

0807 动力工程及工程热物理一级学科研究生核心课程指南

01 高等热力学

一、课程概述

高等热力学课程为动力工程及工程热物理学科研究生专业基础课程。在工程热力学课程基础上,以物理学基础、热力学第二定律与熵理论、复杂系统热力学性质为三条主线,深化拓展基本概念、原理和体系,认识物质热力性质,分析相变与相平衡和化学平衡,介绍不可逆热力学理论与发展,用统计力学揭示宏观与微观的联系。从不同层面系统阐述热力学知识。

二、先修课程

工程热力学,流体力学,传热学。

三、课程目标

通过本课程的学习,要求在掌握工程热力学基本概念和基本定律的基础上,深化拓展基本概念,掌握高等热力学的基本规律,强化热力学基本方法和思维方法,了解热力学研究的最新进展和前沿问题,掌握常见热力学问题的研究方法,正确运用热力学规律进行工程应用和科学研究。培养科学抽象、逻辑思维能力,理论联系实际进行思考,注重分析与思考。本课程不仅为动力工程及工程热物理学科的研究生进一步深入学习专业课程提供必要的基础理论知识,也为从事相关专业科学研究工作提供重要的理论基础。

四、适用对象

本专业博士研究生和硕士研究生。

五、授课方式

课堂教学。

六、课程内容

1. 主要内容

(1) 绪论:介绍课程的背景、与工程热力学课程之间的关系、课程的目标与任务、考核要求等。

(2) 温度:温度的定义、热力学第零定律、温度的测量和温标、热力学温标、理想气体温标和

国际温标、温度单位开尔文(K)的最新定义。

(3) 热力学第一定律回顾和热力学第二定律的高等热力学分析:回顾能与热力学第一定律、熵和热力学第二定律,闭口和开口系统的熵方程,热力系统的可逆功;熵方法;能量的可用性、火用、火用平衡方程。

(4) 流体的状态方程:理想气体方程;维里方程;立方型状态方程;多参数状态方程;压缩因子的通用化关联;状态方程的改进和应用;偏差函数和逸度。

(5) 自发过程的方向性,稳定平衡判据,纯净物的相变,蒸气压方程。

(6) 均匀混合物系的热力学性质计算方法:气体混合物热力性质的计算;化学势和偏摩尔参数;拉乌尔定律和亨利定律;理想溶液;非理想溶液、活度和活度系数、超额函数、活度系数方程。

(7) 多元系的相平衡:多元复相系的平衡条件;相律;二元互溶系气液平衡相图;沸点升高与凝固点降低。

(8) 化学平衡:基本概念;反应平衡条件;标准化学平衡常数;不同条件下的化学平衡常数与标准化学平衡常数的关系;非理想气体的反应平衡、标准反应自由焓的计算、温度压力对平衡的影响;反应平衡时理想气体的热容;多个反应的平衡;化学热力学及火用分析。

(9) 不可逆过程热力学:基本概念;局部平衡假设;熵产率;线性唯象方程式;昂色格倒易关系;热电现象;典型不可逆过程的热力学分析。

(10) 统计热力学:统计热力学概论;微观粒子运动的量子力学描述;各种体系的能级分布和微观状态数;经典统计。

(11) 高等热力学在工程上的应用,火积方法及其应用。

2. 重点

流体的状态方程,溶液热力学,化学平衡。

3. 难点

化学平衡,相平衡。热力学优化方法:熵,火用,火积方法的使用范围。

七、考核要求

笔试(闭卷或开卷)结合大作业考核。掌握高等热力学基本概念、原理和体系,掌握物质热力性质及计算方法,相变与相平衡和化学平衡,不可逆热力学理论。

八、编写成员名单

姚强(清华大学)、张欣欣(北京科技大学)、何雅玲(西安交通大学)、金保昇(东南大学)、梁惊涛(中国科学院大学)、刘林华(哈尔滨工业大学)、舒歌群(中国科学技术大学)、陶智(北京航空航天大学)、王辅臣(华东理工大学)、王如竹(上海交通大学)、严建华(浙江大学)、杨勇平(华北电力大学)、袁寿其(江苏大学)、张华(上海理工大学)、张延安(东北大学)、刘红(清华大学)

