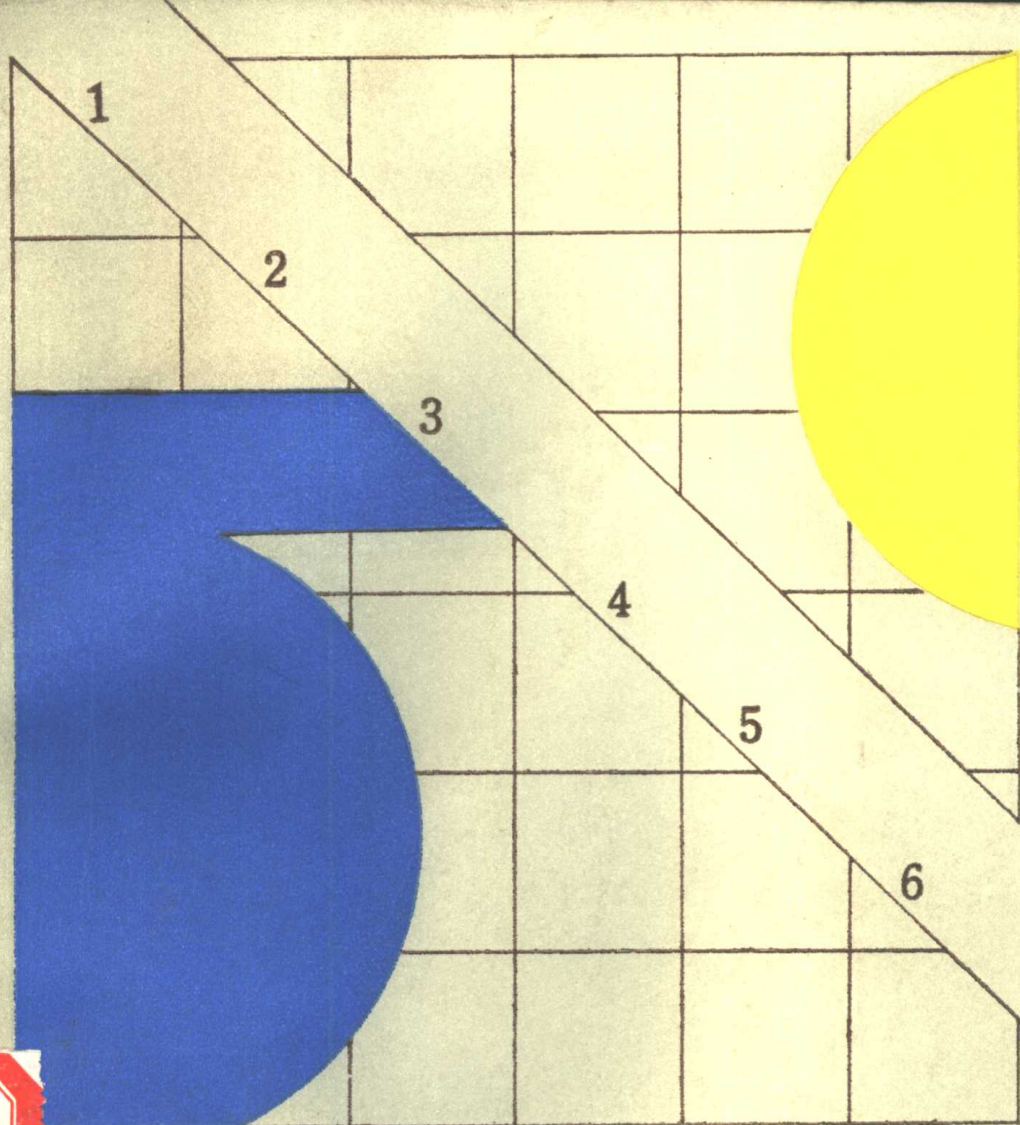




化工计算基本原理

[美] 理查德·M·费尔德 著
罗纳德·W·鲁索 译
陈鸣德 杜士心 译

化工计算基本原理

〔美〕 理查德.M.费尔德索 著
 罗纳德.W.鲁索

陈鸣德 杜士心 译

江苏科学技术出版社

by John Wiley & Sons, Inc.
in U.S.A., 1978

化工计算基本原理

〔美〕 理查德.M.费尔德 著
 罗纳德.W.鲁索

陈鸣德 等译

出版：江苏科学技术出版社

发行：江苏省新华书店

印刷：盐城市印刷厂

开本787×1092毫米 1/32 印张 20.25 字数 444,000

1987年5月第1版 1987年5月第1次印刷

印数1—3,220册

书号 15198·223 定价 3.85元

责任编辑 黄元森

译者的话

这是一本专门讲述化学工程中物料衡算和能量衡算的教科书。这两种衡算在一切化工计算和设计工作中贯穿始终，应用极广。我们在多年教学和技术工作中，深感本书内容深入浅出，取材新颖，例题求解细致严密，习题丰富多样又结合近代化工实际，各章的小节后面列有思考题，给人思考和启发；寄方法于解题之中，又不拘泥于具体工艺细节，而注重对方法和思路本身的领会。本书既可作教材，又便于自学，是近年来同类书中较受国内化工教学和科技单位推崇的一本好书。

我们在翻译本书时，觉得有几点须告知读者：

(1)本书是国外同类书中采用SI制单位较多的一本，但也有少量工程制和英制，这并不会给使用本书带来太多的不便，也不会影响本书所具有的许多优点，因为重要的是学习解题的方法，单位制不会对采用的方法有妨碍。由于国外的书籍、资料仍有采用英制和工程制的，了解这两种单位制的情况也不是无意义的。书末附有单位换算表，会消除可能的不便。原书在某些单位的写法上不太统一，在翻译时已尽可能按正规写法予以改正。

(2)书中常提到的《化学工程师手册》，系指美国 R. H. Perry 和 C. H. Chilton 所编的 Chemical Engineers'

Handbook一书的第五版(1973年)。

