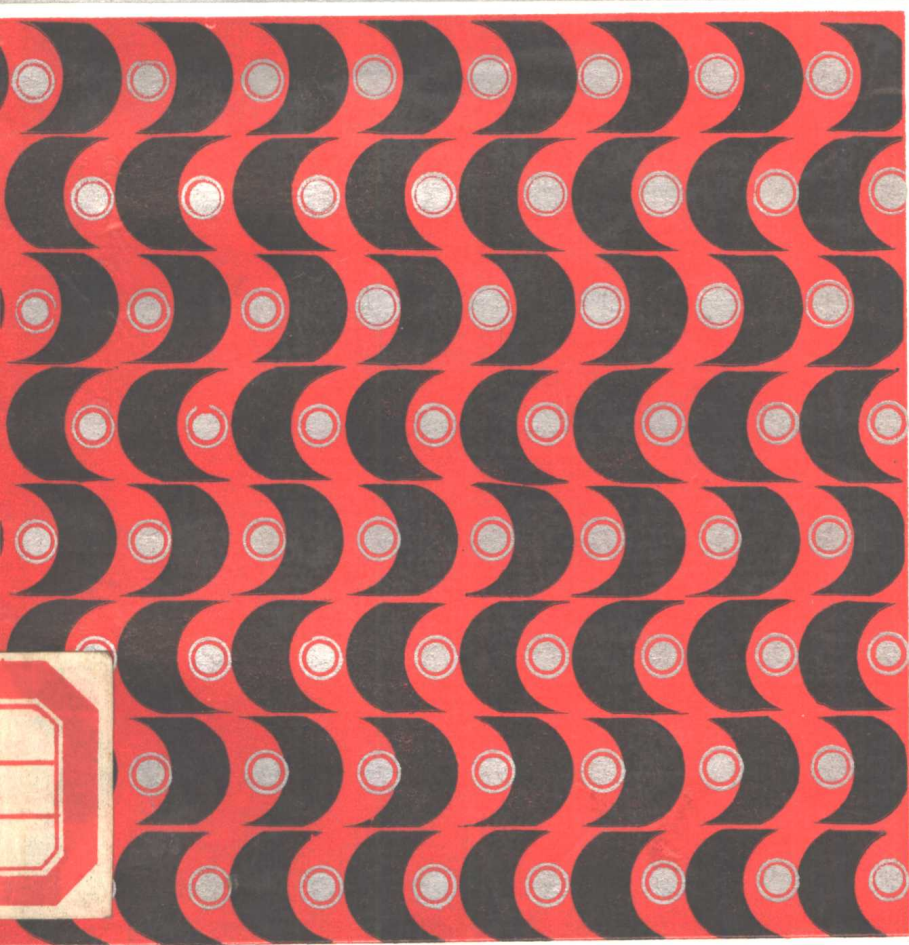


用计算机计算 多元汽-液和液-液平衡

〔美〕 J.M. 普劳斯尼茨 编著



化学工业出版社

用计算机计算多元汽-液 和液-液平衡

〔美〕J. M. 普劳斯尼茨 编著

陈川美 盛若瑜 等译

郑锡胤 审校

化学工业出版社

本书是由美国著名学者J. M. Prausnitz所著。

全书共七章，第一章绪论，第二章介绍相平衡热力学，第三、四、五章讲述气相、液相、焓，第六章讲述参数的估算，第七章为多元物系的平衡分离计算。并附有附录，内含大量实用程序。

本书反映了用计算机计算非电解质溶液汽-液和液-液平衡的最新成就，重点突出了UNIFAC和UNIQUAC方法。实用性强，附有整套数据及大量数据加工的全套程序，其程序收敛速度快方法亦较先进。

