

文章编号: 1671-6833(2021)06-0061-07

混合工质的选择对 ORC 系统性能的影响

马新灵, 连麒飞, 雷 萌, 孟祥睿, 魏新利, 李志彬

(郑州大学 机械与动力工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 为了探究非共沸混合工质对有机朗肯循环(ORC)系统性能的影响, 用 ASPEN PLUS 软件建立了 ORC 系统的流程模型, 在 60~100 ℃ 蒸发温度下, 研究了混合工质和纯工质的热力性能和经济性能, 并基于灰色关联法综合分析系统性能。结果表明: 在给定条件下, 很多混合工质的性能优于纯工质, 其中 3R600a/7R601a 的性能最佳; 在蒸发温度为 100 ℃ 时, 3R600a/7R601a 的灰色关联度最大, 为 0.994, 其净输出功率、热效率和平均化发电成本 *LEC* 分别为 56.59 kW、11.76% 和 0.1312 \$/kWh; 与采用纯工质 R600a 相比, 3R600a/7R601a 的净输出功率和热效率分别提高了 31.73%、11.05%, *LEC* 降低了 11.06%。研究结果表明, 将目标纯工质与其输出功率相近的另一种新工质以合适比例混合, 得到具有较大温度滑移的混合工质, 该混合工质可使 ORC 系统的性能得到显著提高。

关键词: 余热利用; 有机朗肯循环; 混合工质; 灰色关联法

中图分类号: TK11+5

文献标志码: A

doi: 10.13705/j.issn.1671-6833.2021.04.015

0 引言

有机朗肯循环(ORC)作为一种可以将低品位热能转变为高品位电能的方法受到越来越多的关注^[1]。在 ORC 系统中, 工质对其性能具有重要的影响, 不仅需要考虑到与冷热源的匹配性, 环境和经济因素也不容忽视^[2]。Zhi 等^[3]对使用 R600a/R601a 和 R134a/R245fa 的跨临界-亚临界 DORC 系统进行了研究, 分析了非共沸混合物对系统性能的影响; 张鸣等^[4]对基于 R245fa 的 6 种混合工质进行了研究, 利用 7R113/3R245fa 优化了系统净输出功率; Wang 等^[5]用 Peng-Robinson 方程预测非共沸混合物 R245fa/R134a 的性质, 探究了混合工质对 ORC 系统膨胀机的性能影响; Li 等^[6]以综合焓分析法, 对混合物异丁烷/异戊烷双压蒸发有机朗肯循环系统进行了研究, 利用混合工质优化了系统的性能。混合工质具有代替纯工质的潜力, 但目前研究大多采用单一评价指标对 ORC 系统性能进行分析, 混合工质种类及配比的确定也鲜有研究。因此, 本文研究了不同蒸发温度下 5 种纯工质及其混合工质的热力性能和经济性能, 并利用灰色关联法进行综合分析, 以确定

优化纯工质系统性能的方法, 再分别通过仿真模拟和对比实验对该优化方法进行验证。

1 ORC 低品位热能发电系统分析

1.1 热力分析

非共沸混合工质 ORC 系统的温度-熵图如图 1 所示, 可以看出混合工质的蒸发和冷凝是变温相变过程, 即存在温度滑移。

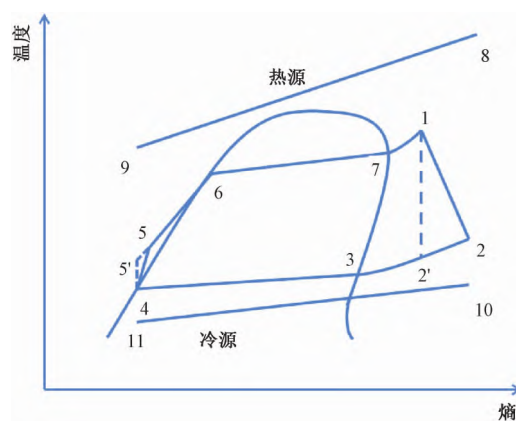


图 1 ORC 系统的温度-熵图

Figure 1 Temperature-entropy diagram of ORC system

对于整个 ORC 系统, 净输出功率为

$$W_{\text{net}} = W_t - W_p = m_w [(h_1 - h_2) - (h_5 - h_4)] \quad (1)$$

收稿日期: 2020-12-03; 修订日期: 2021-03-10

基金项目: 河南省科技攻关计划项目(162102310504); 河南省高等学校重点科研项目(19A480005)

