

油田应用化学基础

黄 世 骅 编 著

胜利油田科学技术委员会

前 言

在以华主席为首的党中央的英明领导下，党的十一大路线和五届人大提出的新时期的总任务，动员了亿万人民，开始了新的长征。为了响应华主席关于创建十来个大庆油田的号召，为努力提高我国石油科学技术水平，加速培养油田化学方面的人材，促进油田化学工作，我们编写了这本《油田应用化学基础》。本书可供油田广大工人、工程技术人员参考。

本书共分四大部分。第一部分：基础化学，内容包括化学基础知识，溶液、胶体化学以及电化学、金属设备的腐蚀及防护原理；第二部分：水分析化学，包括一般水质分析的项目，常规容量分析的原理，天平及其它仪器的使用及维护。同时还包括了一些仪器分析的原理，如光谱分析，光电比色，火焰光度计及PH计的使用等；第三部分：有机化学及石油，内容包括基本有机化学知识，石油组成、性质及加工过程简介和有关分析性质测试等。还特别介绍了石油中的蜡、胶质、沥青质的特性和测定；第四部分：原油常温输送和表面活性剂，内容包括目前国内外对常温输送原油探索试验的几种方向和途经，还介绍了表面活性剂的分类、性质及使用情况。同时还包括了一些试验方法及活性剂官能团的测定。

本书成后，承蒙南阳油田及胜利油田有关同志审阅指正，在此表示感谢。

由于时间仓促和限于水平，书中必有不少不妥之处，恳切期望广大读者提出批评和意见。

目 录

第一部分 基础化学部分

第一章 化学基本知识.....	(1)
一、物质及运动	(1)
二、原子、分子简论	(2)
三、元素及符号	(3)
四、原子量及分子量	(3)
第二章 原子结构及分子结构	(4)
第一节 原子结构	(5)
一、“电子云”的概念	(5)
二、原子核外排布规律	(5)
三、原子结构与元素周期系的关系	(6)
第二节 分子结构	(9)
一、化学键与分子类型	(9)
(一) 离子键及离子型化合物	(9)
(二) 共价键.....	(11)
1、共价键的形成.....	(11)
2、极性共价键与非极性共价键.....	(12)
3、极性分子与非极性分子.....	(12)
(三) 配价键.....	(14)
(四) 金属键.....	(14)
二、化合价及分子式.....	(15)
三、分子间力.....	(17)
(一) 色散力.....	(18)
(二) 诱导力.....	(19)
(三) 取向力.....	(19)
(四) 氢键.....	(19)
第三章 溶液.....	(21)
第一节 水溶液.....	(21)

一、溶液的基本性质	(21)
1、溶质与溶剂	(21)
2、真溶液与胶体溶液	(22)
3、溶液的一些物理性质	(22)
4、溶解度	(22)
(1) 溶解度	(23)
(2) 温度对溶解度的影响	(23)
(3) 饱和溶液	(23)
二、溶液的浓度	(24)
1、重量百分浓度	(24)
2、克分子浓度	(24)
(1) 克分子量与克分子	(24)
(2) 克分子浓度	(25)
3、克当量浓度	(25)
(1) 当量及克当量	(25)
(2) 克当量浓度	(26)
三、溶液的稀释及浓度的换算	(26)
1、溶液的稀释	(26)
(1) 重量百分浓度的稀释	(26)
(2) 克分子浓度的稀释	(26)
(3) 当量浓度的稀释	(27)
2、溶液浓度的换算	(27)
(1) 克分子浓度与克当量浓度之间的换算	(27)
(2) 密度与比重	(28)
(3) 重量百分浓度与克分子浓度及克当量浓度之间的换算	(28)
第二节 电解质溶液	(29)
一、电解质的电离	(29)
二、强电解质与弱电解质的电离过程	(30)
三、弱电解质在水溶液中的电离平衡	(32)
1、电离度	(32)
2、电离平衡常数	(32)
四、水的电离及溶液的PH值	(33)
1、水的电离常数	(34)
2、溶液的酸碱性及PH值	(34)
五、缓冲溶液	(36)
1、共同离子效应	(36)

