

李庆萍 宋以常 蔡永清 主编

催化裂化装置培训教程

(中级 高级)



Chemical Industry Press



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

催化裂化装置培训教程

(中级 高级)

李庆萍 宋以常 蔡永清 主编



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

催化裂化装置培训教程 (中级 高级) / 李庆萍, 宋以常, 蔡永清主编. — 北京: 化学工业出版社, 2006. 6
ISBN 7-5025-8909-0

I. 催… II. ①李…②宋…③蔡… III. 石油炼制-催化裂化-化工设备-技术培训-教材 IV. TE969

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 063520 号

催化裂化装置培训教程

(中级 高级)

李庆萍 宋以常 蔡永清 主编

责任编辑: 赵丽霞

文字编辑: 林 媛

责任校对: 李 丽 徐贞珍

封面设计: 尹琳琳

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市振南印刷有限责任公司印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 20 字数 491 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8909-0

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

**《催化裂化装置培训教程（中级 高级）》
编写委员会**

主 任：华 炜

副 主 任：王喜海 谢景山 杨宝康

委 员：华 炜 王喜海 谢景山 杨宝康 李庆萍

宋以常 蔡永清 刘文涛 高真生

前 言

随着我国经济建设的快速发展，石油化工行业炼油工艺技术水平迅速提高，技能人才缺乏的矛盾日渐突出。加快优秀技能人才的培养迫在眉睫！催化裂化是炼油厂最重要的二次加工手段，目前我国车用燃料和液化气最主要的来源。催化裂化生产直接关系到国家经济建设，对我国经济的发展具有战略意义。搞好催化裂化装置技术工人的培训对于优秀技能人才的培养、加快我国石油化工工业的发展具有重大而深远的意义。

《催化裂化装置培训教程（技师 高级技师）》于2005年1月出版后，弥补了催化裂化技能鉴定培训教材的不足，取得了一定的社会效益，且参加由劳动和社会保障部中国职工教育和职业培训协会举办的2003~2004年度科研成果评审，获优秀编著奖。应广大读者的要求，又编写了《催化裂化装置培训教程（中级 高级）》（以下简称《教程》）。《教程》根据国家劳动和社会保障部颁发的《燃料油生产工职业标准》编写，符合《燃料油生产工职业标准》对催化裂化装置中级、高级工知识水平和职业技能的要求，实用性、针对性较强。

《教程》内容全面，紧密结合催化裂化装置生产实际，在注重提高中级、高级工实际操作技能和解决生产问题能力的同时，兼顾了基础理论知识和石油加工专业基础知识的培训，并对与催化裂化相关的工艺技术、设备、仪表、电气、安全环保等方面的知识进行了较为系统的介绍。每章后面都配有一定量的思考与练习题，以方便读者使用。

中国石化集团高级技师燕山培训基地专门成立《教程》编写委员会。参加本《教程》编写的人员都直接从事催化裂化科研、生产、教学等工作。具体分工为：第1章、第2章和第7章由李庆萍编写；第3章由蔡永清编写；第4章、第8章由宋以常编写；第5章由刘文涛编写；第6章由高真生编写。全书由李庆萍、蔡永清统稿。

本书适用于催化裂化装置的中、高级技术工人的技能鉴定培训，也可供炼油企业技术人员，各类大、专院校炼油专业师生参考。

在《教程》的编写和审定过程中，得到了国内许多催化裂化专家的鼎力帮助，在此一并表示感谢。

《催化裂化装置培训教程（中级 高级）》编写委员会

二〇〇六年三月

目 录

第 1 章 石油化工基础知识	1
1.1 化学基本概念	1
1.1.1 物质	1
1.1.2 物质的量	2
1.1.3 化学反应方程式	3
1.2 理想气体状态方程	4
1.2.1 理想气体状态方程	4
1.2.2 分压及分压定律	5
1.3 化学平衡	7
1.3.1 化学反应速率	7
1.3.2 化学反应平衡	9
1.3.3 化学平衡的移动	13
1.4 电解质溶液及电离平衡	17
1.4.1 溶液	17
1.4.2 电解质溶液	18
1.5 烃化学基础知识	20
1.5.1 烷烃	20
1.5.2 单烯烃	25
1.5.3 脂环烃	28
1.5.4 芳香烃	30
1.6 流体力学基础知识	32
1.6.1 密度	32
1.6.2 压强	34
1.6.3 流体静力学的基本规律	35
1.6.4 流动动力学的基本规律	36
1.6.5 管路中流动流体阻力	41
1.7 传热的基本原理	44
1.7.1 传热的基本方式	44
1.7.2 间壁式换热器的传热	45
1.7.3 传热过程计算	45
1.7.4 换热设备	49
1.8 液体蒸馏	53
1.8.1 蒸馏的方式	53
1.8.2 蒸馏原理	54

