



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110986395 A

(43)申请公布日 2020.04.10

(21)申请号 201910997254.8

(22)申请日 2019.10.21

(71)申请人 西安科技大学

地址 710054 陕西省西安市雁塔路中段58号

(72)发明人 郇超 刘浪 李圣腾 张波
周文武 李涛 赵玉娇 王美
张小艳 侯东壮 于群

(74)专利代理机构 西安启诚专利知识产权代理
事务所(普通合伙) 61240

代理人 李艳春

(51)Int.Cl.

F24T 10/15(2018.01)

F24T 10/20(2018.01)

F24T 50/00(2018.01)

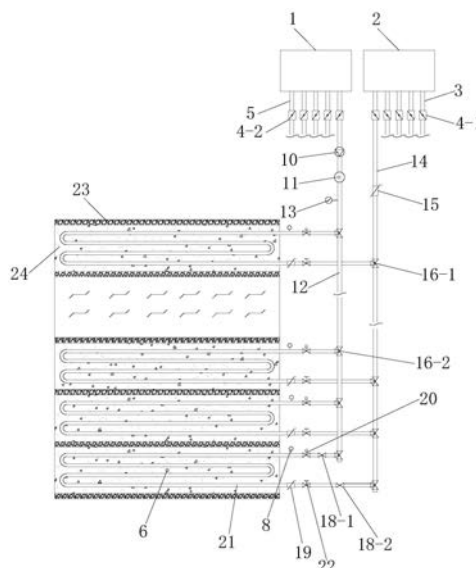
权利要求书3页 说明书9页 附图3页

(54)发明名称

深井胶结充填体地下换热系统出口温度优化系统及方法

(57)摘要

本发明公开了一种深井胶结充填体地下换热系统出口温度优化系统,包括控制器、底层胶结充填体温度传感器、U型换热盘管入口温度传感器、电磁流量调节阀、U型换热盘管出口温度传感器、电磁温度调节阀、供水管三通阀、回水管三通阀、供水管截止阀和回水管截止阀;本发明还公开了一种深井胶结充填体地下换热系统出口温度优化方法。本发明通过采用将效能与温度误差作为出口流体混合标准的方法,优化了出口流体温度,使各层U型换热盘管的流体温度近似相等,提高了地下换热系统的焓值,提高了热能品质,且提高了热能转换效率,同时通过联合控制,能够满足不同热用户的热水温度要求,能够广泛用于深井下地埋管换热系统,实用性强,推广应用价值高。



1. 一种深井胶结充填体地下换热系统出口温度优化系统,所述深井胶结充填体地下换热系统包括通过设置在天井和竖井内的供回水系统与设置在地面上的地理管分集水器系统连接的多层换热盘管系统,多层所述换热盘管系统分别埋设于进行各分层充填时形成的多层采热充填体(24)内,每层所述换热盘管系统均包括垂直铺设在采热充填体(24)内的U型换热盘管(21);所述地理管分集水器系统包括地理管分水器(1)和地理管集水器(2),所述地理管分水器(1)上连接有多条分水支路(5),每条分水支路(5)上均设置有分水器蝶阀(4-2)和循环水泵(10),所述地理管集水器(2)上连接有多条集水支路(3),每条集水支路(3)上均设置有集水器蝶阀(4-1)和集水器温度传感器(15);所述供回水系统包括设置在天井和竖井内的多条供水管(12)和多条回水管(14),所述供水管(12)与分水支路(5)连接,所述回水管(14)与集水支路(3)连接;其特征在于:所述深井胶结充填体地下换热系统出口温度优化系统包括控制器(7),设置在底层的胶结充填体(24)内且用于对底层的胶结充填体(24)的温度进行实时检测的底层胶结充填体温度传感器(6),设置在各层U型换热盘管(21)入口处且用于对U型换热盘管(21)入口处流体的温度进行实时检测的U型换热盘管入口温度传感器(8)和用于对U型换热盘管(21)内的流量进行调节的电磁流量调节阀(20),以及设置在各层U型换热盘管(21)出口处的且用于对U型换热盘管(21)出口处流体的温度进行实时检测的U型换热盘管出口温度传感器(19)和用于对U型换热盘管(21)内的温度进行调节的电磁温度调节阀(22);每层所述U型换热盘管(21)的入口均通过供水管三通阀(16-2)与供水管(12)连接,每层所述U型换热盘管(21)的出口均通过回水管三通阀(16-1)与回水管(14)连接;位于底层的U型换热盘管(21)的入口处设置有供水管截止阀(18-1),位于底层的U型换热盘管(21)的出口处设置有回水管截止阀(18-2);所述集水器温度传感器(15)、底层胶结充填体温度传感器(6)、U型换热盘管入口温度传感器(8)和U型换热盘管出口温度传感器(19)均与控制器(7)的输入端连接,所述分水器蝶阀(4-2)、集水器蝶阀(4-1)、循环水泵(10)、电磁流量调节阀(20)、电磁温度调节阀(22)、供水管三通阀(16-2)、回水管三通阀(16-1)、供水管截止阀(18-1)和回水管截止阀(18-2)均与控制器(7)的输出端连接。

2. 按照权利要求1所述的深井胶结充填体地下换热系统出口温度优化系统,其特征在于:每条分水支路(5)上均设置有流量传感器(11)和压力表(13),所述流量传感器(11)和压力表(13)的输出端均与控制器(7)的输入端连接。

3. 按照权利要求1所述的深井胶结充填体地下换热系统出口温度优化系统,其特征在于:垂直铺设在采热充填体(24)内的U型换热盘管(21)在竖直方向上呈蛇形布设。

4. 一种采用如权利要求1所述优化系统进行深井胶结充填体地下换热系统出口温度优化的方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:

步骤一、计算底层U型换热盘管(21)的效能,具体过程为:

步骤101、控制器(7)控制分水器蝶阀(4-2)、集水器蝶阀(4-1)和循环水泵(10)打开,控制底层的供水管截止阀(18-1)、回水管截止阀(18-2)、电磁温度调节阀(22)和电磁流量调节阀(20)打开,并控制回水管三通阀(16-1)的支路侧和主路侧打开,控制底层向上各层的供水管三通阀(16-2)的主路侧和回水管三通阀(16-1)的主路侧打开,控制底层向上各层的供水管三通阀(16-2)的支路侧和回水管三通阀(16-1)的支路侧关闭,通过地理管分水器(1)和分水支路(5)向供水管(12)通入低温水,低温水只流入底层的U型换热盘管(21)内,与不断吸收深井围岩(23)热量的胶结充填体(24)进行换热;

步骤102、定义底层的U型换热盘管(21)为第0层,底层的U型换热盘管入口温度传感器(8)对流体在底层的U型换热盘管(21)入口处的温度 t_{in-0} 进行实时检测,并将检测到的信号实时传输给控制器(7),底层的U型换热盘管出口温度传感器(19)对流体在底层的U型换热盘管(21)出口处的温度 t_{out-0} 进行实时检测,并将检测到的信号实时传输给控制器(7),底层胶结充填体温度传感器(6)对底层的胶结充填体(24)的温度 $t_{backfill-0}$ 进行实时检测,并将检测到的信号实时传输给控制器(7),控制器(7)根据公式 $\varepsilon_0 = \frac{t_{out-0} - t_{in-0}}{t_{backfill-0} - t_{in-0}}$ 计算得到底层U型换热盘管(21)的效能 ε_0 ;

