2022年招生计划

六、预计招收博士生的课题研究方向和研究工作简介

1.博士论文研究方向： 转子动力学

选题类别：☐基础性研究　☐应用性研究　☐工程技术攻关研究
☐新开辟的研究方向　■已有研究方向的继续　☐其他

2.博士论文的选题背景及意义和主要研究内容简介

2.1　研究内容

（1）重型燃气轮机轴系多场耦合非线性密封力模型及求解方法

1）综合分析现有基于Muszynska密封力模型，基于三维振荡流体力学，建立流固、热弹和机电耦合等多物理场耦合条件下的新型密封动力学模型；

2）典型燃机机组结构因素（级间和叶顶气固耦合不均匀密封、界面接触摩擦、间隙尺 寸、介质特性、温度和压力条件）动力学模型及表征方法；

3）重型燃气轮机密封高维模型方程组维度缩减及降阶方法；

4）研究并提出重型燃气轮机轴系密封系统非线性耦合模型高效求解方法。

（2）重型燃气轮机轴系新型密封系统设计及动力学特性分析

1）在建立燃气轮机轴系密封系统动力学模型的基础上，分析燃气轮机轴系密封结构的类型，设计其新型迷宫密封系统，分析密封结构参数，如齿数、齿腔、间隙等，对密封腔内流场的分布影响规律；

2）密封系统中转子碰摩、松动以及不对中等故障对系统稳定性、稳定裕度和失稳临界条件的影响分析；

3）转子-轴承-密封系统中非线性油膜力与密封力的不均分布对系统稳定性、稳定裕度和失稳临界条件的影响；

4）研究在非线性油膜力和密封力耦合激励下燃气轮机轴系的非线性稳定性、失稳特征 和模式、分岔规律和动力学响应等动态特性。

（3）重型燃气轮机转子-轴承-密封系统动力学特性实验研究

1）搭建重型燃气轮机转子-轴承-密封系统实验台，研究密封齿数、凸台数量和密封齿长均影响动力系数在频域上的变化规律；

2）实验测试不同密封结构（如间隙、齿高、齿距等）对燃气轮机转子系统动力学参数的影响；

3）测试燃气轮机密封结构齿腔平均压力和脉动压力的周向分布规律，与理论结果进行比较；

4）改变相同密封结构的相关参数，测试其对燃气轮机流场变化，泄露，转速和密封效 率的作用规律。

（4）重型燃气轮机转子密封系统非线性稳定性优化及设计准则

1）根据实际机组轴系的结构特点、采用稳定性理论和方法，确定系统的非线性稳定性边界及非线性稳定裕度的衡量指标和参数；

2）运用现代优化设计算法，确定燃气轮机优化设计函数，以及相关设计变量和约 束条件，求出最优参数解集，确定密封结构关键动力学参数；

3）分析系统结构参数和运行参数变化对非线性稳定裕度的影响规律，形成多场耦合 激励下重型燃气轮机轴系的非线性稳定性、失稳特征和模式、分岔规律和动力学响应等动态特性计算方法；

