

# 太阳能与地热能耦合发电系统性能研究

李 君<sup>1</sup>, 朱家玲<sup>1</sup>, 崔志伟<sup>1</sup>, 李金永<sup>2</sup>

(1. 天津大学中低温热能高效利用教育部重点实验室, 天津 300350; 2. 华北油田第三采油厂, 沧州 062450)

**摘 要:** 建立一种太阳能-地热能耦合 ORC(organic Rankine cycle) 电站模型, 通过 Matlab 对系统热力学性能进行仿真计算, 在拉萨地区太阳能辐射强度和环境温度条件下, 逐时计算单独地热电站和太阳能-地热能耦合电站的净输出功和热效率。夏至、冬至日的逐时计算结果表明, 耦合电站比单独空气冷却地热 ORC 电站的性能更优, 可弥补白昼环境温度升高的不利影响; 耦合电站的净输入功和热效率随太阳集热器聚光器面积的增大而增大。夏季环境温度较高, 加入太阳能对电站热力性能的改善比冬季更为明显。

**关键词:** 太阳能; 地热能; 仿真模拟; 朗肯循环; 多热源耦合

**中图分类号:** TK523

**文献标识码:** A

## 0 引 言

单一太阳能发电存在不连续、不稳定、成本偏高的缺点<sup>[1]</sup>, 单一中低温地热能发电也有效率低、能源品位衰退的不足。近几十年, 多热源耦合发电被广泛研究, 太阳能-地热能耦合发电系统受到国内外学者的关注。Lentz 等<sup>[2]</sup>提出一种与塞罗普列托地核电站相适应的太阳能-地热集成发电系统。Astolfi 等<sup>[3]</sup>对基于有机朗肯循环的太阳能-地热耦合电站做了技术性和经济性分析; Zhou 等<sup>[4,5]</sup>定义了“品质因数”用于比较耦合动力、单独能源电站的发电量和成本, 分析环境温度、太阳辐照度等参数的影响, 对亚临界、超临界地热电站应用耦合系统的可行性进行了比较; Ghasemi 等<sup>[6-8]</sup>对地热电站改造耦合太阳能电站的优化进行研究; Kuyumcu 等<sup>[9]</sup>进行了太阳能-地热能耦合试点电站的设计安装和调试。周 刚等<sup>[10]</sup>提出带化学储能系统的太阳能地热联合发电系统; 张丽英等<sup>[11]</sup>研究了一种增加太阳能过热器的联合发电系统应用于西藏地区的可行性; 年 越等<sup>[12]</sup>以扩容式地热与槽式太阳能联合发电系统为研究对象, 对太阳集热器出口温度进行估算, 模拟分析最佳扩容温度。

本文针对干旱缺水、地热能与太阳能丰富地区

的空气冷却电站, 构建一种太阳能与地热能耦合 ORC(organic Rankine cycle) 发电系统模型, 对拉萨地区冬至、夏至日进行逐小时净输出功率、热效率、烟效率模拟计算, 并分析其热力性能特点, 进行初步的经济性分析。

## 1 太阳能-地热能耦合 ORC 系统原理

太阳能-地热能耦合 ORC 系统如图 1 所示, 在单独地热电站蒸发器、汽轮机、冷却塔和工质泵等主要组成部件组成的 ORC 循环、地热水循环基础上, 并联入已商业化运行的槽式太阳能集热系统<sup>[13]</sup>, 导热油与工质换热。

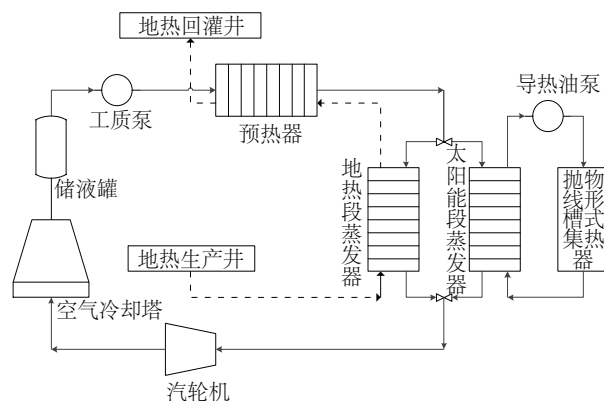


图1 太阳能-地热能耦合 ORC 发电系统示意图

Fig. 1 Schematics diagram of a hybrid ORC system

收稿日期: 2016-07-15

基金项目: 天津市应用基础与前沿技术计划(重点项目)(15JCZDJC32000)