步骤二、控制器(7)控制底层向上第k层的供水管三通阀(16-2)支路侧、回水管三通阀(16-1)支路侧、电磁温度调节阀(22)和电磁流量调节阀(20)打开,低温水进入底层向上第k层的U型换热盘管(21)内,与不断吸收深井围岩(23)热量的胶结充填体(24)进行换热;其中,k的取值为非0自然数;控制器(7)将底层的胶结充填体(24)的温度定义为 $(t_{backfill})_{max}$,单位为 $^{\circ}C$,并根据公式 $t_{backfill-k} = (t_{backfill})_{max} - 0.04xk$ 计算得到底层向上第k层的胶结充填体(24)的温度 $t_{backfill-k}$,并判断是否满足 $t_{backfill-k} < t_{out-0}$,当满足 $t_{backfill-k} < t_{out-0}$ 时,将该底层向上第k层作为新的底层,返回步骤一并使流体汇入低能级回水管(14)以供给低温热用户;否则,当不满足 $t_{backfill-k} < t_{out-0}$ 时,执行步骤三;其中,x为采空区每层层高,单位为m;

步骤三、控制器(7)根据公式 $e = \left| \frac{t_{out-0} - t_{out-k}}{t_{out-0}} \right|$ 计算温度误差e,并判断温度误差e是否满足 $e \leq 5\%$,当温度误差e满足 $e \leq 5\%$ 时,再根据公式 $\varepsilon_k = \frac{t_{out-k} - t_{in-k}}{t_{backfill-k} - t_{in-k}}$ 计算得到第k层U型换热盘管(21)的效能 ε_k ,并判断是否满足 $\varepsilon_k \leq \varepsilon_0$,当满足 $e \leq 5\%$ 且满足 $\varepsilon_k \leq \varepsilon_0$ 时,打开底层向上第k层回水管三通阀(16-1)支路侧,将第k层换热流体汇入回水管(14)中,k的取值加1,返回步骤二,或结束;当满足 $e \leq 5\%$ 但不满足 $\varepsilon_k \leq \varepsilon_0$ 时,则将第k层作为新的底层,返回步骤一并使流体汇入低能级回水管(14)以供给低温热用户;当温度误差e不满足 $e \leq 5\%$ 时,执行步骤四;其中, t_{in-k} 为第k层的U型换热盘管入口温度传感器(8)检测到的流体在第k层的U型换热盘管(21)入口处的温度, t_{out-k} 为第k层的U型换热盘管出口温度传感器(19)检测到的U型换热盘管(21)出口处的温度;

步骤四、控制器(7)根据公式 $\left| \frac{t_{out-0} - t'_{out-k}}{t_{out-0}} \right| = 5\%$ 计算得到底层向上第k层U型换热盘管(21)出口理论温度 t'_{out-k} ,根据公式 $\varepsilon'_k = \frac{t'_{out-k} - t_{in-k}}{t_{backfill-k} - t_{in-k}}$ 计算得到第k层U型换热盘管(21)的理论效能 ε'_k ,并判断是否满足 $\varepsilon'_k \leq \varepsilon_0$,当满足 $\varepsilon'_k \leq \varepsilon_0$ 时,控制器(7)控制第k层的电磁温度调节阀(22)关闭,并将 t'_{out-k} 设定为底层向上第k层电磁温度调节阀(22)的开启值,计算底层向上第k层U型换热盘管(21)的换热量 Q_k 和底层向上第k层U型换热盘管(21)内流体的标准质量流量 m_k ,通过调节电磁流量调节阀(20)使U型换热盘管(21)流量为 m_k ,将此层的温度提高到 t'_{out-k} ,当第k层U型换热盘管(21)内流体温度达到第k层电磁温度调节阀(22)的开启值 t'_{out-k} 时,控制器(7)控制第k层的电磁温度调节阀(22)开启,高温流体通过底层向上第k层回水管三通阀(16-1)支路侧,汇入回水管(14)中,返回步骤二,或结束;当不满足 $\varepsilon'_k \leq \varepsilon_0$ 时,

将此层作为新的底层,返回步骤一并使流体汇入低能级回水管(14)以供给低温热用户;

步骤五、当所有层数U型换热盘管(21)出口的热流体均汇入回水管(14)后,集水器温度传感器(15)对进入埋管集水器(2)内的流体温度进行实时检测并将检测到的信号输出给控制器(7),控制器(7)将进入埋管集水器(2)内的流体温度于预先设定的热用户所需水温进行比较,当低于热用户所需水温时,减小温度误差e的阈值,重复进行步骤一至步骤四,直到满足用户需求。

5.按照权利要求4所述的方法,其特征在于:步骤四中所述计算底层向上第k层U型换热盘管(21)换热量 Q_k 和底层向上第k层U型换热盘管(21)内流体标准质量流量 m_k 采用的计算公式为:

$$\begin{cases} Q_k = m_k c_k (t'_{out-k} - t_{in-k}) \\ t_{f-k} = \frac{Q_k}{l_k} \cdot \left[\frac{10(-0.89129 + 0.368 \lg F_o - 0.05508 \lg^2 F_o + 3.596 \times 10^{-3} \lg^3 F_o)}{\lambda} + R \right] + t_{backfill-k} \\ t_{f-k} = \frac{t'_{out-k} + t_{in-k}}{2} \end{cases}$$

其中, c_k 为底层向上第k层U型换热盘管(21)内流体的比热容, l_k 为底层向上第k层U型换热盘管(21)的长度, t_{f-k} 为底层向上第k层U型换热盘管(21)内流体的平均温度, F_o 为傅里叶数且 $F_o = \alpha \tau / r^2$, α 为热扩散率, τ 为特征时间, r 为热传导发生处的特征长度, λ 为胶结充填体(24)的导热系数, R 为胶结充填体(24)的热阻。

6.按照权利要求4所述的方法,其特征在于:每条分水支路(5)上均设置有流量传感器(11)和压力表(13),所述流量传感器(11)和压力表(13)的输出端均与控制器(7)的输入端连接;步骤一至步骤五执行的过程中,所述流量传感器(11)对分水支路(5)中的供水流量进行实时检测并将检测到的信号输出给控制器(7),压力表(13)对分水支路(5)中的供水压力进行实时检测并将检测到的信号输出给控制器(7),控制器(7)将供水流量与预先设定的供水流量下限值进行比较,并将供水压力与预先设定的供水压力上限值进行比较,当供水流量小于供水流量下限值且供水压力大于供水压力上限值时,判断为供回水系统发生了阻塞,控制器(7)控制循环水泵(10)停止工作。

