



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105927199 B

(45)授权公告日 2018.03.23

(21)申请号 201610368863.3

C12R 1/01(2006.01)

(22)申请日 2016.05.30

审查员 温锐

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105927199 A

(43)申请公布日 2016.09.07

(73)专利权人 重庆交通大学

地址 400074 重庆市南岸区学府大道66号

(72)发明人 宋晨鹏 陈宇龙 卢义玉 张璇

葛兆龙 汤积仁 贾云中

(74)专利代理机构 重庆华科专利事务所 50123

代理人 康海燕

(51)Int.Cl.

E21B 43/26(2006.01)

E21B 43/22(2006.01)

C12N 1/20(2006.01)

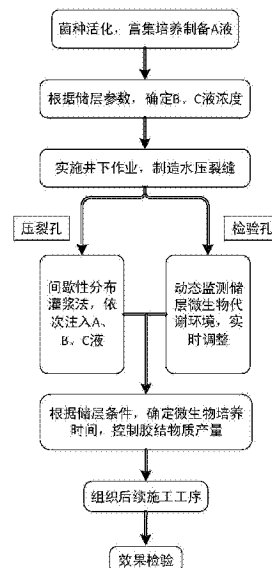
权利要求书1页 说明书4页 附图5页

(54)发明名称

一种强化松软煤层水力裂缝导流能力的方法

(57)摘要

本发明公开了一种强化松软煤层水力裂缝导流能力的方法,包括以下步骤:(1)将增殖培养所得的微生物培养液通过压裂孔注入目标储层,然后向目标储层注入固定液,再间歇性注入胶凝液,所述间歇性注入胶凝液至少包括一次胶凝液的注入过程和每次胶凝液注入完成后的间歇过程,所述微生物为巴氏生孢八叠球菌;(2)间歇性注入胶凝液完成后,按照井下水力压裂工序组织后续生产。本发明通过微生物及营养物质注入目标储层,并提供充分活化、生存和繁殖的条件,利用微生物自身的酶化作用,在水力裂缝面及周围煤体内生成具有胶凝性质的碳酸钙结晶,从而改造松软煤层气储层水力裂缝的力学强度和渗流能力。



1. 一种强化松软煤层水力裂缝导流能力的方法,其特征在于,包括以下步骤:

(1) 将增殖培养所得的微生物培养液通过压裂孔注入目标储层,然后向目标储层注入固定液,再间歇性注入胶凝液,所述间歇性注入胶凝液至少包括一次胶凝液的注入过程和每次胶凝液注入完成后的间歇过程,所述微生物为巴氏生孢八叠球菌;所述的固定液为 CaCl_2 溶液,其浓度为 $0.04\sim 0.06\text{mol/L}$;所述的胶凝液为 CaCl_2 和尿素的混合液,混合液浓度为 $0.5\sim 1.0\text{mol/L}$,其中 CaCl_2 和尿素的浓度比为 $1:1$;

(2) 间歇性注入胶凝液完成后,按照井下水力压裂工序组织后续生产。

2. 根据权利要求 1 所述的一种强化松软煤层水力裂缝导流能力的方法,其特征在于,步骤(1)所述增殖培养采用的培养基,其组分及浓度分别为:蛋白胨 $4.5\sim 5.5\text{g/L}$,肉浸膏 $2.5\sim 3.5\text{g/L}$,尿素 $18\sim 22\text{g/L}$, $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ $8\sim 12\text{mg/L}$ 。

3. 根据权利要求 1 所述的一种强化松软煤层水力裂缝导流能力的方法,其特征在于,步骤(1)中固定液的注入速度为 $10\sim 20\text{L/min}$,注入固定液时,以微生物培养液和固定液流体前缘锋面重合为准。

4. 根据权利要求 1 所述的一种强化松软煤层水力裂缝导流能力的方法,其特征在于,步骤(1)中所述胶凝液的注入过程,注入速度为 $1\sim 6\text{L/min}$,注入时间为 12h ,所述间歇过程,间歇时间为 $12\sim 24\text{h}$ 。

5. 根据权利要求 4 所述的一种强化松软煤层水力裂缝导流能力的方法,其特征在于,步骤(1)中所述胶凝液的注入过程为 $1\sim 7$ 次。

6. 根据权利要求 1 所述的一种强化松软煤层水力裂缝导流能力的方法,其特征在于,在间歇性注入胶凝液的过程中,控制所述目标储层内温度为 $20\sim 37^\circ\text{C}$,目标储层内混合液 pH 为 $6.0\sim 9.0$,DO 值为 $2\sim 3\text{mg/L}$ 。

7. 根据权利要求 6 所述的一种强化松软煤层水力裂缝导流能力的方法,其特征在于,目标储层内混合液的 pH 采用浓度为 0.1mol/L 的 NaOH 溶液或浓度为 0.1mol/L 的 HCl 溶液进行调整。

