



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115773473 A

(43) 申请公布日 2023. 03. 10

(21) 申请号 202211245123.2	G06F 111/10 (2020.01)
(22) 申请日 2022.10.10	G06F 111/08 (2020.01)
(66) 本国优先权数据	G06F 113/08 (2020.01)
202210466683.4 2022.04.29 CN	G06F 119/14 (2020.01)

(71) 申请人 重庆大学
地址 400044 重庆市沙坪坝区沙正街174号

(72) 发明人 阳东 漆琦 黄小美 郭鑫 李亮
吕山 臧子旋 彭世尼

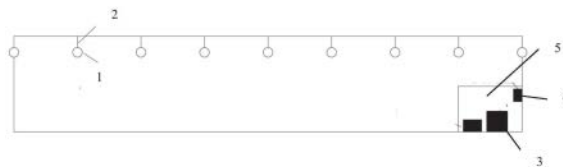
(74) 专利代理机构 广州知友专利商标代理有限公司 44104
专利代理师 侯莉

(51) Int. Cl.
F17D 5/06 (2006.01)
G06F 30/28 (2020.01)
G06F 30/27 (2020.01)

权利要求书3页 说明书7页 附图5页

(54) 发明名称
一种隧道内天然气泄漏监测系统与监测方法

(57) 摘要
本发明公开了一种隧道内天然气泄漏监测系统及监测方法,包括传感器、光缆、主机、报警装置和显示装置,传感器通过光缆与主机连接,主机分别和报警装置、显示装置相连,主机包括控制单元、泄漏源定位计算单元、泄漏源泄漏率反演计算单元和预警决策单元,泄漏源定位计算单元根据甲烷浓度数据对泄漏源位置进行定位,泄漏源泄漏率反演计算单元根据甲烷浓度数据对泄漏源泄漏率进行计算,预警决策单元根据甲烷浓度数据控制报警装置的启停,泄漏源定位结果和泄漏源泄漏率计算结果均输出至显示装置上。本发明实现高度自动化,由传感器自动检测,通过主机实时预警判断,效率高。在信息采集、运输、储存等环节均通过监测与预警系统进行,人为因素影响小。



1. 一种隧道内天然气泄漏监测系统,其特征在於:它包括用于采集甲烷浓度的传感器、光缆、主机、报警装置和显示装置,所述传感器为若干个并通过光缆与主机连接,所述主机分别和报警装置、显示装置相连,所述主机包括控制单元、分别与之连接的泄漏源定位计算单元、泄漏源泄漏率反演计算单元和预警决策单元,其中,所述泄漏源定位计算单元根据甲烷浓度数据对泄漏源位置进行定位,所述泄漏源泄漏率反演计算单元根据甲烷浓度数据对泄漏源泄漏率进行计算,所述预警决策单元根据甲烷浓度数据控制报警装置的启停,泄漏源定位结果和泄漏源泄漏率计算结果均输出至显示装置上。

2. 根据权利要求1所述的隧道内天然气泄漏监测系统,其特征在於:所述传感器沿着隧道的长度方向间隔分布在隧道内壁上,相邻两传感器的间距通过以下步骤计算得到:

S1、利用气体泄漏扩散数值模拟软件对不同气云体积下的隧道内部气体泄漏扩散过程进行数值模拟,得到隧道内部泄漏燃气气云分布形态;

S2、利用气体爆炸后果计算软件对气体爆炸后果进行数值实验,以量化不同泄漏时长下隧道内发生气体爆炸产生的最大爆炸超压值;

S3、根据不同气云体积下的最大爆炸超压值,映射到对应最大爆炸超压20KPa时的气云体积范围;

S4、将此时可燃燃气云在隧道长度方向上的距离作为相邻传感器的最大间距。

3. 一种权利要求1所述隧道内天然气泄漏监测系统的监测方法,其特征在於具体包括以下步骤:

S1、传感器监测到甲烷浓度数据,通过光缆将甲烷浓度数据传输至主机;

S2、主机接收甲烷浓度数据,通过预警决策单元对甲烷浓度数据进行判断,得到判定结果;

S3、所述报警装置对判定结果进行响应;

S4、所述主机内的泄漏源泄漏率反演计算单元对泄漏源泄漏率进行计算,泄漏源定位计算单元对泄漏源泄漏位置进行计算,并将泄漏源泄漏率计算结果和泄漏源定位结果输出到显示装置上。

4. 根据权利要求3所述的监测方法,其特征在於:在所述步骤S2中,所述预警决策单元判定的依据是:

$$\begin{cases} \text{Max}\{C_i\} < 5\%LEL, \text{不预警} \\ \text{Max}\{C_i\} \geq 5\%LEL, \text{三级预警} \\ \text{Max}\{C_i\} \geq 20\%LEL, \text{二级预警} \\ \text{Max}\{C_i\} \geq 50\%LEL, \text{一级报警} \end{cases}$$

式中: C_i ——第*i*个甲烷气体探测器测到的甲烷浓度;LEL——甲烷气体爆炸下限,5%。

5. 根据权利要求4所述的监测方法,其特征在於:在所述步骤S4中,计算泄漏源泄漏率和泄漏源泄漏位置具体包括:

(1) 计算泄漏源处于静止状态时的流场正演分布,得到泄漏源处于静止状态时各监测点位置处燃气泄漏过程中不同时刻的浓度参数;

