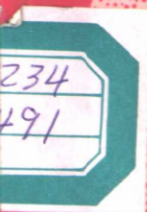


化工工人技术理论培训教材



物料衡算与热量衡算

化学工业部人事教育司 组织编写
化学工业部教育培训中心



化学工业出版社

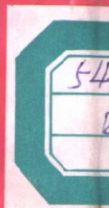
ISBN 7-5025-1914-9



9 787502 519148 >

ISBN 7-5025-1914-9/G • 520

定 价：9.50 元



化工工人技术理论培训教材

物料衡算与热量衡算

化学工业部人事教育司组织编写
化学工业部教育培训中心

化学工业出版社

·北 京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

物料衡算与热量衡算/化学工业部人事教育司, 化学工业部
教育培训中心组织编写. —北京: 化学工业出版社, 1997. 12
化工工人技术理论培训教材
ISBN 7-5025-1914-9

I. 物… II. ①化… ②化… III. ①物料-衡算-技术培训-
教材②热量-衡算-技术培训-教材 IV. TQ038. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 23358 号

化工工人技术理论培训教材

物料衡算与热量衡算

化学工业部人事教育司 组织编写
化学工业部教育培训中心

责任编辑: 陈志良 胡忼强

责任校对: 马燕珠

封面设计: 于 兵

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

新华书店北京发行所经销

北京通县京华印刷厂印刷

北京通县京华印刷厂装订

*

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 5¹/₈。字数 140 千字

1997 年 12 月第 1 版 1997 年 12 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—5000

ISBN 7-5025-1914-9/G · 520

定 价: 9.50 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

前 言

为了适应化工系统工人技术等级培训的需要，提高工人的技术理论水平和实际操作技能，我们依据《中华人民共和国工人技术等级标准》和《化工系统工人技术理论培训教学计划 and 教学大纲》的要求，组织有关人员编写了这套培训教材。

在教材编审过程中，遵循了“坚持标准，结合实际，立足现状，着眼发展，体现特点，突出技能，结构合理，内容精炼，深浅适度”的指导思想，以“等级标准”为依据，以“计划和大纲”为蓝图，从有利于教师教学和方便工人自学出发，力求教材内容能适应化工生产技术和现代化生产工人培训的要求。

按照“中华人民共和国工人技术等级标准”规定的化工行业 168 个生产工种的有关内容，在编制教学计划和划定大纲时，在充分理解等级标准的基础上，吸取了国外职业教育的成功经验，对不同工种、不同等级工人围绕技能所要求掌握的技术理论知识进行分析和分解，作为理论教学的基本单位，称之为“单元”。在计划和大纲中，168 个工种按五个专业大类（及公共课）将不同等级的全部理论教学内容分解为 301 个教学单元。为了方便各单位开展培训教学活动，把教学计划中一些联系较为密切的“单元”合在一起，分成 112 册出版。合订后的全套教材包括以下六部分。

无机化工类单元教材共 25 册：《流体力学基础》、《管路的布置与计算》、《物料输送》、《气相非均一系分离》、《液相非均一系分离》、《物料混合》、《固体流态化与应用》、《加热与冷却》、《蒸发》、《结晶》、《浸取与干燥》、《制冷》、《焙烧与工业炉》、《粉碎与筛分》、《电渗析》、《吸附分离》、《离子交换》、《常见的无机化学反应》、《电解及其设备》、《物料衡算与热量衡算》、《合成氨造气》、《合成氨变换》、《合成氨净化》、《合成氨压缩》和《氨的合成》。