02 高等传热学

一、课程概述

高等传热学课程为动力工程及工程热物理学科研究生专业基础课程。本课程在本科传热学课程基础上深入阐述传热传质过程的数理模型,以及从理论上认识和揭示热物理现象的本质,着重强调数理描述、理论求解和现象与过程分析等方面的能力训练,加深物理本质和概念的理解。

二、先修课程

工程热力学,流体力学,传热学。

三、课程目标

通过本课程的学习,掌握传热学的基本理论和基本研究方法,了解传热学理论发展过程中的科学问题,为学习后续课程、开展科学研究打好基础。课程着重强调数理描述、理论求解和现象与过程分析等方面的能力训练,加深对物理本质和概念的理解,强调对传热过程的物理模型和机理的认识。注意分析推理能力和解决工程实际问题能力的培养。为培养和提高研究生将物理概念与数学推导、物理模型与数学模型相结合解决传热实际问题的能力,拓宽解决传热问题的思路和研究方法,增加知识的总体深度和广度。有助于提高从事科学研究的理论素养和实际研究能力,以适应动力工程和工程热物理专业研究生培养的需要。

四、适用对象

本专业博士研究生和硕士研究生。

五、授课方式

课堂教学。

六、课程内容

1. 主要内容

(1) 热传导:导热的理论基础和热物性参数;傅里叶导热与非傅里叶导热,各向异性材料的导热问题、固体导热问题数学描述;多维稳态导热和非稳态导热的求解方法;相变导热的理论解法。

(2) 对流换热:基于质量、动量和能量守恒定律的对流换热基本方程组,以及典型几何结构(平板,圆管)对流换热问题的简化分析与求解方法;对流换热的边界层积分方程及微分方程;管内及平板紊流流动与换热;自然对流换热;沸腾换热;传质的基本概念与计算。

(3) 辐射换热:热辐射基本定律;固体表面辐射特性;漫射表面间的辐射换热;辐射参与性

介质辐射的基本特性;热辐射能量传递方程。

2. 重点

导热、对流换热与辐射换热的数理模型建立与求解方法。

3. 难点

传热数理模型的物理含义理解、方程简化、求解方法、计算结果分析和应用。

七、考核要求

笔试(闭卷或开卷)结合大作业考核。掌握热量传递的物理机理,掌握传导、对流、辐射三种传热形式的理论基础,掌握传热方程的求解方法。

八、编写成员名单

姚强(清华大学)、张欣欣(北京科技大学)、何雅玲(西安交通大学)、金保昇(东南大学)、梁惊涛(中国科学院大学)、刘林华(哈尔滨工业大学)、舒歌群(中国科学技术大学)、陶智(北京航空航天大学)、王辅臣(华东理工大学)、王如竹(上海交通大学)、严建华(浙江大学)、杨勇平(华北电力大学)、袁寿其(江苏大学)、张华(上海理工大学)、张延安(东北大学)、刘红(清华大学)

03 高等流体力学

一、课程概述

高等流体力学课程为动力工程及工程热物理学科研究生专业基础课程。本课程主要针对本学科的研究生,在已经学习流体力学基础课程的基础上,进一步深入学习流体运动学、流体静力学、流体动力学的基本方程、不可压缩流体的平面无旋运动、可压缩流体动力学、黏性流体动力学等。

二、先修课程

工程热力学,流体力学,传热学。

三、课程目标

通过本课程的学习,掌握高等流体力学的基本概念、基本理论、分析推理方法,能深入理解流动所伴随的复杂物理现象及流体流动规律,能熟练运用量级分析、量纲分析等基本分析方法,提高分析和解决流体力学问题的水平及能力。

课程学习注重物理概念与数学方法有机结合,强调物理含义的数学表示以及数学内容的物理解释;注重思维和方法论,在引进概念介绍方法时,突出解决问题的思维方法及推理要点等,丰富学生思维和联想能力,提高理论修养和实际处理流体力学问题的能力,为独立解决流体力

