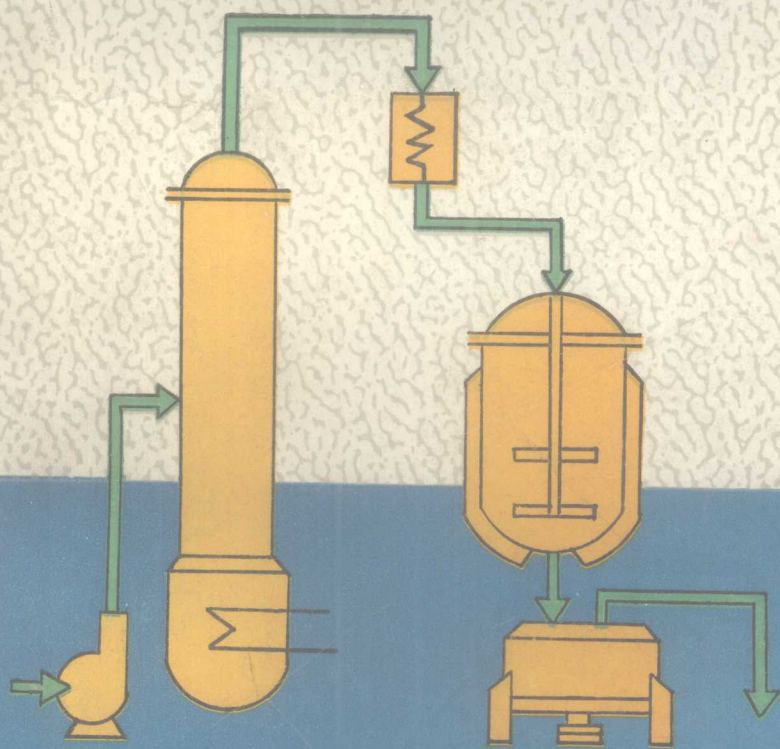


HUA GONG GUO CHENG KAI FA GAI LUN

化工过程开发概论

祖庸保宇 黄岳元 编著



陕西科学技术出版社

化工过程开发概论

祖庸 保宇

黄世元 编著



陕西科学技术出版社

(陕) 新登字第 002 号

化工过程开发概论

祖庸 保宇 黄岳元 编著

陕西科学技术出版社出版发行

(西安北大街 131 号)

西安电子科技大学印刷厂印刷

850×1168 毫米 32 开本 8.125 印张 20 万字

1994 年 8 月第 1 版 1994 年 8 月第 1 次印刷

印数: 1—1000

ISBN 7—5369—2134—9 / TQ·3

定价: 6.80 元

内容简介

本书比较详细的介绍了化工过程开发的内容、步骤和放大方法；试验研究方法、数据处理和模型的建立；化工设计与技术经济评价等。重点讨论了化学反应过程的开发。内容简明扼要，结合具体实例进行讨论。

本书除做高等化工院校的教材外，也可供从事化工过程研究和开发的工程技术人员参考。本书由祖庸主编。保宇主写第3、6章，黄岳元主写第4、5章，祖庸主写前言、第1、2、7章。

前 言

近代化学工业日新月异。化工产品、工艺方法、化工设备层出不穷。如何进行化工产品与设备的开发？如何增大放大倍数、缩短从实验室过渡到工业化的开发周期？一句话，改革开放以后如何使实验室的研究成果，尽快而有效地推广、应用、转化为生产力成为商品，是每一个化工工程技术人员必须具备的素质和能力。

本书是为适应化工院校本科生即将面临走上工作岗位，尽快适应环境、胜任工作而编著的，是一本比较系统和实用的教材。在内容上偏重于阐明化工过程开发的一些基本观点和方法。通过本书的介绍，力求使读者对化工过程开发的全貌有较深刻的了解，并能进行实例开发。全书共分为7章。第1章化工过程开发概要。着重讨论化工过程开发的一些基本概念、内容、步骤和方法；第2章开发过程的技术资料。着重讨论围绕化工过程开发需要收集哪些资料和怎样收集；第3章工业反应过程的放大方法；第4章试验。从化工过程开发的角度出发，详细论述了化工开发中的试验内容和方法；第5章化工数学模型的建立，着重讨论了化工数学模型分类以及如何从实验数据建立数学模型的方法及步骤；第6章化工过程开发中的设计工作，只讨论与化工过程开发有关的设计内容；第7章技术经济评价，详细地论述了技术经济评价的内容和项目投资估算、成本估算、经济效益分析的方法。其中化工设计、试验数据处理与数学模型的建立已有专著论述。如果学时有限，这3章可酌情少讲或不讲。

