

**CSSC** 中国船舶集团第七一一研究所

# 低品位余热余压利用技术、产品及应用

汇报单位：中国船舶集团有限公司第七一一研究所

汇报人：杜振兴 (17717496788)

汇报时间：2024年04月09日



目录  
CONTENTS

01

七一一所简介

02

余热、余压利用思路

03

ORC发电技术及应用

05

余压利用技术及应用

06

结语



1

# 七一一所简介

# 中国船舶第七一一所概况

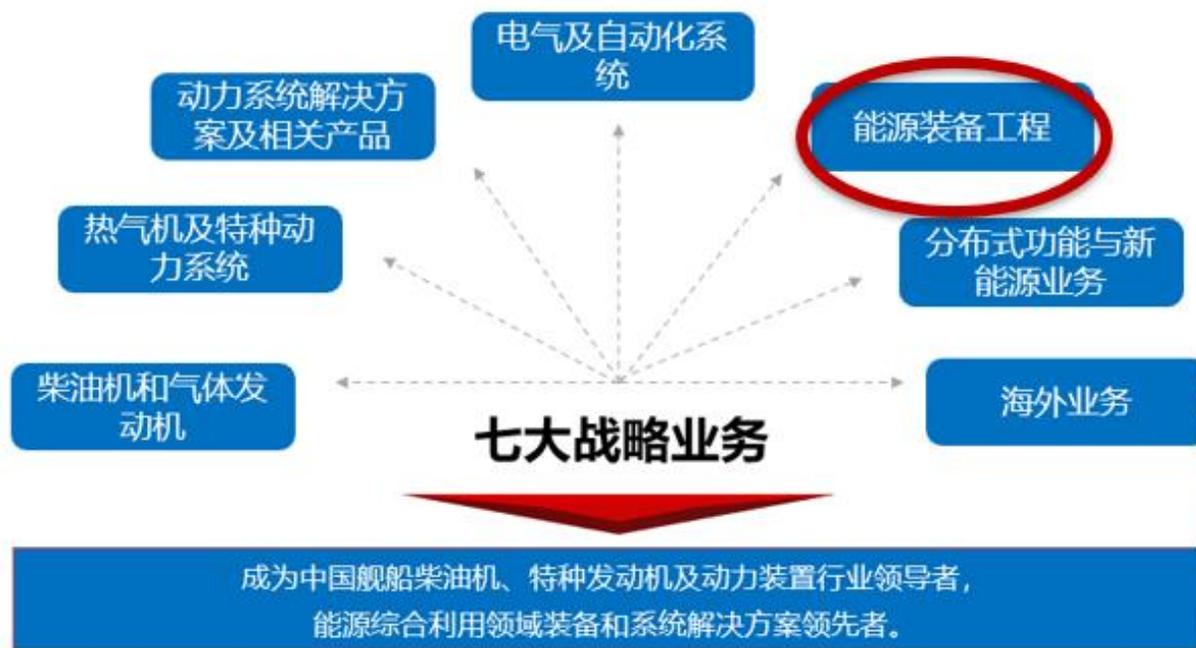


- **中国唯一的国家级船用柴油机研发机构**
- 创建于1963年，先后隶属于国防部、海军、国防科委、六机部、中国船舶工业总公司、中国船舶重工集团公司、**中国船舶集团有限公司**（世界财富500强企业）。
- **七大战略产业**：柴油机及气体发动机、热气机及特种动力系统、动力系统解决方案、电气及自动化系统、**能源装备及工程**、分布式供能及新能源业务。
- 业务范围覆盖30多个国家和地区，服务于船舶、石油、化工、环保、电力、煤炭等20多个行业和领域。
- 占地近一百万平方米，总资产超80亿，拥有包括国家实验室在内的各类现代化实验室30多个，年产值超50亿。

## 资质齐全

- QHSE体系认证
- 压力容器、压力管道设计许可
- 环境工程专项甲级设计资质
- 工程总承包资质

# 七大战略业务和厂区分布图



七一一所七大战略业务



上海市闵行区莘庄工业园区

# 能源装备工程产品

## 高效换热

High efficiency heat exchange

- 全焊接板式换热器
- 板壳式换热器
- LNG绕管式换热器

## 火炬排放装置

Flare system

- 高架火炬
- 封闭式地面火炬
- 开放式地面火炬
- 火炬气回收装置
- 爆破曲针阀

## 余热能/LNG冷能利用

Wast heat utilization  
LNG Cold Energy sutilization

- 余热锅炉：催化裂化装置余热锅炉  
模块化结构余热锅炉
- 余热利用：低温余热ORC发电机组
- 冷能利用：LNG冷能发电机组
- 空气预热器：水热媒、不锈钢板式空气预热器

## 特种燃烧

Special combustion

- 硫磺炉燃烧器
- 低NO<sub>x</sub>燃烧器
- 浸没燃烧式气化器 (SCV)
- 壳牌气化炉粉煤烧嘴
- 粉煤气化炉组合式烧嘴

## 膨胀机/压缩机

Expander/compressor

- 透平膨胀机/螺杆膨胀机
- 离心压缩机/螺杆压缩机
- 螺杆式热泵机组

## 三废综合治理利用

Comprehensive treatment and utilization of wastes

- 工业三废处置：直燃式废气废液焚烧炉  
蓄热式焚烧炉  
催化焚烧炉  
固体废物焚烧炉
- 废气综合治理：油气回收装置  
VOCs治理技术



2

## 余热、余压利用思路

---



# 工业余热余压利用思路

## 余热直接利用

- 换热网络优化;
- 高效换热设备;
- 余热锅炉 (蒸汽/导热油) 。



## 余热升级利用

- 制冷: 吸收式制冷、压缩式制冷、吸附式制冷;
- 制热: 吸收式热泵、**压缩式热泵**、**蒸汽压缩机**;
- 发电: **有机朗肯循环 (ORC)**、卡琳娜循环 (KC) 。