(2) 假设隧道内泄漏源从进入隧道开始至出隧道后一直处于匀速运动状态,计算泄漏源处于匀速运动状态时的流场正演分布,得到泄漏源处于匀速运动状态时各监测点位置处

燃气泄漏过程中不同时刻的浓度参数；

(3) 假设泄漏源强度和泄漏位置的先验分布函数为一定范围内的均匀分布函数；

(4) 根据各传感器的观测数据计算泄漏源强度先验分布成立条件下的观测浓度分布的似然函数；

(5) 结合先验分布、预测浓度和观测数据，利用贝叶斯定理计算源项泄漏率参数的后验分布近似解；

(6) 计算泄漏源泄漏率和泄漏位置的取值为后验分布概率最大时的对应的值，得到泄漏源处于静止状态时的泄漏率与泄漏位置反演结果、以及泄漏源处于匀速运动状态时的泄漏率反演结果。

6. 根据权利要求5所述的监测方法，其特征在于：计算泄漏源处于静止状态时的流场正演分布包括以下步骤：

①在距离泄漏源沿纵向100m内的隧道段采用CFD三维数值模拟方法，分别对不同泄漏源强度与泄漏源位置处的隧道燃气泄漏浓度分布进行求解；

②在距离泄漏源沿纵向100m以外的隧道段采用简化的一维气体扩散模型，分别对不同泄漏源强度与泄漏源位置处的隧道燃气泄漏浓度分布进行求解；

③获得泄漏源处于静止状态时，由正演模型计算各监测点位置处燃气泄漏过程中不同时刻的浓度参数。

7. 根据权利要求6所述的监测方法，其特征在于：计算泄漏源处于匀速运动状态时的流场正演分布包括以下步骤：

①将隧道内连续释放的泄漏浓度场视作连续瞬时点源在一定时间序列下沿着隧道纵向长度范围内，当隧道长度为L，隧道内连续释放的泄漏源强度为 q_0 ，将连续释放的泄漏源每隔一定距离 Δx 视作一个瞬时释放的点源，隧道设计行车速度为 u_0 ，计算每个点源泄漏量大小为 $\frac{\Delta x}{u_0} \cdot q_0$ ；

②采用一维气体扩散模型分别求解隧道内 $\frac{L}{\Delta x}$ 个点源以时间间隔 $u_0 \Delta x$ 依次释放后的流场纵向浓度分布；

③获得泄漏源处于匀速运动状态时，由正演模型计算各监测点位置处燃气泄漏过程中不同时刻的浓度参数。

8. 根据权利要求7所述的监测方法，其特征在于：所述泄漏源强度和泄漏位置的先验分布函数为：

$$p(Y_k) = \frac{1}{(W_{\max} - W_{\min})}$$

公式(1)

式中：

$p(Y_k)$ ——泄漏源强度的先验分布；

W_{\max} ——估计参数的上限值；

W_{\min} ——估计参数的下限值。

9. 根据权利要求8所述的监测方法，其特征在于：所述步骤(4)的计算公式是：

$$p(\beta | Y_k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{1}{2} \left[\frac{C_\beta - C_{Y_k}}{\sigma_{f,k} + \sigma_{\beta,k}} \right]^2\right)$$

公式(2)

其中 C_β 表示传感器的测量浓度值， C_{Y_k} 表示利用正演模型计算出来的传感器数值， $\sigma_{f,k}$ 表示正演模型计算出的浓度数据标准差， $\sigma_{\beta,k}$ 表示利用传感器测得的浓度数据标准差。

一种隧道内天然气泄漏监测系统与监测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种隧道内天然气泄漏监测系统,还涉及该隧道内天然气泄漏监测系统的监测方法。

背景技术

[0002] 压缩天然气和液化天然气槽车公路运输是天然气常用的运输方式之一,压缩天然气和液化天然气也是许多交通工具的动力燃料。槽车和天然气汽车在行经隧道过程中,若由于高温(如火灾)、撞击、管件脱落等事故引发泄漏,在隧道空间内形成易燃易爆气云,可能会造成人员缺氧窒息、冻伤,形成的易燃易爆气云遇点火源,则可能会在隧道内发生蒸汽云爆炸等危险事故,产生的高温烟气和超压会对人员、财产造成严重伤害。

[0003] 但是,目前我国的《公路隧道设计规范》中仅要求通过瓦斯地层的隧道进行瓦斯浓度监测,而没有对公路隧道易燃易爆气体监测做普遍性要求,因此设置隧道内甲烷监测系统是十分必要的。

发明内容

[0004] 本发明的第一个目的在于提供一种可对隧道内天然气进行有效监测并预警、对事故地点进行定位、提高事故处理效率的隧道内天然气泄漏监测系统。

[0005] 本发明的第一个目的通过以下的技术措施来实现:一种隧道内天然气泄漏监测系统,其特征在于,它包括用于采集甲烷浓度的传感器、光缆、主机、报警装置和显示装置,所述传感器为若干个并通过光缆与主机连接,所述主机分别和报警装置、显示装置相连,所述主机包括控制单元、分别与之连接的泄漏源定位计算单元、泄漏源泄漏率反演计算单元和预警决策单元,其中,所述泄漏源定位计算单元根据甲烷浓度数据对泄漏源位置进行定位,所述泄漏源泄漏率反演计算单元根据甲烷浓度数据对泄漏源泄漏率进行计算,所述预警决策单元根据甲烷浓度数据控制报警装置的启停,泄漏源定位结果和泄漏源泄漏率计算结果均输出至显示装置上。