8. 根据权利要求 1 所述的一种强化松软煤层水力裂缝导流能力的方法,其特征在于,在压裂孔沿目标储层走向两侧及倾向两侧设有检测目标储层内环境参数变化的检验孔。

一种强化松软煤层水力裂缝导流能力的方法

技术领域

[0001] 本发明属于煤矿井下水力压裂领域,具体涉及一种强化松软煤层水力裂缝导流能力的方法。

背景技术

[0002] 水力压裂能够促使煤层原生裂隙的延伸和贯通,为煤层气运移提供通道,可有效提高煤层气产量。水力压裂法是煤层气地面开发中应用最为广泛的储层改造技术,也是近几年我国煤矿区煤层气井下抽采中一种快速发展的增渗、增产方法。对于结构较为单一、力学强度较高、裂缝导流能力较好的中硬及硬煤煤层,水力压裂技术有较好的抽采效果,但是对于松软煤层,由于煤质松散、煤体颗粒小(粒径小于1mm)、力学强度低,造成裂缝闭合压力低、速度快、渗流能力差,使得煤层渗透率得不到根本性提高。即使采用支撑剂对压裂裂缝进行支撑,煤体颗粒也极易聚集嵌入支撑剂缝隙,阻塞煤层气运移通道,同时受井下巷道尺寸限制,在煤矿区井下压裂施工中,也无法采用加砂设备。因此,松软煤层煤层气高效抽采一直未能得到有效解决。

[0003] 公开号为CN102116168A的专利文献公开了一种适用于低渗透、松软煤层抽采瓦斯的系统及方法,该系统既能够用于钻孔,弥补松软煤层塌孔不便改造的难题,又能在钻孔后及时对煤体加压造穴后进行瓦斯抽采。该发明将钻孔和加压造穴一体化,通过造穴改善透气性,一定程度上防止了煤孔坍塌无法继续进行储层改造的问题,但是该方法对设备要求高,对瓦斯抽采率的提高不明显。

发明内容

[0004] 本发明的目的主要是针对松软煤层煤质松散、煤体力学强度低,导致水力压裂技术对松软煤层煤层气抽采效果差的问题,提供一种强化松软煤层水力裂缝导流能力的方法。

[0005] 本发明的具体技术方案为:一种强化松软煤层水力裂缝导流能力的方法,包括以下步骤:

[0006] (1) 将增殖培养所得的微生物培养液通过压裂孔注入目标储层,然后向目标储层注入固定液,再间歇性注入胶凝液,所述间歇性注入胶凝液至少包括一次胶凝液的注入过程和每次胶凝液注入完成后的间歇过程,所述微生物为巴氏生孢八叠球菌;

[0007] (2) 间歇性注入胶凝液完成后,按照井下水力压裂工序组织后续生产。

[0008] 本发明将增殖培养后的巴氏生孢八叠球菌(*Sporosarcina pasteurii*)及营养物质注入目标储层,并提供充分活化、生存和繁殖的条件,加速微生物的酶化作用。巴氏生孢八叠球菌通过自身的酶化作用,将代谢产生的高活性脲酶,作用于尿素的水解反应,使其分解生成 CO_3^{2-} ,同时细胞壁表面的负电荷不断吸附周围溶液中的 Ca^{2+} ,并与 CO_3^{2-} 结合生成碳酸钙结晶,从而在细胞膜表面析出以细胞为晶核的碳酸钙晶体。随着晶体的不断生长,细胞难以摄取营养物质而死亡,最终晶体停止生长,根据巴氏生孢八叠球菌在储层所处的位

置不同,碳酸钙结晶的作用可分为对裂缝周围煤体的诱导黏合作用和对裂缝缝面的表面覆膜作用。

[0009] 本发明通过微生物的作用,在水力裂缝面及周围煤体内生成具有胶凝性质的碳酸钙结晶,从而改造松软煤层气储层水力裂缝的力学强度和渗流能力。一方面,在水力裂缝面形成的碳酸钙结晶,对裂缝可以起到类似于支撑剂的支撑作用;另一方面,由于微生物自身能够通过复制,在煤层孔隙内大量繁殖,并且具有运动的特性,可以在水力裂缝周围煤体内生成碳酸钙结晶,将松散结构的煤体颗粒粘结,提高煤体力学强度,减缓裂缝闭合速率,同时减少煤粉对水力裂缝的堵塞。此外,由于微生物具备的微观胶结结构特性,其诱导出的胶结物质优先沉积在煤体颗粒接触点边角部分,不会占据大孔隙通道,因此,可以通过控制培养条件,调节碳酸钙沉淀的沉淀速率、产量和结晶形态,以保证煤体的渗透系数不发生较大改变。

[0010] 作为优选,步骤(1)所述增殖培养采用的培养基,其组分及浓度分别为:蛋白胨4.5~5.5g/L,肉浸膏2.5~3.5g/L,尿素18~22g/L, $MnSO_4 \cdot H_2O$ 8~12mg/L,其中溶剂为水。配制好的增殖培养基可以在120~125℃高温蒸汽灭菌20min后,放入无菌操作台冷却待用。

