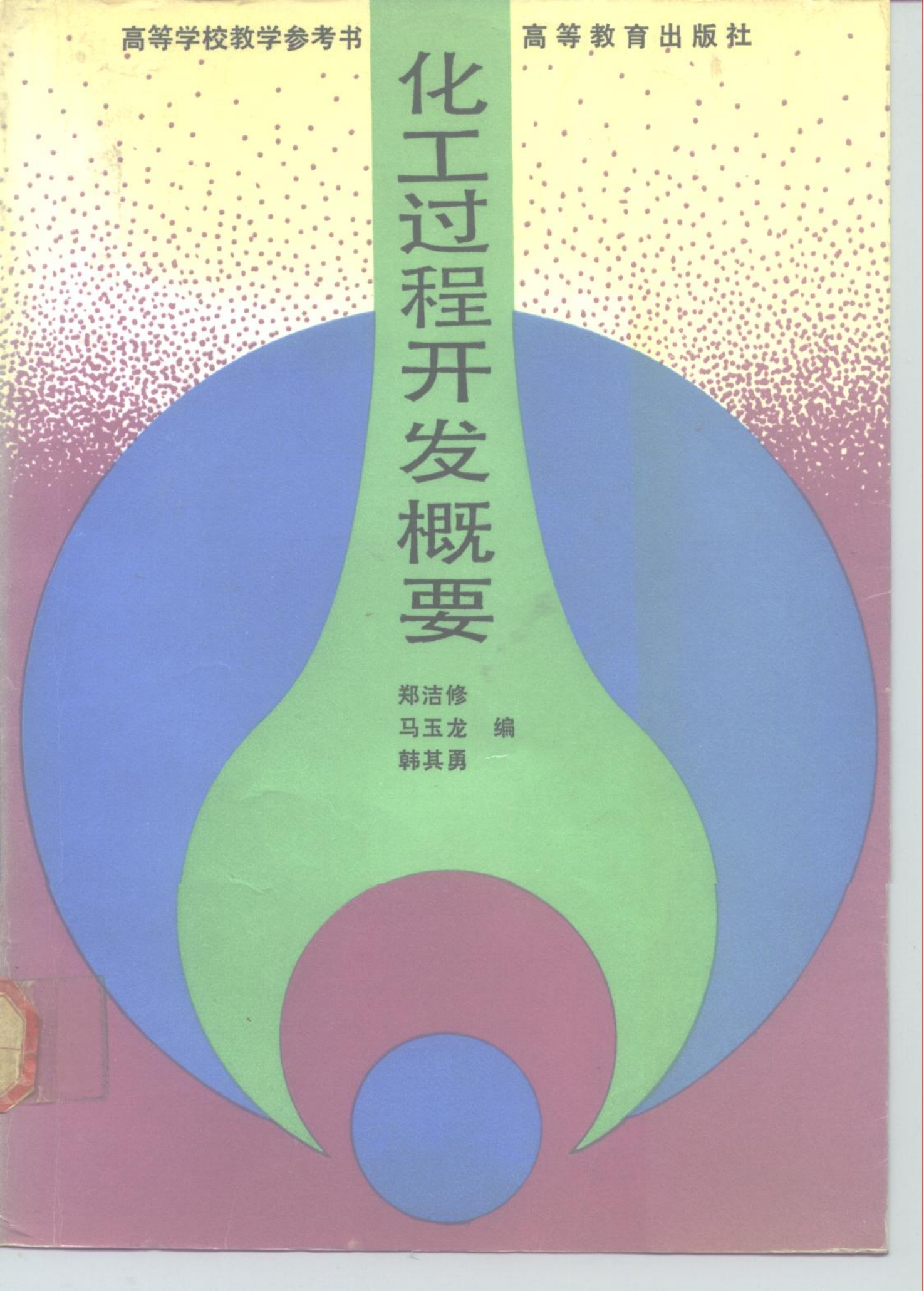


高等学校教学参考书

高等教育出版社

化工过程开发概要

郑洁修
马玉龙 编
韩其勇



TQ02
137

352793

高等学校教学参考书

化工过程开发概要

郑洁修 马玉龙 韩其勇 编



高等教育出版社

(京)112号

内 容 提 要

本书简要、系统地介绍了有关化工过程开发的基本知识,开发放大的试验研究方法和技术经济评价方法。全书共分为概述,开发放大的方法,试验,技术经济资料,反应器及其放大,技术经济评价,市场预测和生产规模,项目投资和成本估算,技术成果鉴定、专利申请和技术合同等九章,可供高等学校理科化学系开设“化工过程开发”课程参考。

本书由郑洁修主编,曹正修校阅,参加编写的有马玉龙(第七章和第八章),韩其勇(第四章和第九章)。

2003/09



清华大学出版社出版
新华书店总店北京科技发行所发行
文字六〇三厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 12 插页 1 字数 268,000

