

# 《化工热力学》课程教学大纲

课程类别：学科基础教育课程

课程名称：化工热力学

开课单位：化学工程与技术学院

课程编号：Z02040104

课程性质：必修

总学时：32 学时

学 分：2 学分

适用专业：化学工程与工艺

先修课程：高等数学、物理化学

大纲编写（修订）时间：2019 年 9 月 1 日

## 一、课程性质与教学目标

### 1. 课程性质与任务（需说明课程对人才培养方面的贡献）

化工热力学作为化学工程学科的重要分支，是化学工程及相关专业的基础课程。本课程主要基于热力学第一、第二、第三基本定律，通过结合反映系统特征的理论模型，解决工业过程（特别是化工过程）中热力学性质的计算和预测、相平衡和化学平衡计算、能量的有效利用等实际问题。化工热力学原理和应用知识，是化工过程研究、开发以及设计等方面必不可少的重要理论基础，能为学生开展后续课程的学习打下牢固的基础，并为他们开拓性地从事化工过程设计和模拟、研究复杂化工过程及解决化工过程实际问题等提供理论指导。

通过本课程的学习，使学生正确理解化工热力学的基本概念与原理，理解各个概念之间的关联与应用，熟悉化工热力学的基本计算方法，具备使用经典热力学原理分析和解决一些化工生产与设计中的工程实际问题的能力。

### 2. 课程目标

通过本课程的理论教学和实验训练，使学生具备以下能力：

课程目标 1：理解热力学的基本概念和原理，建立化工热力学知识体系，学会利用 Excel、Aspen plus 等现代工具进行热力学性质的推算，能够利用化工热力学的原理，分析识别和判断化工复杂工程问题中关键环节和主要影响因素。（支撑毕业要求指标点 2-1）

课程目标 2：能够运用热力学平衡的原理、理论模型以及“复杂问题=简单问题+校正系数”的思维模式，通过数学模型正确表达化工过程中的复杂工程问题。（支撑毕业要求指标点 2-2）

课程目标 3：充分理解节能环保与可持续发展的内涵，能够利用化工热力学的基本理论，进行化工过程的能量分析，以实现节能减排的目标。（支撑毕业要求指标点 7-1）

## 二、课程内容、学时分配及对毕业要求指标点的支撑

章节	内 容	讲 课	实 验	小 计	支撑课程目 标	支撑的毕业要 求指标点
第 1 章	<p><b>1 绪论</b></p> <p>1.1 热力学的发展概述；主要内容：热力学研究的起源、发展及其现状。</p> <p>1.2 化工热力学研究范围；主要内容：宏观和微观热力学，热力学研究对象与研究方法。</p> <p>1.3 化工热力学在化学工业中的应用；主要内容：生活及生产中的化工热力学应用实例。</p> <p>1.4 热力学的基本概念；主要内容：体系与环境、平衡状态与状态函数、可逆与不可逆过程、热与功、温度与压力等。</p> <p>重点：化工热力学的研究方法，热力学的基本概念。</p>	2		2	1	2-1
第 2 章	<p><b>2 流体的 <math>p-V-T</math> 关系</b></p> <p>2.1 纯流体 <math>p-V-T</math> 关系；主要内容：<math>p-V</math> 图、<math>p-T</math> 图、<math>V-T</math> 图。</p> <p>2.2 真实流体状态方程；主要内容：Virial 方程、vdW 方程、RK 方程、SRK 方程、PR 方程。</p> <p>2.3 状态方程的应用；主要内容：对比态原理，普遍化法、迭代法、借助工具求解状态方程。</p> <p>重点：真实气体状态方程（PR 方程），以偏心因子为第三参数的普遍化法。</p> <p>难点：对比态原理。</p>	4	4	8	1、2	2-1 2-2

