



CR2024工业领域余热余压回收利用技术

有机朗肯循环技术创新及应用





目录

CONTENT

01.引言

02.有机朗肯循环技术发展

03.有机朗肯循环技术创新

04.有机朗肯循环应用

05.有机朗肯循环发电项目案例

A photograph of an industrial facility, likely a water treatment plant, featuring a complex network of silver pipes, large cylindrical tanks, and metal structures. The scene is set outdoors under a clear blue sky, with some greenery and a small pond in the foreground. A semi-transparent dark blue banner is overlaid on the left side of the image.

CHAPTER 01

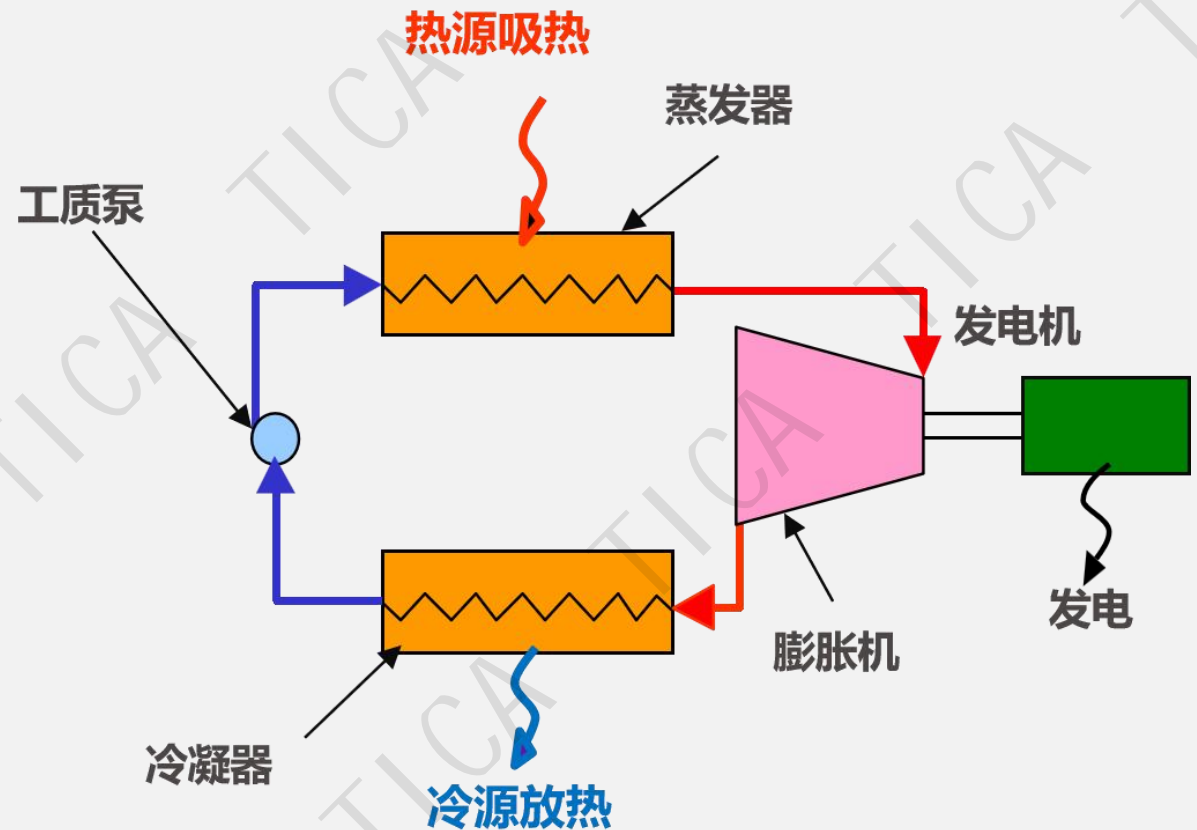
引言

有机朗肯循环基本原理

有机朗肯循环(Organic Rankine Cycle, 简称 ORC)

利用有机工质低沸点特性，一般在中低温（90-300℃）热源条件下，利用冷热源的温差产生的工质势能来推动膨胀机发电，将低品位的热能转化为高品位的电能。

- 1.工质经蒸发器蒸发，吸收热源热量；
2. 气相工质在透平（膨胀机）中做功，推动发电机产生电能；
3. 冷凝器将工质乏气冷凝；
- 4.工质泵将液态有机工质加压送至蒸发器，完成整个循环。



有机朗肯循环发电技术

节能减排：将工业过程中产生的余热转化为电能，减少能源的浪费和二氧化碳等温室气体的排放，有助于实现节能减排的目标。

提高能源利用效率：将原本被废弃的余热转化为有用能源，提高了能源的利用效率，降低了能源消耗。

降低环境污染：减少对环境的影响，特别是对工业园区等重点排放区域的污染，有助于保护环境和生态平衡。

促进可持续发展：是实现可持续发展的重要手段。通过综合利用资源、优化能源结构、推动科技创新等方式，可以促进经济的可持续发展。



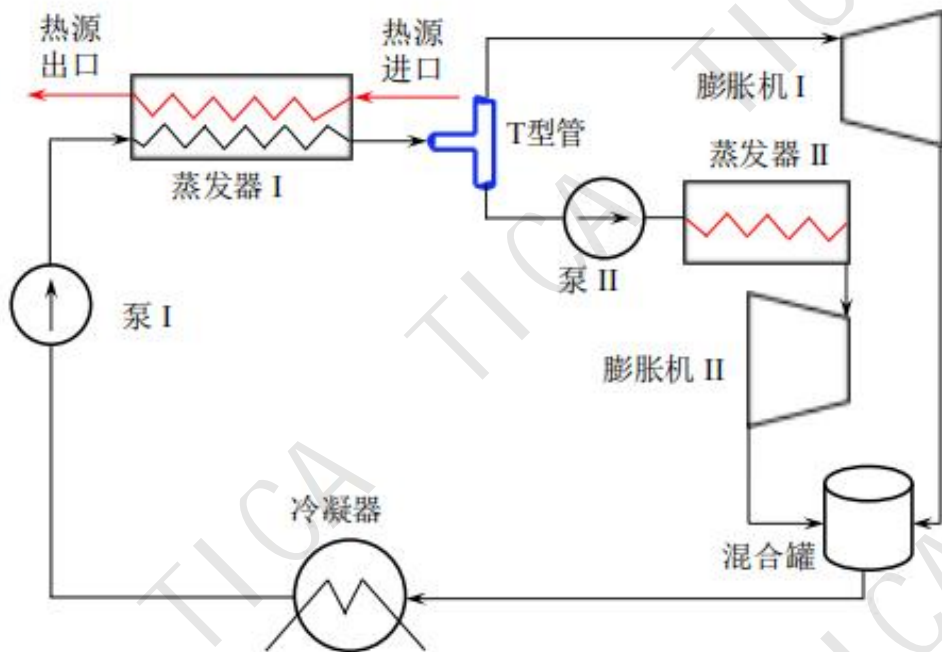


CHAPTER 02

有机朗肯循环技术发展

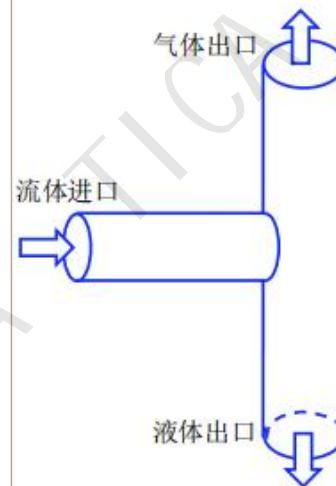
有机朗肯循环技术发展

◆ ORC系统——组分调控非共沸系统



T 型管组分调控非共沸 ORC 系统

由蒸发器I出来的两相流体，经过 T 型管的分液处理，分离出来的轻组分气体直接进入膨胀机I中做功，而分离出来的重组分液体经过泵II的加压，输送到蒸发器II中进行吸热蒸发，然后推动膨胀机II做功。可见，T 型管组分调控只是改变系统局部的运行组分，经过组分调控之后的非共沸 ORC 系统比传统 ORC 展现出更好的性能，但组分调控范围不大。

