



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109490342 A

(43)申请公布日 2019.03.19

(21)申请号 201811344415.5

(22)申请日 2018.11.13

(71)申请人 中国科学院沈阳自动化研究所
地址 110016 辽宁省沈阳市沈河区南塔街
114号

(72)发明人 杜劲松 赵越南 高洁 王伟
张清石

(74)专利代理机构 沈阳科苑专利商标代理有限
公司 21002

代理人 李巨智

(51)Int.Cl.

G01N 23/20(2018.01)

G01S 7/292(2006.01)

G01S 7/35(2006.01)

G01S 7/41(2006.01)

权利要求书3页 说明书6页 附图2页

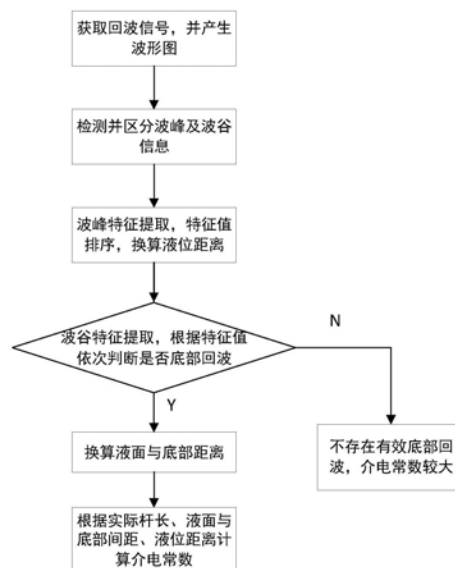
(54)发明名称

一种基于导波雷达液位计评估液体介电常数的方法

(57)摘要

本发明涉及一种基于导波雷达液位计评估液体相对介电常数的方法,根据过采样设置频率对导波雷达液位计回波信号进行采样,得到原始回波信号;寻找若干个有效的波峰段信息和有效的波谷段信息;对若干个有效的波峰段回波信号进行特征提取,得到最大波峰特征值,换算导波杆顶端到液面的距离;对若干个有效的波谷段回波信号进行特征提取,得到最大波谷特征值,进行排序,判断是否存在有效的底部回波,选取波谷的最小值坐标位置作为导波杆底部信息,计算导波杆在液体中的传输距离,并计算液体的相对介电常数。本发明利用底部回波信号和实际导波杆长度的关系,估算当前被测液体介电常数值,可修正介电常数参数,进而保证高精度物位测量结果。

CN 109490342 A



1. 一种基于导波雷达液位计评估液体相对介电常数的方法,应用环境为雷达液位计的电磁脉冲沿导波杆传播,当遇到被测介质表面时,部分脉冲能量被反射形成回波并沿相同路径返回到脉冲发射装置,其中:

根据过采样设置频率对导波雷达液位计回波信号进行采样,得到原始回波信号;

对原始回波信号进行预处理,根据预处理后的回波信号,寻找若干个有效的波峰段信息和有效的波谷段信息;

对若干个有效的波峰段回波信号进行特征提取,得到最大波峰特征值,并换算导波杆顶端到液面的距离 D_R ;

对若干个有效的波谷段回波信号进行特征提取,得到最大波谷特征值,对最大波谷特征值进行排序,并按照由大到小的顺序判断是否存在有效的底部回波,如果存在有效的底部回波,则选取波谷的最小值坐标位置 T_B 作为导波杆底部信息,计算导波杆在液体中的传输距离 D_B-D_R ,并计算液体的相对介电常数 ϵ_M ;如果不存在有效的底部回波,则认为此时介电常数无法计算。

2. 根据权利要求1所述的基于导波雷达液位计评估液体介电常数的方法,其特征在于:所述预处理过程为对原始回波信号进行平滑滤波,消除毛刺。

3. 根据权利要求1所述的基于导波雷达液位计评估液体介电常数的方法,其特征在于:所述有效的波峰段包含连续的数据集:

$\{d(n), \dots, d(n+m), \dots, d(n+m+p)\}$;

