

新世纪

高等学校实验教材

新编

化学工程与 工艺专业实验

童张法 陈小鹏 张友全 ■ 主编

XINBIAN
HUAXUE GONGCHENG YU
GONGYI ZHUANYE SHIYAN



化学工业出版社

新世纪 高等学校实验教材

新编

化学工程与 工艺专业实验

童张法 陈小鹏 张友全 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本教材包括必修、限选和任选三个实验教学模块，主要内容为：第1章化学工程与工艺专业实验目的、要求和实验安全等；第2章阐述了化学工程与工艺专业实验的组织、实验方案的设计和实施、实验数据的处理评价以及实验报告的撰写要求等；第3章主要涵盖以化工热力学、化工分离工程、化学反应工程等理论教学内容为基础的8个必修实验；第4章依托特色资源深加工中的化工新技术，吸收多年来的科研成果和实验教学改革成果，以化工过程工程和产品工程新理念而设计的限选和任选专业实验项目，包括无机化工、化工冶金、基本有机化工、精细化工、生物化工等领域以及石化资源、农产、林产资源加工与利用等方面的26个产品合成与分离实验。附录介绍了常用玻璃仪器的规格与使用方法，以及水、空气、乙醇、二氧化碳等物质的有关物性数据。

本书可作为高等学校化工类专业的实验课教材，也可供相关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

新编化学工程与工艺专业实验/童张法，陈小鹏，
张友全主编. —北京：化学工业出版社，2012.9
新世纪高等学校实验教材
ISBN 978-7-122-15138-4

I. 新… II. ①童… ②陈… ③张… III. 化学工程-
化学实验-高等学校-教材 IV. TQ016

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 195887 号

责任编辑：徐雅妮
责任校对：陶燕华

装帧设计：关 飞

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 装：三河市延风印装厂
787mm×1092mm 1/16 印张8¼ 字数190千字 2012年11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

《新编化学工程与工艺专业实验》编写人员

主 编 童张法 陈小鹏 张友全

编写人员 (按姓氏笔画排序)

王琳琳	韦藤幼	韦小杰	文衍宣	付丽华
冯振飞	刘幽燕	李青云	杨克迪	张友全
张琳叶	陈小鹏	唐爱星	黄佩芳	梁杰珍
覃益民	粟海锋	童张法	廖丹葵	黎铨海

前 言

化学工程与工艺专业实验是继大学化学基础实验之后，为化学工程与工艺专业学生开设的一门综合性较强的、富有实践性的实验研究课程。专业实验的目的不仅是掌握化工基础知识、观察实验现象、理解实验原理，而且是综合运用化学工程与工艺基础专业知识，实践性地解决具体的、有明确的实践价值和工业背景的化学与化工专业问题。专业实验可以丰富和活跃学生的思维能力，锻炼他们对实验现象的洞察能力，进一步培养正确和良好的实验习惯以及严谨的科学作风，使学生获得用实验方法和技术研究化学化工现象和规律的能力。基于以上目的，特组织多年从事化学工程与工艺专业实验教学的教师编写了《化学工程与工艺专业实验》教材，本书结合现代化工以及广西化工生产的地方特色，围绕“产品功能结构设计+原料→预处理→化学反应→分离纯化→产品分析测试+过程设计+商业计划”化工过程工程和产品工程新模式、新理念，吸收我校多年来的实验教学改革成果和科研成果。内容上除了保留必要的经典性、验证性实验项目外，着重加强综合型、设计型和研究型等“特色”实验项目。教材内容涉及基本操作与训练、专业基础实验、产品合成与分离等拓展试验，可满足不同模块实验教学的需要。

本书由童张法策划和组织编写，陈小鹏、张友全负责统稿和校稿，最后由童张法定稿。本书编写分工如下：第1章、第2章由童张法、张友全、韦小杰编写；第3章由陈小鹏、韦小杰、粟海锋、王琳琳编写；第4章由童张法、陈小鹏、粟海锋、黎铨海、刘幽燕、张友全、覃益民、杨克迪、廖丹葵、韦藤幼、梁杰珍、冯振飞、付丽华编写。文衍宣、唐爱星、李青云、黄佩芳、张琳叶等参加了部分内容的修改和校对工作。

