



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102353649 A

(43) 申请公布日 2012.02.15

(21) 申请号 201110182008.0

(22) 申请日 2011.06.30

(71) 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路 3888 号

(72) 发明人 王彪 王立军 曹军胜 秦莉 刘云 宁永强

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210

代理人 陶尊新

(51) Int. Cl.

G01N 21/39(2006.01)

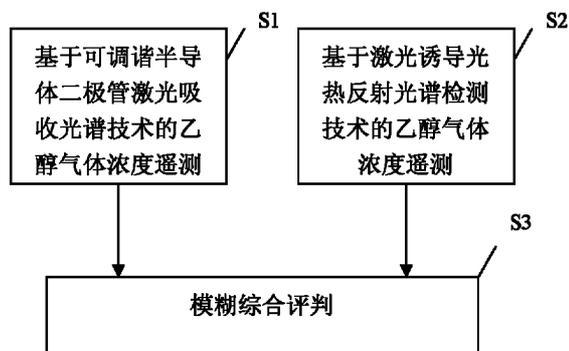
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 3 页

(54) 发明名称

一种基于二元化光谱分技术的乙醇气体浓度遥测方法

(57) 摘要

一种基于二元化光谱分技术的乙醇气体浓度遥测方法,涉及一种基于二元化光谱分技术的乙醇气体浓度遥测方法,它解决了现有以“可调谐半导体二极管激光吸收光谱技术”为基础的检测方法,不能够去除来自于激光器本身的超噪声;而以“激光诱导光热反射光谱检测技术”为基础的检测方法对于恶劣环境的适应性较差的问题,该方法包括基于可调谐半导体二极管激光吸收光谱技术的乙醇气体浓度遥测;基于激光诱导光热反射光谱检测技术的乙醇气体浓度遥测;模糊综合评判,通过本发明可有效的对路面过往车辆内的乙醇浓度进行预检,交警可通过预检结果进行有针对性的排查,提高执法效率,节省警力资源。



1. 一种基于二元化光谱分技术的乙醇气体浓度遥测方法,其特征是,该方法包括以下步骤:

- (S1) 基于可调谐半导体二极管激光吸收光谱技术的乙醇气体浓度遥测;
- (S2) 基于激光诱导光热反射光谱检测技术的乙醇气体浓度遥测;
- (S3) 模糊综合评判。

2. 根据权利要求 1 所述的一种基于二元化光谱分技术的乙醇气体浓度遥测方法,其特征在于,所述步骤 (S1) 还包括以下步骤:

(S11) 对核心光源处在乙醇气体吸收峰的激光进行波长调制,调制信号为锯齿波和正弦波的叠加信号;

- (S12) 激光经准直后对外发射,射入被测乙醇气体;
- (S13) 对返回的携带乙醇气体浓度信息的光信号进行会聚接收,并将其转换为电信号;
- (S14) 对上述电信号进行放大处理;
- (S15) 对上述放大处理后的电信号进行锁相放大处理;
- (S16) 数据采集与分析。

3. 根据权利要求 1 所述的一种基于二元化光谱分技术的乙醇气体浓度遥测方法,其特征在于,所述步骤 (S2) 还包括以下步骤:

- (S21) 对核心光源处在乙醇气体吸收峰的激励激光进行强度调制;
- (S22) 激励激光经准直对外发射,射入被测乙醇气体,同时发射核心光源不处在乙醇气体吸收峰的探测激光到被测乙醇气体;
- (S23) 对返回的携带乙醇气体浓度信息的光信号进行会聚接收,并将其转换为电信号;
- (S24) 对上述电信号进行放大处理;
- (S25) 对上述放大处理后的电信号进行锁相放大处理;
- (S26) 数据采集与分析。

4. 根据权利要求 3 所述的一种基于二元化光谱分技术的乙醇气体浓度遥测方法,其特征在于,所述核心光源处在乙醇气体吸收峰的激励激光的波长为 905nm;所述核心光源不处在乙醇气体吸收峰的探测激光的波长为 1064nm。

5. 根据权利要求 1 所述的一种基于二元化光谱分技术的乙醇气体浓度遥测方法,其特征在于,确定所述模糊综合评判 (S3) 的模型包括以下步骤:

(S31) 确定因素集 U , $U = \{ \text{环境温度 } (u_1), \text{环境湿度 } (u_2), \text{检测距离 } (u_3), \text{环境光强度 } (u_4) \}$;