通信作者: 朱家玲(1954—), 女, 硕士、教授、博士生导师, 主要从事中低温能源利用方面的研究。zhujl@tju.edu.cn

系统的热力学过程如图 2 所示,工质经回灌前的地热水预热后分为两部分,一部分进入地热段蒸发器与流出生产井的地热水换热,另一部分进入太阳能段蒸发器与太阳能集热系统导热油换热,在相同的蒸发温度下相变,过热至相同温度状态的过热蒸汽。2—3—4 表示工质蒸发过程。

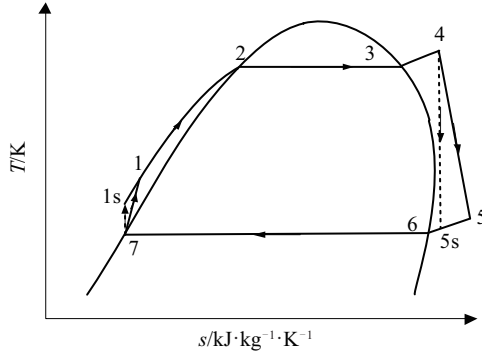


图 2 ORC 发电系统 T-S 图

Fig. 2 T-S diagram of a ORC system

## 2 热力性能计算模型的建立

对于单独地热电站,蒸发过程中工质吸热量:

$$Q_{\text{geo}} = m_{\text{wf}}(h_4 - h_1) = m_{\text{geo}} c_{p,\text{geo}}(T_{\text{geo},\text{in}} - T_{\text{geo},\text{out}}) \quad (1)$$

有机工质的质量流量:

$$m_{\text{wf}} = \frac{m_{\text{geo}} c_{p,\text{geo}}(T_{\text{geo},\text{in}} - T_2 - \Delta T_p)}{h_4 - h_2} \quad (2)$$

对于太阳能-地热耦合电站,工质从地热热源的总吸热量:

$$Q_{\text{geo}} = m_1(h_4 - h_1) = m_{\text{geo}} c_{p,\text{geo}}(T_{\text{geo},\text{in}} - T_{\text{geo},\text{out}}) \quad (3)$$

经过地热段蒸发器工质的质量流量:

$$m_1 = \frac{m_{\text{geo}} c_{p,\text{geo}}(T_{\text{geo},\text{in}} - T_2 - \Delta T_p)}{h_4 - h_2} \quad (4)$$

工质从太阳热源的总吸热量<sup>[5]</sup>:

$$Q_{\text{solar}} = Q_{\text{collector}} - Q_{\text{loss,total}} - Q_{\text{loss,piping}} \quad (5)$$

式中,  $Q_{\text{collector}}$  ——接收器吸收的有效太阳能辐射,可根据文献[5]计算得到。

$$Q_{\text{collector}} = A I_b \eta_{\text{optical}} IAM(\theta) \quad (6)$$

文献[13]中定义了入射角  $\theta=0^\circ$  时的光学效率:

$$\eta_{\text{optical}} = \rho \cdot \gamma \cdot \tau \cdot \alpha|_{\theta=0} \quad (7)$$

式(7)计算了  $\theta=0^\circ$  且反射面绝对洁净时的集热器峰值光学效率。由于除  $\gamma$  以外,其他参数均受入射角  $\theta$  的影响,因此当入射角不为  $0^\circ$  时,引入

入射角修正系数  $IAM(\theta)$ , 可较为准确地描述入射角对聚光过程的影响,包括太阳辐射密度减少(即余弦损失)和集热器光学性能下降(尤其是  $\tau$  和  $\alpha$ )<sup>[13]</sup>。

