

化学工程师知识必备

〔美〕 R.K. 普拉布德赛
D.K. 达斯



化学工业出版社

化学工程师知识必备

〔美〕 R. K. 普拉布德赛

D. K. 达斯

徐世峰 陈丽 郭乃铎 朱振东 译

马桐泉 校



化学工业出版社

内 容 提 要

本书译自美国McGraw-Hill Book company出版的《Chemical Engineering for Professional Engineers' Examinations》。本书主要是为化学工程师参加职业工程师专业考试而写。

全书共分十五章,包括化工各单元操作、流体力学、热力学、化学热力学、过程控制、工程经济学等。

书中简明扼要地介绍了化学工程的概念及解决各种问题的方法,使化学工程师利在有限时间迅速复习专业基础知识。本书是从从事实际生产的工程师们的很有价值的参考资料,也可作为化工系学生的补充读物。

Rajaram K.Prabhudesai and Dilip K.Das
Chemical Engineering for Professional Engineers' Examinations
McGraw-Hill Book Company New York 1984

化学工程师知识必备

徐世峰 陈丽 郭乃铎 朱振东 译

马翔泉 校

责任编辑:施承薇

封面设计:许立

*

化学工业出版社 出版发行

(北京和平里七区十六号楼)

顺义县燕华营印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 印张 14 $\frac{1}{8}$ 字数 328 千字
1991年3月第1版 1991年3月北京第1次印刷

印 数 1—7,500

ISBN 7-5025-0316-1/TQ·246

定 价 8.35 元

目 录

前言	(1)
译者的话	(3)
职业工程师考试:一般介绍和对应试者的建议.....	(5)
第一章 单位和因次	(9)
第二章 流体力学	(19)
第三章 传热	(91)
第四章 蒸发	(144)
第五章 精馏	(157)
第六章 吸收	(204)
第七章 浸取	(235)
第八章 液-液萃取	(253)
第九章 湿度测定和增湿	(266)
第十章 干燥	(281)
第十一章 过滤	(287)
第十二章 热力学	(300)
第十三章 化学动力学	(343)
第十四章 过程控制	(394)
第十五章 工程经济学	(407)

前 言

随着人们对工程师的职业许可证和注册证的日益重视，越来越多的化学工程师要参加职业工程师（P. E.）考试。本书主要是为这些需要准备参加P. E. 专业知识部分考试的化学工程师们写的。我们力求使之能成为满足他们需要的简明读本。以帮助他们尽快地复习化学工程的基础知识，使他们在P. E. 考试的场合及限制时间里，能胸有成竹地熟练运用这些基础知识解决问题。另外，本书可作为实际生产工程师们的很有价值的参考资料，亦可作为化学工程系高年级学生们的优秀补充读物。

本书所包含的主要课题有流体力学、传热和单元操作如蒸馏、吸收、萃取、增湿。有关化工热力学和化学动力学的章节使对化学工程基本原理的论述更为完善。由于工程经济在P. E. 考试中极为重要，我们设专章予以讨论。因此，化学工程专业的投考者可以从本书中获得参加P. E. 专业知识部分考试所必需的全部基础资料。

本书的重点放在对化学工程概念和方法以及应用它们解决各种问题的回忆上。所以，尽管没有忽略基本原理，但涉及的基础知识的内容是很简略的。我们举出了许多例子来说明如何应用基本原理来解决实际问题。书中的例题极其普通，而并未限制在过去的P. E. 试题类型中，这正是本书的另一特点。因为每年的化学工程师职业考试题都会有相当大的变动。所以这一点是尤其重要的。因此，投考者对P. E. 考试内容的复习，宜

重视基本原理及其对解决各类问题的应用。

现在,多数国家包括英美在内已采用国际单位制(SI单位制)作为标准。国际单位制最终将取代现在常用的单位制。同时,在学校和职业工程师基础工程知识考试中,SI单位制的应用当然越来越受到重视。但是,在职业工程师考试中,重点仍放在fps制单位上。我们在本书的引言一章中,对SI制及较常见的fps制、英制和cgs制单位都作了复习。另外,在有些章节中,还有不少例子说明了SI制单位的用法。但由于在美国的工业生产及P.E.专业知识部分的考试中,现在还广泛地应用着fps制和cgs制单位,因此这些单位制的内容在全书中占有更大的分量。

