

关于“化学反应的 Gibbs 自由能变”的教学设计

制作人：许娟

课程说明

所属课程	物理化学	课程性质	学科基础必修课
课程编码	2150206	课程总学时	48 学时
授课对象	应化、林化、食品、资环、葡酒、制药等专业	使用教材	《物理化学》(第二版), 杨亚提主编, 中国农业出版社, 2018
本节内容	第五章 化学反应系统热力学 第二节 化学反应的 Gibbs 自由能变	授课时长	40 分钟

教学分析

教学背景

1. 教学内容分析

①物理化学是理论性强, 概念多、推理多、公式多, 抽象难学, 学生在学习过程中畏难情绪较重。同时, 物理化学又是与科研、生产紧密联系的学科, 如何让学生有效地掌握理论, 将理论联系实际, 深化所学知识并实际为解决专业问题所用, 是物理化学课程遇到的问题和挑战, 同时也是物理化学课程教学的目标之一: 既能够让大部分学生利用所学知识解决实际问题, 又能够让学生理解物理化学的精髓, 认识到物理化学的重要性。

②高等数学、无机及分析化学、大学物理等先修课程以及本课程第二章 (Gibbs 自由能的定义, Gibbs 自由能是状态函数, Gibbs 自由能判据, Gibbs 自由能全微分式, 标准摩尔反应熵变、焓变的计算方法等) 先修内容已为学习化学反应 Gibbs 自由能变及温度 (T)、压强 (p) 对化学反应 Gibbs 自由能变 ($\Delta_r G_m$) 的影响做了前期铺垫。

③化学反应平衡热力学是物理化学的重要内容之一, 而化学反应的方向判断是化学反应热力学的部分内容, 是 Gibbs 自由能判据的重要应用之一。

④理解和掌握 T 、 p 对 $\Delta_r G_m$ 的影响, 初步获取利用 298 K, p^θ 条件下的 $\Delta_r G_m^\theta$, 计算 $\Delta_r G_m$ 为 0 时的 T 和 p , 用以寻找化学反应可以进行的温度、压强条件。并能够举一反三, 可以计算指定的 T 和 p 下的 $\Delta_r G_m$ 并判断化学反应发生条件的能力, 结合 Gibbs 自由能是状态函数的特性, 解决实际生活生产中遇到的化学反应问题, 如利用 Gibbs 自由能变化寻找农资站尿素的存放条件等, 可培养学生理论联系实际, 学以致用, 用所学知识解决实际问题的能力。

2. 学生学情分析

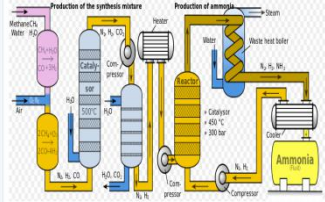

①**目标定位** 只有部分学生把自己的学习目标定位为夯实基础、提升能力, 为将来读研以及工作储备必要的资本, 属于主动学习类型, 部分学生则定位于通过考试、拿到学分, 并不期望将来会用到所学知识, 属于被动学习类型。

②**起点能力** 授课对象虽已具备与本次授课内容相关的高等数学、Gibbs 自由能的概念及判据、Gibbs 自由能的全微分式、单组分系统中 T, p 对 Gibbs 自由能的影响, 化学反应的

