

852

华南理工大学

## 2010 年攻读硕士学位研究生入学考试试卷

(请在答题纸上做答, 试卷上做答无效, 试后本卷必须与答题纸一同交回)

科目名称: 物理化学(二)

适用专业: 材料物理与化学, 化学工程, 化学工艺, 应用化学, 工业催化, 能源环境 材料及技术, 制药工程, 生物医学工程, 化学工程(专业学位)

**说明:** 试题第 1 题求解问题重复太多, 第 7 题和 11 题稍难, 相图题有一定综合。葛老师已对试题作了少量规范化处理并完成解答, 未参考标准答案。因此可能有不妥之处, 欢迎用电子邮件告知, 谢谢!

更多信息请看主页: [www.huacai.net](http://www.huacai.net)

葛华才老师的邮箱: [ge1963@126.com](mailto:ge1963@126.com)

1. 1 mol 单原子理想气体, 由 298 K、506.5 kPa 的始态膨胀到压力为 101.3 kPa 的终态, 计算下列各途经的  $Q$ 、 $W$ 、 $\Delta U$ 、 $\Delta H$ 、 $\Delta S$ 、 $\Delta A$  与  $\Delta G$ 。已知其  $S_m^\ominus(298\text{K}) = 126 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ 。

- (1) 等温可逆膨胀;
- (2) 外压恒为 101.3 kPa 的等温膨胀;
- (3) 绝热可逆膨胀。

**解:** (1) 恒温,  $\Delta U = \Delta H = 0$ ,  $\Delta S = nR \ln(p_1/p_2) = 1 \times 8.315 \times \ln(506.5/101.3) \text{ J K}^{-1} = 13.38 \text{ J K}^{-1}$

$$Q = T\Delta S = 298 \times 13.38 \text{ J} = 3987 \text{ J}$$

$$W = \Delta U - Q = -3978 \text{ J}$$

$$\Delta A = \Delta G = -T\Delta S = W = -3978 \text{ J}$$

(2) 始终态与(1)相同, 状态函数与(1)同, 即

$$\Delta U = \Delta H = 0, \Delta S = 13.38 \text{ J K}^{-1}, \Delta A = \Delta G = -3978 \text{ J}$$

$$W = -p_2(V_2 - V_1) = -nRT(1 - p_2/p_1) = -1 \times 8.315 \times 298 \times (1 - 101.3/506.5) \text{ J} = -1982 \text{ J}$$

$$Q = -W = 1982 \text{ J}$$

(3) 绝热可逆  $Q = 0$ ,  $\Delta S = 0$

$$\gamma = C_{p,m}/C_{v,m} = 2.5R/1.5R = 5/3 \text{ (注意: 必须记住单原子气体 } C_{v,m} = 3R/2)$$

利用绝热可逆方程( $p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma$ )得

$$V_1/V_2 = (p_2/p_1)^{1/\gamma} = (101.3/506.5)^{3/5} = 0.3807$$

$$T_2 = (p_2/p_1) (V_2/V_1) T_1 = (101.3/506.5)/0.3807 \times 298\text{K} = 156.6\text{K}$$

$$W = \Delta U = n C_{V,m} (T_2 - T_1) = 1 \times 1.5 \times 8.315 \times (156.6 - 298)\text{J} = -1764\text{J}$$

$$\Delta H = n C_{p,m} (T_2 - T_1) = 1 \times 2.5 \times 8.315 \times (156.6 - 298)\text{J} = -2939\text{J}$$

$$S_1 = n S_m^\ominus (298\text{K}) + n R \ln(p^\ominus/p_1) = 1 \times (126 + 8.315 \times \ln(100/506.5)) \text{J K}^{-1} = 122.5 \text{J K}^{-1}$$

$$\Delta A = \Delta(U - TS) = \Delta U - S_1 \Delta T = [-1764 - 122.5 \times (156.6 - 298)] \text{J} = 15558 \text{J}$$

$$\Delta G = \Delta(H - TS) = \Delta H - S_1 \Delta T = [-2939 - 122.5 \times (156.6 - 298)] \text{J} = 14383 \text{J}$$

2. 0.1 mol 的乙醚装在安培瓶中, 把它放在一个大瓶中, 其中充以 0.4 mol 的 35℃、101.3 kPa 下的 N<sub>2</sub>, 然后将安培瓶敲破, 乙醚全部挥发成气体。其过程为 35℃ 下 0.1 mol 乙醚 (l) + 0.4 mol N<sub>2</sub> (10 dm<sup>3</sup>) = 混合气体 0.5 mol (10 dm<sup>3</sup>)。已知乙醚正常沸点 35℃, 蒸发焓  $\Delta_{\text{vap}} H_m = 25.1 \text{kJ mol}^{-1}$ , 计算:

- (1) 终态乙醚压力;
- (2) N<sub>2</sub> 的  $\Delta H$ 、 $\Delta S$ 、 $\Delta G$ ;
- (3) 乙醚的  $\Delta H$ 、 $\Delta S$ 、 $\Delta G$ ;
- (4) 整个体系的  $\Delta S$ ;
- (5) 环境的熵和总熵。

**解:** (1)  $p_{\text{乙醚}} = n_{\text{乙醚}} RT/V = 0.1 \times 8.315 \times 308.15 / 0.01 \text{ Pa} = 25622 \text{Pa}$

(2) N<sub>2</sub> 的状态: (35℃, 101.3 kPa, 10 dm<sup>3</sup>) → (35℃,  $p_2$ , 10 dm<sup>3</sup>)

终态分压  $p_2$  与始压相同, 即可认为状态不变, 故  $\Delta H = 0, \Delta S = 0, \Delta G = 0$

(3) 乙醚的状态: (35℃, 101.3 kPa, l) → (35℃,  $p_2 = 101.3 \text{kPa}$ , g) → (35℃,  $p_3 = 25622 \text{Pa}$ , 10 dm<sup>3</sup>, g)

$$\Delta H = n \Delta_{\text{vap}} H_m = 0.1 \times 25.1 \text{kJ} = 2.51 \text{kJ}$$

$$\Delta S = n \Delta_{\text{vap}} H_m / T + n R \ln(p_2/p_3) = [2510/308.15 + 0.1 \times 8.315 \times \ln(101.3/25.622)] \text{J K}^{-1} = 9.288 \text{J K}^{-1}$$

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S = (2510 - 308.15 \times 9.288) \text{J} = -352.1 \text{J}$$

$$(4) \Delta S = \Delta S(\text{N}_2) + \Delta S(\text{乙醚}) = 9.288 \text{J K}^{-1}$$

$$(5) \text{过程恒容 } Q_V = \Delta U = \Delta H - RT \Delta n = 2510 \text{J} - 8.315 \times 308.15 \times 0.1 \text{J} = 2254 \text{J}$$

$$\Delta S_{\text{环}} = -Q_V / T = (-2254/308.15) \text{J K}^{-1} = -7.315 \text{J K}^{-1}$$

$$\Delta S_{\text{总}} = \Delta S + \Delta S_{\text{环}} = (9.288 - 7.315) \text{J K}^{-1} = 1.973 \text{J K}^{-1}$$

3. 试估算被空气饱和的水引起的凝固点的降低值。设空气压力为  $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ , 空气中  $\text{N}_2$  和  $\text{O}_2$  的比例分别为 79% 和 21%, 两种气体  $0^\circ\text{C}$  时在水中的亨利常数分别为  $k_x(\text{O}_2)=2.80 \times 10^9 \text{ Pa}$  和  $k_x(\text{N}_2)=5.06 \times 10^9 \text{ Pa}$ , 水的凝固点降低常数  $K_f=1.86 \text{ K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。

**解:** 根据亨利定律,  $x(\text{N}_2)=p(\text{N}_2)/k_x(\text{N}_2)=1.013 \times 10^5 \times 0.79/(5.06 \times 10^9)=1.582 \times 10^{-5}$

$$x(\text{O}_2)=p(\text{O}_2)/k_x(\text{O}_2)=1.013 \times 10^5 \times 0.21/(2.80 \times 10^9)=7.60 \times 10^{-6}$$

1000g 水为基准,  $x_B=n_B/[n_B+n(\text{H}_2\text{O})] \approx n_B/n(\text{H}_2\text{O}) \approx b_B/(1000/18.02) \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$

即,  $b(\text{N}_2+\text{O}_2)=(1000/18.02) x(\text{N}_2+\text{O}_2) \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$

$$=55.49 \times (1.582+0.760) \times 10^{-5} \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}=0.00130 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$$

$$\Delta T_f=K_f b(\text{N}_2+\text{O}_2)=1.86 \times 0.00130 \text{ K}=0.00242 \text{ K}$$

4. 碳酸钠和水可以形成  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}(\text{s})$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}(\text{s})$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}(\text{s})$  三种水合物。请回答下列问题:

(1) 在常压下, 该系统共存的相数最多为多少?

