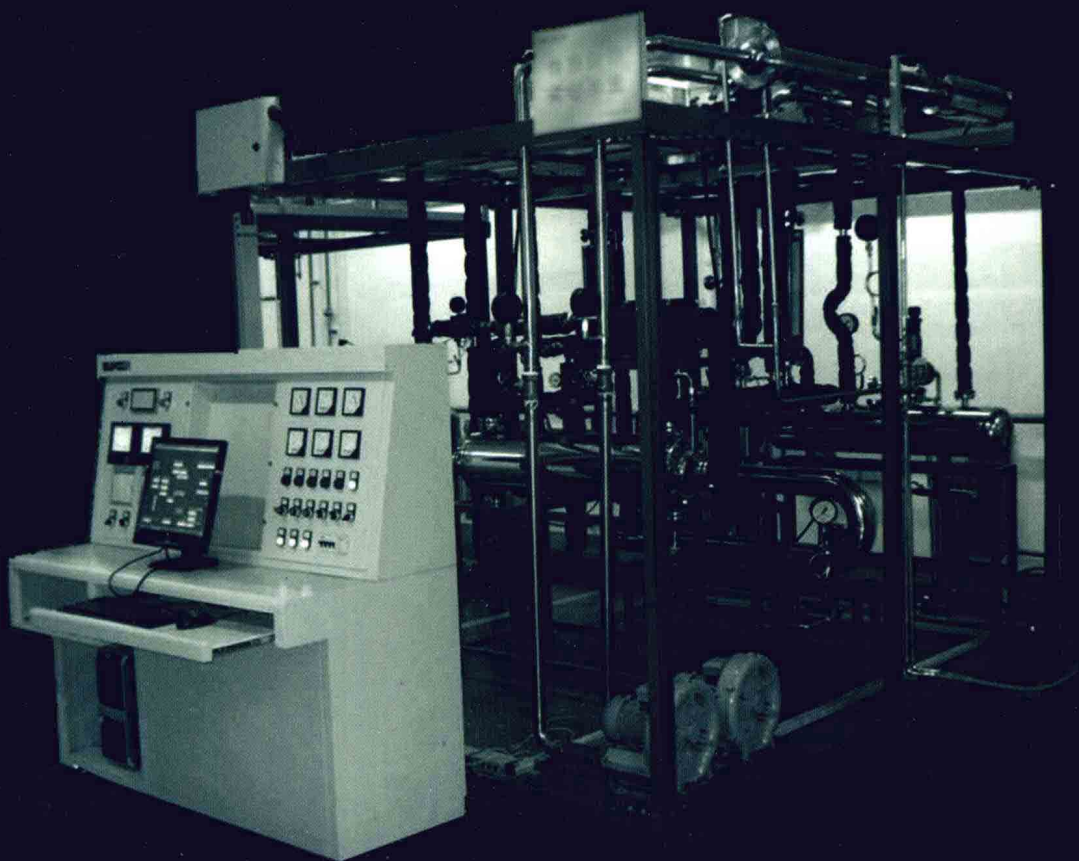


中等职业学校化工类专业课程改革试验教材

化工工艺试验工 技能培训与考核 (中级)

王 艳 张洪刚 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

中等职业学校化工类专业课程改革试验教材

化工工艺试验工 技能培训与考核(中级)

王 艳 张洪刚 主编

高等教育出版社

内容简介

本书根据教育部颁发的中等职业学校现行化工类相关专业教学指导方案,结合中等职业学校化工类专业课程改革,并参照国家职业标准《化工工艺试验工》和《化工工艺试验工职业技能鉴定规范》的要求进行编写。

本书主要包括:化工产品开发及试验技术、化工生产基本操作、化工仪表及测量、化工产品分析四个模块。并在附录中列出了《化工工艺试验工国家职业标准》。

本书采用出版物短信防伪系统,用封底下方的防伪码,按照本书最后一页“郑重声明”下方的使用说明进行操作,可查询图书真伪并可赢得大奖。登录 <http://sv.hep.com.cn>,可获得图书相关信息及资源。

