



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114459960 A

(43) 申请公布日 2022.05.10

(21) 申请号 202210123629.X

(22) 申请日 2022.02.10

(71) 申请人 辽宁工程技术大学

地址 123000 辽宁省阜新市中华路47号

(72) 发明人 刘玲 李喜林 安文博 马佳递  
张婷 韩亮 王来贵 郑帅 马征

(74) 专利代理机构 北京盛询知识产权代理有限公司 11901

专利代理师 马文巧

(51) Int. Cl.

G01N 13/00 (2006.01)

G01N 13/04 (2006.01)

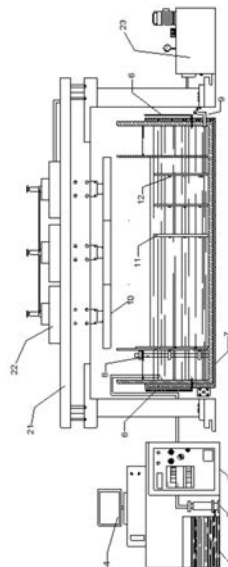
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

## (54) 发明名称

一种矿山地下水污染的多场耦合模拟试验装置及方法

## (57) 摘要

本发明公开一种矿山地下水污染的多场耦合模拟试验装置及方法,包括恒温水浴箱,所述恒温水浴箱的一侧连通有蓄水箱,所述蓄水箱的外侧设有控制机构,所述恒温水浴箱的顶部设有应力加载机构,所述应力加载机构包括活动连接在所述恒温水浴箱顶部的覆压钢板,所述恒温水浴箱内分别设有温度控制机构和监测机构,所述恒温水浴箱内还设有水位控制机构,所述应力加载机构、所述温度控制机构、所述监测机构和所述水位控制机构分别与所述控制机构电性连接,实现了应力场、化学场、渗流场和温度场的四场耦合,使污染物运移过程所处的模拟环境更加接近真实的自然条件,科学、精准的模拟实现了矿山地下水污染物在多场耦合作用下运移过程。



1. 一种矿山地下水污染的多场耦合模拟试验装置,其特征在於:包括恒温水浴箱,所述恒温水浴箱的一侧连通有蓄水箱(1),所述蓄水箱(1)的外侧设有控制机构,所述恒温水浴箱的顶部设有应力加载机构,所述应力加载机构包括活动连接在所述恒温水浴箱顶部的覆压钢板(10),所述恒温水浴箱内分别设有温度控制机构和监测机构,所述恒温水浴箱内还设有水位控制机构,用于模拟应力、渗流、化学、温度中二场、三场或四场耦合作用下,矿山开采过程中及矿山废弃后地下水污染情况及污染物运移规律,所述应力加载机构、所述温度控制机构、所述监测机构和所述水位控制机构分别与所述控制机构电性连接。

2. 根据权利要求1所述的矿山地下水污染的多场耦合模拟试验装置,其特征在於:所述恒温水浴箱包括中间岩样箱(25),所述中间岩样箱(25)的两侧分别通过打孔钢板(19)连通有上游水箱(24)和下游水箱(26),所述上游水箱(24)和所述下游水箱(26)内分别设有水位控制管(6),所述上游水箱(24)与所述中间岩样箱(25)之间设有所述水位控制机构,所述水位控制机构与所述打孔钢板(19)活动连接。

3. 根据权利要求2所述的矿山地下水污染的多场耦合模拟试验装置,其特征在於:所述水位控制机构包括固接在所述打孔钢板(19)顶部的电机(13),所述电机(13)位于所述打孔钢板(19)靠近所述中间岩样箱(25)的一侧,所述电机(13)的输出轴固接有主动齿轮(14),所述主动齿轮(14)啮合有从动齿轮(15),所述从动齿轮(15)内活动连接有螺杆(16),所述螺杆(16)的底部固接有挡水板(18)的顶部,所述电机(13)与所述控制机构电性连接。

4. 根据权利要求3所述的矿山地下水污染的多场耦合模拟试验装置,其特征在於:所述打孔钢板(19)上固接有限位座(17),所述从动齿轮(15)的一端位于所述限位座(17)内。

