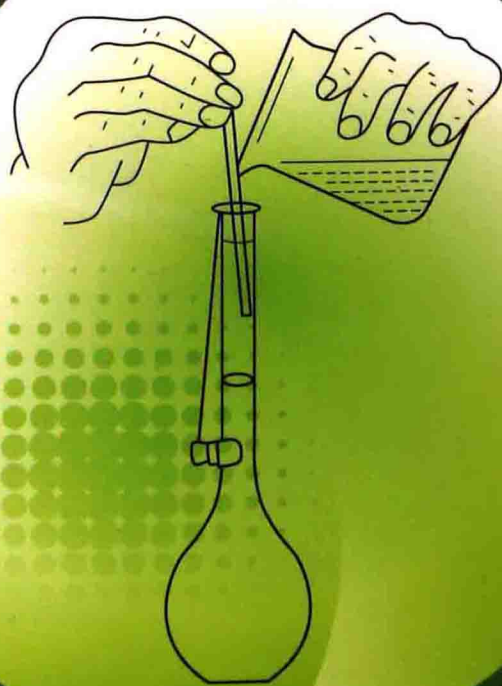


省级实验教学示范中心系列教材

# 大学化学实验(I)

## ——无机化学实验

蔡可迎 主编    李靖 冯惠 副主编



DAXUE  
HUAXUE  
SHIYAN (I)  
WUJI  
HUAXUE SHIYAN



化学工业出版社

省级实验教学示范中心系列教材

# 大学化学实验( I )——无机化学实验

蔡可迎 主编

李 靖 冯 惠 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书为省级实验教学示范中心教材，全书包括无机化学实验基础知识、常数测定实验、物质性质实验、制备与纯化实验和附录五个部分，共 40 个实验项目。实验项目融合了验证性实验、合成实验、综合性实验以及设计性实验，每个实验均给出了 e 网链接。附录中给出了本书实验项目中相关的物理常数和部分仪器的操作方法，供读者参考。

本书可作为高等学校化学化工及相关专业无机化学实验课程的教材，还可供化学、化工、轻工、食品、环境等专业的相关技术及管理工作参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

大学化学实验 (I) ——无机化学实验/蔡可迎主编. —北京:  
化学工业出版社, 2014. 8  
省级实验教学示范中心系列教材  
ISBN 978-7-122-21157-6

I. ①大… II. ①蔡… III. ①化学实验-高等学校-  
教材②无机化学-化学实验-高等学校-教材 IV. ①O6-3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 143506 号

---

责任编辑: 宋林青  
责任校对: 陶燕华

文字编辑: 李 玥  
装帧设计: 史利平

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京市振南印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 8 $\frac{3}{4}$  字数 213 千字 2014 年 10 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 20.00 元

版权所有 违者必究

# 《大学化学实验》系列教材编委会

主 编：堵锡华

副主编：陈 艳

编 委(以姓名笔画为序)：

石春玲  
冯 惠  
刘 青  
陈 艳  
堵锡华

田 林  
朱 捷  
李鸣建  
周颖梅  
董黎明

史小琴  
庄文昌  
李 靖  
宫贵贞  
蔡可迎

冯长君  
刘 彤  
吴 琼  
高淑云

《大学化学实验》系列教材共分五册，是根据目前大学基础化学实验改革的新趋势，在多年实践教学经验的基础上编写而成的。本教材自成体系，力求实验内容的规范性、新颖性和科学性，编入的实验项目既强化了基础，又兼顾了综合性、创新性和应用性。教材将四大化学的基本操作实验综合为一册，这样就避免了各门课程实验内容的重复；其他四册从实验（I）～实验（IV），涵盖了无机化学实验、有机化学实验、分析化学实验、物理化学实验的专门操作技能和基本理论，增加了相关学科领域的新知识、新方法和新技术，并适当增加了综合性、设计性和创新性实验内容项目，以进一步培养学生的实际操作能力和创新能力。

本书是《大学化学实验》系列教材之一，主要内容为无机化学实验。无机化学实验是高等院校化学、化工、环境、生化、轻工及食品等专业的一门基础化学实验课程。作为一门实验课程，其目的不仅是验证理论知识，更重要的是通过实验教学训练实验的方法和技能，使学生逐步学会对实验现象进行观察、分析、判断和归纳总结，培养他们解决问题的能力。随着教学改革的深入，不同类型学校的培养目标差异明显。工科院校培养的学生面向基层、面向企业，应具有较强的实践动手能力，而教材建设必须与培养目标相适应。本书是编者在总结多年实验教学经验的基础上，精心选择40个实验项目编写而成的。全书由无机化学实验基础知识、常数测定实验、物质性质实验、制备与纯化实验和附录五个部分组成。每个实验项目均包括实验目的与要求，实验原理，仪器、试剂与材料，实验步骤，实验结果与数据处理，实验注意事项，思考题和e网链接八个部分。本书在选择实验内容时充分考虑了化学实验的特点和实验学时的限制，使每个实验项目能在几个学时内完成一定的实验技能训练。在实验教学方法的设计中，体现了既能对学生进行具体的实验指导又能启发他们积极思维、创新的目标。本书凝聚了多年来从事无机化学实验教学的老师和实验技术人员的辛勤劳动，兄弟院校的宝贵教学经验，历届学生的教学实践也给我们很多有益的启示，谨致谢意。

