

The Analysis of Geothermal Power Generation by Flash System Combined with Binary Cycle

Xinfeng Guo, Xiaorong Gao, Xuefeng Liu

SINOPEC Star Petroleum Co., Ltd., Beijing
Email: guoxinfeng20@126.com

Received: Apr. 1st, 2013; revised: Apr. 14th, 2013; accepted: Apr. 21st, 2013

Copyright © 2013 Xinfeng Guo et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: Obtained by simulation analysis of 100°C - 150°C geothermal water resources, geothermal power generation by flash system combined with binary cycle can obviously improve the power generation capacity and resource utilization. EES software was introduced to analyze the impact of flash temperature, working fluid and fluid flux for geothermal power generation capacity, and empirical formula for the best flash temperature was proposed. The results indicated that the type of working fluid had great influence on power generation capacity, and geothermal power generation capacity increased as geothermal fluid flow increased.

Keywords: Geothermal Power Generation; Generation Capacity; Flash; Binary

闪蒸 - 双工质联合地热发电系统应用分析

郭新锋, 高小荣, 刘学峰

中国石化集团新星石油有限责任公司, 北京
Email: guoxinfeng20@126.com

收稿日期: 2013年4月1日; 修回日期: 2013年4月14日; 录用日期: 2013年4月21日

摘要: 本文通过模拟计算分析得出, 对于 100°C~150°C 的地热资源, 利用闪蒸 - 双工质联合发电系统可以提高发电功率, 提高资源的利用率。采用 EES 软件, 分析了闪蒸温度、双工质种类和地热流体流量对该系统发电功率的影响, 提出了最佳闪蒸温度的经验公式, 结果表明不同工质对于发电功率的影响很大, 地热发电功率随地热流体流量的增大而增大。

关键词: 地热发电; 发电功率; 闪蒸; 双工质

1. 引言

我国地热资源丰富, 地热发电潜力巨大。在川西隆起高山高原地区, 存在大量的温度在 100°C~150°C 中高温地热资源, 发电潜力在 100 MW 以上^[1], 若加以利用, 对缓解川西地区冬季电力紧张有着重要的现实意义。

对于 100°C~150°C 的地热资源来说, 无论采用闪

蒸发电还是双工质发电, 都将不能完全利用地热资源的热能, 造成资源的浪费。若将闪蒸发电系统与双工质发电系统联合起来, 将使电站的出力提高, 从而提高资源的利用率^[2]。该系统先将高温的地热水进行闪蒸, 闪蒸蒸汽直接推动汽轮机发电, 闪蒸器内的饱和水用于蒸发低沸点的有机工质进行发电, 实现资源的梯级利用, 充分利用地热资源的能量。

2. 闪蒸 - 双工质发电系统简介

闪蒸 - 双工质联合循环发电系统如图 1 所示。地热流体抽出地面后首先在闪蒸器内闪蒸，闪蒸蒸汽推动汽轮机发电，汽轮机出汽经冷凝器冷凝后排入到回灌井或者进行梯级利用；闪蒸器内的饱和水在蒸发器内加热低沸点有机工质，形成具有一定压力一定温度的有机工质蒸汽推动汽轮机发电，有机工质在冷凝器内冷却成液体，经工质泵先进入到预热器进行预热，最后进入到蒸发器，有机工质完成一个封闭的循环。若地热尾水温度较高，可以进行地热供暖，然后进行回灌。闪蒸 - 双工质发电系统的输出功率是闪蒸系统和双工质循环发电系统的总和。

3. 计算初始参数

本文选择计算模型见文献[3]，针对川西地区的温度环境，采用 EES(engineering equation solver)软件编程计算。

3.1. 已知参数

地热水质量流量 $q_m = 100t/h$ 。

厂用电率 $X = 0.25$

环境冷却水温度 $t_e = 15^\circ\text{C}$ (川西地区存在高山雪融水)

电站各效率：

$$\eta_c = \eta_{oi} \times \eta_m \times \eta_g = 0.76 \times 0.98 \times 0.97 = 0.722$$

$$\eta_{oc} = \eta_{ooi} \times \eta_{om} \times \eta_{og} = 0.78 \times 0.98 \times 0.97 = 0.741$$

3.2. 冷凝温度

考虑到回灌，本文的闪蒸和双工质循环的冷凝器均采用的表面式，设闪蒸系统冷却水温升为 $\Delta t_c = 10^\circ\text{C}$ ，双工质系统温升为 $\Delta t_{oc} = 8^\circ\text{C}$ ，最小传热端差 $\Delta t_{pp} = 8^\circ\text{C}$ ，则冷凝温度为：

闪蒸系统冷凝温度：

$$\Delta t_c = t_e + \Delta t_c + \Delta t_{pp} = 15 + 10 + 8 = 33^\circ\text{C}$$

双工质系统冷凝温度：

$$\Delta t_{oc} = t_e + \Delta t_{oc} + \Delta t_{pp} = 15 + 8 + 8 = 31^\circ\text{C}$$