5. 根据权利要求4所述的矿山地下水污染的多场耦合模拟试验装置,其特征在於:应力加载机构包括设置在所述恒温水浴箱外侧的的支架(21),所述支架(21)的顶面上设有若干个推进油缸(22),所述推进油缸(22)通过管路连通有液压站(23),任一所述推进油缸(22)的底部穿过所述支架(21)并固接有所述覆压钢板(10),所述覆压钢板(10)位于所述中间岩样箱的正上方,所述液压站(23)与所述控制机构电性连接。

6. 根据权利要求5所述的矿山地下水污染的多场耦合模拟试验装置,其特征在於:所述温度控制机构包括设置在所述恒温水浴箱底面和侧壁上的电加热板(7),所述电加热板(7)与所述控制机构电性连接。

7. 根据权利要求6所述的矿山地下水污染的多场耦合模拟试验装置,其特征在於:所述监测装置包括化学场监测、渗流场监测、温度场监测和应力场监测;所述化学场监测包括伸入所述中间岩样箱(25)内的陶土探头(12),所述陶土探头(12)与所述控制机构电性连接。

8. 根据权利要求7所述的矿山地下水污染的多场耦合模拟试验装置,其特征在於:所述控制机构包括控制箱(3)和显示器(4),所述显示器(4)、所述电机(13)、所述液压站(23)和所述电加热板(7)分别与所述显示器(4)电性连接。

9. 根据权利要求8所述的矿山地下水污染的多场耦合模拟试验装置,其特征在於:所述蓄水池和所述上游水箱(24)之间通过水泵(2)连通,所述水泵(2)与所述显示器(4)电性连接。

10. 一种矿山地下水污染的多场耦合模拟试验方法,基於权利要求1-9任意一项所述的矿山地下水污染的多场耦合模拟试验装置,其特征在於:包括以下步骤:

a、铺设岩石,在中间岩样箱(25)中铺设岩石;

- b、模拟污染源,在恒温水浴箱中通水并供给污染物滤液;
- c、施加压力,通过覆压钢板(10)向中间岩样箱(25)中施压;
- d、加热,通过电加热板(7)改变恒温水浴箱中的温度;
- e、实时监测,设置若干监测点,用来探测监测点的应力状态及污染物浓度。

## 一种矿山地下水污染的多场耦合模拟试验装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及环境工程、矿业工程和渗流力学交叉技术领域,特别是涉及一种矿山地下水污染的多场耦合模拟试验装置及方法。

### 背景技术

[0002] 在大面积矿山采动影响下,地层、岩层结构遭到大幅度改变,使得开采矿山的地下水系统及水资源的天然平衡和补给、径流、排泄条件发生了重大变化或者一定程度的破坏。地下水应力场的改变,严重破坏了地下水资源和地下水循环系统,对地下水化学场和渗流场产生深刻影响,并引起地下水的水质恶化;而地下水渗流场和化学场的变化又会进一步弱化地层结构,对地下水应力场产生重要影响,造成矿区水环境灾害进一步加剧。

[0003] 矿山废弃后,矿井水的停止排放导致地下水位迅速回升,水动力条件遭到破坏,各含水层与采矿空间之间互相补给。此时,由于地层结构长时间的不稳定,岩体应力场的变化还会继续,造成岩体的垮落和大幅度的位移,裂隙的张开,断层的活化等,为地下水的污染提供了水力联系条件,原来已被扰动的矿区地下水渗流场和赋存条件再次发生变异。采矿过程中产生大量酸性矿井水,连同矿井中大量遗留的生活垃圾、油污、煤泥、煤中各种有害物等,在岩石空隙中运动,与周围煤岩壁接触,产生包括溶解、沉淀、吸附、离子交换、氧化还原等一系列的物理、化学及生物作用过程,化学场发生明显变化,污染组分和污染物浓度急剧增加,在含水层中形成更大范围地下水污染;同时,污染水与岩石作用的另一个重要结果是对岩石的成分、结构、性状产生影响,岩石会遭到机械和化学侵蚀等作用而出现软化或泥化现象,从而降低岩体强度和稳定性,造成工程中灾害性事故。可见,废弃矿山地下水污染是应力场、渗流场和化学场耦合作用的结果,而这一污染机理又不同于矿山开采阶段。

