



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116575899 A

(43) 申请公布日 2023. 08. 11

(21) 申请号 202310540642.X

(22) 申请日 2023.05.15

(71) 申请人 江西理工大学

地址 341000 江西省赣州市客家大道156号
江西理工大学

(72) 发明人 卢博凯 何文 王慢慢 祝思雨
石文芳 史景涛 黄崇杰 朱志成
李刚

(74) 专利代理机构 南昌大牛知识产权代理事务
所(普通合伙) 36135

专利代理师 李梦雅

(51) Int. Cl.

E21B 43/29 (2006.01)

G06F 30/20 (2020.01)

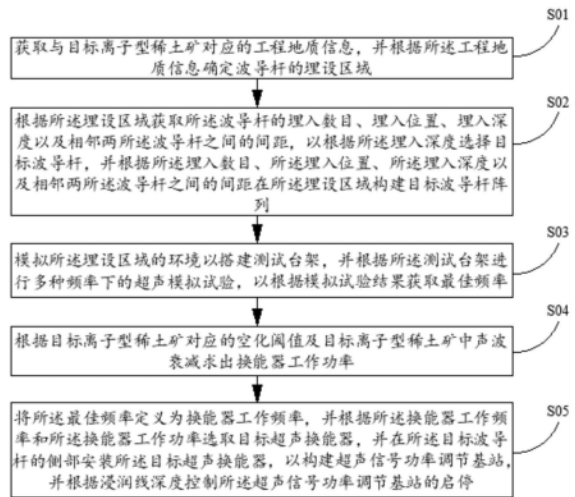
权利要求书3页 说明书9页 附图4页

(54) 发明名称

用于离子型稀土原地浸矿的超声导波增渗方法及系统

(57) 摘要

本发明提出一种用于离子型稀土原地浸矿的超声导波增渗方法及系统,该方法通过在波导露出地表部分安装超声换能器向稀土矿浸矿区域释放超声,产生的超声以导波的形式沿波导向四周传播,在稀土矿矿含水层内产生超声的空化效应,利用空化产生的机械能对稀土矿做功,使其渗透系数增大。依据离子型稀土矿所处环境制备渗透试验试样,进行试验模拟筛选出合适的换能器工作频率;通过稀土矿已有的入渗强度监测手段,建立其与功率调节基站的联系,根据渗流的强弱调节换能器的停启。本发明能够使得离子型稀土矿渗透性增强,浸矿效率增强。



1. 一种用于离子型稀土原地浸矿的超声导波增渗方法,其特征在于,所述方法包括:

获取与目标离子型稀土矿对应的工程地质信息,并根据所述工程地质信息确定波导杆的埋设区域;

根据所述埋设区域获取所述波导杆的埋入数目、埋入位置、埋入深度以及相邻两所述波导杆之间的间距,以根据所述埋入深度选择目标波导杆,并根据所述埋入数目、所述埋入位置、所述埋入深度以及相邻两所述波导杆之间的间距在所述埋设区域构建目标波导杆阵列;

模拟所述埋设区域的环境以搭建测试台架,并根据所述测试台架进行多种频率下的超声模拟试验,以根据模拟试验结果获取最佳频率;

根据目标离子型稀土矿对应的空化阈值及目标离子型稀土矿中声波衰减求出换能器工作功率;

将所述最佳频率定义为换能器工作频率,并根据所述换能器工作频率和所述换能器工作功率选取目标超声换能器,并在所述目标波导杆的端部安装所述目标超声换能器,以构建超声信号功率调节基站,并根据浸润线深度控制所述超声信号功率调节基站的启停。

2. 根据权利要求1所述的用于离子型稀土原地浸矿的超声导波增渗方法,其特征在于,所述根据所述埋设区域获取所述波导杆的埋入数目、埋入位置、埋入深度以及相邻两所述波导杆之间的间距,以根据所述埋入深度选择目标波导杆,并根据所述埋入数目、所述埋入位置、所述埋入深度以及相邻两所述波导杆之间的间距在所述埋设区域构建目标波导杆阵列的步骤包括:

根据以下公式计算得到目标波导杆的总长度:

$L_{杆} = L_{孔} + L_{露}$ 其中, $L_{杆}$ 表示目标波导杆的总长度, $L_{孔}$ 表示目标波导杆的埋入深度, $L_{露}$ 表示目标波导杆露出地面的长度。

3. 根据权利要求2所述的用于离子型稀土原地浸矿的超声导波增渗方法,其特征在于,所述模拟所述埋设区域的环境以搭建测试台架,并根据所述测试台架进行多种频率下的超声模拟试验,以根据模拟试验结果获取最佳频率的步骤包括:

采集增渗区域离子型稀土矿装入自制变水头渗透仪,渗透仪中央插入波导杆,将矿样击实,控制矿样密度以模拟目标离子型稀土矿的现场环境;

利用不同频率的超声进行试验模拟,并将试验中选用的增渗效果最强的超声频率作为最佳频率。

4. 根据权利要求3所述的用于离子型稀土原地浸矿的超声导波增渗方法,其特征在于,所述根据目标离子型稀土矿对应的空化阈值及目标离子型稀土矿中声波衰减求出换能器工作功率的步骤包括:

根据以下公式计算得到空化阈值:

$$P_B = P_0 + P_c = P_0 - P_v + \frac{2\sqrt{3}}{9} \left[\left(\frac{2\sigma}{R_0} \right)^3 / \left(P_0 + \frac{2\sigma}{R_0} - P_v \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

其中, P_B 表示空化阈值, P_0 表示环境大气压, P_c 表示稀土浸矿液的抗拉强度, P_v 表示饱和

蒸汽压、 R_0 表示气泡半径、 σ 表示稀土浸矿液的表面张力系数；

根据以下公式计算得到边界空化功率：

$$W = I_M \times S = \frac{P_B^2}{2\rho c} \times S$$

其中， W 表示边界空化功率， I_M 表示空化声强， ρ 表示水的密度， c 表示声在水中的速度， S 表示空化区域面积；

根据以下公式计算得到换能器工作功率：

$$W_0 = I_0 \times S = \frac{W}{e^{-mx}}$$

其中， W_0 表示换能器工作功率， I_0 表示波导杆声强， m 表示衰减系数， x 表示埋设区域与波导杆的距离。

5. 根据权利要求4所述的用于离子型稀土原地浸矿的超声导波增渗方法，其特征在于，所述根据浸润线深度控制所述超声信号功率调节基站的启停的步骤还包括：

监测所述目标离子型稀土矿中的浸润线深度是否处于预设浸润线埋深范围；

若所述浸润线深度大于预设浸润线埋深范围中的上限值时，则控制所述超声信号功率调节基站关闭；

若所述浸润线深度小于预设浸润线埋深范围中的上限值时，则控制所述超声信号功率调节基站开启。

6. 一种用于离子型稀土原地浸矿的超声导波增渗系统，其特征在于，所述系统包括：

埋设区域确定模块，用于获取与目标离子型稀土矿对应的工程地质信息，并根据所述工程地质信息确定波导杆的埋设区域；

波导杆阵列构建模块，用于根据所述埋设区域获取所述波导杆的埋入数目、埋入位置、埋入深度以及相邻两所述波导杆之间的间距，以根据所述埋入深度选择目标波导杆，并根据所述埋入数目、所述埋入位置、所述埋入深度以及相邻两所述波导杆之间的间距在所述埋设区域构建目标波导杆阵列；