AB408/06

有机化工类单元教材共7册：《吸收》、《蒸馏》、《萃取》、《有机化学反应（一）》、《有机化学反应（二）》、《有机化学反应（三）》和《化学反应器》。

化工检修类单元教材共43册：《电镀》、《腐蚀与防护》、《机械传动及零件》、《液压传动与气动》、《金属材料热处理知识》、《机械制造工艺基础》、《化工检修常用机具》、《工程力学基础》、《测量与误差》、《公差与配合》、《化工机器与设备安装》、《化工压力容器》、《展开与放样》、《化工管路安装与维修》、《钳工操作技术》、《装配和修理》、《钢材矫正与成型》、《电工材料及工具》、《焊工操作技术》、《焊接工艺》、《阀门》、《化工用泵》、《风机》、《压缩机》、《化工分析仪表（一）》、《化工分析仪表（二）》、《化工测量仪表》、《电动单元组合仪表》、《化工自动化》、《集散系统》、《仪表维修识图与制图》、《仪表常见故障分析与处理》、《过程分析仪表》、《化工检修钳工工艺学》、《化工检修铆工工艺学》、《化工检修管工工艺学》、《化工检修焊工工艺学》、《化工防腐橡胶衬里》、《化工防腐金属喷涂》、《化工防腐金属铅焊》、《化工防腐砖板衬里》、《化工防腐塑料》以及《化工防腐玻璃钢》。

化工分析类单元教材6册：《化学分析的一般知识及基本操作》、《化学分析》、《电化学分析》、《仪器分析》、《化验室基本知识》和《有机定量分析》。

橡胶加工类单元教材共11册：《橡胶、配合剂与胶料配方知识》、《再生胶制作机理、工艺及质量检验》、《橡胶加工基本工艺》、《轮胎制造工艺方法》、《力车胎制造工艺方法》、《胶管制造工艺方法》、《胶带制造工艺方法》、《橡胶工业制品制造工艺方法》、《胶鞋制造工艺方法》、《胶乳制品制造工艺方法》和《炭黑制造工艺方法》。

另外还有公共课及管理课类单元教材共20册：《电工常识》、《电工基础》、《电子学一般常识》、《电子技术基础》、《机械识图》、《机械制图》、《化工管路识图》、《工艺流程与装备布置图》、《工厂照明与动力线路》、《电气识图与控制》、《电机基础及维修》、《工厂电气设备》、《工厂电气技术》、《安全与防护》、《三废处理与环境保护》、《化工计量常识》、《计算机应用基础知识》、《化工应用文书写作》、《标准化基础知

识》和《化工生产管理知识》。

按照“单元”体系组织编写工人培训教材，尚是一种尝试，由于我们经验不足和教材编审时间的限制，部分教材在体系的合理性、内容的先进性、知识的连贯性和深广度的准确性等方面还不尽如人意，为此建议：

一、各单位在组织教学过程中，应按不同等级的培训对象，根据相应的教学计划和教学大纲的具体要求，以“单元”为单位安排教学。

二、工人技术理论的教学应与操作技能的培训结合起来。技术理论的教学活动除应联系本单位生产实际外，还应联系培训对象的文化基础、工作经历等实际情况，制订相应的教学方案，确定相应的教学内容，以提高教学的针对性和教学效率。

三、在教学过程中发现教材中存在的问题，可及时与我们联系，也可与教材的编者或出版单位联系，使教材中的问题得到及时更正，以利教学。

本套教材的组织编写，得到全国化工职工教育战线各方面同志的积极支持和帮助，在此谨向他们表示感谢。

化学工业部人事教育司

化学工业部教育培训中心

1996年3月

内 容 提 要

本书为《化工工人技术理论培训教材》之一。全书分为物料衡算和热量衡算两部分。第一部分介绍了物料衡算的基本关系式及方法；不含化学反应及包含化学反应的物料衡算方法。第二部分介绍了气体的 P 、 V 、 T 性质及热力学定律的基本知识以及在此基础上的热量衡算方法。书中有大量的计算实例以帮助读者加深理解。

本书适合从事化学化工岗位操作的工人使用，使能结合生产操作对物料和热量进行衡算以掌握生产情况和指导、改进生产。

目 录

物料衡算 (无 041)	1
概述	2
第一章 物料衡算的基本关系式及方法	3
第一节 物料衡算基本关系式	3
第二节 物料衡算的方法和步骤	11
第三节 物料衡算基准的选择	16
习题	21
第二章 不含化学反应的物料衡算	23
第一节 不含化学反应的物料衡算的计算步骤	23
第二节 应用举例	24
习题	34
第三章 化学反应过程的物料衡算	36
第一节 转化率、产率、收率的计算	36
第二节 化学反应过程的物料衡算	39
第三节 循环过程的物料衡算	48
习题	53
第四章 组成和流量数据不全的物料衡算	56
习题	57
附录	59
参考文献	60
热量衡算 (无 042)	63
概述	64
第一章 气体的 P 、 V 、 T 性质	65
第一节 理想气体	65
第二节 分压定律及分体积定律	72
习题	76
第二章 热力学第一定律	77

