

## 《工程热力学》教学大纲

课程代码	037100353
课程名称	工程热力学
英文名称	Engineering Thermodynamics
课程类别	专业基础课
课程性质	必修
学时	总学时：48，实验学时：0，实习学时：0，其他学时：0
学分	3
开课学期	4
开课单位	化学与化工学院
适用专业	能源化学工程
授课语言	中文
先修课程	微积分；概率论与数理统计；物理化学
毕业要求 (专业培养能力)	<p>'No1.1 能采用数学、自然科学和工程科学的语言表述能源化学工程问题'</p> <p>'No2.3 能认识到有多种方法可解决能源化学工程问题，会通过文献调研寻求可替代的解决方案'</p> <p>'No5.2 能选择与使用恰当的仪器、信息资源、工程工具和专业软件，对能源化学工程领域的复杂工程问题进行分析、计算与设计'</p> <p>'No7.2 能够站在环境保护和可持续发展的角度思考能源化学工程实践的可持续性，评价产品周期中可能对人类和环境造成的损害和隐患'</p> <p>'No11.3 能在多学科环境下（包括模拟环境），在能源化学工程项目设计或解决方案开发中，运用工程管理与经济决策方法'</p> <p>'No12.2 具有自主学习和适应发展的素质和能力，能理解能源化学工程技术发展中的专业问题，并对其进行归纳总结和提出新问题'</p>
课程培养学生的能力 (教学目标)	<p>课程教学完成后学生应具有如下能力：</p> <p>[o1] 能应有热力学基本原理、关系式和研究方法表达热功转化实际工程问题；</p> <p>[o2] 能通过课外扩展阅读很好地理解工程热力学在能源化学工程中的应用，能采用不同的方法求解热力学问题；</p> <p>[o3] 能熟练运用 MATLAB 等专业软件辅助分析、求解实际工质的热力学过程；</p> <p>[o4] 能够站在环境保护和可持续发展的角度思考热功转化过程的可持续性，评判工质生命周期中可能对人类和环境造成的损害和隐患；</p> <p>[o5] 能辨别化学、化工和能源学科的热力学研究差异，了解工程热力学在方案设计</p>

	<p>和开发中的经济决策问题和效率，能在人文、社科和经济等领域采用广义热力学原理切入分析复杂的工程问题；</p> <p>[o6] 能采用热力学的统一方法自学完成热力学扩展内容，能归纳分析能源化学工程领域中的热力学应用和由此引申的新问题。</p>
课程简介	<p>工程热力学是研究能量转化，特别是热能转化成机械能的规律和方法，以及提高转化效率的途径，以提高能源利用的经济性。课程内容主要包括热力学基本原理和规律、工质性质和基本工程应用。本课程主要采用经典热力学的研究方法，即以热力学基本定律为基础，针对具体问题抽象、概括、简化出过程本质，建立相应的分析模型和推导实用的公式，从而获得共性问题的重要结论。对热力学关键概念、问题和模型（例如温度、理想气体等），采用微观热力学方法加深学生对过程变化本质的认识层次。</p>
教学内容与学时分配	<p><b>0 绪论</b>（2 学时）</p> <p>内容：介绍能源对人类社会发展的作用，工程热力学的研究对象、发展历史及工程热力学的研究内容和方法。</p> <p>重点：在能源转化系统整体认识的基础上，了解工程热力学具体能解决、说明的具体能源转化内容</p> <p><b>1 基本概念及定义</b>（4 学时）</p> <p>内容：通过两个典型的热能与机械能相互转化的过程，引出描述热量与做功之间关系的一些基本概念和定义，详细地分析了每个概念的物理意义和相应的定义式。</p> <p>重点：热力系统、热力学状态及基本状态参数，平衡状态与状态方程式、工质的状态变化过程、过程功与热量、热力循环等概念和定义</p> <p>难点：状态性质、可逆过程、平衡和循环的概念及应用</p> <p><b>2 热力学第一定律</b>（4 学时）</p> <p>内容：介绍热力学第一定律实质，能量的组成和分类，能量间的传递和转化，热力学第一定律的基本方程，闭口系和开口系的能量方程及其应用。</p> <p>重点：热力学第一定律的实质，闭口系和开口稳流系的能量方程及其应用</p> <p>难点：技术功的概念及应用</p> <p><b>3 气体与蒸汽的性质</b>（3 学时）</p> <p>内容：介绍理想气体的概念，推导出理想气体的状态方程式。定义了理想气体的比热容、热力学能、焓和熵的表达式。同时也介绍了理想气体混合物的性质。介绍水蒸汽产生的一般原理，水和水蒸汽的状态参数的确定，水蒸气图表的结构和应用以及水蒸气热力过程中功和热量的计算。</p> <p>重点：理想气体及其混合物的性质、状态参数、状态方程式。水和水蒸气的状态参数，水蒸气和制冷工质的表、图及其使用方法，水蒸气基本过程的计算</p> <p>难点：湿蒸汽性质与应用</p> <p><b>4 气体和蒸汽的基本热力过程</b>（6 学时）</p> <p>内容：介绍研究热力过程的目的及一般方法。分别描述了理想气体的四种基本热力过程，定容过程、定压过程、定温过程、绝热过程特点、以及在 <math>p-v</math> 图和 <math>T-s</math> 图上的表示方法、介绍了如何对热力过程进行定性分析和热力计算。</p> <p>重点：理想气体四个典型热力过程的分析计算，多变过程的综合分析及计算。</p>