我们在文中已对符号作了说明,因而没有在每个章另列符号表。

我们希望本书的读者们在P. E.考试中交上好运,在他们的职业生涯中永远成功。

Rajaram K. Prabhudesai

Dilip K. Das

译 者 的 话

现在世界上有许多国家都采用一致的方法，对职业工程师进行考核，并发给证书。这种考试分两部分：A 部是工程基础知识，B 部是工程原理及应用。通常每年考两次。应试者要通过A、B两部分考试。方可取得职业工程师的职称和证书。本书正是为准备B部的考试而写的。

全书的内容，无疑是相当全面的。其体制结构，如要做广告的话，完全可以说是“国内空前”的了。在学习的过程中，我们便可以发现，各章内容的深与浅、疏与密是处理得相当适当的。在国内已出的教材中，关于热力学和动力学的内容，往往深度有余，广度不够，令人望而生畏；费九牛二虎之力啃下之后，却又味同嚼蜡。本书从化学工程的角度，对这两方面的基本原理作了简明而不空洞的叙述。这是本书令人欣赏的又一特点。对一名化学工程师所应具备的过程控制和工程经济方面的知识，本书亦作了颇为清晰的讨论。对我们化工行业的工程技术人员而言，能在这本书中轻松地获得有关基础知识而不用去啃那些冗长而玄奥的“大部头”，不能不算是件值得庆幸的事。

对P. E.考试之类的考核，国内尚未作出正式的规定。但我们可以相信，对晋升者进行考核，是理所当然的事。一名工程师如果未经证实的确具有一定的基础理论与专业知识水平。其职称不过是有名无实的头衔而已。本书以化学工程的专业基础理论为主体，对一名化工工程师所应具备的各方面的专业基本原理作了简明的规定。如果不久我国也将设立化学工程师 P.

E. 考试的话,它完全可以作为制订考试大纲的参考标准。工程师不是研究员。我们没有必要为本书的简略而遗憾。倒是应当从本书的编写体制受点启发,去努力掌握广而厚的基础理论。

近年来,我们看到在化学工程专业方面,出现了不少颇具特色和水平的学习资料。相信《化学工程师知识必备》的出版,定能为广大的专业人员提供一份别具一格的学习指南。它将成为大专院校师生学习专业基础课的良好益友,成为参加硕士学位研究生的投考者不可多得的复习指导书,成为化工战线上工程技术人员的重要的理论基础手册。

在翻译过程中,我们修正了原书中一些明显的错误,挂一漏万,也在所难免;且由于译者水平有限,误译之处,非止一二,恳请广大读者提出批评意见,以使本书能更好地为您服务。

全书共分十五章。第一、三、八、九、十、十一、十二章及前言由徐世峰同志翻译,第四、五、六、七章由陈丽同志翻译,第二章由郭乃铎和陈丽同志合译,第十三、十四、十五章由朱振东同志翻译,全书由清华大学核能技术研究所马栩泉同志审校。

徐世峰 陈 丽
郭乃铎 朱振东 译于北京

1987年1月

职业工程师考试： 一般介绍和对应试者的建议

多数国家都采用由国家工程师审查委员会 (N.C.E.E.) 提出的统一的考试大纲，对应试者进行职业工程师许可证的考核。这种考试分为两部分：(1) A 部——工程基础知识；(2) B 部——工程原理和实践知识。通常每年进行两次考试。

A 部即工程基础知识 (实习工程师应掌握的) 是开卷考试，其内容涉及工程数学，化学，物理，静力学，动力学，力学，材料强度，流体力学，经济分析，电工学和材料科学的基本问题。考试分为上、下午两次，各四小时。上午的考试包括选择题。在下午的考试中，提出许多组问题。每组问题由十道与该问题有关的选择題组成。要求应试者解答至少四个学科领域的五组问题。上、下午的考试作为一次考试，并用计算机记录统计。

A 部考试并非允许进入 B 部考试的先决条件。但是，仅仅成功地通过了 B 部考试还不够获取职业工程师许可证的资格。

本书是为 B 部编写的。B 部也包括上、下午各 4 小时的考试。应试者在每个 4 小时内要回答四个份量相等的问题。在每 4 小时考试的一组问题中，都包括一个关于经济分析的问题。因此，应试者在每 4 小时考试中需要解答三个另外的问题。应试者可以从一个主要领域选择这三个问题，也可从化学工程、土木工程、电工或机械工程中最多两个主要领域选择。如果选定了两个领域的话，则上、下午考试这两个领域必须相同。