[0004] 同时,随采矿深度增加,地下采矿区温度的逐渐升高都会与矿山应力场、渗流场和化学场发生耦合作用,从而共同影响矿区地下水系统。因此,研究多场耦合作用下,地下水污染物的运移规律,对解决矿区地下水环境灾害具有重要指导意义。

[0005] 目前污染物运移的研究采用静态吸附实验或室内动态一维土柱实验较多,现有成果多注重研究不同介质模型的渗流或应力与渗流场的耦合作用关系,不能完全客观的模拟矿区污染物运移过程,特别矿区地下水溶质运移可看作地下水多组分反应的溶质(水渗流场-水化学场)在地质环境物理场(应力场-温度场)的四场相互作用中的运移过程模拟系统尚未建立。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的是提供一种矿山地下水污染的多场耦合模拟试验装置及方法,以解决上述现有技术存在的问题。

[0007] 为实现上述目的,本发明提供了如下方案:本发明提供一种矿山地下水污染的多场耦合模拟试验装置,包括恒温水浴箱,所述恒温水浴箱的一侧连通有蓄水箱,所述蓄水箱的外侧设有控制机构,所述恒温水浴箱的顶部设有应力加载机构,所述应力加载机构包括

活动连接在所述恒温水浴箱顶部的覆压钢板,所述恒温水浴箱内分别设有温度控制机构和监测机构,所述恒温水浴箱内还设有水位控制机构,用于模拟应力、渗流、化学、温度中二场、三场或四场耦合作用下,矿山开采过程中及矿山废弃后地下水污染情况及污染物运移规律,所述应力加载机构、所述温度控制机构、所述监测机构和所述水位控制机构分别与所述控制机构电性连接。

[0008] 优选的,所述恒温水浴箱包括中间岩样箱,所述中间岩样箱的两侧分别通过打孔钢板连通有上游水箱和下游水箱,所述上游水箱和所述下游水箱内分别设有水位控制管,所述上游水箱与所述中间岩样箱之间设有所述水位控制机构,所述水位控制机构与所述打孔钢板活动连接。

[0009] 优选的,所述水位控制机构包括固接在所述打孔钢板顶部的电机,所述电机位于所述打孔钢板靠近所述中间岩样箱的一侧,所述电机的输出轴固接有主动齿轮,所述主动齿轮啮合有从动齿轮,所述从动齿轮内活动连接有螺杆,所述螺杆的底部固接有挡水板的顶部,所述电机与所述控制机构电性连接。

[0010] 优选的,所述打孔钢板上固接有限位座,所述从动齿轮的一端位于所述限位座内。

[0011] 优选的,应力加载机构包括设置在所述恒温水浴箱外侧的的支架,所述支架的顶面上设有若干个推进油缸,所述推进油缸通过管路连通有液压站,任一所述推进油缸的底部穿过所述支架并固接有所述覆压钢板,所述覆压钢板位于所述中间岩样箱的正上方,所述液压站与所述控制机构电性连接。

[0012] 优选的,所述温度控制机构包括设置在所述恒温水浴箱底面和侧壁上的电加热板,所述电加热板与所述控制机构电性连接。

[0013] 优选的,所述监测装置包括化学场监测、渗流场监测、温度场监测和应力场监测;所述化学场监测包括伸入所述中间岩样箱内的陶土探头,所述陶土探头与所述控制机构电性连接。

[0014] 优选的,所述控制机构包括控制箱和显示器,所述显示器、所述电机、所述液压站和所述电加热板分别与所述显示器电性连接。

[0015] 优选的,所述蓄水池和所述上游水箱之间通过水泵连通,所述水泵与所述显示器电性连接。

[0016] 优选的,一种矿山地下水污染的多场耦合模拟试验方法,包括以下步骤:

[0017] a、铺设岩石,在中间岩样箱中铺设岩石;

[0018] b、模拟污染源,在恒温水浴箱中通水并供给污染物滤液;

[0019] c、施加压力,通过覆压钢板向中间岩样箱中施压;

[0020] d、加热,通过电加热板改变恒温水浴箱中的温度;

