

高等学校规划教材

化工原理实验指导

HUAGONG YUANLI SHIYAN ZHIDAO

纸数融合,新形态教材

贾广信 主编



化学工业出版社

TQ 02-33

214

高等学校规划教材

化工原理实验指导

HUAGONG YUANLI SHIYAN ZHIDAO

销售分类建议：化工类本科教材

ISBN 978-7-122-35332-0



9 787122 353320 >



化学工业出版社 | 教学资源网
www.cipedu.com.cn
专业教学服务支持平台

定价：34.00元

高等学校规划教材

化工原理实验指导

贾广信 主编

焦纬洲 李裕 李同川 副主编



化学工业出版社

·北京·

《化工原理实验指导》从章节布局、内容编排、数字化教学等方面着力体现“以学生为中心”的教学理念,明确“实验规划和实验设计能力,实验操作和科学研究能力,团队协作和沟通交流能力”提升的“结果导向”,引入全国大学生化工实验大赛评分标准,总结和凝练解决实际工程问题的实验研究方法,为实验全流程提供相关理论和实践指导。在部分实验教学过程中,按照“两性一度”的“金课”标准,开发出一些具有高阶性、创新性且具备挑战性的实验项目,为本课程的“持续改进”奠定基础。

《化工原理实验指导》共六章,内容涉及化工原理实验基础知识、工程实验研究方法、化工测量技术与常用仪表、化工原理基础实验、化工原理仿真实验、化工原理实训。

《化工原理实验指导》可作为普通高等院校化工、制药、环境、材料、能源、冶金、纺织、轻工及相关专业本科化工原理实验或相关技术课程的教材和教学参考书,也可供化工领域的科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工原理实验指导/贾广信主编. —北京: 化学工业出版社, 2019.10

高等学校规划教材

ISBN 978-7-122-35332-0

I. ①化… II. ①贾… III. ①化工原理-实验-高等学校-教材 IV. ①TQ02-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 223106 号

责任编辑: 马泽林 徐雅妮
责任校对: 王鹏飞

装帧设计: 韩 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 刷: 北京京华铭诚工贸有限公司

装 订: 三河市振勇印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张12 字数291千字 2019年11月北京第1版第1次印刷

购书咨询: 010-64518888

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: 34.00 元

版权所有 违者必究

为了提高化工基础实践课程的教学质量,持续改进和更新实践课程的教学内容,编者在原讲义“化工原理实践指导”的基础上,编写了《化工原理实验指导》教材。按照教育部高等学校化工类专业教学指导委员会和工程教育专业认证标准对化工原理实验课程的相关要求,针对普遍存在的实践环节薄弱问题,本书在内容编写上,注重以下几个方面。

1. 深入贯彻工程教育专业认证理念,“以学生为中心”编写教材内容,摒弃以往“以教师为中心”的编写模式,使教材内容更加适合学生理解和阅读;依据工程教育专业认证对本课程的相关培养目标进行了指标分解,注重结果导向,使实验教学过程更有针对性。

2. 梳理和总结解决实际工程问题的8种实验研究方法。包括数学模型法、量纲分析法、参数修正法在内的实验研究方法是经过化工技术人员长期科学实践验证的有效实验手段,是化工实践理论的精华。

3. 从实验前、实验中、实验后三个阶段进行全流程指导。实验前着重于流程设计、多变量实验规划、实验数据范围确定及数据布点等方面的指导,确保实验预习环节的质量;实验中着重于数据采集、安全规范、应急处置、消防环保等方面的指导,确保实验数值准确、安全可靠、符合规范;实验后着重于数据处理、软件作图、实验报告和实验论文撰写等方面的指导,确保数据处理准确、图表美观、实验报告撰写规范。

4. 每个化工原理基础实验均配有实验背景介绍,突出该实验的工程应用属性。

5. 每个实验项目在编写上强调实验的任务性、设计性和创新性,摒弃流程化教学模式。主要体现在:第一,几乎每个实验项目都以“实验任务”的形式分发给学生,学生对“实验任务”进行必要的实验方案设计后方可开展实验;第二,本书编入化工实验规划和流程设计相关内容,指导学生进行实验设计;第三,每个实验只给出“实验操作要点”,而不是详细的实验操作步骤,学生需要在遵守“实验操作要点”的基础上按照实验设计方案完成相应的“实验任务”,这样,给予了学生规划实验、创新实验的空间。