## 余压升级利用

- **余压透平膨胀发电机组、蒸汽压缩机组。**

### 基本原则

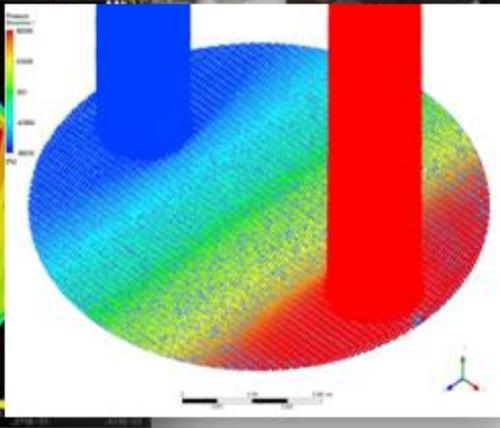
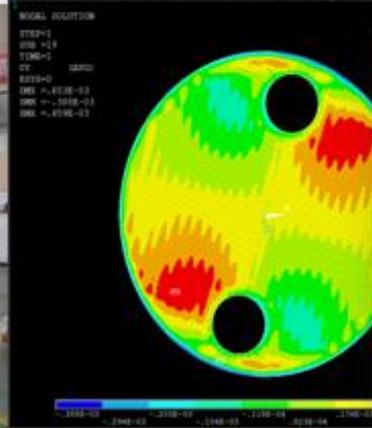
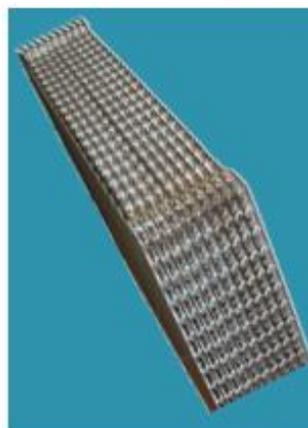
- **按需使用; 低温低用, 高温高用; 集中回收, 集中使用。**

# 全焊接板式换热器

## 拥有国内领先

可拆全焊接板式换热器先进技术!

- 先进的制造工艺，激光焊接，等离子焊接等
- 更多的波纹板型
- 可选择材料更多，316L, SMO254, Ti, Inconel 625等
- 多种型号及传热面积
- 严格的检测标准
- 强大的研发能力



生产车间、试验平台、模拟仿真案例

# 全焊接板式换热器

可拆全焊接板式换热器是用薄金属板压制成具有一定波纹形状的换热板片，然后将板片叠加焊接而成的一种换热器。各种板片之间形成薄矩形通道，通过板片进行热量交换。

|          |                         |
|----------|-------------------------|
| 设备用途     | 热交换                     |
| 设备名称     | 可拆全焊接板式换热器              |
| 设备型号     | QYB30、QYB40、QYB50、QYB75 |
| 制造材料     | 316L、SMO、Ti、2205        |
| 设计压力     | F.V.~4MPa               |
| 设计温度     | -29~400°C               |
| 主要测点     | 流体进出口温度、压力              |
| 密封形式     | 法兰密封                    |
| 关键设备使用寿命 | 15年                     |
| 备件供应时间   | 长期                      |
| 工作/服务范围  | 设计、安装指导等                |

## 全焊接类板式换热器应用业绩

全焊接类板式换热器产品近3年内迅速占领市场，已销售近300台，累计产值超1.2亿，打破了国外厂商的垄断局面（例如常减压塔顶装置用钛板全焊接换热器，EO/EG用全焊接板换等）

### 典型业绩：九江石化常减压装置



九江石化常减压装置用板换10台  
2015年投用

| 产品业绩                  | 设备 | 客户名称  |
|-----------------------|----|-------|
| 100万吨/年催化裂化装置         | 4  | 建滔化工  |
| 板式换热器升级               | 1  | 南京福邦特 |
| 南京超临界危废处理项目           | 1  | 新奥能源  |
|                       | 1  |       |
| 5万吨/年MMA项目            | 2  | 山东玉皇  |
| 聚碳酸酯项目                | 9  | 万华化学  |
| 洛阳分公司1改造项目            | 1  | 中国石化  |
| 镇海炼化常减压装置换热器更新        | 2  |       |
| 炼油质量升级改造工             | 10 |       |
| 常减压蒸馏装置原油常顶油气全焊接板式换热器 | 5  | 中国石油  |
| 呼和浩特炼油厂常减压蒸馏装置换热器     | 1  |       |



# 3

## ORC发电技术及应用

---



# ORC发电技术原理

## ORC发电技术

- 采用有机朗肯循环 (ORC, Organic Rankine Cycle) 发电技术。
- 利用低品位热能加热有机工质产生蒸汽, 再利用这股有机蒸汽推动膨胀机带动发电机发电, 实现低品位热能转化为电能。
- 将80 ~ 500°C的中低温热转化为电能;
- 适用于炼油、化工、钢铁、水泥、玻璃、电解铝等工业领域。

