

物理化学实验

绪 论

孙科强

kqsun@mail.tsinghua.edu.cn

2020年9月17日

物化实验教学团队

- 老师：孙科强、麻英、王溢磊、段炼、贺德华，李远，王朝
- 助教：刘国强、周碧妮、曹波波、殷晨、余柯、胡博韬、
景建芳、王雅倩
- Email:
 - 孙科强（何添楼311）kqsun@mail.tsinghua.edu.cn
- 请假调课，请与孙科强老师 email 联系，尽量不要用电话。

教材

《基础物理化学实验》，清华大学化学系，北京：高教出版社，2008。（校教材中心）

参考教材

1. 北京大学化学学院物理化学实验教学组. 物理化学实验. 北京: 北京大学出版社, 2002（第4版）.
2. 清华大学化学系物理化学实验编写组. 物理化学实验. 北京: 清华大学出版社, 1991.
3. 复旦大学等编, 庄继华等修订. 物理化学实验. 北京: 高等教育出版社, 2004（第3版）.

主要内容

一. 课程总体安排

(二级选课、内容及课表、分组、成绩)

二. 课程的定位和学习方法

三. 具体要求

(预习报告、实验过程以及实验报告)

一. 课程安排： 实验项目

- **105房间：**

1. 恒温槽的装配和性能测试
2. 燃烧热的测定
3. 液体饱和蒸汽压的测定

- **106房间：**

4. 电动势的测定
5. 乙酸乙酯皂化反应速率常数测定
6. 迁移数的测定

- **103房间：**

- 7. 最大气泡压力法测定液体表面张力
- 8. 物理吸附测定固体比表面积（讲义和实验教材）

课程表 共8个窗口

	周一	周二	周三	周四	周五
上午					5C 前上(64)
下午	1A (34)		3B 前 (40) 3C 前 (24) 3B 后 (56) (第 12-16 周进行, 专为材 94 班 开设)	4B 单 (40) 4B 双 (40) 4C 单 (24) 4C 双 (24)	5A(34)

说明：括号内数字为分配容量

3C前	余	5
5C前上	余	23
3B后	余	29

- 二级选课，自行调整截止时间：
9月21日上午9点（下周一上午9点）
- 如截止时间前不能自行调整，则9月21日上午9点前
通过 网络学堂→课程讨论→“调课申请”
 - ➡ 注明学号、姓名、目前选课时间及希望的二级选课时间
 - ➡ 如果有空位，则按照先后顺序进行调整

实验分组

实验A每人单独完成实验，每组4人； 实验BC 2人合作完成实验，每组8人。

分组信息 最晚将在下周四前 上传到网络学堂的“课程文件”中。

大家要及时核查自己的分组，及时预习。有疑问请**立即email**联系孙科强老师。

分组举例：

学号	姓名	班级	组别
XXXXXXXXXX	XXX	化学11	a
XXXXXXXXXX	XXX	化学11	a
XXXXXXXXXX	XXX	化学11	a

注意第一次是做哪个实验？不要弄错了。

基础实验顺序表B(1)&C

实验 次数	周三前	周四 (单/双)	周五上	恒温 槽	燃烧 热	蒸气 压	电动 势	乙酸 乙酯	迁移 数	最大泡 压法	物理 吸附
1 st	第 3 周	第 5/4 周	第 4 周	a	b	c	d	e	f	g	h
2 nd	第 4 周	第 7/6 周	第 5 周	h	a	b	c	d	e	f	g
3 rd	第 5 周	第 9/8 周	第 6 周	g	h	a	b	c	d	e	f
4 th	第 6 周	第 10/10 周	第 7 周	f	g	h	a	b	c	d	e
5 th	第 7 周	第 13/12 周	第 8 周	e	f	g	h	a	b	c	d

说明：实验从第 3 周开始，不参与调课，10 月 1-2 日实验暂停。

3B 后窗口

实验 次数	周三后 (材 94)	恒温 槽	燃烧 热	蒸气 压	电动 势	乙酸 乙酯	迁移 数	最大泡 压法	物理 吸附
1 st	第 10 周	a	b	c	d	e			
2 nd	第 11 周		a	b	c	d	e		
3 rd	第 12 周			a	b	c	d	e	
4 th	第 13 周				a	b	c	d	e
5 th	第 14 周	e				a	b	c	d