超声模拟测试模块，用于模拟所述埋设区域的环境以搭建测试台架，并根据所述测试台架进行多种频率下的超声模拟试验，以根据模拟试验结果获取最佳频率；

工作功率获取模块，用于根据目标离子型稀土矿对应的空化阈值及目标离子型稀土矿中声波衰减求出换能器工作功率；

增渗调节模块，用于将所述最佳频率定义为换能器工作频率，并根据所述换能器工作频率和所述换能器工作功率选取目标超声换能器，并在所述目标波导杆的端部安装所述目标超声换能器，以构建超声信号功率调节基站。

7. 根据权利要求6所述的用于离子型稀土原地浸矿的超声导波增渗系统，其特征在于，所述波导杆阵列构建模块包括：

波导杆长度计算单元，用于根据以下公式计算得到目标波导杆的总长度：

$$L_{杆} = L_{孔} + L_{露}$$

其中， $L_{杆}$ 表示目标波导杆的总长度， $L_{孔}$ 表示目标波导杆的埋入深度， $L_{露}$ 表示目标波导杆

露出地面的长度。

8. 根据权利要求7所述的用于离子型稀土原地浸矿的超声导波增渗系统,其特征在于,所述超声模拟测试模块还包括:

测试台架构建单元,用于采集增渗区域离子型稀土矿装入自制变水头渗透仪,渗透仪中央插入波导杆,将矿样击实,控制矿样密度以模拟目标离子型稀土矿的现场环境;

最佳频率选取单元,用于利用不同频率的超声进行试验模拟,并将试验中选用的增渗效果最强的超声频率作为最佳频率。

9. 根据权利要求8所述的用于离子型稀土原地浸矿的超声导波增渗系统,其特征在于,工作功率获取模块还包括:

空化阈值计算单元,用于根据以下公式计算得到空化阈值:

$$P_B = P_0 + P_c = P_0 - P_V + \frac{2\sqrt{3}}{9} \left[\left(\frac{2\sigma}{R_0} \right)^3 / \left(P_0 + \frac{2\sigma}{R_0} - P_V \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

其中, P_B 表示空化阈值, P_0 表示环境大气压, P_c 表示稀土浸矿液的抗拉强度, P_V 表示饱和蒸汽压, R_0 表示气泡半径, σ 表示稀土浸矿液的表面张力系数;

边界空化功率计算单元,用于根据以下公式计算得到边界空化功率:

$$W = I_M \times S = \frac{P_B^2}{2\rho c} \times S$$

其中, W 表示边界空化功率, I_M 表示空化声强, ρ 表示水的密度, c 表示声在水中的速度, S 表示空化区域面积;

换能器工作功率计算单元,用于根据以下公式计算得到换能器工作功率:

$$W_0 = I_0 \times S = \frac{W}{e^{-mx}}$$

其中, W_0 表示换能器工作功率, I_0 表示波导杆声强, m 表示衰减系数, x 表示埋设区域与波导杆的距离。

10. 根据权利要求9所述的用于离子型稀土原地浸矿的超声导波增渗系统,其特征在于,所述增渗调节模块还包括:

浸润线深度监测单元,用于监测所述目标离子型稀土矿中的浸润线深度是否处于预设浸润线埋深范围;

基站关闭执行单元,用于若所述浸润线深度大于预设浸润线埋深范围中的上限值时,则控制所述超声信号功率调节基站关闭;

基站开启执行单元,用于若所述浸润线深度小于预设浸润线埋深范围中的上限值时,则控制所述超声信号功率调节基站开启。

用于离子型稀土原地浸矿的超声导波增渗方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及离子型稀土矿增渗技术领域,特别涉及一种用于离子型稀土原地浸矿的超声导波增渗方法及系统。

背景技术

[0002] 离子吸附型稀土矿(以下简称离子型稀土矿),又称风化壳淋积型稀土矿,离子型稀土矿是中国重要的战略矿产资源,主要分布于江西、广东、福建等南方省份,以江西赣州最为典型,储量最为丰富,稀土元素配分也最为齐全,矿石中富含全球紧缺的中重稀土元素,且放射性比度低、综合利用价值高,现已成为国内外广泛关注的焦点,目前已被中国列为限制开采和保护的稀有战略资源。

[0003] 原地浸矿是离子型稀土资源开采经历池浸和堆浸工艺之后,目前广泛推广的采矿工艺。原地浸矿工艺通常是通过向矿体中注入浸矿液,经过离子交换,母液回收,再提取获得稀土资源,对于离子型稀土矿成矿面积大但单位面积内资源量十分有限的特点,原地浸矿工艺具有得天独厚的优势,摒弃了“搬山运动”的本质,对矿山的原生环境破坏小。然而在采用原地浸矿法开采弱渗透性离子型稀土矿的过程中,依然存在矿体的渗透性较差,浸矿剂停留时间长、生产效率低和得到的浸出液中稀土离子浓度低,对资源的回收利用不充分等问题。

[0004] 在离子型稀土矿原位浸出过程中,浸矿剂的渗流速度是影响浸出效率的核心问题之一;《中国稀土学报》2022年第40卷(第6期)1081-1089页的《表面活性剂对风化壳淋积型稀土矿渗透性的影响》表明提高浸矿剂在矿体内的渗流扩散有利于原地浸矿回收稀土资源;但对于《稀有金属》2022年第46卷(第12期)1589-1598页的《离子型稀土矿体大孔隙优先流占比对浸取率的影响定量研究》所展示的结果,表面活化剂可能会增大空隙优先流的占比。鉴于此,开展弱渗透性离子型稀土矿原地浸矿的超声导波增渗促浸技术的研究,具有重要的现实意义。

发明内容

[0005] 基于此,本发明的目的是提出一种用于离子型稀土原地浸矿的超声导波增渗方法及系统,通过制备测试台架还原现场环境,进行试验模拟并筛选出合适的换能器工作频率;根据当地的空化阈值及离子型稀土矿中声波衰减求出换能器工作功率;以当地地质条件为依据设计波导阵列;并根据渗流的强弱调节换能器的停启,从而实现对弱渗透性离子型稀土矿原地浸矿的有效增渗,以解决传统采用采用原地浸矿法开采弱渗透性离子型稀土矿的过程中,依然存在矿体的渗透性较差,浸矿剂停留时间长、生产效率低和得到的浸出液中稀土离子浓度低的问题。

