

第一部分 化学与能源

篇 首 语

在高等学校普通化学课程中，化学反应中的基本原理包括：反应中的能量转换、反应进行方向、化学平衡、反应速率、溶液和电化学等几部分内容。化学能是当今社会人类所需能量的主要来源之一。研究和开发化学能是当前促进人类进步和社会发展的重要课题。

能源指可从中获取各种形式能量的资源。当代科学技术发展中的三大物质条件是物质流、能量流和信息流，能源是能量流的核心之一，也是人类赖以生存的关键基础物质之一。

能源储备量的多少和能源利用技术水平的高低是衡量一个国家经济发达程度的一个重要标志。我国煤炭储量居世界第一，70%以上能源来自煤炭。但煤是化石燃料中污染重、热效率较低的固体燃料。煤和其它化石燃料的开采，造成对土地资源的严重损害，酿成祸根。近年，我国和世界各国一样，在努力挖掘新能源的同时，致力于研究和开发高效、清洁地使用现有各种能源的新技术和新材料，以期实现能源、环保和高技术的协调、可持续发展。

化学反应放热是一种不可忽视的化学能源。对于一个放热的化学反应，一方面反应本身要求维持反应温度，需将反应热及时转移，保证最大限度地获得目的产物；另一方面放出的热又是可以利用的能量，一举两得。

值得强调的是，对于系统中有气体物质参与的放热反应，如反应热未能及时转移，不仅对生产不利、浪费资源，而且极易发生危险。反应热积累使系统温度升高，反应不能按着预先设计的方案、路线进行，得不到理想的目的产物；同时温度变化引起气体体积膨胀，当气体压力增大到超过反应器所能承受的最大压力时，即发生爆炸，造成巨大的损失。

在实际工作中，常因科研或者生产需要，要配制某种溶液。事情虽简单，但若稍有疏忽也会出问题。2000年夏季，某高校科研课题组在用醋酸酐和高氯酸配制某种腐蚀液时，溶解热未能及时转移，加之高氯酸的强氧化性，使系统的温度瞬时升高，溶液突然猛烈沸腾溅出，酸气弥漫。幸亏是在敞口容器中、配制的溶液量少，操作人员得以及时躲避，否则后果可想而知。

始于 18 世纪的化学电源也是一种不可缺少的重要能源。化学电源是一种直接把化学能转变成低压直流电能的装置，实际上是一种小型直流发电机，也是一种能量转换器。唯它独具的特点是能量转换一步到位，不需任何中间环节，因此转换效率高，实际能量转换效率 60% 以上。燃料电池高达 80% 以上 是煤炭发电转换效率的 2~3 倍。

化学电源还有很多其他优点：无污染物排放、便于携带、使用简便；电池的容量、电流、电压等可在相当的范围内变动；形状和大小可根据需要制作；能在冲击、震动、旋转、高温等条件下正常提供电能；无噪声等。这种既传统又高新的方便能源，在科技高度发展的今天，其种类和品种不断有所创新，每每有新产品问世。电池分类方法多种多样。常说的 1 号、2 号、5 号电池和纽扣电池等是从电池的大小和外形上分类称谓的。从构成成分上分类则有：锌 - 二氧化锰、金属 - 空气、氢 - 镍硫等电池 锂电池、燃料电池 镉 - 镍等蓄电池；锂离子二次电池以及热激活电池和水激活电池，等等。

化学电源的应用广及各个领域。在太空遨游的人造卫星、宇宙飞船等航天工具和空间站；在天空飞行的导弹、火箭、飞机；陆地上的汽车、火车、拖拉机、坦克；水上航行的船只、潜水艇、鱼雷；地下采矿、原油勘探；传递讯号的信息工具；无线电定位、无线电通讯、遥测遥控、移动电话、便携式计算机、随身听、摄像机；甚至玩具、音乐贺卡等。举不胜举。凡是固定电源线路网不能覆盖的用电处，都可能需要化学电源来充当用电设备的电源。

各种类型可移动电器和用电设备需求量将越来越大，化学电源的需求量必将随之增大。我国每年有大量电池出口国外。广阔的市场发展前景吸引了越来越广泛的关注。对它的技术要求也更高：质量轻、体积小、容量大、寿命长、抗干扰性能好、价格低廉等。

化学已为能源的开发和利用作出了自己的贡献。新世纪，化学必将一如既往地与其他学科一道，推动新能源、新技术的应用与发展。

本部分实验有 3 个：

1. 化学反应热的测定；
2. 人造能源 —— 固体乙醇的制备；
3. 化学电源与电解。

通过实验学会化学反应热的测量、化学能源的原理，了解电能的应用。积极思考如何投身于创造新技术、新材料，为在新世纪能源开发利用的舞台上大显身手作好准备。

实验 1 化学反应热的测定

一、实验导言

任何应用化学反应的生产过程和科学研究都要清楚反应热以及其它相关热力学数据。原因主要有如下几点：(1) 保证反应正常、安全进行；(2) 合理设计反应设备、热交换装置；(3) 合理利用能源。那么，如何预先清楚反应热？一般有两种方法：一是通过查阅手册得到；二是在实验室通过实验测定。尤其是后者，在真正解决实际问题时，要在查得数据的基础上，亲自在实验室里反复多次做仿真实验，以便测得更贴近实际的数据，才能进一步研究和指导生产与科研。测定化学反应热，包括燃料燃烧反应热，对于能源的利用和开发具有重要的实际意义和理论意义。

