



普通高等教育“十三五”规划教材

无机化学学习指导

万霞 主编



科学出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

无机化学学习指导

万 霞 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是与普通高等教育“十三五”规划教材《无机化学》(第二版)(章伟光主编,科学出版社,2017年)配套使用的教学参考书,也是无机化学系列教材之一。本书共12章,各章内容包括本章主要内容回顾、建议学时和学习要求、扩展知识点、例题与解析和部分习题解答五个部分,并附有无机化学(上、下)期末模拟试题、研究生入学模拟试题及参考答案。其目的是帮助读者掌握基础知识和基本原理及重点内容,并学会应用所学知识分析和解决问题。

本书可作为高等学校化学、生物科学、生物工程、环境科学、环境工程、材料化学、科学教育、材料物理等专业本科生无机化学的学习指导书,也可对相关专业的教师提供教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

无机化学学习指导 / 万霞主编. —北京:科学出版社,2018.6

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-03-057230-1

I. ①无… II. ①万… III. ①无机化学-高等学校-教学参考资料
IV. ①O61

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第074177号

责任编辑:丁里 / 责任校对:何艳萍

责任印制:吴兆东 / 封面设计:迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京九州迅驰传媒文化有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2018年6月第一次印刷 印张:20

字数:506 000

定价:59.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书是与普通高等教育“十三五”规划教材《无机化学》(第二版)(章伟光主编,科学出版社,2017年)配套使用的教学参考书,也是无机化学系列教材之一。由华南师范大学牵头,联合湖南师范大学、江西师范大学和韩山师范学院四所院校教学一线优秀教师编写的《无机化学》自2011年8月正式出版以来,受到教师和学生的好评,至2016年已经第五次印刷。在总结使用过程中教师和学生反馈意见的基础上,于2017年8月由科学出版社出版了《无机化学》(第二版)。为了配合新教材的使用,使学生能更好地掌握和理解教材所授知识,也为了使教师能更好地讲授无机化学课程,特组织多所高等学校的无机化学一线授课教师编写了本书。本书与《无机化学》(第二版)章节一致,共12章,各章包括以下五个部分。

(1)本章主要内容回顾:将本章的主要内容进行归纳总结,使知识结构更清晰,知识点间的联系更紧密,这样可以更好地帮助学生掌握所学内容,特别是对不善于归纳总结的学生有很大帮助。

(2)建议学时和学习要求:针对教师授课的要求,提供参考的建议学时,可以帮助教师更好地组织教学。学习要求直接给出通过本章学习后需要掌握的知识点,使学生能自我检验是否完成本章的学习目标和要求。

(3)扩展知识点:教材由于篇幅的限制,有的知识点无法呈现,但对学生的学习是有帮助的。同时,为了使学生开阔眼界,拓展思路,设计了此部分内容。它或者是教材内容的进一步深化和解析,或者是与基础知识相关的最新研究成果的简介,为学有余力的学生提供更加丰富的课外知识,激发学生探究未知科学知识的兴趣和爱好,为成为未来科学研究者打下一定基础。

(4)例题与解析:针对本章涉及的知识点,精心挑选不同层次和难度的例题,从解题思路、方法到最终结果进行深入浅出的解答和分析,使学生掌握解题的方法和技巧,提高分析问题和解决问题的能力。

(5)部分习题解答:对《无机化学》(第二版)中各章的习题,选取其中典型的、不同层次的、具有一定难度的题目进行详细的解答和分析,方便学生对照答案进行自我评阅,找到问题所在和纠正错误。同时,也为教师的教学提供帮助。

