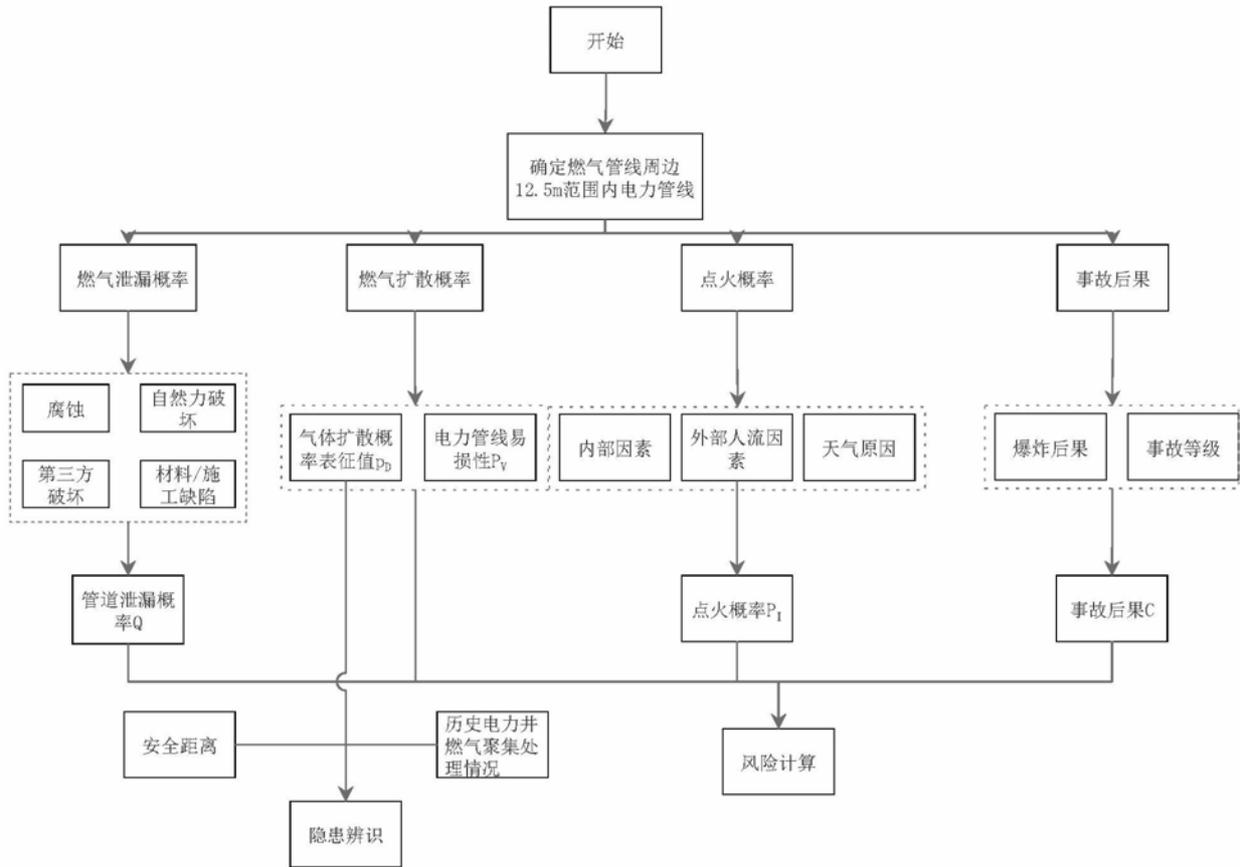


图2

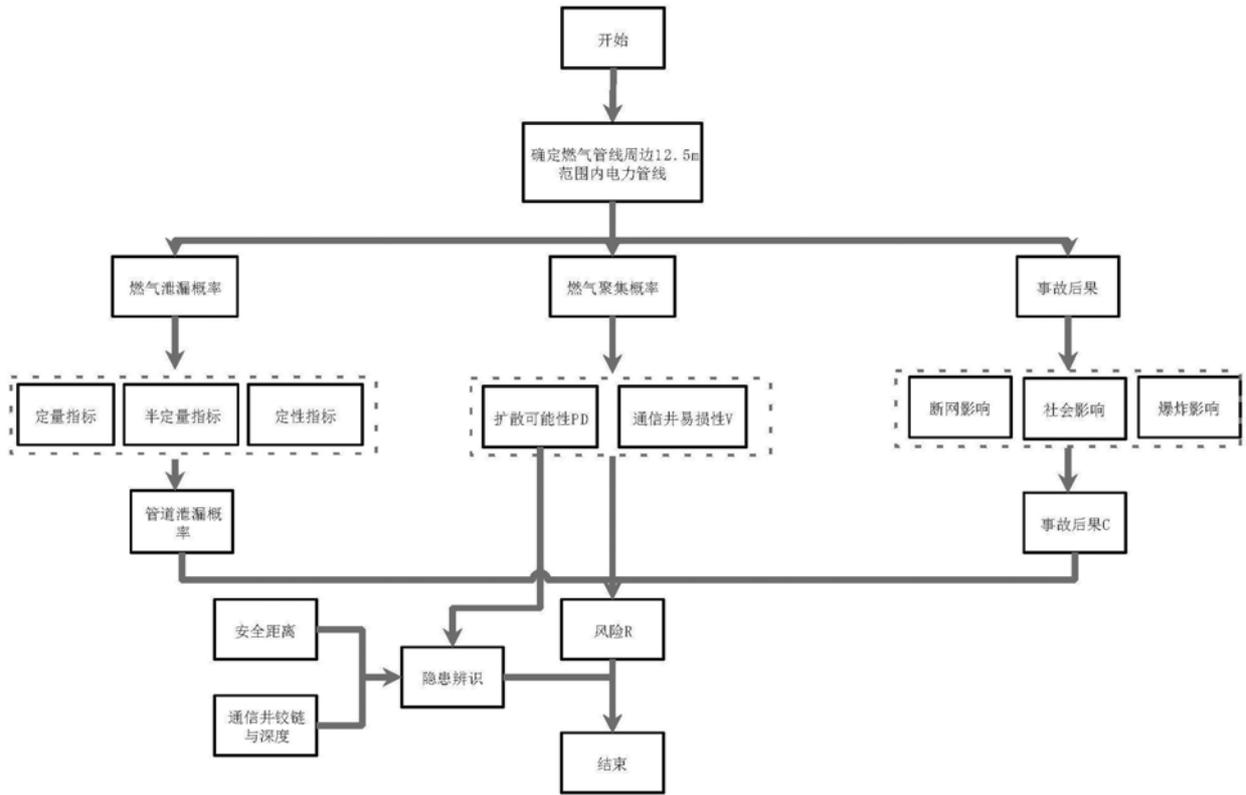