实验报告提交

- 实验后一周内，通过网络学堂提交电子版的实验报告。

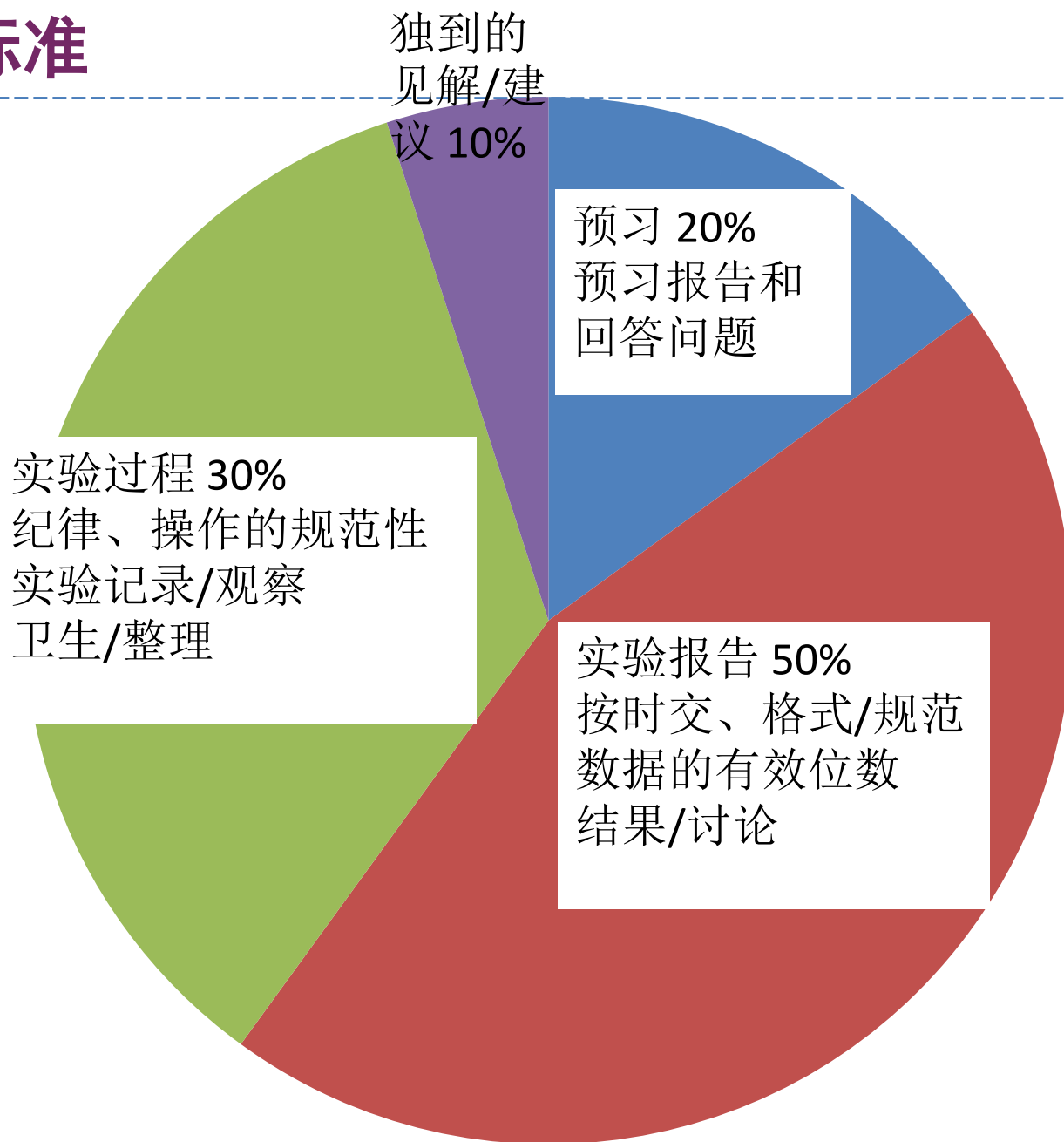
比如： 周四下午做实验，截止日期为下周周三晚12点

- 报告命名：具体实验项目-姓名
- 若调换了实验时间，则通过email向代课老师/助教提交报告

实验成绩

1. 每个基础实验按百分制计分，再按照计算平均分。
对于化学系，8个实验占总成绩的80%， 研究设计性实验20%。
2. 1次旷课：实验课总成绩不高于65分；2次旷课：实验课总成绩不及格。
3. 不交实验报告，则该项实验的实验报告部分的成绩为零； 2次不交实验报告，实验课总成绩不及格。
4. 坚决杜绝实验报告、预习报告的抄袭现象，有抄袭现象的情况，实验报告部分的成绩为零，该项实验成绩不超过50分。
4. 请假需要有班主任或辅导员签字的假条，并盖系章。

评分标准



打分表

基础实验成绩评分 记分表 实验日期: _____ 指导教师: _____

实验名称: _____ 学生系别: _____

[illegible]

二、课程的定位和学习方法

一. 课程特点

物理化学

化学过程总是伴随着**物理现象**的发生，**物理化学**是以研究物理和化学现象的联系入手，找出化学过程基本规律的一门学科。

物理化学是化学这一中心科学的基础，是化学以及在分子层次上研究物质变化的其他学科领域的理论基础；也为认识物质性质（物理的、化学的）和发展功能材料提供知识基础、思想方法和技术手段。

（化学反应的方向和限度，速率与机理，物质的结构与性质）

物理化学实验

测定物质的**物理化学性质**和**化学反应性能**，覆盖热力学、相平衡、电化学、化学动力学和表面化学等部分，每一个实验都是**经典实验**，代表某一类或者一个方面的物理化学研究基础方法，并且在物理化学理论发展中起了重要的作用。

本课程定位

纸上得来终觉浅，绝知此事要躬行

化学是以实验为**基础**的学科

化学是以实验为**主**的学科

化学是以实验为**核心**的学科

本课程定位

从基础实验课程到科学研究间的过渡，在本科生化学实验训练中处于枢纽的地位。

1. 通过实验学习物理化学
观测现象、总结规律

2. 培养创造新知识、新技术的能力

心态：主动的做实验，而非被动的验证

能力培养

1. 依托实验，学习相关的**基本概念和原理**
2. 理解实验的设计思想、以及如何制定实验方案（**选择仪器设备、步骤、实验条件**），培养科研的思维方法
3. 观察实验现象，准确采集实验数据的能力
 - ◆ **温度、压力和浓度的控制、测量方法和原理**
 - ◆ **规范操作（定容、移液、称量）和实验习惯**
4. 规范严谨地撰写实验报告
 - ◆ **筛选、展示、转化、理解实验数据的能力**

预习



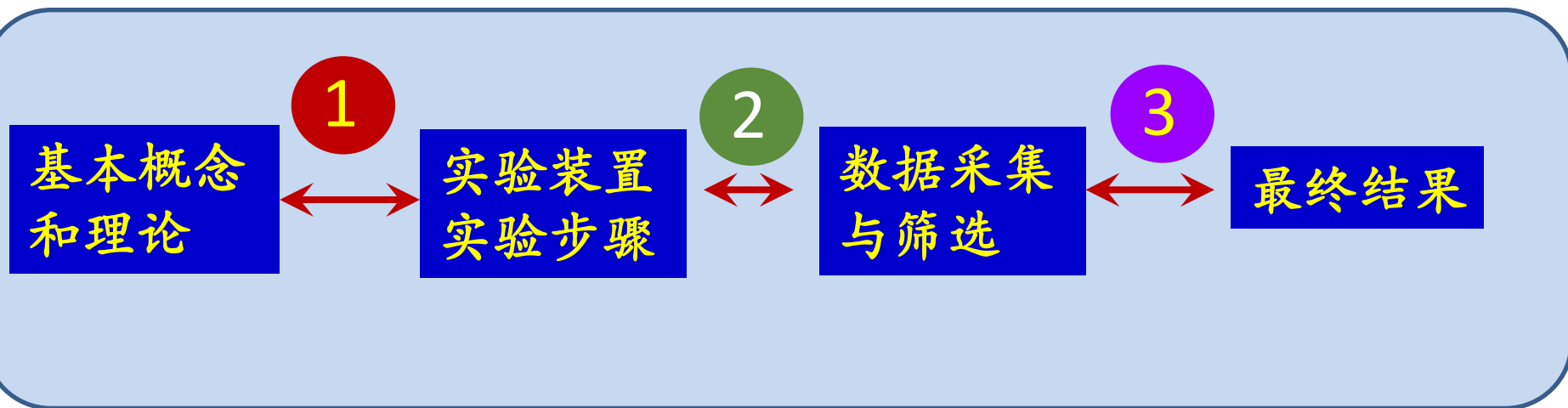
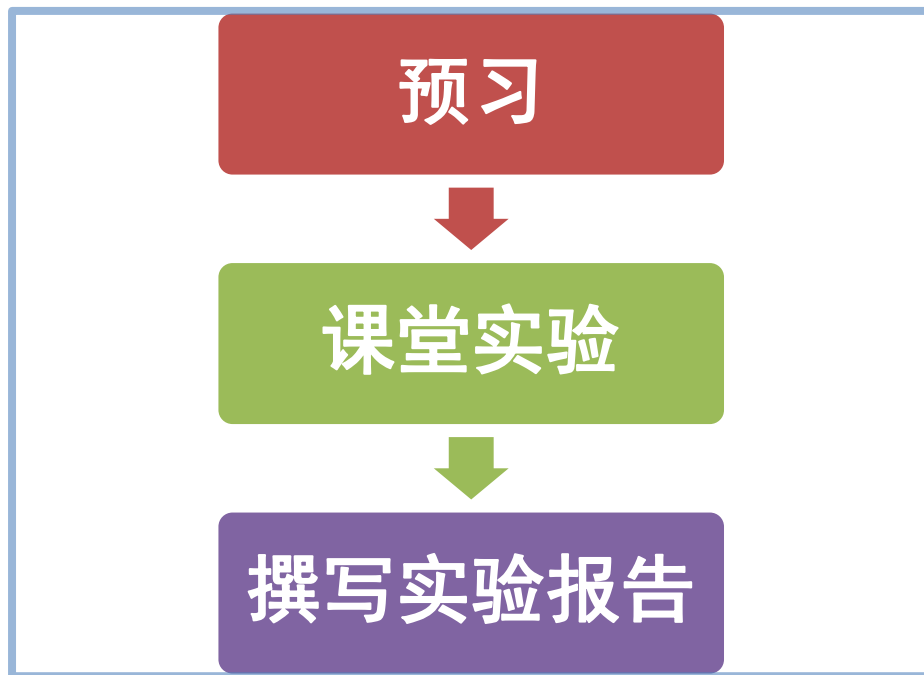
课堂实验