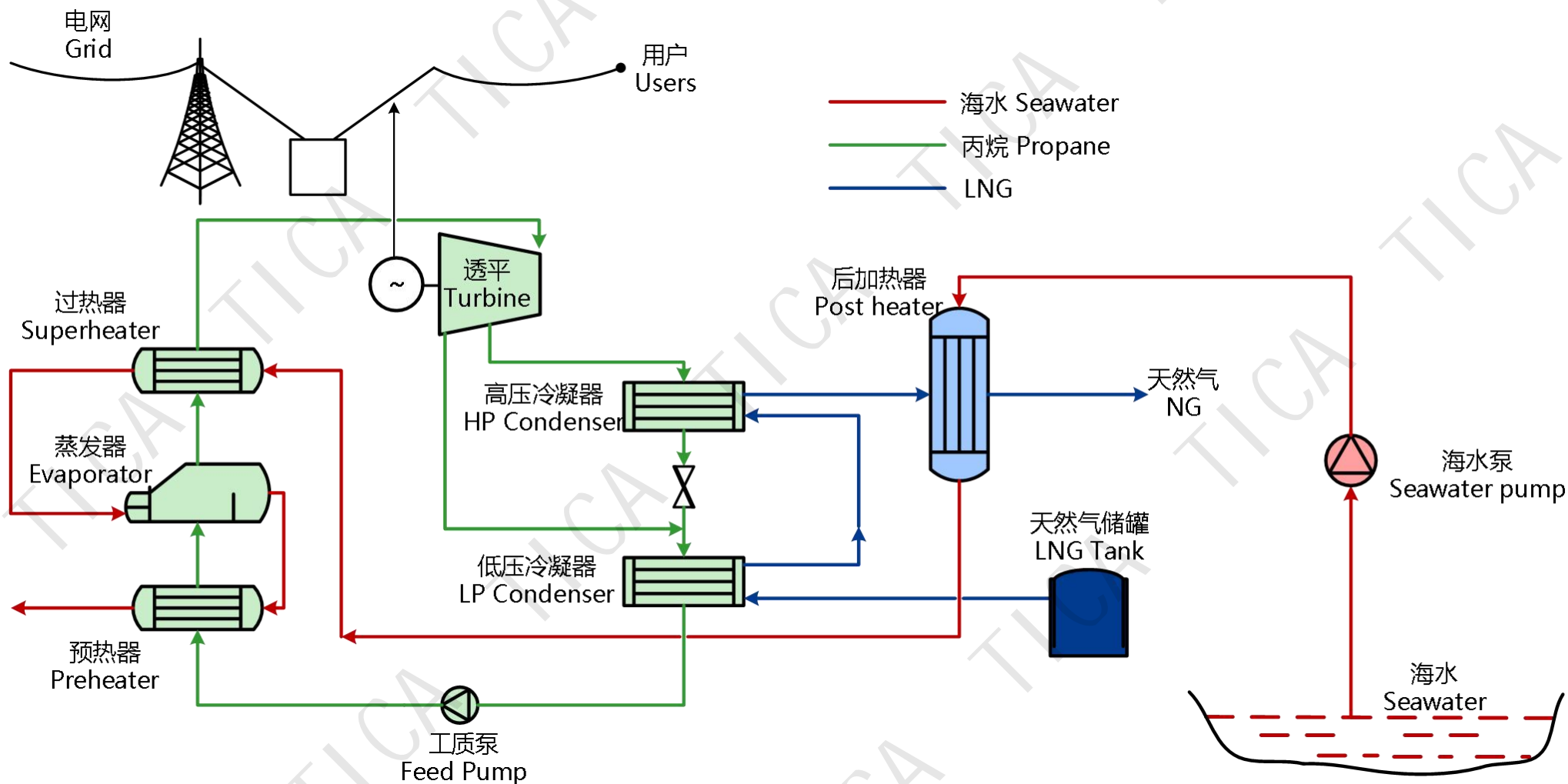


T 型管结构示意图

*资料来源：组分调控非共沸有机朗肯循环研究进展，黄仁龙等。

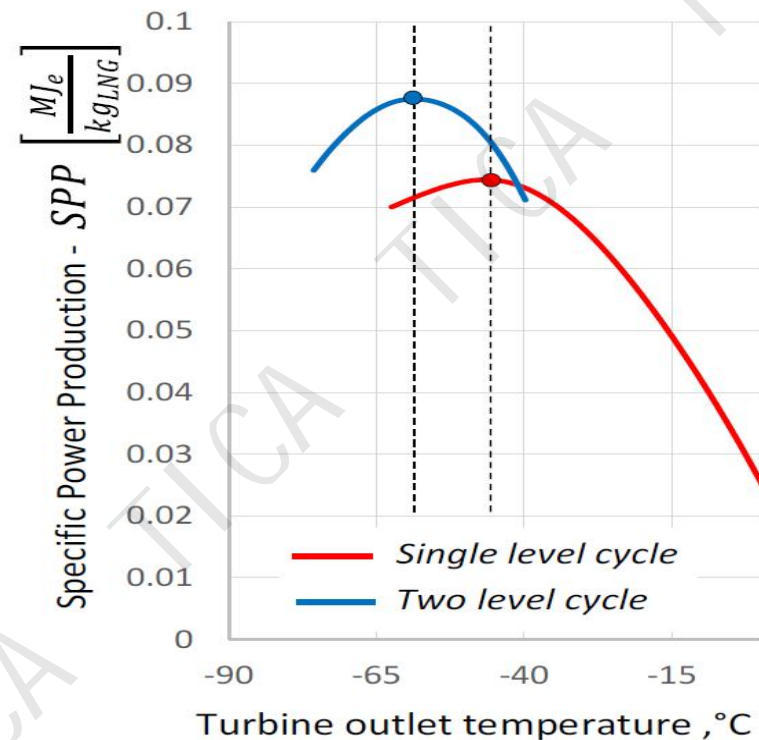
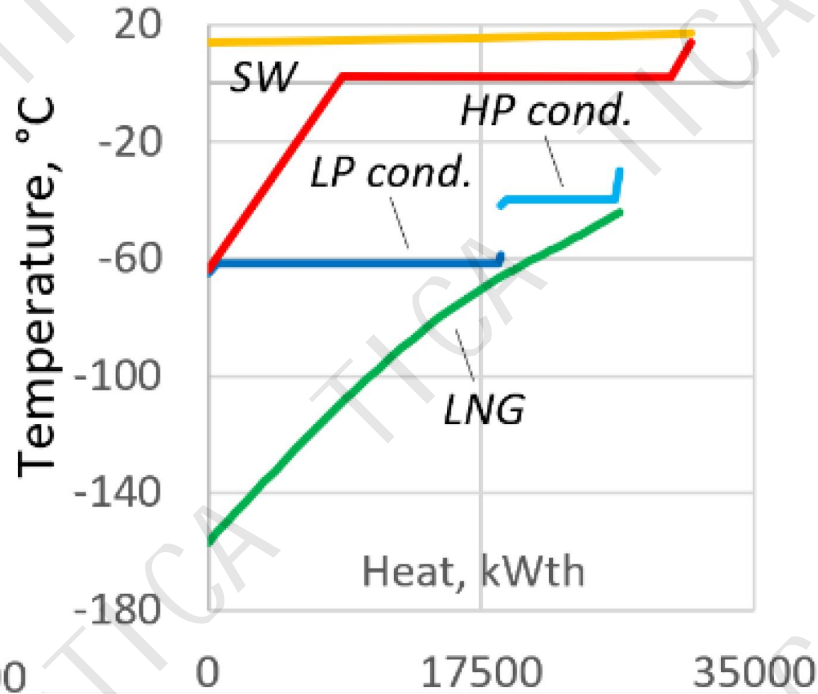
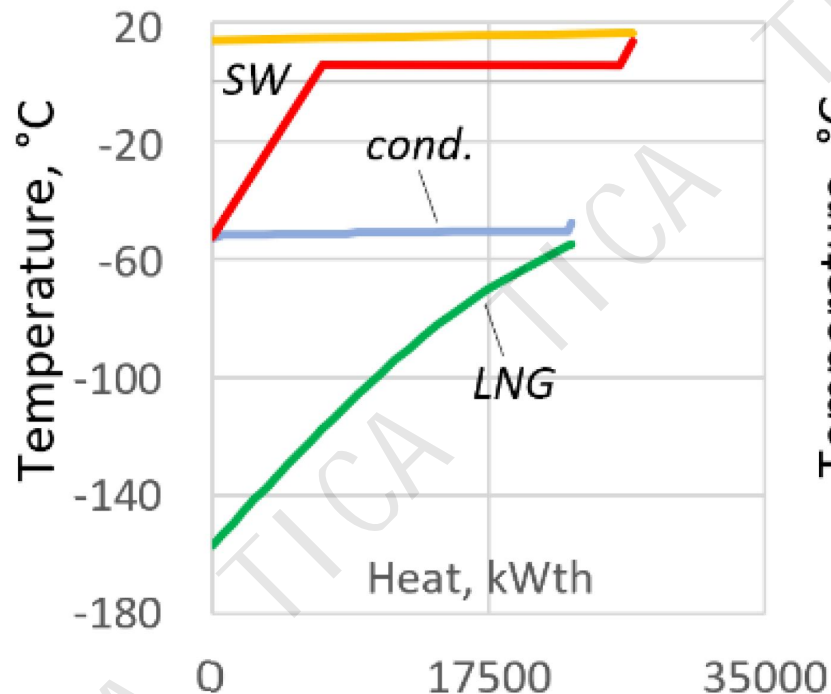
有机朗肯循环技术发展

◆ ORC系统——LNG冷能发电



有机朗肯循环技术发展

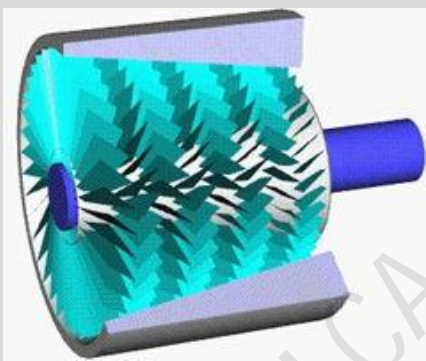
◆ ORC系统——LNG冷能发电



- 传统ORC系统为单级冷凝，在这种情况下，LNG出口温度较低，只有-60°C左右，而采用多级排气，可以提升LNG出口温度，从而回收更多的冷能，在同样海水温度条件下，单位LNG气化净发电功率高出20%。

有机朗肯循环技术发展

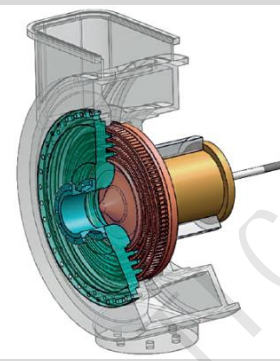
◆ ORC膨胀机



(1)轴流透平
Ormat、Turboden



(2)径向向心透平
TICA-PureCycle



(3)径向离心透平
TICA-Exergy



(4)双螺杆膨胀机
开山、武冷



(5)单螺杆膨胀机



(6)涡旋式膨胀机

有机朗肯循环技术发展

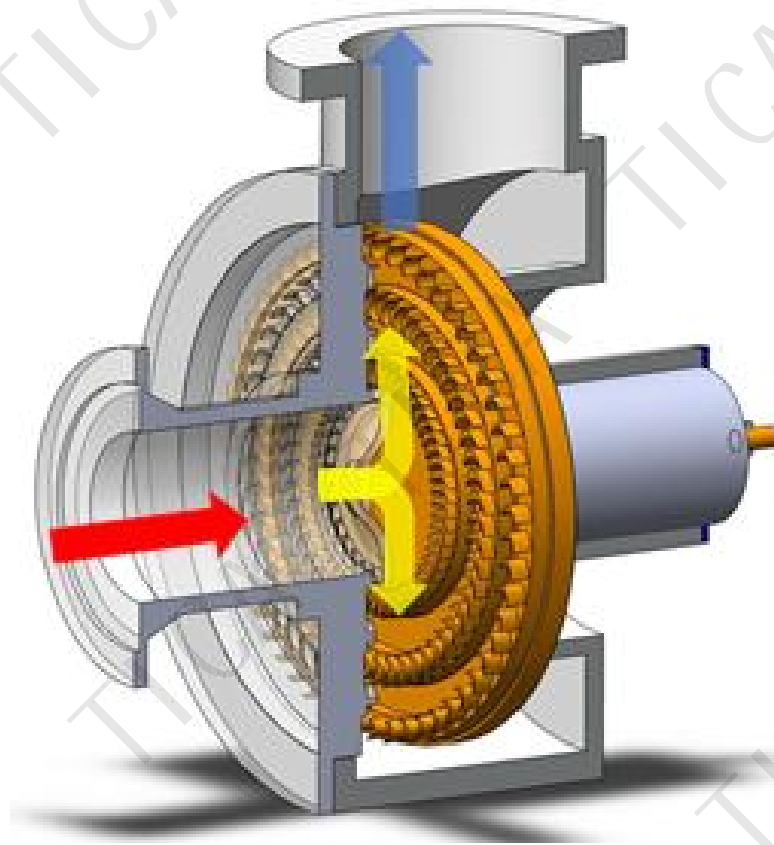
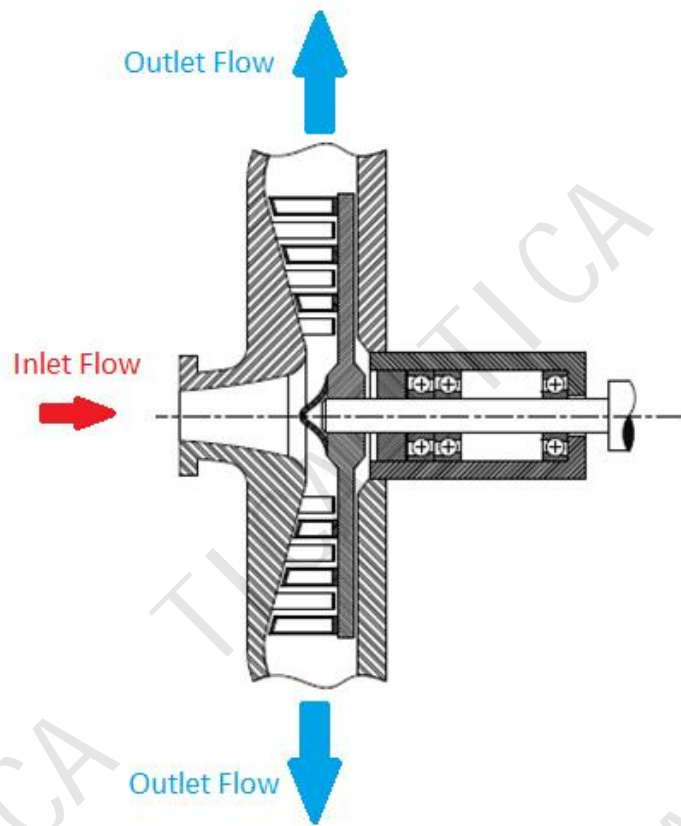
◆ ORC膨胀机技术对比

