

气浮透平膨胀机技术

1 背景及意义

透平膨胀机是石油化工气体分离工艺、航空环控系统和氢氦低温制冷包中最关键的设备，通过它的膨胀制冷来实现并维持在所需温区以下的低温环境。因此透平膨胀机技术在空间技术，大科学工程，超导应用、航空航天等诸多核心高技术领域发挥着不可替代的作用。

2 技术创新

2.1 气浮透平膨胀机的特点

1. 转速高。透平膨胀机是一个高速旋转的透平叶轮机械，叶轮和流道尺寸小，直径最小只有几毫米，叶高最低不到 1mm，工作转速高(高达 30 万转)。轴系高转速有利于高效率，但存在失稳隐患和过振动点难的缺点。膨胀机的转速、绝热效率与稳定性的关系对整机运行可靠性和高效率至关重要。尤其是采用静压气体轴承时，轴系过振动点是机组能否正常开机和稳定运行的关键。

2. 气体轴承。由于高转速以及高清洁度、深低温等要求，支撑转子的轴承需采用气体润滑轴承，即膨胀机转子是由一层非常薄的只有几微米至几十微米厚的气膜来提供润滑和支撑。由于气膜的刚度、阻尼系数小，其承载能力和运转稳定性一直是低温领域的研究重点。

3. 深冷低温。由于膨胀机转子两端分别工作在低温和常温环境，温度变化剧烈，沿转子轴向的温度梯度非常高，轴向导热引起的漏热会降低膨胀机绝热效率，整机研制需考虑轴系密封、转速匹配、结构传热等因素。

2.2 气浮透平膨胀机研发的核心技术

1. 系统热力分析、膨胀机与压机气动模型设计、一维计算与设计以及三维气动模型设计及仿真，叶型流道研制。

2. 轴系转子动力学计算和评估。

3. 叶轮动静强度计算与分析。

4. 转子的模态计算和分析。

5. 轴向力匹配性计算(含密封、变径平衡孔位置和大小)。

6. 静压、动压轴承关键参数核算与优化。

7. 考虑密封、隔热等结构特点的整机研制。

2.3 基于数字化设计技术的气浮透平膨胀机

1. 已有数据模型基础上，采用成熟的一维设计理论制成 Excel 表计算，用流程模拟程序 PRO/II v9.4 计算焓降等物性参数，应用自行编写的气动布局与设计程序，基于透平膨胀机设计理论，得到叶轮的大致结构尺寸，通过 Cfturbo、Axstream、Numeca、solidwork 或 UG 等软件进行核心部件三维造型，一维二维气动设计与优化、通流部分气动仿真与优化，考虑经验参数，采用新型变径平衡孔结构，达到满足气动要求、平衡轴向力和泄液的目的。

2. 通过 solidwork 或 abaqus/hypermesh 等软件计算压机、膨胀机和转子的静强度、固有频率和模态；采用 Dyrobes 或 ARMD 评估轴系转子动力学。

3.结合气浮透平膨胀机的工艺流程参数，已知供气排气压力，选用单排或多排静压轴承结构形式，运用自制的静压轴承设计程序计算和优化轴承间隙、节流孔径和孔数等，并开发静压悬浮轴承研制工艺。对于工艺流程参数适合气体动压悬浮箔片轴承的系统，研发新型冷却气路、密封和箔片轴承支撑的整机结构。

3 推广应用

3.1 气浮透平膨胀机研发的参数范围

1.适合介质：空气、天然气、氦气、氮气、氢气、有机工质等

2.轴承形式：1)100kw以下,转速超过180000rpm采用动压或静压轴承；2)转速高于200000rpm采用静压气体轴承。

3.进气压力3~30bar，膨胀比2~9，流量20~1000 kg/h。

4.转速范围：3000~300000rpm。

5.效率：60~85%。

3.2 成功研发的氢透平膨胀机案例

1.合作伙伴：新航工业、贵州永红、武汉航达、杭氧、四川空分、中科院理化所、中科院物理所。

2.典型案例：氦气透平膨胀机、空气透平膨胀机、氮气透平膨胀机。

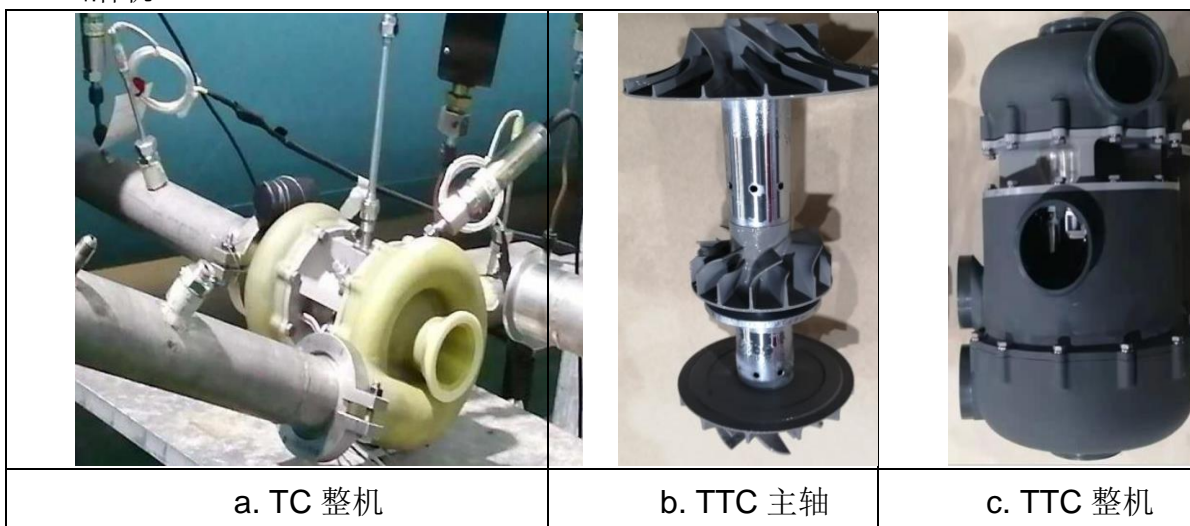
3.3 成果支撑

1.企事业委托科研项目 60 余项

2.发表 SCI/EI 期刊论文 8 篇，申请及授权国家发明专利 6 项，登记软件著作权 3 项

3.获 2018 年度四川省科学技术进步二等奖 1 项（第三完成单位）

4.样机



4 联系方式

联系人：肖云峰副教授
邮箱：xiaoyunfeng@bipt.edu.cn

联系电话：13911539129