

# “三段三步法”一招解决化学平衡的相关计算

李腾霄

云南师范大学附属世纪金源学校 云南 昆明 650214

**[摘要]**化学平衡大题中化学平衡的相关计算是高考化学试题中每年的必考点、难点,很多考生十分畏惧,本文以“三步三段法”的建模解题模式带领学生一步步解决化学平衡的计算难点,提振考生信心。

**[关键词]**三步三段法;计算;化学平衡;转化率;平衡常数

**[DOI]** 10.12252/j.issn.2096-6288.2021.11.1156

普通高中化学课程标准(2017年版)第30-33页,主题2,化学反应的方向,限度和速率。学业要求:能书写平衡常数表达式,能进行平衡常数、转化率的简单计算。课标已经明确,高考化学平衡大题中,要求学生能计算化学平衡常数和转化率。

纵观近些年高考真题,就不难发现,高考中的化学反应原理大题,即通常说的化学平衡大题,它主要把反应热,活化能(能垒)、化学反应速率,平衡移动,化学反应的限度、方向等平衡知识融合在一起命题,经常还带有图像、图表等形式。试题综合性强,难度大,能力要求高。该题中,有关平衡的相关计算,作为必考点、难点,很多考生十分畏惧计算,特别是教育水平相对落后地区的考生,经常放弃该内容的解答,学生在高考中得分率极低。

本文以“三步三段法”的建模解题模式分类巧解常见化学平衡的相关计算来探讨如何带领学生在高考复习中一步步突破难点,找到规范的解题方法,提振考生信心。

## 1. 建模“三段三步法”

### 1.1 建模“三段式”,明确计算方法

如  $m\text{A}(\text{g}) + n\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons p\text{C}(\text{g}) + q\text{D}(\text{g}) \quad \Delta H = -Q\text{kJ/mol}$ , 若A、B起始浓度分别为  $a \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $b \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 达到平衡时消耗A的物质的量浓度为  $m\text{x} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 则:

	$m\text{A}(\text{g}) + n\text{B}(\text{g})$	$\rightleftharpoons$	$p\text{C}(\text{g}) + q\text{D}(\text{g})$	
起始量 (mol/L)	a		b	0
0 ... 反应正向进行				
变化量 (mol/L)	$m\text{x}$		$n\text{x}$	$p\text{x}$
$q\text{x}$ ... 变化量之比等于计量比				
平衡量 (mol/L)	$(a-m\text{x})$		$(b-n\text{x})$	$p\text{x}$ $q\text{x}$

方法点拨: (1) 起始量、变化量、平衡量也可简化为“始、变、平”。列三段式前, 须明确反应进行的方向。题中若没有达平衡状态, 则可将“平衡量”改为“某分钟, 某一时刻”等。三段式中所有数据的单位必须统一, 常见的为  $\text{mol}$  或  $\text{mol/L}$ ; (2) 明确三个量的关系: 若反应正向进行, 则反应物的平衡量=起始量-变化量, 生成物的平衡量=起始量+变化量; (3) 三段式中: 变化量之比=方程式中的化学计量数之比; (4) 当要设变化量时, 常带计量数来设未知数, 则计算较为方便: 如题中  $m\text{x}$ 、 $n\text{x}$ 、 $p\text{x}$ 、 $q\text{x}$ ; (5) 熟记常用公式: ① 速率  $= \frac{\Delta C}{\Delta t}$ ; 反应物的转化率

$= \frac{\text{反应物变化量}}{\text{反应物起始量}} \times 100\%$ ; ② 组分B的物质的量分数

$= \frac{n(\text{B})}{n(\text{总})} \times 100\%$ ; ③ 分压  $(\text{B}) = \text{B的物质的量分数} \times \text{总压}$ ; ④

浓度平衡常数等于平衡时生成物浓度幂之积除以反应物浓度幂之积; ⑤ 分压平衡常数等于生成物分压幂之积除以反应物分压幂之积。(6) 三段式的计算还可以解决转移电子数、反应热、产率等的计算; (7) 复杂计算, 就用“三段式”; (8) 审题比计算更重要。