[0006] 本发明一方面提出一种用于离子型稀土原地浸矿的超声导波增渗方法,所述方法包括:

[0007] 获取与目标离子型稀土矿对应的工程地质信息,并根据所述工程地质信息确定波

导杆的埋设区域；

[0008] 根据所述埋设区域获取所述波导杆的埋入数目、埋入位置、埋入深度以及相邻两所述波导杆之间的间距，以根据所述埋入深度选择目标波导杆，并根据所述埋入数目、所述埋入位置、所述埋入深度以及相邻两所述波导杆之间的间距在所述埋设区域构建目标波导杆阵列；

[0009] 模拟所述埋设区域的环境以搭建测试台架，并根据所述测试台架进行多种频率下的超声模拟试验，以根据模拟试验结果获取最佳频率；

[0010] 根据目标离子型稀土矿对应的空化阈值及目标离子型稀土矿中声波衰减求出换能器工作功率；

[0011] 将所述最佳频率定义为换能器工作频率，并根据所述换能器工作频率和所述换能器工作功率选取目标超声换能器，并在所述目标波导杆的端部安装所述目标超声换能器，以构建超声信号功率调节基站，并根据浸润线深度控制所述超声信号功率调节基站的启停。

[0012] 在本发明较佳实施例中，所述根据所述埋设区域获取所述波导杆的埋入数目、埋入位置、埋入深度以及相邻两所述波导杆之间的间距，以根据所述埋入深度选择目标波导杆，并根据所述埋入数目、所述埋入位置、所述埋入深度以及相邻两所述波导杆之间的间距在所述埋设区域构建目标波导杆阵列的步骤包括：

[0013] 根据以下公式计算得到目标波导杆的总长度：

$$[0014] \quad L_{\text{杆}} = L_{\text{孔}} + L_{\text{露}}$$

[0015] 其中， $L_{\text{杆}}$ 表示目标波导杆的总长度， $L_{\text{孔}}$ 表示目标波导杆的埋入深度， $L_{\text{露}}$ 表示目标波导杆露出地面的长度。

[0016] 在本发明较佳实施例中，所述模拟所述埋设区域的环境以搭建测试台架，并根据所述测试台架进行多种频率下的超声模拟试验，以根据模拟试验结果获取最佳频率的步骤包括：

[0017] 采集增渗区域离子型稀土矿装入自制变水头渗透仪，渗透仪中央插入波导杆，将矿样击实，控制矿样密度以模拟目标离子型稀土矿的现场环境；

[0018] 利用不同频率的超声进行试验模拟，并将试验中选用的增渗效果最强的超声频率作为最佳频率。

[0019] 在本发明较佳实施例中，所述根据目标离子型稀土矿对应的空化阈值及目标离子型稀土矿中声波衰减求出换能器工作功率的步骤包括：

[0020] 根据以下公式计算得到空化阈值：

$$[0021] \quad P_B = P_0 + P_c = P_0 - P_V + \frac{2\sqrt{3}}{9} \left[\left(\frac{2\sigma}{R_0} \right)^3 / \left(P_0 + \frac{2\sigma}{R_0} - P_V \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

[0022] 其中， P_B 表示空化阈值， P_0 表示环境大气压， P_c 表示稀土浸矿液的抗拉强度， P_V 表示饱和蒸汽压、 R_0 表示气泡半径、 σ 表示稀土浸矿液的表面张力系数；

[0023] 根据以下公式计算得到边界空化功率：

$$[0024] \quad W = I_M \times S = \frac{P_B^2}{2\rho c} \times S$$

[0025] 其中,W表示边界空化功率, I_M 表示空化声强, ρ 表示水的密度,c表示声在水中的速度,S表示空化区域面积;

[0026] 根据以下公式计算得到换能器工作功率:

$$[0027] \quad W_0 = I_0 \times S = \frac{W}{e^{-mx}}$$

[0028] 其中, W_0 表示换能器工作功率, I_0 表示波导杆声强,m表示衰减系数,x表示埋设区域与波导杆的距离。

[0029] 在本发明较佳实施例中,所述根据浸润线深度控制所述超声信号功率调节基站的启停的步骤还包括:

[0030] 监测所述目标离子型稀土矿中的浸润线深度是否处于预设浸润线埋深范围;

[0031] 若所述浸润线深度大于预设浸润线埋深范围中的上限值时,则控制所述超声信号功率调节基站关闭;

[0032] 若所述浸润线深度小于预设浸润线埋深范围中的上限值时,则控制所述超声信号功率调节基站开启。

[0033] 本发明另一方面提出一种用于离子型稀土原地浸矿的超声导波增渗系统,所述系统包括:

[0034] 埋设区域确定模块,用于获取与目标离子型稀土矿对应的工程地质信息,并根据所述工程地质信息确定波导杆的埋设区域;

[0035] 波导杆阵列构建模块,用于根据所述埋设区域获取所述波导杆的埋入数目、埋入位置、埋入深度以及相邻两所述波导杆之间的间距,以根据所述埋入深度选择目标波导杆,并根据所述埋入数目、所述埋入位置、所述埋入深度以及相邻两所述波导杆之间的间距在所述埋设区域构建目标波导杆阵列;

[0036] 超声模拟测试模块,用于模拟所述埋设区域的环境以搭建测试台架,并根据所述测试台架进行多种频率下的超声模拟试验,以根据模拟试验结果获取最佳频率;

[0037] 工作功率获取模块,用于根据目标离子型稀土矿对应的空化阈值及目标离子型稀土矿中声波衰减求出换能器工作功率;

[0038] 增渗调节模块,用于将所述最佳频率定义为换能器工作频率,并根据所述换能器工作频率和所述换能器工作功率选取目标超声换能器,并在所述目标波导杆的端部安装所述目标超声换能器,以构建超声信号功率调节基站。

[0039] 在本发明较佳实施例中,所述波导杆阵列构建模块包括:

[0040] 波导杆长度计算单元,用于根据以下公式计算得到目标波导杆的总长度:

$$[0041] \quad L_{杆} = L_{孔} + L_{露}$$

[0042] 其中, $L_{杆}$ 表示目标波导杆的总长度, $L_{孔}$ 表示目标波导杆的埋入深度, $L_{露}$ 表示目标波导杆露出地面的长度。

[0043] 在本发明较佳实施例中,所述超声模拟测试模块还包括:

[0044] 测试台架构建单元,用于采集增渗区域离子型稀土矿装入自制变水头渗透仪,渗透仪中央插入波导杆,将矿样击实,控制矿样密度以模拟目标离子型稀土矿的现场环境;

