

Wuji Huaxue



新编工科化学立体化教材

无机化学

徐甲强 康诗钊 邢彦军 安保礼

主编



科学出版社

新编工科化学立体化教材

无机化学

徐甲强 康诗钊 邢彦军 安保礼 主编

科学出版社

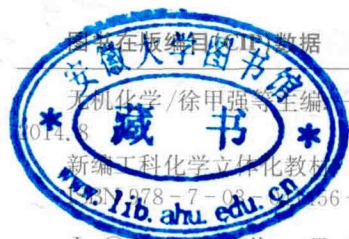
北 京

内 容 简 介

本书是新编工科化学立体化教材之一,由上海大学、东华大学和上海应用技术学院合作编写,适合无机化学课程教学在 40~70 课时的化学及近化学类专业开设。

全书共十一章,第一至五章为化学反应基础理论,包括化学反应中的基本概念与能量关系、化学反应速率和化学平衡、酸碱平衡和沉淀-溶解平衡、氧化-还原反应和电化学;第六至八章为物质结构,包括原子结构和元素周期律、分子结构和晶体结构、配位化学;第九至十一章为无机元素化学,包括元素单质和无机化合物制备、结构、性质与应用。全书注重化学基本原理的系统性,更加重视对基础理论的理解与应用,避免了篇幅过大给教学组织带来的麻烦。

本书可作为高等学校化学化工类、材料类、环境类、生命类、轻纺类、安全类专业、卓越工程师计划专业化学基础课程的教材,以及工程技术人员的参考书。



图书在版编目(CIP)数据

无机化学/徐甲强等主编. —北京:科学出版社,

2014.8

新编工科化学立体化教材

ISBN 978-7-03-031656-4

I. ①无… II. ①徐… III. ①无机化学—高等学校—
教材 IV. ①O61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 164356 号

责任编辑:谭宏宇 王艳丽 郭建宇
责任印制:刘学 / 封面设计:殷 靓

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>

南京展望文化发展有限公司排版

文林印刷有限公司印刷

科学出版社出版 各地新华书店经销

*

2014 年 8 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2014 年 8 月第一次印刷 印张: 24 1/2

字数: 480 000

定价: 59.00 元

《无机化学》编辑委员会

主编 徐甲强 康诗钊 邢彦军 安保礼

编委 (按姓氏笔画排序)

包新华(上海大学)

冯 利(上海大学)

邢彦军(东华大学)

邢菲菲(上海大学)

向 群(上海大学)

安保礼(上海大学)

李向清(上海应用技术学院)

李明星(上海大学)

林 苗(东华大学)

林昆华(上海大学)

徐甲强(上海大学)

黄 芳(东华大学)

康诗钊(上海应用技术学院)

■ 前 言

化学是自然科学的一门中心学科,也是一门实用性学科,它与物理学、生命科学以及工程技术的交叉渗透,催生出纳米技术、基因工程和信息技术等前沿学科以及材料科学与工程、环境科学与工程、能源科学与工程、轻化工程、生物医药、安全技术与工程等交叉学科,推动了科学与技术的进步。同时化学也在汲取物理学、生物学和计算科学的营养,不断地完善本学科的理论和方法,从而成为科学界最活跃的古老学科之一,不断地为全球的能源、环境、粮食安全等社会难题贡献着自己的智慧。

无机化学是化学及其相关专业必修的第一门化学基础课,也是分析化学、物理化学和有机化学等后续课程的基础,在化学课程的学习中起着承上启下的作用。近年来,随着高等学校的扩招、高考科目的改革和国际化的推进,各高校都在深化培养方案和课程教学改革,正视学生水平参差不齐、教学课时压缩和创新能力培养之间的矛盾,培养高素质的创新性人才。为此,在科学出版社的组织下,上海大学、东华大学和上海应用技术学院三所工科学校教学经验丰富、知识结构合理的教师们合作编写了这本《无机化学》教材。本书为科学出版社新编工科化学立体化教材之一,可与《无机化学学习指导》和《无机化学实验》配套使用,学生可通过自学和实验加深对课堂讲授内容的理解,满足有限课时内高素质人才培养的要求。