本书可作为职业学校化工专业学生的技能培训教材,也可供化工企业操作工培训使用。

图书在版编目(CIP)数据

化工工艺试验工技能培训与考核(中级)/王艳,张洪刚主
编. —北京:高等教育出版社,2009.2
ISBN 978-7-04-025793-9

I. 化… II. ①王…②张… III. 化工过程-生产工艺-
专业学校-教学参考资料 IV. TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 003562 号

策划编辑	李新宇	责任编辑	谭燕	封面设计	张楠	责任绘图	尹莉
版式设计	张岚	责任校对	王雨	责任印制	陈伟光		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京市白帆印务有限公司

开 本 850×1168 1/16
印 张 12.25
字 数 300 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2009 年 2 月第 1 版
印 次 2009 年 2 月第 1 次印刷
定 价 21.60 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 25793-00

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

短信防伪说明：

本图书采用出版物短信防伪系统，用户购书后刮开封底防伪密码涂层，将16位防伪密码发送短信至106695881280，免费查询所购图书真伪，同时您将有机会参加鼓励使用正版图书的抽奖活动，赢取各类奖项，详情请查询中国扫黄打非网(<http://www.shdf.gov.cn>)。

反盗版短信举报：编辑短信“JB,图书名称,出版社,购买地点”发送至10669588128

短信防伪客服电话：(010)58582300/58582301

获取信息及资源：

登录 <http://sv.hep.com.cn>，可获得图书相关信息及资源。

本书根据教育部颁发的中等职业学校现行化工类相关专业教学指导方案,结合中等职业学校化工类专业课程改革,并参照国家职业标准《化工工艺试验工》和《化工工艺试验工职业技能鉴定规范》的要求进行编写。

化工工艺试验工种是《中华人民共和国职业技能鉴定规范》中规定的化工行业特有工种之一,化工工艺试验工是从事化工工艺改进,装备改进,新产品试制项目的小试、中试生产的人员。

化工工艺试验工从事的工作主要包括:

- (1) 准备试验的原料、材料和药品;
- (2) 装备试验的设备、仪器和仪表;
- (3) 制订试验的操作步骤;
- (4) 操作试验设备、调控仪器及仪表、投料,进行化工工艺试验;
- (5) 采集试验试样、数据,整理试验结果;
- (6) 分析化验试样、数据,整理试验结果;
- (7) 绘制试验工艺流程图和识阅控制回路图;
- (8) 处理试验过程中的异常现象和事故。

在《化工工艺试验工职业技能鉴定规范》中,化工行业特有工种划分得很详细具体,对于从事该具体岗位操作的工人考核较实用。目前,职业学校学生要求持“双证”(毕业证、职业资格证)就业,但学生在校时并不能确定就业后所从事的具体操作岗位。化工工艺试验工所要求的鉴定内容包括了化工生产多个方面的知识和技能,因此化工类专业学生在毕业前进行化工工艺试验工的培训和考核是实际而又实用的选择。

本书是针对职业学校化工技术类专业学生技能培训与考核的需要,根据国家职业标准《化工工艺试验工》和《化工工艺试验工职业技能鉴定规范》的要求进行编写。内容包括化工产品开发及试验技术、化工生产基本操作、化工仪表及测量、化工产品分析四个模块。

本教材以国家职业标准《化工工艺试验工》为编写依据,根据中级化工工艺试验工的知识要求和技能要求,将教材内容划分为四个模块,每个模块又由若干项目组成,教学培训过程通过各个项目的实施来完成。模块内容注意保证专业技能的系统性,根据知识目标和技能要求来设计训练项目,突出实践技能的培养,每个项目按工序列出了详尽的操作步骤,并做了要点提示,可操作性强。以工作任务引领理论,项目后列出所需的相关知识。

本书可作为职业学校化工技术类专业学生的技能培训教材,也可作为化工企业操作工培训用书。

学时分配建议如下:

II 前 言

序号	教学内容	学时数
1	模块一 化工产品开发及试验技术	42
2	模块二 化工生产基本操作	48
3	模块三 化工仪表及测量	12
4	模块四 化工产品分析	24
	合 计	126

本书采用出版物短信防伪系统,用封底下方的防伪码,按照本书最后一页“郑重声明”下方的使用说明进行操作,可查询图书真伪并可赢得大奖。登录 <http://sv.hep.com.cn>,可获得图书相关信息及资源。