[0045] 最佳频率选取单元,用于利用不同频率的超声进行试验模拟,并将试验中选用的增渗效果最强的超声频率作为最佳频率

[0046] 在本发明较佳实施例中,工作功率获取模块还包括:

[0047] 空化阈值计算单元,用于根据以下公式计算得到空化阈值:

$$[0048] \quad P_B = P_0 + P_c = P_0 - P_V + \frac{2\sqrt{3}}{9} \left[\left(\frac{2\sigma}{R_0} \right)^3 / \left(P_0 + \frac{2\sigma}{R_0} - P_V \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

[0049] 其中, P_B 表示空化阈值, P_0 表示环境大气压, P_c 表示稀土浸矿液的抗拉强度, P_V 表示饱和蒸汽压、 R_0 表示气泡半径、 σ 表示稀土浸矿液的表面张力系数;

[0050] 边界空化功率计算单元,用于根据以下公式计算得到边界空化功率:

$$[0051] \quad W = I_M \times S = \frac{P_B^2}{2\rho c} \times S$$

[0052] 其中, W 表示边界空化功率, I_M 表示空化声强, ρ 表示水的密度, c 表示声在水中的速度, S 表示空化区域面积;

[0053] 换能器工作功率计算单元,用于根据以下公式计算得到换能器工作功率:

$$[0054] \quad W_0 = I_0 \times S = \frac{W}{e^{-mx}}$$

[0055] 其中, W_0 表示换能器工作功率, I_0 表示波导杆声强, m 表示衰减系数, x 表示埋设区域与波导杆的距离。

[0056] 在本发明较佳实施例中,所述增渗调节模块还包括:

[0057] 浸润线深度监测单元,用于监测所述目标离子型稀土矿中的浸润线深度是否处于预设浸润线埋深范围;

[0058] 基站关闭执行单元,用于若所述浸润线深度大于预设浸润线埋深范围中的上限值时,则控制所述超声信号功率调节基站关闭;

[0059] 基站开启执行单元,用于若所述浸润线深度小于预设浸润线埋深范围中的上限值时,则控制所述超声信号功率调节基站开启。

[0060] 与现有技术相比,本发明具有以下优点:

[0061] 1. 本发明利用超声导波增强离子型稀土矿的渗透性,能够通过改变功率控制超声作用范围,可以实现自动化运行;与现有的增渗方法(表面活性剂)相比,超声导波增渗技术不仅能够以产生空化射流方式减少优先流及细微颗粒堵塞现象,还能够产生热量增强浸矿效率;此外此方法既可以单独使用还能与表面活性剂联合使用增加离子型稀土矿的渗透效率;

[0062] 2. 本发明不仅利用了超声在介质传播过程中的机械振动,还考虑了超声在水中的空化效应产生的能量的使用。

[0063] 本发明的附加方面和优点将在下面的描述中部分给出,部分将从下面的描述中变得明显,或通过本发明的实施例了解到。

附图说明

[0064] 图1为本发明第一实施例中用于离子型稀土原地浸矿的超声导波增渗方法的流程图;

[0065] 图2为本发明第一实施例中的目标波导杆中弯曲波的衰减曲线;

[0066] 图3为本发明第一实施例中的测试台架的结构示意图;

[0067] 图4为本发明第一实施例中的波导中弯曲波的工作原理图;

[0068] 图5为本发明第一实施例中的离子型稀土超声导波增渗促浸示意图;

[0069] 图6为本发明第一实施例中的超声作用前后渗透系数变化示意图。

[0070] 图7为本发明第二实施例中用于离子型稀土原地浸矿的超声导波增渗系统的结构示意图。

[0071] 如下具体实施方式将结合上述附图进一步说明本发明。

具体实施方式

[0072] 为了便于理解本发明,下面将参照相关附图对本发明进行更全面的描述。附图中给出了本发明的若干实施例。但是,本发明可以以许多不同的形式来实现,并不限于本文所描述的实施例。相反地,提供这些实施例的目的是使对本发明的公开内容更加透彻全面。

[0073] 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。本文中在本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。本文所使用的术语“及/或”包括一个或多个相关的所列项目的任意的和所有的组合。

[0074] 请参阅图1,所示为本发明第一实施例中一种用于离子型稀土原地浸矿的超声导波增渗方法的流程图,该方法包括步骤S01至步骤S05,其中:

[0075] 步骤S01:获取与目标离子型稀土矿对应的工程地质信息,并根据所述工程地质信息确定波导杆的埋设区域;

[0076] 需要说明的是,通过根据工程地质信息可以判断出目标离子型稀土矿中渗流条件差的浸矿区域,该浸矿区域即为埋设区域。

[0077] 步骤S02:根据所述埋设区域获取所述波导杆的埋入数目、埋入位置、埋入深度以及相邻两所述波导杆之间的间距,以根据所述埋入深度选择目标波导杆,并根据所述埋入数目、所述埋入位置、所述埋入深度以及相邻两所述波导杆之间的间距在所述埋设区域构建目标波导杆阵列;

[0078] 在本步骤中,为了构建增渗区域埋设波导杆阵列(目标波导杆阵列),需要根据浸矿区域和工程地质信息确定区域内波导杆的数目及波导杆埋入位置、间距与深度,且波导杆应在竖直方向贯穿整个浸矿区域。

[0079] 在得到埋设深度后,进而根据埋设深度计算出所需波导杆的长度,根据以下公式计算得到目标波导杆的总长度,进而再根据总长度选取合适的目标波导杆:

[0080] $L_{\text{杆}} = L_{\text{孔}} + L_{\text{露}}$

[0081] 其中, $L_{杆}$ 表示目标波导杆的总长度, $L_{孔}$ 表示目标波导杆的埋入深度, $L_{露}$ 表示目标波导杆露出地面的长度。

[0082] 示例而非限定, 波导杆选用玻璃纤维杆, 拟使用直径为16mm的波导杆(在实际使用中可选择直径相对较大的波导, 但不宜大于换能器的直径), 波导杆的密度为 2.2g/cm^3 , 弹性模量为40GPa, 泊松比为0.3, 纵波衰减系数1.46dB/mm, 横波衰减系数2.7dB/mm。

[0083] 步骤S03: 模拟所述埋设区域的环境以搭建测试台架, 并根据所述测试台架进行多种频率下的超声模拟试验, 以根据模拟试验结果获取最佳频率;

[0084] 需要说明的是, 在本步骤进行的信号调节过程中, 请参阅图2, 根据目标波导杆衰减曲线限定超声频率, 避免超声在波导内的衰减过大; 在此基础上, 采集增渗区域离子型稀土矿装入自制变水头渗透仪, 渗透仪中央插入波导杆, 将矿样击实, 控制矿样密度模拟现场环境, 以构建测试台架, 具体请参阅图3; 并利用不同频率的超声进行试验模拟优选出最佳频率作为换能器工作频率, 该最佳频率为试验中选用的增渗效果最强的超声频率, 试验频率范围一般为20kHz-100kHz。