全书共十一章,第一章至第五章为化学反应基础理论,包括化学热力学基础、化学反应速率和化学平衡,强调化学在解决能源和环境问题方面的作用以及在材料保护方面的应用;第六章至第八章为物质结构,包括原子结构及其元素周期律、分子结构和晶体结构及配合物结构,强调化学对材料性质的预测、

材料性能与物质结构的关系;第九章至第十一章为无机元素化学,包括元素单质和无机化合物制备、结构、性质与应用,强调的是化合物结构与性质的规律性以及国民经济和高科技领域的代表性化合物。全书注重化学基本原理的系统性,更加重视对基础理论的理解与应用,避免了篇幅过大给组织教学带来的麻烦。

本书由徐甲强主编,参加本书编写的人员还有康诗钊(上海应用技术学院,第一章)、李向清(上海应用技术学院,第二章)、林昆华(上海大学,第三章)、林苗与黄芳(东华大学,第四章)、邢彦军(东华大学,第五章)、安保礼(上海大学,第六章)、邢菲菲(上海大学,第七章)、李明星(上海大学,第八章)、向群(上海大学,第九章)、包新华(上海大学,第十章),徐甲强(上海大学,第十一章)和冯利(上海大学,附录)。最后由徐甲强统稿。

本书编写过程得到了穆劲教授和赵曙辉教授的指导,科学出版社、上海大学和上海应用技术学院分别组织了教材编审会,并给予大力支持,在此向他们表示深深的谢意。

由于作者水平所限,疏漏和不足之处在所难免,恳请读者和同行专家不吝指教,使本书在重印时进一步完善。

徐甲强

2014年5月

■ 目 录

前言

第一章 化学反应中的基本概念和能量关系	001
第一节 化学的基本概念和基本定律	001
第二节 物质的聚集状态	010
第三节 化学反应中的能量关系	025
思考题与习题	034
第二章 化学反应速率	036
第一节 反应速率概念	036
第二节 反应速率方程	039
第三节 影响反应速率的因素	042
第四节 反应速率理论	051
思考题与习题	054
第三章 化学反应的方向和化学平衡	056
第一节 化学反应方向和限度的判断	056
第二节 化学反应的限度——化学平衡	063
第三节 化学平衡的移动——影响化学平衡的 因素	070
思考题与习题	072
第四章 酸碱平衡和沉淀-溶解平衡	075
第一节 弱酸、弱碱的解离平衡	075

第二节 缓冲溶液	086
第三节 盐的水解	090
第四节 难溶强电解质的沉淀-溶解平衡	095
思考题与习题	108
第五章 氧化还原反应和电化学	111
第一节 原电池与电极电势	111
第二节 影响电极电势的因素	125
第三节 电化学	136
思考题与习题	151
第六章 原子结构与元素周期律	156
第一节 原子结构的发现	156
第二节 原子的量子力学模型	160
第三节 原子核外的电子排布	169
第四节 元素性质的周期性	175
思考题与习题	182
第七章 分子结构和晶体结构	185
第一节 离子键	185
第二节 共价键	191
第三节 分子间作用力和氢键	213
第四节 晶体	223
思考题与习题	232
第八章 配位化学基础	234
第一节 配合物的基本概念	234
第二节 配合物的结构理论	237
第三节 配合物的稳定性和配位平衡	248
第四节 配合物的应用	255
思考题与习题	258

第九章 元素概论	260
第一节 金属元素概论	261
第二节 非金属元素概论	276
思考题与习题	286
第十章 非金属元素及其化合物	287
第一节 卤素	287
第二节 氧、硫、氮、磷	296
第三节 碳、硅、硼	317
思考题与习题	324
第十一章 金属元素及其化合物	327
第一节 碱金属与碱土金属	327
第二节 铝、镓、铟、铊	331
第三节 锡、铅、铋、铊	335
第四节 钛、钒、铬、锰	338
第五节 铁系与铂系元素	349
第六节 铜族元素与锌族元素	355
思考题与习题	368
参考文献	371
附录	372