1.8.3 连续精馏装置及其简单计算	57
1.8.4 影响精馏操作的主要因素	59
1.8.5 精馏塔	59
1.9 气体的吸收	62
1.9.1 吸收原理	63
1.9.2 影响吸收操作的因素	65
1.9.3 解吸	66
思考与练习	68
参考文献	70
第2章 石油的基本性质	71
2.1 石油的一般性状及化学组成	71
2.1.1 石油的一般性状	71
2.1.2 石油的元素组成	72
2.1.3 石油的烃类组成	72
2.1.4 石油中的非烃化合物	74
2.1.5 石油馏分	76
2.1.6 原油的分类	76
2.2 石油及油品的物理性质	77
2.2.1 蒸气压	77
2.2.2 馏程(沸程)	80
2.2.3 平均沸点	80
2.2.4 密度和相对密度	81
2.2.5 特性因数	83
2.2.6 平均相对分子质量	83
2.2.7 油品的黏度	84
2.2.8 油品的热性质	85
2.2.9 油品的低温流动性	86
思考与练习	87
参考文献	88
第3章 石油炼制与催化裂化基础	89
3.1 石油加工过程简介	89
3.1.1 燃料油型	89
3.1.2 燃料-润滑油型	89
3.1.3 新型石油加工组合工艺(燃料-润滑油-石油化工型)	91
3.2 流态化原理	91
3.2.1 流化床的形成	91
3.2.2 流化床一般规律	92
3.2.3 改善流化的途径	97
3.2.4 气固输送基本原理	97
3.3 催化裂化催化剂及助剂	101

3.3.1 催化裂化催化剂	102
3.3.2 助剂	109
3.4 催化裂化原料	110
3.4.1 原料油来源	110
3.4.2 原料油的物化性质	113
3.5 催化裂化反应	114
3.5.1 催化裂化反应特点	114
3.5.2 催化裂化反应中的重要参数	117
3.5.3 影响催化裂化反应的主要因素	119
3.6 催化裂化再生及其影响因素	120
3.6.1 再生的化学反应和再生反应热	120
3.6.2 再生因素分析	121
3.7 反应-再生系统三大平衡及其调整方式	121
3.7.1 物料平衡	122
3.7.2 反应热平衡	123
3.7.3 压力平衡	124
3.8 催化裂化主要产品	125
3.8.1 汽油	126
3.8.2 柴油	127
3.8.3 液化气	129
3.8.4 干气	129
3.8.5 油浆	129
思考与练习	129
参考文献	131
第4章 催化裂化工艺过程	132
4.1 流化催化裂化发展史	132
4.1.1 国外催化裂化技术的发展	132
4.1.2 我国催化裂化技术的发展	134
4.2 催化裂化装置的组成	135
4.2.1 反应-再生系统	135
4.2.2 分馏系统	135
4.2.3 吸收稳定系统	136
4.2.4 产品精制系统	136
4.2.5 主风及烟气能量回收系统	136
4.3 催化裂化装置在炼油工业中的地位和作用	136
4.3.1 催化裂化是我国第一位的原油深度加工装置	136
4.3.2 催化裂化是我国生产运输燃料最重要的装置	137
4.3.3 催化裂化已成为炼油与化工的纽带	137
4.4 反应-再生系统的主要类型	138
4.4.1 高低并列式提升管催化裂化	138