在本书编写和出版过程中，得到了张美华教授的热情支持和帮助，并审阅了全部书稿，提出了不少宝贵意见，在此，表示衷心感谢。

由于编者水平有限，虽几易其稿，缺点错误在所难免，恳请指教。

编者

1993年8月

目 录

第1章 化工过程开发概要	(1)
第1.1节 化工过程开发的步骤和内容	(1)
1.1.1 化工过程开发的目的和任务	(1)
1.1.2 开发研究的类型	(1)
1.1.3 化工过程开发步骤与内容	(2)
第1.2节 放大程度和开发周期	(8)
1.2.1 放大程度	(8)
1.2.2 开发周期	(10)
第1.3节 化工过程开发放大方法	(10)
1.3.1 逐级经验放大法	(11)
1.3.2 数学模拟法	(13)
1.3.3 部分解析法	(22)
1.3.4 相似模拟放大法	(25)
第2章 开发过程的技术资料	(29)
第2.1节 过程的专门资料	(29)
2.1.1 物性数据	(29)
2.1.2 化学平衡数据	(31)
2.1.3 转化率和收率	(32)
2.1.4 化学反应速率	(34)
2.1.5 反应器的型式	(36)
2.1.6 操作方式	(44)
2.1.7 过程方法的描述和流程图	(44)

第 2.2 节	过程的外围资料	(44)
2.2.1	原料	(45)
2.2.2	产品	(46)
2.2.3	副产品	(46)
2.2.4	能量的供给	(47)
2.2.5	厂址选择	(47)
第 3 章	工业反应过程的放大	(51)
第 3.1 节	反应过程放大原理	(51)
3.1.1	概述	(51)
3.1.2	催化作用和催化剂	(53)
3.1.3	浓度效应	(55)
3.1.4	温度效应	(57)
3.1.5	反应器型式	(65)
第 3.2 节	开发实例	(74)
3.2.1	丁二烯氯化制二氯丁烯过程的开发	(74)
3.2.2	异丁烯二聚的开发过程	(80)
3.2.3	三聚甲醛过程的开发	(83)
3.2.4	开发实例简析	(89)
第 4 章	试验	(93)
第 4.1 节	化工开发中的试验内容及过程	(93)
4.1.1	试验研究的一般进度	(93)
4.1.2	实验室试验概述	(96)
第 4.2 节	单元操作模型试验	(103)
4.2.1	物理模型试验	(103)
4.2.2	数学模型试验	(108)
第 4.3 节	中间工厂试验	(109)

4.3.1	中试内容及目的	(109)
4.3.2	中试装置	(110)
4.3.3	中试中化学反应研究	(112)
第 4.4 节	预试验和系统试验	(119)
4.4.1	预试验	(119)
4.4.2	系统试验	(124)
第 4.5 节	试验设计方法	(126)
4.5.1	单因素试验优选法	(126)
4.5.2	多因素试验设计	(127)
第 4.6 节	试验结果处理	(135)
4.6.1	列表法	(136)
4.6.2	图示法	(136)
4.6.3	数学模型表达法	(139)
第 5 章	化工数学模型的建立	(140)
第 5.1 节	化工数学模型	(140)
5.1.1	模型与数学模型	(140)
5.1.2	变量与参数	(141)
5.1.3	化工数学模型分类	(143)
第 5.2 节	建立化工数学模型的一般步骤	(144)
5.2.1	分析过程, 寻找内在规律	(145)
5.2.2	数学模型的建立和简化	(146)
5.2.3	参数估值	(147)
5.2.4	模型的校验	(147)
第 5.3 节	从试验建立数学模型	(148)
5.3.1	函数的线性转换	(150)
5.3.2	最小二乘法	(152)
5.3.3	数学模型的检验	(153)