1991年10月第1版 1991年10月第1次印刷

印数 00,001—1,910

ISBN 7-04-003498-0/O·1001

定价 4.80 元

前 言

随着我国城乡经济体制改革和科学技术体制改革的深入开展,以及党中央关于“经济建设必须依靠科学技术,科学技术工作必须面向经济建设”这一战略方针的深入贯彻,社会对于人才素质的要求也正在发生深刻变化。振兴经济,实现“四化”所迫切需要的,不单纯是知识型人才,还应是能够联系实际,分析问题和解决问题的技能型人才。因此,高等学校理科作为人才培养的主要基地之一,决不能满足于向学生传授知识,而应在传授知识的基础上,培养学生运用所学知识,联系生产实际分析问题、解决问题的能力,使他们在社会主义建设事业中早日发挥作用。

理科化学专业学生作为未来的化学科学工作者,所应具备的能力是多方面的。但是面向国民经济建设,直接为化工生产服务所必须的基本知识和能力,则一向为理科学生所欠缺。为了加强化学科学技术与生产实际的联系,使实验室研究成果尽快而有效地推广应用,并转化为生产力,在理科化学系开设“化工过程开发”课程,训练和培养学生从事应用与开发研究工作的能力,已愈来愈受到各理科院校的重视。有些院校自1986年始,即对开设这门课程进行了探索。

由于化工过程开发属于综合应用技术,涉及多种学科知识和技术,而开发工作进程所包含的步骤和环节又比较复杂,因此,不可能对理科化学专业学生就化工过程开发的内容作全面而深入的介绍。但根据理科化学专业培养目标和学生知识基础及接受能力,要求他们了解化工过程开发的步骤和内容,掌握技术开发的思维方法,提高他们联系生产实际开展应用与开发研究的能力,则是可以做到的。

根据现代科学技术和工业生产发展的要求,在化工过程开发中,化学科学研究人员和化学工程技术人员的结合点已由实验室推进到了模型试验或中间试验现场。这一发展趋势,更要求科学研究人员的思想方法和知识结构能够保证在化工过程开发工作中与工程技术人员通力合作。

基于以上认识,并接受“全国高等学校理科化学教材编审委员会化工基础编审小组”的委托,我们以自编讲义为基础,根据历年来,特别是1989年全国理科化工过程开发教材编审会议上各兄弟院校教师的意见,编写了这份《化工过程开发概要》教材,供理科院校化学系开设“化工过程开发”课程试用和参考。教材内容主要有以下三个方面:

1. 化工过程开发的内容、步骤和有关的名词概念;
2. 开发放大方法和试验研究方法;
3. 技术经济评价的思想、内容和方法。

由于这门课程的开出是理科化学专业教学改革中的新事物,而我们在过程开发方面的知识和教学经验又深感不足,教材中难免会有错误或不妥之处,望批评指正。

编 者 1990年7月

目 录

前言

第一章 概述..... 1

第一节 化工过程开发步骤..... 2

一、基础研究..... 2

二、收集技术经济资料..... 2

三、概念设计..... 3

四、技术经济评价..... 3

五、模型试验..... 4

六、中试..... 4

七、基础设计..... 5

八、工程设计..... 5

九、建立生产装置..... 5

第二节 选题和立题报告..... 5

一、课题的性质和来源..... 5

二、立题报告..... 6

第三节 过程研究和工程研究..... 7

一、小试与概念设计的关系..... 7

二、模型试验与技术经济评价的关系..... 8

三、中试和基础设计的关系..... 8

第四节 放大程度和开发周期..... 9

一、放大程度..... 9

二、放大效应..... 10

三、开发周期..... 10

第二章 开发放大方法..... 11

第一节 逐级经验放大法..... 11

一、研究方法..... 11

二、特征..... 12

第二节 数学模拟法..... 14

一、数学模型..... 15

二、研究方法..... 16

三、特征..... 17

第三节 部分解析法..... 23

一、研究方法..... 24

二、研究步骤..... 25

三、特征..... 26

第四节 相似放大法..... 31

一、研究方法..... 31

二、特征..... 34

三、数量放大法和比例放大法..... 35

第三章 试验..... 37

第一节 试验工作程序..... 37

一、拟订试验计划..... 37

二、进行试验..... 38

三、撰写试验报告..... 38

第二节 预试验和系统试验..... 39

一、预试验..... 39

二、系统试验..... 40

第三节 模型试验..... 41

一、物理模型试验..... 41

二、数学模型试验..... 43

第四节 中间工厂试验..... 43

一、中试的内容和任务..... 43

二、中试装置..... 44

三、化学反应过程中试..... 45

第五节 试验方案设计..... 46

一、黄金分割法..... 47

二、正交设计法..... 48

第六节 试验数据处理..... 50

一、测量数据的代表值..... 51

二、试验数据的表达方法..... 52

第四章 技术经济资料..... 59

第一节 专门资料..... 59

一、物性数据..... 59

二、化学平衡数据..... 59

三、转化率和收率..... 60

四、化学反应速率..... 61

五、物料衡算和能量衡算..... 62

六、流程图..... 67

第二节 外围资料..... 67

一、原料方面的资料..... 68

二、产品方面的资料	68	第六章 技术经济评价	101
三、副产品方面的资料	69	第一节 技术经济评价内容	101
四、能源方面的资料	69	一、价值标准的概念	101
五、厂址选择方面的资料	69	二、评价内容	101
第五章 反应器及其放大	71	第二节 评价方法	105
第一节 间歇操作搅拌釜	71	一、专家评价法	105
一、反应时间	72	二、直观判断法	105
二、最佳反应时间的选择	72	三、经济评估法	108
三、放大时应注意的问题	74	四、价值工程评价法	109
第二节 管式反应器	76	第三节 选择原料路线和技术路线	
一、活塞流管式反应器的设计方程	76	的原则	110
二、非活塞流管式反应器放大	77	一、选择原料路线的原则	110
三、等温操作的最佳温度	79	二、选择工艺技术路线的原则	111
四、放大时应注意的问题	80	第四节 技术可靠性分析	112
第三节 连续操作搅拌釜	82	一、生产步骤的技术可靠性	112
一、理想混合反应器的设计方程	83	二、单元操作的技术可靠性	113
二、多釜串联反应器的设计方程	83	三、物料性质对于技术可靠性的影响	113
三、串联釜数、各釜转化率和温度的最佳设计	84	四、化工机械和传动机器的技术可靠性	113
四、由间歇操作釜放大成连续操作釜	85	五、测量调节系统的技术可靠性	114
五、放大时应注意的问题	86	六、提高生产薄弱环节技术可靠性的措施	114
第四节 其它反应器型式	87	第七章 市场预测和生产规模	115
一、循环(回路)式反应器	88	第一节 市场预测的内容和程序	115
二、多段进料的活塞流反应器	88	一、市场预测内容	115
三、半间歇式鼓泡反应器	88	二、市场预测程序	116
四、多段进料串联釜	88	第二节 市场预测方法	117
五、连续操作鼓泡式反应器	88	一、定性预测法	117
六、逆流填料塔式反应器	89	二、定量预测法	117
七、逆流板式塔反应器	89	第三节 生产规模的确定	129
八、固定床催化反应器	89	一、控制因素	129
九、沸腾床反应器	90	二、最佳经济规模	129
第五节 选择反应器	90	三、开工率	131
一、根据物料相态选择反应器型式	91	第八章 项目投资和成本估算	133
二、根据传热要求选择反应器型式	91	第一节 投资估算	133
三、从相际传质角度考虑反应器型式	94	一、工艺装置投资估算	134
四、从转化率和选择性考虑反应器型式	95	二、公用工程及罐区投资估算	135
第六节 反应器材料	96	三、其它工程费用估算	137
一、碳素钢、合金钢等黑色金属材料	97	四、开工费、管理费和未可预见费估算	138
二、铅、铝、钛等有色金属材料	98	五、流动资金估算	138
三、耐酸搪瓷及其它无机耐腐蚀材料	98	第二节 产品生产成本估算	138
四、塑料、橡胶和玻璃纤维增强塑料	99	一、成本组成	139
		二、设备折旧	140

三、成本估算.....	141	三、职务技术成果和非职务技术成果.....	152
第九章 技术成果鉴定、专利申请和		四、风险责任的承担.....	152
技术合同	143	五、技术成果的归属和分享.....	153
第一节 技术成果鉴定	143	六、国家的推广使用权.....	153
一、科技成果的内容.....	143	七、技术合同争议的仲裁和诉讼.....	154
二、需要鉴定的成果和能够鉴定的成果.....	144	附录	155
三、申请鉴定应具备的条件.....	144	[附录一] 厂区布置.....	155
四、鉴定内容.....	144	[附录二] 大气、水源及土壤的卫	
五、鉴定形式.....	145	生防护.....	158
六、鉴定步骤.....	146	[附录三] 环境影响的评价.....	165
七、鉴定委员会的组成和职责.....	146	[附录四] 实验室反应器.....	168
第二节 技术成果专利申请	146	[附录五] 线性最小二乘法求数学	
一、中国专利法的保护对象.....	147	模型参数.....	164
二、授予专利权的实质条件.....	147	[附录六] 贮存物品的火灾危险性分类...	178
三、专利申请、审查和批准.....	148	[附录七] 腐蚀速度单位换算.....	180
四、专利权的期限.....	149	[附录八] 搅拌器型式.....	181
第三节 技术合同	149		
一、技术合同及其条款.....	150		
二、技术合同类型和各方的主要义务.....	150		

第一章 概 述

各种新产品、新工艺和新技术,在它们实现工业化之前,大都是从实验室研究开始并以实验室研究成果的形式出现的。但是由于物料处理量的大小悬殊,化学实验室和化工生产之间的差别很大,实验室成果不能全面反映工业生产的实际情况。例如:

(1) 实验室装置一般为间歇操作,而生产装置多数为包括若干分离步骤在内的连续操作。关于连续化以后可能出现的工艺技术问题,以及整个生产流程中各工艺步骤之间的配合问题,在实验室研究中无法得知。

(2) 实验室研究一般不考虑物料返回利用的问题,而化工生产则必须考虑未反应物料的循环。由于物料循环对工艺过程带来的影响,以及由此而引起的杂质积累对工艺过程和产品质量的作用,在实验室研究中无法了解。

(3) 由实验室得到的产物样品,往往是在精密控制反应条件、采用纯净物料及严格配比的条件下制备的;而工业生产中的原料纯度和操作条件的控制,都很难达到实验室的水平。因此,最终产品的产率、质量和性能,不能以实验室提供的样品为标准。