[0006] 本发明可实现高度自动化,通过甲烷传感器自动检测,通过主机实现实时预警判断,工作效率高。在信息采集、运输、储存等各个环节均通过监测与预警系统进行,无需人工参与,人为因素影响小。本发明可以实现隧道内天然气泄漏预警以及泄漏源位置、强度计算,同时利用监测到的甲烷浓度数据对天然气泄漏进行预警,并且对泄漏源强度、位置进行反演,可以缩短事故处置响应时间,提高泄漏事故发生早期预警的概率,增强事故响应措施的针对性和有效性。利用监测到的甲烷浓度数据结合机器学习方法对天然气泄漏源以及泄漏强度进行反演,可以为事故救援与事故处置提供位置和泄漏强度信息,此外,还可以为事故处置措施提供参考,结合计算出的泄漏源信息,提供适宜的救灾方案。

[0007] 本发明所述传感器沿着隧道的长度方向间隔分布在隧道内壁上,相邻两传感器的间距通过以下步骤计算得到:

[0008] S1、利用气体泄漏扩散数值模拟软件对不同气云体积下的隧道内部气体泄漏扩散

过程进行数值模拟,得到隧道内部泄漏燃气气云分布形态;

[0009] S2、利用气体爆炸后果计算软件对气体爆炸后果进行数值实验,以量化不同泄漏时长下隧道内发生气体爆炸产生的最大爆炸超压值;

[0010] S3、根据不同气云体积下的最大爆炸超压值,映射到对应最大爆炸超压20KPa(人体轻伤)时的气云体积范围;

[0011] S4、将此时可燃气云在隧道长度方向上的距离作为相邻传感器的最大间距。

[0012] 本发明的第二个目的在于提供一种上述隧道内天然气泄漏监测系统的监测方法。

[0013] 本发明的第二个目的通过以下的技术措施来实现:一种上述隧道内天然气泄漏监测系统的监测方法,其特征在于具体包括以下步骤:

[0014] S1、传感器监测到甲烷浓度数据,通过光缆将甲烷浓度数据传输至主机;

[0015] S2、主机接收甲烷浓度数据,通过预警决策单元对甲烷浓度数据进行判断,得到判定结果;

[0016] S3、所述报警装置对判定结果进行响应;

[0017] S4、所述主机内的泄漏源泄漏率反演计算单元对泄漏源泄漏率进行计算,泄漏源定位计算单元对泄漏源泄漏位置进行计算,并将泄漏源泄漏率计算结果和泄漏源定位结果输出到显示装置上。

[0018] 本发明在所述步骤S2中,所述预警决策单元判定的依据是:

[0019]
$$\begin{cases} \text{Max}\{C_i\} < 5\%LEL, \text{不预警} \\ \text{Max}\{C_i\} \geq 5\%LEL, \text{三级预警} \\ \text{Max}\{C_i\} \geq 20\%LEL, \text{二级预警} \\ \text{Max}\{C_i\} \geq 50\%LEL, \text{一级报警} \end{cases}$$

[0020] 式中: C_i ——第*i*个甲烷气体探测器测到的甲烷浓度;LEL——甲烷气体爆炸下限,5%。

[0021] 本发明在所述步骤S4中,计算泄漏源泄漏率和泄漏源泄漏位置具体包括:

[0022] (1) 计算泄漏源处于静止状态时的流场正演分布,得到泄漏源处于静止状态时各监测点位置处燃气泄漏过程中不同时刻的浓度参数;

[0023] (2) 假设隧道内泄漏源从进入隧道开始至出隧道后一直处于匀速运动状态,计算泄漏源处于匀速运动状态时的流场正演分布,得到泄漏源处于匀速运动状态时各监测点位置处燃气泄漏过程中不同时刻的浓度参数;

[0024] (3) 假设泄漏源强度和泄漏位置的先验分布函数为一定范围内的均匀分布函数;

[0025] (4) 根据各传感器的观测数据计算泄漏源强度先验分布成立条件下的观测浓度分布的似然函数;

[0026] (5) 结合先验分布、预测浓度和观测数据,利用贝叶斯定理计算源项泄漏率参数的后验分布近似解;

[0027] (6) 计算泄漏源泄漏率和泄漏位置的取值为后验分布概率最大时的对应的值,得到泄漏源处于静止状态时的泄漏率与泄漏位置反演结果、以及泄漏源处于匀速运动状态时的泄漏率反演结果。

[0028] 本发明计算泄漏源处于静止状态时的流场正演分布包括以下步骤:

[0029] ①在距离泄漏源沿纵向100m内的隧道段采用CFD三维数值模拟方法,分别对不同

泄漏源强度与泄漏源位置处的隧道燃气泄漏浓度分布进行求解；

[0030] ②在距离泄漏源沿纵向100m以外的隧道段采用简化的一维气体扩散模型，分别对不同泄漏源强度与泄漏源位置处的隧道燃气泄漏浓度分布进行求解；

[0031] ③获得泄漏源处于静止状态时，由正演模型计算的各监测点位置处燃气泄漏过程中不同时刻的浓度参数。

[0032] 本发明计算泄漏源处于匀速运动状态时的流场正演分布包括以下步骤：

[0033] ①将隧道内连续释放的泄漏浓度场视作连续瞬时点源在一定时间序列下沿着隧道纵向长度范围内，当隧道长度为L，隧道内连续释放的泄漏源强度为 q_0 ，将连续释放的泄漏源每隔一定距离 Δx 视作一个瞬时释放的点源，隧道设计行车速度为 u_0 ，计算每个点源泄漏量大小为 $\frac{\Delta x}{u_0} \cdot q_0$ ；