第一章

化学反应中的基本概念和能量关系 >>>>

众所周知,物质的变化是在化学反应中完成的,并且伴随着能量的产生和转化。对化学反应的规律以及反应中的能量转化研究是化学的学科基础。因此,深刻认识化学反应中的能量关系及其转化规律对于化学知识的学习具有重要意义。

本章内容包括化学反应的基本概念,化学反应中的质量关系和能量关系。重点介绍热化学方程式的应用以及由物质的标准摩尔生成焓计算标准摩尔反应焓变。

第一节 化学的基本概念和基本定律

一、相对原子质量和相对分子质量

构成物质的基本微粒主要为原子、离子与分子。其中,分子是保持物质化学性质的最小微粒,原子是物质进行化学反应的基本微粒。在化学反应中,原子不能再分,不会由一种原子转变为另一种原子,而分子却可以由一种分子转变为一种或几种分子。例如,氯气与氢气反应可以生成氯化氢。在这个过程中,氯原子和氢原子本身没有发生改变,只是氯原子和氢原子之间的组合发生了改变。

原子由质子、中子构成的原子核及核外电子组成。人们把具有相同质子数的一类原子称为元素;具有确定质子数和中子数的一类原子称为核素;质子数相同而中子数不同的核素互称为同位素。它们之间既有联系又有不同:元素是原子核内质子数相同的原子的总称;同位素是同一种元素的不同原子品种。例如,氧元素有三种同位素: ^{16}O 、 ^{17}O 、 ^{18}O ,它们核内质子数均为8,在周期表中占据同一位置,都属于氧元素,区别仅在于中子数不同。

作为组成物质的基本微粒,原子具有一定的质量,但很小,例如 ^{12}C 原子的质量

为 1.99×10^{-26} kg。因此,如果在研究中使用原子的绝对质量会带来很大的不便。为了解决这个问题,国际原子量委员会选择了一个衡量原子质量的标准,并以此标准定义了相对原子质量(A_r)概念,即元素的平均原子质量与核素 ^{12}C 原子质量的 $1/12$ (约 1.66×10^{-26} kg)之比为该元素的相对原子质量,简称为原子量。由定义可知,原子量是一个纯数,没有单位,其大小为该元素的天然同位素相对原子质量的加权平均值。

例如,Cl元素具有两种同位素 ^{35}Cl 和 ^{37}Cl ,含量为75.77%和24.23%,相对原子质量分别为34.969和36.966,则Cl元素的相对原子质量为

$$A_r(\text{Cl}) = 34.969 \times 75.77\% + 36.966 \times 24.23\% = 35.453$$

同样地,相对分子质量(M_r)被定义为物质的分子或特定单元的平均质量与核素 ^{12}C 原子质量的 $1/12$ 之比,简称为分子量。它也是一个纯数,其大小为组成该分子的原子的原子量之和。

例如: H_2O 的相对分子量为

$$M_r(\text{H}_2\text{O}) = 2A_r(\text{H}) + A_r(\text{O}) = 2 \times 1.008 + 15.999 = 18.015$$

二、物质的量及单位

在化学中,“物质的量”指的是某物质的数量,即组成物质的微观基本单元的数量,其单位为摩尔,单位符号 mol。所谓的微观基本单元包括原子、离子、分子、电子、原子团、光子等,或者上述粒子的特定组合。组成 1 mol 物质的微观基本单元数与 $0.012 \text{ kg } ^{12}\text{C}$ 所含的碳原子数相等。 $0.012 \text{ kg } ^{12}\text{C}$ 中含有 6.022×10^{23} 个碳原子,该数目被称为阿伏加德罗常数(N_A)。因此,某物质所含微观基本单元数是阿伏加德罗常数的几倍,那么该物质的量即为几摩尔。由此可见,同一物质如以不同的基本单元来表示其量时,量的多少是不同的。例如,所谓的 1 mol H_2 是以氢分子作为基本单元的,如以氢原子作为基本单元,则其量为 2 mol。因此,使用摩尔这个单位时必须指明所选择的基本单元才有真实的含义,否则意义不明。