本书由华南师范大学万霞老师担任主编,负责每章第一节、第二节、第四节和第五节,以及1.3.1~1.3.4小节和7.3.1、7.3.2小节内容的编写工作,同时负责书稿的汇总、检测和最终的校稿任务。广东第二师范学院江涛老师负责1.3.5小节和12.2.1~12.2.5小节内容的编写工作。北京师范大学珠海分校林纯老师负责3.3.1~3.3.4小节内容的编写工作。华南师范大学范军老师负责4.3.1~4.3.5小节内容的编写工作。华南师范大学蔡松亮老师负责5.3.1、5.3.2小节内容的编写工作。湖北工程学院王丽老师负责6.3.1~6.3.6小节内容的编写工作。华南师范大学区泳聪老师负责8.3.1~8.3.4小节和10.3.1~10.3.4小节内容的编写工作。常州大学黄薇老师负责9.3.1~9.3.3小节内容的编写工作。华南师范大学王前明老师负责11.2.1、11.2.2小节内容的编写工作。华南师范大学章伟光老师参与本书的策划和组织人员的工作,并对本

书的编写内容及框架结构提出了非常好的建议，在此表示衷心的感谢。另外，华南师范大学申俊英和宋海燕老师提供了部分章节习题的参考答案，在此表示感谢。

由于编者的水平有限，书中不足和疏漏之处在所难免，敬请同行专家和使用的读者批评指正。

编 者

2017年12月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 本章主要内容回顾	1
1.1.1 理想气体状态方程	1
1.1.2 分压、分体积	1
1.2 建议学时和学习要求	2
1.2.1 建议学时	2
1.2.2 学习要求	2
1.2.3 重点和难点	2
1.3 扩展知识点	2
1.3.1 实际气体的状态方程——范德华方程	2
1.3.2 气体扩散定律	4
1.3.3 气体的液化	4
1.3.4 其他聚集态	6
1.3.5 无机化学的分支学科	8
1.4 例题与解析	9
1.5 部分习题解答	13
第 2 章 原子结构	16
2.1 本章主要内容回顾	16
2.1.1 核外电子的运动状态及描述方法	16
2.1.2 多电子原子的电子层结构	18
2.1.3 原子结构与元素周期性	20
2.2 建议学时和学习要求	21
2.2.1 建议学时	21
2.2.2 学习要求	21
2.2.3 重点和难点	21
2.3 扩展知识点	22
2.3.1 氢原子波函数的图形	22
2.3.2 屏蔽系数 σ 的经验估算方法	24
2.4 例题与解析	24
2.5 部分习题解答	29
第 3 章 分子结构与化学键理论	36
3.1 本章主要内容回顾	36
3.1.1 共价键相关理论	36

3.1.2	键参数	38
3.1.3	分子间作用力与氢键	39
3.2	建议学时和学习要求	40
3.2.1	建议学时	40
3.2.2	学习要求	40
3.2.3	重点和难点	41
3.3	扩展知识点	41
3.3.1	原子轨道和分子轨道的对称性	41
3.3.2	分子轨道中的“对称性匹配原则”	43
3.3.3	异核双原子分子的分子轨道排布	44
3.3.4	氢键在生命体中的作用	45
3.4	例题与解析	45
3.5	部分习题解答	50
第4章	化学反应基本原理	56
4.1	本章主要内容回顾	56
4.1.1	化学热力学	56
4.1.2	化学平衡	58
4.1.3	化学动力学	60
4.2	建议学时和学习要求	61
4.2.1	建议学时	61
4.2.2	学习要求	61
4.2.3	重点和难点	62
4.3	扩展知识点	62
4.3.1	不同过程下体积功的计算方法	62
4.3.2	水合离子的标准摩尔生成焓和生成自由能、标准熵	64
4.3.3	熵在统计学意义上的微观实质	66
4.3.4	反应物浓度与时间的定量关系	67
4.3.5	酶催化反应	70
4.4	例题与解析	71
4.5	部分习题解答	81
第5章	固体结构	102
5.1	本章主要内容回顾	102
5.1.1	晶体的结构特征和类型	102
5.1.2	金属键和金属晶体	102
5.1.3	离子键和离子晶体	103
5.1.4	原子晶体和分子晶体	104
5.2	建议学时和学习要求	105
5.2.1	建议学时	105
5.2.2	学习要求	105
5.2.3	重点和难点	105

