



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103133028 A

(43) 申请公布日 2013.06.05

(21) 申请号 201310078030.X

(22) 申请日 2013.03.12

(71) 申请人 河南理工大学

地址 454003 河南省焦作市高新区世纪大道  
2001号

(72) 发明人 刘勇 魏建平 王登科 温志辉  
刘笑天 卢义玉 左伟芹

(74) 专利代理机构 郑州联科专利事务所(普通  
合伙) 41104

代理人 时立新

(51) Int. Cl.

E21F 7/00(2006.01)

E21B 43/26(2006.01)

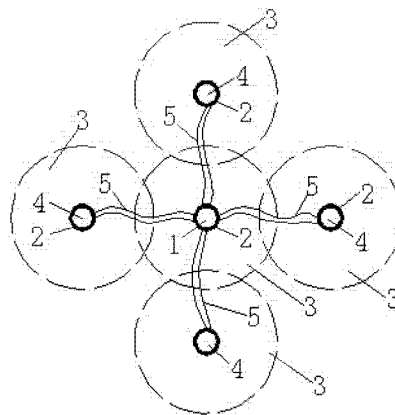
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

## (54) 发明名称

井下煤层水力压裂裂缝导向扩展的方法

## (57) 摘要

本发明公开了一种井下煤层水力压裂裂缝导向扩展的方法,包括如下步骤:(一)钻进压裂钻孔以及导向钻孔,压裂钻孔为一个,导向钻孔为环绕压裂钻孔周圈间隔设置,对压裂钻孔以及每个导向钻孔均分别进行径向的水射流割缝,水射流割缝通过高压水射流割缝装置实现,(二)对压裂钻孔以及每个导向钻孔均分别进行封孔,(三)对压裂钻孔进行水力压裂。本发明提供了一种控制压裂裂缝在煤层中扩展的方法,避免了裂缝的无序扩展对煤层顶底板造成次生灾害,同时该方法能够降低压裂区域内有效应力,减缓裂缝的闭合、强化裂缝的导流能力,继而达到有效治理瓦斯、高效抽采瓦斯的目的。



1. 一种井下煤层水力压裂裂缝导向扩展的方法,其特征在于:包括如下步骤:(一)钻进压裂钻孔以及导向钻孔,压裂钻孔为一个,导向钻孔为环绕压裂钻孔周圈间隔设置,对压裂钻孔以及每个导向钻孔均分别进行径向的水射流割缝,水射流割缝通过高压水射流割缝装置实现,(二)对压裂钻孔以及每个导向钻孔均分别进行封孔,(三)对压裂钻孔进行水力压裂。

2. 如权利要求 1 所述的井下煤层水力压裂裂缝导向扩展的方法,其特征在于:步骤(一)中,水射流割缝时:首先确定水射流割缝深度  $R_s$ :

$$\frac{R_s C_f}{d} = 1.128 \left( 1 - 0.5 \frac{\sigma}{P} \right) \left( 1 - e^{-\gamma \frac{C_f P_0}{\sigma u}} \right)$$

上式中,  $R_s$  为水射流割缝深度(单位 mm),  $C_f$  为水的动摩擦系数,  $d$  为高压水射流割缝装置的喷嘴直径(单位 mm),  $\sigma$  为煤的抗压强度(单位 MPa),  $P$  为高压水射流割缝装置的喷嘴出口压力(MPa),  $\gamma$  为阻尼系数,  $u$  为高压水射流割缝装置的钻杆旋转速度(r/s);  $d_l$  为钻杆直径

根据水射流割缝深度计算塑性区半径  $R_p$  的大小:

$$R_p = R_s \left[ \frac{(p_0 + c \cos \phi)(1 - \sin \phi)}{c \cot \phi} \right]^{\frac{1 - \sin \phi}{2 \sin \phi}}$$

式中,  $R_p$  为塑性区半径(单位 m),  $p_0$  为原岩应力(单位 MPa),  $c$  为内聚力(单位 MPa),  $\phi$  为内摩擦角(单位 $^{\circ}$ );