	<p>难点：理想气体基本热力过程的应用，多变分析。</p> <p><b>5 热力学第二定律（6 学时）</b></p> <p>内容：着重介绍热力学第二定律，可逆循环及其热效率的分析，卡诺定理，熵参数、热过程方向的判据，熵增原理、熵方程，焓参数的概念，工质焓及系统焓平衡方程。</p> <p>重点：热力学第二定律的实质，卡诺定理及其应用，熵方程及其应用，焓参数及其应用。</p> <p>难点：热力学第二定律的应用，熵增原理和焓衡算</p> <p><b>6 实际气体的性质及热力学一般关系式（4 学时）</b></p> <p>内容：理想气体状态方程用于实际气体的偏差，范德华方程和 R-K 方程，对应态原理与通用压缩因子图。</p> <p>重点：范德华方程，对应状态原理和压缩因子，热力学基本关系式及应用</p> <p>难点：热力学基本关系式及应用。</p> <p><b>7 气体与蒸气的流动（4 学时）</b></p> <p>内容：稳定流动的基本方程式，促进流速改变的条件，喷管和扩压管的计算，背压变化时喷管内流动过程简析，有摩阻的绝热流动，绝热节流。</p> <p>重点：稳定流动的基本方程式及其在喷管流动中的应用，气体和蒸气在喷管内流动的计算。绝热节流及应用。</p> <p>难点：滞止性质。</p> <p><b>8 压气机的热力过程（3 学时）</b></p> <p>内容：单级活塞式压气机的工作原理和理论耗功量，余隙容积的影响，多级压缩和级间冷却。叶轮式压气机的工作原理。</p> <p>重点：活塞式压气机的工作原理及其计算，多级压缩的优点。</p> <p>难点：余隙容积效应</p> <p><b>9 气体动力循环（3 学时）</b></p> <p>内容：分析动力循环的一般方法。活塞式内燃机各种理想循环的计算及热力学比较。燃气轮机装置的循环及其计算。</p> <p>重点和难点：各种内燃机和燃气轮机理论循环及其计算，内燃机设计参数对理论能效的影响。</p> <p><b>10 蒸气动力循环装置（3 学时）</b></p> <p>内容：朗肯循环、再热循环、回热循环及其热力计算。</p> <p>重点和难点：再热循环、回热循环及其热力计算。</p> <p><b>11 制冷循环（3 学时）</b></p> <p>内容：压缩空气制冷循环，压缩蒸气制冷循环。制冷剂的性质。热泵循环。</p> <p>重点和难点：压缩蒸气制冷循环及其计算。</p> <p><b>12 理想气体混合物及湿空气（3 学时）</b></p> <p>内容：湿空气的概念，相对湿度和含湿量，相对湿度的测定，湿空气的焓湿图，湿空气过程及其应用（这部分内容为“传质与分离工程”中的干燥部分做知识铺垫）。</p> <p>重点和难点：湿空气的过程、计算及应用。</p> <p><b>13 化学热力学基础（学生自学）</b></p> <p>内容：第一定律解析式，赫斯定律和基尔霍夫定律，绝热理论燃烧温度，化学平衡和平衡常数，化学平衡移动原理、判据和条件，平衡常数。</p> <p>重点：燃烧温度的计算，化学反应平衡，化学反应系统的能量转换</p>
--	---