本文太阳集热器参数采用 Luz 公司在 SEGS 系列槽式太阳能光热发电站使用的 LS-2 型槽式聚光集热器,各项参数见表 1。根据文献[14]中实验结果:

$$IAM(\theta) = \cos \theta + 0.000884\theta - 0.00005369\theta^2 \quad (8)$$

表 1 用于仿真计算的主要参数

Table 1 Main parameters used in simulation calculation

参数	数值	参数	数值
地热生产井流量/ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$	30	生产井出口温度/ $^\circ\text{C}$	110~150
有机工质	异戊烷	镜面反射率 $\rho$	0.93
汽轮机等熵效率/%	75	吸收管吸收率 $\alpha$	0.96
工质泵等熵效率/%	80	形状因子 $\gamma$	0.92
聚光器开口宽度/m	5	玻璃管透射率 $\tau$	0.95

对于绕南北水平轴,单轴逐日的 LS-2 型集热器组合:

$$\cos \theta = \sqrt{\cos^2 h + \cos^2 \delta \cos^2 \omega} \quad (9)$$

式中,  $h$ 、 $\delta$ 、 $\omega$  的计算公式参见文献[15]。

对于 LS-2 型集热器,文献[5]给出了吸收管热损失和太阳能管道热损失计算方法:

$$Q_{\text{loss}} = -0.04162 \times \Delta T + 0.00448 \times \Delta T^2 - 1.43426 \times 10^{-5} \times \Delta T^3 + 2.32022 \times 10^{-8} \times \Delta T^4 \quad (10)$$

$$Q_{\text{loss,piping}} = A \times 10 \times (0.001693 \times \Delta T - 1.683 \times 10^{-5} \times \Delta T^2 + 6.78 \times 10^{-8} \times \Delta T^3) \quad (11)$$

式中,  $Q_{\text{loss}}$  ——单位长度吸收管的热损失,  $\text{W/m}$ 。

经过太阳能段蒸发器工质的质量流量:

$$m_2 = \frac{Q_{\text{solar}}}{h_4 - h_2} \quad (12)$$

工质总流量为:

$$m_{\text{wf}} = m_1 + m_2 \quad (13)$$

冷凝器换热方程为:

$$Q_c = m_c c_{p,c}(T_{c,\text{out}} - T_0) = m_{\text{wf}}(h_5 - h_7) \quad (14)$$

冷空气流量为:

$$m_c = \frac{m_{\text{wf}}(h_6 - h_7)}{c_{p,cw}(T_6 - \Delta T_p - T_0)} \quad (15)$$

汽轮机的等熵效率定义为:

$$\eta_t = \frac{h_4 - h_5}{h_4 - h_{5s}} \quad (16)$$

汽轮机做功为:

$$W_t = m_{wf}(h_4 - h_5) \quad (17)$$

工质泵等熵效率定义为:

$$\eta_p = \frac{h_{1s} - h_7}{h_1 - h_7} \quad (18)$$

工质泵消耗功为:

$$W_p = m_{wf}(h_1 - h_7) \quad (19)$$

系统净输出功为:

$$W_{net} = W_t - W_p \quad (20)$$

系统热效率为:

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_h} \quad (21)$$

系统焓效率为:

$$\eta_{ex} = \frac{W_{net}}{m_{geo}[h_{geo,in} - h_{geo,out} - T_0(s_{geo,in} - s_{geo,out})]} \quad (22)$$

本文中的模拟计算通过 Matlab 编程完成,程序框图如图 3 所示。物性参数来自 REFPROP9.0,某地逐时太阳法向直射辐照度及环境温度数据来自 TRNSYS16 中各地典型气象年数据库动态仿真结果。

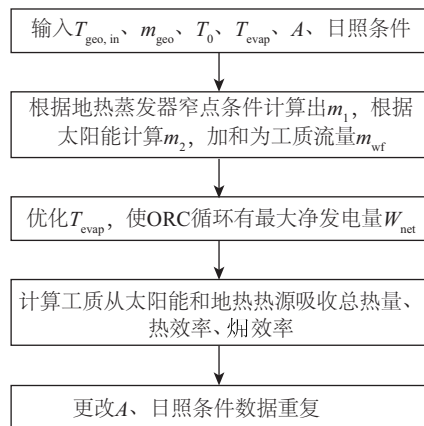


图3 模拟计算程序框图

Fig. 3 Calculation procedure

太阳能-地热能耦合电站与单独空气冷却地热电站进行热力性能比较时,地热生产井井口出水的温度、流量一致,均根据逐时环境温度条件优化蒸发温度,使 ORC 系统有最优净输出功率。冷凝过程中,冷却空气进口温度为环境温度,工质与地热流体和冷却流体的窄点温差均为 5℃,蒸发段的过热度为 3℃,工质的冷凝温度与冷却流体入口温度