第 3 章	<p><b>3 纯流体的热力学性质</b></p> <p>3.1 定组成体系热力学性质间关系式；主要内容：基本微分方程（定组成）、点函数间数学关系式、Maxwell 方程。</p> <p>3.2 单相体系热力学性质计算；主要内容：dS 方程、dH 方程和 dU 方程，剩余性质，真实气热力学性质（H、S）计算：状态方程法、普遍化法。</p> <p>3.3 纯流体的逸度和逸度系数；主要内容：逸度和逸度系数的概念及其计算。</p> <p>3.4 两相系统的热力学性质及热力学图表；主要内容：两相系统热力学性质，热力学性质图表：水蒸汽特性表和 T-S 图。</p> <p>重点：定组成体系热力学性质间关系式，剩余性质的概念及其计算</p> <p>难点：逸度与逸度系数。</p>	6		6	1、2	2-1 2-2
第 4 章	<p><b>4 流体混合物的热力学性质</b></p> <p>4.1 变组成体系热力学性质间关系；主要内容：基本微分方程（变组成），化学位，偏摩尔性质的定义和物理意义，Gibbs-Duhem 方程及应用。</p> <p>4.2 理想溶液和标准状态；主要内容：理想溶液的概念和特点，Lewis-Randall 和 Henry 定律。</p> <p>4.3 混合性质变化；主要内容：混合性质变化定义，理想溶液混合性质变化，混合过程的焓变。</p> <p>4.4 活度和活度系数；主要内容：活度和活度系数的定义、物理意义及计算。</p> <p>4.5 超额性质；主要内容：超额性质定义和物理意义，超额吉布斯函数和活度系数的关系。</p>	6		6	1、2	2-1 2-2

	<p>4.6 活度系数模型；主要内容：正规溶液和无热溶液，经验模型与理论模型，模型的适用范围。</p> <p>重点：偏摩尔性质及其计算，Gibbs-Duhem 方程的应用。</p> <p>难点：活度和活度系数，混合物中组分的逸度和逸度系数的计算与分析。</p>					
第 5 章	<p><b>5 相平衡</b></p> <p>5.1 相平衡基础理论；主要内容：相平衡判据、相律及其应用，汽液平衡相图分析。</p> <p>5.2 汽-液平衡；主要内容：汽-液平衡的基本问题及求解类型、汽液平衡热力学处理方法。</p> <p>5.3 汽-液平衡的计算（借助工具）；主要内容：汽液平衡过程的分析及计算流程、工具求解法。</p> <p>5.4 活度系数模型参数的估算；主要内容：模型参数估算方法，热力学一致性检验。</p> <p>5.5 其它相平衡简介；主要内容：气-液平衡、液-液平衡、固-液平衡的理论基础及计算方法。</p> <p>重点：平衡条件和判据，相律及其应用，汽-液相平衡计算。</p> <p>难点：完全互溶体系在中低压下汽液平衡计算方法；活度系数模型参数估算。</p>	6	4	10	1、2	2-1 2-2
合计		24	8	32		

### 三、本课程开设的实验项目

编号	实验项目名称	学时	类型	要求	支撑课程目标	支撑的毕业要求指标点
1	二氧化碳 $p-V-T$ 关系测定及其临界状态观察	4	验证性	必做	1	2-1
2	二元系统汽-液平衡数据测定	4	综合性	必做	2	2-2

注：1. 类型指验证性、综合性、设计性等。

2. 要求指必做、选做。

#### 实验一、二氧化碳 $p-V-T$ 关系测定及其临界状态观测

实验目的：测定二氧化碳的  $p-V-T$  关系，观察临界现象，测定其临界参数 ( $p_c$ 、 $V_c$ 、 $T_c$ )；测定二氧化碳在不同压力下饱和蒸汽和饱和液体的比容；测定二氧化碳饱和温度和饱和压力的对应关系。

实验原理：气体状态方程；超临界现象。

实验仪器：二氧化碳  $p-V-T$  关系仪 (DYR081 II)。

实验安排：教师简述实验原理，介绍二氧化碳  $p-V-T$  关系测定仪的构造，并进行操作演示，同时说明实验注意事项；学生以 4 人一组，完成  $p-V$  图的绘制，测定饱和温度与饱和压力的关系，观察临界状态附近汽-液两相的变化情况，并测定临界参数 ( $p_c$ 、 $V_c$ 、 $T_c$ )。

实验报告要求：明确实验目的，熟悉实验内容，了解实验装置及运行方式；理解实验原理，详细描述实验步骤；实验数据及结果讨论，完成实验思考题，并写出实验体会与疑问。

#### 实验二、二元系统汽-液平衡数据测定

实验目的：了解汽-液平衡测定装置的构造及工作原理；掌握二元体系汽-液相平衡数据的测定方法；学会求解活度系数方程式中的参数，并进行汽-液平衡数据的关系。

实验原理：相平衡判据；活度系数法求解汽-液平衡过程；Wilson 方程。

实验仪器：二元系统汽-液平衡数据测定装置 (DYH541)。

实验安排：教师简述实验原理，介绍二元系统汽-液平衡数据测定仪的构造，并进行操作演示，同时说明实验注意事项；学生以 4 人一组，完成实验标准曲线的绘制，测定二元系统汽-液平衡标准数据，记录实验数据并进行分析。