满足条件:

$$\left\{ \begin{array}{l} d(n) \leq d(n+1) \leq \dots \leq d(n+m) \\ d(n+m) \geq d(n+m+1) \geq \dots \geq d(n+m+p) \\ d(n+m) > X_{abs} \\ d(n+m) - d(n) > X_{rel} \\ d(n+m) - d(n+m+p) > X_{rel} \\ m > M \\ p > P \end{array} \right.$$

其中, n, m, p 分别代表数据段中第 n, m, p 个坐标位置点, $d(n+m)$ 代表波峰段中的峰值, X_{abs} 和 X_{rel} 分别代表波峰段坐标位置点对应回波电压幅度的绝对阈值和相对阈值, M 和 P 分别代表波峰段持续上升点个数阈值和持续下降点个数阈值;

所述有效的波谷段包含连续的数据集合:

$\{d'(n), \dots, d'(n+m), \dots, d'(n+m+p)\}$;

满足条件:

$$\left\{ \begin{array}{l} d'(n) \geq d'(n+1) \geq \dots \geq d'(n+m) \\ d'(n+m) \leq d'(n+m+1) \leq \dots \leq d'(n+m+p) \\ d'(n+m) < X'_{abs} \\ d'(n) - d'(n+m) > X'_{rel} \\ d'(n+m+p) - d'(n+m) > X'_{rel} \\ m > M' \\ p > P' \end{array} \right.$$

其中, $d'(n+m)$ 代表波谷段中的谷值, X'_{abs} 和 X'_{rel} 分别代表波谷段坐标位置点对应回波电压幅度的绝对阈值和相对阈值, M' 和 P' 分别代表波谷段持续下降点个数阈值和持续上层点个数阈值。

4. 根据权利要求1所述的基于导波雷达液位计评估液体介电常数的方法, 其特征在于: 所述最大波峰特征值为:

$$C_{p-max} = \max \{C_{p-1}, \dots, C_{p-i}, \dots, C_{p-I}\}$$

其中, $\{C_{p-1}, \dots, C_{p-i}, \dots, C_{p-I}\}$ 表示 I 个波峰特征值集合, C_{p-i} 表示第 i 个波峰特征值:

$$C_{p-i} = Q_1 \times d_i(n+m) + Q_2 \times [d_i(n+m) - d_i(n)] + Q_3 \times \left[\frac{d_i(n+m) - d_i(n)}{m} \right]$$

其中, $d_i(n)$ 代表第 i 个有效波峰段中的起始值, $d_i(n+m)$ 代表第 i 个有效波峰段中的峰值, Q_1, Q_2, Q_3 为计算波峰特征值的权值。

5. 根据权利要求1所述的基于导波雷达液位计评估液体介电常数的方法, 其特征在于: 最大波谷特征值为:

$$C_{v-max} = \max \{C_{v-1}, \dots, C_{v-j}, \dots, C_{v-J}\}$$

其中, $\{C_{v-1}, \dots, C_{v-j}, \dots, C_{v-J}\}$ 表示 J 个波谷特征值集合, C_{v-j} 表示第 j 个波谷特征值:

$$C_{v-j} = Q'_1 \times d'_j(n+m) + Q'_2 \times [d'_j(n) - d'_j(n+m)] + Q'_3 \times \left[\frac{d'_j(n) - d'_j(n+m)}{m} \right]$$

其中, $d'_j(n)$ 代表第 j 个有效波谷中的起始值, $d'_j(n+m)$ 代表第 j 个有效波谷段中的谷值, Q'_1, Q'_2, Q'_3 为计算波谷特征值的权值。

6. 根据权利要求1所述的基于导波雷达液位计评估液体介电常数的方法, 其特征在于: 所述导波杆顶端到液面的距离 D_R 为:

$$D_R = c_A \cdot T_R / 2$$

其中, c_A 代表电磁波在上层覆盖空气中的传输速度, T_R 代表检测到的波峰回波坐标位置, 即液面反射传输时间。

7. 根据权利要求1所述的基于导波雷达液位计评估液体介电常数的方法, 其特征在于: 所述有效的底部回波为满足绝对最小值 $< TH_{min}$ 且坐标位置 $T_B > T_{B-max}$ 的回波, 其中, TH_{min} 为设