5.3 扩展知识点	105
5.3.1 晶体结构的测定	105
5.3.2 晶体的缺陷	106
5.4 例题与解析	108
5.5 部分习题解答	111
第6章 溶液化学	115
6.1 本章主要内容回顾	115
6.1.1 溶液的性质	115
6.1.2 酸碱平衡	115
6.1.3 沉淀溶解平衡	118
6.1.4 配合物与配位平衡	119
6.1.5 氧化还原平衡	120
6.2 建议学时和学习要求	122
6.2.1 建议学时	122
6.2.2 学习要求	122
6.2.3 重点和难点	123
6.3 扩展知识点	123
6.3.1 强电解质溶液的理论简介	123
6.3.2 人体中的缓冲体系	124
6.3.3 酸碱指示剂	125
6.3.4 电解	126
6.3.5 化学电源	127
6.3.6 金属的电化学腐蚀及防腐	132
6.4 例题与解析	133
6.5 部分习题解答	150
第7章 元素通论	168
7.1 本章主要内容回顾	168
7.1.1 周期表中元素的分类	168
7.1.2 非金属元素通论	168
7.1.3 金属元素通论	171
7.2 建议学时和学习要求	173
7.2.1 建议学时	173
7.2.2 学习要求	173
7.2.3 重点和难点	173
7.3 扩展知识点	173
7.3.1 金属还原过程的热力学	173
7.3.2 金属的提炼	174
7.4 例题与解析	176

7.5 部分习题解答	178
第8章 非金属元素	182
8.1 本章主要内容回顾	182
8.1.1 硼、碳和硅	182
8.1.2 氮、磷和砷	183
8.1.3 氧、硫、硒和碲	186
8.1.4 卤素	188
8.1.5 稀有气体	189
8.2 建议学时和学习要求	190
8.2.1 建议学时	190
8.2.2 学习要求	190
8.2.3 重点和难点	190
8.3 扩展知识点	191
8.3.1 石墨烯材料	191
8.3.2 单晶硅材料	192
8.3.3 多氮化合物	193
8.3.4 含氟超强酸	193
8.4 例题与解析	194
8.5 部分习题解答	200
第9章 非过渡金属元素	215
9.1 本章主要内容回顾	215
9.1.1 碱金属和碱土金属	215
9.1.2 铝分族金属	216
9.1.3 锆分族金属	217
9.1.4 铋分族金属	219
9.1.5 铜族金属	220
9.1.6 锌族金属	223
9.2 建议学时和学习要求	226
9.2.1 建议学时	226
9.2.2 学习要求	226
9.2.3 重点和难点	227
9.3 扩展知识点	227
9.3.1 金纳米粒子的研究进展	227
9.3.2 铜离子荧光探针研究进展	228
9.3.3 锌离子荧光分子探针研究进展	229
9.4 例题与解析	229
9.5 部分习题解答	238
第10章 过渡金属元素	247
10.1 本章主要内容回顾	247
10.1.1 配合物的结构和异构现象	247

10.1.2 配合物的晶体场理论	248
10.1.3 3d 过渡金属	249
10.2 建议学时和学习要求	254
10.2.1 建议学时	254
10.2.2 学习要求	254
10.2.3 重点和难点	255
10.3 扩展知识点	255
10.3.1 手性配合物	255
10.3.2 磁性材料	256
10.3.3 合金材料	258
10.3.4 超导材料	258
10.4 例题与解析	260
10.5 部分习题解答	267
第 11 章 镧系和铜系元素	278
11.1 建议学时和学习要求	278
11.1.1 建议学时	278
11.1.2 学习要求	278
11.2 扩展知识点	278
11.2.1 稀土元素的分离技术	278
11.2.2 新型有机-无机稀土杂化发光材料的研究	279
11.3 例题与解析	282
11.4 部分习题解答	283
第 12 章 化学新进展	286
12.1 建议学时和学习要求	286
12.1.1 建议学时	286
12.1.2 学习要求	286
12.2 扩展知识点	286
12.2.1 绿色化学——使用 AlkyClean 催化剂生产烷基化油	286
12.2.2 生命中的化学——青蒿素研究进展	287
12.2.3 新材料与化学——MOFs 材料在废水处理中的应用	287
12.2.4 新能源与化学——车用乙醇汽油的应用	288
12.2.5 纳米技术与化学——纳米氧化锆材料	288
无机化学(上)期末模拟考试题	289
无机化学(下)期末模拟考试题	295
研究生入学模拟考试题	300