撰写实验报告

自学能力，想象能力，合作能力，沟通能力.....

物化实验的“虚/实”三个环节



课程的学习方法

1. 如何预习？

预习要分清楚

1. 理论知识要点；
2. 实验设计思路；
3. 涉及的技术要点

理解实验的出发点：已知的知识和信息是什么？
未知的是什么？需要从测量什么入手？

1. 如何预习?

溶液表面张力的测定-最大气泡压力法

概念及原理:

表面及界面, 表面张力, 液-固界面的润湿过程, 接触角, 弯曲表面的附加压力 (Young-laplace 方程), 溶液的表面吸附 (Gibbs)

实验技术:

恒温槽温度的控制与测定

实验仪器以及用品

SHJ-1 型温度测量控制仪、85-2 型磁力搅拌器、微压计 (清华大学化学实验中心) 洗耳球、移液管 (10, 25, 50 mL), 容量瓶 7 个 (100 mL), 1000 mL、500 mL 烧杯各 1 个, 0.4000 和 0.5000 mol/L 的正丁醇水溶液。

●→ 实验步骤

一、溶液配制:

由 0.4000 和 0.5000 mol/L 的正丁醇水溶液, 使用 10, 25 或 50 mL 移液管, 配置 7 个浓度从 0-0.4 mol/L 的溶液, 每次实验四个组的同学建议用同样方法稀释, 以利于相互讨论。建议浓度但并不限于: 0.3000、0.2500、0.200、0.1500、0.100、0.0500 及 0.0250 mol/L。

二、开启仪器

1. 恒温槽。接电源, 先开搅拌, 再连接温控仪与加热器, 开始温度控制。
2. 压差测量。首先打开测压仪, 然后打开电脑。打开“数据采集”软件, 在“参数设置”中设定采样频率为 10 次/秒。如果测量曲线为直线, 则需要重新启动电脑。测量前, 应首先走 15~20 s 基线。测量过程中不要切换测压器单位。

三、压差的测定

1. 标定仪器。

充分洗净大试管及毛细管, 在大试管中注入适量的去离子水 (即参比样品), 使毛细口端口刚好和液面相切。注意: 毛细管与液面垂直, 深入液面不宜过深或过浅, 2 mm 左右可以接受, 并在整个实验过程中尽量保持一致。

将大试管安装在水浴中, 给抽气瓶注满水, 检查活塞, 打开三通管与大气相连。

教材和预习材料上每个实验均有详尽的实验方案, 包括实验目的、基本原理、仪器和试剂、操作步骤、数据记录和处理方法。

* 两种预习方法-常规方法

理解概念和理论，理解装置、实验步骤和条件

涉及到什么基本概念和原理？

相关原理或公式推导所采取的边界条件是什么？

理解所采用的实验装置构成及运行原理

明确实验步骤及条件

原始数据的处理方法

知其然

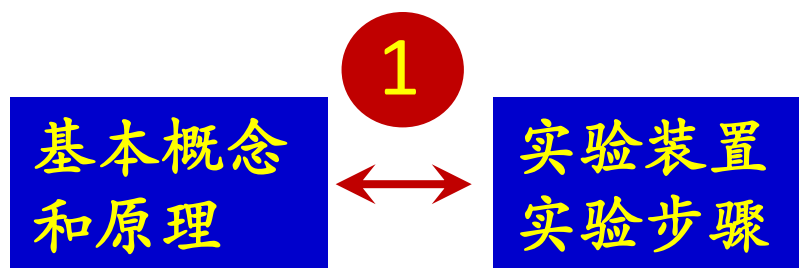
* 问题导向的预习方法

1. 实验的目的? 要测量什么物化性质?
2. 直接测量的原始数据是什么?
3. 怎样将原始数据转化成最终的物化数据?

实验设计思路

- A. 采用这个方案的优缺点是什么?
- B. 为什么装置这样构建?
- C. 为什么有这一步?
- D. 为什么选用这个特定条件?

