



- TIAN RAN QI YA CHA FA DIAN ZHI LENG XI TONG

# 建设压差发电 打造负碳厂站

中国科学院工程热物理研究所

中科九朗（北京）能源科技有限公司



2025-10-28





# 目录

CONTENTS

01

单位介绍

02

压差发电系统

03

项目业绩

04

产业化情况

05

合作模式



中国科学院工程热物理研究所  
Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy of Sciences

01

# 单位介绍





## 中国科学院工程热物理研究所

研究所前身系1956年创建的中国科学院动力研究室。

近70年来，围绕国家重大战略需求，聚焦工程热物理领域的重大科技问题，致力能源、动力领域的应用基础研究、关键技术攻关和系统集成，不断夯实“能源科学与技术”和“航空宇航科学与技术”学科基础，打造能源、动力领域国际知名的一流研究所，为我国能源动力的可持续发展提供创新思想、创新技术和创新人才。

科研实力



12个  
研究单元



7个  
国家级研究机构



8个  
科研试验基地



6个  
省部级重点实验室



300+项  
2022年承担项目



40+项  
国家级二等和院、部级二等奖以上奖项



90+亿元  
2022年合同经费



50+项  
国家级三等和院、部级三等奖



历史:

1956 年动力实验室, 1980 年恢复建制

研究所奠基人

吴仲华先生 ( 1917 - 1992 )

提出的著名理论:

- ◆ “叶轮机械三元流动理论”
- ◆ “温度对口, 梯级利用” 科学用能思想

## 在动力室、工程热物理所工作过和当选的院士



王补宣



蔡睿贤



吴承康



闵桂荣



徐建中



蒋洪德



金红光



朱俊强

### 新型压缩空气储能技术 (天然气压差发电)



传统压缩空气、蓄热式压缩空气、液态空气、超临界空气储能系统研究。1-300MW先进压缩空气储能系统，并进行工程示范与产业化。

### 蓄冷蓄热系统



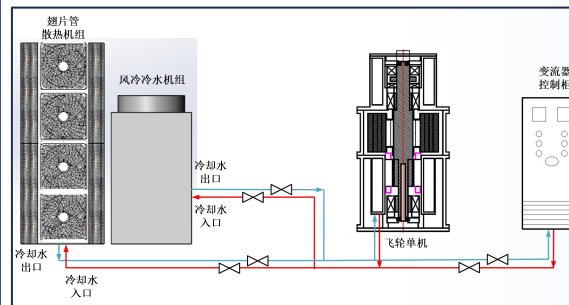
大规模高效低成本蓄冷蓄热系统研究，包括蓄冷蓄热材料、蓄冷蓄热换热器、蓄冷蓄热系统的研发与产业化。

### 新型抽水蓄能系统



微型抽水蓄能、海水抽水蓄能等新兴抽水蓄能系统的关键技术研发、系统集成与示范。

### 高效飞轮储能技术



大功率飞轮储能定转子部件产热传热机理、先进高效散热系统设计等研究，完成飞轮储能单体与阵列的高效热控系统研制。



02

# 压差发电系统



02

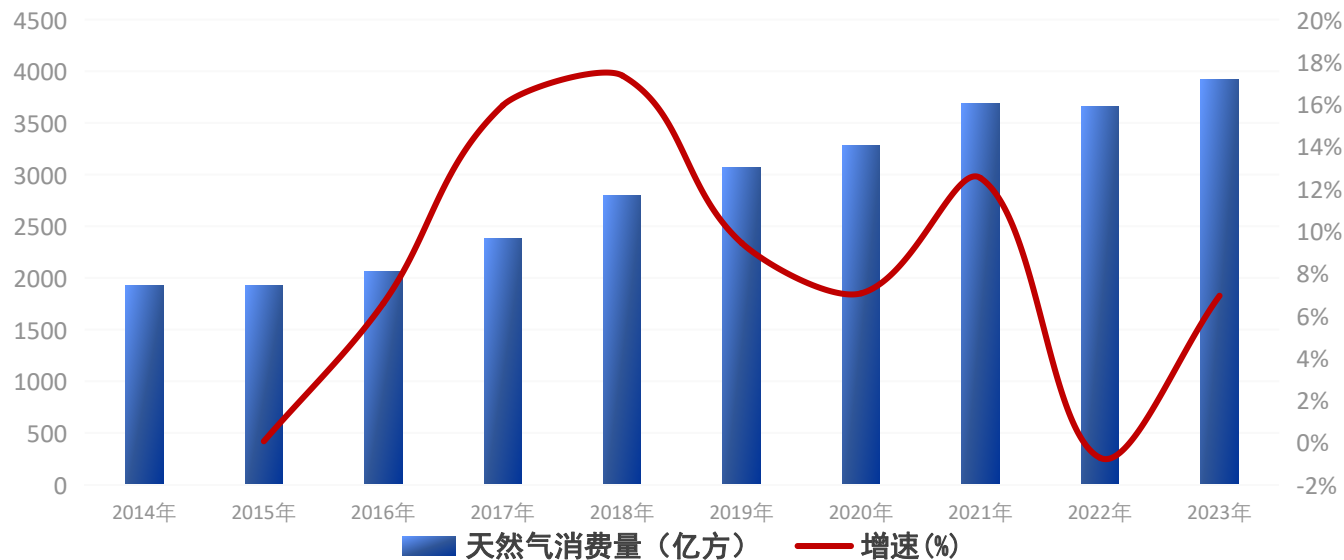
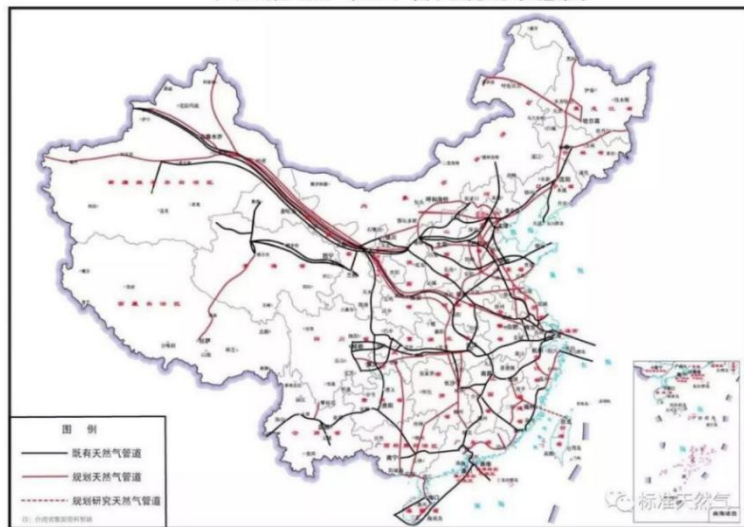
# 压差发电 — 运行视频