第1章 绪 论

1.1 本章主要内容回顾

1.1.1 理想气体状态方程

理想气体的温度、压力和体积之间存在如下关系式，称为理想气体状态方程。

$$pV = nRT = \frac{m}{M}RT \quad (1.1)$$

式中： p 为气体压力； V 为气体体积； n 为气体的物质的量； R 为摩尔气体常量； T 为热力学温度； m 为气体质量； M 为气体的相对分子质量。因此，已知理想气体的任意三个物理量，就可通过式(1.1)求算第四个物理量。

1.1.2 分压、分体积

1. 分压

组分气体 B 在相同温度下占有与混合气体相同体积时所产生的压力称为该组分气体 B 的分压，用符号 p_B 表示。任何组分气体 B 均满足理想气体状态方程，即

$$p_B V = n_B RT \quad (1.2)$$

式中： p_B 为组分气体 B 的分压； n_B 为组分气体 B 的物质的量； V 为混合气体的总体积； R 为摩尔气体常量； T 为混合气体的热力学温度。

2. 道尔顿分压定律

在温度恒定下，混合气体的总压力等于各组分气体分压力之和，此结论称为道尔顿分压定律。将分压与总压相除，可推导出

$$\frac{p_B}{p} = \frac{n_B}{n} = x_B \quad (1.3)$$

式中： x_B 为组分 B 的摩尔分数，则

$$p_B = x_B p \quad (1.4)$$

3. 分体积

混合气体中组分 B 的分体积 V_B 是指该组分单独存在，并具有与混合气体相同温度(T)和压力(p)时所占有的体积，其状态方程表示为

$$pV_B = n_B RT \quad (1.5)$$

4. 分体积定律

理想混合气体的总体积等于各组分气体分体积之和，这就是分体积定律。将分体积与总

体积相除, 可推导出

$$\frac{V_B}{V} = \frac{n_B}{n} = x_B = \varphi_B \quad (1.6)$$

式中: φ_B 为组分气体 B 的体积分数, 代入分压公式得

$$V_B = x_B V = \varphi_B V \quad (1.7)$$

$$\frac{p_B}{p} = \frac{V_B}{V} = \frac{n_B}{n} = x_B = \varphi_B \quad (1.8)$$

计算时常用的重要公式:

$$p_B V = p V_B = n_B R T \quad (1.9)$$

$$\frac{p_{\text{前}} V_{\text{前}}}{T_{\text{前}}} = \frac{p_B V}{T} = \frac{p V_B}{T} \quad (1.10)$$

上述公式使用的前提是混合前后组分气体的 n_B 不变。

1.2 建议学时和学习要求

1.2.1 建议学时

对于化学(师范)专业建议 2 学时, 其他非化学专业也建议 2 学时。

1.2.2 学习要求

- (1) 学会应用理想气体状态方程计算气体的质量、物质的量、体积、压力、温度等物理量。
- (2) 掌握分压、分体积的概念及相关物理量的计算, 如 p_B 、 V_B 、 n_B 、 p 、 V 、 m_B 等。