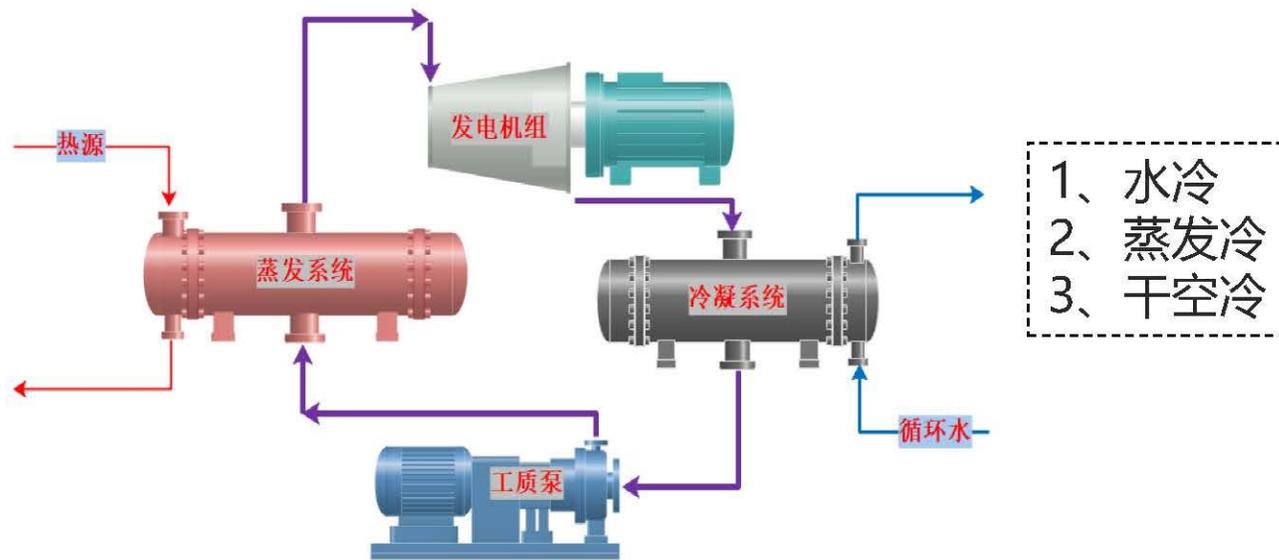
## 有效利用低品位热能

- 在不消耗额外燃料的情况下获得电能。
- **对于提高能源利用率具有重要意义!**

- 1、热水
- 2、蒸汽
- 3、工艺介质
- 4、烟气

### 常用工质:

- 1、氟利昂类: R134a, R245fa
- 2、烷烃类: C3, C4, C5



ORC余热发电技术原理示意图

# 应用领域



## 工业领域：中低温余热回收发电

### 1 温度80 ~ 200°C之间，需要冷却的工艺物流

- 分馏塔顶油气，温度100 ~ 110°C
- 顶循环回流，温度120 ~ 140°C
- 产品汽油，产品柴油，合成气，变换气等

### 2 放散蒸汽，低压饱和蒸汽，湿蒸汽

- 0 ~ 0.4MPa的饱和蒸汽，100 ~ 140°C
- 聚酯行业酯化蒸汽、脱醇塔副产蒸汽
- 气化装置中的气化闪蒸汽

### 3 热水、蒸汽凝结水

- 炼厂热水，温度90 ~ 120°C
- 蒸汽凝液，温度100-143°C



# 应用领域



## 新能源领域：新能源发电

### 1 地热能发电

- 地热水、地热蒸汽、汽水两相
- 干热岩

### 2 生物质能热电联供

### 3 太阳能光热发电



## LNG/天然气领域：LNG冷能发电

# 七一一所ORC发电技术发展历程



2011~2014年

- 理论研究
- 原理样机开发
- 50kW原理样机



2015~2017年

- 工程样机开发
- 工程项目示范
- 九江项目 (1600kW)
- 长岭项目 (710kW)



2018~2021年

- 工业推广
- 多个应用领域首台套突破
  - 黑水闪蒸汽
  - 聚酯蒸汽, 甲醇蒸汽
  - 变换气、粗煤气



2022年至今

- 应用领域持续拓展
- 累计业绩近30套
- 万千瓦级ORC开发

- 研发历程: 理论研究, 原理样机, 工程样机, 应用领域突破。
- 有机工质: 异丁烷、五氟丙烷、丙烷、环戊烷。
- 首台套项目: 先后建设了1600kW, 3000kW, 5000kW, 6000kW国内首台套全国产ORC发电机组。

# 上海市科学技术委员会科研项目支持

- 2014年6月“工业级低温余热有机朗肯循环发电装置研制”获批上海市科学技术委员会科研计划项目。
- 2017年2月顺利完成了科研项目验收，工程样机完成示范应用，为ORC发电技术的推广奠定了基础。

STCSM2014-6-10 12:49:32

密级:

上海市科学技术委员会  
科研计划项目(课题)任务书  
(V1.0版)

|            |                          |
|------------|--------------------------|
| 项目(课题)编号   | 14DZ1202600              |
| 项目(课题)名称   | 工业级低温余热有机朗肯循环发电装置研制      |
| 开始日期       | 2014-07-01               |
| 结束日期       | 2016-06-30               |
| 项目(课题)承担单位 | 上海齐耀科技集团有限公司(盖章)         |
| 通讯地址       | 上海市华宁路3111号              |
| 联系电话       | 021-31310233 邮政编码 201108 |
| 项目(课题)责任人  | 张世程                      |
| 手机         | 18601753859              |
| 电子邮件       | zhangzijian@csic711.com  |

2014年06月26日订

上海市科委科研项目

科研项目验收证书

验字[ ]第号

沪科委(2017)第3364号

项目编号: 14DZ1202600

项目名称: 工业级低温余热有机朗肯循环发电装置研制

完成单位: 上海齐耀科技集团有限公司(盖章)

验收形式: 会议评审

验收日期: 2017-02-10

验收批准日期: 2017-02-10

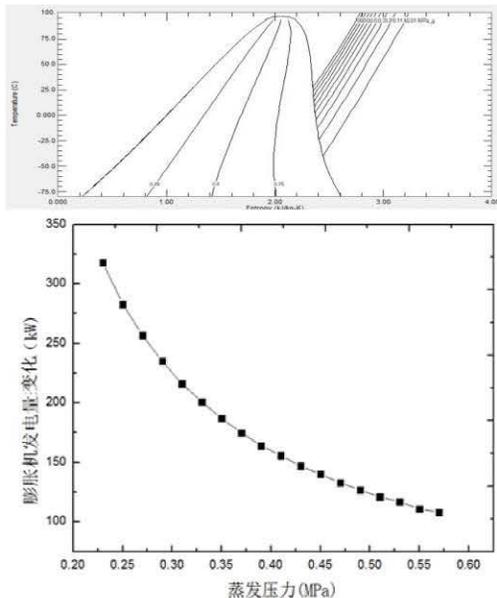
上海市科学技术委员会



低温余热ORC发电机组工程样机(1600kW)