难点：反应平衡的判定原理及应用

课程教学产出（学生能力）与教学目标关系表

目 标	产 出 编 号	学生完成相应章节学习后具有的能力
o1	s00.1	能识别能源种类和属性
o3	s00.2	能分析判定当前我国的主要的能源结构
o1	s00.3	能分析说明工程热力学的主要内容
o1	s01.1	能应用热力系统概念分析热力学问题
o1	s01.2	能应用状态参数分析热力系的宏观性质
o1	s01.3	能应用热力过程分析宏观性质的变化
o1	s01.4	能应用热力学基本概念分析循环过程
o4	s02.1	能应用热力学第一定律表达实际热功转换过程
o1	s02.2	能应用热力学第一定律分析热功转换过程的能量变化情况
o2	s02.3	能应用热力学第一定律比较能量转换过程
o1	s03.1	能分析实际气体以判定理想气体模型的适用性
o1	s03.2	能分析和计算理想气体内能、焓和熵的变化
o1	s03.3	能应用水蒸气图、表分析热力过程焓和熵的变化
o1	s04.1	能应用理想气体模型分析基本热力过程的热功转换情况
o2	s04.2	能定性和定量综合分析理想气体热力过程，进一步加深过程特性和规律的认识
o5	s04.3	能用 Matlab 进行水蒸气基本过程的分析和计算
o1	s05.1	能应用热力学第二定律分析过程的方向性
o1	s05.2	能应用卡诺循环计算实际可逆循环的热效率
o3	s05.3	能应用热力学第二定律识别和判断热力学过程的薄弱环节
o4	s05.4	能正确表达热力过程的能源转换情况
o2	s05.5	能对能源系统进行综合分析和比较，由此深入说明能源转换中的效率
o2	s06.1	能够量化比较理想气体状态模型与实际的差异，进而通过模型修正获得描述实际气体的更准确模型
o1	s06.2	能应用热力学基本关系式分析特性函数、热系数
o2	s06.3	能准确表达热力学过程状态函数的一般关系
o1	s07.1	能应用稳定流动基本方程分析喷管中流体动力学基本现象
o1	s07.2	能应用稳定、可压缩流体在管内流动的力学和几何条件分析流动状态
o3	s07.3	能根据工质进出喷管时的状态判断工质的流动状态，进而进行基本的喷管尺寸设计
o2	s07.4	能比较说明工质特性对绝热节流前后的温度变化影响
o5	s07.5	能用 Matlab 分析节流过程的做功能力变化
o1	s08.1	能分析活塞式压气机的理论功耗和余隙体积的影响