之差为 9℃。

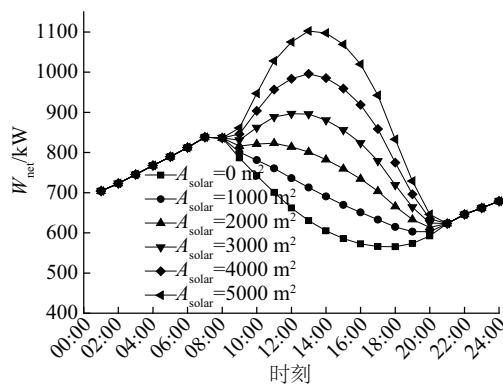
### 3 仿真结果及分析

西藏地区属于全国太阳能利用第一级区划,同时还是地热能资源丰富带,这 2 种能源耦合发电的协同效应可在一定程度上弥补独立电站的缺陷。引用典型气象年环境温度、太阳法向直射辐照度数据,对耦合电站应用于西藏拉萨地区时夏至日(全年日照时间最长,达 12 h)、冬至日(全年日照时间最短,达 8 h)的热力学性能进行逐时模拟计算,并对影响净输出功的主要因素进行研究。根据西藏地区气象、地质条件平均水平及 LS-2 型集热器性能试验结果,模型仿真条件见前文表 1<sup>[13,14]</sup>。

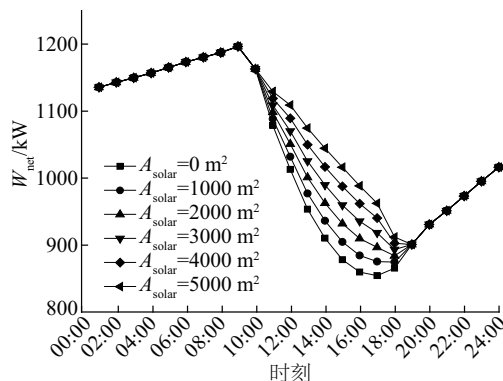
#### 3.1 热力学第一定律性能分析

如图 4 所示,当地热水入口温度  $T_{geo,in}=125^\circ\text{C}$ ,耦合电站的逐时最优净输出功率与太阳集热聚光器开口面积成正相关,且当聚光器开口面积增大到 5000 m<sup>2</sup> 时,夏至日逐时最优净输出功率出现明显峰值。拉萨夏至日环境温度变化范围为 9.72~25.72℃;太阳法向直射辐照度从当地时间 09:00~20:00 可用于耦合电站发电,在 14:00 达到峰值 1111.0 W/m<sup>2</sup>;相比于单独地热电站全天净发电量 16408.9 kWh,不同集热器面积下耦合电站全天净输出功分别增加 4.10%、8.44%、13.02%、17.86% 和 22.95%。拉萨冬至日环境温度变化范围是 -7.03~8.85℃,太阳法向直射辐照度从当地时间 11:00~18:00 间可用于耦合电站发电,在 15:00 达到峰值 756.9 W/m<sup>2</sup>;相比于单独地热电站全天净发电量 24832.5 kWh,不同集热器面积下耦合电站全天净输出功分别增加 0.65%、1.30%、1.96%、2.63% 和 3.31%。

对于每一个时刻,不同的蒸发温度,汽轮机进出口的焓差不同,工质泵消耗功不同,相应的工质流量以及蒸发过程总吸热量也不同,存在一个最优蒸发温度,使此时的净输出功率存在最大值。以该最大值作为该时刻的最优净输出功率,随着时间的变化,最优净输出功率和热效率也随之变化。