[0034] ②采用一维气体扩散模型分别求解隧道内 $\frac{L}{\Delta x}$ 个点源以时间间隔 $u_0 \cdot \Delta x$ 依次释放后的流场纵向浓度分布；

[0035] ③获得泄漏源处于匀速运动状态时，由正演模型计算的各监测点位置处燃气泄漏过程中不同时刻的浓度参数。

[0036] 本发明所述泄漏源强度和泄漏位置的先验分布函数为：

$$[0037] \quad p(Y_k) = \frac{1}{(W_{\max} - W_{\min})} \quad \text{公式(1)}$$

[0038] 式中：

[0039] $p(Y_k)$ ——泄漏源强度的先验分布；

[0040] W_{\max} ——估计参数的上限值；

[0041] W_{\min} ——估计参数的下限值。

[0042] 本发明所述步骤(4)的计算公式是：

$$[0043] \quad p(\beta | Y_k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{1}{2} \left[\frac{C_\beta - C_{Y_k}}{\sigma_{f \cdot k} + \sigma_{\beta \cdot k}} \right]^2\right) \quad \text{公式(2)}$$

[0044] 其中 C_β 表示传感器的测量浓度值， C_{Y_k} 表示利用正演模型计算出来的传感器数值， $\sigma_{f \cdot k}$ 表示正演模型计算出的浓度数据标准差， $\sigma_{\beta \cdot k}$ 表示利用传感器测得的浓度数据标准差。

[0045] 与现有技术相比，本发明具有如下显著的效果：

[0046] (1) 本发明可实现高度自动化，通过甲烷传感器自动检测，通过主机实现实时预警判断，工作效率高。在信息采集、运输、储存等各个环节均通过监测与预警系统进行，无需人工参与，人为因素影响小。

[0047] (2) 本发明可以实现隧道内天然气泄漏预警以及泄漏源位置、强度计算，同时利用监测到的甲烷浓度数据对天然气泄漏进行预警，并且对泄漏源强度、位置进行反演，可以缩短事故处置响应时间，提高泄漏事故发生早期预警的概率，增强事故响应措施的针对性和有效性。

[0048] (3) 本发明利用监测到的甲烷浓度数据结合机器学习方法对天然气泄漏源以及泄漏强度进行反演，可以为事故救援与事故处置提供位置和泄漏强度信息，此外，还可以为事

故处置措施提供参考,结合计算出的泄漏源信息,提供适宜的救灾方案。

附图说明

- [0049] 下面结合附图和具体实施例对本发明作进一步的详细说明。
- [0050] 图1是本发明隧道内天然气泄漏监测系统的组成结构示意图;
- [0051] 图2是本发明监测方法流程框图;
- [0052] 图3是本发明泄漏定位与泄漏率反演的流程框图;
- [0053] 图4是本发明数值计算得到的气云浓度分布示意图;
- [0054] 图5是本发明正演模型计算匀速运动泄漏源得到的各测点浓度计算结果示意图;
- [0055] 图6是本发明三维模拟计算匀速运动泄漏源得到的各测点浓度计算结果示意图;
- [0056] 图7是本发明泄漏源处于静止状态的泄漏源位置反演结果示意图;
- [0057] 图8是本发明泄漏源处于匀速运动状态的泄漏源强度反演结果示意图。

具体实施方式

[0058] 如图1所示,是本发明一种隧道内天然气泄漏监测系统,它包括用于采集甲烷浓度的传感器1、光缆2、主机3、报警装置4和显示装置(图中没有画出),传感器1沿着隧道的长度方向间隔分布在隧道内壁上,主机3和报警装置4安装在一个机柜5内,传感器1为若干个并通过光缆2与主机3连接,主机3分别和报警装置4、显示装置相连,主机3包括控制单元、分别与之连接的泄漏源定位计算单元、泄漏源泄漏率反演计算单元和预警决策单元,其中,泄漏源定位计算单元根据甲烷浓度数据对泄漏源位置进行定位,泄漏源泄漏率反演计算单元根据甲烷浓度数据对泄漏源泄漏率进行计算,预警决策单元根据甲烷浓度数据控制报警装置的启停,泄漏源定位结果和泄漏源泄漏率计算结果均输出至显示装置上。

[0059] 如图2所示,安装本发明隧道内天然气泄漏监测系统,具体是:

[0060] 一、确定传感器在纵向上布置间距:

[0061] (1) 根据隧道结构数据进行建模,本实施案例中的公路隧道数值实验模型的长(X)宽(Y)高(Z)分别为 $200\text{m} \times 6\text{m} \times 6\text{m}$,用气体泄漏扩散数值模拟软件对隧道内部压缩天然气泄漏扩散过程进行数值模拟,以得到隧道内部泄漏燃气气云分布形态。

[0062] (2) 根据天然气泄漏扩散数值模拟得到的不同时刻的气云浓度分布,利用气体爆炸后果计算软件对气体爆炸后果进行数值实验,其计算结果如图4所示,利用气体爆炸后果计算软件对气体爆炸后果进行数值实验,以量化不同泄漏时长下隧道内发生气体爆炸产生的最大爆炸超压值。