[0011] 作为优选,步骤(1)所述的固定液为 $CaCl_2$ 溶液,其浓度为0.04~0.06mol/L。

[0012] 作为优选,步骤(1)所述的胶凝液为 $CaCl_2$ 和尿素的混合液,混合液浓度为0.5~1.0mol/L,其中 $CaCl_2$ 和尿素的浓度比为1:1。经适宜浓度的胶凝液固化后,煤体强度更高,渗透率变化更平缓、更均匀,固定液和胶凝液以低浓度为宜。

[0013] 作为优选,步骤(1)中固定液的注入速度为单孔10~20L/min,注入固定液时,以微生物培养液和固定液流体前缘锋面重合为准。向目标储层低速注入固定液,利用固定液中的 Ca^{2+} 的絮凝作用实现微生物在储层中的均匀固定,注入固定液时,以微生物培养液和固定液流体前缘锋面重合为基础,因为在前缘锋面重合的条件下,微生物固定效率最高。

[0014] 作为优选,步骤(1)中所述胶凝液的注入过程,注入速度为1~6L/min,连续注入12h,所述间歇过程,间歇时间为12~24h。低速间歇性注入胶凝液过程中,间歇时间要足够长,以保证微生物的充分转化,使得吸附在水力裂缝表面及其周围煤体中的微生物不断矿化生成碳酸钙凝胶。

[0015] 作为优选,步骤(1)中所述胶凝液的注入过程为1~7次。间歇过程即微生物的培养过程,根据目标煤层气储层的煤层孔径分布和级配曲线,确定微生物培养时间,由于微生物细胞具有一定的尺寸,一般会在小于0.4 μm 的孔隙内运动,级配较差的煤层,应适当延长培养时间,即增加间歇次数。

[0016] 作为优选,步骤(1)所述间歇性注入胶凝液的过程中,控制目标储层内温度为20~37℃,目标储层内混合液pH为6.0~9.0,DO值为2~3mg/L。一般井下储层温度为适宜的代谢温度,溶解氧主要采用注入 H_2O_2 方式供氧,通过向储层注入 H_2O_2 使储层DO值处于适宜范围,储层内混合液的pH值采用浓度为0.1mol/L的NaOH溶液和浓度为0.1mol/L的HCl溶液进行调整,储层中微生物的活性通过测定储层混合液的OD₆₀₀值进行衡量,微生物数量通过下式换算:

[0017] $Y = 8.59 \times 10^7 Z^{1.3627}$, Z为OD₆₀₀值

[0018] 作为优选,在压裂孔沿目标储层走向两侧及倾向两侧设有检测目标储层内环境参数变化的检验孔。检验孔主要用于监测目标煤层气储层的温度、溶解氧浓度、PH值及不同区

位微生物数量,实际检验孔数量根据现场效果动态增减,通过检测孔监测储层内的环境参数变化,根据检验孔的监测反馈,采用动态施工法,实时调整施工工艺参数,维护储层微生物代谢环境,保证碳酸钙的沉积速率。

[0019] 本发明的有益效果是:本发明通过微生物的代谢活动,短时间内即可以生成数量可观的胶结物质,从而达到改造裂缝及其周围煤体的作用,技术易于实现,而且环境友好。

附图说明

[0020] 图1是本发明的技术流程图;

[0021] 图2是本发明在实施井下水力压裂时压裂孔周围检验孔布置示意图;

[0022] 图3是微生物诱导碳酸钙沉积示意图;

[0023] 图4是压裂后煤层瓦斯含量对比图;

[0024] 图5是单孔抽采纯量对比图;

[0025] 图6是抽采流量对比图;

[0026] 图7是透气性系数对比图。

具体实施方式

[0027] 下面通过具体实施例,对本发明的技术方案做进一步说明。

[0028] 本发明使用的巴氏生孢八叠球菌 (*Sporosarcina pasteurii*) 购于中国微生物菌种保藏管理委员会普通微生物中心,本发明所采用其他原料和设备若非特指,均可从市场购得或是本领域常用的,实施例中的方法,如无特别说明,均为本领域的常规方法。

[0029] 实施例1

[0030] 使用蒸馏水配制增殖培养所需的培养基,培养基的组分及浓度分别为蛋白胨 5.0g/L,肉浸膏3.0g/L,尿素20.0g/L, $MnSO_4 \cdot H_2O$ 10mg/L,配制好的培养基以121℃高温蒸汽灭菌20min后,放入无菌操作台冷却待用。购买的菌种为冻干粉状态,真空保存于安踏瓶内,破裂安踏瓶,将冻干粉接种至含有10mL培养基的三角瓶中培养,三角瓶置于培养箱内,至三角瓶内有菌落生成说明活化成功,将活化后的菌液接种至含有100mL培养基的三角瓶内,进行增殖培养。

[0031] 配制固定液和胶凝液,固定液为0.05mol/L的 $CaCl_2$ 溶液,胶凝液为0.5mol/L的 $CaCl_2$ 和尿素的混合液,其中 $CaCl_2$ 和尿素的浓度比为1:1。

