

## 机械与动力工程学院统考硕士大纲

*考试科目	核反应堆工程
*考试形式	闭卷考试，3 小时，满分 150 分
*考试内容范围	<p><b>《核反应堆物理》</b></p> <p>一. 核反应堆的核物理基础</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 中子与原子核的相互作用机理：中子吸收和中子散射（弹性与非弹性）</li> <li>2. 中子微观及宏观截面、核反应率、自由程、中子通量密度的概念</li> <li>3. 共振现象与多普勒效应</li> <li>4. 核裂变的释能、反应堆功率和中子通量密度之间的关系</li> <li>5. 裂变中子、裂变产物</li> <li>6. 链式裂变反应（临界条件，四、六因子公式）</li> </ol> <p>二. 中子慢化与慢化能谱</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 中子的弹性散射过程：弹性散射动力学、慢化剂的选择</li> <li>2. 无限均匀介质的慢化能谱：慢化方程、含氢无吸收介质的慢化谱</li> <li>3. 热中子堆的近似能谱（三个能区）</li> </ol> <p>三. 中子扩散理论</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 单能中子扩散：斐克定律、单能中子扩散方程</li> <li>2. 非增殖介质扩散方程的解</li> </ol> <p>四. 均匀反应堆的临界理论</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 均匀裸堆的单群临界理论：单群扩散方程、临界条件及中子通量密度分布</li> <li>2. 双区反应堆的单群临界理论：单群扩散方程、条件及中子通量密度分布</li> </ol> <p>五. 非均匀反应堆</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 栅格的非均匀效应：空间自屏效应、不同能量中子的通量空间分布</li> </ol> <p>六. 反应性随时间的变化</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 燃耗加深过程中核燃料中铀-235 的消耗、钚-239 的积累</li> <li>2. 氙-135 中毒：平衡氙中毒、最大氙中毒、功率瞬变中的氙中毒、氙震荡</li> <li>3. 钐-149 中毒</li> <li>4. 燃耗深度与堆芯寿期</li> <li>5. 核燃料的转换与增殖</li> </ol> <p>七. 温度效应与反应性控制</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 反应性温度效应：反应性温度效应成因、各反应性温度反馈对反应堆安全的意义</li> <li>2. 反应性控制的任务 剩余反应性、控制棒价值、停堆深度</li> <li>3. 压水堆的几种反应性控制方式</li> </ol> <p>八. 核反应堆动力学</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 反应堆周期</li> <li>2. 点堆中子动力学方程</li> <li>3. 反应性阶跃扰动下中子通量随时间的瞬变：反应性方程、瞬发临界条件</li> </ol> <p><b>《反应堆热工水力》</b></p> <p>核反应堆热工基础</p> <p>一、传热学基础</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1、热量传递的基本方式</li> </ol> <p>基本概念：导热，对流，热辐射，传热过程，传热系数</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2、导热基本定律</li> </ol> <p>基本概念：导热系数，热流密度，温差</p> <p>导热计算：导热基本定律（傅立叶定律），导热微分方程式，通过平壁的导热，</p>

通过圆筒壁的导热

### 3、对流换热基本定律

基本概念：对流换热系数，热流密度，温差，层流换热，紊流换热，强制对流换热自然对流换热，雷诺数，格拉晓夫数，努谢尔特数，影响换热系数的因素  
 对流换热计算：对流换热基本定律（牛顿冷却公式），对流换热系数，强制对流换热自然对流换热，换热微分方程式