操作、技术要点



知其所以然

最大气泡法测表面张力

应该为最大气泡压力法测表面张力

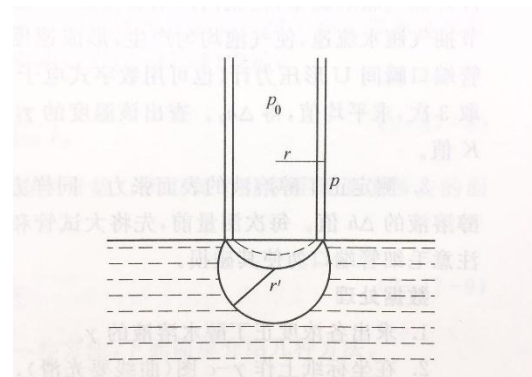
1. 实验的目的。要测量什么物化性质？

表面张力及表面吸附量

2. 要直接测量什么变量？原始数据？

附加压力 Δp_{\max}

以水为参比。



3. 利用什么原理将原始数据转化成最终的物化参数？

$$\gamma = \frac{r}{2} \Delta p_{\max} \quad \Gamma = -\frac{c}{RT} \left(\frac{\partial \gamma}{\partial a} \right)_{T,p} \quad \Gamma = \Gamma_{\infty} \frac{kc}{1 + kc}$$

4. 设计思路中有什么假定或边界条件？

Gibbs公式； 溶液的表面吸附用Langmuir吸附等温式描述的合理性和不足？

2. 课堂实验

基本概念
和原理

1

实验装置
实验步骤

2

数据采集
与筛选

1. 按照时间次序，记录所有与实验相关的操作
2. 首先熟悉装置，方法及操作
3. 影响测量的关键条件或操作有哪些？
4. 实时的思考数据
实验有无异常？
哪些数据的条件控制不理想？
得到的结果是否符合预期？

要逐渐发展到有意识的对实验做调整

• 理解实验条件、获得数据的非理想性。

如何掌控实验： 对实验条件的精准控制能力

恒温槽实验装置示意图

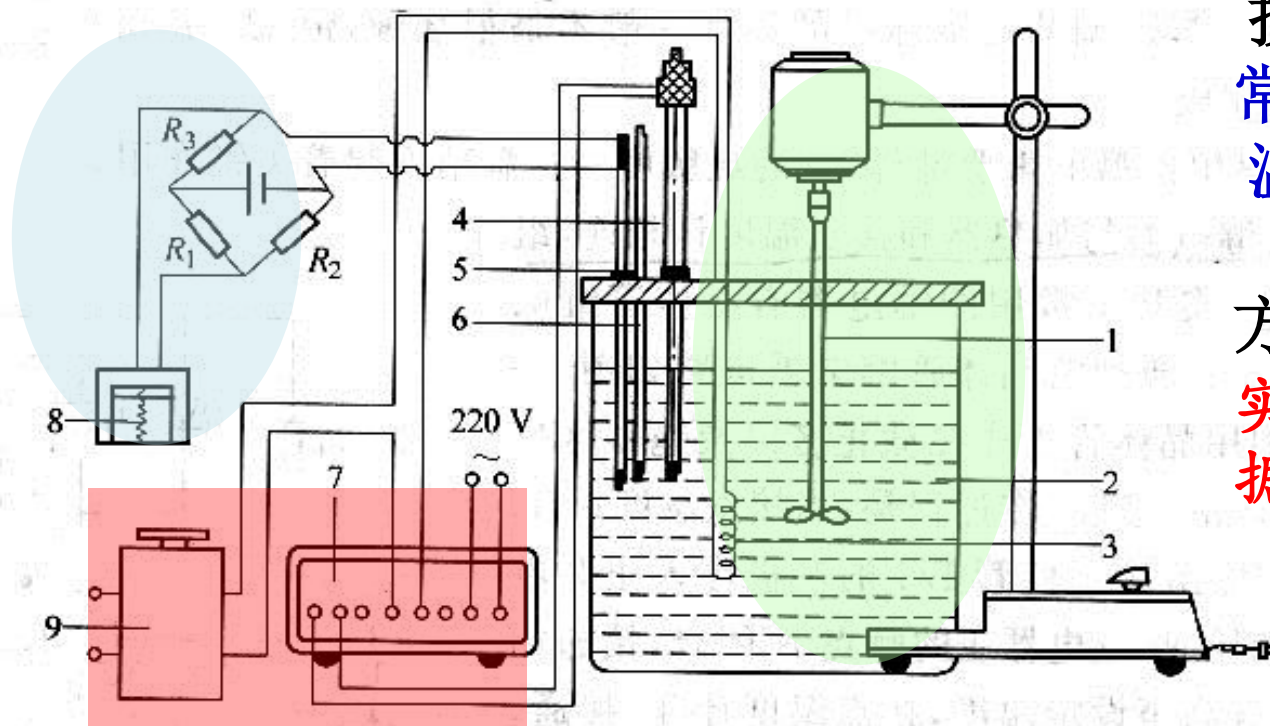


图 2-1-2 恒温槽装置图

1. 搅拌器 2. 浴槽 3. 电加热器 4. 接点温度计 5. 热敏电阻温度计 6. 1/10 °C 温度计
7. 晶体管继电器 8. 自动记录仪 9. 调压器

技术上：如何搭建
常用控温装置？
温度的测量与控制。

方法论上：
实验条件、获得数
据的非理想性

• 实验成功与“错误结果”？

只要是在明确的实验条件下获得了数据，就不能认为“实验失败”。

如果条件不明，即使实验结果再符合预期，实验也是失败的。

只有不适当的实验条件，没有错误的实验。

化学 张同学：

“每次做实验都有一种感觉，即同学们心中都或多或少有一种**既定的实验结果和规范化的实验操作**，争先恐后的比着谁能更早的做完实验离开实验室，遇到预期之外的结果时往往抱怨运气不好仪器有故障.....学生普遍认为**快速做完实验，拿到漂亮的数据便是完美地完成了实验**，尽可能避免“节外生枝”，去尝试新的可能。

大学是一个给学生“试错”的场所，教学实验也应该给学生更多的自由去探索其感兴趣的东西，让其更清楚地认识到事物的本质。以本实验为例，若按照一般的要求，我们设好仪器、配几个溶液再记几个数据便可以一走了之。但我们也可以适当探索一下插入深度对结果的影响、鼓泡速度对结果的影响（去亲身体验什么叫“过快”，“**10-20 s一个气泡**”是否准确、鼓泡过快会带来哪些影响，而不是直接相信了书本）、管口形状对结果的影响、浓度对信号波形的影响等.....指导老师们需要去引导同学们**勇于“犯错”（当然要有一定的限度）关注细节、大胆思考，而不仅是为了好的结果与分数而轻视了自己貌似“荒唐而不起眼的”的想法。**”