(4) 实验室研究设备的容量很小,很难对大型工业设备中必然出现的许多工程因素(如传热、传质、流动与混合等)作充分考察。

(5) 实验室研究由于受到设备材质、功能等方面条件的限制,操作参数往往只能在有限的范围内改变,在实验室条件下确定的操作条件,未必能作为工业装置的最佳工艺条件。

(6) 实验室研究一般不考虑设备腐蚀对生产和产品带来的影响,而生产设备则必须考虑材料腐蚀及防腐问题。

因此,化学实验室研究成果直接应用于大规模化工生产是不可能的。此外,化工生产还必须考虑原材料的品级和供应渠道;产品的质量及市场销售;副产物回收及综合利用;能源供应及消耗定额;三废治理及环境保护等技术经济问题。所以在实验室研究完成后,还必须对研究成果进行多种形式的研究和反复论证,深入考察在实验室条件下无法考察的各种工程技术问题,并论证放大成为工业规模的可行性。只有经过论证,认定可为设计生产装置提供完整数据,技术上可靠,经济效益显著,才能进一步建立生产装置投入工业生产。这种由实验室研究到建立生产装置的全过程,即谓之新产品、新工艺或新技术的开发过程,统称为“化工过程开发”。

由此可见,化工过程开发是一种综合性的工程技术。它包括实验室研究,放大的模型或模拟研究,工程和工艺方案的技术经济评价,生产装置的设计、安装、调试以至试生产等许多步骤;并涉及化学、化学工艺、化学工程、化工机械、测量与控制、经济分析及系统优化等多种学科领域。因此,必须把整个开发过程看作一个系统,使系统内各个相互联系和相互作用的要素协调配合,才能合理而有效地完成开发任务。

虽然化工过程开发的步骤繁多,且研究与考察的内容又十分广泛,但归纳起来,主要是放大和优化两个方面的工作。如果能够保证这两项工作顺利进行,则化工过程开发任务即可圆满完成。

第一节 化工过程开发步骤

化工过程开发是从立项开始,经过研究、设计、建设到一项新产品、新工艺或新技术投入生产的整个过程。一般是在基础研究和收集技术经济资料的基础上,深入开展工艺条件和工程放大研究以及技术经济评价等方面的工作,以取得设计和建立生产装置、进行生产以及销售经营所需要的数据和资料。其步骤大体可概括如下:

一、基础研究

化工过程开发的基础研究,不同于通常相对于应用研究而言的基础理论研究,而只是相对于开发研究而言的基础研究。通常是对经过初步论证和可行性评价之后的开发研究课题,针对过程开发需要而进行的实验室研究。其主要研究方法大多是采用实验室规模的间歇操作,筛选工艺路线和确定工艺条件,了解过程特征,确定分析方法,并测定必需的物性数据和催化剂性能等。必要时,还需要测定一些化工单元操作的基础数据,如“液泛速度”、“传质系数”等,这是为随后的技术经济评价和概念设计提供依据。

基础研究不仅要考虑化学反应的特征和影响反应过程的因素,而且还要涉及各种工艺条件和各个工艺步骤对整个工艺过程的影响。尤其是基础研究进入按照工艺流程建立小型工业模拟装置进行模拟试验时,其考察内容及范围更为广泛。虽然这种模拟装置较之生产工艺装置在规模和操作条件等方面相距甚远,但仍可取得许多有关工程和工艺方面的重要信息和可靠数据。在化工过程开发中,一般都习惯于称这种小型工业模拟试验研究方式为“小试”。

二、收集技术经济资料

化工过程开发需要收集的技术经济资料是十分广泛的,除了开发放大和过程优化所需的一切技术资料外,还有原料、产品、副产品、能源以及地理环境等方面的许多重要技术经济信息。其中由试验研究所得到的结论、判据和数据,只是所需资料的一部分,其它信息资料则需要通过社会调查或者文献调查收集。

对于从文献收集的资料或从某些专门机构取得的资料,有时还要对它们的时效作出预测。例如原料价格和原料供应量,产品销售价格及销售量等等,都会随时间变化。有关这方面的数据,如果来源于以往的调查,则现行价格、供应量和销售量已与资料收集的数据不同;如果来源于过程开发之初的社会调查,则待过程开发完成之后,行情又可能发生变化。因此,对资料进行时效预测是提高资料准确性和可靠性的一种措施。最常采用的预测方法是根据已知变化趋势外推,但外推结果应在开发过程中随时根据实际变化予以调整。

为了便于查阅和应用,对于收集的资料应加以甄别、分类,并按一定要求和规格整理。

三、概念设计

概念设计又称为“预设计”。它是根据开发基础研究结果及收集的技术经济资料，对预定规模的工业生产装置进行的假想设计，亦即对工业化方案提出的初步设想。概念设计的目的在于检验基础研究结果是否符合要求；估计技术方案实施后的主要技术经济指标及经济效益；确定模型试验或中间工厂试验的内容、重点及规模；并估计为技术方案实施而可能承担的风险。