学的问题提供必要的扎实的理论基础,为今后从事科学研究提供必要的理论基础。

四、适用对象

本专业博士研究生和硕士研究生。

五、授课方式

课堂教学。

六、课程内容

1. 主要内容

- (1) 绪论:课程的内容、意义、发展进程。
- (2) 数学基础准备:梯度、散度、旋度、算子、张量概念,曲线坐标系与Lame系数。
- (3) 流体基本性质:流体力学概念,连续介质模型,密度、黏性、扩散、表面张力等。
- (4) 流体运动学:欧拉观点,连续性方程,流函数和势函数的概念与计算,涡量函数的计算。
- (5) 流体动力学:NS方程推导,流体质点受力分析,基本流动方程推导与物理意义分析。
- (6) 复势函数:理想流体复势函数意义,针对各种二维奇点的表示方法,复速度计算,奇点法的应用,平面镜像,儒柯夫斯基翼型变换规律,留数定理,合力定理,非惯性坐标系。
- (7) 可压缩流动:可压缩流体流动,超音速流动,小扰动方法,特征线方法。
- (8) 简单黏性流动:层流流动与描述方程,简单流动基本解法。
- (9) 边界层流动:边界层流动特性,非定常不可压缩边界层、可压缩边界层概念和方程,边界层的数值解法,可压缩非定常边界层,边界层方程的一般性质及应用实例。
- (10) 湍流:湍流的基本理论,影响转换的因素和预估,描述湍流的方法和平均运动方程,湍流模型,壁面湍流特性和速度分布规律,拟序结构。湍流运动的基本特性、数学描述、湍流模式基本理论及湍流模拟方法与应用。紊流流动的时均方程,壁面附近和管内紊流流动,几种常用的紊流模型如混合长度模型、 $k-\epsilon$ 模型、雷诺应力模型。
- (11) 分离流动:分离现象,二维定常分离流动,三维定常分离流动,二维不可压缩非定常分离流动。
- (12) 国内外黏性流体动力学研究最新进展。

2. 重点

黏性流体动力学基本方程组,层流边界层与流体运动稳定性,层流到湍流的转换,湍流基本理论与湍流边界层,三维角区分离流动,其他类型的剪切流动(尾迹、射流、混合层、壁面射流、钝体绕流等)。

3. 难点

黏性流体动力学基本方程组,边界层与湍流。

七、考核要求

笔试(闭卷或开卷)结合大作业考核,掌握高等流体力学的基本概念、基本理论,深入理解流动所伴随物理现象及流体流动规律,掌握不同类型流动的研究方法。

八、编写成员名单

姚强(清华大学)、张欣欣(北京科技大学)、何雅玲(西安交通大学)、金保昇(东南大学)、梁惊涛(中国科学院大学)、刘林华(哈尔滨工业大学)、舒歌群(中国科学技术大学)、陶智(北京航空航天大学)、王辅臣(华东理工大学)、王如竹(上海交通大学)、严建华(浙江大学)、杨勇平(华北电力大学)、袁寿其(江苏大学)、张华(上海理工大学)、张延安(东北大学)、刘红(清华大学)

04 高等燃烧学

一、课程概述

高等燃烧学为动力工程及工程热物理学科研究生专业基础课程。本课程主要授课对象为燃烧学相关的研究生,使其在已经学习燃烧学基础课程并掌握燃烧学基础知识和理论的基础上,进一步深入学习燃烧过程涉及的化学机理、湍流燃烧、污染物形成与控制、燃烧动力学等相关的理论和技術。

二、先修课程

工程热力学,流体力学,传热学,大学化学,燃烧学基础等。

三、课程目标

本课程采用课堂讲授和小组研讨相结合的教学方式,旨在让学生理解并掌握燃烧理论及研究方法,阐明实验、理论和数值模拟这三种研究方式在该领域研究中分别起到的重要作用,在实验观察和理论建模之间架起桥梁,并针对燃烧学发展的前沿问题展开研讨,提出在未来工程实际过程中可能碰到的燃烧科学、技术和工程问题并利用所学的理论和方法提出解决方案和进行求解。本课程既注重立足学术研究前沿,又紧密结合工程实际,培养学生发现核心问题并提出具有创新性解决方案的能力,为进一步深入进行理论研究和技術应用提供指导。

