



(21) 申请号 202410892002.X

G01N 21/27 (2006.01)

(22) 申请日 2024.07.04

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 101281127 A, 2008.10.08

申请公布号 CN 118425098 A

CN 109520941 A, 2019.03.26

(43) 申请公布日 2024.08.02

审查员 李双浩

(73) 专利权人 鞍山天汇科技有限公司

地址 114000 辽宁省鞍山市高新区越岭路
263号

(72) 发明人 刘吉龙 乌立梅 董燕 张运生

刘振鑫 尚尔立 郭春儒

(74) 专利代理机构 安徽华晟智恒知识产权代理

事务所(普通合伙) 34193

专利代理师 黄建月

(51) Int. Cl.

G01N 21/39 (2006.01)

权利要求书3页 说明书11页 附图2页

(54) 发明名称

一种分布式激光甲烷检测方法及系统

(57) 摘要

本发明公开了一种分布式激光甲烷检测方法及系统,具体涉及甲烷检测技术领域,用于解决分布式激光甲烷检测不准确的问题;本发明通过在目标监测区域内布置多个检测节点并采用波长调制光谱法,实现了高效和准确的甲烷浓度检测,在各节点同步采集环境数据与激光检测数据,数据经过预处理以提高其准确性和可靠性,再通过实时分析检测到的光信号来确定气体浓度,能够根据测得的气体浓度结果动态调整激光波长和环境参数,以优化检测性能并适应环境变化,通过比较历史和当前数据,可以评估数据的匹配程度,从而生成适当的控制信号,指导维护操作或调整措施,确保检测的连续性和准确性。

在目标监测区域内布置多个激光甲烷检测节点,同步采集环境数据与激光检测数据并进行预处理

对激光检测数据使用波长调制光谱法进行气体检测,将检测到的光信号进行解析,确定气体浓度结果

根据气体浓度结果调整波长调谐和环境参数,并对历史的校准数据进行分析,确定环境条件和校准结果关系,根据历史校准数据和当前环境数据进行动态对比校准

获取在进行历史校准数据和当前环境数据对比时产生的检测影响信息,确定对比过程中数据的匹配情况,根据数据匹配情况生成不同的控制信号,并进行不同的控制操作

1. 一种分布式激光甲烷检测方法,其特征在于,包括如下步骤:

在目标监测区域内布置多个激光甲烷检测节点,同步采集环境数据与激光检测数据并进行预处理;

对激光检测数据使用波长调制光谱法进行气体检测,将检测到的光信号进行解析,确定气体浓度结果;

根据气体浓度结果调整波长调谐和环境参数,并对历史的校准数据进行分析,确定环境条件和校准结果关系,根据历史校准数据和当前环境数据进行动态对比校准;

获取在进行历史校准数据和当前环境数据对比时产生的检测影响信息,确定对比过程中数据的匹配情况,根据数据匹配情况生成不同的控制信号,并进行不同的控制操作;

获取在进行历史校准数据和当前环境数据对比时产生的检测影响信息,确定对比过程中数据的匹配情况,具体过程如下:

获取在进行历史校准数据和当前环境数据对比过程产生的检测影响信息,检测影响信息包括校准相关信息、趋势识别信息;

校准相关信息包括校准关联差异指数,趋势识别信息包括动态趋势稳定指数;

将获取到校准关联差异指数、动态趋势稳定指数进行联立生成检测状态评估系数;

校准关联差异指数的获取方式如下:

收集设备校准过程中的测量数据和同期环境数据,获取校准前设备测量值 C_{pre} ,校准后设备测量值 C_{post} ,计算校准差异数据: $\Delta C = |C_{post} - C_{pre}|$,建立校准差异数据集: $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$,获取实际测得的环境数据集: $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$, n 表示环境数据的数量,获取校准差异数据集均值 \bar{c} 与环境数据集均值 \bar{e} ,计算校准相关值,计算表达式为:

$$XG = \left| \frac{\sum (c_i - \bar{c})(e_i - \bar{e})}{\sqrt{\sum (c_i - \bar{c})^2 (e_i - \bar{e})^2}} \right|;$$

获取环境数据集内相邻数据元素的差异值,并建立环境排名差异值集合: $D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$, m 为正整数,并计算斯皮尔曼等级值,计算表达式为: $DJ = \left| 1 - \frac{\sum d_m}{m(m-1)} \right|$,计算

校准关联差异指数,计算表达式为: $JZG = \frac{(XG-DJ)^2+1}{XG \cdot DJ}$;

动态趋势稳定指数的获取方式如下:

收集在进行历史校准数据和当前环境数据进行对比过程中产生的数据,并将产生的数据转换为时间序列数据,并将时间序列数据分解为趋势成分 T_t 、季节性成分 S_t 和残差成分 R_t ;

对趋势成分 T_t 应用线性回归分析计算趋势斜率,计算表达式为: $QX = \frac{\sum (t-\bar{t})(T_t - \bar{T}_t)}{\sum (t-\bar{t})^2}$,其

中, \bar{t} 是时间点 t 的平均值, \bar{T}_t 是趋势成分 T_t 的平均值,计算趋势截距,计算表达式为: $JU = \bar{T}_t - QX * \bar{t}$,计算趋势斜率误差值,计算表达式为:

$SE(QX) = \sqrt{\left(\frac{1}{N-2} \sum_{t=1}^N (T_t - \bar{T}_t)^2 \right) / \sum (t - \bar{t})^2}$,式中, N 为时间点数量,计算动态趋势稳

定指数,计算表达式为: $DTQ = \left(\frac{|QX|}{SE(QX)} + JU + 1 \right)^2$;

检测状态评估系数的计算表达式为: $J_x = \log \left(r_1 * JZG + \frac{r_1 - r_2 + 1}{r_2 * DTQ} + 1 \right)$, 式中, J_x 为检测状态评估系数, r_1 、 r_2 为校准关联差异指数、动态趋势稳定指数的预设比例系数, 且 r_1 、 r_2 均大于0;

根据数据匹配情况生成不同的控制信号, 并进行不同的控制操作, 具体过程如下:

将检测状态评估系数与检测阈值进行对比;

若检测状态评估系数大于或等于检测阈值, 则生成预警检测信号, 通知维护人员进行检查和干预;