6. 引入数字化教学方式,通过扫描二维码拓展实验知识。在线资源丰富,除教学视频外,还有“项目式教学任务书”等,可满足学生多层次、个性化的学习需求。该方式既可提高学生实验预习过程的质量,也可降低教师的重复工作量,提升化工原理实验课堂的教学效率。

7. 引入两届全国大学生化工实验大赛西北赛区实验评分标准,提升学生实验操作规范性和实战性。该评分标准从实验准备、实验操作、实验报告、安全文明操作等方面对实验过程提出明确要求,对于化工原理实验教学具有一定指导意义。

8. 按照“两性一度”的“金课”标准,开发出具有高阶性、创新性,具备挑战性的实验项目。引导学生从实验设计、实验操作和实验总结全流程开展创新性教学实验,尊重学生开展工程科学实验的自主性和创造性,激发学生的实验兴趣,提升学生科学研究能力。

本书由中北大学化学工程与技术学院和中北大学化工综合国家级实验教学示范中心联合组织编写。贾广信担任主编,负责统稿。焦纬洲、李裕、李同川担任副主编,分别负责审稿、组稿和校对。全书由中北大学化工原理实验课程的一线任课教师共同编写。具体分工为袁志国(第5章)、张立新(第4章实验3、第6章实验3)、柳来栓(第4章实验11)、王苏(第4章实验16、17)、霍红(第4章实验1、2、9)、申红艳(第4章实验15)、赵慧鹏(第4章实验6)、康雪(第4章实验4)、李军平(第4章实验12)、李同川(第4章实验18、第6章实验4)、李裕(第4章实验5、8,第6章实验2)、焦纬洲(第4章实验7、13)、贾广信(第1~3章、第4章实验10、14,第6章实验1)。

本书在线资源由贾广信、焦纬洲、李裕共同制作,李同川担任在线资源视频顾问。

本书在编写过程中得到教育部高等学校化工类专业教学指导委员会副主任委员刘有智教授的亲切关怀,同时得到了祁贵生、王海宾、吴淑琴、高艳阳、高春强、董小瑞等专家学者的大力支持和热情帮助,在此表示诚挚感谢。

本书的出版得到了山西省“1331工程”化学工程与技术优势特色学科建设项目、山西省高等学校教学改革项目(J2019114“以工程实践能力培养为导向的化工类专业实践教学模式的改革与实践”)和(J2017065“化工原理课程立体学习系统的构建与实施”)、中北大学2019年高等教育教学改革创新项目“以项目式教学驱动面向新工科的化工原理实验课堂革命”和中北大学2017年教材建设立项项目的支持,在此表示特别感谢。此外,全书参考了近年来出版的诸多“化工原理实验”教材及各教学仪器、设备及软件说明书,在此一并表示感谢。

由于本书编写时间有限,书中难免有疏漏之处,恳请广大读者批评指正,便于后期修订。

编者

2019年9月

第 1 章 化工原理实验基础知识

1.1 化工原理实验的目的和要求	1
1.1.1 化工原理实验的特点	1
1.1.2 化工原理实验能力提升的目标和方法	1
1.1.3 化工原理实验课程内容	2
1.1.4 化工原理实验流程	3
1.1.5 化工原理实验评价	4
1.2 实验前的必备知识	5
1.2.1 如何进行实验流程设计	5
1.2.2 如何规划多变量实验	6
1.2.3 如何确定实验数据范围并合理布点	7
1.3 实验中的必备知识	8
1.3.1 如何采集实验数据	8
1.3.2 如何保证实验过程安全	8
1.3.3 如何处置实验过程的意外事故	12
1.3.4 如何使用实验室的消防设施	13
1.3.5 如何操作才符合环保规范	14
1.4 实验后的必备知识	14
1.4.1 如何处理实验数据	14
1.4.2 如何运用软件进行数据作图和数据拟合	16
1.4.3 如何撰写实验报告	16