[0032] 如图2所示,在施工巷道内布置水力压裂钻孔,并在压裂孔周围沿煤层气储层走向两侧倾和向两侧布置检验孔(检1-1,检1-2,检2-1,检2-2,等),其中检验孔1-1、1-2、1-3、1-4与压裂孔的距离 L_1 为20m,同侧检验孔之间的终孔间距 L_2 为10m,钻孔布置完毕后实施水力压裂工作。

[0033] 首先通过压裂孔向储层注入增殖培养所得的培养液,再注入固定液,注入固定液的速度为10L/min,注入固定液时,以培养液和固定液流体前缘锋面重合为准,最后注入胶凝液,胶凝液以5L/min的速率连续注入12h,间歇12h后再次以相同速率注入,胶凝液注入过程供间歇4次。

[0034] 在注入胶凝液及间歇的过程中,通过检验孔返回储层内的混合液,检测储层内代谢环境的DO值和pH值,整个过程中维持储层混合液pH为6.0,DO值为2mg/L,其中井下储层的

温度为24℃。

[0035] 储层改造结束后,通过煤层气储层走向和倾向的检验孔考察瓦斯含量、抽采浓度、流量及透气性系数。

[0036] 实施例2

[0037] 实施例2与实施例1不同点在于:(1)固定液浓度为0.06mol/L,胶凝液浓度为1.0mol/L;(2)储层混合液pH为9.0,D0值为3mg/L,储层温度为35℃;(3)注入胶凝液过程共间歇2次。

[0038] 储层改造结束后,通过煤层气储层走向和倾向的检验孔考察瓦斯含量、抽采浓度、流量及透气性系数。

[0039] 实施例3

[0040] 实施例3与实施例1不同的在于:(1)培养基组分及浓度分别为蛋白胨5.5g/L,肉浸膏3.5g/L,尿素22g/L, $MnSO_4 \cdot H_2O$ 8~12mg/L;(2)固定液注入速度为18L/min,胶凝液注入速度为1.5L/min,胶凝液注入后间歇24h,整个注入过程共间歇6次。

[0041] 储层改造结束后,通过煤层气储层走向和倾向的检验孔考察瓦斯含量、抽采浓度、流量及透气性系数。

[0042] 实施例4

[0043] 选择储层赋存条件与实施例1相同或差别较小的煤层,以相同的方式钻进压力钻孔并进行封孔,养护混凝土达到压裂要求后,连接压裂设备及管路实施压裂作业。压裂作业实施后,在压裂孔周边布置检验孔,通过检验孔考察煤层气储层瓦斯含量、抽采浓度、流量及透气性系数。

[0044] 对实施例1~4中瓦斯含量、抽采浓度、流量及透气性系数的分析。

[0045] 如图4所示,储层内由于高压水的驱替作用,游离瓦斯向压裂范围延伸方向运移,越靠近压裂孔,瓦斯含量越高。原始煤层瓦斯含量是相同的,实施例1~3改造后的煤层瓦斯含量比实施例4未改造的同等条件储层的煤层瓦斯含量平均低20.8%,且压裂影响范围比未采取措施储层大40%。

[0046] 如图5所示,实施例1~3对储层实施改造后的单孔抽采纯量显著增加,且维持在较高水平,实施改造的储层单孔抽采纯量平均提高1.68倍。

[0047] 如图6所示,通过对比抽采数据可知,实施例1~3中,储层经改造后,抽采流量平均增大了2.71倍,抽采效果得到改善。

[0048] 实施压裂措施后,采用钻孔径向不稳定流量法测定煤层透气性系数,综合分析计算现场和实验室数据,对比实施例1~4压裂区域煤层透气性情况,结果如图7所示,实施例1~3中,实施改造措施后压裂区域的煤层透气性系数平均增加11.56倍。

