



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 117432399 B

(45) 授权公告日 2024. 08. 06

(21) 申请号 202311402286.1

(22) 申请日 2023.10.26

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 117432399 A

(43) 申请公布日 2024.01.23

(73) 专利权人 青岛地质工程勘察院(青岛地质
勘查开发局)

地址 266101 山东省青岛市崂山区科苑纬
四路73号

(72) 发明人 付佳妮 何鹏 傅晓敏 刘良
徐美君 于鹏

(74) 专利代理机构 广州新诺专利商标事务所有
限公司 44100
专利代理师 林健明

(51) Int. Cl.

E21B 49/00 (2006.01)

E21B 43/00 (2006.01)

E21B 43/30 (2006.01)

G06F 30/28 (2020.01)

G16C 20/10 (2019.01)

G06Q 50/02 (2024.01)

(56) 对比文件

US 2023228461 A1, 2023.07.20

US 4043129 A, 1977.08.23

审查员 钟睿鸿

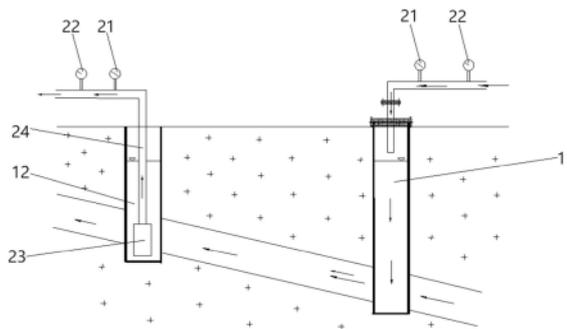
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种带脉状热储地热流体可开采资源量计算方法

(57) 摘要

本发明提出一种带脉状热储地热流体可开采资源量计算方法,采用对地热井进行变压回灌实验,同步检测回灌水源和开采热水的硝酸盐浓度,通过两者水质硝酸盐浓度的比值,可以较为准确的计算出回灌水与地热水的混合比例,由此计算出带脉状基岩热储地热田的可开采资源量。该方法有较强的适用性和准确性,一是适用于受断裂构造控制的地热田,不需要考虑热储不规则的空间形态;二是不需要历年庞大的动态监测数据,计算简单;三是操作方法简单易行,适用于单个和多个开采井的地热田评价。该方法在温石汤和汤村汤地热田均进行了验证,通过与数值模拟等方法结果对比分析,该方法准确性较高。



1. 一种带脉状热储地热流体可开采资源量计算方法,其特征在于,

设置回灌井和开采井,所述回灌井的深度尺寸大于所述开采井的深度尺寸,所述回灌井位于地下水流场的上游,所述开采井位于地下水流场的下游,且所述回灌井和所述开采井与同一地层热储相连通;

回灌水经由所述回灌井注入至地层热储中并与地热水混合后沿着所述地层热储流动,经由所述开采井将混合后的部分热水抽出;

获取所述回灌井中的回灌水的回灌量 $Q_{回}$,所述回灌量 $Q_{回}$ 的单位是 m^3/d ,获取所述开采井中的地热水开采量 $Q_{抽}$,所述地热水开采量 $Q_{抽}$ 的单位是 m^3/d ;

其中,每隔20min、30min、60min、120min监测 $\omega_{抽}$ 、 $\omega_{回}$ 、 $Q_{抽}$ 、 $Q_{回}$,直至所述地热水开采量 $Q_{抽}$ =所述回灌量 $Q_{回}$ 时,停止向所述回灌井中注入回灌水以满足采灌均衡条件;

获取所述回灌井中的回灌水的硝酸盐浓度 $\omega_{回}$,所述回灌水的硝酸盐浓度 $\omega_{回}$ 的单位是mg/L;

获取所述开采井中的开采地热水的硝酸盐浓度 $\omega_{抽}$,所述开采地热水的硝酸盐浓度 $\omega_{抽}$ 的单位是mg/L;