四、适用对象

动力工程及工程热物理学科的硕士研究生和博士研究生。

五、授课方式

采用课堂授课+小组专题调研的授课方式。

老师讲授燃烧的相关理论、知识与方法,授课过程中注重与同学互动,鼓励提问,培养学生

在科研过程中发现问题、独立思考并提出建设性解决方案的能力。

学生们自愿组成若干个研讨小组,针对燃烧领域的某个前沿研究问题或关键基础问题进行文献调研,提出解决方案并尝试进行求解,并在课堂上进行阐述,与授课老师和其他同学展开讨论,最后撰写相关综述和研究报告。这个过程着重锻炼同学们的文献调研分析、研究实践、团队协作和表达能力。

相关的讲授内容可以根据各个学校的专业特点,有所侧重,如燃烧诊断技术、新型燃烧技术、燃烧污染控制技术及燃烧数值方法等可以根据需要进行选择。

六、课程内容

1. 主要内容

(1) 基础燃烧理论知识点回顾。

① 燃烧的定义以及火焰的分类(如预混火焰和非预混火焰,层流火焰和湍流火焰等);燃烧与热化学;基本热力学状态关系式;理论燃烧温度;基于热力学第二定律的燃烧反应平衡,燃烧平衡产物预测;传质基本定律(菲克扩散定律);能量守恒和质量守恒原理;斯蒂芬流以及与其相关的液滴蒸发和固体燃烧问题。

② 化学动力学的概念;总包反应与基元反应;链式反应和链式分支反应;与燃烧相关的化学反应动力学分析的两种近似方法:稳态近似和部分平衡;燃烧反应的时间尺度;一些重要的燃烧反应机理。

③ 四个简化的燃烧系统守恒方程的推导:定压-定质量反应器、定容-定质量反应器、柱塞流反应器以及全混流反应器。三种简单反应流的守恒方程化简和结果分析。

④ 层流预混火焰解析解;火焰传播速度;火焰厚度;最小点火能;火焰稳定特性;可燃极限;层流扩散火焰及射流火焰的方程推导和不同解法;火焰长度的影响因素;碳烟的形成和分解。液滴的蒸发与燃烧:液滴蒸发和燃烧的控制方程及求解;液滴蒸发及燃烧的影响因素。以碳燃烧为例的固体燃烧的控制方程及求解;不同的碳燃烧模式:化学动力学控制与扩散控制。

(2) 湍流燃烧专论。

① 湍流在实际应用中的普遍存在性和内在复杂性。湍流中不同尺度涡的重要意义。湍流的能量级串和4个几何尺度:流动宏观尺度、积分尺度、泰勒尺度和科尔莫戈罗夫尺度。湍流的数值计算引出雷诺应力的推导以及相应的湍流方程封闭问题。除雷诺应力方法外,湍流数值计算中的直接数值模拟、大涡模拟。

② 湍流预混火焰。湍流火焰速度的定义以及湍流火焰面积。湍流预混燃烧的三种模式:褶皱层流火焰模式、旋涡小火焰模式和分布反应模式。基于层流火焰厚度与湍流尺度比值给出不同燃烧模式的判据。对化学特征时间与流动特征时间的比值定义湍流燃烧中的邓克尔数。湍流预混燃烧模型。湍流非预混火焰。湍流扩散火焰中的无限快化学反应速率假设的合理性。混合物分数在湍流非预混燃烧中起到的重要作用。湍流非预混燃烧的PDF计算模型。以湍流射流火焰为例分析湍流非预混火焰的基本特性。湍流火焰长度的影响因素。湍流扩散火焰的辐射特性。火焰的推举和吹熄现象。湍流部分预混火焰。湍流部分预混燃烧同时具有湍流预混和非预混燃烧的特性。Triple Flame结构分析。

(3) 燃烧过程污染控制和二氧化碳控制。

燃烧产生的大气污染物。氮氧化物形成的机理(热力型、快速型和燃料型),氮氧化物的控制方法。一氧化碳的形成与控制,未燃碳氢化合物的形成与控制,碳烟的形成与控制。温室效应及二氧化碳控制。