深井胶结充填体地下换热系统出口温度优化系统及方法

技术领域

[0001] 本发明属于深部矿井地热开采技术领域,具体涉及一种深井胶结充填体地下换热系统出口温度优化系统及方法。

背景技术

[0002] 使用清洁能源是能源发展的必然趋势,核电能源并非理想安全能源,光 风能源又难以满足人类需求,而深层地热能源是取之不尽的安全环保能源,具有巨大的开发潜力,有可能成为解决人类未来能源危机的重要途径。对比 风能、太阳能等可再生能源,地热资源具有稳定、不受季节和昼夜变化影响 等独特优势。

[0003] 有研究表明,随着矿井开采深度的增加,由深层地温所诱发的高温热害 愈加严重,已成为制约深层矿床资源安全高效开采的重要因素。对我国而言,已有140多对矿井出现不同程度的热害问题,其中有45%的矿井采掘工作面 温度超过30℃,是世界上热害矿井最多的国家。研究指出,30℃~40℃高温 的采掘工作面,其事故率是温度低于30℃时的3.6倍,矿山井下作业地点气 温每超过标准(此标准选用26℃)1℃,劳动生产率就会下降6%~8%。矿井 热害已成为继瓦斯、火、水、矿压、粉尘之后的第六大灾害。因此,解决深 井热害问题,改善深井作业热环境已成为世界矿床安全高效开采领域中极为 重要,也是亟待解决的环节。深井高温围岩是诱发井下热害的根本原因,但 其内部所蕴含的丰富热量却为地热能的开发利用提供了有利条件。

[0004] 在深井开采过程中合理利用地热,可为矿区提供清洁、廉价的热能,降 低矿区运营成本,提高矿业可持续性,实现资源高效开采及绿色开采,降低 深部矿井与深地热开发的综合成本,实现双赢。另一方面,及时高效地提取 出深井地热,可有效降低围岩或充填体温度,在一定程度上为深井降温产生 积极的促进作用。

[0005] 在实际应用中,U型管道常被用做冷热水循环系统,其能够有效降低进、出水循环能耗,避免地下有害矿物质通过水循环腐蚀管道系统。通过在U型 管道循环系统中注入低温水后,不断地吸收深井胶结充填体的高温热量,使 得管道内水温上升得到高温水,最后通过水泵输送给热用户。数据表明,在 地下每下降100m,温度会增加4℃,这说明地层内存在一个明显的温度梯度。因此,埋管深度越深的管段输出的热水温度越高,然而在回水过程中,不同 深度埋管中不同温度的热水一同汇入总回水管后必然会导致出水温度的整体降低。从焓分析的角度来讲,系统温度相对于环境温度越高,焓越大,能量 品质也就越高,能转换成所需能量效率也高;焓越低,虽然会得到能量,但 能级太低,可利用价值有限。因此,不能直接将深层充填体换热得到的高温 水与浅层充填体换热得到的低温水进行混合,否则会造成热品质降低。

[0006] 因此,必须要合理控制各分层埋管的出水温度,使其以较高温度汇入回 水总管来供给热用户,从而有效避免高低温混合过程中能量浪费。而然,现 有技术中还缺乏这样的技术方法。

发明内容

[0007] 本发明所要解决的技术问题在于针对上述现有技术中的不足,提供一种深井胶结充填体地下换热系统出口温度优化系统,其采用了模块化的设计,结构简单,实现方便且成本低,操作简单。

[0008] 为解决上述技术问题,本发明采用的技术方案是:一种深井胶结充填体地下换热系统出口温度优化系统,所述深井胶结充填体地下换热系统包括通过设置在天井和竖井内的供回水系统与设置在地面上的地理管分集水器系统连接的多层换热盘管系统,多层所述换热盘管系统分别埋设于进行各分层充填时形成的多层采热充填体内,每层所述换热盘管系统均包括垂直铺设在采热充填体内的U型换热盘管;所述地理管分集水器系统包括地理管分水器 and 地理管集水器,所述地理管分水器上连接有多条分水支路,每条分水支路上均设置有分水器蝶阀和循环水泵,所述地理管集水器上连接有多条集水支路,每条集水支路上均设置有集水器蝶阀和集水器温度传感器;所述供回水系统包括设置在天井和竖井内的多条供水管和多条回水管,所述供水管与分水支路连接,所述回水管与集水支路连接;所述深井胶结充填体地下换热系统出口温度优化系统包括控制器,设置在底层的胶结充填体内且用于对底层的胶结充填体的温度进行实时检测的底层胶结充填体温度传感器,设置在各层U型换热盘管入口处且用于对U型换热盘管入口处流体的温度进行实时检测的U型换热盘管入口温度传感器和用于对U型换热盘管内的流量进行调节的电磁流量调节阀,以及设置在各层U型换热盘管出口处的且用于对U型换热盘管出口处流体的温度进行实时检测的U型换热盘管出口温度传感器和用于对U型换热盘管内的温度进行调节的电磁温度调节阀;每层所述U型换热盘管的入口均通过供水管三通阀与供水管连接,每层所述U型换热盘管的出口均通过回水管三通阀与回水管连接;位于底层的U型换热盘管的入口处设置有供水管截止阀,位于底层的U型换热盘管的出口处设置有回水管截止阀;所述集水器温度传感器、底层胶结充填体温度传感器、U型换热盘管入口温度传感器和U型换热盘管出口温度传感器均与控制器的输入端连接,所述分水器蝶阀、集水器蝶阀、循环水泵、电磁流量调节阀、电磁温度调节阀、供水管三通阀、回水管三通阀、供水管截止阀和回水管截止阀均与控制器的输出端连接。

[0009] 上述的深井胶结充填体地下换热系统出口温度优化系统,每条分水支路上均设置有流量传感器和压力表,所述流量传感器和压力表的输出端均与控制器的输入端连接。

[0010] 上述的深井胶结充填体地下换热系统出口温度优化系统,垂直铺设在采热充填体内的U型换热盘管在竖直方向上呈蛇形布设。

[0011] 本发明还公开了一种深井胶结充填体地下换热系统出口温度优化的方法,其从根本上提高了地下换热系统的焓值,提高了热能品质,且提高了热能转换效率;该方法包括以下步骤:

[0012] 步骤一、计算底层U型换热盘管的效能,具体过程为:

[0013] 步骤101、控制器控制分水器蝶阀、集水器蝶阀和循环水泵打开,控制底层的供水管截止阀、回水管截止阀、电磁温度调节阀和电磁流量调节阀打开,并控制回水管三通阀的支路侧和主路侧打开,控制底层向上各层的供水管三通阀的主路侧和回水管三通阀的主路侧打开,控制底层向上各层的供水管三通阀的支路侧和回水管三通阀的支路侧关闭,通过地理管分水器 and 分水支路向供水管通入低温水,低温水只流入底层的U型换热盘管

内,与不断吸收深井围岩热量的胶结充填体进行换热;