定幅值阈值, $T_{B-\max}$ 为设定坐标轴阈值。

8. 根据权利要求1所述的基于导波雷达液位计评估液体介电常数的方法, 其特征在于: 所述导波杆在液体中的传输距离 $D_B - D_R$ 为:

$$D_B - D_R = c_M \cdot (T_B - T_R)$$

其中, D_B 代表导波杆长度, D_R 代表导波杆顶端到液面的距离, c_M 代表电磁波在液体中的传输速度, T_R 代表检测到的波峰回波坐标位置, T_B 为波谷的最小值坐标位置。

9. 根据权利要求1所述的基于导波雷达液位计评估液体介电常数的方法, 其特征在于: 所述液体的相对介电常数 ϵ_M 为:

$$\epsilon_M = \left(\frac{c_0 \cdot (T_B - T_R)}{2 \cdot D_B - (c_A \cdot T_R)} \right)^2$$

其中, c_0 代表电磁波在真空中的传输速度, D_B 代表导波杆长度, T_R 代表检测到的波峰回波坐标位置, T_B 为波谷的最小值坐标位置。

10. 根据权利要求1所述的基于导波雷达液位计评估液体介电常数的方法, 其特征在于: 所述液体的相对介电常数范围为 2.5~10。

一种基于导波雷达液位计评估液体介电常数的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及工业物位测量领域,具体地说是一种基于导波雷达液位计评估液体介电常数的方法。

背景技术

[0002] 导波雷达液位计是通过导波杆将电磁波发射传播,当遇到被测液体时,部分电磁波能量被反射回来,在信号上体现出反射回波从而测量液体填充高度的一种智能检测仪表。

[0003] 反射回波信号的强度与介电常数有很大关系,当介电常数较大时(如水的介电常数大约为81),电磁波信号大部分被反射回去,形成幅度较强的液位回波信号;当介电常数较小时(如石油的介电常数大约为4~10),电磁波信号部分能量反射,形成幅度较弱的液位回波信号,液位回波的信号与发射信号反相;还有一部分能量延导波杆继续向下传播,到达导波杆底端时形成底部回波,底部回波的信号与发射信号同相。

[0004] 导波雷达液位计应用于各种工业现场环境,被测材料介电常数差异较大,并且同一化学产品在不同时间、环境条件下的介电常数也不完全一致,现有导波雷达液位计产品不具备测量评估介电常数的功能;如果被测液体介电常数输入不正确,将直接影响液位测量值(尤其是不同液体界位测量值)的准确性。

发明内容

[0005] 针对现有技术的不足,本发明提供一种基于导波雷达液位计评估液体介电常数的方法,解决介电常数无法测量和评估的问题。

[0006] 本发明为实现上述目的所采用的技术方案是:

[0007] 一种基于导波雷达液位计评估液体相对介电常数的方法,应用环境为雷达液位计的电磁脉冲沿导波杆传播,当遇到被测介质表面时,部分脉冲能量被反射形成回波并沿相同路径返回到脉冲发射装置,其中:

[0008] 根据过采样设置频率对导波雷达液位计回波信号进行采样,得到原始回波信号;

[0009] 对原始回波信号进行预处理,根据预处理后的回波信号,寻找若干个有效的波峰段信息和有效的波谷段信息;

[0010] 对若干个有效的波峰段回波信号进行特征提取,得到最大波峰特征值,并换算导波杆顶端到液面的距离 D_R ;

[0011] 对若干个有效的波谷段回波信号进行特征提取,得到最大波谷特征值,对最大波谷特征值进行排序,并按照由大到小的顺序判断是否存在有效的底部回波,如果存在有效的底部回波,则选取波谷的最小值坐标位置 T_B 作为导波杆底部信息,计算导波杆在液体中的传输距离 D_B-D_R ,并计算液体的相对介电常数 ϵ_M ;如果不存在有效的底部回波,则认为此时介电常数无法计算。

[0012] 所述预处理过程为对原始回波信号进行平滑滤波,消除毛刺。

[0013] 所述有效的波峰段包含连续的数据集:

[0014] $\{d(n), \dots, d(n+m), \dots, d(n+m+p)\}$;