中国科学院工程热物理研究所  
Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy of Sciences



中长期天然气主干管网规划示意图



### 高压输送

天然气长输管线输气压力一般为 6.3-12 MPa

### 用气压力低

城市燃气管网压力最高只有 4 MPa，而工业窑炉用气压力一般在 0.1 MPa左右

### 巨大压差

需要逐级减压才能应用，主管线和用户管线之间存在较大压差

### 大量压力能可回收

利用调压阀调压,不仅将压力能白白浪费,还容易造成“冰堵”等安全隐患



传统天然气调压设备



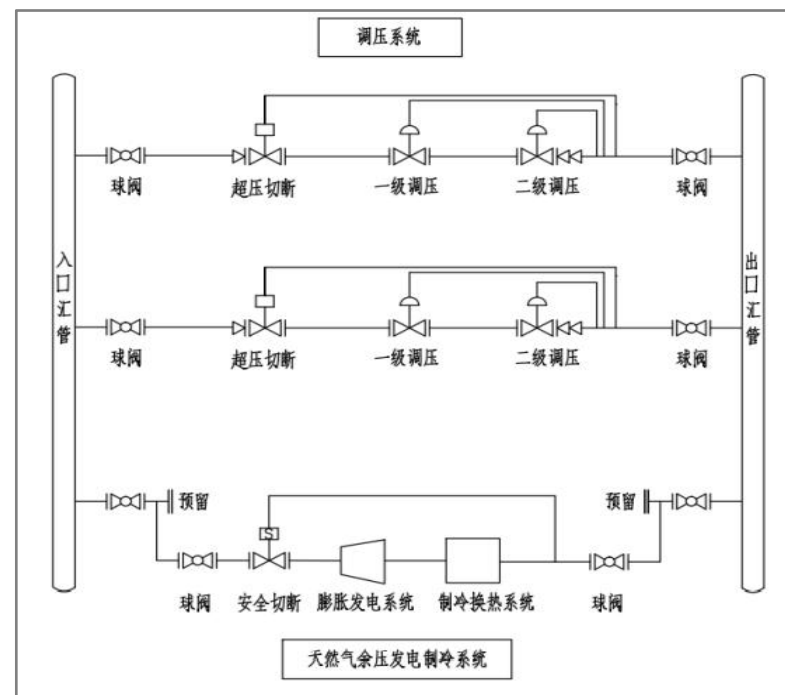
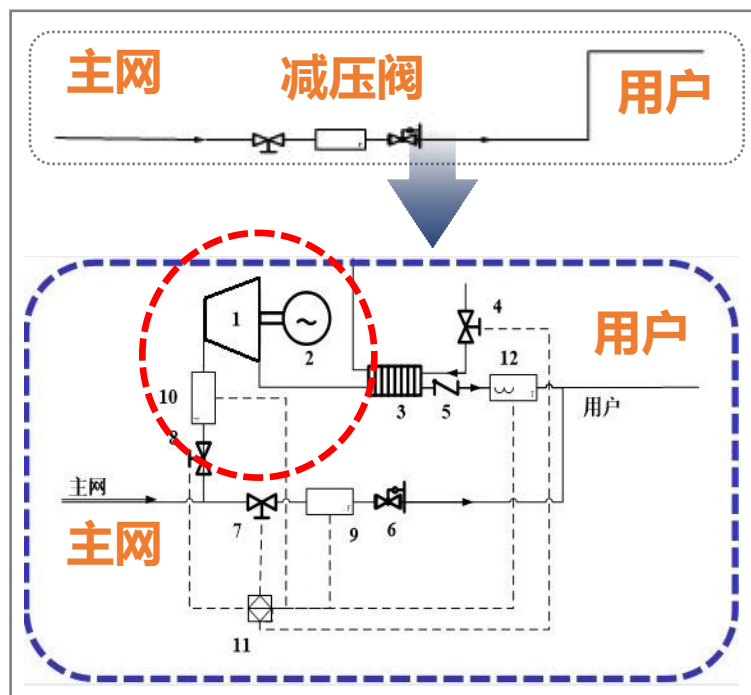
新型天然气压差发电系统

