

石油工业出版社

实用水技术

〔美〕查理斯 C. 帕托



目 录

第一章 化学基础知识	(1)
第一节 元素和化合物.....	(1)
第二节 混合物.....	(1)
第三节 原子和原子量.....	(2)
第四节 分子和分子量.....	(3)
第五节 离子和化合价.....	(5)
第六节 当量.....	(6)
第七节 溶液.....	(7)
第八节 酸、碱和盐.....	(9)
第九节 pH值	(10)
第十节 度量制系统.....	(11)
第二章 水的取样及分析	(14)
第一节 化学与物理性质.....	(14)
第二节 水的取样方法.....	(15)
第三节 油田水的定量分析.....	(17)
第四节 悬浮固体.....	(33)
第五节 油田水分析.....	(45)
第三章 水垢	(49)
第一节 常见的水垢.....	(49)
第二节 结垢的预测.....	(65)
第三节 混合水——相容性.....	(80)
第四节 预防结垢.....	(84)
第五节 除垢方法和除垢剂.....	(91)
第四章 腐蚀控制	(108)
第一节 腐蚀原理.....	(108)
第二节 金属组成的影响.....	(112)
第三节 水组成的影响.....	(112)
第四节 腐蚀的形式.....	(123)

第五节	腐蚀的控制方法	(132)
第六节	缓蚀剂	(133)
第七节	管线的内涂层和衬里	(136)
第八节	储罐的内涂层和阴极保护	(145)
第九节	非金属管材	(148)
第十节	除溶解氧的化学方法	(151)
第十一节	除去水中硫化氢的化学方法	(157)
第十二节	隔氧技术	(159)
第十三节	使腐蚀降低到最小的设计	(162)
第十四节	腐蚀的监测技术	(165)
第五章	水处理微生物学	(194)
第一节	引言	(194)
第二节	术语	(194)
第三节	能引起腐蚀的细菌	(196)
第四节	细菌的培养、鉴别和计数	(201)
第五节	其它有机物	(211)
第六节	化学方法防治微生物	(212)
第七节	氯化作用	(217)
第八节	紫外线	(222)
第九节	协作	(224)
第六章	水处理设备	(227)
第一节	溶解气的去除	(227)
第二节	悬浮固体的去除	(236)
第三节	分散油的去除	(248)
第四节	水软化	(257)
第七章	注水系统	(262)
第一节	水的质量	(262)
第二节	水敏层	(270)
第三节	系统设计要点	(271)
第四节	注水系统的检查和分析	(278)
第八章	提高石油采收率的水处理	(283)
第一节	聚合物驱油	(284)
第二节	表面活性剂—聚合物驱油	(290)

第三节	碱水驱油	(291)
第四节	注二氧化碳	(292)
第五节	火烧油层	(292)
第六节	注蒸汽	(293)
第九章	水处置系统	(298)
第一节	污染——向地下处置水的原因	(298)
第二节	油田盐水与天然气加工厂废水	(298)
第三节	工厂废水处置	(299)
第十章	冷却水处理	(301)
第一节	开式循环冷却系统	(302)
第二节	处理冷却水的目的	(305)
第三节	闭式循环冷却系统	(307)
第十一章	锅炉水处理	(309)
第一节	外部处理	(310)
第二节	内部化学处理	(311)
第三节	锅炉排污	(313)
第四节	冷凝回水系统	(314)
第十二章	生产/处理装置	(316)
附录		(322)