2、缓冲溶液.....	(37)
第三节 胶体溶液.....	(39)
一、分散系.....	(39)
二、胶体的一些特性.....	(40)
1、丁铎尔效应.....	(40)
2、布朗运动.....	(40)
3、电泳现象.....	(41)
三、胶体粒子的结构.....	(41)
四、胶体化学在原油输送过程中的应用.....	(42)
五、胶体溶液的稳定性与聚沉.....	(42)
第四章 两类反应.....	(44)
第一节 离子互换反应.....	(44)
一、酸碱中和反应.....	(44)
二、盐类的水解.....	(45)
三、沉淀与溶解.....	(47)
1、溶度积规则.....	(47)
2、沉淀的生成与溶解.....	(47)
3、沉淀的转化.....	(49)
四、当量定律.....	(50)
第二节 氧化还原反应.....	(51)
一、氧化还原反应的基本概念.....	(52)
1、氧化剂与还原剂.....	(52)
2、氧化过程与还原过程.....	(52)
二、氧化还原反应的配平.....	(52)
第五章 电化学及防腐.....	(54)
一、原电池原理.....	(54)
(一) 氧化还原反应与电流(伏打电池).....	(54)
(二) 丹尼尔电池与电极电位.....	(56)
1、丹尼尔电池.....	(56)
2、电极电位.....	(57)
(1) 双电层理论.....	(57)
(2) 原电池的电动势.....	(58)
(3) 标准氢电极.....	(59)
(4) 标准电极电位.....	(59)
(5) 影响电极电位的因素及奈斯特公式.....	(60)

(6) 参比电极.....	(62)
二、电解原理.....	(62)
(一) 电解池与电解过程.....	(62)
(二) 电解产物的判断.....	(63)
(三) 极化作用与超电压.....	(64)
三、干电池与铅蓄电池.....	(69)
(一) 干电池.....	(69)
(二) 铅蓄电池.....	(69)
1、铅蓄电池的构造.....	(69)
2、铅蓄电池的充电、放电原理.....	(70)
四、金属设备的腐蚀与防护.....	(71)
(一) 化学腐蚀与电化学腐蚀.....	(71)
1、化学腐蚀.....	(71)
2、电化学腐蚀.....	(72)
(二) 金属设备的防腐.....	(73)
1、涂层、镀层、衬里.....	(73)
2、选用合适的抗腐蚀性钢材或代用材料.....	(75)
3、选加缓蚀剂.....	(75)
4、电化学防腐.....	(75)
(1) 阴极保护法.....	(75)
(2) 牺牲阳极保护法.....	(75)
5、改变金属设备的环境.....	(76)
习题	(76)
实验一、酸、碱、盐、氧化物及两类反应.....	(77)
实验二、NaOH溶液浓度的标定(中和法)	(79)
实验三、水中氯离子含量的测定(沉淀法)	(79)
实验四、电化学实验.....	(81)
附表一、1969年国际原子量表.....	(82)
附表二、酸、碱、盐的溶解性表.....	(83)
附表三、酸和碱的百分浓度及比重.....	(84)
附表四、难溶物质的溶解度及溶度积(室温下)	(87)
附表五、不稳定常数.....	(89)
附表六、标准电极电位表.....	(90)
附表七、弱酸弱碱的电离常数.....	(92)