[0021] e、实时监测,设置若干监测点,用来探测监测点的应力状态及污染物浓度。

[0022] 本发明公开了以下技术效果:

[0023] 1. 实现了应力场、化学场、渗流场和温度场的四场耦合,使污染物运移过程所处的模拟环境更加接近真实的自然条件,科学、精准的模拟实现了矿山地下水污染物在多场耦合作用下运移过程。

[0024] 2. 本发明设计一种应力、水头压力、污染物初始浓度、场地温度均可调节的实验装置,便于对比分析不同条件下污染物运移规律。

[0025] 3.本发明中污染物的运移过程为三维过程。

[0026] 4.本发明可以模拟非均质地地质条件且同时含有饱和层与非饱和层,可同时监测污染物在不同地质条件下的运移规律。

[0027] 5.本发明可模拟矿山从开采到废弃的生命周期全过程,揭示不同阶段矿区地下水污染变化规律。

### 附图说明

[0028] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0029] 图1为本发明矿山地下水污染的多场耦合模拟试验装置的结构示意图;

[0030] 图2为恒温水浴箱的结构示意图;

[0031] 图3为测量井的俯视图;

[0032] 图4为水位控制机构的结构示意图;

[0033] 其中:1、蓄水箱;2、水泵;3、控制箱;4、显示器;6、水位控制管;7、电加热板;8、液位计;9、出水口;10、覆压钢板;11、测量井;12、陶土探头;13、电机;14、主动齿轮;15、从动齿轮;16、螺杆;17、限位座;18、挡水板;19、打孔钢板;20、玻璃板;21、支架;22、油缸;23、液压站;24、上游水箱;25、中间岩样箱;26、下游水箱。

### 具体实施方式

[0034] 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。

[0035] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0036] 参照图1-4,本发明提供一种矿山地下水污染的多场耦合模拟试验装置,包括恒温水浴箱,恒温水浴箱为长方体,前侧面为不小于2cm厚玻璃板20,玻璃板20为有机玻璃,其余侧面可选为1.5cm厚钢板,且有机玻璃与钢板之间采用螺栓固接并做防水处理,恒温水浴箱的一侧连通有蓄水箱1,蓄水箱1内部装有实际污染源通过淋滤获得的实际水样,蓄水箱1的外侧设有控制机构,恒温水浴箱的顶部设有应力加载机构,应力加载机构包括活动连接在恒温水浴箱顶部的覆压钢板10,以保证实验过程中上游水箱、下游水箱水位保持不变,多块覆压钢板10拼接后尺寸与中间岩样箱25的横截面积相同,恒温水浴箱内分别设有温度控制机构和监测机构,恒温水浴箱内还设有水位控制机构,用于模拟应力、渗流、化学、温度中二场、三场或四场耦合作用下,矿山开采过程中及矿山废弃后地下水污染情况及污染物运移规律,应力加载机构、温度控制机构、监测机构和水位控制机构分别与控制机构电性连接。

[0037] 本发明以蓄水箱1注入到恒温水浴箱中的化学污染物为研究对象,可同时改变中间岩样箱25表面压力,污染物浓度和场地温度,监测并记录某一时间段内污染物浓度分布

情况,实现多场耦合作用下污染物运移过程模拟,提高了多场耦合作用下污染物运移研究的准确性,使之测试结果更全面。

[0038] 进一步优化方案,恒温水浴箱包括中间岩样箱25,中间岩样箱25的两侧分别通过打孔钢板19连通有上游水箱24和下游水箱26,打孔钢板19上粘有一层薄的土工织物以防岩样流失,上游水箱24和下游水箱26内分别设有水位控制管6,上游水箱24内设有液位计8,用于观察内部液面位置,上游水箱24与中间岩样箱25之间设有水位控制机构,水位控制机构与打孔钢板19活动连接。实验时水流由上游水箱24流经中间岩样箱25至下游水箱26,模拟地下水流动过程,水位控制管6与水箱形成连通器,调节水位控制管6外侧端口的高度,实现在实验过程中对上下游水箱水位的控制。

