

天津大学滨海工业研究院高效分布式太阳能多联供示范项目



此文件仅限于在APAC地区电网阅读使用

一、项目背景及创新性

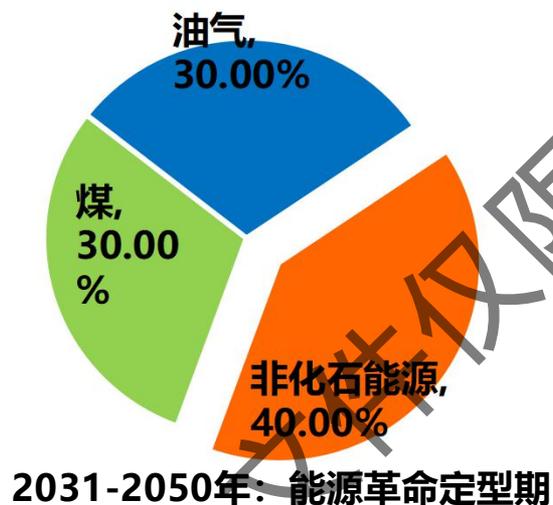
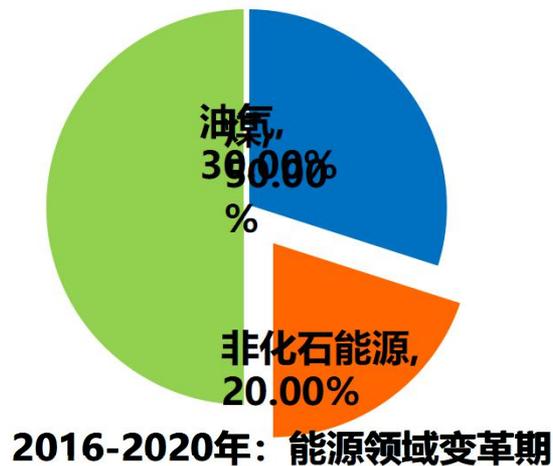
二、措施应用及成果展现