指标	速度式膨胀机			容积式膨胀机	
	轴流透平	径向向心透平	径向离心透平	螺杆	涡旋
参考功率范围 (kW)	1000~20000	200~3000	1000~28000	50~1000	1~30
转速 (RPM)	1500~3600	>8000	1500~3600	<3600	<3600
等熵膨胀效率 (%)	80~85	80~85	>90	65~75	--
速度式膨胀机		VS		容积式膨胀机	
可多级膨胀、适合大功率		VS		系统单一、适合小功率	
等熵膨胀效率高		VS		等熵膨胀效率低	
运行噪音小		VS		运行噪音大、震动大	
密封性好, 运行、维护成本低		VS		易漏工质, 运行、维护成本高	

- 目前, 透平式膨胀机是国际ORC地热/余热发电应用的主流方式。

有机朗肯循环技术发展

◆ ORC膨胀机-径向离心透平

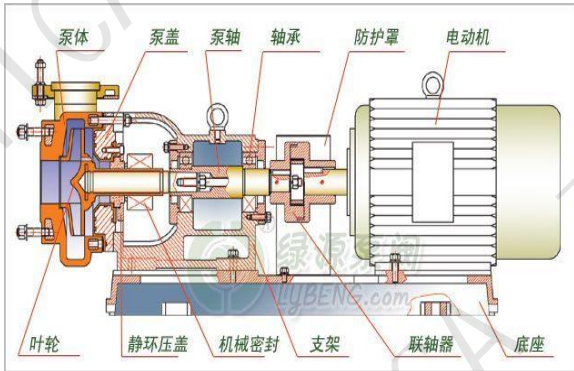
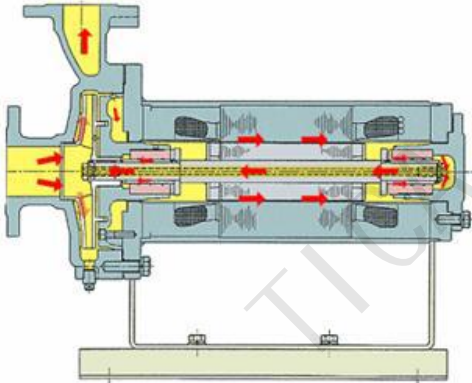


- ◆ 单盘最多可以做到9级，等熵效率最高可达93.6%，相比于轴流透平效率最高可提升6%。
- ◆ 相比于简单配置的单级压力系统，发电性能提升20%。

径向离心透平结构示意图

有机朗肯循环技术发展

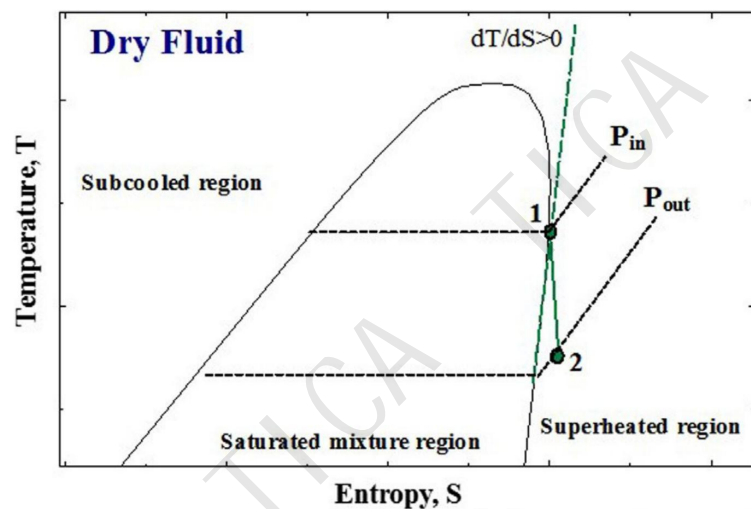
◆ ORC工质泵对比

	<p>离心泵</p> 	<p>屏蔽泵</p> 
密封形式	动密封	完全无泄露
效率	高	稍低
电机	标准	屏蔽电机，专有非标
制造技术	要求低	要求高
轴向长度	较长	较短
噪音	稍大（电机带风扇）	稍小（电机不带风扇）
联轴器	有联轴器，需对中找正	无联轴器

有机朗肯循环技术发展

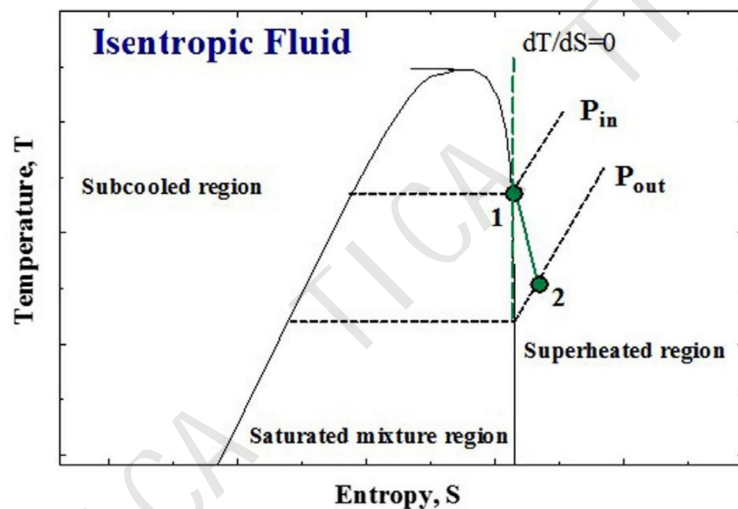
◆ ORC工质

干工质



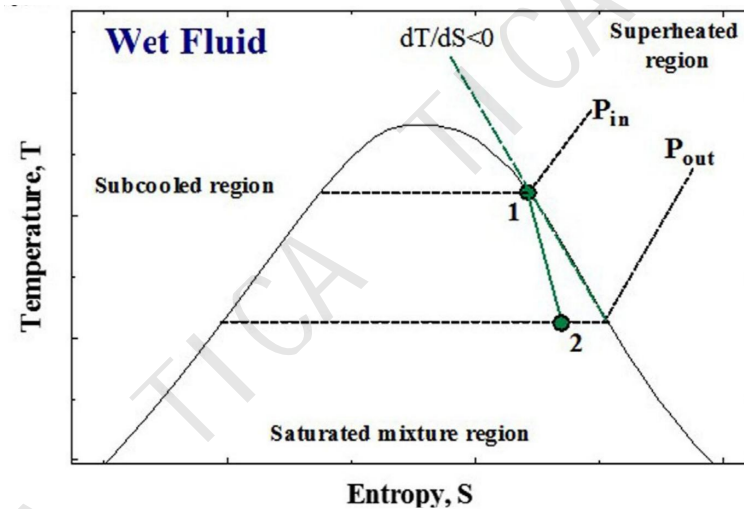
饱和蒸汽曲线为正，理想膨胀过程过热度升高，一般ORC膨胀机进口不需要设置过热度。典型工质代表R245fa。