### 天然气压差发电制冷系统：

天然气流经透平膨胀机推动涡轮旋转带动发电机发电，实现调压，同时获得电能和冷能，过程中不燃烧不消耗天然气，是天然气调压工艺的一次变革。

- 1. 实现调压，消除“冰堵”。**减少管网震动及噪音，提高管网运行安全性、稳定性。
- 2. 冷电联产。**回收压力能发电，并获得冷能，提高能源利用效率，产生经济效益。
- 3. 降低场站投资。**可减少场站调压回路安装数量。
- 4. 节能减排。**助力“碳达峰、碳中和”目标实现。

- ✓ **适用范围广**：管网压力10MPa以下、流量1万Nm<sup>3</sup>/h以上
- ✓ **系统效率高**：采用向心透平，膨胀机效率达 86-91%，系统效率高于 80%
- ✓ **经济性好**：发电+制冷+节省回温费用+碳交易，投资回收期 4-10年
- ✓ **安全性好**：旁路设置，与原有调压回路并列运行；压力控制精确，运行平稳无冲击
- ✓ **清洁无污染**：无需燃烧化石燃料



# 02 压差发电 — 核心技术



## 项目创新点:

研发新型天然气余压梯级利用系统；提出新式余压利用的解决方案。

## 关键技术:

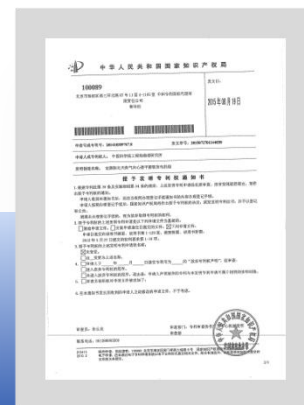
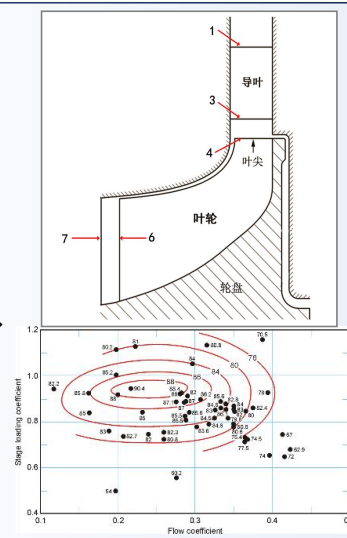
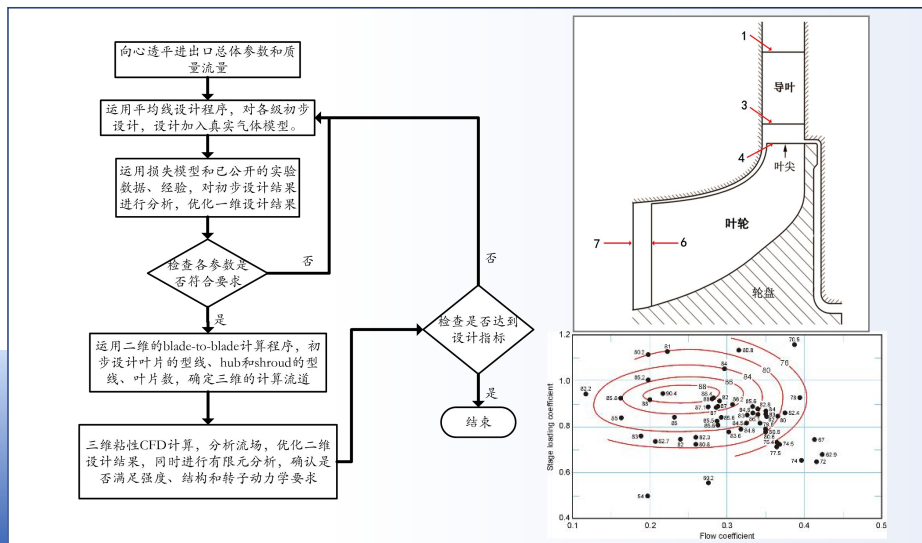
新型余压余热梯级利用系统设计技术、高转速高效小型向心透平设计技术、传动系统的减震技术、系统的防爆技术。

