



高等学校教材

大学化学原理及应用

上册

樊行雪 方国女 编

化学工业出版社
教材出版中心
华东理工大学出版社



高等学校教材

大学化学原理及应用

上册

樊行雪 方国女 编

化学工业出版社教材出版中心

华东理工大学出版社

·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

大学化学原理及应用 . 上册 / 樊行雪 方国女编 . — 北京 :
化学工业出版社, 2000.7
高等学校教材
ISBN 7-5025-2813-X

I . 大… II . ①樊…②方… III . 化学-高等学校-教材
IV . 06

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 22369 号

**高等学校教材
大学化学原理及应用
上册**

樊行雪 方国女 编
责任编辑: 刘俊之
责任校对: 凌亚男
封面设计: 郑小红

*

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

*

新华书店北京发行所经销
化学工业出版社印刷厂印刷
三河市东柳装订厂装订

开本 787×960 毫米 1/16 印张 21½ 插页 1 字数 381 千字

2000 年 7 月第 1 版 2000 年 7 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—4000

ISBN 7-5025-2813-X/G·732

定 价: 29.00 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

前言

21 世纪将是一个全新的时代，知识的信息量将空前增大，学科间的交叉渗透进一步加强，一个崭新的大学科观正在逐步形成、发展并成熟，从而促使新的领域不断被开拓，科学技术发展将进一步向综合化和整体化方向进展，科技成果转化的周期必将迅速加快。化学学科也正面临着新的挑战。如何加速各种化学过程的开发和反应理论的研究，以寻求最佳的反应途径；如何将物质结构理论进一步上升至新的水平，以便充分利用结构与性能的关系，寻求或设计出最佳的化合物；如何依靠计算机技术寻求新的分析测试方法等，将成为化学学科发展的主要动向。同时化学学科与其他学科间的相互渗透和交叉的趋势也促使人们对化学学科的进一步研究给予了足够的重视。如在生命科学中的众多问题，已成了化学和生物学共同研究的对象；化学在新能源的探索 and 环境保护的研究方面所起的作用也已成了目前以至将来的研究热点；层出不穷的新材料，如纳米材料、分子超导材料和分子光学材料等的研究和开发，也充分体现出化学学科举足轻重的地位。

凡此种种，可充分体会到科技发展将对化学学科发展以及化学人才培养提出了更高的要求。要求化学工作者的科研和思维方法必须从原来重分析、演绎、推理等向重归纳、分析、渗透和综合方向发展。高等学校作为创造新的科学、文化和培养高级人才的园地，不仅要适应新世纪的要求，更要为之起到促进和催生的作用。然而高校原有的培养模式和课程设置，远远不能满足上述要求，因而制定新的培养目标和规格，设置新的课程体系，编写新的教材成了当务之急。为此，我们在多年教改实践的基础上，编写了“大学化学原理及应用”教材。本教材属“21 世纪理科应用化学专业化学系列课程改革”的配套教材，供应用化学专业本科一年级学生使用。

一、编写基础

我校自 1985 年就开始了对课程体系改革的探索工作，打破了原无机化学和分析化学的界域，将原分析化学理论部分内容归入化学原理，将具体方法作为理论的应用，从而建立了“无机和分析化学”课程的新体系。该体系经历了十余年的教改实践，不仅减少了学时，而且在培养学生学以致用、综合知识能力方面具有独特的优势。改革的圆满成功为设计面向新世纪的课程体系提供了理论依据和实践基础。

二、编写特点

1. 本教材的编写以新世纪对化学人才的知识、能力和素质培养需求为总体目标，并与应化专业系列课程的设计方案相符合。既考虑了应化专业学科知识的系统性，又力图符合社会对人才素质和能力的需求，并顾及学生的兴趣和认知规律。内容的选取围绕四会的基本要求重新组织和设计，使教材能体现重视科技知识教育的同时，进行科学精神和科学方法论的教育，使学生通过学习能初步获取可持续发展的知识基础和继续学习的能力，并初步激活学生的创新思想。

2. 打破课程界域，重组教材内容。在对社会发展需求及国内外各层次教学现状和发展调研的基础上，进一步研究了原四大化学课程内容的内在联系，科学地打破了原化学课程的界域，按认知规律，综合化的课程观和方法论确定了编写内容的起点、深度和广度。