若检测状态评估系数小于检测阈值, 则生成状态稳定信号, 无需进行额外的校准或维护, 继续正常运行。

2. 根据权利要求1所述的一种分布式激光甲烷检测方法, 其特征在于: 同步采集环境数据与激光检测数据并进行预处理, 具体过程如下:

进行传感器数据的预处理, 通过滤波和标准化处理, 根据数据的特性选择滤波器, 滤波器包括低通、高通、带通或带阻滤波器;

对各传感器收集的原始数据, 计算平均值和标准差, 并将数据转换到标准化的尺度;

为每一个数据点应用时间戳, 对每个传感器进行时钟同步, 将所有传感器设置为同一时间采集数据。

3. 根据权利要求2所述的一种分布式激光甲烷检测方法, 其特征在于: 对激光检测数据使用波长调制光谱法进行气体检测, 将检测到的光信号进行解析, 确定气体浓度结果, 并根据检测结果调整波长调谐和环境参数以及环境参数, 具体过程如下:

设置激光器的基础波长, 将激光器的输出波长调整至靠近目标气体吸收线的中心波长;

对产生的低频三角波和高频正弦波进行波长调谐控制, 使用高频正弦波将低频三角波调制到高频, 将调制后的激光通过待测气体传输, 确定通过气体后剩余的光信号, 并通过光电探测器将光信号转化为电信号;

使用锁相放大器对接收到的电信号进行处理, 提取出调制频率下的谐波信号;

根据解调后谐波信号中包含的气体浓度信息, 对比预先设置的标定曲线和实际测得的谐波幅度, 将谐波信号转换成气体浓度值。

4. 根据权利要求3所述的一种分布式激光甲烷检测方法, 其特征在于: 根据气体浓度结果调整波长调谐和环境参数, 具体过程如下:

收集激光检测输出的激光检测数据, 包括光强和吸收特性, 同时从环境传感器收集环境数据, 环境数据包括温度、湿度和气压;

确定当前激光波长与目标吸收峰的对齐程度, 确定是否需要进行波长调整;

若检测到波长与吸收峰不完全对齐, 调整激光器的温度和/或电流以调整波长;

分析环境数据, 建立补偿模型, 补偿模型根据气压、温度和湿度以调整环境参数。

5. 一种分布式激光甲烷检测系统, 用于实现权利要求1-4中任一项所述的一种分布式激光甲烷检测方法, 其特征在于, 包括:

区域数据采集模块,用于在目标监测区域内布置多个激光甲烷检测节点,同步采集环境数据与激光检测数据并进行预处理;

浓度分析模块,用于对激光检测数据使用波长调制光谱法进行气体检测,将检测到的光信号进行解析,确定气体浓度结果;

校准模块,用于根据气体浓度结果调整波长调谐和环境参数,并对历史的校准数据进行分析,确定环境条件和校准结果关系,根据历史校准数据和当前环境数据进行动态对比校准;

检测控制模块,用于获取在进行历史校准数据和当前环境数据对比时产生的检测影响信息,确定对比过程中数据的匹配情况,根据数据匹配情况生成不同的控制信号,并进行不同的控制操作。

一种分布式激光甲烷检测方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及甲烷检测技术领域,更具体地说,本发明涉及一种分布式激光甲烷检测方法及系统。

背景技术

[0002] 甲烷是一种重要的天然气成分,广泛用于能源生产和工业原料,且甲烷在一定浓度范围内与空气混合可形成爆炸性混合物,存在重大的安全风险。

[0003] 传统的甲烷检测技术如催化燃烧传感器、红外吸收传感器等,虽然被广泛使用,但通常存在响应时间长、灵敏度低、易受环境影响等缺点,这些限制减少了

[0004] 它们在大规模或复杂环境下的应用效果,所以激光检测技术逐渐被应用于甲烷检测。

[0005] 现有技术存在的不足:

[0006] 现有激光甲烷检测技术虽然具备高灵敏度和精准度,但在环境敏感性方面存在显著不足,对环境变化,如温度波动、湿度变化和气压差异极为敏感,这些因素均可影响激光的传播特性和气体的吸收光谱,从而干扰检测结果的准确性,例如,温度升高可能导致甲烷吸收线宽变宽,而湿度增加则可能引起设备光学部件的雾化或凝露,影响光路系统的稳定性,此外,背景气体的变化也可能与甲烷的光谱特性重叠,增加了误报的风险,在这些环境因素的干扰下降低了激光甲烷检测数据的稳健性和可靠性。

发明内容

[0007] 为了克服现有技术的上述缺陷,本发明的实施例提供一种分布式激光甲烷检测方法及系统,通过在目标监测区域内布置多个激光甲烷检测节点并数据采集,并进行气体检测分析,将检测到的光信号进行解析,确定气体浓度结果,根据气体浓度结果调整波长调谐和环境参数,并基于历史数据确定环境条件和校准结果关系,根据历史校准数据和当前环境数据进行动态对比校准,确定对比过程中数据的匹配情况,从而进行不同的控制操作,以解决上述背景技术中提出的问题。

[0008] 为实现上述目的,本发明提供如下技术方案:

[0009] 一种分布式激光甲烷检测方法,包括如下步骤:

[0010] 在目标监测区域内布置多个激光甲烷检测节点,同步采集环境数据与激光检测数据并进行预处理;

[0011] 对激光检测数据使用波长调制光谱法进行气体检测,将检测到的光信号进行解析,确定气体浓度结果;

[0012] 根据气体浓度结果调整波长调谐和环境参数,并对历史的校准数据进行分析,确定环境条件和校准结果关系,根据历史校准数据和当前环境数据进行动态对比校准;

[0013] 获取在进行历史校准数据和当前环境数据对比时产生的检测影响信息,确定对比过程中数据的匹配情况,根据数据匹配情况生成不同的控制信号,并进行不同的控制操作。

[0014] 在一个优选的实施方式中,同步采集环境数据与激光检测数据并进行预处理,具体过程如下:

[0015] 进行传感器数据的预处理,通过滤波和标准化处理,根据数据的特性选择滤波器,滤波器包括低通、高通、带通或带阻滤波器;

[0016] 对从各传感器收集的原始数据,计算其平均值和标准差,将数据转换到标准化的尺度;