本书的第一至七章由陈川美、盛若瑜、王鑫泉、孙卓良同志译，附录部分由周重华、赵继堂、杨守诚、周清同志译，全书由大连工学院郑锡胤教授审校。

本书可供化工、石油、石油加工等工业的科研、设计单位的科技人员使用，也可作为有关大专院校的教学参考书。

J. M. Prausnitz
**Computer Calculations for Multicomponent
Vapor-Liquid and Liquid-Liquid Equilibria**

Prentice-Hall, INC. 1980

用计算机计算多元汽-液和液-液平衡

陈川美、盛若瑜等译

郑锡胤审校

责任编辑：苗延秀

封面设计：许立

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ 印张 $10^{1/2}$ 字数278千字印数1—2,150

1987年3月北京第1版1987年3月北京第1次印刷

统一书号15063·3831定价2.90元

序 言

流体混合物的分离是化学工程的主要任务之一。虽然新的分离方法在积极不断地开发,但是大多数的大型分离仍由经典的相际接触操作来实现,如蒸馏、吸收、汽提和萃取。设计这些单元操作设备需要相平衡的定量估算。

本书详细论述了应用计算机以最少量实验数据来估算多元物系的汽-液和液-液平衡的分子热力学方法。但仅限于非电介质溶液,即有机溶液(如烃类及其衍生物,醇、腈、酮和酯类等)和几种常见的无机流体,如水和二氧化碳。另外压力限于低压和中压范围,且远离临界状态。

我们在1967年发表的早期著作《多元汽-液平衡的计算机计算》一书,现已过时。

本书在某种意义上是早期那部著作的更新,但它与前书不同,还论述了液-液平衡并提出了平衡计算的通用迭代方法,所以也是较重要的扩充。

不可能全面地陈述计算结果的精度,因为计算结果主要取决于所采用的有限的实验数据的精度。假如实验数据是准确的并注意到本书中指定的所有限制因素,其计算结果将是可靠的。

首先,向我的合著者——伊利诺斯大学的C. 埃克特和 R. 赫西(C. Eckert 和 R. Hsieh)^①表示谢意,感谢他们为本书提供了大量有关纯物质性质和焓的资料;感谢佛罗里达大学的J. 奥康内尔(J. O'Connell)提供了大量有关气相非理想性和含有一种或多种超临界组份液体混合物的资料;感谢在伯克利的同事 E. 格伦斯(E. Grens)为本书开发了全部计算方法和程序;还要向

① 现在在奇弗龙研究公司(加利福尼亚州,里士满)。

我以前的研究生和合作者 T. 安德森^①致以谢意，他为本书进行了实例计算和绘图制表，并处理了筹稿过程中所遇到的一切琐事。第四章中的大部份内容取自汤姆的博士论文，尤其重要的是他始终如一地承担了许多艰巨的任务，因而促进了我们的工作，使之顺利完稿。

最后，还向审阅手稿的 H. 纳尔（密苏里州，圣路易斯，孟山都公司）和 C. 迪尔（得克萨斯州，休斯敦，Shell 开发公司），向慷慨帮助、专心整理最后文稿的 E. 拉森；向认真打字的 D. 洛伦斯（D. Lorentz）致谢。

分子热力学正在迅速地发展，同样，计算机科学也在进行新的开发。因此，当人们对混合物有进一步的认识和新的计算方法出现时，就必将对本书中讨论的方法进行修改，甚至彻底地修改。然而，书中介绍的方法，反映了在化学工艺设计中分子热力学、分子物理学与计算机科学相结合的当代水平。

本书介绍的全部计算机程序和参数汇编（单组份和双组份），均可由磁带提供，感兴趣的读者可来信了解细节。现在使用的是 800 位/英寸、80 字符（卡片映象）记录的非块状——十进制七道磁带。如有特殊要求，也可提供九道磁带。全部子程序均按美国国家标准 (FORTRAN IV), ANSI X309—1978 编制的，这就能与大多数计算机系统相匹配。为了适用于更多的计算机系统，正文中的示例主程序要做较小的改动，但这些改动没有包括在磁带上。

我们希望：本书对工艺设计工程师会有所帮助；能启发研究生和研究人员去探讨新的技术，以改进本书介绍的方法；而且希望具有各种意图的其他读者，也能象笔者那样，在把合理的思维与科学想象结合起来，去解决实际问题的过程中感到满意。