<p>教学背景</p>	<p>焓变, 化学反应的熵变等相关知识储备, 但部分学生并未达到前修课程相关内容以及本课程前修相关内容的学习目标。</p> <p>③学习模式 绝大部分学生习惯于应试教育模式, 其思维方式偏重于死记硬背、正确再现教学内容, 分析抽象公式, 自学和综合运用所学知识的能力较差。但相较于高中阶段和大一阶段, 大二学生对大学自主学习的模式有所适应, 独立思考和批判性思维能力有所提高。</p> <p>3. 教学策略</p> <p>针对上述教学内容和学情, 教师除了在物理化学课程教学的全过程中采取有效教学策略, 达到激励学生主动学习、激发学生学习兴趣和引导学生有效学习的终极目标外, 还应在物理化学相关知识点的讲授过程中, 尽可能联系前修课程相关内容, 并将知识点与生产生活实例有机结合, 巧妙设计问题, 通过回顾、设问和互动, 引导学生温故知新、融会贯通, 从而达到掌握重点、破解难点的目的。</p>
<p>教学目标</p>	<p>1. 认知目标</p> <p>①识记 能够计算 298 K, p^{\ominus} 条件下的 $\Delta_r G_m^{\ominus}$, 能够陈述如何利用 Gibbs 自由能全微分式以及已知的 $\Delta_r G_m^{\ominus}$, 计算压强为 p^{\ominus} 时, 化学反应能够自动发生的温度, 或 298 K 时, 化学反应能够自动发生的压强条件。</p> <p>②理解 能够根据 Gibbs 自由能判据以及 Gibbs 自由能的计算方式, 判断某条件下, 反应是否可以正向进行。</p> <p>③应用 能够运用 $\Delta_r G_m$ 进一步探讨实际生产过程中的问题。</p> <p>2. 能力目标</p> <p>①思维能力 能够独立运用 Gibbs 自由能全微分式, 及标准压强、298 K 时, 计算反应在什么温度或什么压强条件下发生, 也能判断化学反应能否在指定的温度、压强下发生。</p> <p>②自学能力 能将上述分析问题的能力延伸, 分析非标准压强和非 298 K 时的 Gibbs 自由能变化的能力等本课程后修内容。</p> <p>3. 情感目标</p> <p>① 通过合成氨反应在农业中的重要性, 唤起学生的三农情怀和专业归属感;</p> <p>② 通过高压下获得钻石的条件, 鼓励学生在压力下努力学习知识, 完成人生蜕变;</p> <p>③ 通过诺贝尔奖获得者哈伯的生平事迹, 引导学生辩证思维, 全面评价一个人, 一件事, 引导学生培养正确的人生观、世界观;</p> <p>④ 通过中国科学家科研成果的介绍, 提升学生的国家自豪感;</p> <p>⑤ 学习物理化学中的科学研究和思维方法, 培养学生求实认真、分析和解决实际问题, 开拓创新能力的素质。</p>
<p>教学内容</p>	<p>以合成氨反应为例, 解析如何计算 298 K, 标准压强下反应的 $\Delta_r G_m^{\ominus}$, 判断反应是否可以进行, 并讲解温度对吉布斯自由能变化的影响, 解析是否高温高压总是有利于反应的进行。</p> <p>以石墨转变为金刚石的反应为例, 利用 Gibbs 自由能判据原理以及 T、p 对 $\Delta_r G_m$ 的影响, 分析石墨转变为金刚石的条件, 主要包括以下内容:</p>