本书由蔡可迎任主编，李靖和冯惠任副主编。其中蔡可迎编写第1章、实验11、12、13、14、15、16、25、26、27、28、29、30、31和附录；冯惠编写实验1、2、3、4、5、17、18、19、20、32、33、34、35；李靖编写实验6、7、8、9、10、21、22、23、24、36、37、38、39、40。

因编者水平有限，书中不足之处难免，敬请广大读者不吝指正。

编者  
2014年4月

<b>第1章 无机化学实验基础知识</b> .....	<b>1</b>
1.1 无机化学实验基本要求 .....	1
1.1.1 无机化学实验的目的 .....	1
1.1.2 无机化学实验的学习要求 .....	1
1.1.3 无机化学实验的学习方法 .....	2
1.2 无机化学实验室基本知识 .....	2
1.2.1 实验室守则 .....	2
1.2.2 实验室安全守则 .....	3
1.2.3 意外事故的紧急处理 .....	3
<b>第2章 常数测定实验</b> .....	<b>5</b>
实验 1 摩尔气体常数的测定 .....	5
实验 2 二氧化碳相对分子质量的测定 .....	8
实验 3 氢气的制备和铜相对原子质量的测定 .....	10
实验 4 氯化铵生成焓的测定 .....	13
实验 5 过氧化氢分解热的测定 .....	15
实验 6 化学反应速率和活化能的测定 .....	18
实验 7 化学反应平衡常数的测定 .....	22
实验 8 醋酸解离常数和解离度的测定 .....	25
实验 9 分光光度法测定碘化铅的溶度积 .....	28
实验 10 电导率法测定硫酸钡的溶度积 .....	30
实验 11 银氨配离子配位数的测定 .....	33
实验 12 磺基水杨酸合铁(Ⅲ)配合物的组成及其稳定常数的测定 .....	35
实验 13 分光光度法测定 $[\text{Tl}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ 的分裂能 .....	38
<b>第3章 物质性质实验</b> .....	<b>42</b>
实验 14 电离平衡与沉淀平衡 .....	42
实验 15 氧化还原反应 .....	45
实验 16 配位化合物的生成与性质 .....	47
实验 17 卤素及其化合物的性质 .....	50
实验 18 氧和硫及其化合物的性质 .....	54

实验 19	氮、磷、碳、硅、硼 .....	56
实验 20	常见阴离子的分离与鉴定 .....	60
实验 21	碱金属和碱土金属 .....	64
实验 22	铬、锰、铁、钴、镍 .....	67
实验 23	铜、银、锌、镉、汞 .....	72
实验 24	常见阳离子的分离与鉴定 .....	77

## 第4章 制备与纯化实验 ..... 82

实验 25	由粗食盐制备试剂级氯化钠 .....	82
实验 26	硝酸钾的制备 .....	84
实验 27	硫酸亚铁铵的制备 .....	86
实验 28	硫代硫酸钠的制备 .....	89
实验 29	碱式碳酸铜的制备 .....	92
实验 30	由二氧化锰制备高锰酸钾 .....	93
实验 31	五水硫酸铜的制备及结晶水的测定 .....	95
实验 32	三氯化六氨合钴(Ⅲ)的制备 .....	97
实验 33	由废铁屑制备三氯化铁 .....	100
实验 34	三草酸合铁(Ⅲ)酸钾的合成 .....	102
实验 35	由鸡蛋壳制备丙酸钙 .....	105
实验 36	从含碘废液中回收碘 .....	108
实验 37	从含银废液中回收银 .....	110
实验 38	磷钨酸的制备 .....	111
实验 39	熔盐法制备 $K_2Ti_6O_{13}$ .....	113
实验 40	硫化锡的制备及其光催化还原水中甲基橙 .....	114

## 附录 ..... 117

附录 1	相对原子质量表 .....	117
附录 2	弱电解质的解离平衡常数(298K) .....	118
附录 3	难溶电解质的溶度积常数(298K) .....	119
附录 4	不同温度下水的饱和蒸气压 .....	120
附录 5	标准电极电势(298K) .....	121
附录 6	常见配离子的稳定常数 .....	125
附录 7	常用酸碱溶液的配制 .....	125
附录 8	酸度计的使用 .....	126
附录 9	可见分光光度计的使用 .....	128
附录 10	电导率仪的使用 .....	130