概念设计的内容主要包括：原料和成品规格；生产装置规模的估计；工艺流程图及简要说明；物料衡算和热量衡算；主要设备的规格、型号和材质要求；检测方法；主要技术经济指标；投资和成本估算；投资回收期预测；三废治理的初步方案；以及对于中试(或模型试验)研究的建议等等。

概念设计是化工过程开发初期提出的，设计的依据主要是实验室研究结果和收集的技术经济资料以及有关推论和计算结果。这时许多技术经济信息尚不完全或尚不能确定，还不足以作为建立工业装置的依据，但用于检验前一段工作，指导以后的开发研究，以及对于开发方案作出合理评价，都具有重要意义。

概念设计是设计者综合开发初期收集的技术经济信息，通过分析研究之后，对开发项目作出的一种放大设想方案。在概念设计时，应注意以下问题：

- ① 设计者应着眼于合理安排流程，注意整个流程中各个步骤的配合；而不能单纯追求化学反应过程的优化目标，以致给反应前后其它步骤造成困难；
- ② 应尽可能从理论分析和计算中寻找技术方案的依据，即使此时的分析结论和计算数据可能来自文献和经验估计，因而不一定可靠，但对于方案的评选仍然有较高价值；
- ③ 应采用流程系统进行物料衡算、热量衡算、以及投资和成本估算。

四、技术经济评价

技术经济评价是在化工过程开发工作中对开发项目进行技术可靠性和经济合理性的考察，以便对技术方案和开发工作进行决策。

技术经济评价应贯穿开发工作的始终，其评价程序如下：

1. 初步评价

初步评价是在选题或确定开发项目时决定取舍所进行的评价，又称为“立题评价”。评价的依据主要为文献资料和社会调查资料，有时也从简单的探索试验中收集一些数据和判据。如果评价获得肯定结论，则可立题进行开发研究。

2. 中间评价

中间评价是在化工过程开发中，对开发研究的各个阶段结果作出评价。其目的是判断阶段研究结果的可行性；决定继续投资进行下一阶段研究的必要性；以及对开发方案提出改进意见。评价依据是阶段研究报告和收集的有关技术经济资料。如果评价结果肯定，则可进行技术方案设计和确定进一步研究的内容；否则应中止开发研究工作。

3. 最终评价

最终评价又称为“工业化评价”或“项目评估”，是在开发工作后期进行的评价。其目的是为了决定可否投资建设生产装置。评价的依据是开发研究报告、市场研究报告等技术经济资料。如果评价结论肯定，即可进行设计、制造和建立生产装置。

通过技术经济评价可以形成正确的设计思想，甚至发现设计的判据或数据不足。当对评价结论提出质疑时，则应将有关质疑的问题返回重新研究，补充研究数据或修正研究结果，并重新作出评价。

五、模型试验

模型试验一般是对单一过程进行模拟，并在模型设备中进行的试验研究。其目的是深入认识过程特征，考察影响过程的因素以及测定过程放大的判据或数据。

模型试验的规模一般比基础研究的规模大，它是在基础研究之后对被开发的过程所作的一种放大考察，因此，应着重注意各种工程因素对于过程的作用和作用规律，并观察放大效应和分析放大效应产生的原因。

模型试验通常有“冷模试验”和“热模试验”两种方式。前者是采用物理性质与实际工作介质相近的物料进行试验，单纯考察过程的物理规律；后者则是采用实际工作介质并用与实际工艺相同的条件进行的一种模拟工艺试验研究。两种试验研究的重点都侧重于考察工程和工艺问题。

当模型试验的规模很小时，有时可以将这一步骤并入实验室研究阶段，但其研究目标和研究内容并非基础研究。如果模型试验的规模较大，而考察内容又较全面，有时也可以取代中试。

六、中试

中试是“中间工厂试验”的简称。它是在基础研究和模型试验之后采用小于工业规模的半工业化模拟试验装置，对被开发过程所作的一种较全面的模拟试验考察。由于装置规模要比实验室小试的规模大得多，故可对生产工艺流程、设备结构、操作条件，以及测量控制等方面作较为全面的模拟，可为生产装置设计提供可靠的依据。

中试可以采用全流程试验，也可以采用部分流程试验，应视开发研究内容的侧重点和过程开发的难易程度而定。若中试必须检验全流程中各个工艺步骤之间的配合和连续运转的可靠性，则应作全流程中试。如果工艺流程中只有某一工艺步骤的放大无把握，而其它工艺步骤均有可靠的放大依据，则只需作部分流程试验或单一设备试验，寻求放大判据或测取有关放大设计数据。这种试验有时类似于模型试验。

中试是化工过程开发中一个重要的试验步骤。它能反映小试不易观察到的问题，尤其是各种工程因素的作用表现得比较充分，可以获得对于过程的深刻认识。但是试验耗资甚巨，试验周期较长，对于测控系统的要求较高，因此，中试内容及其装置设计都必须在可行性论证之后才能确定。

七、基础设计

基础设计是在最终评价获得肯定结论之后,依据中试研究结果及有关资料,针对工业装置进行的原则设计。它是开发研究成果的主要表现形式,可以作为技术转让的主要技术文件,也是工程设计的依据。