第 2 章 工程实验研究方法

2.1 冷模实验法	18
2.2 直接实验法	19
2.3 数学模型法	19
2.4 量纲分析法	21
2.4.1 量纲分析法的具体步骤	21

2.4.2	量纲分析法的应用案例	21
2.4.3	数学模型法和量纲分析法的比较	22
2.5	参数修正法	22
2.6	过程分解与合成法	23
2.7	过程变量分离法	24
2.7.1	吸收塔传质单元高度的研究	24
2.7.2	板式精馏塔的塔板效率研究	25
2.7.3	液-液萃取过程萃取级的级效率研究	25
2.8	参数综合法	25
2.8.1	过滤常数的确定	26
2.8.2	传质系数的确定	26
	思考题	26

第3章 化工测量技术与常用仪表

3.1	化工仪表分类	27
3.2	压力和压差测量	27
3.2.1	液柱式压力计	27
3.2.2	弹性压力计	28
3.2.3	活塞式压力计	30
3.2.4	电气式压力计	30
3.3	流量测量	30
3.3.1	速度式流量测量方法	31
3.3.2	容积式流量测量方法	33
3.3.3	质量式流量测量方法	34
3.4	温度测量	36
3.4.1	接触式测温	37
3.4.2	非接触式测温	40
3.5	液位测量	41
3.5.1	直读式液位计	41
3.5.2	差压式液位计	41
3.5.3	浮力式液位计	42
3.6	功率测量	44
3.7	转速测量	44

第4章 化工原理基础实验

实验1	雷诺实验	45
实验2	伯努利实验(机械能转化)	47

实验 3	流体流动阻力测定实验	50
实验 4	流量计校正实验	56
实验 5	离心泵特性曲线测定实验	61
实验 6	离心风机特性曲线测定实验	64
实验 7	重力沉降和旋风分离器沉降实验	68
实验 8	过滤实验	70
实验 9	传热系数测定实验	74
实验 10	填料塔流体力学性能及传质系数测定实验	79
实验 11	筛板塔精馏实验	86
实验 12	特殊精馏实验	91
实验 13	液-液萃取实验	96
实验 14	流化床干燥实验	101
实验 15	洞道干燥实验	106
实验 16	无机陶瓷膜分离实验	111
实验 17	有机膜分离实验	114
实验 18	变压吸附实验	119

第 5 章 化工原理仿真实验

实验 1	离心泵输送控制仿真实验	125
实验 2	精馏系统仿真实验	130

第 6 章 化工原理实训

实验 1	流体输送综合实训	140
实验 2	传热综合实训	151
实验 3	精馏综合实训	164
实验 4	管路拆装实训	177

参考文献

二维码目录

全国大学生化工实验大赛西北赛区全环节实验评分标准	5
运用 Excel 软件处理数据	16
功率测量	44
转速测量	44
雷诺实验相关资源	47

伯努利实验（机械能转化）相关资源	50
流体流动阻力测定实验相关资源	56
流量计校正实验相关资源	60
离心泵特性曲线测定实验相关资源	64
离心风机特性曲线测定实验相关资源	68
重力沉降和旋风分离器沉降实验相关资源	70
过滤实验相关资源	74
传热系数测定实验相关资源	78
填料塔流体力学性能及传质系数测定实验相关资源	85
筛板塔精馏实验相关资源	91
特殊精馏实验相关资源	96
液-液萃取实验相关资源	101
流化床干燥实验相关资源	106
洞道干燥实验相关资源	111
无机陶瓷膜分离实验相关资源	114
有机膜分离实验相关资源	119
变压吸附实验相关资源	124
流体输送综合实训相关资源	151
传热综合实训相关资源	164
精馏综合实训相关资源	177

第1章 化工原理实验基础知识

化工原理实验属于工程实践范畴，主要包含化工原理基础实验、仿真实验和实训。它是学生运用化工原理理论和工程实验方法来解决化工实际工程问题的重要实践课程。

化工原理实验在化工类专业教学过程中占有不可替代的重要地位。对于初步接触化工单元操作的学生或有关工程技术人员，通过化工原理实验，不仅可以掌握各种化工单元操作的工程知识和数据处理方法，而且可以学习到处理复杂工程问题的一系列实验研究方法。由于化工过程问题具有复杂性，并且受许多工程因素影响，因此很难从理论上作出定性或定量分析。学习并采用化工领域经过实验验证行之有效的“工程实验研究方法”，设计和开展相应的实验获得相关的结论就显得十分必要。