## 参考文献 ..... 132

## 第1章

# 无机化学实验基础知识

## 1.1 无机化学实验基本要求

化学是一门以实验为基础的学科，许多化学理论和规律是在对大量实验资料进行分析的基础上，经概括、综合和总结而形成的，实验又为理论的完善和发展提供了依据。无机化学实验是独立设置的课程，其目的不仅是传授化学知识，更重要的是培养学生的学习能力和综合素质。通过无机化学实验课的学习，学生应受到下列训练：掌握基本操作，正确使用一些实验仪器，取得正确的实验数据，正确记录和处理实验数据以及用简练、严谨的文字表达实验结果；认真观察实验现象进而对实验数据进行分析、判断、推理，并得出结论；合理设计实验(包括选择实验方法、实验条件以及所需仪器、设备和试剂，设想可能遇到的问题和困难等)和解决实际问题；通过查阅手册、工具书和其他信息源获得信息。把培养学生实事求是的科学态度、熟练的操作技能、相互协作的精神和勇于开拓的创新意识始终贯穿于整个实验教学中。

### 1.1.1 无机化学实验的目的

- ① 使学生通过实验获得感性知识，巩固和加深对无机化学基本理论及基础知识的理解。进一步掌握常见元素及其化合物的重要性质和反应规律，了解无机化合物的一般提纯和制备方法。
- ② 对学生进行无机化学实验基本操作和基本技能的训练，使其学会使用一些常用仪器。
- ③ 培养学生独立进行实验、组织与设计的能力；培养学生细致观察与记录实验现象，正确测定与处理实验数据的能力；培养学生正确阐述实验结果的能力等。
- ④ 培养学生严谨的科学态度、良好的实验操作习惯和环境保护意识。
- ⑤ 为学生学习后续课程，参与实际工作和科学研究打下良好的基础。

### 1.1.2 无机化学实验的学习要求

- ① 实验前必须做好预习。认真阅读实验教材和相关资料，明确实验的目的和要求，掌握实验的基本原理，熟悉实验内容、操作步骤以及注意事项。
- ② 认真独立地完成实验。实验中要做到认真操作、细心观察、积极思考、如实记录。对于设计性实验审题要准确，仔细查阅文献资料，实验方案要合理可靠，以达到预期的目的。
- ③ 按时完成实验报告。书写实验报告是学生对所学知识进行归纳和提高的过程，也是培养严谨科学态度、实事求是精神的重要措施。实验报告要求书写规范、简明扼要、结论正确。



### 1.1.3 无机化学实验的学习方法

要达到上述目的和要求,不仅要有正确的学习态度,还需要有正确的学习方法。做好无机化学实验必须认真对待以下几个环节。

#### (1) 预习

预习是保证做好实验的一个重要环节。实验者对实验的各个过程做到心中有数,才能使实验顺利进行,达到预期的效果。预习时应做到:认真阅读实验教材和参考教材中的相关内容;明确实验的目的和基本原理;掌握实验的预备知识和实验关键步骤,了解实验操作过程的注意事项;写出简明扼要的预习报告。

#### (2) 实验

进行实验时要有科学、严谨的态度,养成做化学实验的良好习惯。实验时应做到:认真操作,严格遵守实验操作规范,注重基本操作训练与实验能力的培养;对每一个实验,不仅要掌握实验原理,更要重视操作训练,即使是一个很小的实验操作也要按规范要求一丝不苟地进行练习和操作;实验中要细心观察现象,尊重实验事实,及时、如实地做好详细记录,从中得到有用的结论;实验过程中应勤于思考、仔细分析,力争自己解决问题,遇到难以解决的疑难问题时,可请教师指点;在实验过程中保持肃静、遵守规则、注意安全、整洁节约;设计新实验或做规定以外的实验时,应先经指导教师允许;实验完毕后应主动洗净仪器,整理好药品及实验台。

#### (3) 实验报告

实验报告是总结实验进行的情况、分析实验中出现的问题和整理归纳实验结果必不可少的基本环节,也是把感性认识提高到理性思维阶段的必要环节。实验报告反映出了每个学生的实验水平,实验报告是实验评分的重要依据。实验者必须严肃、认真、如实地写好实验报告,必须独立完成实验报告。实验报告应按照规定格式书写,书写时应字迹端正、简明扼要、整齐清洁。若有实验现象、解释、结论、数据等不符合要求,则应重做实验或重写报告。

