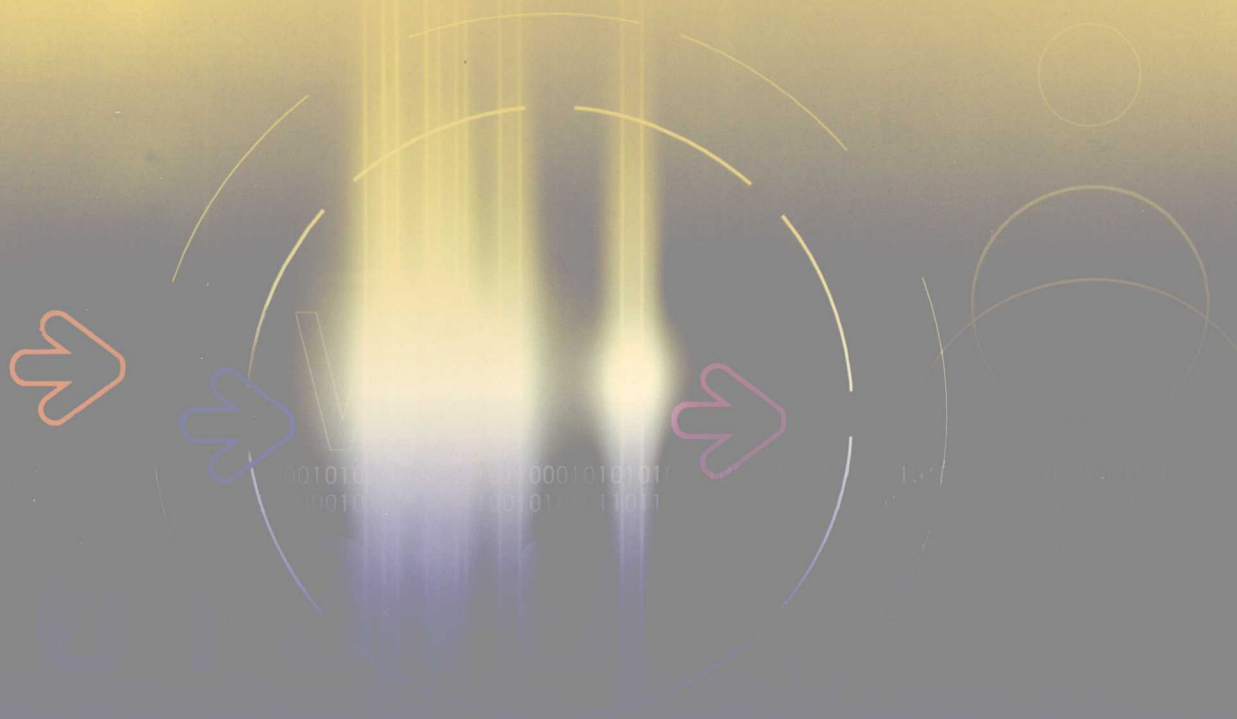


WULI HUAXUE SHIYAN

物理化学实验

■ 王月娟 赵雷洪 主编



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

物理化学实验

主 编 王月娟 赵雷洪

浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

物理化学实验/王月娟,赵雷洪主编. —杭州:浙江大学出版社,2008.7

ISBN 978-7-308-06097-4

I. 物… II. ①王…②赵… III. 物理化学—化学实验—高等学校—教材 IV. 064-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 097186 号

物理化学实验

王月娟 赵雷洪 主编

策划编辑 樊晓燕 季 峥

责任编辑 阮海潮

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州天目山路 148 号 邮政编码 310028)

(E-mail: zupress@mail. hz. zj. cn)

(网址: <http://www.zjupress.com>

<http://www.press.zju.edu.cn>)

电话: 0571-88925592, 88273066(传真)