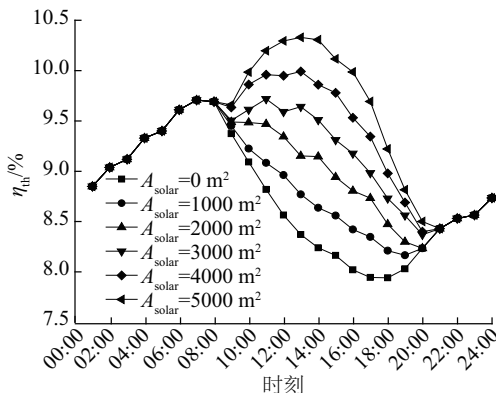
a. 拉萨, 夏至



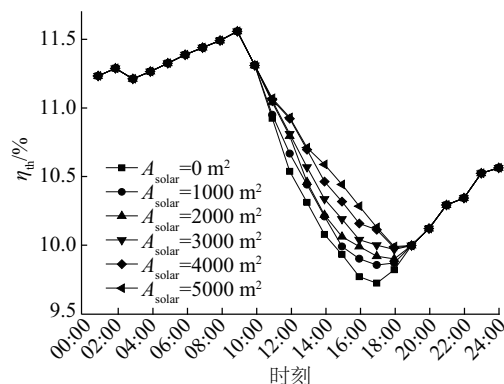
b. 拉萨, 冬至

图4 不同太阳能集热聚光器开口面积下  
净输出功率逐时变化Fig. 4 Net power output vs. time under condition of  
different areas of solar collector

如图5所示,耦合电站的逐时热效率与太阳集热聚光器开口面积成正相关。夏至日相比于单独地热电站全天平均热效率(8.74%),耦合电站不同集热器面积下平均热效率分别增加 1.56%、3.23%、4.74%、6.27%和 7.77%;冬至日相比于单独地热电站全天平均热效率(10.69%),耦合电站不同集热器



a. 拉萨, 夏至



b. 拉萨, 冬至

图5 不同的太阳集热聚光器开口面积下  
热效率逐时变化Fig. 5 Thermal efficiency vs time under condition of  
different areas of solar collector

面积下平均热效率分别增加 0.31%、0.50%、0.73%、1.02%和 1.19%。

从数据结果分析,空气冷却地热电站发电量及发电效率受环境温度变化的影响较大,太阳能的加入很大程度抵消了不利影响;由于夏季平均环境温度较高,同时也是太阳能光照条件较好的时段,因此耦合太阳能对空冷地热电站夏季发电性能的改善效果比冬季更为明显。

考虑到拉萨地区的时区,15:00 时太阳辐射最强,吸收太阳能的热量也最多,太阳集热器面积越大,系统利用的太阳能总热量越高,对地热电站白昼环境温度升高不利影响的弥补就越明显。图4结果显示,本文中仅考虑地热井出口地热水温度为 125℃,质量流量为 30 kg/s 的耦合电站模型,太阳能总聚光器开口面积 2000 m² 系统运行较为稳定。

### 3.2 热力学第二定律性能分析

耦合电站的逐时焓效率随太阳集热聚光器开口面积变化如图6所示。由于太阳集热部分的光学损失、传热损失,耦合电站的焓效率相比独立地热电站是降低的,夏至日和冬至日均在 15:00 为最低值。太阳集热聚光器总开口面积 2000 m² 以上时,光照时段耦合电站焓效率降低趋于平缓。