[0017] 为每一个数据点应用时间戳,对每个传感器进行时钟同步,将所有传感器设置为同一时间采集数据。

[0018] 在一个优选的实施方式中,对激光检测数据使用波长调制光谱法进行气体检测,将检测到的光信号进行解析,确定气体浓度结果,并根据检测结果调整波长调谐和环境参数以及环境参数,具体过程如下:

[0019] 设置激光器的基础波长,将激光器的输出波长调整至靠近目标气体吸收线的中心波长;

[0020] 对产生低频三角波和低频正弦波进行波长调谐控制,使用高频正弦波将低频三角波调制到高频,将调制后的激光通过待测气体传输,确定通过气体后剩余的光信号,并通过光电探测器将光信号转化为电信号;

[0021] 使用锁相放大器对接收到的电信号进行处理,提取出调制频率下的谐波信号;

[0022] 根据解调后谐波信号中包含的气体浓度信息,通过预先设置的标定曲线和实际测得的谐波幅度,将谐波信号转换成气体浓度值。

[0023] 在一个优选的实施方式中,根据气体浓度结果调整波长调谐和环境参数,具体过程如下:

[0024] 收集激光检测输出的激光检测数据,包括光强和吸收特性,同时从环境传感器收集环境数据,环境数据包括温度、湿度和气压;

[0025] 确定当前激光波长与目标吸收峰的对齐程度,确定是否需要波长调整;

[0026] 若检测到波长与吸收峰不完全对齐,调整激光器的温度和/或电流以调整波长;

[0027] 分析环境数据,建立补偿模型,模型根据气压、温度和湿度以调整环境参数。

[0028] 在一个优选的实施方式中,获取在进行历史校准数据和当前环境数据对比时产生的检测影响信息,确定对比过程中数据的匹配情况,具体过程如下:

[0029] 获取在进行历史校准数据和当前环境数据对比过程产生的检测影响信息,检测影响信息包括校准相关信息、趋势识别信息;

[0030] 校准相关信息包括校准关联差异指数,趋势识别信息包括动态趋势稳定指数;

[0031] 将获取到校准关联差异指数、动态趋势稳定指数进行联立生成检测状态评估系数。

[0032] 在一个优选的实施方式中,根据数据匹配情况生成不同的控制信号,并进行不同的控制操作,具体过程如下:

[0033] 将检测状态评估系数与检测阈值进行对比;

[0034] 若检测状态评估系数大于或等于检测阈值,则生成预警检测信号,通知维护人员进行检查和干预;

[0035] 若检测状态评估系数小于检测阈值,则生成状态稳定信号,无需进行额外的校准

或维护,继续正常运行。

[0036] 一种分布式激光甲烷检测系统,用于上述一种分布式激光甲烷检测方法,包括:区域数据采集模块,用于在目标监测区域内布置多个激光甲烷检测节点,同步采集环境数据与激光检测数据并进行预处理;

[0037] 浓度分析模块,用于对激光检测数据使用波长调制光谱法进行气体检测,将检测到的光信号进行解析,确定气体浓度结果;

[0038] 校准模块,用于根据气体浓度结果调整波长调谐和环境参数,并对历史的校准数据进行分析,确定环境条件和校准结果关系,根据历史校准数据和当前环境数据进行动态对比校准;

[0039] 检测控制模块,用于获取在进行历史校准数据和当前环境数据对比时产生的检测影响信息,确定对比过程中数据的匹配情况,根据数据匹配情况生成不同的控制信号,并进行不同的控制操作。

[0040] 本发明的技术效果和优点:

[0041] 本发明通过在目标监测区域内布置多个检测节点并采用波长调制光谱法,实现了高效和准确的甲烷浓度检测,在各节点同步采集环境数据与激光检测数据,这些数据经过预处理以提高其准确性和可靠性,通过实时分析检测到的光信号来确定气体浓度,能够根据测得的气体浓度结果动态调整激光波长和环境参数,以优化检测性能并适应环境变化;

[0042] 通过分析历史校准数据与当前环境数据的关系,实现了动态校准,提高了检测设备的响应性和适应性,此外,通过比较历史和当前数据,可以评估数据的匹配程度,从而生成适当的控制信号,指导维护操作或调整措施,确保检测的连续性和准确性。

附图说明

[0043] 图1为本发明一种分布式激光甲烷检测方法的流程图。

[0044] 图2为本发明一种分布式激光甲烷检测系统的结构示意图。

具体实施方式

[0045] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅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。

[0046] 实施例1:如图1所示,一种分布式激光甲烷检测方法,所述方法包括:

[0047] 在目标监测区域内布置多个激光甲烷检测节点,同步采集环境数据与激光检测数据并进行预处理;

[0048] 对激光检测数据使用波长调制光谱法进行气体检测,将检测到的光信号进行解析,确定气体浓度结果;

[0049] 根据气体浓度结果调整波长调谐和环境参数,并对历史的校准数据进行分析,确定环境条件和校准结果关系,根据历史校准数据和当前环境数据进行动态对比校准;

[0050] 获取在进行历史校准数据和当前环境数据对比时产生的检测影响信息,确定对比过程中数据的匹配情况,根据数据匹配情况生成不同的控制信号,并进行不同的控制操作。

[0051] 在分布式激光甲烷检测中,传感器的选择和集成是确保精准检测和系统稳定性的关键步骤,能够在广泛的区域内有效地监测甲烷浓度,同时能够从多个检测点收集和分析数据;

[0052] 在目标监测区域内布置多个激光甲烷检测节点,每个节点包括激光发射器、环境传感器、光电探测器和必要的信号处理硬件,每个节点配备无线通信模块(如Wi-Fi或LoRa),允许各激光甲烷检测节点将收集的数据发送到中央处理单元或云平台进行数据处理;

[0053] 选择环境传感器,包括选择高精度和稳定性好的温度传感器,如铂电阻温度传感器(PT100),用于监测和控制激光器的温度,从而影响其波长;选择能够精确测量环境湿度的传感器,如电容式湿度传感器(如DHT22),以监控对激光传播可能产生影响的环境湿度;采用高精度气压传感器(如BMP280),监测环境气压,这对于高精度的气体检测是必要的,特别是在压力变化对检测结果有显著影响的应用中;