(S32) 确定评语集 V , $V = \{ \text{优 } (v_1), \text{良 } (v_2), \text{中 } (v_3), \text{差 } (v_4) \}$;

(S33) 因素集元素权重分配, $A = \{ a_1, a_2, \dots, a_1, \dots, a_n \}$, 其中 $0 \leq a_i \leq 1$, 且 $\sum_{i=1}^n a_i = 1$;

(S34) 得出单因素评判矩阵 R , $R = (r_{ij})_{nm}$, $0 \leq r_{ij} \leq 1$, 逐个对每个因素集元素进行量化,确定单因素对各评语的隶属度;

(S35) 得出模糊综合评判结果 B , $\tilde{B} = \tilde{A} \circ \tilde{R} = (a_{ij})_{1n} \circ [r_{ij}]_{nm}$, 其中评判结果 B 为一个向量,向量中的元素表明对每一种评语的隶属程度;

(S36) 评判结果向量以进一步分析输出,首先通过对评判结果向量的归一化来进行分析,得到的等价结果表示各评语等级在综合评判结果中占的百分比;将由步骤 (S1) 和步骤

(S2) 两种检测方法所得到的数据结果评语等级数量化,最后采用加权平均法,得到一个最终的被测乙醇气体浓度的系统评判值。

一种基于二元化光谱分技术的乙醇气体浓度遥测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于二元化光谱分技术的乙醇气体浓度遥测方法,具体涉及一种酒驾遥感快速激光自动预检方法。

背景技术

[0002] 可调谐半导体二极管激光吸收光谱技术 (Tunable Diode Laser Absorption Spectrometry) 简称为 TDLAS 技术。该技术是利用激光能量被气体分子“选频”吸收形成吸收光谱的原理来测量气体浓度的一种技术。具体来说,半导体激光器发射出的特定波长的激光束穿过被测气体时,被测气体对激光束进行吸收导致激光强度产生衰减,激光强度的衰减与被测气体含量成正比,因此,通过测量激光强度衰减信息就可以分析获得被测气体的浓度。

[0003] 激光诱导光热反射光谱检测技术 (Laser Reflex Photo-Thermal Spectrometry) 简称为 LRPTS 技术。是一种基于物质吸收特征波长激光后,通过无辐射弛豫所产生的热效应来进行检测的一类光谱分析方法,现已成为气态和凝聚态物质的高灵敏检测技术,多应用于材料、环境和生物等领域。光热反射光谱技术是一种探测“光激励热效应”的方法,可探测与温度有关的各种物理参数,如压力波、折射系数及吸收系数的变化等,还可监测同时发生的动态变化,是一种非接触性和非破坏性测量的检测方法。

[0004] 对于如前所述的两种用于乙醇气体检测的不同检测方法而言,其分别具有各自的不足。以“可调谐半导体二极管激光吸收光谱技术”为基础的检测方法,不能够去除来自于激光器本身的超噪声;而以“激光诱导光热反射光谱检测技术”为基础的检测方法对于恶劣环境的适应性较差,对克服背景气体、粉尘的吸收干扰不够理想,这使得两种检验方法的测量精度都受到影响。

发明内容

[0005] 本针对上述现有技术的不足,本发明所采用 TDLAS 和 LRPTS 两种不同的检测技术,提出基于二元化光谱分技术的乙醇气体浓度遥测方法。

[0006] 基于二元化光谱分技术的乙醇气体浓度遥测方法,该方法由以下步骤实现:

[0007] 基于可调谐半导体二极管激光吸收光谱技术的乙醇气体浓度遥测;

[0008] 基于激光诱导光热反射光谱检测技术的乙醇气体浓度遥测;

[0009] 模糊综合评判。

[0010] 本发明的原理:

[0011] 首先,应用 TDLAS 和 LRPTS 检测原理对乙醇气体浓度进行初步测量,得到两个乙醇气体浓度测量值。

[0012] 在应用 TDLAS 原理进行检测时,采用核心光源为 905nm 的激光进行检测,先对激光进行波长调制,调制信号为锯齿波和正弦波的叠加信号,锯齿波的频率为 1-100Hz,正弦波频率为 1KHz-1MHz,锯齿波通过改变激光器注入电流的方式使激光的输出波长调谐在