本书模块一由张洪刚、代素红编写,模块二由史玉芳、朱建民编写,模块三由董文静编写,模块四由王艳编写。其中王艳、张洪刚担任主编,负责统稿工作。

李祥新审阅了本书,为本书的编写提出了许多改进意见。书中部分图片由北京东方仿真软件技术有限公司友情提供,浙江中控科教仪器设备有限公司提供了部分实训装置图片,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平所限,缺点和错误在所难免,敬请使用本书的教师及广大读者批评指正。

编 者

2008年8月

目 录

模块一 化工产品开发及试验技术	1	项目 1 换热器操作	55
子模块 1 化工产品开发基础	1	子模块 2 固体物料的操作	62
项目 1 化工试验设计	1	项目 2 固体物料的输送操作	62
项目 2 化工工艺计算	7	项目 3 固体物料的粉碎操作	65
项目 3 化工工艺流程图识读	10	项目 4 固体物料的筛分操作	68
项目 4 化工设备图识读	15	项目 5 固体与液体的分离操作	69
项目 5 化工生产准备	17	项目 6 固体物料的干燥操作	74
子模块 2 化工试验基本操作	21	子模块 3 液体物料的操作	78
项目 6 加热与冷却操作	21	项目 7 液体的输送操作	78
项目 7 减压操作	23	项目 8 溶液的蒸发操作	88
项目 8 过滤操作	24	项目 9 溶液的精馏操作	94
项目 9 回流与分水操作	26	项目 10 溶液的萃取操作	100
项目 10 振荡与搅拌操作	28	子模块 4 气体物料的操作	104
子模块 3 分离操作	29	项目 11 气体的压缩与输送操作	104
项目 11 乙醇的蒸馏提纯	29	项目 12 填料吸收塔操作	108
项目 12 丙酮的分馏提纯	31	子模块 5 反应器操作	115
项目 13 重结晶法提纯乙酰苯胺	33	项目 13 釜式反应器操作	115
项目 14 用乙酸乙酯从苯酚水溶液中萃 取苯酚	34	项目 14 固定床反应器操作	120
项目 15 用索氏提取器从茶叶中提取咖 啡碱	36	习题	124
子模块 4 有机合成单元反应技术	38	模块三 化工仪表及测量	129
项目 16 正溴丁烷的制备——卤化技术	38	项目 1 流量计的使用	129
项目 17 对甲苯磺酸钠的制备——磺化 技术	41	项目 2 气体流量计的使用	136
项目 18 乙酸乙酯的制备——酯化技术	43	项目 3 压力表的使用	139
项目 19 对硝基苯甲酸的制备——氧化 技术	44	项目 4 温度计的使用	144
项目 20 苯胺的制备——还原技术	46	习题	150
项目 21 阿司匹林的制备——酰化技术	48	模块四 化工产品分析	152
项目 22 水溶性酚醛树脂胶的制备—— 缩合技术	50	子模块 1 化工产品试样的采集	152
习题	52	项目 1 固体试样的采集	152
模块二 化工生产基本操作	55	项目 2 液体试样的采集	153
子模块 1 化工生产中的传热操作	55	子模块 2 化工产品的分析检测	156
		项目 3 NaOH 标准溶液的配制与标定	156
		项目 4 脲醛树脂中游离甲醛含量的 测定	158
		项目 5 用分光光度法测定含铁废水中铁 离子的含量	161

II 目 录

子模块3 化工产品物理性质指标的

测定	164
项目6 熔点的测定	164
项目7 沸点及沸程的测定	166
项目8 液体密度的测定	168
项目9 折射率的测定	170

项目10 黏度的测定	172
------------------	-----

习题	174
----------	-----

附录1 习题参考答案	177
------------------	-----

附录2 化工工艺试验工国家职业标准 ...	178
-----------------------	-----

参考文献	188
------------	-----

模块一 化工产品开发及试验技术

子模块 1 化工产品开发基础

项目 1 化工试验设计

一、考核要求

1. 能根据试验要求选取正交试验表、根据试验条件设计试验过程,对正交试验结果处理及分析,得出试验的最优方案。

2. 熟悉化工过程开发、化工产品开发的一般步骤及试验设计的步骤和基本原则。

二、实训内容

某化工厂对植物油进行水解,希望通过试验找到最佳的工艺条件。根据该反应的化学原理,确定影响反应的主要因素有反应温度、时间、用碱量。

已知工艺条件范围为温度:80 ~ 90 ℃,时间:90 ~ 150 min,用碱量(质量分数):5% ~ 7%。需解决以下问题:

(1) 哪个因素起主要作用,哪个因素起次要作用?

