



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113073966 B

(45) 授权公告日 2022. 12. 27

(21) 申请号 202110481844.2

(22) 申请日 2021.04.30

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113073966 A

(43) 申请公布日 2021.07.06

(73) 专利权人 中国石油化工股份有限公司
地址 100728 北京市朝阳区朝阳门北大街
22号

专利权人 中石化重庆涪陵页岩气勘探开发
有限公司

(72) 发明人 胡德高 刘尧文 李远照 沈金才
明月 张驰 豆瑞杰 李奎东
张旭 方栋梁 韦琦 吴魏
肖佳林 周彤 李婷 尹星鑫
刘俊 苏慕博文

(74) 专利代理机构 重庆强大凯创专利代理事务
所(普通合伙) 50217

专利代理师 康奇刚

(51) Int.Cl.
E21B 43/26 (2006.01)
E21B 43/10 (2006.01)
E21B 43/11 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 107605452 A, 2018.01.19
CN 106845043 A, 2017.06.13
CN 110359899 A, 2019.10.22
CN 105275442 A, 2016.01.27
CA 3020545 A1, 2019.04.13
US 2013032349 A1, 2013.02.07

审查员 陈瑶

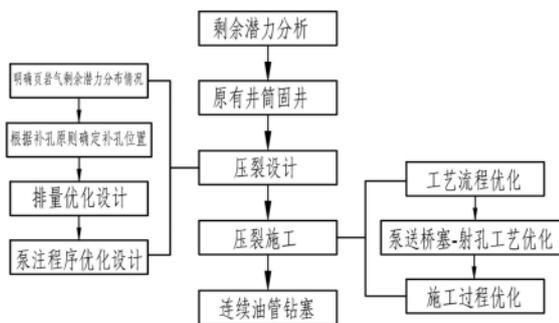
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种页岩气水平井套中固套重复压裂方法

(57) 摘要

本发明涉及页岩气重复开发的技术领域,具体公开了一种页岩气水平井套中固套重复压裂方法,包括以下步骤:步骤一、剩余潜力分析;进行产气剖面测试,获得初次压裂各簇产气贡献百分比;步骤二、原有井筒固井;在原有井筒内安装小套管以形成新井筒;步骤三、压裂设计;根据产气贡献百分比分析原有井筒中各段、各簇的采出程度,再结合原有井筒初次压裂时的改造效果,明确页岩气剩余潜力分布情况;并根据剩余潜力分布情况确定重复压裂的射孔位置,并进行排量优化和泵注程序优化设计;步骤四、压裂施工。本发明的目的在于提供一种页岩气水平井套中固套重复压裂方法,以解决现有工艺在长水平段页岩气井中施工难度大,适应性不强的技术问题。



1. 一种页岩气水平井套中固套重复压裂方法,包括以下步骤:

步骤一、剩余潜力分析;对原有井筒进行产气剖面测试,获得原有井筒初次压裂各簇产气贡献百分比;

步骤二、原有井筒固井;在原有井筒内安装小套管以形成新井筒;

步骤三、压裂设计;根据产气剖面测试结果得到的产气贡献百分比分析原有井筒中各段、各簇的采出程度,再结合原有井筒初次压裂时的改造效果明确页岩气剩余潜力分布情况;并根据剩余潜力分布情况确定重复压裂的射孔位置,并进行重复压裂的排量优化和泵注程序优化设计;

所述剩余潜力高的地方进行簇间补孔,而剩余潜力低的地方采用老孔位置重新射孔或者簇间补孔又或者采用老孔位置重新射孔与簇间补孔同步进行;

所述泵注程序优化设计如下:根据各段不同的射孔方式,选用不同工艺并优化暂堵剂、砂量和液量规模,对于老孔位置重新射孔与簇间补孔同步进行的段采用段内暂堵压裂工艺;对于簇间补孔的段采用限流压裂工艺;簇间补孔时采用冻胶和变粘度滑溜水混合泵注工艺进行加砂压裂;