随着经验的积累，你要学着开始在实验中加入自己的设计的步骤：可以通过增加实验新变量，调变实验条件、步骤，改变/拓展实验体系，用不同的思路、方法、装置等。

最后独立的设计实验/研究方案

3. 实验报告

实验报告全面体现了：

1. 对实验原理、整体思路的理解和掌握；
2. 对装置和操作步骤的理解（实验操作的细致性和目的性）；
3. 对数据的处理能力；

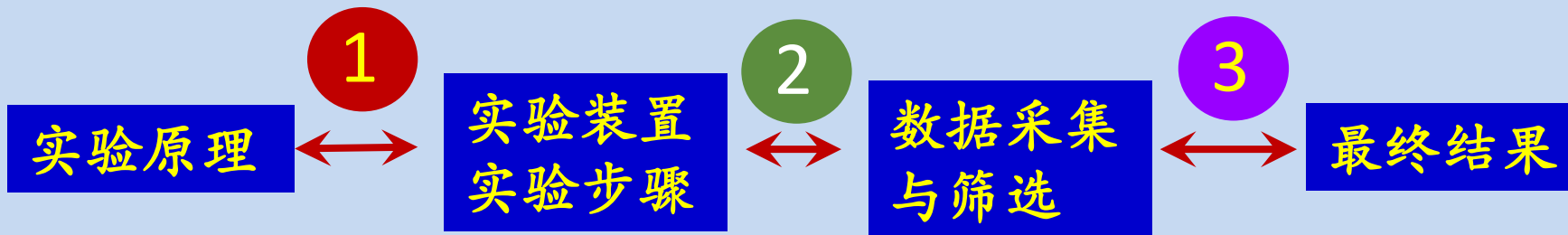
规范、清晰的展示数据（图表的规范性）

规范、合理的筛选、转化数据

有条理、有针对性的分析数据

鼓励尝试用
多种方法呈
现、处理数
据

实验报告全面覆盖了实验的三个环节



有条理、有针对性、定性、定量分析数据

称量、移液和温度测量所引起的误差中，移液带来的最大，其次是称量，若温度传感器的原理准确则其对于该实验的误差可以视为0。事实上，除了移液会带来溶剂体积的改变，多次加入小冰渣也会引起一定的误差。**实验中注意到冰渣的体积不是非常小，融化后约有1~2滴水体积的大小，实验中共加过5次这样的小冰渣，使溶剂体积增加约为0.25~0.5 mL，不妨取为0.4 mL，从而使计算的摩尔质量偏小 $dM_B/M_B = dV/V = 0.4/25 = 0.016(1.6\%)$ 。该误差远超过前三个的总和。**

实验计算的摩尔质量偏低5.21%，称量、移液和温度测量引起0.2013%，加入冰渣约带来1.6%。此外，实验公式推导的近似性，体系的不均衡也是不可避免的误差来源，**其影响可能远大于前四者的总和**。（尿素粘在大试管壁也会使计算值偏低，但实验中用肉眼未观察到大试管中附有尿素晶体颗粒在此就不加以阐述了）大试管上部与室内空气（17.1 °C）接触，下部与隔着一层气体的冷阱（-10 °C），内部为温度约为1 °C的液体，温差较大，导致了大试管上下及径向较高的温度梯度，虽然底部有转子在高速转动，但对于这较大的温度梯度不仅也很难保持液体的温度均衡，也可能是造成在曲线相对平衡时温度传感器示数仍反复上下振动的重要原因。

三.

预习报告、实验过程以及
实验报告的具体要求

预习

在网络学堂给出“预习材料”（物理吸附实验还同时上传“讲义”）。

包括**仪器、实验具体步骤、预习注意事项、实验的思考题**

每次实验前，将抽取预习材料中的**1-3道思考题，笔答**

预习

- 阅读相关内容，撰写实验预习报告（**手写**）
- **无预习报告，不能进实验室做实验！**
- **请仔细确认每次的实验内容！**
- 根据自己的理解，简要撰写，**切勿照抄**教材！

**专用的笔记本，撰写每次预习报告；
并
作为实验记录本，如实记录实验过程**

预习报告内容及格式（手写）

实验题目

姓名/学号、班级

- 1 实验目的/原理（公式）
- 2 实验操作
 - 2.1 仪器、器具、药品、实验条件
 - 2.2 实验操作步骤或流程框图（流程图或要点即可）
 - 2.3 实验中的注意事项
- 3 需要测量/记录的参数、变量

* 可以设计数据记录表

* 但要留有足够多的地方以记录实验现象或异常现象

课堂实验

- 安全
- 流程
- 实验记录

安全

请穿实验服，袖口不能挽起来。
不得穿拖鞋，穿凉鞋要穿袜子。
穿长裤，不赞成穿裙子、短裤。
长发要扎起来。

请勿在实验室吃东西，勿将食品、水杯等
放在实验台上。

实验过程中不能做与本课程无关的事
(玩手机、看英语等)

安全

- 水电

- 正确选用电源：直流、交流、低压、220V
- 操作仪器/电源开关时，手要干燥
- 接线/拆线要在断电下进行
- 注意不要触碰电器的接线端子
- 使用循环水、冷却水等时留意是否跑水

- 药品

- 防毒（了解药品的毒性。有毒气体/药品在防护下操作。）
- 防爆、防火、防灼伤

- 环境安全

- 回收废弃药品、废液
- 汞盐/银盐的安全使用
 - （1）汞盐/银盐有毒，用于接触汞盐/银盐的滤纸要投入指定的容器中。
 - （2）若手上有伤口，注意勿让伤口接触汞盐。

课堂实验流程

- 实验前（上课前带上U盘）
 - 预习思考题测试和提问
 - 核对仪器和药品
 - 连接装置并通过老师检查
- 实验中
 - 仔细观察、认真记录、积极思考；不做与课程无关的事情
 - 遇有异常现象，应立即查明原因、解决问题或请老师一起分析研究查明原因
 - 保持实验仪器、实验台及实验室的整洁
- 实验结束时
 - 将实验记录交由老师检查，
 - 登记实验结果，并签字
 - 合格后，复原实验台面，打扫卫生

课堂实验：实验结束

- 将实验记录交由老师检查，
- 登记实验结果，并由老师在原始数据记录上签字（**签到表**）
- 合格后，复原实验台面，打扫卫生

签到及数据登记表

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	周六	上午8:00	第6次	第8周	4. 19日	119室	袁斌				
2											
3	表面张力										
4	学号	姓名	所属组	班级	纯水	0. 4正丁醇		学生签字			
5	2011011811	孔繁赫	6B双-c	化12							
6	2011011822	杨程	6B双-c	化12							
7	2011011828	周凌伊卿	6B双-c	化13							
8	2011011842	宋劲	6B双-c	化13							
9											
10	粘度法										
11	学号	姓名	所属组	班级	水流时间	溶液流经时间		学生签字			
12	2011012269	陆志毅	6B双-d	分1							
13	2012011941	任思腾	6B双-d	材21							
14	2012011944	谢婧	6B双-d	材21							
15	2012011945	陈宇雄	6B双-d	材21							
16	2012011950	赵恩来	6B双-d	材21							