本书的编写与出版得到了新世纪广西高等教育改革工程项目《化学化工专业创新型实验教学》和广西壮族自治区重点教材立项项目的支持，还得到了广西大学教务处、实验设备处以及学院领导的支持，以及广西大学“211工程”重点学科、广西高校资源化工应用新技术人才小高地建设创新团队等项目的资助，在此一并表示感谢。

在教材的编写过程中，编者参考了国内部分最新出版的化学工程与工艺专业实验教材和相关文献，在此向相关作者表示感谢。由于编者水平有限，书中难免存在疏漏之处，敬请读者批评指正。

编 者
2012年6月

目 录

第 1 章 化学工程与工艺专业实验目的与要求	1
1.1 化学工程与工艺专业实验目的	1
1.2 化学工程与工艺专业实验要求	1
1.3 实验室注意事项及安全条例	2
1.3.1 实验须知	2
1.3.2 实验室安全注意事项	2
1.3.3 实验室常见事故的预防和处理	3
第 2 章 专业实验的组织与实施	5
2.1 实验方案设计和实施	5
2.2 实验数据的处理与评价	5
2.2.1 实验现象观察与数据记录	5
2.2.2 实验数据的误差分析和处理	6
2.2.3 实验报告要求和内容	8
第 3 章 专业基础实验	11
实验 1 一氧化碳中温-低温串联变换反应	11
实验 2 圆盘塔中 CO_2 吸收的液膜传质系数测定	14
实验 3 连续流动反应器中的返混测定	18
实验 4 流动相速度对柱效的影响	21
实验 5 CO_2 临界状态观测及 p - V - T 关系测定	23
实验 6 二元体系相平衡实验数据测定	28
实验 7 测定松节油体系的汽液相平衡数据	33
实验 8 激光动态法测定固液溶解度	37
第 4 章 产品合成与分离实验	42
实验 1 液相沉淀法制备超细碳酸锰	42
实验 2 高岭土浸出生产硫酸铝的工艺研究	44
实验 3 微波和水热均匀沉淀法制备纳米二氧化钛	50
实验 4 喷射鼓泡塔烟气脱硫的研究	54

实验 5	甲苯液相空气氧化制苯甲酸	56
实验 6	松脂催化歧化反应	59
实验 7	雪花膏的制备	63
实验 8	超临界 CO_2 萃取技术	64
实验 9	酸变性淀粉的制备	66
实验 10	氯代环己烷合成	67
实验 11	液体香波的配制	69
实验 12	植物性天然香料的水蒸气蒸馏——八角油的提取	70
实验 13	菠萝蛋白酶的提取、精制及活力测定	71
实验 14	微波预处理法提取银杏叶中的黄酮	73
实验 15	ATP 的生物合成与检测	75
实验 16	离子交换树脂柱分离 ATP 试验	78
实验 17	赖氨酸的发酵	81
实验 18	蛋白质提取——牛奶中提取酪蛋白	84
实验 19	脂肪酶的固定及活力测定	85
实验 20	裂化柴油加氢反应实验	86
实验 21	石蜡产品固液溶解度测定	88
实验 22	超临界流体反应合成生物柴油	90
实验 23	石油油品的理化性质参数综合检测	92
实验 24	蔗糖等还原浸出软锰矿的反应动力学实验	104
实验 25	聚丙烯酸/阴离子型钙基膨润土功能材料的制备	109
实验 26	生物反应器操作演示	113
附 录		116
附录 1	常用玻璃仪器	116
附录 2	玻璃仪器的洗涤与干燥	119
附录 3	玻璃仪器的装配	120
附录 4	常用压差计指示液的密度	121
附录 5	水的物理性质	122
附录 6	干空气的物理性质	122
附录 7	乙醇-水溶液在常压下的汽液平衡数据	123
附录 8	乙醇-水溶液在常温常压下的物性数据	123
附录 9	二氧化碳与水的有关物性数据	124
参考文献		125

第1章

化学工程与工艺专业 实验目的与要求

1.1 化学工程与工艺专业实验目的

化学工程与工艺专业实验课程主要通过实验教学形式，达到以下目的。

① 使学生在基础实验课的基础上，进一步巩固和提高实验操作基本技能。要求学生掌握专业实验的基本技术和操作技能；学会专业实验主要仪器和实验设备的使用；并且了解专业实验的基本方法。