相信应试者在需要解答问题时，能够应用恰当的工程判断来选择和计算有关数据，能够正确地使用工程基本原理，并且能够作出合理的假定。

资料的获得

各国间对P. E. 考试资格的基本要求，诸如年龄，公民身份，特质，学位，文化程度以及阅历是不同的。考试的实施方法和授予资格证书的标准由各个国家委员会自行处理。可以从各个国家委员会得到申请表、指南和注册章程的拷贝。可以从国家工程师审查者联谊会 (National Conference of Engineering Examiners, P. O. Box 1686 Clemson, South Carolina 29630) 处得到国家委员会的地址及典型试题。

申请表的推敲和工作经历的介绍

要特别注意申请表的推敲。不适当地介绍工作经历和其他情况，可能会使接受考试资格申请表受到耽误，甚至会被拒绝接受申请表。因此，应试者必须仔细填写担任的职称，承担的工作任务的地位和性质，所负的责任，并详细说明职业经历，避免含糊不清的概括。

考试的准备

在准备B部考试时，必须在3至6个月内用大约100至250小时来学习化工原理。准备考试的某些方针是：

1. 在打算参加考试之前，先递交考试资格申请表。还需提醒你注意：要把正式申请表直接邮寄国家委员会。

2. 用一定的时间（至少每周5天，每天2小时）专心致志地学习。

3. 用本书首先复习最熟悉的科目，以增强自信心。而后再复习其他课题。每小时试着解答两个问题。

4. 在你读的书上适当地作些笔记。在书上记下重要的问

题、原理等。

5. 考试前一天,一定要知道考场的确切位置,并去看一下现场。调查一下考场附近吃饭的条件,以便决定是否要带午饭。

6. 早些到考场来。如果考试地点在你住的城市以外,应提前一天来,在这儿住一个晚上,并充分休息。

7. 考试前的一个晚上不要再学习了。如果这时还不得不学习的话,你对考试的准备就做得不好。

考试要带的东西

1. 《化学工程师知识必备》(Chemical Engineering for Professional Engineers' Examinations, Prabhudesai and Das, McGraw-Hill, New York.)。

2. 最新版本的《化学工程师手册》(Chemical Engineers' Handbook, McGraw-Hill, New York.)。

3. 你所熟悉的、你觉得适用的任何其他书籍。

4. 带有变化率因子的利息表。

5. 蒸汽表,最好是由Combustion Engineering, Inc., Windsor, Connecticut出版的蒸汽表。

6. 拉普拉斯变换表。

7. 时钟。

8. 直角三角形坐标纸,半对数坐标纸,双对数坐标纸和普通方格纸($8\frac{1}{2} \times 11$ 英寸);刻度尺;比例尺;三角板;量角器;软橡皮;带小刀的活芯铅笔盒;带有备用笔芯的圆珠笔。

9. 两个带有补充电池的电池供电小型计算器。

10. 委员会发的准考证,午饭,如果你容易头痛,还要带些适当的药品。

为通过考试的忠告

1. 如果考场中的座位不是预先指定的,就争取在光线较好处选一个座位。

2. 充分地阅读有关解题的数目的说明,核对带有专门编号的卷纸,以及允许解答其他科目的问题的灵活范围。

3. 迅速而仔细地查看所有的问题,核对一下你确信自己能解的那些问题。然后对这些核对过的问题按难度增加的顺序进行编号,并适当地分配解题的时间。

4. 首先解答最容易的问题。仔细地读题,并在需要你回答的那些内容下面画线。如果规则上允许,将每道题分成一张纸。

5. 画一个描述该过程的示意图或草图,列出已知的数据,如果缺少资料的话,确定这些资料。利用文献资料证明解题所需的一些假设。注意有时题目叙述中可能有某些多余的数据。

6. 仔细地分析各参数的单位。无因次数群需要用一致的单位。

7. 以适当的单位表示所需的未知数的数值。先用代数计算,然后再代入数值,这样做比较容易些。

8. 如果时间允许的话,验算答案的合理性,并尽可能用另外一种方法进行验算。

9. 倘若由于意外,你在解一道看上去简单的题却又不能取得任何进展时,切不可全神贯注于该题,以致于失去了时间意识。假如你不能在45分钟内做完这道题,若需要的话,使用方程记下解法,并指出最终答案的单位。然后做下一道题。时间允许的话,再回到没做完的那道题上来,并完成它。