J. M. Prausnitz

(J. M. 普劳斯尼兹教授于加里福尼亚，伯克利)

① 现在在康涅狄格大学（斯图尔）。

目 录

序言

第一章 绪论	1
1. 热力学计算的必要性	1
2. 联立热力学方程的解法	2
3. 精度	4
4. 计算机执行程序	4
多元流体相平衡计算的参考文献	5
第二章 相平衡热力学	11
1. 逸度系数	12
2. 活度系数	13
3. 用于归一化的对称及非对称常规	14
4. 吉布斯-杜亨 (Gibbs-Duhem) 方程	15
5. 可凝性组份的标准态逸度	17
6. 非凝性组份的标准态逸度	18
7. 关键方程式摘要	19
第三章 气相	20
1. 逸度系数	21
2. 维里方程	22
3. 具有强相互作用的物质 (含羧酸的混合物) 气相非理想性的“化学理论”	26
4. 计算机执行程序	30
5. 未知参数的估算说明	30
6. 结论: 自变量对气相非理想性的影响	31
参考文献	32
第四章 液相	33

1. 活度系数	34
2. 数据来源	36
3. 数据回归	37
4. 例题	37
5. 多元体系	45
6. 非凝性组份	48
7. 含有一种或多种非凝性组份混合物的汽-液平衡	50
8. 液-液平衡	54
9. 三元体系	55
10. 用三元数据进行数据回归	57
11. 结果	59
12. 四元（或四元以上）液-液平衡	64
13. 计算机执行程序	69
14. 结论	69
参考文献	70
第五章 焓	73
1. 气相	74
2. 液相	76
3. 含非凝性组份的液体混合物	78
4. 例题	79
5. 计算机执行程序	81
6. 结论	82
参考文献	83
第六章 参数的估算	84
1. 最大似然原理	85
2. 根据汽-液平衡数据估算参数	86
3. 参数的重要性、单值性及误差	87
4. 残差分析	91
5. 估算方差的影响	92
6. 系统误差	92

7. 模型选择	93
参考文献	94
第七章 多元物系的平衡分离计算	95
1. 平衡分离计算	96
2. 迭代计算方法	100
3. 泡点与露点计算	102
4. 汽-液平衡分离计算	104
5. 液-液分离计算	108
参考文献	112
附录A 气相非理想性的计算	113
1. 化学理论	116
2. 含缔合性组份的气相焓校正	118
附录B 零压下的标准态逸度	121
附录C 参数表	125
1. 纯化合物对比态参数和 UNIQUAC 面积、体积参数	128
2. 标准态(零压)逸度方程常数	133
3. 理想气体热容方程常数	138
4. 92种流体的缔合与溶剂化参数	143
5. UNIQUAC 二元参数: 非凝性-可凝性组份相互作用 的特征二元交互作用参数	162
6. 可凝性二元物系 UNIQUAC 交互作用参数及数据来源	172
7. 非凝性-可凝性组份UNIQUAC二元交互作用参数: 由稀释浓度范围汽-液平衡数据所得到的参数	192
附录D 二元参数的计算程序: 说明及源程序	194
附录E 计算热力学性质的子程序: 说明及列表	269
附录F 计算汽-液平衡分离的子程序: 说明及列表	295
附录G 计算液-液平衡分离的子程序: 说明及列表	309
附录H 输入和修改参数的子程序: 说明及列表	316

附录I	计算汽-液和液-液平衡分离的主程序.....	323
附录J	热力学子程序的运算时间和存贮要求.....	327

第一章 绪 论

化工工艺设计通常总是包括分离操作的设计。其中最常用的是蒸馏、吸收和萃取。

合理设计这些分离操作的一个基本条件就是要具备必要的相平衡知识。本书介绍了一项利用数字计算机由较少的实验数据来估算这些相平衡的技术。

人们通常把大部分精力放在蒸馏塔及吸收塔设计的电算技术的开发上,很少注意到液-液萃取设备的此种技术的开发。然而,无论那类操作都很少有系统性的试图来编组相平衡资料供化学工艺设计直接使用。本书提出了计算多元汽-液和液-液平衡的系统计算方法,所涉及的混合物都是化学工业中经过遇到的。本书主要着眼于低压及中压下的物系。章末列出了与前人工作有关的参考文献。