## 1.2 无机化学实验室基本知识

无机化学实验室是开展实验教学的主要场所,实验室中有许多仪器仪表、化学试剂甚至有毒药品,实验室常常潜藏着发生诸如爆炸、着火、中毒、灼伤、触电等事故的危险。因此,实验者必须特别重视实验安全。

### 1.2.1 实验室守则

① 实验前认真预习,明确实验目的,了解实验原理,熟悉实验内容、方法和步骤,做好实验准备工作;严格遵守实验室的规章制度,听从教师的指导。

② 实验时要集中精力、认真操作、积极思考、仔细观察、如实记录。实验中要保持安静,不得大声喧哗,不得随意走动。

③ 爱护财物,小心使用仪器和实验室设备,注意节约水、电和煤气。正确使用实验仪器、设备,精密仪器应严格按照操作规程使用,发现仪器有故障应立即停止使用,并及时向教师报告。

④ 实验台上的仪器、试剂瓶等应整齐地摆放在指定的位置上，注意保持台面整洁；每人应取用自己的仪器，公用或临时共用的玻璃仪器使用完后应洗净并放回原处。

⑤ 药品应按规定量取用，如未规定用量，则应注意节约使用；已取出的试剂不能再放回原试剂瓶中，以免带入杂质。取用药品的用具应保持清洁、干燥，以保证试剂的纯洁和浓度。取用药品后应立即盖上瓶盖，以免放错瓶盖，污染药品。放在指定位置的药品不得擅自拿走，用后要及时放回原处。实验中用过又规定要回收的药品，应倒入指定的回收瓶中。

⑥ 实验中的废渣、纸、碎玻璃、火柴梗等应倒入废品杯内；废液倒入指定的废液缸，剧毒废液由实验室统一处理；未反应完的金属洗净后回收；实验室的一切物品不得私自带出室外。

⑦ 实验结束后，应将所用仪器洗净后放到指定位置；实验室内的公共卫生由学生轮流打扫，并检查水、电，关好门窗。

## 1.2.2 实验室安全守则

① 一切易燃、易爆物质的操作都要在离火较远的地方进行；一切涉及有毒的或有恶臭的物质的实验，都应在通风橱中进行。

② 不要用湿手接触电源；完成实验后，关闭水、电、气；点燃的火柴用后应立即熄灭，不得乱扔。

③ 严禁在实验室内饮食、抽烟，以防止有毒药品进入口内。

④ 绝对不允许随意混合各种化学药品，以免发生意外事故。

⑤ 加热试管时，不要将试管口对着自己或别人，也不要俯视正在加热的液体，以免溅出的液体把人烫伤；在闻瓶中气体时，鼻子不能直接对着瓶口，而应用手轻轻扇动少量气体进行嗅闻。

⑥ 倾倒试剂或加热液体时，不要俯视容器，特别是浓酸和浓碱具有腐蚀性，切勿使其溅在皮肤或衣服上，注意防护眼睛；稀释酸、碱，特别是浓硫酸时，应将它们慢慢注入水中，并不断搅拌，切勿将水注入浓酸、浓碱中；强氧化剂(如氯酸钾、硝酸钾、高锰酸钾等)或其混合物不能研磨，以防引起爆炸；银氨溶液不能留存，因久置后会析出黑色的氮化银沉淀，极易爆炸。

⑦ 金属钾、钠和白磷等暴露在空气中易燃烧，所以金属钾、钠应保存在煤油中，白磷则可保存在水中，取用时要用镊子；金属汞易挥发，并通过呼吸道进入人体内，逐渐积累会引起慢性中毒，一旦出现金属汞洒落，必须尽可能地收集起来，并用硫粉盖在洒落的地方，使金属汞转变成不挥发的硫化汞。