作者简介: 马新灵(1977—), 女, 河南南阳人, 郑州大学副教授, 博士, 主要从事低温余热利用的研究, E-mail: xinlingma@zzu.edu.cn。

系统的循环热效率为

$$\eta_{\text{cycle}} = W_{\text{net}} / Q_{\text{eva}} = \frac{W_t - W_p}{m_w(h_1 - h_5)} \quad (2)$$

式中: W_t 和 W_p 分别为膨胀机输出功率和泵耗功率, kW; Q_{eva} 为工质在蒸发器内的吸热量, kW; m_w 为工质质量流量, kg/s; h_1 和 h_2 分别为膨胀机进出口工质的焓值, kJ/kg; h_4 和 h_5 分别为泵进出口工质的焓值, kJ/kg。

1.2 经济分析

本文采用平均化发电成本(LEC)作为考核经济性能的指标。整个系统的费用投资主要包括设备投资、运行费用、维护费用。对于系统各组成部件,其成本为

$$\lg C_b = K_1 + K_2 \lg Z + K_3 (\lg Z)^2; \quad (3)$$

$$\lg F_p = C_1 + C_2 \lg p + C_3 (\lg p)^2; \quad (4)$$

$$C_{\text{BM}} = C_b F_{\text{BM}} = C_b (B_1 + B_2 F_M F_P); \quad (5)$$

$$C_{1996} = C_{\text{BM,EX}} + C_{\text{BM,C}} + C_{\text{BM,P}} + C_{\text{BM,EV}}; \quad (6)$$

$$C_{2018} = C_{1996} \cdot \text{CEPCI}_{2018} / \text{CEPCI}_{1996} \quad (7)$$

式中: C_b 为以 1996 年的基础价格评估的每个部件的投资成本; K_1 、 K_2 和 K_3 为常数; Z 为各设备的特征参数; C_1 、 C_2 和 C_3 为取决于运行压力的常量参数^[7]; B_1 和 B_2 为取决于设备类型的常量参数; F_{BM} 为模块因子; F_M 为设备材料修正因子; C_{BM} 为修正后的成本,其中 $C_{\text{BM,EX}}$ 为膨胀机成本, $C_{\text{BM,C}}$ 为冷凝器成本, $C_{\text{BM,P}}$ 为泵成本, $C_{\text{BM,EV}}$ 为蒸发器成本; C_{2018} 为 2018 年的总投资成本。利用 CEPCI (化工工厂成本指数) 将 1996 年的成本换算为 2018 年的成本,单位为\$。1996 年和 2018 年的 CEPCI 分别为 382 和 603.1^[8]。

系统年净发电量 P_{AE} 可表示为

$$P_{\text{AE}} = (W_t \eta_m \eta_g - W_p / \eta_p) t \quad (8)$$

式中: η_m 、 η_g 、 η_p 分别为膨胀机机械效率、发电机效率、泵的驱动效率; t 为年运行时间, 设为 8 000 h。

LEC 为生产 1 kWh 的电能所需投资的成本,即

$$\text{LEC} = (CRF \cdot C_{2018} + \text{COM}_{\text{pl}}) / P_{\text{AE}} \quad (9)$$

式中: COM_{pl} 为运行成本和维护成本之和, 设为 C_{2018} 的 1.5%^[9]; CRF 为投资回收因子, 设为 0.080 2^[7]。

1.3 综合分析

运用灰色关联法可以对工质的热力性能和经济性能进行综合分析。灰色关联法是根据某一问题的实际情况确定理想的最优序列^[10], 然后通过

对比实际情况和理想情况的曲线和几何形状, 确定灰色关联度。根据灰色关联法, 找出不同工质性能指标的最优值, 将其作为基准, 计算各工质不同工况下的灰色关联度, 其值越大, 综合性能越好。

X 表示工质的性能指标值, 若评价矩阵由 m 个评价对象和 n 个评价指标组成, 则 X 为

$$X = (x_{ij})_{m \times n} \quad (10)$$

对评价指标进行无量纲处理, 评价矩阵元素 P_{ij} 为

$$P_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij} \quad (11)$$

采用熵权法确定各指标的权重, 指标 j 的熵 E_j 为

$$E_j = \frac{\sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij}}{\ln m} \quad (12)$$