等熵工质



理想膨胀过程过热度几乎不变，典型工质代表R141b。

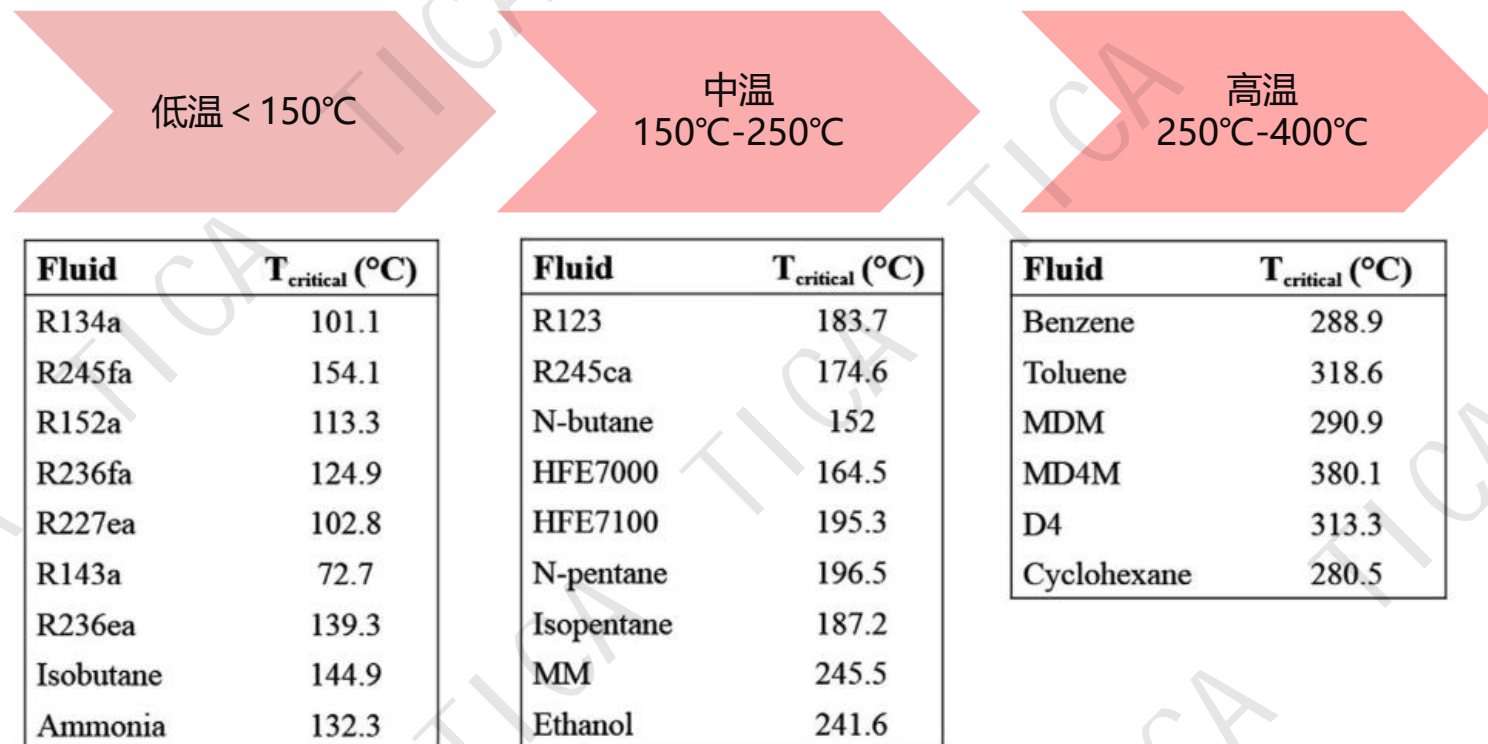
湿工质



膨胀进入两相区，尤其是末级叶片易出现水蚀，对膨胀机运行不利，一般ORC膨胀机进口需要设置过热度。典型工质代表R134a。

有机朗肯循环技术发展

◆ ORC工质



根据工质的临界温度进行分类

*资料来源: Review of organic Rankine cycle for small-scale applications, Kiyarash Rahbar etc.

有机朗肯循环技术发展

◆ ORC工质

表 5 用于高温热泵的新型制冷剂应用性能^[53-54]

Tab.5 Properties of new refrigerants for high temperature heat pump^[53-54]

制冷剂	组成 (质量分数/%)	ODP	GWP ₁₀₀	沸点/ °C	摩尔质量/ (kg/mol)	临界温度/ °C	临界压力/ MPa	汽化潜热/ (kJ/kg) *
HFO-1234ze(Z)	顺式-1,3,3,3-四氟乙烯	0	<1	9.75	114.04	150.12	3.53	165.08
HCFO-1233zd(E)	反式-1-氯-3,3,3-三氟丙烯	0.000 34	1	18.26	130.50	166.45	3.62	157.87
HCFO-1224yd(Z)	顺式-1-氯-2,3,3,3-四氟丙烯	0.000 12	<1	14.62	148.49	155.54	3.38	132.36
HFO-1336mzz(Z)	顺式-1,1,1,4,4,4-六氟-2-丁烯	0	2	33.45	164.06	171.35	2.90	140.05
R514A	HFO-1336mzz(Z)/ 反式-1,2-二氯乙烯 (74.7/25.3)	0	2	—	139.60	178.00	3.52	—

* 在蒸发温度 80 °C 进行评估

*资料来源：新型低 GWP 制冷剂在-100~200 °C温度范围的应用研究进展，张迪等。



CHAPTER 03

有机朗肯循环技术创新

膨胀机技术创新

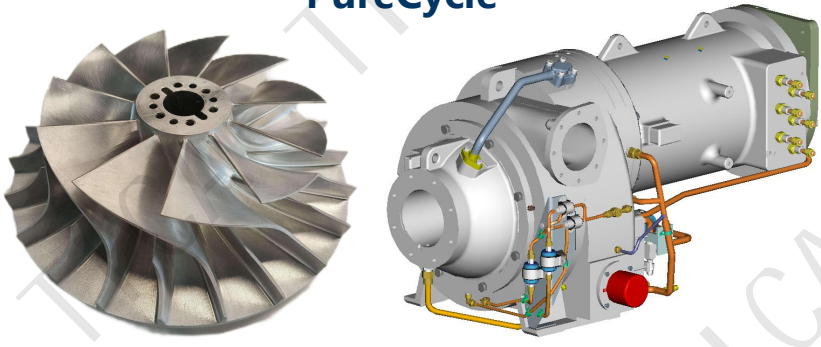
自主知识产权技术:

径向向心透平 | 径向离心透平

主要特点:

将有机工质势能转化为机械能的过程，比常规的螺杆膨胀机或者轴流透平效率更高。

PureCycle




径向离心透平

280kW~1MW

80%~85%

Exergy



径向离心透平

1MW~33MW

85%~93%

实验室技术创新



MW级ORC实验台

国内首个的高压并网MW级ORC实验测试台。主要装置包括蒸发器加热系统、冷凝器冷却系统、发电负载系统、设备控制系统及数据采集系统等。支持**蒸汽**和**热水**热源模拟、多种换热器结构系统接入、**10kV高压**机组测试、**电力消纳**等能力。

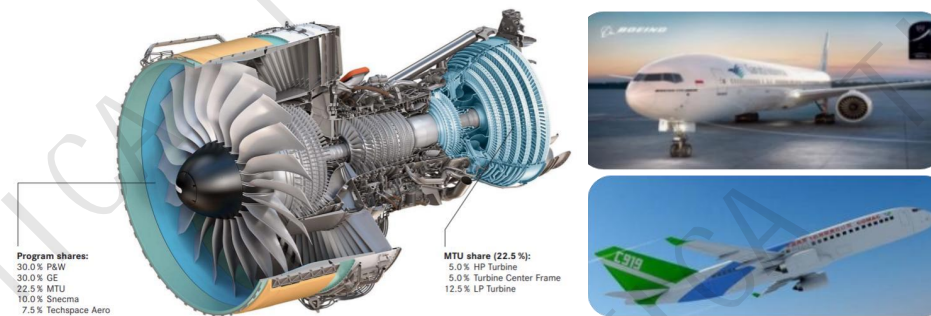


ORC发电示范中心

中国首个专业的ORC系统发电工程示范中心，以蒸汽和热水驱动系统发电，可实现300kW发电，50Hz/60Hz自动并网，**拥有工况模拟、性能测试、电能品质评估**等多项功能。

PureCycle技术

2015年10月9日，天加并购了美国联合技术公司普惠飞机发动机旗下的PureCycle 低温发电公司，获得了其全部技术专利、国际著作权及商标。联合技术公司——拥有全球最先进的普惠飞机发动机公司和联合技术航空航天系统公司，Airbus380（空客A380）、Boeing777（波音B777）、C919（中国大飞机C919）、F-35战斗机等，都使用联合技术公司的航空发动机或航空系统。



PureCycle 蕴含着航空发动机的技术基因——世界上要求最高的稳定性和安全性。机组有以下四大特点：

1、零泄漏

透平发电机一体化设计，无工质泄漏

2、高效率

高效径向透平膨胀机，热电效率高

3、撬块化

集成撬块化设计，占地面积小

4、自动化

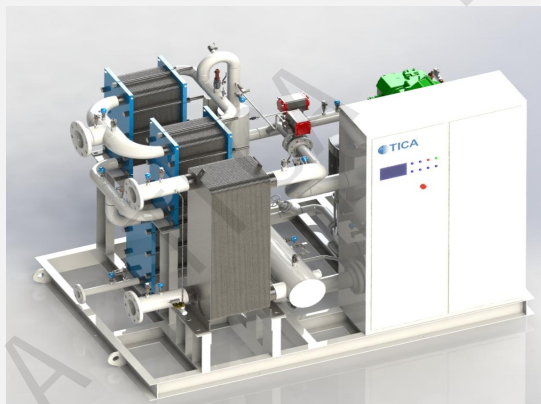
可实现一键启停，无人值守



全频谱ORC产品

PureCycle系列-频谱 70/ 120/ 280/ 700/ 1000/ 1400kW

- 热电转化效率较高、稳定性好
- 标准化、模块化、撬装化、集装箱化系统解决方案
- 交货周期短，标准化机组3个月可交付
- 透平、发电机一体化设计，低泄漏风险
- 已在中国、美国、土耳其、日本及台湾等发电项目中大量应用