三、同行评价、应用与效益

四、主要知识产权与获奖情况

一、项目背景及创新性

● 太阳能是供能领域最具发展前景的可再生能源技术



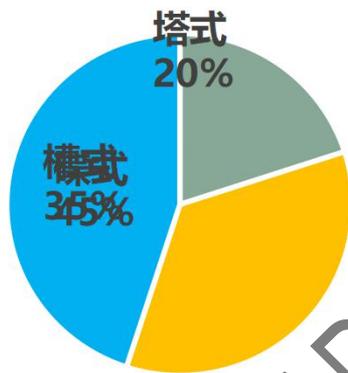
太阳能是未来可再生能源领域的骨干技术，2015-2016年技术投资额最高。

一、项目背景及创新性

集中式供能：输出能源形式单一，占地面积大

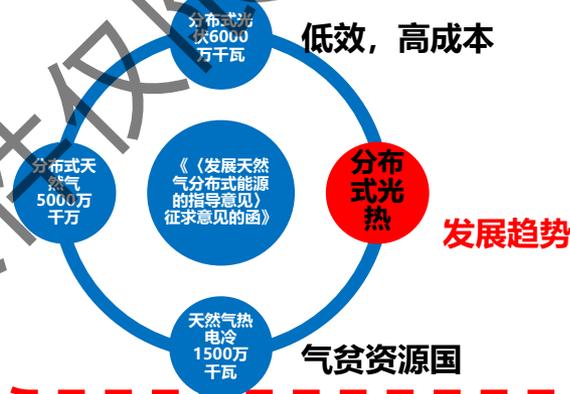


太阳能光热



- 中国光热示范项目在建20座；
- 总规模1.35GW；
- 2019年前投运标杆电价¥1.15/kWh_e

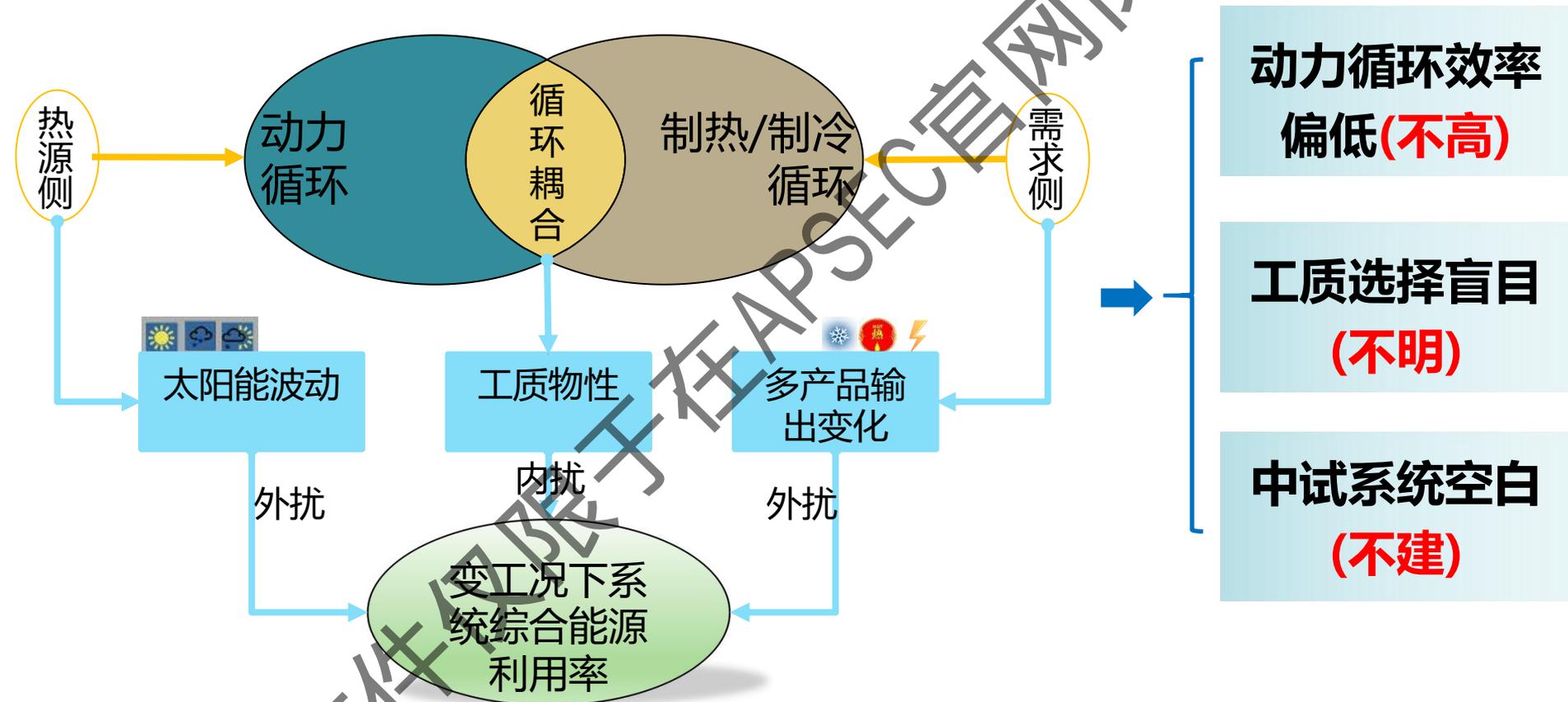
分布式供能：供能形式多样，面积小，布置灵活



- 理论及实验研究为主
- 缺乏中试系统示范
- 推广及标杆电价难规划

一、项目背景及创新性

● 分布式太阳能多联供系统复杂性与技术瓶颈



一、项目背景及创新性

- 依托中低温热能高效利用教育部重点实验室
- 在863计划、国家自然科学基金及系列校企合作项目支持下，历经**15年技术攻关**

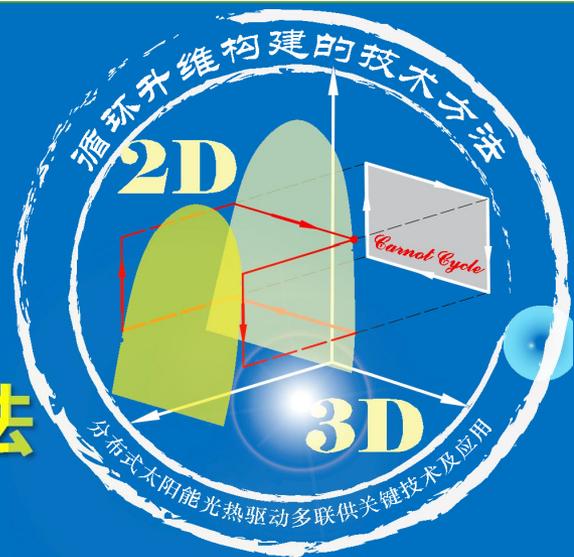


形成了我国自主的核心技术，实现技术辐射与工程应用

二、措施应用及成果展现

措施应用1

循环升维构建的技术方法

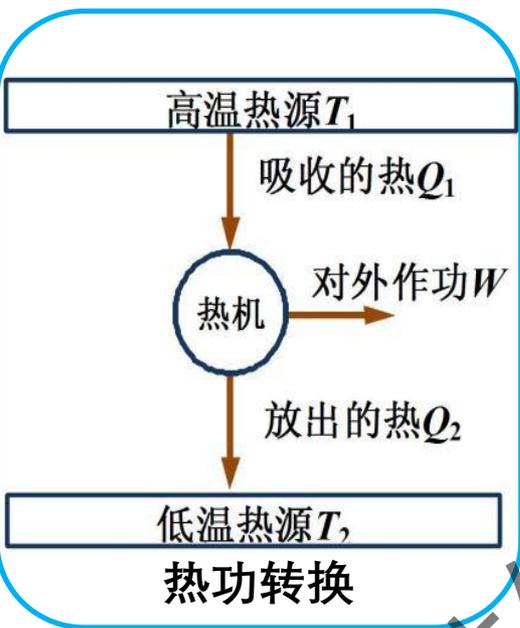


发明背景

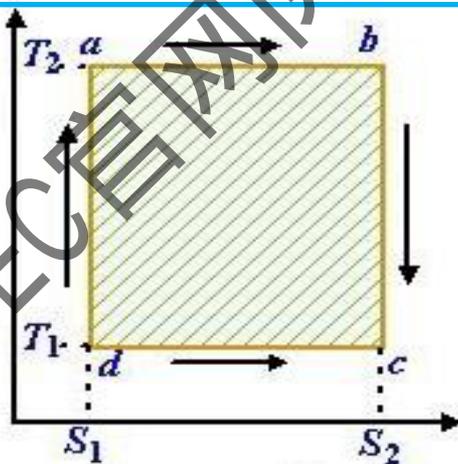
有效措施

指标对比

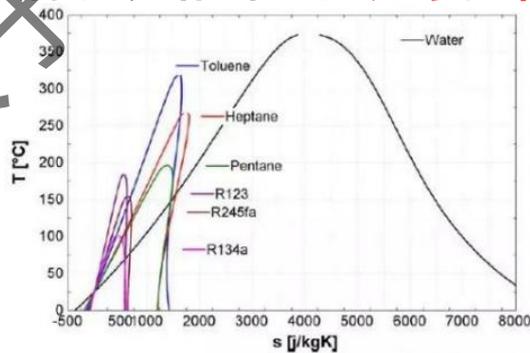
- 热功转换的实际热力循环构建理论是提升循环效率的关键



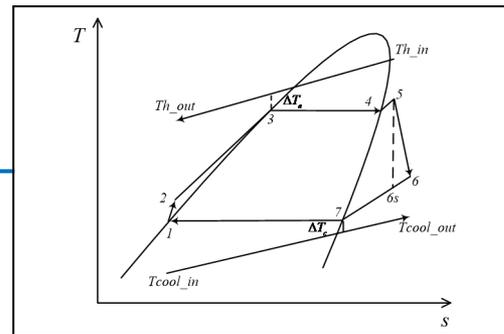
理想热力循环



实际热力循环：热力学完善度普遍小于50%



工质物性



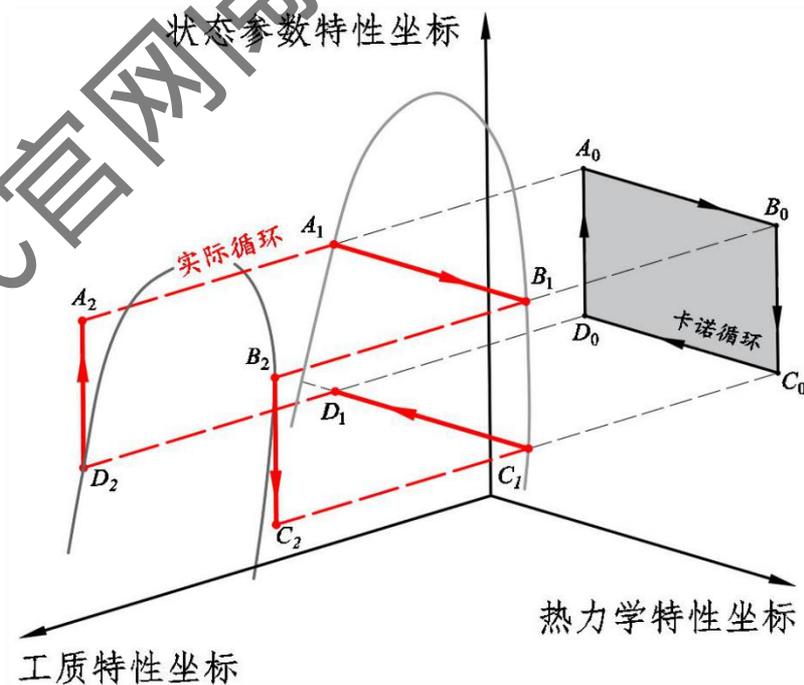
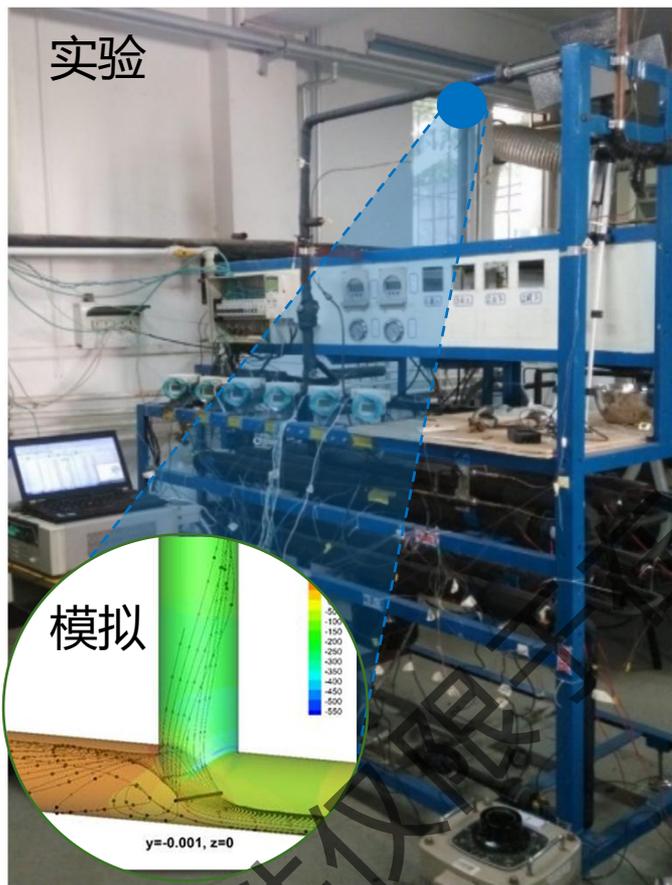
低温热力循环