[0063] (3) 根据不同气云体积下的爆炸最大超压数值,映射到对应最大爆炸超压 20KPa (人体轻伤)时的气云体积范围。

[0064] (4) 将此时可燃气云在隧道长度方向上的距离作为甲烷浓度传感器的布置间距,假设本案例得到的甲烷浓度传感器布置间距为 20m ,则本实施案例模型中共9个甲烷浓度传感器。

[0065] 二、根据传感器在纵向上布置间距,对监测系统进行布置,并对数据进行实时监测。

[0066] 一种上述隧道内天然气泄漏监测系统的监测方法,具体包括以下步骤:

[0067] S1、槽车泄漏产生的甲烷气体在隧道内扩散时,传感器监测到实时甲烷浓度数据,通过光缆将甲烷浓度数据传输至主机;

[0068] S2、主机接收甲烷浓度数据,通过预警决策单元对甲烷浓度数据进行判断,得到判定结果;预警决策单元判定的依据是:

$$[0069] \begin{cases} \text{Max}\{C_i\} < 5\%LEL, \text{不预警} \\ \text{Max}\{C_i\} \geq 5\%LEL, \text{三级预警} \\ \text{Max}\{C_i\} \geq 20\%LEL, \text{二级预警} \\ \text{Max}\{C_i\} \geq 50\%LEL, \text{一级报警} \end{cases}$$

[0070] 式中: C_i ——第*i*个甲烷气体探测器测到的甲烷浓度;LEL——甲烷气体爆炸下限,5%。

[0071] S3、报警装置对判定结果进行响应;

[0072] S4、主机内的泄漏源泄漏率反演计算单元对泄漏源泄漏率进行计算,泄漏源定位计算单元对泄漏源泄漏位置进行计算,并将泄漏源泄漏率计算结果和泄漏源定位结果输出到显示装置上。

[0073] 如图3所示,计算泄漏源泄漏率和泄漏源泄漏位置具体包括:

[0074] (1) 计算泄漏源处于静止状态时的流场正演分布,得到泄漏源处于静止状态时各监测点位置处燃气泄漏过程中不同时刻的浓度参数;

[0075] 本实施例中,计算泄漏源强度分别为0.1kg/s、0.2kg/s、0.3kg/s、0.4kg/s、0.5kg/s、0.6kg/s、0.7kg/s、0.8kg/s、0.9kg/s、1.0kg/s时,泄漏位置为隧道空间内每隔5m的静止泄漏源流场正演分布。

[0076] ①在距离泄漏源沿纵向100m内的隧道段采用CFD三维数值模拟方法,分别对不同泄漏源强度与泄漏源位置处的隧道燃气泄漏浓度分布进行求解;

[0077] ②在距离泄漏源沿纵向100m以外的隧道段采用简化的一维气体扩散模型,采用时间前项、中心差分的方法对方程进行计算,编程求解不同泄漏源强度与泄漏源位置处的隧道燃气泄漏浓度分布;

[0078] ③提取泄漏源处于静止状态时,由正演模型计算出的各监测点位置处燃气泄漏过程中的浓度参数,其中各测点每20s记录一次数据,泄漏持续时间为600s。

[0079] (2) 假设隧道内泄漏源从进入隧道开始至出隧道后一直处于匀速运动状态,计算泄漏源处于匀速运动状态时的流场正演分布,得到泄漏源处于匀速运动状态时各监测点位置处燃气泄漏过程中不同时刻的浓度参数;

[0080] 本实施例中,计算隧道内泄漏源强度分别为0.1kg/s、0.2kg/s、0.3kg/s、0.4kg/s、0.5kg/s、0.6kg/s、0.7kg/s、0.8kg/s、0.9kg/s、1.0kg/s时,假设从进入隧道开始至出隧道后一直处于匀速运动状态,计算泄漏源处于运动状态时的流场正演分布。

[0081] ①将隧道内连续释放的泄漏浓度场视作连续瞬时点源在一定时间序列下沿着隧道纵向长度范围内,当隧道长度为200m,隧道内连续释放的泄漏源强度为0.1kg/s时,将连续释放的泄漏源每隔一定距离5m视作一个点源,行车在隧道内的速度为60km/h,计算出每个点源泄漏量大小为 $\frac{\Delta x}{u_0} \cdot q_0 = 0.02kg$;

[0082] ②采用一维气体扩散模型分别求解隧道内39个点源释放后的流场纵向浓度分布,

泄漏持续时间为60s,每1s记录一个数据,其中泄漏源强度为0.9kg/s时,计算结果如图5所示。

[0083] ③获得泄漏源处于匀速运动状态时,由正演模型计算的各监测点位置处燃气泄漏过程中不同时刻的浓度参数。

[0084] 采用三维数值实验的方法,得到各时刻各测点浓度分布,作为反演计算的传感器测量浓度值。对于隧道内静止状态泄漏源,隧道内泄漏浓度为0.26kg/s,泄漏源位置为50m;对于隧道内运动状态泄漏源,泄漏浓度为0.77kg/s,计算结果如图6所示。

[0085] (3)假设泄漏源强度和泄漏位置的先验分布函数为一定范围内的均匀分布函数;

[0086] 其计算式为:

$$p(Y_k) = \frac{1}{(W_{\max} - W_{\min})} \quad \text{公式(1)}$$

[0088] 式中:

[0089] $p(Y_k)$ ——泄漏源强度的先验分布;

