



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112682012 B

(45) 授权公告日 2023.05.16

(21) 申请号 202011588121.4

H05B 3/02 (2006.01)

(22) 申请日 2020.12.28

审查员 李东鹏

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 112682012 A

(43) 申请公布日 2021.04.20

(73) 专利权人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市咸宁西路28号

(72) 发明人 郭烈锦 苗岩 黄祖杰 赵秋阳

陈磊 王晔春 金辉 董宇 谢天

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任

公司 61200

专利代理师 王艾华

(51) Int. Cl.

E21B 43/16 (2006.01)

H05B 3/20 (2006.01)

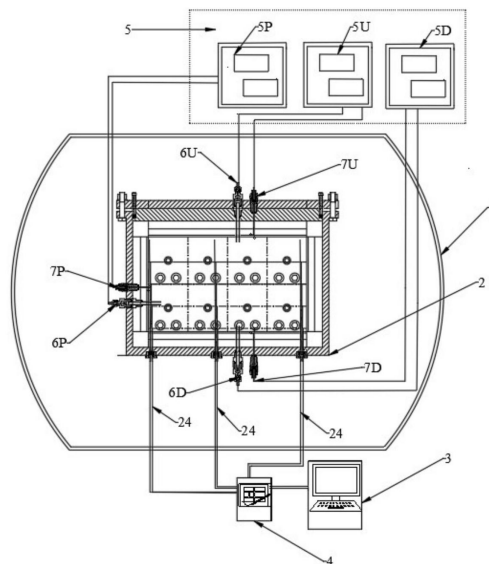
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

一种超临界混合流体采油三维模拟实验系统及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种超临界混合流体采油三维模拟实验系统及方法,将三维模型本体设于压力仓内,在三维模型本体内底部、上端和侧壁均设有加热板,加热板通过加热板电线连接有温控器组,温控器组连接有温度测量热电偶组和数据采集系统,温度测量热电偶组固定于三维模型本体的侧壁、底部和上端,温度测量热电偶组的测量头位于三维模型本体内,温度测量热电偶组连接于数据采集系统,将三维模型本体的保温和加热内置于其腔体之内,根据不同面的加热板加热,热电偶组和数据采集系统采集数据,结构简单,能够有效的避免注入的高温热流体通过模型壁面向外散热和模型本体材质的吸热,减小热损失给实验带来的影响,本发明结构能够减小围压介质的加热装置。



1. 一种超临界混合流体采油三维模拟实验系统,其特征在于,包括压力仓(1)以及设置于压力仓(1)内的三维模型本体(2),三维模型本体(2)内底部、上端和侧壁均设有加热板,加热板通过加热板电线(6)连接有温控器组(5),温控器组(5)连接有加热板温度测量热电偶组(7)和数据采集系统(4),数据采集系统(4)连接有云场温度测量热电偶(24),加热板温度测量热电偶组(7)固定于三维模型本体(2)的侧壁、底部和上端,云场温度测量热电偶(24)的测量头位于三维模型本体(2)内,云场温度测量热电偶(24)连接于数据采集系统(4),三维模型本体(2)包括模型腔体(13),模型腔体(13)上端设有开口,模型腔体(13)内底部由下向上依次设有第一云母板(14)、第一电加热板(15)和第二云母板(16),第一云母板(14)一侧与模型腔体(13)内底部接触;模型腔体(13)上端设有上盖(8)和压实活塞(9),上盖(8)设置于模型腔体(13)上端外侧,压实活塞(9)的下端依次设有第三云母板(17)、第二电加热板(18)和第四云母板(19);模型腔体(13)内侧壁依次堆叠有第五云母板(20)、第三电加热板(21)和第六云母板(22),第五云母板(20)一侧与模型腔体(13)内侧面接触,数据采集系统(4)连接有计算机,计算机用于数据显示和存储,第一云母板(14)的厚度大于第二云母板(16)厚度,第三云母板(17)的厚度大于第四云母板(19)的厚度;第五云母板(20)厚度大于第六云母板(22)厚度,上盖(8)与模型腔体(13)通过第一螺栓组(11)固定连接,上盖(8)与压实活塞(9)通过第二螺栓组(10)固定连接,压实活塞(9)与第二螺栓组(10)之间设有密封垫圈(12);加热板温度测量热电偶组(7)包括第一热电偶(29)和第二热电偶(30),第一热电偶(29)设置于模型腔体(13)内,第二热电偶(30)设置于第三电加热板(21)和第六云母板(22)之间,模型腔体(13)内底部阵列有多个云场温度测量热电偶(24)、多个竖直井(23)和多个相同大小的底加热板块,多个云场温度测量热电偶(24)连接于数据采集系统(4),每个底加热板块上设有两个加热板电线接头(25)、一个加热板热电偶测温控温接头(26)、一个加热管(27)和一个加热板温度测量热电偶组,加热管(27)的两端与两个加热板电线接头(25)连接,两个加热板电线接头(25)通过导线连接温控器组,竖直井(23)采用9点法布置于模型腔体(13)内底部;模型腔体(13)内底部在竖直井(23)形成的阵列区域内阵列有九个相同大小的底加热板块;云场温度测量热电偶(24)按阵列布置在竖直井(23)形成的阵列区域内,在竖直井(23)形成的阵列区域内各角点位置的对角云场温度测量热电偶(28)沿对角线向中心偏移,底加热板块上的加热管(27)呈凹形弯曲,四个角上的底加热板块上的加热管(27)的凹形开口朝向矩形阵列对角线向外,四个边上的底加热板块上的加热管(27)的凹形开口朝向矩形阵列外侧,压实活塞(9)下端阵列有多个顶加热板,每个顶加热板上设有两个加热板电线接头、一个加热板热电偶测温控温接头、一个加热管和一个加热板温度测量热电偶组,加热管的两端与两个加热板电线接头连接,两个加热板电线接头通过导线连接温控器组;模型腔体(13)内侧壁阵列有多个加热板温度测量热电偶组(7)和多个侧加热板,每个侧加热板上设有两个加热板电线接头、一个加热板热电偶测温控温接头、一个加热管和一个加热板温度测量热电偶组,加热管的两端与两个加热板电线接头连接,两个加热板电线接头通过导线连接温控器组。