第一章 化学基础知识

为了能灵活地处理解决水系统方面的问题，人们必须掌握应用于水处理技术的化学基础知识。本章概述了与此有关的化学基本知识。

第一节 元素和化合物

物质由元素和化合物组成。元素这种物质是不能用化学方法分解为两种或两种以上较简单的物质。元素的名称一般使用缩写，如：

元素	化学符号
氢	H
钙	Ca
氧	O

附录1中列出了迄今已发现的103种元素中的一部分。除标准的化学符号外，该表还包括有其它的数据^[1]。

化合物是由两种或两种以上元素按一定重量比化合组成的物质。各单一元素已失去了原来的特性，除非用化学方法将化合物分离成原来的元素，否则就不再可能认出这些元素。

例如，水（ H_2O ）由氢和氧组成，但人们看到的水却是一种本身具有特殊性质的均一物质。虽然人们认为水是由氢和氧组成的，但是举起一杯水来，肯定看不见氢和氧，而看到的却是一种清澈的液体化合物，人们把它叫做水。

第二节 混 合 物

其本身性质保持不变的两种或两种以上的物质组成的物体称为混合物。例如，当将盐和胡椒混合在一起，你能用物理方法较

容易地把这两种物质分开，因为你能很容易地把它们辨认出来。盐和胡椒都是化合物，盐 (NaCl) 是由钠 (Na) 和氯 (Cl) 组成，二者都是元素。

第三节 原子和原子量

元素按一定重量比结合这一事实表明，元素是由物质的微粒组成的。这些称之为原子的物质单位可定义为参加化学变化的元素的最小微粒。

原子由电子、质子和中子组成。经典图象表明，由质子和中子构成的原子核与在轨道中绕核转动的电子象一个小小的太阳系。

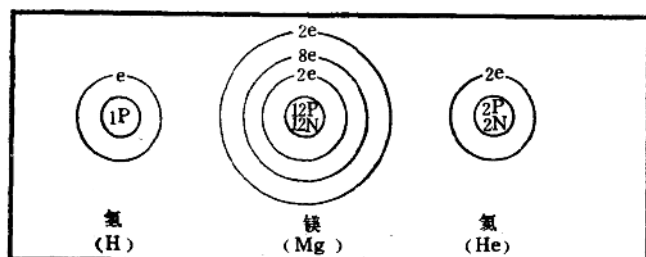


图 1-1

粒子	质量 (原子量单位)	电荷
电子	0	-1
质子	1	+1
中子	1	0

电子和质子都是带电荷的粒子，原子的质量是该原子核中所含质子和中子数之和。电子具有极微小的质量，通常是忽略不计的。

每种元素的原子量就是该种元素的原子重量与作为标准的碳原子重量相比得出来的。一个碳原子定为12。氢原子重为碳原子的1/12。这样其原子量为 $1/12 \times 12 = 1$ 。因此，当我们说氢的原子量为1时，意思是氢原子的重量为碳原子的1/12。附录1给出了每

种元素的原子量。原子量通常给出小数点后第四位，但为了便于化学计算，舍取到小数点后第一位就行了，在大多数情况下，这已是足够准确的了。

按照上述说明，电子的质量与质子和中子的相比是可以忽略不计的。因为质子和中子都有单位质量，所以说，如果我们忽略了电子所具有的极小质量，则原子的原子量就是质子和中子的总和。附录1给出了许多元素的原子量，可以看出，这些元素的原子量与该元素的质子和中子的总和是有偏差的。例如：氯元素的原子量是35.5，铁元素的原子量是55.8。

经认真研究可知，大多数元素实际上是由两种或两种以上的、结构不同的该元素组成的混合物。例如：氯元素，它是由两种氯元素组成的，一种氯元素的原子量为35，另一种为37。通常氯元素是由上边提到的那两种按同样比例相混合的，所以，给出的氯元素的平均原子量为35.5。这两种氯元素具有相同的化学性质，但它们的原子量不相同。它们都有17个电子和17个质子。然而，原子量为35的氯原子有18个中子，而原子量为37的氯原子有20个中子。实际上，在这两个例子中，我们认为氯是相同的元素。具有相同数目的质子，但其原子量不同的称为同位素。因此，通常氯是两种同位素的混合物。其他许多元素也都是同位素的混合物，所以，它们的原子量实际上是同位素混合物的平均重量，这些同位素通常存在于自然形成的元素中。