[0014] 步骤102、定义底层的U型换热盘管为第0层,底层的U型换热盘管入口温度传感器对流体在底层的U型换热盘管入口处的温度 t_{in-0} 进行实时检测,并将检测到的信号实时传输给控制器,底层的U型换热盘管出口温度传感器对流体在底层的U型换热盘管出口处的温度 t_{out-0} 进行实时检测,并将检测到的信号实时传输给控制器,底层胶结充填体温度传感器对底层的胶结充填体的温度 $t_{backfill-0}$ 进行实时检测,并将检测到的信号实时传输给控制器,控制器根据公式 $\varepsilon_0 = \frac{t_{out-0} - t_{in-0}}{t_{backfill-0} - t_{in-0}}$ 计算得到底层U型换热盘管的效能 ε_0 ;

[0015] 步骤二、控制器控制底层向上第k层的供水管三通阀支路侧、回水管三通阀支路侧、电磁温度调节阀和电磁流量调节阀打开,低温水进入底层向上第k层的U型换热盘管内,与不断吸收深井围岩热量的胶结充填体进行换热;其中,k的取值为非0自然数;控制器将底层的胶结充填体的温度定义为 $(t_{backfill})_{max}$,单位为 $^{\circ}C$,并根据公式 $t_{backfill-k} = (t_{backfill})_{max} - 0.04xk$ 计算得到底层向上第k层的胶结充填体的温度 $t_{backfill-k}$,并判断是否满足 $t_{backfill-k} < t_{out-0}$,当满足 $t_{backfill-k} < t_{out-0}$ 时,将该底层向上第k层作为新的底层,返回步骤一并使流体汇入低能级回水管以供给低温热用户;否则,当不满足 $t_{backfill-k} < t_{out-0}$ 时,执行步骤三;其中,x为采空区每层层高,单位为m;

[0016] 步骤三、控制器根据公式 $e = \left| \frac{t_{out-0} - t_{out-k}}{t_{out-0}} \right|$ 计算温度误差e,并判断温度误差e是否

满足 $e \leq 5\%$,当温度误差e满足 $e \leq 5\%$ 时,再根据公式 $\varepsilon_k = \frac{t_{out-k} - t_{in-k}}{t_{backfill-k} - t_{in-k}}$ 计算得到第k层U型换热盘管的效能 ε_k ,并判断是否满足 $\varepsilon_k \leq \varepsilon_0$,当满足 $e \leq 5\%$ 且满足 $\varepsilon_k \leq \varepsilon_0$ 时,打开底层向上第k层回水管三通阀支路侧,将第k层换热流体汇入回水管中,k的取值加1,返回步骤二,或结束;当满足 $e \leq 5\%$ 但不满足 $\varepsilon_k \leq \varepsilon_0$ 时,则将第k层作为新的底层,返回步骤一并使流体汇入低能级回水管以供给低温热用户;当温度误差e不满足 $e \leq 5\%$ 时,执行步骤四;其中, t_{in-k} 为第k层的U型换热盘管入口温度传感器检测到的流体在第k层的U型换热盘管入口处的温度, t_{out-k} 为第k层的U型换热盘管出口温度传感器检测到的U型换热盘管出口处的温度;

[0017] 步骤四、控制器根据公式 $\left| \frac{t_{out-0} - t'_{out-k}}{t_{out-0}} \right| = 5\%$ 计算得到底层向上第k层U型换热盘管

出口理论温度 t'_{out-k} ,根据公式 $\varepsilon'_k = \frac{t'_{out-k} - t_{in-k}}{t_{backfill-k} - t_{in-k}}$ 计算得到第k层U型换热盘管的理论效能

ε'_k ,并判断是否满足 $\varepsilon'_k \leq \varepsilon_0$,当满足 $\varepsilon'_k \leq \varepsilon_0$ 时,控制器控制第k层的电磁温度调节阀关闭,并将 t'_{out-k} 设定为底层向上第k层电磁温度调节阀的开启值,计算底层向上第k层U型换热盘管的换热量 Q_k 和底层向上第k层U型换热盘管内流体的标准质量流量 m_k ,通过调节电磁流量调节阀使U型换热盘管流量为 m_k ,将此层的温度提高到 t'_{out-k} ,当第k层U型换热盘管内流体温度达到第k层电磁温度调节阀的开启值 t'_{out-k} 时,控制器控制第k层的电磁温度调节阀开启,高温流体通过底层向上第k层回水管三通阀支路侧,汇入回水管中,返回步骤二,或结束;当不满足 $\varepsilon'_k \leq \varepsilon_0$ 时,将此层作为新的底层,返回步骤一并使流体汇入低能级回水管以供给低温热用户;

[0018] 步骤五、当所有层数U型换热盘管出口的热流体均汇入回水管后,集水器温度传感器对进入埋管集水器内的流体温度进行实时检测并将检测到的信号输出给控制器,控制器将进入埋管集水器内的流体温度于预先设定的热用户所需水温进行比较,当低于热用户所需水温时,减小温度误差e的阈值,重复进行步骤一至步骤四,直到满足用户需求。

[0019] 上述的方法,步骤四中所述计算底层向上第k层U型换热盘管换热量 Q_k 和底层向上第k层U型换热盘管内流体标准质量流量 m_k 采用的计算公式为:

$$[0020] \begin{cases} Q_k = m_k c_k (t'_{out-k} - t_{in-k}) \\ t_{f-k} = \frac{Q_k}{l_k} \cdot \left[\frac{10(-0.89129 + 0.368 \lg F_o - 0.05508 \lg^2 F_o + 3.596 \times 10^{-3} \lg^3 F_o)}{\lambda} + R \right] + t_{backfill-k} \\ t_{f-k} = \frac{t'_{out-k} + t_{in-k}}{2} \end{cases}$$

其中, c_k 为底层向上第k层U型换热盘管内流体的比热容, l_k 为底层向上第k层U型换热盘管的长度, t_{f-k} 为底层向上第k层U型换热盘管内流体的平均温度, F_o 为傅里叶数且 $F_o = \alpha \tau / r^2$, α 为热扩散率, τ 为特征时间, r 为热传导发生处的特征长度, λ 为胶结充填体的导热系数, R 为胶结充填体的热阻。

[0021] 上述的方法,每条分水支路上均设置有流量传感器和压力表,所述流量传感器和压力表的输出端均与控制器的输入端连接;步骤一至步骤五执行的过程中,所述流量传感器对分水支路中的供水流量进行实时检测并将检测到的信号输出给控制器,压力表对分水支路中的供水压力进行实时检测并将检测到的信号输出给控制器,控制器将供水流量与预先设定的供水流量下限值进行比较,并将供水压力与预先设定的供水压力上限值进行比较,当供水流量小于供水流量下限值且供水压力大于供水压力上限值时,判断为供水系统发生了阻塞,控制器控制循环水泵停止工作。

[0022] 本发明与现有技术相比具有以下优点:

[0023] 1、本发明的深井胶结充填体地下换热系统出口温度优化系统,包括控制器、底层胶结充填体温度传感器、U型换热盘管入口温度传感器、电磁流量调节阀、U型换热盘管出口温度传感器、电磁温度调节阀、供水管三通阀、回水管三通阀、供水管截止阀和回水管截止阀等,采用了模块化的设计,结构简单,实现方便且成本低,操作简单。

