《传热学》课程教学大纲

**一、课程基本信息**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **英文名称** | Heat Transfer | **课程代码** | BEEE2012 |
| **课程性质** | 大类基础课程 | **授课对象** | 能源与动力工程专业 |
| **学 分** | 4.0 | **学 时** | 68 |
| **主讲教师** | 吴世凤 | **修订日期** | 2021年1月18日 |
| **指定教材** | 杨世铭，《传热学》，高等教育出版社，2006年8月，第四版 |

**二、课程目标**

（一）**总体目标：**

《传热学》是研究热量传递规律的科学，是能源与动力工程专业的一门基础课程和学位课程。课程旨在使学生掌握传热的基本概念、基本原理和基本计算，并能熟练运用基础知识来思考、分析和解决实际传热问题。传热学广泛应用于各种科学技术和工程技术领域，其应用与发展关系到国家节能降耗、经济社会可持续发展目标的实现。在课程教学中首先应使学生建立“节能优先”的基本观点，提高社会责任感和使命感，同时注意培养学生的工程素养、创新意识，增强团队合作能力和沟通表达能力。

（二）课程目标：

本课程旨在使学生掌握热量传递的三种基本方式及传热过程所遵循的基本规律，能运用这些规律提出增强传热、提高热经济性和削弱传热、减少热损失的途径；学会对传热过程进行分析、计算的基本方法，具备分析工程传热问题的能力，为后续专业课的学习以及将来从事专业技术工作打下基础；了解传热学在科学技术和工程领域的广泛应用，增强社会责任感和使命感。

**课程目标1：**通过系统学习，熟练掌握传热基础理论与基础知识。

1．1 掌握传热规律、各类传热机理及影响因素；

1．2 掌握导热、对流换热和辐射换热的基本公式，可进行各种传热情况下的温度和传热量的计算，掌握换热器的热工计算；

1．3 掌握增强或减弱热量传递过程的方法。

**课程目标2：**了解传热学在工程技术领域的广泛应用及其对环境和社会可持续发展的影响，增强社会责任感。

2．1 通过了解传热学在高耗能行业的广泛应用，且与尖端科技发展密切相关，使学生建立“节能优先”的基本观点，增强社会责任感和使命感；

2．2 通过对减缓“温室效应”问题的讨论，使学生了解传热学应用对环境和社会可持续发展的影响，增强生态文明意识；

2．3 通过介绍我国学者在珠状凝结方面的工作成果，提升学生的民族自信，增强专业学习的信心。

**课程目标3：**应用传热学知识，对热能有效利用、热力设备效率的提高、节能降耗技术等问题从传热学角度进行思考、分析问题，并提出自己的见解，在不同专业领域、不同学科上有所创新和发展。

3．1 通过讨论“工业换热器中采用了哪些强化换热的技术？你有什么更好的想法？”、“如何降低工业测温热电偶的测量误差？”、“输送石油的超级隔热油管如何削弱传热？”、“车载燃料电池采用了哪些冷却技术？”等实际工程问题，培养学生应用传热学知识分析、解决实际问题的能力和创新意识；