确定压裂钻孔位置后,按照  $D \leq 2R_p$  确定压裂钻孔与导向钻孔的间距,在压裂钻孔周边呈环形布置导向钻孔,  $D$  为压裂钻孔与导向钻孔的中心间距。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的井下煤层水力压裂裂缝导向扩展的方法,其特征在于:在步骤(二)中,通过封孔装置对压裂钻孔以及导向钻孔进行封孔,封孔装置包括木塞、注浆管和注水管,注浆管和注水管均穿插在木塞上,注浆管后端设有球形第二截止阀,注水管前端口周圈固定有棉纱,注水管前端口与一根筛管的后端口对接,筛管的管壁设置筛孔,筛管的前端口内设堵头,封孔时,将注水管前端的筛管送至钻孔孔底处,木塞固定在钻孔孔口处,注浆管的前端口位于木塞与棉纱之间,注浆管后端连接注浆泵,通过注浆泵将水泥浆注入钻孔内,直至水泥浆浆液从注水管返出,停止注浆,水泥浆凝固后,再进行步骤(三)。

4. 如权利要求 3 所述的井下煤层水力压裂裂缝导向扩展的方法,其特征在于:导向钻孔内的封孔装置注水管后端设有第二压力表和开关阀,开关阀位于第二压力表后侧。

5. 如权利要求 4 所述的井下煤层水力压裂裂缝导向扩展的方法,其特征在于:所述高压水射流割缝装置包括钻机、钻机上设置的钻杆、与钻杆后端连接的第一输水管路、连接在钻杆前端的钻头以及设置在钻杆与钻头之间的割缝器,割缝器设有径向的喷嘴,第一输水管路设有密封输液器,第一输水管路通过密封输液器连接钻杆后端。

6. 如权利要求 5 所述的井下煤层水力压裂裂缝导向扩展的方法,其特征在于:在步骤(三)中,对压裂钻孔进行水力压裂封孔时,将压裂钻孔内封孔装置的注水管连接水力压裂装置,水力压裂装置包括第二输水管路,并且第二输水管路的出水端连接注水管的后端。

## 井下煤层水力压裂裂缝导向扩展的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种煤矿安全控制方法,尤其涉及一种煤矿井下强化瓦斯抽采的高效水力压裂方法。

### 背景技术

[0002] “水力化”作为高效瓦斯抽采及瓦斯灾害治理技术近年来得到了广泛的推广应用,尤其对于现在高地应力、高瓦斯压力、高瓦斯含量的复杂赋存条件,“水力化”技术具有广泛的应用前景。水力压裂具有卸压范围广、工艺操作简单等优点,大大减少了钻尺量,提高了效率。但随着煤层埋深的不断增加,地应力分布的复杂化,导致起裂压力不断增大,裂缝无序扩展,从而引起煤层顶底板原生裂隙贯通、形成次生裂隙,使顶底板破碎程度增大,支护难度加大。同时,高地应力加剧了压裂裂缝闭合,裂缝导流能力降低,现场试验表明实施水力压裂后,裂缝仅在 1-2 周内保持较高的导流能力,之后因裂缝的闭合恢复到原始水平。如何控制裂缝始终在煤层中扩展及强化裂缝导流能力尤为重要。

[0003] 国内对于水力压裂的专利均专注于工艺及装置。如专利公开号为:CN101581231、名称为“穿层钻孔水力压裂疏松煤体瓦斯抽放方法”的专利,利用钻孔疏松煤体使裂缝始终在疏松煤体中扩展,但由于受钻孔直径的限制,只能疏松附近小范围内煤体,所以如果要保证方法的顺利实施,仍需较大钻孔工作量。专利公开号为:CN102071921A、名称为“井下钻孔钻压一体化分段压裂装置及抽采瓦斯工艺”的专利仅着重于水力压裂工艺,而没有考虑裂缝的扩展及闭合。专利公开号为:CN202023547U,专利“煤矿井下脉动水力压裂设备”的专利,采用脉动注水泵产生的脉动压力进行压裂,同样没有考虑裂缝的扩展及闭合。

### 发明内容

[0004] 本发明为克服现有技术的不足,提供了一种控制压裂裂缝在煤层中扩展的方法,避免了裂缝的无序扩展对煤层顶底板造成次生灾害,同时该方法能够降低压裂区域内有效应力,减缓裂缝的闭合、强化裂缝的导流能力,继而达到有效治理瓦斯、高效抽采瓦斯的的目的。

[0005] 为实现上述目的,本发明采用如下技术方案:一种井下煤层水力压裂裂缝导向扩展的方法,包括如下步骤:(一)钻进压裂钻孔以及导向钻孔,压裂钻孔为一个,导向钻孔为环绕压裂钻孔周圈间隔设置,对压裂钻孔以及每个导向钻孔均分别进行径向的水射流割缝,水射流割缝通过高压水射流割缝装置实现,(二)对压裂钻孔以及每个导向钻孔均分别进行封孔,(三)对压裂钻孔进行水力压裂。