1.2.3 重点和难点

有关组分气体的分压、分体积、总压、总体积等物理量的计算。

1.3 扩展知识

1.3.1 实际气体的状态方程——范德华方程

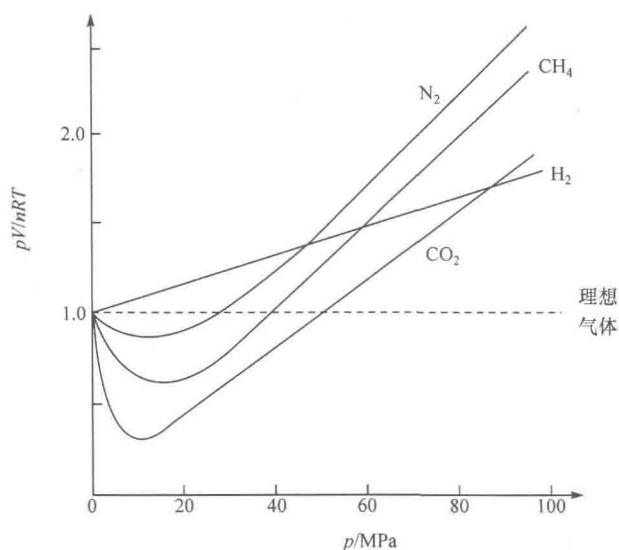
气体由于分子本身的体积和分子间作用力不能忽略, 当体系压力升高和温度降低时, 其性质与理想气体偏差越来越大。图 1.1 中, 虚线代表理想气体, 随着压力 p 的增大, 其 pV/nRT 值是不变的。而实际气体如 H_2 、 CH_4 、 N_2 和 CO_2 却发生变化。

1873 年, 荷兰科学家范德华(van der Waals)针对引起偏差的主要原因, 在引入分子自身体积和分子间引力因素的影响下推出了实际气体状态方程, 其数学表达式为

$$\left(p + a \frac{n^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT \quad (1.11)$$

或

$$\left(p + \frac{a}{V_m^2}\right)(V_m - b) = RT \quad (1.12)$$

图 1.1 几种气体的 pV/nRT - p (200 K) 曲线

式中: p 和 V 分别为实际气体的压力和体积; V_m 为气体的摩尔体积; n 为气体物质的量; a 为常数, 是考虑了压力效应的校正因子, 与气体分子间的引力作用有关, 其单位为 $\text{Pa} \cdot \text{m}^6 \cdot \text{mol}^{-2}$ 或 $\text{L}^2 \cdot \text{kPa} \cdot \text{mol}^{-2}$; b 也为常数, 是考虑了分子体积效应的校正因子, 与气体分子自身体积大小有关, 其单位为 $\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ 或 $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。将式 (1.11) 与理想气体状态方程进行比较得出

$$V_{\text{理想}} = V - nb \quad (1.13)$$

$$p_{\text{理想}} = p + a \left(\frac{n}{V} \right)^2 \quad (1.14)$$

式 (1.13) 是气体分子体积引起的修正。设 1 mol 气体的体积为 b , 其自身占据的空间不能再被其他分子进入, 则 n mol 气体占据的体积 nb 需要被扣除。式 (1.14) 是气体分子间作用力引起的修正。因分子间的吸引作用会减弱其对器壁的碰撞作用, 使实测压力小于按理想气体推测出的压力。由于气体分子对器壁的碰撞是弹性的, 碰撞产生的压力与气体的浓度 n/V 成正比; 同样, 分子间的吸引作用也导致实测压力减小, 减小的压力也与气体的浓度 n/V 成正比, 所以压力的校正项为 $a(n/V)^2$ 。

表 1.1 给出了某些气体的范德华常数 a 和 b 值。

表 1.1 某些气体的范德华常数

气体	$a \times 10^4 / (\text{Pa} \cdot \text{m}^6 \cdot \text{mol}^{-2})$	$b \times 10^4 / (\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1})$
He	0.03457	0.2370
H ₂	0.2476	0.2661
Ar	1.363	0.3219
O ₂	1.378	0.3183
N ₂	1.408	0.3913
CH ₄	2.283	0.4278
CO ₂	3.640	0.4267
HCl	3.716	0.4081

续表

气体	$a \times 10^3 / (\text{Pa} \cdot \text{m}^6 \cdot \text{mol}^{-2})$	$b \times 10^4 / (\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1})$
NH ₃	4.225	0.3707
NO ₂	5.354	0.4424
H ₂ O	5.536	0.3049
C ₂ H ₆	5.562	0.6380
SO ₂	6.803	0.5636

范德华方程一般用来处理与理想气体偏差较大、沸点较高的实际气体,如 Cl₂、SO₂、CO₂ 等。对于沸点较低的气体,如 H₂、O₂ 等,在常温常压下与理想气体偏差不大,一般仅 1% 左右,可以用理想气体状态方程进行计算。