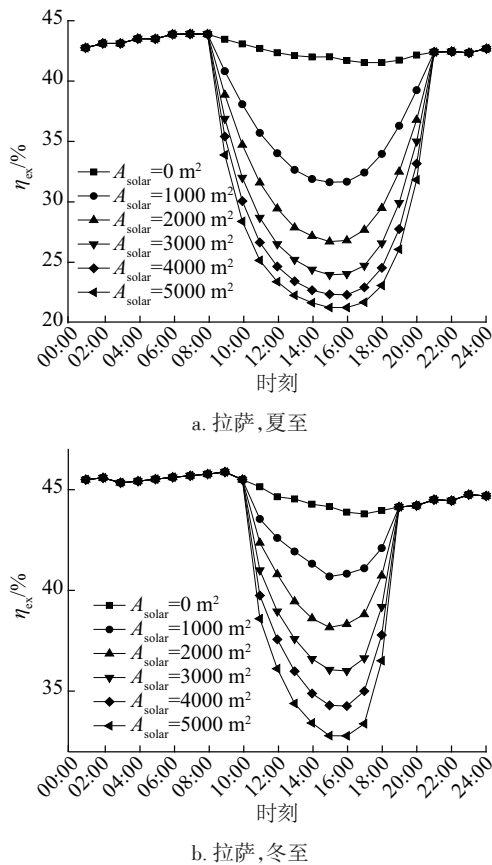
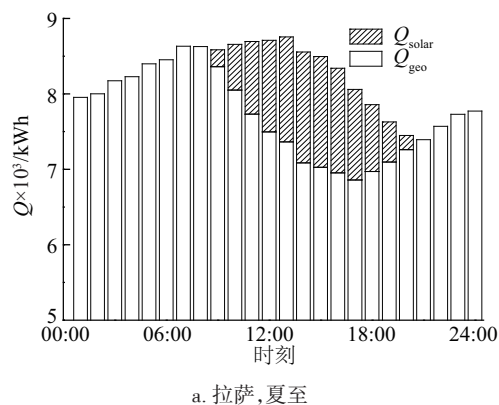


图6 不同的太阳能集热聚光器开口面积下  
焓效率逐时变化

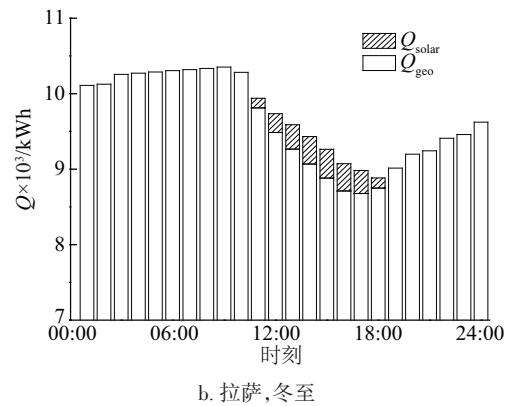
Fig. 6 Exergy efficiency vs time under condition of  
different areas of solar collector

### 3.3 冬夏季热量输入比例分析

当系统中接入的 LS-2 太阳集热聚光器开口面积为  $2000 \text{ m}^2$  时,耦合系统吸收的太阳能和地热能如图 7 所示。拉萨地区夏至日全天可用于发电的日照时长达 12 h,冬至日为 8 h。当地时间 14:00~15:00,拉萨地区为正午日照条件最好的时段,太阳



a. 拉萨,夏至



b. 拉萨,冬至

图7 耦合系统吸收太阳能和地热能随时间的变化

Fig. 7 Solar and geothermal energy absorbed by  
hybrid system vs time

能占系统总吸收热量比例为全天最高,夏至日达到 17.28%,冬至日达到 4.13%。

夏季太阳能输入比例整体大于冬季。一方面夏季受较高的环境温度影响,地热能输入减少明显,而冬季环境温度较低,地热能输入量较高;另一方面,夏季平均太阳辐照度  $620.38 \text{ W/m}^2$  优于冬季的  $337.6 \text{ W/m}^2$ ,太阳能输入较高。除此之外,由于冬季阳光斜照,入射角比夏至日整体偏大,余弦损失效应明显。

## 4 经济性分析

拉萨地区气象条件下,地热生产井出口温度为  $125^\circ\text{C}$ 、质量流量为  $30 \text{ kg/s}$  时,耦合入  $2000 \text{ m}^2$  的 LS-2 型太阳集热器的耦合电站热力性能,比单独空冷地热电站有较为明显的改善,技术上具有一定优势。为了较为合理地对耦合电站进行评价,需对其进行经济性分析与评估。选择能源平均成本 (levelized energy costs, LEC),即平均每得到  $1 \text{ kWh}$  电量需付出的代价作为评价指标<sup>[4]</sup>:

$$LEC = \frac{crf \cdot K_{\text{invest}} + K_{\text{OM}} + K_{\text{fuel}}}{E_{\text{annual}}} \quad (23)$$

$$crf = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} + k_{\text{insurance}} \quad (24)$$