3．2 通过课程小论文“国内外强化与削弱传热技术的最新研究进展”，使学生了解学科研究现状与未来的发展趋势。

**课程目标4：**利用雨课堂等线上学习平台将课前、课上、课后三个环节有机结合，提升学习效果。合理设置教学环节，培养学生的自主学习意识、团队合作能力、口头和书面表达能力。

4．1 在雨课堂平台上发布课前预习资料和课后习题，提升学生的自主学习能力；

4．2 通过课外文献调研并撰写课程报告，提升文献查阅能力和书面表达能力；

4．3 通过课堂分组讨论等方式培养团队合作意识、沟通交流能力和对工程问题进行清清晰表达的能力。

（三）课程目标与毕业要求、课程内容的对应关系

**表1：课程目标与课程内容、毕业要求的对应关系表**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **课程目标** | **课程子目标** | **对应课程内容** | **对应毕业要求** |
| 课程目标1通过系统学习，熟练掌握传热基础理论与基础知识。 | 1.1掌握传热规律、各类传热机理及影响因素。 | 第二章 2.1 导热基本定律-傅里叶定律；第五章 5.1 对流传热概说；第六章 6.1 相似原理与量纲分析；6.2 相似原理的应用；第七章 7.1 凝结传热的模式；7.4 沸腾传热的模式；第八章 热辐射基本定律和辐射特性 | 毕业要求1：1-1通过系统学习，熟练掌握热工基础理论与基础知识。 |
| 1.2掌握导热、对流换热和辐射换热的基本公式，可进行各种传热情况下的温度和传热量的计算，掌握换热器的热工计算。 | 第二章 2.2~2.6；第三章 3.1~3.5;第四章 4.1~4.3；第5章 5.2~5.4；第六章 6.3~6.5；第七章 7.2、7.5；第九章 9.1~9.4；第十章 10.1~10.4 | 毕业要求1：1-1通过系统学习，熟练掌握热工基础理论与基础知识。 |
| 1.3掌握增强或减弱热量传递过程的方法。 | 第七章 7.3膜状凝结的影响因素及其传热强化、7.6 沸腾传热的影响因素及其强化；第九章 9.5 辐射传热的控制（强化与削弱）；第十章 10.5 热量传递过程的控制（强化与削弱） | 毕业要求8：8-1 了解专业工程实践对环境和社会可持续发展的影响。 |
| 课程目标2了解传热学在工程技术领域的广泛应用及其对环境和社会可持续发展的影响，增强社会责任感。 | 2.1通过了解传热学在高耗能行业的广泛应用，且与尖端科技发展密切相关，使学生建立“节能优先”的基本观点，增强社会责任感和使命感。 | 第一章 1.1 传热学的研究内容及其在科学技术和工程中的应用 | 毕业要求8：8-1 了解专业工程实践对环境和社会可持续发展的影响；毕业要求9：9-1 具有人文社会科学素养和社会责任感。 |
| 2.2通过对减缓“温室效应”问题的讨论，使学生了解传热学应用对环境和社会可持续发展的影响，增强生态文明意识。 | 第八章 8.4 实际物体对辐射能的吸收与辐射的关系；8.5 太阳与环境辐射 | 毕业要求8：8-1 了解专业工程实践对环境和社会可持续发展的影响；毕业要求9：9-1 具有人文社会科学素养和社会责任感。 |
| 2．3 通过介绍我国学者在珠状凝结方面的工作成果，提升学生的民族自信，增强专业学习的信心。 | 第七章 7.1 凝结传热的模式 | 毕业要求9：9-1 具有人文社会科学素养和社会责任感。 |
| 课程目标3应用传热学知识，对热能有效利用、热力设备效率的提高、节能降耗技术等问题从传热学角度进行思考、分析问题，并提出自己的见解，在不同专业领域、不同学科上有所创新和发展。 | 3．1 通过讨论“工业换热器中采用了哪些强化换热的技术？你有什么更好的想法？”、“如何降低工业测温热电偶的测量误差？”、“输送石油的超级隔热油管如何削弱传热？”、“车载燃料电池采用了哪些冷却技术？”等实际工程问题，培养学生应用传热学知识分析、解决实际问题的能力和创新意识。 | 设置在多个教学环节的课堂分组讨论 | 毕业要求4：4-1 具有针对能源系统提出、分析及解决问题的能力；毕业要求11：11-1 能够就工程实践中出现的问题做出书面和口头的清晰表达。 |
| 3．2 通过课程小论文“国内外强化与削弱传热技术的最新研究进展”，使学生了解学科研究现状与未来的发展趋势。 | 查阅文献进行归纳总结，并撰写课程小论文，了解学科研究现状与未来的发展趋势，培养学科意识和创新能力。 | 毕业要求9：9-1 具有人文社会科学素养和社会责任感。毕业要求12：12-1 具有自主学习的意识。 |
| **课程目标4：**利用雨课堂等线上学习平台将课前、课上、课后三个环节有机结合，提升学习效果。合理设置教学环节，培养学生的自主学习意识、团队合作能力、口头和书面表达能力。 | 4．1 在雨课堂平台上发布课前预习资料和课后习题，提升学生的自主学习能力。 | 每次课前和课后在雨课堂平台发布预习资料和课后习题 | 毕业要求12：12-1 具有自主学习的意识。 |
| 4．2 通过课外文献调研并撰写课程报告，提升文献查阅能力和书面表达能力。 | 课程结束前需要通过查阅文献进行归纳总结，并撰写课程小论文 | 毕业要求11：11-1 能够就工程实践中出现的问题做出书面和口头的清晰表达；毕业要求12：12-1 具有自主学习的意识。 |
| 4．3 通过课堂分组讨论等方式培养团队合作意识、沟通交流能力和对工程问题进行清清晰表达的能力。 | 设置在多个教学环节的课堂分组讨论 | 毕业要求10：10-1 具有团队合作精神或意识；10-2能够在团队中承担相应角色。毕业要求11：11-1 能够就工程实践中出现的问题做出书面和口头的清晰表达。 |

**三、教学内容**

**第一章 绪论**

1. 教学目标

（1）了解传热学的研究内容及其在科学技术和工程中的应用，建立“节能优先”的基本观点；

（2）了解热量传递的三种基本方式及其物理机理；掌握傅里叶定律、牛顿冷却公式及斯忒藩定律这三个基本公式及式中每一个符号的物理意义；

（3）了解传热过程的特点及温度变化的规律，理解传热过程的电-热模拟的意义；

（4）掌握计算热流密度、热阻和传热系数的方法及步骤。

2.教学重难点

（1）重点：理解导热、对流、辐射三种传热方式的物理机理；

（2）难点：理解热阻的概念。

3.教学内容

1.1 传热学的研究内容及其在科学技术和工程中的应用

1.2 热量传递的三种基本方式

1.3传热过程和传热系数

1. 教学方法
2. 自主学习：利用雨课堂平台预习课程内容并完成课后作业；
3. 讲授法：相关概念和物理原理；
4. 案例法：通过大量的工程案例介绍传热学的广泛应用；
5. 讨论法：课堂围绕“身边的传热现象”进行讨论。