(3)原书附录篇幅较大,现只保留热容及部分物性表,其余的物性数据表、水的蒸气压表、饱和水蒸气和过热水蒸气性质表,在一般手册中可查到,为节省篇幅,已全部删去。

本书承黄以恪、成钦炳同志精心审校,谨致谢意。

前 言

化学计算入门课历来在化学工程课程中起重要作用。最明显的是，它训练学生在化学过程的体系中去制定和解决物料衡算和能量衡算。同时也为热力学、单元操作、动力学、过程动态学等后续课程的学习打下基础。更重要的是，它为了解决有关过程问题提出了工程方法：把一个过程分成几个部分，在已知的和未知的过程变量间建立联系，将实验、经验、运用自然规律等方法结合起来，收集求解未知量所需的信息。最后把各个材料汇总起来得到问题所要的答案。

我们设法在本书中完成这每一项任务。而且，考虑到化学计算课程的内容常常是学生考虑挑选职业时最先遇到的实际问题，所以我们力图在课文中对化学工程的实际情况提供有现实意义的、带有资料性的、可靠的介绍。

我们总是在开始的时候对问题作定性的讨论，这些是工程师们在处理许多各不相同的过程时所面临的问题。在简明地介绍工程计算的基本方法后，系统地阐明了基本过程分析的结构：什么是过程变量，如何表达、测量和计算；决定过程特性的自然规律，以及为设计新过程或分析现有过程而必须确定的过程物料的物性。

在叙述本书内容时，是以化学过程所组成的结构和要旨作为构架。当我们从物理化学中引用某些基本概念，例如蒸

气压、溶解度和压缩因子时，是因为要用它们来求出过程变量或完成某过程的物料和(或)能量衡算。当我们讨论一些计算机计算技术，诸如曲线的拟合、找根方法和数值积分的计算方法时，应该在学习过程分析时充实同样要知道的内容。

本书的一个重要特色是有一整套工业过程的研究实例，它说明了单元设备计算在研究多元过程中的作用。我们设计了一些可作为学期作业的实例研究题，供个人或最好由一个小组的学生加以完成，这种作业在学生学完物料衡算(第五章)等引导性章节以后即可开始。在每个实例研究中，要求学生从所给的题意中画出适当的复杂流程图，并对过程进行物料衡算和能量衡算；此外，还准备了一些问题，要求学生思考全过程是如何构成的和为什么可以这样构成并加以回答。