各指标的权重 w_j 为

$$w_j = (1 - E_j) / \left[\sum_{j=1}^n (1 - E_j) \right] \quad (13)$$

对象 i 的 j 指标关联系数为

$$r_{ij} = (\Delta_{\min} + w_m \Delta_{\max}) / (\Delta_i(j) + w_m \Delta_{\max}) \quad (14)$$

式中: w_m 是 Δ_{\max} 的权重, 取 0.5^[11]; Δ_{\min} 和 Δ_{\max} 分别为两级极小差和两级极大差。则评价对象 i 的灰色关联度 R_i 为

$$R_i = \sum_{j=1}^n w_j r_{ij} \quad (15)$$

2 工质的选择

混合工质的选择标准与纯工质相似, 应满足安全、低 ODP、低 GWP、良好的热力性能和经济性能等。R245fa 是 ORC 系统中应用广泛的纯工质, R600a、butane 和 R601a 具有较好的热力性能, R1233zd-E 为当前热门的新型工质。这 5 种纯工质均有较高的安全性和较好的环境特性, 具体物性参数见表 1。将 5 种纯工质两两混合, 得到 10 种非共沸混合工质, 而不同配比、不同条件下混合工质的物性及工况参数由 NIST-REFPROP 软件得到。

表 1 工质的物性参数

Table 1 Properties of the working fluids

工质	临界压力/MPa	临界温度/℃	ODP	GWP
R600a	3.629	134.66	0	20
butane	3.796	151.98	0	4
R245fa	3.651	154.01	0	858
R1233zd-E	3.624	166.45	0	1
R601a	3.378	187.20	0	20

混合工质的性能受其组分和温度滑移的影响,温度滑移随着蒸发温度的降低而增加。以最小蒸发温度 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为例,讨论不同配比的混合工质的温度滑移,如图 2 所示。图 2 中横坐标以每种混合工质中的 2 个纯工质中相对较高临界温度的工质的质量分数为基准。在混合工质命名时,临界温度低的在前,高的在后。从图 2 中可以看出, R600a/butane、butane/R1233zd-E、R245fa/R1233zd-E 和 R1233zd-E/R601a 的温度滑移都较小,不超过 $3.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。其余混合工质具有较大的温度滑移, 5R600a/5R601a 的温度滑移最大,为 $10.67\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

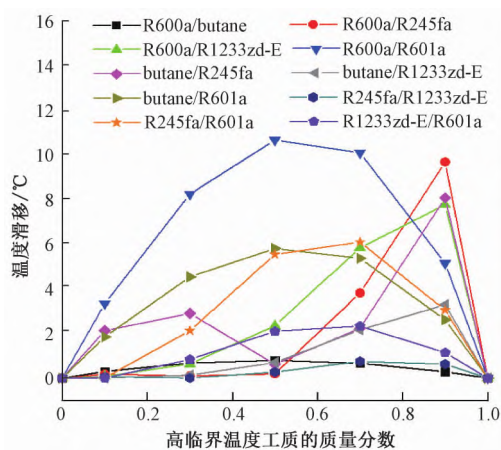


图 2 不同配比的混合工质在蒸发温度 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下的温度滑移
Figure 2 Variation of temperature glide of mixtures with mass fraction at $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ evaporation temperature

3 不同工质下的模拟与分析

3.1 混合工质的热力性能和经济性能分析

本文的研究背景是回收 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右的工业余热,前期研究发现,蒸发温度对系统的性能影响较大。因此以一定流量下 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的饱和水蒸气为热源, $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的自来水为冷源,探究 $60\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 蒸发温度下不同混合工质及纯工质的 ORC 系统的性能。

由模拟结果可知,按照纯工质的做功能力和温度滑移将这 10 种混合物分为 4 类:第 1 类的 2 种纯工质的温度滑移和净输出功率的差值都较小;第 2 类温度滑移较大而净输出功率差较小;第 3 类温度滑移和净输出功率差都较大;第 4 类温度滑移较小而净输出功率差较大。

R600a/butane 为第 1 类混合工质的代表。不同配比的 R600a/butane 在不同蒸发温度下净输出功率、热效率和 LEC 的变化如图 3 所示。随着蒸发温度的升高, R600a/butane 的净输出功率和热效率均提高,这是因为蒸发温度的增加使膨胀机内的膨胀功率和净输出功率均增大,系统性能提升。由于 butane 的做功能力略优于 R600a,当蒸发温度不变时,净输出功率随 butane 的增加而增大,但热效率变化不明显。 LEC 随着蒸发温度的升高而降低,这是因为当蒸发温度升高时,尽管设备总成本增加,但年发电量增加幅度更大, LEC 降低。而当蒸发温度由 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 升高到 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,系统的投资成本提高,升高蒸发温度不能明显改善 LEC 。随着 butane 质量分数的增加,受 butane 组分的影响, LEC 变小。R245fa/R1233zd-E 的温度滑移和净输出功率差也都较小,其性能变化规律与 R600a/butane 一致。