5.教学评价

回答以下问题：

（1）导热系数、表面传热系数及传热系数的单位各是什么？哪些是物性参数，哪些与过程有关？

（2）用铝制水壶烧开水时，尽管炉火很旺，但水壶仍安然无恙。而一旦壶内的水烧干后水壶很快就被烧坏。从传热学的观点分析这一现象。

（3）用一只手握住盛有热水的杯子，另一只手用筷子快速搅拌热水，握杯子的手会显著地感到热。分析其原因。

（4）什么是串联热阻叠加原则，它在什么前提下成立？以固体中的导热为例，讨论有哪些情况可能使热流传递方向上不同截面的热流量不相等。

完成计算题：1-10、1-12、1-18、1-21。

**第二章 稳态热传导**

1.教学目标

（1）了解傅里叶定律的数学形式和定律中各个量的意义；

（2）掌握导热微分方程的一般形式和定解条件；

（3）掌握简单一维稳态导热问题（平壁、圆筒壁和球壳）的求解方法；

（4）了解肋片强化传热的原理，理解肋片导热问题的求解方法；了解肋效率的概念，并会用肋片效率曲线进行工程上肋片散热量的计算；

（5）掌握具有内热源的一维稳态导热问题的求解方法；

（6）了解计算简单形状多维稳态导热问题的形状因子法。

2.教学重难点

（1）重点：导热微分方程及定解条件；

（2）难点：肋片导热问题的分析方法。

3.教学内容

2.1 导热基本定律-傅里叶定律

2.2 导热问题的数学描写

2.3 典型一维稳态导热问题的分析解

2.4 通过肋片的导热

2.5 具有内热源的一维导热问题

2.6 多维稳态导热的求解

1. 教学方法

（1）自主学习：利用雨课堂平台预习课程内容并完成课后作业；

（2）讲授法：相关定律和数学推导；

（3）启发法：由生活中的常见现象，如“北方的冬天，为什么不戴护耳套会觉得特别冷？”、“为什么手脚最容易生冻疮？”、“夏天小狗为什么爱吐舌头？”、“为什么非洲象比亚洲象的耳朵长得大？”等问题启发学生从传热学的角度展开思考，找寻其中的共同点，引出“肋片导热”的概念。

5.教学评价

回答以下问题：

（1）傅里叶定律的一般形式及式中各个符号的意义？

（2）已知导热物体中某点在x、y、z三个方向上的热流密度分别为qx、qy、qz，如何获得该点的热流密度矢量？

（3）分别用数学语言及传热学术语说明导热问题三种类型的边界条件。

（4）发生在一个短圆柱中的导热问题，在哪些情形下可以按一维问题来处理？

完成计算题：2-7、2-10、2-16、2-46、2-51。

**第三章 非稳态热传导**

1.教学目标

（1）了解非稳态导热的物理特点；

（2）掌握Bi的物理意义及数学表示；

（3）掌握集中参数法的适用条件和求解方法，了解时间常数的概念；

（4）理解典型一维物体的非稳态导热正规状况阶段分析解的简化，掌握其工程计算方法（图线法和近似拟合公式法）；

（5）了解简单形状多维非稳态导热问题的乘积解法。

2.教学重难点

（1）重点：①Bi的物理意义；②集中参数法在零维问题中的正确应用。

（2）难点：理解非稳态导热正规状况阶段的物理概念与数学含义。

3.教学内容

3.1 非稳态导热的基本概念

3.2 零维问题的分析法—集中参数法

3.3 典型一维物体非稳态导热的分析解

3.4 简单几何形状物体多维非稳态导热的分析解

4. 教学方法

（1）自主学习：利用雨课堂平台预习课程内容并完成课后作业；

（2）讲授法：相关定律和理论的数学推导；

（3）讨论法：课堂围绕“在用热电偶测定气流的非稳态温度场时，怎样才能改善热电偶的温度响应特性？”和“冬天，72度的铁与600度的木材摸上去的感觉一样，为什么？”等问题进行讨论。