(2) 在常压下, 将  $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{s})$  投入到水溶液中, 达到三相平衡时, 若其中两相分别为  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  水溶液和  $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{s})$ , 则另一相应是何物相?

(3) 在 298K 和常压下, 与水蒸气平衡共存的含水盐最多有几种?

**答:** (1) 压力恒定时  $F=C-P+1$ ,  $C=2$ ,  $P=2-0+1=3$ 。

(2) 根据水合物相图的特征, 这一相是  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}(\text{s})$ 。

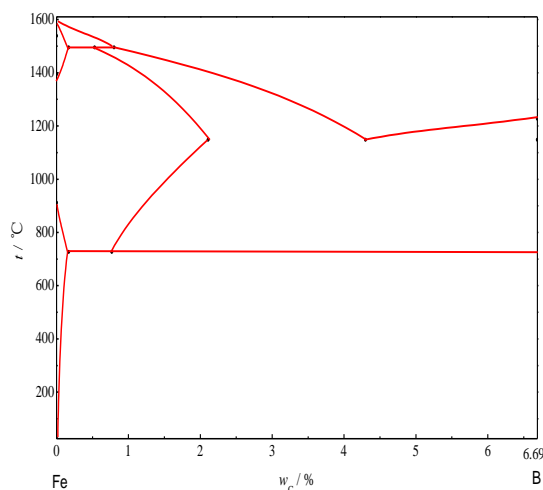
(3) 最多有 2 相平衡共存, 共存的含水盐最多只能有 1 种。

5. 某同学画的铁和碳的不完整相图(形成稳定化合物 B)如下图所示, 相图中缺失了部分线。试解决下列问题:

(1) 补充相图中缺失的线。

(2) 计算 B 的组成, 其中铁和碳的相对原子质量分别为 55.845 和 12.01。

(3) 在图中指出各区域的相态和三相线。(固溶体从低温到高温依次标为  $\alpha$ ,



$\gamma, \delta, \dots$ )

(4) 铁加入少量碳冶炼后在常温下以固溶体还是混合物形式存在? 冶炼铁的最低温度应为多少?

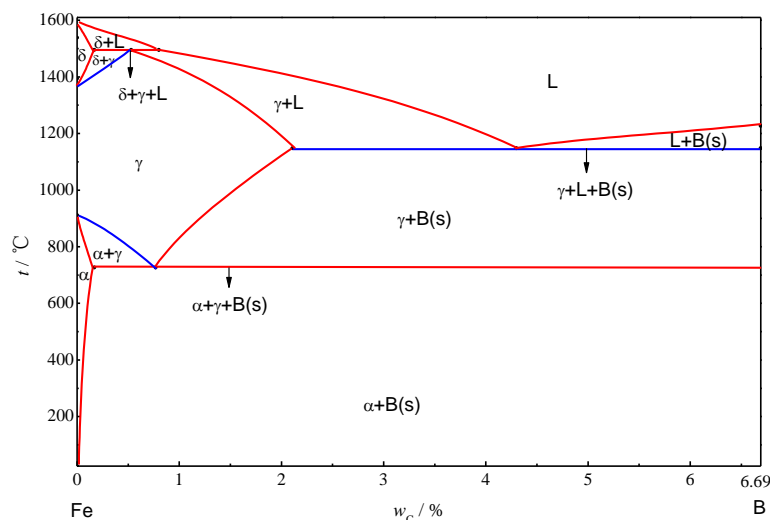
**注意:** 不要在试题上做答案。(15 分)

**答:** (1) 补充的三条线见相图。

(2) B 的组成:  $\text{Fe:C}=(93.31/55.845)/(6.69/12.01)=3$ , 即分子式为  $\text{Fe}_3\text{C}$ 。

(3) 见图。注意: 固溶体  $\gamma, \delta$  亦可写为  $\beta, \gamma$ 。

(4) 若加入极小量 ( $w_c < 0.0008$ ) 时以固溶体存在, 否则以混合物形成存在。最低温度为  $1150^\circ\text{C}$  以上, 即熔化区 (L) 的温度 (固体熔化后方能均匀混合)。