902nm-909nm 的范围内扫过 905nm 中心波长。激光经过准直后投射到乙醇气体上,激光经过乙醇气体吸收后所散射的光线携带了乙醇浓度信息,将该光信号会聚接收后转变为电信号,再经过放大预处理、锁相放大处理、数据采集与处理后得到乙醇气体的浓度数据。

[0013] 在应用 LRPTS 原理进行检测时,将一束波长处于被测气体吸收峰处的激光进行光强调制,以获得一束光强度随调制信号发生周期性变化的激光,称此光束为“诱导激光”,或“激励激光”。这里采用波长为 905nm 的激励激光,将这束强度周期变化的激励激光入射到被测气体上,由于此激光光束的波长处于被测气体的吸收峰处,所以将会被气体强烈吸收,由此将光能转化为热能,最终被测气体将通过无辐射弛豫产生一个周期变化的热场分布。此时再由另一束波长不处于被测气体吸收峰处的“探测激光”入射到这一区域,这里采用波长为 1064nm 的探测激光。在探测激光经过这一区域时将会形成同频率周期变化的光热反射信号,此光热反射信号是交变温度场和乙醇气体浓度的加权和。将该光热信号会聚接收后转变为电信号,再经过放大预处理、锁相放大处理、数据采集与处理后得到乙醇气体的浓度数据。

[0014] 之后,以模糊数学为基础,应用模糊关系合成的原理,为了对乙醇气体浓度做出最终的系统评判,将一些共同影响两种不同检测方法的因素定量化,这种对乙醇气体浓度的模糊综合评判包括三个基本要素:因素集、评语集和权重集。

[0015] 因素集可以表示为 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_i, \dots, u_n\}$,其中, u_i 为综合评判中需要考虑的各种单项评估指标,在本模型中其为 $U = \{\text{环境温度}(u_1), \text{环境湿度}(u_2), \text{检测距离}(u_3), \text{环境光强度}(u_4)\}$ 。

[0016] 评语集可以表示为 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_j, \dots, v_m\}$,其中, v_j 为评价匹配算法性能优劣的一种评语,如 $V = \{\text{优}(v_1), \text{良}(v_2), \text{中}(v_3), \text{差}(v_4)\}$ 。

[0017] 权重是以某种数量形式对比、衡量因素集各元素对综合评估贡献大小的量值。依据不同的背景,各种因素对系统的重要程度是不一致的,对于环境温度、环境湿度、检测距离和环境光强度这 4 种因素的权重可以预先在实验中获取,采用权重集 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n\}$ 为各因素分配权重,其中, a_i 为第 i 种单项评估指标的分配权重,一般地,它们满足归一化要求: $\sum_{i=1}^n a_i = 1$ 。

[0018] 对于这种待评估的匹配算法,根据实验数据可以确定一个从因素集 U 到评语集 V 的模糊关系 R ,即单因素评判矩阵 $R = (r_{ij})_{nm}, 0 \leq r_{ij} \leq 1$,其中 r_{ij} 表示从单项评估指标 u_i 着眼,该算法能被评价为 v_j 的隶属度。即最后的评判结果为 $B = (b_1, b_2, \dots, b_j, \dots, b_m)$,其中, b_j 反映了该算法对第 j 种评语的隶属度。实际上,权重集 A 是 U 上的一个模糊子集(表示为 \tilde{A}),最终评价结果 B 是 V 上的一个模糊子集(表示为 \tilde{B}),模糊综合评判可表示为 $\tilde{A} \circ \tilde{R} = \tilde{B}$ 。其中,“ \circ ”是模糊合成算子 M ,本算法将采用 $M(\wedge, \vee)$ 算子计算综合评估结果。其中 $M(\wedge, \vee)$ 算子为:

[0019]

$$b_j = V_{i=1}^n (a_i \wedge r_{ij}) = \max_{1 \leq i \leq n} \{\min(a_i, r_{ij})\}, j = 1, 2, \dots, m$$

[0020] 乙醇气体吸收峰的确定在本发明中至关重要,一个合适的特征吸收峰位与其它干扰物质分子的吸收峰不重叠。这个峰位的选取在宏观上来讲有三个波段可供选择,分别是紫外、可见、红外这三个波段。紫外波段的激光对人体伤害太大,不可取。太阳光会对可见光波段的激光产生严重的不可避免的检测影响,因此亦不可取。作为红外波段的光线,小