[0039] 进一步优化方案,水位控制机构包括固接在打孔钢板19顶部的电机13,电机13位于打孔钢板19靠近中间岩样箱25的一侧,电机13的输出轴固接有主动齿轮14,主动齿轮14啮合有从动齿轮15,从动齿轮15内活动连接有螺杆16,螺杆16的底部固接有挡水板18的顶部,电机13与控制机构电性连接。

[0040] 进一步优化方案,打孔钢板19上固接有限位座17,从动齿轮15的一端位于限位座17内。

[0041] 进一步优化方案,应力加载机构包括设置在恒温水浴箱外侧的的支架21,支架21的顶部设有若干个推进油缸22,推进油缸22通过管路连通有液压站23,任一推进油缸22的底部穿过支架21并固接有覆压钢板10,覆压钢板10位于中间岩样箱25的正上方,液压站23与控制机构电性连接,实验时通过替换调节中间岩样箱25表面的覆压钢板10,控制箱中岩样所承受的整体压应力。

[0042] 进一步优化方案,温度控制机构包括设置在恒温水浴箱底面和侧壁上的电加热板7,电加热板7为陶瓷电加热板,电加热板7与控制机构电性连接,以给恒温水浴箱中的液体加热,达到恒温的目的,同时,通过控制系统控制恒温水浴箱内温度值在5℃-40℃范围内,并可进行调节。

[0043] 进一步优化方案,监测装置包括化学场监测、渗流场监测、温度场监测和应力场监测装置;化学场监测包括伸入中间岩样箱25内的陶土探头12,用于测量pH、水位、温度、电导率、氧化还原电位、溶解氧,其他水质指标通过取样测定;渗流场监测主要设置通过水箱和中间岩样箱25内放置测压探头连接水压监测仪(图中未显示)组成。实现了应力场、化学场、渗流场和温度场的四场耦合,使污染物运移过程所处的模拟环境更加接近真实的自然条件,科学、精准的模拟实现了矿山地下水污染物在多场耦合作用下运移过程。

[0044] 在中间岩样箱25的中部位置纵向等距离选取3个截面,每个界面上以3\*3的形式布置9个监测点,整体一共布设27个监测点,且同一竖直线上的3个监测点位于同一测量井11内;每个监测点位置分别埋置应力盒和陶土探头12用于探测该点处应力状态及污染物浓度,应力盒及陶土探头12的数据线通过中间岩样箱25背面预留的小孔引出连接至数据采集系统(图中未显示)。

[0045] 进一步优化方案,控制机构包括控制箱3和显示器4,显示器4、电机13、液压站23和电加热板7分别与显示器4电性连接。

[0046] 进一步优化方案,蓄水箱1设置并连接有出水管,出水管另一端经过水泵2连接上游水箱24,水泵2与显示器3电性连接,通过控制箱4控制流向上游水箱24中的水,确保控制

箱3中有充足是水量。

[0047] 一种矿山地下水污染的多场耦合模拟试验方法,包括以下步骤:

[0048] a、铺设岩石,在中间岩样箱25中铺设岩石,依据实际地层简化,在中间岩样箱25中分层堆叠不同粒径,不同种类的岩石;

[0049] b、模拟污染源,上游水箱24与蓄水箱1通过水泵2流入上游水箱24从而实现向中间岩样箱25供给污染物滤液,控制供给速度为某一恒定值,模拟污染源;

[0050] c、施加压力,在中间岩样箱25表面覆压钢板10,通过液压系统控制推进油缸22实现对岩样整体或局部所受压应力的控制;

[0051] d、加热,通过控制系统控制电加热板7,从而达到不同需求温度,实现不同温度的控制;

[0052] e、实时监测,在中间岩样箱25中,等间距选取3个截面,每个截面上以3\*3的形式设置9个测量井11,整体一共布设27个监测点,每个监测点位置分别布置应力盒和陶土探头12用以探测该点处应力状态及污染物浓度。

[0053] 在本发明的描述中,需要理解的是,术语“纵向”、“横向”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。

[0054] 以上所述的实施例仅是对本发明的优选方式进行描述,并非对本发明的范围进行限定,在不脱离本发明设计精神的前提下,本领域普通技术人员对本发明的技术方案做出的各种变形和改进,均应落入本发明权利要求书确定的保护范围内。