② 培养学生综合运用化学工程与工艺基础理论知识和实验技能，观察、思考和分析实验过程，提高分析问题和解决问题的能力。

③ 引导学生学会理论联系实际，养成实事求是、科研谨慎的精神和正确的实验思维。

④ 帮助学生养成正确的实验实施程序。从前期准备工作入手（查阅文献书籍、搜集可靠资料），最大程度地了解 and 掌握与本实验相关的研究思路 and 基础数据；然后，通过技术条件的优选、实验方案的确定与实验的具体实施完成实验工作；最后对实验结果进行分析得到结论。

⑤ 使学生通过专业实验的实施，开阔思路，积极创新，逐步培养其独立思考、实践和创新的能力。

1.2 化学工程与工艺专业实验要求

专业实验是具有实践性的实验过程，相对于基础实验更需要学生主动参与和积极思考，对学生在预习阶段、实验阶段、数据记录与分析阶段的要求更高。

（1）实验预习准备阶段

此阶段为实验操作打下基础，要求学生写好实验预习报告，充分认识实验目的、实验方法、实验原理，在此基础上进一步了解实验步骤、仪器的操作及实验过程的注意事项。学生在预习时可以提出疑难问题，带着问题进入实验阶段，有利于提高学生的学习兴趣和积极参与的意识。

（2）实验具体实施阶段

学生实验过程要认真谨慎，实事求是，用心观察实验现象，结合进实验室前提出的疑问进行思考。实验过程中尤其是有危险性和不稳定性的操作过程，学生要更加注意，未经允许不得擅自离开。同时要保持实验台面整洁，公共用具用毕要及时放回公共平台。

（3）实验数据的记录和实验现象的观察

学生应及时记录实验数据和观察到的实验现象，记录实验日期时间，记录不得任意涂

改, 实事求是, 便于实验结束后的数据分析和现象思考。

(4) 撰写实验报告

实验完毕要撰写实验报告, 实验报告的内容一般包括: 实验名称、实验时间、实验目的、实验仪器、实验试剂、实验原理、实验步骤、实验结果与讨论。也可根据具体实验对实验内容进行组织。实验报告要做到条理清晰、用词准确、结论明确、尊重事实。

(5) 实验结束

实验完毕后清洗实验用具, 打扫实验台及水池。离开实验室要注意关水、关电、关气、关窗。

1.3 实验室注意事项及安全条例

1.3.1 实验须知

- ① 必须了解实验室各项规章制度及安全制度。
- ② 每次实验前必须预习实验内容, 撰写实验预习报告。了解实验的基本原理, 操作步骤, 禁止不预习就做实验。
- ③ 每次实验必须做好实验记录, 实验完成后, 根据记录写出实验报告。
- ④ 实验所得结果, 如不再供下一次实验用, 应交给指导教师, 并注明名称、数量、组别、姓名等。
- ⑤ 实验室应保持整洁, 实验桌上的仪器、药品应有一定的摆放位置, 桌面上不要乱放与本次实验无关的书籍、仪器、药品。废液应放入废液桶中。倒入水槽中的废液(无污染的)立即放水冲掉。
- ⑥ 爱护仪器, 节约药品。仪器损坏后应立即报损, 并按规定赔偿。
- ⑦ 注意不要混用试剂瓶塞或滴管, 以免污染药品。
- ⑧ 实验室内保持安静, 不得阅读与本次实验无关的书籍, 禁止吸烟及吃食物。
- ⑨ 根据实验记录及时完成实验报告, 不按时交报告者, 不予记录实验成绩。
- ⑩ 实验后立即清洗仪器, 做好实验室清洁卫生, 并在规定时间内完成实验报告。
- ⑪ 发扬勤俭节约精神, 节约水电、药品, 杜绝一切浪费。

1.3.2 实验室安全注意事项

- ① 安全第一, 包括人身安全和实验室财产安全。
- ② 离开实验室前要检查电闸、水龙头、气阀等是否关闭。
- ③ 实验前要认真按照实验方案做好实验前的准备工作, 认真分析实验设备的安全控制点和其他关键操作步骤, 做到心中有数。
- ④ 使用化学药品的安全防护, 要做到防毒、防爆、防火、防灼伤。
- ⑤ 实验前应认真学习相关仪器的使用说明, 严格按照实验设备的相关规程操作, 保证人身和仪器的安全。
- ⑥ 实验过程应认真细致, 不得中途离开, 必须有人看管正在进行的实验。
- ⑦ 实验后要保证整洁有序, 妥善处理有毒有害的废液及废气。实验用品使用完毕后要放到指定的区域, 不得随意乱摆。
- ⑧ 公共用品做到节约, 正确使用, 并要遵循用后复位的原则。