了解了与实例研究有关的问题以后，学生们即可在正式的课程内容中收集资料，以帮助他们获得所需的解答。因此，实例研究既可作为学习课程内容的动力，对课程内容的来龙去脉也会有更多的认识。另外，在初次面临大的涉及面广的问题，和为解决这些问题收集资料和方法时，实例研究也提供了一般的工程训练。

在写作本书时，我们试图在不损害完备性和严密性的情况下，避免学究主义。本书的写作风格并不求形式上的正规，所有的解题方法都用例子予以说明；通常在自学中有效使用的那种书中简短的思考题对自学很有帮助，能帮助学生集中注意力，并强调每节的要点。多数问题都与真实过程相关，并包含实际的数据；这些问题可以使得各章在讨论了各种方法以后，有一个实践的机会，此外，对于由化学工程所包括的各个富有生机的领域，无论是在化学过程的传统领域还是如环境科学和技术、生物医学这样一些领域，都会有所涉及。

SI制在书中广泛使用,但并不贯穿始终,包括蒸汽表在内的内容广泛应用SI制的数据表列于附录内。计算机程序不清晰阐述,但是讨论了计算机在过程分析中的应用,并提及用计算机解决问题的可取之处。

我们极为感谢在本书的写作中帮助过我们并作出许多贡献的同事和朋友。

Richard M. Felder
Ronald W. Rousseau

供教师教学的参考意见

这本教科书的取材和组织，是考虑到可以灵活地适用于基础不同的班级，在一个学期或两个学期内学完。我们期望那些在工程计算方面从最低基础开始的班级将学习开头的十章以及实例研究。在大学一年级课程中已经学习过因次分析的班级的学生可以略过或快速通读第二章；在大学一年级化学课程中系统地学过使用单位来描述和分析反应体系的班级可以略过第三章的部分内容，而在大学一年级物理课程中已学过温度和流体压力的测量以及单位换算的全部知识的班级可以加快第三章相应部分的学习速度。同样，在大学一年级的工程课程中对基本数据的相互关系和曲线的拟合已具有良好基础的班级可以考虑略过第四章。由于这些省略而获得的时间可以用来学习第一至第三部分中的附加章节而并非必读的内容（包括关于不稳定状态体系的第十一章），或者学习计算机应用的附加材料，或者完成附加的实例研究。学完第二至第四章无论如何不应超过六个课时，一个学期应该学完第一章到第七章。

在我们讲述物料衡算步骤时，我们着重强调代数计算技术，而不象大多数作者那样去强调诸如联系元素这样一些手段。我们采取这种办法有几个理由，代数方法是很基本的东西，无论有没有联系元素都可以应用于过程，并更适合于在计

算机协助下进行的衡算；当强调联系元素时，我们发现学生倾向于把它们当作支撑而加以依赖，当没有联系元素时（如在多数实际的工业过程中那样），学生常常不知所措，除非他们习惯于使用代数方法。

另外，我们认为，由于联系元素而会对多数计算的有效性产生错觉。如果学生习惯于在流程图上把未知变量用符号表示，如果他们遵守这样一个原则，即首先解决包含未知量最少的衡算问题，那末他们在不直接运用联系元素的概念时，解决大多数物料衡算问题的速度能同运用这个概念时一样快；他们还能以好得多的方式来分析确实非常复杂的过程，而对这种复杂过程，即使运用对简单过程十分有用的简化方法一般也是不能解决的。

在前言中我们已经说明了安排实例研究的道理以及补充正式教材不足的学习方法或与此相反。如果采取我们在班级中经常使用的办法，把这些任务分组进行的话，是会出现意想不到的好处的。我们总是看到各个小组在半混乱状态中开始工作，各个小组的成员做着大家也在做的事，几个星期过去才能顺手。到学期结束时，学生们已经学会如何适当地划分各人的工作并且彼此相互学习（因为他们知道他们在该问题的任何部分都会受到检验，并不只是在自己负责的那个部分）。这是学生们通常说他们最感兴趣的那部分课程。我们也已发现，在小组和教师之间定期地讨论实例研究对所有有关的成员提供了教育方面的好处。