1. 热力学计算的必要性

工艺过程中可能遇到的气体及液体混合物的数目多得惊人。因此,难以得到大部分汽-液及液-液平衡的实验数据。此外,要想得到准确的实验数据就要有相当高的实验技巧、经验及耐心。然而,从经济观点来说,也需要考虑由较少实验数据来计算多元相平衡的方法。这类方法只需进行有限的实验。只要有可能,还可根据理论对温度、压力和组成进行可靠的内插或外推。

汽-液及液-液平衡取决于物系中各组份的性质、各组份在两相中的浓度以及体系的温度和压力。由于决定多元平衡的因素很多,因此需要采用一个有效的方法,从现有的实验数据回归出若干有理论意义的函数和参数。然后,调用这些函数和参数形成“积木”,以建立所需的平衡。由热力学解析与综合可提供这种

组织工具。首先,利用解析法从有限的纯组份或二元数据求出热力学基本量,然后,回归这些基本量求得分子模型的参数。利用综合法把分子模型用于计算多元液体和气体的相平衡。这样,就可以根据二元及纯组份体系进行数据扩充,以便较准确地估算由种类繁多组份所构成的多元混合物的性质。在这些组份中,一般包括水,极性有机溶剂,如酮类、醇类、腈类、链烷烃、环烷烃及芳香烃等。

本书所推荐的方法具有牢固的热力学基础。对于汽-液平衡,由于考虑到汽相的非理想性,所以本法适用于分离操作常见的低压或中压情况下。对于液-液平衡,除了压力非常高或者体系的状态接近汽-液临界区域外,压力的影响一般很小。本书所介绍的具体算法是基于特定的模型,汽相为海登-奥康内尔法(Ha-yden-O'Connell),液相为UNIQUAC法。我们对这些算法的论述具有充分的通用性。因此,使用者可以根据需要选用其它模型。

2. 联立热力学方程的解法

在汽-液平衡中,如果已知一相的组成,那么基本上就有四类的问题,它们由已知的及要计算的变量来表示其特性。令 T 为温度, P 为总压, x_i 为液相组份 i 的摩尔分率, Y_i 为汽相组份 i 的摩尔分率。对含有 m 种组份的混合物来说,这四种类型的问题可以按下列方式组合:

已知	求解
$P, x_1, x_2 \cdots x_m$	$T, y_1, y_2 \cdots y_m$
$T, x_1, x_2 \cdots x_m$	$P, y_1, y_2 \cdots y_m$
$P, y_1, y_2 \cdots y_m$	$T, x_1, x_2 \cdots x_m$
$T, y_1, y_2 \cdots y_m$	$P, x_1, x_2 \cdots x_m$

在每个问题中都有 m 个未知数;温度或压力二者中有一个是未知的。此外,还有 $(m-1)$ 个未知的摩尔分率。

当给定体系的总组成、压力及温度(或焓)时,这个问题就

成了一个闪蒸计算问题。这类问题就需要解出物料衡算与相平衡关系的联立方程。

在液-液平衡中，总组成及温度是已知的，而压力通常并不重要。此问题在某些方面类似于汽-液闪蒸，本书把它当作一个液-液闪蒸计算问题。

对汽-液平衡，必须满足下列形式的平衡方程：

$$f_i^V = f_i^L \quad (1-1)$$

式中 f_i^V 为汽相组份 i 的逸度，而 f_i^L 为液相组份 i 的逸度。式 (1-1) 这种形式的方程有 m 个。逸度 f_i^V 是 $T, P, Y_1 \cdots Y_m$ 的函数，而 f_i^L 是 $T, P, x_1 \cdots x_m$ 的函数。这些函数一旦被确定，原则上这个问题就解决了。然而，解这 m 个联立方程要进行冗长的迭代计算，只能用电子计算机来有效地进行这一运算。

