



低的方向进行。如,在上述反应中物质组合A的化学势大于物质组合B的化学势,反应会从左向右发生。

## 2. 化学反应

在KPK看来,像温差驱动嫡流,或者电势差驱动电流一样,化学势差就是物质的量流动的驱动力,也即化学张力。化学反应的过程即物质的“量”流动的过程。一般有如下三种情况:

$\mu(A) > \mu(B)$ : 反应朝B进行;

$\mu(A) < \mu(B)$ : 反应朝A进行;

$\mu(A) = \mu(B)$ : 处于化学动态平衡状态

如果物质组合A的化学势高于物质组合B,那么物质的“量”从A流向B;如果物质组合B的化学势高于物质组合A,那么物质的“量”从B流向A。如果二者的化学势相等,那么就没有流产生,处于化学平衡状态。

经过科学的实验论证, KPK得出如下结论:

(1)化学势随浓度增加而增大。(2)化学势随压力增加而增大。(3)化学势取决于物质的性质。(4)化学势取决于相。(5)化学势受周围环境的影响,如温度。这些都是影响化学张力的因素。

## 3. 对化学反应的控制和影响

化学张力的<sup>万方数据</sup>大小决定化学“量”流动的速度(也即转化速率或反应速度)。一般情况下,一个化学反应的化学张力越大,其转化速率也越大。但存在化学张力并不意味着一定会发生化学反应,因为还存在反应阻力。一个化学反应的反应阻力越大,它的转化速率就越小。

为了控制化学反应的发生,人们常常会人为地增大或减少反应阻力。如用油漆的办法阻止铁的氧化反应(增大反应阻力),用添加催化剂的方法促进过氧化氢分解加快(减少反应阻力)。通常,混合能减小反应阻力;提高温度能减小反应阻力;催化剂能减少反应阻力。

有时,我们希望化学反应朝着相反的方向进行,即从低化学势的反应物流向高化学势的生成物,如将水分解为氢气和氧气。这需要一个类似水泵一样的装置,即反应泵(reaction pump)。反应泵的工作需要接入电源,即化学电池。用反应泵对一种物质进行分解的过程叫作电解(如图, F. Hermann等, 2007: 21)。

每一个自由进行的化学反应都会产生嫡。

根据化学反应生成嫡的情况,我们可以将其分为放热反应、吸热反应和嫡平衡。

## 3 启示

作为一个理科课程现代化的典型范例、一种研究和理解化学现象的新视角, KPK受到了许多国家课程改革者的高度关注。对于我国正在进行的基础教育化学课程改革,它至少有以下几点可以借鉴:

### 1. 系统的思维

KPK是一套非常有特色的科学教材。它以实物型量为中心概念,用实物型量的流来构建整个课程结构,有利于培养学生的系统思维(systems thinking)能力。化学和电学、力学、热力学一样,有着相似的结构和机理。化学过程和力的过程、电的过程、热的过程一样,都是物质和能量的转化及传递的过程。学生可以根据不同过程中相应的实物型量的增加、减少和流动来写出相同形式的表达式。用系统思维理解化学反应是局部的,同时也是完整的,并利于学生思维在不同领域内的类比和迁移。

### 2. 实用的内容

生活化是KPK的又一特色,教材中浓浓的生活气息容易让学生联想到身边的化学现象,如蜡烛的燃烧、铁的生锈、酒精的化学势、气体的爆炸反应。KPK对这些反应的叙事方式也容易被学生理解和接受。如以水泵和充气泵的概念引出反应泵的概念,使学生很容易理解水的电解过程为什么需要能量。提出反应泵的概念后,作者又列举了大量的生活例证:燃料电池、单电池、微型电池、纽扣电池、蓄电池和电池组。就这样,科学的原理被自然地还原为真实的生活,成为学生解决问题、探索科学的武器。