5.教学评价

回答以下问题：

（1）说明集中参数法的物理概念及数学上处理的特点。

（2）什么叫非稳态导热的正规状况阶段或充分发展阶段？这一阶段在物理过程及数学处理上都有些什么特点？

（3）说明Bi数的物理意义。Bi->0及Bi->无穷大各代表什么样的换热条件？

完成计算题：3-13、3-15、3-21、3-24。

**第四章 热传导问题的数值解法**

1.教学目标

（1）了解导热问题数值解法的基本思想与步骤；

（2）掌握用热平衡法建立节点的离散方程；

（3）了解求解代数方程的迭代法和判断迭代过程收敛的判据。

2.教学重难点

重点/难点：用热平衡法建立节点的离散方程；

3.教学内容

4.1 导热问题数值求解的基本思想

4.2 内节点离散方程的建立方法

4.3 边界节点离散方程的建立及代数方程的求解

4. 教学方法

（1）自主学习：利用雨课堂平台预习课程内容并完成课后作业；

（2）讲授法：相关定律和数学推导。

5.教学评价

回答以下问题：

（1）简要说明对导热问题进行有限差分数值计算的基本思想与步骤。

（2）说明用热平衡法建立节点温度离散方程的基本思想。

（3） 用高斯-赛德尔迭代法求解代数方程时是否一定可以得到收敛的解？不能得到收敛的解时是否因为初场的假设不合适而造成？

完成计算题：4-2、4-9、4-10。

**第五章 对流传热的理论基础**

1.教学目标

（1）了解对流传热的影响因素；

（2）了解对流传热问题的数学描写；

（3）掌握热边界的概念和边界层型对流传热问题的数学描写；

（4）会求解流体外掠平板的层流对流传热问题，掌握普朗特数物理意义。

2.教学重难点

（1）①重点：影响对流传热的因素；②边界层型对流传热微分方程组的导出。

（2）难点：①理解对流传热过程热量传递的机理；②利用边界层的特点对对流传热的微分方程组进行简化。

3.教学内容

5.1 对流传热概说

5.2 对流传热问题的数学描写

5.3 边界层型对流传热问题的数学描写

5.4 流体外掠平板传热层流分析解及比拟理论

4. 教学方法

（1）自主学习：利用雨课堂平台预习课程内容并完成课后作业；

（2）讲授法：相关定律和数学推导；

（3）讨论法：课堂讨论“式（5-4）与导热问题的第三类边界条件有什么区别？”

5.教学评价

回答以下问题：

1. 什么是热边界层？
2. 与完全的能量方程相比，边界层能量方程最重要的特点是什么？

（3）式（5-4）表明，在边界上垂直于壁面的热量传递完全依靠导热，那么在对流传热过程中流体的流动起什么作用？

完成计算题：5-3、5-8、5-12。

**第六章 单相对流传热的实验关联式**

1.教学目标

（1）了解物理现象相似的定义、相似原理的基本内容以及导出相似特征数的两种方法

（相似分析法和量纲分析法）的基本思想；

（2）了解如何应用相似原理指导实验的安排及试验数据的整理；理解应用特征数方程应注意的事项、对实验关联式的正确认识；

（3）掌握内部强制对流传热的实验关联式及由大温差引起的修正、短管效应引起的修正、盘管形状的修正方法；

（4）掌握流体横掠单管及管束外流体的对流换热实验关联式；

（5）理解自然对流的物理机理；了解自然对流边界层动量方程、能量方程形式的理想化假设以及速度边界层、温度边界层的分布形式;

（6）掌握大空间和有限空间自然对流的准则方程及格拉晓夫数的物理意义。

2.教学重难点

（1）重点：①对相似原理的理解；②针对具体的对流换热问题，掌握如何选择合适的准则方程并正确使用来计算对流换热系数。

（2）难点：理解内部强制流动与外部强制流动，大空间自然对流与有限空间自然对流的异同点。

3.教学内容

6.1 相似原理与量纲分析

6.2 相似原理的应用

6.3 内部强制对流传热的实验关联式

6.4 外部强制对流传热—流体横掠单管、球体及管束的实验关联式

6.5 大空间与有限空间内自然对流传热的实验关联式

4. 教学方法

（1）自主学习：利用雨课堂平台预习课程内容并完成课后作业；

（2）讲授法：相关定律和理论的数学推导，对实验关联式的介绍；

（3）讨论法：课堂围绕“内部强制流动与外部强制流动，大空间自然对流与有限空间自然对流有哪些异同点？”、“对工业换热器中常见的管内强制对流传热，可以采用哪些强化换热的技术？”等问题进行讨论。

5.教学评价

回答以下问题：

（1）试说明管槽内对流换热的入口效应并简释其原因。

（2）什么叫两个现象相似，它们有什么共性？

（3）就流动现象而言，外掠单管的流动与管道内的流动有什么不同？

（4）对于横掠管束的换热，整个管束的平均表面传热系数只有在流动方向管排数大于一定值后才与排数无关，试分析其原因。

（5）试简述充分发展的管内流动与换热这一概念的含义。

（6）如果把一块温度低于环境温度的大平板坚直地置于空气中，试画出平板上流体流动及局部表面传热系数分布的图象。

（7）Nu数与Bi数的区别在哪里？

完成计算题：6-7、6-8、6-11、6-14、6-25、6-35、6-36、6-44、6-52。

**第七章 相变对流传热**

1.教学目标

（1）了解凝结传热机理，掌握两种典型的凝结传热模式：珠状凝结和膜状凝结。

（2）掌握层流膜状凝结的分析解及计算关联式；

（3）掌握膜状凝结的影响因素及强化膜状凝结的强化原则和技术；

（4）了解沸腾传热的模式；

（5）掌握大容器沸腾传热的实验关联式;