步骤四、压裂施工。

2. 根据权利要求1所述的页岩气水平井套中固套重复压裂方法,其特征在于:所述步骤一在得到产气贡献百分比后,估算剩余可采储量,分析重复压裂可行性。

3. 根据权利要求1所述的页岩气水平井套中固套重复压裂方法,其特征在于:所述步骤二中需要对原有井筒进行处理,使得原有井筒具有完整性,之后再行小套管固井以形成新井筒,新井筒试压合格后才能进行后续的压裂施工。

4. 根据权利要求1所述的页岩气水平井套中固套重复压裂方法,其特征在于:所述步骤三中排量优化设计如下:将新井筒水平段进行分段,对不同段的射孔位置有针对性地单独设计所需要的压裂液排量和压裂所需压力。

5. 根据权利要求1所述的页岩气水平井套中固套重复压裂方法,其特征在于:所述步骤四压裂施工包括工艺流程优化,工艺流程优化包括根据施工情况及时调整不同添加剂的浓度以获得不同压裂液的粘度和性能。

6. 根据权利要求5所述的页岩气水平井套中固套重复压裂方法,其特征在于:所述步骤四压裂施工还包括施工过程优化,根据施工压力、砂比变化以及裂缝延伸状态的判断,实时调整压裂液粘度。

7. 根据权利要求6所述的页岩气水平井套中固套重复压裂方法,其特征在于:所述压裂施工的施工过程采用可溶桥塞进行封隔分段压裂。

一种页岩气水平井套中固套重复压裂方法

技术领域

[0001] 本发明涉及页岩气重复开发的技术领域,具体公开了一种页岩气水平井套中固套重复压裂方法。

背景技术

[0002] 页岩气作为非常规能源具有低孔低渗、无自然产能的特点,需通过大规模水力压裂形成人工缝网提供渗流通道进行生产,普遍存在初次改造后产量递减速率快、稳产期短的问题。重复压裂作为经济有效的增产技术能大幅提升气田经济效益,国内页岩气井重复压裂技术还处于起步探索阶段。

[0003] 目前页岩气井重复压裂技术分为暂堵转向重复压裂工艺和机械封隔重复压裂工艺,其中机械封隔法分为膨胀式衬管封隔技术和套管内置尾管封隔技术,可以通过对生产段的射孔簇进行永久隔离,再通过重新精细分段射孔压裂,精准控制起裂位置以及压裂液走向,提高重复压裂的针对性,大幅降低滤失引起的施工风险;以膨胀式衬管封隔技术为例,该技术需要使用特质的井底钻具组合对原有生产套管进行铣削,然后再将可膨胀衬管放入到原有套管内,接着采用特质的压裂固体对衬管进行膨胀,直至衬管外壁抵紧原有套管被铣削的内壁,得到一个新的井筒,然而目前这种方式因施工成本高、可靠性不明确而暂未在国内使用。

[0004] 其中采用暂堵转向重复压裂工艺进行重复压裂时,在初次压裂全井筒800~1200孔射开的情况下,先通过多个挤注循环提升井底压力,再投加暂堵球进行全井段重复压裂;该过程利用暂堵球的封堵转向工艺实现簇间分流转向,以达到封堵初次改造较好的老孔再去形成新缝或延伸初次改造不充分的老缝的目的。然而因初次老缝的存在,导致暂堵球坐封机理及效果难以明确,全井段孔眼数多的情况下投球后压裂液流向难以确定,而采用携砂低粘减阻水进行压裂则大多表现出近井滤失、脱砂严重等现象,重复压裂的改造效果差。此外,在暂堵转向重复压裂过程中,压裂顺序为先趾端再根端,这种施工方式可能对根部压裂段进行了反复改造,导致施工压力逐级升高,故而暂堵转向重复压裂工艺总体而言施工难度大、风险高且适应性不强。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种页岩气水平井套中固套重复压裂方法,以解决现有工艺在长水平段页岩气井中进行重复压裂存在的改造效果差的技术问题。