2. 一种基于权利要求1所述超临界混合流体采油三维模拟实验系统的超临界混合流体采油三维模拟实验方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1,在三维模型本体置于压力仓内,在压力仓填充围压介质水;

S2、通过温控器组控制加热板对三维模型本体加热,并通过云场温度测量热电偶(24)

实时采集三维模型本体内的温度,使三维模型本体内部达到设定温度,此时通过加热板温度测量热电偶组获取三维模型本体内部和三维模型本体壁面的温差;

S3、向三维模型本体内注入超临界混合流体的同时,通过温控器组控制加热板对三维模型本体加热,使三维模型本体内部和三维模型本体壁面的温差不变直至热采结束,完成超临界混合流体采油过程。

一种超临界混合流体采油三维模拟实验系统及方法

技术领域

[0001] 本发明属于石油工程和工艺技术领域,具体涉及一种超临界混合流体采油三维模拟实验系统及方法。

背景技术

[0002] 超临界水具有特殊的物理化学性质,具有极大的提高稠油采收率和提高采出油品质的优势,基于超临界水的超临界混合流体热采技术是解决陆地深层稠油、超稠油和海上平台特殊环境下采油的理想方案。

[0003] 三维油藏模型可以在大尺寸上模拟地层温度、压力、渗透率、饱和油等条件,真实地模拟油藏中油、水及驱替液的运动规律,研究驱油体系在多孔介质中的渗流特性及驱油效率的影响因素。对多种驱油方案进行室内评价,为数值模拟和现场实验的开展提供依据。

[0004] 大尺度三维模型通常置于压力仓内,以水或气体作为围压介质,三维模型通产为薄壁模型,由不锈钢制作而成,模型本体本身不具备加热功能而通过加热围压介质来模拟地层温度,加热装置和温度测点都位于模型外壁和压力仓内壁之间。这种温度控制方式存在以下问题:1) 加热问题。通过加热围压介质然后再通过围压介质与模型本体的传热来加热模型和油砂,这种间接加热的模型速度慢,能耗高。2) 散热问题。模型不锈钢腔体温度会随着注入热流体的流量和时间而升高,模型腔体的温度会远大于围压介质的温度,不锈钢腔体向外持续散热,注入热流体的热量有一部分被用来加热模型腔体本身与对外散热,与实际地层环境不符。3) 温度参数低。基于加热围压介质的方式来加热的三维模型,现有的最高温度参数为20MPa,350℃,无法用于超临界水的热采研究。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种超临界混合流体采油三维模拟实验系统及方法,以克服现有技术的不足。

[0006] 为达到上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0007] 一种超临界混合流体采油三维模拟实验系统,包括压力仓以及设置于压力仓内的三维模型本体,三维模型本体内底部、上端和侧壁均设有加热板,加热板通过加热板电线连接有温控器组,温控器组连接有加热板温度测量热电偶组和数据采集系统,数据采集系统连接有云场温度测量热电偶,加热板温度测量热电偶组固定于三维模型本体的侧壁、底部和上端,云场温度测量热电偶的测量头位于三维模型本体内,云场温度测量热电偶连接于数据采集系统。

[0008] 进一步的,数据采集系统连接有计算机,计算机用于数据显示和存储。

[0009] 进一步的,三维模型本体包括模型腔体,模型腔体上端设有开口,模型腔体内底部由下向上依次设有第一云母板、第一电加热板和第二云母板,第一云母板一侧与模型腔体内底部接触;模型腔体上端设有上盖和压实活塞,上盖设置于模型腔体上端外侧,压实活塞的下端依次设有第三云母板、第二电加热板和第四云母板;模型腔体内侧壁依次堆叠有第