[0006] 步骤(一)中,水射流割缝时:首先确定水射流割缝深度  $R_s$  :

$$\frac{R_s C_f}{d} = 1.128 \left( 1 - 0.5 \frac{\sigma}{P} \right) \left( 1 - e^{-\frac{7.1 C_f P d}{\sigma R_s}} \right)$$

上式中,  $R_s$  为水射流割缝深度(单位 mm),  $C_f$  为水的动摩擦系数,  $d$  为高压水射流割缝装

置的喷嘴直径(单位 mm),  $\sigma$  为煤的抗压强度(单位 MPa),  $P$  为高压水射流割缝装置的喷嘴出口压力(MPa),  $\eta$  为阻尼系数,  $u$  为高压水射流割缝装置的钻杆旋转速度(r/s);  $d_1$  为钻杆直径

根据水射流割缝深度计算塑性区半径  $R_p$  的大小:

$$R_p = R_s \left[ \frac{(p_0 + c \cos \phi)(1 - \sin \phi)}{c \cot \phi} \right]^{\frac{1 - \sin \phi}{2 \sin \phi}}$$

式中,  $R_p$  为塑性区半径(单位 m),  $P_0$  为原岩应力(单位 MPa),  $c$  为内聚力(单位 MPa),  $\phi$  为内摩擦角(单位°);

确定压裂钻孔位置后,按照  $D \leq 2R_p$  确定压裂钻孔与导向钻孔的间距,在压裂钻孔周边呈环形布置导向钻孔,  $D$  为压裂钻孔与导向钻孔的中心间距。

[0007] 在步骤(二)中,通过封孔装置对压裂钻孔以及导向钻孔进行封孔,封孔装置包括木塞、注浆管和注水管,注浆管和注水管均穿插在木塞上,注浆管后端设有球形第二截止阀,注水管前端口周圈固定有棉纱,注水管前端口与一根筛管的后端口对接,筛管的管壁设置筛孔,筛管的前端口内设堵头,封孔时,将注水管前端的筛管送至钻孔孔底处,木塞固定在钻孔孔口处,注浆管的前端口位于木塞与棉纱之间,注浆管后端连接注浆泵,通过注浆泵将水泥浆注入钻孔内,直至水泥浆浆液从注水管返出,停止注浆,水泥浆凝固后,再进行步骤(三)。

[0008] 导向钻孔内的封孔装置注水管后端设有第二压力表和开关阀,开关阀位于第二压力表后侧。

[0009] 所述高压水射流割缝装置包括钻机、钻机上设置的钻杆、与钻杆后端连接的第一输水管路、连接在钻杆前端的钻头以及设置在钻杆与钻头之间的割缝器,割缝器设有径向的喷嘴,第一输水管路设有密封输液器,第一输水管路通过密封输液器连接钻杆后端。

[0010] 在步骤(三)中,对压裂钻孔进行水力压裂封孔时,将压裂钻孔内封孔装置的注水管连接水力压裂装置,水力压裂装置包括第二输水管路,并且第二输水管路的出水端连接注水管的后端。

[0011] 本发明所述的井下煤层水力压裂裂缝导向扩展的方法,其有益效果为:通过在煤层中实施定向缝、形成连续塑性区,能够实现降低煤层起裂压力、控制裂缝在煤层中有序扩展及减缓压裂裂缝闭合,从而达到有效压裂煤层、强化瓦斯抽采、有效治理瓦斯灾害的目的。

## 附图说明

[0012] 图 1 是本发明的钻孔分布的结构示意图;

图 2 是高压水射流割缝装置的视图;

图 3 是封孔装置的结构示意图;

图 4 是水力压裂装置的结构示意图。

## 具体实施方式

[0013] 由图 1- 图 4 所示的一种井下煤层水力压裂裂缝导向扩展的方法,包括如下步骤:

(一) 钻进压裂钻孔 1 以及导向钻孔 4, 压裂钻孔 1 为一个, 导向钻孔 4 为多个, 导向钻孔 4 为环绕压裂钻孔 1 周圈间隔设置, 对压裂钻孔 1 以及每个导向钻孔 4 均分别进行径向的水射流割缝, 水射流割缝通过高压水射流割缝装置实现, 水射流割缝时: 首先确定水射流割缝深度  $R_s$ :

$$\frac{R_s C_f}{d} = 1.128 \left( 1 - 0.5 \frac{\sigma}{P} \right) \left( 1 - e^{-7.1 \frac{C_f P d}{\sigma u}} \right)$$