在液-液平衡中，必须满足下列形式的平衡方程：

$$f_i' = f_i'' \quad (1-2)$$

式中 f_i' 为 ' 相中组份 i 的逸度，它是 $T, P, x_1' \cdots x_m'$ 的函数；而 f_i'' 为 " 相中组份 i 的逸度，它是 $T, P, x_1'' \cdots x_m''$ 的函数^①。式

(1-2) 有 m 个。这些函数一经确定，原则上问题也就解决了。然而，多元液-液平衡的计算问题要比多元汽-液平衡的计算问题困难得多。在汽-液平衡中，由于理想状态的假说（拉乌尔定律）提供了一个合理的零近似法，所以开始迭代相对来说比较容易。相比之下，液-液平衡就没有一个明显对应的开始迭代方法。再者，当有两个液相存在时，我们必须计算每一组份在两相中的活度系数。因为它们对组成而言，往往是非线性很强的函数关系，组成上的微小变化对液-液平衡的计算都有很大的影响。而在中压的汽-液平衡中，由于汽相逸度系数通常接近于 1；而且与组成仅呈弱函数关系，组成的变化对汽-液平衡的计算影响不大。因此，对液-液平衡来说，编制一个迅速并始终收敛的迭代程序是比较困难的。

① 就化学工业中的典型条件而言，压力对液-液平衡影响可以忽略不计。因此，在本书中不把压力考虑为式 (1-2) 的一个变量。

第二章扼要论述若干热力学函数。依靠这些函数可以把抽象的逸度与可度量的实际物理量，如温度、压力及组成关联起来。第三章与第四章将更完整地系统阐述并给出有关汽相和液相逸度的详细资料。

3. 精 度

计算的精度主要取决于用来求得必要参数的实验数据的精度。虽然对多元汽-液平衡计算精度难以作出具有普遍意义的定量说明，但根据经验可知，对三元或四元混合物的计算结果，其精度只比作为推算基准的二元数据的精度稍差。对多元液-液平衡而言，其推算精度不仅取决于二元数据的精度，而且取决于求二元参数的方法。在有代表性的情况下，用来回归二元数据的方法对汽-液平衡尚属重要，但不算太重要。可是数据回归方法对液-液平衡却起着决定作用。详见第四、六章论述。

4. 计算机执行程序

多元物系中汽相和液相逸度是用 FORTRAN IV 编制的子程序来进行计算的。这些子程序可用于含有二十种组份以内的物系，并调用一个包括92种化合物参数的热力学数据库来运算^①。这套计算机程序还包括计算汽相逸度系数（见第三章）、液相活度系数、参比状态逸度（见第四章）及液相和气相的摩尔焓（见第五章）的子程序。这些热力学子程序能用于通常的任何相平衡计算程序中。既可用来代替现有程序中的热力学子程序，又可编入新开发的程序中。这些新程序是根据使用数学模型的复杂性及为了达到最高的计算效率而开发的。