五云母板、第三电加热板和第六云母板,第五云母板一侧与模型腔体内侧面接触。

[0010] 进一步的,第一云母板的厚度大于第二云母板厚度,第三云母板的厚度大于第四云母板的厚度;第五云母板厚度大于第四云母板厚度。

[0011] 进一步的,上盖与模型腔体通过第一螺栓组固定连接,上盖与压实活塞通过第二螺栓组固定连接,压实活塞与第二螺栓组之间设有密封垫圈;加热板温度测量热电偶组包括第一热电偶和第二热电偶,第一热电偶设置于模型腔体内,第二热电偶设置于第三电加热板和第六云母板之间。

[0012] 进一步的,模型腔体内底部阵列有多个云场温度测量热电偶、多个竖直井和多个相同大小的底加热板块,多个云场温度测量热电偶连接于数据采集系统,数据采集系统连接有计算机,数据采集系统采集到的数据存储与计算机。

[0013] 进一步的,每个底加热板块上设有两个加热板电线接头、一个加热板热电偶测温控温接头和一个加热管,加热管的两端与两个加热板电线接头连接,两个加热板电线接头通过导线连接温控器组。

[0014] 进一步的,竖直井采用点法布置于模型腔体内底部;模型腔体内底部在竖直井形成的阵列区域内阵列有九个相同大小的底加热板块;云场温度测量热电偶按阵列布置在竖直井形成的阵列区域内,在竖直井形成的阵列区域内各角点位置的对角云场温度测量热电偶沿对角线向中心偏移,底加热板块上的加热管呈凹形弯曲,四个角上的底加热板块上的加热管的凹形开口朝向矩形阵列对角线向外,四个边上的底加热板块上的加热管的凹形开口朝向矩形阵列外侧。

[0015] 进一步的,压实活塞下端阵列有多个顶加热板,每个顶加热板上设有两个加热板电线接头、一个加热板热电偶测温控温接头、一个加热管和一个加热板温度测量热电偶组,加热管的两端与两个加热板电线接头连接,两个加热板电线接头通过导线连接温控器组;模型腔体内侧壁阵列有多个加热板温度测量热电偶组和多个侧加热板,每个侧加热板上设有两个加热板电线接头、一个加热板热电偶测温控温接头和一个加热管,加热管的两端与两个加热板电线接头连接,两个加热板电线接头通过导线连接温控器组。

[0016] 一种超临界混合流体采油三维模拟实验方法,包括以下步骤:

[0017] S1、在三维模型本体置于压力仓内,在压力仓填充围压介质水;

[0018] S2、通过温控器组控制加热板对三维模型本体加热,并通过加热板温度测量热电偶组实时采集三维模型本体内的温度,使三维模型本体内部达到设定温度,此时通过加热板温度测量热电偶组获取三维模型本体内部和三维模型本体壁面的温差;

[0019] S3、向三维模型本体注入超临界混合流体的同时,通过温控器组控制加热板对三维模型本体加热,使三维模型本体内部和三维模型本体壁面的温差不变直至热采结束,完成超临界混合流体采油过程。

[0020] 与现有技术相比,本发明具有以下有益的技术效果:

[0021] 本发明一种超临界混合流体采油三维模拟实验系统,采用压力仓以及设置于压力仓内的三维模型本体,三维模型本体底部、上端和侧壁均设有加热板,加热板通过加热板电线连接有温控器组,温控器组连接有加热板温度测量热电偶组、云场温度测量热电偶和数据采集系统,温度测量热电偶组固定于三维模型本体的侧壁、底部和上端,云场温度测量热电偶的测量头位于三维模型本体内部,温度测量热电偶组的测量头位于三维模型本体内部,

温度测量热电偶组连接于数据采集系统,将三维模型本体的保温和加热内置于其腔体之内,根据不同面的加热板加热,热电偶组和数据采集系统采集数据,结构简单,能够有效的避免注入的高温热流体通过模型壁面向外散热和模型本体材质的吸热,减小热损失给实验带来的影响,本发明结构能够减小围压介质的加热装置,操作简单、安全可靠。

[0022] 进一步的,在三维模型本体内底部、上端和侧壁采用热电偶分布将加热板分成大小不同,构造结构不同的独立加热板,通过一组两根热电偶与温控器的连接,实现对三维模型恒温或绝热的控制。

[0023] 进一步的,第一云母板的厚度大于第二云母板厚度,第三云母板的厚度大于第四云母板的厚度;第三云母板厚度大于第四云母板厚度,能够有效避免因注入超临界混合物造成的热量损失,提高精度。