上式中,  $R_s$  为水射流割缝深度(单位 mm),  $C_f$  为水的动摩擦系数,  $d$  为高压水射流割缝装置的喷嘴直径(单位 mm),  $\sigma$  为煤的抗压强度(单位 MPa),  $P$  为高压水射流割缝装置的喷嘴出口压力(MPa),  $\eta$  为阻尼系数,  $u$  为高压水射流割缝装置的钻杆 13 旋转速度(r/s);  $d_l$  为钻杆直径。

[0014] 根据水射流割缝深度计算塑性区 3 半径  $R_p$  的大小:

$$R_p = R_s \left[ \frac{(p_0 + c \cos \phi)(1 - \sin \phi)}{c \cot \phi} \right]^{\frac{1 - \sin \phi}{2 \sin \phi}}$$

式中,  $R_p$  为塑性区 3 半径(单位 m),  $p_0$  为原岩应力(单位 MPa),  $c$  为内聚力(单位 MPa),  $\phi$  为内摩擦角(单位°);

确定压裂钻孔 1 位置后, 按照  $D \leq 2R_p$  确定压裂钻孔 1 与导向钻孔 4 的间距, 在压裂钻孔 1 周边呈环形布置导向钻孔 4,  $D$  为压裂钻孔 1 与导向钻孔 4 的中心间距。

[0015] 所述高压水射流割缝装置包括钻机 12、钻机 12 上设置的钻杆 13、与钻杆 13 后端连接的第一输水管路 10、连接在钻杆 13 前端的钻头 16 以及设置在钻杆 13 与钻头 16 之间的割缝器 18, 割缝器 18 设有径向喷嘴 14 以及径向的截齿 15, 钻头 16 前端设有轴向喷嘴 17。第一输水管路 10 上依次设有第一液体箱 6、第一液压泵 7、第一球形截止阀 8、第一压力表 9 和密封输液器 11, 第一液压泵 7 与第一球形截止阀 8 之间的第一输水管路 10 上连接有第一管道 19, 第一管道 19 设有第一溢流阀 20, 第一管道 19 的另一端接入所述第一液体箱 6。第一输水管路 10 通过所述密封输液器 11 连接钻杆 13 后端。第一液体箱 6 内设液体, 一般液体为水。

[0016] 高压水射流割缝装置具体工作过程如下: 启动钻机 12, 控制第一液压泵 7 泵压在 5MPa, 关闭割缝器 18 的径向喷嘴 14, 打开钻头 16 的轴向喷嘴 17, 高压液体经过第一输水管路 10 进入密封输液器 11, 再通过钻杆 13, 高压液体经过钻头 16 的轴向喷嘴 17 冲击煤体进行辅助钻进, 钻进至半煤段时升高泵压至 30MPa, 打开割缝器 18 的径向喷嘴 14, 关闭钻头 16 的轴向喷嘴 17, 对煤体进行割缝, 割缝完成后, 关闭第一液压泵 7。

[0017] (二) 通过封孔装置对压裂钻孔 1 以及每个导向钻孔 4 均分别进行封孔, 所述封孔装置包括木塞 28、注浆管 21 和注水管 27, 注浆管 21 和注水管 27 均穿插在木塞 28 上, 并且注水管 27 的前、后两端分别伸出木塞 28 的两端外, 注浆管 21 的前、后两端也分别伸出木塞 28 的两端外, 注浆管 21 后端设有第二球形截止阀 22, 注水管 27 前端口周围圈固定有棉纱 26, 注水管 27 前端口与一根筛管 25 的后端口对接, 筛管 25 的管壁设置筛孔, 筛管 25 的前端口内设堵头 24。其中, 导向钻孔 4 内的封孔装置注水管 27 后端设有第二压力表 29 和开关阀 30, 开关阀 30 位于第二压力表 29 后侧。封孔时, 将注水管 27 前端的筛管 25 送至钻孔孔底