1.1 化工原理实验的目的和要求

1.1.1 化工原理实验的特点

化工原理实验是一门指导人们研究和处理化工过程实际问题的实践课程。该课程具有显著的现实性和特殊性。

(1) 化工原理实验与化工原理课堂教学、课程实习、课程设计等教学环节相互衔接，构成一个有机整体。

(2) 化工原理实验是学生接触到的工程性、实践性较强的实验课程。它不同于普通物理、无机化学、有机化学、分析化学、物理化学等基础课实验，每个化工原理实验项目都相当于化工生产中的一个单元操作，通过这些实验能够建立起一定的工程概念。

(3) 在化工原理实验过程中会遇到大量的工程实际问题。学生可以有效地学到工程实验方面的概念、原理及测试手段；可以发现复杂设备与工艺过程同描述这一过程的数学模型之间的关系；还可以掌握如何利用化工基本理论和方法，对复杂的实际工程问题进行合理简化、准确表述，并顺利开展研究工作，为化工单元操作过程的设计和应用奠定基础。

因此，在化工原理实验课程中，学生将在思维方法、工程实践能力、创新能力、团队协作能力等方面得到培养和锻炼，为今后工作和研究奠定基础。

1.1.2 化工原理实验能力提升的目标和方法

根据“学生中心、结果导向、持续改进”的工程教育认证理念，结合教学大纲，学生将实现以下三方面能力的提升。

(1) 实验规划和实验设计能力 能够根据特定实验项目的总体要求，通过预习实验内容、学习实验原理、设计实验方案、制订实验步骤和安全事项，掌握典型的解决实际工程问

题的实验研究方法，具备一定的实验规划和实验设计能力。

(2) 实验操作和科学研究能力 能够根据实验方案和实验步骤，熟练操作常见的流体输送、传热、传质及相关分离设备，正确获取实验数据，能够运用现代工具软件进行实验数据处理、作图和数据回归分析。能对实验结果进行分析和讨论，并做出科学解释，具备一定的实验操作和科学研究能力。

(3) 团队协作和沟通交流能力 能够通过团队协作方式主动承担和顺利完成特定实验任务，能够规范地撰写实验研究报告，具备一定专业技术交流能力。

可通过以下五方面实践训练来达成以上目标。

(1) 深入学习处理实际工程问题的研究方法 化学工程相关专业在长期发展中，已经形成了一系列处理工程实际问题的研究方法。本书通过查阅文献和自主整理，凝练出冷模实验法、直接实验法、数学模型法、量纲分析法、参数修正法、过程分解与合成法、过程变量分离法、参数综合法八种工程实验研究方法。这些方法已经在工程实践中得到验证并行之有效。

(2) 透彻理解化工原理理论课程的理论和概念 化工原理实验与化工原理理论课程教学相互衔接，互为补充。化工原理实验是学生巩固传递原理和化工单元操作的理论知识，学习与之关联的其他相关知识的重要途径。

(3) 融会贯通化工相关领域的知识和技术 化工原理实验除涉及需要学生掌握的化工原理基础知识外，还融合了其他一些领域的知识，如温度、压力、功率、液位、转速等物理量的测量技术知识；实验室用电、用气、用水等化工安全知识；Excel、Origin 和 Matlab 等工具软件在化工中的应用；环保、消防、应急处置、过程控制等方面的基础知识。通过化工原理实验，学生对化工相关领域的知识也会有一定的学习和实践，这将拓宽学生化工相关领域的知识面，一定程度提高学生的工程实践素养。

(4) 项目式和案例式教学实践提升实验研究能力 理工科高等院校的学生，必须具备一定的实验研究能力。按部就班、固定模式的传统实验方法已经不能适应学生的要求。将化工原理实验逐步细化为一个个生动的工程实践案例和一个个具备实操实训的化工微项目，无疑可以激发学生实践兴趣，给学生一定的实验自由度，使实验项目具有一定的挑战性，进而达到提升学生实验研究能力的目的。