第一节 基本概念及术语	77
第二节 热力学第一定律	80
第三节 恒容热、恒压热及焓	81
第四节 热容	85
第五节 相变热、溶解热与冲淡热及化学反应热	90
习题	103
第三章 热力学第二定律	105
第一节 热力学第二定律	106
第二节 卡诺循环及热机效率	108
第三节 熵和熵差计算	111
习题	120
第四章 热量计算	122
第一节 显热和潜热的计算	122
第二节 热量衡算步骤与计算实例	127
附录	138
一、换算系数	138
二、部分气体的临界常数	138
三、部分气体的比热容	140
四、饱和水蒸气表	144
五、某些物质的标准生成自由焓, 标准熵及比热容 (25℃)	148
参考文献	151

物料衡算

(无 041)

太原化学工业集团公司化工厂 张树宏、赵俊魁 编
太原化学工业集团公司化工厂 李景赞 审

参与编审本单元教材的人员

李文堂、熊昭义、于志先、朱心玲、周应文、沈刚、张伯平。
在教材编审过程中受到太原化学工业集团公司有关领导何玮、
李铁瑞和公司教委副主任方岩威等同志的支持和关心。

概 述

任何事物都有数量和质量两个方面，化工生产也不例外，特别是化工工人不仅要明确生产过程的工艺控制指标和产品的质量指标，同时对生产过程中有关物料的量做到心中有“数”从而更好地了解和控制生产过程。

物料衡算就是物料的平衡计算，是以质量守恒定律和化学计量关系为基础对化工生产过程中有关物料的各种数量进行计算。质量守恒定律对于化工生产来说可以认为是进入化工生产系统的物质总量必须等于离开化工生产系统的物质总量。通过物料衡算可以针对生产中已有的化工装置对一个车间、一个工段、一个或几个设备利用已知的（实测的、查阅文献手册和理论计算得来的）一些数据计算出一些未知的和不能直接测定的数据。另外还可以了解理论量与实测量的差距。从而对现有的生产状况进行分析，确定实际生产能力，衡量操作水平，寻找薄弱环节，挖掘生产潜力，为改进生产提供依据。通过物料衡算可以算出原材料消耗定额、产品和副产品以及“三废”的生成量、物料的泄漏量等。从而揭示和反映生产过程的完善程度，揭示物料损失浪费、环境污染情况和设备运行情况，以便改进操作，堵塞漏洞，降低消耗定额，提高经济效益和社会效益。此外，在物料平衡的基础上还可以作出能量平衡，计算动力消耗定额，最后算出产品成本以及总的经济效果。同时为设备选型、决定设备尺寸、套数、台数及辅助工程和公共设施规模提供依据。因此，物料衡算是化工生产及设计的基本依据，是衡量化工生产（及任何生产）经济效果的基础，对改进生产和指导设计具有重大意义。

第一章 物料衡算的基本关系式及方法

第一节 物料衡算基本关系式

一、物料衡算的基本概念

物料衡算就是物料的平衡计算。是以质量守恒定律和化学计量关系为基础的。简单地讲它是指“进入体系的全部物料质量必定等于离开该体系的全部产物质量再加入损失掉的和在体系内积累起来的物料质量”，用公式表示为：