多元物系的单级平衡分离计算是用第七章中所述的 FORTRAN IV 编制的子程序来进行的。这套子程序可进行泡点和露点

① 该数据库具有扩充额外八种以内化合物数据或者用其它化合物数据来代替数据库里的化合物数据的功能。计算液体混合物中的逸度所必需的二元相互作用参数目前有180对。

多元流体相平衡计算的参考文献

文 献	评 注
[1] American Petroleum Institute, Bibliographies on Eydrocarbons, Vols. 1-4, "Vapor-Liquid Equilibrium Data for Hydrocarbon Systems" (1963), "Vapor Pressure Data for Hydrocarbons" (1964), "Volumetric and Thermodynamic Data for Pure Hydrocarbons and Their Mixtures" (1964), "Vapor-Liquid Equilibrium Data for Hydrocarbon Nonhydrocarbon Gas Systems" (1964), API, Division of Refining, Washington.	[1] 有关烃类系统数据的大量文献目录。
[2] American Petroleum Institute Research Project 42, "Properties of Hydrocarbons of High Molecular Weight," API, Division of Science and Technolog, New York, 1966.	[2] 321种重烃类的 物理性质汇编, 低压下蒸汽压。
[3] American Petroleum Institute, "Technical Data Book--Petroleum Refining," 3rd ed., API, Division of Refining, Washington, 1976.	[3] 有关烃类的大量数据和文献目录。还列出了一些推算关联式。
[4] Batfino, R., and H. L. Clever, Chem. Rev., 66, 395 (1966).	[4] 气体在液体中的溶介度的全面评述和汇编。
[5] Boublik, T., V. Fried, and E. Hála: "The Vapor Pressure of Pure Substances," Elsevier, Amsterdam, 1973.	[5] 常压和低压区内, 纯流体蒸汽压数据的汇编及关联式。
[6] Claxton, G.: "Physical and Azeotropic Data," The National Benzene and Allied Products Association, London, 1958.	[6] 恒沸数据以及包括熔点和沸点在内的其它物理性质的汇编。
[7] D' Ans-Lax: "Taschenbuch für Chemiker und Physiker, 3 rd ed., "Vol. I, Springer-verlag, Berlin, 1967.	[7] 液-液和汽-液平衡数据及蒸汽压数据的 文献来源。
[8] Faldix, Fortschritte der Verfahrenstechnik, 6, 440 (1965), 7, 650 (1967), 8, 625 (1969), 9, 561 (1971).	[8] 汽-液平衡数据的文献目录。
[9] Francis, A. W.: "Liquid-Liquid Equilibriums," Wiley-Interscience, New York, 1963.	[9] 液-液平衡的唯象论评述及大量参考文献。

文 献	评 注
[10] Francis, A. W.: "Handbook for Components in Solvent Extraction," Gordon & Breach, New York, 1972.	[10] 液-液平衡数据的综合性文献目录。
[11] Fredenslund, A., J. Gmehling, and P. Rasmussen: "Vapor-Liquid Equilibria Using UNIFAC," Elsevier, New York, 1977.	[11] 用 UNIFAC 基团作用法估算适于中压下车-液平衡活度系数的内容详细而广泛的资料。
[12] Gmehling, J., and U. Onken: "Vapor-Liquid Equilibrium Data Collection," DECHEMA Chemistry Data Ser., Vol. I (1-10), Frankfurt, 1977.	[12] 中压下6000多种二元及多元混合物综合性数据汇编。对每个数据组列出了数据关联与一致性检验。
[13] Hála, E., and others: "Vapour-Liquid Equilibrium," 2nd English ed., trans. George Standart, Pergamon, Oxford, 1967.	[13] 重点突出而内容广泛的评述, 包括实验方法的评述。
[14] Hála, E., I. Wichcerle, J. Polák, and T. Bonblik: "Vapor-Liquid Equilibrium Data at Normal Pressures," Pergamon, Oxford, 1968.	[14] 二元混合物实验数据的汇编。
[15] Hicks, C. P.: Bibliography of Thermodynamic Quantities for Binary Eluid Mixtures, "Chemical Thermodynamics", Vol. 2, Chap. 9, Society, London, 1978	[15] 二元体系的汽-液平衡, 混合焓及体积变化的文献目录。
[16] Hildebrand, J. H., and R. L. Scott: "Solubility of Nonelectrolytes," 3rd ed., Reinhold, New York, 1950 (reprinted by Dover, New York, 1964).	[16] 这是一部经典著作, 从化学家的观点对溶液物理化学进行了很好的评述。内容虽已陈旧, 但尚能从物理学上阐明分子在混合物中起何作用的。
[17] Hildebrand, J. H., and R. L. Scott: "Regular Solutions," Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1962.	[17] 修正了作者1950年书中某些资料, 主要供化学家参考。
[18] Hildebrand, J. H., J. M. Prausnitz, and R. L. Scott: "Regular and Related Solutions," Van Nostrand Reinhold, New York, 1970.	[18] 进一步修正了作者书中某些资料, 主要供化学家参考。

