

# 中深层地热能梯级利用供暖优化策略研究与应用

胡振阳<sup>1,2</sup>, 刘成路<sup>1,2</sup>, 赵永哲<sup>1,2</sup>, 苟立<sup>1,2</sup>

(1. 中煤科工西安研究院(集团)有限公司, 西安 710065; 2. 西安煤科地热能开发有限公司, 西安 710065)

**摘要:** 中深层地热能具有热储量大、稳定性好以及分布范围广的优点,是重要的清洁供暖能源之一。利用中深层地热能进行供暖时,考虑到中深层地埋管底部会产生一定量的冷堆积,地层供热能力会随时间的延长而不断衰减,即地热井的出水温度会随着时间的延长而逐步降低。尤其在不间断供暖运行模式下,地层热恢复能力有限,如何在热源侧变温供热工况下维持用户末端恒定的热负荷成为亟须解决的难题。单一的供暖策略难以满足地热井变温供热工况下的热负荷需求,因此提出梯级利用供暖优化策略,相较于前者能最大化提取地层热量,将低品位热源转化为高品位热源,提高取热效率的同时降低运行成本。最后结合中煤科工西安研究院(集团)有限公司中深层地热能建筑供热试点示范项目进行供暖策略应用与分析,结果表明,全供暖季供暖系统平均能耗为 57.2 kW,平均系统能效比为 21.16,对中深层地热能高效供暖应用具有一定的指导意义。

**关键词:** 中深层地热能; 供暖优化策略; 梯级利用; 能效比

**中图分类号:** TK01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)14-0064-08

地热能作为一种新型能源,具有资源潜力大、无环境污染、不受气候影响、可就地持续利用等优势,是重要的可再生能源之一<sup>[1-3]</sup>。中深层地热能开发利用作为地热能新型主流技术,发展潜力巨大而且是地热能开发的一个主要方向。中深层同轴地埋管换热技术是指埋藏在地下 2 000~3 000 m 由内管和外管构成的闭式循环系统,提取地壳下干热岩的热量并利用循环水输送至地面能源站,经换热器及热泵机组换热后输送至取暖末端,其特点是“只取热不取水”,几乎不影响地下水资源。同时,由于管径小对地下岩土层的破坏也相对较小,不影响周围地质环境。不同于浅地埋管技术,中深层及深层地埋管系统受到地埋管全段周围的分层岩土岩性以及温度梯度分布<sup>[3-8]</sup>影响较大。由于中深层同轴地埋管换热技术较深的热源取热点,基本不受当地气候的影响,适用于各个气候区开发应用。相对于浅层地埋管技术,中深层地埋管拥有更加稳定的特点,从而使得中深层建筑供暖热系统运行更加可靠、稳定,保证了供暖系统的高效性和经济性。

中深层地热能供暖系统的末端对不同的建筑

也各不相同,对于办公建筑,因为要考虑建筑内部的新风需求,取暖末端采用风机盘管结合新风系统的形式;而对于住宅小区,末端则采用辐射地板进行供暖。现行标准对热泵系统的装机容量有明确规定,住宅小区装机容量为 33.3~57.1 W/m<sup>2</sup>,平均为 45.2 W/m<sup>2</sup>。考虑到办公建筑有较大的新风需求和间歇运行带来的较大开机负荷,其装机容量远大于住宅小区,为 72.7 W/m<sup>2</sup>。清华大学建筑节能研究中心对多个中深层地热能供暖项目进行多年的观测分析,得出如下结论:地热井源侧出水温度高,供暖季系统运行稳定;地热井源侧取热量大,占地面积小;间歇运行供暖模式存在蓄热特性;中深层地埋管可以长期稳定的获取中深层地热能。

中深层地热供暖系统在间歇供暖工况下,出水温度持续下降,针对变高温的工况本文结合中煤科工西安研究院(集团)有限公司中深层地热能建筑供热试点示范项目提出地热能梯级利用策略,结果表明系统运行效果良好,降低了运行成本,提高了系统能效比。

**收稿日期:** 2025-02-16

**基金项目:** 天地科技股份有限公司科技创新创业资金专项项目(2023-2-TD-ZD021);陕西省重点研发计划项目(2021ZDLSF05-12)

**作者简介:** 胡振阳(1976—),男,内蒙古赤峰人,硕士,高级工程师,研究方向为地热能开发利用;通信作者刘成路(1996—),男,山东济宁人,硕士,助理工程师,研究方向为地热能开发利用;赵永哲(1977—),男,陕西西安人,博士,高级研究员,研究方向为地热能开发利用;苟立(1991—),男,陕西西安人,博士,工程师,研究方向为地热能开发利用。