(5) 严格执行实验评定标准，培养严肃认真的科学态度 严肃认真的科学态度是化工从业者的必备素养。如果在实验过程中粗心大意、敷衍了事，轻则实验数据不好，得不出正确结论，重则会造成设备或人身事故，造成重大损失。为此，对每个化工原理实验均应该从实验预习、实验操作、数据处理、撰写实验报告等各个环节制定详尽的实验评定标准并严格执行，促进实验人员养成严肃认真的科学态度。

1.1.3 化工原理实验课程内容

化工原理实验课程内容包括实验基础理论和实验两大部分。

(1) 实验基础理论

① 化工实验基础知识，包括实验特点、实验目标、实验内容、实验流程、实验评价，实验前的流程设计、多变量实验规划、实验数据范围确定及数据布点，实验中的数据采集、安全规范、应急处置、消防环保，实验后的数据处理、软件作图、实验报告和实验论文撰写等内容；

② 处理工程问题的实验研究方法论，包括量纲分析法、数学模拟法在内的八个研究方法；

③ 化工测量方法和控制技术，主要包括压力、流量、温度、液位、功率、转速等基础内容。

(2) 实验 为了适应不同专业、不同层次的教学要求，本书共编写了三类实验。

第一类，化工原理基础实验。针对化工原理理论课程中的流体流动、流体输送、非均相分离、传热、吸收、精馏、萃取、干燥、膜分离、吸附等单元操作开设的化工原理单元操作实验。

其中流体流动单元操作包括雷诺实验、伯努利实验（机械能转化）、流体流动阻力测定实验、流量计校正实验；流体输送单元操作包括离心泵特性曲线测定实验、离心风机特性曲线测定实验；非均相分离单元操作包括重力沉降和旋风分离器沉降实验、过滤实验；传热单元操作包括传热系数测定实验；吸收单元操作包括填料塔流体力学性能及传质系数测定实验；精馏单元操作包括筛板塔精馏实验和特殊精馏实验；萃取单元操作包括液-液萃取实验；干燥单元操作包括流化床干燥实验、洞道干燥实验；膜分离单元操作包括无机陶瓷膜分离实验和有机膜分离实验；吸附单元操作包括变压吸附实验。

第二类，化工原理仿真实验。在化工原理实验教学过程中，每个单元操作实验之前均需要进行化工原理仿真实验，鉴于篇幅所限，本书只介绍离心泵输送控制仿真实验和精馏系统仿真实验。

第三类，化工原理实训。重点对流体输送、传热、精馏、管路拆装过程开展综合性的实践训练。这4个实训是化学工程与工艺专业必选项目。

根据工程教育专业认证质量标准，化工原理实验课时为30~60学时，可安排6~12个不同类型的实验。针对不同专业、不同层次的教学对象，可对实验教学内容进行组合调整。实训课另计学时。

1.1.4 化工原理实验流程

中北大学的化工原理实验流程主要包括实验预约、实验预习、实验操作、撰写实验报告四个步骤（图1-1）。在实验前、实验中、实验后分别进行预习考核、操作考核和实验报告考核三项考核。

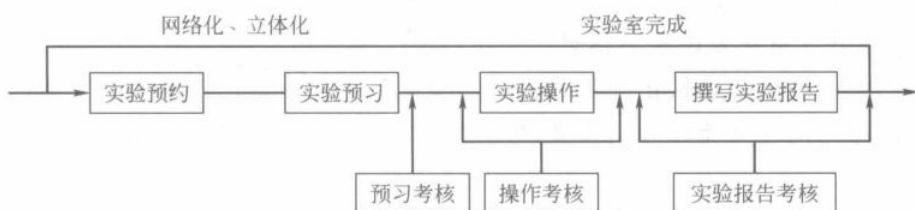


图 1-1 实验流程及实验考核示意图

(1) 实验预约 为进一步提高化工原理实验的教学质量，方便学生针对实验项目和实验时间做出合理化安排，建议采用网络预约形式协助学生完成实验选课，且每套设备使用人数不超过3人。