4.4.2	同轴式提升管催化裂化	139
4.4.3	带烧焦罐的提升管催化裂化	139
4.4.4	两再生器串联的两段再生的提升管催化裂化	139
4.4.5	ROCC-VA 型重油催化裂化装置	141
4.5	催化裂化装置工艺流程	141
4.5.1	反应-再生系统	141
4.5.2	分馏系统	145
4.5.3	吸收稳定系统	147
4.5.4	产品精制系统	149
4.6	主要工艺参数控制	151
4.6.1	反应温度	151
4.6.2	反应器藏量	151
4.6.3	反应-再生两器压力	151
4.6.4	沉降器汽提蒸汽量	152
4.6.5	再生温度	152
4.6.6	再生器藏量	152
4.6.7	剂油比	152
4.6.8	再生器出口烟气氧含量	152
4.6.9	分馏塔顶温度	153
4.6.10	分馏塔底温度	153
4.6.11	分馏塔底液位	153
4.6.12	吸收塔顶温度	153
4.6.13	解吸塔底气相返塔温度	153
4.6.14	再吸收塔顶压力	154
4.6.15	稳定塔顶压力	154
4.6.16	稳定塔顶温度	154
4.6.17	稳定塔底气相返塔温度	154
4.6.18	汽包液位	154
4.7	产品质量控制	154
4.7.1	汽油质量的控制	155
4.7.2	轻柴油质量的控制	156
4.7.3	液态烃质量的控制	156
4.7.4	干气质量的控制	157
4.8	催化裂化装置主要经济技术指标及简要分析	157
4.8.1	装置加工能力 (和重油掺炼率)	157
4.8.2	加工损失	157
4.8.3	产品合格率	158
4.8.4	装置综合能耗	158
4.8.5	催化剂单耗	160
4.9	催化裂化装置正常开停工	160

4.9.1	催化裂化装置正常开工	160
4.9.2	催化裂化装置正常停工	166
4.10	常见事故与处理方法	168
4.10.1	反应-再生系统典型事故与处理方法	169
4.10.2	分馏系统常见事故与处理方法	170
4.10.3	吸收稳定系统典型事故与处理方法	173
4.10.4	产品精制系统典型事故与处理方法	173
4.10.5	外取热器内漏原因与处理方法	174
4.10.6	公用工程系统典型事故与处理方法	175
	思考与练习	175
	参考文献	176
第5章	设备使用与维护	177
5.1	基础知识	177
5.1.1	石油化工设备的分类	177
5.1.2	设备运行中的维护与检查	177
5.1.3	石油化工设备的常见缺陷和故障	182
5.1.4	石油化工设备修理后的检验	187
5.1.5	石油化工设备检修与维护	190
5.1.6	石油化工设备、管道材质选用知识	195
5.1.7	常用化工防腐蚀方法	195
5.1.8	设备润滑知识	199
5.2	催化裂化装置主要设备	202
5.2.1	大型机组	202
5.2.2	关键机泵	218
5.2.3	主要塔设备	220
5.2.4	余热回收设备	226
5.2.5	特种阀门	228
5.3	绘图知识	231
5.3.1	工艺管线流程	231
5.3.2	工艺管线布置	237
5.3.3	配管图知识	243
	思考与练习	245
	参考文献	246
第6章	自控仪表及电工知识	247
6.1	石油化工测量仪表	247
6.1.1	基本知识	247
6.1.2	压力测量	249
6.1.3	流量测量	251
6.1.4	物位测量	253
6.1.5	温度测量	254

6.2 石油化工自动化	256
6.2.1 自动化调节系统质量指标	256
6.2.2 自动化调节系统对象的特性	256
6.2.3 自动化调节系统的规律	256
6.2.4 调节阀	257
6.2.5 简单控制系统及投运	257
6.3 集散系统	258
6.3.1 集散系统优点	258
6.3.2 集散系统的构成方式	259
6.3.3 集散系统的构成要素	259
6.3.4 集散系统操作方式	259
6.3.5 集散系统显示画面	260
6.3.6 集散系统组态知识	260
6.3.7 集散控制系统故障处理	260
6.4 催化装置 DCS 应用实例	261
6.4.1 DCS 系统简介	261
6.4.2 DCS 故障处理	261
6.4.3 DCS 画面调用操作	263
6.4.4 特殊控制	268
6.5 电工基础知识	270
6.5.1 电荷和电场	270
6.5.2 电路的组成	271
6.5.3 电路的几个基本物理量	271
6.5.4 电路的三个基本元件	272
6.5.5 电功、电功率和功率因数	273
6.5.6 直流电与交流电	274
6.5.7 电机基本知识	275
思考与练习	277
参考文献	277
第7章 健康、安全和环保知识	278
7.1 安全知识	278
7.1.1 安全管理	278
7.1.2 防火防爆	281
7.1.3 人身防护	283
7.2 环境保护知识	286
7.2.1 环境保护法规及标准	286
7.2.2 环境保护管理	288
7.2.3 催化裂化环境污染与防治	290
7.2.4 清洁生产	294
7.3 HSE 基本知识	296