原子量可以用任何一种质量系统——克、磅、吨等等来表示。然而，化学工作者在他的工作中一般采用克。一种元素的克原子量（通常简称为克原子）是以克来表示它的原子量的。

第四节 分子和分子量

原子结合构成分子，分子可定义为能作为化合物而存在的最小微粒，这样，原子与元素之间的关系和分子与化合物之间的关系是一样的。

化合物的分子是由组成化合物的元素的两个或两个以上的原

子结合而成。分子量是单个分子的质量与 C-12 原子质量相比较所得的相关质量。分子量为组成它的各个元素的原子量之和。例如，

化合物	组成元素	原子个数	原子量	所含元素的重量
H ₂ O	H	2	1	$2 \times 1 = 2$
水	O	1	16	$1 \times 16 = 16$
				总重 = 18 = 水的分子量

与原子量一样，分子量也是相对重量。分子量为18，这意味着一个水分子的重量为一个碳原子的 $18/12$ ，或者是一个碳原子重量的1.5倍。

再如，硫酸的化学式为 H₂SO₄，意思是含有2个氢原子，1个硫原子和4个氧原子。因此，它的分子量是：

$$(2 \times 1) + 32 + (4 \times 16) = 98$$

所以，可以看出，1摩尔的硫酸含有98个单位质量，其中有2个单位质量的氢，32个单位质量的硫和64个单位质量的氧。

注意：虽然在SI公制系统单位中已采用“相对原子量”和“相对分子量”这样的术语，但传统的原子量和分子量的术语仍在使

摩尔

摩尔被定义为一系统物质质量的单位。也就是指包括各单体的物质相当于0.012kg的C-12的原子数。在实际使用中，这是常用的质量单位。C-12的质量为12个单位质量（就是它的原子量）。1摩尔任何其他原子或分子的摩尔质量就是它的原子量或分子量。事实上“摩尔”这个词就是“分子量”这个词的缩写，它的使用符号就是mol。

传统上，1摩尔物质的量是用克来表示的。所以，“摩尔”这个词的前边在没加任何附加说明时，就被认为是“克摩尔”。在英制单位中，为避免混淆，使用的一般是“磅摩尔” (lb-mol) 这个词（1摩尔物质的量用磅代替克来表示）。在SI公制系统中，千克也是常用的质量单位，“千克摩尔 (kmol)”这一符号常常

是用来表示以千克为单位的摩尔质量。

$$1\text{kmol}=2.205\text{lb-mol}=1000\text{gmol}$$

$$1\text{lb-mol}=453.5\text{gmol}$$

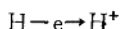
以硫酸为例：

$$1\text{kmol}=98\text{kg}, 1\text{lb-mol}=98\text{lb}.$$

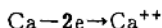
第五节 离子和化合价

如前所述，原子是由质子、中子和电子组成，每个原子的质子数和电子数相同，因此，它们的电荷相等，其电荷为零。然而，如果原子失去了或得到了电子，由于核内的质子数不变，就会使电荷不平衡。因此，如果原子得到了电子，它就带有负电荷，如果原子失去了电子，它就带有正电荷。无论哪种情况发生，原子就不再叫作原子了。它就变为离子。离子的定义为带有电荷的原子或原子团。带正电荷的离子称为阳离子，带负电荷的离子称为阴离子。

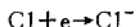
电荷的数量称为化合价，用来度量元素的化合能力。当氢电离时，失去它的一个电子，带一个正电荷或正一价。



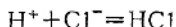
钙电离时失去两个电子，因而钙离子为正二价。



氯电离时得到一个电子，氯离子为负一价。

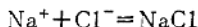


以正一价的氢作为标准，任何原子或原子团在一对一的基础上与氢结合就是一价。盐酸的化学式 HCl 告诉我们：一个氢原子同一个氯原子结合，因此氯也为一价，但为负一价。由于化合物的电荷为零，所以化合价的总和应为零。



$$(+1)+(-1)=0$$

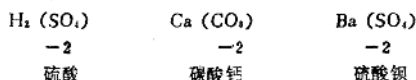
同样，如食盐：



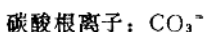
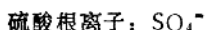
$$(+1)+(-1)=0$$