⑧ 遵守实验室的各种规章制度。

## 1.2.3 意外事故的紧急处理

因各种原因而发生事故后，千万不要慌张，应沉着冷静，立即采取有效措施处理事故。

### (1) 割伤

先将伤口中的异物取出，伤轻者可涂以紫药水(或红汞、碘酒)或贴上“创可贴”包扎；伤势较重时先用酒精清洗消毒，再用纱布按住伤口，压迫止血，立即送医院治疗。

### (2) 烫伤

被火、高温物体或开水烫伤后，不要用冷水冲洗或浸泡，若伤处皮肤未破可将碳酸氢钠

粉调成糊状敷于伤处，也可用 10% 的高锰酸钾溶液或者苦味酸溶液洗灼伤处，再涂上烫伤膏。

(3) 受强酸腐蚀

立即用大量水冲洗，再用饱和碳酸氢钠或稀氨水冲洗，最后再用水冲洗；若酸液溅入眼睛，用大量水冲洗后，立即送医院诊治。

(4) 受浓碱腐蚀

立即用大量水冲洗，再用 2% 醋酸溶液或饱和硼酸溶液冲洗，最后再用水冲洗；若碱液溅入眼睛，用 3% 硼酸溶液冲洗，然后立即到医院治疗。

(5) 受溴腐蚀致伤

用苯或甘油洗伤口，再用水洗。

(6) 受磷灼伤

应立即用 1% 硝酸银、5% 硫酸铜或浓高锰酸钾溶液洗伤处，除去磷的毒害后，再按一般烧伤的处理方法处置。

(7) 吸入刺激性或有毒气体

吸入氯气、氯化氢气体时，可吸入少量酒精和乙醚的混合蒸气解毒；吸入硫化氢或一氧化碳气体而感到不适(头晕、胸闷、欲吐)时，应立即到室外呼吸新鲜空气。应注意氯气、溴中毒不可进行人工呼吸。

(8) 毒物入口

可口服一杯含有 5~10mL 稀硫酸铜溶液的温水，再用手指伸入咽喉部，促使呕吐，然后立即送医院治疗。

(9) 触电

立即切断电源，或尽快用木棒、竹竿等绝缘物将触电者与电源隔开，必要时进行人工呼吸。

(10) 起火

要立即灭火，并采取切断电源、移走易燃药品等措施防止火势蔓延，必要时应报火警。灭火时要针对起火原因选择合适的方法和灭火设备。

① 一般的起火，小火用湿布、石棉布或沙土覆盖燃烧物即可灭火；大火可以用水、泡沫灭火器、二氧化碳灭火器灭火。

② 活泼金属如钠、钾、镁、铝等引起的着火，不能用水、泡沫灭火器或二氧化碳灭火器灭火，只能用沙土、干粉灭火器灭火；有机溶剂着火时切勿使用水、泡沫灭火器灭火，而应该用二氧化碳灭火器、专用防火布、沙土、干粉灭火器等灭火。

③ 精密仪器、设备着火时，首先切断电源，小火可用石棉布或沙土覆盖灭火，大火用四氯化碳灭火器灭火，也可以用干粉灭火器。不可用水、泡沫灭火器灭火，以免触电。

④ 身上衣服着火时，切勿惊慌乱跑，应赶快脱下衣服或用专用防火布覆盖着火处，或就地卧倒打滚，这样也可起到灭火的作用。

## 第 2 章

# 常数测定实验

## 实验 1 摩尔气体常数的测定

### 【实验目的与要求】

1. 掌握一种测量摩尔气体常数的方法及操作；
2. 学习理想气体状态方程式及气体分压定律的应用；
3. 练习测定气体体积的操作及气压计的使用；
4. 学习误差的表示、数据的取舍、有效数字及其应用。

### 【实验原理】

在理想气体状态方程  $pV = nRT$  中，摩尔气体常数  $R = pV/nT$  是可以通过实验来确定的。本实验通过金属镁与稀硫酸发生置换反应产生氢气来测定  $R$  的数值，其反应式为：



如果称取一定量的镁与过量的稀硫酸反应，则在一定温度和压力下，可以测算出反应所放出的氢气的体积。实验时的温度和压力可以分别由温度计和气压计测得。氢气的物质的量可以通过反应中镁的质量计算求出：

$$n_{\text{H}_2} = \frac{m_{\text{H}_2}}{M_{\text{H}_2}} = \frac{m_{\text{Mg}}}{M_{\text{Mg}}}$$

由于氢气是在水面上收集的，因此氢气中还会混有一定量的水蒸气。所以需要查阅在实验温度下水的饱和蒸气压(见附录 4)。根据气体分压定律，氢气的分压可由下式求得：

$$p_{\text{大气}} = p_{\text{H}_2\text{O}} + p_{\text{H}_2}$$

$$p_{\text{H}_2} = p_{\text{大气}} - p_{\text{H}_2\text{O}}$$

将实验测量和计算得到的数据代入理想气体方程中，即可计算出  $R$  的数值。

本实验也可以通过锌或者铝与稀硫酸的反应来测定  $R$  值。利用这种方法也可以测定一定温度下气体的摩尔体积和金属的摩尔质量等。

### 【仪器、试剂与材料】

1. 仪器：电子天平，量气管(或用 50mL 碱式滴定管替代)，试管，滴定管夹，铁圈，铁架台，量筒，长颈漏斗，气压计，温度计。

2. 试剂与材料： $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $3\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )，砂纸，金属镁条，乳胶管。

### 【实验步骤】

#### 1. 镁条的称量

用砂纸清洁镁条，除去表面的氧化物与脏物，直至镁条表面光亮无黑点。用电子天平准确称取 2~3 份已经擦去表面氧化物的镁条，每份质量应控制在  $0.0300\sim 0.0350\text{g}$  之间。每根镁条用小称量纸包好，在纸包上写上镁条的质量后保存。