(2) 实验预习 学生必须认真阅读化工原理实验教材，复习化工原理理论知识。对每个实验提前进行预习，基本了解实验目的、实验内容和实验装置情况，进行必要的实验规

划和流程设计,认真按照要求撰写实验预习报告,才可以进入实验室开展实验前准备工作。

(3) 实验操作 实验操作主要包括正确启动设备、测定读取记录原始数据、整理和处理实验数据三个环节。该过程是整个实验教学中最重要的环节,要求学生在该过程中能够正确操作实验设备,认真观察实验现象,如实记录实验数据,并在实验结束后用计算机进行实验数据处理。

(4) 撰写实验报告 能够对实验数据处理结果和实验过程进行分析讨论,运用自己的理论知识对实验结果进行科学合理的理论解释,并提出自己的见解。

1.1.5 化工原理实验评价

实验成绩主要由实验预习成绩、实验操作成绩和实验报告成绩三部分组成。化工原理实验课成绩由所选实验成绩取算术平均值得到。

(1) 实验预习成绩评定标准 实验预习是对所做实验项目、实验内容、实验仪器、实验操作过程提前熟悉、了解,并做必要规划设计的过程。该过程不仅要反映在实验预习报告上,而且必须做到心中有数。

① 主要考核形式 实验预习报告+预习前讲解及回答提问。

② 预习报告评定标准 内容完整、图表规范、实验步骤清晰、书写认真等。

③ 预习报告常见问题 内容不完整,有缺项;流程图只有图没有图标,或者有图标序号,但没有说明序号代表的设备名称;没用铅笔绘图;没用直尺绘图;字迹潦草等。

④ 预习前讲解及回答提问标准 能够流利讲解实验内容,能够准确回答教师提问。

⑤ 预习环节常见问题 进实验室前没有预习或者抄袭预习报告导致不了解实验内容;写了预习报告但不会讲解;讲解重点不突出;表述不清晰等。

(2) 实验操作成绩评定标准

① 实验准备阶段 要熟悉实验装置,检查核对设备、仪表、阀门、管路、液位、按钮、钢瓶、试剂等的性能参数,提前确定调节范围。对实验过程中可能存在的安全及环保问题进行初步分析和判断。

② 实验操作阶段 能够按照一定的操作顺序正常开启实验设备,合理调节相关控制点,使整个装置处于稳定状态。

③ 实验数据采集阶段 能够正确测定并读取实验数据,能够规范使用各种测量仪器,测量操作正确。能够通过拍照、录视频、用秒表计时等方式辅助采集和固定实验数据和实验过程,随时关注并保留重要的实验信息。

④ 实验结束阶段 能够按正确步骤关闭实验设备,使设备、仪器恢复初始状态。

⑤ 团队协作与沟通交流评分 主要从小组人员分工、协调配合、沟通交流等方面进行考核。

⑥ 实验过程安全文明评分 主要从实验着装、操作的规范性、实验现场整洁程度及实验过程中学生是否有安全和环保意识等方面进行考核。

(3) 实验报告成绩评定标准

① 数据处理 对在实验过程中获取的所有数据、图片和视频等信息进行合理化和规范化处理。

② 计算举例 能够运用 Excel、Origin、Matlab 等软件进行数据计算。以其中一组实验数据为例,按照相关要求,进行相应的数据处理。

③ 实验结果 能够运用 Excel、Origin、Matlab 等软件将计算结果通过图、表等其他形式展现出来，并辅以适当的文字来描述图、表中各参量的变化情况。经常有实验者将“实验结果”的文字描述内容写在“分析与讨论”的位置，这是不正确的。

④ 分析与讨论 分析与讨论是检验实验者是否能运用已有理论知识对实验现象和结果进行合理化解释的重要环节，也是实验评价的关键指标。分析与讨论可从以下方面展开：
a. 对实验过程中的异常现象进行分析与讨论，说明影响实验的主要因素；
b. 从理论上对实验所得的结果进行分析；
c. 将实验结果与他人的实验结果进行对比，分析实验结果的异同并解释；
d. 分析实验结果在生产实践中的价值和意义，预测推广和应用效果等；
e. 对实验图表中的数据拐点和异常数据点进行解释和说明；
f. 由实验结果提出进一步的研究方向，对实验方法和装置提出改进建议等；
g. 分析实验误差的大小和产生原因，提出降低实验误差的具体方法和途径。