[0090] W_{\max} ——估计参数的上限值;

[0091] W_{\min} ——估计参数的下限值。

[0092] 当泄漏源处于静止状态时,其泄漏源强度先验分布服从 $U[0,1]$,泄漏源位置先验分布服从 $U[0,200]$;当泄漏源处于匀速运动状态时,其泄漏源强度先验分布服从 $U[0,1]$ 。

[0093] (4)根据各传感器的观测数据计算泄漏源强度先验分布成立条件下的观测浓度分布的似然函数,其计算式为:

$$p(\beta_{i,j} | Y_k) \propto \exp\left(-\frac{1}{2} \left[\frac{C_{\beta_{i,j}} - C_{Y_{i,j}}}{\sigma}\right]^2\right)$$

[0095] 即:

$$p(\beta | Y_k) = \prod_{i=1}^K \prod_{j=1}^N p(\beta_{i,j} | Y_k)$$

[0097] 其中 $C_{\beta_{i,j}}$ 表示第i各传感器的第j个测量浓度值, $C_{Y_{i,j}}$ 表示利用正演模型计算出来的第i各传感器的第j个测量浓度值, σ 为正演模型计算浓度和测量浓度间的标准差,设误差与测量浓度为同一量级,假设标准差与测量浓度相同。

[0098] (5)结合先验分布、预测浓度和观测数据,利用贝叶斯定理计算源项泄漏率参数的后验分布近似解, $p(Y_k | \beta) = (p(Y_k) p(\beta | Y_k)) / (p(\beta))$,其中 $p(Y_k)$ 为先验分布, $p(\beta | Y_k)$ 为似然函数。

[0099] (6)根据计算在各个泄漏源强度以及位置处概率值,进行曲线拟合,取拟合曲线概率极大值作为反演结果。对于静止状态泄漏源,其泄漏源位置反演结果如图7所示,泄漏源位置反演结果为39.95m,误差为10.05m,泄漏源强度反演结果为0.17kg/s,误差为0.07kg/s;对于泄漏源处于匀速运动状态,拟合后得到概率极大值对应的泄漏源强度为0.706kg/s,误差为0.064kg/s,其泄漏源强度反演结果如图8所示。

[0100] 本发明的实施方式不限于此,根据本发明的上述内容,按照本领域的普通技术知识和惯用手段,本发明还可以做出其它多种形式的修改、替换或变更,均落在本发明权利保