[0015] 满足条件:

$$[0016] \begin{cases} d(n) \leq d(n+1) \leq \dots \leq d(n+m) \\ d(n+m) \geq d(n+m+1) \geq \dots \geq d(n+m+p) \\ d(n+m) > X_{abs} \\ d(n+m) - d(n) > X_{rel} \\ d(n+m) - d(n+m+p) > X_{rel} \\ m > M \\ p > P \end{cases}$$

[0017] 其中, n, m, p 分别代表数据段中第 n, m, p 个坐标位置点, $d(n+m)$ 代表波峰段中的峰值, X_{abs} 和 X_{rel} 分别代表波峰段坐标位置点对应回波电压幅度的绝对阈值和相对阈值, M 和 P 分别代表波峰段持续上升点个数阈值和持续下降点个数阈值;

[0018] 所述有效的波谷段包含连续的数据集合:

[0019] $\{d'(n), \dots, d'(n+m), \dots, d'(n+m+p)\}$;

[0020] 满足条件:

$$[0021] \begin{cases} d'(n) \geq d'(n+1) \geq \dots \geq d'(n+m) \\ d'(n+m) \leq d'(n+m+1) \leq \dots \leq d'(n+m+p) \\ d'(n+m) < X'_{abs} \\ d'(n) - d'(n+m) > X'_{rel} \\ d'(n+m+p) - d'(n+m) > X'_{rel} \\ m > M' \\ p > P' \end{cases}$$

[0022] 其中, $d'(n+m)$ 代表波谷段中的谷值, X'_{abs} 和 X'_{rel} 分别代表波谷段坐标位置点对应回波电压幅度的绝对阈值和相对阈值, M' 和 P' 分别代表波谷段持续下降点个数阈值和持续上层点个数阈值。

[0023] 所述最大波峰特征值为:

[0024] $C_{p-max} = \max\{C_{p-1}, \dots, C_{p-i}, \dots, C_{p-1}\}$

[0025] 其中, $\{C_{p-1}, \dots, C_{p-i}, \dots, C_{p-1}\}$ 表示 I 个波峰特征值集合, C_{p-i} 表示第 i 个波峰特征值:

[0026]

$$C_{p-i} = Q_1 \times d_i(n+m) + Q_2 \times [d_i(n+m) - d_i(n)] + Q_3 \times \left[\frac{d_i(n+m) - d_i(n)}{m} \right]$$

[0027] 其中, $d_i(n)$ 代表第 i 个有效波峰段中的起始值, $d_i(n+m)$ 代表第 i 个有效波峰段中的峰值, Q_1, Q_2, Q_3 为计算波峰特征值的权值。

[0028] 最大波谷特征值为:

$$[0029] \quad C_{v-\max} = \max \{C_{v-1}, \dots, C_{v-j}, \dots, C_{v-J}\}$$

[0030] 其中, $\{C_{v-1}, \dots, C_{v-j}, \dots, C_{v-J}\}$ 表示 J 个波谷特征值集合, C_{v-j} 表示第 j 个波谷特征值:

[0031]

$$C_{v-j} = Q'_1 \times d'_j(n+m) + Q'_2 \times [d'_j(n) - d'_j(n+m)] + Q'_3 \times \left[\frac{d'_j(n) - d'_j(n+m)}{m} \right]$$

[0032] 其中, $d'_j(n)$ 代表第 j 个有效波谷中的起始值, $d'_j(n+m)$ 代表第 j 个有效波谷段中的谷值, Q'_1, Q'_2, Q'_3 为计算波谷特征值的权值。

[0033] 所述导波杆顶端到液面的距离 D_R 为:

$$[0034] \quad D_R = c_A \cdot T_R / 2$$

[0035] 其中, c_A 代表电磁波在上层覆盖空气中的传输速度, T_R 代表检测到的波峰回波坐标位置, 即液面反射传输时间。

[0036] 所述有效的底部回波为满足绝对最小值 $< TH_{\min}$ 且坐标位置 $T_B > T_{B-\max}$ 的回波, 其中, TH_{\min} 为设定幅值阈值, $T_{B-\max}$ 为设定坐标轴阈值。