[0024] 进一步的,竖直井采用9点法布置于模型腔体内底部;模型腔体内底部在竖直井形成的阵列区域内阵列有九个相同大小的底加热板块;云场温度测量热电偶按阵列布置在竖直井形成的阵列区域内,在竖直井形成的阵列区域内各角点位置的对角云场温度测量热电偶沿对角线向中心偏移,底加热板块上的加热管呈凹形弯曲,四个角上的底加热板块上的加热管的凹形开口朝向矩形阵列对角线向外,四个边上的底加热板块上的加热管的凹形开口朝向矩形阵列外侧,将加热管密布于模型腔体内底部,在腔体内形成稳定的热流场,避免热量紊乱影响实验数据。

[0025] 一种超临界混合流体采油三维模拟实验方法,根据不同面的井组、热电偶分布将加热板分成大小不同,构造结构不同的独立加热板。测温控温热电偶组分别测量云母板两端的温度,将信号输入温控器,实现对三维模型恒温或绝热的控制,温控器之间相互独立实现对三维模型每块加热板温度的准确控制。

附图说明

[0026] 图1是本发明实施例中具体结构示意图。

[0027] 图2是本发明实施例中三维模型本体剖视图。

[0028] 图3是本发明实施例中三维模型本体底面结构图。

[0029] 图4是本发明实施例中三维模型本体底面加热板结构图。

[0030] 图5是本发明实施例中压实活塞结构图。

[0031] 图6是本发明实施例中压实活塞下端加热板设置结构图。

[0032] 图7是本发明实施例中三维模型本体侧壁加热板结构图。

[0033] 图8是本发明实施例中加热板温度测量热电偶组结构图。

[0034] 图中:1、压力仓;2、三维模型本体;3、计算机;4、数据采集系统;5、温控器组;6、加热板电线;7、加热板温度测量热电偶组;8、上盖;9、压实活塞;10、第二螺栓组;11、第一螺栓组;12、密封垫圈;13、模型腔体;14、第一云母板;15、第一电加热板;16、第二云母板;17、第三云母板;18、第二电加热板;19、第四云母板;20、第五云母板;21、第三电加热板;22、第六云母板;23、竖直井;24、云场温度测量热电偶;25、加热板电线接头;26、加热板热电偶测温控温接头;27、加热管;28、对角云场温度测量热电偶;29、第一热电偶;30、第二热电偶;D1、第一底加热板块;D2、第二底加热板块;D3、第三底加热板块;4、第四底加热板块;D5、最中间的第五底加热板块D6、第六底加热板块;D8、第八底加热板块;D7第七底加热板块;D9、第九

底加热板块。

具体实施方式

[0035] 下面结合附图对本发明做进一步详细描述：

[0036] 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、完整的描述，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。

[0037] 如图1~图8所示，一种超临界混合流体采油三维模拟实验系统，包括压力仓1以及设置于压力仓1内的三维模型本体2，三维模型本体2内底部、上端和侧壁均设有加热板，加热板通过加热板电线6连接有温控器组5，温控器组5连接有加热板温度测量热电偶组7和数据采集系统4，数据采集系统4连接有云场温度测量热电偶24，加热板温度测量热电偶组7固定于三维模型本体2的侧壁、底部和上端，云场温度测量热电偶24的测量头位于三维模型本体2内，云场温度测量热电偶24连接于数据采集系统4。

[0038] 如图2所示，三维模型本体2包括模型腔体13，模型腔体13上端设有开口，模型腔体13内底部由下向上依次设有第一云母板14、第一电加热板15和第二云母板16，第一云母板14一侧与模型腔体13内底部接触；模型腔体13上端设有上盖8和压实活塞9，上盖8设置于模型腔体13上端外侧，压实活塞9的下端依次设有第三云母板17、第二电加热板18和第四云母板19；模型腔体13内侧壁依次堆叠有第五云母板20、第三电加热板21和第六云母板22，第五云母板20一侧与模型腔体13内侧面接触；

[0039] 第一云母板14的厚度大于第二云母板16厚度，第三云母板17的厚度大于第四云母板19的厚度；第五云母板20厚度大于第四云母板21厚度，采用厚度不同的云母片；模型腔体的上端与模型腔体的侧壁、模型腔体的侧壁与模型腔体下端转角处均设有云母条，云母条的厚度等于接触面两块云母板与加热板厚度的和；将厚云母片作为加热板与模型腔体壁之间的隔热结构，能够真实反映模型腔体内与模型腔体外侧的真是环境。

[0040] 如图2所示，上盖8与模型腔体13通过第一螺栓组11固定连接，上盖8与压实活塞9通过第二螺栓组10固定连接，压实活塞9与第二螺栓组10之间设有密封垫圈12。

[0041] 如图3、图4所示，本申请在模型腔体13内底部阵列有多个云场温度测量热电偶24、多个竖直井23和多个相同大小的底加热板块，多个云场温度测量热电偶24连接于数据采集系统4，数据采集系统4连接于计算机3，数据采集系统4采集到的数据存储与计算机3中，用于数据统计和存储；每个底加热板块单独连接一个温控器组5。多个相同大小的底加热板块形成第一电加热板15。每个底加热板块上设有两个加热板电线接头25、一个加热板热电偶测温控温接头26和一个加热管27，加热管27的两端与两个加热板电线接头25连接，两个加热板电线接头25通过导线连接温控器组。