护范围之内。

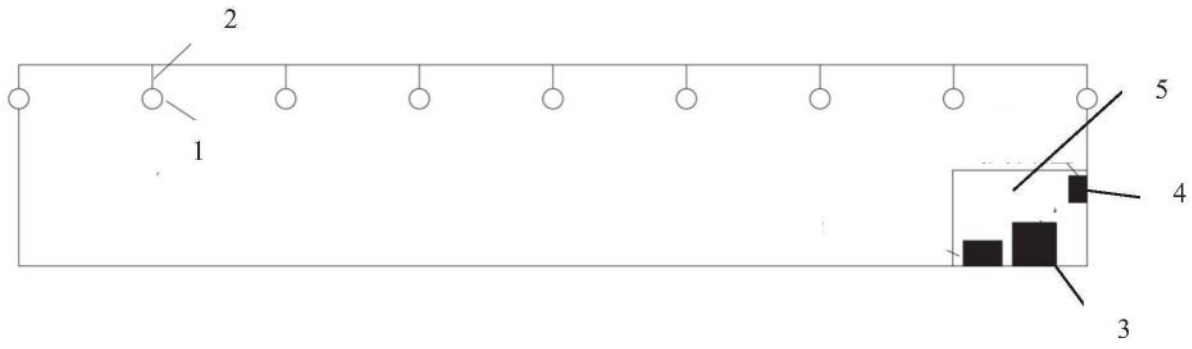


图1

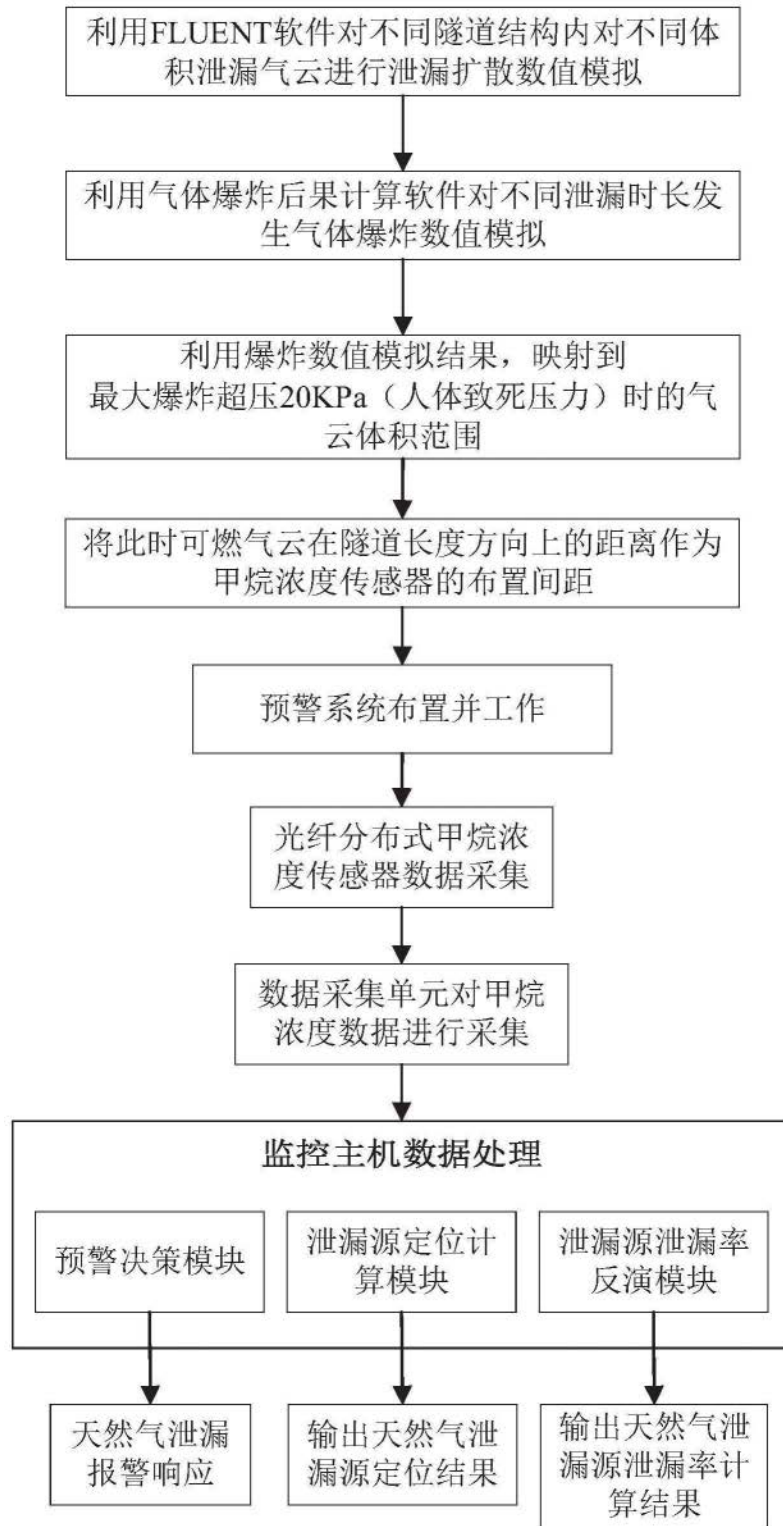


图2

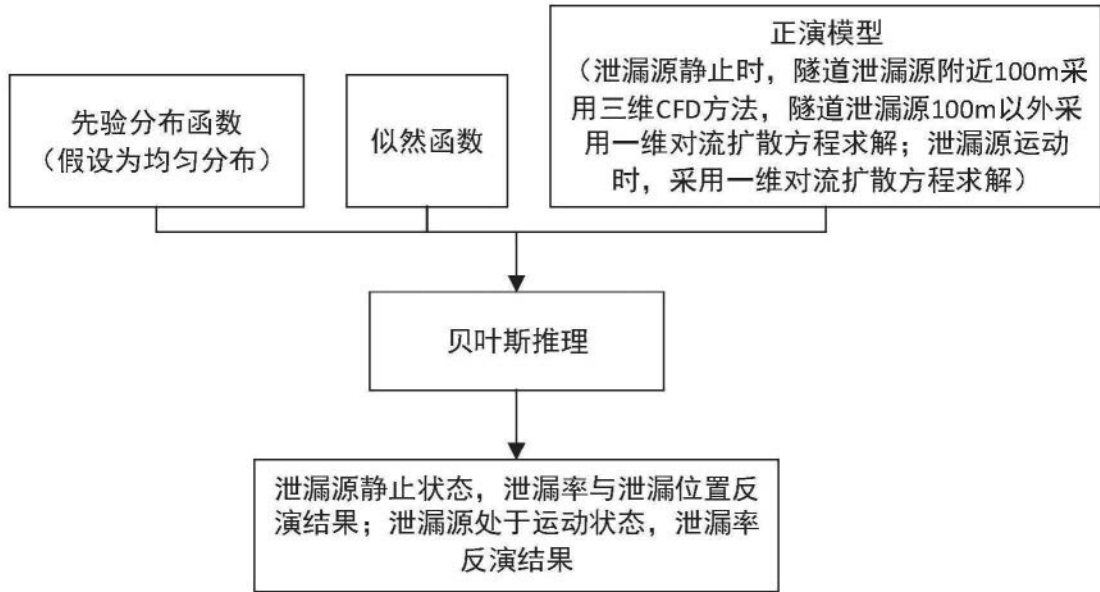


图3

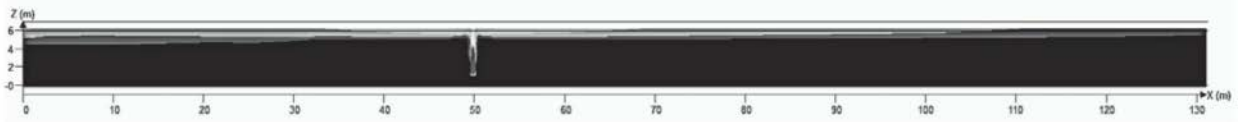