# LNG冷能发电技术研究

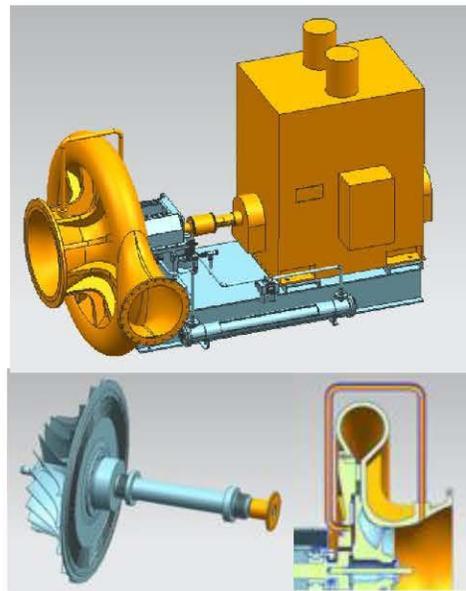
工艺  
研究



换热  
研究



膨胀机  
研究



## 变工况分析

- 热源（海水），冷源（LNG）  
变化对发电功率的影响
- 影响透平膨胀机的设计选型

## LNG换热特性研究

- LNG和工质物性研究
- LNG和工质换热特性研究
- LNG相变传热试验台

## 低温工质透平膨胀机发电机组

- 透平膨胀机+发电机
- 端面齿配合
- 透平膨胀机变工况的适应性

# 技术优势

## 关键技术及核心设备研制能力

- √ 有机工质动力循环系统优化技术
- √ 有机工质透平膨胀机设计制造技术
- √ ORC换热设备设计制造技术
- √ ORC系统集成技术

## 工程经验积累

- √ 烷烃类ORC发电技术工程实践
- √ 氟利昂类ORC发电技术工程实践
- √ 多应用领域ORC发电技术首台套工程实践

# 技术优势



ORC技术相关证书

- **石油化工行业资质齐全、工程设计能力强**  
环境工程专项甲级设计资质；压力容器、管道设计资质；压力容器生产资质。
- **ORC发电机组获得了权威机构认可、行业影响力强**  
拥有发明专利，获得中石化科技进步奖、上海市优秀发明选拔赛金奖等。
- **有能力开展个性化设计以满足复杂工况需求**  
余热类型覆盖热水、蒸汽、变换气、汽油等，设计安全可靠。
- **主机采用透平膨胀机，发电机组数量少，一般采用单台机组**  
透平式膨胀机具有等熵效率高（88%）、单机功率大、易维护的特点。
- **有机工质的选择多样性**  
根据不同应用场景选择合适的有机工质，如R134a, R245fa, C3, C4, C5。
- **采用高效紧凑型换热设备**  
设计时充分考虑了各个换热单元特点，选取不同类型高效紧凑型换热设备。
- **冷凝端选择多样性**  
可采用水冷、蒸发式空冷或空冷，可根据现场条件灵活选择冷凝方式。

# 原理样机-热水ORC发电机组 (50kW)

| 热源     | 热水      |
|--------|---------|
| 流量     | 20 t/h  |
| 入口温度   | 120°C   |
| 出口温度   | 70°C    |
| 冷却方式   | 水冷      |
| 功率     | 50kW    |
| 电压     | 400V    |
| 负荷调节范围 | 30-110% |



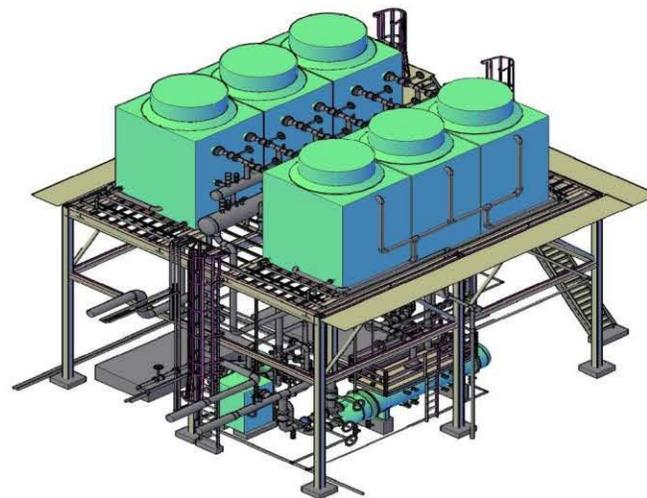
# 典型业绩-热水ORC发电机组 (1600kW)

| 热源     | 热水        |
|--------|-----------|
| 流量     | 830 t / h |
| 入口温度   | 95°C      |
| 出口温度   | 70°C      |
| 冷却方式   | 水冷        |
| 功率     | 1600kW    |
| 电压     | 6300V     |
| 负荷调节范围 | 30-110%   |



# 典型业绩-汽油余热ORC发电项目 (710kW)

| 热源     | 汽油        |
|--------|-----------|
| 流量     | 114 t / h |
| 入口温度   | 135℃      |
| 出口温度   | 70℃       |
| 冷却方式   | 空冷        |
| 装机功率   | 710kW     |
| 电压     | 6300V     |
| 负荷调节范围 | 30-110%   |



# 典型业绩-热水ORC发电项目 (3000kW)

## 低温热综合利用改造项目 热水ORC余热发电机组

客户名称：辽阳石化

热 源：热水 ( 100℃ )

冷 源：空气

装机功率：3000kW

有机工质：异丁烷 (R600a)

规格型号：QYRN-ORC-HW3000L

- 2020年4月投产验收
- 已运行四年

项目概况



项目照片

# 典型业绩-热水ORC发电项目 (5000kW)

## 盈德气体ORC余热发电项目

- 装机容量：5000kW
  - 规格型号：QYRN-ORC-HW5000
- 
- 热源：热水 (130°C)
  - 冷源：循环水
  - 占地面积：15mx18m
- 
- 七一一所负责**设计、供货、施工和调试。**
  - 2021年8月开始施工
  - 2021年10月投产验收
  - 性能满足要求。