第二部分 水分析化学部分

第一章	地下水分析概论	(93)
第一节	地下水分析的意义	(93)
第二节	地下水的物理性质和化学成分概述	(94)
	一、水的物理性质	(95)
	二、水的化学成分	(98)
第三节	水的分析形式和分析项目	(104)
第四节	水样的采取和保存	(106)
第二章	水的分析	(109)
第一节	水分析化验工作的一般知识和常用仪器	(110)
	一、标准溶液	(110)
	二、天平与称量	(113)
	三、常用精确测量体积器皿及其使用	(118)
	四、分析误差与有效数字	(122)
	五、指示剂与酸碱滴定曲线	(124)
第二节	水中化学成份的测定	(131)
	一、碱度 (OH' 、 CO_3'' 、 HCO_3'') 的测定	(131)
	二、游离 CO_2 的测定	(135)
	三、 Cl' 的测定	(137)
	四、水样的总硬度 (Ca^{**} 和 Mg^{**} 总量) 的测定	(138)
	五、 Ca^{**} 的测定	(141)
	六、 Mg^{**} 的直接测定	(142)
	七、 SO_4'' 的测定	(143)
	八、水中总含盐量的测定	(145)
	九、pH 值的测定	(148)
	十、 Fe^{***} 的比色测定	(149)
	十一、 I' 的比色测定	(151)
	十二、环烷酸的比浊测定	(152)
	十三、水中耗氧量的测定	(154)
	十四、用火焰光度计测定水中钾和钠	(156)
	十五、其它项目测定方法的原理	(158)
第三节	光电比色及其常用仪器的使用	(161)
	一、光电比色法的基本原理	(162)
	二、光电比色计的构造和使用方法	(163)
	三、72 型光电分光光度计的构造和使用方法	(166)
第四节	光谱分析	(169)

一、光谱分析及其优缺点	(170)
二、激发光源与摄谱仪器	(171)
三、光谱定性分析	(172)
四、光谱定量分析	(173)
五、地下水(或油田水)中微量元素的光谱分析	(174)
第三章 地下水分析结果的整理	(177)
第一节 水分析结果的表示方法	(177)
第二节 水分析结果的审查	(179)
第三节 水的化学分类	(180)
一、苏林分类法一两个系数分类	(180)
二、舒卡列夫分类法	(182)
地下水分析结果整理示例	(183)
习题	(188)
附表一、生活饮用水水质标准和水源水质要求	(191)
附表二、常用的缓冲溶液	(193)
附表三、通用指示剂(pH1~13)的配方	(193)
附表四、将水中离子含量毫克/升换算成毫克当量/升的 乘数表	(195)
附表五、不同温度下某些无机盐类在水中的溶解度表	(196)
附表六、蒸馏水的检验法	(197)
参考书;有关的杂志	(198)

第三部分 有机化学及石油

第一章 有机化合物及简单分类	(200)
一、有机化合物	(200)
二、有机化合物的简单分类	(200)
第二章 饱和烃	(203)
一、烷烃的结构和命名	(203)
1、甲烷的结构	(203)
2、烷烃的同系物	(205)
3、异构烷烃	(205)
4、命名法	(208)
二、烷烃的性质	(209)

三、环烷烃.....	(209)
第三章 不饱和烃.....	(211)
一、烯烃.....	(211)
1、烯烃的性质.....	(211)
(甲)加成作用.....	(211)
(乙)氧化作用.....	(212)
(丙)聚合作用.....	(212)
2、烯烃的结构.....	(213)
3、烯烃同系物的命名.....	(214)
二、炔烃.....	(214)
1、结构.....	(214)
2、性质.....	(215)
(甲)加成反应.....	(216)
(乙)氧化反应.....	(216)
(丙)炔烃和金属的化合物.....	(216)
(丁)聚合反应.....	(217)
3、命名.....	(217)
三、二烯烃.....	(217)
第四章 芳香烃.....	(219)
一、苯.....	(219)
二、苯的同系物及命名.....	(220)
第五章 其它类型的有机化合物.....	(224)
一、醇、酚、醚.....	(224)
1、醇.....	(224)
(1)化学性质.....	(224)
(2)多元醇.....	(225)
2、酚.....	(225)
3、醚.....	(227)
二、醛和酮.....	(227)
1、醛.....	(227)
2、酮.....	(228)
三、羧酸及其衍生物.....	(228)
1、羧酸简介.....	(228)
2、醋酸.....	(229)