基础设计的内容包括生产装置说明,工艺流程及流程叙述,物料流程图及物料衡算表,热量衡算及设备热负荷计算,对于水、电、气、汽的要求及技术规格,对测量控制的要求及测控点流程图,设备名称、规格、型号明细表,工艺操作说明,“三废”治理方案、排放点和排放量,对生产安全的要求,仪表说明,消耗定额,有关物性数据及技术资料等等。

基础设计应由研究单位编制,由研究人员来承担。这一工作可以把基础设计和中试联系起来,使中试任务不仅限于取得中试结果,更重要的是使中试结果形成基础设计的形式,预测进一步放大的结果。研究人员应对基础设计负责。

八、工程设计

工程设计是依据基础设计编制的,它是用于指导建立生产装置的最终设计文件。其内容主要有:说明设计依据和设计程序的设计说明书,定型设备、零部件及原材料明细表,非定型设备施工图,工艺流程图,测点流程图,管系图,管线布置图,设备平面布置图和立面布置图等。此外,还有投资概算和消耗定额,以及三废处理装置,排放点和排放量等文件。这一任务由工程技术人员承担。

九、建立生产装置

建立生产装置是依据工程设计的图纸和文件,选购定型设备,制作非定型设备,安装生产装置,按工艺要求进行调试、开车和试生产。其中调试仍然是一种试验研究,通过调试可以调整优化工艺条件和验证数学模型。只有经过调试和试生产之后,才能证明建立的生产装置可以正常运转并能达到设计的工艺要求。到此为止,建立生产装置的任务才算完成,化工过程开发的任务也才结束。

第二节 选题和立题报告

选题是化工过程开发工作开展之前的重要工作,它关系到开发工作的成败。在选题时,应对立题项目进行可行性研究,并从技术可靠性、社会效益、经济效益等方面提出证明其为可行的立题报告。

一、课题的性质和来源

凡与化工新产品开发、生产技术改造以及新工艺和新技术的推广应用有关的研究项目,均属于化工过程开发课题。这类课题大都是根据国民经济发展需要和市场需求提出的,其研究

成果应能发挥较好的社会效益或经济效益。根据我国现行科研体制，这类研究课题主要有三个来源：

1. 纵向课题：指上级下达的课题，其中有国家发展规划内的课题，各部、委或地区规划内的课题，各行业的发展课题，以及各种性质的攻关课题等等。这类课题有远景规划和近期规划之分。一般来说，课题的目标和任务都十分具体，并且经过了立题论证，得出了肯定结论，对于国计民生和经济发展能发挥较重要的作用。对于这类课题的开发，应从完成课题提出的目标和任务考虑。

2. 横向课题：指委托研究的课题，一般由企、事业单位根据各自的发展需要提出课题，并委托研究单位进行研究。这类课题的范围一般较小，但目标和任务都十分明确，特别注意经济效益和市场竞争能力。对于这类课题的开发，应着重于技术、经济、环境和市场的综合考查和研究。

3. 自选课题：指研究人员根据文献调查和社会调查自行确定的研究课题。对于这类课题的选题，应注意以下几个方面：

① 自选课题应结合当前科学技术发展方向和化学工业的发展规划，充分考虑国民经济发展的需要。

② 从文献中选题，除了应考虑国家资源和技术经济政策外，还应了解市场需求等经济信息。

③ 从改造老产品和陈旧工艺的角度选题，则必须针对现有产品和现有工艺中存在的问题立题。

无论何种来源的课题，化工过程开发的选题和立题都必须认真进行可行性研究，分析课题研究开发与开发的有利因素与不利因素，用以判断其成功的可能性。

二、立题报告

一项技术开发课题是否可以立题，首先应考虑它是否符合以下四个条件：

1. 发展生产和市场需求

对于开发的新产品，应有广阔的市场，而且具有市场竞争能力；对于开发的新技术，应为发展生产所需要的技术，而不是陈旧或过时的技术。

2. 合理的原料路线

化工过程开发所需要的原料，应当来源稳定而充足，运输方便，价格合理而质量能符合生产要求。

3. 能生产出合格的产品

应预计采用的技术路线能生产出合格的产品，其工艺方法和技术措施应易于实现，而技术难度也应和操作人员的技术水平相适应。

4. 较好的经济效益和社会效益

通过粗略估计应能取得较好的盈利，预计在较短时期内可收回全部装置投资，其产品或技术应能填补国家或地区空白，对于促进地区或行业的发展具有重要意义。

总之，在撰写立项报告时，应充分做好国内外的调查研究。国外情况一般是从文献中了解；而国内情况，除了文献调查外，还应作社会调查，以便取得详实资料。必要时还可进行一些简单的探索性试验，取得对于选题更为直观的认识。

第三节 过程研究和工程研究

化工过程开发工作可以分为开发基础研究、过程研究和工程研究三种不同内容的研究工作。如图 1-1 所示。其中开发基础研究是对经过选题和立项可行性论证确定的开发项目，在实验室围绕一些基础内容进行的试验研究。这些基础研究内容包括有关技术路线和方法的筛选，了解工艺过程特点，初步筛选和确定工艺条件，测定某些必要的物性数据和确定分析方法等基础内容的试验研究。在化学学科中属于应用研究内容。它是化学学科在应用技术方面的探讨，也是化工过程开发程序中不可缺少的开发基础研究工作。