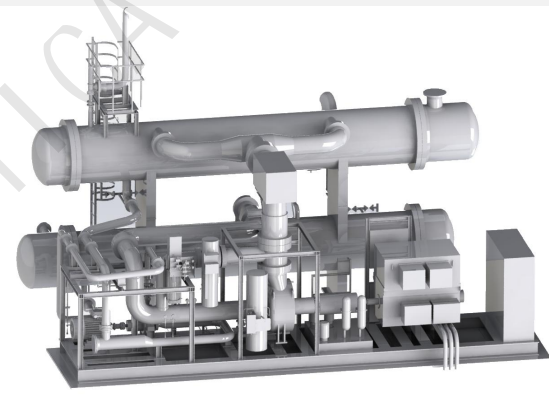
70kW&120kW



280kW



700kW&1MW



1.4MW

Exergy技术



高等熵效率

单盘最多可以做到9级，等熵效率最高可达93.6%，相比于轴流透平效率最高可提升6%



高在线率

机组平均在线率超过99%



单盘多压力

相比于简单配置的单级压力系统，发电性能提升20%

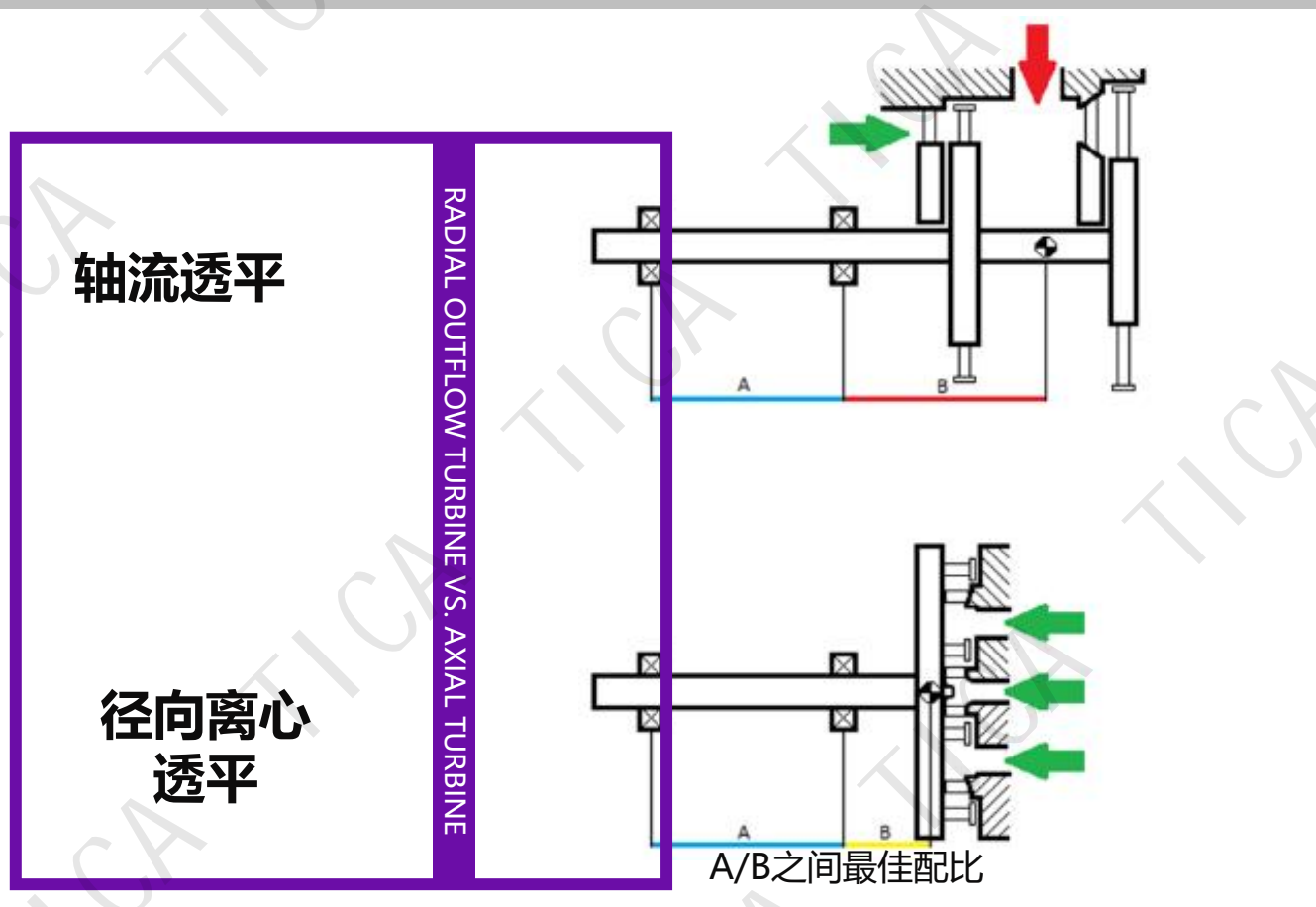


机械组件易拆卸

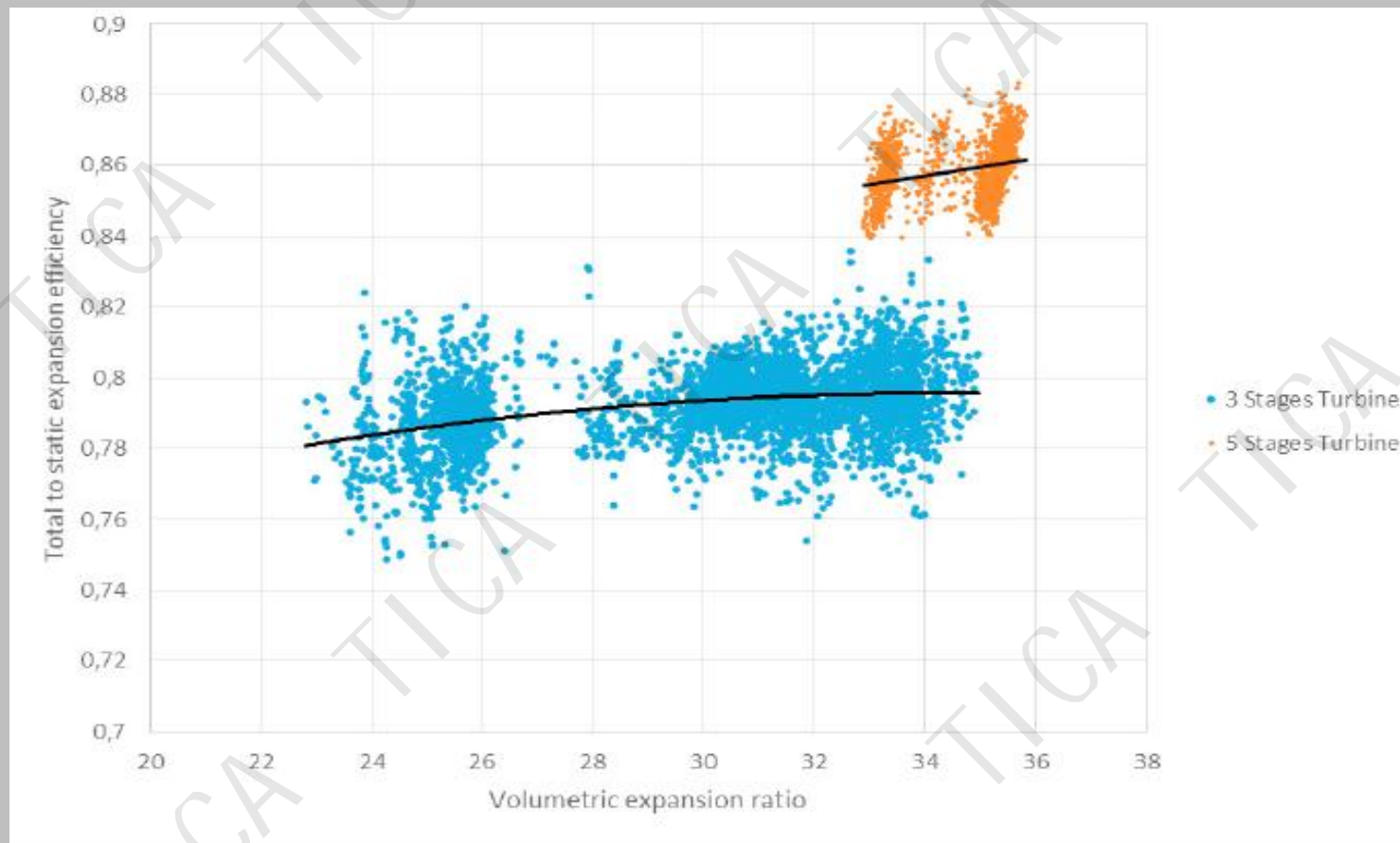
无工质泄漏，维护简单快捷，最快可在4小时完成维护



单透平多级应用



多级透平-效率更高



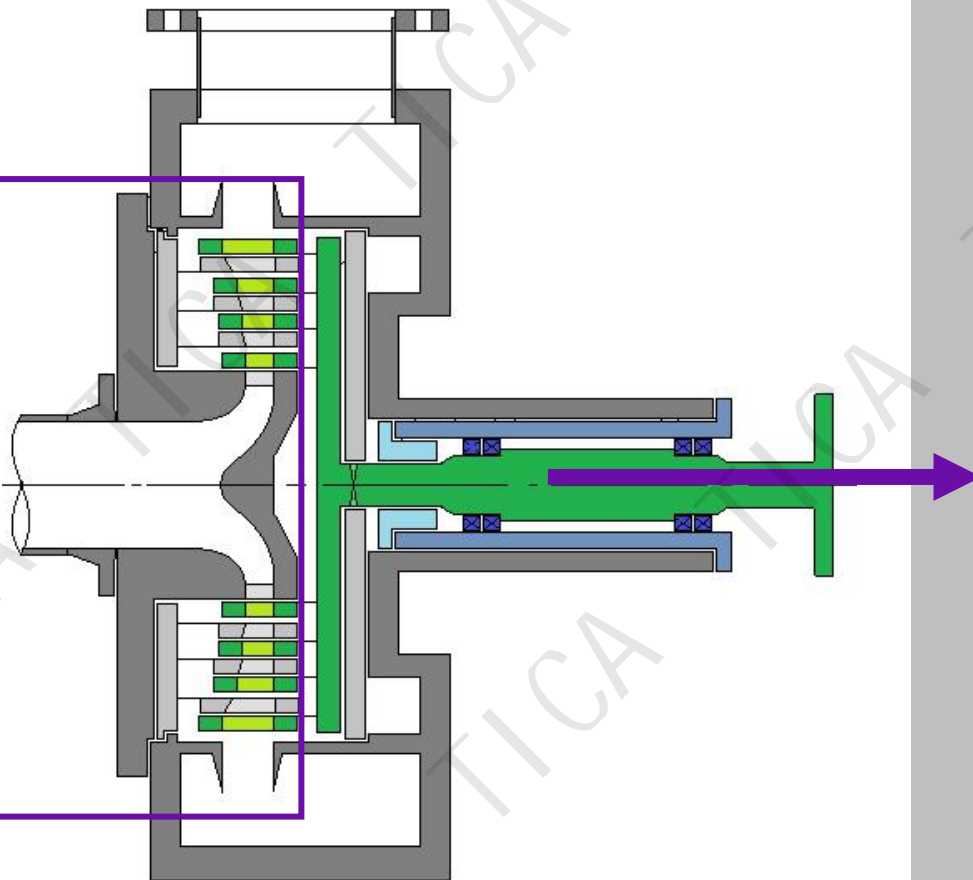
独特机械密封组件

专利技术

无需抽空工质，即可进行机械组件拆卸操作

嵌入式的机械组能够将轴、轴承等应力部件保养简化，从而延长使用寿命

整个过程最快可在4小时内完成



全频谱ORC产品

Exergy系列-频谱 3 / 5 / 10 / 15 / 20 / 30 / 33 / 66MW

- 独特的径向离心透平 (ROT) 技术, 最高可实现九级膨胀
- 可实现ORC行业最高热电转化效率 (30%)
- 可实现单一透平两种热源应用
- 可拆卸式机械组合, 大大降低维护保养时间
- 短短5年发展成为全球领先的ORC发电设备制造商和系统供应商