3、酸酐	(230)
四、胺类	(231)
1、简介	(231)
2、性质	(231)
五、油脂	(232)
1、油脂	(232)
2、皂化反应	(233)
六、碳水化合物	(233)
1、单糖	(233)
2、二糖	(234)
3、多糖	(234)
七、蛋白质及杂环化合物	(235)
1、蛋白质	(235)
2、杂环化合物	(235)

第六章 高分子化合物 (238)

一、高分子化合物的特性	(238)
二、影响高分子化合物性能的重要因素	(238)
1、平均分子量大小对性能的影响	(238)
2、高分子化合物的分子结构对性能的影响	(238)
3、高分子化合物的组成对性能的影响	(241)
4、空间构型对性能的影响	(241)
5、外加物对高分子产品性能的影响	(241)
三、几种重要的高聚物	(243)
1、橡胶	(243)
(1) 丁苯橡胶	(243)
(2) 顺丁橡胶	(244)
(3) 硅橡胶	(244)
2、合成纤维	(244)
3、塑料	(246)
(1) 聚苯乙烯	(246)
(2) 氯化聚醚	(247)
四、离子交换树脂	(248)
五、用作石油产品的降凝剂和粘度添加剂的高聚物	(250)

第七章 石油 (252)

一、石油的基本组成	(252)
-----------	---------

1、元素组成	(252)
2、烃组成	(253)
3、非烃组成	(254)
4、馏分组成	(255)
5、南阳原油简介	(257)
二、石油加工简介	(257)
1、原油的常减压蒸馏	(257)
2、热裂化	(258)
3、减粘裂化	(259)
4、延迟焦化	(259)
5、催化裂化	(25)
6、加氢裂化	(260)
7、铂重整	(260)
8、烷基化	(262)
9、加氢精制	(262)
10、电—化学精制	(263)
11、脱蜡	(264)
三、有关润滑油的加工简介	(264)
1、溶剂精制	(265)
2、脱蜡	(265)
四、石油中的蜡、胶质和沥青质	(266)
1、蜡	(266)
2、石油中的胶状及沥青状物质	(269)
(1) 胶状及沥青状物质的分类及分析方法	(269)
(2) 胶质	(271)
(3) 沥青质	(272)
五、实验部分	(274)
1、原油中蜡、沥青质、胶质(硅胶吸附法)的测定	(274)
2、石油产品水分测定法	(276)
3、石油产品闪点测定法(闭口杯法)	(278)
4、石油产品闪点与燃点测定法(开口杯法)	(281)
5、石油产品运动粘度测定法	(284)
6、石油产品恩氏粘度测定法	(292)
7、石油产品凝点测定法	(296)

第四部分 原油常温输送和表面活性剂

第一节 前言	(299)
一、原油加热输送存在的问题	(299)
二、原油冷输(不加热输送)碰到的几个难题	(300)
第二节 原油中添加降凝、降阻剂	(300)
一、降凝剂的分类	(301)
二、降凝剂在大庆原油中的试验情况	(302)
三、降凝剂降低原油凝固点的作用机理及影响因素	(304)
四、对降凝剂在原油中试验结果的讨论	(305)
第三节 伴水输送	(306)
一、伴水输送的几种方式	(307)
1、原油乳化伴水降粘输送	(307)
(1) 原油与水乳化的条件	(307)
(2) 表面活性剂使油水乳化的基本原理	(307)
2、表面活性剂	(310)
(1) 表面活性剂的分类	(310)
(2) 活性剂的浓度与降低表面张力的关系	(315)
(3) 形成水包油乳化液与乳化剂分子结构的关系	(318)
(4) 表面活性剂的HLB值	(320)
3、悬浮伴水输送	(327)
4、薄膜滑动输送	(328)
5、用轻油稀释来降低原油的粘度与凝固点	(330)
第四节 实验部分	(330)
实验一、毛细管上升法测定液体的表面张力	(330)
实验二、泡法(即列宾捷尔法)测定表面张力	(333)
实验三、滴重法测定表面张力	(335)
实验四、活性剂HLB值的测试	(336)
第五节 我国油田目前常用的几种活性剂简介	(337)
一、常用的几种活性剂的HLB值	(338)
1、活性剂的编号说明	(338)
2、AE型活性剂的浊点及溶解性	(339)
二、介绍几种高分子防蜡剂	(340)
三、聚丙烯酰胺	(341)
1、制备	(341)
2、聚丙烯酰胺的主要化学性质	(341)
(1) 与碱反应	(341)
(2) 与酸作用	(342)
(3) 与醛反应	(342)