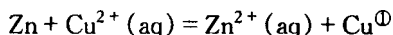
通常对于一般放热反应的反应热，在普通化学实验中，可用如图 1-1 所示简易热量计之一来测量。本实验用图 1-1 中的热量计(d)测定锌粉和硫酸铜溶液反应的反应热。通过实验学会一种测定化学反应热的方法，并学会做图和数据处理的原则及方法等。

二、实验原理和提要

化学热力学中，等压反应热 Q_p 与反应焓变 ΔH 在量值上相等，测出恒压反应热即可求出 ΔH 。放热反应的 ΔH 为负值。

实验依据的原理为：绝热条件下，反应放热使热量计及盛装物质的温度升高，从系统反应前后温度的变化及有关物质的质量热容，可计算出该反应放出的热量。

在恒压 (101 325 Pa) 下，用简易热量计测定下列反应的反应热：



为了使反应完全，使用的 Zn 粉要过量。

计算公式为

$$Q_p = \Delta_r H_m^\ominus(298 \text{ K}) = -[\Delta T \cdot c_p \cdot V \cdot \rho + \Delta T \cdot c_{p,b} \cdot m_b] \times 10^{-3} \times 1/n$$

式中 Q_p ——恒压反应热 ($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)；

① aq——水溶液， $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ 、 $\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ 分别指水合铜离子和水合锌离子。

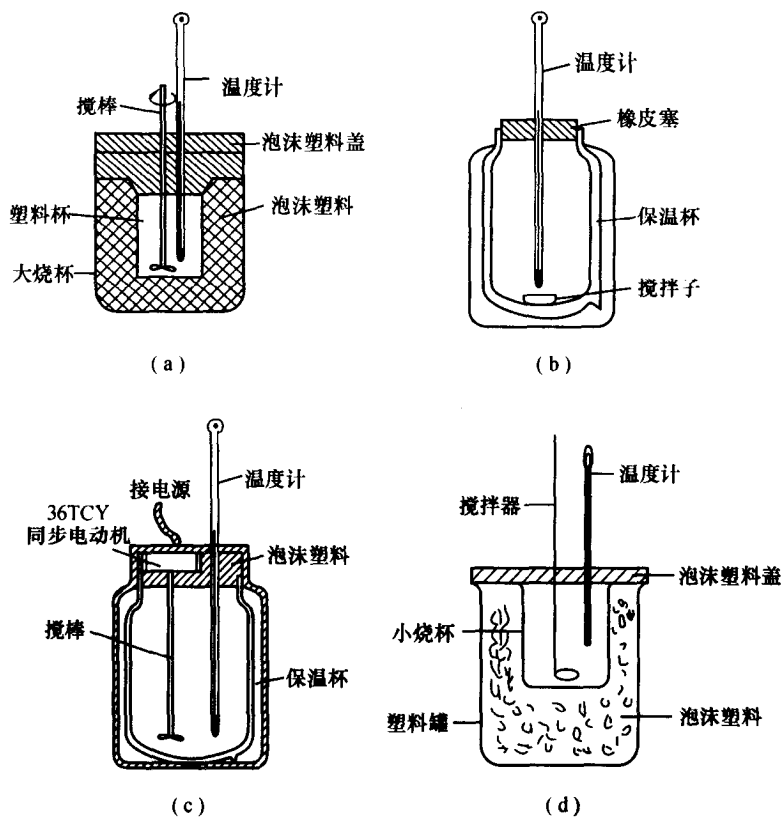


图 1-1 简易热量计

$\Delta_r H_m^\ominus (298 \text{ K})$ ——反应的标准摩尔焓变 ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$)；

ΔT ——反应前后溶液的温度变化 (K) 该值需用作图外推法确定 详见本文下两段。

c_p ——溶液的质量定压热容 ($\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$)；

$c_{p,b}$ ——热量计的质量定压热容 ($\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$)；

V ——溶液的体积 (cm^3)；

ρ ——溶液的质量浓度 ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)；

n ——体积为 V 的溶液中含有 CuSO_4 的物质的量 (mol)；

m_b ——热量计的质量 (g, 在公式计算中只以字母形式出现, 不需代入实际数值)。

因反应速率很快, 反应迅速达到平衡。但温度计显示系统温度的变化却滞后。加之实验用简易热量计并非严格的绝热系统, 在系统温度达到平衡的过程中, 热量计不可避免地与环境进行少量热交换。为校正由这些因素引起的测定