措施1：循环升维构建的技术方法

发明背景

有效措施

指标对比



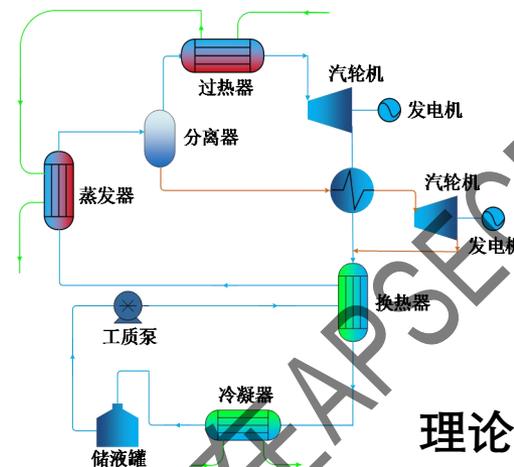
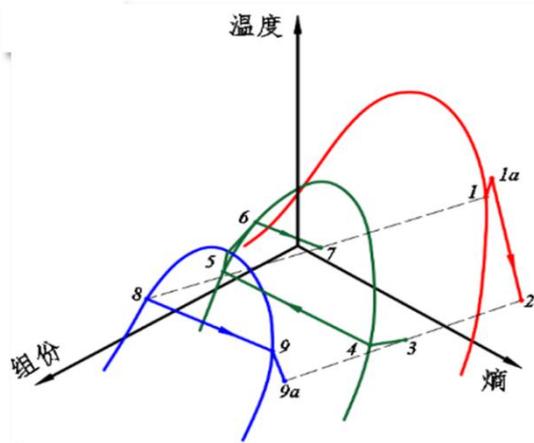
揭示工质流动分离特性



提出循环升维构建理论

措施1: 循环升维构建的技术方法

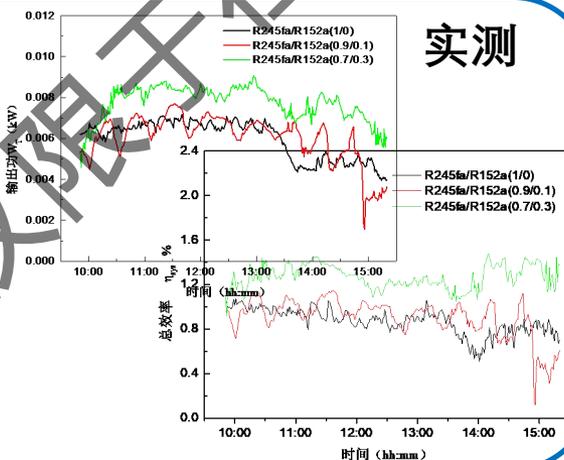
● 发明了高效中低温热力学循环系统



理论

太阳能自复叠ORC

- 循环热效率**提高16.6%**
- 集热面积**减少50%**
- 循环可用能效率**提高7%**



实测

非共沸工质

- 首次论证非共沸工质在ORC中的可行性

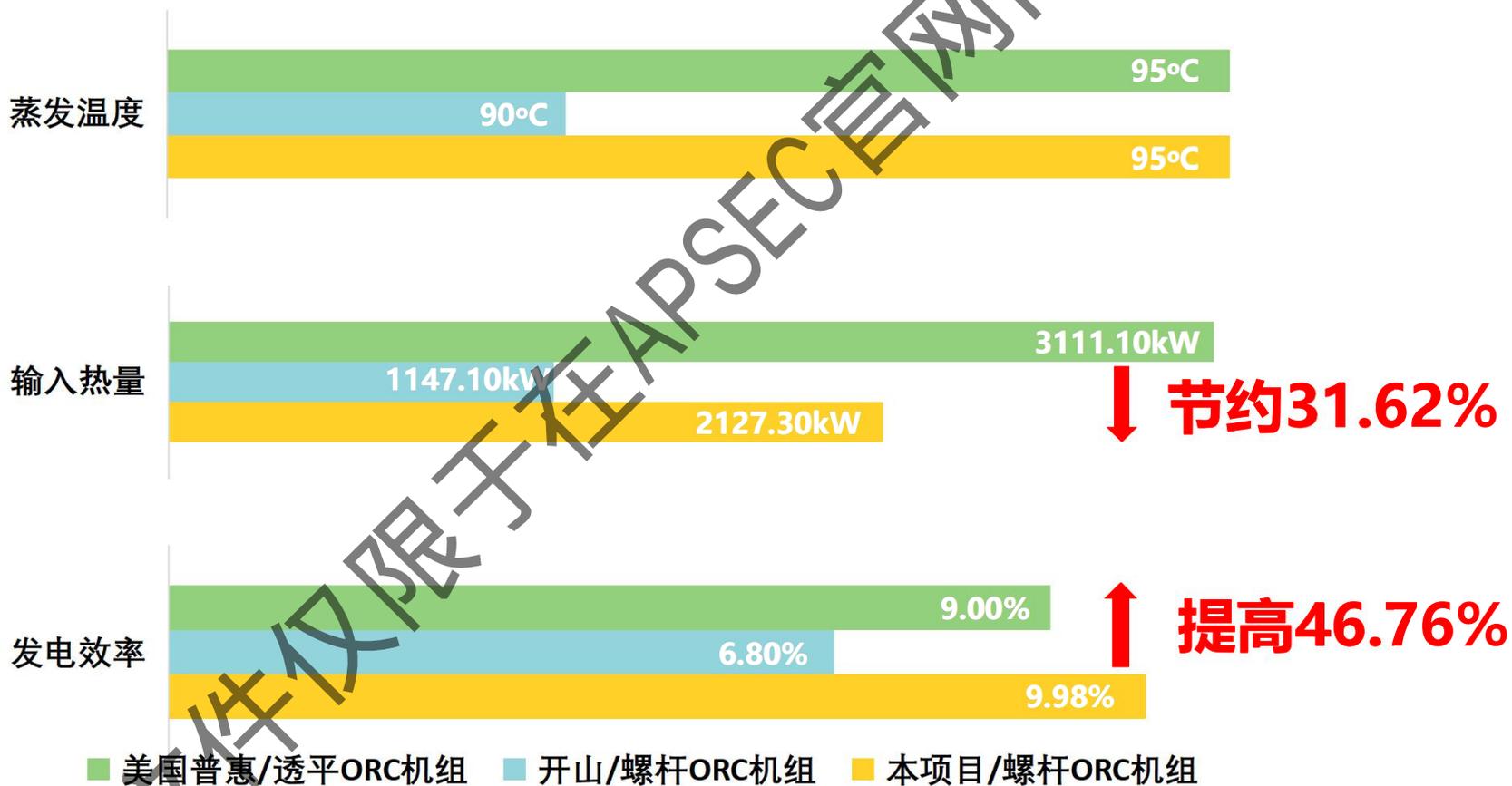
组份比	0.7/0.3	0.9/0.1	1/0
输出功(W)	9.06	7.69	7.17
总效率	1.27%	0.9%	0.87%