耦合电站比单独地热电站年发电量增加  $311578.35 \text{ kWh}$ ,电力成本为  $0.753 \sim 0.759 \text{ ¥/kWh}$ 。考虑到国家对太阳能热发电的支持政策,将耦合入太阳能增加的发电量部分按照该领域标杆电价计算,耦合电站年净利润比单独地热电站增加  $7.52 \text{ 万¥}$ ;另耦合电站在输出电负荷上,受环境因素的影响更

小,电力输出更加稳定,对电网或用户影响也小。因此,本文的耦合电站模型从经济性和发展分布式能源角度上更具优势。未来随着技术的逐步成熟,具有更好经济效益的耦合模式将在后续研究进行讨论。

## 5 结 论

1)太阳能-地热能耦合 ORC 电站比单独空冷地热 ORC 电站有更优的净输出功率及热效率,弥补了白昼环境温度升高对电站热力性能的影响,且耦合太阳能对发电性能的改善效果夏季比冬季更为明显。

2)由于太阳集热部分的光学损失、传热损失,耦合电站的烟效率相比独立地热电站是降低的。

3)介于本文讨论的模型考虑,太阳集热聚光器开口面积选为 2000 m<sup>2</sup>运行负荷较为稳定。

4)本文讨论的耦合电站模型比单独地热电站电力成本虽略有增加,但考虑国家对太阳能发电补贴政策,年净利润是增加的。

5)本文仅对一种耦合模式进行分析,多种耦合系统模式及精细化系统优化、耦合系统的接口技术分析等需作进一步研究。

综上所述,太阳能-地热能耦合电站适用于干旱缺水,且太阳能和地热能都较为丰富的地区;随着地热田开采年限的增加,当独立地热电站的地热资源品质逐年衰退时,建议考虑太阳能-地热能耦合电站改造,以改善地热生产井水温度、流量下降对发电系统出力和能效的不良影响。

符号表

$h$	比焓,kJ/kg
$W$	功, kW
$m$	质量流量,kg/s
$T$	温度,℃
$p$	压力,MPa
$Q$	换热量,W
$c_p$	比热容,kJ/(kg·K)
$A$	聚光器开口面积,m <sup>2</sup>
$I_b$	太阳法向直射辐照度,W/m <sup>2</sup>

$\theta$	入射角,(°)
$\rho$	镜面反射率
$\alpha$	接吸收管表面吸收率
$\gamma$	理想定向系统的形状因子
$\tau$	吸收管外玻璃管透射率
$h$	太阳高度角,(°)
$\delta$	太阳赤纬角,(°)
$\omega$	时角,(°)
$\Delta T$	太阳能导热油与外界环境的温度差,℃
$\eta_{th}$	热力学第一定律效率
$\eta_{ex}$	热力学第二定律效率
$\eta_{optical}$	集热器光学效率
$i$	实际利率
$k_{insurance}$	年保险费
$K$	费用,¥
$E_{annual}$	年净发电量,kWh
$n$	电站生命周期
下标	
t	汽轮机
p	工质泵
evap	蒸发器
cond	冷凝器
s	等熵过程
geo	地热水
solar	太阳能
collector	太阳集热器
loss	热损失
piping	管道
c	冷空气
wf	工质
in	入口
out	出口
pp	窄点
invest	总投资额
OM	运行管理费
fuel	燃料费

## [参考文献]

- [1] 闫云飞, 张智恩, 张 力, 等. 太阳能利用技术及其应用[J]. 太阳能学报, 2012, 33(1): 47—56.
- [1] Yan Yunfei, Zhang Zhien, Zhang Li, et al. Application