处,木塞 28 固定在钻孔孔口处,注浆管 21 的前端口位于木塞 28 与棉纱 26 之间,注浆管 21 后端通过所述第二球形截止阀 22 连接注浆泵 39,通过注浆泵 39 将水泥浆 23 注入钻孔内,直至水泥浆 23 浆液从注水管 27 返出,停止注浆,水泥浆 23 凝固后,再进行步骤(三)。棉纱 26 可起到阻止水泥浆 23 的大部分浆料进入筛管 25 部分,只允许水泥浆 23 中的水份向前流动并进入筛管 25,以避免阻塞筛管 25 以及注水管 27。当对压裂钻孔 1 进行封孔时,上述钻孔孔口以及注入水泥浆 23 的钻孔均指压裂钻孔 1;当对导向钻孔 4 进行封孔时,上述钻孔孔口以及注入水泥浆 23 的钻孔均指导向钻孔 4。封孔时,对压裂钻孔 1 以及每个导向钻孔 4 可依次逐个封孔也可同时封孔。

[0018] (三)对压裂钻孔 1 进行水力压裂:将压裂钻孔 1 内封孔装置的注水管 27 连接水力压裂装置,水力压裂装置包括第二输水管路 35,第二输水管路 35 依次设有第二液体箱 31、第二液压泵 32、第三球形截止阀 33、第三压力表 34 和涡轮流量计 36,第二输水管路 35 的出水端连接压裂钻孔 1 内封孔装置的注水管 27 的后端。第二液压泵 32 与第三球形截止阀 33 之间的第二输水管路 35 连接第二管道 37,第二管道 37 设有第二溢流阀 38,第二管道 37 的另一端接入所述第二液体箱 31。第二液体箱 31 盛满液体,一般液体为水。

[0019] 压力表和流量计用于监测水力压裂参数,水力压裂装置的工作过程如下:启动第二液压泵 32,高压水经第三压力表 34、涡轮流量计 36、注水管 27、筛管 25 至煤层 40,对煤层 40 实施压裂。压裂过程中观测第三压力表 34 及涡轮流量计 36,记录压裂压力及流量,通过导向钻孔 4 中封孔装置的第二压力表 29 读数判断压裂范围及煤层 40 中水力大小,当压裂范围达到预期目标,关闭第二液压泵 32,打开导向钻孔 4 注水管 27 后端的开关阀 30,待第二输水管路 35 的压力表读数为零,拆除压裂钻孔 1 外第二管道 37,压裂完毕。

[0020] 本发明所述的井下煤层水力压裂裂缝导向扩展的方法,是利用水射流切割半径计算公式计算在特定煤层 40 赋存条件下煤层 40 的切割半径  $R_c$  的大小,由切割半径计算塑性区 3 半径  $R_p$  的大小,根据塑性区 3 半径确定压裂孔与导向钻孔 4 的间距  $D$ ,两者之间满足  $D \leq 2R_p$ ;利用高压水射流割缝装置在煤孔段进行割缝,形成平行于煤层走向、垂直于煤层倾向的定向缝 2,导向压裂裂缝 5 的有序扩展;利用封孔装置及材料,调配完成后对压裂钻孔 1 和导向钻孔 4 进行快速高效封堵,满足压裂过程中高压不泄露的要求;其中水力压裂装置中的压力表以及流量计构成了水力压裂监测系统,水力压裂监测系统监测压裂过程中压裂压力、流量及压裂范围,判断起裂压力、裂缝扩展方向及压裂效果;利用水力压裂装置对煤层 40 实施压裂。

[0021] 本发明通过在水力压裂钻孔 1 周边合理布置导向钻孔 4,并采用水射流割缝技术对水力压裂钻孔 1 及导向钻孔 4 均进行径向割缝,并因此在煤层 40 中形成圆盘状定向缝 2,定向缝 2 形成改变了煤体应力分布状态,在定向缝 2 尖端出现剪切破坏区并在周边区域煤体内形成塑性区 3。根据裂缝起裂最大主应力准则,定向缝 2 尖端剪切破坏区的形成促使裂缝在尖端处起裂,起裂后受塑性区 3 最大主应力控制能够保持原方向扩展而不发生偏转。通过合理布置导向孔及定向缝 2,在压裂区域煤体内形成连续塑性区 3,促使压裂裂缝 5 始终在塑性区 3 内扩展,同时塑性区 3 内应力降低,降低了煤体有效应力,减缓了裂缝闭合,使裂缝能够持续提供瓦斯运移通道,从而实现了导向裂缝的有序扩展及强化导流的目的。