实验记录

忠实、清楚、完全、整齐、

1. 预习报告及原始记录应编有页码。
2. 记录实验原始数据和现象，室温、湿度、大气压，恒温槽温度，记录所用仪器的型号/规格、**化学试剂的名称/级别/纯度/厂家/批号、试剂的浓度**等。
3. 要完整地、**按照时间次序**记录**全部**实验数据（包括配溶液的步骤，每次的称量、测量读数），并标出数据的符号和单位。

实验记录

忠实、清楚、完全、整齐、

4. 不要用铅笔或红笔记录，不得改动数据。如需校正或舍弃的数据，应在不正确的数据上划一条细线，然后再在上面或旁边写上正确的数据，不要用橡皮擦数据。不得撕页。
5. 应当时直接记入“实验现象、数据记录页”中，不能靠记忆、记在小纸片上或记在他处。

电脑上数据文件的命名：建议不要在名称上包含 样品，实验信息，按照实验时间命名为好，比如“200917 1a” “200917 1b” ...

实验报告格式

实验题目 (三号字体, 加粗)

姓名/学号、班级 (同组实验者姓名) (小四号字体)

实验日期, 提交报告日期

带实验的老师或助教姓名

各小标题用小四号字体、加粗, 正文用五号

1 引言 (简明扼要地写出实验目的/原理)

2 实验操作

2.1 实验药品、仪器型号及测试装置示意图

2.2 实验条件 (实验温度、湿度、压力等)

2.3 实验操作步骤及方法要点

3 结果与讨论

3.1 原始实验数据

列出原始实验数据 (注意有效数字)、文献数据 (如有)、计算公式 (如有)。辅以文字解释、说明。

3.2 计算的数据、结果

以表格形式或作图表示结果。列出计算过程。可以加表注、图注来辅助说明图表。辅以文字解释、说明。

3.3 讨论分析

对测定数据及计算结果的分析、比较、讨论, 误差分析;

对实验过程中出现的异常现象进行分析;

对仪器装置、操作步骤、实验方法的改进意见。等等。

4 结论

简明扼要列举主要结论

5 参考文献

文献编号要与上述 2-4 部分中引用的编号相对应

6 附录 (计算的例子、思考题等)

7. 收获与建议

引言可拷贝预习报告

实验操作可拷贝预习材料

鼓励用自己语言加以补充

实验报告

- 引言：实验目的和原理。
- 实验操作
 - 1) 仪器的型号/规格、药品的名称/级别/纯度/厂家/批号、化学试剂的浓度等；主要的实验装置图；室温、湿度、大气压，恒温槽温度等。
 - 2) 在“实验操作步骤及方法要点”部分，列出主要步骤和要点。
- 结果与讨论：列表或画图方法给出数据；取舍数据的依据；代表性的计算步骤；学习用列表或画图方法分析数据；给出有针对性的分析和讨论
- 结论：实验的主要结果及简短的评述。
- 附录：回答教材上的思考题。
- 收获与建议：可从原理、实验方法、仪器、数据处理等角度，提出可能的改进方法或者另外一条思路

实的部分要包括理论原理、实验思路、涉计的具体技术；

虚的部分包括自己的体悟、好的经验及失误的教训

目的和实验原理部分可拍照、粘贴手写的预习报告的相应内容。

“仪器和实验具体步骤”可直接拷贝 预习材料中的标准步骤。

特别注意

实验后会对实验目的、原理有更深的体会，可在拷贝的预习报告照片后用简洁的类似摘要的语言补充！

在实验过程中，对实验步骤有特别的体会、调整，可在拷贝的标准步骤后用不同颜色的文字标出。

实验报告中的规范性

◆ 实验数据的有效位数

— 物理量的数值不仅反映量的大小、数据的可靠程度，反映了仪器的测量精度和实验方法

- ◆ 物理量符号 (**斜体**): 浓度用小写 c , 压力用小写 p , 热力学温度用 T , 产率 Y , 选择性 S , 转化率 x , 结合能 E_b , 化学位移 δ , 质量比 m/m , 体积比 V/V , 摩尔分数 x .
- ◆ 单位符号 (**正体**): 秒 s (不用 sec), 分钟 min , 小时 h (不用 hr , hrs), 天 d (不用 day), 浓度 mol/L (不用 M 或 N), 压力 Pa 或 atm , 转速 r/min (不用 rpm), \AA 换算为 nm , 化学位移的单位是 1 (可不写, 用 ppm 者应去掉 ppm). 以 ppm , ppb 等表示某物质的含量是不确切的, 应根据具体情况改为质量分数 w (%), 体积分数 ϕ (%), 摩尔分数 x (%) 或质量浓度 (g/mL) 等.
- ◆ 数值与单位之间留一空格, 如 $20\ min$. 两种物质之比应注明是质量比、摩尔比还是体积比. 温度单位在同一篇文章内统一用 K 或 $^{\circ}C$.

实验报告中的规范性

- ◆ 图表应具有自明性, 标题和注释文字须包含实验对象、方法和条件等内容.
- ◆ 图表数目宜精简, 同一组数据不能重复出现在不同的图表中.
- ◆ 图表中第一次出现的缩写词或样品代号应在图注或表注中给出全称或解释.
- ◆ 图表应紧随其在正文中出现的段落之后或之前, 不可为了放置图表而用换行强行断开段落内文字, 也不要集中将图表排在正文之后.

表的要求： 三线表

表题和表号（在表格上方）

Table 4
Relation between XPS, TPR and reactivity for the DP catalysts

Catalyst ^a	Particle size (nm)	ΔBE (eV) of Cu 2p _{3/2} ^b	Conversion of CO ₂ (%)	Selectivity of CH ₃ OH (%)	TPR (peak ₁)		TPR (peak ₂)	
					Temperature (°C)	Area (%)	Temperature (°C)	Area (%)
DP ₁	–	0.8	2.4	49.4	170	100	None	0
DP ₂	–	0.6	3.4	48.3	170	100	None	0
DP ₃	16	0.4	6.3	48.8	185	60	230	40
DP ₄	20	0.2	7.2	49.3	185	40	235	60
DP ₅	37	0.3	7.6	40.6	185	20	235	80
DP ₆	52	0.2	8.4	34.7	185	9	235	91
DP ₇	116	0.1	4.8	14.1	185	3	235	97
Pure CuO	140	–	2.6	–	None	–	235	100

^a Catalyst calcination temperature: 350°C.