$$\sum G_A = \sum G_{出} + \sum G_{损} + \sum G_{累}$$

式中 $\sum G_A$ ——所有进料质量之和；

$G_{出}$ 、 $\sum G_{损}$ 、 $\sum G_{累}$ ——分别为全部产物质量之和、损失物料和在体系内累积物料质量之和。

所谓“体系”就是所研究（计算）的目标，它可以是一个工厂，一个车间或一个工段或一台设备。

进入或移出体系的物料可以是气、液、固三相中任何一相或几相所构成。

理论上的物料衡算是根据反应的平衡方程式的化学计量关系进行的。只要知道了反应方程式和组分的摩尔量就可以建立这种平衡。然而在实际上（包括生产和科研）的物料平衡并不如此简单，它要考虑到许多实际因素的影响，诸如原始物料（原料）和最终产品、副产品的实际组成、反应物的过剩量、转化率以及原料和产物在整个过程中的损失等等。在化工过程中经常遇到有关物料的各种数量和质量指标，如“量”（产量、流量、消耗量、投料量、损失量、循环量等）；“度”（纯度、浓度等）；“比”（配料比、固液比、气液比、回流比等）；“率”（转化率、产率、收率等）等。这些量都与物料衡算有关，都影

响到实际上的物料平衡。

物料衡算的类别，按计算范围划分有单元操作（或单台设备）和全流程（包括不同单元操作的联合装置）的物料衡算。按操作方式划分有连续操作过程、间歇操作过程和半连续操作过程的物料衡算。按照时间特性分有稳定过程和不稳定过程的物料衡算。按生产过程中有无化学反应可分为有化学反应和无化学反应过程的物料衡算。不论哪种衡算其基本方法是一样的。只是在列出物料衡算方程之前必须知道衡算的过程应属于哪种类型。

（一）化工过程的分类

化工过程的类型不同，物料衡算的方式也不尽相同。根据操作方式化工过程分为连续操作、间歇操作和半连续操作。按时间特性分为稳定过程和不稳定过程。

间歇操作：为一次输入物料，反应后全部放出物料的操作。其特点为反应条件（如温度、压力、组成等）随时间不断地变化。

连续操作：为连续稳定地向设备输入物料，并同时从设备中取出数量相同的产物或中间产物的操作。反应条件不随时间而变化。连续过程与间歇过程相比，不需要进出料及清洗等辅助时间，设备效能较高，产品质量均匀，投资小，成本低。

半连续操作：是一种兼有间歇操作和连续操作特点的操作方法。这种操作有两种情况：一是向系统输入物料是瞬时的，而排出产物是连续的；一是向系统输入物料是连续的，而排出产物是瞬时的。

稳定过程和不稳定过程：如果一个过程的所有变量（如温度、压力、体积、流速等）仅随空间而变，不随时间而变，这种过程处于稳定状态。处于稳定状态的过程称为稳定过程。如果过程的变量既随空间而变，也随时间而变，则该过程处于非稳定状态。处于非稳定状态的过程称为不稳定过程。

不稳定过程常发生于以下几种情况：

- （1）间歇操作过程；
- （2）连续操作的开工或停工阶段；
- （3）半连续过程；

(4) 连续操作失常。

当过程处于稳定状态时应有以下特点：

(1) 过程的质量累积速率为零。

(2) 所有物流的质量流率在一定的空间截面是一常数。

本书主要讨论稳定过程。如没有注明为不稳定状态，则一律指稳定过程。

(二) 物料衡算的体系与环境

在讨论物料平衡方程式之前，需要弄清体系与环境的概念。所谓体系是为了分析一个过程，人为划定一个过程的全部或一部分作为一个完整的研究对象。这个划定的区域就叫做体系。

体系以外的区域称为环境。在体系与环境之间的分界线则叫做边界。

进行物料衡算时，对于过程的体系，环境及其边界可用图形或线条加以表示。如图 1-1。

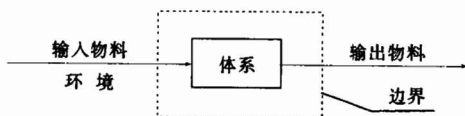


图 1-1 物料衡算中的体系与环境示意图

图中方框表示过程的体系，它可以是一个单元操作，也可以是过程的一部分或整体。例如，一个热交换器、一个化学反应器、一个工厂的一部分或整个工厂，甚至可以取过程中的某一物质。