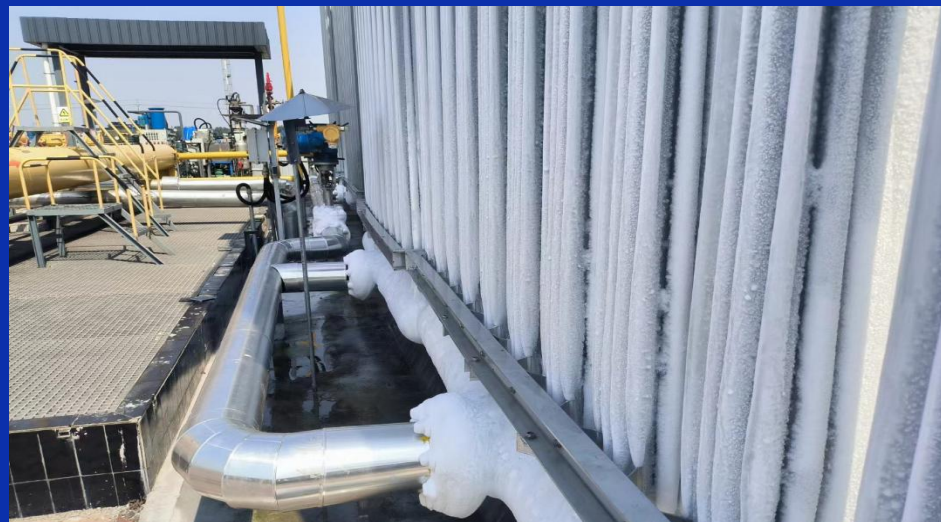
## 知识产权:

已获得27项专利，其中16项发明专利。

## 专业壁垒:

采用具有自主知识产权的设计程序；国内唯一研发设计检测平台



**建设条件:**

膨胀比 (入口压力/出口压力)  $\geq 1.1$ , 瞬时流量  $\geq 1$  万  $\text{Nm}^3/\text{h}$ , 可用场地  $\geq 50\text{m}^2$

**机组型号:**

100/300/500/1000/1500/2000/2500/3000/5000/10000kW

### 系统安全

- ◆ 防爆等级: Exd II CT4
- ◆ 采用防爆软管、胶泥等严格防爆措施
- ◆ 设可燃气体探测器, 监测泄露
- ◆ 设有安全阀, 防止系统超压
- ◆ 设计相关连锁、保护, 可紧急自动停车
- ◆ 可实现手机移动端、电脑网络端远程监控