排 版 杭州大漠照排印刷有限公司

印 刷 德清县第二印刷厂

开 本 787mm×960mm 1/16

印 张 11.25

字 数 226 千

版 印 次 2008 年 7 月第 1 版 2008 年 7 月第 1 次印刷

印 数 0001—2000

书 号 ISBN 978-7-308-06097-4

定 价 18.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话(0571)88072522

《物理化学实验》

编委会

主 编 王月娟 赵雷洪

副主编 蓝尤钊 温一航

编 委 (以姓氏笔画为序)

朱凯汉 杨元法 麻锦达

前 言

物理化学实验是化学类专业的一门基础实验课程,对学生掌握和应用物理化学的理论和研究方法有很大的帮助;同时,一些近化学类专业也开设了此课程,以帮助学生更好地理解化学的一些研究方法、技术和手段。物理化学实验课程有助于学生初步掌握物理化学实验的方法和技术,了解物理化学研究的基本方法,理解物质的物理化学性质与各种物理量之间的关系,掌握处理实验数据和分析、归纳实验结果的方法,增强灵活应用物理化学基本理论解决实际化学问题的能力,进而提高学生的学习能力,达到培养学生创新能力的学科目标。

随着高教事业的快速发展,招生规模大幅提高,大学教育已进入大众化教育阶段。我们编写该教材的主要目的是使学生适应大众教育的要求。在对内容的编排上,我们尽量使实验直观、易懂。为引起学生的重视和思考,我们还特别在每个实验的“问题讨论”部分对实验中的问题都进行了初步讨论和解答,它集结了我们编写组全体教师的智慧。

全书分为“绪论”、“实验技术及实验仪器简介”、“实验”、“附录”、“主要参考资料”五个部分,是以浙江师范大学化学系使用了十多年的物理化学实验讲义(朱凯汉等编)为基础,参考了目前众多国内外物理化学实验教材编写而成。本书由王月娟、赵雷洪主编,第一章、第二章、第三章的实验一至实验六由王月娟编写,实验十一、实验十七、实验十九、实验二十、实验二十二和附录由蓝尤钊编写,实验七、实验八、实验十四、实验十五、实验二十一由温一航编

前

言

写,实验十二、实验十三、实验十六由赵雷洪、麻锦达编写,实验九、实验十、实验十八由杨元法编写。

本书的出版得到了浙江师范大学教材建设委员会和浙江大学出版社的大力支持和帮助。杭州师范大学的胡自强老师、温州大学的李新华老师、绍兴文理学院的许映杰老师对本书提出了许多有益的建议。在此谨向他们表示衷心感谢!

由于时间仓促和编者水平所限,难免有不当和错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

2008年6月于浙江师范大学

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 物理化学实验课程的目的、要求及安全防护	(1)
第二节 物理化学实验数据的误差与数据处理	(8)
第二章 实验技术及实验仪器简介	(21)
第一节 热化学测量技术及仪器	(21)
第二节 真空与测压技术及仪器	(26)
第三节 电学测量技术及仪器	(31)
第四节 光学测量技术及仪器	(43)
第三章 实 验	(49)
实验一 恒温槽装配和性能测试	(49)
实验二 燃烧热的测定	(53)
实验三 溶解热的测定	(58)
实验四 液体饱和蒸气压的测定	(63)
实验五 二组分简单共熔体系相图的绘制	(66)
实验六 双液系的气—液平衡相图的绘制	(69)
实验七 凝固点降低法测摩尔质量	(74)
实验八 差热分析	(79)
实验九 蔗糖水解反应速率常数的测定	(84)
实验十 一级反应——过氧化氢催化分解反应	(89)
实验十一 二级反应——乙酸乙酯皂化反应	(93)

目

录

实验十二	复杂反应——丙酮碘化反应	(100)
实验十三	流动法评价催化剂活性	(105)
实验十四	弱电解质电离常数的测定	(109)
实验十五	电池电动势的测定	(113)
实验十六	胶体制备和电泳	(120)
实验十七	临界胶束浓度的测定	(125)
实验十八	表面张力的测定	(129)
实验十九	溶液法测定极性分子的偶极矩	(134)
实验二十	磁化率的测定	(143)
实验二十一	X 射线粉末衍射法测晶体结构	(153)
实验二十二	BET 容量法测定固体的比表面积	(157)
附 录		(162)
附录一	国际单位制(SI)	(162)
附录二	物理化学实验常用数据表	(163)
主要参考资料		(169)