1.3.3 实验室常见事故的预防和处理

化工专业实验涉及内容比基础实验广泛得多,安全观念要贯彻在整个实验过程。化学化工实验室许多物质具有易燃、易爆、有腐蚀性和毒性或放射性等特性,有时还要在高压、高温或低温、高真空条件下操作,此外,还要涉及用电和仪表操作等方面的问题,因此安全意识极为重要。

(1) 火灾的预防和灭火

在化学实验中,很多溶剂、药品是易燃的,而且很多操作和化学反应需要加热,因此在实验中防火十分重要。要预防火灾的发生必须注意以下几点:①操作和处理易燃、易爆溶剂时,应远离火源,加热时必须采用具有回流冷凝管的装置,且不能用明火加热;②实验前应仔细检查仪器,实验装置安装一定要正确,操作必须规范;③实验室里不许存放大量易燃物。一旦发生火灾事故,应首先切断电源,然后迅速将周围易着火的物品移开。向火源撒沙子或用石棉布覆盖火源。有机溶剂燃烧时,在大多数情况下,严禁用水灭火。当衣服着火时,应立刻用石棉布覆盖着火处或赶快脱下衣服,火势大时,应一面呼救,一面卧地打滚。

(2) 爆炸事故的预防

在化学工程与工艺专业实验中,发生爆炸事故的原因大致如下。①某些化合物容易爆炸,例如有机过氧化物、芳香族多硝基化合物、硝酸酯等受热或敲击均会爆炸。含过氧化物的乙醚蒸馏时,有爆炸的危险,事先必须除去过氧化物。芳香族多硝基化合物不宜在烘箱内干燥。乙醇和浓硝酸混合在一起,会引起极强烈的爆炸。②仪器装置不正确或操作错误,有时会引起爆炸。

实验中发生爆炸其后果往往是严重的,为了防止爆炸事故的发生,一定要注重以下事项:①仪器装置应安装正确,常压或加热系统一定要与大气相通;②在减压系统中严禁使用不耐压的仪器,如锥形瓶、平底烧瓶等;③在蒸馏醚类化合物之前,一定要检查并除去有机过氧化物后,再蒸馏,切勿蒸干;④在使用易燃易爆物如氢气、乙炔等或遇水会发生激烈反应的物质如钾、钠等,要特别小心,必须严格按照实验规定操作;⑤有些化合物因反应过于激烈会使体系热量和气体体积突然猛增而发生爆炸,对这类反应,应严格控制加料速度,并采取有效的冷却措施,使反应缓慢进行。

(3) 中毒事故的预防

反应中产生有毒或腐蚀性气体的实验,应在通风橱内进行或应装有吸收装置,实验室要保持空气流通。有些有毒物质易渗入皮肤,因此不能用手直接拿取或接触化学药品,更不能在实验室内吃东西。剧毒药品应有专人负责保管,不得乱放,使用者必须严格按照操作规程进行实验。

(4) 化学灼伤

强酸、强碱等化学药品触及皮肤均可引起烧伤,因此在使用或转移这类药品时要十分小心。如果被酸、碱灼伤,应立即用大量水冲洗,然后再用以下方法处理:①酸液或碱液溅入眼中时,立即用大量水冲洗。若为酸液,再用1% (质量分数) 碳酸氢钠溶液冲洗。若为碱液,则再用1% (质量分数) 硼酸溶液冲洗,最后用水洗。重伤者经初步处理后,急送医院。若溴液溅入眼中,按酸液溅入眼中事故作急救处理后,立即送医院治疗;②皮肤被酸、碱或溴液灼伤时,伤处首先用大量水冲洗。若为酸液灼伤,再用饱和碳酸氢钠溶

液洗；若为碱液灼伤，则再用1%（质量分数）醋酸洗。最后都用水洗，再涂上凡士林。被溴液灼伤时，伤处立刻用石油醚冲洗，再用2%（质量分数）硫代硫酸钠溶液洗，然后用蘸有油的棉花擦，再敷以油膏。灼烧严重的经急救后应速送医院治疗。