3. 按大学学科观精选内容，在考虑知识系统性和适应性的同时，也注意了先进性和应用性。

根据学科发展的特点——相互交叉、渗透和新学科的不断涌现，本教材编写中注意了用理论联系实际的方法，早期渗入了应用意识，在适当拓展化学学科本身的前沿知识的同时，适度地加强了化学与其他学科间的联系，为其他学科提供源于学科基本知识的支持，如引入了生命科学、新能源、新材料、环境保护等相关知识，从而为后继课程学习形成一个较为全面和坚实的化学基础知识的格局。

4. 具体内容安排选择特点

a. 本教材在无机和分析化学合并实践的基础上，进一步打破学科界限，融合了分散在原四门化学基础课程中的一些化学基础知识，经整体化后形成了新的知识结构框架。

引入了化学热力学基础知识（包括热力学第一定律和第二、第三定律的定性内容，相图、相变和胶体知识等概念）、化学动力学知识（包括动力学方程式建立的初步方法、反应级数等），使之与原无机化学中相关内容一气呵成。加强了有机化学中所需的结构的初步知识，如离域 π 键、有机物的杂化类型、异构体、立体化学等。

b. 教材中适当增加了新型配合物、等离子体、计量化学初步知识、各种新型功能材料、新能源及重大环境问题等化学发展的前沿知识。

c. 确立了元素及化合物性质在本教材中的重要地位，并作了如下处理。

从学习者认知方式出发，采用归并、比较方法重设章节。本书将元素及化合物分成五个章节分述，即：非金属元素、主族金属元素、过渡元素（一）、过渡元素（二）及镧系锕系元素。

精选有实用价值的重要元素及化合物进行简明叙述。

根据元素及化合物内在联系，从结构着手注重通性及变化规律的讨论，用归纳、类比等方式帮助学生掌握共性，同时，加强了重要元素及化合物特性的阐述。

加强了元素部分内容的实用性，使学生在掌握元素及化合物知识的同时，学会初步运用知识解决实际问题，拓展知识面提高学生运用知识的能力。

三、编写说明

1. 教材采用 SI 单位制，数据摘自“CRC Handbook of chemistry and physics”（1996~1997）、1998 年《物理化学简明手册》和 1997 年《分析化学手册》第一分册。

2. 本教材由樊行雪、方国女主编；参加编写工作的还有王燕、李芝香、陈娅如、金云云、胡军、许学敏、周其镇；张敏负责全书的附录收集整理工作，王燕整理了全书的图片资料；王娟、黄永民、魏清莲、王磊、付利英等同志也参加了打印编排工作。

3. 本教材承复旦大学谢高阳教授，南开大学廖代正教授和华东师范大学范杰教授审阅，并提出宝贵意见，对此表示衷心感谢。

本教材编写过程中得到华东理工大学教务处及校教材建设委员会的大力支持和鼓励；华东理工大学朱明华教授、冯仰婕教授、荣国斌教授和吕瑞东教授对本教材有关部分进行了审阅、指导和帮助，在此一并致谢。

4. 本教材虽为应化理科学生编写的，但经适当舍取也可适用于应用理科和工科选读“无机与化学分析”的学生使用。应用化学专业的参考学时为 144 学时，经教学手段和方法改革可压缩至 128 学时。

本教材已经过三届学生试用。在试用的基础上又作了多次修改，但限于作者水平，错误和不足在所难免，恳请读者批评指正。

编者

1999 年 12 月

内 容 提 要

《大学化学原理及应用》是在多年无机化学和分析化学合并、改革教学实践的基础上,按教育部最新颁布的化学与应用化学专业教学大纲及学时数规定,为高等院校应用化学专业一年级学生编写的基础课教材。

本书融合了原四大化学中的化学基础知识,按认知规律编排。在考虑知识的系统性和适应性的同时,还注重先进性和应用性。

本书分上、下册,内容包括物质的聚集状态、化学热力学基础知识(热力学第一定律及第二、第三定律的定性内容)、化学动力学;四大平衡(酸碱平衡、氧化还原平衡、沉淀溶解平衡、配合平衡)及其应用;原子结构、分子结构基础;元素(非金属元素、主族金属元素、过渡元素等,按周期表分区叙述)及化合物的性质及应用;适当增加了新型配合物、等离子体、计量化学初步知识、各种新型材料、新能源及重大环境问题等化学发展的前沿知识。