3.3. 双工质系统预热器出口温度

预热器出口温度是按照需要进行选择，考虑到供

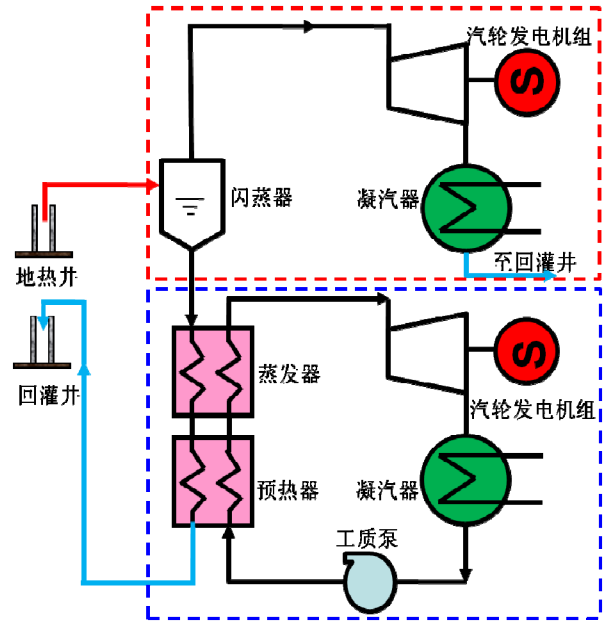


Figure 1. Schematic diagram of geothermal power generation by flash system combined with binary cycle
图 1. 闪蒸 - 双工质联合地热发电系统简图

暖需求，选择预热器出口温度 $t_6 = 55^\circ\text{C}$ 。

4. 计算结果分析

4.1. 100℃~150℃不同发电方式发电量对比

图 2 是地不同发电方式的发电功率随地热流体温度的变化关系。地热流体流量为 100 t/h，双工质发电采用的工质是 R245 fa，在 100℃~150℃不会超过其临界温度，避免工质跨临界循环带来的诸多问题。从图 2 可以看出，不论哪种发电方式，发电功率都是随着地热流体温度的升高而增大的，闪蒸 - 双工质联合循环系统的发电功率最大，双工质的发电量最小，闪蒸 - 双工质联合发电功率比闪蒸发电功率提高最高达到 17%，比双工质发电功率提高最高达到 60%，因此选用闪蒸 - 双工质发电系统可以增大发电量，提高资源的利用率。

4.2. 闪蒸 - 双工质发电功率随闪蒸温度变化

图 3 是地热流体温度为 100℃，闪蒸温度对发电功率的影响，双工质部分采用的 R600 a 发电工质。可以看出，闪蒸功率在 65℃时达到最大，随着温度的升高，闪蒸部分的发电功率逐渐降低，双工质部分发电功率逐渐增大，闪蒸 - 双工质联合发电量在 85℃时达到最大。文献中[3]中给出的最佳闪蒸温度不是联合发

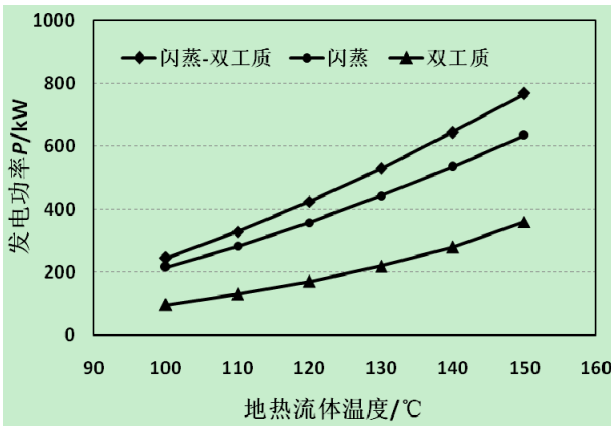


Figure 2. The capacity of different geothermal power generation system
图 2. 不同发电方式的发电功率

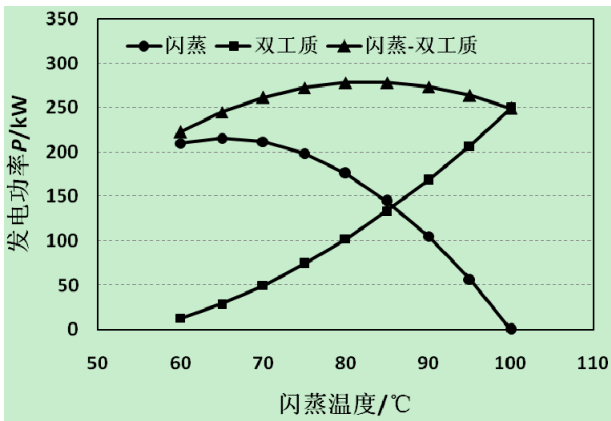


Figure 3. The relationship between flash temperature and power generation capacity
图 3. 闪蒸温度与发电功率的关系曲线