（6）掌握沸腾传热的影响因素以及强化沸腾传热的原则和技术。

2.教学重难点

（1）重点：膜状凝结的计算关联式及其强化技术；大容器饱和沸腾的实验关联式及其强化技术。

（2）难点：努赛尔的蒸气层流膜状凝结分析解；大容器饱和沸腾曲线。

3.教学内容

7.1 凝结传热的模式

7.2 膜状凝结分析解及计算关联式

7.3 膜状凝结的影响因素及其传热强化

7.4 沸腾传热的模式

7.5 大容器沸腾传热的实验关联式

7.6 沸腾传热的影响因素及其强化

4. 教学方法

（1）自主学习：利用雨课堂平台预习课程内容并完成课后作业；

（2）讲授法：相关定律和理论的数学推导，对实验关联式的介绍；

（3）讨论法：课堂围绕“水平管外膜状凝结及水平管外膜态沸腾换热过程有什么异同点？”进行讨论。

5.教学评价

回答以下问题：

（1）膜状凝结时热传递过程的主要阻力在哪里？

（2）有人说，在其他条件相同的情况下，水平管外的凝结换热一定比坚直管强烈，这一说法一定成立吗？

（3）对于热流密度可控及壁面温度可控的两种换热情形，分别说明控制热流密度小于临界热流密度及温差小于临界温差的意义，并针对上述两种情形分别举一个工程应用实例。

（4）从换热表面的结构而言，强化凝结换热的基本思想是什么？强化沸腾换热的基本思想是什么？

（5） 在你学习过的对流换热中，表面传热系数计算式中显含换热温差的有哪几种换热方式？其他换热方式中不显含温差是否意味着与温差没有任何关系？

完成计算题：7-7、7-11、7-22、7-29、7-32。

**第八章 热辐射基本定律和辐射特性**

1.教学目标

（1）掌握黑体、漫射体、灰体的概念。

（2）掌握黑体辐射的四个基本定律；

（3）掌握固体和液体的辐射特性；

（4）掌握实际物体对辐射能的吸收与辐射的关系；

（5）了解太阳与环境辐射。

2.教学重难点

（1）重点：黑体辐射的基本定律；影响实际物体的发射率的主要因素；实际物体的吸收具有选择性。

（2）难点：灰体的概念以及引入灰体的简化对工程辐射传热计算的意义。

3.教学内容

8.1 热辐射现象的基本概念

8.2 黑体热辐射的基本定律

8.3 固体和液体的辐射特性

8.4 实际物体对辐射能的吸收与辐射的关系

8.5 太阳与环境辐射

4. 教学方法

（1）自主学习：利用雨课堂平台预习课程内容并完成课后作业；

（2）讲授法：相关定律和理论的数学推导；

（3）案例法：通过“温室效应”的产生、蔬菜大棚的应用、遮阳伞、防晒衣的原理等案例来说明实际物体对辐射能的吸收与辐射的关系。

（4）讨论法：课堂围绕“为什么长时间放在太阳光下的铝板比木板的温度高？”、“暴露于室外的变压器表面应该涂黑漆还是白漆？”、“太阳能集热器的涂层表面应具有什么样的吸收与辐射特性？”等问题进行讨论。