全国大学生化工实验大赛西北赛区全环节实验评分标准请扫描二维码阅读。



全国大学生化工实验大赛西北赛区全环节实验评分标准

由于化工原理实验的相关理论知识纷繁复杂，必要时可在所有实验结束后增加卷面考试环节，以总结和提高实验教学效果。

1.2 实验前的必备知识

面对全新的实验任务和实验项目，如何进行实验流程设计、如何规划多变量实验、如何确定实验数据范围并合理布点，是实验人员需要考虑的问题。

1.2.1 如何进行实验流程设计

流程设计是化工原理实验过程中的一项重要工作。化工实验装置是由各种单元设备和测试仪表，通过管道、阀门、管件等连接件组合而成的整体，因此在掌握了实验原理，确定了实验方案之后，要根据相关要求和规定进行实验流程设计，并根据设计结果搭建实验装置，以完成实验任务。

化工原理实验流程设计的内容如下。

(1) 选择主体设备 主体设备就是在整个实验过程中起到关键作用的设备，是实验工作的重要载体。例如，在流体输送机械实验中，不同型号及性能的泵就是主体设备；在精馏实验中，不同结构的板式塔或填料塔就是主体设备；在传热实验中，不同结构的换热器就是主体设备。

(2) 确定检测点和检测方法 为了获取完整的实验数据，必须设计足够的检测点，并配备有效的检测方法。在实验中需要测定的数据，可以分为工艺数据和设备性能数据两大类：

工艺数据主要包括物料的流量、温度、压力及浓度，主体设备的操作压力和温度等；设备性能数据主要包括主体设备的特征尺寸、功率、效率、处理能力等。

(3) 确定控制点和控制手段 设计流程必须要确定完备的控制点和控制手段，以保证整套实验装置是可操作和可控制的。可操作就是既能满足正常操作的要求，也能满足开、停车等操作的要求；可控制就是能控制外部因素扰动的影响。

化工原理实验流程设计的步骤如下。

① 根据实验基本原理和实验任务，选择主体单元设备，再根据实验需要和操作要求配套附属设备。

② 根据实验原理找出所有的原始变量，据此确定检测点和检测方法，并配置必要的检测仪表。

③ 根据实验操作要求确定控制点和控制手段，配置必要的控制或调节装置。

④ 画出实验流程图。

实验流程图主要包括工艺流程图和带控制点的工艺流程图。这两个流程图部分内容相同，但前者应包括物料流向、主要操作条件、物料组成、设备特征等信息，后者还应包括所有的管道，以及检测、控制、报警系统等。

化工原理实验中应该要求学生绘制带控制点的工艺流程图。绘制步骤：a. 画出主体设备及附属设备示意图；b. 用标有物料流向的直线，将各设备连接起来；c. 在相应设备或管路上标注出检测点和控制点。

1.2.2 如何规划多变量实验

化工实验中常用的实验规划方法如下。

(1) 正交实验设计法 正交实验设计法是用正交实验表安排多变量实验的方法，是研究者进行科学研究的重要而常见的方法之一。

该方法的特点是：①完成实验项目所需的实验次数少；②实验数据点分布均匀；③可以很方便地应用方差分析方法、回归分析方法等对实验结果进行处理，获得许多有价值的信息。

采用正交实验设计法，可以在变量较多和变量之间存在相互影响的情况下进行实验设计。而且可以通过实验数据的统计分析直接获得因变量与各自变量之间的关系式。此外，还可鉴别出各自变量对实验结果的影响程度，进而确定哪些变量的影响是重要的，需要在实验研究中重点考虑；哪些变量的影响是次要的，可在研究过程中做一般考虑。

(2) 均匀实验设计法 均匀实验设计法是将实验点在实验范围内均匀分布的一种实验设计方法，它需要通过配套的均匀设计表来安排实验。当实验因素变化范围较大，需要取较多水平数时，均匀设计可以大幅度减少实验次数。对均匀实验设计法设计的实验所得的数据结果进行分析，可以判定所考察的因素中哪些是主要的，哪些是次要的，从而确定出最好的实验条件，得到最优方案。