[0024] 2、本发明的深井胶结充填体地下换热系统出口温度优化方法,摒弃了将各层U型换热盘管出水直接混合的方法,而是通过定义U型换热盘管的效能,并将底层换热管段的效能与温度误差作为各层U型换热盘管出口流体混合标准,从而得到U型换热盘管出口理论温度,并在考虑了地下温度梯度的前提下,定义了底层向上第k层U型换热盘管内流体平均温度,通过计算得到流体质量流量,进而通过调节流量使得各层U型换热盘管出口水温相近,从根本上提高了地下换热系统的焓值,提高了热能品质,且提高了热能转换效率。

[0025] 3、本发明的深井胶结充填体地下换热系统出口温度优化系统中,各单元联合运行,能够满足不同热用户的热水温度要求。

[0026] 4、本发明能够广泛用于深井下埋管换热系统,并不局限于深井充填采热,尤其

适用于对出水温度有特殊要求的系统,同时也可用于其他深层地热开采系统,例如干热岩、废弃油田等地热开采系统,实用性强,推广应用价值高。

[0027] 下面通过附图和实施例,对本发明的技术方案做进一步的详细描述。

附图说明

[0028] 图1为本发明深井胶结充填体地下换热系统出口温度优化系统的结构示意图。

[0029] 图2为本发明控制器与其他各单元的连接关系示意图。

[0030] 图3为本发明深井胶结充填体地下换热系统出口温度优化方法的方法流程图。

[0031] 附图标记说明:

[0032] 1—地埋管分水器;2—地埋管集水器;3—集水支路;

[0033] 4-1—集水器蝶阀;4-2—分水器蝶阀;5—分水支路;

[0034] 6—底层胶结充填体温度传感器;7—控制器;

[0035] 8—U型换热盘管入口温度传感器;10—循环水泵;

[0036] 11—流量传感器;12—供水管;13—压力表;

[0037] 14—回水管;15—集水器温度传感器;

[0038] 16-1—回水管三通阀;16-2—供水管三通阀;18-1—供水管截止阀;

[0039] 18-2—回水管截止阀;19—U型换热盘管出口温度传感器;

[0040] 20—电磁流量调节阀;21—U型换热盘管;22—电磁温度调节阀;

[0041] 23—深井围岩;24—胶结充填体。

具体实施方式

[0042] 如图1和图2所示,本实施例的深井胶结充填体地下换热系统出口温度优化系统,所述深井胶结充填体地下换热系统包括通过设置在天井和竖井内的供回水系统与设置在地面上的地埋管分集水器系统连接的多层换热盘管系统,多层所述换热盘管系统分别埋设于进行各分层充填时形成的多层采热充填体24内,每层所述换热盘管系统均包括垂直铺设在采热充填体24内的U型换热盘管21;所述地埋管分集水器系统包括地埋管分水器1和地埋管集水器2,所述地埋管分水器1上连接有多条分水支路5,每条分水支路5上均设置有分水器蝶阀4-2和循环水泵10,所述地埋管集水器2上连接有多条集水支路3,每条集水支路3上均设置有集水器蝶阀4-1和集水器温度传感器15;所述供回水系统包括设置在天井和竖井内的多条供水管12和多条回水管14,所述供水管12与分水支路5连接,所述回水管14与集水支路3连接;所述深井胶结充填体地下换热系统出口温度优化系统包括控制器7,设置在底层的胶结充填体24内且用于对底层的胶结充填体24的温度进行实时检测的底层胶结充填体温度传感器6,设置在各层U型换热盘管21入口处且用于对U型换热盘管21入口处流体的温度进行实时检测的U型换热盘管入口温度传感器8和用于对U型换热盘管21内的流量进行调节的电磁流量调节阀20,以及设置在各层U型换热盘管21出口处的且用于对U型换热盘管21出口处流体的温度进行实时检测的U型换热盘管出口温度传感器19和用于对U型换热盘管21内的温度进行调节的电磁温度调节阀22;每层所述U型换热盘管21的入口均通过供水管三通阀16-2与供水管12连接,从而使U型换热盘管21的入口通过供水管12连接于地埋管分水器1,每层所述U型换热盘管21的出口均通过回水管三通阀16-1与

回水管14连接,从而使U型换热盘管21的出口通过回水管14连接于地埋管集水器2;位于底层的U型换热盘管21的入口处设置有供水管截止阀18-1,位于底层的U型换热盘管21的出口处设置有回水管截止阀18-2;所述集水器温度传感器15、底层胶结充填体温度传感器6、U型换热盘管入口温度传感器8和U型换热盘管出口温度传感器19均与控制器7的输入端连接,所述分水器蝶阀4-2、集水器蝶阀4-1、循环水泵10、电磁流量调节阀20、电磁温度调节阀22、供水管三通阀16-2、回水管三通阀16-1、供水管截止阀18-1和回水管截止阀18-2均与控制器7的输出端连接。

[0043] 具体实施时,矿井在开采过程通常为分层开采,待一层开采完毕后,输入蓄热充填料浆进行充填,充填至预先设置的高度后,在蓄热充填料浆上布置作业平板,在该层回填胶结充填体24内垂直铺设U型换热盘管21;然后,在U型换热盘管21入口处设置用于对U型换热盘管21内的流量进行调节的电磁流量调节阀20,在U型换热盘管21出口处设置用于对U型换热盘管21内的温度进行实时检测的U型换热盘管出口温度传感器19和用于对U型换热盘管21内的温度进行调节的电磁温度调节阀22;最后,撤掉作业平板,输入硬化材料进行充填,形成硬化层;当煤矿分层开采完毕后,所述的U型换热盘管系统施工也随之完成,最终形成由多层U型换热盘管21组成的换热盘管系统。

[0044] 具体实施时,所述分水器蝶阀4-2用来控制供水管12的开启和关闭,所述循环水泵10用来为整个所述供回水系统提供动力;所述集水器蝶阀4-1用来控制回水管14的开启和关闭,所述集水器温度传感器15用于对回水管14的出水温度进行实时检测并将检测到的信号输出给控制器7,控制器7将出水温度与预先设定的出水温度阈值进行比对,来评价是否满足热用户需求,当不满足热用户需求时,开启分水支路5与集水支路3。

[0045] 本实施例中,每条分水支路5上均设置有流量传感器11和压力表13,所述流量传感器11和压力表13的输出端均与控制器7的输入端连接。

[0046] 具体实施时,所述流量传感器11和压力表13配合工作,当供回水系统发生阻塞时,所述压力表13检测到的压力增加,且所述流量传感器11检测到的流量减小,控制器7检测到该信号后,控制循环水泵10停止工作,能够有效防止循环水泵10空转烧毁。