（5）割伤和烫伤

在玻璃工操作或使用玻璃仪器时，要预防割伤，玻璃工操作一定要规范，玻璃仪器使用要正确。被玻璃割伤为轻伤时，应及时挤出污血，并用消毒过的镊子取出玻璃碎片，用蒸馏水洗净伤口，涂上碘酒或红汞水，再用绷带包扎；如果为严重割伤引起大量出血，应在伤口上方用纱布扎紧或按住动脉防止大量出血并立即到医院医治。当被烫伤时，轻伤应在伤处涂以苦味酸溶液、玉树油、蓝油烃或硼酸油膏，重伤者应立即送往医院。

（6）实验室安全用电

教师必须掌握实验室安全用电的相关知识，并指导学生不断熟悉遇到险情时的处理办法。

检查带电设备是否漏电，使用试电笔最为方便。用试电笔检查漏电，只是定性的检查，欲知电器设备外壳漏电的程度还必须用其他仪表检测。保护接地是用一根足够粗的导线，一端接在电器设备的金属外壳上，另一端接在接地体上（专门埋在地下的金属体），使与大地连成一体。一旦发生漏电，电流通过接地导入大地，降低外壳对地电压。当人体触及外壳时，流过人体电流很小而不致触电。保护接零是把电器设备的金属外壳接到供电线路系统中的中性线上，而不需专设接地线与大地相连。由于中性线电阻很小，短路电流很大，会使保护开关动作或使电路保护熔断丝断开，切断电源，消除触电危险。在保护接零系统内，不应再设置外壳接地的保护方法。设备绝缘情况应经常进行检查。

实验室用导线种类很多，其允许安全载流量在有关手册中可以查到。在实验时，应考虑电源导线的安全载流量。不能任意增加负载而导致电源导线发热造成火灾或短路事故。合理配线的同时还应注意保护熔断丝选配恰当，不能过大也不应过小。过大失去保护作用，过小则在正常负荷下熔断而影响工作。熔断丝的选择要根据负载情况而定，可参看有关电工手册。

第2章

专业实验的组织与实施

开展以培养学生的创新精神和实践能力为核心的化学工程与工艺专业实验课程，逐步形成有利于学生全面发展的创造性实验教学的模式体系。其具体的组织与实施可分为三个步骤：实验方案设计和实施、实验技术和方法的确定、实验数据的处理与评价。

2.1 实验方案设计和实施

实验方案设计是在实验之前对专业实验进行的总体把握和全面构想及规划。实验方案的设计及实施都要紧紧围绕实验目的、实验要求、实验对象的特性展开。富有合理性、科学性、严谨性的实验方案才能保证实验工作顺利展开和实验结果合理可靠。因此，实验方案的设计要做到如下几点。

- ① 科学性：实验原理准确，实验流程合理。
- ② 安全性：保护人身安全、保护环境、保护仪器。
- ③ 合理性：条件允许，效果明显，操作正确。
- ④ 简约性：做到步骤少、时间短、效果好等基本要求。

实验方案的实施主要包括：实验设备的设计与选用；实验流程的组织与实施；实验装置的安装与调试；实验数据的采集与测定。实施工作通常分三步进行，首先根据实验的内容和要求，设计、选用和制作实验所需的主体设备及辅助设备。然后，围绕主体设备构想组织实验流程，解决原料的配置、净化、计量和输送问题，以及产物的采样、收集、分析和后处理问题。最后，根据实验流程，进行设备、仪表、管线的安装和调试，完成全流程的贯通，进入正式实验阶段。

2.2 实验数据的处理与评价

实验研究的一个重要环节是通过实验数据获得真实的、可靠的、有价值的实验结果。而实验结果是否可靠，是否准确，是否真实地反映了对象的本质，不能只凭经验和主观臆断，必须应用科学的、有理论依据的数学方法加以分析、归纳和评价。一方面要分析、估计所测数据的可靠程度，即精确性的分析和估计；另一方面，要将可靠的实验数据加以整理、归纳，寻求各变量之间的相互关系，以反映事物内部的规律性，即实验数据的处理与评价。

2.2.1 实验现象观察与数据记录

在化学工程与工艺专业实验中，真实记录实验原始数据、认真观察实验现象不但能培养学生实事求是认真探索的实验素质，也是分析结果准确可靠的前提。在进行实验现象观察与数据记录中，需做到如下几点。