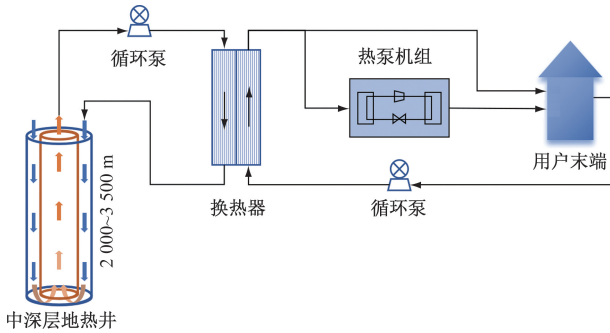


图1 供暖系统原理

## 1 中深层地热能供暖系统

中深层地热能供暖原理如图1所示,主要包括中深层地热井、换热器、热泵机组和用户末端四部分,分为两个循环,即地热井源侧循环和用户末端循环。地下取热部分主要依靠同轴地埋管换热器,取热时低温水从保温内管与外管之间的环空注入,经地下岩土体不断加热,高温水从保温内管采出。采出的高温水经过换热器充分换热或较低温水经过热泵机组再次提温,最终流向用户末端。

地热井取热性能会受到地面设备以及系统形式制约,此外在实际的供暖过程中,固定时间内建筑的用能多少和地热井的供能大小是确定的,使得优化运行策略来最大化地热井取热功率的问题转化成了已知用户热负荷需求和地热井源侧供热能力<sup>[7]</sup>,如何调节运行参数、调整换热器数量和运行状态,研究不同换热面积不同换热温度下换热器换热功率变化情况、不同换热器与热泵机组组合形式下换热策略变化情况,得出换热器和热泵机组最适合的运行参数和运行模式。明确用能需求的多少、地热能的梯级利用策略对中深层地热的高效利用十分关键,因此有必要需要联合板式换热器、热泵进行系统层面的分析,定量的分析用能需求以及流量对于地热能利用的影响<sup>[1-3]</sup>。

## 2 地热供暖梯级利用原理与计算

### 2.1 地热梯级利用原理

地热梯级利用是采用热泵技术,多层次利用地热水中各级温位热能,提供满足相对较低温位散热末端热需求的供暖循环水,以满足用户热需求为目的的供热调节技术。中深层地热能电站在运营期,一方面用户端热负荷随环境温度变化呈复杂函数关系实时动态变化;另一方面中深层地热井的供回水温度随时间呈缓慢下降趋势,并最终趋于动态稳定状态;这就需要整个循环系统进行动态调节相应匹配,即在满足用户端热负荷需求的前提下,系统内部进行实时的

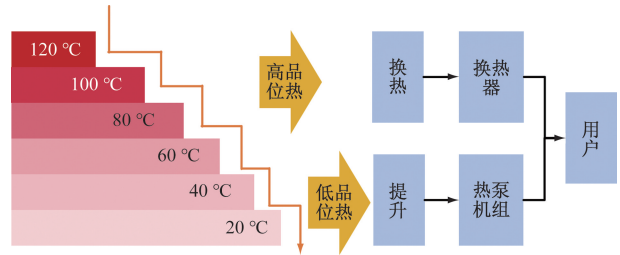


图2 地热能梯级利用原理

供暖策略匹配可以合理节约地热能、减少用电耗能、降低运营费用并延长设备寿命。供暖系统主要由高温位换热直供、低温位再分级换热+热泵温位提升两部分组成实现低温位余热突破温位界限满足供暖需求,大幅提升地热利用效率<sup>[10-17]</sup>。

### 2.2 计算分析

中深层地热井的取热量取决于单位时间内的供回水温差和质量流量,具体计算方法公式为

$$Q = cm\Delta t \quad (1)$$

式中: $Q$ 为中深层地热井取热量, $W$ ;  $c$ 为水的比热容,取  $4.2 \times 10^3 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $m$ 为地热井出水质量流量,  $\text{kg}/\text{h}$ ;  $\Delta t$ 为地热井供回水温差,  $^\circ\text{C}$ 。

理想状态下,换热器保温良好并无热量损失,对于稳态传热反映两种流体在换热过程中温度变化的相互关系,热流量恒等关系为

$$Q_{\text{热放}} = Q_{\text{冷吸}} \quad (2)$$

式中: $Q_{\text{热放}}$ 为热流体放出的热流量量; $Q_{\text{冷吸}}$ 为冷流体吸收的热流量。

在进行热流量计算时,对有相和无相变化的传热过程有所区别,本文探讨的皆为无相变传热过程。

$$Q = m_h C_{ph} (T_1 - T_2) = m_c C_{pc} (t_2 - t_1) \quad (3)$$

式中: $Q$ 为冷流体吸收或热流体放出的热流量, $W$ ;  $m_h$ 、 $m_c$ 为热、冷流体的质量流量,  $\text{kg}/\text{s}$ ;  $C_{ph}$ 、 $C_{pc}$ 为热、冷流体的比定压热容,  $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ;  $T_1$ 、 $t_1$ 为热、冷流体的进口温度,  $\text{K}$ ;  $T_2$ 、 $t_2$ 为热、冷流体的出口温度,  $\text{K}$ <sup>[13]</sup>。