系统温度变化的偏差，进而缩小测定反应热与实际放热的偏差，需用图解法确定系统温度变化的最大值 ΔT 。

对此测定，用图解法校正测定偏差的方法为：在直角坐标系下，以测得的温度为纵坐标，时间为横坐标作图（见图 1-2）。在已画出反应温度随时间的变化曲线上，从反应物混合后温度上升至最高值的实验点画一直线 bc 把这条线向后（左）外推（延长），至与反应物混合时间为零时（ $t=0$ ）的垂线相交于 d 点，交点读数减去时间为零时的读数，得 ΔT 。这样经过外推得到的 ΔT 较客观地反映了反应放热所引起的系统在反应前后真正的温差。

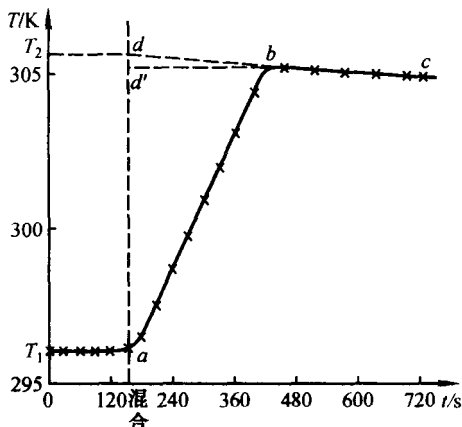


图 1-2 反应热测定的温度 - 时间曲线

计算需要，在测定反应热之前必须先测定所用热量计的质量定压热容。质量定压热容的定义是：恒定压力下单位质量的物质温度每升高一度所需要的热量。测定方法为：在热量计中加入一定量（如 40 g）的冷水，测定其温度为 T_L ，加入相同量温度为 T_H 的热水，混合后外推得水温为 T_m （见图 1-3）。已知水的质量热容为 $4.18 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ 则：

$$Q_p(\text{热水放热}) = (T_H - T_m) \times 40 \text{ g} \times 4.18 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$$

$$Q_p(\text{冷水吸热}) = (T_m - T_L) \times 40 \text{ g} \times 4.18 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$$

$$Q_p(\text{热量计放热}) = (T_m - T_L) \times c_{p,b} \times m_b$$

$$Q_p(\text{热量计吸热}) = Q_p(\text{热水放热}) - Q_p(\text{冷水吸热})$$

质量定压热容 $c_{p,b}$ 为

$$c_{p,b} = \frac{(T_H - T_m) \times 40 \text{ g} \times 4.18 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} - (T_m - T_L) \times 40 \text{ g} \times 4.18 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}}{(T_m - T_L) m_b}$$

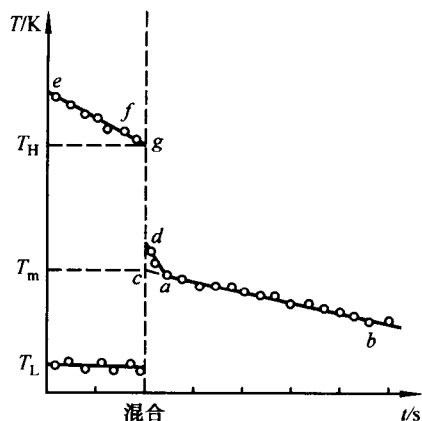


图 1-3 热量计热容测定的温度 - 时间曲线

$$= \frac{(T_H + T_L - 2T_m) \times 40 \text{ g} \times 4.18 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}}{(T_m - T_L) m_b}$$

三、实验内容和步骤

1. 温度计的校正

用小烧杯盛水，将实验要用的两支分度为 $0.05 \text{ }^\circ\text{C}$ 的温度计放入水中，以将要装在热量计中的一支温度计为标准，读出两支温度计的温度读数及相差的温度值 并做记录。

2. 测定热量计的质量定压热容 $c_{p,b}$

(1) 在热量计的塑料烧杯（或保温杯）中加入半杯冷水，盖上带有校正过的温度计的盖子 测量温度 T_L 。

(2) 在 250 cm^3 塑料杯中配制适当温度的热水，用校正过的温度计粗测温度 调节其温度高于 T_L 约 $15 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右。

(3) 用量筒量取 40 cm^3 步骤(2)热水 倒入 100 cm^3 塑料杯中。调节 T_H 高于 T_L $7 \sim 10 \text{ }^\circ\text{C}$ 并精确测量温度 T_H 。尽快将该热水倒入步骤(1)的热量计中，立即盖上盖子。

注意：当热水倒入热量计中时，立即观察温度计读数并作记录，记录到小数点后 2 位，同时开始记录时间。之后，边搅动边看秒表，每隔 30 s 记录一次温度。直至温度上升到最高点后，继续测量 6 次温度。

根据所得数据，以时间 t 为横坐标（ 1 cm 表示 1 min ）温度 T 为纵坐标（ 1 cm 表示 $1 \text{ }^\circ\text{C}$ ）做温度 - 时间图。外推得最高温度 T_m 。