第一章

绪 论

第一节 物理化学实验课程的目的、要求及安全防护

一、实验目的

物理化学实验是一门独立的化学基础课程,其主要目的是:

- (1) 学习和了解物理化学的实验原理、方法和实验技术,培养实验的设计、仪器的选择和操作能力。
- (2) 培养对实验现象的观察能力,正确记录实验数据,规范列表、作图等数据处理方法。
- (3) 提高运用误差理论进行误差分析和实验讨论的能力。

二、实验要求

- (1) 预习实验原理、相关的实验技术和仪器的使用方法,领会操作要点及求索实验思考题答案,并在实验记录本上设计好原始数据记录表格。
- (2) 实验课准时签到,并认真听取教师指导,严格控制实验条件和忠实于原始记录,培养良好的记录习惯和整洁有序、安全操作、勤于思考的实验作风。
- (3) 认真书写实验报告。实验报告内容包括:实验目的、简要原理、装置简图及实验步骤、数据记录与处理、误差分析及实验讨论。讨论内容主要是结合实验现象,分析和解释误差的主要来源以及对于实验方法、仪器和操作方面的改进意见,该部分更加注重对实验现象所蕴涵的物理化学原理的讨论。实验报告必须由个人独立完成。

三、教学实施的三个环节

1. 实验技术讲座

- (1) 绪论,包括安全用电和环境保护。
- (2) 误差和数据处理。
- (3) 热化学测量技术及仪器。
- (4) 真空与测压技术及仪器。
- (5) 电学测量技术及仪器。
- (6) 光学测量技术及仪器。

2. 实验

学生需完成 12~18 个实验,包括热力学、动力学、电化学、结构化学、表面和胶体化学等知识点。

3. 考核

(1) 平时成绩,包括实验报告评分,操作整理、卫生文明等实验作风的评分,可把 PTA 量表法运用在物理化学实验的评价中。

(2) 期末笔试成绩,包括实验原理、仪器操作、现象分析、误差、思考题讨论及技术讲座等内容的考核。

四、物理化学实验的评价

物理化学实验是化学专业的一门重要课程。它综合了化学领域中所需要的基本研究工具和方法,具有综合性、研究性较强和定量化程度较高的特点。

如何进行可操作的教学行为,并按目标客观地评价实验教学的效果及学生掌握的情况是一个很值得研究的问题。传统的实验在评价标准方面,过多强调共性和一般趋势,忽略了个体差异和个性化发展的价值:实验课程的成绩以实验报告成绩和期末考试成绩为依据,成绩合格,就取得相应的学分,这无形中造成了师生重成绩轻能力的现象,无法保证实验教学质量;在评价方法方面,传统上常以纸笔考试为主,过多地倚重量化的结果,而很少采用体现新评价思想的、性质的评价手段与方法,这种评价方法不能体现物理化学实验综合性的特点,不能反映学生是否初步掌握了实验原理和具体的实验操作,是否学会了实验研究的工作方法,容易使学生停留于“依葫芦画瓢”、能得到较好的实验结果和成绩就心满意足了的低层次,而忽视对学生的实验的整体设计思想及其相关要素这一物理化学实验精髓的理解能力的培养,也在很大程度上影响了他们的知识、技能向科研能力的转化,不利于学生的创新能力的培养。有效的评价能促进学习:人们看到自己

努力学习的效果后就会增强学习行为。很多研究表明：有效评价(即及时反馈)是学习本身固有的成分,并能激发学习兴趣。为了全面达到物理化学实验课的教学目的,发挥学生作为学习主体的主观能动性,促进学生创新能力的逐步形成,必须从实验成绩检验方法单一、注重量化评价而忽视质性评价的误区中走出来,只有这样才能提高实验教学的效果。笔者建议在物理化学实验的评价中引进 PTA 量表法,即基本要素分析法。