第 5.4 节	化学反应器的数学模型	(158)
5.4.1	反应器模型的方程	(159)
5.4.2	釜式反应器	(162)
5.4.3	管式反应器	(170)
5.4.4	流化床反应器	(187)
第 6 章	化工过程开发中的设计工作	(190)
第 6.1 节	设计的基本内容	(190)
6.1.1	概念设计	(190)
6.1.2	基础设计	(192)
6.1.3	工程设计	(194)
第 6.2 节	研究与设计的关系	(196)
6.2.1	小试与概念设计的关系	(196)
6.2.2	中试和基础设计的关系	(197)
第七章	技术经济评价	(198)
第 7.1 节	技术经济评价的内容	(199)
7.1.1	技术评价	(199)
7.1.2	经济评价	(199)
7.1.3	生态环境评价	(200)
7.1.4	原料、能源和水源评价	(200)
7.1.5	市场评价	(201)
7.2 节	生产规模的确定	(201)
7.2.1	生产规模大型化趋势	(201)
7.2.2	必须考虑社会需求量	(203)
7.2.3	应考虑资源或原料的供给情况	(203)
7.2.4	资金	(203)
第 7.3 节	项目投资估算	(205)

7.3.1	投资构成	(205)
7.3.2	投资估算方法	(208)
7.3.3	开发费用的估算	(211)
7.3.4	工艺设备费用估算	(212)
7.3.5	流动资金的估算	(212)
第 7.4 节	成本估算	(214)
7.4.1	化工产品成本的分类与构成	(214)
7.4.2	成本估算	(215)
第 7.5 节	经济效益分析	(219)
7.5.1	经济效益概念	(219)
7.5.2	几个与经济效益分析有关的基本概念	(221)
7.5.3	技术经济评价标准	(223)
7.5.4	案例分析	(229)
第 7.6 节	原料路线的选择	(232)
7.6.1	原料来源的可靠性	(234)
7.6.2	选择最适宜、最有效的原料种类	(234)
7.6.3	尽可能选择国内、当地或附近的原料	(235)
7.6.4	充分考虑原料的综合利用	(235)
第 7.7 节	工艺技术路线的选择	(235)
	习 题	(237)
	参考文献	(245)

第 1 章 化工过程开发概要

第 1.1 节 化工过程开发的步骤和内容

化工新技术开发,是指从概念的形成,经过科研、设计、建设;使一项新的技术、新的工艺或产品付诸实施的整个过程。或者说化工过程开发是指从实验室过渡到第一套工业装置的全部过程。化工过程开发是一门综合性工程技术,它涉及化学工艺、化学工程、物理化学、机械装备、自控仪表、材料与防腐、技术经济等领域;同时还包括科研、设计、建设和试生产等多个环节。在国外经常用“Development”或“Research and Development”(简称 R&D)来表示。而在中文,开发的含义是不同的。“开”字的含义有开展、开采、开始、开张的意思,而“发”字是指发生、发现、发明、发展和发财的意思。

1.1.1 化工过程开发的目的和任务

开发数据完整、技术先进、实用可靠、有经济效益、有竞争能力的单项技术或成套技术,同时培养一支能掌握现代开发研究管理办法及研究方法的科技队伍。

1.1.2 开发研究的类型

从化工过程开发的类型上看,可将开发工作分为以下几个类型:

1. 新化学产品的开发及老化学产品的革新

即为了满足农业、轻工业、重工业、交通运输业、能源工业、国防尖端、文化科学技术以及人民生活水平等各方面发展而不断提供性能更佳的产品。

2、原料开发

化学工业可以从不同原料出发制得同一种产品，也可用同一种原料，经过不同的加工方法制得同一种产品。

产品原料的多方案性，势必导致经济效益的差异。所以为现有产品寻找价廉易得的新原料，开辟新的原料路线，是十分必要的。

3、工艺的开发

新生产工艺过程的开发及老工艺生产过程的革新。

4、设备、材料开发

新型、大型化工设备开发及老化工设备、材料的更新。

5、新电子计算机应用软件的开发

新生产控制系统的开发及老生产控制方法的改造。

6、引进化工技术装备的消化、吸收、创新和国产化

7、应用开发

为现有产品、材料、设备和工艺寻求新的用途，扩大销售市场。

1.1.3 化工过程开发步骤与内容

新技术开发的工作程序与内容，可概括成一个框图，如图1-1所示。由图可知，整个化工过程开发包括三个阶段，即开发基础研究、过程研究及工程研究。这三个阶段既有区分，又有相互交叉渗透，各自任务明确，比较正确地反映了开发工作的规律。具体开发的步骤和内容可概括如下：

1、课题选择

选准课题是开发研究的关键。应从经济建设、科技规划、市

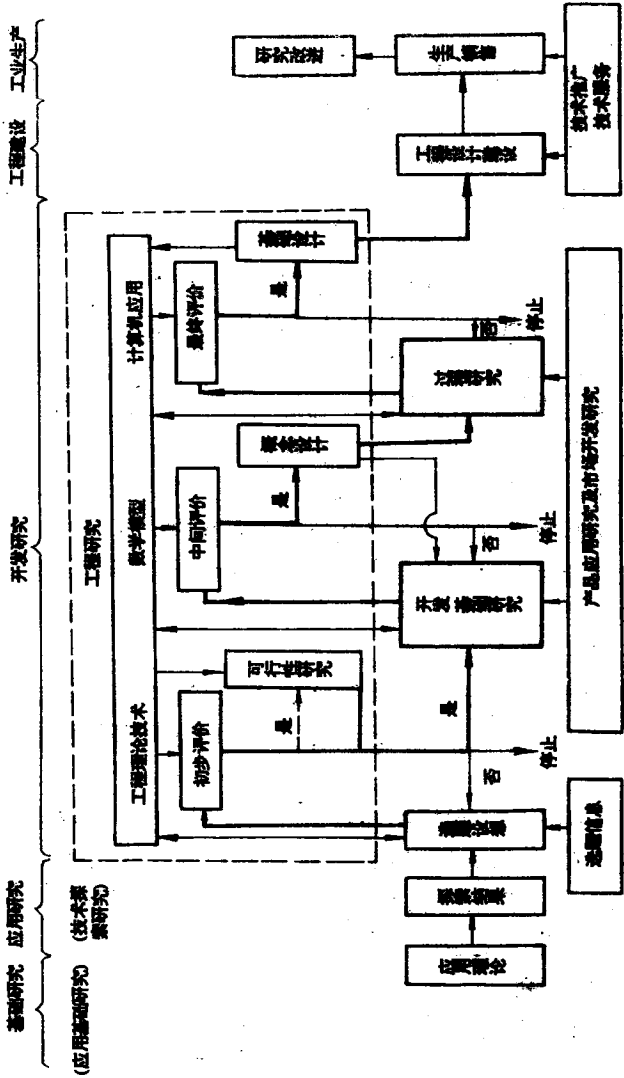


图 1-1 化工新技术开发各阶段工作程序图

场预测、应用研究、信息专利情报等等方面来确定。它关系到开发工作的成败。在选题时，应对立项项目进行可行性研究，只有那些经济效益和社会效益好的课题才能进行。

根据我国现行科研体制，研究课题的来源主要有三方面：

一类是上级下达的课题，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。一般说来，课题的目标和任务都十分具体，并且经过了专家的立题论证，得出了肯定结论，对于国民经济的发展能起重要作用。

第二类是委托研究的课题，它是指企事业单位根据各自的情况与发展需要提出的课题。这类课题范围一般较小，但目标和任务十分明确，特别注意经济效益和市场竞争能力。

第三类是自选课题。这是指研究人员根据查阅国内外文献资料和社会调查自行确定的研究课题。这类课题选择时，应充分考虑科学技术和化学工业的发展方向，国家的资源及市场的需求。