用上述公式计算热量计质量定压热容 $c_{p,b}$ 。

3. 锌与硫酸铜溶液反应热的测定

(1) 用台天平称取 1.0 g 锌粉 备用。

(2) 用滴定管准确量取 $0.20 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{CuSO}_4$ 溶液 50.00 cm^3 注入热量计中, 盖好盖子。

(3) 用搅拌器不断搅拌溶液, 每隔 30 s 记录一次温度, 直至溶液温度持续 2 ~ 3 min 不变。

(4) 打开热量计盖子, 迅速向溶液中分散倒入称好的锌粉, 立即盖好盖子, 快速搅拌, 读取反应物混合后第一个温度数据, 之后继续每隔 30 s 记录一次温度。当温度升至最高值后开始下降时, 再继续测定并记录 3 min。

(5) 取出热量计中的烧杯, 取其清液约 1 cm^3 于试管中, 加入数滴 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{Na}_2\text{S}$ 溶液, 观察反应有无沉淀生成, 可说明反应进行的程度。

4. 作图和计算反应热

根据所测数据, 用与测热量计热容相同的方法, 外推得出反应后溶液的温度, 计算出反应前后温度的变化 ΔT 。按公式计算出反应热。

CuSO_4 溶液的质量定压热容近似地以纯水在 298 K 的质量定压热容计算, $c_p(\text{H}_2\text{O}) = 4.18 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ 溶液的质量浓度 $\rho = 1.02 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

四、思考题

1. 如何根据实验结果计算反应热?

2. 实验中所用 CuSO_4 溶液的浓度与体积, 要求都比较精确, 而所用的锌粉却用台天平称取, 为什么?

3. 对于 ΔT 的量值, 为什么不按混合后的最高温度和刚混合的温度之差求出, 而采用外推法求出?

4. 从理论上计算 $\text{Zn} + \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) = \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{Cu}$ 的 $\Delta_r H_f^\ominus(298 \text{ K})$ 是多少?

五、预习要求

1. 准备一张坐标纸;

2. 如何用外推法求 ΔT ?

(温度计的温度单位为 $^\circ\text{C}$, 不是 K, 但由于我们要知道的是温差 ΔT 而 T_1 、 T_2 直接用 $^\circ\text{C}$ 为单位相减与先把 T_1 、 T_2 换算到以 K 为单位再求温差在数值上是相同的, 所以本实验中直接以 “ $^\circ\text{C}$ ” 为单位作图。)

六、仪器和药品

1. 仪器: 台天平、酸式滴定管 (50.00 cm^3)、烧杯 (100 cm^3)、量筒 (50 cm^3)、温度计 (具有 $0.05 \text{ }^\circ\text{C}$ 刻度) 热量计、放大镜、秒表、滴定台、试管、滴管。

2. 药品：硫酸铜溶液 $\text{CuSO}_4(0.20 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3})$ 、锌粉(分析纯)、硫化钠溶液 $\text{Na}_2\text{S}(0.1 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3})$ 。

七、实验报告参考格式：

	实验 1 反应热的测定
系别	班级 姓名 日期
1. 实验目的	
2. 实验原理	
3. 实验记录与处理	
(1) 温度计的校正 热量计温度计的温度读数 $T_{\text{计}}/\text{℃}$: ; 测水温温度计的温度读数 $T_{\text{水}}/\text{℃}$:	
(2) 热量计热容的测定 冷水校正后的温度读数 $T_{\text{L}}/\text{℃}$: 热水校正后的温度读数 $T_{\text{H}}/\text{℃}$: 混合后温度变化记录 (每隔 30 s)	
时间 t/s	
温度 $T/\text{℃}$	
温度 - 时间图 :	
外推得温度 $T_{\text{m}}/\text{℃}$:	
热量计热容计算 :	
$c_{p,b} =$	
(3) 反应热的测定 $c(\text{CuSO}_4)/\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$: $V(\text{CuSO}_4)/\text{cm}^3$: $n(\text{CuSO}_4)/\text{mol}$: 反应前溶液的温度 $T_1/\text{℃}$: 反应过程中温度变化记录 (每隔 30 s)	
时间 t/s	
温度 $T/\text{℃}$	
温度 - 时间图 :	
外推反应温度 $T_2/\text{℃}$:	
反应前后温度差 $\Delta T/\text{℃}$:	
(4) 反应方程式	
(5) 反应标准摩尔焓变的计算	
4. 问题分析与讨论	

实验 人造能源——固体乙醇的制备

一、实验导言

在能源工业中，往往对一种能源从不同角度给予多种称谓。那些在燃烧过程中产生热能或动力的可燃性物质又称为燃料能源。起初燃料能源专指燃烧过程中以氧气作为氧化剂的物质，主要为含碳物质或碳氢化合物，同时把天然燃料经加工处理后得到的各种产品称为人造燃料或人造能源。后来这一概念扩展到包括用化学合成方法生产的燃料一并称为人造能源。