发明背景

有效措施

指标对比

● 动力循环ORC机组



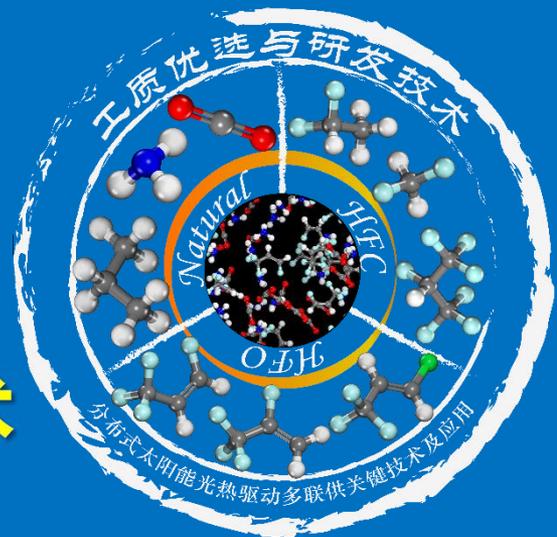
措施1：循环升维构建的技术方法

数据来源于检测报告附件8-1

二、措施应用及成果展现

措施应用2

工质优选与研发技术



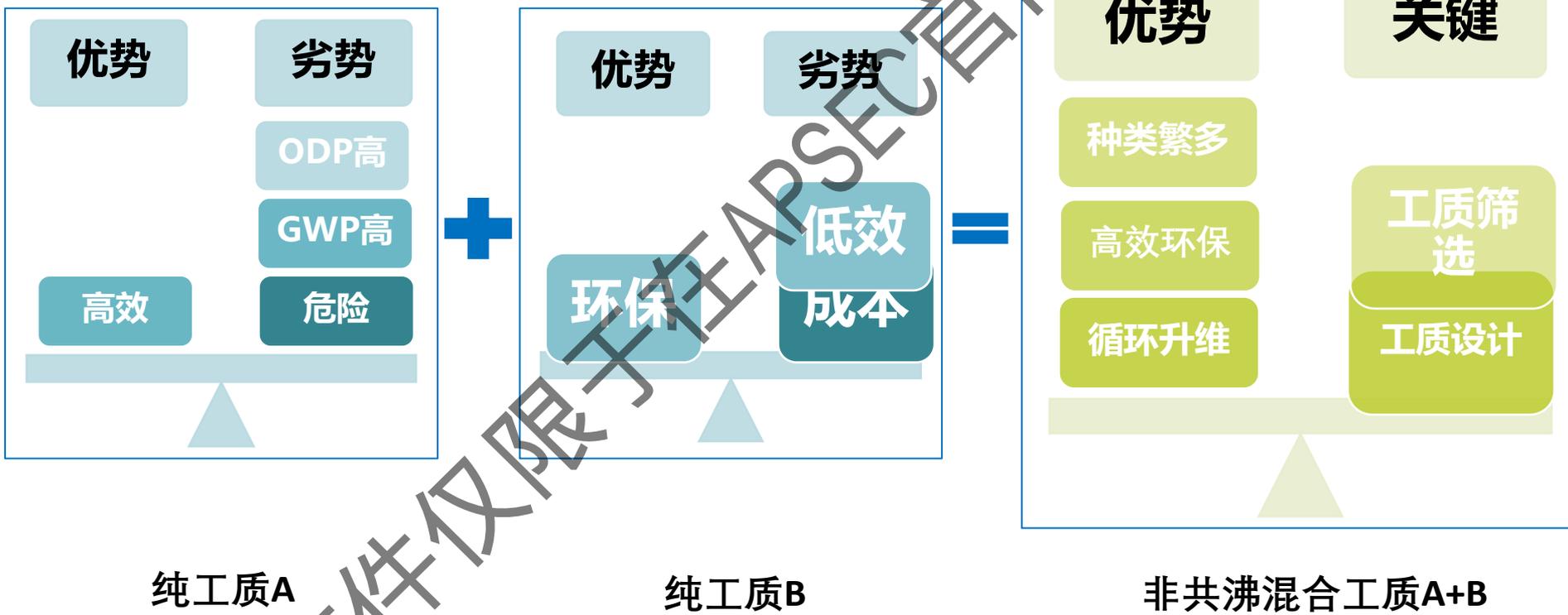
此文件仅限于在APSOL官网阅读使用

发明背景

有效措施

指标对比

- 热力循环工质**科学选择及设计**是循环性能提升的核心问题



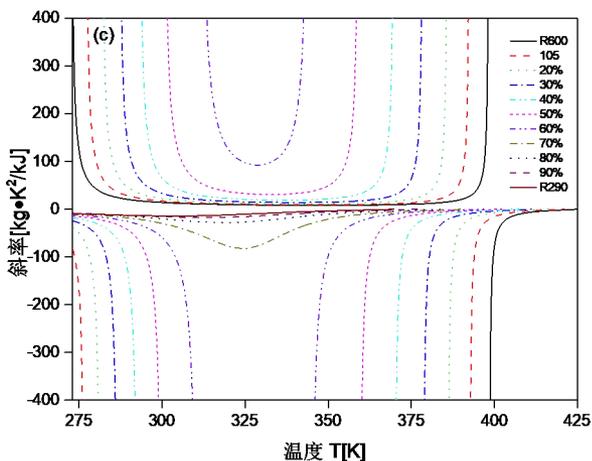
措施2: 工质优选与研发技术

发明背景

有效措施

指标对比

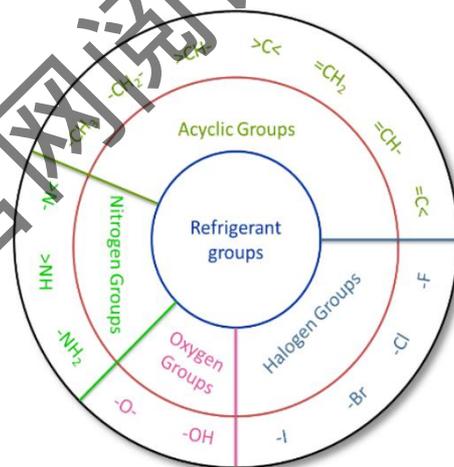
➤ 膨胀过程 (混合工质)