长时间来看,建筑供热负荷与能源站供能大小受到多方面影响是变化的,但其相对关系满足式(4)。

$$\bar{Q} = \frac{Q_{\text{at}}}{Q_{\text{d}}} = \frac{t_{\text{at}} - t_{\text{eat}}}{t_{\text{d}} - t_{\text{ed}}} = \bar{G} \frac{t_{\text{gat}} - t_{\text{hat}}}{t_{\text{gd}} - t_{\text{hd}}} \quad (4)$$

式中: $Q_{\text{at}}$ 、 $Q_{\text{d}}$ 为能源站实时输出热负荷、设计热负荷,  $\text{kW}$ ;  $\bar{Q}$ 、 $\bar{G}$ 为相对负荷比、相对流量比;  $t_{\text{at}}$ 、 $t_{\text{d}}$ 为建筑室内实时温度、建筑设计室温 ( $18 \text{ }^\circ\text{C}$ ),  $^\circ\text{C}$ ;  $t_{\text{eat}}$ 、 $t_{\text{ed}}$ 为环境温度、室外计算温度 ( $-5.4 \text{ }^\circ\text{C}$ ),  $^\circ\text{C}$ ;  $t_{\text{gd}}$ 、 $t_{\text{hd}}$ 为设计供、回水温度 ( $45 \sim 37 \text{ }^\circ\text{C}$ ),  $^\circ\text{C}$ ;  $t_{\text{gat}}$ 、 $t_{\text{hat}}$ 为实时供、回水温度,  $^\circ\text{C}$ <sup>[10]</sup>。

### 3 应用与分析

#### 3.1 项目概况

中煤科工西安研究院(集团)有限公司中深层地热能建筑供热试点示范项目实施了 3 口 3 200~3 500 m 深中深层地热地理管换热井,分别命名为 DZ01 井、DZ02 井、DZ03 井。单井连续取热工况下平均取热功率 >1 050 kW,单井间歇性取热工况下平均取热功率 >1 500 kW,延米平均取热功率 >400 W。最高/平均出水温度 120.5/75 °C,出水温度大于 60 °C 的时间占 96%,大于 80 °C 的时间 ≥ 2 h/d,三口井最大流量 120 m<sup>3</sup>/h。地热井源侧出水经能源站设备换热为 50/40 °C 热水,作为末端各生产办公楼和厂房冬季供暖热媒,总供暖面积折合标准住宅建筑面积约为 148 000 m<sup>2</sup>,供暖热负荷为 3 672 kW(表 1);能源站内所用两级板式换热器和两级热泵机组参数如表 2 所示;建筑内部取暖采用风机盘管和射流机组。

表 1 院区末端热负荷

建筑名称	热负荷/kW
科研楼	840
实验检测楼	305
公寓食堂楼	267
6 栋工业厂房	2 260
总计	3 672

#### 3.2 控制策略

三口中深层地热井实际的供热过程中,井底热储温度达到 129.9 °C,但间歇供暖运行工况下通过内管的出水温度为 120.5/57 °C(最高温/平均温度),回水温度为 47/32 °C(最高温/平均温度);连续供暖运行工况下通过内管的出水温度为 105/50 °C(最高温/平均温度),回水温度为 46/21 °C(最高温/平均温度)。鉴于三口地热井供回水温度较高和高温水持续时间较长的现状,依据院区供暖负荷,设计两级板式换热器换热和两级热泵机组温位提升,并调整板换与热泵机组运行模式实现差异化供给,构成四级梯级利用策略,系统供暖原理如图 3 所示,梯级利用热力循环图如图 4 所示。

能源站共设计 5 台板式换热器和 3 台热泵机组,其中 1、2 号板式换热器并联作为一级板式换

热器,3、4、5 号板式换热器并联作为二级板式换热器,一、二级板式换热器既可并联又可串联,还可单独使用;1、2 号高温热泵机组并联作为一级机组,3 号热泵机作为二级机组,与一级机组串联。二级板式换热器与热泵机组之间形成单独的闭式循环(中间侧循环),将地热井源侧的热量的交换到用户末端进行供暖,使系统的稳定性大大提高。一级利用:地热井源侧高温热水流经到能源站后首先进入一级板式换热器,换出热水直接为用户末端供暖;二级利用:供暖持续一段时间后地热井出水温度下降,不满足单独一级板式换热器换热条件,开启二级板式换热器,并与一级板式换热器串联或单独使用;三级利用:开启二级板式换热器的同时启动 1、2 号机组中的一台或两台,进一步提取低品位的热能为用户末端供暖;四级利用:极寒天气条件下,用户末端热负荷再增加,则可以继续串联启动 3 号热泵机组,进一步使整个系统供暖全部启动发挥作用,达到地热能利用最大化;也是地热能梯级利用的最佳设计方案,详细梯级利用策略如表 3 所示。同时在用户末端热负荷不大的工况下,还可以通过控制 3 口地热井交替轮流开启其中的一口、两口还是三口,以使循环水能与井下热岩充分接触换热,出水温度始终保持较高水平,以减少热泵机组开启的时间占比,进而减少用电量,提高能效比。