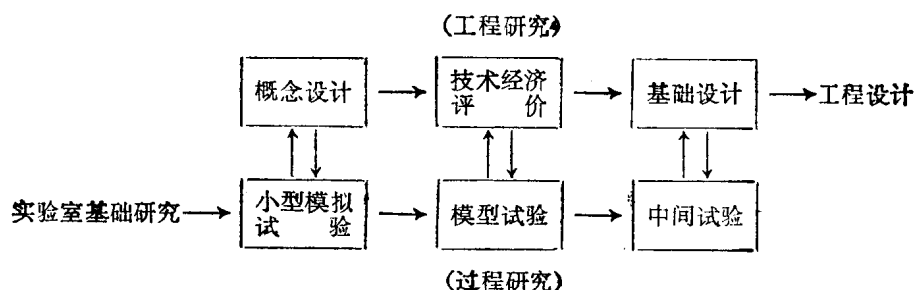


图 1-1 过程研究和工程研究的关系

过程研究是在对基础研究结果进行了技术经济评价，并提出了初步设想的工业化技术方案之后，针对该方案实现工业化的要求而进行的工业模拟和工程放大试验研究。它包括小型工业模拟试验、模型试验，中间工厂试验，原型装置试验等等。过程研究应侧重于探索工程因素对于过程的影响，并测取放大判据或者放大设计数据。

工程研究则包括可行性研究、技术经济评价、概念设计、基础设计等内容。它是化工过程开发的重要步骤，而且贯彻整个开发过程的始终。开发工作的质量、进度及成本在很大程度上取决于工程研究的水平。

过程研究和工程研究在化工过程开发中是两种不同性质的研究工作。前者借助于试验装置进行科学试验，为过程开发提供放大的信息和依据；后者则依赖于研究者和设计者的思维，运用他们的知识和经验，为化工过程开发提供决策。

从化工过程开发的程序看，过程研究为工程研究提供了分析判断的信息；而工程研究则是检验过程研究质量的重要环节，两者的关系十分密切。

一、小试与概念设计的关系

小试和概念设计相互关联，研究人员在实验室进行工业模拟小试甚至基础研究时，即应开始构思概念设计方案。这样才有利于运用技术经济观点指导试验研究工作，而且既保证了试

验研究为化工过程开发提供信息的要求,又容易形成正确的设计思想。

由于概念设计是对研究的项目提出一个工业化的初步设想,因此在实验室研究工作完成之后所作的概念设计,实际上是对实验室研究工作的总结和鉴定。一份正确的概念设计,对于指导以后的过程研究和工程研究都具有十分重要的意义。

按照以往的开发程序,一般是在小试研究成果鉴定之后,即转入中试研究,而且只把中试看作测取放大数据的手段而交给另外的人员来实施。这样的程序往往因小试结果未经概念设计的严格检验而造成失误。显然,如果小试研究尚不完善,就会使得依小试成果设计的中试装置不合理而致中试失败。如果把中试装置的设计建立在概念设计的基础上,由于概念设计保证了小试的完整性,则可以防止中试的失误。

概念设计的任务应由试验研究人员承担,因为只有他们最明确研究目标,最了解研究内容,由他们进行概念设计就可以将化工过程开发的要求、技术经济观点和过程的特征紧密的结合起来,从而促进了工程观念在实验室研究阶段的运用,既有利于提高实验室研究的效果,也避免了将概念设计委托他人,因研究人员和设计人员缺乏思想交流而造成设计错误。

二、模型试验与技术经济评价的关系

模型试验是在实验室基础研究和模拟小试之后进行的,其目的是考察因实验室研究规模和其他条件限制而不能考察的许多重要的工程因素,了解放大效应和测定有关放大判据或数据,并由此形成新的技术概念和技术措施。这些措施必须经过技术经济评价,确认其可靠性和合理性后方能采用。通过技术经济评价,还能发现模型试验存在的问题和需要补充考察的内容。因此,将技术经济评价和模型试验联系起来,及时将评价结果和发现的问题返回模型试验,必要时调整试验内容或改进试验方法,并对重新试验结果作出评价。这一工作程序,是将试验工作置于正确的设计思想指导之下,对于提高模型试验质量和技术方案设计的可靠性都是十分有利的。

三、中试和基础设计的关系

在以往的开发程序中,工业装置的设计一般依据中试结果,而化工过程开发的成果也往往只以中试结果来表达,因此,研究人员只对中试的结果负责;中试以后的设计任务,以及放大后由于出现问题而需要修改或重新设计的责任,则由设计人员来承担,以致使试验研究和工程设计脱节。这种程序不利于过程开发。为了避免这种现象,将工业装置设计划分为基础设计和工程设计两个阶段,并把基础研究和中试联系起来,使得中试任务不仅仅是取得中试结果,更重要的是以基础设计的形式来预测进一步的放大效果。这样,使研究人员不仅要对中试的结果负责,而且要对中试以后放大的后果负责,从而加强了研究和设计两者之间的密切配合。