1 mol 物质所具有的质量被定义为该物质的摩尔质量(M),其单位为 $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 或 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。原子、分子、离子的摩尔质量在数值上与相应的相对原子质量、相对分子质量、相对离子质量相等。物质的质量、物质的量、摩尔质量之间的关系为

$$M = m/n \quad (1-1)$$

其中, M 为物质的摩尔质量, m 为物质的质量, n 为物质的量。

对于气体,人们将 1 mol 气体所具有的体积定义为该气体的摩尔体积(V_m):

$$V_m = V/n \quad (1-2)$$

其中, V 为气体体积, n 为物质的量。在标准状态下(273.15 K, 101.325 kPa),任何理想气体的摩尔体积均为 $0.022\,414\,\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$,约为 $22.4\,\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

三、质量守恒定律

化学反应是反应物的原子重新组合而转变为产物的过程。在此过程中,物质的原子种类没有改变,数目没有增减,原子的质量也没有改变,即各反应物的质量总和等于各产物的质量总和,这就是质量守恒定律。它是自然界的基本定律之一。据此,我们可以配平化学方程式,并从已知物质的量来计算未知物质的量。例如:



例 1-1 Al 和 Fe_2O_3 按下式进行反应时,124 g Al 和 601 g Fe_2O_3 反应可生成多少克 Al_2O_3 ?



解: 设 124 g Al 完全反应,所需 Fe_2O_3 为 x g



$$124/27 : x/160 = 2 : 1$$

$$x = 367(\text{g})$$

$\therefore$ 124 g Al 完全反应,而 Fe_2O_3 过剩。

$\therefore$ 生成的 Al_2O_3 质量为: $[124/(27 \times 2) \times 102] = 234(\text{g})$

四、(简单)无机化合物的命名

(一) 无机化合物命名的一般规则

无机化合物的名称是由各基本组成部分的名称通过化学介词连缀而成的。常见的基本组成部分有离子、基、根。

元素的离子名称是根据元素名称及其氧化态来命名的,如 F^- 、 Cl^- 、 Br^- 、 I^- 分别被称为氟离子、氯离子、溴离子、碘离子; Zn^{2+} 被命名为锌离子; Fe^{3+} 被命名为三

价铁离子、 Fe^{2+} 被命名为二价铁离子或亚铁离子。

基和根指的是化合物中特定的原子团。当其以共价键与其他组分结合时称为基,以离子键与其他组分结合时称为根。具体命名规则如下:基和根可以根据其母体化合物进行命名,叫做某基或某根。例如, H_2SO_4 称为硫酸, HSO_4^- 和 SO_4^{2-} 分别被叫做硫酸氢根和硫酸根; NH_3 称为氨, NH_2^- 被命名为氨基。也可以通过将所包含的元素名称连缀在一起来进行命名。命名顺序是价已满的元素名放在前面,未满足的放在后面,如 OH^- 可称为氢氧根。对于称为根的原子团,如要指明其为离子时,则称为某根离子,如 SO_4^{2-} 可称为硫酸根离子。此外,为了简便起见,一些基和根有特定的名称,在无机化合物命名中常用的有:CO 羰基、 —O—O— 过氧基、 —S—S— 过硫基。

所谓的化学介词指的是用来将基本构成部分名称连缀起来的连缀词。下面列举了几个无机化学中常用的化学介词:化,表示简单的化合,如氯原子(Cl)与钾原子(K)化合而成的物质就叫做氯化钾。合,表示分子与分子或离子相结合,如 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 叫五水合硫酸铜。代,有两个含义,一是表示母体化合物中氢原子被其他原子取代,如 SiClH_3 叫做一氯代硅烷;二是表示硫(硒、碲)取代母体化合物中的氧,如 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 叫做硫代硫酸钠。聚,表示两个以上同种的分子互相聚合,如 $(\text{KPO}_3)_6$ 叫做六聚偏磷酸钾。