	o2	s08.2	能综合分析多级压缩、级间冷却的最佳功耗
	o4	s08.3	能在热力学图中正确表达叶轮式压气机的工作过程，进而分析计算压缩过程的能量转换特征
	o3	s09.1	能应用热力学原理，通过对关键能源转化过程的识别和判断，将复杂的活塞式内燃机和燃气轮机工作过程表达为简化的理想循环过程
	o2	s09.2	能比较分析不同理想气体动力循环过程的能量转换特点
	o2	s10.1	能比较分析卡诺循环的技术局限和实际应用
	o1	s10.2	能应用热力学原理及图表分析蒸气动力学循环过程的能效
	o4	s10.3	能表达再热循环和回热循环的热力学实质
	o5	s10.4	能应用 Matlab 软件进行蒸气动力循环过程的热力计算
	o1	s11.1	能应用制冷过程的基本概念分析制冷过程的能量转化过程
	o2	s11.2	能对比分析压缩空气制冷循环的能源转化特点
	o2	s11.3	能对比分析不同制冷循环的能源转化特点，综合分析压缩蒸气制冷循环与热泵过程
	o6	s11.4	能推演制冷剂性质与环保、安全的关系
	o1	s12.1	能应用理想气体混合物模型分析不同组成的气体混合物性质
	o1	s12.2	能准确理解湿空气相关的概念进而分析湿空气的状态变化
	o2	s12.3	能比较分析不同过程的湿空气状态变化，并利用湿空气图综合分析不同工程实践中的水分传递特性
	o5	s12.4	能应用 Matlab 进行实际干燥过程的模拟
实 验 教 学 (包括上机学时、实验学时、实践学时)	课程内不安排实验课，相关实验内容统一安排在“热力学实验”中进行		
教学方法	课程教学主要包括教师课堂教学和学生课外研习，时间比例约 1:2。 为实现课程教学目标[o1]、[o2]和[o6]，课堂教学包括课程主干内容的讲授和综合讨论；为实现课程教学目标[o3-5]，课外研习要求学生自主学习课外内容并应用计算机完成课程作业。		
考核方式	课程成绩评定注重教学过程的综合表现，各环节比例为： 平时作业和课堂表现：20~40 % 平时小测试：10~20 % 期末考试（闭卷）：40~70 % 其中所有考核环节均以预期学生能力达成为目标。		
教材及参考书	<b>教材：</b> 沈维道, 童钧耘. 工程热力学, 第 5 版, 北京: 高等教育出版社, 2016. <b>参考资料：</b> Cengel Y A, Boles M A. Thermodynamics An Engineering Approach, 8 <sup>th</sup> Ed. Columbus: McGraw-Hill Education, 2014.		

	<p>傅秦生. 工程热力学, 北京: 机械工业出版社, 2012.</p> <p>严家禄. 工程热力学, 第 5 版, 北京: 高等教育出版社, 2015.</p> <p><b>课程资料数据仓库:</b></p> <p><a href="https://github.com/piandi/EngThermoDyn">https://github.com/piandi/EngThermoDyn</a></p>
制定人及制定时间	<p>关国强, 樊栓狮@2019/4/1: 初稿</p> <p>关国强@2019/6/19: 教学内容调整, 不要求 Aspen 使用</p> <p>关国强@2019/6/29: 补充教学产出与目标关系表</p>

## ***“Engineering Thermodynamics” Syllabus***

Course Code	
Course Title	Engineering Thermodynamics
Course Category	Disciplinary Basic Course
Course Nature	Compulsory Course
Class Hours	48
Credits	3
Semester	4
Institute	School of Chemistry and Chemical Engineering
Program Oriented	Energy Chemical Engineering
Teaching Language	Mandarin Chinese
Prerequisites	Calculus I, Probability & Mathematical Statistics, Physical Chemistry
Student Outcomes (Special Training Ability)	<b>№1.Engineering Knowledge:</b> An ability to apply knowledge of mathematics, science, engineering fundamentals and engineering specialization to the solution of complex engineering problems.
Teaching Objectives	Let students gain insight toward their already known knowledge of thermodynamics. Help them to be capable of systematic analysis and synthesis for the thermodynamic phenomena especially in the conversion of thermal energy into work and cycling process. This course will emphasize the logically thinking and ability development of using the existed knowledge to solve the real-world problems.
Course Description	Engineering thermodynamics studies the energy conservation and practical means to improve the conversion efficiency and economics especially in the inter-conversion of thermal energy and mechanical work. The three main contents discussed in this course include (1) the principal concepts and laws of thermodynamics, (2) properties of working media, and (3) the basic industrial applications. The classical thermodynamic methods are mainly used in this course to model the given thermodynamic problems according to the essential laws and relationships in thermodynamics. For comprehensive understanding the critical concepts and assumptions in thermodynamics, such as temperature, ideal gas and so on, the microscopic insight of the material and energy is also illustrated by means of the statistical thermodynamic methods.