<p>教学内容</p>	<p>① 298 K, 标准压强下反应的$\Delta_r G_m^\ominus$;</p> <p>② 基尔霍夫-亥姆霍兹公式 (温度对吉布斯自由能变的影响);</p> <p>③ $\Delta_r G_m$ 受温度、压强影响的公式推导;</p> <p>④ 标准压强下, 什么温度时反应能够自动发生;</p> <p>⑤ 298 K, 什么压强时反应能够自动发生。</p>
<p>教学重点和难点</p>	<p>1. 教学重点</p> <p>判断某条件下, 一个不做非体积功的化学反应能否自动发生, 需要根据该条件下 $\Delta_r G_m$ 与 0 的关系来判断; 反之, 如果希望反应自动发生, 则需要改变条件, 改变 $\Delta_r G_m$ 小于 0。因此, $\Delta_r G_m$ 为 0 时温度、压强的计算是本次授课内容的重点。处理方式: 结合石墨变成金刚石条件的探索, 巧妙设计, 以问题为导向, 通过显性和隐性互动, 从 Gibbs 自由能的全微分式表达, 引出温度、压强对 $\Delta_r G_m$ 的影响等知识点的讲解, 加深学生印象, 并在小结部分再次强调并深化重点。</p> <p>2. 教学难点</p> <p>本节课内容涉及到由公式推导预测温度变化、压强变化对 Gibbs 变化趋势的影响, 需要理性抽象思维, 因此, 在讲解过程中, 利用公式推导并用于计算, 解决反应可能性的问题是本次授课内容的难点。处理方式: 在单组分系统中, T、p 对 ΔG 的影响, 用类比法, 推导出化学反应平衡系统中 T、p 对 $\Delta_r G_m$ 的影响, 利用已有知识, 帮助理解新知识, 通过问题设计, 以问题为驱动, 借助 ppt 分析过程动画, 通过两个类似、重复的解题分析步骤, 及正向和反向的双向应用讲解, 条理分析, 引导思维, 化难为易。</p>
<p>教学方法和手段</p>	<p>1. 教学方法</p> <p>聚焦教学目标的问题导向教学法: 问题导入—启发思考—共同分析—构建知识—灵活应用。</p> <p>2. 教学手段</p> <p>运用多媒体课件并结合板书。</p> <p>3. 板书设计</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $\int_{\Delta_r G_m^\ominus}^0 d\Delta_r G_m = \int_{298\text{ K}}^T -\Delta_r S_m dT \qquad \int_{\Delta_r G_m^\ominus}^0 d\Delta_r G_m = \int_{p^\ominus}^p -\Delta_r V_m dp$ </div>
<p>教学过程设计思路</p>	<p>1. 课的导入</p> <p>① 导入: 由合成氨反应需要的条件引入;</p> <p>② 目标: 介绍本次授课内容, 由此引出教学目标。</p> <p>③ 回顾: 回顾 Gibbs 自由能判据等与本次授课内容相关的知识点。</p> <p>2. 课的展开</p> <p>① 由 298 K, p^\ominus 能不能合成氨, 引出 $\Delta_r G_m^\ominus$ 的计算方式;</p>

教学过程 设计思路	<p>② 由合成氨的真实温度条件引出温度对吉布斯自由能变的影响计算；</p> <p>③ “点石成金”的成语故事引出石墨变成金刚石的反应条件；</p> <p>④ ppt 演示求算 298 K, p^θ 条件下, $\Delta_r G_m^\theta$ 的过程, 得出结论, 并引出什么温度下反应可以发生；</p> <p>⑤ ppt 演示求算 p^θ 条件下, $T=?$, $\Delta_r G_m=0$ 的过程, 得出结论, 并引出什么压强下反应可以发生；</p> <p>⑥ ppt 演示求算 298 K 条件下, $p^\theta=?$ $\Delta_r G_m=0$ 的过程, 得出问题 3 的答案, 并拓展人造金刚石的应用；</p> <p>⑦ 问题再回到合成氨的条件, 引出诺贝尔奖获得者哈伯的事迹和争议；</p> <p>⑧ 与本课程内容相联系, 介绍中国科学家“空气变馒头”的科研成果和意义。</p> <p>3. 课的开始</p> <p>① 小结: 总结温度、压强对 $\Delta_r G_m$ 的影响。</p> <p>② 课后拓展:</p> <p>思考: 进一步引导学生思考, 非 298 K 及非 p^θ 条件下, 反应 Gibbs 自由能变化如何计算; 引导学生辩证思考评价一个人, 一件事; 引导学生的科学思维, 了解科研前沿。</p> <p>作业: 布置作业, 培养学生解决实际问题的能力; 通过合成氨的实际条件, 让学生预习化学反应动力学。</p>	
	教学过程的组织	
教学环节	教学内容	教学组织
课的导入 (3 min)	<p>1. 导入</p> <p>由氨在农业上的重要作用, 提问合成氨的反应式, 并提出问题 1。</p> <p>2. 内容提要</p> <p>① 298 K, p^θ 条件下反应能否进行?</p> <p>② 压强保持恒定时, 温度改变对 $\Delta_r G_m$ 的影响。</p> <p>③ 温度保持恒定时, 压强改变对 $\Delta_r G_m$ 的影响。</p>	<p>讲述 共同分析氨在农业上的重要作用。</p> <p>设问 作为具备化学知识的学生, 如何合成氨? (引导学生写出化学反应式)</p> <p>合成氨具体条件是什么? (一般会回答高温高压催化剂, 引导学生查询具体条件)</p> <p>问题 1: 常温常压下, 可不可以合成氨?</p> <p>讲述 简单介绍本次教学内容, 强调 教学目标。</p>