(4) 实际燃烧设备中的燃烧(可以根据学校和学科特色进行选择与加强)。

① 航空发动机中的燃烧。航空发动机主燃烧室,航空发动机加力燃烧室。超声速燃烧、脉冲爆燃燃烧和脉动燃烧。

② 锅炉燃烧。燃料,锅炉燃烧过程,锅炉燃烧的主要特点。

③ 火箭发动机中的燃烧。液体火箭发动机中的燃烧,固体推进剂的燃烧,侵蚀燃烧和振荡燃烧。高能燃料燃烧。

④ 内燃机中的燃烧。柴油机的喷雾燃烧过程,汽油机的燃烧,内燃机中的爆震,代用燃料燃烧。

⑤ 其他新型燃烧技术。富氧燃烧技术,加压燃烧技术,化学链燃烧技术,催化燃烧技术,多孔介质燃烧技术。

(5) 燃烧诊断技术

① 燃烧流场的速度和湍流测量。

② 燃烧过程的组分与浓度测量。

③ 燃烧过程的温度测量。

④ 燃烧过程的两相测量。

(6) 燃烧过程数值计算。

① 湍流燃烧过程的数值计算。基本方程及其离散化,湍流模型的选择,求解的主要方法简介。

② 燃烧化学过程的数值计算。详细化学机理及其简化方法,化学机理与流动燃烧计算的耦合。

③ 燃烧过程的两相流动数值计算。欧拉法,拉格朗日法。

④ 燃烧过程中辐射传热的数值计算。区域法,热流法,蒙特卡罗法及其他新型方法。

⑤ 燃烧涉及的主要CFD软件简介。

2. 重点

湍流燃烧理论和湍流燃烧模型,燃烧污染物形成与控制,燃烧诊断技术,燃烧过程数值计算。

3. 难点

湍流的扩散燃烧理论及模型,燃烧动力学与燃烧不稳定性,爆震燃烧过程分析,燃烧过程流动与化学反应的耦合数值计算。

七、考核要求

平时课堂作业:旨在巩固和加深对讲授知识点的理解。

小组文献调研和展示:对湍流燃烧领域的某个专题进行文献调研,并在课堂上进行展示,与老师和其他同学展开讨论。

期末考试:考查学生对基本概念的理解和灵活应用能力。

八、编写成员名单

姚强(清华大学)、张欣欣(北京科技大学)、何雅玲(西安交通大学)、金保昇(东南大学)、梁惊涛(中国科学院大学)、刘林华(哈尔滨工业大学)、舒歌群(中国科学技术大学)、陶智(北京航空航天大学)、王辅臣(华东理工大学)、王如竹(上海交通大学)、严建华(浙江大学)、杨勇平(华北电力大学)、袁寿其(江苏大学)、张华(上海理工大学)、张延安(东北大学)、刘红(清华大学)

0808 电气工程一级学科研究生核心课程指南

01 矩阵论

一、课程概述

矩阵论是数学的一个重要分支,内容丰富,是很多数学学科,如数值分析、最优化理论、概率统计等的基础;同时也是其他学科领域如控制理论、力学、电学、信息科学、管理科学等的重要工具。信息技术的处理和计算机技术的发展、优秀的数学软件如 MATLAB、Maple 等计算工具的研究和发展,为矩阵理论的应用提供了广阔的前景。在现代科技领域,矩阵理论已成为很多科技工作者的重要工具。

二、先修课程

微积分,线性代数。

三、课程目标

以线性代数作为基础,进一步系统掌握矩阵的基本理论、常用方法和某些具体的应用。通过本课程的学习,掌握线性空间、内积空间、线性变换等基本的概念和性质,掌握矩阵的分解理论加速计算,学会运用范数理论估算计算的稳定性。运用分析的思想,掌握矩阵函数和函数矩阵的计算、特征值的计算,学习广义逆矩阵以及非负矩阵理论,掌握利用 Kronecker 积将矩阵方程转换为线性方程组求解的方法。

四、适用对象

理工科博士研究生和硕士研究生。

五、授课方式

主要采用传统的板书讲解理论知识和计算方法,课堂内外预留适当的练习以巩固课堂所学知识和计算方法,另外对可以编程计算的知识点,留置附加作业,让学生编程实现。

六、课程内容

主要内容包括线性代数基础、矩阵分解、范数理论及其应用、矩阵分析、Kronecker 积与矩阵方程。