(4) 降解反应.....	(343)
(5) 交联反应.....	(343)
第六节 活性剂官能团的测定, 分子量的测定	(344)
一、氨基的测定.....	(344)
二、酰胺(第一级)的测定.....	(345)
三、羟基的测定(一).....	(346)
四、羟基的测定(二).....	(349)
五、分子量的测定.....	(354)

第一部分 基础化学部分

第一章 化学基本知識

一、物质及其运动

世界是由各种物质组成的，而且，是以各种不同的形式不停的运动着。自然界所有的运动形式归纳起来不外乎四大类：第一类运动形式是机械运动或称为物理运动，是比较简单的运动形式。例如，汽车在地上跑，飞机在天空飞，原油在管道中流动，油泵叶轮的转动，水分的蒸发等等。第二类运动的形式是化学运动或称为化学变化。例如，碳在空气中燃烧生成二氧化碳气，油料燃烧生成二氧化碳和水，钢材在自然界中腐蚀变成铁锈（氧化铁）以及油料保管不善质量变坏等等，都属于化学变化。第三类是生态运动或称为生态变化，象动植物的生长及繁殖等。第四类运动形式也是最高级的运动形式即思维运动，这类运动只限于人类。往往较高一级的运动形式中总是包含着较低级的运动形式，例如，化学变化中总是同时包含着物理变化，在生态变化中同时包含着化学变化和物理变化。

物质的物理性质和化学性质：

1、物理性质：是指物质发生物理变化的性质。例如，自然界的水在 100°C 时（1个大气压下）就沸腾；在 0°C 时就结成冰块，即发生凝固。因此， 100°C 就称为水的沸点， 0°C 就称为水的凝固点（即结冰点）。再如，各种油料在不同温度下的挥发，在相同条件下，汽油就比煤油和柴油容易挥发得多。不同的油料都有着不同的沸点范围和不同的凝固点。这些都属于物质的物理性质。

另外，物质在不同的条件下，有三种存在状态，就是通常所说的物质“三态”，即气态、液态、固态。例如，水的三种存在状态是：冰（固态），水（液态），水蒸气（气态）。总起来说，物理性质包括：物质存在的状态、颜色、气味、比重、硬度、熔点、沸点以及在水中的溶解性能等。

例如：储运专业的同学，将来要管理油料，油料的颜色、粘度（流动性）、沸点、凝固点、比重等均属于油料的物理性质。

2、化学性质：通常我们所指的化学变化，是指物质之间或物质内部发生变化后产生了新物质。例如，碳在空气中燃烧生成二氧化碳，钢材在大气中或地下受腐蚀生成铁锈等，都属于化学变化或称为化学反应。物质本身所具备的，能引起某些化学变化的性质，称为化学性质。

在化学变化中，把由简单物质结合生成新的较复杂物质的过程称为“化合反应”。例如，碳与氧化合（即碳在空气中燃烧）生成二氧化碳气，金属镁与氧化合生成氧化镁，钢材在自然界被腐蚀生成铁锈（氧化铁），氢气与氧气化合生成水等等，都属于化合反应。