^b ΔBE (eV) = $BE(Cu\ 2p_{3/2})_{cat} - BE(Cu\ 2p_{3/2})_{CuO}$.

实验条件、数据的处理方法或来源可在表下注明

Applied Catalysis A: General 218 (2001) 113–119

对于 0.00872 atm, 以 $10^3 p$ (atm) 或者 p (milliatm) 作为表头名称单位

图的常见问题:

避免软件默认的格式，如坐标尺度、网格线、不适当的连线

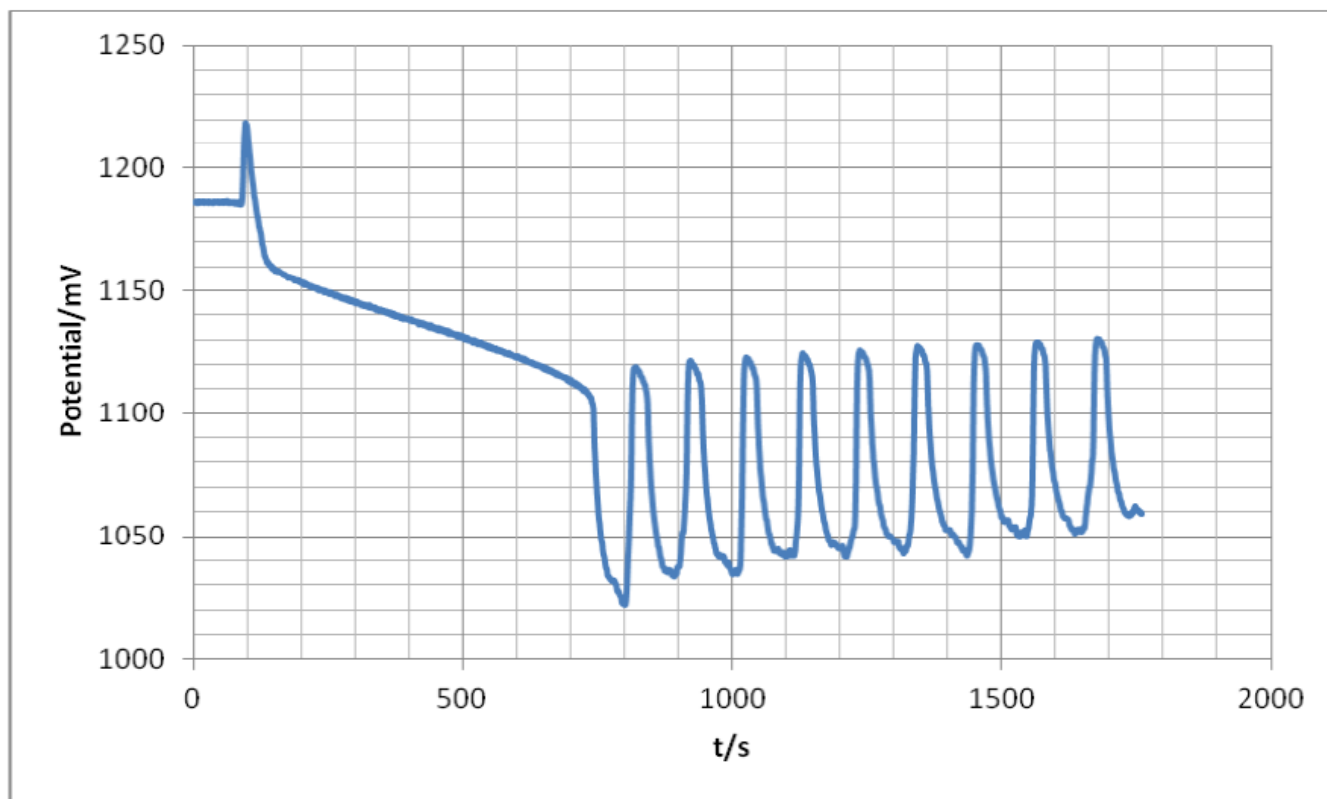
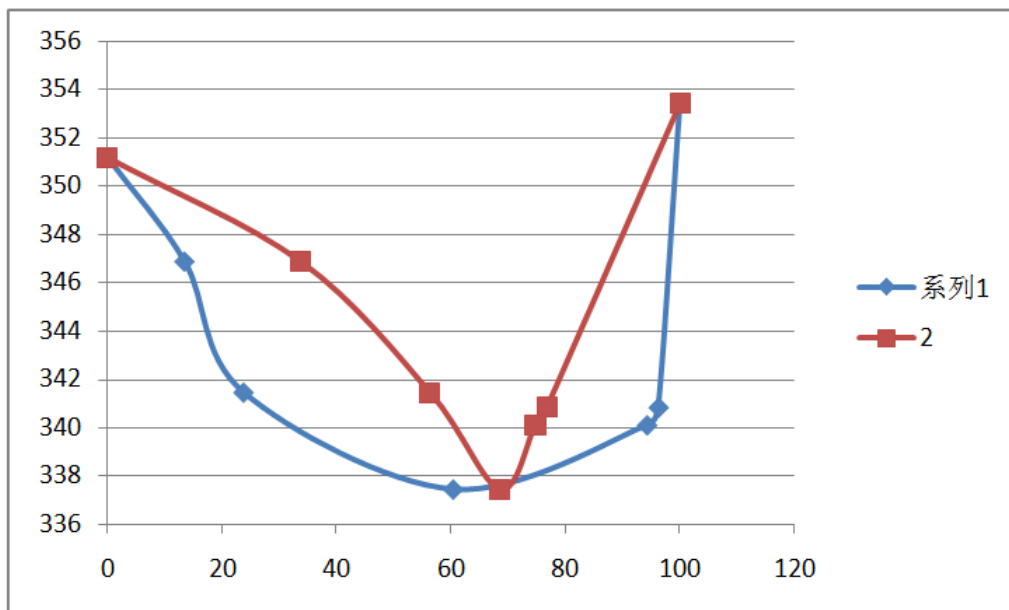