Teaching Content and Class Hours Distribution	Three levels of knowledge requirement for students:			
	1- Know the concepts and terms for professional communication; 2- Understand the concepts and principles as well, and then explain the main causes of the thermodynamic phenomena; 3- Not only need to know why, but also know how to solve the relatively simple problems in the real world.			
	<b>Lecture</b>	<b>Topic</b>	<b>Level of knowledge requirement</b>	<b>Hours</b>
	<b>Chap.0</b>	<b>Introduction</b>		2
	Chap.0-1	Heat and its utilization	2	
	Chap.0-2	History of thermodynamics	1	
	Chap.0-3	Main content of thermodynamics	2	
	<b>Chap.1</b>	<b>Principal concepts and definitions</b>		4
	Chap.1-1	Conversion of heat into work, and vice versa	3	
	Chap.1-2	System	3	
	Chap.1-3	Properties	3	
	Chap.1-4	State, equilibrium, EOS, property diagram	3	
	Chap.1-5	Process	3	
	Chap.1-6	Work and heat	3	
	Chap.1-7	Cycle	3	
	<b>Chap.2</b>	<b>The first law</b>		4
	Chap.2-1	Nature of 1st law of thermodynamics	3	
	Chap.2-2	Internal energy and total energy	3	
	Chap.2-3	Energy conversion and transfer	3	
	Chap.2-4	Enthalpy	3	
	Chap.2-5	Equations of energy conservation	3	
	Chap.2-6	Energy conservation in open system	3	
	Chap.2-7	Applications of energy conservation	3	
	<b>Chap.3</b>	<b>Properties of gases and vapors</b>		3
	Chap.3-1	Concept of ideal gas	3	
	Chap.3-2	Specific heat of ideal gas	3	
	Chap.3-3	Internal energy, enthalpy and entropy of ideal gas	3	
	Chap.3-4	Saturated steam and phase diagram	2	
	Chap.3-5	Evaporation of water and its critical point	3	
	Chap.3-6	Properties of water and steam	3	
	Chap.3-7	Table and figure of steam	1	
	<b>Chap.4</b>	<b>Essential thermodynamic processes of gases and vapors</b>		6
	Chap.4-1	Polytropic process	3	
	Chap.4-2	Constant-volume process	3	
	Chap.4-3	Isobaric process	3	
	Chap.4-4	Isothermal process	3	