### 并网验收

- ◆ 断路器验收
- ◆ 微机继电保护验收
- ◆ 手动/自动并网测试
- ◆ 电量测量验收
- ◆ 甩负荷实验验收



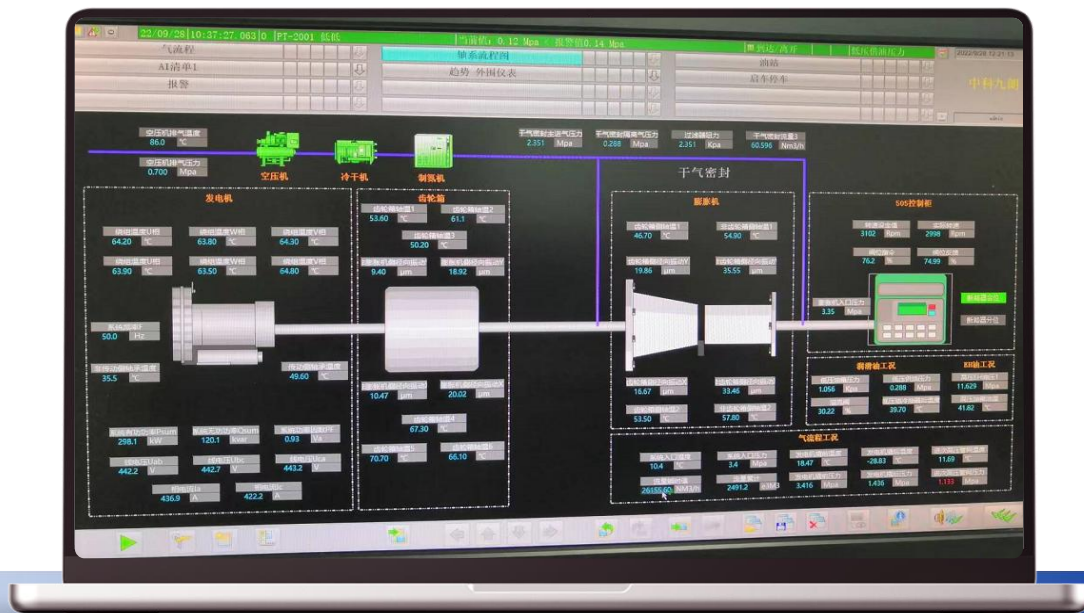
### 电能质量

- ◆ 顺利通过国家电网电能质量检测及并网验收



### 安全三同时

- ◆ 顺利通过发改委安全三同时考核及验收



## 透平膨胀机技术优势

- 大功率场合下，整机效率比其他方式高
- 适应范围宽，对压差和进气压力几乎无限制
- 综合利用冷能，可产生更大的经济效益

膨胀机类型	透平膨胀机	螺杆膨胀机	转子膨胀机
设备类别	速度式	容积式	容积式
承压能力	≤10MPa	≤4MPa	≤6MPa
进排气压差	无限制	≤2MPa	≤2MPa
适用温度	-200℃~450℃	-30℃~350℃	-30℃~350℃
额定转速	≥15000rpm	≤5000rpm	≤3000rpm
等熵效率	≥80%	50%~75%	60%~70%
单台输出功率	≤20000kW	≤2000kW	≤1000kW
技术成熟度	成熟	成熟	基本成熟

设备厂家	透平厂商A(中科九朗)	透平厂商B	透平厂商C	转子膨胀机厂商A
设备类型	透平膨胀机	透平膨胀机	透平膨胀机	转子膨胀机
设备转速	40000rpm	15000rpm	9000rpm	3000rpm
转换效率	86-91%	70-80%	65-78%	60-70%
技术优势	1. 高转速, 高效率, 温降幅度大(冷能利用) 2. 宽负荷稳定运行(20~120%工况) 3. 自主开发控制系统, 适应频繁启停, 系统安全性高	1. 高转速, 高效率 2. 高适应性, 适用多种应用场景	1. 较高转速, 较高效率	1. 结构简单, 系统简单
其他优势	1. 核心设备自主加工, 建有国内 <b>唯一天然气实流测试平台</b> , 出厂前性能测试, 工期保证 2. 示范项目实现3年以上长周期连续安全稳定运行, 设计寿命30年以上 3. 提供电冷耦合方案, 压差+制冰、轻烃分离、边缘算力、充换电站、制氢, 经济性好 4. 依托中国科学院, 持续研发、迭代升级能力强	1. 大型动力设备制造企业, 具有产业链优势 2. 销售渠道成熟, 能源行业客户众多	1. 较早从事压缩机国产化, 具有行业协调优势 2. 销售渠道成熟, 油气行业服务客户较多	1. 设备辅机较少, 自耗电较少 2. 中低压、小流量、小功率场景有成本优势
技术劣势	1. 辅机设备较多, 小功率机组自耗电率较高	1. 核心设备膨胀机外采, 控制系统外委, 系统集成商 2. 无测试平台, 现场问题返厂, 影响工期 3. 稳定运行负荷范围70~110%	1. 膨胀机转速较低, 转换效率相对较低 2. 无测试平台, 现场问题返厂, 影响工期 3. 稳定运行负荷范围80~110%	1. 适用压力较低( $\leq 6\text{MPa}$ ), 压差较小( $\leq 2\text{MPa}$ ) 2. 单机容量较小( $\leq 450\text{kW}$ ) 3. 转换效率较低 4. 存在气中进油 5. 设备寿命较短(10年)

集输处理站



分输站/门站/调压站



储气库



工业大用户



天然气生产/输送/使用降压工艺  
满足膨胀比/输量条件

燃气电厂



02

# 压差发电 — 耦合方案



中国科学院工程热物理研究所  
Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy of Sciences



边缘算力



充换电站



制冰

压差发电+



电解水制氢



03

# 负碳厂站案例

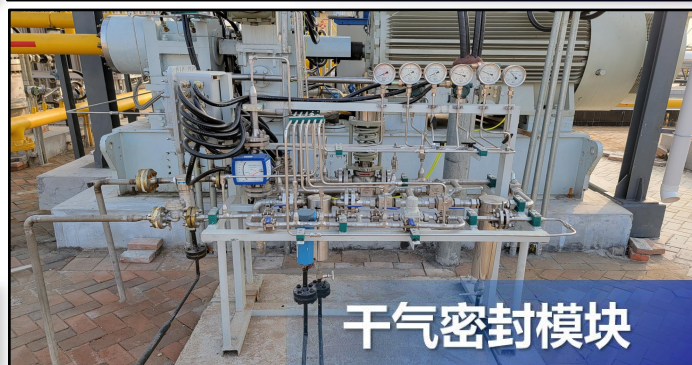




项目地点	山东淄博
装机容量	300 kW
耦合方案	压差发电+复温
并网模式	自发自用 余电上网
来气压力	3.4 MPa
出口压力	0.9 MPa
日输气量	60万 Nm <sup>3</sup>
占地面积	60 m <sup>2</sup>
年发电量	240万 kWh
年节省复温燃气	12万 Nm <sup>3</sup>
年减碳量	2600t CO <sub>2</sub>
获得奖项	山东省区域能源学会科学技术二等奖 山东省建设科技创新三等奖