- and utilization technology of solar energy[J]. *Acta Energiae Solaris Sinica*, 2012, 33(1): 47—56.
- [2] Lentz A, Almanza R. Solar-geothermal hybrid system[J]. *Applied Thermal Engineering*, 2006, 26: 1537—1544.
- [3] Astolfi M, Xodo L, Romano M C, et al. Technical and economical analysis of a solar-geothermal hybrid plant based on an organic Rankine cycle[J]. *Geothermics*, 2011, 40(1): 58—68.
- [4] Zhou C, Doroodchi E, Moghtaderi B. An in- depth assessment of hybrid solar-geothermal power generation[J]. *Energy Conversion and Management*, 2013, 74: 88—101.
- [5] Zhou C. Hybridisation of solar and geothermal energy in both subcritical and supercritical organic Rankine cycles[J]. *Energy Conversion and Management*, 2014, 81: 72—82.
- [6] Ghasemi H, Sheu E, Tizzanini A, et al. Hybrid solar-geothermal power generation: Optimal retrofitting[J]. *Applied Energy*, 2014, 131: 158—170.
- [7] Ghasemi H, Paci M, Tizzanini A, et al. Modeling and optimization of a binary geothermal power plant[J]. *Energy*, 2013, 50: 412—428.
- [8] Ayub M, Mitsos M, Ghasemi H. Thermo- economic analysis of a hybrid solar-binary geothermal power plant[J]. *Energy*, 2015, 87: 326—335.
- [9] Kuyumcu O C, Serin O, Ozalivli C C, et al. Design and Implementation of the geothermal hybrid geothermal and solar thermal power system[A]. *Geothermal Resources Council[C]*, Portland, Oregon, USA, 2014.
- [10] 周 刚, 倪晓阳, 李金锋. 不受地理位置限制的地热和太阳能联合发电系统[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2006, 31(3): 392—400.
- [10] Zhou Gang, Ni Xiaoyang, Li Jinfeng. Geothermal and solar energy combined power generation system- an environment friendly system Insubj ect to geographic location[J]. *Earth Science- Journal of China University of Geosciences*, 2006, 31(3): 392—400.
- [11] 张丽英, 翟 辉, 代彦军, 等. 一种地热与太阳能联合发电系统研究[J]. *太阳能学报*, 2008, 29(9): 1086—1092.
- [11] Zhang Liying, Zhai Hui, Dai Yanjun, et al. Study on a geothermal-solar power generation system[J]. *Acta Energiae Solaris Sinica*, 2008, 29(9): 1086—1092.
- [12] 年 越, 刘 石. 地热与太阳能联合发电系统热力性能分析[J]. *热力发电*, 2014, 43(9): 1—11.
- [12] Nian Yue, Liu Shi. Thermal performance analysis on geothermal-solar power generation system[J]. *Thermal Power Generation*, 2014, 43(9): 1—11.
- [13] Manzolini G, Giostri A, Saccilotto C, et al. Development of an innovative code for the design of thermodynamic solar power plants part A: Code description and test case[J]. *Renewable Energy*, 2011, 36: 1993—2003.
- [14] Dudley V E, Kolb G J, Mahoney A R, et al. Test results: SEGS LS-2 solar collector[R]. Sandia National Laboratories, 1994.
- [15] Duffie J A, Beckman W A. Solar engineering of thermal processes[M]. New York: Wiley, 1980, 322—372.

## THEMODYNAMICS ANALYSIS OF A HYBRID SOLAR-GEOTHERMAL POWER GENERATION SYSTEM

Li Jun<sup>1</sup>, Zhu Jialing<sup>1</sup>, Cui Zhiwei<sup>1</sup>, Li Jinyong<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Efficient Utilization of Low and Medium Grade Energy, MOE, Tianjin University, Tianjin 300350, China;

2. Third Oil Production Plant of North China Oilfield, Cangzhou 062450, China)

**Abstract:** A model of hybrid solar-geothermal ORC power generator is developed. The thermodynamics property is simulated by calculating the net power output and the thermal efficiency of the standalone geothermal and the solar-geothermal hybrid power plant, respectively, under the solar irradiance and environment temperature condition of Lhasa by Matlab. The calculation results on summer and winter solstices hour by hour indicate that hybrid system achieves higher optimal net power output and thermal efficiency than the standalone geothermal station and offsets the disadvantages resulted by the temperature increase during the daytime. The net power output and the thermal efficiency of the hybrid system increase as the area of the solar collector increases. The thermodynamics property of the power plant is improved more prominently in summer than in winter by adding solar energy, owing to the high environment temperature.

**Keywords:** solar energy; geothermal energy; computer simulation; Rankine cycle; hybrid heat source