天然燃料有固、液、气三种聚集状态，人造燃料也同样。从使用上，除非设有专门运输管道，否则液态和气态燃料储运不方便。因易燃易爆，通常不能轻易作为燃料来使用。若将其制成固态物质，并保持一定的低燃点，便可成为安全、方便的固体燃料。根据市场需求，早在 1988 年我国北京煤炭利用研究所就研制出了一种以六亚甲基四胺和液氨为原料、一根火柴就能点燃的固体“易燃煤饼”，竟飘扬过海，远销美国等国。该燃料突出特点是：燃烧产生热值比一般煤炭高出近一倍，火焰温度达 $730\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；燃烧放出水蒸气、 CO_2 和 N_2 等，无灰尘、无味、无残渣；体积小、便于运输携带、安全方便。据报道，一个 3 人的小家庭，每日三餐仅消耗 200 g ，1 个月用燃料体积相当于几包普通盒装饼干大小。这是我国早期大量投放市场的用液态物质制成的固体燃料。

从原理上，用液态物质制造人造固体燃料的原料和方法很多，一般低燃点、燃烧产物无毒、燃烧产生热值高的液态碳氢化合物都可以制成固体燃料。但任何科学技术成果在实际推广应用时，产品成本往往是制约因素。通常选择研制那些原料来源广泛、价格低廉，生产工艺简单的产品更具实际意义。

近年来，人们已将乙醇或甲醇等易燃液体与其它物质按照一定的配比混合，制成人造固体乙醇或甲醇。广泛作为家庭、酒店等餐桌上火锅的清洁燃料，深受大众欢迎，促进了我国民族传统饮食文化的发扬。同时，军事、地质、野游等野外作业人员也常常用到它。

乙醇的制备方法有多种，以粮食为原料的微生物发酵法是最早、最成熟的制造食用乙醇的传统工艺。工业乙醇多用化学合成的方法制备。现在科学家在研究采用农产品下脚料为原料生物发酵法制造，可降低成本，并大量生产。5 年前有一个关于乙醇天然资源的有趣信息，英国天文学家宣布他们的发现：在距地球 1 万光年的宇宙深处，有一巨大的“乙醇云”，平均温度 $-148\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，质量达 10^{20} t 。

足以填满地球上的海洋成千上万次。若能利用它燃烧放热，能量可满足地球 1×10^{16} 年的能量需求。

本实验根据有机化学反应原理，用硬脂酸和氢氧化钠反应制得硬脂酸钠，再制成固体乙醇。通过实验了解固体乙醇的制备原理和方法，学会有机化学反应仪器的装配方法。

二、实验原理和提要

用硬脂酸与氢氧化钠反应可制得柔软的片状硬脂酸钠，化学反应式为：



硬脂酸钠再与液态乙醇以一定配比混合，加热软化使二者混合均匀。将混合物冷却，硬脂酸钠凝固，乙醇被包含在其中，即成为所谓的固体乙醇。若事先在其中分别加入石蜡、虫胶等作为固化剂或胶粘剂，可得到质地坚硬的固体乙醇。做成一定形状后即成为需要的产品。需要注意的是：石蜡是固体烃的混合物。本实验中用来作为固化剂使用，并可以燃烧放热。但是加入量不宜多，否则燃烧不完全，易产生黑烟及放出不愉快的气味。

三、实验内容和步骤

1. 反应装置如图 2-1。在 250 cm^3 的三口瓶中 加入 9 g 硬脂酸、2 g 石蜡、 50 cm^3 乙醇 再加入数粒小粒浮石 摇匀。

2. 在三口瓶上安装回流冷凝管；放到水浴上加热至约 $60 \text{ }^\circ\text{C}$ 保温直至固体溶解。

3. 在 100 cm^3 烧杯中加入 1.5 g NaOH 和 13.5 g 水 搅拌溶解后 再加入 25 cm^3 乙醇 搅拌均匀。

4. 将步骤 3 配好的溶液加入步骤 2 三口瓶中，水浴加热回流 15 min 使反应完全。

5. 移去水浴。待温度下降，回流停止时，趁热将液体倒入模具中。必要时加盖防止乙醇挥发，冷却至室温。产品完全固化后，从模具中倒出。

6. 切一小块成品 点燃 观察燃烧情况。

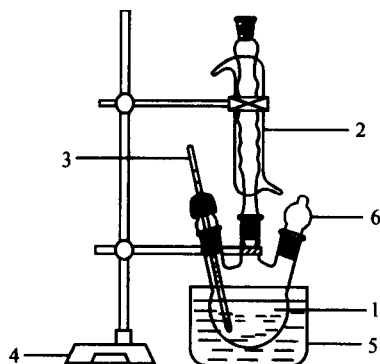


图 2-1 固体乙醇反应装置示意图
1—反应器；2—回流冷凝管；3—温度计；
4—铁架台；5—水浴箱；6—玻璃塞

四、思考题

1. 硬脂酸与氢氧化钠反应配比应是多少？如果配比不合适结果如何？
2. 加入石蜡的作用是什么？是否影响固体乙醇的燃烧效率？为什么？

五、预习要求

1. 预习有机合成反应装置的装配。
2. 预习水浴箱、酒精灯等的使用方法。

六、仪器和试剂

1. 仪器 研钵、三口瓶(250 cm³)、烧杯(100 cm³、50 cm³)回流冷凝管、水浴箱、铁架台、温度计、玻璃塞。
2. 药品 氢氧化钠、硬脂酸、酒精、浮石、石蜡。