在化学变化中，把由一种复杂的物质变成几种简单的物质的过程称为“分解反应”。例如：烧石灰的过程，把石灰石（碳酸钙）加以焙烧，就变成了比较简单的生石灰（氧化钙）和二氧化碳气体。电解水就能得到氢气与氧气。在自然界存在着大量的化合反应与分解反应，不论在实际工作中还是在日常生活中经常都要碰到。储运专业的同学，将来在实际工作中，要碰到油料的变质问题，管线、油罐的防腐蚀等问题，都属于化学变化之列。

二、原子、分子简论

自然界的一切物质都是由很小的微粒——分子组成的。例如：水就是由许多水分子所组成的；各种油料也不例外，也是由许多不同分子组成的。当然，不同的物质其分子也是不同的。每个分子的体积是很小的，重量也是很轻的。例如，一个水分子的直径只不过是 3×10^{-8} 厘米（即0.00000003厘米），在一滴水中几乎含有 1.5×10^{21} 个水分子。可见，一个分子是非常小的，当然，不同的分子大小也是有差别的，有的大些，有的小些，但按人的感觉来讲都是非常小的。因此，我们要用眼睛看到几个分子或用手直接摸到几个分子是困难的。但是，眼睛和手可以直接感觉到集中起来的大量分子。例如，人们通常看到或摸到的水、粘土、石头、各种油料等等。总之，分子是物质独立存在的最小微粒，它保持着物质的基本化学性质。分子是在不停地运动着，当你打开酒瓶时，马上就能嗅到酒香味，这说明酒精分子已飞入你的鼻子里。距离花园很远就能嗅到花香，打开汽油桶就能立刻闻到汽油的芳香味都是如此。

分子又是由更小的微粒——原子组成的。例如：在一个水分子中包含着两个氢原子和一个氧原子，在粘土分子中就包含着更多的原子。而原子又是由更小的微粒——电子、质子和中子组成的。

在原子中，质子带正电荷，中子不带电荷，二者组成了紧密的原子核。电子带负电荷，围绕着原子核旋转。不同的原子所包含的电子数、质子数、中子数目是不同的。例如，最简单的氢原子中，原子核只有一个带正电荷的质子，原子核外只有一个带负电荷的电子。而在氧原子中，原子核有8个带正电荷的质子和8个不带电荷的中子，原子核外有8个带负电荷的电子。在任何原子中，每个电子都带一个单位负电荷，每个质子都带有一个单位正电荷，二者所带电荷相反电量相等。而在任何一个原子中，原子核中的质子数目总是等于原子核外的电子数目，因此，整个原子呈电中性，即不显电性。

在原子中，电子绕原子核以很大的速度旋转着，相当于每秒钟绕地球旋转7.5圈的速度。电子不仅绕原子核公转，其本身还发生自转，象地球一样，既围绕太阳公转，本身又自转。原子核内的质子和中子则在一定的范围内发生着不停的振动。总之，分子在

不停地运动着，组成分子的原子在不停地运动着，而组成原子的电子、质子、中子也在不停地运动着，当然，它们都有着各自的运动规律。

三、元素及元素符号

不同的原子都包含着不同的质子数和电子数，因而，质量、大小及性质也就不同；然而，相同的原子包含的质子数及电子数都是相同的，因此，它们的质量、大小及性质也都是相同的。我们把质子数相同的同一类原子称为一种元素。如果把自然界所有的物质归纳起来，尽管物质的种类非常之多，但它们的组成都出不了一百多种元素。人们现在已经知道的元素有103种，其中有几种是在实验室人工制成的，而其余大部分存在于自然界各种物质之中。

在国际上，采用了统一的元素符号。我们通常常见的元素有：

元素：氢	氧	碳	氮	硫	硅	磷	氯	氟	钠	钾
符号：H	O	C	N	S	Si	P	Cl	F	Na	K
元素：镁	钙	铝	铁	铬	锌	锰	铜	钡	银	
符号：Mg	Ca	Al	Fe	Cr	Zn	Mn	Cu	Ba	Ag	