1.3.2 气体扩散定律

1831 年,英国物理学家格拉罕姆(Graham)指出:同温同压下不同气体的扩散速率与气体密度的平方根成反比,这就是气体扩散定律。其数学表达式为

$$\frac{U_1}{U_2} = \sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} \quad (1.15)$$

式中: U_1 、 ρ_1 和 M_1 分别为第一种气体的扩散速率、密度和相对分子质量; U_2 、 ρ_2 和 M_2 分别为第二种气体的扩散速率、密度和相对分子质量。

由气体扩散方程可以看出,较轻的气体(M 较小)比较重气体(M 较大)的扩散速率快。

1.3.3 气体的液化

1. 气体液化的条件

气体变为液体的过程称为液化。任何气体必须在降低温度或同时增加压力的条件下才能液化。那么,使气体液化的两个条件是否需同时具备呢? 实验证明,单纯降温可使气体液化,但单纯加压则不行。

2. 临界温度、临界压力和临界体积

当把温度降低到一定数值,然后加压力即可实现气体的液化,即在这个温度以上,无论加多大的压力,气体均不能液化,这个温度称为临界温度(T_c)。在临界温度条件下,使气体液化所需的最小压力称为临界压力(p_c)。在临界温度和临界压力下,1 mol 气态物质所占有的体积称为临界体积(V_{mc})。

一般情况下,非极性分子(He、H₂、N₂、O₂ 等)之间由于吸引力很小,则临界温度很低,难以液化;而强极性分子(如 H₂O、NH₃ 等)因具有较大的分子间作用力,临界温度较高,比较容易液化。

3. 临界点物质的特性

当气态物质处于临界点时,气体和液体之间的性质差异将消失,两者之间的界面也将消失。处于临界点的物质既具有气体的性质,又具有液体的性质。它基本上仍是一种气体,但

又不同于一般气体，是一种稠密的气态，其密度比一般气体大两个数量级，与液体相近。但它的黏度比液体小，扩散速率比液体快(约两个数量级)，所以有较好的流动性和传递性能。它的介电常数随压力而急剧变化(如介电常数增大有利于溶解一些极性大的物质)。

4. 超临界状态

温度及压力均处于临界点以上的液体称为超临界流体。图 1.2 中的方格框区域即为超临界 CO_2 流体区域。

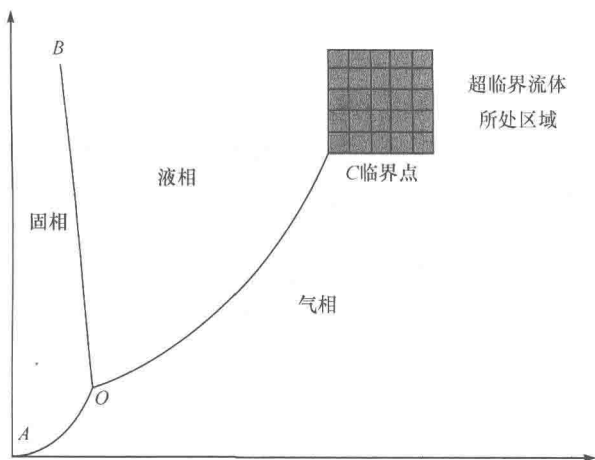


图 1.2 CO_2 的相图

由于 CO_2 的临界温度较低(31.06°C)，临界压力也不高(7.38 MPa)，且无毒、无臭、无公害，所以在工业应用中常使用 CO_2 超临界流体萃取法进行物质的分离。例如，用超临界 CO_2 从咖啡豆中除去咖啡因；从烟草中脱除尼古丁；从大豆或玉米胚芽中分离甘油酯；对花生油、棕榈油、大豆油脱臭等。又如，从红花中提取红花甙及红花醌甙(它们是治疗高血压和肝病的有效成分)；从月见草中提取月见草油(它们对心血管病有良好的疗效)等。使用超临界技术的唯一缺点是涉及高压系统，大规模使用时对工艺过程和技术的要求高、设备费用大。但由于它优点很多，仍受到重视。图 1.3 为 CO_2 超临界流体萃取工艺流程图。