七、实验报告参考格式

实验 2 人造能源——固体乙醇的制备

系别 班级 姓名 日期

1. 实验目的

2. 实验原理

3. 实验内容和步骤记录：

步骤	试剂	用量/g 或 cm ³	温度 T/℃	时间 t/min
(1)				
(2)				

(3)

(4) 产品质量 m/g

(5) 检验

切出小块的质量： m_1/g

火焰：

烟雾：

燃烧时间： t/min

4. 问题分析与讨论

实验 3 化学电源与电解

一、实验导言

化学电源，是利用自发进行的氧化还原反应中电子的定向转移，获得电能的一种能源装置，又称为化学电池或电池。

化学电源实现将化学能直接转变为电能必须具备两个条件：一是必须将氧化反应和还原反应分隔在两个空间进行；二是进行氧化和还原反应时，电子的转移必须经过外线路。

实际使用的电池通常由 4 部分主要部件和一些附件组成。主要包括两个由不同材料组成的电极、电解质、隔膜和外壳。附件有接线柱、导线等。

一般电池的制造原理简单，材料也易得，但制造工艺比较严格，对产品有多种技术参数要求。因多方面条件限制，在实验室里往往组装的是示意性的或简易的电池。

电解是利用电能使非自发进行的氧化还原反应得以进行的过程。通过电解的方法可以获得需要的产物。

本实验提供实验用仪器、药品和相应的其他材料，自己动手动脑组装简易原电池；观察电解现象；理解反电动势、理论分解电压和实际分解电压等概念。

本实验还设计利用电解的原理测定阿伏加德罗常数，意在将电解原理的应用、气体分压定律以及物质微观结构中最基本的概念等有关的问题联系起来，使所学理论、知识综合化。

二、实验原理和提要

电极电势不同的物质可组装成原电池。其中负极失去电子，正极获得电子。负极是电极电势较低的电对，电对中的还原态物质失去电子；正极是电极电势较高的电对，电对中的氧化态物质获得电子。内电路通常用盐桥或者特制的隔膜联通。

实验给出铜棒和 $1.0 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{CuSO}_4$ 溶液，锌棒和 $0.10 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ZnSO}_4$ 溶液，自己动手组装成原电池。前者为正极，后者为负极。原电池工作时，Zn 失去电子， Cu^{2+} 获得电子。

在电解池里，和外电源正极相连的为阳极，阳极进行的是氧化反应，通常是实际析出电极电势低的电对中的还原态物质失去电子被氧化；和外电源负极相连的为阴极，阴极进行的是还原反应，通常是实际析出电极电势高的电对中的氧

化态物质获得电子被还原。

分别用自己组装的化学电源和外电源电解 $0.10 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{NaCl}$ 溶液 根据电解一般原理可知, 阳极产物为 Cl_2 阴极产物是 H_2 。并可自行检验。

电解法测定阿伏加德罗常数 (N_A) 是以铜做电极 电解稀硫酸溶液 测出电解获得氢气的体积, 再换算出氢气的压力, 可计算得 N_A 。

电解稀硫酸溶液时阴极放出氢气, 用排水集气法把 H_2 收集于量气管中, 并可测出其体积 $V(\text{H}_2)$ 。在常温常压下, 从电极附近溶液中放出的 H_2 被水蒸气饱和, 应从大气压里扣除水蒸气压力和水柱压力, 剩余的是氢气的压力 $p(\text{H}_2)$:

$$p(\text{H}_2) = p_0 - p(\text{H}_2\text{O}) - p(\text{H}_2\text{O 柱})$$

式中, p_0 ——为大气压力, 从气压计读出, $101\ 325 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg}$;

$p(\text{H}_2\text{O})$ ——电解温度下水的饱和蒸气压 (Pa), 可由附录三中查出;

$p(\text{H}_2\text{O 柱})$ ——实验后量气管中水柱的压力 (Pa);

$p(\text{H}_2\text{O 柱}) = [h(\text{H}_2\text{O}) / (13.6 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3})]^{①} \times [101\ 325 \text{ Pa} / 76 \text{ cmHg}]$;

$h(\text{H}_2\text{O})$ ——水柱高 (cm)。

设阴极产生氢气的物质的量为 $n(\text{H}_2)$ 则

$$n(\text{H}_2) = p(\text{H}_2) \cdot V(\text{H}_2) / RT$$

当 $p(\text{H}_2)$ 单位为 Pa ; $V(\text{H}_2)$ 单位为 m^3 时, R 值取 $8.314 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

因通入的电量 $Q = It$ 使得阴极产生 $n(\text{H}_2)$ 的氢气 则产生 1.0 mol 氢气所需电量 $It / n(\text{H}_2)$ 。又知 1 个电子的电量为 $1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$, 2 个氢离子还原为 1 个氢分子所需电量为 $2 \times 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ 所以 1.0 mol 氢气所具有氢分子个数为

$$N_A = It / n(\text{H}_2) \times 2 \times 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$$