本书还可作为相关专业的基础化学课程教材。

目 录

第 1 章 物质的聚集状态	1
1.1 气态	1
1.1.1 气体的通性	1
1.1.2 气体定律	1
1.1.3 气体的液化.....	11
1.2 液态.....	13
1.2.1 液体的性质.....	13
1.2.2 溶液.....	15
1.2.3 胶体分散系.....	30
1.3 固态.....	34
1.3.1 晶体和非晶体.....	34
1.3.2 晶体的外形特征和结构.....	35
1.3.3 晶体的类型.....	39
1.4 等离子态.....	40
1.4.1 概述.....	40
1.4.2 等离子体的特征.....	40
1.4.3 等离子体的形成方法.....	41
1.4.4 等离子体的应用.....	42
习题	42
第 2 章 化学热力学基础	45
2.1 热力学第一定律与热化学.....	45
2.1.1 基本概念与术语.....	45
2.1.2 热力学第一定律.....	48
2.1.3 焓.....	50
2.1.4 化学反应热效应.....	52
2.1.5 几种反应的摩尔焓变.....	56
2.2 热力学第二定律与化学反应方向.....	61
2.2.1 热力学第二定律.....	61
2.2.2 熵增大原理.....	63
2.2.3 化学反应熵变的计算.....	65

2.2.4 化学反应方向·····	66
2.3 化学平衡·····	72
2.3.1 可逆反应与化学平衡·····	73
2.3.2 平衡常数·····	73
2.3.3 多重平衡规则·····	79
2.3.4 标准平衡常数与摩尔反应吉氏函数·····	79
2.3.5 化学平衡的移动·····	82
习题·····	88
第3章 化学动力学基础 ·····	92
3.1 化学反应速率的表示方法·····	92
3.1.1 平均速率·····	92
3.1.2 瞬时速率·····	94
3.2 反应速率理论·····	95
3.2.1 有效碰撞理论·····	96
3.2.2 过渡状态理论·····	96
3.3 浓度对反应速率的影响·····	97
3.3.1 动力学方程·····	97
3.3.2 质量作用定律·····	99
3.4 简单级数反应动力学方程的建立·····	100
3.4.1 简单级数反应的动力学方程·····	100
3.4.2 动力学方程的建立·····	103
3.5 温度对反应速率的影响·····	106
3.6 催化剂对反应速率的影响·····	110
3.7 化学平衡和化学反应速率原理的应用·····	111
习题·····	113
第4章 酸碱平衡 ·····	117
4.1 电解质溶液·····	117
4.1.1 强电解质和弱电解质·····	117
4.1.2 强电解质的活度和活度系数·····	117
4.1.3 离子强度·····	118
4.2 酸碱理论·····	119
4.2.1 酸碱的质子理论·····	119
4.2.2 酸碱的路易斯电子理论·····	121
4.2.3 软硬酸碱理论·····	122
4.3 溶剂·····	124

4.3.1	溶剂的分类	124
4.3.2	溶剂对溶质酸碱性的影响	125
4.3.3	溶剂的选择	126
4.4	水溶液中的酸碱平衡	127
4.4.1	酸和碱的离解常数	127
4.4.2	$K_a^\ominus$, $K_b^\ominus$ 与 $K_w^\ominus$ 的关系	128
4.4.3	中和常数	129
4.5	溶液的 pH 值	131
4.5.1	一元酸碱溶液 pH 值的近似计算	132
4.5.2	多元酸碱溶液 pH 值的计算	135
4.5.3	溶液 pH 值的精确算法	137
4.5.4	溶液 pH 值的测试方法	149
4.6	同离子效应对酸碱平衡体系的影响	151
4.7	同离子效应的应用——缓冲溶液	153
4.7.1	缓冲溶液的组成	153
4.7.2	缓冲原理	153
4.7.3	缓冲溶液的计算	154
4.7.4	缓冲范围和缓冲容量	155
4.7.5	缓冲溶液的选择	155
4.7.6	生理缓冲溶液	156
	习题	156
第 5 章	酸碱平衡在分析化学中的应用——酸碱滴定法	160
5.1	滴定曲线法	160
5.1.1	滴定曲线法	161
5.1.2	指示剂法	169
5.1.3	间接滴定法	170
5.1.4	非水溶液中的酸碱滴定	170
5.2	滴定直线法	172
5.2.1	单元酸的线性函数公式及数据处理	172
*5.2.2	两元酸和混合酸的线性函数公式及数据处理	174
5.2.3	线性滴定法的应用	175
5.3	酸、碱标准溶液的配制和标定	178
5.4	酸碱滴定法的结果计算	179
	习题	182
第 6 章	沉淀平衡	185