(二) 简单的二元无机化合物的命名

由两种元素组成的无机化合物称为二元无机化合物。它的名称是由两组成元素的名称中间以“化”连缀而成。其中,电负性较强的元素名称在前,电负性较弱的元素名称在后。两者的比例可用两种方法表示:一是用电负性较弱元素的氧化数来表示;另一种是用化学组来表示。

(1) 用电负性较弱元素的氧化数来表示

用“正”字表示化合物中电负性较弱的元素的氧化数为其最常见的氧化数。但“正”字在名称中一般予以省略。用“亚”字表示化合物中元素的氧化数低于其常见氧化数,用“高”字表示氧化数高于常见氧化数。例如: Fe_2O_3 称为氧化铁, FeO 称为氧化亚铁; SnCl_4 称为氯化锡, SnCl_2 称为氯化亚锡; CuI_2 称为碘化铜, CuI 称为碘化亚铜; CoO 称为氧化钴, Co_2O_3 称为氧化高钴。

当电负性较弱元素仅有一种氧化数时,在名称中其氧化数不需另加标明。例如, KCl 称为氯化钾, MgCl_2 称为氯化镁, Al_2O_3 称为氧化铝, K_2O 称为氧化钾。

(2) 用化学组来表示

当电负性较弱元素有两种以上的氧化数时,通常用该法来命名,例如, MnO 命名为一氧化锰, MnO_2 命名为二氧化锰, Mn_3O_4 命名为四氧化三锰。

当二元化合物中含有过氧基或过硫基时,该化合物命名为过氧化某或过硫化某,例如, H_2O_2 命名为过氧化氢, Na_2S_2 命名为过硫化钠。

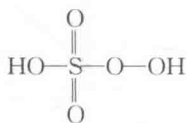
(三) 简单的三元、四元无机化合物的命名

对于三元、四元无机化合物,应尽可能采用二元化合物的命名方法进行命名。命名时,各元素的顺序为:电负性较强的元素放在前面,电负性较弱的元素放在后面。如果不会产生歧义,则可省去元素名称前面的数字。例如, $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ 命名为硫酸铝钾, POCl_3 命名为氯化磷, $\text{Li}[\text{AlH}_4]$ 命名为氢化锂铝。当组成化合物的根或基具有特定的名称时,则使用这些名称按照二元化合物的命名规则来对化合物命名,例如, KCN 被称为氰化钾, Na_2SO_4 被称为硫酸钠, KNO_3 被称为硝酸钾。

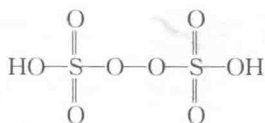
(四) 简单含氧酸和简单含氧酸盐的命名

1. 简单含氧酸的命名

简单含氧酸是指分子中仅含有一种成酸元素的含氧酸。当分子中仅含一个成酸原子且其所呈现的氧化数为常见氧化数时,则该酸被称为正某酸,一般正字省略称某酸。该元素的其余含氧酸按照其呈现的氧化数比正酸高、低或有无—O—O—结构等,分别用下列的词头加以命名。比正酸氧化数高的冠以“高”字,比正酸氧化数低的冠以“亚”字,氧化数更低的冠以“次”字,例如, HClO_4 称为高氯酸、 HClO_3 称为氯酸、 HClO_2 称为亚氯酸、 HClO 称为次氯酸。由一分子正酸缩去一分子水而成的酸被冠以“偏”字,如 H_2SiO_3 称为偏硅酸。由两分子正酸缩去一分子水而成的酸被冠以“焦”或“重”字,例如, $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 的名称为重铬酸、 $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$ 的名称为焦硫酸。氢氧基的数目等于成酸元素氧化数的含氧酸被冠以“原”字,如 H_4SiO_4 称为原硅酸。含有一O—O—结构的被冠以“过”字,该类酸可视为过氧化氢的衍生物,如