获取原地热水的硝酸盐浓度 $\omega_{热}$;

根据地热水可开采量计算公式确定地热流体可开采资源量 $Q_{热}$,其中:

$$Q_{热} = (Q_{抽} \omega_{抽} - Q_{回} \omega_{回}) / \omega_{热};$$

确定所述地热流体可开采资源量 $Q_{热}$ 和回灌水的回灌量 $Q_{回}$ 的比例因子n,其中:

$$\text{所述比例因子 } n = Q_{热} / Q_{回}。$$

2. 如权利要求1所述的带脉状热储地热流体可开采资源量计算方法,其特征在于,所述回灌井内设置流量计、压力表和硝酸盐浓度监测仪,所述开采井内设置流量计、压力表和硝酸盐浓度监测仪。

3. 如权利要求1所述的带脉状热储地热流体可开采资源量计算方法,其特征在于,所述开采井内设置潜水泵和抽水管,通过所述潜水泵和所述抽水管将开采井中的开采地热水进行抽取。

4. 如权利要求1所述的带脉状热储地热流体可开采资源量计算方法,其特征在于,经由所述回灌井注入至地层热储中的回灌水的回灌压力由小到大逐渐增加。

5. 如权利要求1所述的带脉状热储地热流体可开采资源量计算方法,其特征在于,所述原地热水的硝酸盐浓度 $\omega_{热}$ 是通过地对地热井进行抽水试验所获得。

6. 如权利要求2所述的带脉状热储地热流体可开采资源量计算方法,其特征在于,所述开采地热水的硝酸盐浓度 $\omega_{抽}$ 和所述回灌水的硝酸盐浓度 $\omega_{回}$ 通过所述硝酸盐浓度监测仪进行同步在线分析。

一种带脉状热储地热流体可开采资源量计算方法

技术领域

[0001] 本发明涉及地热资源可开采量计算技术领域,尤其涉及一种带脉状热储地热流体可开采资源量计算方法。

背景技术

[0002] 国内地热田计算地热可开采资源量主要是依据《地热资源勘查规范》(GB11615—2010)和《地热资源评价方法》(DZ40—85)等规范,部分地区如天津、河北、山东、河南等地区针对当地的地质背景和地热资源特点,分别制定了地热勘查、评价的省标。地热可开采资源量计算采用的方法主要有热储法、解析法、统计分析法、集中参数数学模型法、数值法、比拟法、回灌条件下地热流体可开采量计算法等。

[0003] 地表热流量法:根据地热田散发的热量估算地热资源量。适用于勘查程度低、无法用热储法计算地热资源的情况,且有温热泉等散发热量时使用,对于埋藏深度较大且水温较低的地热田并不适用。

[0004] 热储法主要用于计算热储中储存的热量和热水储量。适用于热储温度有少量地热井控制的,地热异常范围大致能确定的地热田,计算中需要确定地热田的面积、热储层厚度,因此普遍运用于层状孔隙型热储,也可以用于层状裂隙型热储。但对于带脉状热储类似于腔管状的倾斜形态,想要确定厚度和地热田面积则较为困难。

[0005] 解析法通常将热储概化为均值、各向同性、等厚、各处初始压力相等的无限承压含水层,主要用于勘查程度较低资料较少的地热田,对于带脉状热储同样不适用。

[0006] 统计分析法适用于具有多年动态监测资料的地热田,采用分析法建立的统计模型预测地热田在定(变)量开采条件下的压力变化趋势,并确定一定降深条件下的可开采量。模型需要有较高的相关系数,监测数据时长决定了预测的时限。而胶东地区地热田大多没有长期的观测资料,该方法在胶东地区使用受限。

[0007] 集中参数数学模型法:在建立地热田地热地质概念模型的基础上,采用集中参数模型模拟热储的温度和压力(水位)对不同采灌情景的响应。集中参数模型的优势在于仅需要历年开采量及相应的水位(压力)响应数据。同样,长期开采数据的获取是地热资源量计算的难题。