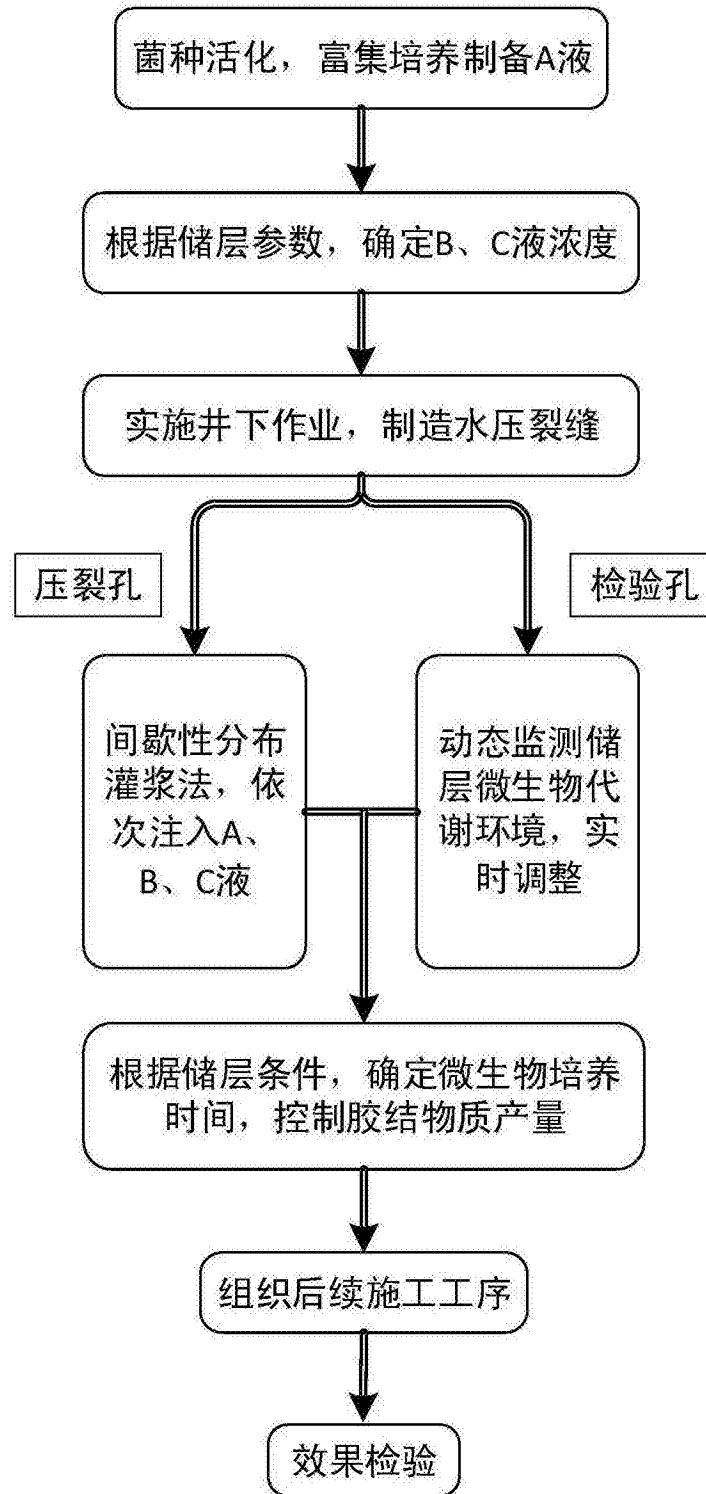


图1

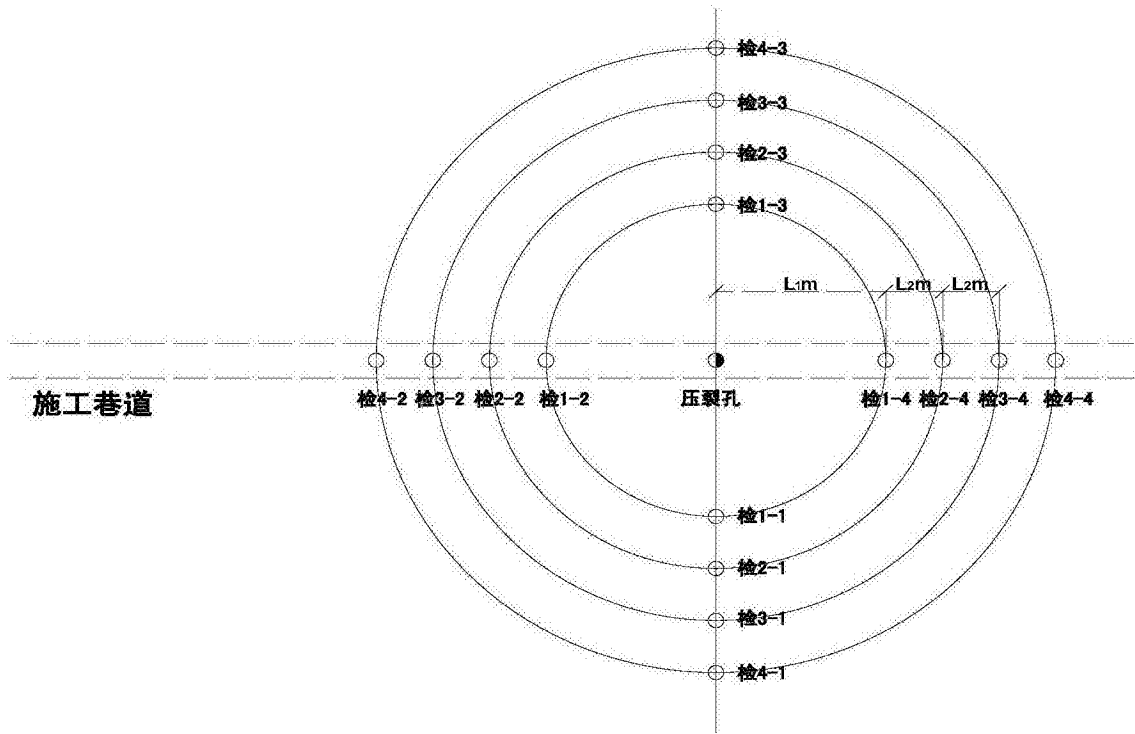