过一硫酸



过二硫酸

当分子中含有两个以上直接相连的成酸原子时,该酸称为“连几某酸”。例如, $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 称为连二亚硫酸, $\text{H}_2\text{S}_4\text{O}_6$ 称为连四硫酸。

2. 简单含氧酸盐的命名

含氧酸中能电离的氢全部被其他阳离子取代而成的盐被称为某酸某,如 ZnSO_4 可称为硫酸锌。对于单一氧化数的金属元素,其在含氧酸盐中的氧化数不必标明,如 BaSO_4 可称为硫酸钡。若金属元素氧化数较多,则用“正”、“亚”、“高”等字来区别其氧化数,使用规则与二元化合物命名规则相同,例如, FeSO_4 可称为硫

酸亚铁, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 可称为硫酸铁。

五、系统与环境

当人们进行研究时,常需要把所关注的一部分物质和空间作为研究对象与其余的物质和空间分开,这部分被人为划分出来的物质和空间被称为系统。系统之外的物质和空间被称为环境。系统和环境是根据研究的需要来进行划分的。它们之间可以有实际的界面,如水和盛水的容器;也可以用一想象的界面加以区分,例如,当研究空气中的氮气时,氮气是系统,氧气等其余气体则为环境,它们之间可以设计一个想象的界面加以隔开。

系统和环境之间存在着密切的联系,并通过界面相互作用。其中包括两者之间的物质交换和能量交换。根据系统和环境之间物质、能量交换情况的不同,可将系统分为三类:如系统和环境之间存在着能量的交换,但没有物质的交换,则该系统称为封闭系统;如系统和环境之间不仅存在着能量的交换还有物质的交换,则该系统称为敞开系统;如系统和环境之间既无物质的交换也无能量的交换,则该系统称为孤立系统。如图 1-1 所示,将瓶子和其所盛的水作为系统,当瓶子敞开时,系统为敞开体系;当盖上盖子时,系统为封闭系统;当瓶壁为密封、绝热时,系统为孤立系统。

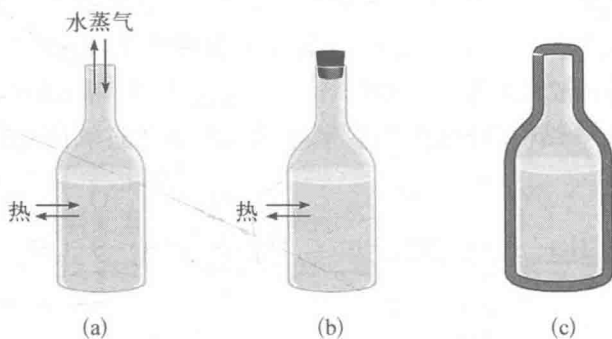


图 1-1 (a) 敞开系统;(b) 封闭系统;(c) 孤立系统示意图

六、状态与状态函数

(一) 状态

对于一个具体的系统来说,它不仅具有确切的物质,还具有可用宏观物理量描述的性质,如物质的种类、质量、体积、压力、温度等。这些性质的总和即为体系的状态。状态是系统物理与化学性质的综合体现。当系统的性质都确定时,体系的

状态就一定。当系统的性质发生变化时,系统的状态也发生变化。在本书中,系统的状态大都是指系统的热力学平衡态,即系统的所有性质不随时间而变化。热力学平衡系统的特点是需同时满足以下四个平衡:

- 1) 热平衡,系统与环境之间没有热量的交换,即系统各部分均与环境温度相同。对于绝热系统,则允许系统与环境的温度不同。
- 2) 力平衡,如只考虑压力时,系统与环境之间达到压力平衡。如果系统与环境间存在着不可移动的界面,则系统的压力可与环境的不同。例如,尽管钢瓶中的气体压力比大气压高,仍认为钢瓶中的气体与环境达到了力平衡。
- 3) 相平衡,系统中各相之间不存在物质的净转移,即各相组成和各物质的数量不随时间而变化。
- 4) 化学平衡,化学反应系统的组成不随时间而变化。