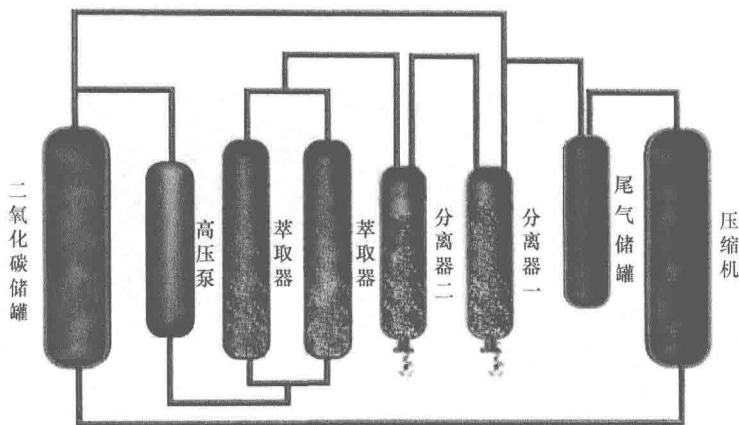


图 1.3 CO_2 超临界流体萃取工艺流程图

当水的温度和压力升高到临界点 ($T = 374.3^{\circ}\text{C}$, $p = 22.05 \text{ MPa}$) 以上时, 就处于一种既不同于气态也不同于液态的新流体态——超临界态, 该状态的水称为超临界水。因其具有非常强的极性, 可以溶解极性极低的芳烃化合物及各种气体 (氧气、氮气、一氧化碳、二氧化碳等), 能够促进扩散控制的反应速率, 具有重要的工程意义。例如, 将有机废水或废气通入超临界水进行氧化反应, 可以使一些难分解的有机废物被完全降解成二氧化碳、氮气、水, 以及可以从水中分离的无机盐等无毒的小分子化合物, 达到净化水或去除废气的目的。

1.3.4 其他聚集态

1. 液晶

液晶是介于液体和晶体之间的各向异性的流体。液晶像液体一样具有流动性, 但由于其分子排列具有一定的规律, 即有序排列, 所以又像晶体那样表现出各向异性的特征。液晶物质受热温度升高至一定值时就变为各向同性的液体, 而降低温度至一定值时, 又可转变为晶体。

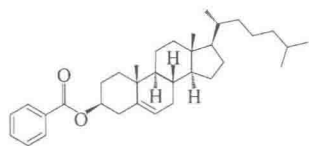


图 1.4 胆甾醇苯甲酸酯的结构

液晶类化合物对光、电、磁及热等都极为敏感, 只要接收极低的能量就可引起分子排列顺序的变化, 从而产生光-电、电-光、热-光等一系列物理效应, 利用这些效应就能设计出各种液晶显示器。

最早发现的液晶物质是胆甾醇苯甲酸酯, 由奥地利植物学家莱尼茨尔在加热苯甲酸胆固醇酯时发现, 其结构如图 1.4 所示。

液晶显示材料具有明显的优点: 驱动电压低、功耗微小、可靠性高、显示信息量大、彩色显示、无闪烁、对人体无危害、生产过程自动化、成本低廉、可以制成各种规格和类型、便于携带等。由于这些优点, 用液晶材料制成的计算机终端和电视可以大幅度减小体积。液晶显示技术对显示显像产品结构产生了深刻的影响, 促进了微电子技术和光电信息技术的发展。

2. 等离子体

等离子体是由带电离子、电子和中性粒子组成的流体。在等离子体中, 带正电荷的粒子与带负电荷的粒子所带的电荷总数相等, 而且粒子的密度也基本相同。从宏观意义上讲, 等离子体是电中性的。它广泛存在于宇宙中, 如太阳表面就存在等离子体 (图 1.5), 常被视为是除固、液、气外物质存在的第四态。