三、实验内容和步骤

1. 化学电源

现有锌丝、锌棒和 $0.10 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ZnSO}_4$ 溶液 铜丝、铜棒和 $1.0 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{CuSO}_4$ 溶液以及盐桥、毫安表等。试用这些物质组装成原电池, 并检验该原电池是否有电流产生。

写出两极反应式、电池反应式、电池符号; 计算电池的电动势。

2. 电解

① $13.6 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 为汞的密度。

(1) 以 U 型管为电解池，以上述自己组装的原电池为电解电源，电解 $1.0 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ NaCl}$ 溶液。观察现象，并解释之。

(2) 将步骤 (1) 中电解池系统的原电池拆除，再连接外电源，以石墨为电极电解 NaCl 溶液，观察电解现象，分别检验两极产物^①。

写出电解池两极反应式。比较步骤 (1) 和 (2)，从理论上说明两者现象差别的原因。

(3) 反电动势与理论分解电压

将步骤 (2) 电解池连接外电源两极的导线拆开，再分别连接到伏特表的两极上，观察伏特表指针是否发生偏转。需要特别注意的是：原来与外电源正极相连的导线，现在与伏特表的正极连接；原来与外电源负极相连的导线，现在与伏特表的负极相连。

发生偏转说明什么问题？用符号和反应式解释之。

3. 电解法测定阿伏加德罗常数

(1) 在一粗铜导线的一端连上导线，在另一端刮除部分包线，裸露部分铜线作为电解池的阴极，用细砂纸擦去表面氧化物，再用自来水冲洗干净。

(2) 按图 3-1 安装实验仪器

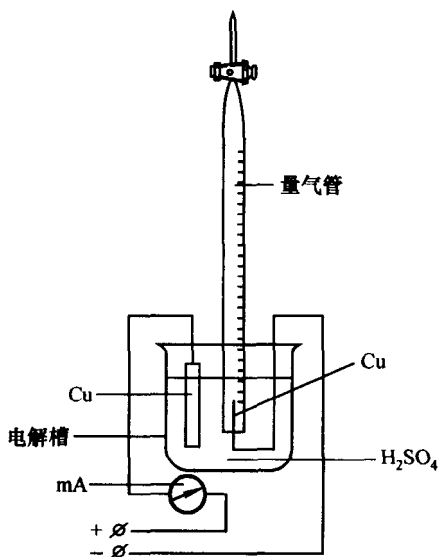


图 3-1 测定阿伏加德罗常数的实验装置示意图

阳极有氯气放出，用碘化钾 - 淀粉试纸检验；阴极有氢气放出，用酚酞指示剂检验。

注意：图中的量气管是一支倒置的 25.00 cm^3 的酸式滴定管。最大刻度线至阀门处的体积需要事先校正。校正方法为：称量这部分体积水的质量，再换算为体积。将校正的体积值标注在滴定管上端。

在电解池中加入 $0.5\text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}\text{H}_2\text{SO}_4$ 溶液，将量气管下端插入溶液中，固定好。

(3) 打开量气管阀门，用洗耳球把液体吸至量气管高度的一半左右，关闭阀门。接通电源，调节稳压调节旋钮使电流稳定在 250 mA 处，切断电源。

(4) 按步骤 3) 法，把液面吸至活塞处。

(5) 接通电源，同时开始用秒表计时，保持电流稳定在 250 mA 处，电解 10 min 。电解完毕，记下量气管液面的体积读数。

(6) 电解产生氢气的体积 $V(\text{H}_2)$ 用量气管的最大刻度体积数（此时为 25.00 cm^3 减去量气管液面读数数值，再加上量气管校正体积值。

(7) 量气管中水柱高度 $h(\text{H}_2\text{O}$ 柱) 用直尺测量量气管液面与电解池液面的高度差值，即量气管中水柱高度。

(8) 记录电解液温度和大气压力（气压计的使用方法见附录三），按前述公式计算阿伏加德罗常数。

四、思考题

1. 组装原电池时，哪个电极做正极？哪个电极做负极？如何连接？
2. 电解 NaCl 溶液时，阳极和阴极产物各是什么？如何检验？
3. 阿伏加德罗常数的测定注意事项有哪些？

五、预习要求

1. 毫安表、伏特表的使用；
2. 直流稳压电源的使用。

六、仪器和药品

1. 仪器 烧杯 (250 cm^3)、铜棒、锌棒、铜丝、锌丝、U 型管、毫安表、伏特表、固定架、酸式滴定管 (25.00 cm^3)、烧杯 (50 cm^3)、铜电极、秒表、直尺。

2. 药品 硫酸铜溶液 $\text{CuSO}_4(1.0\text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3})$ 、硫酸锌溶液 $\text{ZnSO}_4(0.1\text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3})$ 、氯化钠溶液 $\text{NaCl}(1.0\text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3})$ 、硫酸溶液 $\text{H}_2\text{SO}_4(0.5\text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3})$ 、酚酞指示剂 ($w_B=0.01$)、碘化钾 - 淀粉试纸。