基于物理化学实验评定的多层次性和评定应注重实验过程的特点,PTA 量表应具备以下实验评价要素。

1. 实验能力要素的确定

(1) 实验态度

实验态度体现了学生对实验的重视程度,它直接影响着学生的学习心理品质和学习效果。当今大多数大学生的学习积极性和主动性不足,自觉控制自己学习行为的能力较差,而且容易受环境影响。因此,将学生平时的实验态度作为实验能力评价要素就显得很必要。实验态度包含以下几方面:实验的出席率、预习报告的书写、实验课堂的参与、实验过程和与小组其他成员的合作交流等。

实验课堂参与主要体现在在教师讲解实验时学生和教师之间的互动,学生不仅应该认真听教师的讲解,更重要的是能积极回答教师提出的一些问题,并能通过实验预习自己提出问题,带着问题来到课堂,并在课堂上大胆提出自己的问题,与老师和其他同学共同探讨。教师在讲解过程中对学生这种积极的实验态度适时做出正确的鼓励性评价,这能有效地促进学生的发展和良好的实验态度的形成。

(2) 实验仪器及药品

物理化学实验区别于其他实验教学的特殊性就是实验装置、仪器与实验数据定量化的特点。由于物理化学实验选题几乎全部是通过仪器的操作去获取定量的实验数据,在实验中要接触到大量的仪器设备,所以,让学生了解所用仪器的基本构造、工作原理及性能是十分必要的。

实验药品是实验顺利进行的必要保证,在实验前应该明确该实验用到的药品种类及对各种药品的要求,比如对药品纯度、试剂浓度的要求。

(3) 实验操作

为培养创新人才,应注重过程性评价。而实验操作是实验过程的一个重要内容,是任何实验教学强化培养的最根本能力,它是由实验教学的根本目的所决定,故在此把实验操作作为评价的一个主要要素。

实验操作评价有这样的特点:方法的开放性、内容的真实性、标准的多重性、评价的主观性、评价的即时性、结论的模糊性。

实验操作可以从实验仪器的使用、实验操作规范、实验数据的记录等几个方面考查。

(4) 实验安全及卫生

实验安全是一个不容忽视的问题。学生应该了解实验存在的危险性,具备必要的安全知识,在实验中按要求确保实验的安全,能较好地处理实验中出现的紧急事件,保障人身安全。实验中要保持实验室的卫生、实验桌面的清洁,将药品摆放整齐。

(5) 实验报告

实验报告是实验结果的静态表现形式,不仅体现了学生分析问题和解决问题的能力,而且一定程度上反映了学生对实验的掌握水平和实际能力。它使学生在实验数据处理、作图、误差分析、问题归纳等方面得到训练和提高。

物理化学实验报告的内容大致可分为:实验目的和原理、实验装置、实验条件、实验步骤、实验原始数据、数据的处理与作图表、结果和讨论等。

(6) 实验思考

实验思考不仅仅是回答实验教材上的“思考题”,更应该是在整个实验过程中开动脑筋,并对实验原理和步骤进行思考,所以此把实验思考作为一个独立的评价要素。

2. “乙酸乙酯皂化反应”实验的 PTA 评价量表

以下以“乙酸乙酯皂化反应”为例说明 PTA 量表法在物理化学实验评定中的具体应用。

在确定物理化学实验评价构成要素的基础上,我们通过在实验教学中的经验并结合学生的实际情况,为每一个要素编制 2~5 个水平的量表,以描述每一个表现水平。同时,我们依据各要素在实验评价中的作用与贡献、本科生的具体执行情况、其他教师的意见,赋予各要素不同的权重,制订出等级评定方案与各个不同水平的分数,制订了 PTA 量表(表 1.1.1)。