教学环节	教学内容	教学组织																
课的导入 (2 min)	3. 回顾 ①Gibbs 自由能判据 ②Gibbs 自由能全微分式 $dG=-SdT+Vdp$ ③化学反应的 $\Delta_r H_m^\ominus$, $\Delta_r S_m^\ominus$ 的计算方式。	回顾 回顾上节课知识点以及与本节课相关知识。 互动 引导学生回顾 Gibbs 自由能判据, 并依据 Gibbs 自由能判据判断反应的自发性。 引出 问题 2 : 298 K, p^\ominus 条件下合成氨反应能否自动发生?																
课的展开 (10 min)	1. 298 K, p^\ominus 条件下, 反应的$\Delta_r G_m^\ominus$的计算。 <table border="1" style="margin: 10px auto;"> <tr> <td></td> <td colspan="3" style="text-align: center;">$3\text{H}_2(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g}) = 2\text{NH}_3(\text{g})$</td> </tr> <tr> <td>$S_m^\ominus(\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})$</td> <td style="text-align: center;">130.84</td> <td style="text-align: center;">191.61</td> <td style="text-align: center;">192.45</td> </tr> <tr> <td>$\Delta_r H_m^\ominus(\text{KJ}\cdot\text{mol}^{-1})$</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">-46.11</td> </tr> <tr> <td>$\Delta_r G_m^\ominus(\text{KJ}\cdot\text{mol}^{-1})$</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">-16.45</td> </tr> </table> $\Delta_r G_m^\ominus(\text{KJ}\cdot\text{mol}^{-1}) \quad -32.85 \quad \Delta_r G_m^\ominus = \Delta_r H_m^\ominus - T\Delta_r S_m^\ominus$ $\quad -32.90 \quad \Delta_r G_m^\ominus = \sum_B \nu_B \Delta_r G_m^\ominus(B)$ 2. 推出 Gibbs—Helmholtz 公式, 并以合成氨反应为例, 研究温度对吉布斯自由能的影响。 <ul style="list-style-type: none"> • 例1 合成氨反应为$\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g})=2\text{NH}_3(\text{g})$。已知在 25°C及标准压力下, • $\Delta_r G_m^\ominus(298\text{K}) = -33.26 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, • $\Delta_r H_m^\ominus(298\text{K}) = -92.38 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ • 假设此反应的$\Delta_r H_m^\ominus$不随T变化, 试求在500 K时此反应的$\Delta_r G_m^\ominus$, 并说明温度升高对此反应是否有利。 <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">  </div> 3. 由“点石成金”的故事强调吉布斯自由能变的应用, 并回顾问题 1。 <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">  </div> <p>298 K, p^\ominus 条件下“点石成金”反应的不可能性引入问题: T、p 如何影响反应的方向?</p>		$3\text{H}_2(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g}) = 2\text{NH}_3(\text{g})$			$S_m^\ominus(\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})$	130.84	191.61	192.45	$\Delta_r H_m^\ominus(\text{KJ}\cdot\text{mol}^{-1})$	0	0	-46.11	$\Delta_r G_m^\ominus(\text{KJ}\cdot\text{mol}^{-1})$	0	0	-16.45	讲述 以合成氨反应为例, 利用 $\Delta_r H_m^\ominus$ 以及 $\Delta_r S_m^\ominus$ 计算的类比法, 以及吉布斯自由能变定义式, 结合 ppt 演示, 引导学生计算 298 K, p^\ominus 条件下的 $\Delta_r G_m^\ominus$, 并以此判断, 298 K, p^\ominus 条件下, 能否合成氨。 设问 回答问题 1, 常温常压下, 可以合成氨! 结合氨的合成条件, 提出 问题 2 高温是否有利于合成氨? 讲述 利用 Gibbs—Helmholtz 公式得出结论, 升温对合成氨不利! 讲述 共同分析合成氨的流程图。 问题 3 合成氨反应为什么要用高温? 压强又如何影响反应的可能性? 讲述 共同分析“点石成金”的可能性。由此引出石墨变为金刚石的反应探讨。转化条件会不会是我们印象颇深的“高温、高压”条件呢?
	$3\text{H}_2(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g}) = 2\text{NH}_3(\text{g})$																	
$S_m^\ominus(\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})$	130.84	191.61	192.45															
$\Delta_r H_m^\ominus(\text{KJ}\cdot\text{mol}^{-1})$	0	0	-46.11															
$\Delta_r G_m^\ominus(\text{KJ}\cdot\text{mol}^{-1})$	0	0	-16.45															