[0042] 如图4所示，本申请中，竖直井23采用9点法布置于模型腔体13内底部，即采用九个竖直井在模型腔体13内底部形成三排三列的正方形；模型腔体13内底部在竖直井23形成的阵列区域内阵列有九个相同大小的底加热板块；云场温度测量热电偶24按阵列布置在竖直井23形成的阵列区域内，在竖直井23形成的阵列区域内4各角点位置的对角云场温度测量热电偶28沿对角线向中心偏移；在矩形阵列九个相同大小的底加热板块中，四个角上的底

加热板块为第一构造结构H1,如第一底加热板块D1、第三底加热板块D3、第七底加热板块D7和第九底加热板块D9;四个边上的底加热板块为第二构造结构H2,如第二底加热板块D2、第四底加热板块4、第六底加热板块D6和第八底加热板块D8,最中间的第五底加热板块D5为第三构造结构H3。

[0043] 如图4所示,其中,底加热板块上的加热管27呈凹形弯曲,四个角上的底加热板块上的加热管27的凹形开口朝向矩形阵列对角线向外,四个边上的底加热板块上的加热管27的凹形开口朝向矩形阵列外侧。

[0044] 如图5、图6所示,压实活塞9下端阵列有多个顶加热板,每个顶加热板上设有两个加热板电线接头、一个加热板热电偶测温控温接头、一个加热管和一个加热板温度测量热电偶组7,加热管的两端与两个加热板电线接头连接,两个加热板电线接头通过导线连接温控器组;本申请采用九点阵列,在压实活塞9下端阵列九个顶加热板(U1-U9),形成三排三列阵列,每个顶加热板上的加热管形状相同。压实活塞9下端顶加热板构成第四构造结构H4。

[0045] 如图7所示,模型腔体13内侧壁阵列有多个加热板温度测量热电偶组7和多个侧加热板,每个侧加热板上设有两个加热板电线接头、一个加热板热电偶测温控温接头和一个加热管,加热管的两端与两个加热板电线接头连接,两个加热板电线接头通过导线连接温控器组。本申请采用水平双排阵列,每排阵列四个侧加热板,共八个侧加热板P1~P8,如图6所示,模型腔体13内侧壁的多个侧加热板为第五构造结构H5。

[0046] 如图8所示,加热板温度测量热电偶组7包括第一热电偶29和第二热电偶30,第一热电偶29设置于模型腔体13内,用于侧模型腔体13内部温度,第二热电偶30设置于第三电加热板21和第六云母板21之间,用于检测第六云母板外壁面温度。三维模型本体置于压力仓1内,采用水作为模型本体的围压填充介质,最大承受压力35MPa。所述三维模型本体采用不锈钢制作,耐压不低于2MPa,耐温不低于450℃。密封垫圈12采用不锈钢石墨垫圈,具体采用一层不锈钢一层石墨交织组成。

[0047] 实施例

[0048] 如图1所示,温控器组由若干温控器组成,温控器之间相互独立,每个温控器控制一块独立加热板。模型腔体13上端的第二电加热板18通过第一加热板温度测量热电偶组7U通过加热板热电偶测温控温接头引出接入第一温控器5U,第一加热板电线6U通过加热板电线接头26引出接入第一温控器5U,第一温控器5U利用第二热电偶30温度信号控制壁面加热,实现恒温壁面控制,利用第一热电偶29与第二热电偶30温差信号实现绝热壁面控制。模型腔体13侧壁的第三电加热板21通过第二加热板温度测量热电偶组7P通过加热板热电偶测温控温接头引出接入第二温控器5P,第二加热板电线6P通过加热板电线接头26引出接入第二温控器5P,第二温控器5P利用第二热电偶温度信号控制壁面加热,实现恒温壁面控制,利用第一热电偶与第二热电偶温差信号实现绝热壁面控制。模型腔体13内底部的第一电加热板15通过第三加热板温度测量热电偶组7D通过加热板热电偶测温控温接头引出接入第三温控器5D,第三加热板电线6D通过加热板电线接头26引出接入第三温控器5D,第三温控器5D利用第二热电偶温度信号控制壁面加热,实现恒温壁面控制,利用第一热电偶与第二热电偶温差信号实现绝热壁面控制

[0049] 在依据本发明的一个实施例中,三维模型本体填砂净尺寸长宽高为500*500*300mm,注入混合流体为水和二氧化碳,注入参数为25MPa,400℃,油藏初始温度75℃。

[0050] 三维模型本体腔体内尺寸为600*600*400mm,第一厚云母板、第三厚云母板和第五厚云母板厚度为25mm,第一加热板、第二加热板和第三加热板为20mm,第二薄云母板、第四薄云母板和第六薄云母板厚度为5mm,云母条厚度为50mm。