[0008] 数值法精度相对较高,需要查明地热田地热地质特征、温度场分布及变化规律,同时还需具备地热试井、回灌、开采、监测、水质分析等多种资料。对已有资料完整程度的要求较高,用于解决复杂的地质问题,对于地质资料短缺的地热田适用性较差。

[0009] 比拟法用于勘查程度较低阶段,利用已有地热田的地热资源量来推算地质条件相似的地热田的资源量。必须要在地热储藏、分布条件相似的地热田才能使用,但每个地热田的地质条件均不可能完全一致,类比结果可能与实际情况存在很大的差异。

[0010] 回灌条件下地热流体可开采量算法:采灌均衡条件下,保持热均衡、水位降至最大允许水位埋深时的开采量即为回灌条件下地热流体可开采量,回灌时针对的是单个开采井或者多个开采井,受制于井的数量,并不能指示整个地热田的地热流体可开采量。

[0011] 目前尚未有适用于胶东地区带脉状基岩地热田地热资源可开采量计算方法,实践中多根据情况采用以上一种或几种方法确定,但以上方法主要适用于层状砂岩热储或研究程度较高的地热田,对构造裂隙型热储的准确性和适用性存疑。

发明内容

[0012] 有鉴于此,本发明所要解决的技术问题是:如何提供一种带脉状热储地热流体可开采资源量计算方法以解决构造裂隙型热储适用度低,地热田监测数据较少,地热地质条件不明确等易造成地热流体可开采量计算值偏差较大的问题。

[0013] 为实现上述目的,本发明提供一种带脉状热储地热流体可开采资源量计算方法,其包括:设置回灌井和开采井,所述回灌井的深度尺寸大于所述开采井的深度尺寸,所述回灌井位于地下水流场的上游,所述开采井位于地下水流场的下游,且所述回灌井和所述开采井与同一地层热储相连通;

[0014] 回灌水经由所述回灌井注入至地层热储中并与地热水混合后沿着所述地层热储流动,经由所述开采井将混合后的部分热水抽出;

[0015] 获取所述回灌井中的回灌水的回灌量 $Q_{回}$,所述回灌量 $Q_{回}$ 的单位是 m^3/d ;

[0016] 获取所述回灌井中的回灌水的硝酸盐浓度 $\omega_{回}$,所述回灌水的硝酸盐浓度 $\omega_{回}$ 的单位是 mg/L ;

[0017] 获取所述开采井中的地热水开采量 $Q_{抽}$,所述地热水开采量 $Q_{抽}$ 的单位是 m^3/d ;

[0018] 获取所述开采井中的开采地热水的硝酸盐浓度 $\omega_{抽}$,所述开采地热水的硝酸盐浓度 $\omega_{抽}$ 的单位是 mg/L ;

[0019] 获取原地热水的硝酸盐浓度 $\omega_{热}$;

[0020] 根据地热水可开采量计算公式确定地热流体可开采资源量 $Q_{热}$,其中:

[0021] $Q_{热} = (Q_{抽} \omega_{抽} - Q_{回} \omega_{回}) / \omega_{热}$;

[0022] 确定所述地热流体可开采资源量 $Q_{热}$ 和回灌水的回灌量 $Q_{回}$ 的比例因子 n ,其中:

[0023] 所述比例因子 $n = Q_{热} / Q_{回}$ 。所述地热水开采量 $Q_{抽} =$ 所述回灌量 $Q_{回}$ 。

[0024] 进一步地,所述回灌井内设置流量计、压力表和硝酸盐浓度监测仪,所述开采井内设置流量计、压力表和硝酸盐浓度监测仪。

[0025] 进一步地,所述开采井内设置潜水泵和抽水管,通过所述潜水泵和所述抽水管将开采井中的开采地热水进行抽取。

[0026] 进一步地,经由所述回灌井注入至地层热储中的回灌水的回灌压力由小到大逐渐增加。

[0027] 进一步地,每隔20min、30min、60min、120min监测 $\omega_{抽}$ 、 $\omega_{回}$ 、 $Q_{抽}$ 、 $Q_{回}$ 至,直至所述地热水开采量 $Q_{抽} =$ 回灌量 $Q_{回}$ 时,停止向所述回灌井中注入回灌水。