教学环节	教学内容	教学组织
课的展开 (20 min)	<p>4. 温度、压强对 Gibbs 自由能变化的影响计算公式</p> <p>根据 Gibbs 自由能全微分式</p> $dG = -SdT + Vdp$ <p>由纯组分中 Gibbs 自由能随温度的变化，类比化学反应中恒压下，$\Delta_r G_m$ 随温度变化的偏微分式，以及恒温下，$\Delta_r G_m$ 随压强变化的偏微分式。</p> $\left(\frac{\partial \Delta_r G_m}{\partial T}\right)_p = -\Delta_r S_m$ $\left(\frac{\partial \Delta_r G_m}{\partial p}\right)_T = \Delta_r V_m$	<p>讲述 结合 ppt 演示，引导学生进行简单的公式推导。</p>
	<p>5. 石墨变成金刚石的反应中 p 对 $\Delta_r G_m$ 的影响。</p> <p>问题 4 分析 298 K 下，压强为多少，才能让反应自发进行。</p>	<p>讲述 结合 ppt 动画演示，引导学生类比分析。得出高压才能使反应进行的结论。</p> <p>讲述 由计算得出反应进行最终需要的压强，并得出 问题 4 的结论，并提出 No pressure, no diamond 的谚语，同时引出 问题 5。</p>
	<p>6. 石墨变成金刚石的反应中 T 对 $\Delta_r G_m$ 的影响。</p> <p>问题 5 分析压强为 p^0 时，温度为多少，才能让反应自发进行。</p>	<p>设问 通过公式，引导学生认识到，标准压强下，温度降低才有可能使化学反应进行，到底是什么温度？</p> <p>回答问题 5。</p>
	<p>7. 问题延伸</p> <p>什么样的仪器才能实现石墨向金刚石的转化。</p>	<p>设问 问题 6 如何通过反应条件的解析，将理论问题转化为实际问题？</p> <p>讲述 金刚石实际生产的条件以及仪器，回答问题 6。</p>
		<p>讲述 金刚石的作用。</p>