图3

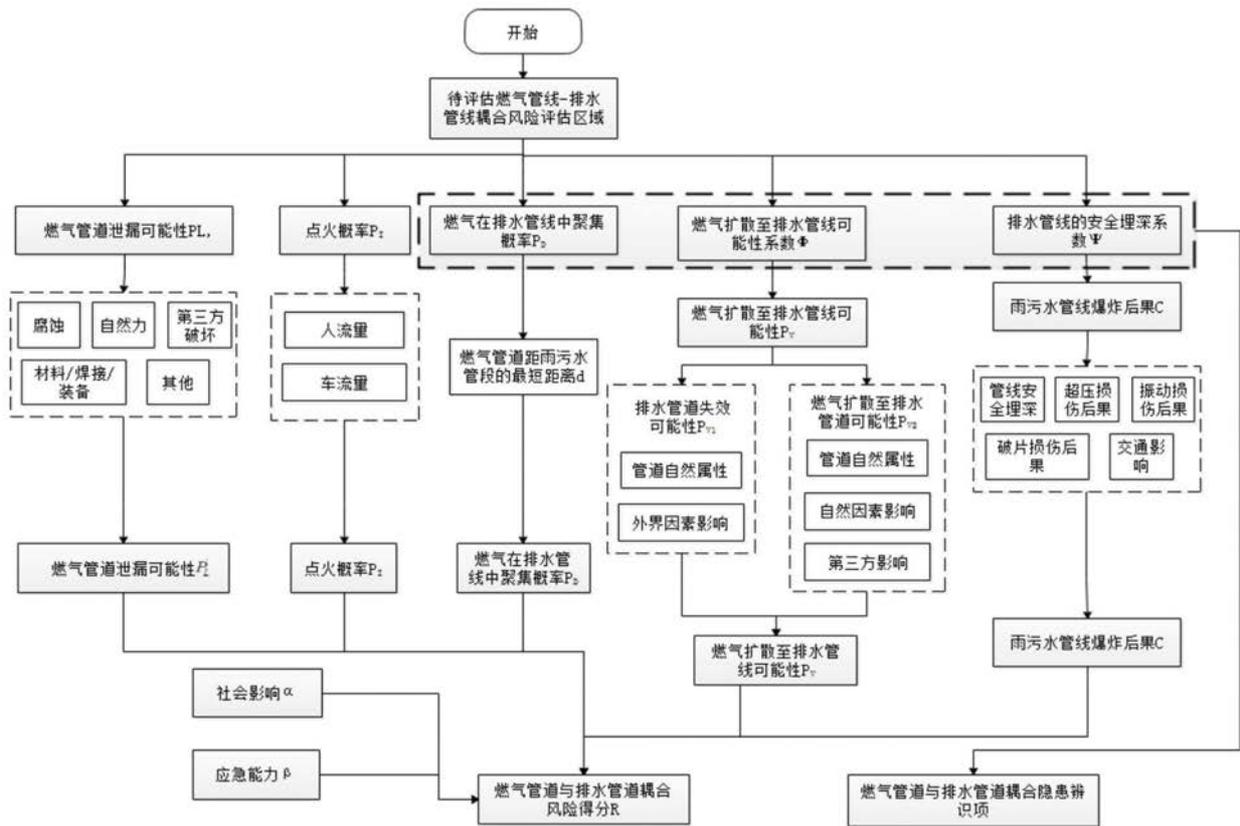


图4