R600a/R601a 为第 2 类混合工质的代表。图 4 为混合工质 R600a/R601a 的性能在不同配比下的变化。当蒸发温度一定时,混合工质的净输出功率和热效率随 R601a 质量分数的增加先增加后减少。这是因为混合工质中 R601a 质量占比增加,温度滑移变大,提高了工质蒸发器出口温度,其变温相变与热源形成更好的传热匹配,进而使吸热量增加,膨胀机的输出功率增加,系统性能得到改善。5R600a/5R601a 的净输出功率和热效率在蒸发温度为 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,分别达到 56.39 kW

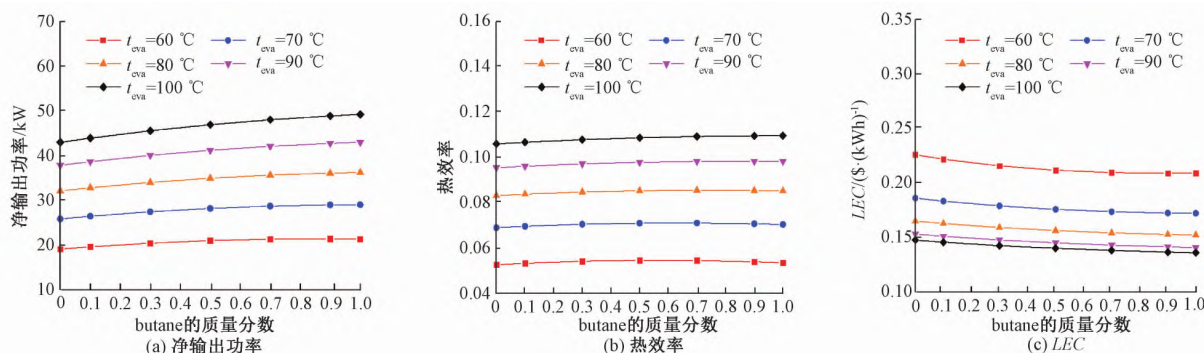


图 3 不同蒸发温度下 R600a/butane 的净输出功率、热效率和 LEC 随 butane 质量分数的变化

Figure 3 Variation of net output power, thermal efficiency and LEC of R600a/butane with mass fraction of butane at different evaporation temperatures

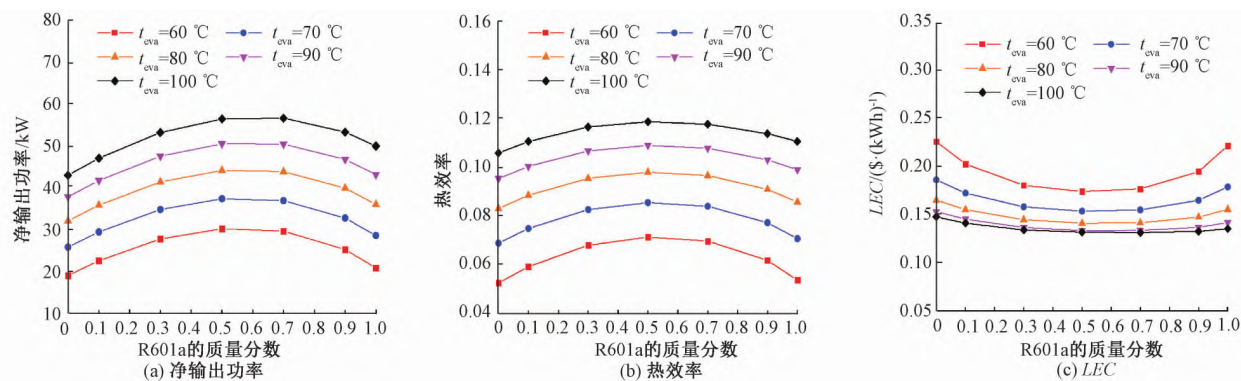


图4 不同蒸发温度下 R600a/R601a 的净输出功率、热效率和 LEC 随 R601a 质量分数的变化

Figure 4 Variation of net output power, thermal efficiency and LEC of R600a/R601a with mass fraction of R601a at different evaporation temperatures