R.M. F

R.W. R

目 录

第一部分 工程问题分析	(1)
第一章 化学工程师有时要生活做些什么	(1)
第二章 工程计算基础	(9)
2-1 单位和因次	(10)
2-2 单位的换算	(11)
2-3 单位制	(13)
2-4 力和重量	(16)
2-5 因次一致性和无因次量	(19)
2-6 算术运算: 科学记法, 有效位数和精确度	(22)
习题	(25)
第三章 过程和过程变量	(30)
3-1 质量和体积	(30)
3-2 流率	(33)
3-3 化学组成	(35)
3-4 压力	(44)
3-5 温度	(53)
习题	(57)
第四章 过程数据的表示和分析	(69)
4-1 内插法和外推法	(69)
4-2 曲线的拟合	(71)

4-3 对离散数据拟合一条直线.....	(81)
习题.....	(82)
第二部分 物料衡算	(91)
第五章 物料衡算基础.....	(91)
5-1 过程的分类.....	(92)
5-2 衡算	(93)
5-3 物料的衡算	(98)
5-4 多设备过程的衡算.....	(115)
5-5 循环和旁路	(119)
5-6 反应体系的衡算.....	(123)
5-7 燃烧反应	(141)
习题.....	(152)
第六章 单相体系.....	(187)
6-1 液体和固体的密度	(189)
6-2 理想气体.....	(191)
6-3 真实气体.....	(201)
6-4 解非线性状态方程的试差法.....	(214)
习题	(215)
第七章 多相体系.....	(233)
7-1 单组分相平衡.....	(235)
7-2 吉布斯相律	(245)
7-3 气-液体系: 一个可冷凝的组分	(248)
7-4 多组分气-液体系	(257)
7-5 固体在液体中的溶液	(262)
7-6 不互溶溶液和部分互溶的液体	(269)
习题.....	(274)
第三部分 能量衡算.....	(292)

第八章 能量与能量衡算	(292)
8-1 能量的形式: 热力学第一定律.....	(294)
8-2 动能和位能.....	(296)
8-3 封闭体系的能量衡算	(297)
8-4 稳态下敞开体系的能量衡算.....	(301)
8-5 热力学数据表.....	(309)
8-6 能量衡算步骤.....	(314)
8-7 机械能衡算.....	(319)
习题.....	(325)
第九章 无反应过程的能量衡算	(348)
9-1 状态性质和假想过程的途径.....	(348)
9-2 恒温下压力的变化	(350)
9-3 温度的变化.....	(351)
9-4 相变操作.....	(371)
9-5 混合和溶解.....	(393)
习题.....	(406)
第十章 反应过程的能量衡算	(440)
10-1 反应热.....	(440)
10-2 反应热的测定和计算: 盖斯定律	(445)
10-3 生成反应和生成热.....	(447)
10-4 燃烧热.....	(450)
10-5 反应过程的能量衡算.....	(452)
10-6 燃料和燃烧.....	(470)
10-7 借助计算机进行物料和能量的衡算.....	(486)
习题.....	(487)
第十一章 不稳定过程的衡算	(516)
11-1 通用衡算式	(516)

11-2 物料衡算	(522)
11-3 单相非反应过程的能量衡算	(527)
习题	(534)
第四部分 实例研究	(548)
第十二章 甲醛的生产	(548)
第十三章 从发电厂烟道气中除去SO₂	(555)
第十四章 硫酸盐制纸浆法	(563)
附录A 计算方法	(574)
附录 A-1 最小二乘法	(574)
附录 A-2 非线性代数方程的解: 牛顿法则	(578)
附录 A-3 数值积分	(583)
附录 A-4 稳态化学过程计算机模拟	(589)
附录B 换算因子和物性表	(602)
附录 B-1 单位换算因子	(602)
附录 B-2 热容	(605)
附录 B-3 部分物性数据	(610)
思考题答案	(613)
部分习题答案	(627)