### 1.2 建模“三步法”, 明确计算步骤

#### 1.2.1 “三段三步法”求转化率

已知在2L密闭容器中发生可逆反应:  $2\text{M}(\text{g}) + \text{N}(\text{g})$

$\rightleftharpoons \text{P}(\text{g}) + \text{Q}(\text{g}) \quad \Delta H > 0$ 。某温度下, 反应物的起始物质的量分别为:  $n(\text{M}) = 4.4 \text{ mol}$ ,  $n(\text{N}) = 4.8 \text{ mol}$ 。若达到平衡后, 生成P的物质的量为  $1.2 \text{ mol}$ , 列出“三段式”, 计算此时N的平衡转化率?

### 【三段三步法】

方法点拨: 审题, 提取、处理题中关键信息: ① 恒温、恒容; 某温度, 2L密闭容器; ② 起始物质的量  $n(\text{M}) = 4.4 \text{ mol}$ ,  $n(\text{N}) = 4.8 \text{ mol}$ , 平衡时,  $n(\text{P}) = 1.2 \text{ mol}$ ; ③ 反应正向进行。

步骤(1): 列“三段”

	$2\text{M}(\text{g}) + \text{N}(\text{g})$	$\rightleftharpoons$	$\text{P}(\text{g}) + \text{Q}(\text{g})$	.....	反应
正向进行					
始	4.4mol		4.8mol	0	0
变	2.4mol		1.2mol	1.2mol	1.2mol
..... 变化量之比=计量数之比					
平	2mol		3.6mol	1.2mol	1.2mol

步骤(2): 走“三步”

① 第一步 列公式:  $\alpha(\text{N}) = \frac{\text{转化量}}{\text{起始量}} \times 100\%$

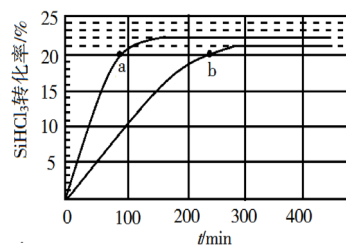
② 第二步 找数据: 转化量  $(\text{N}) = 1.2 \text{ mol}$ , 起始量  $(\text{N}) = 4.8 \text{ mol}$

③ 第三步 代数计算  $\alpha(\text{N}) = \frac{1.2 \text{ mol}}{4.8 \text{ mol}} \times 100\% = 25\%$

## 2. 真题、模拟题实战演练

2.1 “三段三步法”, 特殊值列三段式求浓度平衡常数——2018年III卷28题节选

三氯氢硅( $\text{SiHCl}_3$ )是制备硅烷、多晶硅的重要原料。回答下列问题: 对于反应  $2\text{SiHCl}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \text{SiH}_2\text{Cl}_2(\text{g}) + \text{SiCl}_4(\text{g}) \quad \Delta H = 48 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 采用大孔弱碱性阴离子交换树脂催化剂, 在323K和343K时  $\text{SiHCl}_3$  的转化率随时间变化的结果如图所示。



343K时反应的平衡转化率  $\alpha =$  \_\_\_\_\_ %。平衡常  $K_{343\text{K}} =$  \_\_\_\_\_ (写出计算式)。

### 【三段三步法】

方法点拨: 审题, 提取、处理题中关键信息: ① 根据图像,  $\text{SiHCl}_3$  的转化率由零逐渐增大可知, 反应正向进行, 直至建立平衡; ② 反应  $\Delta H > 0$ , 反应正向吸热, 升温利于平衡正向移动; ③ 根据点a所在的线“先拐平”, 可知a的温度更高, 为343k; ④ 读图可知:  $\alpha(\text{SiHCl}_3) = 22\%$ ; ⑤ 因题中未给反应物、生成物具体的量, 根据图像, 只能读出平衡转化率, 可用特殊值法, 设初始加入三氯氢硅的浓度为特殊

值1mol/L, 则转化的SiHCl<sub>3</sub>的物质的量浓度为1mol/L×22%=0.22mol/L, 根据“三段法”列式如下:

步骤(1): 列“三段”

	2SiHCl <sub>3</sub> (g)	SiH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> (g)	+ SiCl <sub>4</sub> (g)	
始/ (mol/L)	1	0		0
变/ (mol/L)	0.22	0.11		0.11
平/ (mol/L)	0.78	0.11		0.11

步骤(2): 走“三步”

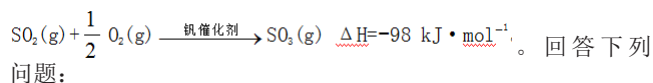
① 第一步 写出表达式: 
$$K = \frac{c(\text{SiH}_2\text{Cl}_2) \cdot c(\text{SiCl}_4)}{c^2(\text{SiHCl}_3)}$$

② 第二步 找数据:  $c(\text{SiH}_2\text{Cl}_2)=0.11\text{mol/L}$ ,  $c(\text{SiCl}_4)=0.11\text{mol/L}$ ,  $c(\text{SiHCl}_3)=0.78\text{mol/L}$

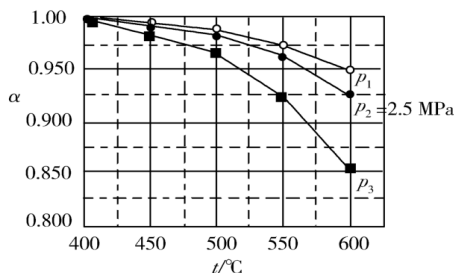
③ 第三步 代数计算: 
$$K = \frac{c(\text{SiH}_2\text{Cl}_2) \cdot c(\text{SiCl}_4)}{c^2(\text{SiHCl}_3)} = \frac{0.11\text{mol/L} \times 0.11\text{mol/L}}{(0.78\text{mol/L})^2} = 0.02$$

2.2 “三段三步法”, 巧设特殊值求分压平衡常数——2020年全国卷 I 卷28题节选

硫酸是一种重要的基本化工产品, 接触法制硫酸生产中的关键工序是SO<sub>2</sub>的催化氧化:



当SO<sub>2</sub>(g)、O<sub>2</sub>(g)和N<sub>2</sub>(g)起始的物质的量分数分别为7.5%、10.5%和82%时, 在0.5MPa、2.5MPa和5.0MPa压强下, SO<sub>2</sub>平衡转化率α随温度的变化如图所示。



(3) 将组成(物质的量分数)为2m% SO<sub>2</sub>(g)、m% O<sub>2</sub>(g)和q% N<sub>2</sub>(g)的气体通入反应器, 在温度t、压强p条件下进行反应。平衡时, 若SO<sub>2</sub>转化率为α, 平衡常数K<sub>p</sub>=\_\_\_\_\_ (以分压表示, 分压=总压×物质的量分数)。

【三段三步法】

方法点拨: 审题, 提取、处理题中关键信息: ①先投料2m% SO<sub>2</sub>(g)、m% O<sub>2</sub>(g)可知, 反应正向进行, 直至建立平衡; ②该反应气体分子数减少, 相同温度下, 增大压强, SO<sub>2</sub>平衡转化率α提高, 所以, 该反应在550℃、压强为5.0MPa>2.5MPa=p<sub>2</sub>的, 所以p<sub>1</sub>=5.0MPa, 由图中数据可知, α=0.975。

步骤(1): 列“三段”

假设原气体的物质的量为100mol, 则SO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>和N<sub>2</sub>的物质的量分别为2m mol、m mol和q mol, 2m+m+q=3m+q=100, SO<sub>2</sub>的平衡转化率为α, 则有下列关系:

	SO <sub>2</sub>	+	$\frac{1}{2}$ O <sub>2</sub>	$\xrightleftharpoons{\text{钨催化剂}}$	SO <sub>3</sub>
起始量(mol)	2m		m		0
变化量(mol)	2mα		mα		2mα
平衡量(mol)	2m(1-α)		m(1-α)		2mα