和 11.86%。相同蒸发温度下, LEC 随温度滑移的增加而降低。但随着蒸发温度的升高, 对 LEC 的优化减弱。当温度滑移增加时, 蒸发器出口温度升高, 工质做功能力增加, 年发电量随之增加, LEC 降低。但随着蒸发温度的进一步升高, 工质与热源之间的换热温差减小, 使得蒸发器面积增大, 设备成本增加, 对 LEC 的优化效果较弱。在蒸发温度为 100 °C 下, 5R600a/5R601a 的 LEC 仅为 0.131 7 \$/kWh。butane/R601a 与 R600a/R601a 具有相似的性能规律。

butane/R245fa 是第 3 类混合工质的代表。图 5 为不同蒸发温度下, butane/R245fa 的性能的 R1233zd-E/R601a 为第 4 类混合工质的代表, 图 6 为混合工质 R1233zd-E/R601a 的性能在不同配比下的变化规律。在相同蒸发温度下, 纯 R601a 具有较好的做功能力和经济性, 所以 R1233zd-E/R601a 的净输出功率随着 R601a 质量分数的增大而增加, 其 LEC 则相反。热效率随质量分数的变化不大。该情况可认为与纯工质相比, 混合工质并不具备优势。butane/R1233zd-E

变化。对于不同配比的 butane/R245fa, 其净输出功率随着 R245fa 质量分数的增加而降低, 这是因为 butane 具有较好的做功能力, 但当 R245fa 质量分数接近 0.9 时, 混合工质净输出功率减小的趋势较为平缓, 从图 2 可以看出, 此时, 混合工质的温度滑移达到最大值 8.07 °C, 所以系统的热效率达到最大, 但不具明显优势。1butane/9R245fa 相较于临近配比的混合工质的 LEC 有小幅度的降低, 蒸发温度为 60 °C 和 70 °C 时下降尤为明显。所以第 3 类混合工质相对于纯工质而言, 并没有较大优势。R600a/R245fa、R600a/R1233zd-E 和 R245fa/R601a 的性能规律与 butane/R245fa 一致。的性能规律与 R1233zd-E/R601a 一致。

3.2 灰色关联度的综合分析

3.1 节对 10 种混合工质的热力性能和经济性能进行了研究, 根据结果将其分为 4 类。该分类得到的规律是否合理, 笔者通过灰色关联法对其进行进一步的研究。3.1 节中, 蒸发温度为 100 °C 时, 3R600a/7R601a 的净输出功率最大, 为 56.59 kW, 5R600a/5R601a 的热效率最大, 为 11.86%,

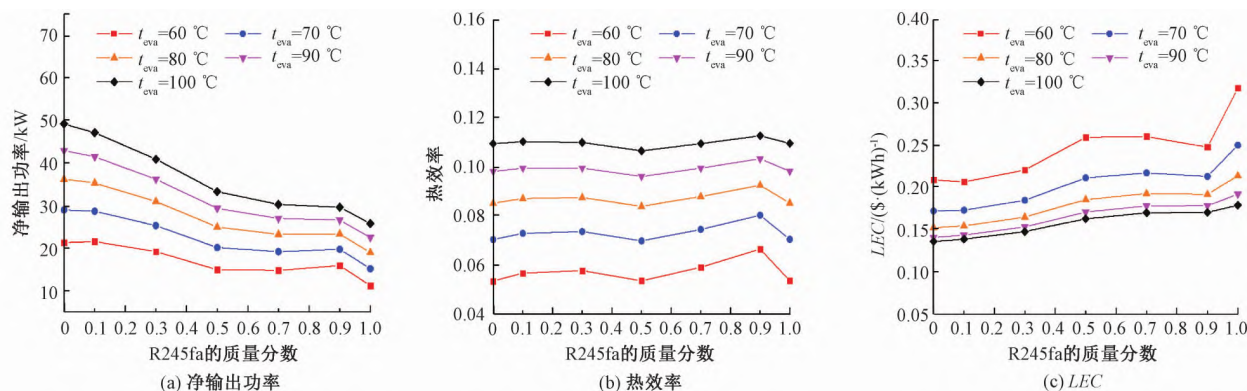


图5 不同蒸发温度下 butane/R245fa 的净输出功率、热效率和 LEC 随 R245fa 质量分数的变化

Figure 5 Variation of net output power, thermal efficiency and LEC of butane/R245fa with mass fraction of R245fa at different evaporation temperatures