[0054] 对选定的传感器测试,确保传感器在预期的环境条件下能够提供稳定且准确的读数,检查传感器的响应时间、精度、稳定性和长期可靠性,确保它们符合系统的性能要求;

[0055] 在实际应用的环境条件下,对所有传感器进行测试,确保所有传感器的数据都能准确无误地被系统处理,并且相互之间不会干扰,并对传感器进行必要的校准,以确保在实际操作条件下提供准确的读数,使用标准气体或温度源等校准设备进行校准,确保校准过程的准确性和可重复性。

[0056] 进行传感器数据的预处理,通过滤波和标准化处理,确保数据的实时性和准确性,将环境传感器数据与激光检测数据进行同步采集与处理;

[0057] 根据数据的特性选择合适的滤波器,如低通、高通、带通或带阻滤波器,对于环境传感器和激光检测数据,常用低通滤波器去除高频噪声,可以选择数字滤波算法如巴特沃斯、切比雪夫、椭圆或FIR、IIR滤波器等,使用如MATLAB或Python等工具设计和测试滤波器的性能;

[0058] 在数据采集过程中实施滤波算法,可以在微控制器或数据采集软件等软硬件中实现;

[0059] 对于从各传感器收集的原始数据,计算其平均值和标准差,将数据转换到标准化的尺度上, $x_{norm} = \frac{x-\mu}{\sigma}$,其中, x 是原始数据, μ 是平均值, σ 是标准差;

[0060] 在数据预处理阶段应用标准化处理,确保所有数据以相同的标准被处理和分析。

[0061] 为每一个数据点(无论是环境数据还是激光检测数据)应用时间戳,确保每个传感器的时钟同步,或者采集后在软件中进行时间对齐,设计数据采集程序,使得所有传感器在几乎同一时间内或按预设的时间序列采集数据,在实时监控系统中,可利用实时操作系统(RTOS)或相似机制确保数据采集任务的同步执行,将同步的数据存储在数据库或数据文件中,保持其时间标签和来源标签,便于后续联合分析。

[0062] 确保环境数据和激光检测数据在同一时间点或时间窗内采集,以保证数据的关联性和后续分析的准确性。

[0063] 使用波长调制光谱法进行气体检测,对激光波长的精确调制,将检测到的光信号进行解析,确定气体的浓度,具体的步骤如下:

[0064] 设置激光器(激光发射器等设备)的基础波长,将激光器的输出波长调整至靠近目标气体吸收线的中心波长 λ_0 ,在激光器上施加由微控制器生成的两个信号:一个低频三角波和一个高频正弦波,这些信号结合调制激光器的注入电流,以在基础波长 λ_0 周围产生小范围波长的振荡;

[0065] 激光器的波长可以表示为: $\lambda(t) = \lambda_0 + \Delta\lambda \sin(2\pi f_m t)$, 式中, $\Delta\lambda$ 表示调制幅度, f_m 表示调制频率, t 表示时间;

[0066] 进行波长调谐控制,通过产生两路信号,分别为低频三角波和高频正弦波,利用正弦波将三角波调制到高频,驱动可调谐激光二极管,根据环境传感器数据动态调整激光器的输出波长,使其处于气体的吸收峰附近;

[0067] 因为激光的波长会随温度的变化而变化,所以控制激光器的温度,使激光的输出波长大致对准目标气体的特定吸收线,通过调节注入到激光器的电流,动态调整输出波长以覆盖气体的吸收峰,并且能扫描整个吸收谱线;

[0068] 通过信号扫描过程中改变激光的强度和波长,并使用高频正弦波将低频三角波调制到高频,这使得激光器发射的光在波长上进行调制,进而扫描目标气体的吸收谱线;

[0069] 调制的激光在通过含有目标气体是,气体在波 $\lambda(t)$ 处吸收激光,导致光强度的衰减,光强衰弱的表达式为: $I(t) = I_0 \exp(-\alpha(\lambda(t)) * L * c)$, 其中, I_0 是初始光强, $\alpha(\lambda(t))$ 是气体在波长 $\lambda(t)$ 的吸收系数, L 是光路径长度, c 是气体浓度, \exp 表示 e 为底的是自然对数的指数函数;

[0070] 调制后的激光通过待测气体传输时,特定波长的光被气体吸收,光电探测器接收通过气体后剩余的光信号,该信号包含了被气体吸收的信息,光信号由光电探测器接收并转换为电信号;

[0071] 使用锁相放大器对接收到的电信号进行处理,这种设备可以提高信号的信噪比,锁相放大器对电信号进行解调,提取出调制频率下的谐波信号;

[0072] 使用锁相放大器提取特定频率下的信号成分,通常关注二次谐波 ($2f$) 因其对激光强度变化不敏感而对吸收特征敏感,锁相放大器根据参考频率(与激光调制频率相同)对接收到的调制电信号进行解调,提取出与调制频率相关的信号成分;

[0073] 二次谐波 ($2f$) 公式如下:

$$\frac{d^2 I}{d\lambda^2} = -I_0 [\alpha''(\lambda_0) * L * c - (\alpha'(\lambda_0) * L * c)^2] \exp(-\alpha(\lambda) * L * c) \cos(2\pi f_m t), \text{ 其中, } \alpha'(\lambda_0)$$

$c) \cos(2\pi f_m t)$

是在 λ_0 处对吸收系数 α 的导数, $\alpha''(\lambda_0)$ 是在 λ_0 处对吸收系数 α 的二阶导数;

[0074] 根据解调后谐波信号包含的气体浓度信息,通过预先设置的标定曲线和实际测得的谐波幅度,可以将这些信号转换成精确的气体浓度值;

[0075] 需要说明的是,对每个已知浓度的气体样本测量并记录谐波信号的幅度,使用统计或数据分析软件(如Excel、Origin、Matlab等),将记录的信号幅度与对应的气体浓度进

行图形化,并拟合出一个标定曲线。常用的拟合模型包括线性回归、多项式回归等,通过在标定曲线中插入实际测得的谐波信号幅度,找到对应的气体浓度值。例如,如果使用线性模型。

[0076] 根据检测结果实时调整波长调谐和环境参数,确保检测的稳定性和准确性,根据实时检测结果调整激光器的输出波长及其它相关环境参数,具体步骤如下:

[0077] 收集激光检测输出的激光检测数据,包括光强和吸收特性,同时从环境传感器收集温度、湿度和气压等环境数据;

[0078] 分析当前激光波长与目标吸收峰的对齐程度,确定是否需要进行波长调整,分析环境数据,确定其对激光传播和吸收特性的影响;

[0079] 设计基于反馈的调整算法,用于根据实时数据调整激光器的电流和温度,使用PID控制(比例-积分-微分控制)或其他适合的控制算法来实现精确控制;

[0080] 如果检测到波长与吸收峰不完全对齐,调整激光器的温度和/或电流来细调波长。这可以通过增加或减少激光器的电流来实现,温度调整通常使用热电制冷器(TEC)控制,使用公式计算调整量: $\Delta\lambda = k_T \Delta T + k_I \Delta I$,其中 ΔT 和 ΔI 分别是温度和电流的调整量, k_T 和 k_I 是根据实验或经验确定的调整系数;

[0081] 根据环境参数影响吸收系数的情况,建立补偿模型,模型根据气压、温度和湿度等因素调整光吸收计算,补偿表达式以为下式:

$$\alpha_{cor} = \alpha_{cor} * (1 + \beta_T \Delta T + \beta_P \Delta P + \beta_R \Delta RH),$$

其中, β_T 、 β_P 和 β_R 为调整系数, ΔT , ΔP ,和 ΔRH 是与基线环境条件中温度、气压、湿度的偏差。

[0082] 根据环境数据调整检测系统的输出,这可能包括对激光功率、检测窗口的灵敏度和其他相关参数的调整,使用实时数据处理软件实时调整检测参数,以补偿环境变化的影响。

[0083] 对于甲烷检测,准确地从光谱数据中提取有用的特征,并考虑环境参数的影响,对于建立一个鲁棒的预测模型尤为关键,特征工程是从原始光谱数据中提取关键特征,如吸收峰值、峰宽等,结合环境参数(温度、湿度、气压),设计复合特征,以增强模型的环境适应性,具体步骤如下:

[0084] 首先对整个光谱进行扫描,确定吸收峰的大致位置。这可以通过查找局部最小值点来完成,因为吸收峰通常表现为光谱中的谷值;

[0085] 测量峰值处的光强度,测量峰在半高处的宽度,作为描述峰宽的方法,并提供有关峰形状的信息,反映样品的浓度和环境条件,基础公式为: $FWHM = \lambda_{high} - \lambda_{low}$,其中

λ_{high} 和 λ_{low} 分别是峰在半高处的右侧和左侧波长;

[0086] 同步记录测量时的环境参数,如温度T、湿度RH和气压P,将这些环境参数直接作为特征整合入模型,或构建衍生特征,设计涉及光谱特征和环境参数的交互作用特征,例如使用环境参数调整光谱特征的值,并对所有特征进行归一化处理,确保模型不会因为不同特征的量纲不同而产生偏差;

[0087] 选择适合的机器学习模型(如随机森林、支持向量机、卷积神经网络),进行模型训练,使用交叉验证方法评估模型性能,确保其在多种环境条件下具有良好的泛化能力;

[0088] 评估数据特性,根据数据的大小、特征的类型(如时间序列、标量特征、图像等)以及预测任务的性质(回归或分类),选择合适的模型;

[0089] 随机森林适用于处理具有高维特征的数据,能够提供特征重要性估计,容易理解和实施,对异常值不敏感;支持向量机(SVM)适用于具有明显边界的分类问题,特别是在数据量不是很大的情况下;如果光谱数据可以被视为图像,则适用于提取空间层次的复杂模式,可以使用卷积神经网络(CNN);

[0090] 对所有输入特征进行标准化或归一化处理,使用K折交叉验证方法来评估模型的泛化能力,并选择最优的参数,使用交叉验证结果来评估模型在不同环境条件下的表现,关注指标如准确率、召回率、F1分数等,并分析模型预测错误的情况,确定是否存在过拟合或欠拟合问题;

[0091] 将训练好的模型进行部署,实现实时数据处理和甲烷浓度预测,设计在线学习机制,模型可以根据新数据不断更新和优化,保持高准确性;

[0092] 使用机器学习模型处理复杂数据,提高系统的智能化水平和适应性,减少多气体干扰对检测结果的影响。

[0093] 根据新收集的数据定期更新模型,以适应环境变化,并利用新数据对模型进行微调,以节省资源和时间,定期使用标准气体进行校准,确保激光甲烷检测准确性和设备稳定性;

[0094] 分析历史的校准数据,提取环境条件和校准结果之间的关系,结合自学习校准算法(支持向量机、决策树和随机森林等),根据历史校准数据和当前环境数据,进行对比并动态调整校准频率和参数,提高激光甲烷检测的准确性和稳定性。

[0095] 获取在进行历史校准数据和当前环境数据对比时产生的检测影响信息,确定对比过程中数据的稳定情况,检测影响信息包括校准相关信息、趋势识别信息;

[0096] 校准相关信息包括校准关联差异指数,校准关联差异指数是用来表示不同环境变量下在对甲烷检测设备的校准准确性情况,用于帮助识别环境因素对设备校准影响的程度,进而可以更有针对性地调整校准策略,可以用来评估环境变化对设备性能的潜在影响,并帮助制定更有效的校准计划,确保设备在各种环境下的精确运行;

[0097] 随着新数据的累积和环境的变化,定期更新校准关联差异指数的计算,确保其反映最新的环境影响情况,使用校准关联差异指数作为设备校准策略调整的依据,帮助确定校准频率,预测未来的维护需求,优化设备的运行效率;

[0098] 校准关联差异指数的获取方式如下:

[0099] 收集设备校准过程中的测量数据和同期环境数据,获取校准前设备测量值 C_{pre} , 校准后设备测量值 C_{post} , 计算校准差异数据: $\Delta C = |C_{post} - C_{pre}|$, 建立校准差异数据集

合: $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$, 获取实际测得的环境数据集: $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$, n 表示环境数据的数量,获取校准差异数据集均值 \bar{c} 与环境数据集均值 \bar{e} , 计算校准相关

值,计算表达式为: $XG = \left| \frac{\sum (c_i - \bar{c})(e_i - \bar{e})}{\sqrt{\sum (c_i - \bar{c})^2 (e_i - \bar{e})^2}} \right|$;