压差发电量约2%供厂站使用，多余电量上网，每年节省复温燃气12万方，年减排CO<sub>2</sub>约2600吨，建成负碳厂站。

所有工况下，门站出口汇管压力、温度、流量均在正常范围内安全稳定运行，且具有较好经济性。



- ✓ 示范项目于2021年12月完成安装并进行单体设备调试及系统联调，正式并网发电。
- ✓ 从单体设备到工艺流程等超过 20 项关键技术的项目中得到示范和应用，天然气余压发电领域开拓者。

项目地点	山东曲阜
装机容量	500kW + 1.6万t/a冰
耦合方案	压差发电+制冰
并网模式	自发自用 余电上网
来气压力	6 MPa
出口压力	3 MPa
电站日输量	100万 Nm <sup>3</sup>
占地面积	120 m <sup>2</sup>
年发电量	400万 kWh
年制冰量	1.65万 t
年减排量	5140t CO <sub>2</sub>



合同编号: 35150006-23-FW2099-0029

 宜宁线曲阜站天然气压差发电项目合同  
 能源管理协议

协议编号:

甲方 (用能单位)	单位名称	山东省天然气管道有限责任公司		
	法定代表人	牛化昶	委托代理人	于洋
	联系人	于洋		
	通讯地址	山东省济南市高新区天辰路77号		
	电话	18660817663	传真	
	电子邮箱	sgsclb.trqi@sinopec.com		
	开户银行	中国工商银行济南石化新区支行		
	账号	1602007329200030042		
乙方 (节能服务公司)	单位名称	淄博中辰清洁能源有限公司		
	法定代表人	徐加生	委托代理人	王景钰
	联系人	王景钰		
	通讯地址	山东省淄博市临淄区牛山路266号院内		
	电话	18510437865	传真	
	电子邮箱	18510437865@163.com		
	开户银行	建设银行淄博临淄支行		
	账号	37050163654200000360		

1 / 40

合同编号: 35150006-23-FW2099-0029

(2) 任何以挂号信、快递邮寄方式进行的通知, 在被通知人(包括其收发部门或人员)签收之日视为送达; 如因被通知人拒收或因本协议记载的通讯信息不正确导致邮件未能妥投的, 则自通知人将邮件寄出满24小时后视为送达(法定节假日顺延);

(3) 任何以传真、电子邮件方式发出的通知自发件方系统显示发送成功时视为送达。

20.4 本协议附件是属于本协议完整的一部分, 如附件部分内容如与合同正文不一致, 优先适用合同附件的规定。本协议包括如下附件:

- (1) 附件1: 曲阜压差发电平面布置图
- (2) 附件2: 项目收益确认单
- (3) 附件3: 曲阜站压差发电项目安全生产管理协议。
- (4) 附件4: 曲阜分输站压差发电制冷项目设计方案。

20.5 本协议未尽事项可以签订补充协议, 与本协议具有同等法律效力。

20.6 本协议文本一式肆份, 双方各执贰份, 具有同等法律效力。

20.7 本协议自双方签字盖章之日起生效。

(以下为签署页, 无正文...)

甲方(盖章)

法定代表人/委托代理人(签字):

2023年9月7日

附件1: 曲阜压差发电平面布置图

乙方(盖章)

法定代表人/委托代理人(签字):

2023年9月7日

14 / 40



项目地点	广东佛山
装机容量	1 MW+4万 t/a冰+12 充电桩
耦合方案	压差发电 + 制冰 + 充电站
并网模式	自发自用 余电上网
来气压力	4 MPa
出口压力	0.4 MPa
电站日输量	100万 Nm <sup>3</sup>
占地面积	1500 m <sup>2</sup>
年发电量	800万 kWh
年制冰量	3.4万吨
年减碳量	7976t CO <sub>2</sub>