第一章 单位和因次

由于包括英美在内的许多国家采用国际单位制 (SI单位) 作为标准单位, SI单位制的使用已经得到了进一步的强调。职业工程师考试的投考者们除了知道惯用的 fps(工程)单位制和 cgs单位制外, 还得通晓SI单位制。以下的讨论对不同的单位制以及它们之间的相互变换作一简短的回顾。

因次 (Dimensions)

一个物理量包含两部分: (1) 表示因次并给出计量标准的单位, (2) 给出该单位的数值的量。例如, 两点间的距离具有长度的因次, 从而可以表示如3英尺(ft)。其中的英尺便是长度因次的单位, 3则是长度单位相应数量的值。

体系的物理性质是可以通过力学定律和物理定律相互关联的。这种关联使我们可以把一定的因次作为基本单位, 而将其它的作为导出单位。选作基本单位的因次在不同的单位制中也是不同的。但通常是把长度 L , 时间 T 和质量 M 作为基本单位。在有些单位制中, 用力 F 或同时用质量 M 和力 F 作基本因次。

单位制

下文将叙述化学工程师们在其工作中通常要用到的一些单位制。

厘米-克-秒(cgs)单位制。这一单位制中的基本因次是长度 L , 质量 M 和时间 T 。单位及其命名如下表:

1107471

因 次	因次符号	单 位
长 度	L	厘米(cm)
质 量	M	克(g)
时 间	T	秒(s)

该单位制中力的单位是达因，其定义为使1g的质量产生 1 cm/s^2 加速度时所施加的力。故

$$\text{力 } F = M L T^{-2} \quad \text{单位达因 (1 dyn)}$$

英国工程单位制。这一单位制中，英尺和秒是长度和时间的单位，第三个基本单位是磅-力。磅-力定义为使1磅质量产生 32.17 ft/s^2 的加速度时所施加的力。这是一个固定量，且不同于磅-重，磅-重是重力场作用在1磅质量上的力。由于重力场强度与地心有关，从一个地方到另一个地方要发生变化，因而磅-重是一个变化量。

英制中质量的单位是斯勒格 (slug)，这是在1磅-力作用下产生 1 ft/s^2 加速度的质量。

$$1 \text{ 磅-力} = (1 \text{ 斯勒格}) (1 \text{ ft/s}^2)$$

或
$$1 \text{ 斯勒格} = \frac{1 \text{ 磅-力}}{1 \text{ ft/s}^2}$$

英尺-磅-秒 (fps) 单位制。这一单位制的基本因次及单位是：

因 次	因次符号	单 位
长 度	L	英尺(ft)
质 量	M	磅(lb)
时 间	T	秒(s)

这一单位制中力的单位是磅达 (poundal)，它是使 1lb

质量产生 1ft/s^2 的加速度时所施加的力。

故 $1\text{磅达} = (1\text{磅-质量})(1\text{ft/s}^2)$

比较英制和fps制可知, 1斯勒格 = 32.17磅-质量。

又有 $1\text{磅-力} = 32.17\text{磅达}$

我们把1磅-质量写做1lb_m或简单地记做1lb*, 把1磅-力写做1lb_f, 这样就可避免把1磅-质量与1磅-力混淆起来。在美国, 磅-质量和磅-力都是基本单位。

在本单位制中, 把力和质量的比例系数 g_c 定义为:

$$\text{力}(\text{lb}_f) = \frac{[\text{质量}(\text{lb})][\text{加速度}(\text{ft/s}^2)]}{g_c}$$

对重力的单位而言, 牛顿定律的比例系数 g_c 被取为**

$$g_c = 32.17 \text{ lb} \cdot \text{ft/s}^2 \cdot \text{lb}_f$$

SI单位(国际单位制)。本单位的基本因次和单位如下表:

因 次	因次符号	单 位
长 度	L	米(m)
质 量	M	千克(kg)
时 间	T	秒(s)