教学环节	教学内容	教学组织
课的结束 (5 min)	<p>1. 小结</p> <p>Gibbs自由能变化的计算方法</p> <p>↓ 计算目的 ↓ 控制反应方向</p> <p>298 K, p^{θ}下 查表获得 非298 K, p^{θ}下 $\left(\frac{\partial \Delta_r G_m}{\partial T}\right)_p = -\Delta_r S_m$ 298 K, 非 p^{θ}下 $\left(\frac{\partial \Delta_r G_m}{\partial p}\right)_T = \Delta_r V_m$ 非298 K, 非 p^{θ}下 ?</p>	<p>互动 共同小结化学反应 Gibbs 自由能变的计算方法，强调本次授课内容的重点。</p>
	<p>2. 课后拓展</p> <p>①思考：问题 7 非 298 K, 非 p^{θ}条件下的化学反应 Gibbs 自由能变化怎么计算？</p> <p>②作业：在杨凌，室温下存放尿素是否可行？</p> <p>③思考：提出科学家哈伯的化学成就，以及具有争议的人生。如何看待哈伯“用空气制造面包”，与 2021 年中国科学家的科研成果，从二氧化碳变成淀粉有什么区别？由问题 3, 升温不利于合成氨，提出哈伯是不是让不能发生的反应发生了呢？引出催化剂的作用，提出动力学预习。</p> <p>■1910年德国发明的哈伯-波施法 (Haber-Bosch process)</p>  <p>Fritz Haber 1868—1934</p> <p>赞扬哈伯的人说： 他是天使，为人类带来丰收和喜悦，是用空气制造面包的圣人。 ——氮肥。</p> <p>诅咒他的人说： 他是魔鬼，给人类带来灾难、痛苦和死亡。——炸药</p> <p>用二氧化碳合成淀粉</p> <p>刚刚过去的九月，有一项研究肯定是剧爆了大家的朋友圈，简单来说就是“空气变馒头”的技术。2021年9月24日，来自中国科学院天津工业生物研究所的科学家在《科学》杂志发表论文，实现了在实验室条件下从二氧化碳到淀粉的人工合成途径 [1]。能用二氧化碳生产淀粉，既能帮助实现碳中和，又能帮助解决粮食生产问题，这项研究当然会引起人们热烈的关注和讨论。</p>	<p>设问：引导学生从 Gibbs 自由能作为状态函数，以及本节课所学习的知识解决问题（问题 7）。</p> <p>设问：设计与生产实际相关的综合问题，锻炼学生解决实际问题的能力（问题延伸）。</p> <p>讲述 介绍科学家哈伯的化学成就，以及具有争议的人生，引导学生，如何辩证的看待一个人，一件事，并强调具有知识的人正确使用知识的力量。</p> <p>由中国科学家本质上的“空气变馒头”和哈伯的“空气变面包”强调科学规律，并介绍科学前沿，引发学生科研兴趣。</p> <p>强调预习和下次授课内容和提问等教学活动。</p>
<h2>教 学 反 思</h2>		
<p>该部分内容的讲授，是利用温度、压强对 Gibbs 自由能变化的影响，通过判断化学反应可能性的实例引出$\Delta_r G_m$为 0 时，温度、压强条件的计算，再运用计算结果联系生产实际，其目的不仅仅是让学生理解和掌握石墨变成金刚石的反应条件个例的计算，并类比反应的可能性判断，更重要的是要让学生掌握由理论公式解决实际问题的能力，既能用全微分式推导恒温或恒压条件下，反应可以发生的压强和温度，</p>		

也能通过指定的温度压强判断反应是否可以发生，逐步提高自学能力和理论联系实际能力。

由于本节课内容涉及到由公式推导预测温度变化、变化升高对 Gibbs 变化趋势的影响，并用以计算化学反应可能发生的条件，需要理性抽象分析，既是重点，又是难点。学生对于掌握公式并理解应用存在一定的难度，因此，在讲解过程中，通过石墨变金刚石的条件探讨，将内容内嵌入实例中，设置问题，层层诱导，以问题为驱动，利用聚焦教学目标的问题导向教学法：问题导入—启发思考—共同分析—构建知识—灵活运用，引导学生在后续相关内容的学习中，通过本次授课内容的应用、比对，举一反三，不断加深对温度、压强对 $\Delta_r G_m$ 影响的理解，并应用于类似问题的解析中。

利用在课程中的思政切入点，融入学生的思政教育，从正确的学习态度、正确的科研思维、人生观世界观的培养等方面渗透入课程的点滴中，在传授知识的同时，达到思政育人的目的。