其中二级板式换热器为保证两级热泵机组蒸发器侧进口温度不超过热泵机组设定的最高温度(一级/二级热泵机组蒸发器侧进口温度分别为 32/18 °C),设中间侧循环水泵,用于循环二级板式换热器二次侧与热泵机组蒸发器侧循环水。

#### 3.3 策略应用

以 2023—2024 年供暖季 1 月 9 日为例应用高效换热节能技术均衡利用三口地热井,最大限度提取利用地热能并达到最佳节能效果。如图 5(b)和图 5(d)所示,可通过当日三口地热井的流量和出水温度分析其运行状态。

当日供暖系统运行工况,首先 07:00 左右开启 DZ01 井和 DZ03 井(运行工况 5)并以 DZ03 井为主力取热井,流量高,取热量大,最初出水温度低,开启热泵机组进行快速提温,其间回水温度下降,原因

表 2 板式换热器及热泵机组参数

设备	换热量/kW	一次侧进出/°C	二次侧进出/°C	设备	制热量/kW	蒸发器进出/°C	冷凝器进出/°C
一级板式换热器	1 000	53/43	40/50	一级热泵	1 223	32/18	40/50
二级板式换热器	2 250	37/14.7	32/9.7	二级热泵	1 455	18/9.7	40/50

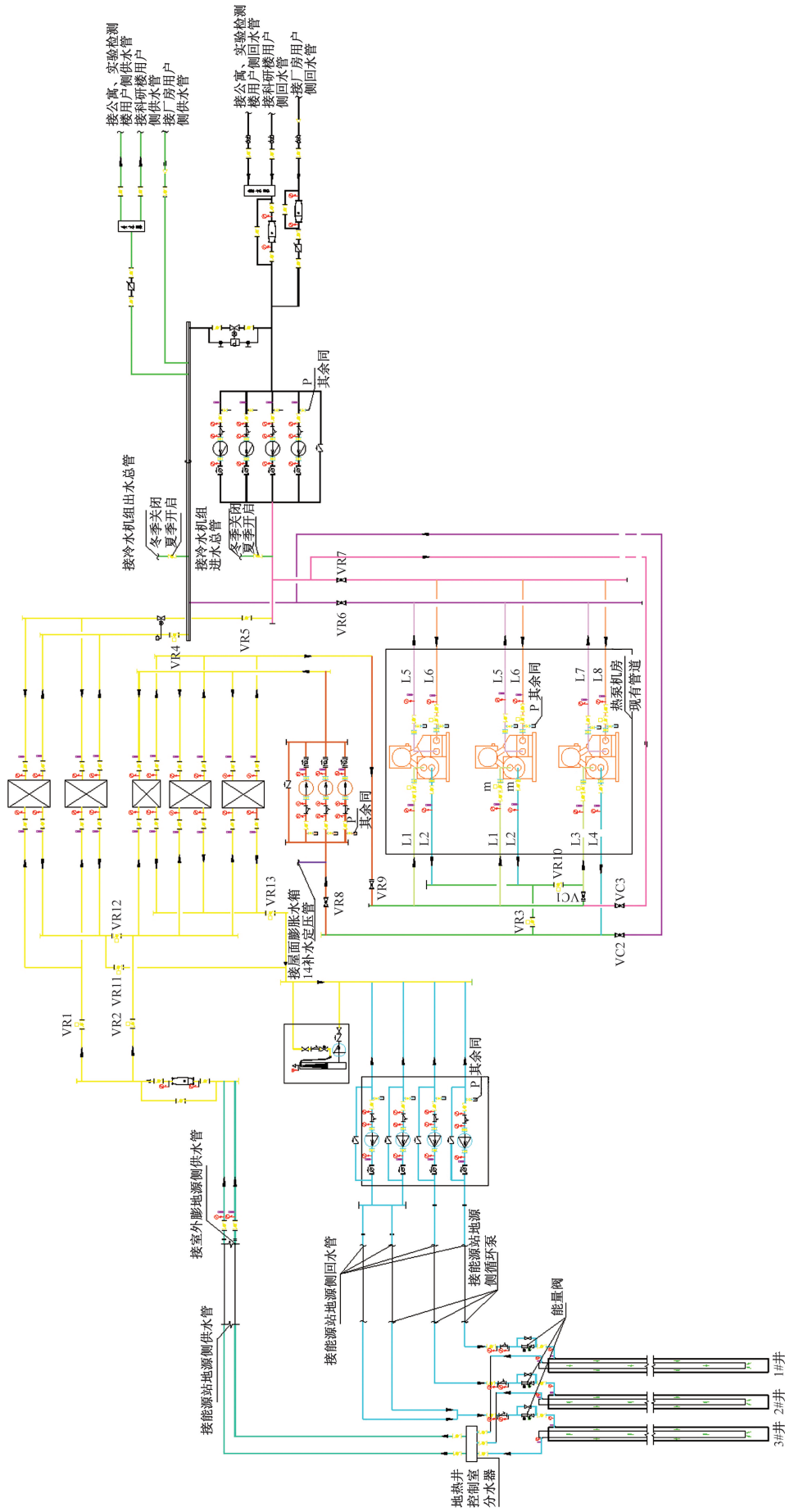


图 3 供暖系统原理示意图

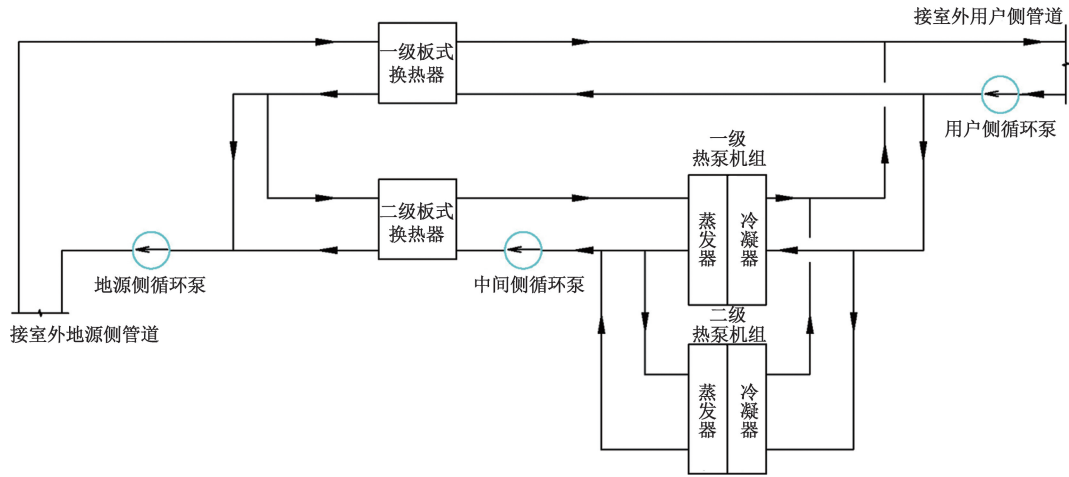


图 4 梯级利用热力循环

表 3 能源站系统地热能梯级利用策略

梯级利用	工况		地热井源侧	板式换热器	热泵机组	地热井源侧循环泵	用户末端循环泵
	序号	地热井出水温度 $T/^\circ\text{C}$					