Chap.4-5	Adiabatic process	3	
Chap.4-6	General process for ideal gas	3	
Chap.4-7	Basic process for steam	2	
Chap.4-8	Unsteady flow	2	
<b>Chap.5</b>	<b>The second law</b>		6
Chap.5-1	2nd law of thermodynamics	3	
Chap.5-2	Carnot cycle and generalized Carnot cycle	3	
Chap.5-3	Carnot's law	3	
Chap.5-4	Entropy and mathematical expression of 2nd law	3	
Chap.5-5	Balance of entropy	3	
Chap.5-6	Entropy changes in isolated system	3	
Chap.5-7	Exergy	2	
Chap.5-8	Balance of exergy	2	
Chap.5-9	Temperature scale of thermodynamics	2	
<b>Chap.6</b>	<b>Properties of real gases and general relationship in thermodynamics</b>		4
Chap.6-1	Differences between ideal gas with the real gas	3	
Chap.6-2	Van de Waal equation and R-K equation	2	
Chap.6-3	Diagram of generalized compressibility factor	2	
Chap.6-4	Virial equation	2	
Chap.6-5	Maxwell relations	3	
Chap.6-6	General relationship of internal energy, enthalpy and entropy	3	
<b>Chap.7</b>	<b>Flows of gases and vapors</b>		4
Chap.7-1	Steady flowing equation	3	
Chap.7-2	Conditions of changing the velocity of gas or vapor	3	
Chap.7-3	Calculation in nozzle	2	
Chap.7-4	Simplified calculation of flowing in nozzle with variable outlet pressure	2	
Chap.7-5	Adiabatic flows with friction	2	
Chap.7-6	Joule-Thompson effect	2	
<b>Chap.8</b>	<b>Basic process in compressor</b>		3
Chap.8-1	Principle of single-stage compressor and its theoretically required work	3	
Chap.8-2	Influence of rest volume	3	
Chap.8-3	Multi-stage compression and interstage cooling	3	
Chap.8-4	Turbine compressor	2	
Chap.8-5	Jet compressor	1	
<b>Chap.9</b>	<b>Cycles of gases</b>		3
Chap.9-1	Gas power cycle	3	
Chap.9-2	Simplification of piston internal combustion engine	2	
Chap.9-3	Ideal cycle for piston internal combustion engine	3	

	Chap.9-4 Cycle in turbine 1 Chap.9-5 Isobaric heating process in turbine power cycle 2 Chap.9-6 Measure to improve the thermal efficiency 1 Chap.9-7 Propulsion 1 <b>Chap.10 Cycles of steam 3</b> Chap.10-1 Rankine cycle: The ideal cycle for vapor power cycles 3 Chap.10-2 The ideal reheat Rankine cycle 3 Chap.10-3 The ideal regenerative Rankine cycle 3 Chap.10-4 Cogeneration 1 Chap.10-5 Combined gas-vapor power cycles 1 Chap.10-6 Exergy analysis in vapor power cycles 1 <b>Chap.11 Refrigeration cycles 3</b> Chap.11-1 Refrigeration cycles 3 Chap.11-2 Ideal air-compression refrigeration cycle 3 Chap.11-3 Ideal vapor-compression refrigeration cycle 3 Chap.11-4 Properties of working media 1 Chap.11-5 Other refrigeration cycle 1 Chap.11-6 Heat pump 3 <b>Chap.12 Mixture of ideal gases and wet air 3</b> Chap.12-1 Mixture of ideal gases 3 Chap.12-2 Specific heat, internal energy, enthalpy and entropy of ideal mixtures 3 Chap.12-3 Wet air 3 Chap.12-4 Properties of wet air 2 Chap.12-5 Adiabatic saturation and wet-bulb temperatures 3 Chap.12-6 The psychometric chart 1 Chap.12-7 Applications of wet air 3 <b>Chap.13 Chemical thermodynamics (for student self-learning) 0</b> Chap.13-1 Chemical thermodynamics 1 Chap.13-2 First-law analysis of reaction system 1 Chap.13-3 Adiabatic flame temperature and theoretical combustion temperature 1 Chap.13-4 Chemical equilibrium and equilibrium constant 1 Chap.13-5 Criteria for chemical equilibrium 1 Sum. 48
Experimental Teaching	None
Teaching Method	Oral lecturing in class with plenty of assignments after class; timely comprehensive discussion of hot thermodynamic issues in interactive class
Examination Method	Attendance and assignment result: 30~40 % Quiz: 10~20 % Final exam: 40~60 %

Teaching Materials and Reference Books	<p><i>Textbook</i></p> <p>Shen W D, Tong J Y. <b>Engineering Thermodynamics</b>, 4<sup>th</sup> ed. Beijing: Higher Education Press, 2008</p> <p><i>References</i></p> <p>Cengel Y A, Boles M A. <b>Thermodynamics An Engineering Approach</b>, 8<sup>th</sup> Ed. Columbus: McGraw-Hill Education, 2014.</p>
Prepared by Whom and When	By Dr. GUAN Guoqiang, and Dr. FAN Shuanshi at Apr. 1, 2019