[0051] 云场温度测量热电偶按8*8*5布置,各排间距70mm,高度方向间距70mm,角点位置的云场温度测量热电偶沿对角线向中心偏移,一共320根云场温度测量热电偶。

[0052] 模型底部有9块独立加热板,D1、D3、D7、D9加热板为第一构造结构H1,D2、D4、D6、D8加热板为第二构造结构H2,D5加热板为第三构造结构H3,模型上部有9块大小相同且独立的加热板U1~U9,加热板为第四构造结构H4,模型单侧面8块独立加热板一共32块独立加热板,每个侧面的加热板按2行4列分成8块大小相同且独立的加热板P1~P8,加热板为第五构造结构H5。

[0053] 温控器组由50块独立的温控器组成,温控器之间相互独立,每块温控器连接一个独立加热板上的加热管电源及加热板温度测量控制热电偶组。计算机通过数据采集系统连接于温控器组实现对温控器组数据的显示、存储和控制;通过计算机实现对温度组温度批量的设置和单个调整。

[0054] 热采过程温度控制步骤如下:

[0055] 三维模型本体置于压力仓内,填充围压介质水。

[0056] 温控器切换为温度控制模式,此时,第二热电偶30测量的加热板内侧温度为控制信号,温控器温度设为75℃,加热三维模型本体;

[0057] 计算机采集三维模型本体内部温度,根据云场温度调节不同位置的加热板温度,使三维模型本体内部温度均匀,恒温控制;

[0058] 饱和和油过程:维持温控器设置温度不变直至热采结束;

[0059] 温控器切换为温差控制模式:开始注入超临界水和二氧化碳,此时,第一热电偶29与第二热电偶30温差信号为控制信号,通过温控器组加热板对三维模型本体加热,使三维模型本体内部和三维模型本体壁面的温差不变直至热采结束,壁面为绝热控制模式,超临界水和二氧化碳释放的热量全部用于加热油、砂和水,维持温控器控温方式不变直至热采结束。