#### 2. 仪器的安装与检查

如图 1-1 所示装置仪器，打开试管的塞子，由水准瓶往量气管中注水至略低于 0.00 刻度的位置，上下移动水准瓶以赶走附着在乳胶管和量气管内壁的小气泡，再移动水准瓶使量气管中的水面略低于 0.00 刻度的位置，接着固定水准瓶。

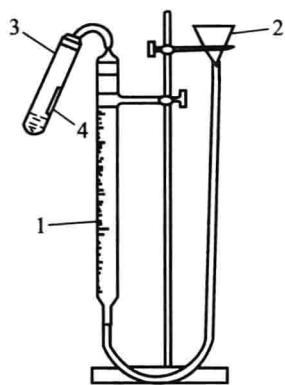


图 1-1 摩尔气体常数的测定仪器装置

1—量气管；2—漏斗(水准瓶)；  
3—试管(反应器)；4—镁条

检查实验装置是否漏气，方法如下：塞紧试管上的塞子。将水准瓶向下移动至量气管的 30.00 刻度处，此时能够看到量气管的液面下降，但仅下降了一小段便不再下降，此时量气管的液面高度高于水准瓶中液面高度。固定水准瓶 3~5min 后，量气管内的液面仍维持不变，说明该装置不漏气，可以继续下面的实验操作。若量气管内的液面继续下降，甚至降到和水准瓶中的液面相同的高度，说明实验装置漏气。此时应仔细检查各连接处，直至不漏气后方可继续下面的操作。

#### 3. 镁条与稀酸的反应

用长颈漏斗加  $3.0\text{mL } 3\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  硫酸到试管底部(切勿使酸沾在试管壁上)。在称好的镁条上蘸少量蒸馏水，使镁条紧贴在试管上部壁上。然后，调整漏斗高度，使量气管液面保持在略低于 0.00 刻度的位置，塞紧磨口塞，再次检查是否漏气。

调整量气管和水准瓶内液面保持同一水平面上，准确读取量气管液面的刻度  $V_1$ ，记录。然后倾斜试管，使镁条落入硫酸溶液中。再将试管放回原处，此时反应立即发生，氢气产生，量气管中的液面开始下降。为了不使量气管内气压过大而造成漏气，可以慢慢下移水准瓶，使水准瓶中的液面与量气管中的液面基本保持同一水平面上。待反应停止后，将水准瓶固定，待试管冷却至室温，再移动水准瓶，使量气管和水准瓶中的液面保持同一水平面上，准确读出量气管内液面高度的刻度  $V_2$ 。稍等 1~2min 再读取液面刻度，若两次读数相同，则说明试管内的温度和环境温度相同。

洗净小试管内壁，再用另两份已称量的镁条重复实验。从气压计中读出大气压力，记录室温。并从附录 4 中查出此室温下水的饱和蒸气压。

### 【实验结果与数据处理】

将实验数据填入表 1-1 中。

相关计算公式：

$$p_{\text{H}_2} = p_{\text{大气}} - p_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$R = \frac{p_{\text{H}_2} V_{\text{H}_2}}{n_{\text{H}_2} T} = \frac{(p_{\text{大气}} - p_{\text{H}_2\text{O}}) V_{\text{H}_2}}{m_{\text{Mg}} T} M_{\text{Mg}}$$

表 1-1 摩尔气体常数的测定结果

项目		1	2	3
镁条的质量 $m_{Mg}/g$				
气体体积	反应后的气体读数 $V_2/mL$			
	反应前的气体读数 $V_1/mL$			
生成氢气的体积 $V_{H_2}/mL$				
大气压 $p_{大气}/Pa$				
温度 $T/K$				
室温时水的饱和蒸气压 $p_{H_2O}/Pa$				
$p_{H_2}/Pa$				
$R/J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$	测量值			
	平均值			
	文献值			
相对百分误差/%				

**【实验注意事项】**

- 先用砂纸除去镁条表面的氧化膜，并将镁条剪成一定长度，称量好后应分片包好写上相应质量，保存在干燥器中。
- 量气管可用碱式滴定管代替，要洗涤清洁，管壁内不能挂水珠，否则影响体积的测量。
- 整个装置不能漏气，装置搭好后和反应进行前都应仔细检查。

**【思考题】**

- 检查实验装置是否漏气的操作依据是什么？实验过程中进行了两次检漏操作，哪次相对更重要？
- 反应前量气管上部留有空气，反应后计算氢气物质的量时，为什么不考虑空气的分压？
- 分析讨论下列情况对实验结果的影响。
  - 量气管内的气泡没有赶净。
  - 反应过程中装置漏气。
  - 金属表面氧化物没有除尽。
  - 放置镁条时，镁条接触到酸。
  - 记录液面位置时，量气管和水准瓶中的液面不在同一水平面。
  - 量气管中的氢气没有冷却至室温就开始读取量气管的刻度。