04

# 产业化

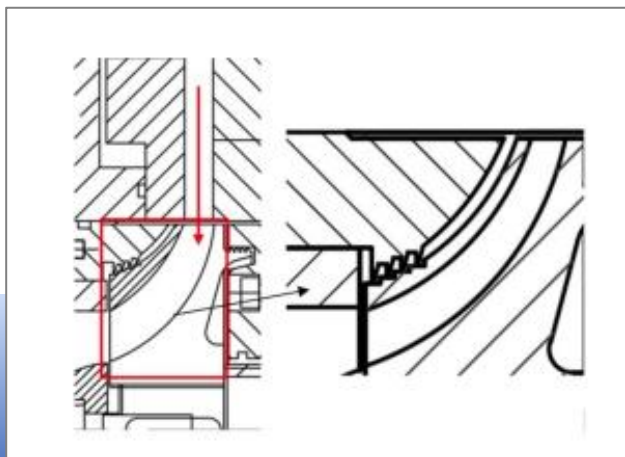
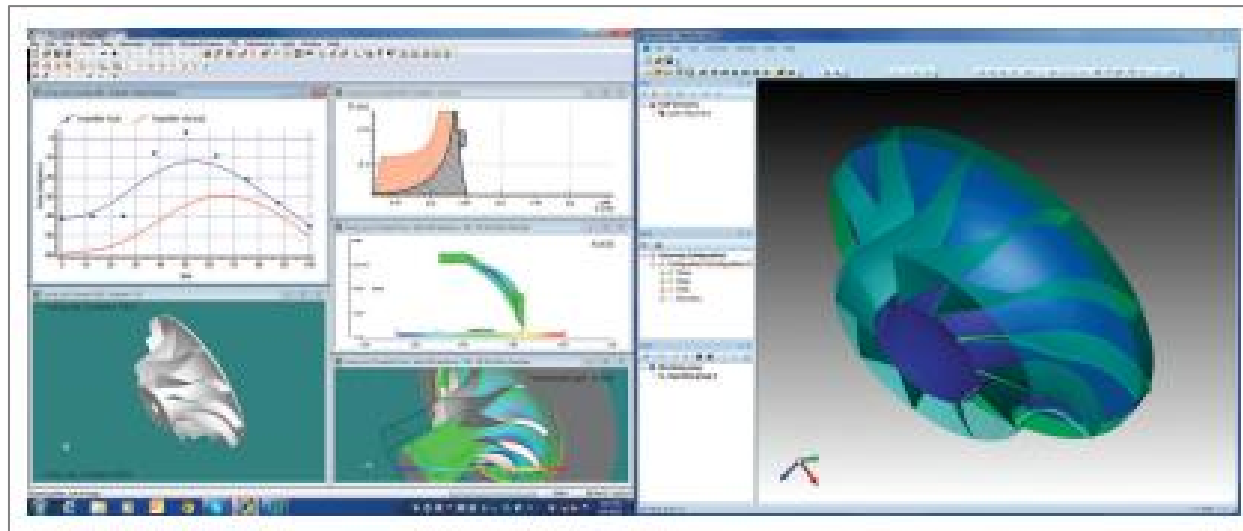


膨胀机气体动力学实验

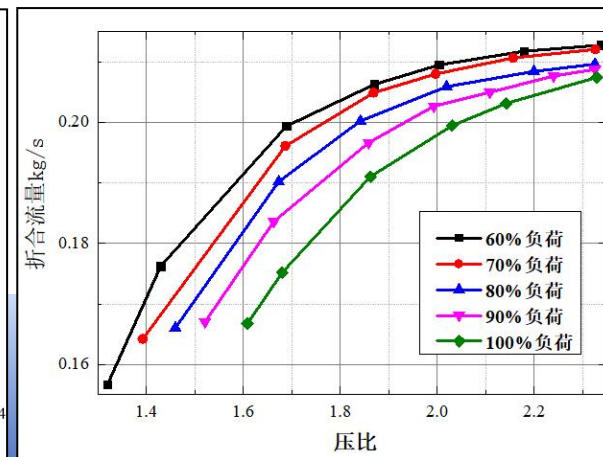
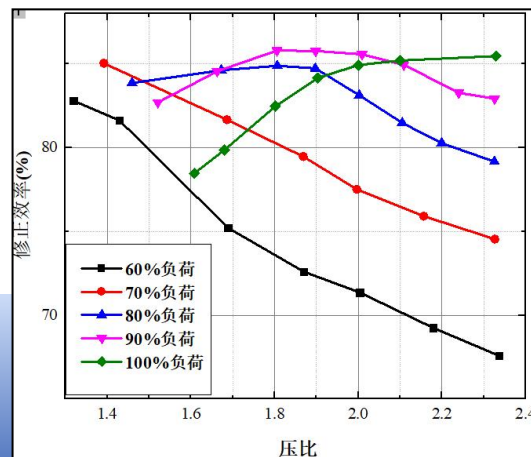
膨胀机机械性能实验