6.1	沉淀平衡的特征	185
6.1.1	溶度积常数	185
6.1.2	溶度积和溶解度	186
6.2	影响沉淀平衡的因素	187
6.2.1	同离子效应	187
6.2.2	盐效应	188
6.2.3	酸效应	189
6.2.4	配合效应	190
6.3	溶度积规则	190
6.4	溶度积规则的应用	191
6.4.1	判断沉淀的生成	191
6.4.2	沉淀的溶解	192
6.4.3	分步沉淀	195
6.4.4	沉淀的转化	196
	习题	197
第7章	沉淀平衡原理在分析化学中的应用——重量分析法	199
7.1	沉淀重量法的基本原理	199
7.1.1	沉淀的形成与重量分析对沉淀的要求	199
7.1.2	影响沉淀完全的因素	201
7.1.3	影响沉淀纯净的因素	202
7.1.4	沉淀条件的选择	205
7.1.5	沉淀的过滤、洗涤、烘干和灼烧	210
7.2	重量分析的结果计算	212
7.3	重量分析应用实例	213
7.3.1	钢铁中 Ni^{2+} 的测定	213
7.3.2	动物胶重量法测定二氧化硅	214
7.3.3	8-羟基喹啉沉淀法测定铝	214
7.3.4	电重量法测定污水中的铜	215
	习题	215
第8章	氧化还原平衡及电化学基础	217
8.1	基本概念	217
8.1.1	氧化还原反应	217
8.1.2	氧化数	219
8.1.3	氧化还原反应的方程式配平	221
8.2	原电池和还原电势	223

8.2.1	原电池	223
8.2.2	还原电势	225
8.3	影响电池电动势的因素, 能斯特方程式	229
8.3.1	电池电动势与反应吉布斯函数的关系	229
8.3.2	能斯特方程式	229
8.3.3	式量电势	232
8.4	电池的电动势与电极电势数值的应用	233
8.4.1	选择合适的氧化剂和还原剂	233
8.4.2	判断电池的正负极, 计算原电池的电动势 $E^{\ominus}$	234
8.4.3	判断氧化还原反应的自发性	235
8.4.4	确定氧化还原反应进行的程度	237
8.4.5	溶液中离子浓度的测定	239
8.5	电势数据的图示法	240
8.5.1	拉蒂麦尔 (Latimer) 图	240
8.5.2	弗洛斯特 (Frost) 图	241
8.5.3	泡佩克斯 (Pourbaix) 图	242
8.6	氧化-还原过程的机理	245
8.7	电解	246
8.7.1	电解池	246
8.7.2	电解定律	248
8.8	基础电化学知识的实际应用	248
8.8.1	工业化学品生产	248
8.8.2	化学电池	249
8.8.3	金属腐蚀与防腐蚀	251
8.8.4	电化学分析方法	253
	习题	253
第9章	氧化还原平衡原理在分析化学中的应用——氧化还原滴定法 ...	257
9.1	氧化还原滴定法的滴定条件	257
9.1.1	反应的完全程度	257
9.1.2	反应的定量关系	259
9.1.3	反应速率	261
9.1.4	判断终点的方法	263
9.2	氧化还原滴定的应用	268
9.2.1	高锰酸钾法	268
9.2.2	碘法	271

9.2.3 其他氧化还原滴定法	275
9.3 氧化还原滴定结果的计算	277
习题	279
第 10 章 原子结构	282
10.1 概述	282
10.1.1 电磁辐射	282
10.1.2 普朗克量子论	283
10.1.3 氢原子光谱	284
10.2 原子模型	285
10.2.1 原子结构理论的发展简史	285
10.2.2 原子的玻尔模型	286
10.2.3 原子的量子力学模型	288
10.3 多电子原子的能级	299
10.3.1 屏蔽效应	299
10.3.2 钻穿效应	301
10.3.3 轨道的能量	301
10.4 多电子原子的核外电子排布规则	302
10.4.1 鲍林近似能级图	302
10.4.2 科顿原子轨道能级图	303
10.4.3 多电子原子核外电子排布规律	305
10.5 原子的电子构型和周期律	307
10.5.1 原子的电子构型	307
10.5.2 原子的电子构型与周期表的关系	307
10.6 主要的原子参数及其变化规律	311
10.6.1 原子半径	311
10.6.2 电离能	314
10.6.3 电子亲和能	316
10.6.4 电负性	317
习题	319
附录	322
附录 1 元素及化合物在标准状态下的热力学数据	322
附录 2 水合离子在标准状态下的热力学数据	323
附录 3 298K 时酸的标准酸常数	324
附录 4 298K 时碱的标准碱常数	325
附录 5 常用的缓冲对	326