(二) 状态函数

由上可知,系统的性质一定时,系统的状态就一定,因此可用这些性质来描述系统的状态。这些用来描述和确定系统状态的物理量被称为状态函数。其特点是:① 系统的各个状态函数之间相互关联,当系统中的某几个状态函数确定时,其他状态函数也随之确定,如对于理想气体来说,只需确定压力、体积、温度、物质的量四个状态函数中的任意三个,即可确定第四个状态函数。② 状态一定则状态函数的值也一定,当状态发生变化时,状态函数的变化值与变化的途径无关,而只与系统的始态、终态有关,如系统经变化最终回到起始态,则状态函数恢复原值。所谓系统的始态指的是系统发生变化前的状态,系统的终态指的是系统发生变化后的状态。

根据状态函数的值与系统中物质的数量有无关系,可将其分为两类:一类是其大小仅由系统中物质本身特性所决定,没有加和性,系统中物质数量的变化不引起其值的变化,这类状态函数称之为强度性质,如温度、黏度、压力等。另一类是其大小与体系中物质数量的多少有关,在一定条件下具有加和性,这类状态函数称之为广度性质,如体积、物质的量等。

(三) 标准状态

系统所处的状态多种多样。为了给研究提供一个统一的基准,人们将某一状态定义为标准状态,又称热力学标准状态。根据 IUPAC 的规定,标准态包括以下几个方面:

- 1) 气体物质的标准状态用压力表示,为 100 kPa,符号为 p° 。对于气体纯物质,其标准态为 p° 压力下的理想气体状态。对于混合气体,其标准态为各组分分压为 p° 时的状态。
- 2) 液体、固体物质的标准态为标准压力 p° 下理想的纯液体或纯固体。

3) 对于溶液,标准态为压力为 $p^\ominus$,各溶质浓度为 $1 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时的状态。如溶液较稀,则可用物质的量浓度代替质量摩尔浓度。本书中的溶液标准态采用溶质浓度为 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,符号为 $c^\ominus$ 。

4) 在标准态中未对温度有所规定,即温度可选任意值。

七、相

所谓相指的是系统中具有相同组成、物理和化学性质完全一致的均匀部分。相可以由纯物质组成也可以由均匀混合物组成,相与相之间存在着明确的界面。一个系统中可以仅含有一个也可以含有多个相。由一个相组成的系统称为均相系统或单相系统,如酒和盐的水溶液等;含有多个相的系统称为非均相系统或多相系统,如油-水系统。

八、过程与途径

过程是指系统从一个平衡态(始态)变化到另一个平衡态(终态)的经历。当系统由某一状态变到另一状态时,可以通过不同方式加以实现。这些用来实现系统状态变化的具体步骤称之为途径。

根据系统状态变化的特点及其与环境之间的相互作用,可把过程分为不同的类型。对于封闭体系,最为常见的过程有如下几种。

- 1) 恒压过程,系统状态发生变化时系统压力恒定不变的过程。
- 2) 恒容过程,系统状态发生变化时系统体积恒定不变的过程。
- 3) 恒温过程,系统状态发生变化时系统温度恒定不变的过程。
- 4) 绝热过程,系统状态变化时系统与环境之间不存在热量交换的过程。
- 5) 循环过程,系统经变化从始态出发又重新回到始态的过程。
- 6) 可逆过程,可以简单逆转、完全复原的过程。

过程与途径是关系十分密切的两个概念。有过程则必然存在着途径。始态、终态相同的过程可以通过多种途径加以实现,而一个途径也可以由几个过程组成。其关系如图 1-2 所示:

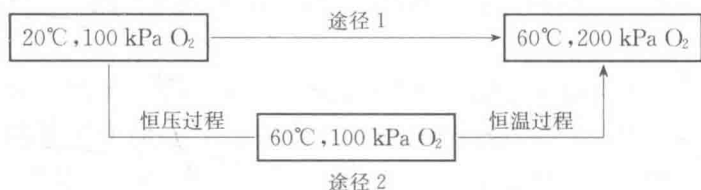


图 1-2 过程与途径之间关系的示意图