7.3.1 HSE 管理体系的概念	296
7.3.2 HSE 管理体系的发展历程	296
7.3.3 实施 HSE 管理体系的意义	297
7.3.4 HSE 管理体系建立的步骤	298
7.3.5 实施 HSE 管理的理念	299
7.3.6 班组开展 HSE 活动的步骤	301
思考与练习	301
参考文献	302
第 8 章 催化裂化新技术	303
8.1 催化汽油降烯烃工艺	303
8.1.1 MGD 工艺	303
8.1.2 MIP 工艺	304
8.1.3 FDFCC 工艺	304
8.2 催化裂化其他相关技术	305
8.2.1 富氧再生	305
8.2.2 干气预提升技术	305
8.2.3 提升管急冷技术	306
思考与练习	306
参考文献	306

第 1 章 石油化工基础知识

1.1 化学基本概念

1.1.1 物质

物质是作用于人们的感觉器官而引起人们感觉的东西，它占有一定空间和具有质量。物质大的可以用肉眼看见，小的肉眼看不见的有原子、电子等。物质有不同的存在形式，而且物质以不同的形式在不停地运动着。空气流动而形成风；岩石风化而变成黏土；植物吸收二氧化碳进行光合作用而结出丰硕的果实；石油经过加工可以生产出各种产品。有物质存在，必然有物质运动。

1.1.1.1 物质的变化和性质

(1) 物理变化和物理性质 物质的变化是多种多样的。例如水加热变成水蒸气，而水蒸气冷凝又变成水；木材加工制成家具；钢锭轧成钢筋。这些变化只改变了物质的外部状态和形状，而没有改变物质的组成，更没有新物质产生，这种变化叫做物理变化。物质在物理变化时所表现出来的性质叫做物理性质。如状态、颜色、密度、沸点、熔点等，都是物质的物理性质。

(2) 化学变化和化学性质 物质的另一种变化，不仅物质的外形有变化，物质本身的组成也发生了变化，产生了新的物质，例如铁在潮湿的空气中生锈；石灰石煅烧成生石灰。这些变化都有新物质的产生。由一物质生产新物质的变化叫化学变化，物质在化学变化时所表现出来的性质叫做化学性质。如化合、分解、氧化和还原等。

物理变化和化学变化是物质的两种不同的变化，但是许多情况下它们又常是在一起发生的。例如点燃蜡烛时，固态的蜡受热熔化，这是物理变化；同时它燃烧变化成水蒸气和二氧化碳，又是化学变化。一般来说，物质发生物理变化时，不一定有化学变化，但发生化学变化时，一定有物理变化发生。

1.1.1.2 物质的组成

(1) 分子 自然界的一切东西都是由物质组成的，而物质是由分子组成的。分子是保持物质化学性质的最小微粒。分子只能保持物质的化学性质，不能保持物质的物理性质，分子还可以发生变化，变成其他物质的分子（化学变化）。

(2) 原子 物质在化学变化过程中，原有的物质分子分解成更小的微粒，再经过重新组合，变成新物质的分子。物质进行化学反应的基本微粒叫原子。

原子是在不断地运动着的，化学反应就是原子运动的一种形式。在化学反应中分子可以分成为原子，原子又可以重新组合成为新的分子。

原子是具有复杂结构的微粒。原子是由原子中心带正电的原子核和核外带负电的电子组成的，每一个电子带一个单位的负电荷。原子核带的正电荷数与核外电子带的负电荷数相等，所以原子不显电性。但原子在一定的条件下，可得到或失去电子，成为带有电荷的原子