### 3. 简化的结构

用化学势表示化学物质的“量”的流动,用化学张力表示化学反应的“驱动力”,用反应阻力解释制约化学反应的客观条件,用反应泵和反向反应泵解释人们对化学反应的控制和影响。在KPK的视野中,复杂的化学问题一下子变得容易理解,繁杂的概念体系也变得简单明了。即使化学再发展,产生再多的新概念,仍然可以用该体系来理解和解释。这使得KPK思想几乎适用于基础教育阶段所有学段的学生。在德国及其他一些欧洲国家,在KPK的帮助下,小学生已经开始学习化学了。由于结构的简化,学生的负担也大大减轻。

### 4. 开放的视角

在传统教育的化学教育中,我们大多采用封闭的观点,就化学论化学。学生仅是知识的被动接受者,学生个体的探索和体验得不到重视。教师则成为教材知识的传声筒,课堂也机械沉闷,没有好奇和探索的渴望,也不会有发现和创造的惊喜。KPK给了我们一个全新的开放的视角。它启示我们,对于传统的化学问题,完全可以跳出化学之外,尝试

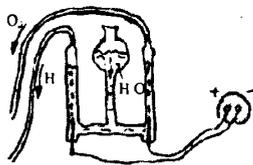


图 起“反应泵”作用的化学电池

解析:结合图像可知,  $T_2$  温度下先达到平衡,  $T_1 < T_2$ ; 温度升高, HI 的含量降低, 说明平衡向左移动, 所以正反应放热,  $\Delta H < 0$ 。答案: D。

### 7 化学平衡的综合计算

例9 (北京理综第9题) 工业上制备纯硅的热化学方程式如下:  $\text{SiCl}_4(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) = \text{Si}(\text{s}) + 4\text{HCl}(\text{g}); \Delta H = Q\text{kJ/mol} (Q > 0)$ 。某温度、压强下, 将一定量反应物通入密闭容器进行以上反应 (此条件下为可逆反应)。下列叙述正确的是 ( )。

A. 反应过程中, 若增大压强能提高  $\text{SiCl}_4$  的转化率

B. 若反应开始时  $\text{SiCl}_4$  为 1mol, 则达平衡时, 吸收热量为  $Q\text{kJ}$

C. 反应至 4min 时, 若  $\text{HCl}$  浓度为  $0.12\text{mol/L}$ , 则  $\text{H}_2$  的反应速率为  $0.03\text{mol}/(\text{L} \cdot \text{min})$

D. 当反应吸收热量为  $0.025Q\text{kJ}$  时, 生成的  $\text{HCl}$  通入  $100\text{ml}$   $1\text{mol/L}$  的  $\text{NaOH}$  溶液恰好反应

解析: 增大压强, 平衡逆向移动,  $\text{SiCl}_4$  的转化率降低, A 错; 因为此条件下为可逆反应, 不能完全进行, 所以若反应开始时  $\text{SiCl}_4$  为 1mol, 达到平衡时, 吸收热量应小于  $Q\text{kJ}$ , B 错; 反应至 4min 时, 若  $\text{HCl}$  浓度为  $0.12\text{mol/L}$ , 则  $\text{HCl}$  的反应速率为  $0.03\text{mol}/(\text{L} \cdot \text{min})$ , 所以  $\text{H}_2$  的反应速率为  $0.015\text{mol}/(\text{L} \cdot \text{min})$ , C 错; 当反应吸收热量为  $0.025Q\text{kJ}$ , 生成的  $\text{HCl}$  为  $0.1\text{mol}$ , 故与  $100\text{mL}$   $1\text{mol/L}$  的  $\text{NaOH}$  溶液恰好反应。答案: D。

例10 (江苏化学第20题) 将一定量的  $\text{SO}_2$  和含  $0.7\text{mol}$  氧气的空气 (忽略  $\text{CO}_2$ ) 放入一定体积的密闭容器中,  $550^\circ\text{C}$  时, 在催化剂作用下发生反应:  $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \xrightleftharpoons{\text{催化剂}} 2\text{SO}_3$  (正反应放热)。反应达到平衡后, 将容器中的混合气体通过过量  $\text{NaOH}$  溶液, 气体体积减小了  $21.28\text{L}$ ; 再将剩余气体通过焦性没食子酸的碱性溶液吸收  $\text{O}_2$ , 气体体积又减少了  $5.6\text{L}$  (以上气体体积均为标准状况下的体积)。(计算结果保留一位小数)