[0037] 所述导波杆在液体中的传输距离 $D_B - D_R$ 为:

$$[0038] \quad D_B - D_R = c_M \cdot (T_B - T_R)$$

[0039] 其中, D_B 代表导波杆长度, D_R 代表导波杆顶端到液面的距离, c_M 代表电磁波在液体中的传输速度, T_R 代表检测到的波峰回波坐标位置, T_B 为波谷的最小值坐标位置。

[0040] 所述液体的相对介电常数 ϵ_M 为:

$$[0041] \quad \epsilon_M = \left(\frac{c_0 \cdot (T_B - T_R)}{2 \cdot D_B - (c_A \cdot T_R)} \right)^2$$

[0042] 其中, c_0 代表电磁波在真空中的传输速度, D_B 代表导波杆长度, T_R 代表检测到的波峰回波坐标位置, T_B 为波谷的最小值坐标位置。

[0043] 所述液体的相对介电常数范围为 2.5~10。

[0044] 本发明具有以下有益效果及优点:

[0045] 1. 本发明利用底部回波信号和实际导波杆长度的关系, 估算当前被测液体介电常数数值。

[0046] 2. 被测液体的相对介电常数是一项重要的输入参数, 本发明估算出的介电常数可作为参考, 判断当前输入参数的正确性;

[0047] 3. 本发明利用评估的相对介电常数结果, 可修正介电常数参数, 进而保证高精度

物位测量结果。

附图说明

- [0048] 图1是本发明的方法流程图；
 [0049] 图2是本发明的应用环境示意图；
 [0050] 图3是本发明的回波信号曲线示意图。

具体实施方式

[0051] 下面结合附图及实施例对本发明做进一步的详细说明。

[0052] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂，下面结合附图对本发明的具体实施方式做详细的说明。在下面的描述中阐述了很多具体细节以便于充分理解本发明。但本发明能够以很多不同于在此描述的其他方式来实施，本领域技术人员可以在不违背本发明内涵的情况下做类似改进，因此本发明不受下面公开的具体实施的限制。

[0053] 除非另有定义，本文所使用的所有的技术和科学术语与属于本发明的技术领域的技术人员通常理解的含义相同。本文中在发明的说明书中所使用的术语只是为了描述具体的实施例的目的，不是旨在于限制本发明。

[0054] 如图1所示为本发明的方法流程图。

[0055] 方法包括：

[0056] 步骤1，根据过采样设置频率对导波雷达液位计回波信号进行采样，并存储原始回波数据。

[0057] 步骤2，原始回波信号进行预处理和检测，采用移动平均滤波方式对数据进行滤波，消除毛刺，具体使用方法可采用均值滤波，如：设 $x(n) \sim \{x(1), \dots, x(N)\}$ 为一维数字输入信号序列， $y(n) \sim \{y(1), \dots, y(N)\}$ 为均值滤波的输出信号序列， n 代表信号序列中第 n 个数据，总长度为 N ，采用如下计算方式对数据进行预处理：

$$[0058] \begin{cases} y(n) = \frac{x(n-1) + x(n) + x(n+1)}{3}, & 1 < n < N \\ y(n) = x(n), & n = 1 \text{ 或 } n = N \end{cases}$$

[0059] 根据预处理后的回波信号，在检测范围内顺序寻找并存储回波信号中的波峰和波谷信息。

[0060] 在检测范围内顺序寻找并存储回波信号中的波峰和波谷信息，波峰和波谷最大存储个数均为 N 个。

[0061] 步骤3，波峰回波信号的特征提取、排序，并换算液位距离；波峰特征提取包括绝对最大值，相对最大值，上升斜率，下降斜率；综合以上特征值参数，选取波峰特征值最优的结果作为液位反射回波，本实例中选取波峰最大值坐标位置 T_R 作为液位信息换算距离，时间位置坐标可通过传输速度转换为距离信息，最终得到介质液位信息，根据时间换算距离的关系可知，导波杆到液面的计算距离 D_R 可表示为