[0006] 为了达到上述目的,本发明的基础方案为:一种页岩气水平井套中固套重复压裂方法,包括以下步骤:

[0007] 步骤一、剩余潜力分析;对原有井筒进行产气剖面测试,获得原有井筒初次压裂各簇产气贡献百分比;

[0008] 步骤二、原有井筒固井;在原有井筒内安装小套管以形成新井筒;

[0009] 步骤三、压裂设计;根据产气剖面测试结果得到的产气贡献百分比分析原有井筒

中各段、各簇的采出程度,再结合原有井筒初次压裂时的改造效果,明确页岩气剩余潜力分布情况;并根据剩余潜力分布情况确定重复压裂的射孔位置,并进行重复压裂的排量优化和泵注程序优化设计;

[0010] 步骤四、压裂施工。

[0011] 本方案的工作原理和有益效果在于:

[0012] 采用本方案时,需要对原有井筒进行产气剖面测试,得到剩余潜力分布情况,并根据剩余潜力分布情况确定重复压裂的射孔位置,并对所要打孔的位置结合目前新井筒的情况,进行精细化的排量优化设计和泵注优化设计,以实现精准压裂,提高了液体效率,提高了重复压裂的改造效果。

[0013] 此外,根据确定的重复压裂射孔位置进行重复压裂的排量优化设计和泵注程序优化设计,有利于使得后续施工的难度降低;且针对不同开采程度的页岩气水平井都能适用本方案,故而适用性强。

[0014] 进一步,所述步骤一在得到产气贡献百分比后,估算剩余可采储量,分析重复压裂可行性。

[0015] 有益效果:本方案中重复压裂可行性的判断主要从经济角度出发,比如当剩余可采储量产生的经济效益大于投入成本时,采考虑对原有井筒进行重复压裂,避免投入大于产出的情况。

[0016] 进一步,所述步骤二中需要对原有井筒进行处理,使得原有井筒具有完整性,之后再再进行小套管固井以形成新井筒,新井筒试压合格后才能进行后续的压裂施工;以确保后续施工的安全性和可靠性。

[0017] 进一步,所述剩余潜力高的地方进行簇间补孔,而剩余潜力低的地方采用老孔位置重新射孔或者簇间补孔又或者采用老孔位置重新射孔与簇间补孔同步进行。

[0018] 有益效果:根据剩余潜力分布高低情况进行射孔位置的确定,保证压裂精确性的同时,降低了施工难度,并方便未来采出更多页岩气。

[0019] 进一步,所述步骤三中排量优化设计如下:将新井筒水平段进行分段,对不同段的射孔位置有针对性地单独设计所需要的压裂液排量和压裂所需压力。

[0020] 有益效果:将水平井段的射孔位置进行分段设计,并且每段有单独设计好的压裂液排量和压裂所需压力,进一步降低施工难度、施工风险并保证射孔的精准性,且保证射孔质量,避免出现现有技术的近井滤失和脱砂现象。

[0021] 进一步,所述步骤三中泵注程序优化设计如下:根据各段不同的射孔方式,选用不同工艺并优化暂堵剂、砂量和液量规模,对于老孔位置重新射孔与簇间补孔同步进行的段采用段内暂堵压裂工艺;对于簇间补孔的段采用限流压裂工艺。

[0022] 有益效果:针对不同射孔位置选用不同的工艺,既降低了施工难度又能保证射孔位置的精准压裂。

[0023] 进一步,所述簇间补孔时采用冻胶和变粘度滑溜水混合泵注工艺进行加砂压裂。

[0024] 有益效果:对于簇间补孔施工主要难点为近井多裂缝发育、漏失大,加砂困难,前期采用胶液阶梯提排量方式控制主缝形成,增加粉砂段塞以降低滤失,既降低施工难度又降低了施工风险;中后期采用冻胶和变粘度滑溜水混合泵注施工,施工过程中随着砂比提升,同步提高液体添加剂浓度,达到提高压裂液粘度目的,提高压裂液的携砂性能,提升裂