[0100] 获取环境数据集内相邻数据元素的差异值,并建立环境排名差异值集合:

$D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$, m 为正整数, 并计算斯皮尔曼等级值, 计算表达式为:

$$DJ = \left| 1 - \frac{\sum d_m}{m(m-1)} \right|, \text{计算校准关联差异指数, 计算表达式为: } JZG = \frac{(XG-DJ)^2+1}{XG \cdot DJ}.$$

[0101] 需要说明的是, 环境数据包括温度、湿度、气压等环境参数的实际读数。

[0102] 趋势识别信息包括动态趋势稳定指数, 动态趋势稳定指数是用来表示在时间序列下数据趋势的稳定性和一致性的情况, 反映了时间序列的趋势成分在不同时间点的变化幅度, 即在不同的校准周期和环境条件下, 趋势成分的一致性和变化的波动性, 帮助识别数据趋势的稳定性或其变化的波动性。具体来说, 动态趋势稳定指数揭示了时间序列在长期内的行为模式, 是否存在显著的波动或是持续的稳定增长/下降趋势;

[0103] 主要用于监控设备或环境参数随时间的稳定发展, 帮助技术团队和决策者识别可能的性能退化或环境影响的加剧, 在校准数据分析中, 动态趋势稳定指数可以揭示设备性能是否受到持续的外部环境变化的影响, 或是否存在内部老化和磨损等问题。

[0104] 动态趋势稳定指数可以衡量校准参数(如温度、压力等校准后的测量值)的时间趋势的一致性, 如果趋势稳定, 表明设备或环境在相似条件下表现出一致的行为, 预测未来性能或状况变得更可靠, 再通过比较趋势斜率的大小和其变异系数, 动态趋势稳定指数反映趋势的强度及其在不同时间点的波动性。高动态趋势稳定指数值表示趋势强且稳定, 低动态趋势稳定指数值可能提示趋势虽存在但变化大, 稳定性差。

[0105] 动态趋势稳定指数可用于确定设备的维护和校准周期, 尤其在设备显示出趋势稳定性变化时, 在环境监控中, 动态趋势稳定指数帮助评估环境参数随时间的稳定性, 对于环境敏感或受环境影响较大的操作尤其重要。

[0106] 动态趋势稳定指数的获取方式如下:

[0107] 收集在进行历史校准数据和当前环境数据进行对比过程中产生的数据, 并将产生的数据转换为时间序列数据, 并将时间序列数据分解为趋势成分 T_t 、季节性成分 S_t 和残差成分 R_t ;

[0108] 对趋势成分 T_t 应用线性回归分析确定趋势斜率 β_1 , 计算趋势斜率, 计算表达式

$$\text{为: } QX = \frac{\sum (t-\bar{t})(T_t - \bar{T}_t)}{\sum (t-\bar{t})^2}, \text{其中, } \bar{t} \text{ 是时间点 } t \text{ 的平均值, } \bar{T}_t \text{ 是趋势成分 } T_t \text{ 的平均值, 计算趋}$$

势截距, 计算表达式为: $JU = \bar{T}_t - QX * \bar{t}$, 计算趋势斜率误差值, 计算表达式为:

$$SE(QX) = \sqrt{\left(\frac{1}{N-2} \sum_{t=1}^N (T_t - \bar{T}_t)^2 \right) / \sum (t - \bar{t})^2}, \text{式中, } N \text{ 为时间点数量, 计算动态趋势}$$

$$\text{稳定指数, 计算表达式为: } DTQ = \left(\frac{|QX|}{SE(QX)} + JU + 1 \right)^2.$$

[0109] 需要说明的是, 趋势成分、季节性成分以及残差成分, 通常使用时间序列分解方法, 如季节性分解的趋势-季节性-残差(STL)分解得到, 趋势成分显示数据随时间的长期变化趋势, 残差成分包含数据中除去趋势和季节性后的剩余部分, 通常被认为是随机噪声, STL分解的具体数学原理涉及到循环子序列的局部加权回归(Loess Smoothing), 趋势成分

通过对整个时间序列应用Loess平滑来提取趋势,季节性成分从去趋势化的数据中(即原始数据减去趋势成分后的结果)提取季节性模式,通过线性回归模型确定趋势成分的斜率,趋势的斜率反映了趋势随时间的变化率。

[0110] 将获取到校准关联差异指数、动态趋势稳定指数进行联立得到检测状态评估系数,通过检测状态评估系数能够可以系统地评估和监控设备在实际操作环境中的状态和性能,在分布式激光甲烷检测系统中,用于评估和监控整个检测网络中每个节点的性能和校准状态,可以预测设备可能出现的问题和性能退化,从而实施预测性维护,这有助于减少意外停机和维护成本,提高系统的整体可靠性和效率。

[0111] 检测状态评估系数的一种计算表达式形式为:

$$J_x = \log \left(r_1 * JZG + \frac{r_1 - r_2 + 1}{r_2 * DTQ} + 1 \right),$$
式中, J_x 为检测状态评估系数, r_1 、 r_2 为校准关联差异指数、动态趋势稳定指数的预设比例系数,且 r_1 、 r_2 均大于0。

[0112] 需要说明的是,预设比例系数的大小是为了将各个参数进行量化得到的一个具体的数值,其为了便于后续比较,关于系数的大小,取决于样本数据的多少及本领域技术人员对每一组样本数据初步设定对应的预设比例系数;并不唯一,只要不影响参数与量化后数值的比例关系即可,如同动态趋势稳定指数与检测状态评估系数反比关系。

[0113] 校准关联差异指数越大、动态趋势稳定指数越小,即检测状态评估系数的表现值越大,则表明历史校准数据与当前环境数据之间存在较大的差异,设备可能没有很好地适应当前环境变化,或者校准过程存在问题,从而导致数据的可靠性和准确性下降,表明设备的总体状态可能较差,校准和趋势稳定性的问题较为明显,这在进行激光甲烷检测时是一个重要的警示信号,表明检测结果可能不够可靠,需要采取措施进行校正或维护;