$$[0062] D_R = c_A \cdot T_R / 2$$

[0063] 其中， c_A 代表电磁波在上层覆盖空气中的传输速度，电磁波从导波杆顶部到介质

表面的传播速度近似以光速传输,其准确的速度可表示为

$$[0064] \quad c_A = \frac{c_0}{\sqrt{\varepsilon_A \mu_A}}$$

[0065] c_0 代表真空中的光速, ε_A 和 μ_A 代表介质上层覆盖物的相对介电常数和相对磁导率,此处为空气。

[0066] 步骤4,波谷回波信号的特征提取、排序,波谷特征提取包括绝对最小值,相对最小值,上升斜率,下降斜率;综合以上特征值参数,按照波谷特征最优的结果作排序,依次根据条件判断是否存在底部回波,具体判断条件为:最小值绝对值 $\langle TH_{\min}, T_B \text{坐标位置} \rangle > T_{B-\max}$,其中, TH_{\min} 为设定幅值阈值, $T_{B-\max}$ 为设定坐标轴阈值。第一个满足上述条件的波谷回波信号被标记为有效的底部回波信号,本次查找结束。

[0067] 步骤5,若所有波谷回波信号均不满足上述条件,则不存在有效的底部回波,则认为此时介电常数较大,无法计算;

[0068] 步骤6,如果存在有效的底部回波,选取其波谷最小值坐标位置 T_B 作为导波杆底部信息;导波杆在介质中的传输距离 $D_B - D_R$ 可表示为

$$[0069] \quad D_B - D_R = c_M \cdot (T_B - T_R)$$

[0070] 其中,电磁波在介质中的传播速度可表示为

$$[0071] \quad c_M = \frac{c_0}{\sqrt{\varepsilon_M \mu_M}}$$

[0072] c_0 代表真空中的光速, ε_M 和 μ_M 代表填充介质的相对介电常数和相对磁导率。

[0073] 步骤7,根据输入杆长,导波杆在介质中传输距离、导波杆顶端到液面距离计算介电常数,电磁波在介质中的传播速度的变化引起了导波杆测量距离与实际长度的变化,用公式可表示为

$$[0074] \quad 2 \cdot D_B = c_A \cdot T_R + c_M \cdot (T_B - T_R) = c_A \cdot T_R + \frac{c_0}{\sqrt{\varepsilon_M \mu_M}} \cdot (T_B - T_R)$$

[0075] 其中 D_B 代表导波杆实际长度, T_B 代表导波杆底部回波时间延时。由于被测介质和上层覆盖介质空气的相对磁导率 μ_M 和 μ_A 近似为1,相对介电常数可通过公式表示为

$$[0076] \quad \varepsilon_M = \left(\frac{c_0 \cdot (T_B - T_R)}{2 \cdot D_B - (c_A \cdot T_R)} \right)^2$$

[0077] 若忽略电磁波在空气中与真空中传输的速度误差,上式可简化为

$$[0078] \quad \varepsilon_M = \left(\frac{T_B - T_R}{2 \cdot D_B / c_0 - T_R} \right)^2$$

[0079] 实施例:

[0080] 杆长为 $D_B = 1180 \text{mm}$,导波杆顶端到液面测得的坐标位置 $T_R = 1.673 \text{ns}$,换算为距离可得 $D_R = 251 \text{mm}$,导波杆顶端到分离层液面的坐标位置 $T_B = 13.466 \text{ns}$,根据本发明计算介质相对介电常数可得 $\varepsilon_M = 3.625$ 。

[0081] 如图2所示为本发明的应用环境示意图。

[0082] 应用环境为电磁波通过导波杆穿过空气到达液体,容器中填充相对介电常数为 ϵ_M ,相对磁导率为 μ_M 的液体介质, ϵ_A 和 μ_A 分别表示上层覆盖空气的相对介电常数和相对磁导率, D_R 表示从导波杆顶端到液体表面的距离, D_B 表示导波杆的长度信息。

[0083] 如图3所示为本发明的回波信号曲线示意图。

[0084] 横坐标代表回波信号传输时间,纵坐标代表回波电压幅度变化。曲线中的坐标0点位置代表导波杆上的发射脉冲,用于计算起始位置;曲线中的坐标 T_R 位置代表电磁波延导波杆在介质表面产生的反射回波,即物位回波,曲线中的坐标 T_B 位置代表电磁波延导波杆在介质表面反射后一部分能量延导波杆继续向下传播,到达导波杆底端时形成的底部回波。根据条件判断是否存在底部回波,具体判断条件为:最小值绝对值 $<TH_{min}$,坐标位置 $T_B > T_{B-max}$, TH_{min} 为设定幅值阈值, T_{B-max} 为设定坐标轴阈值。