- ① 实验原始数据一律写在记录本上，不允许将数据记在纸片或其他位置。

② 数据记录必须及时、清晰、准确，一目了然，要求实事求是，切忌夹杂主观因素，更不能随意涂改、编造实验数据。

③ 实验中记录的实验数据，其数字的准确度应与分析的准确度相适应，即记录到最末一位可疑数字为止。

④ 如果实验中发现数据记录有误，如测定错误、读数错误等需要改动原记录时，可将要改动的数据用一横线划掉，在其上方写出正确结果，并注明改动原因。

⑤ 实验现象的观察一定要尊重事实，认真观察，并及时记录观察到的现象，杜绝实验结束凭借记忆书写实验现象。观察和记录实验现象的同时要思考出现此实验现象的原因。

2.2.2 实验数据的误差分析和处理

实践证明，实验数据的误差分析和处理在评判实验结果及设计实验方案方面都有重要的指导意义。下面结合本课程的特点及化工过程中的具体情况，阐述这些内容。通过这一环节，要求学生掌握有关实验数据的误差分析及处理的基本方法。

(1) 误差的定义和分类

误差是实验测量值与真值之差。误差的大小表示每一次测量值相对于真值不符合的程度。根据误差的性质及产生的原因，可将误差分为系统误差、随机误差和粗大误差三种。

系统误差

由某些固定不变的因素引起的。在相同条件下进行多次测量，其误差数值的大小和正负保持恒定，或误差随条件改变按一定规律变化。即有的系统误差随时间呈线性、非线性或周期性变化，有的不随测量时间变化。

产生系统误差的原因：①测量仪器方面的因素（仪器设计上的缺点，零件制造不标准，安装不正确，未经校准等）；②环境因素（外界温度、湿度及压力变化）；③测量方法因素（近似的测量方法或近似的计算公式等）；④测量人员的习惯偏向等。

总之，系统误差有固定的偏向和确定的规律，一般可按具体原因采取相应措施给予校正或用修正公式加以消除。

随机误差

由某些不易控制的随机因素造成的。在相同条件下作多次测量，其误差数值和符号是不确定的，即时大时小，时正时负，无固定大小和偏向。随机误差服从统计规律，其误差与测量次数有关。随着测量次数的增加，平均值的随机误差可以减小，但不会消除。因此，多次测量值的算术平均值接近于真值。研究随机误差可采用概率统计方法。

粗大误差

与实际明显不符的误差，主要是由于实验人员粗心大意，如读数错误、记录错误或操作失败所致。这类误差往往与正常值相差很大，应在整理数据时依据常用的准则加以剔除。

(2) 精密度、正确度及准确度

在测量时，可以用误差表示数据的可靠性，也可以用精密度（简称精度）等概念来表示。习惯上所讲的精密度，通常是指误差，这种误差的来源、性质一般可用以下概念来描述。

精密度

精密度即重现性，反映了偶然误差的影响程度。偶然误差越小则精密度越高。如果仅

由偶然误差引起的实验相对误差为 0.1%，则可认为精密度为 10^{-3} 。

正确度

正确度是指在一定的测量条件下，没有偶然误差的影响，测量值与真值的符合程度，是测量中所有系统误差的综合。它反映了所有系统误差对测量值的影响，系统误差愈小则正确度愈高。如果仅由系统误差引起的实验相对误差为 0.1%，则可认为其正确度为 10^{-3} 。

准确度

准确度是指在测量过程中，测量值与真值之间的符合程度，是所有偶然误差及系统误差的综合。它反映了偶然误差及系统误差对测量值的影响程度，准确度越高则表示系统误差及偶然误差越小。也可以说准确度表示的是测量值与真值之间的符合程度。如果由偶然误差及系统误差引起的测量的相对误差为 0.1%，则测量值的准确度为 10^{-3} 。