功率的红外光对人体是没有危害的,并且在我们进行检测的环境中,所存在的红外干扰光线很少,所以相比之下选择红外波段作为检测波段是不二之选。在实验中,对乙醇做红外 850-1000nm 波段吸收光谱扫描发现,乙醇存在 3 个明显的峰位,其分别位于 905nm、935nm 和 960nm 处,如图 6 所示。乙醇在 905nm 处出现甲基的 C-H 伸缩振动 3 倍频吸收带,在 935nm 处的肩峰是亚甲基的 C-H 伸缩振动 3 倍频吸收带,在 960nm 左右出现乙醇中 O-H 的 3 倍频吸收带。对于 935nm 处的肩峰来讲,其代表了被测乙醇中的杂质吸收,不适合用作对乙醇的特征检测;对于 960nm 处的 O-H 吸收带来讲,水的吸收峰也位于此处,其将会对被测乙醇形成严重的干扰,因此也不适合于选择此处对乙醇进行特征检测;最后对于 905nm 处的 C-H 吸收带来讲,其所代表的是甲基的 C-H 伸缩振动 3 倍频吸收带,在此位置处其吸收谱线比较单一,少有其它物质吸收谱线的干扰,因此本发明中乙醇吸收核心光源的波长为 905nm。通过对乙醇吸收谱线的分析,可以看到其在 1064nm 处不存在特征吸收峰,因此本发明将 1064nm 确定为激光诱导光热反射光谱检测技术中乙醇气体的探测光源波长。

[0021] 本发明的有益效果:本发明将 TDLAS 和 LRPTS 两种检测技术融合到一起,通过一种全新的数据处理技术,综合这两种检测方法的各自优势,可以使整个系统的最后输出精度得到进一步的提升。

附图说明

[0022] 图 1 为本发明二元化光谱分技术;

[0023] 图 2 为本发明基于 TDLAS 的乙醇气体浓度遥测流程图;

[0024] 图 3 为本发明基于 LRPTS 的乙醇气体浓度遥测流程图;

[0025] 图 4 为本发明建立对乙醇气体浓度模糊综合评判模型的过程示意图;

[0026] 图 5 为乙醇的红外吸收光谱。

具体实施方式

[0027] 结合图 1 至图 5 说明本实施方式,一种基于二元化光谱分技术的乙醇气体浓度遥测方法,该方法包括以下步骤:

[0028] S1、基于可调谐半导体二极管激光吸收光谱技术的乙醇气体浓度遥测;

[0029] S2、基于激光诱导光热反射光谱检测技术的乙醇气体浓度遥测;

[0030] S3、模糊综合评判。

[0031] 首先,如图 1 所示,分别以 TDLAS 和 LRPTS 两种检测方法所获得的乙醇浓度数据,如步骤 S1 和 S2。

[0032] 其中,步骤 S1 包括以下步骤,如图 2 所示:

[0033] 步骤 S11,对核心光源处在乙醇气体吸收峰的激励激光进行波长调制,调制信号为锯齿波和正弦波的叠加信号,锯齿波的频率为 10Hz,正弦波频率为 5KHz,锯齿波通过改变激光器注入电流的方式使激光的输出波长调谐在 902nm-909nm 的范围内扫过 905nm 中心波长;

[0034] 步骤 S12,激光经准直器对外发射,射入被测乙醇气体,激光经过乙醇气体吸收后所散射的光线携带了乙醇浓度信息;

[0035] 步骤 S13,对返回的携带乙醇气体浓度信息的光信号进行会聚接收,并将其转换为电

信号；

[0036] 步骤 S14,对上述电信号进行放大处理；

[0037] 步骤 S15,对上述放大处理后的电信号进行锁相放大处理；

[0038] 步骤 S16,最后对数据进行采集与分析得到乙醇气体浓度数据。

[0039] 对于步骤 S2 包括以下步骤,如图 3 所示：

[0040] 步骤 S21,对核心光源处在乙醇气体吸收峰的激励激光进行强度调制,使激励激光的强度随正弦调制信号发生周期性变化,该激励激光的波长为 905nm；

[0041] 步骤 S22,激励激光经准直后对外发射,射入被测乙醇气体,由于乙醇气体分子吸收激励激光后通过无辐射弛豫将产生周期变化的热场分布,同时发射核心光源不处在乙醇气体吸收峰的探测激光到被测乙醇气体,探测激光的核心光源波长优选 1064nm,探测激光通过热场区域后将会形成同频率周期变化的光热反射信号,此光热反射信号是交变温度场和乙醇气体浓度的加权和；