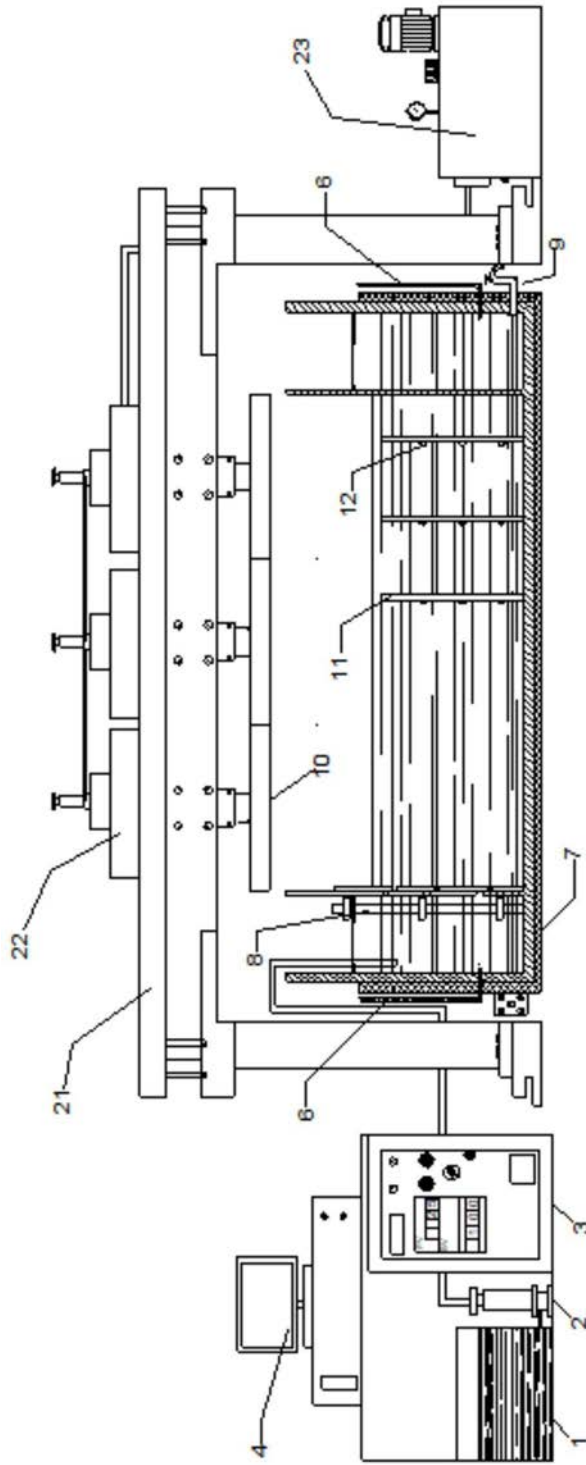


图1

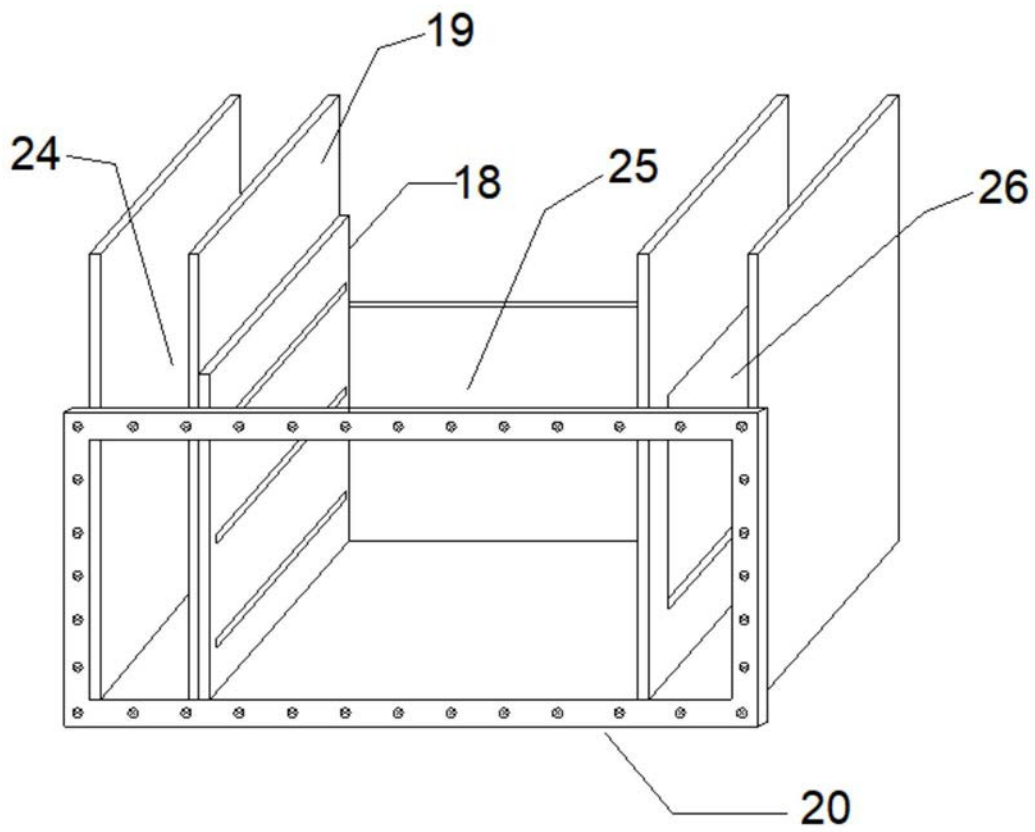


图2