2. 开发基础研究

开发基础研究是过程开发研究的基础。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，针对过程开发而需要进行的实验室研究。一般在实验室中进行。是为工业化技术提供所必须的应用基础研究，包括物性数据、催化剂性能、化学及化工热力学、化学反应动力学、传递过程（热量、质量及动量）冷模试验、分析方法、腐蚀性能等等的测定，据此掌握工艺过程特征，设备结构、确定工艺条件，选择工艺流程等等。

3. 过程研究

主要进行新工艺、新产品、新设备等的工程放大技术研究。包括模拟试验、微型中间工厂试验、原型装置试验，半工业化试验及工业化试验。试验过程可以是全部也可以是部分。一般应尽量进行部分必要的过程试验，在满足要求的前提下，试验规模尽

量小。在过程研究中要进行工业化要求的工艺条件、生产流程、设备结构、放大效应、控制方法、物料平衡、能量平衡、材质选择、三废处理、安全技术、长期运转、杂质影响、产品应用、市场开发及数模验证等方面的研究工作，以取得整套基础设计所需要的数据。过程研究一般在模试、中试装置或生产中进行，其规模较大。过程研究是整个开发研究的主体。

4. 工程研究 (Engineering Research)

工程研究主要包括技术经济评价、概念设计、数学模型、工程放大技术及基础设计等。它是整个开发研究的核心。其主要任务有三方面：一是对开发基础研究、过程研究进行多次技术经济评价，为整个开发工作确定目标；二是在开发基础研究报告一段落后，进行大厂概念设计，对中间试验提出有针对性的要求，指导中间试验的进行；三是研究过程模型、工程技术原理，包括计算机的应用，用数理统计技术关联试验数据、验证开发过程的模型、并最终完成基础设计等。

(1) 技术经济评价。技术经济评价是运用技术经济分析方法来预测和判断研究结果有效程度及经济效益的一种评价工作。技术经济评价应贯穿开发工作的始终。在整个开发过程中至少要进行三次评价工作，以确定开发工作的方向及是否继续进行。

初步评价是选题或确立项目时决定取舍所进行的评价。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断。如果评价获得满意的结果，则可立题进行开发研究，否则中断研究。

中间评价是在开发基础研究之中或之后，对各个阶段结果进行的评价。其目的是判断阶段研究结果的可行性；决定是否继续投资进行下一阶段的研究；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。如果评价获得肯定结论，则可进行进一步的研究，否则中止开发研究。

最终评价是在过程研究之后进行的评价。它的目的是为了决定是否投资建设生产装置，进行工业化生产。所以最终评价又称“工业化评价”或“项目评估”。评价的依据是过程研究报告，及市场研究报告等。评价结果如果经济效益甚佳，即可进行设计、制造和建立生产装置。否则中断研究，停止建厂。

(2) 概念设计 (Idea or Conception design)。概念设计又称为“预设计”或“尝试性的大厂设计”。其依据是开发基础研究的结果，文献中的数据，现有类似装置的操作数据和工程经验，按照所开发的新技术工业化规模所做出的预想设计（或假想设计）。其目的—是检查开发基础研究工作是否完善，是否符合要求，以及从工程角度提出进一步的试验要求；二是指导过程研究的进行，确定模型试验或中间工厂试验的内容、规模及重点。所以设置概念设计这一环节，既可从组织上、制度上保证开发基础研究的质量，又可防止中试的失误。

概念设计的规模是工业化的规模，其主要内容为：原料及成品规格；工艺流程图及简要说明；物料衡算和热量衡算；主要设备选型、设计、规格型号和材质要求；分析检测方法；主要技术经济指标；投资、成本估算、经济效益分析和投资回收期预测；环境卫生与三废治理的初步方案以及对模型试验或中试的研究建议等等。概念设计的任务一般由参加试验研究的人员承担。

(3) 基础设计。从过程研究（中试）结束到第一套工业装置的开车，中间尚需进行大量的工作。主要有：对过程研究进行全面系统的总结提出技术资料；进行最终评价，研究实现工业化的可能性；进行基础设计；工程设计；制造、购置、安装机器和设备；工业装置的开车等等。对于过程开发者来说重要的是完成基础设计。因为工程设计以后的工作属建设部门和设计部门的工作范围。

基础设计是中试研究结束，经最终评价获得肯定结论之后，