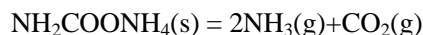
6. 根据电导的测定得出  $25^\circ\text{C}$  时氯化银饱和水溶液的电导率为  $3.41 \times 10^{-4} \text{ S m}^{-1}$ 。已知同温度下配制此溶液所用的水的电导率为  $1.60 \times 10^{-4} \text{ S m}^{-1}$ 。试计算  $25^\circ\text{C}$  时氯化银的溶解度。已知  $25^\circ\text{C}$  时  $\Lambda_m^\infty(\text{Ag}^+) = 61.92 \times 10^{-4} \text{ S m}^2 \text{ mol}^{-1}$ ,  $\Lambda_m^\infty(\text{Cl}^-) = 76.34 \times 10^{-4} \text{ S m}^2 \text{ mol}^{-1}$ 。(15分)

**解:**  $\kappa(\text{AgCl}) = (3.41 - 1.60) \times 10^{-4} \text{ S m}^{-1} = 1.81 \times 10^{-4} \text{ S m}^{-1}$

$$\Lambda_m^\infty(\text{AgCl}) = (61.92 + 76.34) \times 10^{-4} \text{ S m}^2 \text{ mol}^{-1} = 138.26 \times 10^{-4} \text{ S m}^2 \text{ mol}^{-1}$$

$$c(\text{AgCl}) = \kappa(\text{AgCl}) / \Lambda_m^\infty(\text{AgCl}) = (1.81 / 138.26) \text{ mol m}^{-3} = 1.309 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$$

7. 将氨基甲酸铵放在一抽空的容器中, 并按下式分解:



在 20.8°C 达到平衡时, 容器内压力为 8.825 kPa。在另一次实验中, 温度不变, 先通入氨气, 使氨的起始压力为 12.443 kPa, 再加入氨基甲酸铵使之分解。若平衡时尚有过量固体氨基甲酸铵存在, 求平衡时各气体的分压及总压。(15分)

$$\begin{aligned} \text{解: } K_p^\ominus &= [p(\text{NH}_3)/p^\ominus]^2 [p(\text{CO}_2)/p^\ominus] = [2p_{\text{总}}/3p^\ominus]^2 [p_{\text{总}}/3p^\ominus] = (4/27) (p_{\text{总}}/p^\ominus)^3 \\ &= (4/27) \times (8.825/100)^3 = 1.018 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

设待求  $\text{CO}_2$  的分压为  $p$ , 则  $\text{NH}_3$  的分压为  $12.443\text{kPa} + 2p$ , 有

$$[p(\text{NH}_3)/p^\ominus]^2 [p(\text{CO}_2)/p^\ominus] = [(12.443\text{kPa} + p)/p^\ominus]^2 [p/p^\ominus] = K_p^\ominus = 1.018 \times 10^{-4}$$

$$\text{即 } (12.443\text{kPa} + p)^2 p = 101.8 (\text{kPa})^3$$

为一元 3 次方程, 无法直接求解, 可采用迭代近似求解. 考虑到  $p < 1$ , 可改写为

$$p = 101.8 (\text{kPa})^3 / (12.443\text{kPa} + p)^2$$

认为上式右边的  $p = 0\text{kPa}$  (初值, 可取  $< 1$  的值), 代入得  $p = 0.6575\text{kPa}$ ;

将  $p = 0.6575\text{kPa}$  再代入右边, 得  $p = 0.5932\text{kPa}$ ;

将  $p = 0.5932\text{kPa}$  再代入右边, 得  $p = 0.5990\text{kPa}$ ;

将  $p = 0.5990\text{kPa}$  再代入右边, 得  $p = 0.5985\text{kPa}$ ;

将  $p = 0.5985\text{kPa}$  再代入右边, 得  $p = 0.5985\text{kPa}$ ;

即平衡时  $\text{CO}_2$  的分压  $p = 0.5985\text{kPa}$ ,

$\text{NH}_3$  的分压  $= 12.443\text{kPa} + 2p = (12.443 + 2 \times 0.5985)\text{kPa} = 13.640\text{kPa}$

总压  $= (0.5985 + 13.640)\text{kPa} = 14.239\text{kPa}$

**注意:** 对高次方程的求解, 迭代式的写法很重要. 若待求量  $< 1$ , 一般把高次项放至右边作已知量处理 (初值近似为 0); 若待求量  $> 1$ , 则把低次项放置右边作已知量处理, 初值取 1.

8. 1000K 时, 反应  $\text{C}(\text{s}) + 2\text{H}_2(\text{g}) = \text{CH}_4(\text{g})$  的  $\Delta_r G_m^\ominus = 19.379\text{kJ mol}^{-1}$ . 现有与碳反应的气体混合物, 其组成为体积分数  $\varphi(\text{CH}_4) = 0.1$ ,  $\varphi(\text{H}_2) = 0.8$ ,  $\varphi(\text{N}_2) = 0.1$ . 试问:

(1)  $T = 1000\text{K}$ ,  $p = 100\text{kPa}$  时,  $\Delta_r G_m$  等于多少, 甲烷能否形成?