附录 6	难溶化合物的溶度积	326
附录 7	标准还原电势	327
附录 8	式量电势	329
附录 9	原子参数	331

第 1 章 物质的聚集状态

物质的聚集状态 (the collective state of matter) 是实物的存在形式。由于物质内部分子处于无序的热运动之中, 当外界的条件发生变化时, 会使物质内部分子的热运动状态发生变化, 导致物质的聚集状态也发生相应的改变。在自然界中, 物质的聚集状态一般有四种, 即气态、液态、固态和等离子态。当物质处于不同聚集状态时, 会呈现出不同的物化性质。不同聚集状态之间, 也可以在一定条件下相互转化。因而, 物质聚集状态的实践和理论的研究是化学从宏观向微观发展过程中一个十分重要的环节。有必要借助于已有的理论研究成果, 使物质的各种聚集状态与物质内部分子、原子的特征联系起来。通过对物质聚集状态内在规律的探讨, 使人们更深入地了解物质的性质, 并可用于解决一些实际问题。

1.1 气 态

1.1.1 气体的通性

气态 (gases) 是人们迄今为止研究和了解得较为全面的一种状态。理论和实践均已证明, 气体是由许多快速和独立并无规则运动着的分子所组成的。

当物质处于气体状态时的特征是: 分子间有着相当大的间距, 分子间的作用力可视为十分小。故气体具有明显的可压缩性和无限制膨胀的特性。在一定温度下, 随着压力的增加, 气体的体积减小, 反之亦然。同时由于气体分子是处于快速运动之中, 故气体有一定的扩散性和渗透性, 无论气体的量多或量少, 它们均可完全和均匀地充满整个容器, 所有的气体相互间能以任何比例迅速地混合成完全均一的气态溶液。

气体分子是处于无规则的运动状态, 当气体分子撞击容器壁时, 可产生压力。气体的压力可用压力计测量得到, 并用多种单位表示。按 SI 制规定: 压力的单位可用帕斯卡 (Pa) 或千帕斯卡 (kPa) 表示。

1.1.2 气体定律

1. 理想气体定律

忽略了气体分子本身的体积和分子间的相互作用力的气体称为理想气体。一般将温度不低于 0°C , 压力不高于 101.325 kPa 时气体看成是理想气体。为了研究理想气体的性质, 前人在实践的基础上已建立了一些实验定律 (如波义耳定律、查理-盖-吕萨克定律和阿伏加德罗定律), 用以表示能决定

气体性质的四个重要参数（物质的量 n ，压力 p ，体积 V ，热力学温度 T ）之间的关系。

若将前述的三个定律结合起来，可以得到一个能描述一定量气体的四个变量间相互关系的方程式，称为理想气体状态方程式，即为理想气体定律。

(1) 理想气体定律的表示形式 理想气体定律通常表示成：

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

式中 p ——气体的压力，kPa 或 Pa；

V ——气体的体积， m^3 ；

n ——气体的物质的量，mol；

T ——气体的温度，K；

R ——摩尔气体常数。

式 (1-1) 是理想气体应遵循的关系式。

在式 (1-1) 中，值得注意的是 R 。 R 称为摩尔气体常数，它适用于所有的气体，它的值可以从真实气体的实验数据通过极限外推的方法来获得。

大量实验数据表明，对一定量气体而言，在一定温度下，压力减小时，体积就增加。于是人们预料对 1mol 气体而言，在一定温度下，它的压力和摩尔体积 (V_m) 的乘积一定十分接近于常数。对于任何气体，当温度在水的三相点时 ($T = 273.15\text{K}$)，压力趋近于 0 时，用外推法可得到 pV_m 在 $p \rightarrow 0$ 值为 $2271.10\text{m}^3 \cdot \text{Pa} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。由于压力很低时的实际气体的性质十分的接近于理想气体的性质，因而根据理想气体状态方程式，可推知：

$$\begin{aligned} R &= \frac{pV}{nT} = \frac{pV_m}{T} = \frac{2271.10\text{m}^3 \cdot \text{Pa} \cdot \text{mol}^{-1}}{273.15\text{K}} = 8.3145\text{m}^3 \cdot \text{Pa} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \\ &= 8.3145\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \end{aligned}$$