[0114] 校准关联差异指数越小、动态趋势稳定指数越大,即检测状态评估系数的表现值越小,表明了历史校准数据与当前环境数据之间的差异较小,校准过程较为一致,设备在不同校准周期之间表现出较好的适应性,意味着设备对环境变化的响应稳定,设备性能趋势的稳定性较高,设备表现出连贯且可预测的性能趋势,没有出现大幅度波动或突然的性能下降。

[0115] 校准关联差异指数越大、动态趋势稳定指数越小,即检测状态评估系数的表现值越大,则表明历史校准数据与当前环境数据之间存在较大的差异,设备可能没有很好地适应当前环境变化,或者校准过程存在问题,从而导致数据的可靠性和准确性下降,表明设备的总体状态可能较差,校准和趋势稳定性的问题较为明显,这在进行激光甲烷检测时是一个重要的警示信号,表明检测结果可能不够可靠,需要采取措施进行校正或维护;

[0116] 将生成的检测状态评估系数与检测阈值进行对比,生成不同控制信号,根据生成的控制信号进行分布式激光甲烷的检测维护,以获取更准确的甲烷相关数据,从而可以系统地管理和维护设备,确保甲烷检测数据的准确性和可靠性;

[0117] 获取到检测状态评估系数后,将检测状态评估系数与检测阈值进行对比;

[0117] 若检测状态评估系数小于检测阈值,则生成状态稳定信号,状态稳定信号指出设备在当前的操作环境和校准状态下表现良好,这意味着设备校准精确,性能参数在期望的范围内,能够可靠地执行其功能,如准确检测环境中的甲烷浓度,在短期内无需对设备进行额外的校准或维护。设备的当前状态足以继续运行,不需要因为性能问题而进行干预,这有助于减少维护成本和避免不必要的操作中断。

[0118] 若检测状态评估系数大于或等于检测阈值,则生成预警检测信号,表明可能由于设备的校准偏差、性能退化、或环境条件变化导致设备未能按照预期工作,这种情况下,设备运行人员和维护团队应重视这些指标提供的信息,及时进行检查和干预,以防止潜在的错误读数 and 避免由此引起的安全隐患;

[0119] 生成的预警检测信号是一个操作提示,表明设备需要立即进行检查、校准或维修,以确保检测数据的准确性和设备的可靠运行,这种及时的干预可以防止潜在的故障发展成更严重的问题,从而降低维护成本和避免可能的安全风险;

[0120] 接收到预警检测信号后,应及时采取相应的措施,以纠正异常情况保障激光甲烷检测的准确性和可靠性,以下是可能的具体步骤:

[0121] 如果频繁超出阈值,这可能表明现有的检测和维护策略需要调整,可能需要重新评估设备的使用条件、环境因素的影响或是检测和维护的周期,以适应不断变化的操作环境;

[0122] 根据设备的实际运行数据和维护历史,定期审查和调整检测阈值,确保其反映最新的设备状态和操作环境,利用数据管理系统收集和分析来自分布式激光甲烷检测设备的数据,以及环境监测数据,这有助于全面评估设备的健康状况;开发一个应急响应框架和预防措施计划,当超过检测阈值时,能够快速采取行动进行校准、维护或其他必要的操作。

[0123] 需要说明的是,检测阈值的设定可以根据具体的场景和需求来确定,通常是根据历史数据、区域特点、环境等因素进行调整和优化。

[0124] 本发明通过在目标监测区域内布置多个检测节点并采用波长调制光谱法,实现了高效和准确的甲烷浓度检测,在各节点同步采集环境数据与激光检测数据,这些数据经过预处理以提高其准确性和可靠性,通过实时分析检测到的光信号来确定气体浓度,能够根据测得的气体浓度结果动态调整激光波长和环境参数,以优化检测性能并适应环境变化;

[0125] 通过分析历史校准数据与当前环境数据的关系,实现了动态校准,提高了检测设备的响应性和适应性,此外,通过比较历史和当前数据,可以评估数据的匹配程度,从而生成适当的控制信号,指导维护操作或调整措施,确保检测的连续性和准确性。

[0126] 实施例2,本实施例为实施例1的系统实施例,用于实现实施例1中介绍的一种分布式激光甲烷检测方法,如图2所示,具体包括:

[0127] 区域数据采集模块,用于在目标监测区域内布置多个激光甲烷检测节点,同步采集环境数据与激光检测数据并进行预处理;

[0128] 浓度分析模块,用于对激光检测数据使用波长调制光谱法进行气体检测,将检测到的光信号进行解析,确定气体浓度结果;

[0129] 校准模块,用于根据气体浓度结果调整波长调谐和环境参数,并对历史的校准数据进行分析,确定环境条件和校准结果关系,根据历史校准数据和当前环境数据进行动态对比校准;

[0130] 检测控制模块,用于获取在进行历史校准数据和当前环境数据对比时产生的检测影响信息,确定对比过程中数据的匹配情况,根据数据匹配情况生成不同的控制信号,并进行不同的控制操作。

[0131] 上述公式均是去量纲取其数值计算,具体去量纲可采用标准化等多种手段,在此不进行赘述,公式是由采集大量数据进行软件模拟得到最近真实情况的一个公式,公式中的预设参数由本领域的技术人员根据实际情况进行设置。

[0132] 上述实施例,可以全部或部分地通过软件、硬件、固件或其他任意组合来实现。当使用软件实现时,上述实施例可以全部或部分地以计算机程序产品的形式实现。所述计算机程序产品包括一个或多个计算机指令或计算机程序。在计算机上加载或执行所述计算机

指令或计算机程序时,全部或部分地产生按照本申请实施例所述的流程或功能。所述计算机可以为通用计算机、专用计算机、计算机网络,或者其他可编程装置。所述计算机指令可以存储在计算机可读存储介质中,或者从一个计算机可读存储介质向另一个计算机可读存储介质传输,例如,所述计算机指令可以从一个网站站点、计算机、服务器或数据中心通过有线或无线(例如红外、无线、微波等)方式向另一个网站站点、计算机、服务器或数据中心进行传输。所述计算机可读存储介质可以是计算机能够存取的任何可用介质或者是包含一个或多个可用介质集合的服务器、数据中心等数据存储设备。所述可用介质可以是磁性介质(例如,软盘、ATA硬盘、磁带)、光介质(例如,DVD),或者半导体介质。半导体介质可以是固态ATA硬盘。