表 1.1.1 “乙酸乙酯皂化反应”实验的 PTA 评价量表

要素	权重	评价要点	评价等级
实验态度	10 分	1. 不迟到,不早退,不旷实验课,遵守实验纪律及实验规则。 2. 实验前做了预习工作,有完整的预习报告,报告整洁规范。 3. 预习报告中的实验步骤不是“照方抓药”,而是在理解的基础上归纳总结。 4. 实验中团结互助,协作配合,能够与他人探讨和交流,能诚恳地向同学、老师提出建议。 5. 能够对自己在实验活动中的行为进行反思和评价。	水平三(10 分): 基本达到 5 个评价要点; 水平二(8 分): 未达到评价要点 5,缺乏对实验活动中的行为的反思和评价; 水平一(6 分): 基本达到水平二,但预习不够充分,预习报告不完整,缺乏归纳实验步骤的能力。

(续表)

要素	权重	评 价 要 点	评 价 等 级
实验仪器及药品	5 分	1. 对实验中用到的药品要心中有数,如知道氢氧化钠溶液的浓度。 2. 能正确计算配制 100ml 与氢氧化钠溶液的浓度相等的乙酸乙酯溶液所需的乙酸乙酯(AR)的量。 3. 了解本实验涉及的仪器,如电导仪的型号等。 4. 了解电导仪的构造及其使用注意事项。 5. 了解恒温槽的使用方法及温度的设定方法。	水平二(5分): 基本达到 5 个评价要点; 水平一(3分): 未达到评价要点 2,不能计算出配制 100ml 与氢氧化钠溶液浓度相等的乙酸乙酯溶液所需的乙酸乙酯(AR)的量。
实验操作	30 分	1. 配制 $0.02\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氢氧化钠溶液,正确使用移液管,专管专用,操作规范。 2. 乙酸乙酯溶液配制过程中操作步骤正确,先在容量瓶中加少量电导水,乙酸乙酯直接滴加到液面上。 3. 了解电导仪的校正方法及温度档的设定方法。 4. 正确选择电导仪量程。 5. 使用 Y 形管,两种溶液的混合均匀。 6. 使用秒表计时要及时,确定时间间隔。 7. 使用电极前需要洗涤,在实验时又需先将电极擦干再一直正确放在溶液中测。 8. 电导仪的读数及时准确,并做好记录。	水平五(30分): 基本达到 8 个评价要点; 水平四(27分): 未达到评价要点 4,电导仪量程的选择不熟练,需要同学或老师的帮助; 水平三(21分): 未达到水平四,且配制乙酸乙酯溶液时操作步骤错误,没有先在容量瓶中加入少量电导水; 水平二(18分): 基本上达到水平三,但实验中各个步骤的操作还不够熟练,如溶液配制过程中操作不规范,Y 管中两种溶液的混合不够均匀; 水平一(15分): 整个实验操作过程存在较大问题,未能掌握基本实验操作技能。
实验安全及卫生	10 分	1. 使用恒温槽之前应检查水位是否适当。 2. 不用湿的手接触电源插座。 3. 实验台面及抽柜内仪器、药品摆放整齐,台面清洁,不乱倒废液。 4. 实验结束关闭电导仪开关,切断电导仪和恒温槽电源。 5. 实验结束清洗电极,并把电极置于装有蒸馏水的小烧杯中。	水平三(10分): 基本达到 5 个评价要点; 水平二(8分): 未能做到评价要点 5,把电极置于装有蒸馏水的小烧杯中; 水平一(6分): 未能做到评价要点 4 和 5,不仅没有把电极置于装有蒸馏水的小烧杯中,还忘记切断电源,安全意识不够。

(续表)