R 值也与压力、体积所选用的单位有关，而上述是最常用的单位。

由上述讨论可知，理想气体定律能反映出所有理想气体在很低压力下的共性。它包含了前面三个实验定律。凡是能遵守波义耳定律和盖-吕萨克定律的气体，则它们的 pV/T 一定是常数，这些气体可属于理想气体。

非常精密和正确的试验测量表明，没有一种气体能完全遵守式 (1-1)。但当气体处于高温和低压条件下时，实际气体和理想气体的差异较小，因此，任何实际气体若能近似地遵守理想气体定律时，则可认为这种气体处于理想气体状态。如一般气体在稀薄状态时，几乎都能近似地符合理想气体定律，但也有例外，如 CO_2 、 H_2S 、 HCl 及 NH_3 等。

(2) 理想气体定律的应用 利用理想气体定律，对给定数量的任何气体，只要知道了 p ， V ， T 中任何两个变量，则就可确定气体所处的状态，亦可依式 (1-1) 计算出第三个变量。同时也可根据题意从理想气体定律求

取物质的相对分子质量或气体的密度等。有关计算可分以下几种类型。

a. 在给定压力、体积和温度的条件下，计算物质的相对分子质量。

【例 1】环丙烷是一种气体，常用作麻醉剂。(1) 在 323K 和 94.8kPa 的压力下，已知 1L 的环丙烷重 1.5g。试求环丙烷的相对分子质量 (M_r)；(2) 环丙烷的实验式为 CH_2 ，试推测其化合物的分子式。

解：(1) 现将理想气体定律式 (1-1) 变成下述的表达式：

将 $n = m(\text{质量})/M_r(\text{相对分子质量})$ 代入 (1-1) 式得

$$M_r = mRT/pV \quad (1-2)$$

$$M_r = \frac{1.50\text{g}}{1\text{L} \times 94.8\text{kPa}} \times 8.3145\text{kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 323\text{K} = 42.5\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

(2) 已知该气体的实验式为 CH_2 ，此实验式量为 $14.0\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$42.5/14.0 = 3.04 \approx 3$$

环丙烷的分子式应是实验式的三倍，即环丙烷的分子式为 C_3H_6 。

b. 利用理想气体定律也可计算条件变化对某一变量的影响。

【例 2】已知某给足量的气体样品在 308K 和 115kPa 下，占有的体积为 462mL，试求该气体在标准状态下的体积。

解：最初条件： $V_i = 462 \text{ mL}$, $T_i = 308 \text{ K}$, $p_i = 115 \text{ kPa}$

最终条件： $V_f = ?$, $T_f = 273.15 \text{ K}$, $p_f = 101.325 \text{ kPa}$

根据式 (1-1)

$$p_i V_i = n_i R T_i \quad (1)$$

$$p_f V_f = n_f R T_f \quad (2)$$

条件变化时，某气体的物质的量不变，即 $n_i = n_f$ ，故由式 (1) 除以式 (2) 可得：

$$p_i V_i / T_i = p_f V_f / T_f \quad (1-3)$$

$$V_f = \frac{p_i V_i T_f}{p_f T_i} = \frac{115\text{kPa} \times 462\text{mL} \times 273.15\text{K}}{101.325\text{kPa} \times 308\text{K}} = 465\text{mL}$$

c. 利用理想气体定律，可在已知温度和压力下，计算气体的密度 ρ 。

为进行密度计算可将式 (1-1) 作适当变换，使之成为表达气体质量、温度、压力、体积和化学组成之间的函数关系，用以说明理想气体密度变化的规律。

将 $\rho(\text{密度}) = m(\text{质量})/V(\text{体积})$ 代入式 (1-2) 得

$$\rho = p \cdot M_r / RT \quad (1-4)$$

由此可知，理想气体定律形式经变换后，也可以反映各种气体的个性，这种个性可从相对分子质量上反映出来，当气体的相对分子质量越大，则该气体的密度也越大。