电系统的最佳蒸发温度。通过计算得出了 100°C~150°C, 联合发电系统发电功率最大的闪蒸系统最佳蒸发温度经验公式:

$$t_1 = 1.33 \left(\sqrt{(t_g + 273) \times (t_c + 273)} - 273 \right)$$

4.3. 工质对双工质系统发电功率的影响

闪蒸 - 双工质联合系统的发电功率包括闪蒸部分和双工质部分, 闪蒸部分主要是受闪蒸温度的影响, 双工质部分的发电功率与有机工质选择密切相关。有机工质的选择条件有: 传热性能好, 价格低廉, 化学稳定性好, 无毒, 非易燃易爆, 具有较低的臭氧层破坏和温室效应^[4]。图 4 表示的是有机工质对双工质系统发电功率的影响, 可以看出, 不同工质的发电功率有很大的差别。蒸发温度在 70°C~120°C 之间, 各

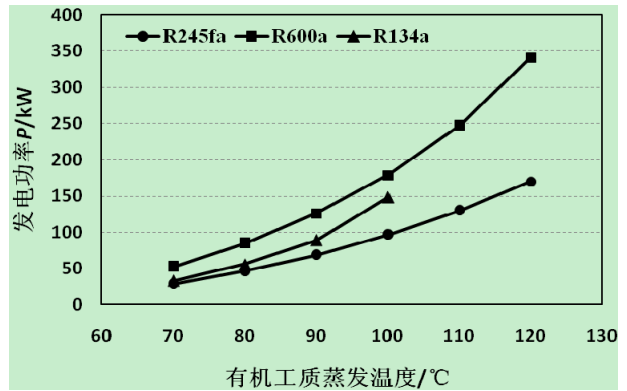


Figure 4. The effect of organic working fluids
图 4. 有机工质对发电功率的影响

种工质的发电功率都是随着蒸发温度的升高而升高的, R600 a 的发电功率明显高于 R245 fa 和 R13 4a, 且 R13 4a 在蒸发温度超过 100°C 时, 超过了其临界温度, 不易使用。而 R600 a 的临界温度为 135°C, 当温度超过 135°C 时, 不能使用, 而 R245 fa 的临界温度高达 151°C, 在高温下可以采用。因此根据不同的地热资源情况, 选择高效的有机工质尤为重要。

4.4. 地热流体流量对发电功率的影响

图 5 表示的是不同温度下, 地热水流量对发电功率的影响, 可以看出, 不同温度下地热发电机组的发电功率都是随着流量的增大而增大的, 并且地热流体温度越高, 发电功率随地热流体增大的趋势越明显, 因此在条件允许的情况下, 应尽可能的增大单井的出水量, 或采用多井集输的方式, 把热水集中起来进行发电, 有利于节约建设投资成本和提高发电效率。

5. 结论

1) 采用闪蒸 - 双工质联合发电系统可以有效的增大发电功率, 提高资源的利用率。

2) 分析了双工质种类和闪蒸温度对该闪蒸 - 双工质联合发电系统发电功率的影响, 结果表明不同工质对于发电功率的影响很大, 选择合适的工质会提高地热发电功率; 不同地热流体温度下联合系统最佳闪蒸温度不同, 且不同于单级闪蒸的最佳蒸发温度, 通过模拟得到联合系统最佳闪蒸温度的经验公式。

3) 地热发电功率随地热流体流量的增大而增大, 在在条件允许的情况下, 应尽可能的增大单井的出水量, 或采用多井集输的方式, 把热水集中起来进行发

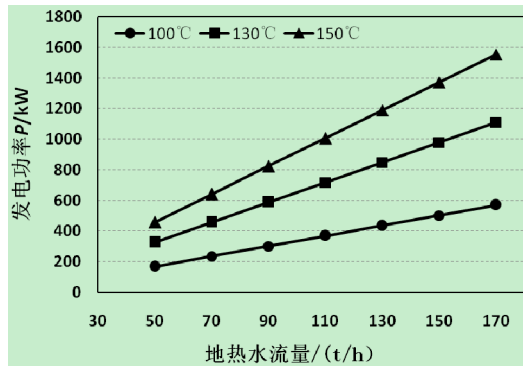


Figure 5. The relationship of flux and capacity with different fluid temperature

图 5. 流量对发电功率的影响

电，有利于节约建设投资成本和提高发电效率。

参考文献 (References)

- [1] 廖志杰, 赵平等. 滇藏地热带 - 地热资源和典型地热系统 [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 26-27.
- [2] M. Taghaddosi. Thermodynamic modeling for combined organic rankine cycle and single-flash geothermal power plants. Proceedings World Geothermal Congress, Antalya, 2005: 24-29.
- [3] 吴志坚, 叶枝全, 沈辉等. 新能源及可再生能源的利用[M]. 北京:机械工业出版社, 2007: 237-251.
- [4] 王补宣, 朱明善. 低温余热动力回收方案的拟定方法[J]. 机械工程学报, 1982, 18(3): 1-9.