[0028] 进一步地,所述原地热水的硝酸盐浓度 $\omega_{热}$ 是通过地对地热井进行抽水试验所获得。

[0029] 进一步地,所述开采地热水的硝酸盐浓度 $\omega_{抽}$ 和所述回灌水的硝酸盐浓度 $\omega_{回}$ 通过所述硝酸盐浓度监测仪进行同步在线分析。

[0030] 与相关技术相比,本发明提出的一种带脉状热储地热流体可开采资源量计算方法,其有益效果在于:针对地质资料不完备、带脉状基岩热储适用性较差的问题,采用该计算方法估算地热田可开采资源量主要具备以下技术效果:

[0031] (1) 适用于带脉状基岩热储地热田。目前胶东地区带脉状构造型地热田可开采资源量计算方法尚无确定方法,受多条断裂构造控制的地热田热储形态通常并不规则,无法准确判断其热储厚度和面积。本专利不需要计算热储不规则空间形态,可适用于受多条断裂构造控制的地热田,同时对于层状热储的地热田同样适用。

[0032] (2) 对地热田的地质资料要求较低。本专利不需要具备庞大的历史动态监测数据,水文地质参数简单。通过地热地质调查后,采用回灌的方法即可确定地热可开采资源量。有效节省地热地质调查时间成本和资金成本。

[0033] (3) 操作方法简单易行。该专利计算方法简单,仅采用硝酸盐的比例就可以计算出地下热水的可开采资源量。简单易行,容易复制,适用于单个和多个开采井的地热田评价,也可用于层状和带脉状热储地热田中。

[0034] (4) 回灌方法可以延长地热田寿命,实现资源再生。回灌流体成为地热水资源,达到资源再生的目的,维持地热的开采条件,使热储层得到保养,延长地热田的寿命,从而实现对地热资源的有效保护,促进地热资源的开发利用方式从粗放型向集约型转变。

[0035] 此外,本申请在温石汤和汤村汤地热田均进行了验证,通过与数值模拟等方法结果对比分析,表明该方法准确性较高,可以为胶东地区带脉状基岩热储的地热资源评价工作提供新的思路。

附图说明

[0036] 图1为本发明实施例中带脉状基岩裂隙地热田热储空间形态模型;

[0037] 图2为本发明实施例中带脉状热储地热流体可开采资源量计算方法的回灌试验流程图;

[0038] 图3为本发明实施例中热储模型和地热井回灌概念模型。

具体实施方式

[0039] 下面结合附图和具体实施方式对本发明做进一步详细说明。

[0040] 本发明提供一种带脉状热储地热流体可开采资源量计算方法,具体是针对地质资料不完备、带脉状基岩热储适用性较差的问题所提出,其中,带脉状基岩裂隙地热田热储空间形态模型参考图1所示。

[0041] 本发明提供一种带脉状热储地热流体可开采资源量计算方法其主要涉及的流程主要包括:地热地质调查、物探、地热井钻探、抽水试验、建立地热井回灌概念模型、回灌实验、调节压力控制开采深度、动态监测、可开采资源量计算。

[0042] 具体地,地热地质调查包括根据地热田已有调查程度进行1:1万—1:5万地热地质调查,调查地热田的地形地貌、地层岩性、热储岩性、断裂构造产状、水文地质条件、已有地热井条件、水位埋深、单井出水量、实际开采量、地热水水温水质、周围可以作为回灌水源的地下水水质(特别是硝酸盐浓度)。