[0133] 应理解,在本申请的各种实施例中,上述各过程的序号的大小并不意味着执行顺序的先后,各过程的执行顺序应以其功能和内在逻辑确定,而不对本申请实施例的实施过程构成任何限定。

[0134] 本领域普通技术人员可以意识到,结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤,能够以电子硬件,或者计算机软件和电子硬件的结合来实现。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行,取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能,但是这种实现不应认为超出本申请的范围。

[0135] 在本申请所提供的几个实施例中,应该理解到,所揭露的系统、装置和方法,可以通过其他的方式实现。例如,以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的,例如,所述单元的划分,仅仅为一种逻辑功能划分,实际实现时可以有另外的划分方式,例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统,或一些特征可以忽略,或不执行。另一点,所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通信连接可以是通过一些接口,装置或单元的间接耦合或通信连接,可以是电性,机械或其他的形式。

[0136] 所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的,作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元,既可以位于一个地方,或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部单元来实现本实施例方案的目的。

[0137] 另外,在本申请各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理单元中,也可以是各个单元单独物理存在,也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中。

[0138] 以上所述,仅为本申请的具体实施方式,但本申请的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本申请揭露的技术范围内,可轻易想到变化或替换,都应涵盖在本申请的保护范围之内。因此,本申请的保护范围应以所述权利要求的保护范围为准。

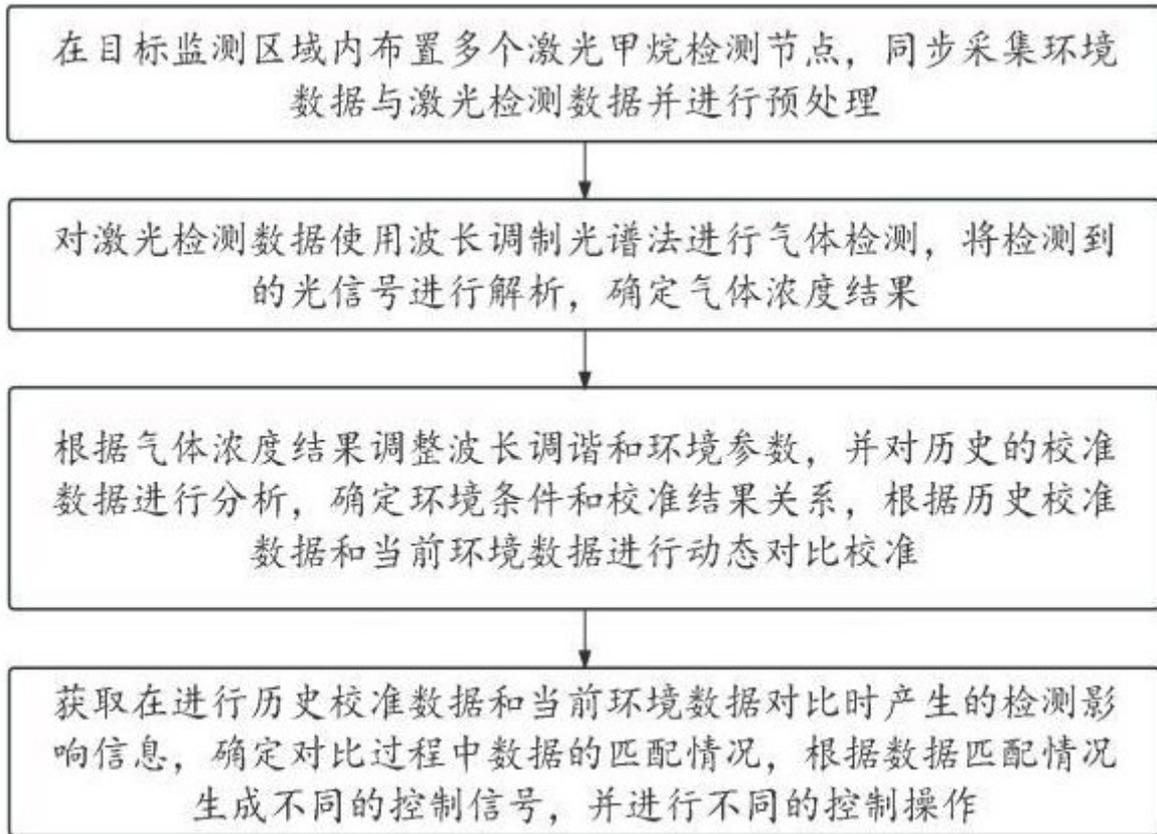


图 1

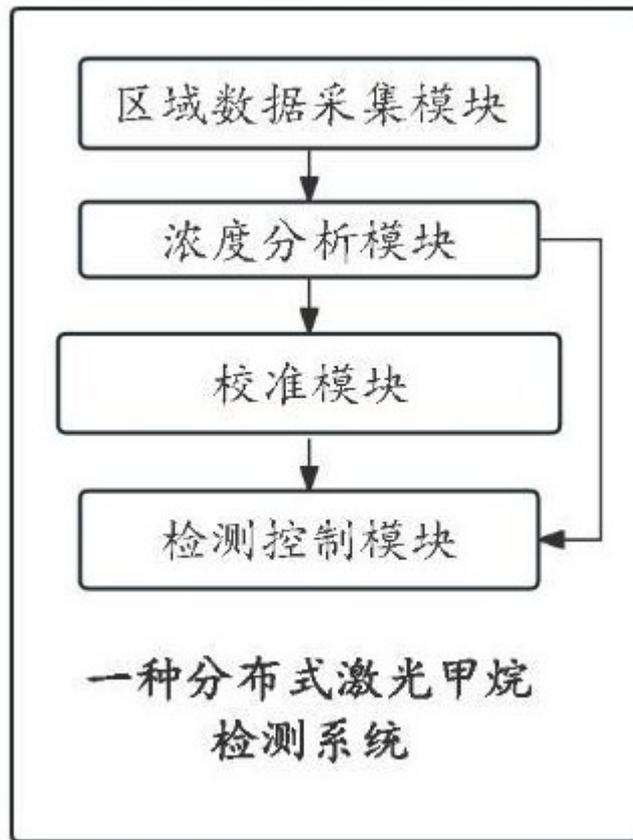


图 2