(2) 各个因素中哪个水平最好?

(3) 最优化工艺方案是什么?

三、实训步骤

1. 明确试验目的,确定试验考核指标

试验目的:寻找植物油水解的最佳工艺条件。

考核目标:原料转化率。转化率越高,说明水解效果越好。

2. 制定因素位级表

确定 3 个因素和各因素的试验范围(填写表 1-1)。

表 1-1 因素位级表

位 级	因 素		
	反应温度/℃ (A)	反应时间/min (B)	用碱量(质量分数)/% (C)
1			
2			
3			

3. 选用位级表

本例是 3 个因素,每个因素 3 个位级,所以选用 $L_9(3^4)$ 正交表,将各因素各位级填入表

1-2 中。

表 1-2 正交表 $L_9(3^4)$

试验号	因 素			转化率/%
	反应温度/℃ (A)	反应时间/min (B)	用碱量(质量分数)/% (C)	
1	1()	1()	1()	
2	1()	2()	2()	
3	1()	3()	3()	
4	2()	1()	2()	
5	2()	2()	3()	
6	2()	3()	1()	
7	3()	1()	3()	
8	3()	2()	1()	
9	3()	3()	2()	

4. 试验过程

按照表 1-2 中每一个试验号所规定的条件进行试验,并将试验结果记录在表格中。表 1-3 所列转化率数据为某研究人员按表 1-2 试验所得,用于后面的结果分析。

表 1-3 正交试验结果

试验号	因 素			转化率/%
	反应温度/℃ (A)	反应时间/min (B)	用碱量(质量分数)/% (C)	
1	1	1	1	31
2	1	2	2	54
3	1	3	3	38
4	2	1	2	53
5	2	2	3	49
6	2	3	1	42
7	3	1	3	57
8	3	2	1	62
9	3	3	2	64

5. 试验结果处理和分析

直接观察法(选取较优方案):根据表 1-3 数据,直接观察试验结果确定较好的试验条件。

极差分析法(选取最优方案):

(1) 计算各因素每个位级的转化率之和(分别为 K_1 、 K_2 、 K_3)及平均值 $\bar{K}_1$ 、 $\bar{K}_2$ 、 $\bar{K}_3$,填写在表 1-4 中。

表 1-4 试验结果处理

试验号	因 素		
	反应温度/℃(A)	反应时间/min(B)	用碱量(质量分数)/%(C)
1 位级结果和 K_1 2 位级结果和 K_2 3 位级结果和 K_3			
1 位级平均值 $\bar{K}_1$ 2 位级平均值 $\bar{K}_2$ 3 位级平均值 $\bar{K}_3$			
极差 R			

(2) 计算极差(R),填写在表 1-4 中。

(3) 分析因素主次和各因素对产品转化率影响的规律。

根据极差的大小分出关键因素、重要因素、一般因素和次要因素。

(4) 寻找最佳试验方案。



要点提示

1. 严格按正交表中的每个试验号所规定的条件进行试验,认真按规定方法计算分析,找出最佳方案。

2. 极差最大的因素为关键因素,其次为重要因素,最小的为次要因素,其余为一般因素。

3. 各因素位级之和(K_1 、 K_2 、 K_3)或各位级的平均值($\bar{K}_1$ 、 $\bar{K}_2$ 、 $\bar{K}_3$)最大者为该因素最佳的位级,各最佳位级组成的方案就是最优方案。



【相关知识】

一、化工过程开发

化工过程开发就是将设想变成现实的过程,其一般步骤可分为三个阶段。

1. 实验室研究阶段

提出新的技术思路,在实验室进行试验,探索过程的可行性和合理性,测定基础数据,摸索工艺条件。

2. 中间试验阶段

放大试验规模,取得供工业生产装置设计的工程数据,进行数据处理,做出数学模型。

3. 工业化阶段

根据前两个阶段的研究结果作出工业装置的基础设计,然后由工程设计部门进行工程和施工设计。取得必要的现场数据,形成技术资料。

上述过程开发步骤是一般的规律,而且几个步骤之间也不是截然分开的,有时有交叉,其关系

如图 1-1 所示:

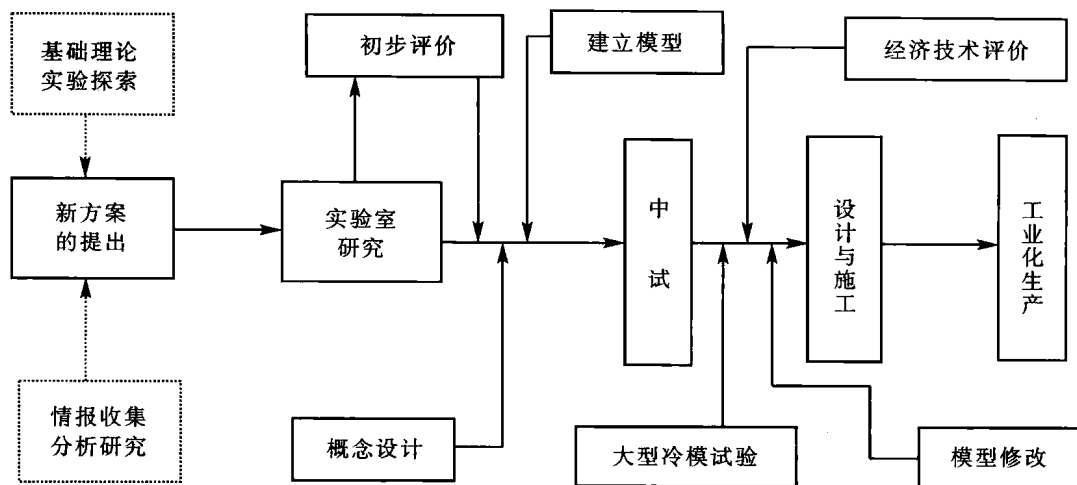


图 1-1 化工过程开发的一般步骤

二、化工产品的开发

一般化工产品的开发程序分为以下五步。

1. 选择研究课题

根据产品用户的要求或市场需求,确定研究课题。

2. 课题的可行性分析

对产品的市场需求性、政策可行性、技术适宜性、质量可靠性、经济合理性,以及产品的标准化、系列化、通用化进行分析和论证。

3. 实验室研究(小试)

制定研究方法,通过实验室小试,考察流程和生产方法(打通流程),寻找合适的操作条件,研究必要的分析测试方法,提出保证产品质量的控制参数。

4. 中间放大试验(中试)

中试是在小试完成并通过技术经济评价后,为使小试的成果应用于生产,所进行的放大试验。具体内容有:获取设计工业装置所必需的工艺数据和化学工程数据;研究生产控制方法;考虑杂质积累对过程的影响;考核设备的造型及材料的耐腐蚀性能;确定实际的经济消耗指标;提供试验产品,考核产品的加工和使用性能;修正和检验数学模型。

5. 产品性能质量检测 and 鉴定

对产品进行评测,一般分为权威机构检测 and 用户试用两个方面。

三、试验设计

在化工试验中,采用好的试验设计方法,科学安排试验,可以减少试验的次数、缩短试验时间,并可以迅速得到有效的试验结果。试验设计方法有多种,常用的方法有以下几种。

1. 单因素优选法

在 n 个组分(因素)的配方体系中,将 $n-1$ 个因素固定,逐步改变某一个因素水平(各因素的

不同状态),根据目标评定该因素的最优水平。依次求取体系中各因素的最优水平,最后将各因素的最优水平组合成最佳方案。

2. 全面试验法

全面试验法是让每一个因素的每个水平都有配合的机会,并且配合的次数一样多。该法的优点是结论精确,但由于试验次数较多,在多因素、多水平的情况下常常是不可想象的。如 5 因素 4 水平的试验次数为 $4^5 = 1\,024$ 次,而 6 因素 5 水平的试验次数为 $5^6 = 15\,625$ 次,这在实际中是很难做到的。