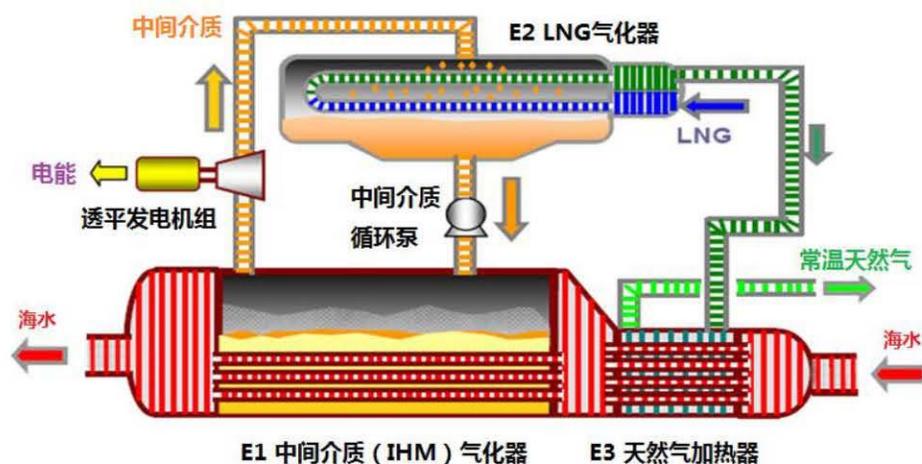
盈德气体ORC余热发电项目

# 典型业绩-LNG冷能发电项目 (5000kW)

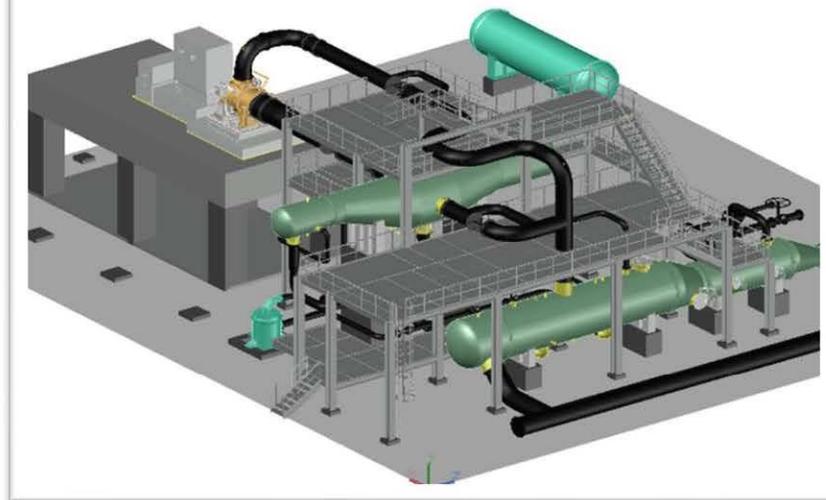
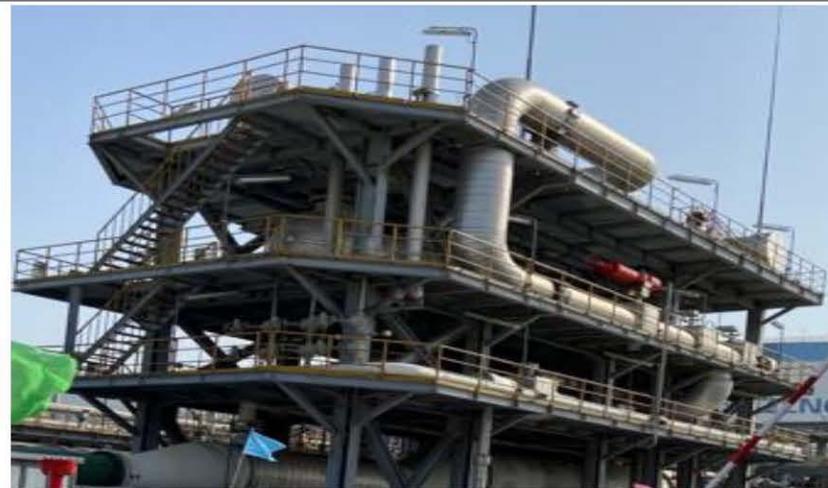
## LNG冷能 (发电) 项目透平膨胀发电机组