[0047] 本实施例中,垂直铺设在采热充填体24内的U型换热盘管21在竖直方向上呈蛇形布设。这样的布设方式能够与地下垂直分布的温度场相平行,更有利于地热开采。

[0048] 如图3所示,本实施例的深井胶结充填体地下换热系统出口温度优化方法,包括以下步骤:

[0049] 步骤一、计算底层U型换热盘管21的效能,具体过程为:

[0050] 步骤101、控制器7控制分水器蝶阀4-2、集水器蝶阀4-1和循环水泵10打开,控制底层的供水管截止阀18-1、回水管截止阀18-2、电磁温度调节阀22和电磁流量调节阀20打开,并控制回水管三通阀16-1的支路侧和主路侧打开,控制底层向上各层的供水管三通阀16-2的主路侧和回水管三通阀16-1的主路侧打开,控制底层向上各层的供水管三通阀16-2的支路侧和回水管三通阀16-1的支路侧关闭,通过地埋管分水器1和分水支路5向供水管12通入低温水,低温水只流入底层的U型换热盘管21内,与不断吸收深井围岩23热量的胶结充填体24进行换热;

[0051] 步骤102、定义底层的U型换热盘管21为第0层,底层的U型换热盘管入口温度传感器8对流体在底层的U型换热盘管21入口处的温度 t_{in-0} 进行实时检测,并将检测到的信号

实时传输给控制器7,底层的U型换热盘管出口温度传感器19对流体在底层的U型换热盘管21出口处的温度 t_{out-0} 进行实时检测,并将检测到的信号实时传输给控制器7,底层胶结充填体温度传感器6对底层的胶结充填体24的温度 $t_{backfill-0}$ 进行实时检测,并将检测到的

信号实时传输给控制器7,控制器7根据公式 $\varepsilon_0 = \frac{t_{out-0} - t_{in-0}}{t_{backfill-0} - t_{in-0}}$ 计算得到底层U型换热盘管21

的效能 ε_0 ;

[0052] 步骤二、控制器7控制底层向上第k层的供水管三通阀16-2支路侧、回水管三通阀16-1支路侧、电磁温度调节阀22和电磁流量调节阀20打开,低温水进入底层向上第k层的U型换热盘管21内,与不断吸收深井围岩23热量的胶结充填体24进行换热;其中,k的取值为非0自然数;控制器7将底层的胶结充填体24的温度定义为 $(t_{backfill})_{max}$,单位为 $^{\circ}C$,并根据公式 $t_{backfill-k} = (t_{backfill})_{max} - 0.04xk$ 计算得到底层向上第k层的胶结充填体24的温度 $t_{backfill-k}$,并判断是否满足 $t_{backfill-k} < t_{out-0}$,当满足 $t_{backfill-k} < t_{out-0}$ 时,将该底层向上第k层作为新的底层,返回步骤一并使流体汇入低能级回水管14以供给低温热用户;否则,当不满足 $t_{backfill-k} < t_{out-0}$ 时,执行步骤三;其中,x为采空区每层层高,单位为m;

[0053] 对于深层换热来说,每下降100m,温度会上升 $4^{\circ}C$,每下降1m,温度会上升 $0.04^{\circ}C$,因此采用 $t_{backfill-k} = (t_{backfill})_{max} - 0.04xk$ 就能够计算得到底层向上第k层的胶结充填体24的温度 $t_{backfill-k}$;

[0054] 步骤三、控制器7根据公式 $e = \left| \frac{t_{out-0} - t_{out-k}}{t_{out-0}} \right|$ 计算温度误差e,并判断温度误差e是否

满足 $e \leq 5\%$,当温度误差e满足 $e \leq 5\%$ 时,再根据公式 $\varepsilon_k = \frac{t_{out-k} - t_{in-k}}{t_{backfill-k} - t_{in-k}}$ 计算得到第k层U型

换热盘管21的效能 ε_k ,并判断是否满足 $\varepsilon_k \leq \varepsilon_0$,当满足 $e \leq 5\%$ 且满足 $\varepsilon_k \leq \varepsilon_0$ 时,打开底层向上第k层回水管三通阀16-1支路侧,将第k层换热流体汇入回水管14中,k的取值加1,返回步骤二,或结束(当k的取值达到最大,即为最顶层U型换热盘管21时,结束);当满足 $e \leq 5\%$ 但不满足 $\varepsilon_k \leq \varepsilon_0$ 时,则将第k层作为新的底层,返回步骤一并使流体汇入低能级回水管14以供给低温热用户;当温度误差e不满足 $e \leq 5\%$ 时,执行步骤四;其中, t_{in-k} 为第k层的U型换热盘管入口温度传感器8检测到的流体在第k层的U型换热盘管21入口处的温度, t_{out-k} 为第k层的U型换热盘管出口温度传感器19检测到的U型换热盘管21出口处的温度;

[0055] 考虑到各层胶结充填体温度梯度、测量原件的误差以及底层换热效果最为理想,允许每层U型换热盘管21出口温度与底层U型换热盘管21出口温度间存在5%的误差,因此设置判断条件为 $e \leq 5\%$;

[0056] 步骤四、控制器7根据公式 $\left| \frac{t_{out-0} - t'_{out-k}}{t_{out-0}} \right| = 5\%$ 计算得到底层向上第k层U型换热盘管

21出口理论温度 t'_{out-k} ,根据公式 $\varepsilon'_k = \frac{t'_{out-k} - t_{in-k}}{t_{backfill-k} - t_{in-k}}$ 计算得到第k层U型换热盘管21的理论效

能 ε'_k ,并判断是否满足 $\varepsilon'_k \leq \varepsilon_0$,当满足 $\varepsilon'_k \leq \varepsilon_0$ 时,控制器7控制第k层的电磁温度调节阀22关闭,并将 t'_{out-k} 设定为底层向上第k层电磁温度调节阀22的开启值,计算底层向上第k层U型换热盘管21的换热量 Q_k 和底层向上第k层U型换热盘管21内流体的标准质量流量 m_k ,通

过调节电磁流量调节阀20使U型换热盘管21流量为 m_k ,将此层的温度提高到 t'_{out-k} ,当第k层U型换热盘管21内流体温度达到第k层电磁温度调节阀22的开启值 t'_{out-k} 时,控制器7控制第k层的电磁温度调节阀22开启,高温流体通过底层向上第k层回水管三通阀16-1支路侧,汇入回水管14中,返回步骤二,或结束(当k的取值达到最大,即为最顶层U型换热盘管21时,结束);当不满足 $\varepsilon'_k \leq \varepsilon_0$ 时,将此层作为新的底层,返回步骤一并使流体汇入低能级回水管14以供给低温热用户;

[0057] 本实施例中,步骤四中所述计算底层向上第k层U型换热盘管21换热量 Q_k 和底层向上第k层U型换热盘管21内流体标准质量流量 m_k 采用的计算公式为:

$$[0058] \begin{cases} Q_k = m_k c_k (t'_{out-k} - t_{in-k}) \\ t_{f-k} = \frac{Q_k}{l_k} \cdot \left[\frac{10(-0.89129 + 0.368 \lg F_o - 0.05508 \lg^2 F_o + 3.596 \times 10^{-3} \lg^3 F_o)}{\lambda} + R \right] + t_{backfill-k} \\ t_{f-k} = \frac{t'_{out-k} + t_{in-k}}{2} \end{cases}$$