[0042] 步骤 S23,对返回的携带乙醇气体浓度信息的光信号进行会聚接收,并将其转换为电信号；

[0043] 步骤 S24,对上述电信号进行放大处理；

[0044] 步骤 S25,对上述放大处理后的电信号进行锁相放大处理；

[0045] 步骤 S26,最后对数据进行采集与分析得到乙醇气体浓度数据。

[0046] 然后,通过此二元化的数据来源方式,融合共同影响这两种检测方法的因素作为“系统影响因子”,以模糊综合评判的处理思想,对两种二元化的独立检测结果进行综合加权处理,进而提出一种模糊综合评判的数据处理算法,用于对被测乙醇气体浓度做出最终的系统评判,如图 1 步骤 S3。

[0047] 步骤 S3 中,如图 4 所示,通过以下步骤建立对乙醇气体浓度模糊综合评判的模型：

[0048] 步骤 S31,确定因素集 U。

[0049] 根据评估目的,从重点关心的问题出发,结合单项评估指标确定因素集。各因素集元素之间需尽量相对独立,且容易比较出相互之间的权重。因此选取了对 TDLAS 和 LRPTS 两种检测方法都具有影响力的 4 个影响因素组成因素集 U,它们是环境温度、环境湿度、检测距离和环境光强度。

[0050] 步骤 S32,确定评语集 V。

[0051] 根据所要评估内容,确定评语集中的元素,要使各元素层次分明,意义清晰。一般情况下,评语集中的元素个数取 [3, 7] 中的整数,这样便于给出被评事物的评语归属,如果评语集中的元素个数过大,那么语言难以描述且不易判断评语归属,本模型中采用常用的 {优,良,中,差} 作为评语集中的元素。

[0052] 步骤 S33,因素集元素权重分配。

[0053] 由于各评价因素对评估对象的重要程度不同,因此需要确定各因素的权重集 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n\}$,其中 $0 \leq a_i \leq 1$,且 $\sum_{i=1}^n a_i = 1$ 。权重集的选择与具体评估背景有关,需要从实际检测所生成的数据库中抽取。

[0054] 步骤 S34,得出单因素评判矩阵。

[0055] 逐个对每个因素集元素进行量化,确定单因素对各评语的隶属度。

[0056] 假设使用一种匹配算法进行了 K 组目标匹配, 每组获得因素集上所有单项评估指标的一个值。设匹配概率均值大于等于 μ_1 的有 k_{11} 组, 落在 $[\mu_2, \mu_1)$ 、 $[\mu_3, \mu_2)$ 区间上的分别有 k_{12} 、 k_{13} 组, 小于的有 k_{14} 组, 则对该种匹配方法在匹配概率均值这一单项评估指标上的单因素评判结果为:

$$[0057] \quad \left[\frac{k_{11}}{k}, \frac{k_{12}}{k}, \frac{k_{13}}{k}, \frac{k_{14}}{k} \right] = \frac{1}{k} [k_{11}, k_{12}, k_{13}, k_{14}]$$

[0058] 类似地, 对于多种单项评估指标可以得出单因素评判矩阵:

$$[0059] \quad \tilde{R} = (r_{ij})_{nm}, 0 \leq r_{ij} \leq 1$$

$$[0060] \quad \text{其中: } r_{ij} = \frac{k_{ij}}{k}, (i=1, \dots, n, j=1, \dots, m)$$

[0061] n 为因素集元素个数, m 为评语集元素个数。

[0062] 步骤 S35, 得出模糊综合评判结果

[0063] 将表示各因素权重向量的 A 与各评价指标的隶属度矩阵 \tilde{R} 用合适的算子进行合成, 得到各被评价事物的模糊综合结果向量。 \tilde{R} 中的不同值表示不同指标对各级模糊子集的隶属度, 其与代表权向量的 A 进行合成, 可得到该被评价对象从总体上看对各等级模糊子集的隶属度, 即模糊综合评判的结果:

$$[0064] \quad \tilde{B} = \tilde{A} \circ \tilde{R} = (a_{ij})_{1n} \circ [r_{ij}]_{nm}$$