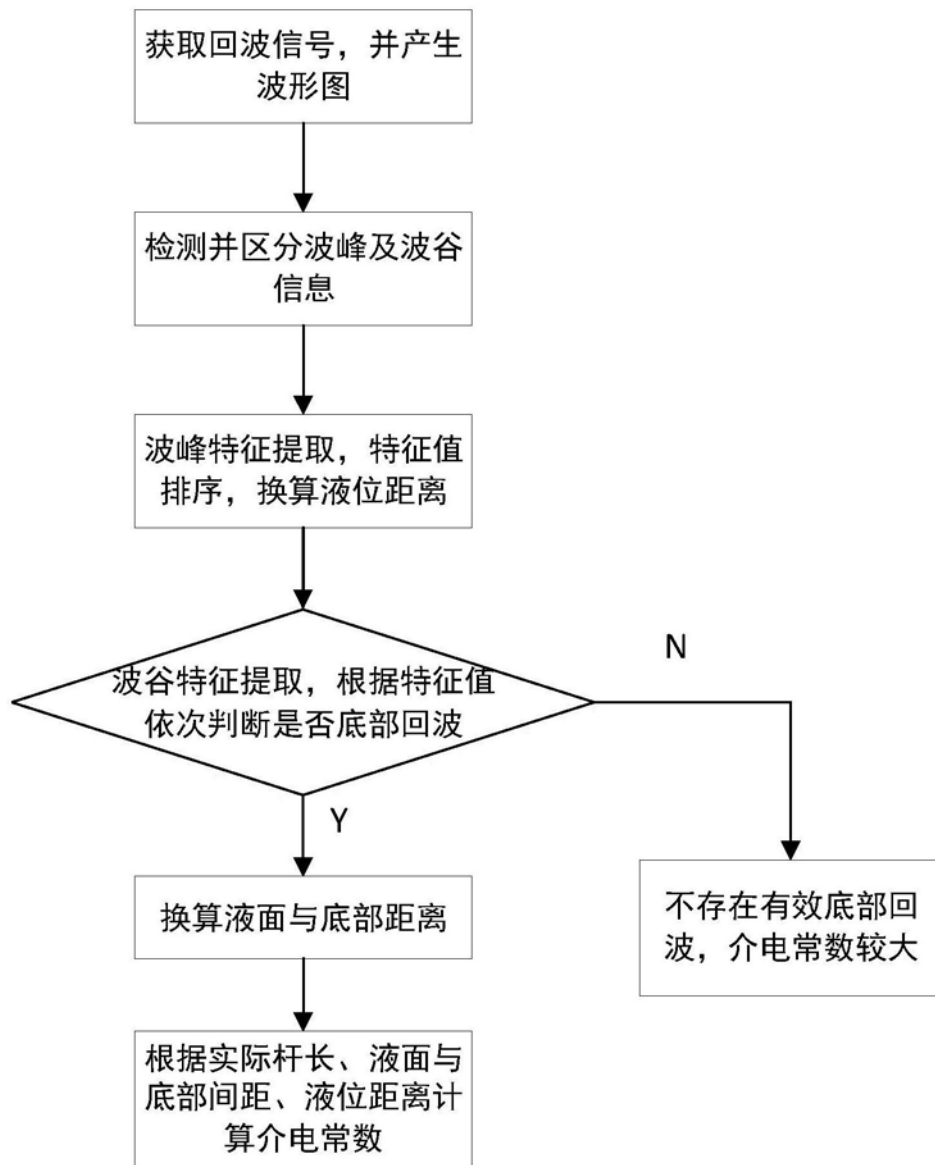


图1

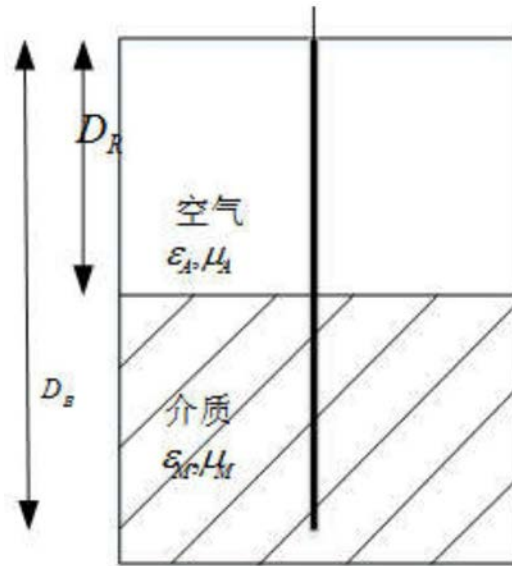