原子团

原子团是某些化合物中的一组原子，这组原子在反应时做为一个单位。也就是说它们好象是单个的原子或离子一样。下述化合物中的原子团用括号括出，每个原子团下面的数字为其化合价：



如果这些化合物电离，就会发现原子团具有阴离子的性质：



第六节 当 量

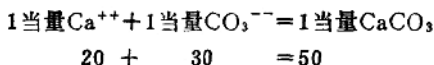
当元素化合成某一化合物时，各元素的重量比是固定不变的。用当量可以求得这一比值。对于元素或离子来说：

$$\text{当量} = \frac{\text{原子量}}{\text{化合价}}$$

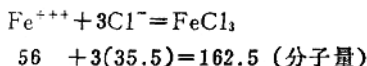
因为当量是个正数，所以，阴离子的当量是通过其原子量除以其化合价的绝对值来求得的。对于化合物来说：

$$\text{当量} = \frac{\text{分子量}}{\text{总的正化合价}}$$

如果A和B化合成C，它们的结合是在当量的基础上进行的。对于每一个当量的A就会有一个当量的B。当量使离子或化合物具有一个公分母，例如：



同样，对于氯化铁来说，



当量 18.7	35.5	54.2
当量数 3	3	3

我们看到：1原子量的铁与3原子量的氯化合生成1分子量的 FeCl_3 。然而更重要的是，三当量的铁与三当量的氯结合生成三当量的氯化铁。当量总是以一对一为基础进行化合的，这就是我们使用当量的原因。

下表中列出了一些当量实例。

元素、离子或化合物	原子量或分子量	化合价	当量
H	1	+1	1
O	16	-2	8
CO_3^{2-}	60	-2	30
SO_4^{2-}	96	-2	48
Ca^{++}	40	+2	20
Fe^{++} (亚铁离子)	56	+2	28
Fe^{+++} (高铁离子)	56	+3	18.7
CaCO_3	100	+2①	50
HCl	36.5	+1①	36.5
Cl	35.5	-1	35.5

①化合物本身没有化合价，此系化合物中阳离子的总化合价。

在附录2中列出了经精选的更多的离子及化合物的当量。

第七节 溶 液

溶液是由两种或两种以上的物质所组成的均匀混合物。在均态这一点上溶液象化合物，在组分的相对比例可变这一点上溶液象混合物。

混合物	溶液	化合物
1) 非均态	均态	均态
2) 组分比例不定	组分比例不定	元素成一定比例

糖溶于水形成溶液。它完全是均态的。如果我们尝一下从溶液中不同部位取出的试样，就会发现每一种试样的甜味都是一样的。在100mL的水中我们能够溶解不同数量的糖，可以将1g、10g或60g的糖溶于水。尽管如此，在某一温度下能溶于给定量水中的糖量是有限度的，这个限量称为在该温度下糖在水中的溶

解度。

溶液中溶解的物质（在这里是糖）称为溶质。在这一特定例子中水是溶解用的介质，称为溶剂。同样，如果我们将盐溶于水中，就做成了一种称为盐水的溶液，其中盐为溶质，水为溶剂。

应该认识到，当不同的物质加入水中时，可以生成不同类型的溶液。

关于溶液的第一个例子，糖溶于水，是单个糖分子均匀地分散在整个水中形成溶液的例子。固态糖溶于水所谓分子分散。

在水化学中，我们感兴趣的大多数物质是那些加入纯水中会电离的物质。例如，把食盐加到蒸馏水中，固态晶体 NaCl 溶解并分成钠离子和氯离子。

大多数水中含有相当数量的以离子形态存在的各种可溶性杂质。因此，水分析实际上就是列出该水中存在的离子类型与数量。记住：纯水只含有氢和氧。

在工业用水化学中，另外一类很重要的溶液是气体溶于水形成的溶液。油田中最令人感兴趣的三种气体是氧、二氧化碳和硫化氢。这些气体所带来的基本问题是水的腐蚀性增大。因此，通常我们非常希望了解给定水中所含气体的数量，象了解该水中所含其它杂质数量一样。