叫离子。失去电子的原子带正电，叫阳离子；得到电子的原子带负电，叫阴离子。

物质的分子、原子和离子等微粒统称为物质的结构微粒。

(3) 元素 元素是原子核里质子数（即核电荷数）相同的一类原子的总称。具有相同核电荷数的原子都具有相同的化学性质。所以元素是以原子核的核电荷数为标准对原子进行分类的。表示元素的符号与表示原子的符号相同，如 H，既表示氢元素，也表示氢原子。但是元素和原子是两个不同的概念。原子是微观概念，元素是宏观概念。原子有量的涵义，元素没有。例如：

H——表示氢元素，也表示一个氢原子；2H——只表示两个氢原子，不能说成两个氢元素，也不能说成两种氢元素。

自然界的一切物质，都是由元素组成的。有的物质比较简单，如氧气由氧元素组成，金属铁由铁元素组成，这种由同一种元素组成的物质叫做单质。单质又可以分为金属单质，如铁、铜、铝等；非金属单质，如氧气、氢气、硫、碳等。组成金属单质的元素叫金属元素，组成非金属单质的元素叫做非金属元素。但是大多数物质的组成是比较复杂的，如氨是由氢和氮两种元素组成的，这种由不同种（不止一种）元素组成的物质称为化合物。

元素、单质、化合物等都是宏观概念。单质和化合物都是元素存在的具体形式。它们都可以通过微观概念即从原子的不同来理解：元素是具有相同核电荷数的一类原子；单质的化学组成是由一种元素的原子组成（如 O_2 ，S，Cu）；化合物的化学组成是由不同种元素的原子组成（如 CO_2 ，KCl）。

1.1.2 物质的量

(1) 原子量 原子具有质量。如果用克（g）做单位来表示质量时，一个氧原子的质量是 $2.657 \times 10^{-23} \text{ g}$ ，一个氢原子的质量是 $0.1661 \times 10^{-23} \text{ g}$ 。

在实际应用时，往往不需要知道原子的绝对质量，而只需要知道原子的相对质量。为此指定一种原子，以它作为不同原子的原子量相互比较的标准。在化学里规定：把 ^{12}C 的原子量定为 12，任一元素的原子量是该元素的原子相对于 ^{12}C 碳原子的质量，称为相对原子质量，简称原子量。

(2) 分子量 分子量是组成分子的所有原子的原子量总和，所以分子量也是一个相对质量。

(3) 物质的量及其单位 物质的量是表示物质多少的一个物理量，它与物质的质量是不同的另一种对量的度量概念。它是以摩尔（mol）为单位来表示组成物质的基本单元数目多少的物理量，即以阿伏加德罗常数的计数单位来表示物质指定的基本单元是多少摩尔的一个物理量。

物质 B 的物质的量 n_B

$$n_B = \frac{N_B}{L}$$

式中 N_B ——物质 B 的粒子数（原子、分子、离子）；

L ——阿伏加德罗常数，等于 6.02×10^{23} 。

表示物质的量时，应先指明基本单元。物质的基本单元可以是各种任意指定的微粒，如原子、分子、离子、 2H 、 H_2O 、 3OH^- 等。

任何物质中，只要含有 6.02×10^{23} 个微粒（如分子、原子、离子、电子等），这种物质的量叫做 1mol。摩尔是化学上一个常用的基本物质质量的单位，它是以微粒数量表示物质的量。

(4) 摩尔质量 1mol 基本单元的质量称为摩尔质量。物质 B 的摩尔质量 M_B 是物质 B 的质量 m 除以物质的量 n_B 。

$$M_B = \frac{m}{n_B}$$

例如：1mol ^{12}C 原子的质量是 0.012kg (12g)，记为： $M(^{12}\text{C})=12\text{g/mol}$ ；

1mol H_2O 分子的质量是 0.018kg (18g)，记为： $M(\text{H}_2\text{O})=18\text{g/mol}$

1mol OH^- 离子的质量是 0.017kg (17g)，记为： $M(\text{OH}^-)=17\text{g/mol}$

任何原子、分子或离子的摩尔质量，当单位为 g/mol 时，数值上等于其相对原子质量（原子量）、相对分子质量（分子量）或相对离子质量（化学式量）。

1.1.3 化学反应方程式

(1) 分子式 分子式是用元素符号来表示物质分子组成的式子。

从分子式可以看出分子是由哪些元素组成，以及各元素的原子数目和质量百分比。如以硫酸铵的分子式 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 为例：