[0085] 步骤S04: 根据目标离子型稀土矿对应的空化阈值及目标离子型稀土矿中声波衰减求出换能器工作功率;

[0086] 优选的, 计算单个波导杆负责的增渗空间大小, 并根据当地的空化阈及离子型稀土矿中声波衰减求出换能器工作功率, 具体如下:

[0087] 根据以下公式计算得到空化阈值:

$$[0088] \quad P_B = P_0 + P_c = P_0 - P_v + \frac{2\sqrt{3}}{9} \left[\left(\frac{2\sigma}{R_0} \right)^3 / \left(P_0 + \frac{2\sigma}{R_0} - P_v \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

[0089] 其中, P_B 表示空化阈值, P_0 表示环境大气压, P_c 表示稀土浸矿液的抗拉强度, P_v 表示饱和蒸汽压, R_0 表示气泡半径, σ 表示稀土浸矿液的表面张力系数;

[0090] 根据以下公式计算得到边界空化功率:

$$[0091] \quad W = I_M \times S = \frac{P_B^2}{2\rho c} \times S$$

[0092] 其中, W 表示边界空化功率, I_M 表示空化声强, ρ 表示水的密度, c 表示声在水中的速度, S 表示空化区域面积;

[0093] 根据以下公式计算得到换能器工作功率:

$$[0094] \quad W_0 = I_0 \times S = \frac{W}{e^{-mx}}$$

[0095] 其中, W_0 表示换能器工作功率, I_0 表示波导杆声强, m 表示衰减系数, x 表示埋设区域与波导杆的距离。

[0096] 步骤S05: 将所述最佳频率定义为换能器工作频率, 并根据所述换能器工作频率和所述换能器工作功率选取目标超声换能器, 并在所述目标波导杆的端部安装所述目标超声换能器, 以构建超声信号功率调节基站, 并根据浸润线深度控制所述超声信号功率调节基

站的启停。

[0097] 需要说明的是,换能器频率应当尽可能接近试验模拟优选出最佳频率,功率不小于上一步计算求得的工作功率,进而实现换能器的高度适配选取,而后再安装换能器,具体为:所述波导杆在地表露出0.2m,其端部安装超声换能器,超声换能器连接信号发生器,并用白色外观的保护罩罩住超声换能器元件,罩内安装风扇为换能器散热,请参阅图5,其内部的导波为弯曲波。

[0098] 进一步地,接着建立自动停启系统,结合当地监测手段,建立入渗强度监测系统与功率调节基站的联系(譬如随入渗强度变化的电阻器或到达一定数值自动开关的供电系统),当入渗强度降低到一定水平时启动超声换能器,升高到一定水平时自动停止工作,具体步骤如下:

[0099] 监测所述目标离子型稀土矿中的浸润线深度是否处于预设浸润线埋深范围;

[0100] 若所述浸润线深度大于预设浸润线埋深范围中的上限值时,则控制所述超声信号功率调节基站关闭;

[0101] 若所述浸润线深度小于预设浸润线埋深范围中的上限值时,则控制所述超声信号功率调节基站开启。

[0102] 还需指出的是,该预设浸润线埋深范围与目标离子型稀土矿的现场条件有关,设计人员可以根据现场的目标离子型稀土矿进行设定,在此不作详细说明。

[0103] 综上,由于原地浸矿法开采离子型稀土过程中存在矿体的渗透性较差,且随着浸矿液入渗细微颗粒会堵住渗流通道从而加大浸矿难度。按照本实施例中的方法在稀土矿渗透条件差的区域埋设波导阵列,波导从注液口附近竖直埋入稀土矿中,埋深与浸矿区深度持平;通过在波导露出地表部分安装超声换能器向稀土矿浸矿区域释放超声,产生的超声以导波的形式沿波导向四周传播(示例如图5所示),在稀土矿矿含水层内产生超声的空化效应(水中气核在超声的作用下先体积增大,后迅速坍塌溃灭产生射流等现象),利用空化产生的机械能对稀土矿做功,使其渗透系数增大。依据离子型稀土矿所处环境制备渗透试验试样,进行试验模拟筛选出合适的换能器工作频率;通过稀土矿已有的入渗强度监测手段(孔隙水压计、流量计等),建立其与功率调节基站的联系,根据渗流的强弱调节换能器的停启。该方法利用了声波在介质传播过程中的机械能与声波在水中空化溃灭产生的机械能,离子型稀土矿在两种机械能作用下不仅孔隙增大而且减少了优先流的现象;使得离子型稀土矿渗透性增强,浸矿效率增强,效果如图6所示。

[0104] 请参阅图7,所示为本发明第二实施例中的用于离子型稀土原地浸矿的超声导波增渗系统的结构示意图,该系统包括:

[0105] 埋设区域确定模块10,用于获取与目标离子型稀土矿对应的工程地质信息,并根据所述工程地质信息确定波导杆的埋设区域;

[0106] 波导杆阵列构建模块20,用于根据所述埋设区域获取所述波导杆的埋入数目、埋入位置、埋入深度以及相邻两所述波导杆之间的间距,以根据所述埋入深度选择目标波导杆,并根据所述埋入数目、所述埋入位置、所述埋入深度以及相邻两所述波导杆之间的间距在所述埋设区域构建目标波导杆阵列;

[0107] 进一步地,所述波导杆阵列构建模块20包括:

[0108] 波导杆长度计算单元,用于根据以下公式计算得到目标波导杆的总长度:

[0109] $L_{\text{杆}} = L_{\text{孔}} + L_{\text{露}}$

[0110] 其中, $L_{\text{杆}}$ 表示目标波导杆的总长度, $L_{\text{孔}}$ 表示目标波导杆的埋入深度, $L_{\text{露}}$ 表示目标波导杆露出地面的长度。

[0111] 超声模拟测试模块30,用于模拟所述埋设区域的环境以搭建测试台架,并根据所述测试台架进行多种频率下的超声模拟试验,以根据模拟试验结果获取最佳频率;

[0112] 所述超声模拟测试模块30还包括:

[0113] 测试台架构建单元,用于采集增渗区域离子型稀土矿装入自制变水头渗透仪,渗透仪中央插入波导杆,将矿样击实,控制矿样密度以模拟目标离子型稀土矿的现场环境;

[0114] 最佳频率选取单元,用于利用不同频率的超声进行试验模拟,并将试验中选用的增渗效果最强的超声频率作为最佳频率。

[0115] 工作功率获取模块40,用于根据目标离子型稀土矿对应的空化阈值及目标离子型稀土矿中声波衰减求出换能器工作功率;