缝内铺砂剖面均质性,提高压裂的携砂性能,降低脱纱、沙堵,提高出砂剖面精致性。

[0025] 进一步,所述步骤四压裂施工包括工艺流程优化,工艺流程优化包括根据施工情况及时调整不同添加剂的浓度以获得不同压裂液的粘度和性能。

[0026] 有益效果:本方案能够针对射孔需要而采用不同的压裂液,降低了施工难度和施工不合理带来的施工风险,并实现压裂液的精准加注,进一步提高压裂的精准性。

[0027] 进一步,所述步骤四压裂施工还包括施工过程优化,根据施工压力、砂比变化以及裂缝延伸状态的判断,实时调整压裂液粘度。

[0028] 有益效果:进一步降低施工难度并提高压裂精准性。

[0029] 进一步,所述压裂施工的施工过程采用可溶桥塞进行封隔分段压裂;该压裂方式是常规页岩气压裂的常规必须步骤,故而施工人员使用熟练,结合压裂施工的各项优化设计能够降低施工难度。

附图说明

[0030] 图1为本发明实施例的一种页岩气水平井套中固套重复压裂方法工艺流程示意图;

[0031] 图2为本发明实施例步骤四中的压裂施工流程图。

具体实施方式

[0032] 下面通过具体实施方式进一步详细说明:

[0033] 实施例基本如附图1与附图2所示:一种页岩气水平井套中固套重复压裂方法,包括:

[0034] 步骤一、结合产气剖面测试进行重复压裂后的剩余潜力分析:

[0035] 1) 在6万方/天、12万方/天两种生产制度下进行产气剖面测试,得到原有井筒中初次压裂各簇产气贡献百分比,并根据多组压裂各簇产气贡献百分比来判断两种生产制度下产气贡献一致性程度,选择最接近均值的压裂各簇产气贡献百分比作为参考数据。

[0036] 2) 结合储气层的地质特性(如含气性、物性特征等),估算剩余可采储量,分析重复压裂可行性。

[0037] 步骤二、原有井筒固井;

[0038] 对原有井筒进行处理,验证井筒完整性后进行安装小套管,对小套管固井形成新井筒,新井筒试压合格后才能进行后续的压裂施工。

[0039] 具体的试压合格标准为85MPa下30min压降 <0.5 MPa则新井筒试压合格。

[0040] 步骤三、压裂设计

[0041] 1) 明确页岩气剩余潜力分布情况:根据产气剖面测试结果分析原有井筒中各段、簇的采出程度,再结合初次压裂时的压裂效果,明确页岩气剩余潜力分布情况;并评价剩余潜力分布的高低情况,判断剩余潜力是属于初次压裂后老缝簇间剩余潜力、还是低的老缝剩余潜力又或者是未动用的老缝剩余潜力。

[0042] 2) 根据剩余潜力分布情况确定重复压裂补孔原则以得到补孔位置:在原射孔位置剩余潜力高(如平均单段产气贡献率 $>12\%$)的地方进行簇间补孔;而剩余潜力低(如平均单段产气贡献率 $<12\%$)的地方采用老孔位置重新射孔或者簇间补孔又或者采用老孔位置重

新射孔与簇间补孔同步进行,在本实施例中针对剩余潜力低的地方采用老孔位置重新射孔和簇间补孔同步进行。

[0043] 3) 排量优化设计:将新井筒水平段进行分段,对不同段的射孔位置有针对性地单独设计所需要的压裂液排量和压裂所需压力,也即采用不同压裂液(砂量规模、液量规模等存在不同)进行一段一策优化设计各段排量。