请回答下列问题:

(1) 判断该反应达到平衡状态的标志是\_\_\_\_\_。(填字母)

- a.  $\text{SO}_2$  和  $\text{SO}_3$  浓度相等
- b.  $\text{SO}_2$  百分含量保持不变
- c. 容器中气体的压强不变
- d.  $\text{SO}_3$  的生成速率与  $\text{SO}_2$  的消耗速率相等
- e. 容器中混合气体的密度保持不变

(2) 欲提高  $\text{SO}_2$  的转化率, 下列措施可行的是\_\_\_\_\_。(填字母)

- a. 向装置中再充入  $\text{N}_2$
- b. 向装置中再充入  $\text{O}_2$
- c. 改变反应的催化剂
- d. 升高温度

(3) 求该反应达到平衡时  $\text{SO}_2$  的转化率 (用百分数表示)

(4) 若将平衡混合气体的 5% 通入过量的  $\text{BaCl}_2$  溶液, 生成沉淀多少克?

解析: (1) 判断一个反应达到平衡状态的标志是  $v(\text{正}) = v(\text{逆})$  或各组分的浓度保持不变。  $\text{SO}_2$  和  $\text{SO}_3$  浓度相等不能判断该反应达到平衡状态; 若  $\text{SO}_2$  百分含量保持不变, 则  $\text{SO}_3$  和  $\text{O}_2$  的百分含量也保持不变, 可以判断该反应达到平衡状态; 因为该反应是一个气体体积改变的反应, 所以容器中气体的压强不变, 可以说明各组分的浓度保持不变, 可以判断该反应达到平衡状态;  $\text{SO}_3$  的生成速率与  $\text{SO}_2$  的消耗速率表示的都是  $v(\text{正})$ , 所以不能判断该反应达到平衡状态; 因为体积不变, 混合气体的总质量不变, 所以容器中气体的密度始终保持不变, 所以不能判断该反应达到平衡状态。 (2) 向装置中再充入  $\text{N}_2$ , 平衡不移动,  $\text{SO}_2$  的转化率不变; 向装置中再充入  $\text{O}_2$ , 平衡右移,  $\text{SO}_2$  的转化率增加; 催化剂只能改变反应速率, 不能影响化学平衡, 故改变反应的催化剂不能提高  $\text{SO}_2$  的转化率; 因为该反应正反应放热, 所以升高温度平衡左移,  $\text{SO}_2$  的转化率降低。 (3) 消耗氧气的物质的量:  $0.7\text{mol} - (5.6\text{L}/22.4\text{L/mol}) = 0.45\text{mol}$ , 生成  $\text{SO}_3$  的物质的量:  $0.45\text{mol} \times 2 = 0.9\text{mol}$ ,  $\text{SO}_2$  和  $\text{SO}_3$  的物质的量之和:  $21.28\text{L}/22.4\text{L/mol} = 0.95\text{mol}$ ,  $\text{SO}_2$  的转化率为:  $(0.9\text{mol}/0.95\text{mol}) \times 100\% = 94.7\%$ 。 (4) 在给定的条件下, 溶液呈强酸性,  $\text{BaSO}_3$  不会沉淀。因此,  $\text{BaSO}_4$  的质量为:  $0.90\text{mol} \times 0.05 \times 233\text{g/mol} \approx 10.5\text{g}$ 。

答案: (1) bc (2) b (3) 94.7% (4) 10.5。

(上接第53页)

多种不同的解决方法, 物理学、生物学、环境科学的方法。

参考文献:

[1] F. Hermann, G. Job. 德国卡尔斯鲁厄物理课程—中学物理 [M]. 上海: 上海教育出版社, 2007.

[2] 陈敏华. 德国卡尔斯鲁厄物理课程的结构和特色 [J]. 物理教学, 2007(11).