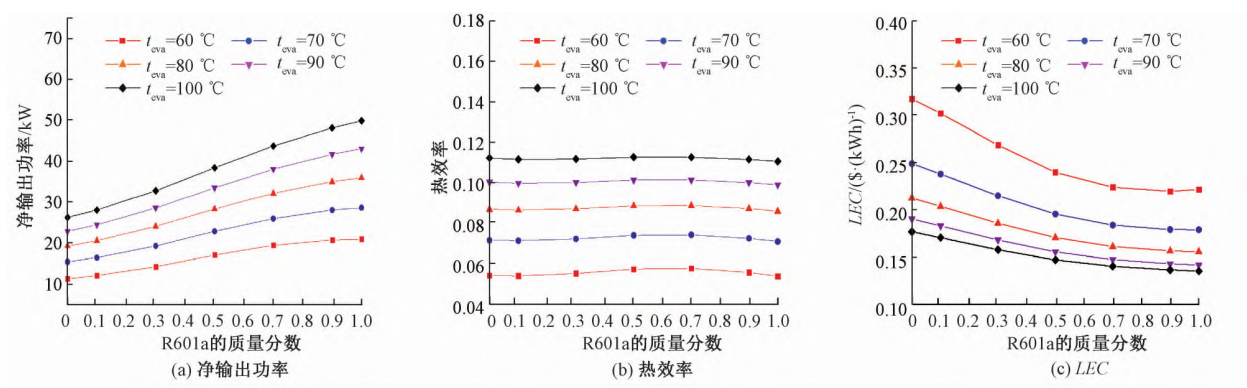


图 6 不同蒸发温度下 R1233zd-E/R601a 的净输出功率、热效率和 LEC 随 R601a 质量分数的变化
Figure 6 Variation of net output power, thermal efficiency and LEC of R1233zd-E/R601a with mass fraction of R601a at different evaporation temperatures

5butane/5R601a 的 LEC 最小,为 0.130 \$/kWh。将这 3 个最优值假定作为一种理想工质的性能指标值,以此为基准计算各混合工质的灰色关联度。

表 2 列出了灰色关联度排在前 10 的工质及工况。可以看出,在蒸发温度为 100 °C 下的 3R600a/7R601a 的灰色关联度最大,为 0.994,具有最佳的综合性能,其热力性能和经济性能远优于 2 种纯工质,净输出功率、热效率和 LEC 分别为 56.59 kW、11.76% 和 0.131 2 \$/kWh,接近理想工质。前 10 种工质均为混合工质 R600a/R601a 或 butane/R601a,没有 R600a/butane。分析发现,虽然 R600a、butane 和 R601a 具有相近的净输出功率,但 R600a/R601a 和 butane/R601a 具有较大的温度滑移,工质性能得到优化,而 R600a/butane 的温度滑移较小。

综合上述分析,可以得出,当满足较大温度滑移和相近的净输出功率即属于第 2 类混合工质时,混合工质的性能优于其纯工质。所以优化目标纯工质的方法是:找到另一种与该工质的净输出功率相似的新纯工质,将二者以合适的质量分数进行配比,若可得到具有较大温度滑移的混合工质,则该混合工质可以优化目标纯工质的性能。

表 2 灰色关联度前 10 的工质及工况
Table 2 Top 10 working fluids and working conditions of grey correlation grade

工质	蒸发温度/℃	灰色关联度
3R600a/7R601a	100	0.994
5R600a/5R601a	100	0.991
5butane/5R601a	100	0.953
3 butane/7R601a	100	0.937
7 butane/3R601a	100	0.924
7R600a/3R601a	100	0.907
1 R600a/9R601a	100	0.904
1butane/9R601a	100	0.876
9butane/1R601a	100	0.858
5R600a/5R601a	90	0.839