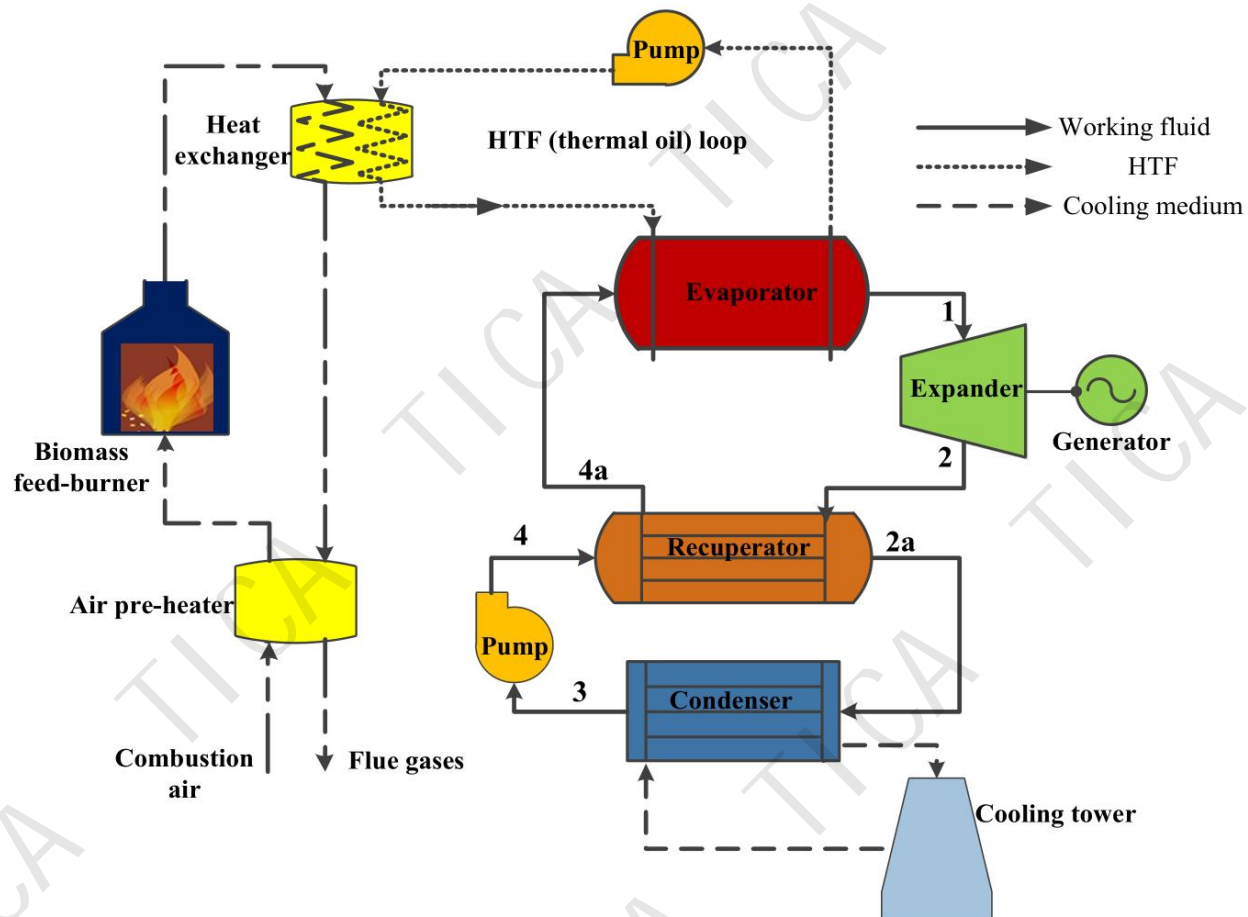




CHAPTER 04

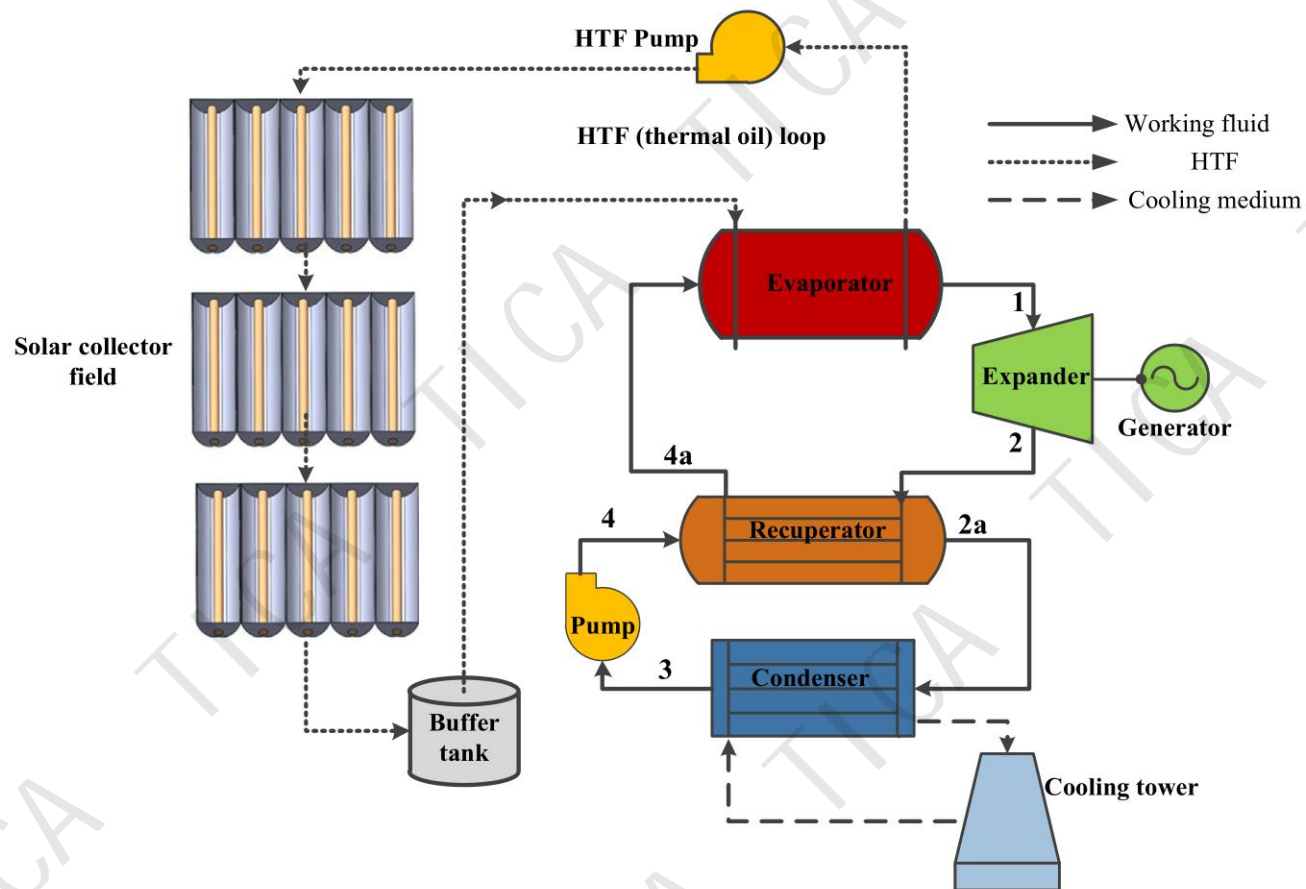
有机朗肯循环应用

生物质余热ORC应用



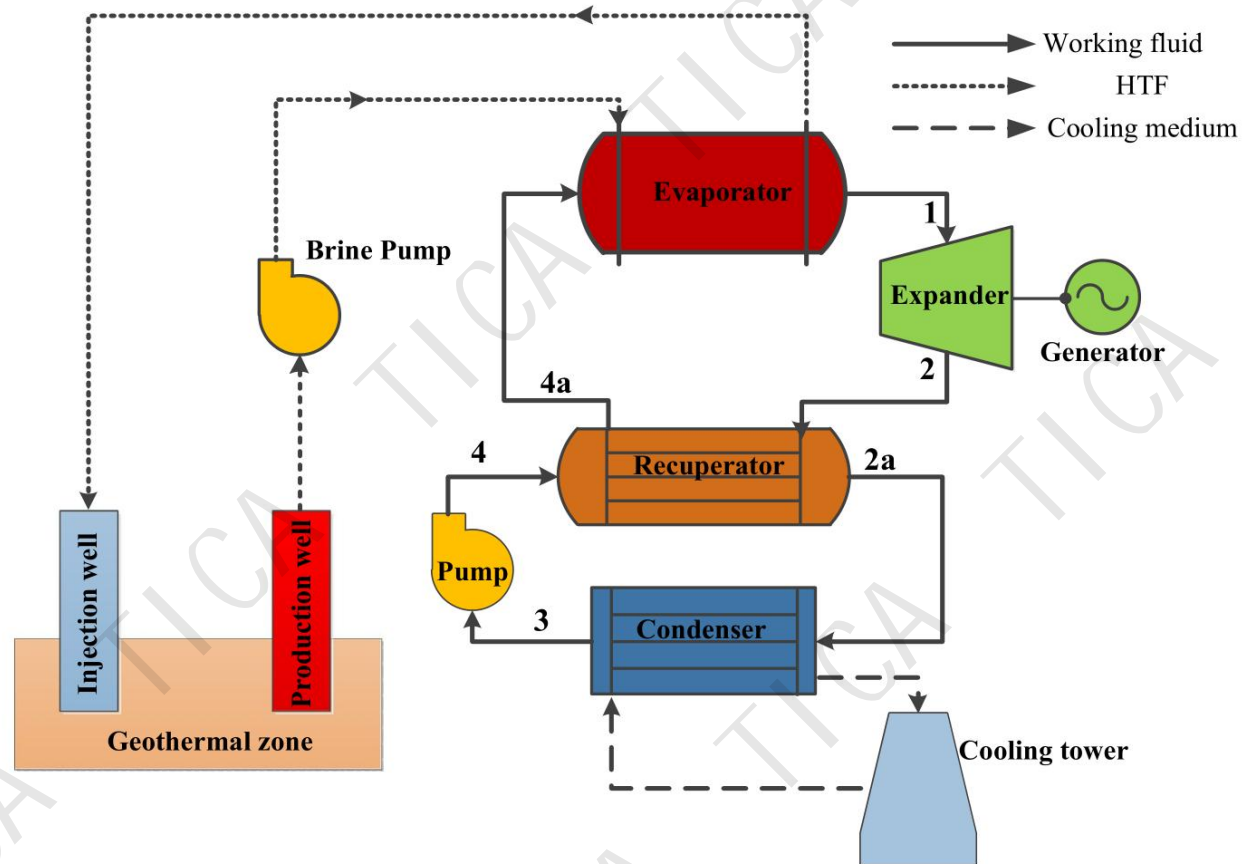
生物质锅炉高温烟气，进入导热油锅炉加热导热油，导热油进入ORC进行发电做功。ORC系统设置回热器，以提升系统发电效率。