一级利用	1	$T \geq 71$	DZ01 井	一级	—	DZ01 井循环泵	1 台
	2	$T \geq 71$	DZ02 井	一级	—	DZ02 井循环泵	1 台
	3	$T \geq 71$	DZ03 井	一级	—	DZ03 井循环泵	1 台
	4	$T \geq 71$	DZ01+DZ02 井	一级	—	DZ01+DZ02 井循环泵	1 台
	5	$T \geq 71$	DZ01+DZ03 井	一级	—	DZ01+DZ03 井循环泵	1 台
	6	$T \geq 71$	DZ02+DZ03 井	一级	—	DZ02+DZ03 井循环泵	1 台
	7	$T \geq 71$	DZ01+DZ02+DZ03 井	一级	—	DZ01+DZ02+DZ03 井循环泵	1 台
二级利用	8	$71 \geq T \geq 53$	DZ01+DZ02+DZ03 井	一级+二级	一级热泵机组(1 号或 2 号)	DZ01+DZ02+DZ03 井循环泵	1 台
	9	$71 \geq T \geq 53$	DZ01+DZ02+DZ03 井	一级+二级	一级热泵机组(1 号+2 号)	DZ01+DZ02+DZ03 井循环泵	1 台
三级利用	10	$53 \geq T \geq 32$	DZ01+DZ02+DZ03 井	二级	一级热泵机组(1 号或 2 号)+二级热泵机组(3 号)	DZ01+DZ02+DZ03 井循环泵	1 台
四级利用	11	$53 \geq T \geq 32$	DZ01+DZ02+DZ03 井	二级	一级热泵机组(1 号+2 号)+二级热泵机组(3 号)	DZ01+DZ02+DZ03 井循环泵	1 台