4 优化方法的验证

通过以上研究,找到了利用混合工质优化纯工质的方法,将通过仿真模拟和对比实验进行验证。

4.1 仿真模拟

基于上述优化方法,选择 R245fa 为目标纯工质,在蒸发温度为 80 °C 条件下,选择 20 多种常用于 ORC 系统的工质,如异己烷、苯、R134a、R236ea、R114 和 R245ca 等,计算其净输出功率。研究发现,在相同工况下 R134a 和 R245ca 的净输出功率与 R245fa 接近。而 R245fa/R245ca 和 R134a/R245fa 在蒸发温度为 80 °C 下的温度滑移如图 7 所示。从图 7 可以看出,R245fa/R245ca 的温度滑移较小,R134a/R245fa 具有较大的温度滑移,尤其 3R134a/7R245fa 的温度滑移最大,为 11.09 °C。

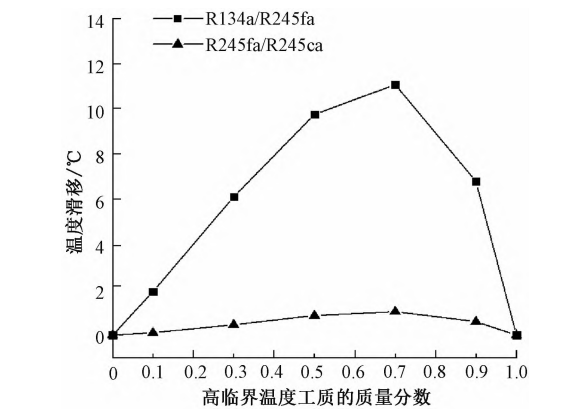


图 7 蒸发温度为 80 °C 时 R134a/R245fa 和 R245fa/R245ca 的温度滑移随质量分数的变化
Figure 7 Variation of temperature glide of R134a/R245fa and R245fa/R245ca with mass fraction at 80 °C evaporation temperature

研究在蒸发温度为 80 ℃ 时 R245fa/R245ca 和 R134a/R245fa 的系统性能,计算其灰色关联度。表 3 为排在前 3 的混合工质及 3 种纯工质的灰色关联度,具有相似净输出功率的 3 种纯工质的灰色关联度都较小,而混合工质 R134a/R245fa 在不同配比下的灰色关联度都较大。尤其是 3R134a/7R245fa,其灰色关联度为 1,说明该混合工质的净输出功率、热效率和 LEC 都是最佳的。显然,使用具有较大温度滑移的 R134a/R245fa 可以对 R245fa 的性能进行优化,该结果验证了笔者提出的利用混合工质优化纯工质的方法。

表 3 纯工质以及灰色关联度前 3 的混合工质

Table 3 Pure working fluid and top 3 working fluid of grey correlation grade

工质	灰色关联度
3R134a/7R245fa	1.000
5R134a/5R245fa	0.854
1R134a/9R245fa	0.780
R245ca	0.670
R245fa	0.570
R134a	0.377

4.2 对比实验验证

Wang 等^[12]对 R600a/R601a 应用于 ORC 系统的热力性能进行了实验研究。图 8 为实验中分别使用 4R600a/6R601a、R600a 和 R601a 的净输出功率随热源温度的变化,与相同工况条件下本文模拟结果的对比。由 3.1 节可知,4R600a/6R601a 满足 2 个纯工质的净输出功率差较小、温度滑移较大的条件。实验与模拟的结果都表明,在不同的热源温度下,4R600a/6R601a 的净输出

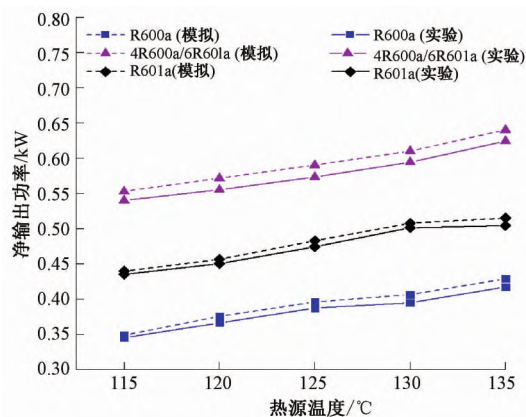


图 8 4R600a/6R601a、R600a 和 R601a 的净输出功率随热源温度变化的实验和模拟的对比

Figure 8 Comparison of experiment and simulation of variation of net output power of 4R600a/6R601a, R600a and R601a with heat source temperatures

功率均优于纯工质。因此,通过仿真模拟和已有实验结果的对比分析,再次验证了采用特定混合工质改善目标纯工质性能方法的可靠性。

5 结论

(1) 基于灰色关联法提出一种采用混合工质优化纯工质的方法。即找到另一种与目标纯工质的净输出功率相似的新纯工质,将二者混合得到的混合工质若具有较大的温度滑移,则该混合工质可以代替目标纯工质,从而优化 ORC 系统性能。