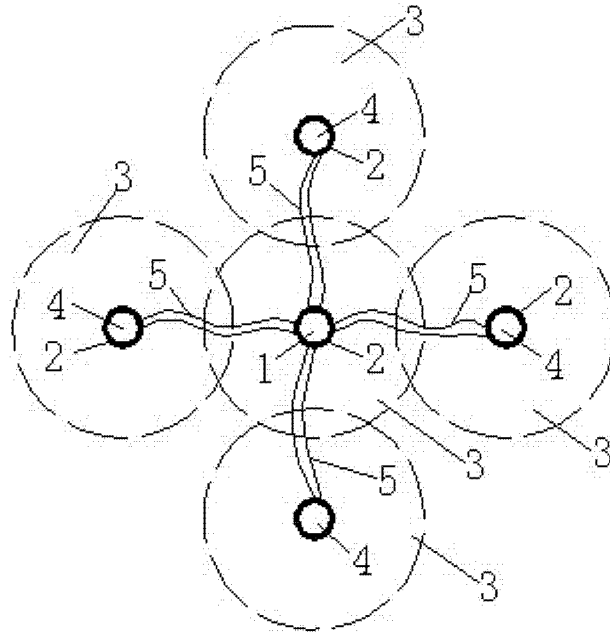


图 1

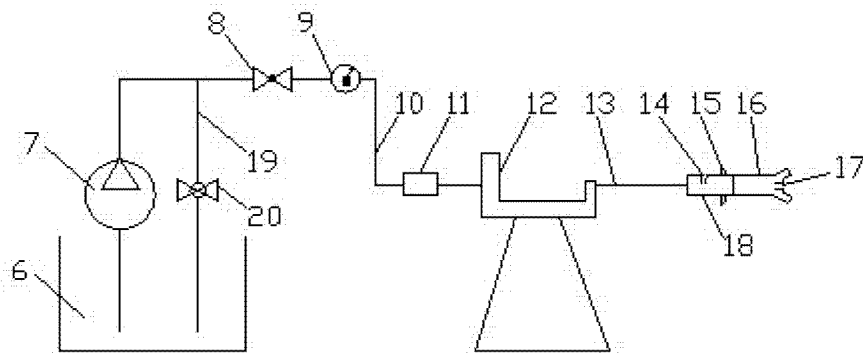


图 2

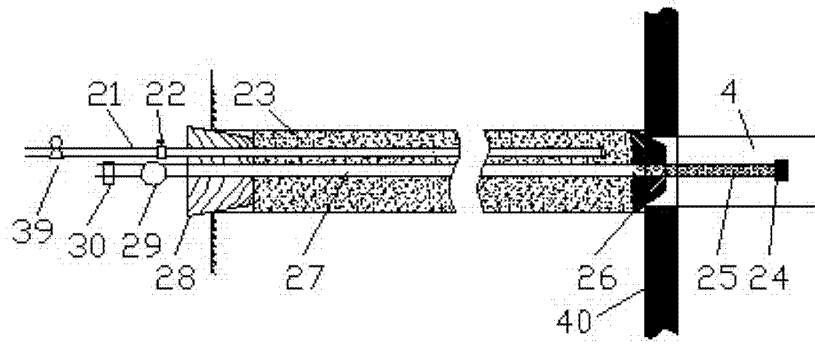


图 3

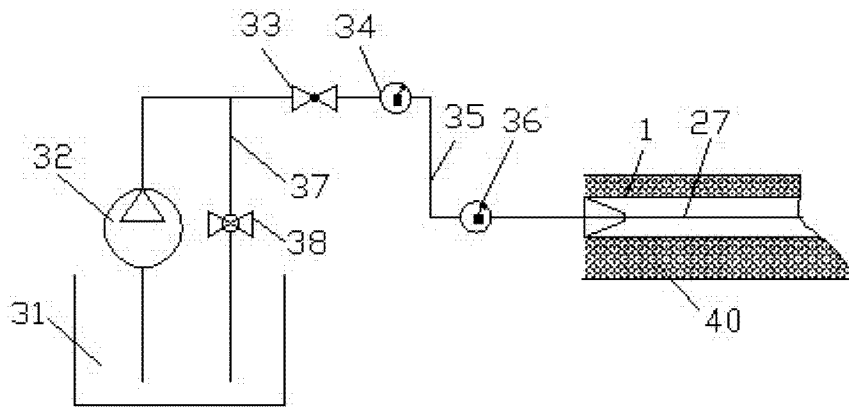


图 4