是供暖初期开启热泵，出水热量梯级利用，导致回水温度下降，如图 5(c) 中 A 阶段。室内温度逐渐上升如图 5(e) 所示，运行至上午 08:30 左右达到标准供暖温度，如图 5(e) 所示。运行至中午 13:00 左右，室外温度达到当日最高，用户末端供回水温度变化趋势平缓，供暖热负荷也有所降低，室内温度也趋于稳定，如图 5(a)、图 5(c)、图 5(e) 所示。此时调整三口井的运行策略，关闭 DZ03 井并开启 DZ02 井，在这两口井切换循环泵期间 DZ01 井保持维持运行当前状态(切换工况 4)。当 DZ02 井完全开启循环 30 min 后再关闭 DZ01 井，此操作是为了维持出水温度，仍有下降趋势如图 5(c) 所示，两口地热井混水导致出水温度下降，因 DZ02 井运行初期处于升温阶段，即刻关闭 1 号和 DZ03 井会导致单井

出水温度较低，难以达到供暖负荷，待 DZ02 井出水温度上升后可关闭 DZ01 井，此时由 DZ02 井单独运行(切换工况 2)。关闭后的 DZ01 和 DZ03 井仍有  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  的流量，如图 5(b) 所示，这是因为只关闭了两口井的循环泵，并未关闭井口阀门，由于管内流体存在温差所以会产生小流量自循环现象。