确定体系、环境与边界是建立物料平衡方程式的基础。体系划分不恰当，会导致衡算的繁琐甚至错误。

二、物料衡算基本关系式

物料平衡是研究一个体系内质量的流动及变化。用数学式描述物料平衡关系则为物料平衡式。作物料衡算时，物料平衡的基本表达式为：

$$\sum F - \sum D = A \quad (1-1)$$

式中 F ——体系的进料量；

D ——体系的出料量；

A ——体系中物料的累积量。这种物料平衡式是以物料总量的平衡建立的，称为总物料平衡式。

在无化学反应发生时，物料衡算可用体系中某一组分建立物料平衡式：

$$F \cdot x_f = P \cdot x_p + W \cdot x_w \quad (1-2)$$

式中 F ——体系进料量；

P 、 W ——体系两个出料部位排出的量。

x_f, x_p, x_w —— F 、 P 、 W 中同一组分的物质质量的分数。这种关系式为组分平衡关系式。

在建立组分物料平衡关系式时，在同一个物流中各组分的物质质量的分数之和等于1。即

$$\sum x_{fi} = 1 \quad (1-3)$$

$$\sum x_{pi} = 1 \quad (1-4)$$

$$\sum x_{wi} = 1 \quad (1-5)$$

物料衡算一般以系统进、出物料的总质量来计算，但有时以摩尔数列平衡方程式更为方便，采用哪种要根据具体条件而定。带有化学反应的过程，其物料平衡方程式多数不能用进、出口物料的摩尔数列出，这是因为反应过程前后分子的种类和数量可能发生变化，进入系统的物料总分子数不一定等于系统输出的总分子数，如 $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$ 。有的过程如 $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$ ，虽然进、出系统的物料总分子数 (mol) 相等，但其分子种类却不相同，无法列出组分的平衡关系式，只能列出元素原子的平衡关系式。

当涉及化学反应的问题进行计算时，必须用化学反应方程式和化学计量关系。化学计量关系是代表元素和化合物在反应时的质量关系，反应方程式中各物质的系数比为化学计量比。用化学计量关系可以从一种物质的摩尔数计算出另一种物质的摩尔数。

在物料衡算中，实际应用的平衡方程式有三种：

(1) 普遍平衡关系式

例如在一个甲烷连续输入和输出的单一过程中，甲烷输入与输出的流率是已知的。其过程如图 1-2 所示。

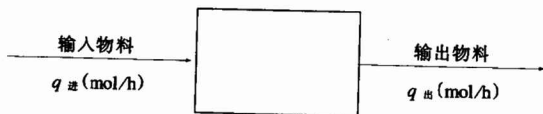


图 1-2 过程的物料输送图

在这个过程中，如果甲烷输入和输出的流率出现差别，列物料平衡关系式时，必须事先弄清物质的流率出现差别的原因。否则，就不能建立系统的物料平衡关系式。上述过程出现物质流率的差别其原因如下：

- ① 甲烷从操作单元中泄漏出去。
- ② 甲烷作为反应物被消耗而减少，或由反应生成而在单元内增加。
- ③ 甲烷累积在单元内。例如，被器壁吸附或停留于死角等。
- ④ 甲烷含量的测定不准确。

当体系无泄漏，测量又是正确的情况下，在输入和输出物料的流率之间产生差别的原因就在于上述的②，③两项。此时，物料平衡关系式可以写成如下的普遍形式：

$$\text{累积量} = \text{输入量} + \text{产生量} - \text{输出量} - \text{消耗量} \quad (1-6)$$

这个普遍平衡式适用于任何输入或输出体系的物料衡算，可用于计算体系的总物料平衡，也可以计算过程内某一组分或任何分子、原子的平衡。

(2) 连续稳定过程的平衡关系式

在连续稳定过程中，物料由输入到输出是连续而稳定的，体系中没有物料的积累，式 (1-6) 的累积项为零。如果累积项不为零，则物料输送的流率必随时间而改变，过程为不稳定状态。若过程处于连续稳定流动状态时，则式 (1-6) 可简化为

$$\text{输入量} + \text{产生量} = \text{输出量} + \text{消耗量} \quad (1-7)$$

【例 1-1】 在一连续蒸馏塔中，分离苯和甲苯混合物为两个纯组分。该混合物中含苯 50%。每小时处理混合物 1000kmol，塔顶苯的摩