[0043] 物探包括采用电阻率联合剖面法、可控源音频大地电磁CSAMT、高密度电法等综合物探技术,判断控热和控水断层的走向和位置,在构造异常部位开展视电阻率测深、高精度电磁频谱探测(MES)工作,确定断裂交汇部位深度。各类测线应垂直于导水与导热断层方向布设,尽量沿工作区道路放线,避开障碍物和干扰点。

[0044] 地热井钻探包括精确计算两条断层的交汇部位,确定回灌井11与开采井12距离、钻探深度。回灌井11深度应大于开采井12深度,回灌井11位于地下水流场的上游,开采井12位于地下水流场的下游,且回灌井11和开采井12与同一地层热储相连通,使回灌水流经沿热储运移过程中有足够距离时间与地热水进行热量交换和混合,回灌水经由回灌井11注入至地层热储中并与地热水混合后沿着地层热储流动,经由开采井12将混合后的部分热水抽出。

[0045] 抽水试验包括对地热井进行抽水试验,获取地层渗透系数、裂隙率、单井涌水量、地热水的硝酸盐浓度 $\omega_{\text{热}}$ 等参数。

[0046] 进一步地,回灌井11和开采井12内分别设置流量计21、压力表22和硝酸盐浓度监测仪。开采井12内设置潜水泵23和抽水管24,通过潜水泵23和抽水管24将开采井中的开采地热水进行抽取。

[0047] 建立地热井回灌概念模型:根据断裂构造产状、热储形态、回灌井和开采井位置、地热水运移规律,建立热储模型和地热井回灌概念模型,参考说明书附图2。回灌水通过回灌井注入不规则热储中,与地热水混合均匀后沿着热储向水头低的位置径流,开采井将混合后的部分地热水抽出地表,剩余部分继续向下游排泄。

[0048] 回灌实验包括根据地热地质调查成果,选择合适的回灌水源,包括地下水、地热尾水等,需要满足水量充足、水质、水温稳定,对原有地热水影响较小。同时回灌水水中的硝酸盐浓度与地热水存在一定的差距。开采地热水的硝酸盐浓度 $\omega_{\text{抽}}$ 和回灌水的硝酸盐浓度 $\omega_{\text{回}}$ 通过硝酸盐浓度监测仪进行同步在线分析。

[0049] 调节压力控制开采深度包括在保证开采井出水温度不影响地热水正常使用的前提下,按照压力从小到大调节回灌压力。与此同时控制地热水开采量,调节水位降至最大允许水位埋深。

[0050] 获取回灌井中的回灌水的回灌量 $Q_{\text{回}}$,回灌量 $Q_{\text{回}}$ 的单位是 m^3/d 。

[0051] 获取回灌井中的回灌水的硝酸盐浓度 $\omega_{\text{回}}$,回灌水的硝酸盐浓度 $\omega_{\text{回}}$ 的单位是 mg/L 。

[0052] 获取开采井中的地热水开采量 $Q_{\text{抽}}$,地热水开采量 $Q_{\text{抽}}$ 的单位是 m^3/d 。

[0053] 获取开采井中的开采地热水的硝酸盐浓度 $\omega_{\text{抽}}$,开采地热水的硝酸盐浓度 $\omega_{\text{抽}}$ 的单位是 mg/L 。

[0054] 获取原地热水的硝酸盐浓度 $\omega_{\text{热}}$ 。

[0055] 根据地热水可开采量计算公式确定地热流体可开采资源量 $Q_{\text{热}}$,其中:

$$[0056] \quad Q_{\text{热}} = (Q_{\text{抽}} \omega_{\text{抽}} - Q_{\text{回}} \omega_{\text{回}}) / \omega_{\text{热}}。$$

[0057] 确定地热流体可开采资源量 $Q_{\text{热}}$ 和回灌水的回灌量 $Q_{\text{回}}$ 的比例因子 n ,其中:

[0058] 比例因子 $n = Q_{\text{热}} / Q_{\text{回}}$ 。通过所确定的比例因子,可计算任意回灌压力条件下地热水可开采量。具体地,试验采用对井回灌实验,上游地热井回灌,下游地热水开采。在回灌过程中调节回灌水压力,回灌水在热储中被蕴藏在岩石骨架中的热量加热,同时与深循环地热水进行混合。在实验过程中,同步采集回灌水和开采井中地热水样品,现场进行硝酸根离子检测。

[0059] 选择硝酸盐作为示踪剂的原因是自然条件下,回灌水水中的硝酸盐在短时间内基本不与热储中的矿物发生化学反应,而其他常规离子可能通过与围岩发生反应释出或被吸

附。而如果采用其他示踪剂则需要回灌水中额外添加物质。通过计算回灌水和开采水中硝酸盐浓度的比值,可以较为准确的计算出回灌水与地热水的混合比例,由此计算出在不同开采强度下的地热田的可开采资源量。

[0060] 进一步地,每隔20min、30min、60min、120min监测 $\omega_{抽}$ 、 $\omega_{回}$ 、 $Q_{抽}$ 、 $Q_{回}$ 至,直至地热水开采量 $Q_{抽}=回灌量Q_{回}$ 时,停止向回灌井中注入回灌水。

[0061] 采灌均衡条件下,保持不发生热突破的情况下,水位降至最大允许水位埋深时的开采量属于单井的地热水开采量,地热水可开采资源量要比实际开采量要大。这是因为还有一定体积的地热水在与回灌水混合后,以径流的方式排泄至下游。采用最大允许水位埋深时的地热水开采量,控制回灌水压力(即回灌量),就可以根据地热水可开采量计算公式计算出真正的地热水可开采资源量。

[0062] 针对地质资料不完备、带脉状基岩热储适用性较差的问题,采用该计算方法估算地热田可开采资源量主要具备以下技术效果:

[0063] (1) 适用于带脉状基岩热储地热田。目前胶东地区带脉状构造型地热田可开采资源量计算方法尚无确定方法,受多条断裂构造控制的地热田热储形态通常并不规则,无法准确判断其热储厚度和面积。本专利不需要计算热储不规则空间形态,可适用于受多条断裂构造控制的地热田,同时对于层状热储的地热田同样适用。

[0064] (2) 对地热田的地质资料要求较低。本专利不需要具备庞大的历史动态监测数据,水文地质参数简单。通过地热地质调查后,采用回灌的方法即可确定地热可开采资源量。有效节省地热地质调查时间成本和资金成本。

[0065] (3) 操作方法简单易行。该专利计算方法简单,仅采用硝酸盐的比例就可以计算出地热水的可开采资源量。简单易行,容易复制,适用于单个和多个开采井的地热田评价,也可用于层状和带脉状热储地热田中。

[0066] (4) 回灌方法可以延长地热田寿命,实现资源再生。回灌流体成为地热水资源,达到资源再生的目的,维持地热的开采条件,使热储层得到保养,延长地热田的寿命,从而实现了对地热资源的有效保护,促进地热资源的开发利用方式从粗放型向集约型转变。

[0067] 此外,本申请在温石汤和汤村汤地热田均进行了验证,通过与数值模拟等方法结果对比分析,表明该方法准确性较高,可以为胶东地区带脉状基岩热储的地热资源评价工作提供新的思路。