➤ 压缩过程热力循环中工质优选参数:

$$\frac{\alpha_V}{\rho c_p}$$

➤ 工质基团划分及优选



编号	结构	名称	最大总功	蒸发温度	效率
41	CF3-CHF-CF3	R227ea	530.9059	361	0.205822
39	CHF2-CF2-CF3	R227ca	507.7765	364	0.201961
40	CF3-CH2-CF3	R-236fa	468.6136	379	0.214087
24	CH3-CF2-CF3	R-245cb	460.464	380	0.213686
42	CF3-CF2-CF3	R218	434.851	330	0.161501
33	CH2F-CF2-CF3		422.7513	386	0.21015
37	CHF2-CHF-CF3	R-236ea	374.9417	382	0.22224
38	CHF2-CF2-CHF2		361.626	381	0.218069
20	CH3-CHF-CF3		324.9713	379	0.206255
35	CHF2-CH2-CF3	R-245fa	322.6513	379	0.204837
30	CH2F-CHF-CF3	R-245eb	317.161	378	0.20252
23	CH3-CF2-CHF2		312.3654	378	0.198448
32	CH2F-CF2-CHF2	R-245ca	307.2265	378	0.198558
16	CH3-CH2-CF3	R-263fb	288.7313	378	0.191119
27	CH2F-CH2-CF3		278.0363	376	0.184324

揭示工质饱和气相温熵特性

➡ 建立优选工质库, 最大化输出功

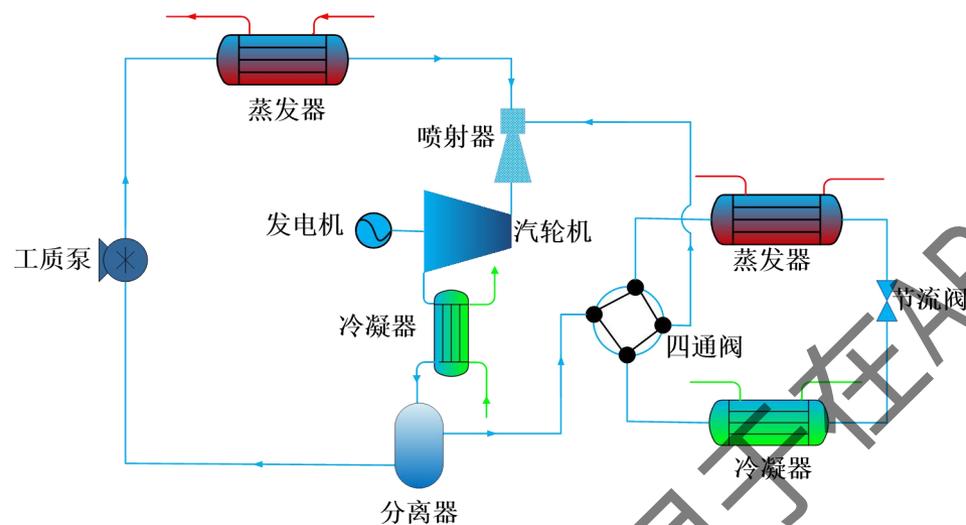
措施2: 工质优选与研发技术

发明背景

有效措施

指标对比

● 发明了含R227ea的多组元非共沸工质



内置热泵的有机朗肯循环系统

方案	工质	组分比
1	R227ea/R245ca	5-95/95-5%
2	R227ea/R601	5-95/95-5%
3	R227ea/R601a	5-95/95-5%
4	R227ea/R236ea/R245ca	5-95/2-80/3-93%
5	R227ea/R236ea/R601	5-90/5-80/5-90%
6	R227ea/R236ea/R601a	5-90/3-80/5-92%
7	R227ea/R245ca/R601	5-90/5-90/5-80%
8	R227ea/R290/R601a	5-95/0-90/5-90%

单位质量的非共沸工质R227ea/R236ea/R245ca(5%/8%/87%)
循环输出功为21.94kJ/kg，循环效率为9.4%，相对提高**11.9%**。

措施2：工质优选与研发技术

● 含R227ea的多组元非共沸工质与国内外先进技术对比



措施2: 工质优选与研发技术

二、措施应用及成果展现

措施应用3

耦合技术及中试系统设计研发

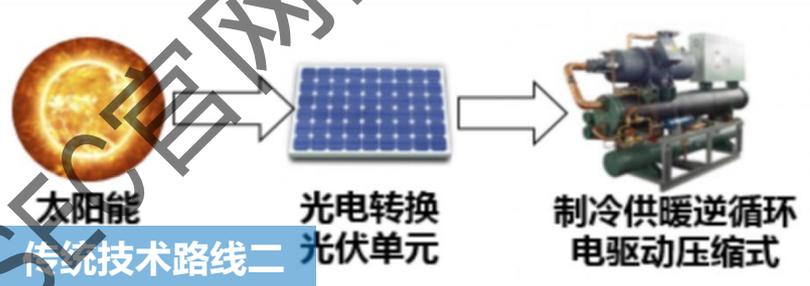
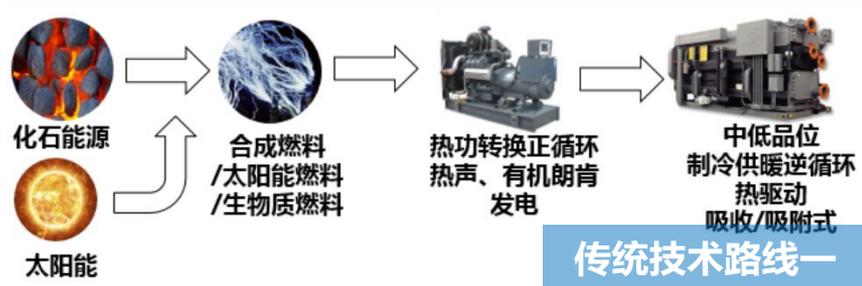