[0065] 其中评判结果 B 为一个向量, 向量中的元素表明对每一种评语的隶属程度。

[0066] 步骤 S36, 评判结果向量以进一步分析输出

[0067] 通过模糊综合评判, 得到的评判结果以向量的形式表达被评判对象对各评语的隶属度, 相比两种独立不相关的乙醇浓度检测算法, 采取这种综合评估匹配算法会得到更加丰富的结果信息。为了使评判结果更加简化且便于输出, 需要对评判结果向量做进一步处理。首先, 可以通过对评判结果向量的归一化来进行分析, 得到的等价结果表示各评语等级在综合评判结果中占的百分比。在此基础上, 将由 TDLAS 和 LRPTS 两种检测方法所得到的数据结果评语等级数量化, 最后采用加权平均法, 得到一个最终的被测乙醇气体浓度的系统评判值。

[0068] 显然, 本发明的上述实施例仅是为清楚地说明本发明所作的举例, 而并非是对本发明的实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说, 在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式的变化或变动。这里无法对所有的实施方式予以穷举。凡是属于本发明的技术方案所引伸出的显而易见的变化或变动仍处于本发明的保护范围之列。

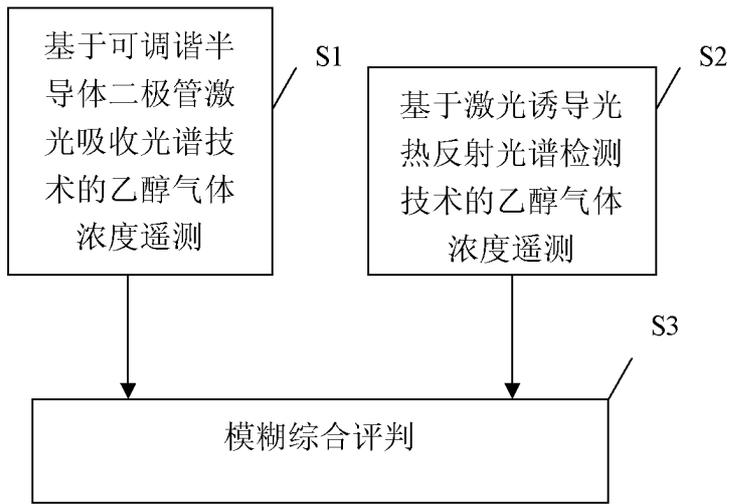


图 1

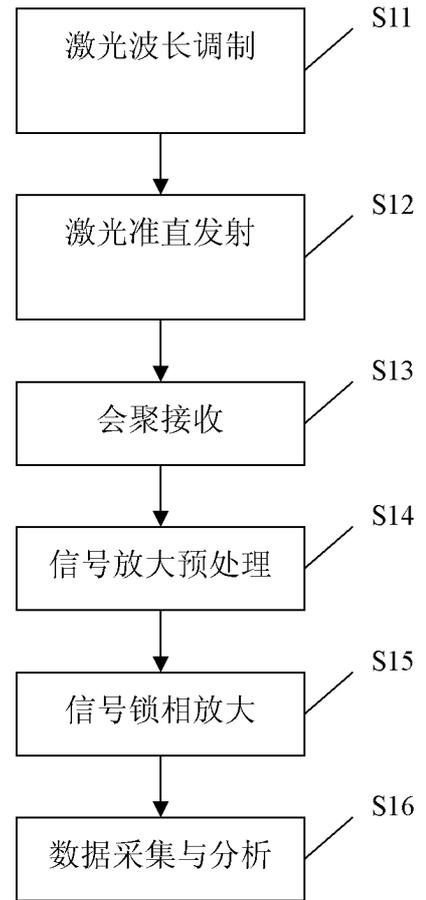


图 2

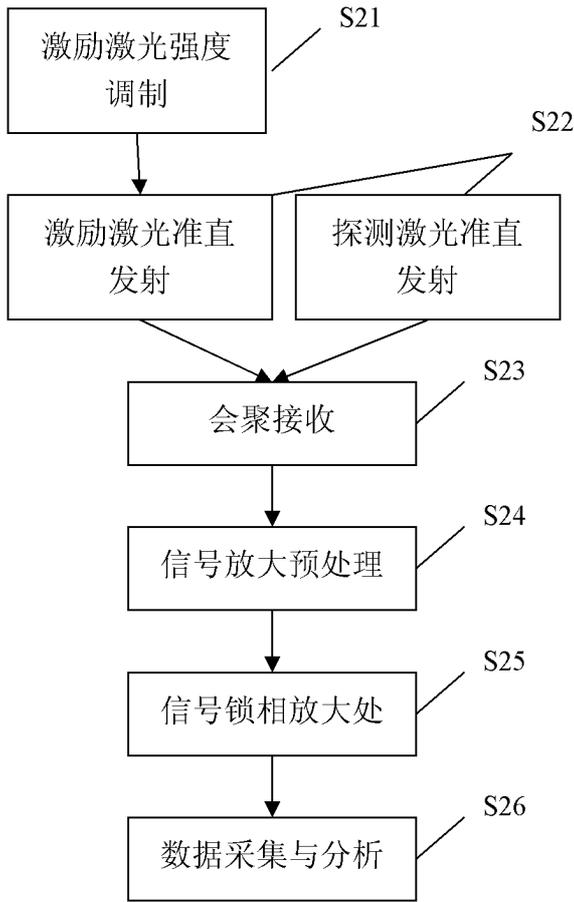


图 3

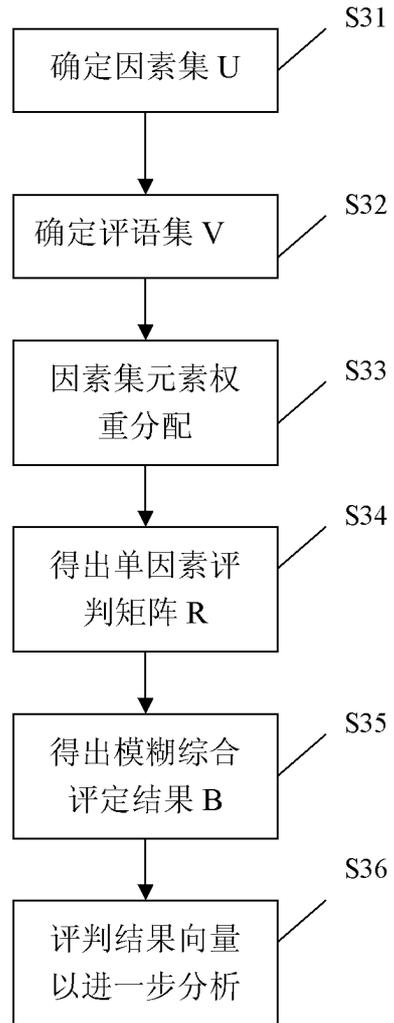


图 4

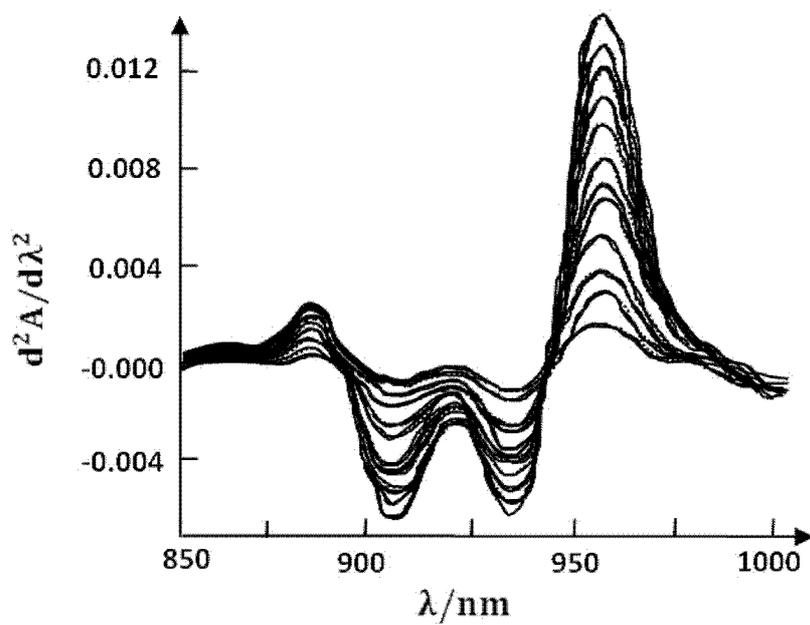


图 5