(2) 在  $T = 1000\text{K}$  下, 压力需增加到若干, 上述合成甲烷的反应才可能进行? (10分)

$$\text{解: } (1) \Delta_r G_m = \Delta_r G_m^\ominus + RT \ln \left[ (p/p^\ominus)^{\sum \nu_B} \prod_B (\varphi_B)^{\nu_B} \right]$$

$$= [19379 + 8.315 \times 1000 \times \ln(0.1/0.8^2)] \text{J mol}^{-1} = 3944 \text{J mol}^{-1}$$

$\Delta_r G_m > 0$ , 反应不能进行, 即甲烷不能形成.

$$(2) \Delta_r G_m = \{19379 + 8.315 \times 1000 \times \ln[(p/p^\ominus)^{-1} (0.1/0.8^2)]\} < 0$$

即  $p > 160.7 \text{ kPa}$

时才可进行.

9. 正常沸点时, 如果水中仅含有半径为  $2.5 \times 10^{-6} \text{ m}$  的空气泡, 试计算:

(1) 此时空气泡附加压力是多少?

(2) 使这样的水沸腾需过热多少度?

已知水在  $100^\circ\text{C}$  时的表面张力  $\gamma = 58.9 \times 10^{-3} \text{ N m}^{-1}$ , 摩尔气化热  $\Delta_{\text{vap}} H_m = 40.66 \text{ kJ mol}^{-1}$ .

(忽略静压的影响) (15分)

**解:** (1)  $\Delta p = 2\gamma/r = 2 \times 58.9 \times 10^{-3} \text{ N m}^{-1} / 2.5 \times 10^{-6} \text{ m} = 47120 \text{ Pa}$

(2) 忽略静压时, 气泡内蒸气需达到的压力  $p = 101325 \text{ Pa} + \Delta p = 148445 \text{ Pa}$  方能使气泡逸出, 根据克-克方程, 有

$$\ln(p/101325 \text{ kPa}) = -(\Delta_{\text{vap}} H_m / R)(1/T - 1/373.15 \text{ K})$$

即  $\ln(148445/101325) = -(40660/8.315) (K/T - 1/373.15)$

$$T = 384.35 \text{ K}$$

过热  $384.35 \text{ K} - 373.15 \text{ K} = 11.20 \text{ K}$

严格说, 上述蒸汽压仍然是平液面的, 需再算凹液面的蒸汽压, 但这样计算过于复杂, 且气泡半径较大时可忽略其对蒸汽压的影响.

10.  $400^\circ\text{C}$  时反应  $\text{NO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{NO}(\text{g}) + (1/2)\text{O}_2(\text{g})$  可以进行完全 (产物对反应速率没有影响), 以  $\text{NO}_2(\text{g})$  的消耗速率表示的反应速率常数  $k$  与温度  $T$  的关系为

$$\lg(k/\text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) = -5594.4 \text{ K}/T + 8.8$$

(1) 求此反应的表现活化能  $E_a$  和指前因子  $A$ 。

(2) 若在  $400^\circ\text{C}$  时将压力为  $26664 \text{ Pa}$  的  $\text{NO}_2(\text{g})$  通入反应器中, 使之发生上述反应, 试计算反应器的压力达到  $31997 \text{ Pa}$  时所需时间?

(3) 若开始只有  $\text{NO}_2(\text{g})$ , 浓度为  $3.0 \text{ mol dm}^{-3}$ , 要使反应在  $30 \text{ s}$  时反应物反应掉  $50\%$ , 问反应温度应控制多少度? (15分)

**解:** (1)  $E_a = RT^2 d \ln k / dT = 2.303 RT^2 d \lg k / dT = (2.303 \times 8.315 \times 5594.4) \text{ J mol}^{-1} = 107.1 \text{ kJ mol}^{-1}$

$$A = \exp(8.8 \times 2.303) \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} = 6.333 \times 10^8 \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

注意: 将题目的式子转为  $k = A \exp(-E_a/RT)$  即求。

(2) 设NO的分压为 $p$ , 则O<sub>2</sub>的分压为 $p/2$ , NO<sub>2</sub>的分压为26664Pa- $p$ , 总压

$$p_{\text{总}} = p + p/2 + 26664\text{Pa} - p = p/2 + 26664\text{Pa}$$

故此时  $p = 2(p_{\text{总}} - 26664\text{Pa}) = 2 \times (31997 - 26664)\text{Pa} = 10666\text{Pa}$