发明背景

有效措施

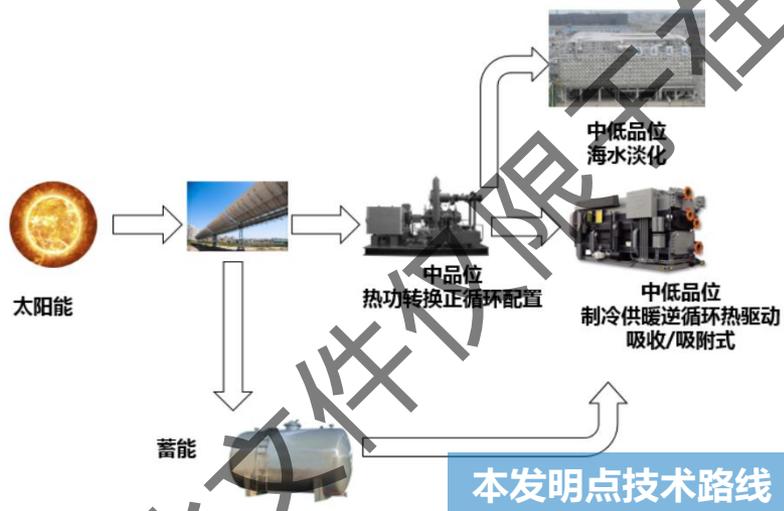
指标对比

● 耦合方案及中试系统是分布式系统推广的瓶颈



波动性强；综合用能效率低

综合利用率高；可再生能源集成环节单一



亟待突破：

- 综合利用率高；
- 可再生能源直接驱动；
- 非碳比例高；
- 对一次能源依赖性进一步降低

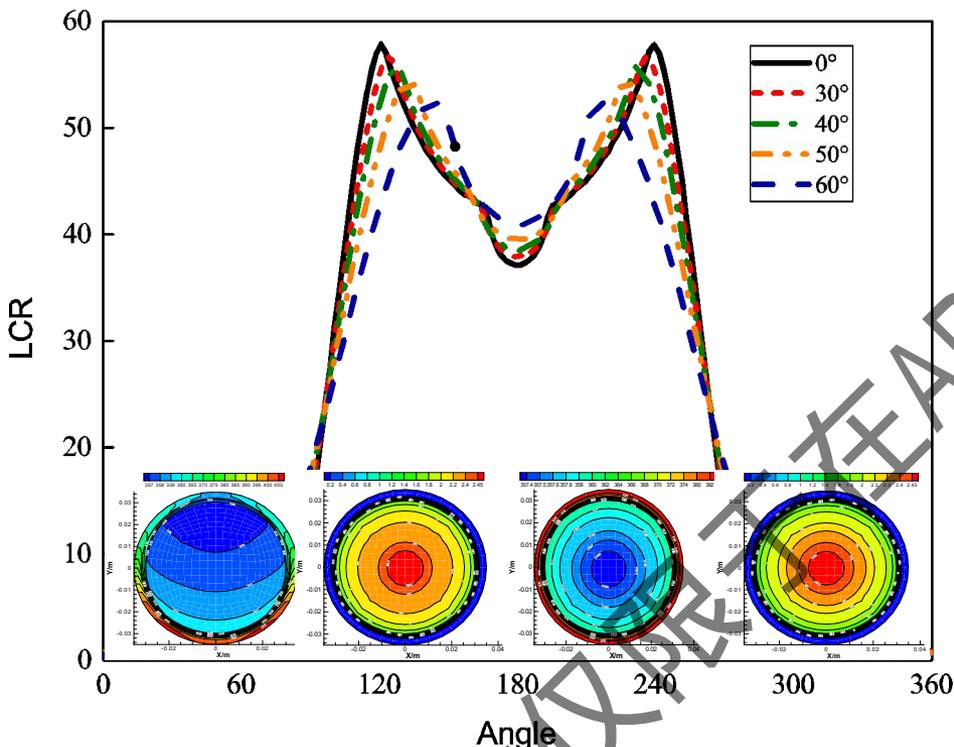
措施3：耦合技术及中试系统设计研发

发明背景

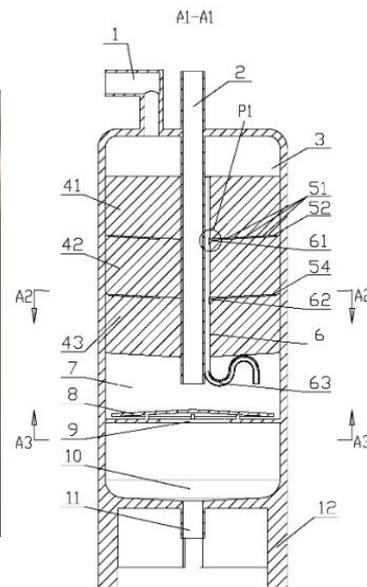
有效措施

指标对比

● 关键部件技术突破



集热器不均匀受热研究



实现99%以上油分，成品率
95%以上双口热压封接，
600W/cm²传输热流密度等

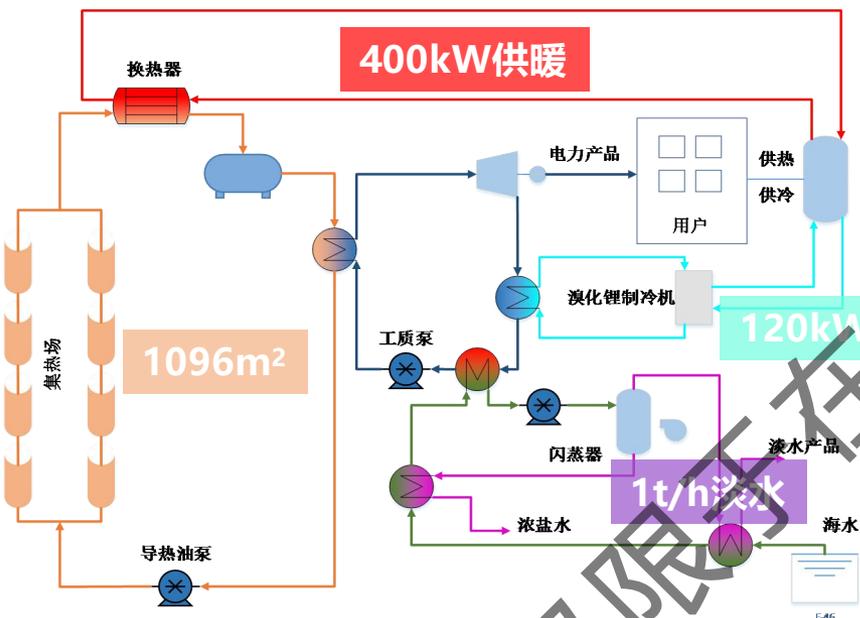
措施3: 耦合技术及中试系统设计研发

发明背景

有效措施

指标对比

● 国际首套中试级太阳能冷、热、电及海水淡化四联供系统



太阳能综合利用率达到50%，提升13%。

措施3：耦合技术及中试系统设计研发

发明背景

有效措施

指标对比

● 太阳能四联供系统与国内外先进技术对比

对比集成技术		台湾工业技术研究所 (2009)	波兰西里西亚大学 (2016)	加拿大安省理工大学 (2016)	本项目
集成子系统	供热	√	√	√	√
	制冷	√	√	√	√
	储热	√	√	√	√
	供电	-	√	√	√
	海水淡化	-	-	-	√
	效率	12.80%	10.50%	37.00%	50.00%

在国际上**首次建成**集制冷、供热、发电以及海水淡化为一体的太阳能四联供系统，**达到50%太阳能综合利用率。**

三、同行评价、应用与效益

● 同行评价

➤ 各创新点通过高新技术**成果鉴定**，获得**专家一致认可**，并受到国际同行的广泛**肯定及引用**。



同行评价1

Available online at www.sciencedirect.com
 ScienceDirect
 ELSEVIER
 Energy Procedia 101 (2016) 504–511
 71st Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association, ATI2016
 September 2016, Turin, Italy
 Development and Experimental Characterization of a Small
 Solar Powered Organic Rankine Cycle (ORC).
 Rodolfo Tacconi^a, John Besong Obi^b, Maurizio De Lucia^a, Diego Micheli^a, Gi
 Toninato^c
^a University of Trieste, Department of Engineering and Architecture, via A. Valerio 10, 34127, Trieste-Italy
^b University of Florence, Department of Industrial Engineering, via S. Maria 1, 50139, Florence-Italy
^c KATMACOR, via del commercio 34, 41100, Bologna-Italy

consumed by the auxiliaries were 3.2% and 4.2% respectively. Successively Wang [13] presented a very small ORC system equipped with flat plate collectors with the aim of comparing different working fluids, both pure substances and mixtures. The experimental tests confirmed the potentiality of zeotropic mixtures of achieving good performance in ORC applications due to their typical non isothermal phase changes and revealed the importance of the optimization of the working fluid flow rate. A recent study by Freeman *et al.* [14] is also available on the performance and economic