该单位制中力的单位是牛顿, 定义为给1kg质量以 1m/s^2 的加速度时所需的力。故

$$1\text{N} = (1\text{kg})(1\text{m/s}^2) = 10^5\text{dyn}$$

在实际应用中, 选用SI单位制, 倍数和约数是很方便的。今列于表1-1中。

热的单位。为方便起见, 热能用质量、温度以基本单位引入和

* 在本书中, 以后把1磅-质量记为1lb, 把1磅-力记为1lb_f

** 本书中在解题时, 通常用圆整值 $g_c = 32.2$

表1-1 SI单位的倍数和约数前缀及符号

倍数	SI 前 缀	符 号	约 数	SI 前 缀	符号
10^{18}	exa	E	10^{-1}	deci	d
10^{16}	peta	P	10^{-2}	centi	c
10^{12}	tera	T	10^{-3}	milli	m
10^9	giga	G	10^{-6}	micro	μ
10^6	mega	M	10^{-9}	nano	n
10^3	kilo	K	10^{-12}	pico	p
10^2	hecto	h	10^{-15}	femto	f
10	deka	da	10^{-18}	atto	a

一个比例常数即物质的比热来表示。由于比热因物质而异,我们用 15°C (288K)下的水的比热为准表示热量。在cgs制中,1卡路里是在大气压下使1克水的温度升高1摄氏度所需的热量。

在英制和fps制中,英热单位(Btu)是把1磅水的温度升高1华氏度(从60到61 $^{\circ}\text{F}$)所需要的热量;磅-卡(pound-calorie)或摄氏热单位(Celsius heat unit)是把1磅水(60 $^{\circ}\text{F}$ 下)的温度升高1摄氏度时所需的热量。

卡和千卡用焦耳(joule)再定义为

$$1\text{卡}=4.1868\text{J} \quad 1\text{千卡}=4186.8\text{J}$$

水的比热在各种单位制中的值为

$$\text{cgs:} \quad 1\text{cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$\text{fps:} \quad 1\text{Btu/lb} \cdot ^{\circ}\text{F}$$

$$\text{SI:} \quad 4186.8\text{J/kg} \cdot ^{\circ}\text{K}$$

在化学中有时用到的热化学卡(thermochemical calorie)为

$$1\text{卡(热化学)}=4.184 \times 10^7\text{尔格}=4.1840\text{J}$$

压力单位。在SI单位制中,压力的单位是每平方米牛顿,称为

帕斯卡 (Pa)。帕斯卡是一个很小的单位,用下式与巴(bar)关联:

$$1\text{巴}=1\times 10^5\text{Pa}=1\times 10^5\text{N/m}^2$$

在所有单位制中都使用的一个方便的压力单位是大气压(atmosphere);大气压定义为:

$$1\text{atm}=1.01325\times 10^5\text{Pa}=1.01325\times 10^5\text{N/m}^2$$

功,能量和功率。在SI制中,功和能量用焦耳(J)来计量,

$$1\text{J}=1\text{N}\cdot\text{m}=1\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2$$

功率用瓦特计量;瓦特定义为焦耳每秒(J/s)。

摩尔单位在与化学反应有关的问题中,用摩尔单位来计算常常是很方便的。1克摩尔物质是用克为单位表示、数值为其分子量的物质的量。千克摩尔是用千克为单位表示、数值为其分子量的物质的量。同样,磅-摩尔(1b·mol)是用磅为单位表示、数值为其分子量的物质的量。单位的换算。我们可以通过用基本单位(长度,质量,时间,温度)来表示物理量,并运用适当的基本换算因子,进行从一个单位制到另一个单位制的单位换算。基本换算因子有:

质量: $1\text{kg}=2.2046\text{ lb}$

$$1\text{lb}=\frac{1}{32.17}\text{斯勒格}=453.6\text{g}=0.4536\text{ kg}$$

长度: $1\text{ft}=30.48\text{cm}=0.3048\text{m}$

$$1\text{m}=3.2808\text{ft}\doteq 3.281\text{ ft}$$

时间: $1\text{s}=1/3600\text{h}$

温度差: $1^\circ\text{F}=1/1.8^\circ\text{C}=1/1.8\text{K}$

力: $1\text{lb}_f=32.17\text{磅达}$
 $=4.44\times 10^5\text{dyn}=4.44\text{N}$

用下面的例题来说明由一个单位制到另一个单位制进行单