[0044] 由于重建井筒(也即形成的新井筒)小套管内径较小,且双层套管(小套管与原有套管套合相当于形成双层套管)射穿孔径较小,压裂时摩阻较高,影响施工排量。设计时可以通过Gohfer软件对不同施工排量下不同压裂液的摩阻进行模拟并对施工压力进行预测,精细到不同层段不同压裂液排量大小计算:

[0045] 比如,按地面施工限压85MPa,设计得到冻胶阶段趾端允许最大施工排量约 $6.5\text{m}^3/\text{min}$,跟端允许最大施工排量约 $11.5\text{m}^3/\text{min}$,滑溜水阶段趾端允许最大施工排量约 $10\text{m}^3/\text{min}$,跟端允许最大施工排量约 $12.5\text{m}^3/\text{min}$ 。设计冻胶阶段施工排量为 $6\text{-}11\text{m}^3/\text{min}$,滑溜水阶段施工排量为 $10\text{-}12\text{m}^3/\text{min}$ 。

[0046] 4) 泵注程序优化设计:根据各段不同射孔方式,选用不同工艺并优化暂堵剂、砂量和液量规模,如选用段内暂堵压裂或限流压裂等工艺。

[0047] 选用段内暂堵压裂(暂堵剂设计投加量 150Kg ,液量 1750m^3 ,砂量 56m^3)或限流压裂(液量 1170m^3 ,砂量 57m^3)等工艺,优化暂堵剂、砂量、液量规模。

[0048] 段内暂堵工艺包括针对老缝改造不充分簇,采用老孔复射+簇间补孔方式射孔,在改造未充分动用原射孔簇基础上,再采用暂堵剂封堵老射孔簇,对簇间新补孔采用冻胶+变粘度滑溜水混合泵注工艺进行加砂压裂。

[0049] 限流压裂工艺包括针对老缝改造较好,仅簇间补孔,施工主要难点为近井多裂缝发育、漏失大,加砂困难,前期采用胶液阶梯提排量方式控制主缝形成,增加粉砂段塞降低滤失,中后期同样采用冻胶+变粘度滑溜水施工。

[0050] 步骤四、压裂施工

[0051] 1) 工艺流程优化:根据施工情况及时调整不同添加剂的浓度以获得不同压裂液的粘度和性能。

[0052] 本实施例中新增液添系统:在原有现场工艺流程中新增2台液体添加撬(简称液添撬)替代原有混配设备,每台液添撬带6台液添泵和6套质量流量计,根据施工情况及时调整不同液添泵中添加剂的浓度来获得不同液体粘度和性能。与此同时,每台液添撬参数能联入采集网络,实现远程操作和数据采集;此外为了优化暂堵剂的添加:为暂堵剂配备专用搅拌罐、新增暂堵剂加注泵车,通过独立的流程进行精确加注,而现有技术中常规的投加方式是在混砂车上人工投加暂堵剂,存在暂堵剂浓度控制不精确的问题。

[0053] 原有的重复压裂施工工艺:原有工艺中采用配液罐提前配液,不能根据工况实时改变压裂液粘度。

[0054] 本实施例的具体流程工艺图见附图2(增压系统将经过液添撬和混砂车的压裂液压入井口;同时增压系统也可以将酸撬中的酸、调配好的暂堵剂压入井口)。

[0055] 2) 泵送桥塞-射孔工艺优化:根据新井筒的情况对需要进入新井筒内的工具进行结构尺寸优化,以使得各类工具(如桥塞、工具串等)能够在小套管中作业。

[0056] 3) 施工过程优化:采用可溶桥塞进行封隔分段压裂,延长可溶桥塞焖井和放喷溶

塞时间>7天;在分段压裂过程中根据施工压力、砂比变化以及裂缝延伸状态的判断,实时调整压裂液粘度。

[0057] 原有的施工工艺中基于滤失大、裂缝延伸困难的判断,增加粉砂、高粘液体用量,降低滤失,促进裂缝延伸。而本实施例则通过精细分段精准控制起裂位置以及压裂液走向达到精准压裂目的,施工时根据施工压力、砂比变化以及裂缝延伸状态的判断,实时调整压裂液粘度。根据每段压后分析,调整暂堵剂添加量(当一段压裂中既有老孔复射又有老孔簇间补孔时,可以选择先完成老孔复射,再利用暂堵剂将复射的老孔暂时封堵,然后调整施工压力、砂比变化等再对老孔簇间进行补孔),达到精准压裂目的。