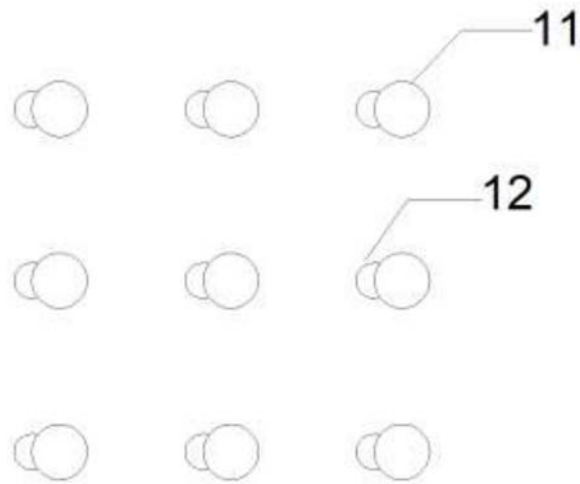


图3

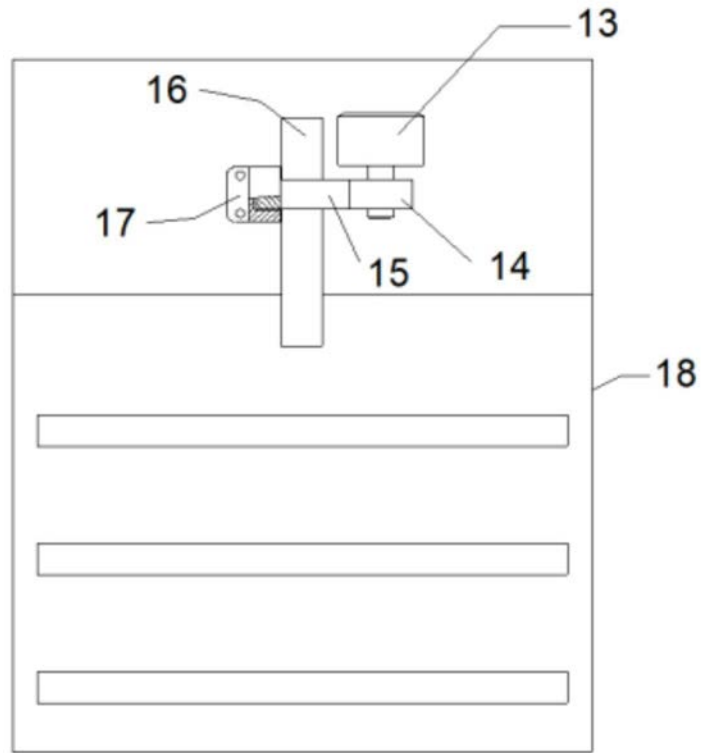


图4