**【e网链接】**

- <http://wenku.baidu.com/view/024a5934a32d7375a417806b.html>
- <http://www.doc88.com/p-14685881276.html>
- [http://blog.sina.com.cn/s/blog\\_69545c9e0100jah8.html](http://blog.sina.com.cn/s/blog_69545c9e0100jah8.html)

## 实验 2 二氧化碳相对分子质量的测定

### 【实验目的与要求】

1. 了解气体相对密度法测定二氧化碳相对分子质量的原理和方法；
2. 加深理解阿伏伽德罗定律；
3. 掌握二氧化碳相对分子质量的测定和计算方法；
4. 练习启普发生器的使用和气体净化操作，学会使用气压计。

### 【实验原理】

相对分子质量是物质的分子或特定单元的平均质量与核素 $^{12}\text{C}$ 原子质量的  $1/12$  之比，用符号  $M$  表示，它是无量纲的量。

测定二氧化碳相对分子质量的原理为：根据阿伏伽德罗定律，同温、同压、同体积的气体含有相同的分子数，所以只要在同温、同压下比较两种相同体积的气体质量，并且其中一种气体的相对分子质量为已知，便可测定另一种气体的相对分子质量。这种方法称为气体相对密度法。

本实验中，把同体积的二氧化碳气体与空气(其平均相对分子质量为 29.0)相比。因为  $n$  相同，而  $n = m/M$ ，因此  $m_1/M_1 = m_2/M_2$ 。所以，二氧化碳的相对分子质量可由下式计算：

$$M_{\text{二氧化碳}} = (m_{\text{二氧化碳}}/m_{\text{空气}})M_{\text{空气}} = (m_{\text{二氧化碳}}/m_{\text{空气}}) \times 29.0$$

式中， $m_{\text{二氧化碳}}$  和  $m_{\text{空气}}$  分别为二氧化碳和空气的质量； $M_{\text{二氧化碳}}$  和  $M_{\text{空气}}$  分别为二氧化碳和空气的相对分子质量。

因此，只需在实验中测出一定体积的二氧化碳的质量，并根据实验时大气压和温度的值，代入理想气体状态方程计算出同体积的空气质量，即可求得二氧化碳对空气的相对密度，最终计算出二氧化碳的相对分子质量。

测定某气体对任一相对分子质量已知气体的相对密度，即可求出该气体的相对分子质量。一般会选取最轻的气体氢气或最常见的空气作为测定相对密度的参照物。

### 【仪器、试剂与材料】

1. 仪器：电子天平，启普发生器，气压计，温度计，台秤，洗气瓶，干燥管，锥形瓶，铁架台，试管夹，自由夹，量筒，剪刀，钻孔器。

2. 试剂与材料： $\text{HCl}(6\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$ ， $\text{NaHCO}_3(1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$ ， $\text{CuSO}_4(1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$ ，石灰石，无水氯化钙，橡皮塞，乳胶管，玻璃纤维。

### 【实验步骤】

#### 1. 二氧化碳的制备

二氧化碳是由盐酸与石灰石反应制得的，如图 2-1 装配好启普发生器及相关仪器。

在启普发生器中放入石灰石，加入  $6\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  的盐酸，打开旋塞，盐酸即从底部上升与石灰石反应，产生气体。因为石灰石中含有大量的硫，所以在气体产生过程中会有硫化氢、酸雾、水蒸气产生。此时可以通过硫酸铜溶液、碳酸氢钠溶液以及无水氯化钙来除去。

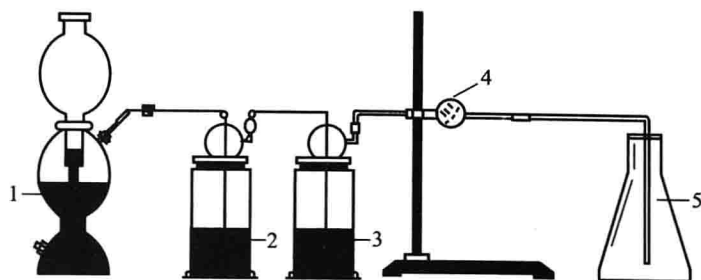


图 2-1 启普发生器及相关仪器装置

1—石灰石和稀盐酸；2—硫酸铜溶液；3—碳酸氢钠溶液；4—无水氯化钙；5—锥形瓶

## 2. 二氧化碳相对分子质量的测定

取一只 250mL 烘干的洁净锥形瓶，用一个紧密合适的橡胶塞塞紧(塞子塞入瓶颈的深度做好记号)，放在电子天平上准确称出其质量  $m_1$ 。

拔去塞子，将启普发生器的导气管插入锥形瓶底部。打开旋塞，通入二氧化碳约 2~3min 后，用点着的火柴检测锥形瓶是否装满二氧化碳气体。将塞子塞到之前做好记号的位置，再放在同一电子天平上称量。为了保证空气完全被二氧化碳气体排除，可再通入二氧化碳气体 2~3min，然后再称质量。重复这一操作，直至两次称量的结果相差不超过 2mg 为止。记下装满二氧化碳气体的锥形瓶的重量  $m_2 \sim m_4$ 。