[0068] 最后应说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

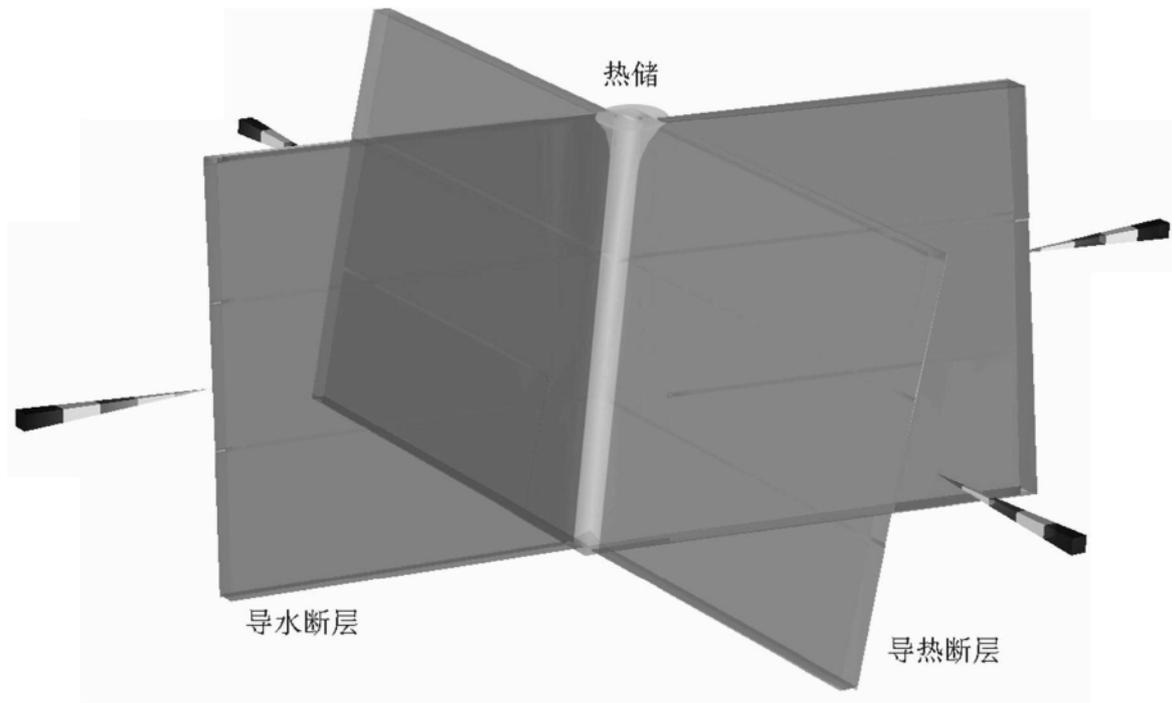