图2

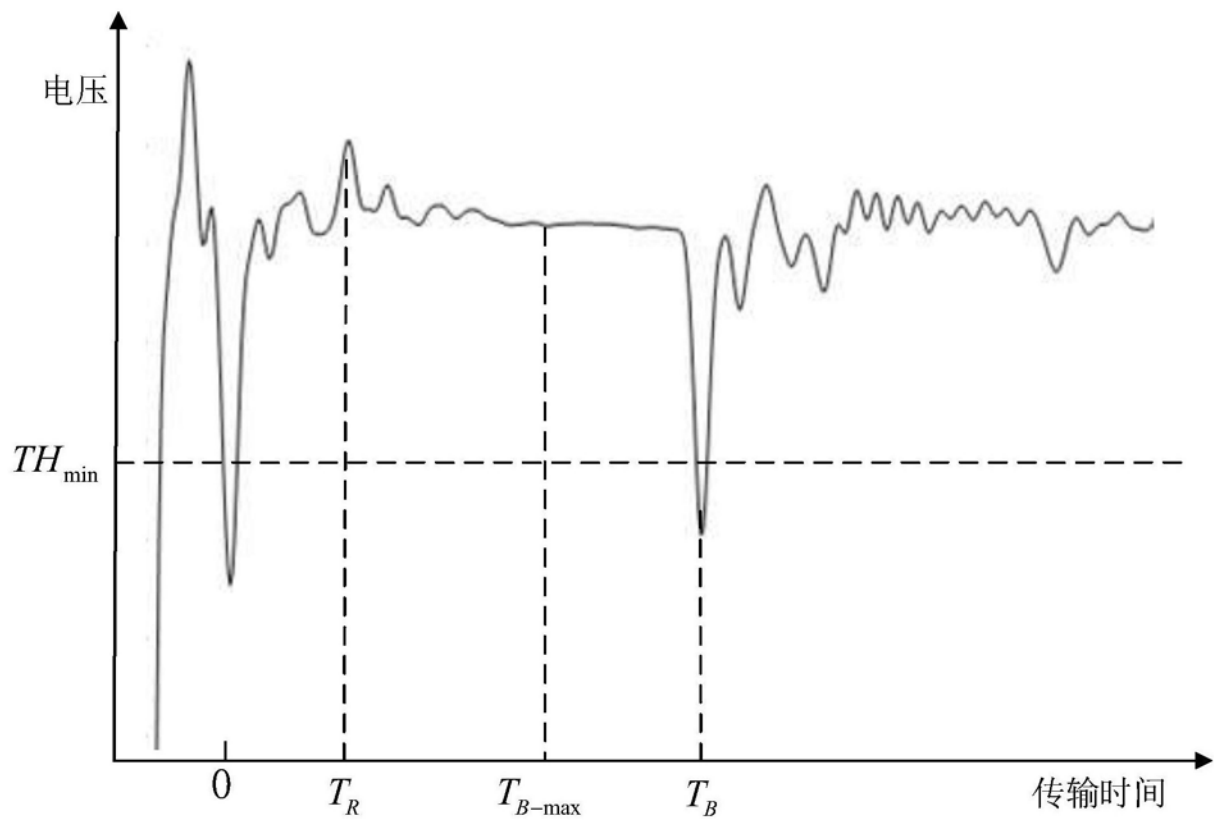


图3