图2

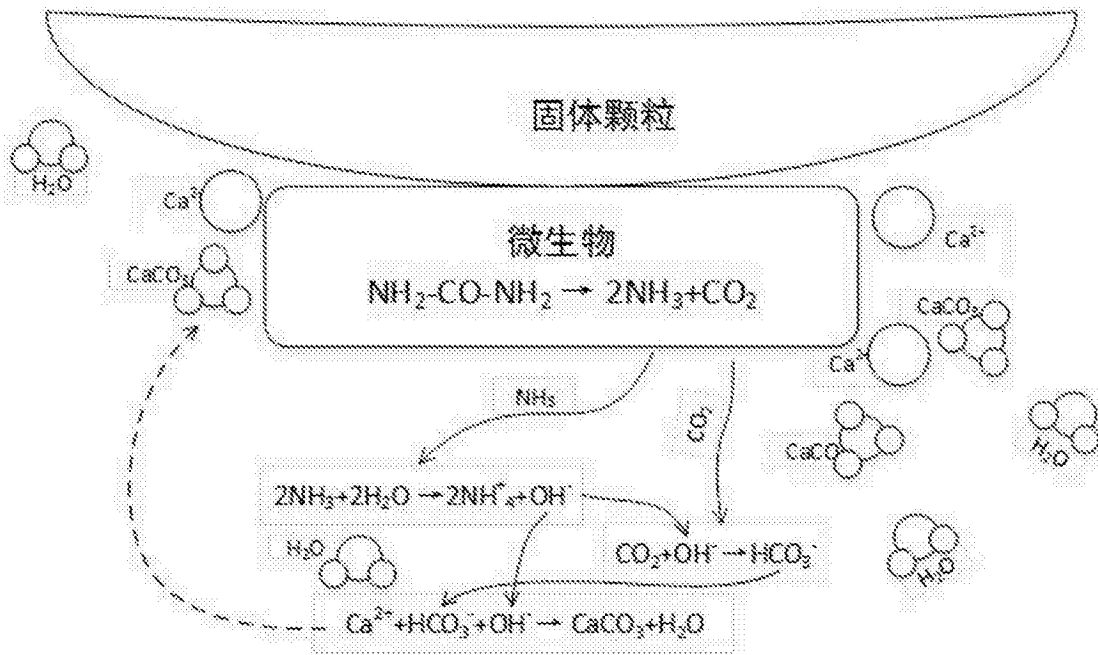


图3

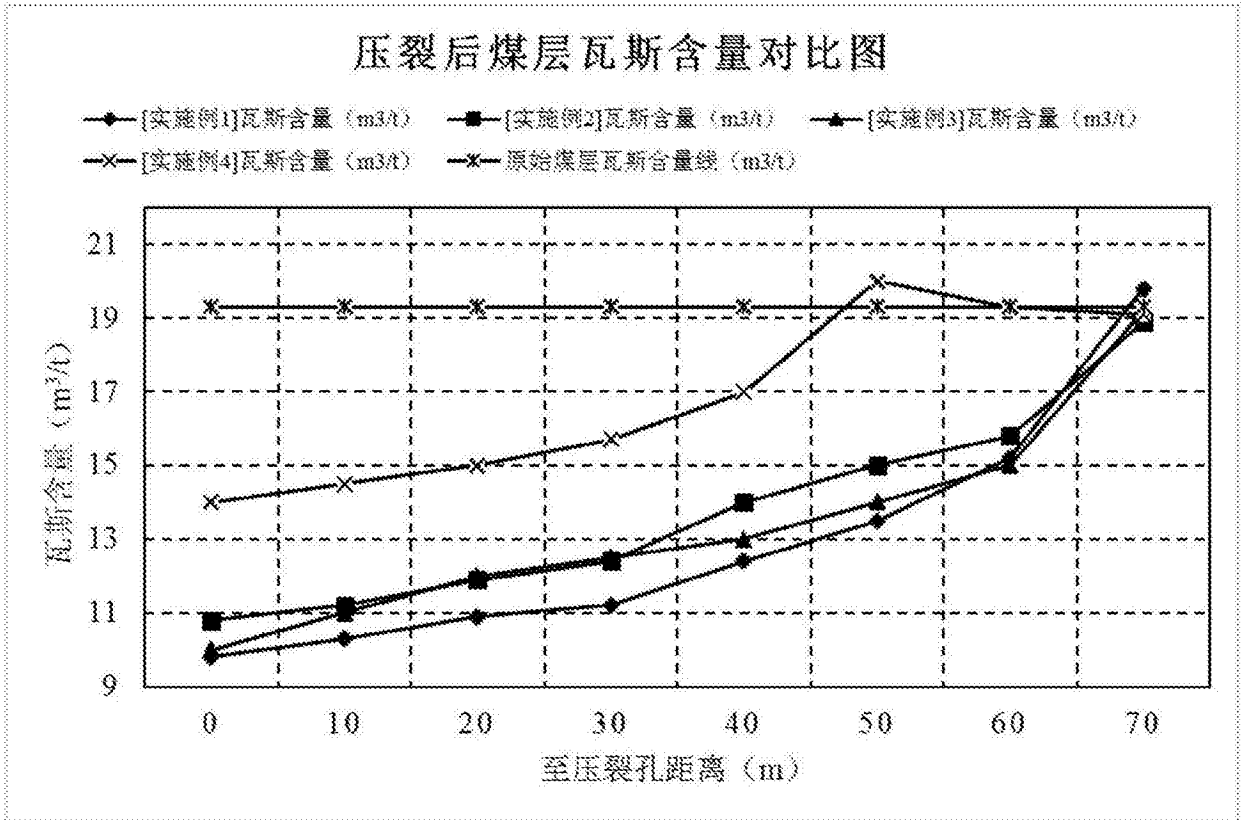