七、实验报告参考格式

实验 3 化学电源与电解			
系别	班级	姓名	日期
1. 实验目的			
2. 实验原理			
3. 实验内容与步骤			
步 骤	现 象	反 应 式 与 解 释	
(1) 化学电源与电解 ① ②			
(2) 反电动势与理论分解电压			
(3) 阿伏加德罗常数的测定			
两极反应式			
阳极反应式：			
阴极反应式：			
② 实验记录			
电解液温度 $T/^\circ\text{C}$ ：	$p(\text{H}_2\text{O})/\text{Pa}$ ：		
$h(\text{H}_2\text{O})/\text{mm}$ ：	$p(\text{H}_2\text{O柱})/\text{Pa}$ ：		
p_0 大气 $/\text{Pa}$ ：			
$p(\text{H}_2)/\text{Pa}$ ：	$V(\text{H}_2\text{O})/\text{cm}^3$ ：		
电流强度 I/A ：			
电解时间 t/S ：			
计算 $n(\text{H}_2)$ 及 N_A (列出算式)			
$n(\text{H}_2) =$			
$N_A =$			
4. 问题分析与讨论			

* 能源开发和能源探索

在现有不同程度地实用化了的能源中，困扰人类的三个突出问题是：1. 燃烧能源的燃烧效率低；2. 能量转化效率低；3. 能量释放过程中含有污染环境的物质。科学技术人员正致力于解决这些问题。

使用化石燃料、生物质能以及氢能等能源的第一步是通过燃烧获得热能，然后转化为机械能或电能。在热化学学习中已知，完全燃烧和不完全燃烧反应相比较，二者的反应热差别很大。另外，气、固、液三种聚集状态的燃料比较，液态

和固态不易完全燃烧。采取将液态燃料气化或者将固态燃料液化、气化的方法是促使燃料彻底燃烧的途径之一。早已实现工业化的煤的气化或液化为人类有效利用能源提供了先例。现在，人们尝试着在汽油和柴油中加入 $w_B = 0.30$ 的水和 $w_B = 0.0001$ 的乳化剂形成乳浊液，燃烧时，细小的水珠变成蒸汽，将油破碎成微粒，促进充分燃烧，实现最大限度地放热。另一方面，加水使柴油乳化可以改善油在内燃机和汽缸内的燃烧过程，但是由于水的汽化和氢脆等问题，使得柴油乳化在实际应用方面仍有一些问题。根据内燃机专家测定，每添加 10% 的水，发动机的功率将下降 10%。

一次能源一般需要转化成二次能源再利用，能量的转化效率是关键。能量转换和使用装置的评价都是用“效率”，效率是有效能量与转入该机器或设备的总能量之比。目前，除化学电源外，其余能量的效率都不足 35%。解决这一问题的关键在于研制高转化率的新材料。例如，能量转换材料、高吸光材料、聚光材料、电极材料等等。

研究制造新型催化剂对于节能有非常重要的意义。催化剂的三大功能：加快反应速率，提高反应选择性，降低反应温度、压力等反应条件，可使反应在温和条件下，减少副反应，快速进行。包括燃烧反应。

20 世纪，世界各国科学家满怀激情孜孜不倦地为人类探索 21 世纪的新能源已初有成果 制造反物质 开采“可燃冰”探索宇宙深处的“乙醇云”以及设想开发占地壳质量一半的廉价的“氧能”，等等。

自 1932 年美国物理学家安德逊从宇宙射线中发现正电子以来，到 20 世纪 60 年代，几乎所有预言过的反粒子相继被发现。1996 年欧洲粒子实验中心首先在实验室合成了“反氢原子”。反物质与正物质碰撞相互作用“湮灭”后放出巨大能量，而且不留任何残渣。用 0.01 g 反物质可产生相当于 120 t 液氢与液氧燃烧所产生的能量。

“可燃冰”是 1974 年美国地质学家在黑海勘探时首次发现的。它是一种天然气水化物，即甲烷外部被水包围，形似雪状或冰状，用火柴可点燃。这种冰形成条件是 0°C 、26 MPa 或者 10°C 、76 MPa。27% 的陆地和 90% 的海洋底部具有形成条件。据估计地球永久冻土带藏有 $50 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ，深海底部的储量较前者高出 100 倍。总储量足够人类开发利用 100 万年。据探测，我国南海等海域也有储量可观的“可燃冰”。现在，科学家正在研究探索开发利用“可燃冰”的有效方法。

占地壳质量 50% 的氧元素是极其重要的资源。除部分以 O_2 和 O_3 单独存在外，其余均存在于各种含氧化合物中。各种可燃物质燃烧离不开氧气，燃烧可看成是释放“氧能”的过程。另外，当氧化物分子接受光和热的作用能量大于分子间引力时，氧原子能脱离氧化物分子形成携带能量的 O_2 游离到空中。氧气