① 表示硫酸铵 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 是由 N、H、S、O 四种元素组成；

② 表示硫酸铵分子中含有 2 个 N 原子，8 个 H 原子，1 个 S 原子和 4 个 O 原子；

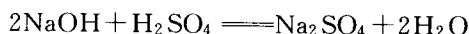
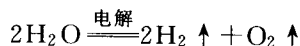
③ 表示硫酸铵的分子量为 $(14+1\times 4)\times 2+32+16\times 4=132$ ；

④ 表示硫酸铵中所含元素的质量百分比

$$w(\text{N})\% = \frac{14\times 2}{132} = \frac{28}{132} = 21\% \quad w(\text{S})\% = \frac{32\times 1}{132} = \frac{32}{132} = 24\%$$

$$w(\text{H})\% = \frac{1\times 4\times 2}{132} = \frac{8}{132} = 6\% \quad w(\text{O})\% = \frac{16\times 4}{132} = \frac{64}{132} = 49\%$$

(2) 化学方程式 根据质量守恒定律，用元素符号和化学式表示化学变化中质和量关系的式子。例如：



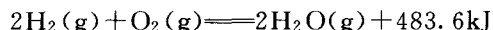
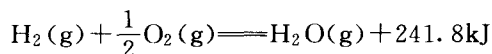
从上面的化学方程式中，不仅看出反应物和生成物是什么物质，同时也可以看出反应式两边各元素的原子个数是相等的，即符合反应前后物质总量不变的原则。所以化学方程式表示出参加反应的物质之间的质和量的变化关系。配平的化学反应方程式表明反应中各物质的物质的量之比等于其化学式前的系数之比，则可从已知反应物的量，计算生成物的理论产量，或从所需产量计算反应物的量。

(3) 热化学方程式 在化学反应中，除了有物质的变化外，还有以热量的形式表示出来的能量变化。能表明热量变化的化学方程式叫做热化学方程式。

放出热量的化学反应叫放热反应，在化学方程式的右边用“+”号来表示放热；吸收热量的化学反应叫做吸热反应，在化学方程式的右边用“-”号来表示吸热。由于发生化学反应而放出或吸收的热量叫做化学反应的热效应。

化学反应的热效应，与参加反应物质的量、聚集状态（固体、液体或气体）、外界的温度和压力有关。所以在书写热化学方程式时，要注明参加反应的物质的量（即化学式的系数）、聚集状态（以 g 表示气体，l 表示液体，s 表示固体）。如果不标明温度和压力时，均

是指在 25℃、101.325kPa 下的热效应。例如：



1.2 理想气体状态方程

在化工生产中，经常接触的气体不仅有单一组分的纯气体，而且还有由各种组分组成的混合气体（不发生化学反应）；反应条件都是在非标准状态下进行的。因此有必要找出气体的体积与热力学温度和压力三者之间的变化规律；为便于研究，先讨论单一组分纯气体，再讨论混合气体，并将所讨论的气体都视为理想气体。

分子本身的体积与气体的体积相比可以忽略不计，分子之间不存在作用力，这样的气体称为理想气体。

1.2.1 理想气体状态方程

在标准状态下，任何气体的摩尔体积都是 22.4L/mol。但是在化工生产中，技术条件要求的温度、压力往往都不在标准状态下。这时应该如何计算气体的体积呢？

从实践中人们已经认识到，一定质量的气体，在温度不变时，它的体积随压力的增大而变小；当在压力不变时，它的体积随温度升高而变大。

理想气体状态方程式

$$pV = nRT \quad (1-1)$$

式中 p ——气体的压力，帕（Pa）；

V ——体积，立方米（ m^3 ）；

n ——物质的量，摩尔（mol）；

T ——热力学温度，开（K）；

R ——摩尔气体常数，J/(mol·K)。

理想气体实际上是不存在的，实际工作中，当压力不太高、温度不太低的情况下，气体分子间的距离大，分子本身的体积和分子间的作用力均可忽略，气体的压力、体积、温度以及物质的量之间的关系可近似地用理想气体状态方程来描述。