[0116] 进一步地,所述工作功率获取模块40还包括:

[0117] 空化阈值计算单元,用于根据以下公式计算得到空化阈值:

$$[0118] \quad P_B = P_0 + P_c = P_0 - P_v + \frac{2\sqrt{3}}{9} \left[\left(\frac{2\sigma}{R_0} \right)^3 / \left(P_0 + \frac{2\sigma}{R_0} - P_v \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

[0119] 其中, P_B 表示空化阈值, P_0 表示环境大气压, P_c 表示稀土浸矿液的抗拉强度, P_v 表示饱和蒸汽压, R_0 表示气泡半径, σ 表示稀土浸矿液的表面张力系数;

[0120] 边界空化功率计算单元,用于根据以下公式计算得到边界空化功率:

$$[0121] \quad W = I_M \times S = \frac{P_B^2}{2\rho c} \times S$$

[0122] 其中, W 表示边界空化功率, I_M 表示空化声强, ρ 表示水的密度, c 表示声在水中的速度, S 表示空化区域面积;

[0123] 换能器工作功率计算单元,用于根据以下公式计算得到换能器工作功率:

$$[0124] \quad W_0 = I_0 \times S = \frac{W}{e^{-mx}}$$

[0125] 其中, W_0 表示换能器工作功率, I_0 表示波导杆声强, m 表示衰减系数, x 表示埋设区域与波导杆的距离。

[0126] 增渗调节模块50,用于将所述最佳频率定义为换能器工作频率,并根据所述换能器工作频率和所述换能器工作功率选取目标超声换能器,并在所述目标波导杆的端部安装所述目标超声换能器,以构建超声信号功率调节基站。

[0127] 进一步地,所述增渗调节模块50还包括:

[0128] 浸润线深度监测单元,用于监测所述目标离子型稀土矿中的浸润线深度是否处于预设浸润线埋深范围;

[0129] 基站关闭执行单元,用于若所述浸润线深度大于预设浸润线埋深范围中的上限值

时,则控制所述超声信号功率调节基站关闭;

[0130] 基站开启执行单元,用于若所述浸润线深度小于预设浸润线埋深范围中的上限值时,则控制所述超声信号功率调节基站开启。

[0131] 在本说明书的描述中,参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本发明的至少一个实施例或示例中。在本说明书中,对上述术语的示意性表述不一定指的是相同的实施例或示例。而且,描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任何的一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。

[0132] 以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式,其描述较为具体和详细,但不能因此而理解为本发明专利范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本发明的保护范围。因此,本发明专利的保护范围应以所附权利要求为准。