图4

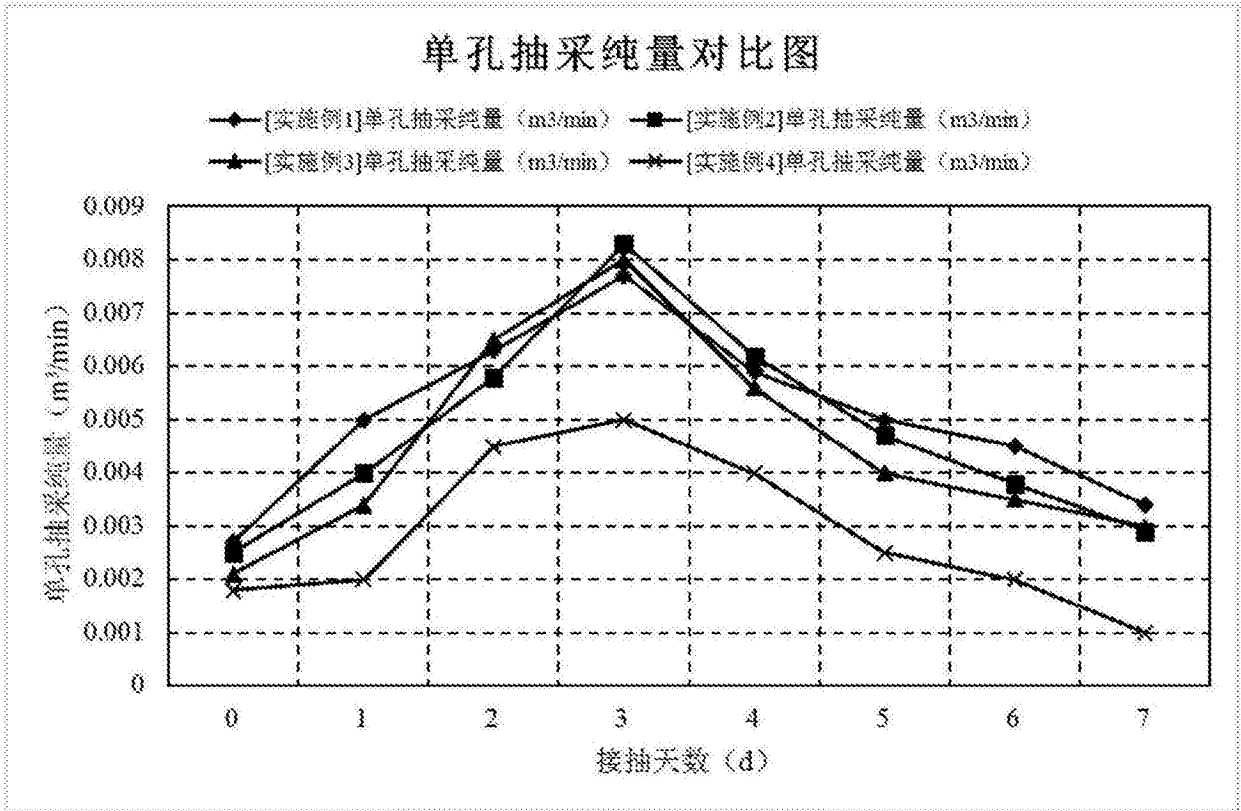


图5