对于实验或测量而言，精密度好，并不表示正确度一定好，反之亦然。但是准确度好则必须是精密度和正确度都好。

(3) 有效数字与实验数据的处理原则

有效数字的定义

- ① 一个近似数，四舍五入后的所有数字（左边的零除外）都是有效数。
- ② 用仪表测量的读数，连估计的那一位数在内算作有效数。

有效数字计算法则

① 加减法则——进行加减时，所保留的小数点后的位数，应与所有数中小数位数最少的相同。

例：将 10.55、0.0062、2.427 三个数相加，处理方法是：

$$10.55 + 0.01 + 2.43 = 12.99$$

② 乘除法则——进行乘除时，保留的位数应以有效数字位数最少的为准。

例：将 0.0126、55.58、2.0338 三数相乘，处理方法是：

$$0.0126 \times 55.6 \times 2.03 = 1.42$$

③ 数字舍进原则——当有效数字位数确定后，多余的数字应舍去，舍去的原则可用四舍五入法。

例：23.347 取三位时为 23.3，取四位时为 23.35。

实验数据的书写规范与整理

- ① 记录的数据应是有效数字。
- ② 对于数量很大或很小的数应写成 $A \times 10^n$ 形式。

例：1400 = 1.40×10^3 ；0.0000725 = 7.25×10^{-5}

③ 当记录的数据很多时应列成表格，表内数据要编号，并标注名称和单位，单位要写在名称栏内。

④ 记录数据代入有关公式的计算结果应整理成数据表，表内数字也应符合有效数字原则。

⑤ 整理后的数据用公式或曲线表示其规律性。

曲线坐标的选择

- ① 坐标纸大小的选定以作出的图形便于阅读为宜。

② 坐标纸类型的选定 当验证前人的实验结果时,因实验数据的规律已知,首先选用前人的坐标类型。常用的坐标类型如下:

$y=nx+b$	线性方程	选用直角坐标纸
$y=ax^n$	指数方程	选用双对数坐标纸
$y=ae^{bx}$	以 e 为底的指数方程	选用半对数坐标纸

其他方程略。凡是新实验所得数据,无法判断其规律性时可按下列顺序试选坐标纸:

直角坐标→双对数坐标→半对数坐标→其他坐标

2.2.3 实验报告要求和内容

通过实验前的认真预习和实验后的全面总结,不仅能提高专业实验课的教学效果,还能加深学生对理论课内容的理解,增强学生做实验的积极性,培养和锻炼学生的自学能力、综合和总结能力,为此后的课程设计、毕业设计(论文)打下良好基础,对毕业后参加工作和科学研究也大有裨益。因此,撰写预习报告和实验报告是化学工程与工艺专业实验教学的重要环节。

(1) 实验报告的要求

为不做重复劳动,预习报告和实验报告可使用同一份实验报告纸,实验报告可在预习报告的基础上继续补充相关内容而完成。因此,预习报告必须做到全面和规范,预习报告不是实验教材内容简单的摘抄,而需要根据实验目的和内容查阅相关理论资料,熟悉并掌握实验原理,预测实验过程中可能出现的现象和问题,计算实验数据的理论值,设计具体详细的实验方案和原始数据记录表。实验具体实施过程中,要一边测量,一边记录数据,但是为了实验报告的准确、整洁,应该把实验测量数据先记录在实验记录本上,整理时再抄写到实验报告上,以免错填数据,多次修改。同时,在实验中如果发生实验测量数据与事先的计算数值不符,甚至相差过大,应及时找出原因,是原来的计算错误,还是实验过程的测量有问题,不能不了了之,甚至需要及时重做实验或补测相关数据,这样才算完成本次实验。实验报告不是简单的实验数据记录,在实验报告整理过程中必须对实验所得出的数据进行科学、合理的数据处理和分析,计算相对误差。一般相对误差在 5% 以下可以认为是基本吻合的,如果误差较大就应该有误差分析,找出具体原因。实验报告上应该有每一项的实验结论,需要对具体的实验数据和具体的实验现象进行分析和总结而作出结论,不能笼统地说验证了某原理或者发现某现象和规律。对于设计性、综合性实验要绘制所设计的技术路线或工艺流程,标出所选出和确定的工艺参数,要有验算过程和必要的设计说明,必要时需要绘制曲线,曲线刻度、单位要标注齐全,曲线比例合适、美观,并针对曲线作出相应的说明和分析。最后,实验报告须结合实验的具体内容、实验数据和现象完成实验教材或指导书上要求解答的思考题。