- 客户名称: 中海油
- 热 源: 海水
- 冷 源: LNG
- 装机功率: 5000kW
- 有机工质: 丙烷
- 规格型号: QYRN-PTG-5000

- 有效回收利用LNG冷能
  - 发电模式: 同时实现LNG气化和发电两个功能
  - 旁路模式: 满足LNG气化需求



工艺流程图



LNG冷能发电装置

# 典型业绩



热水ORC-5000kW



闪蒸汽ORC-800kW



青海干热岩ORC发电系统



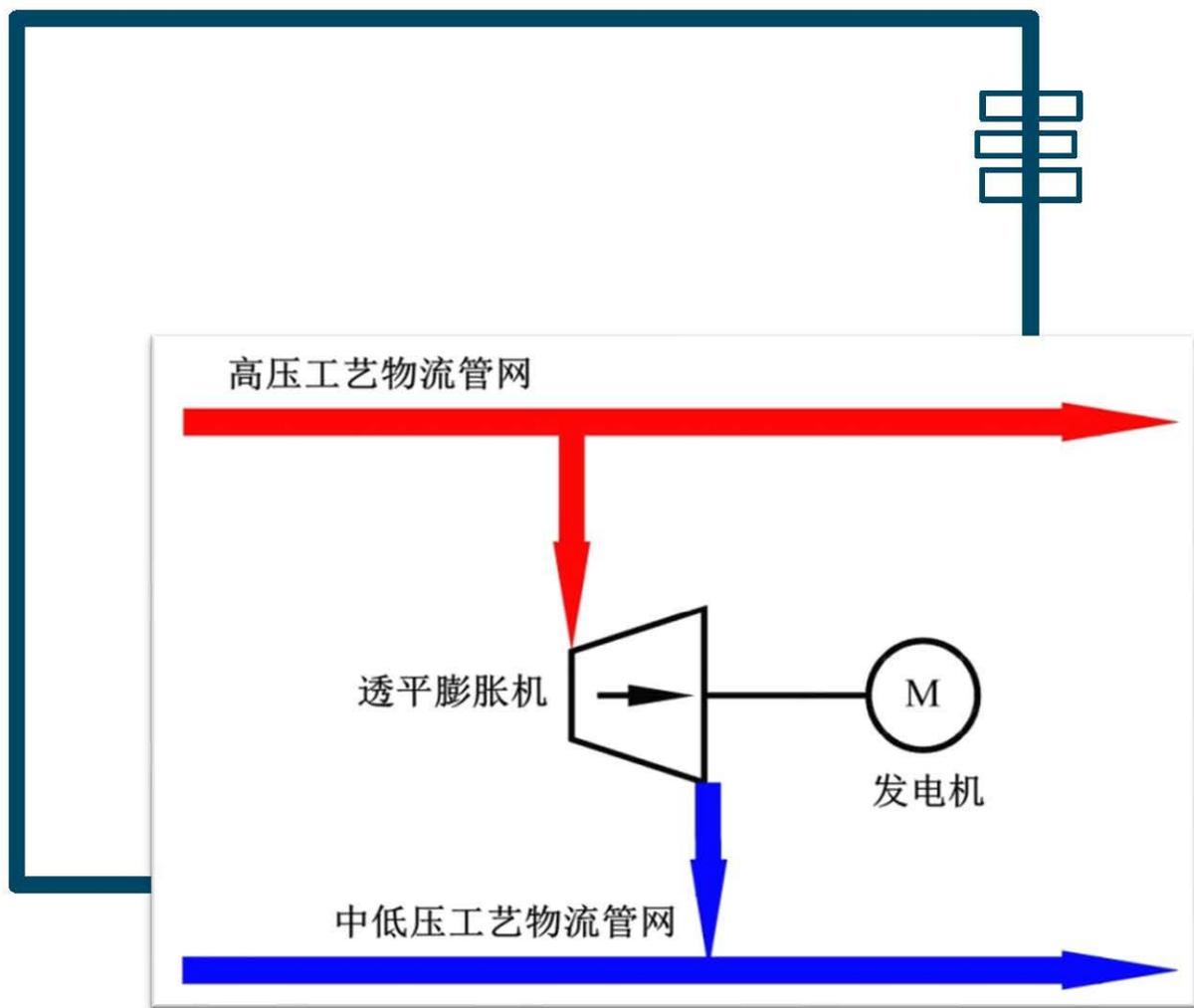
汽油ORC-710kW



变换气ORC-6800kW



青海省海南州州长参观调研



4

## 余压利用技术及案例

# 余压利用技术及应用

## 透平膨胀机发电技术及产品

- 余压透平膨胀机发电机组包括：

- ✓ 蒸汽减压透平膨胀发电机组

- 蒸汽压力：0.1 ~ 6.0MPa
- 蒸汽流量：5 ~ 200t/h
- 功率范围：0.5 ~ 20MW

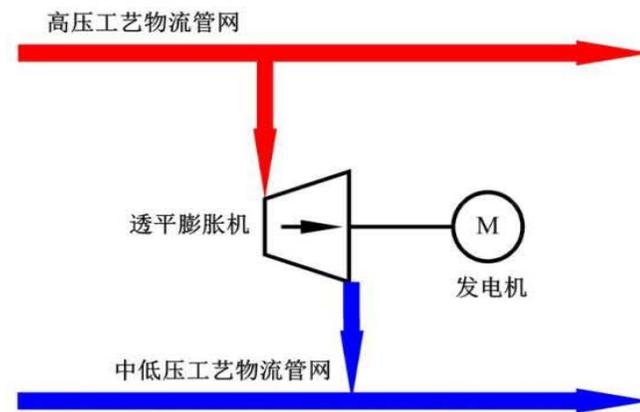
- ✓ 工艺气透平膨胀发电机组

- 工艺气压力：0.1 ~ 6.0MPa

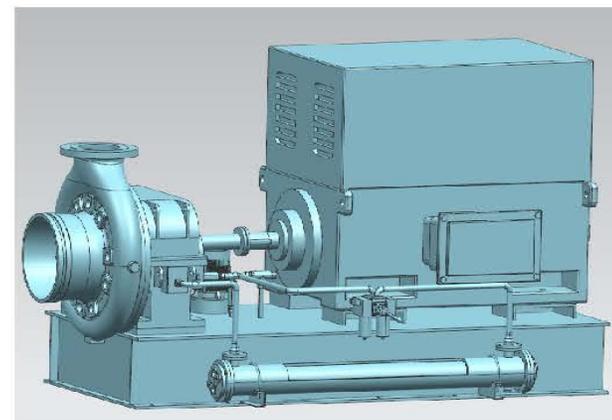
- ✓ 天然气透平膨胀发电机组

- 天然气压力：0.1 ~ 6.0MPa

- 应用领域：可广泛应用于石油化工、煤化工、天然气、冶金行业中的蒸汽、天然气、氮气、空气等装置中。



余压透平膨胀机流程示意图



透平膨胀机发电机组

# 余压利用技术及应用

## 应用业绩

### 高效蒸汽透平发电机组

|      |   |
|------|---|
| 项目名称 | 心连心高效透平发电机组   |
| 项目内容 | 整机设计、制造、供货及安装   |
| 设计参数 | 蒸汽流量：100 t/h；<br>入口压力：3.5 Mpa；<br>入口温度：400 °C；<br>出口压力：1.1 Mpa； |
| 装机功率 | 7000 kW。  |



高效蒸汽透平发电机组

# 余压利用技术及应用

## 应用业绩

### 氧化尾气透平发电机组

|      |  |
|------|--|
| 项目名称 | 氧化尾气透平膨胀发电机组   |
| 项目内容 | 整机设计、制造、供货及安装  |
| 设计参数 | 双氧水装置规模15万吨/年。<br>氧化尾气流量24000Nm <sup>3</sup> /h,<br>压力: 0.16MPa(g),<br>温度: 35℃ |
| 装机功率 | 450 kW。  |