图4

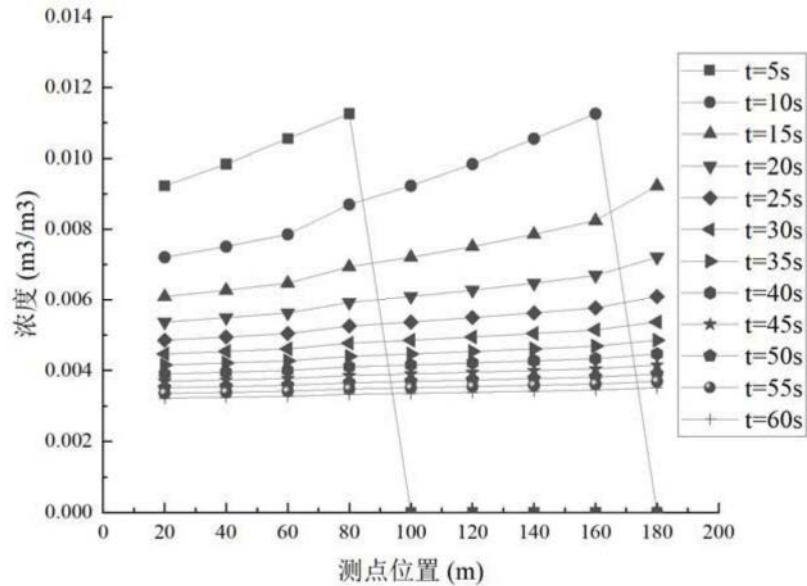


图5

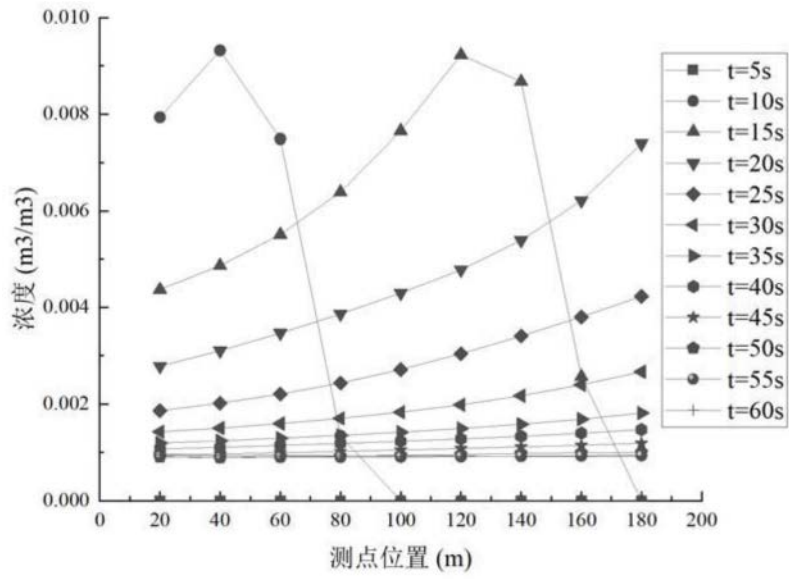


图6

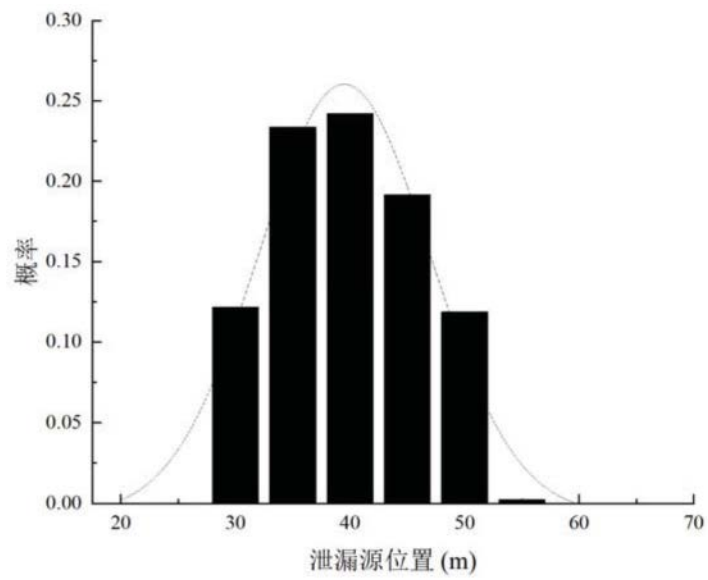


图7

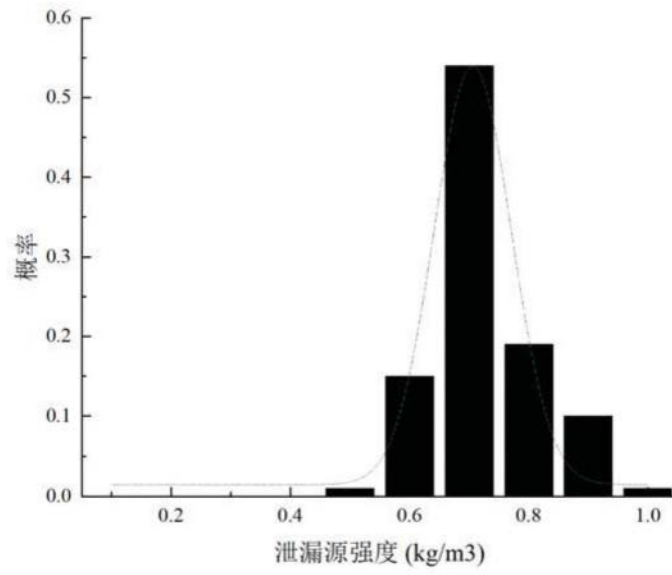


图8