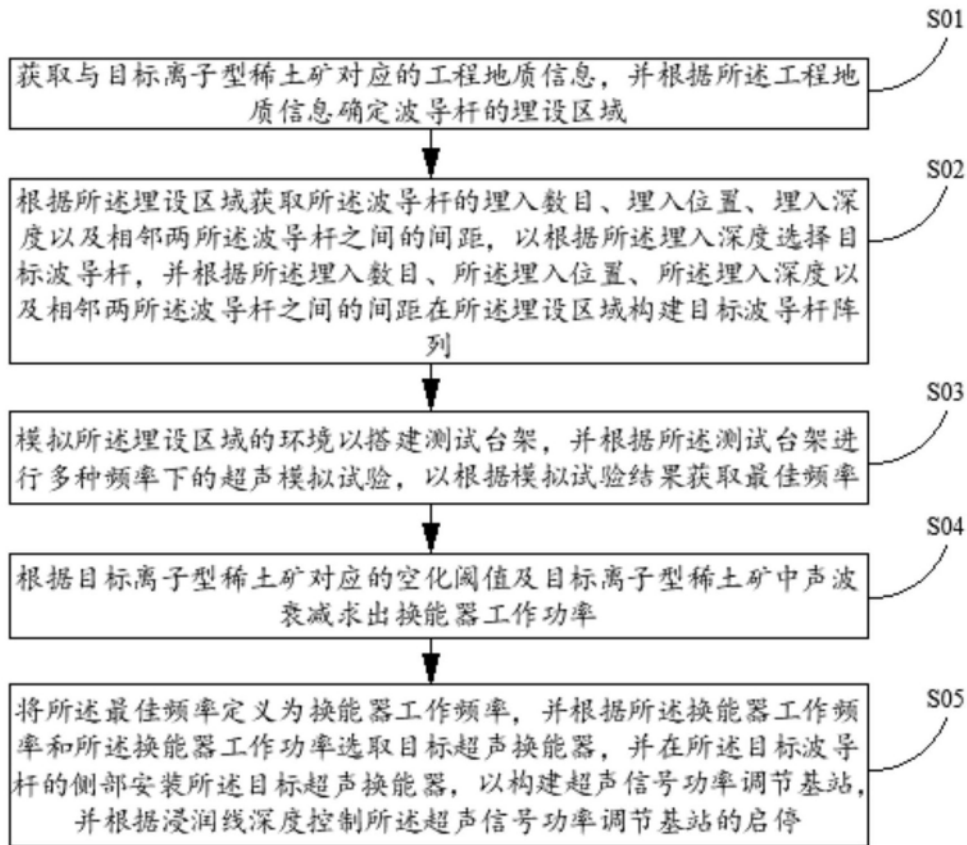


图1

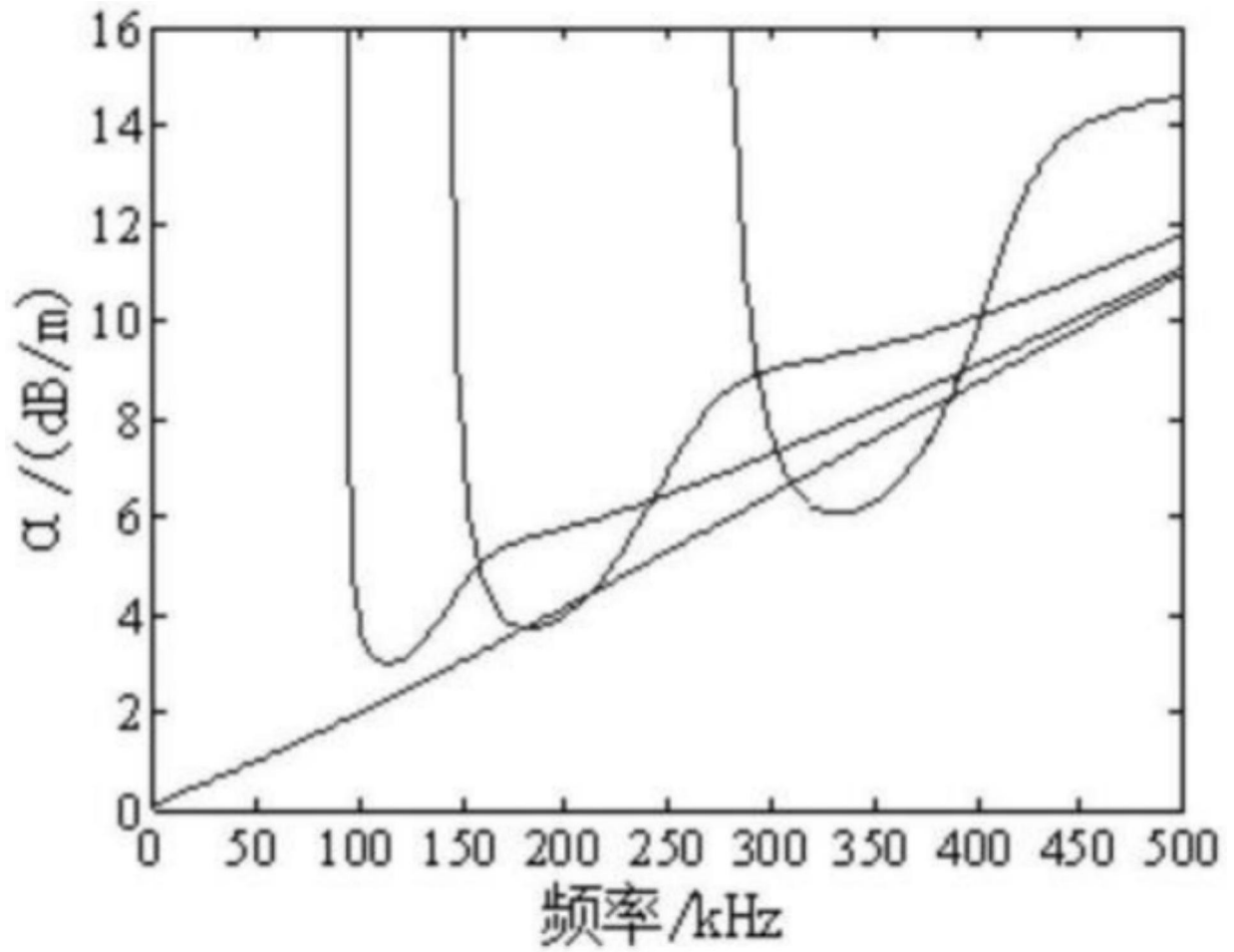


图2

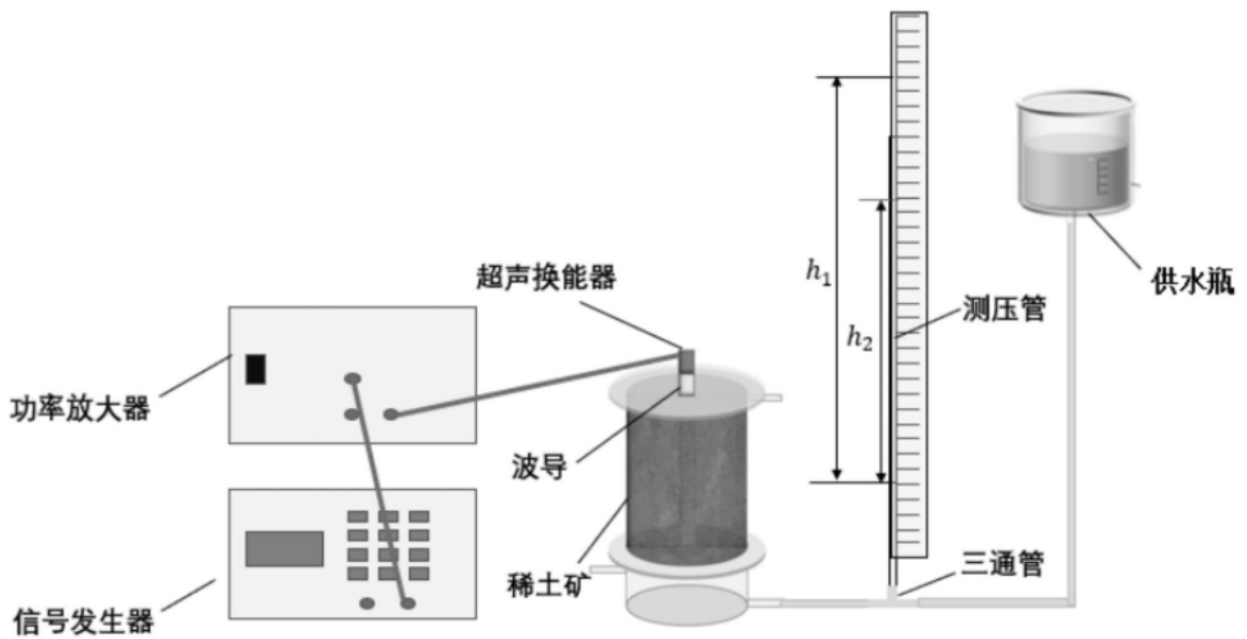


图3

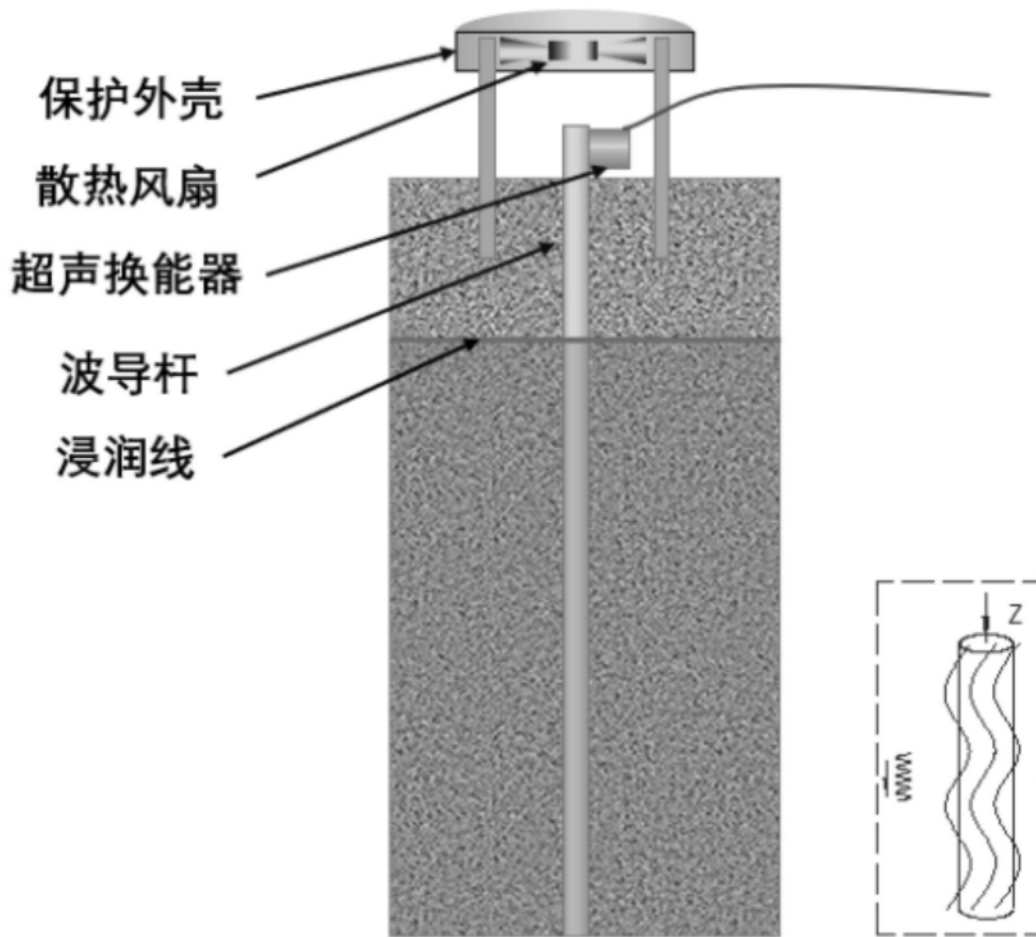