文 献	评 注
[19] Himmelblau, D. M., B. L. Brady, and J. J. Mcketta: "Survey of Solubility Diagrams for Ternary and Quarternary Liquid Systems," Bureau of Engineering Research, Special Publ. Nr. 30, University of Texas, Austin, 1959.	[19] 三元及四元液-液平衡数据的文献目录; 并注明温度。
[20] Hirata, M., S. Ohe, and K. Nagahama; "Computer-aided Data Book of Vapor-Liquid Equilibria," Elsevier, Amsterdam, 1975.	[20] 用Wilson方程回归的二元实验数据汇编, 高压下使用修正的R-K 方程。
[21] Hiza, M. J., A. J. Kidnay, and R. C. Miller: "Equilibrium Properties of Fluid Mixtures--A Bibliography of Data on Fluids of Cryogenic Interest," NSRDS Bibliographic Series. Plenum, New York, 1975.	[21] 有关低温混合物的大量文献目录。
[22] Horsley, I. H.: "Azeotropic Data," Advances in Chem. Ser., No. 6 and No. 35, American Chem. Soc., Washington, D. C. 1952-62.	[22] 内容广泛的恒沸数据汇编。
[23] Jordan, T. E.: "Vapor Pressure of Organic Compounds," Interscience, New York 1954.	[23] 有机化合物蒸汽压数据汇编, 数据用Antoine方程关联并给出图形。
[24] Kehiaian, H. V. (Editor-in-Chief) and B. J. Zwolinski (Executive Offlcer): "International Data Series: Selected Data on Mixtures," Thermodynamics Research Center, Chemistry Department, Texas A&M University, College Station Texas 77843 (Continuing Since 1973).	[24] 列出了由实验测出的二元混合物的各种热力学性质, 并以经验方程式来表示。
[25] Kogan, V. B., and V. M. Friedman: "Handbuch der Dampf-Flüssigkeits Gleichgewichte," VED Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1961.	[25] 大量汽-液平衡数据汇编, 尤其是来自东欧国家的数据较多。

文 献	评 注
[26] Kogan, V. B., V. M. Friedman, and V. V. Kafarov: "Vapor-Liquid Equilibria," 2 vol., Nauka, Moscow, 1966.	[26] 大量汽-液平衡数据汇编, 着重东欧国家的数据(俄文)。
[27] Landolt-Börnstein: "Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik, und Technik," 6th ed., Vol. II (2a, 2b, 2c), Vol. IV (4b), Springer Verlag, Berlin, beginning 1950.	[27] 汽-液平衡数据和蒸汽压数据, 第二卷(2a)和第4卷;(4b);液-液平衡数据, 第二卷(2b, 2c)。
[28] Landolt-Börnstein: "Zahlenwerte und Funktionen aus Naturwissenschaft und Technik New. Ser. Group IV, Vol. III, Springer Verlag, Berlin, 1975. Also Part 4c (Solubility of Gases in Liquids), 1976.	[28] 早期汽-液平衡数据更新后的数据汇编。
[29] Maczynski, A.: "Thermodynamic Data for Technology--Verified Vapor-Liquid Equilibrium Data," Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warsaw, Volume I, 1976, Volume. 2, 1978.	[29] 汽-液平衡数据汇编, 数据用R-K方程关联(波兰文);第二卷为英文卷。
[30] Nesmeyanov, A. N.: "Vapor Pressure of the Chemical Elements, Elsevier, New York, 1963.	[30] 化学元素的蒸汽压数据汇编。
[31] Null, H. R.: "Phase Equilibrium in Process Design," Wiley-Interscience, New York, 1970.	[31] 适合工程方面实用的专题著作, 并附有多种数值例题。
[32] Oellrich, L. R., J. Plöcker, and H. Knapp: "Vapor-Liquid Equilibria," Technical University, Institute for Thermodynamics, Berlin, 1973.	[32] 汽-液平衡数据汇编, 主要是低温体系的数据。
[33] Ohe, S.: "Computer Aided Data Book of Vapor Pressure," Data Book Publ. Co., Tokyo, 1976.	[33] 用 Antoine 方程关联的蒸汽压数据, 以图形表示。