5.教学评价

回答以下问题：

（1）什么叫黑体？在热辐射理论中为什么要引入这一概念？

（2）在定义辐射力时为什么要加上“半球空间”及“全部波长”的说明？

（3）黑体的辐射能按波长是怎样分布的？

（4）黑体的辐射能按空间方向是怎样分布的？定向辐射强度与空间方向无关是否意味着黑体的辐射能在半球空间各方向上是均匀分布的？

（5）对于一般物体，吸收比等于发射率在什么条件下才成立？

（6什么是灰体？引入灰体的简化对工程辐射换热计算的意义。

完成计算题：8-4、8-8、8-17、8-20。

**第九章 辐射传热的计算**

1.教学目标

（1）了解角系数的定义和性质，掌握角系数的计算方法。

（2）掌握两表面封闭系统的辐射传热的计算；

（3）掌握用辐射网络法进行多表面系统辐射传热的计算；

（4）了解气体辐射的特点；

（5）掌握强化与削弱辐射传热的方法。

2.教学重难点

（1）重点：辐射网络法在辐射传热计算中的应用。

（2）难点：遮热板的原理与工程应用。

3.教学内容

9.1 辐射传热的角系数

9.2 两表面封闭系统的辐射传热

9.3 多表面系统的辐射传热

9.4 气体辐射的特点及计算

9.5 辐射传热的控制（强化与削弱）

4. 教学方法

（1）自主学习：利用雨课堂平台预习课程内容并完成课后作业；

（2）讲授法：相关定律和理论的数学推导；

（3）讨论法：课堂围绕“什么是遮热板？试根据自己的切身经历举出几个应用遮热板的例子。”、“如何降低工业测温热电偶的测量误差？”等问题进行讨论。

5.教学评价

回答以下问题：

（1）“角系数是一个纯几何因子”的结论是在什么前提下得出的？

（2）角系数有哪些特性？这些特性的物理背景是什么？

（3）为什么计算一个表面与外界之间的净辐射换热量时要采用封闭腔的模型？

（4）实际表面系统与黑体系统相比，辐射换热计算增加了哪些复杂性？

（5）有效辐射的引入对于表面系统辐射换热的计算有什么作用？

（6）什么是辐射表面热阻、什么是辐射空间热阻？网络法的实际作用你是怎样认识的？

完成计算题：9-6、9-7、9-21、9-24、9-25、9-28、9-35。

**第十章 传热过程分析与换热器的热计算**

1.教学目标

（1）了解工业换热器的主要型式；

（2）掌握总传热系数和平均温差的计算方法；

（3）掌握平均温差法进行间壁式换热器的设计计算和校核计算；

（4）掌握热量传递过程的控制（强化与削弱）方法。

2.教学重难点

（1）重点：间壁式换热器的设计计算和校核计算。

（2）难点：不同类型换热器中总传热系数的计算。

3.教学内容

10.1 传热过程的分析和计算

10.2 换热器的类型

10.3 换热器中传热过程平均温差的计算

10.4 间壁式换热器的热设计

10.5 热量传递过程的控制（强化与削弱）

4. 教学方法

（1）自主学习：利用雨课堂平台预习课程内容并完成课后作业；

（2）讲授法：相关定律和理论的数学推导；

（3） 讨论法：课堂围绕“工业换热器中采用了哪些强化传热的技术？你有没有更好的想法？”、“输送石油的超级隔热油管如何削弱传热？”等问题进行讨论。

5.教学评价

回答以下问题：

（1）在圆管外敷设保温层与在圆管外侧设置肋片从热阻分析的角度有什么异同？在什么情况下加保温层反而会强化其传热而加肋片反而会削弱其传热？

（2）对于及三种情形，画出顺流与逆流时冷、热流体温度沿流动方向的变化曲线，注意曲线的凹向与相对大小的关系。

（3）进行换热器设计时所依据的基本方程是哪些？

（4）用简明的语言说明强化单相强制对流换热、核态沸腾及膜状凝结的基本思想。

完成计算题：10-3、10-9、10-13、10-14、10-21。

**四、学时分配**

**表2：各章节的具体内容和学时分配表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 章节 | 章节内容 | 学时分配 |
| 第一章 | 绪论 | 4 |
| 第二章 | 稳态热传导 | 8 |
| 第三章 | 非稳态热传导 | 6 |
| 第四章 | 热传导问题的数值解法 | 4 |
| 第五章 | 对流传热的理论基础 | 6 |
| 第六章 | 单相对流传热的实验关联式 | 8 |
| 第七章 | 相变对流传热 | 8 |
| 第八章 | 热辐射基本定律和辐射特性 | 8 |
| 第九章 | 辐射传热的计算 | 8 |
| 第十章 | 传热过程分析与换热器的热计算 | 8 |

**五、教学进度**

**表3：教学进度表**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 周次 | 日期 | 章节名称 | 内容提要 | 授课时数 | 作业及要求 | 备注 |
| 1 |  | 第一章 绪论 | 1.1 传热学的研究内容及其在科学技术和工程中的应用1.2 热能传递的三种基本方式1.3 传热过程和传热系数1.4 传热学的发展简史和研究方法 | 4 | 作业：1. 完成“雨课堂”平台上的课后思考题；2、完成课后计算题：1-10、1-12、1-18、1-21。

要求：1、能掌握导热系数、表面传热系数及总传热系数、热阻的概念及物理意义；2、能熟练应用傅里叶定律、牛顿冷却公式、斯特藩-玻尔兹曼定律进行简单的传热量计算。 |  |
| 2-3 |  | 第二章 稳态热传导 | 2.1 导热基本定律-傅里叶定律2.2 导热问题的数学描写2.3 典型一维稳态导热问题的分析解2.4 通过肋片的导热2.5 具有内热源的一维稳态导热2.6 多维稳态导热的求解 | 8 | 作业：1、完成“雨课堂”平台上的课后思考题；2、完成课后计算题：2-7、2-10、2-16、2-46、2-51。要求：1、掌握傅里叶定律的一般形式；掌握导热微分方程的一般形式和三类边界条件；3、能熟练应用导热微分方程结合具体边界条件求解简单的一维稳态导热问题。 |  |
| 4-5 |  | 第三章 非稳态热传导 | 3.1 非稳态导热的基本概念3.2 零维问题的分析法—集中参数法3.3 典型一维物体非稳态导热的分析解3.5 简单几何形状物体多维非稳态导热的分析解 | 6 | 作业：1. 完成“雨课堂”平台上的课后思考题；

2、完成课后计算题：3-13、3-15、3-21、3-24。要求：1、掌握Bi的物理意义；2、掌握集中参数法的物理概念及数学上的处理特点；3、熟练应用集中参数法进行零维非稳态导热问题的分析计算。 |  |
| 5-6 |  | 第四章 热传导问题的数值解法 | 4.1 导热问题数值求解的基本思想4.2 内节点离散方程的建立方法4.3 边界节点离散方程的建立及代数方程的求解 | 4 | 作业：1、完成“雨课堂”平台上的课后思考题；2、完成课后计算题：4-2、4-9、4-10。要求：1. 了解对导热问题进行数值求解的基本思想与步骤；