3. 正交试验设计法

正交试验设计法是一种多因素优选法,是使用一套规格化的“正交表”来安排和分析多因素试验的方法,排出最有代表性的试验次数,并能从少数次试验中充分得到所需信息。该法是安排多因素试验的有效方法,因此被广泛应用。

4. 均匀设计法

均匀设计法只考虑试验点的“均匀分散”性,而不考虑“整齐可比”性,因而大大减少了试验次数。如 3 因素 7 水平试验,用全面试验法需做 $7^3 = 343$ 次试验;用正交试验,需做 $7^2 = 49$ 次试验;而用均匀设计则仅需做 7 次试验即可。均匀设计所得的适宜条件在某种程度上接近最优条件。

5. 计算机辅助配方设计

计算机辅助配方设计的主要步骤如下:变量因子水平设计→配方设计→建立数学模型→配方最优化→验证试验→最优配方。其特点是:试验次数少,数据处理快,可求得最优配方,节省经费。

四、正交试验法的应用

把准备考察的影响试验指标的各个条件称为因素,例如配方中的组分、反应温度、时间等。把在试验中准备考察的各种因素的不同状态称为水平或位级,例如配方试验中某组分的不同含量(如:9%,10%,11%)。

1. 正交表

最常见的正交表是 $L_9(3^4)$,见表 1-5,其含义如下:“L”代表正交表;L 下角的数字“9”表示有 9 行,即要做 9 次试验;括号内的指数“4”表示有 4 列,即最多允许安排的因素是 4 个;括号内的 3 表示每个因素有三个水平 1、2、3。

正交表的特点是其安排的试验方法具有均衡搭配特性,常见的正交表有 $L_4(2^3)$ 、 $L_8(2^7)$ 、 $L_{16}(2^{15})$ 、 $L_9(3^4)$ 、 $L_{18}(3^7)$ 、 $L_{27}(3^{13})$ 、 $L_{16}(4^5)$ 、 $L_{25}(5^6)$ 等。

表 1-5 正交表 $L_9(3^4)$

试验号	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

2. 正交表的选择

选择正交表的原则,应当是被选用的正交表的因素数等于或大于要进行试验的因素数,水平数必须等于要进行试验的水平数,并且使试验次数最少。

如选用 $L_9(3^4)$, 具体的试验计划是在 $L_9(3^4)$ 表头的四因素三水平, 分别将水平数 1、2、3 处放入该因素的 1 水平、2 水平和 3 水平。这样就得到一张试验计划表, 即可按表中每行各因素对应的水平(即试验条件)共进行 9 次试验。

3. 正交表的应用举例

例 1-1 利用工业废烟灰制砖, 通过试验寻求生产工艺参数达到砖的强度指标, 强度指标越大, 砖的质量越好。已知影响砖的强度的因素有三个, 每个因素又有三个水平, 具体如下:

成型水分(A): $A_1(9\%)$; $A_2(10\%)$; $A_3(11\%)$

碾压时间(B): $B_1(8\text{ min})$; $B_2(10\text{ min})$; $B_3(12\text{ min})$

一次碾压料质量(C): $C_1(330\text{ kg})$; $C_2(360\text{ kg})$; $C_3(400\text{ kg})$

需解决以下三个问题:

(1) 哪个因素起主要作用, 哪个因素起次要作用?

(2) 各个因素中哪个水平最好?

(3) 最优化工艺方案是怎样的?

解: 这是三因素三水平的试验, 我们可以选用正交表 $L_9(3^4)$ 、 $L_{18}(3^7)$ 等, 由于三水平不能完全与正交表对号入座, 所以, 可选用 $L_9(3^4)$, 虽然空出一列, 但该表较之其他表, 试验次数最少。

(1) 表头设计: 将各因素和水平填入正交表, 见表 1-6。

表 1-6 正交表 $L_9(3^4)$

因素 水平	A 成型水分/%	B 碾压时间/min	C 一次碾压料质量/kg	D
1	9	8	330	
2	10	10	360	
3	11	12	400	

(2) 试验计划的制定及数据分析: 按正交表 $L_9(3^4)$ 制定试验计划(见表 1-7); 并按计划进行试验, 将试验结果及分析结果填入表 1-7 中。

表 1-7 试验计划的制定及数据分析结果

因素 水平	A	B	C	强度/(N · cm ⁻²)
1	9	8	330	165.62
2	9	10	360	187.18
3	9	12	400	163.66
4	10	8	360	194.04
5	10	10	400	232.26
6	10	12	330	186.20
7	11	8	400	247.94