同种元素组成的物质称为单质。例如：氧气（ O_2 ）、氢气（ H_2 ）、氯气（ Cl_2 ）、碳（C）以及各种金属，如铁（Fe）、铝（Al）、镁（Mg）等。

由不同元素化合而成的物质称为化合物。例如：水（ H_2O ）、二氧化碳气（ CO_2 ）、石膏（ $CaSO_4$ ）、石灰石（ $CaCO_3$ ）、甲烷（ CH_4 ）、氧化铁（ Fe_2O_3 ）等。

不同的单质或化合物混合在一起称为混合物。例如：空气就是由氧气（ O_2 ）、氮气（ N_2 ）、二氧化碳气（ CO_2 ），等多种气体混合而成的混合物。再如汽油、煤油、柴油、润滑油等，都不是由单一的一种分子所组成，而是由若干种分子所组成的，因此，它们都是混合物。

四、原子量和分子量

一个原子的质量是非常小的。例如：

1个氢原子的质量为： 1.67×10^{-24} 克，
即： $0.\underbrace{000000000000000000000000}_{23个0}167$ 克

1个氧原子的质量为： 2.657×10^{-23} 克
即： $0.\underbrace{000000000000000000000000}_{22个0}2657$ 克

1个碳原子的质量为： 1.993×10^{-23} 克
即： $0.\underbrace{000000000000000000000000}_{22个0}1993$ 克

由此可见，一个原子的质量以克为单位计算非常不方便，在化学上，采用一个新的单位来计算原子的质量，数字就可以很简单，这个新单位称为“碳单位”。一个碳单位的质量等于碳原子质量的 $1/12$ 。

$$\text{即一个碳单位} = \frac{\text{一个碳原子质量}}{12} = \frac{1.993 \times 10^{-23}}{12} = 1.66 \times 10^{-24} \text{克}$$

如果以碳单位来表示原子的质量，数字就可以大为简化，例如：

碳的原子量为12碳单位

氢的原子量为1.008碳单位

氧的原子量为15.999碳单位

一般在写原子量时，常把“碳单位”三个字省略。现在国际原子量表上的单位均采用“碳单位”。

一个原子的质量非常小，而一个分子仅仅包含几个或几十个原子，因此，分子的质量也非常小。若以克为单位来表示分子的质量，数字也同样很复杂，也有数十位小数因而，分子量也采用“碳单位”。

例如，水(H_2O)由两个氢原子和一个氧原子组成，其分子量就等于组成水分子各原子量之和。

$$\text{即 } 1.008 \times 2 + 15.999 = 18.015 \text{ (碳单位)}$$

二氧化碳(CO_2)的分子量为：

$$\begin{aligned} \text{碳的原子量} + \text{氧的原子量} \times 2 &= 12 + 15.999 \times 2 \\ &= 43.998 \text{ (碳单位)} \end{aligned}$$

练习题及思考题

1、写出下列元素的符号：

氢、氧、氯、硫、碳、氮、磷、氟、钠、钾、钙、镁、钡、铁、铝、锌、铜、锰

2、查书后原子量表，计算出下列化合物的分子量(碳单位)

水 H_2O 、二氧化碳 CO_2 、氧气 O_2 、硫酸 H_2SO_4 、烧碱 NaOH 、石灰石 CaCO_3 、盐酸 HCl 、三氯化铁 FeCl_3 、熟石灰 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、硝酸 HNO_3 、甲烷 CH_4 、氧化铁 Fe_2O_3 。

3、你在日常生活或实际工作中碰到的物理变化和化学变化有那些？举例说明。

第二章 原子结构及分子结构

前章我们讨论了物质是由分子组成的，分子又是由原子组成的，原子又是由更小的微粒电子、质子和中子组成的。因而深入地了解分子和原子的内部基本结构就显得尤其重要。