2、熟练应用热平衡法建立节点的离散方程。 |  |
| 6-7 |  | 第五章 对流传热的理论基础 | 5.1 对流传热概说5.2 对流传热问题的数学描写5.3 边界层型对流传热问题的数学描写5.4 流体外掠平板传热层流分析解及1比拟理论 | 6 | 作业：1完成“雨课堂”平台上的课后思考题；2、完成课后计算题：5-3、5-8、5-12。要求：1、掌握热边界层的概念；2、掌握边界层型能量方程的特点；3、能应用特征数方程进行流体外掠平板层流传热的分析计算。 |  |
| 8-9 |  | 第六章 单相对流传热的实验关联式 | 6.1 相似原理与量纲分析6.2 相似原理的应用6.3 内部强制对流传热的实验关联式6.4 外部强制对流传热—流体横掠单管、球体及管束的实验关联式6.5 大空间与有限空间自然对流传热的实验关联式 | 8 | 作业：1、完成“雨课堂”平台上的课后思考题；2、完成课后计算题：6-7、6-8、6-11、6-14、6-25、6-35、6-36、6-44、6-52。要求：1、掌握相似原理的概念与应用；2、了解内部强制流动与外部强制流动，大空间自然对流与有限空间自然对流的异同点；3、熟练应用特征数方程进行强制对流与自然对流的传热计算。 |  |
| 10-11 |  | 第七章 相变对流传热 | 7.1 凝结传热的模式7.2 膜状凝结分析解及计算关联式7.3 膜状凝结的影响因素及其传热强化7.4 沸腾传热的模式7.5 大容器沸腾传热的实验关联式7.6 沸腾传热的影响因素及其强化 | 8 | 作业：1、完成“雨课堂”平台上的课后思考题；2、完成课后计算题：7-7、7-11、7-22、7-29、7-32。要求：1、掌握凝结传热与沸腾传热的模式；2、针对凝结与沸腾传热问题，能基于基本原理提出强化与削弱传热的措施；3、能进行膜状凝结与大容器内饱和沸腾的传热计算。 |  |
| 12-13 |  | 第八章 热辐射基本定律和辐射特性 | 8.1 热辐射现象的基本概念8.2 黑体热辐射的基本定律8.3 固体和液体的辐射特性8.4 实际物体对辐射能的吸收与辐射的关系8.5 太阳与环境辐射 | 8 | 作业：1、完成“雨课堂”平台上的课后思考题；2、完成课后计算题：8-4、8-8、8-17、8-20。要求：1、掌握黑体、漫射体、灰体的概念；2、掌握黑体的基本辐射定律和实际物体的辐射与吸收特性；3、能对黑体与实际物体进行辐射力、吸收比等计算。 |  |
| 14-15 |  | 第九章 辐射传热的计算 | 9.1 辐射传热的角系数9.2 两表面封闭系统的辐射传热9.3 多表面系统的辐射传热9.4 气体辐射的特点9.5辐射传热的控制（强化与削弱） | 8 | 作业：1、完成“雨课堂”平台上的课后思考题；2、完成课后计算题：9-6、9-7、9-21、9-24、9-25、9-28、9-35。要求：1、掌握角系数的定义与特性；2、掌握投入辐射、有效辐射的概念；3、熟练应用辐射网络法进行两表面及多表面系统的辐射传热计算；4、针对实际问题，能基于基本原理提出强化与削弱辐射传热的措施。 |  |
| 16-17 |  | 第十章 传热过程分析与换热器的热计算 | 10.1 传热过程的分析和计算10.2 换热器的类型10.3 换热器中传热过程平均温差的计算10.4 间壁式换热器的热设计10.5 热量传递过程的控制（强化与削弱） | 8 | 作业：1. 完成“雨课堂”平台上的课后思考题；

2、完成课后计算题：10-3、10-9、10-13、10-14、10-21。3、查阅文献，完成小论文“国内外强化与削弱传热技术的最新研究进展”。要求：1. 能依据基本方程进行间壁式换热器的热设计；2、掌握热量传递过程的控制机理和措施；3、针对实际问题，能基于基本原理提出强化与削弱
2. 传热的措施；4、了解强化与削弱传热的研究现状与未来的发展趋势。
 |  |

**六、教材及参考书目**

[1] 章熙民，任泽霈，梅飞鸣.传热学[M]。新2版.北京：中国建筑工业出版社，1993.

[2] 陶文铨.传热学基础[M].北京：电力工业出版社，1981.

[3] 张洪济.热传导[M].北京：高等教育出版社，1992.

[4] 刘静.微米、纳米尺度传热学[M].北京：科学出版社，2001

[5] 顾维藻，神家锐，马重芳，等.强化传热[M].北京：科学出版社，1990.

[6] 如卡乌卡斯 A A.换热器内的对流换热[M].马昌文，居滋泉，肖宏才译.北京：科学出版社，1986.

[7] 葛绍岩，那鸿悦.热辐射性质及其测量[M].北京：科学出版社，1989.

[8] 史美中，王中铮.换热器原理与设计[M].2版.南京：东南大学出版社，1996.

**七、教学方法**

本课程利用雨课堂平台发布预习资料和思考题，要求学生在课前观看，并完成相应的教学预习和问题思考。课堂教学中采用讲授法、案例教学法、启发教学法等，部分教学采用翻转课堂模式进行，增加课堂互动，并充分利用APP互动软件进行课前和课后的线上交流。

1. 讲授法：对传热学中大量的基本理论、原理、定律等进行课堂讲授和数学推导，使学生能够理解和掌握这些基础理论和基础知识。

2. 讨论法：围绕“车载燃料电池采用了哪些冷却技术？”、““如何降低工业测温热电偶的测量误差？”、“输送石油的超级隔热油管如何削弱传热？”、“工业换热器中采用了哪些强化换热的技术？你有什么更好的想法？”等实际工程问题组织课堂分组讨论，培养学生应用传热学知识分析、解决实际问题的能力和创新意识，同时提升学生的团队合作意识和语言表达能力。