(2) 在本文的研究条件下,最佳混合工质为 3R600a/7R601a,尤其在蒸发温度为 100 ℃ 时,其灰色关联度为 0.994,与理想工质最接近,该混合工质的净输出功率、热效率和 LEC 分别为 56.59 kW、11.76% 和 0.1312 \$/kWh。

(3) 分别通过仿真模拟和对比已有的实验结果,对本文提出的优化方法进行验证。发现 R134a/R245fa,尤其是 3R134a/7R245fa 的综合性能优于目标纯工质 R245fa。实验和模拟均表明 4R600a/6R601a 的净输出功率优于 R600a 和 R601a。

参考文献:

- [1] 魏新利,李明辉,马新灵,等.有机朗肯循环系统的实验研究和性能分析[J].郑州大学学报(工学版),2016,37(2):73-76.
- [2] 倪渊,赵良举,刘朝,等.非共沸混合工质 ORC 低温烟余热利用分析与优化[J].化工学报,2013,64(11):3985-3992.
- [3] ZHI L H, HU P, CHEN L X, et al. Parametric analysis and optimization of transcritical-subcritical dual-loop organic Rankine cycle using zeotropic mixtures for engine waste heat recovery [J]. Energy conversion and management, 2019, 195: 770-787.
- [4] 张鸣,曹洸,刘秀龙,等.有机朗肯循环混合工质的热力学分析[J].科学技术与工程,2018,18(3):32-38.
- [5] WANG Z Q, ZHANG Z K, XIA X X, et al. Preliminary design and numerical analysis of a radial inflow turbine in organic Rankine cycle using zeotropic mixtures [J]. Applied thermal engineering, 2019, 162(8): 114266.
- [6] LI J, DUAN Y Y, YANG Z, et al. Exergy analysis of novel dual-pressure evaporation organic Rankine cycle using zeotropic mixtures [J]. Energy conversion and management, 2019, 195: 760-769.
- [7] KARELLAS S, SCHUSTER A. Supercritical fluid parameters in organic Rankine cycle applications [J]. International journal of thermodynamics, 2008, 11(3):

- 101–108.
- [8] MIGNARD D. Correlating the chemical engineering plant cost index with macro-economic indicators [J]. Chemical engineering research and design, 2014, 92 (2) : 285–294.
- [9] CAYER E, GALANIS N, NESREDDINE H. Parametric study and optimization of a transcritical power cycle using a low temperature source [J]. Applied energy, 2010, 87(4) : 1349–1357.
- [10] 郭亚军. 综合评价理论、方法与拓展 [M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [11] HEBERLE F, PREIBINGER M, BRÜGGEMANN D. Zeotropic mixtures as working fluids in organic Rankine cycles for low-enthalpy geothermal resources [J]. Renewable energy, 2012, 37(1) : 364–370.
- [12] WANG Y P, LIU X, DING X Y, et al. Experimental investigation on the performance of ORC power system using zeotropic mixture R601a/R600a [J]. International journal of energy research, 2017, 41(5) : 673–688.

Impacts of Selection of Zeotropic Mixture on Performance of ORC System

MA Xinling, LIAN Qifei, LEI Meng, MENG Xiangrui, WEI Xinli, LI Zhibin

(School of Mechanical and Power Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The process model of ORC system was established with Aspen Plus software to investigate the impacts of zeotropic mixtures on system performance. The thermal performance and economic performance of mixtures were studied when 60~100 °C evaporation temperature, and the system performance was comprehensively analyzed based on the gray correlation method. The results showed that the performance of many mixtures was better than their pure working fluids, especially 3R600a/7R601a. When evaporation temperature was 100 °C, the grey correlation grade of 3R600a/7R601a reached the maximum 0.994, and its net output power, thermal efficiency, *LEC* were 56.59 kW, 11.76%, and 0.1312 \$/kWh, respectively. Compared with the pure working fluid R600a, the net output power and thermal efficiency were increased by 31.73% and 11.05% respectively, *LEC* was decreased by 11.06%. The result showed that the target pure working fluid was mixed with another new working fluid with similar output power to obtain a zeotropic mixture with a large temperature glide, and the zeotropic mixture could significantly improve the performance of ORC system.

Keywords: waste heat utilization; organic Rankine cycle; zeotropic mixtures; grey correlation method