最后，为了测定锥形瓶的容积，可将锥形瓶装水至之前做好的记号，塞上塞子，然后在台秤上称量其质量  $m_6$ ，精确至 0.1g，记录室温和大气压力。

### 【实验结果与数据处理】

将实验数据和结果处理填入表 2-1。

表 2-1 二氧化碳相对分子质量的测定结果

项 目	数据
实验时室温 $T/K$	
实验时大气压 $p/Pa$	
充满空气的锥形瓶和塞子的质量 $m_1/g$	
充满二氧化碳气体的锥形瓶和塞子的质量	第一次 $m_2/g$
	第二次 $m_3/g$
	第三次 $m_4/g$
	平均值 $m_5/g$
水 + 锥形瓶 + 塞子的质量 $m_6/g$	
锥形瓶的容积 $V = (m_6 - m_1) / 1.00$	
瓶内空气的质量 $m_{\text{空气}} = pVM_{\text{空气}} / RT$	
二氧化碳气体的质量 $m_{\text{二氧化碳}} = m_5 - m_1 + m_{\text{空气}}$	
二氧化碳的相对分子质量 $M_{\text{二氧化碳}} = (m_{\text{二氧化碳}} / m_{\text{空气}}) \times 29.0$	
$M_{\text{二氧化碳}}$ (文献值)	
相对误差 / %	



**【实验注意事项】**

1. 应在同一台电子天平上称量锥形瓶，锥形瓶和塞子应该配套，中途不得更换塞子。
2. 使用启普发生器时应注意，启普发生器不能加热。
3. 使用的石灰石必须呈块状或者颗粒较大，以防颗粒过小在反应时堵塞出气口。
4. 移动或拿取启普发生器时，应用手握住其半球体上部凹进部位，绝不可用手提球形漏斗，以防脱落打碎葫芦状容器，造成伤害事故。
5. 塞子钻孔或连接玻璃管时，应小心操作。

**【思考题】**

1. 气体相对密度法测定二氧化碳相对分子质量的原理和方法是什么？
2. 从启普发生器中制取的二氧化碳气体为什么要通过装有硫酸铜和碳酸氢钠的洗气瓶？这两个洗气瓶能否颠倒顺序？为什么？
3. 在称量过程中，为什么装满水的锥形瓶和塞子在台秤上称量，而充满二氧化碳气体的锥形瓶和塞子在电子天平上称量？两者的要求有什么差异？
4. 为什么在计算二氧化碳气体质量时，需要考虑空气的质量，而在计算锥形瓶容积时不考虑空气的质量？
5. 试分析实验过程中产生误差的原因。

**【e网连接】**

1. <http://wenku.baidu.com/view/cc87ced4360cbalaa811dafd.html>
2. <http://www.docin.com/p-193898358.html>
3. <http://www.docin.com/p-99656301.html>
4. <http://www.doc88.com/p-148805516431.html>

## 实验3 氢气的制备和铜相对原子质量的测定

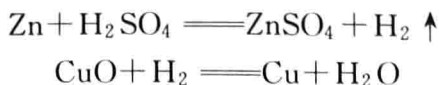
**【实验目的与要求】**

1. 通过制取纯净的氢气来学习并掌握气体的发生、收集、净化和干燥的基本操作；
2. 掌握通过氢气的还原性来测定铜的相对原子质量的方法；
3. 掌握误差的表示、数据的取舍、有效数字及其应用。

**【实验原理】**

在实验室中，通常使用启普发生器来使固体试剂与液体试剂在常温下作用，以此来制备气体。例如用石灰石和稀盐酸作用制备二氧化碳气体，用镁和稀硫酸作用制备氢气，用硫化亚铁和稀盐酸作用制备硫化氢气体等。

本实验采用金属锌与稀硫酸反应制备得到氢气，而后利用氢气的还原性，使其与氧化铜反应，制备得到金属铜。反应式如下：



根据反应方程式可知， $n_{\text{O}} = n_{\text{Cu}}$ ，所以  $m_{\text{O}}/M_{\text{O}} = m_{\text{Cu}}/M_{\text{Cu}}$ ，则有：