意大利里亚斯特大学 Tacconi教授，引用非共沸工质在太阳能ORC中的循环研究。



同行评价2

Applied Thermal Engineering
 Dynamic performance estimation of small-scale solar cogeneration with an organic Rankine cycle using a scroll expander
 M. Salsano^a, P.A. Jacobs, H. Gurgenci
ABSTRACT
 A scroll expander is modeled and parameter values are estimated experimentally.
 The model is used to assess the dynamic performance of the cogeneration.
 The cycle thermal efficiency is 3.4%.
 The cycle thermal efficiency is enhanced as just as a by-product of heating water.
KEYWORDS
 Organic Rankine cycle; Cogeneration; Scroll expander; Dynamic performance; Solar energy
 A performance and design optimisation study by Quoo [5] based on low-cost solar ORCs provides modelling re solar thermal electricity generation for remote off-grid developing countries. An overall steady-state electrical efficiency up to 8% was achieved at a nominal working point, an pointed out that a dynamic model is needed to evaluate the energy output. A comparison of working fluids showed the best performer was Solkatherm SES36, with R245fa also being a good performer. A more complex solar Rankine cycle is proposed by Bao *et al.* [6]. This configuration consists of two collectors, expanders, a regenerator and an internal heat exchanger, and utilises a zeotropic mixture Isopentane/R245fa at multiple mass fractions to attempt to optimise the thermal efficiency. The thermal efficiency of this system was found to be significantly higher than a single-stage system using pure Isopentane or R244fa.

澳大利亚昆士兰大学 Twomey教授，对循环升维构建理论下的自复叠ORC研究给予充分肯定。



同行评价3

Available online at www.sciencedirect.com
 ScienceDirect
 ELSEVIER
 Energy Procedia 12 (2012) 101–103
 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Applications
 [ICSEEA 2012]
 Absorber layer addition and thermal storage media comparison for concentrated solar power plant optimization
 Tinton Dwi Atmaja^a* and Ghalya Pika^a
^a Research Centre for Electrical Power and Mechanics - Indonesian Institute of Science, Bandung 40132, Indonesia

The paper from exchanger and exhaust steam of generator B will be combined and enter the regenerator releasing the heat to preheat the working liquid from the pump. The cooled liquid exiting the regenerator will be condensed and enter the storage tank. The cycle recommence as the liquid from the storage tank drawn out to enter the pump. A research conducted by J.J. Bazo *et al.* [11] stated that the use of regenerator can increase the thermal efficiency. And the mixing of composite working fluid can enhance the ability to reclaim heat from expander exhaust more effectively.

印尼Atmaja教授，基于自复叠ORC开展循环稳定性研究。



成果鉴定

科技成果评价指南
 科学技术成果鉴定证书
 证书编号: 2017-04-01
 鉴定日期: 2017年4月19日
 成果名称: 分布式太阳能热驱动多联供关键技术及应用
 完成单位: 上海交通大学
 鉴定机构: 上海市科技评估中心
 鉴定日期: 2017年4月19日
 鉴定机构: 上海市科技评估中心
 鉴定日期: 2017年4月19日

2017年4月19日天津市高新技术成果转换中心，鉴定本项目技术水平处于国内领先地位。

三、同行评价、应用与效益

● 2010-2016年间，全球投产**20余套**，总装机容量达到**2300kW**。

➢ 上海汉钟精机股份有限公司

- 上海热油驱动10kW双螺杆膨胀机ORC机组 (2014)
- 山东热水源1320kW双螺杆膨胀机ORC机组 (2016)
- 河南热水源3600kW双螺杆膨胀机ORC机组 (2017)
- 台湾蒸汽驱动10kW螺杆膨胀机ORC机组 (2010)
- 台湾热水源50kW螺杆膨胀机ORC机组 (2011)
- 台湾地热源50kW螺杆膨胀机ORC机组 (2011)
- 中国热水源50kW螺杆膨胀机ORC机组 (2012)
- 中国热水源20kW螺杆膨胀机ORC机组 (2013)
- 泰国热水源20kW螺杆膨胀机ORC机组 (2013)
- 台湾热水源200kW螺杆膨胀机ORC机组 (2014)
- 台湾热油驱动20kW螺杆膨胀机ORC机组 (2014)
- 台湾地热源150kW轴流涡轮ORC机组 (2016)
- 台湾地热源250kW轴流涡轮ORC机组 (2016)

➢ 台湾汉力能源科技股份有限公司

- 大陆太阳热水10kW螺杆膨胀机ORC机组 (2015)
- 泰国热水源20kW螺杆膨胀机ORC机组 (2015)
- 大陆热水源10kW螺杆膨胀机ORC机组 (2015)
- 泰国烟气驱动230kW螺杆膨胀机ORC机组 (2015)
- 菲律宾蒸汽驱动136kW螺杆膨胀机ORC机组 (2015)
- 大陆热油驱动210kW螺杆膨胀机ORC机组 (2016)
- 台湾热水源10kW螺杆膨胀机ORC机组 (2016)
- 台湾烟气驱动200kW螺杆膨胀机ORC机组 (2016)
- 大陆热水源660kW螺杆膨胀机ORC机组 (2016)

应用证明

项目名称	ORC低温余热发电机组
应用单位	汉力能源科技股份有限公司
应用成果起止时间	2010年3月~2016年2月
应用单位地址与邮编	
应用单位联系人电话	郭启豪 +886-918-116-769

汉钟精机股份有限公司基于往复式双螺杆压缩机的产品技术，从2008年起设计、开发往复式双螺杆膨胀机，并作为有机朗肯循环(Organic Rankine cycle, ORC)发电机的核心引擎，开发ORC发电机组。2010年起开始推出螺杆ORC产品系列(发电功率10kW~300kW)，并应用于工业余热/废热、地热等用途。

鉴于节能减排及再生能源发电的需求，2015年成立汉力能源科技股份有限公司专注ORC机组研制、商务推广、及后期维修工作。同时，因应机组发电容量的需求，也设计、开发螺杆ORC产品系列(发电功率200kW~1,500kW)。汉钟、汉力的ORC应用实绩详列于下表。

年	发电量(kW)	核心引擎	数量	建设地点	热源形式	供货商
2010	10	螺杆膨胀机	1	台湾	蒸汽	汉钟
2011	50	螺杆膨胀机	1	台湾	热水	汉钟
2011	50	螺杆膨胀机	1	台湾	地热水	汉钟
2012	50	螺杆膨胀机	1	中国	热水	汉钟
2013	20	螺杆膨胀机	1	中国	热水	汉钟
2013	20	螺杆膨胀机	1	泰国	热水	汉钟
2014	200	螺杆膨胀机	1	台湾	热水	汉钟
2014	20	螺杆膨胀机	1	台湾	热油	汉钟
2015	10	螺杆膨胀机	1	中国	太阳能	汉力
2015	20	螺杆膨胀机	1	泰国	热水	汉力
2015	10	螺杆膨胀机	1	中国	热油	汉力
2015	230	螺杆膨胀机	1	泰国	烟气	汉力
2015	136	螺杆膨胀机	1	菲律宾	蒸汽	汉力
2016	210	螺杆膨胀机	1	中国	热油	汉力
2016	10	螺杆膨胀机	1	台湾	热水	汉力
2016	200	螺杆膨胀机	1	台湾	烟气	汉力
2016	150	轴流涡轮	1	台湾	地热水	汉钟
2016	330	螺杆膨胀机	2	中国	热水	汉力
2016	250	轴流涡轮	1	台湾	地热水	汉钟