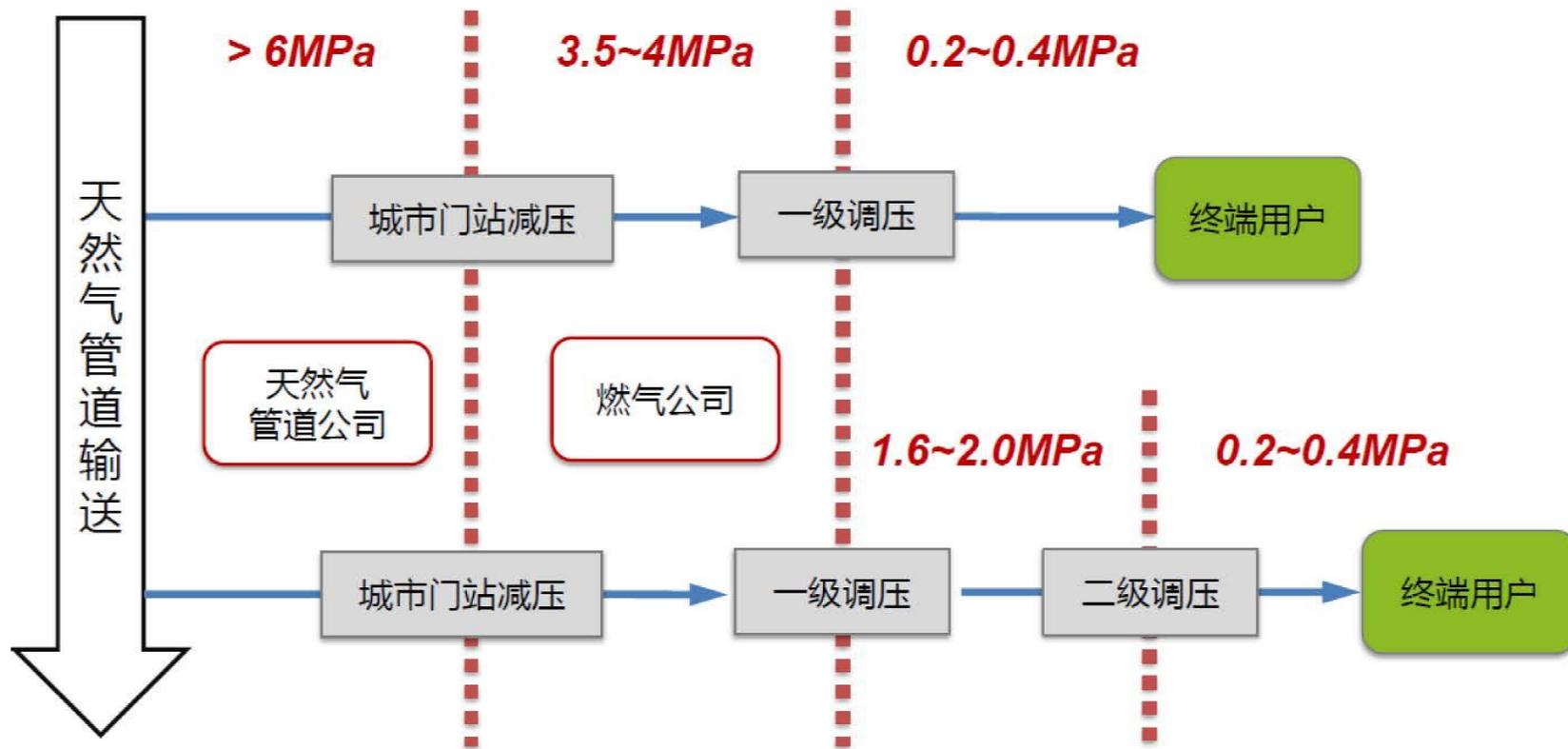


氧化尾气透平发电机组

# 余压利用技术及应用

## 天然气透平膨胀机发电机组

工业用户和城市管网用户通常通过减压阀组（称为调压橇）对上游管道高压天然气进行降压分输给用户。



## 应用业绩

### 天然气减压膨胀发电机组

|             |   |
|-------------|---|
| <b>项目名称</b> | 杭燃集团天然气减压发电机组   |
| <b>项目内容</b> | EPC   |
| <b>设计参数</b> | 天然气流量：24000Nm <sup>3</sup> /h;<br>入口压力：4.1 Mpa<br>入口温度：常温<br>出口压力：0.6 Mpa |
| <b>电机功率</b> | 710kW。  |
| <b>结构形式</b> | 向心透平;<br>撬装机组：透平和齿轮箱一体化设计   |



天然气减压透平膨胀机发电机组照片

# 余压利用技术及应用

## 高效蒸汽压缩机组

- ◆ 采用蒸汽压缩技术可以将低压蒸汽压缩到指定压力，大大提高蒸汽价值。
- ◆ 对于多级压缩机，通常在级间设置喷水减温装置，降低级间蒸汽温度，从而减小压缩蒸汽功耗。
- ◆ 根据用户实际用汽需求，可变频/工频运行。
  - 入口压力：0.01 ~ 1MPa
  - 出口压力：0.6 ~ 4MPa
  - 蒸汽流量：5 ~ 100t/h
  - 吨蒸汽电耗：15 ~ 60度



高效蒸汽压缩机组

# 余压利用技术及应用

## 应用业绩

### 高效蒸汽压缩机组

|      |   |
|------|---|
| 项目名称 | 心连心高效蒸汽压缩机组   |
| 项目内容 | 整机设计、制造、供货及安装   |
| 设计参数 | 蒸汽流量：30 t/h;<br>入口压力：0.55 Mpa (G)<br>出口压力：1.3 Mpa (G) |
| 电机功率 | 2000kW。   |