实验报告要求：明确实验目的，熟悉实验内容，了解实验装置及运行方式；理解实验原理，详细描述实验步骤；实验数据及结果讨论，完成实验思考题，并写出实验体会与疑问。

#### 四、达成课程目标的途径和措施

1. 化工热力学知识点最终都将用于解决实际问题，授课过程应联系化工实际生产过程，通过实例引导学生自主学习，充分理解所学知识；

2. 课堂上要引导学生建立“复杂问题=简单问题+校正系数”的思维方式，利用现代工具完成复杂问题的求解、预测，建立数学模型；

3. 化工热力学的学习体系包括化工热力学理论学习与化工热力学计算工具的应用，两者相辅相成，缺一不可；

4. 本课程有 8 个学时的实验，增强学生动手能力，培养学生分析思考能力，具体实验内容见“三、本课程开设的实验项目”。

#### 五、考核方式

1. 课程考核方式包括随堂测验、课后作业、实验和期末考试等。

2. 定量评价

本课程包含  $i$  个分课程目标，有  $k$  个考核方式，各考核方式对课程目标达成评价的权重占比分配如下：

表 5.1 各考核方式对课程目标达成评价的权重占比分配

课程目标	分课程目标权重（本列总和为 1） $P_i$	各考核方式评价比例分配 （每行总和为 1） $W_{ik}$				各考核方式在课程达成中的占比 （所有行列总和为 1） $S_{ik}=P_i*W_{ik}$			
		随堂测验	作业	实验	期末考试	随堂测验	作业	实验	期末考试
1	0.4	0.2	0.2	0.1	0.5	0.08	0.08	0.04	0.2
2	0.6	0.05	0.15	0.1	0.7	0.03	0.09	0.06	0.42
各考核环节对课程目标达成的贡献率						0.11	0.17	0.1	0.62

那么第  $i$  个分课程目标的评价基于各环节  $k$  的贡献加权求和，就是该分课程目标的达成度  $A_i$ ，即：

$$A_i = \sum G_{ik} \times W_{ik} \quad (5-1)$$

而多个分课程目标再根据比例加权求和，就得到本门课程的课程目标达成度  $A$ 。

$$A = \sum A_i \times P_i \quad (5-2)$$

其中： $k$  表示不同的考核环节， $i$  表示不同的分课程目标；

$S_{ik} = P_i \times W_{ik}$  是第  $k$  种评价方式通过第  $i$  个课程目标反映在总的课程目标评分占比；

$W_{ik}$  表示第  $k$  种评价方式对第  $i$  个课程目标百分占比；

$P_i$  表示第  $i$  个课程目标在课程总评价中的占比；

$G_{ik}$  表示第  $k$  个考核方式支撑第  $i$  个课程目标的达成度。

表 5.2 第  $k$  个考核环节对分课程目标的达成度  $G_{ik}$

课程目标 环节内容	课程目标 1	课程目标 2	.....	课程目标 $i$
分课程目标权重 ( $P$ )	$P_1$	$P_2$		$P_i$
考核内容覆盖率要求 (%)	$S_{1k} \times 100 / \sum S_{ik}$	$S_{2k} \times 100 / \sum S_{ik}$		$S_{3k} \times 100 / \sum S_{ik}$
考核题目	.....	.....		.....
各题目分数总和 ( $\sum B$ )	$\sum B_1$	$\sum B_2$		$\sum B_i$
考核内容覆盖率实际占比 (%)	$\sum B_1 \times 100 / \sum \sum B_i$	$\sum B_2 \times 100 / \sum \sum B_i$		$\sum B_i \times 100 / \sum \sum B_i$
各题目得分平均值总和 ( $\sum A$ )	$\sum A_1$	$\sum A_2$		$\sum A_i$
考核环节支撑分课程目标的达成度( $G_{ik}$ )	$G_{1k} = \sum A_1 / \sum B_1$	$G_{2k} = \sum A_2 / \sum B_2$		$G_{ik} = \sum A_i / \sum B_i$

### 3. 定性评价

定性评价指利用学生的调查问卷进行课程目标达成情况评价，按照各课程目标分项设计合适的问卷，调查学生掌握知识及获得能力等课程目标达成情况。其中成绩均采用百分制统计，五级分制转换为百分制时，优对应 95 分，良对应 85 分，中对应 75 分，及格对应 65 分，不及格对应 55 分。综合定性与定量评价结果，取最小量为最终评价结果。