第一部分 工程问题分析

第一章 化学工程师有时

要为生活做些什么

自你买了本书以后，你很可能正在考虑花费三年时间学做一名化学工程师，然后以此身份工作四十年；但是可以相当有把握地断定，象大多数处于你位置上的人那样，你对化学工程的认识是很肤浅的。因此，本书一开始我们要从逻辑上给化学工程下一个定义。但遗憾的是，迄今尚未归纳出一个可以普遍接受的定义。相反，我们将举出一些要求最近毕业的化学工程专业的大学生解决的问题作为例子。你可以思考一下这些例子，看看它们中是否有一些也是你需要解决并乐于去做的那种课题。

例 1

在某公司研究和开发部门工作的一位化学家发现，如果在升高温度时把两种反应物以确定比例混合，得到一种比那两种反应物加在一起还更有价值的产物。公司便会考虑以此反应为基础来制造这种产品。因此，这件事就成了一个工程问题，或更精确地说，变成数以百计的工程问题。

(a)反应将在什么场合中进行?长管子中?大容器中?几个小容器中?一根极大的试管中?有多大?由什么材料制成?必须被加热吗?如果这样,需要多少热量?怎样加热?用电加热器放在反应器里面还是外面?让流体通过反应器中的加热盘管吗?反应物是在进入容器前加热吗?反应能提供自身热量吗?因此,加热只是在反应开始时需要,对吗?如果这样,这种热量会自行“跑掉”,以致引起爆炸吗?应当运用控制措施来预防这种现象吗?何种措施?

(b)反应物应在何处获得?是外购还是自己制造?它们以何种比例加入反应器?

(c)反应器流出物(其中包含产品和未消耗的反应物)是供出售还是将产品和反应物分离,再把反应物送回到反应器?如果需要分离,应采取何种方法?是否可以加热混合物,通过冷凝回收蒸气,从而使挥发物质的含量比原来混合物的高?是否可以加入另一种能吸收产品并与反应物不混溶的物质,然后用机械的方法分离两相?如果在整个过程中物料在反应温度下全是气体,是否可以将混合物在某一温度下经过冷却使产品冷凝而反应物不冷凝,或与此相反,如果它们都是液体,是否可以将混合物在某一温度下冷却到使产品结晶?如果从中选择一种,需要哪种设备?什么尺寸?何种材料?加热或冷却的要求是什么?是否需要以控制方法使过程操作保持在严格范围内?何种控制?应用人工操作还是自动控制?

(d)在过程中怎样使反应物和产物流股输进和输出反应器,是否需要加热、冷却和分离设备?要不要用高位加料器?用泵、风机、压缩机、还是皮带运输机?哪种类型?多大?用什么材料制造的管子?

(e)对于反应体系的了解是否足以回答所有这些问题,还

是仍需另外进行一些实验研究？研究什么？实验数据能直接用于工厂设计吗？还是首先要建立一个小型试验工厂以便加以确证？规模小到什么程度？

(f)怎样做有可能使过程发生差错，如果有或者已经有错，应当做些什么工作？

(g)该过程会产生废物吗？数量多少？如果把未处理的这种东西释放出去，它们会对环境造成潜在的危害吗？如果这样，是如何危害的？为了减少污染的危害，应做些什么工作？对废物进行化学处理？把液体废物和固体废物装入容器，密闭并用车运走，抛入大海？建筑高烟囱把气体排入空中？用静电的方法把固体从排出的气体中沉降下来？

(h)该过程中自动化的程度有多少？它将如何进行？

(i)全部成本为多少？产品售价多少？卖给谁？该过程每年的净盈利多少？这合算吗？如合算，工厂应当建于何处？

(j)一旦工厂建立，开工后应接着采取什么措施？

(k)六个月后，工厂已经开工了，为什么产品不能象在实验室里那样制造出来？是由于设备的故障还是由于实验室和工业过程之间某些条件的变化所致？如何发现？为了纠正存在的问题应采取什么措施？有否必要停工以改变局面？

(l)反应器设备在六个月内三次爆炸、四次着火是需要重视的还仅是一系列恶性事故的巧合？不管属于哪种情况，你如何采取措施阻止它们再次发生？

(m)该过程操作会发生各种各样的差错。为什么它们没有列在可能发生差错的表上？对此能做些什么？

(n)当过程终于顺利地开始工作，而第二天一个命令下达要求改变产品规格，如何能在不重新设计整个过程的情况下做到这一点？在建厂以前为什么没有考虑到这点？