要素	权重	评 价 要 点	评 价 等 级
实验报告	30 分	1. 报告安排有逻辑,有条理。 2. 实验目的明确,知道此实验是为了测定乙酸乙酯皂化反应的级数、速率常数和活化能。 3. 理解实验原理,能推导出 $\lg(k/[k]) = -E_a/(2.303RT) + C$。 4. 能通过自己查阅文献,找出 k 的值。 5. 记录实验条件,如记录温度。 6. 掌握实验步骤并在实验报告中简要说明。 7. 实验数据表设计合理,数据不乱涂改不造假。 8. 能用 Excell 或 Origin 处理数据并作图。 9. 根据图表计算相应温度下的 k 值。 10. 计算出活化能 E_a。 11. 实验误差分析,区分仪器误差和人为操作误差。 12. 在实验报告中总结实验过程中产生的问题并努力找出解决方案。	水平五(30分): 基本达到 12 个评价要点; 水平四(27分): 未能达到评价要点 8,未能把计算机技术运用到实验数据的处理中; 水平三(21分): 未能达到评价要点 8 和 12,不仅仅是手工处理实验数据而且实验报告未体现对实验的总结; 水平二(18分): 未到达水平三,对实验的误差分析不全面,没有自己查阅文献找出 $[K]$ 的值。 水平一(15分): 实验报告缺乏条理,只能达到 12 个评价要点中的 4~6 个。
实验思考	15 分	1. 知道为何要把 $0.02\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的氢氧化钠溶液稀释一半后再测量。 2. 知道为何可以用电导法测乙酸乙酯皂化反应的反应速率常数 k。 3. 知道为何在配制乙酸乙酯溶液时在容量瓶中事先加入适量的蒸馏水。 4. 知道为何实验中乙酸乙酯溶液和氢氧化钠溶液的浓度必须足够稀。 5. 知道为何使用电极前需洗涤,在使用时又需将电极一直正确放在溶液中测。 6. 知道为何用不同的电导电极测同一浓度溶液时测得的电导率不同。 7. 知道为何作图中起始点与速率常数直线有较大的偏离。 8. 当乙酸乙酯溶液与氢氧化钠溶液浓度不同时,计算出 k 值。	水平四(15分): 基本达到 8 个评价要点; 水平三(13分): 8 个评价要素中有 1~2 个问题不能解决; 水平二(10分): 8 个评价要素中有 3~4 个问题不能解决; 水平一(6分): 只能解决 8 个评价要素中的 4 个以下的问题。

3. 运用 PTA 量表的意义及建议

通过上面的例子,我们总结出在实验评价中使用 PTA 量表有以下意义:

(1) 评价更加可靠、公平,不同的实验老师可以用同一份实验量表,使实验评价标准

达成一致。

(2) 评价涉及的面更广,不仅仅包括实验报告,还涉及了实验态度、实验仪器和药品、实验操作、实验安全、实验思考等方面。

(3) 评价效率提高,教师参考 PTA 量表能很快完成对实验的评价。

(4) 能具体地诊断学生的优势和不足,以便进行更有效的教学。

(5) PTA 评价量表在评价要素下列出了一系列二级指标,使学生能对照量表找出自己的不足之处,更好地掌握实验。

在具体运用 PTA 量表对实验进行评价的过程中,应该做到以下几点:

(1) 应该在充分理解实验目的的基础上,根据实验目的确定评价的基本要素,并给予每个要素不同的权重。

(2) 量表上的指标应该是明确的,可以直接观察或测量的。

(3) 制订量表时要与其他教师共同探讨,并让学生参与,使得量表更具有客观性和诊断性。

(4) 评价主体要多样化,在实验评价中可采取学生自评、小组互评、教师评价三种评价相结合的方式,发挥学生的主体性,调动学生积极的实验态度。

五、实验安全及环境保护

1. 防电

人体的电阻因人而异,通常为 $M\Omega$ 级,突破皮肤,仅 $1k\Omega$ 左右。一般人对电的感觉如表 1.1.2 所示。

表 1.1.2 人体电感应列表

电 流					电 压	
有感觉	一触缩手	肌肉强烈收缩	难脱导体,危及生命	难以救活	安全	危险
小于 $1mA$	$6\sim 9mA$	$10\sim 50mA$	$50\sim 100mA$	大于 $100mA$	小于 $36V$	大于 $50V$

用电时,需注意以下几点:

(1) 区别交流电还是直流电,单相电还是三相电,电源正、负极,电压、电流及功率大小。

(2) 不清楚测量值的大小时,先从仪表最大量程开始。

(3) 不论对接线或安装是否有充分把握,正式实验前应先使线路接通一瞬间,根据仪表指针摆动方向加以判别,以确保无误。

(4) 养成不进行测量时断开记录仪走纸开关,人走关闭电源等好习惯。

2. 防毒

- (1) 注意苯、硝基苯、四氯化碳、乙醚等蒸气会导致嗅觉减弱并引起中毒。
- (2) 有毒气体的实验应在通风橱中进行。
- (3) 注意汞及苯等有机溶剂能穿过皮肤进入体内。
- (4) 应当妥善保管高汞盐、可溶性钡盐、重金属盐、氰化物、三氧化二砷等剧毒物。
- (5) 不得在实验室内喝水,抽烟,吃东西。不得将饮用食具带到实验室内,以防被毒物沾染。

3. 防爆

可燃性气体和空气的比例处于爆炸极限时,只要有一个适当的热源(如电火花),就能诱发爆炸,所以应尽量防止苯、乙醇、乙醚、乙酸乙酯等气体散失到室内空气中去。

4. 防火

室内不能有明火及火的隐患。苯、乙醇等易燃,注意这些废液的回收处理,切不可将它们倒入下水道,以免导致积聚引起火灾。高压钢瓶、可燃气体分放,减压阀门不能混用,重视防火防爆。应了解各种灭火常识。万一失火,用砂子、灭火器隔绝氧的供应。实验室应配备相应的消防灭火器材。

5. 防水

要防止水淋浸仪器。注意停水时要检查水龙头是否关闭。实验完记得关闭水龙头。

第二节 物理化学实验数据的误差与数据处理

误差理论和数据处理是物理化学实验教学中的一大内容。在物理化学实验中,要求学生掌握误差的基本理论,如“燃烧热的测定”实验要求学生进行一次“平均误差传递”或“标准误差传递”的练习和误差定量分析。

一、基本概念

在实验过程中,由于经常直接测量某些量,然后根据公式的关联计算得到一些间接的结果,此法不可避免地会造成误差。所以,应当了解误差的分类、来源、运算、评估及正确表达实验结果方面的知识,进而提高误差分析及数据处理的能力。

1. 系统误差、随机(偶然)误差、过失误差

系统误差是由人与环境“软硬件”设置所决定的固有因素误差,其中客观成分较多。

随机误差则是在实验测量过程中人与环境的波动因素产生的不可避免的误差,其中主观因素比较多一些。过失误差完全是由主观原因或实验操作失误引起的,一旦出现就需要重做实验。这三类误差比较见表 1.2.1。

表 1.2.1 三类误差比较

分 类	特 点	来 源	校 正
系统误差	多次重复测量值相对于标准值存在一个固定偏差	仪器、试剂、个人习惯、方法、理论、控制条件	综合多人、多法,改善客观条件等
随机误差	多次重复测量值在一个测量平均值左右摆动	操作及读数过程中的人员、仪器、环境等随机因素	多次重复测量,服从统计分布规律
过失误差	读、记、算错之类,无规律可循	主观因素	重做实验

系统误差必定影响准确度。随机误差主要影响测量的精密度。在固定实验条件下,多次重复测量,可以缩小随机误差。

在消除了系统误差的情况下,有

$$x_{\text{真}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \bar{x}$$

即认为经无穷多次测量,随机误差被消除了,因而定义测定值的数学期望等于被测物理量的真值。其图象意义就是在高斯对称峰的峰位上, $\bar{x}$ 逐渐与 $x_{\text{真}}$ 重合,所以真值是可望而不可及的统计意义上的测量值,难以达到,总是用称为参考值的文献值代替。

2. 精度

精度也称精确度,即

$$\Delta Z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x - x_{\text{真}}|$$

它反映测量结果与真值的接近程度,有两方面的含义:

(1) 准确度

精确度反映因系统误差引起的测量值对于真值的偏离程度。系统误差愈小,测量结果的准确度愈高。

(2) 精密度

精密度反映单个多次测量的结果彼此接近的程度,属于偶然误差的影响。有效数字的位数直接体现了精密度的大小。用平均误差或用标准误差均可表达精密度(见表