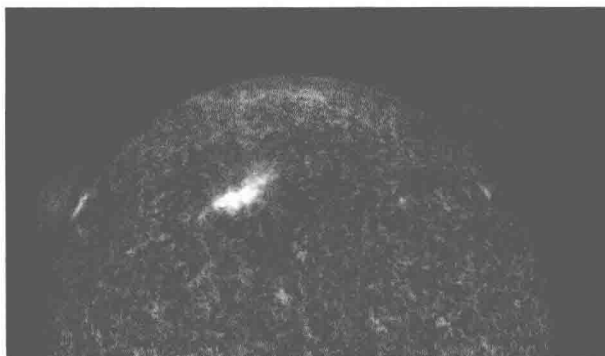


图 1.5 逃离太阳表面的等离子体

等离子体是一种导电的流体, 作为一个带电的粒子体系, 等离子体的运动行为受到磁场的影响和支配。等离子体中的带电粒子运动时, 能引起正电荷或负电荷局部集中, 产生电场; 电荷定向运动引起电流, 产生磁场。电场和磁场影响其他带电粒子的运动, 并伴随着极强的热辐射和热传导, 并且等离子体能被磁场约束做回旋运动。因此, 利用经过巧妙设计的磁场可以捕捉、移动和加速等离子体。等离子体物理的发展为材料、能源、信息、环境空间、空间物理、地球物理等科学的进一步发展提供了新的技术和工艺。利用高温等离子体可以切割金属, 以及喷镀、焊接和熔炼金属。同时, 等离子体技术在化学合成、薄膜制备、表面处理和精细化工等领域都取得了令人瞩目的成果。

3. 超高密度态

人们发现在高压条件下物质的结构会产生很大的变化, 如绝缘体可转变为导体, 半导体可转变为超导体。但是在更高的超高压条件下, 情况就不同了, 物质的状态都将发生根本的变化。

宇宙中存在的天体黑洞(图 1.6)就属于超高密度态, 根据天文学家的观测分析, 宇宙中还存在超固态和中子态物质, 它们具有惊人的密度, 超固态物质的密度可达到 $10^{13} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 以上。根据理论计算, 当压力达到常压的 10^8 倍时, 原子的电子壳层将显著变形, 外层电子将变为各核共有而自由运动。压力更大时, 电子被原子核俘获, 使质子转变为中子, 最终中子的数量将超过电子, 此时物质将成为一种基本上由中子组成的超高密度体。这种超高密度物质由中子气和自由电子气组成, 其密度之大是我们难以想象的, 在地球上也接触不到这样的物质。例如, 白矮星(是一种晚期恒星, 其内部压力可达常压的 10^{19} 倍)就可能是一个中子星, 其密度甚至可达 $10^{19} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。由于超高密度物质的存在, 它们必将有许多特殊的性能等待人们去研究和发现。

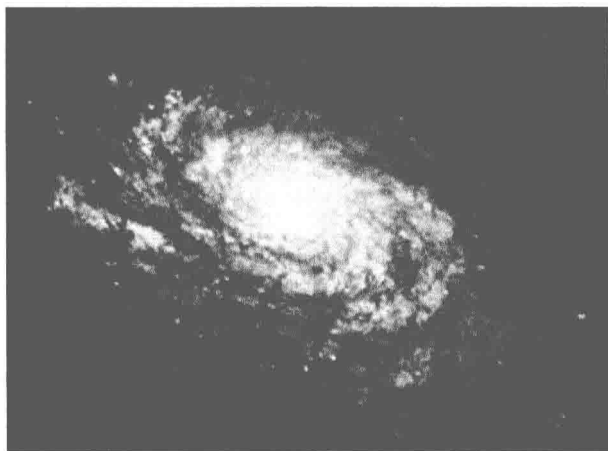


图 1.6 天体黑洞

超高密度现象从现有的原子、分子理论来看是不可思议的, 现有理论无法解释这些现象, 需要进一步研究。宇宙中还存在着许多尚未被认识的物质, 需要我们不断地探索和研究, 因此人类的认识是永无止境的。