NO<sub>2</sub>(g)的分压=26664Pa- $p$ =(26664-10666)Pa=15998Pa

$$\text{速率常数 } k = 10^{-5594.4/673.15 + 8.8} \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} = 3.085 \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

根据其单位可知反应级数为2, 若NO<sub>2</sub>用A表示, 因此可知反应时间

$$t = (1/c_A - 1/c_{A,0})/k = RT(1/p_A - 1/p_{A,0})/k = 8.315 \times 673.15 \times (1/15998 - 1/26664) / (3.085 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}) \\ = 45.37\text{s}$$

$$(3) k = (1/c_A - 1/c_{A,0})/t = (1/1.5 - 1/3.0) / 30 \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} = 0.01111 \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$T = 5594.4\text{K} / (8.8 - \lg(k/\text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})) = 5594.4\text{K} / (8.8 - \lg(0.01111)) = 520.0\text{K}$$

11. 为发射火箭, 现有两种燃料可选: CH<sub>4</sub>(g)+2O<sub>2</sub>(g), H<sub>2</sub>(g)+1/2O<sub>2</sub>(g), 燃烧反应为 CH<sub>4</sub>(g)+2O<sub>2</sub>(g)→CO<sub>2</sub>(g)+2H<sub>2</sub>O(g), H<sub>2</sub>(g)+1/2O<sub>2</sub>(g)→H<sub>2</sub>O(g)。

(1) 假设燃烧时无热量损失, 分别计算上述各反应的标准摩尔反应焓及各燃料燃烧时的火焰最高温度。

(2) 火箭发动机所能达到的最终速度主要是通过火箭推进力公式  $I_{sp} = KC_{p,m}T/M$  确定。T为排出气体的绝对温度, M为排出气体的分子量, C<sub>p,m</sub>为排出气体的摩尔热容, K对一定的火箭为常数。火箭燃料燃烧时按化学计量比进行。问上述燃料中哪一种最理想?

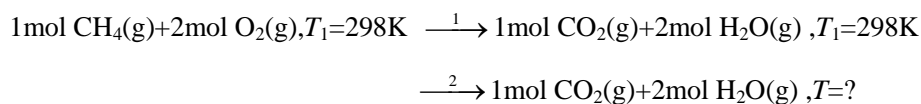
已知298K时各物质的标准摩尔生成焓及摩尔定压热容如下表:

	CO <sub>2</sub> (g)	H <sub>2</sub> O(g)	CH <sub>4</sub> (g)
$\Delta_f H_m^\ominus / (\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$	-393	-242	-75
	CO <sub>2</sub> (g)	H <sub>2</sub> O(g)	
$C_{p,m} / (\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1})$	37	34	

$$\text{解: (1) } \Delta_c H_m^\ominus (\text{CH}_4) = [-393 + 2 \times (-242) - (-75)] \text{ kJ} = -802 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\Delta_c H_m^\ominus (\text{H}_2) = (-242 - 0) \text{ kJ} = -242 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

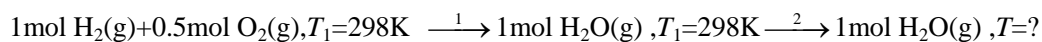
对 1mol CH<sub>4</sub> 恒压燃烧过程, 设想如下:



$$Q_p=\Delta H=\Delta H_1+\Delta H_2=-802000+(1\times 37+2\times 34)(T-T_1)/\text{K}=0$$

可得燃烧最高火焰温度  $T=298\text{K}+802000\text{K}/(37+68)=7936\text{K}$

对  $1\text{mol H}_2$  恒压燃烧过程, 设想如下:



$$Q_p=\Delta H=\Delta H_1+\Delta H_2=-242000+34\times(T-T_1)/\text{K}=0$$

可得燃烧最高火焰温度  $T=298\text{K}+242000\text{K}/34=7416\text{K}$

$$(2) \text{ 对 CH}_4 \text{ 燃烧气, } I_{\text{sp}}/K=C_{p,m}T/M=(1\times 37+2\times 34)\times 7936/(1\times 44+2\times 18)=10416$$

$$\text{对 H}_2 \text{ 燃烧气, } I_{\text{sp}}/K=C_{p,m}T/M=34\times 7416/18=14008$$

显然,  $\text{H}_2$  的推力较大, 比较理想.