平衡时n(总) = 2m(1-α) + m(1-α) + 2mα mol + q mol = 100-mα

物质的量分数X(×100%):

$$X(\text{SO}_2) = \frac{2m(1-\alpha)}{100-m\alpha} \times 100\% \quad X(\text{O}_2) = \frac{m(1-\alpha)}{100-m\alpha} \times 100\% \quad X(\text{SO}_3) = \frac{2\alpha}{100-m\alpha} \times 100\%$$

分压:  $P(\text{SO}_2) = \frac{2m(1-\alpha)P}{100-m\alpha} \times 100\% \quad P(\text{O}_2) = \frac{m(1-\alpha)P}{100-m\alpha} \times 100\%$

$$X(\text{SO}_3) = \frac{2\alpha P}{100-m\alpha} \times 100\%$$

步骤(2): 走“三步”

① 第一步 写出表达式: 
$$K_p = \frac{P(\text{SO}_3)}{P(\text{SO}_2) \cdot P^{0.5}(\text{O}_2)}$$

② 第二步 找数据: 分压数据, 见上方

③ 第三步 代数计算:

$$K_p = \frac{P(\text{SO}_3)}{P(\text{SO}_2) \times P^{0.5}(\text{O}_2)} = \frac{\frac{2m\alpha P}{100-m\alpha}}{\frac{2m(1-\alpha)P}{100-m\alpha} \times \left(\frac{m(1-\alpha)P}{100-m\alpha}\right)^{0.5}} = \frac{\alpha}{(1-\alpha)^{1.5} \left(\frac{mP}{100-m\alpha}\right)^{0.5}}$$

3. 方法小结, 提振信心

3.1 “三段三步法”解决计算问题方法总结和注意事项

化学学科的核心素养, 变化观念与平衡思想、证据推理与模型认知在化学平衡大题的考查中, 体现得淋漓尽致。突破难题审题是关键, 它对学生整理、搜集、处理题中信息的能力要求很高。在审题时, 找关键词, 找外界条件, 找变量和不变量是谁, 特别重视要审清两个条件, 题中所给条件是恒温恒容还是恒温恒压。在审题时, 可先列举已知条件, 已知条件1, 2, 3.....并找出隐含条件, 养成将题中已知信息可视化的习惯。

3.1.1 “三段三步法”的使用注意事项

“三段三步法”, “三段”是计算手段, 计算方法, 它条理清晰, 可以解决复杂的化学平衡的计算问题。“三步”是解答、思考的一般步骤, “三段三步法”是计算中强有力的解题分析方法, 在使用时还应注意以下几点:

要明确列三段式的方程式;

明确反应进行的方向;

单位要统一;

巧用特殊值法, 可以简化计算;

大胆设未知数;

在同温同压下(恒压): 气体的体积之比等于物质的量之比。同温同体积(恒容), 气体的压强之比等于物质的量之比, 该关系常常用于物质的量和压强间的换算。

充分利用图表中已知的数据, 已知的条件和已经计算出来的数据。充分利用同一反应, 在相同温度下平衡常数不变。大胆尝试用多种方法, 多种途径列三段式, 甚至是“四段式”、“五段式”均可。

“三步”的熟练可使计算有步骤, 有条理, 在处理复杂计算时, 可以找准数据, 理清头绪, 不会忙中出错。

高考中, 时间紧张, 正所谓熟能生巧, 建议广大考生按照以上“三段三步法”加以研习、熟练, 定能克服对计算的恐惧, 在高考中必能突破难关。

参考文献

[1] 高剑南, 王祖浩. 化学教育展望. 上海: 华东师范大学出版社, 2001

[2] 魏冰, 贾玉江, 潘海鸿等. 关于中学生的原子、分子心智模型的研究[J]. 化学教育, 2001, 22(22): 6-9, 13

[3] 胡志刚. 付金阁. 例谈化学认知教学机智[J]. 中学化学教学参考, 2012(4)

[4] 王善芹. 例谈初中化学学习题课教学中的探究式教学法[J]. 科学大众, 2011(9)

[5] 马春生. 在高中化学教学中渗透课程标准的理念[J]. 化学教学, 2005(3).