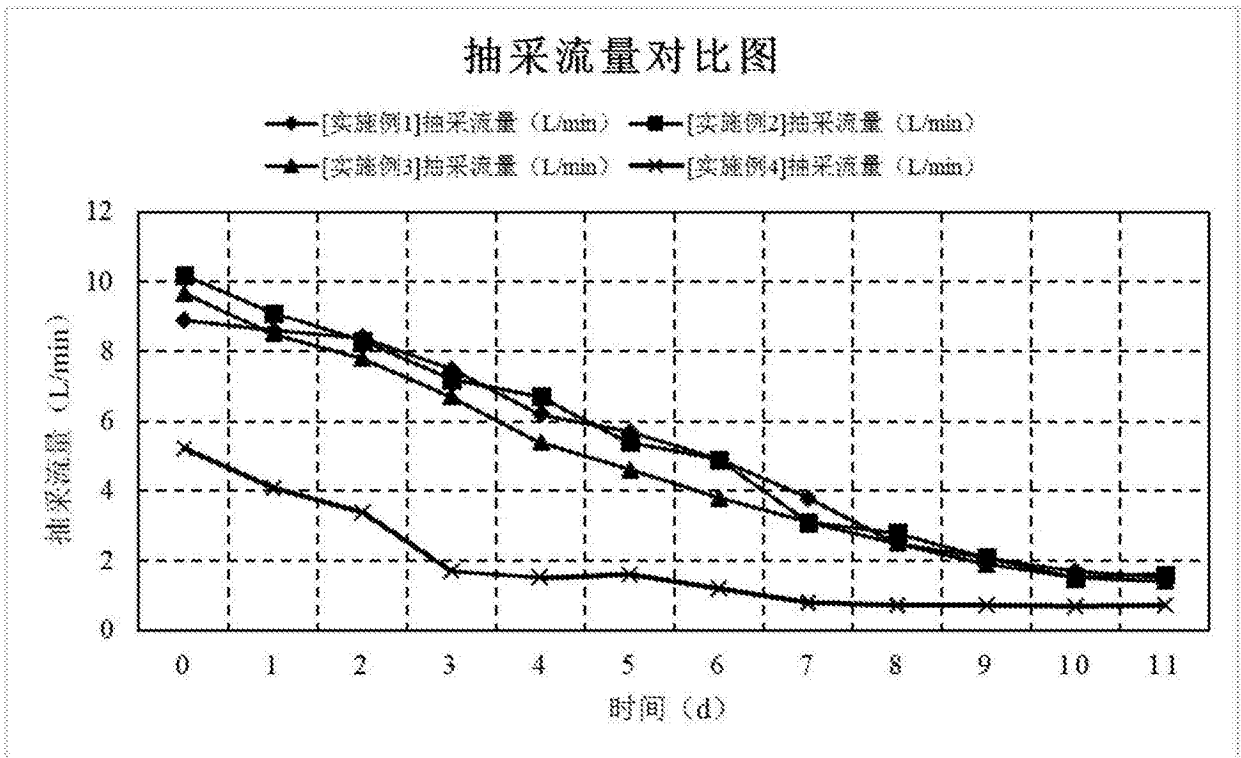


图6

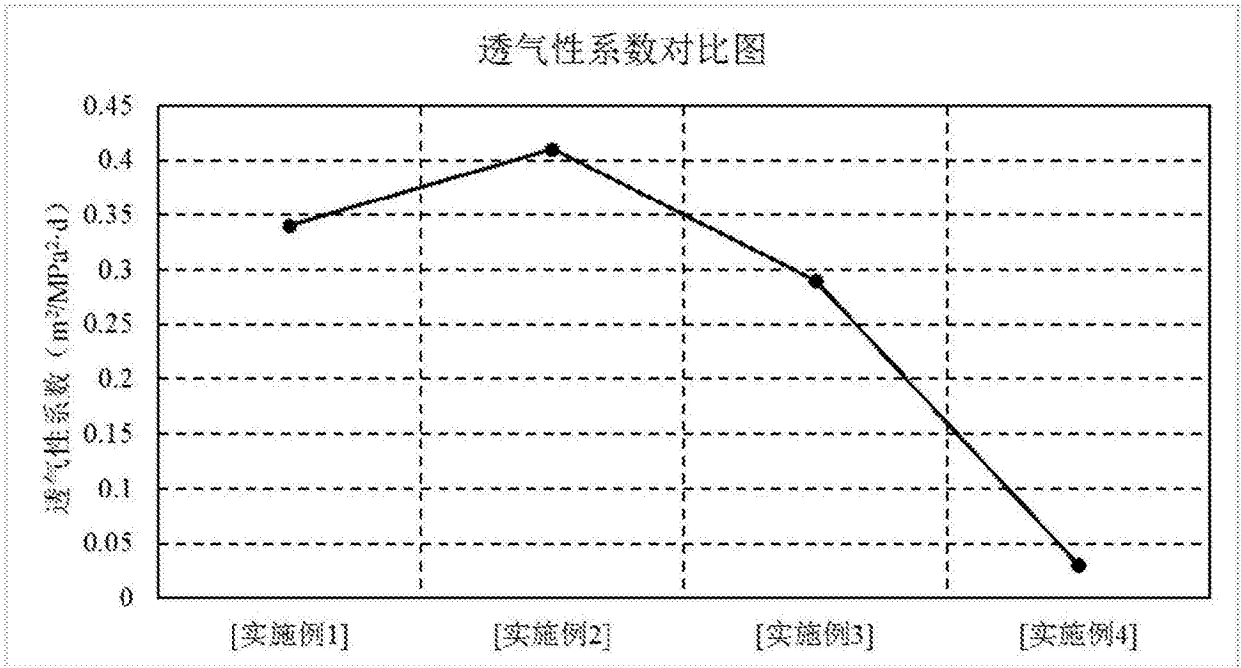


图7