[0058] 步骤五、连续油管钻塞;水平井完成全部压裂后进行钻塞,每钻完一支桥塞后泵注粘度35-40mPa.s胶液1-2m³;每通钻3支后一起打捞可溶桥塞溶塞后钻塞产生的碎屑。

[0059] 本实施例通过以上步骤对重复压裂实现了精准地、可靠地压裂,整个过程降低了施工难度和施工风险,并极大地提高了页岩气的开采量,此外针对不同开采程度的页岩气水平井都能适用本技术方案,故而适用性强。

[0060] 现有采用暂堵转向重复压裂工艺中因施工压力逐级增高,而施工设备和施工环境经常不能达到施工设计要求,使得实际施工的砂液符合率约为58-92%;而采用本实施例的压裂方法实际施工能够满足设计要求,使得砂液符合率达100-102%,整体施工执行率高。

[0061] 此外,目前应用本技术方案已在涪陵页岩气田JYAHF井成功完成重复压裂施工,测试压力16.4MPa,测试产量18.4×10⁴m³/d,分别达到初次压裂的76%和88%。重复压裂前JYAHF已进入增压开采的长周期间开阶段,周期日均产气1.1×10⁴m³,重压后于1月12日重新投产,日均产气4.7×10⁴m³,初期日产量较重压前提高超过4倍,生产套压由2~8MPa提高至22~27MPa,取得了较好的增产效果,在国内长水平段页岩气井的重复压裂中取得重大突破,该工艺的成功实施为国内页岩气田长期高效开发打开了新局面。

[0062] 以上所述的仅是本发明的实施例,方案中公知的具体结构及特性等常识在此未作过多描述。应当指出,对于本领域的技术人员来说,在不脱离本发明结构的前提下,还可以作出若干变形和改进,这些也应该视为本发明的保护范围,这些都不会影响本发明实施的效果和专利的实用性。本申请要求的保护范围应当以其权利要求的内容为准,说明书中的具体实施方式等记载可以用于解释权利要求的内容。