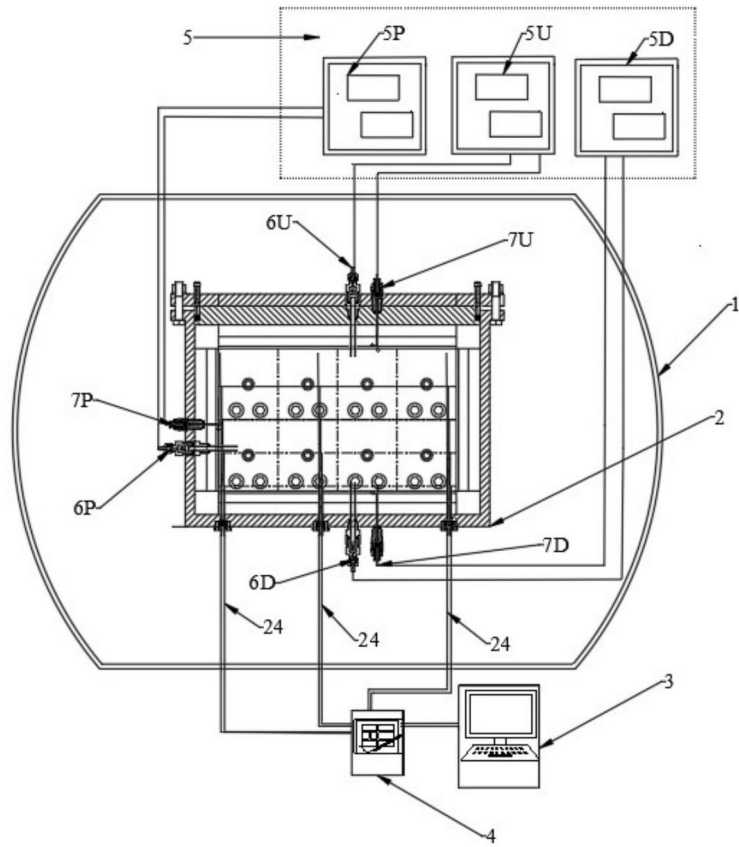


图1

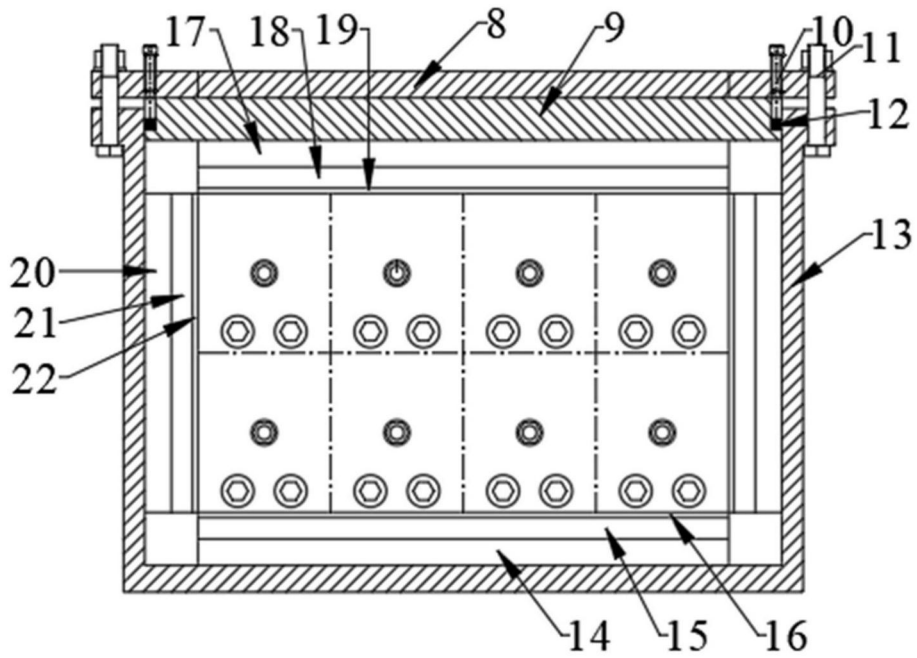


图2

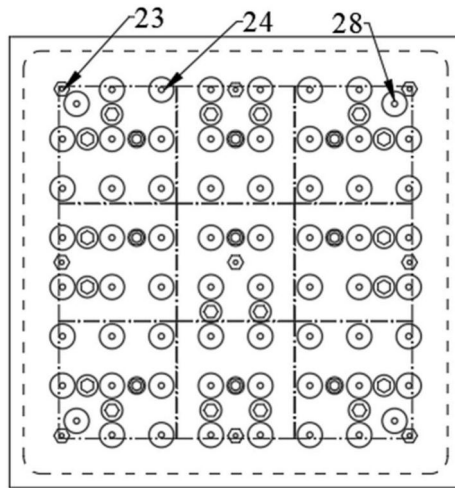


图3

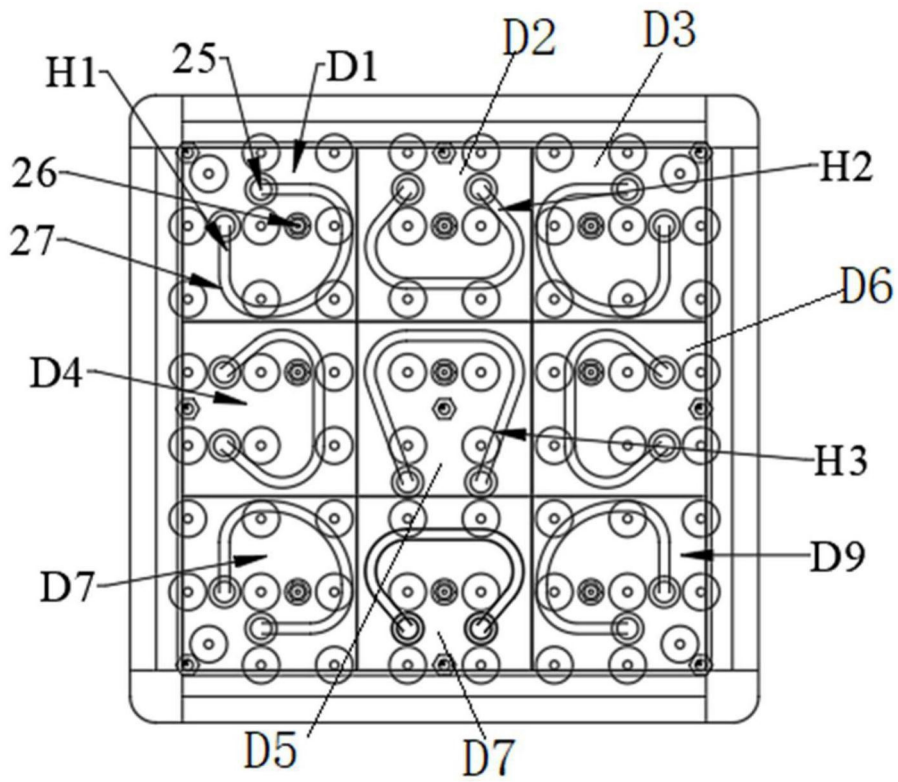


图4