### 4、凝结与沸腾换热

基本概念：凝结换热现象，膜状凝结，珠状凝结，影响膜状凝结的因素  
 沸腾换热，池式沸腾，管内沸腾，过冷沸腾，饱和沸腾，核态沸腾，过渡沸腾，膜态沸腾

### 5、辐射换热

基本概念：热辐射，辐射常数，吸收率，黑体辐射，灰体辐射  
 辐射换热计算：辐射换热公式（斯蒂芬-玻尔兹曼定律）

### 6、传热过程与换热器

基本概念：传热过程分析，热阻，温差，换热器，间壁式换热器  
 传热计算：传热方程式，传热量计算

## 二、反应堆内热量的产生与输出

### 1、堆内热源的产生

堆芯内热源：（裂变碎片动能，裂变中子的动能），包括：燃料元件内释热，反应堆结构部件（燃料包壳，定位格架，控制棒导管）的释热，控制棒内的释热，慢化剂内的释热，

堆芯内热源的空间分布：

堆芯外结构部件的释热：（反射层，热屏蔽，压力容器）

停堆后的释热：（剩余裂变功率，衰变功率），裂变产物的衰变，中子俘获产物的衰变

### 2、燃料元件的径向导热

热量传导路径：燃料元件芯块内的导热（有内热源），芯块表面到包壳内表面的传热（间隙热阻），包壳内表面到外表面的导热（无内热源）

热量传导计算：燃料芯块内的温度分布，燃料热导率，燃料芯块与包壳之间的间隙热传导，包壳中的温度降

### 3、燃料元件包壳外表面到冷却剂的传热

元件壁面与冷却剂之间的对流换热过程：

基本概念：单相流，多相流，两相流，强迫对流传热，自然对流传热，含汽量，空泡份额，滑速比，两相流的流型，泡状流，塞状流，环状流，雾状流，欠热沸腾起始点，汽泡脱离壁面起始点，沸腾传热，临界热流密度，沸腾传热特性曲线

对流换热计算：对流换热公式，单相对流传热系数，强迫对流传热系数，自然对流传热系数，两相对流的传热系数，流动沸腾的传热系数，泡核沸腾的传热系数，过渡沸腾的传热系数，膜态沸腾的传热系数

### 4、沿冷却剂通道的输热

冷却剂将热量输送到堆外过程：

输热量计算：

### 5、燃料元件及冷却剂通道的轴向温度分布

基本过程：轴向功率分布，径向传热

温度计算：冷却剂温度分布，包壳外面温度分布，包壳内温度分布，燃料元件芯块表面温度分布，燃料元件中心温度分布

## 三、流体动力学

### 1、单相流的压降

基本概念：提升压降，加速压降，摩擦压降，形阻压降，单相通道的流动压降，等温流动的摩擦系数（圆形通道，非圆形通道），加热或冷却下流动的摩擦系数，局部压降（截面突然扩大，截面突然缩小，弯管，接管，阀门）

	<p>压降计算：提升压降，加速压降，摩擦压降，形阻压降，单相通道的流动压降，等温流动的摩擦系数（圆形通道，非圆形通道），加热或冷却下流动的摩擦系数，局部压降（截面突然扩大，截面突然缩小，弯管，接管，阀门）</p> <p>2、两相流的压降 基本概念：均匀流模型，分离流模型， 压降计算：两相面直通道的流动压降，提升压降，加速压降，摩擦压降，形阻压降，局部压降（截面突然扩大，截面突然缩小，弯管，接管，阀门，孔板）</p> <p>3、流量计算 基本概念：封闭回路中的流量，强制循环，泵消耗功率，自然循环 流量计算：封闭回路中的流量计算，强制循环流量，自然循环流量</p> <p>4、流量分配 基本概念：并联通道，闭式通道，开式通道，影响流量分配的因素 流量计算：并联闭式通道的流量分配计算，（压力分布，质量守恒方程，动量守恒方程，能量守恒方程）</p> <p>5、流动不稳定性 基本概念：流动不稳定性，流动不稳定性不利影响，水动力不稳定性，并联通道不稳定性，流型不稳定性，动力学不稳定性，热振荡</p> <p>四、反应堆稳态热工设计</p> <p>1、压水堆热工设计准则</p> <p>2、设计准则：</p> <p>3、热点因子</p> <p>4、基本概念：热点，热点因子，热流密度核热点因子，热流密度工程热点因子，降低热点因子的方法</p> <p>5、热通道因子</p> <p>6、基本概念：热通道，焓升核热通道因子，焓升工程热通道因子，焓升工程热通道分因子，降低焓升热通道因子的方法</p> <p>7、流动沸腾的临界热流密度</p> <p>8、基本概念：流动沸腾的热流密度，流动沸腾的临界热流密度，影响临界热流密度的因素</p> <p>9、临界热流密度计算：W-3 公式</p> <p>10、最小烧毁比</p> <p>11、基本概念：偏离泡核沸腾比，最小烧毁比</p> <p>12、计算：偏离泡核沸腾比，最小烧毁比</p> <p>13、单通道模型</p> <p>14、反应堆输出热工率，燃料元件传热面积，平均通道的冷却剂质量流速，平均通道的压降，反应堆进口温度或出口温度，热通道因子，热点因子，最大热流密度，最大线功率密度，堆芯平均功率密度，热通道的有效驱动压头，热通道冷却剂焓场，热通道内燃料元件温度场</p>
*参考书目	<p>《核反应堆物理分析》第五版，谢仲生主编，西安交通大学出版社 《核反应堆热工分析》，2001，于平安等编著，上海交通大学出版社</p>
备注	