4）给出重型燃气轮机轴系密封系统线性及非线性动力学设计准则。

（5）重型燃气轮机转子-密封系统动力学特性计算分析软件开发

1）应用CFD方法建立重型燃气轮机密封动力学特性的求解模型，比较稳态旋转坐标方法和瞬态动网格方法的仿真结果与实验结果的一致性；

2）运用单控体、双控体模型、流线型模型、全三维模型等对密封介质进行研究，结合实验数据确定密封结构参数对轴系动力学特性的影响规律；

3）理论分析与实验测试结合确定燃气轮机密封结构系统动力学设计参数；

4）对高参数密封转子进行动力学计算分析，开发燃气轮机轴系密封系统动力学计算平 台，更高效的探究转子-轴承-密封系统的动力学特性。

3.该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

国家自然科学基金委员会，研发费用：64.61万元；
曲秀全为本课题组成员，副教授，硕士生导师。
研究目标：以重型燃气轮机组轴系转子-轴承系统为主要研究对象，应用转子动力学、非线性动力学、热力学、流体和固体力学等多学科理论与方法，考虑燃气轮机具有结构复杂、工作环境恶劣，动力学模具有高维、非线性和强耦合的特点，对燃气轮机的动力学模型进行工程等效约化处理。对模型密封结构对燃气轮机转子动力特性的影响进行分析；确定密封时转子碰摩、松动以及不对中等故障对系统动力学特性的影响；开发重型燃气轮机拉杆转子轴系模拟实验台，实验验证密封结构对燃气轮机轴系的动力学特性的影响趋势；采用优化设计理论和方法，以轴系稳定裕度为目标函数，以密封结构参数为自变量对转子-轴承-密封系统进行优化设计研究，确定密封结构的设计和动力学参数的选取准则，形成燃气轮机轴系动力学设计准则。开发重型燃气轮机轴系动力学设计软件，解决重型燃气轮机组轴系动力学设计中对密封结构要求的关键技术问题。为重型燃气轮机组迈入数字化设计、保证机组的安全可靠运行提供技术支撑。

2022年招生计划

六、预计招收博士生的课题研究方向和研究工作简介

1.博士论文研究方向： 转子动力学

选题类别：☐基础性研究　☐应用性研究　☐工程技术攻关研究
☐新开辟的研究方向　■已有研究方向的继续　☐其他

2.博士论文的选题背景及意义和主要研究内容简介

研究内容：

（1）燃气轮机转子系统结构动力学设计方法

对燃气 轮机转子系统进行临界转速、稳定性、不平衡响应及扭振频率与强度校核的动力学设计，基于燃气轮机转子设计任务和设计参数要求，分析转子临界转速、稳定性，在满足设计准则的前提下进行不平衡响应、扭振频率及强度校核，构建燃气轮机转子系统转子动力学设计流程和设计方法。

（2）燃气轮机转子结构动力学设计关键参数的选取准则

分析轴系预紧力、接触界面几何、工艺等参数变化对燃气轮机转子系统动力学特性的影响及灵敏度变化规律；确定燃气轮机转子结构动力学设计的关键设计和运行参数；形成燃气轮机转子系统结构动力学设计准则。

（3）燃气轮机转子结构动力学设计数据库

综合研究和吸纳国外燃气轮机轴系动力学设计数据库的具体组成形式、条款内容等成果形式，建立我国燃气轮机转子系统结构动力学设计数据库。收集整理各类数据，包括：收集和管理各种材料特性数据，以及通过数值计算以及实验等手段获取的关键部件的刚度和阻尼的动力学模型参数等。

（4）燃气轮机拉杆转子系统结构动力学分析软件

开发高效的动力学方程求解器和方程组耦合求解器；实现高效的完成转子系统非线性动力学模型的求解；针对燃气轮机转子系统设计人员的需求，以提高人员使用效率为目标，完成人机界面的设计，实现设计模型的高效管理，简化动力学参数的录入，以及开发主流转子动力学软件具有的结果可视化功能；集成上述研究成果，以及数据库，求解器，人机交互系统等各个模块，完成燃气轮机转子系统结构动力学分析与振动控制设计软件的开发，形成我国自主知识产权的燃气轮机拉杆转子系统高效设计工具。

（5）燃气轮机转子系统动力学模型工程等效约化方法

开展燃气轮机转子系统动力学模型工程等效约化方法研究，建立工程等效模型。建立燃气轮机模化工程等效约化方法试验台，验证考核整体软件计算分析结果与模型转子实验验证结果的吻合程度；验证考核整体软件计算分析结果与实际燃气轮机组实验测试数据吻合程度。

3.该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

项目是航空发动机及燃气轮机重大专项基础研究项目："燃气轮机转子系统的结构动力学与振动控制研究"的第四课题，课题经费：272万元，省级资助：27.2万元；项目总经费：1700万元，项目牵头单位：清华大学，第四课题负责单位：哈尔滨工业大学。