(3) 序贯实验设计法 序贯实验设计法是一种近年来在国内外开始运用的先进的科学实验研究方法。它的基本思想是：在预设计并完成部分必要数量的实验后，用计算机进行数据处理，提炼出所得信息，依据特定准则，寻求出后续最佳实验条件点，完成该条件点下的实验后，继续进行信息处理与下一最佳实验条件点的搜索，如此，较快地从少量的实验中获得高精度的研究结果。

在以数学模型参数估计和模型筛选为目的的实验研究过程中，非常适合采用序贯实验设计法。这样，实验信息在研究过程中得到有效交流反馈，保证实验者及时对实验方案进行调整，使后续的实验安排在较优条件下进行，从而节省大量的人力、物力和财力。

1.2.3 如何确定实验数据范围并合理布点

在实验规划中，正确选择实验变量的变化范围和安排实验点的位置是十分重要的。如果变量的变化范围或实验点的位置选择不恰当，会浪费时间、人力和物力，最终导致错误的结论。

在实验布点时应当有意识地在曲线拐点、曲线变化比较剧烈的数据范围内适当多布点，在变化规律不明显的范围内适当少布点，以最大限度减少实验工作量。例如，在离心泵特性曲线测定实验过程中，随着流量 q_V 的增大，离心泵的效率 η 先是随之增大，到达最高点之后，流量再增大，离心泵的效率随之降低，参见图 1-2。图中 η - q_V 曲线最高点附近应该多布点，另外，如果 q_V 变化范围较窄，将得不到完整的变化规律。若将有限的实验结果进行外推，则将导致错误的结论。

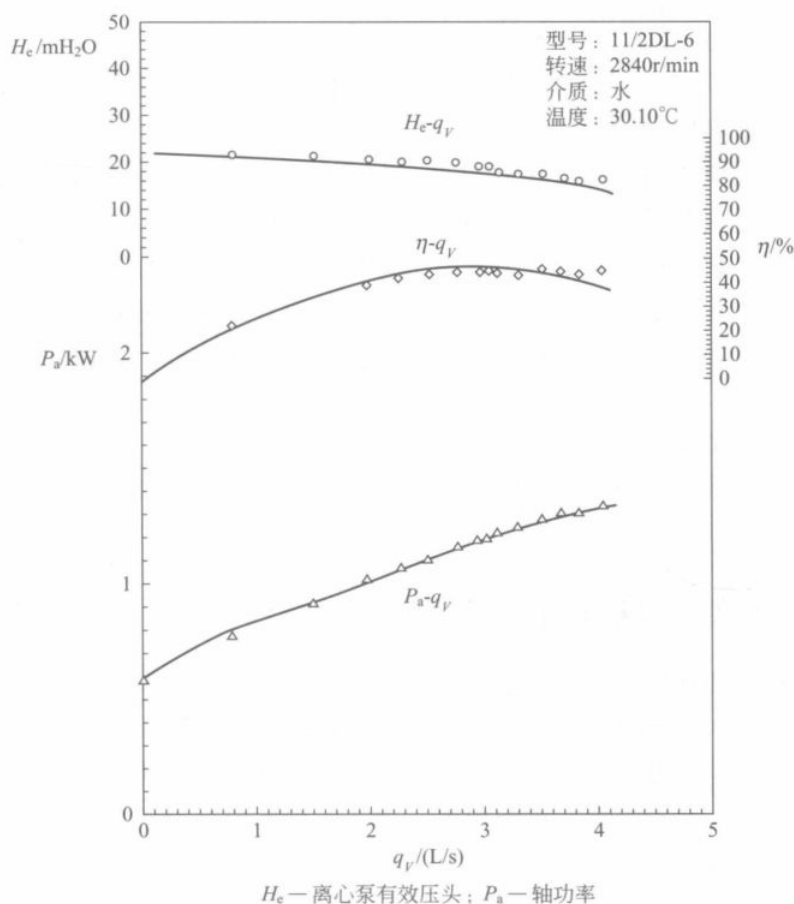


图 1-2 离心泵特性曲线

这个例子说明，如果实验设计存在缺陷，靠精确的实验技巧或高级的数据处理技术都不能弥补。相反，选择适当的实验变量范围和实验点的位置，即使数据少些，最终也能达到实验目的。因此，在化工原理实验中，恰当的实验变量范围和实验点位置比实验数据的精确性更为重要。