(2) 实验报告的内容

化工专业实验内容很多,也很广泛,实验报告一般可从以下几个方面展开撰写。

【实验名称】 本次实验的具体名称,不能只写明实验编号。

【实验日期和实验者】 在实验名称下面注明实验时间和实验者名字。这是很重要的实验资料,便于将来查找时进行核对。

【实验目的】 即本次实验所要达到的目标或目的,使实验在明确的目的下进行。

【实验基本原理】 本次实验所涉及的传质、传热、反应基本原理,数据测量或分析的基本方法。

【实验仪器和药品】 分类列出主要的仪器和药品,不能遗漏,并标注所用试剂的规格和浓度、仪器的规格和型号。因为,所用试剂的规格或浓度不同往往会得到不同的实验结果。注意仪器的型号与规格,如300mL烧杯、100mL量筒等。

【实验装置图或实验流程】 本次实验所涉及的实验装置、分析装置、实验工艺流程等。在预习报告中可事先用铅笔绘制,教材与实际会有出入,在整理实验报告时可根据具体实验过程的观察而修改。

【实验步骤】 根据具体的实验目的和原理来设计实验,写出主要的操作步骤,这是报告中比较重要的部分。此项可以了解实验的全过程,明确每一步的目的,理解实验的设计原理,掌握实验的核心部分,养成科学的思维方法。在此项中还应写出实验的注意事项,以保证实验顺利进行。

【实验记录】 准确如实地记录实验现象或数据。为表述准确应使用专业术语,尽量避免使用口语。这是报告的主体部分,在记录中,即使得到的结果不理想,也不能修改,可以通过分析和讨论找出原因和解决办法,养成实事求是和严谨的科学态度。

【实验结论和解释】 对于所进行的操作和得到的相关现象运用已知的理论知识去分析和解释,得出结论,这是实验联系理论的关键所在。

【评价和讨论】 此项是回顾、反思、总结和拓展知识的过程,是实验的升华,应给予足够的重视。在此项目中,学生可以在教师的引导下展开来写,如“你对本次实验的结果是否满意?为什么?如果不满意,你认为是什么原因造成的?如何改进?”,或“为达到实验目的,实验的设计可以如何改进?这样改进的优点是什么?”,或“你认为本实验的关键是什么?”等问题。此项内容是实验报告的重点和难点。

【思考题】 针对实验的具体内容、实验数据和现象完成实验教材上要求解答的思考题,这是对实验所涉及理论知识和技术方法的进一步升华和拓展,可以锻炼和培养学生的科学思维和归纳总结能力。

以上前九项和最后一项可包括在预习报告中,对于一些需要根据具体实验进一步完善或修改的项目可以事先用铅笔撰写,如实验装置与流程、实验记录表等,在整理报告时再进行修改和完善。

(3) 撰写实验报告的注意事项

① 以说明为主。即实验报告以说明为主,不用像记叙文一样进行生动细致的描写,不必描述主观感受。

② 必须如实记录,资料客观。实验报告所使用的资料都应是通过实验所观察到的现象和所获得的数据。这些内容应是客观、真实、确切的,不允许有半点虚假。

③ 尽量用图解辅助。图解可以增加实验报告的表达能力,比如实验装置有时较复杂,光靠文字无法完全说明,如果使用图解辅助,加上文字注解,就可以一目了然。图解有时也可以省略繁琐的实验步骤的表达。使用非标准仪器时,必须进行图解说明,使他人对本实验所用仪器能有一个感性认识。

④ 表达准确简明。准确就是按照实验的客观实际,使用专业名词术语,科学地表达意思;简明,就是在说明问题时语言简洁明了,避免冗长的句子和啰嗦含糊的表述。

(4) 实验报告的格式

实验报告的格式没有固定的要求,可以根据不同的实验类型设计不同形式的报告。

例如，对于验证性的实验，可以采用如下格式。

【实验名称】

【实验日期】

【同组人员】

【室温、天气】

【实验目的】

【实验仪器和药品】

【实验装置】

【实验内容】

实验步骤	实验数据或现象	解释及结论

【实验评价与讨论】

【思考题】

对于设计性、研究性和综合性实验，除了可以采用以上格式外，还可以采用类似于论文的格式，主要包括：

- ① 选择该项实验课题的目的和原因；
- ② 实验采用的仪器、药品和方法；
- ③ 实验依据的原理；
- ④ 实验步骤和实验记录；
- ⑤ 实验结果及分析；
- ⑥ 实验结论；
- ⑦ 实验评价与讨论；
- ⑧ 实验体会与思考；
- ⑨ 实验参考文献。

不管采用何种格式撰写实验报告，都必须完整、真实、客观地反映实验内容和结果，做到内容具体、层次清晰、逻辑严格、语言简洁。