高效蒸汽压缩机组实物图

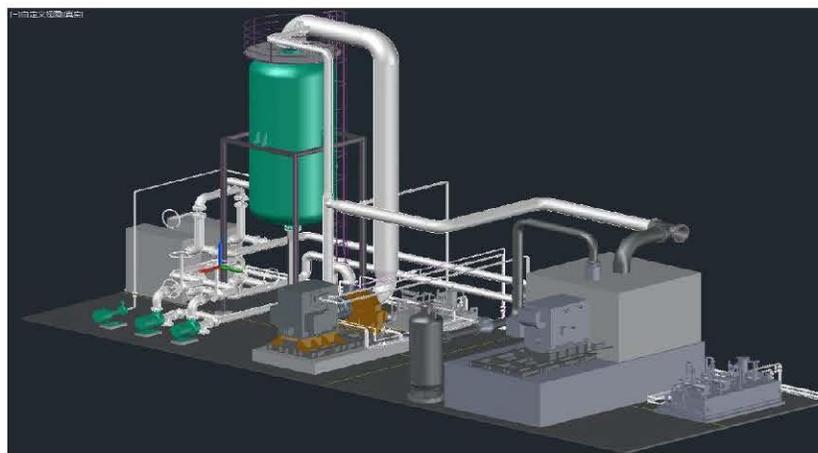
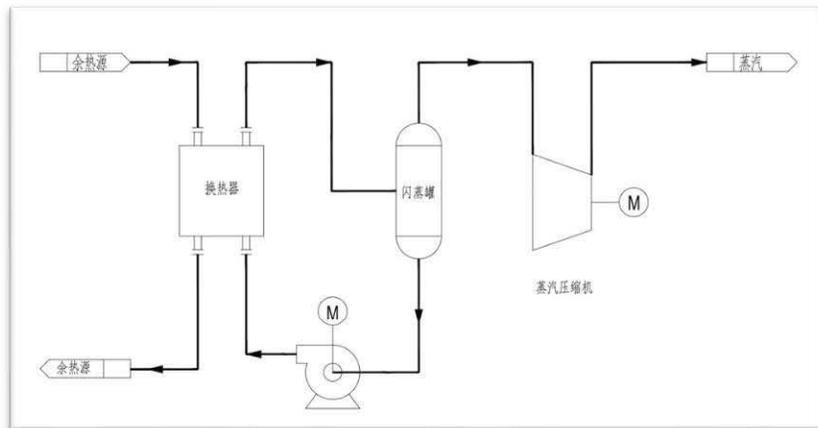
# 余压利用技术及应用

## 低温余热产蒸汽技术

用于回收低温余热（90~200℃）产生低压蒸汽供用户使用。

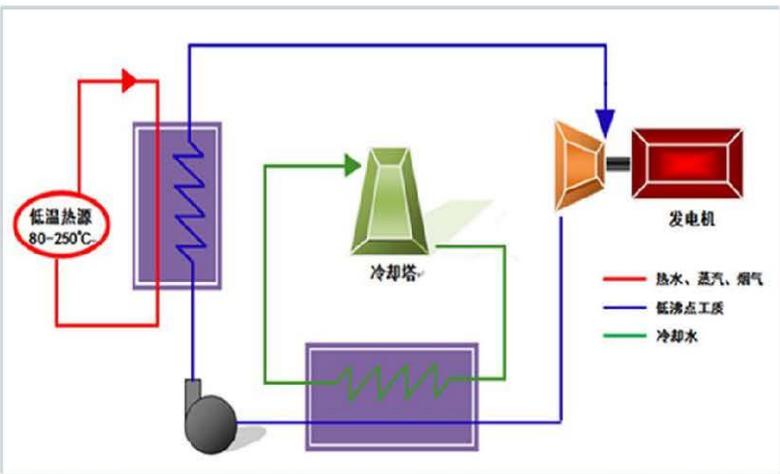
适用工况：

- 余热源：热媒水、塔顶气、汽油、柴油等余热源
- 余热源温度：90~200℃
- 产出蒸汽压力：0.3MPa.g ~ 2.5MPa.g
- 产出蒸汽流量：5 ~ 100t/h
- 吨蒸汽电耗：15 ~ 60kWh



95℃热水产6公斤蒸汽项目案例

# 5、结语



技术



产品



应用

- 高效换热技术
- 蒸汽压缩技术
- 有机朗肯循环发电技术
- 蒸汽膨胀发电技术

- 高效换热设备
- 余热ORC发电机组
- 有机工质透平膨胀机组
- 蒸汽透平/螺杆膨胀机组
- 蒸汽离心/螺杆压缩机组

- 工业低品位余热发电项目
- 工业蒸汽差压发电项目
- 工艺气压差发电项目
- 低压蒸汽升压利用项目
- 低品位余热产蒸汽项目

# 5、结语

## 余热余压利用技术持续创新

- 低温余热ORC发电技术。突破了多项关键技术，完成了核心装备研制，形成了系列化ORC机组产品。
- 低温余热ORC发电机组业绩覆盖300~6000kW，目前已完成万千瓦级ORC开发工作。
- 余压高效利用叶轮机械产品（透平/压缩）掌握了工艺、设备等关键技术。

## 应用领域持续拓展

- 七一一所已完成近50台套低品位余热余压高效利用项目的设计、制造、安装调试。
- 应用领域包括石油化工、天然气、煤化工、钢铁、电解铝、地热等多个行业或领域。

## 挑战与机遇并存，大家共同努力

- 余热余压高效利用技术有助于实现节能减排的目标，在双碳背景下得以快速发展。
- 随着余热余压利用技术应用领域的拓展，需要适应各种复杂的工况，面临的挑战也不断增加。
- 感谢政府及社会各界对余热余压利用产业的大力支持，期待有新的突破和合作。

# 感谢本次专题研讨会! 感谢您的聆听!

杜振兴 Tel: 17717496788  
E-mail: [duzx711@163.com](mailto:duzx711@163.com)



扫一扫上面的二维码图案，加我为朋友。