太阳能光热ORC应用



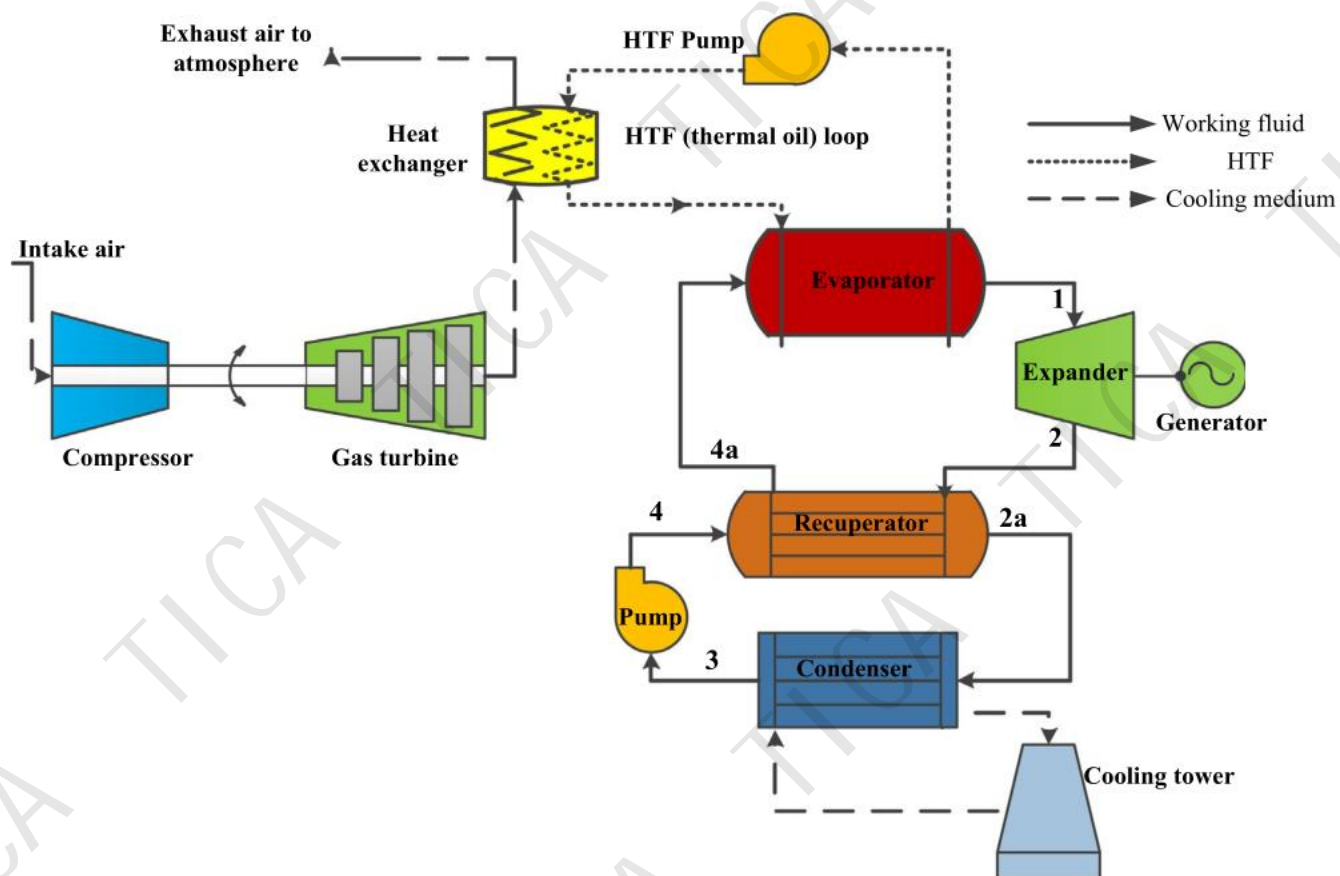
太阳能集热器加热导热油，导热油进入ORC进行发电做功。ORC系统设置回热器，以提升系统发电效率。

地热ORC应用



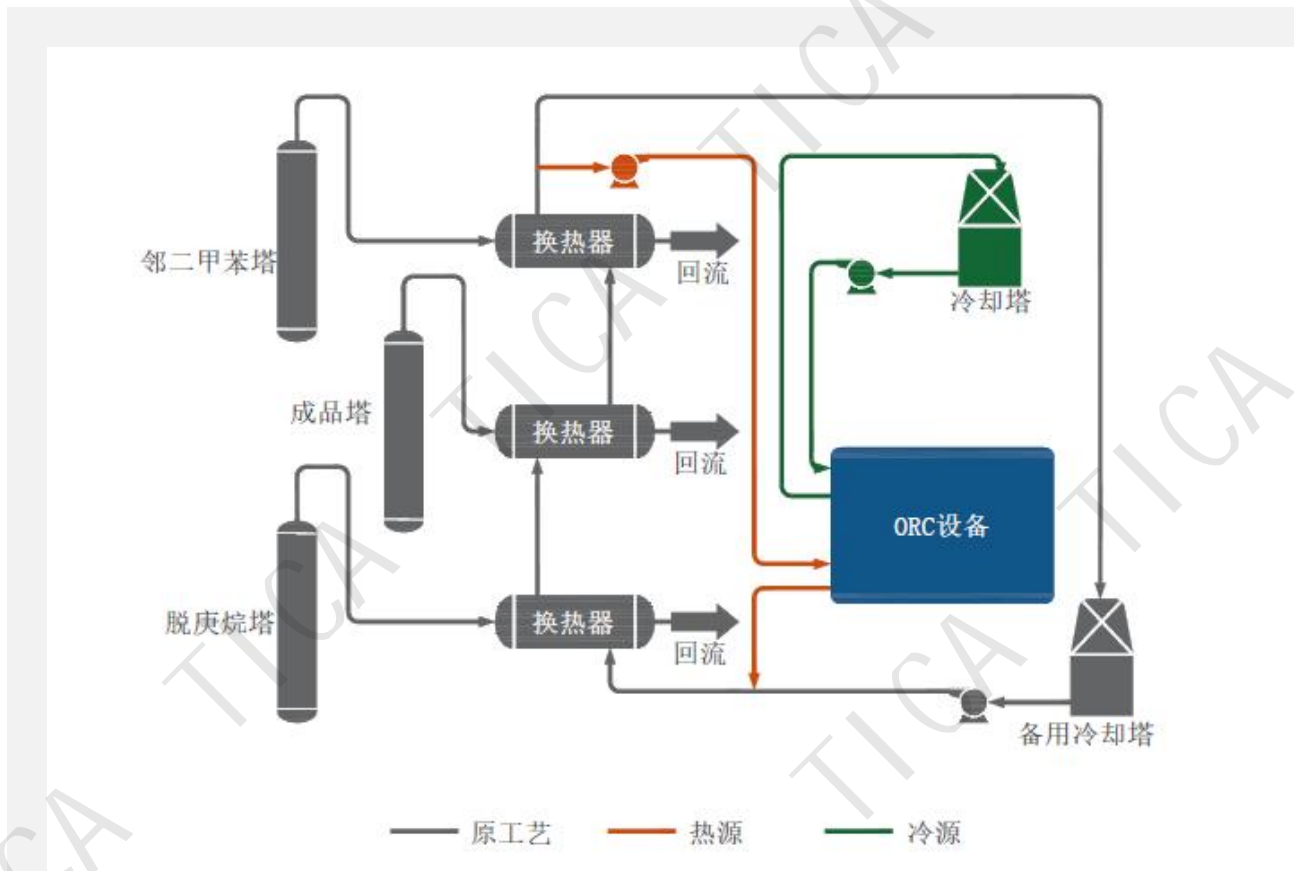
地热流体通过地热泵，将热水/蒸汽与ORC蒸发器进行换热，并进行发电做功。ORC系统设置回热器，以提升系统发电效率。

燃气轮机余热ORC应用



燃气轮机排出的高温烟气，进入导热油锅炉加热导热油，导热油进入ORC进行发电做功。ORC系统设置回热器，以提升系统发电效率。

工业余热ORC-芳烃联合装置



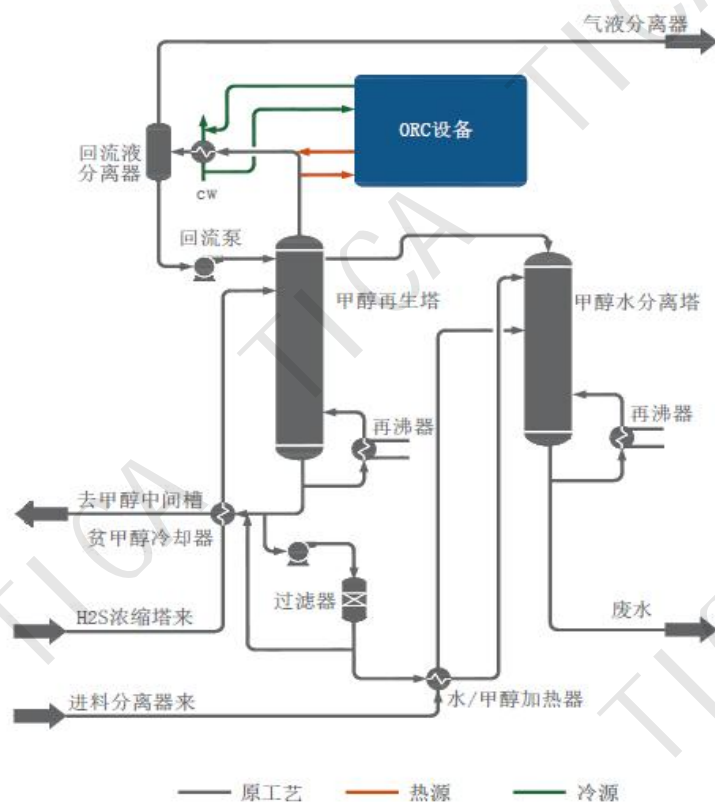
原工艺:

芳烃联合装置生产工艺过程中，在脱庚烷塔顶物料、成品塔顶物料、邻二甲苯塔顶物料装置处通常需用空冷或水冷的方式将物料冷却，热源未充分利用造成大量的电能和水资源浪费，同时对环境产生热污染。

ORC方案:

热水换热器代替原冷却设备，制取约120°C的热水，热水进入ORC机组发电。

工业余热ORC-甲醇蒸气



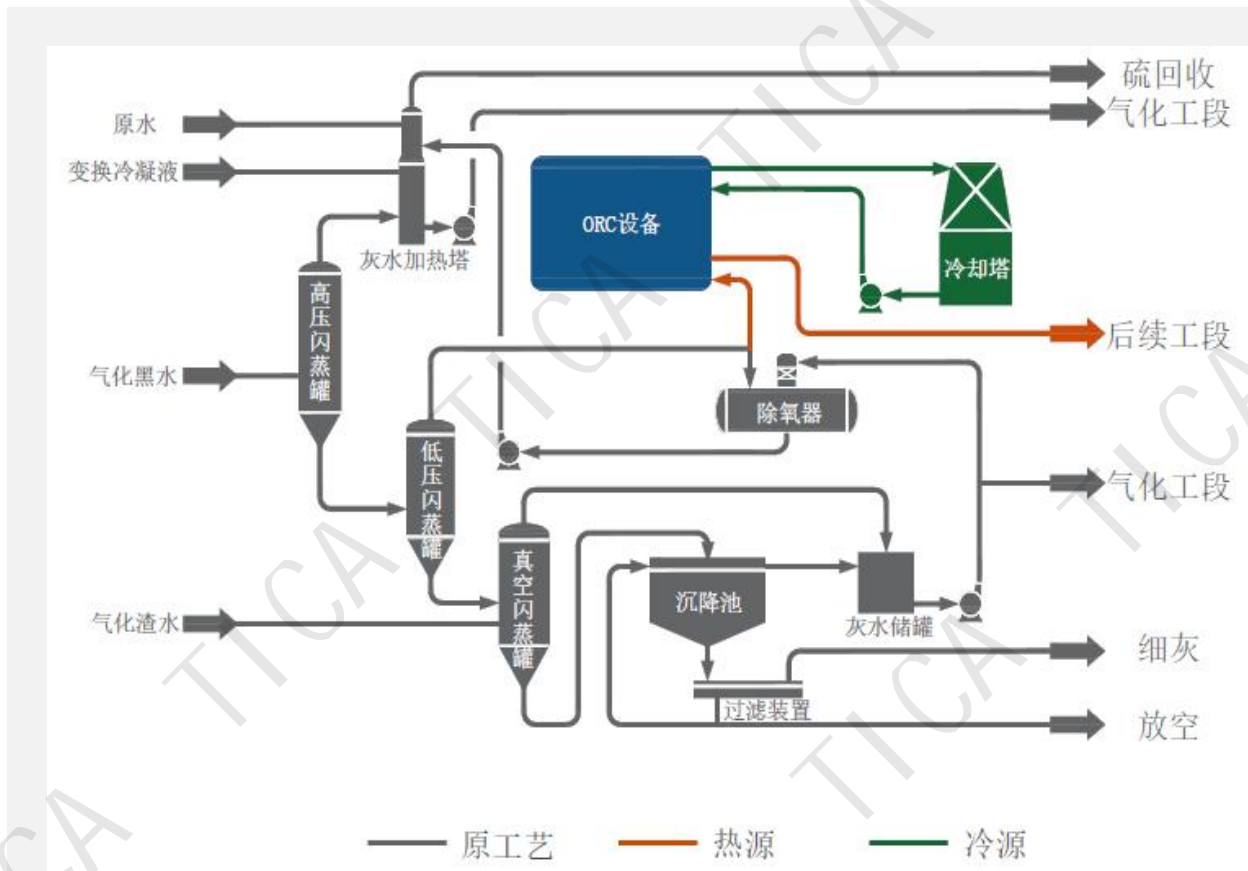
原工艺:

甲醇再生塔顶部主要介质为甲醇蒸气，含有较多汽化潜热，甲醇蒸气（含部分杂质气）通过H₂S冷却器降温后气液分离后再循环，需额外的冷却水进行降温冷却，热利用不够充分。

ORC方案:

甲醇蒸气进入ORC发电机组直接利用，生产电能，排出的甲醇凝液再进入后续工艺。

工业余热ORC-煤化工高闪汽



原工艺:

来自激冷罐、洗涤塔约260°C的气化黑水，依次通过高压、低压闪蒸降温至约130°C。

ORC方案:

高压、低压两股闪蒸汽混合后，进行余热回收发电。在充分考虑气化装置安全、稳定运行的前提下，采用ORC余热发电机组，回收闪蒸汽中的低品位热能，生产高品位电能。

工业余热ORC-烧结环冷



现状

环冷机三段的烟气余热 (< 250°C) 除一部分用于烧结工艺用外, 大部分都对空排放, 浪费了大量的热源。



热源

2×265m²烧结环冷机三段烟气

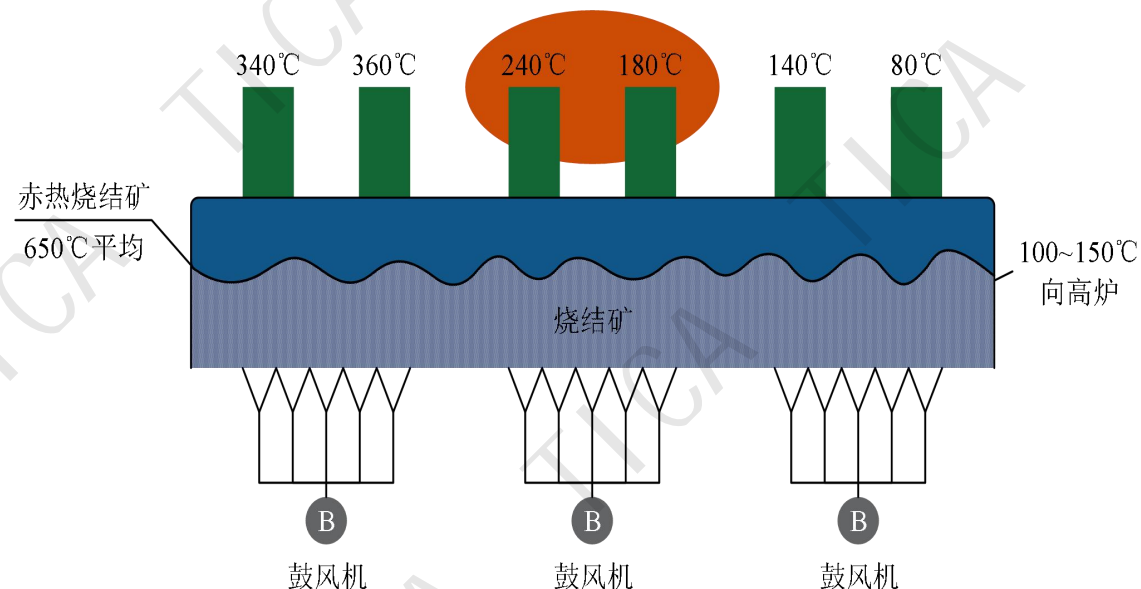
- 烟气温度: 220°C, 排烟温度: 120°C
- 烟气流量: 2×250000 Nm³/h
- 介质成分: 空气



ORC匹配

烟气与热水通过热水锅炉进行换热, 闭式热水系统为软化水, 无腐蚀结垢风险。ORC蒸发器可采用碳钢材质换热管。

ORC发电功率: 约900kW



烧结矿冷却机的排风温度梯度数值

工业余热ORC-轧钢加热炉低压蒸汽



现状

在轧钢过程后热处理过程，都需要燃烧燃料来加热钢材，加热之后的废气温度高达600℃~700℃。一般采用余热锅炉来产生蒸汽或加热煤气和空气以降低排烟温度。



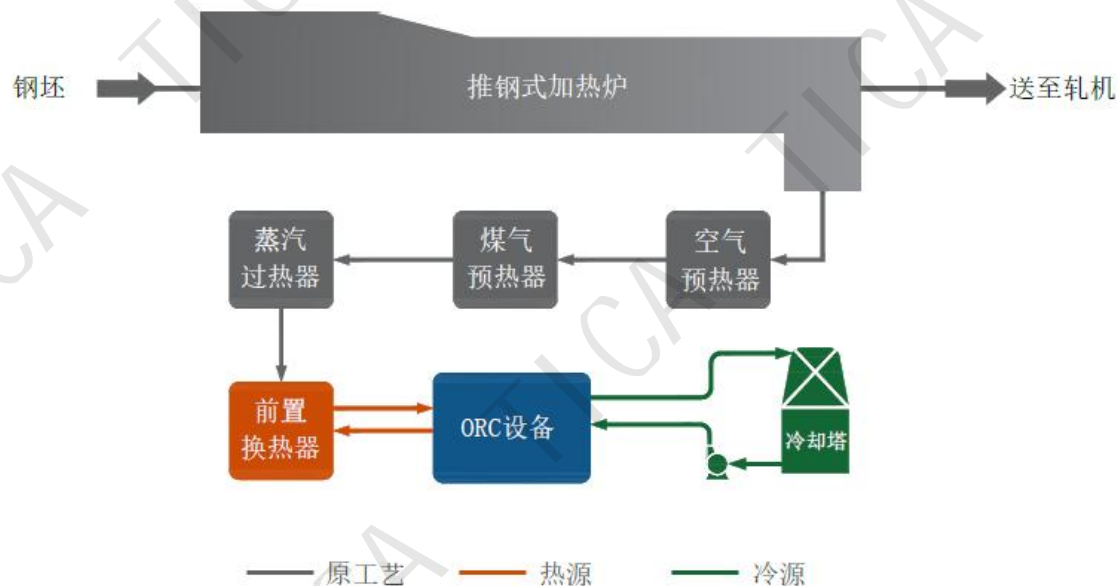
热源

特棒厂加热炉烟气
烟气温度：460℃ 排烟温度：210℃
烟气流量：39900Nm³/h
介质成分：含有一定二氧化硫+水的烟气
蒸汽产量：5.7t/h



ORC匹配

为防止烟气的酸露点腐蚀，设计时排烟温度高于露点温度。同时烟气与ORC不直接接触，由于与ORC接触的是干净蒸汽，蒸发器可采用碳钢材质。
ORC发电功率：280kW



轧钢加热炉低压蒸汽余热发电流程示意图



CHAPTER 05

有机朗肯循环发电项目案例

项目案例-地热发电



土耳其 Turkey | Greeneco Enerji-Sarayköy 装机132MW



土耳其 Turkey | Beştepeler Enerji-Kubilay 装机48MW



菲律宾 Philippines | EDC-Mindanao 3.6MW



葡萄牙 Portugal | EDA Renovaveis-Pico Alto 装机4MW



中国 China | 山西大同高温地热发电 装机280kW



中国 China | 河北唐山马头营干热岩发电 装机280kW



中国 China | 河北献县 装机280kW



日本 Japan | GPSS-IBEC 装机840kW



美国 USA | Thermo, UT 装机14MW

项目案例-工业余热发电



保加利亚 Bulgaria | SISECAM 装机4MW



日本 Japan | GPSS- Tottori 装机280kW



中国 China | 南京诚志 装机5MW



中国 China | 中盐红四方 装机5×280kW



中国 China | 江苏华昌化工 装机5×280kW



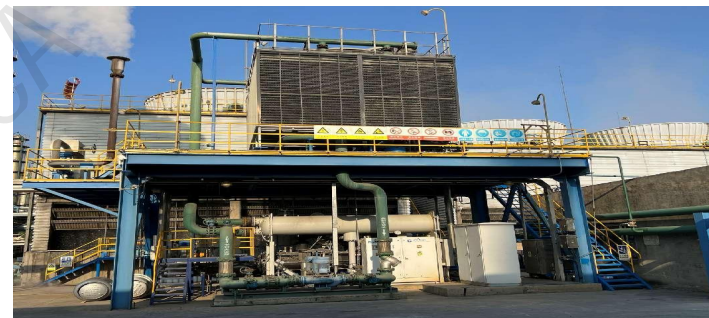
中国 China | 河南心连心 装机280kW



中国 China | 桐昆集团 装机28.56MW



中国 China | 江苏三房巷集团 装机6.4MW



中国 China | 江苏德纳化学 装机280kW



感谢观看！

Thank you for watching