续表

因素 水平	A	B	C	强度/(N·cm ⁻²)
8	11	10	330	199.92
9	11	12	360	226.38
1 位级结果和 K_1	516.46	607.60	551.74	
2 位级结果和 K_2	612.50	619.36	607.60	
3 位级结果和 K_3	674.24	576.24	643.86	
1 位级平均值 $\bar{K}_1$	172.15	202.53	183.91	
2 位级平均值 $\bar{K}_2$	204.17	206.45	202.53	
3 位级平均值 $\bar{K}_3$	224.75	192.08	214.62	
极差 R	52.60	14.37	30.71	
优化条件	A_3	B_2	C_3	

注: R 为极差, 为最好水平与最差水平之差。

(3) 极差分析法: 确定同一因素的不同水平对试验指标的影响。

A 因素 1 位级之和 $K_1 = (165.62 + 187.18 + 163.66) \text{ N/cm}^2 = 516.46 \text{ N/cm}^2$, 1 位级的平均值 $\bar{K}_1 = 172.15 \text{ N/cm}^2$; 同理可以求出 A 因素 2 位级、3 位级的平均值及 B 因素、C 因素各位级的平均值, 并分别确定三因素最好水平。

根据每个因素的各水平之间的极差值大小, 确定各因素结果的影响程度。极差大, 该因素的变化对结果影响大; 极差小, 因素的变化对结果的影响小。

对 A 因素来说, 极差 $R_1 = \bar{K}_3 - \bar{K}_1 = 52.60 \text{ N/cm}^2$ 。同理求出 B 因素的极差 $R_2 = 14.37 \text{ N/cm}^2$, C 因素的极差 $R_3 = 30.71 \text{ N/cm}^2$ 。本例中因素对试验结果影响的次序为: $A > C > B$ 。

根据以上分析, 得出最优试验方案为: $A_3B_2C_3$, 即: 成型水分 11%, 一次碾压料质量 400 kg, 碾压时间为 10 min 的方案。



【练习与扩展】

1. 根据因素位级表来选择正交试验表时, 其位级数和因素个数有何要求? 因素和位级如何安排?
2. 上述实训中, 若某方案的结果比最优方案的结果好, 应如何进行试验安排?

项目 2 化工工艺计算

一、考核要求

1. 能正确画出工艺计算过程示意图。
2. 能熟练进行工艺计算及化学计量的计算。

二、实训内容

题目 1 将乙醇含量为 0.4 (摩尔分数, 下同) 的乙醇 - 水溶液以流量为 20 kmol/h 进行精馏,

要求馏出液组成含乙醇 0.89, 残液中乙醇不大于 0.03。求馏出液 D 和残液 W 的量。

题目 2 乙炔和氯化氢加成生产氯乙烯, 同时有二氯乙烷的副反应。加入反应器中的乙炔 1 000 kg/h, 氯化氢 1 474 kg/h。从反应器中输出的产物气体中, 有乙炔 10 kg/h, 氯化氢 56 kg/h, 氯乙烯 2 332 kg/h, 二氯乙烷 76 kg/h。求: ① 乙炔转化率; ② 按乙炔计的氯乙烯产率; ③ 按乙炔计的氯乙烯收率。

三、实训步骤

题目 1

- (1) 画出精馏过程示意图。
- (2) 以 1 h 为衡算基准, 列出物料衡算式(分别列出总物料衡算式和对乙醇的衡算式)。
- (3) 计算馏出液 D 和残液 W 的量。