基础设计是对中试研究结果的可靠检验。如果从基础设计中发现了中试结果不正确或者中试数据不齐全,必然将这一信息返回中试重新研究,直到取得的数据或判据符合基础设计的要求为止。这一程序,既保证了中试研究结果的可靠性,又保证了基础设计的质量。依据这样的基础设计来进行工程设计,则可避免放大设计的失误。

由此可见,开发工作从程序上加强了过程研究和工程研究之间的联系,既保障了研究人员和设计人员之间的分工与合作,又对研究人员提出了较高的要求。要求他们必须具备较广泛的工程技术知识;要求他们从最初的实验室研究开始就能够思考和分析工业化实施中可能遇到的技术经济问题,并能运用工程技术原理予以解决。

在化工过程开发中,首先了解和密切接触开发课题的是研究人员,在他们进行试验研究,取得对于过程的认识并形成技术概念后,才传输给设计人员。所以研究人员在化工过程开发中始终处于主导地位。他们的知识素养和工作经验是保证化工过程开发取得成功的关键。因此,充分发挥研究人员在化工过程开发中的主导作用是非常重要的。

第四节 放大程度和开发周期

放大程度和开发周期是化工过程开发工作中的两个基本概念。前者与开发项目的技术成熟程度以及所采用的放大方法有关;后者则与开发工作的难易程度有关。但两者是相互联系的。在深入讨论化工过程开发问题时,要经常运用这两个概念作为技术开发方案评价的指标。

一、放大程度

放大程度一般是指将实验室小试规模一次放大的倍数,故常用放大倍数来表示。由于放大倍数直接关系到开发研究的放大级数和中试规模,所以任何化工过程开发项目在进行试验研究之初就应当注意这个问题。

在实际开发工作中,实验室小试成果可能放大的倍数一般取决于对研究的过程规律掌握的程度和研究人员的实践经验。如果过程规律已经掌握,而实施的工艺技术又比较成熟,则放大的倍数可以提高,甚至可以取消中试,由实验室规模直接放大到生产装置。国外已报导的这种放大的成功实例仅有甲苯歧化一次放大 6 000 倍;丙烯二聚一次放大 17 000 倍;石油提升管催化裂化一次放大 8 000 倍等等几例^①。

目前绝大多数的化工过程开发项目还不能取消中试,因为许多重要的化工过程规律至今未能掌握,而又无一定的实施经验可供借鉴。因此,放大倍数一般不能过高,不然放大的技术规律不清,会严重影响放大的可靠性。

从化工过程开发的投资和速度考虑,过程放大已有朝着缩小中试规模的方向发展的趋势。如果中试的规模小,则投资节省,装置建设的速度快,而且试验、检测和修改的灵活性亦大;但由中试放大到生产规模的放大倍数太高,有可能影响最终放大设计的可靠性。因此,在设计中试装置时,首先应了解该过程可能实现的放大倍数。

现在有的微型中间工厂装置可以缩小到布置在实验室的试验台上。这种试验装置由于与大规模工业生产的差距太大,许多工程问题不能模拟,因此除非已有成熟的开发放大经验可循,一般不采用这种形式的中试。

^① 陈甘棠、梁玉衡编著,《化学反应技术基础》,p.5,科学出版社,1981。

二、放大效应

所谓“放大效应”是指化工设备或工艺装置放大之后，表现于大小两装置之间工艺结果的差别。例如化学反应器放大后与放大前的小试验比较，如果在相同的操作条件下，发现反应转化率、选择性、收率和产品质量等指标下降，一时又不容易查明这种下降的原因，则将此种现象归咎于放大效应。

由于化工过程开发的核心问题是放大，过程研究在很大程度上是寻找产生放大效应的原因和补偿的方法。如果能从掌握放大效应的由来和补偿办法取得放大判据和设计数据，则可避免设计的失败。

从化学反应器的放大来看，分析放大效应产生的原因主要是放大后造成物料流动与混合以及传热和传质等物理过程规律的改变。大多数的冷模试验，就是为了考察这些物理规律的变化程度。

放大效应在逐级经验放大法中表现得最为明显。每一级放大倍数都取决于放大效应的强弱。对于数学模拟放大法，如仍以化学反应器放大为例，由于是从解析过程规律导出数学模型，而在导出过程中即已充分考虑了反应器内各种物理过程对于化学反应结果所产生的影响，所以，严格地说，用数学模型进行反应器放大设计，不是装置放大，应不存在放大效应问题。

三、开发周期

化工过程开发的周期是指从立题开始直到建成生产装置投入生产所经过的时间。从开发程序看，即完成各个开发步骤所需时间的总和。

就逐级经验放大法而言，开发周期与放大倍数有着密切的关系。显然，放大倍数小，需要放大的级数增多，用于过程研究的时间就长，开发周期也长。当前在化工过程开发技术中，已逐渐采用数学模拟法和各种先进的研究手段，许多项目的开发周期都在日趋缩短，近五十年来，实际开发周期若不计实验室研究阶段的时间，大约从平均八年以上缩短到三年左右^①。依此发展，今后可能还会更短一些。

^① 陈甘棠、梁玉衡编著，《化学反应技术基础》，p.5，科学出版社，1981。