一、浓度的表示方法

当讨论溶液时，有必要确定溶解于溶剂中的各种溶质的量。溶液中所含溶质的量用溶剂或全部溶液量的分数表示，这就是浓度。表示浓度的方法可以有多种。

二、每单位体积溶液中溶质重量

大多数水溶液中的溶质的量是比较少的，因此，浓度一般以毫克每升（ mg/L ）来表示。

三、百万分率

指以溶质的单位重量除以溶液的百万单位重量来表示的无量纲浓度。 1ppm 相当于 1mg 溶质除以 10^6mg 溶液。

$$\text{ppm} = (\text{mg/L}) / S \cdot G.$$

式中 S.G.——密度。

四、体积摩尔浓度

体积摩尔浓度是每升溶液中含有溶质的摩尔数。食盐的分子量为58.4g, 1摩尔浓度的食盐水溶液是指1L 食盐水溶液中含有58.4g食盐 (NaCl)。

$$\text{摩尔数/升} = \frac{\text{mg/L}}{(1000)(\text{MW})}$$

式中 MW为克分子量。

五、重量摩尔浓度

重量摩尔浓度是指在1000g溶剂中含有1摩尔重量的溶质。食盐的一个重量摩尔浓度是指在1000g水中含有58.4g食盐。

$$\begin{aligned}\text{重量摩尔浓度} &= \frac{\text{重量摩尔数}}{1000\text{g水}} \\ &= \frac{\text{mg/L}}{1000(1000\text{S.G.} - \text{TDS}/1000)}\end{aligned}$$

式中 TDS——总溶解固体量 (见第二章)；

S.G.——相对密度。

六、当量浓度

当量浓度是每升溶液中含有一个克当量溶质。由于食盐的分子量和当量是相同的, 因此1当量的溶液与1摩尔的溶液是相同的。在它的每升溶液中含有58.5g盐。然而, 如果溶质为硫酸(H_2SO_4), 1当量的溶液每升含有49g H_2SO_4 。这是从下述事实得出来的: H_2SO_4 的分子量为98, 其当量为 $98/2=49$ 。在这种情况下, 1摩尔溶液含有1摩尔的 H_2SO_4 (98g), 而1当量的溶液含有1克当量的 H_2SO_4 (49g)。