图1

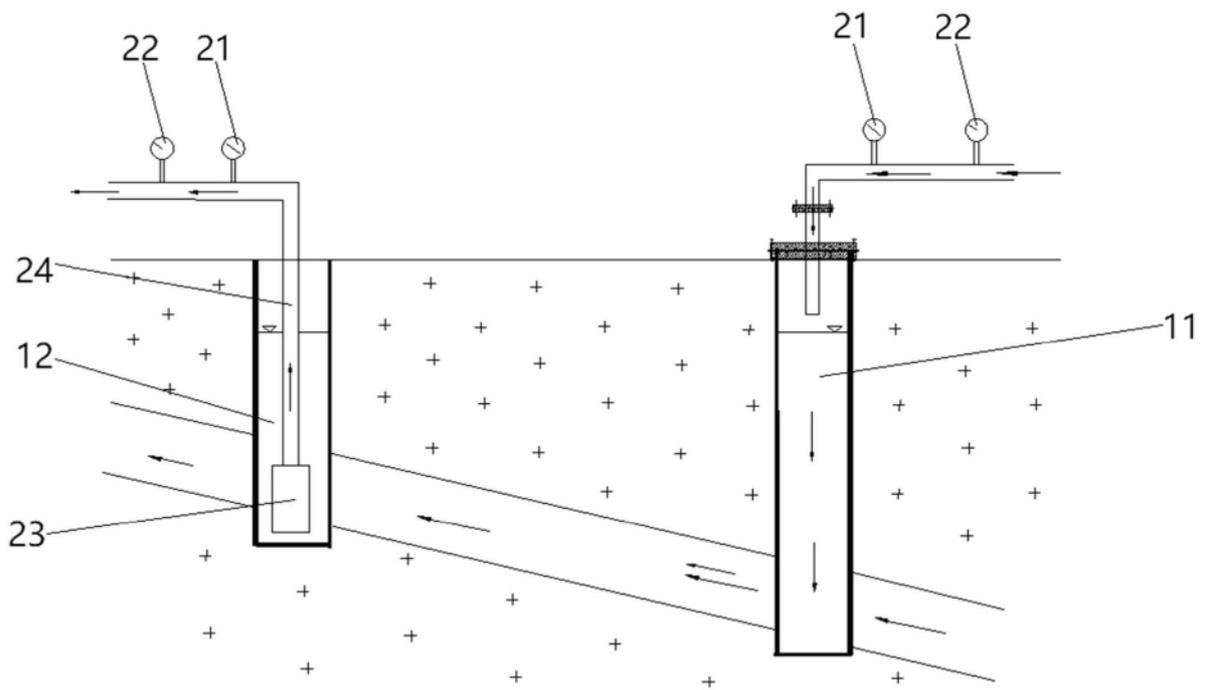


图2

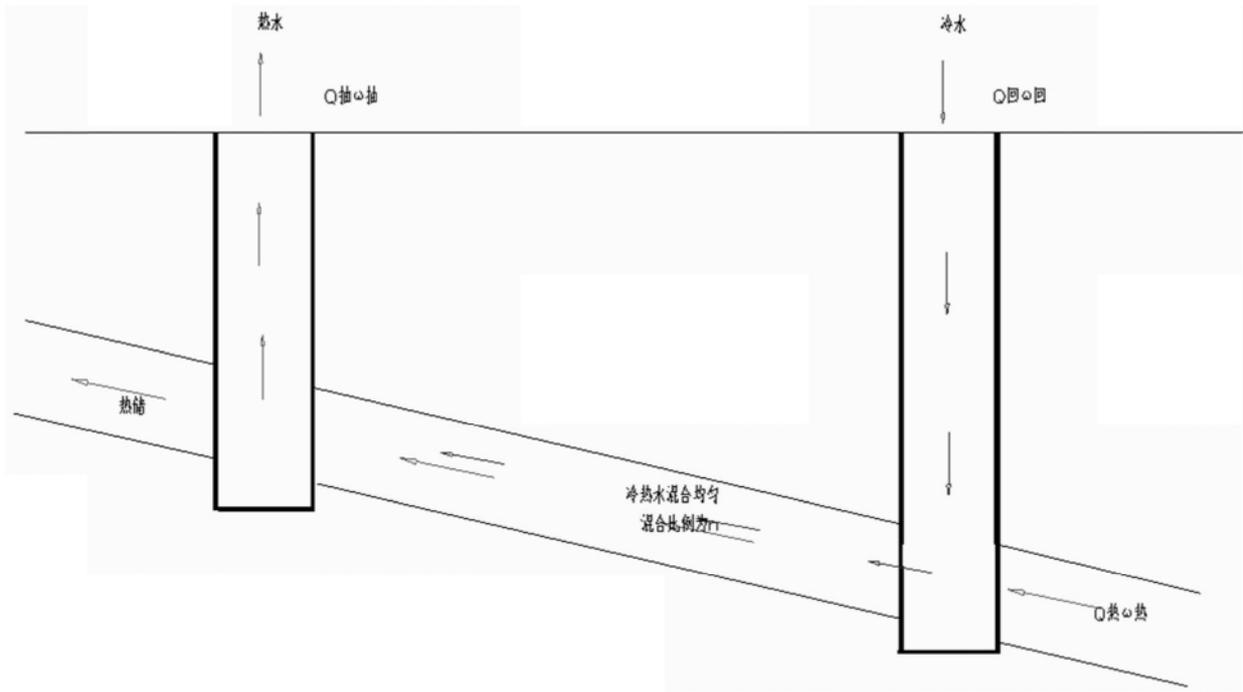


图3