图1 20.00℃时反应体系电位随时间的变化

多余的网格线和外边框

图的常见问题



没有图题

没有横纵坐标的物理量及单位

没有注明大气压

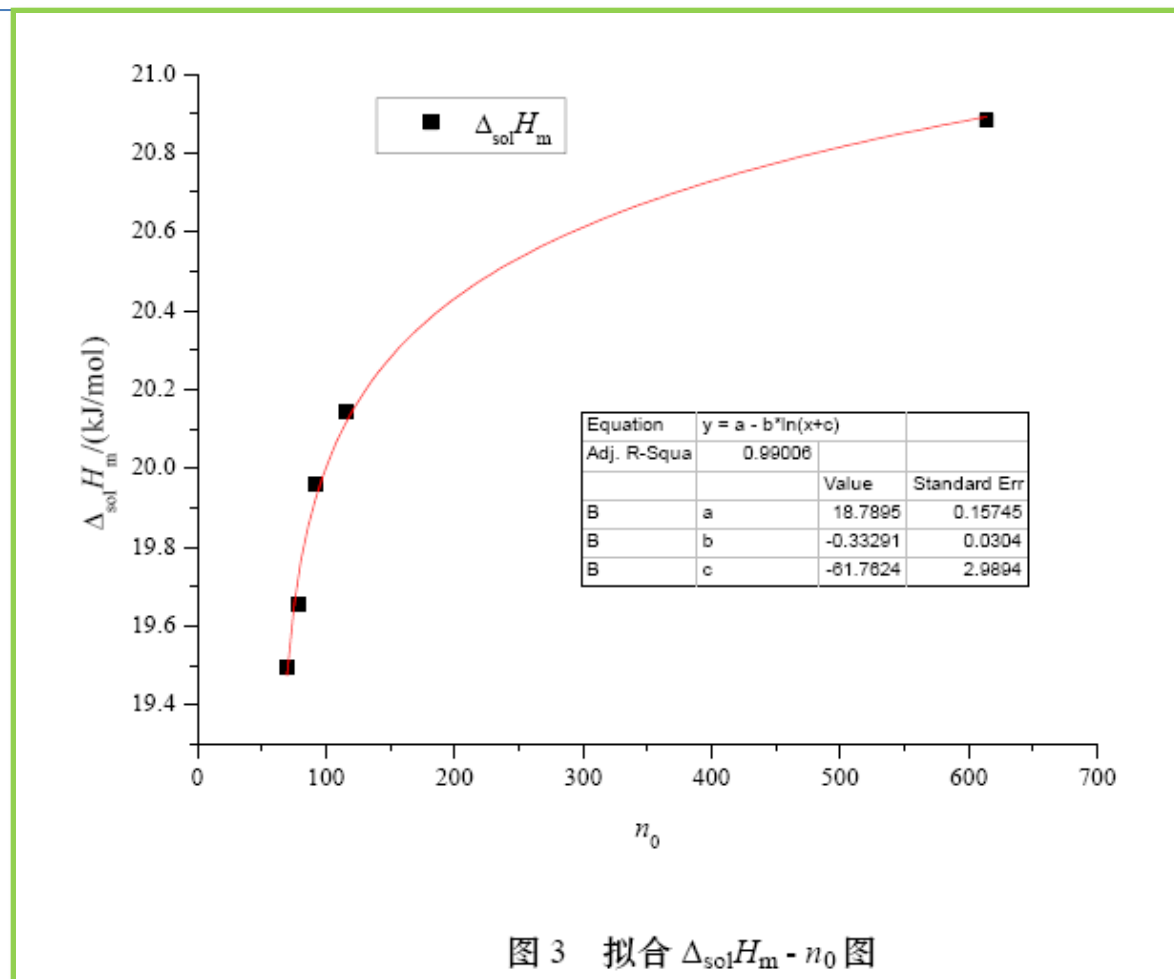
图例意义不明

连线问题

多余的网格线和外边框

数据点大小不当

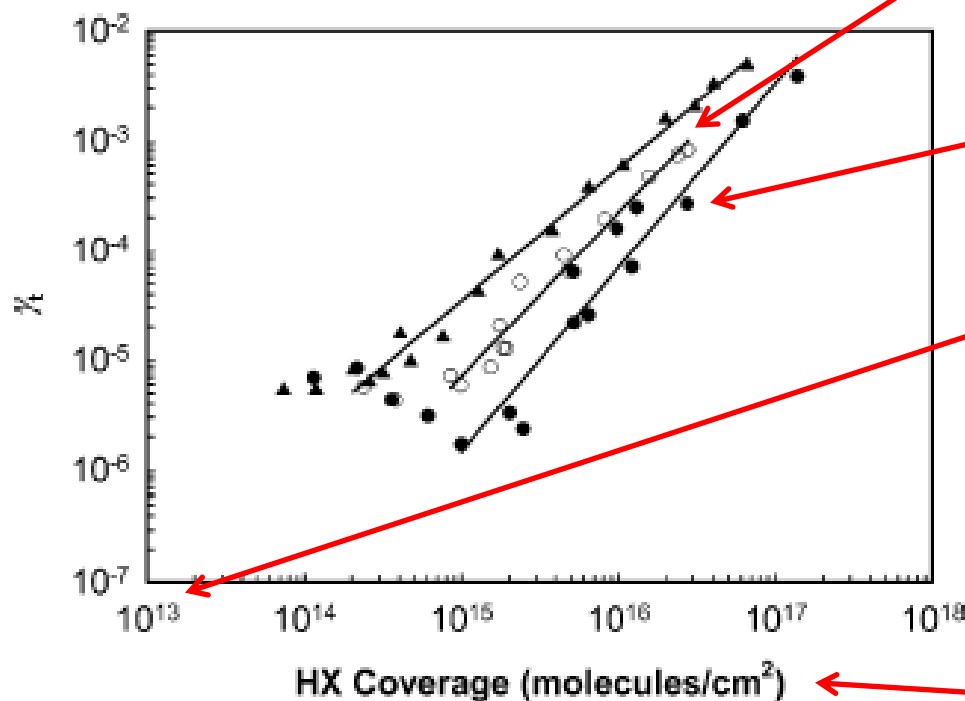
图的常见问题



图例不直观

图题和图离得太远

作图法



连曲线，应反映主要走向
(曲线不必强求通过所有的点)

数据点大小与测量精度相适应

坐标轴分度值不一定自零起
(数据点分布匀称)

坐标轴比例尺选择适当
(横纵坐标轴比例恰当等)

坐标轴变量名称和单位

图题和图号 (在图的下方)

Figure 9. Plot of γ_t versus $[HX_{(ad)}]$: (●) HONO + HCl, (○) HONO + HBr, and (▲) HONO + HI reactions. Solid lines are fitted to eq 18.

J. Phys. Chem. A **2005**, *109*, 1364-1373

报告整体的排版

页边距，行间距，字体

祝大家学业进步！