根据单日室内外温度及用户末端供回水温度变化趋势，以按日调节的方式，可得出以下规律。

(1) 上午时段，在上班时间之前需提前开启供暖系统进行管网循环预热使供暖温度逐渐提升，若天气严寒则需开启热泵机组辅助提升温度。

(2) 中午时段，需根据室内外温度情况对供暖系统地源侧进行调峰，即室内外温度较高时或出回水温度趋于平缓时可减少地热井的使用数量；反

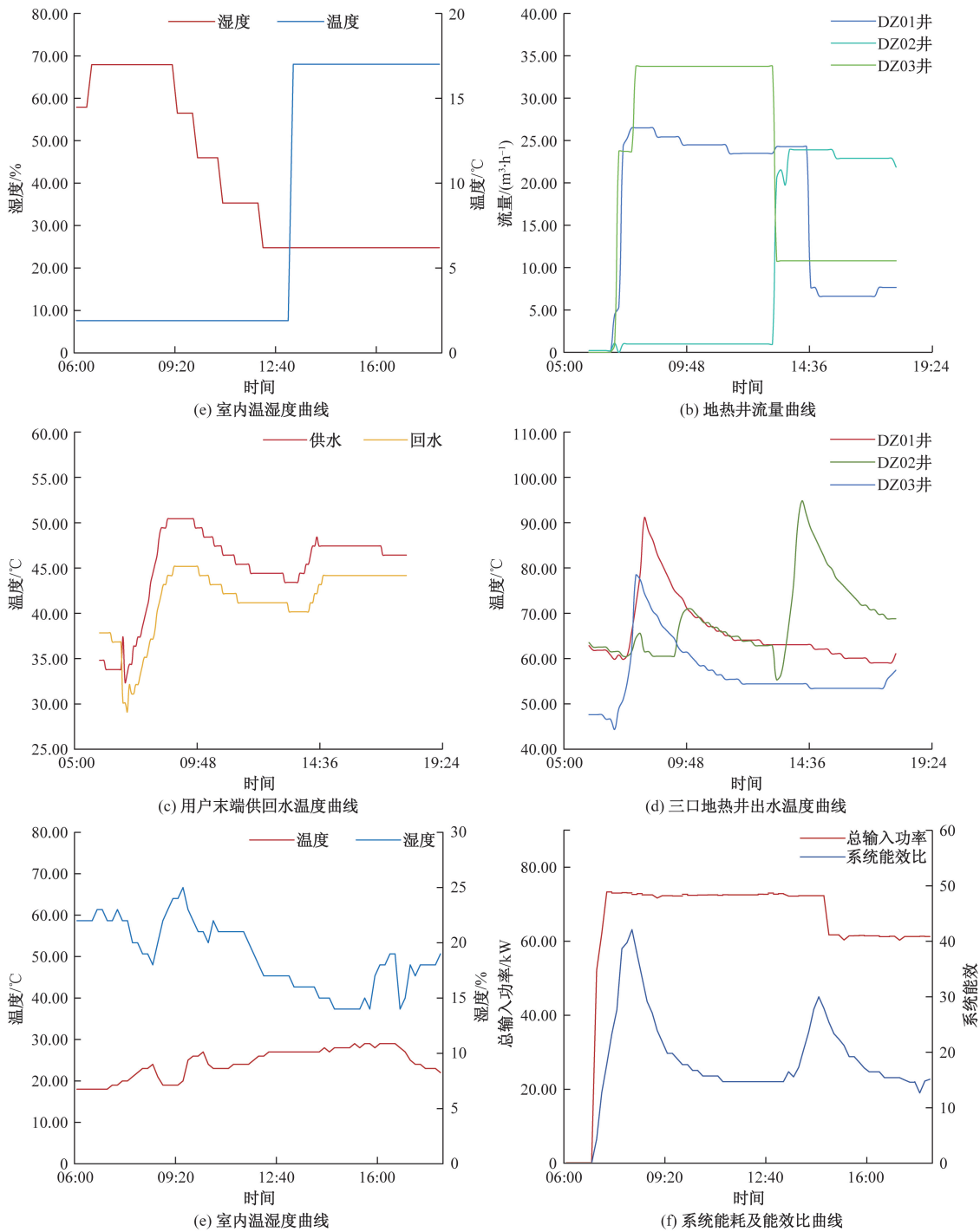


图5 2024年1月9日供暖系统运行历史曲线

之,增加或替换地热井使其交替运行,以达到较好的供暖效果且不浪费地热资源,使地热井源侧每日都保持足够热恢复时间。

(3)下午时段,用户末端供回水温度趋于稳定时可在临近下班时提前关闭供暖系统的循环泵,使供暖系统形成小流量自循环足以供给办公楼及厂房热负荷。

2023—2024年供暖季系统总输入功率与能效

比曲线如图6和图7所示(2024年2月8—25日系统未运行)。

### 3.4 分析评价

根据上文所述,2024年1月9日整个供暖运行期间,供暖系统平均能耗为62.96 kW,平均系统能效比为17.86。整个2023—2024年供暖季供暖系统平均能耗为57.2 kW,平均系统能效比为21.16,以上数据充分说明梯级利用运行策略具备节能高

效的优点。鉴于院区为间歇性供暖模式,井下热恢复时间充足,在一个供暖季的大部分时间里,单靠三口地热井的供热量足以承担起整个院区的热负荷,运行期间仅需开启一台用户末端循环泵和三台地热井源侧循环泵,少有的严寒天气状况下,需加开一台至两台高温热泵机组(1号或2号热泵机组)提升低品位热源,因此用电量大幅降低。综合历史数据,2023—2024年供暖季耗电约为92.2 MWh,比往年节约用电超过240 MWh(表4)。

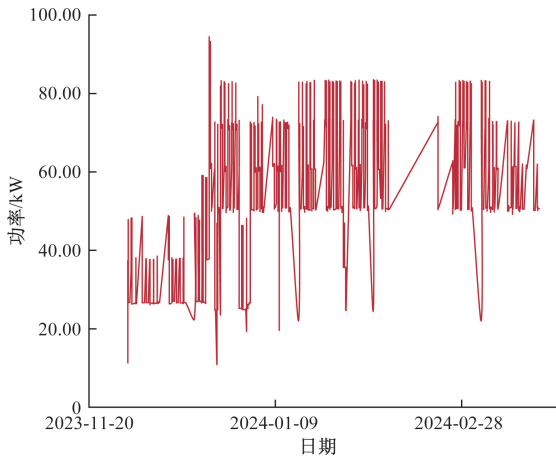


图6 全供暖季系统总输入功率

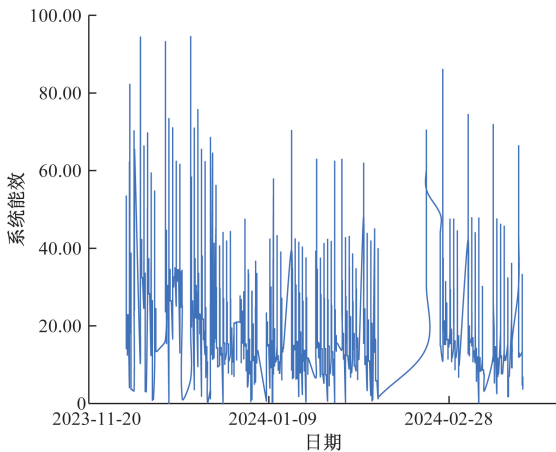


图7 全供暖季系统能效比

表4 供暖季系统能耗

供暖季	平均每月耗电量/MWh	平均能效比	平均运行成本/[元·(m <sup>2</sup> ·月) <sup>-1</sup> ]	平均每月节省电耗/MWh
2023—2024年	23.05	21.16	0.30	60

## 4 结论

本文深入探讨了中深层地热能梯级利用理论,以中煤科工西安研究院(集团)有限公司中深层地

热能建筑供热试点示范项目为范例,进行应用并分析得到以下结论。

中深层地热能梯级利用供暖优化策略能最大化地利用地热资源,以用户末端热负荷需求为导向,考虑环境因素影响,根据地热井供热能力大小采取差异化供给策略,实时调节板式换热器与热泵机组配比策略和循环流体流量大小,实现高品位热源充分换热,低品位热源显著提升。

应用中深层地热能梯级利用供暖优化策略,供暖系统单日平均能耗为62.96 kW,平均系统能效比为17.86。2023—2024年供暖季系统平均能耗为57.2 kW,平均系统能效比为21.16,耗电量较往年节约超150%。