摩尔气体常数（ R ）是一个很重要的常数，实验测知 1mol 气体在标准状况下的体积为 $22.41 \times 10^{-3} \text{m}^3$ ，则

$$\begin{aligned} R &= \frac{pV}{nT} = \frac{101.325 \times 10^3 \times 22.41 \times 10^{-3}}{1 \times 273.15} \\ &= 8.314 \text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \end{aligned}$$

例 1-1 温度为 298K，压力为 101.325kPa，0.3L 某气体的质量为 0.39g，求该气体的相对分子质量。

解 设该气体的摩尔质量为 M

已知 $p = 101.325 \text{kPa}$ ， $V = 0.3 \text{L} = 0.3 \times 10^{-3} \text{m}^3$ ， $m = 0.39 \text{g}$ ， $T = 298 \text{K}$ ， $R = 8.314 \text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$

因为

$$pV = \frac{m}{M}RT$$

$$M = \frac{m}{pV}RT = \frac{0.39 \times 8.314 \times 298}{101.325 \times 10^3 \times 0.3 \times 10^{-3}} \approx 32 \text{ g/mol}$$

答 该气体的相对分子质量为 32。

1.2.2 分压及分压定律

在化工生产中，很多化学反应的原料气体都是气体混合物。例如合成氨的原料气就是按一定比例混合的氢气和氮气的混合气体。对这种混合气体的组分含量及其气体的体积的计算，将是分压定律要讨论的内容。

1.2.2.1 体积分数

实验证明，在恒温恒压下，不发生化学反应的混合气体的总体积 $V_{\text{总}}$ 等于各组分气体分体积 V_i 之和。即：

$$V_{\text{总}} = V_1 + V_2 + V_3 + \cdots + V_i \text{ (严格地说，这种关系只对理想气体才成立)}$$

所谓分体积是指在相同温度下，组分气体具有与混合气体相同压力时所占有的体积。例如，空气的 4/5 是氮气，1/5 是氧气（不计空气中的微量组分）。那么在 5L 空气中，氮气的分体积为 4L，氧气的分体积为 1L。这就相当于，在通常状况下的 5L 空气中，分离出的氮气和氧气在通常状况下所占有的体积分别为 4L 和 1L。

混合气体的组成常用体积分数表示。所谓体积分数，是指各组分的分体积与混合气体的总体积之比值（如果该比值用百分数表示时，则称为体积百分数）。体积分数常用 x_i 表示。即：

$$x_i = \frac{V_i}{V} \quad (1-2)$$

例如，在 101.325kPa 压力下，将 1L 氮气和 3L 氢气在同温下混合，得到 4L 的混合气体。这时氮和氢两种气体的体积分数分别为：

$$x(\text{H}_2) = \frac{3}{4} = 0.75$$

$$x(\text{N}_2) = \frac{1}{4} = 0.25$$

1.2.2.2 分压及分压定律

(1) 总压与分压 空气主要是由氮气和氧气组成的混合气体。因此，空气具有的压力（大气压）实际上是由氮气和氧气共同作出的贡献，所以大气压就是空气的总压，它等于氮气和氧气分别产生的那一部分压力之和，而氮气和氧气所产生的那部分压力，分别叫做空气中氮气和氧气的分压。

从上述例子中，不难得出分压的定义：在一定温度下，各组分气体单独占有与混合气体相同体积时，对容器所产生的压力，叫做该组分气体的分压。

例如，把三种不发生化学反应的气体，在相同的条件下，按同体积混合、放置在一个密闭的容器中，此时，假定测得压力为 $3 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，它就是混合气体的总压。若在上述条件下分别将三种同体积的气体单独放置在那个密闭容器中，这时每一种气体所产生的压力应该都是 $1 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，它就是该组分在混合气体中的分压。

由此可以得出，混合气体的总压 $p_{\text{总}}$ 应等于各组分气体的分压 p_i 之和。即：

$$p_{\text{总}} = p_1 + p_2 + p_3 + \cdots + p_i \quad (1-3)$$

(2) 分压定律 如混合气体由三种不同气体组成，它们在混合气体中的物质的量分别为