特此证明：
应用单位（公章）：

三、同行评价、应用与效益

● 应用与经济效益

- 填补中试产业空白，建成国际**首套**示范系统，**供电200kW**，**供冷1500平方米**，**供热10000平方米**，**海水淡化1t/h**；
- 关键技术出口**泰国、菲律宾**等国外市场，**反馈优良**。
- 累计为国家创收外汇超过**1000万美元**，**新增税收42.15万人民币**

单位：万元人民币

项目总 投资额	3237.91		回收期 (年)	
	新增利润	新增税收	创收外汇 (美元)	节支总额
2014	7.2	1.5		
2015			413	
2016	100	20.94	614	
2017	94.86	19.71		
累计	202.06	42.15	1027	

经济效益证明

经济 效益 证明

项目 名称 余热有机朗肯循环(ORC)发电机组

应用 证明

项目名称 分布式太阳能光热驱动多联供关键技术及应用

应用单位 北洋国家精微技术工程发展有限公司

HANPOWER ENERGY TECHNOLOGY

同时

写与天津大学有合作关系

2015 年因天津大学赵力教授在南海测试场的太阳能集热器热能应用参数条件及需求，设计、开发螺杆 ORC 机组，机组发电功率及接口规格详列如下。

2016 年 3 月于以力在台湾的 ORC 性能测试站完成机组性能测试，并运往天津南海测试场装机，展示研究成果。

R245fa ORC Installed with 50Hz, 380V, 3φ Induction Generator⁽¹⁾

菲律宾134kW螺杆ORC机组

A 180kW Back-Pressure Steam Turbine and ORC The Seller: HanPower Energy Technology Co., Ltd. Electrical Power Generator Set

泰国230kW螺杆ORC机组

Development and Application of Organic Rankine Cycle with 230kW Power Class The Seller: Hanbell Precise Machinery Co., Ltd.

Sales Agreement

Between

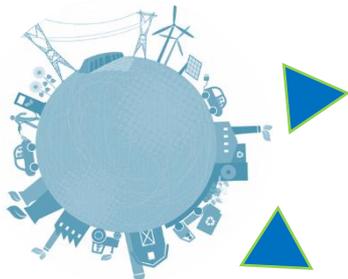
Hanbell Precise Machinery Co., Ltd. The Buyer: Siam Yamato Steel Co., Ltd.

And

Siam Yamato Steel Co., Ltd.

三、同行评价、应用与效益

● 社会效益



科学技术

2020年全国5000万千瓦分布式能源系统规划中，实现本项目技术推广占比10%；2030年一次能源消费总量60亿吨标煤，非化石能源占20%，人均年电力消费6000千瓦时，推广分布式太阳能ORC发电占比5%。

环境效益

中试系统每年节约标煤1072.83吨，减排约CO₂2674.57吨，SO₂80.46吨，NO_x40.23吨。

人才培养

引进人才

2

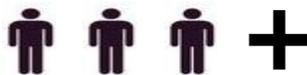
博士



培养人才

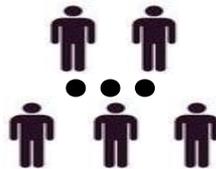
3

博士



18

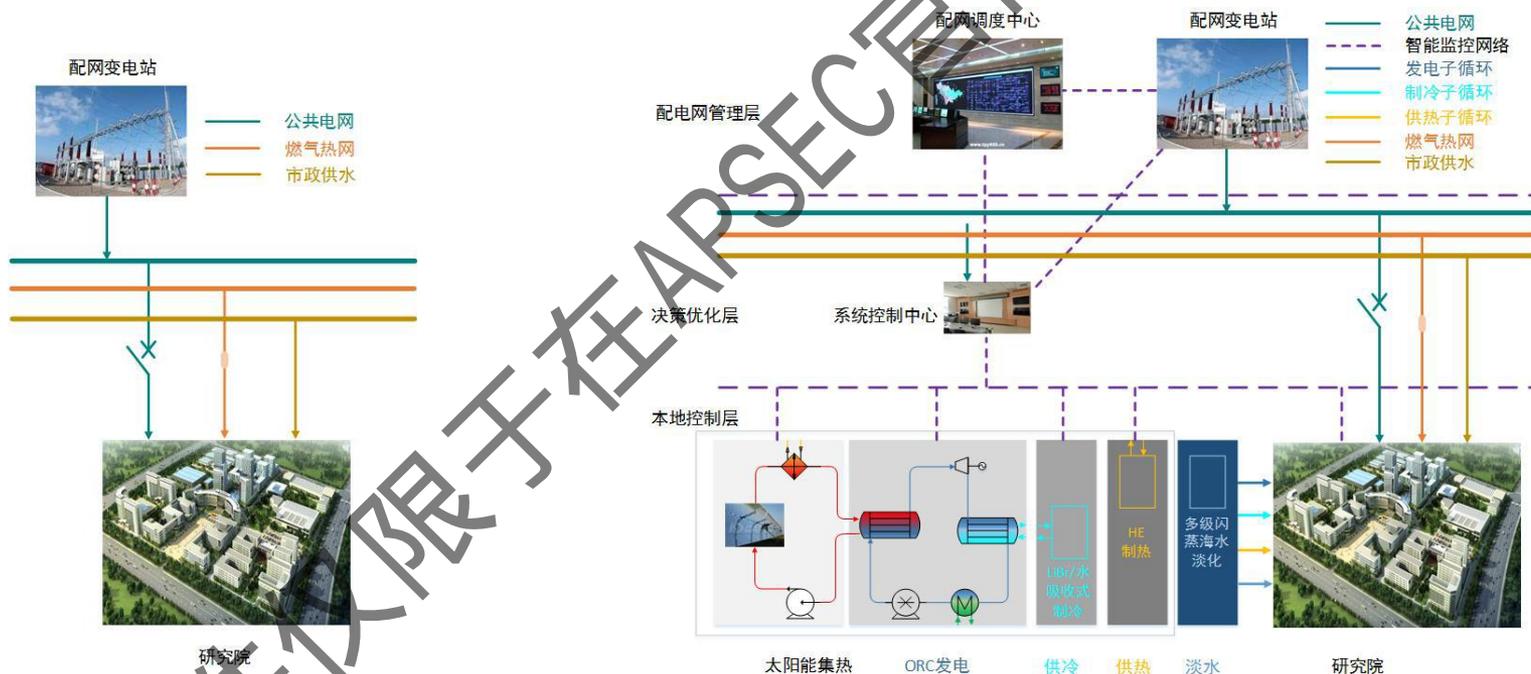
硕士



此文件仅限于内部阅读使用

三、同行评价、应用与效益

- 区域影响力
- 滨海工业研究院区域能源消费结构变革



传统化石能源消费



可再生能源渗透

三、同行评价、应用与效益

● 对外宣传



国家光热产业联盟官方网站报道



光热联盟研究生论坛现场学习



本科生现场见习



示范项目宣传模型



APEC项目研讨会——太阳能应急避难所解决方案参会代表考察

四、主要知识产权与获奖情况

- 授权国家发明专利**15项**，实用新型专利**4项**，申请国际专利**1项**
- 发表论文**41篇**，其中SCI论文**30篇**，他引**589次**，ESI高被引**3篇**
- 获**国际可持续能源技术协会2017年发电技术创新奖**
- **全国大学生节能减排大赛一等奖**



谢谢!

此文件仅限于在APSEC官网阅读使用