图4

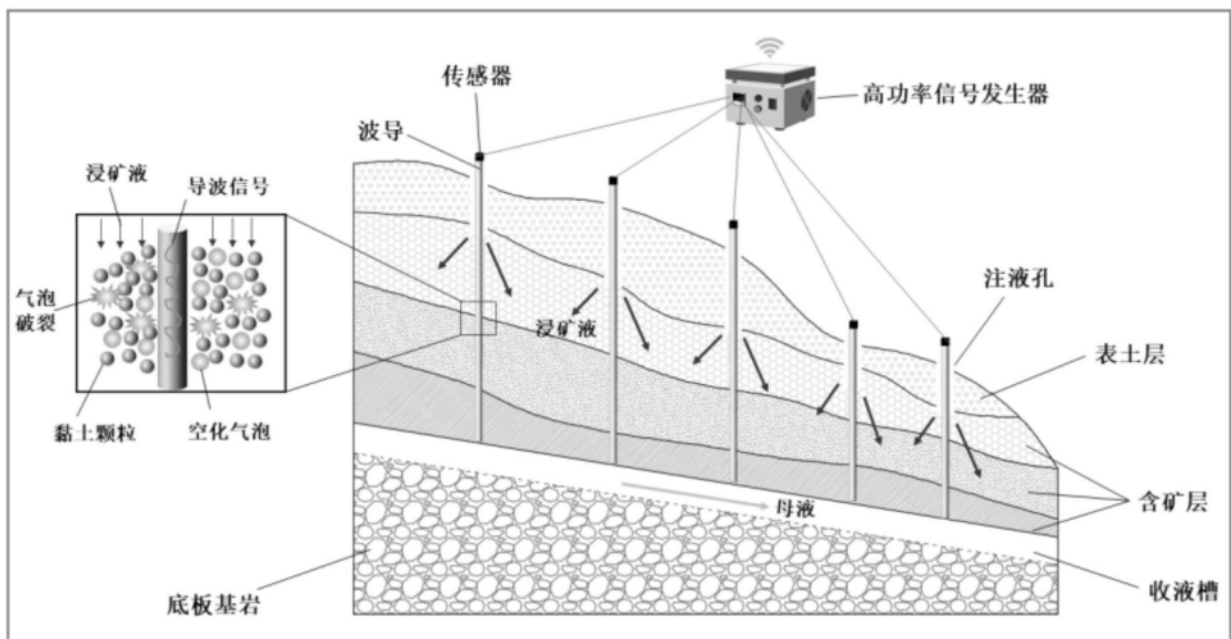


图5

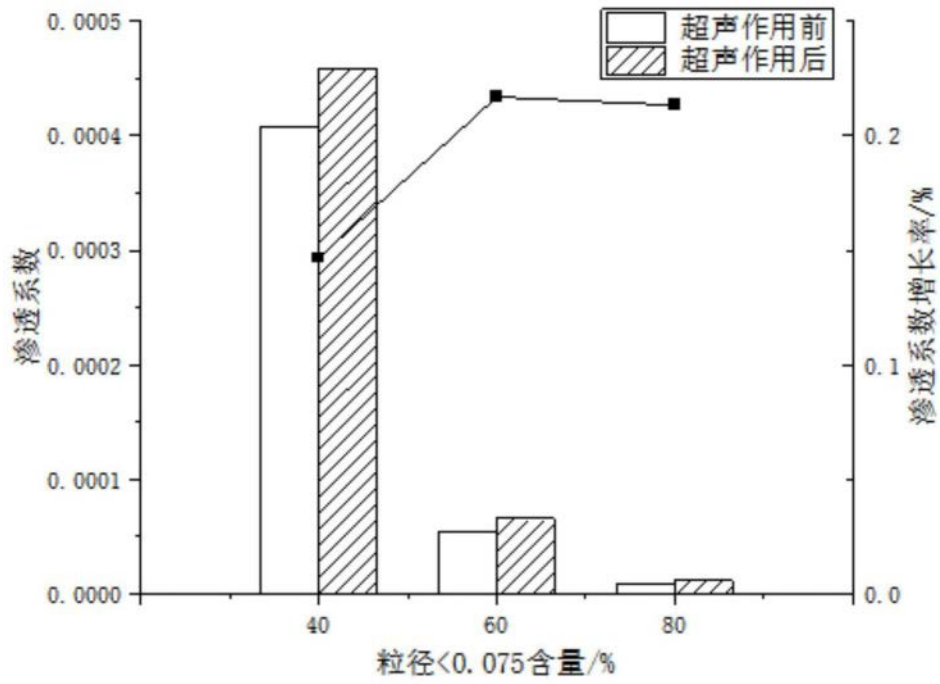


图6

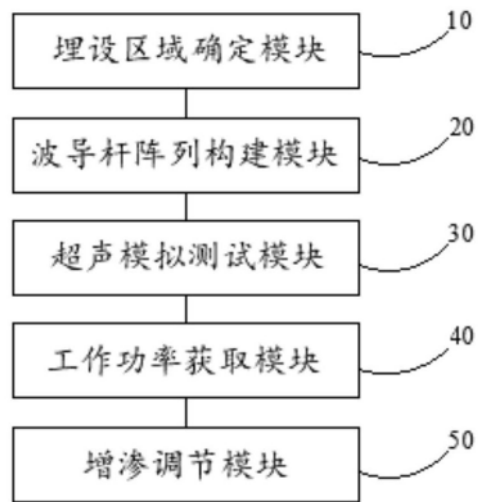


图7