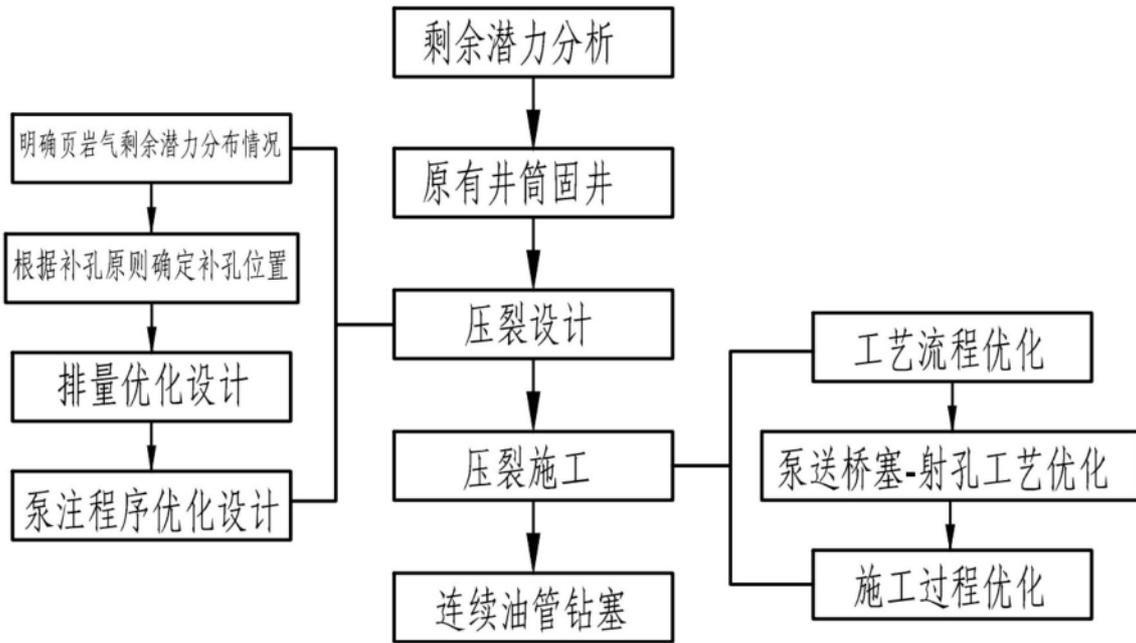


图1

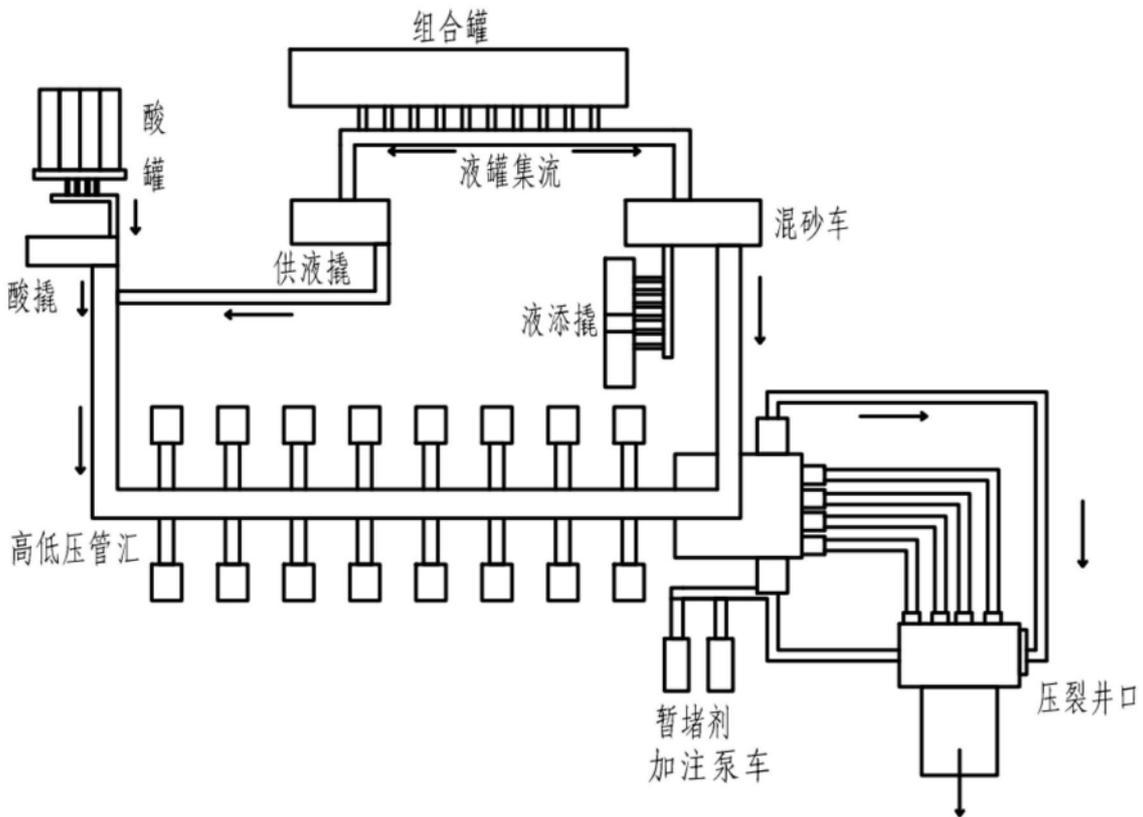


图2