3. 案例教学法：在传热学在科学技术和工程中的应用、实际物体对辐射能的吸收与辐射的关系、强化与削弱传热的实际应用等内容的教学中，选择大量的实际案例，组织学生进行主动分析、研讨，并加深对理论知识的理解。

4．启发教学法：在肋片导热等内容的教学中，由生活中的常见现象，如“北方的冬天，为什么不戴护耳套会觉得特别冷？”、“为什么手脚最容易生冻疮？”、“夏天小狗为什么爱吐舌头？”、“为什么非洲象比亚洲象的耳朵长得大？”等问题启发学生从传热学的角度展开思考，引出“肋片导热”的概念。

5.互动教学法：利用雨课堂平台发布预习资料和思考题，采用线上、线下相结合，维持课前、课上、课后互动不中断的方式提升教学效果。

 **八、考核方式及评定方法**

**（一）课程考核与课程目标的对应关系**

**表4：课程考核与课程目标的对应关系表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **课程目标** | **考核要点** | **考核方式** |
| 课程目标1 | 是否熟练掌握传热基础理论与基础知识 | 课后作业、闭卷笔试 |
| 课程目标2 | 是否了解传热学的工程应用及其对环境和社会可持续发展的影响，具有一定的社会责任感和使命感 | 课堂互动 |
| 课程目标3 | 是否能应用传热学知识，对工程应用中的传热问题进行思考、分析、求解，并提出自己的见解。 | 课后作业、课程小论文、闭卷笔试 |
| 课程目标4 | 是否具有自主学习意识、团队合作意识以及一定的口头和书面表达能力 | 课前预习完成度、课堂分组讨论表现、课程小论文 |

**（二）评定方法**

**1．评定方法**

平时成绩：20%（平时作业、小论文）

期中考试：30%（理论考试）

期末考试：50%（理论考试）

**2．课程目标的考核占比与达成度分析**

**表5：课程目标的考核占比与达成度分析表**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  **考核占比****课程目标** | **平时** | **期中** | **期末** | **总评达成度** |
| 课程目标1 | 35% | 30% | 25% | （课程目标1达成度={0.2ｘ平时目标1成绩+0.3ｘ期中目标1成绩+0.5ｘ期末目标1成绩}/目标1总分。） |
| 课程目标2 | 10% | 5% | 5% |
| 课程目标3 | 35% | 55% | 60% |
| 课程目标4 | 20% | 10% | 10% |

**（三）评分标准**

| **课程****目标** | **评分标准** |
| --- | --- |
| **90-100** | **80-89** | **70-79** | **60-69** | **＜60** |
| **优** | **良** | **中** | **合格** | **不合格** |
| **A** | **B** | **C** | **D** | **F** |
| **课程****目标1** | 熟练掌握传热学的基础理论和基础知识。 | 较熟练掌握传热学的基础理论和基础知识。 | 基本掌握传热学的基础理论和基础知识。 | 传热学的基础理论和基础知识掌握得不全面。 | 传热学的基础理论和基础知识很欠缺。 |
| **课程****目标2** | 了解传热学在各行业领域的广泛应用，形成了“节能优先”的基本观点，具有很强的社会责任感和生态文明意识。 | 较了解传热学在各行业领域的广泛应用，基本形成了“节能优先”的基本观点，具有较强的社会责任感和生态文明意识。 | 对传热学在各行业领域的应用有基本了解，基本形成了“节能优先”的基本观点，社会责任感和生态文明意识一般。 | 对传热学在各行业领域的应用了解不够全面，社会责任感和生态文明意识一般。 | 不太了解对传热学在各行业领域的应用，尚未建立“节能优先”的基本观点，不具有社会责任感和生态文明意识。 |
| **课程****目标3** | 能够熟练传热学理论知识思考、分析、解决实际问题，并能提出创新性见解。 | 能够较熟练传热学理论知识思考、分析、解决实际问题，在老师的引导下能提出一定的创新性见解。 | 基本能应用传热学理论知识思考、分析、解决实际问题，不能提出创新性见解。 | 应用传热学理论知识思考、分析、解决实际问题的能力不足，不能提出创新性见解。 | 应用传热学理论知识思考、分析、解决实际问题的能力非常欠缺，不能提出创新性见解。 |
| **课程****目标4** | 积极完成教学平台上发布的课前预习，积极参加课堂分组讨论，积极完成课程小论文,形成优秀的自主学习能力、团队合作意识以及口头和书面表达能力。 | 能完成教学平台上发布的课前预习，较积极参加课堂分组讨论，较积极完成课程小论文,形成一定的自主学习能力、团队合作意识以及口头和书面表达能力。 | 基本能完成教学平台上发布的课前预习，课堂分组讨论表现尚可，课程小论文完成度尚可,自主学习能力一般、团队合作意识以及口头和书面表达能力一般。 | 能部分完成教学平台上发布的课前预习，课堂分组讨论不够积极，课程小论文完成度一般,自主学习能力较差，团队合作意识以及口头和书面表达能力较弱。 | 不能按时完成教学平台上发布的课前预习，课堂分组讨论很不积极，不能保质保量完成课程小论文,自主学习能力很差、没有团队合作意识，口头和书面表达能力差。 |