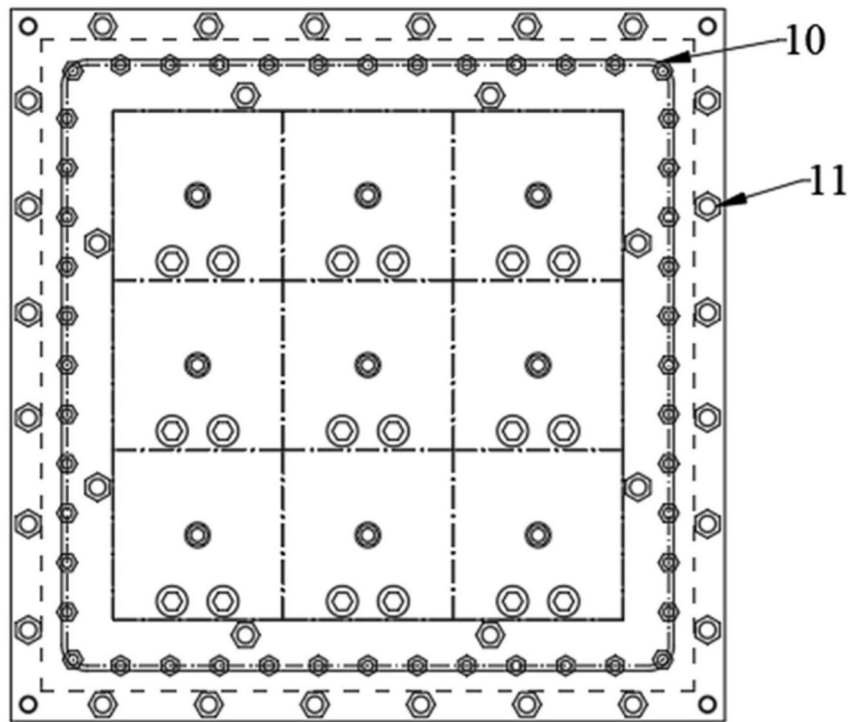


图5

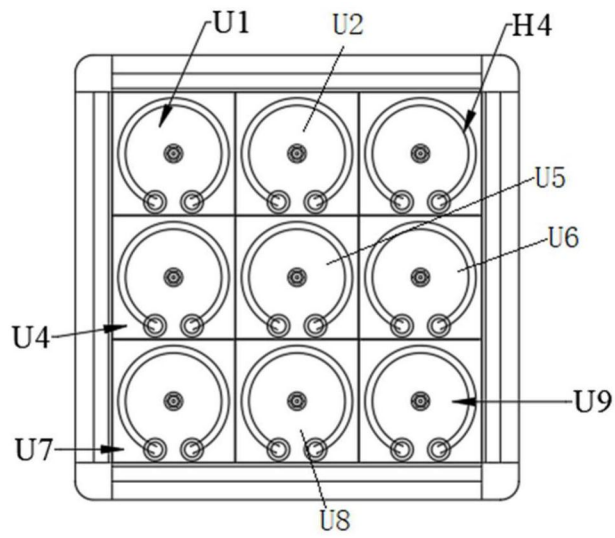


图6

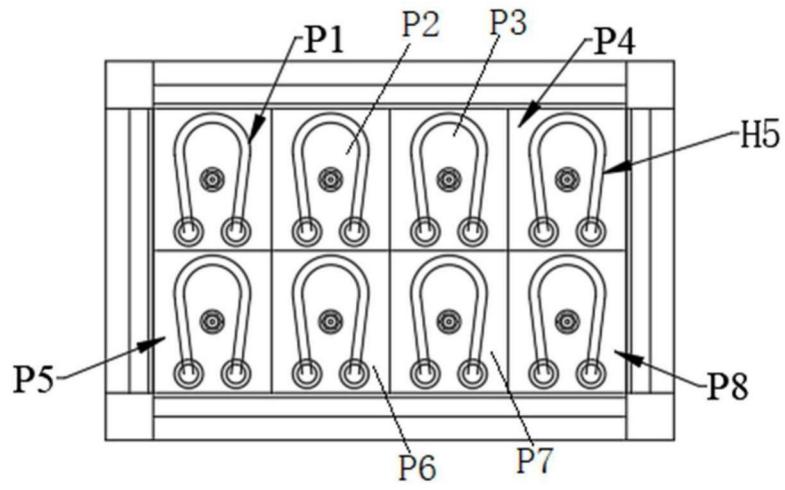


图7

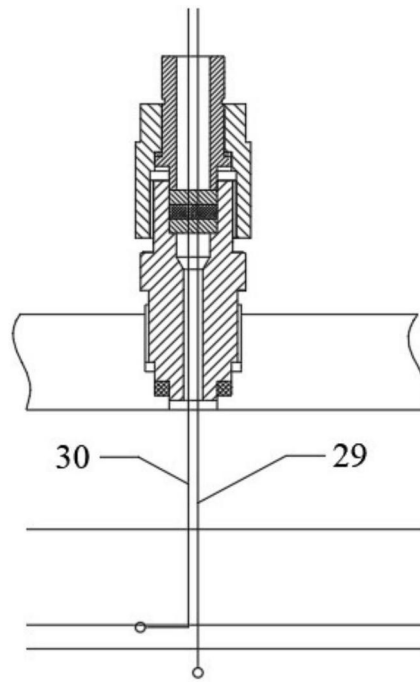


图8