题目 2

- (1) 计算乙炔转化率。
- (2) 以 1 h 为计算基准, 求按乙炔计的氯乙烯产率。
- (3) 求按乙炔计的氯乙烯收率。



要点提示

1. 物料衡算时, 注意选择适当的衡算系统。
2. 计算过程中, 单位要一致。



【相关知识】

工艺计算是进行化工工艺过程设计及经济评价的重要依据。工艺计算主要包括物料衡算, 热量衡算, 转化率、产率和收率的计算, 以及生产技术经济指标的计算。

一、物料衡算

物料衡算用来确定进、出设备的物料量和组成间的相互数量关系, 了解过程中物料的分布与损耗情况, 是进行单元设备其他计算的依据。

物料衡算以质量守恒定律为基础, 任何一个化工过程, 凡向该过程输入的物料量必等于从该过程中输出的物料量与累积于该过程的物料量之和, 即

$$\text{进入系统的物料量} = \text{离开系统的物料量} + \text{系统中物料的累积量} \quad (1-1)$$

式(1-1)中可用质量单位(如 kg 或 kg/s), 也可以用物质的量单位(如 kmol 或 kmol/s), 但必须注意保持式中各项的单位一致。

式(1-1)是总物料衡算式, 既适用于连续操作, 也适用于间歇操作。当过程没有化学反应时, 它也适用于物料中的任意组分的衡算; 当有化学反应时, 它只适用于任意元素的衡算。

对于连续稳定操作, 系统中物料的积累为零。上式可简化为:

$$\text{进入系统的物料量} = \text{离开系统的物料量} \quad (1-2)$$

物料衡算步骤如下:

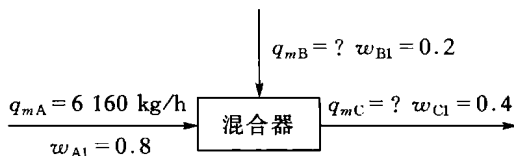
- (1) 画出过程示意图, 选定适当的衡算系统。衡算系统可以是一个单元设备或若干个单元设备的组合, 也可以是设备的某一部分。
- (2) 选定物料衡算基准。对于间歇操作, 常取一批原料或单位质量原料为基准; 对于连续操

作,通常以单位时间内处理的物料量为基准。基准的选定应使计算尽量简化。

(3) 列出物料衡算式,解出未知数。

例 1-2 两股物流 A 和 B 混合得到产品 C,每股物流均有两个组分(代号 1,2)组成。物流 A 的质量流量为 $q_{mA} = 6\,160\text{ kg/h}$,其中组分 1 的质量分数为 $w_{A1} = 0.8$;物流 B 中组分 1 的质量分数为 $w_{B1} = 0.2$;要求产品 C 中组分 1 的质量分数为 $w_{C1} = 0.4$ 。试求需要加入物料 B 的质量流量 q_{mB} 和产品 C 的质量流量 q_{mC} 。

解:(1) 依题意画出混合过程示意图:



(2) 以 1 h 为衡算基准,则 $q_{mA} = 6\,160\text{ kg/h}$ 。

(3) 列出物料衡算式:

总物料衡算 $6\,160\text{ kg/h} + q_{mB} = q_{mC}$

对组分 1 衡算 $6\,160\text{ kg/h} \times 0.8 + 0.2q_{mB} = 0.4q_{mC}$

解得 $q_{mB} = 12\,320\text{ kg/h}$

$q_{mC} = 18\,480\text{ kg/h}$

二、热量衡算

热量衡算是以能量守恒定律为基础的计算,用来确定进、出设备的各项能量间的相互数量关系。

在一个稳定的化工生产过程中,向一个系统或设备中加入的热量等于放出和损失的热量,即

$$Q_{\text{加}} = Q_{\text{放}} + Q_{\text{损}} \quad (1-3)$$

通过热量衡算,可以更好地了解热量消耗和利用的情况,为计算热量消耗定额和合理利用热量提供可靠依据。

三、转化率、产率和收率的计算

从反应器中排除的混合物中含有主产物、各种副产物、未反应的原料等。根据反应的配比、转化率、产率或选择性及收率,可进行原料消耗量的计算。

1. 转化率

$$\text{转化率} = \frac{\text{参加反应的反应物量}}{\text{加入体系的反应物量}} \times 100\% \quad (1-4)$$

2. 产率

$$\text{产率} = \frac{\text{转化为某产物的反应物量}}{\text{参加反应的反应物量}} \times 100\% \quad (1-5)$$

3. 收率

$$\begin{aligned} \text{收率} &= \frac{\text{转化为目的产物的反应物量}}{\text{加入体系的反应物量}} \times 100\% \\ &= \frac{\text{目的产物实际产量}}{\text{按反应物计的理论产量}} \times 100\% \end{aligned} \quad (1-6)$$