## 六、评价标准

### 1. 随堂测验评价标准

基本要求	评价标准				权重
	90-100 分	75-89 分	60-74 分	0-59 分	
掌握化工热力学的基本概念和原理；能够识别并判断化工过程的关键影响因素。（支撑课程目标 1、毕业要	基本概念正确、论述逻辑清楚；层次分明、语言规范。	基本概念正确、论基本清楚；语言较规范。	基本概念基本正确、论述基本清楚；语言较规范。	基本概念不清楚甚至错误、原理论述不清楚。	0.73

求指标点 2-1)					
能够运用化工热力学理论，建立数学模型，对化工问题进行正确的表达与求解。 (支撑课程目标 2、支撑毕业要求指标点 2-2)	能够应用相关知识分析解决实际工程问题，论述逻辑清楚，语言规范。	能够应用相关知识分析解决实际工程问题，论述清楚，语言较规范。	基本能够应用相关知识分析解决实际工程问题，论述基本清楚，语言较规范。	基本概念不清楚甚至错误、论述不清楚。	0.27

## 2. 作业评价标准

基本要求	评价标准				权重
	90-100 分	75-89 分	60-74 分	0-59 分	
掌握化工热力学的基本概念和原理；能够识别并判断化工过程的关键影响因素。 (支撑课程目标 1、毕业要求指标点 2-1)	按时交作业；基本概念正确、论述清楚；层次分明、语言规范。	按时交作业；基本概念正确、论述基本清楚；语言较规范。	按时交作业；基本概念基本正确、论述基本清楚；语言较规范。	不能按时交作业，有抄袭现象；或者基本概念不清楚、论述不清楚。	0.47
能够运用化工热力学理论，建立数学模型，对化工问题进行正确的表达与求解。 (支撑课程目标 2、支撑毕业要求指标点 2-2)	按时交作业；能够应用相关知识分析解决实际工程问题，论述逻辑清楚，语言规范。	按时交作业；能够应用相关知识分析解决实际工程问题，论述清楚，语言较规范。	按时交作业；基本能够应用相关知识分析解决实际工程问题，论述基本清楚，语言较规范。	不能按时交作业，有抄袭现象；或者基本概念不清楚、论述不清楚。	0.53

## 3. 实验教学评价标准

基本要求	评价标准				权重
	90-100 分	75-89 分	60-74 分	0-59 分	
掌握化工热力学的基本概念和原理；能够识别并判断化工过程的关键影响因素。 (支撑课程目标 1、毕业要求指标点 2-1)	认真预习，按照安全操作规程进行实验；实验步骤与结果正确；实验设备完好。	能够预习，按照安全操作规程进行实验；实验步骤与结果正确；实验设备完好。	按照实验安全操作规程进行实验；实验步骤与结果基本正确；实验设备完好。	没有按照实验安全操作规程进行实验；或者实验步骤与结果不正确。	0.4

<p>能够运用化工热力学理论，建立数学模型，对化工问题进行正确的表达与求解。</p> <p>（支撑课程目标 2、支撑毕业要求指标点 2-2）</p>	<p>按时交实验报告，实验数据与分析详实、正确；图表清晰，语言规范，符合实验报告要求。</p>	<p>按时交实验报告，实验数据与分析正确；图表清晰，语言规范，符合实验报告要求。</p>	<p>按时交实验报告，实验数据分析基本正确；图表较清晰，语言较规范，基本符合报告要求。</p>	<p>没有按时交实验报告；或者实验数据与分析不正确；或者实验报告不符合要求。</p>	<p>0.6</p>
--	---	--	---	--	------------

#### 4. 期末考试评价标准

期末考试采用开卷形式，评价标准详见期末考试提供的“期末试题评分标准”。

#### 七、参考书目及学习资料

1. 陈钟秀, 等. 化工热力学 (第三版), 北京: 化学工业出版社, 2016.
2. 冯新, 等. 化工热力学, 北京: 化学工业出版社, 2017.
3. 朱自强, 等. 化工热力学 (第三版), 北京: 化学工业出版社, 2010.
4. 马沛生, 等. 化工热力学 (第三版), 北京: 化学工业出版社, 2009.
5. 陈新志, 等. 化工热力学学习指导, 北京: 化学工业出版社, 2011.

制定人:

审定人:

批准人:

年 月 日