## 参考文献

- [1] 张政, 赵豫, 王国荣, 等. 地热井钻井过程中漏失对井筒温度分布的影响[J]. 科学技术与工程, 2024, 24(23): 9819-9826.
- [2] 霍超, 林倚天, 李刚, 等. 碳中和背景下中国地热资源勘查技术研究进展[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(12): 4917-4927.
- [3] 赵斌, 吕玥, 温柔, 等. 西藏地热能开发利用现状及发展前景[J]. 热力发电, 2023, 52(1): 1-6.
- [4] 孔彦龙, 陈超凡, 邵亥冰, 等. 深井换热技术原理及其换热评估[J]. 地球物理学报, 2017, 60(12): 4741-4752.
- [5] HEPBASLI A, CANAKCIC. Geothermal district heating applications in Turkey: a case study of Izmir-Balcova[J]. Energy Conversion and Management, 2003, 44(8): 1285-1301.
- [6] 沈浩. 关中地区中深层地热地埋管分层换热特性分析及试验研究[D]. 北京: 煤炭科学研究总院, 2022.
- [7] 李奉翠, 韩二帅, 梁磊, 等. 中深层地热井下同轴换热器长期换热性能研究[J]. 煤田地质与勘探, 2021, 49(2): 194-201.
- [8] 刘少勇, 刘铮, 陈永安. 井群排布形式对中深层地埋管换热器性能的影响[J]. 电力勘测设计, 2022(12): 5-11.
- [9] 金辉. 闭式U型井换热器的传热特性及联合热泵高效利用中深层地热研究[D]. 天津: 天津大学, 2020.
- [10] 杨清, 吴冰洁, 李曼. 地热供暖梯级利用优化研究[J]. 中国煤炭地质, 2024, 36(4): 50-55.
- [11] 谢珂. 极薄煤层采煤机截割部液压系统热特性研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2023.
- [12] 乔勇, 易跃春, 赵太平, 等. 2021年中国地热能发展现状与展望[J]. 水力发电, 2022, 48(8): 1-3.
- [13] 武明辉, 隋少强, 黄旭. 西咸新区中深层地热能供暖潜力分析[J]. 石化技术, 2021, 28(7): 154-155.
- [14] 姜曙, 刘芳芳, 刘媛媛, 等. “地热能+”在工程实践中的综合梯级应用[J]. 综合智慧能源, 2022, 44(9): 59-64.
- [15] 杜赛赛, 张勇, 刘轩, 等. 西北地区带辅助热源的中深

- 层地热泵供暖系统设计负荷配比分析[J]. 西北水电, 2022(1): 95-98.
- [16] 吴鑫, 王乐, 王娟芳, 等. 中深层地热耦合水源热泵冬季梯级供热系统性能优化[J]. 建筑科学, 2024, 40(2): 56-62.
- [17] 李艳斌, 张勇, 刘轩, 等. 工业园区中深层地热能梯级利用供暖系统应用及效益分析[J]. 西北水电, 2023(3): 37-41.

## Research and Application of Optimisation Strategies for Medium and Deep Geothermal Energy Cascade Utilization for Heating System

HU Zhenyang<sup>1,2</sup>, LIU Chenglu<sup>1,2</sup>, ZHAO Yongzhe<sup>1,2</sup>, GOU Li<sup>1,2</sup>

(1. CCTEG Xi'an Research Institute (Group) Co. Ltd., Xi'an 710065, China;

2. Xi'an Coal Science Geothermal Energy Development Co. Ltd., Xi'an 710086, China)

**Abstract:** Medium-depth geothermal energy is one of the important clean heating energy sources because of its large heat storage capacity, good stability and wide distribution range. When using medium-depth geothermal energy for heating, considering that a certain amount of cold build-up will be generated at the bottom of the medium-depth buried pipe, the stratum heat supply capacity will continue to decay with time, i. e. , the water supply temperature of the geothermal wells will be gradually reduced with the extension of time. Especially in the uninterrupted heating operation mode, the stratum heat recovery capacity is limited, how to maintain a constant heat load at the user's end under the variable temperature heating condition at the ground source side has become an urgent problem to be solved. A single heating strategy is difficult to meet the heat load demand under the variable temperature heating condition of geothermal wells, therefore, the optimisation strategy of gradient heating was proposed, which could maximize the extraction of stratum heat, convert low-grade heat source into high-grade heat source, improve the efficiency of heat extraction and reduce the operating cost at the same time compared with the former. Finally, the application and analysis of the heating strategy were combined with the pilot demonstration project of medium and deep geothermal energy building heating in CCTEG Xi'an Research Institute(Group) Co. Ltd. The results show that the the average energy consumption of the heating system for the full heating season is 57.2 kW, and the average energy-efficiency Ratio is 21.16, which has certain guiding significance for the efficient heating application of medium and deep geothermal energy.

**Keywords:** medium-depth geothermal energy; heating optimization strategy; cascade utilization; energy-efficiency ratio