其中, c_k 为底层向上第k层U型换热盘管21内流体的比热容, l_k 为底层向上第k层U型换热盘管21的长度, t_{f-k} 为底层向上第k层U型换热盘管21内流体的平均温度, F_o 为傅里叶数且 $F_o = \alpha \tau / r^2$, α 为热扩散率, τ 为特征时间, r 为热传导发生处的特征长度, λ 为胶结充填体24的导热系数, R 为胶结充填体24的热阻。

[0059] 其中,底层向上第k层U型换热盘管内流体平均温度 t_{f-k} 的计算公式是根据柱热源理论得出的。

[0060] 步骤五、当所有层数U型换热盘管21出口的热流体均汇入回水管14后,集水器温度传感器15对进入埋管集水器2内的流体温度进行实时检测并将检测到的信号输出给控制器7,控制器7将进入埋管集水器2内的流体温度于预先设定的热用户所需水温进行比较,当低于热用户所需水温时,减小温度误差 e 的阈值(即减小为比5%小的数值),重复进行步骤一至步骤四,直到满足用户需求。

[0061] 以上步骤中,计算U型换热盘管21的效能,是假设流体物性参数在整个传热过程中都是常量,传热系数在换热面上不变,换热面中沿管子轴向的导热忽略不计,胶结充填体24与围岩23接触时间充分。

[0062] 本实施例中,每条分水支路5上均设置有流量传感器11和压力表13,所述流量传感器11和压力表13的输出端均与控制器7的输入端连接;步骤一至步骤五执行的过程中,所述流量传感器11对分水支路5中的供水流量进行实时检测并将检测到的信号输出给控制器7,压力表13对分水支路5中的供水压力进行实时检测并将检测到的信号输出给控制器7,控制器7将供水流量与预先设定的供水流量下限值进行比较,并将供水压力与预先设定的供水压力上限值进行比较,当供水流量小于供水流量下限值且供水压力大于供水压力上限值时,判断为供回水系统发生了阻塞,控制器7控制循环水泵10停止工作。这样能够有效防止供回水系统发生阻塞时循环水泵10空转烧毁。

[0063] 综上所述,本发明通过采用将底层换热管段的效能与温度误差作为各层U型换热盘管出口流体混合标准的方法,优化了出口流体温度,使各层U型换热盘管的流体温度近

似相等,提高了地下换热系统的焓值,同时通过联合控制,能够满足不同热用户的热水温
度要求,能够广泛用于深井下地埋管换热系统,实用性强,推广应用价值高。

[0064] 以上所述,仅是本发明的较佳实施例,并非对本发明作任何限制,凡是根据本发
明技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、变更以及等效结构变化,均仍属于本发明
技术方案的保护范围内。