膨胀系统变工况控制规律研究

天然气余压发电系统甩负荷研究



膨胀机闭式/半开式叶轮



实测 300kW 膨胀机满负荷下效率稳定: 86%

五轴加工中心、五轴电火花设备、五轴高速铣加工中心、龙门加工中心、三轴加工中心、数控镗床、数控卧车

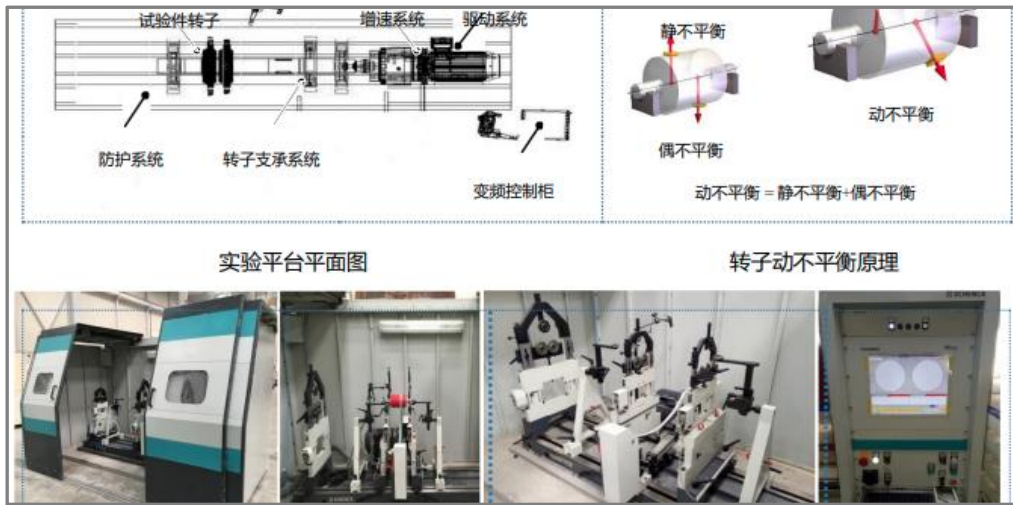


三坐标测量仪、磁粉探伤仪、超声波探伤仪等完备的检测设备



利用先进五轴数控加工技术、零点定位技术和数值仿真模拟技术，提高加工精度和大型膨胀机、压缩机装配效率





### 大型旋转设备钢性/柔性转子动平衡

- 不同转子类型的动平衡方法和原理研究
- 大型离心/轴流压缩机转子实验与检测
- 大型向心/轴流膨胀机转子实验与检测
- 转子不平衡状态测量和柔性转子动挠度修正
- 转子类型、支承方式和平衡方法对转子动平衡特性的影响

### 国内首台特殊工质MW级实验与检测平台

- 解决易燃、易爆或有毒气体等特殊工质膨胀机系统中的关键科学问题；开展关键技术研发与检测。
- 通天然气等实流模拟实际工况、不同负荷、变负荷下系统及单体设备特性，进行实际并网发电测试。
- 为我国节能领域特种膨胀机研发及产业化提供平台基础，填补国内空白。





05

# 合作共赢



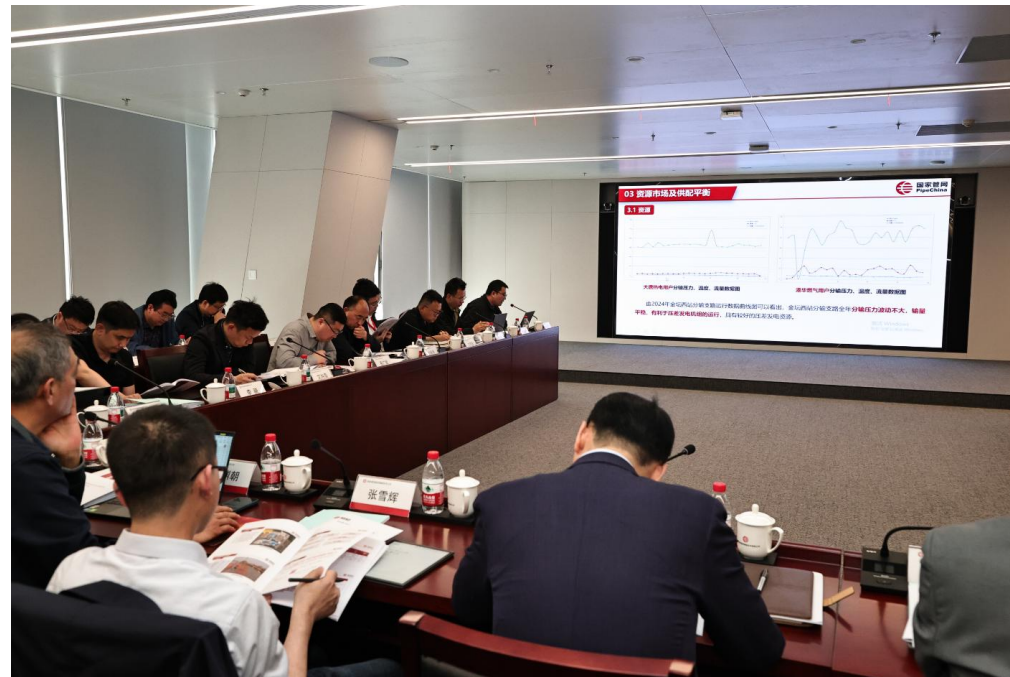


2024年11月，工程热物理所陈海生所长与国家石油天然气管网集团有限公司党组成员、副总经理姜昌亮举行科技合作会谈。

国家管网集团规划将压差发电做成年产值20亿的产业，投资规模超百亿元。

2025年1月，工程热物理所陈海生所长拜访国家管网集团储能技术有限公司。双方签署战略合作协议，就先进压缩空气储能、天然气压差综合利用等方面开展全面合作。





2025年4月，工程热物理所作为组长单位，应邀参加国家管网金坛储气库压差发电项目可研报告评审



**解决方案**  
解决方案/主设备

**EPC**  
总承包（联合体）

**EPC+O**  
建运一体化



**EMC**  
合同能源管理

**BOT**  
建设-运营-移交

**BT**  
建设-移交

A hand is shown in the foreground, pointing upwards with the index finger. From the tip of the finger, several glowing white arcs radiate outwards, creating a sense of energy and connectivity. The background is a dark blue cityscape at night, with illuminated buildings and streets. The overall scene is set against a deep blue gradient background.

**创新能源技术**

**共建零碳世界**