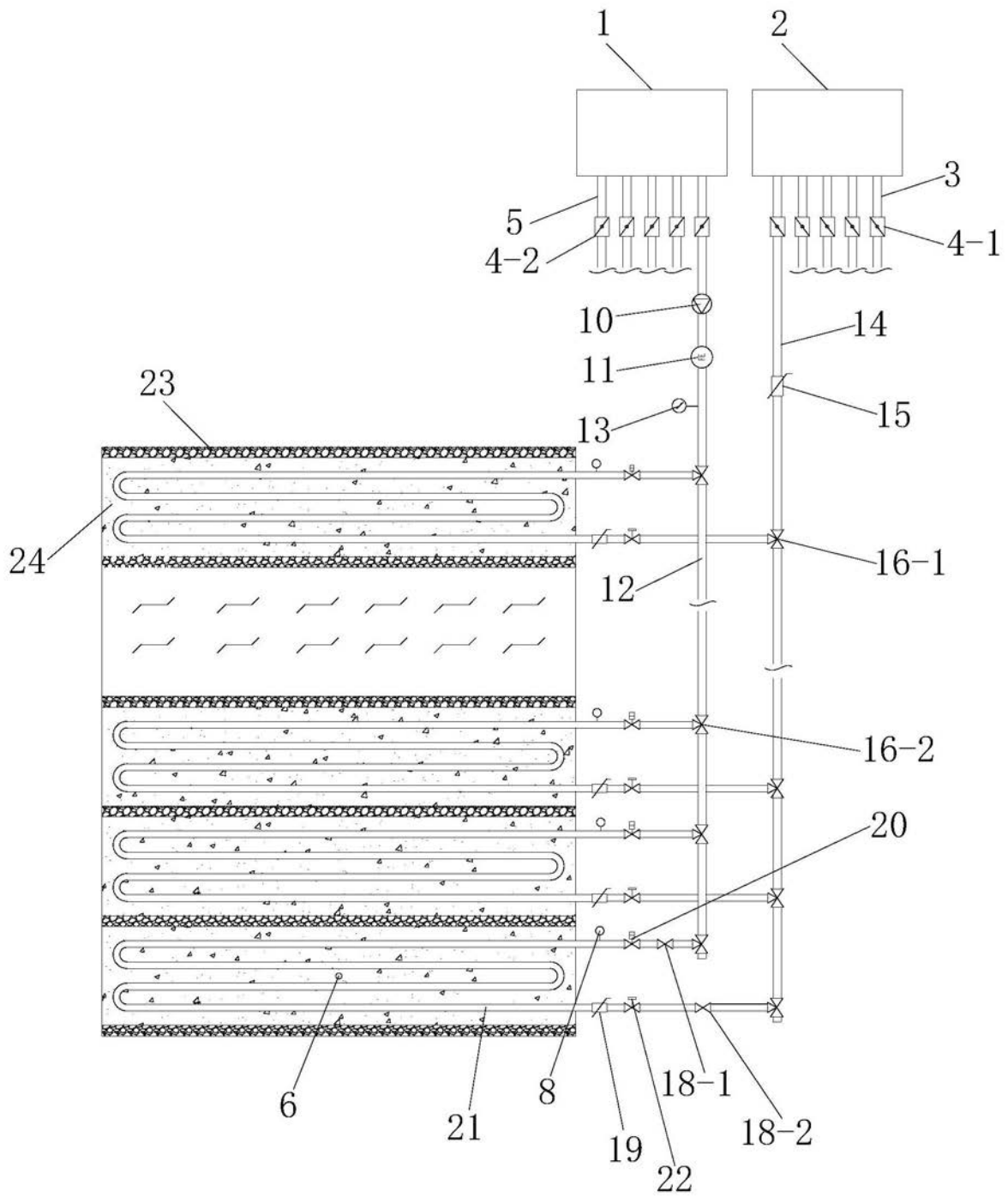


图1

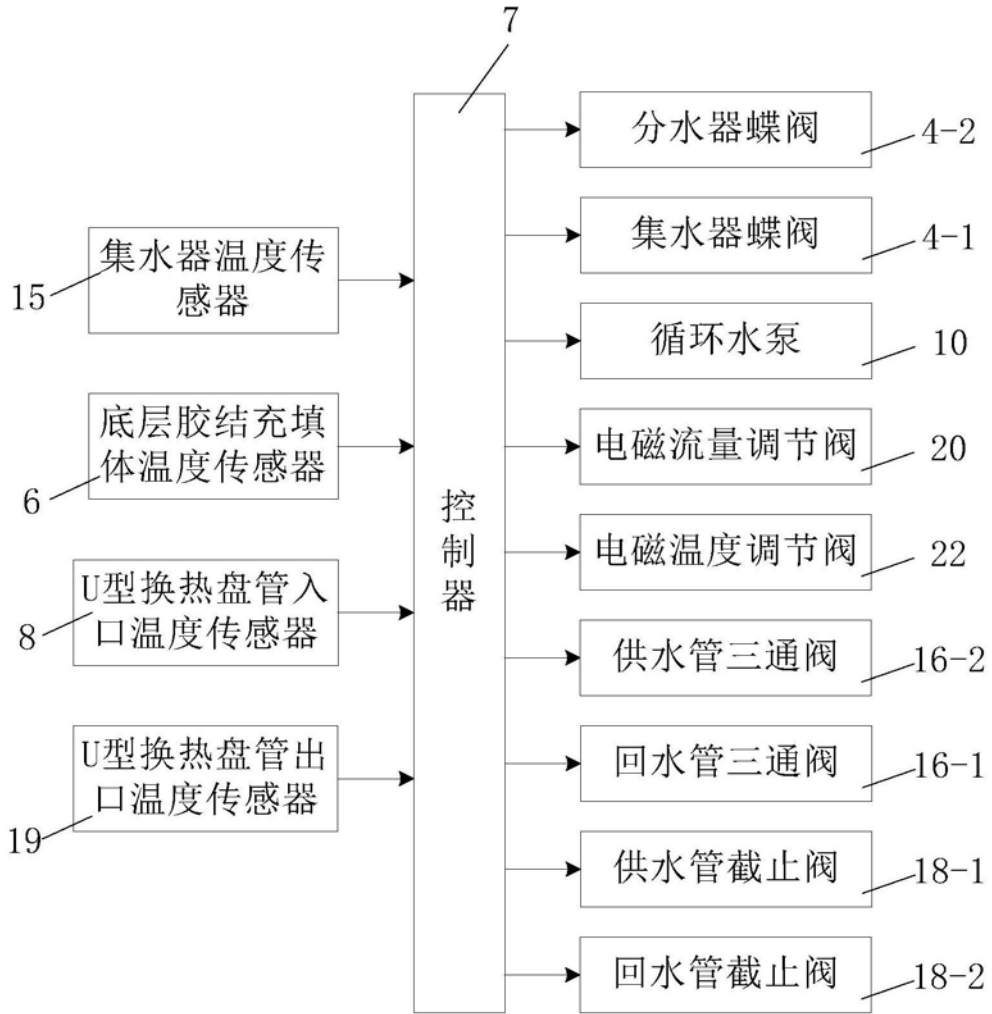


图2

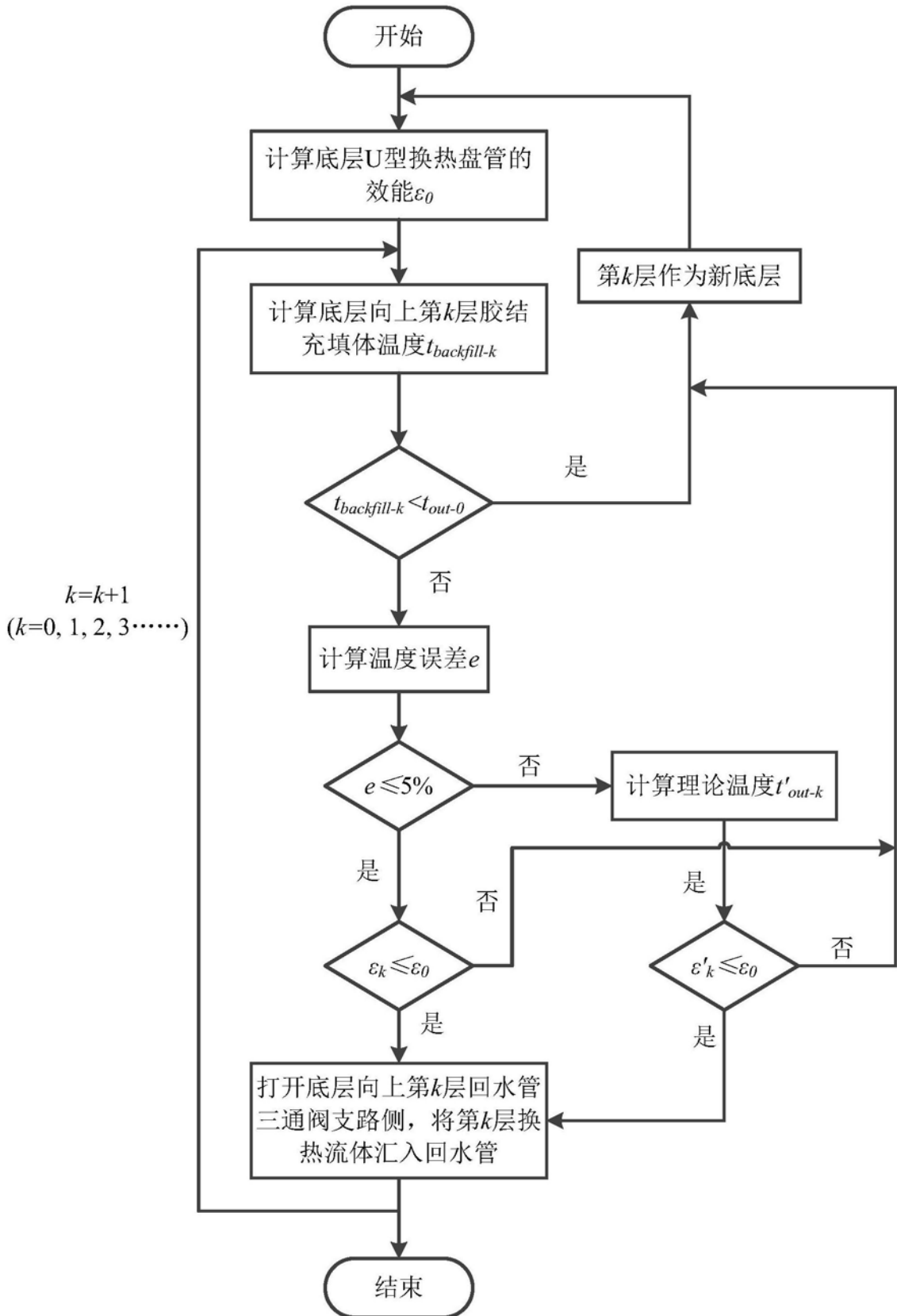


图3