七、标准溶液

标准溶液就是指含有已知成分的溶液。

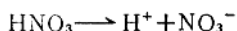
第八节 酸、碱和盐

一、酸

任何能够释放出氢离子的物质都可以称为酸。酸碱中和生成

盐和水，它们能在水中电离或溶解。

下面给出的是硝酸在水中电离的例子。

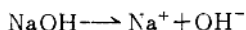


几种常见的酸列入下表。

酸		符 号
盐	酸	HCl
碳	酸	H_2CO_3
硫	酸	H_2SO_4
硝	酸	HNO_3
磷	酸	H_3PO_4

二、碱

碱是指在化学反应中能接受氢离子的物质。碱通常定义为：当一物质溶于水中能离解出氢氧根时，该物质就为碱。例如：



氢氧化钠 钠离子 氢氧根离子

三、盐

盐指的是离子化合物，该化合物含有除氢离子以外的阳离子和除氢氧根离子或氧化物离子以外的阴离子。

第九节 pH值

水的pH值是以mol/L表示的氢离子浓度的倒数的对数。

$$\text{pH} = \log \frac{1}{[\text{H}^+]} = -\log [\text{H}^+]$$

pH值是在0至14之间的数字，表示酸度或碱度。pH值的标度与温度计的标度相似。正如温度计测量热的强度一样，pH值的大小表示酸的强度或碱的强度（见图1-2）。

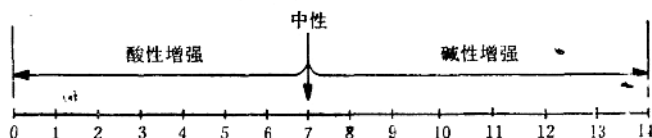


图 1-2

pH值标度的中点为7，具有7的pH值的溶液为中性。7以下的数字表示为酸性，7以上的数字表示为碱性。由于pH值是对数函数，所以pH值为6.0、5.0和4.0的溶液的酸性是pH值为7.0的溶液的酸性的10倍、100倍和1000倍。应当记住：氢离子（ H^+ ）使溶液呈酸性，因此使pH值向零移动。羟基离子（ OH^- ）使溶液呈碱性，使pH值上升。

第十节 度量制系统

化学计算习惯使用公制系统，因为它比较简单，全部度量均为十进位。然而已出现由使用传统的公制向近代的国际制或称SI公制转变。这对化学应用没什么影响，但重要的是对它们的区别要有所认识。基本单位是：

传统公制	SI公制
质量 克 (g)	千克 (kg)
长度 厘米 (cm)	米 (m)
时间 秒 (S)	秒 (S)
体积 cm^3 , 升 (l, L)	m^3

对于“重量”“(Weight)”和“质量”“(mass)”这两个词，传统上是作为同义词（这是错误的），我们应清楚。此外，在上面提到的、以“mol”这个符号表示的术语“摩尔”也应清楚。

一、长度（距离）

通常是在米的前面加词头来表示标准长度单位。所以：

$$1\text{毫米 (mm)} = 0.001\text{米 (m)}$$

$$1\text{厘米 (cm)} = 0.01\text{m}$$

$$1\text{分米 (dm)} = 0.1\text{m}$$

常用换算为：

$$1\text{英寸} = 2.54\text{cm} = 0.0254\text{m}$$

$$1\text{毫英寸} = 0.001\text{英寸} = 25.4\mu\text{m}$$

$$1\text{m} = 39.37\text{英寸}$$

二、体积

升这个术语在新的SI系统并不是一个法定单位，但是可以作为立方分米 (dm^3) 来使用，它可以缩写为“l”或“L”，在打印或印刷资料时必须使用“L”，而不能使用手写的“l”（比如在美国）。

$$1\text{m}^3 = 1000\text{dm}^3 = 1000\text{L},$$

$$1\text{L} = 1000\text{mL} = 1.06\text{夸脱}$$

“cc”或立方厘米应避免使用，可用mL来替代。但通常计算中可以把它们作为互换单位来使用。

三、质量

大多数情况下，克可被用作质量单位。最常见的浓度单位为mg/L。

$$1\text{kg} = 1000\text{g} = 2.205\text{lb}$$

$$1\text{lb} = 453.5\text{g}$$

相对密度这个术语是一种物质的密度，即每单位体积物质的质量除以在相同条件下的纯水密度。在SI公制系统中使用了“相对密度”来代替传统使用的“比重”。

四、温度

当使用公制系统时，温度常用摄氏温度 ($^{\circ}\text{C}$) 来表示，这可以与华氏温度 ($^{\circ}\text{F}$) 做个比较。见下表。

水的沸点	$^{\circ}\text{F}$ 212		$^{\circ}\text{C}$ 100	
	↑		↑	
	180		100	
	↓		↓	
水的冰点	32		0	

将温度的一种标度换算成另一种标度的公式是：

$$^{\circ}\text{F} = 1.8 (^{\circ}\text{C}) + 32$$

$$^{\circ}\text{C} = (1/1.8) (^{\circ}\text{F} - 32)$$

换算表列于附录3中。

参 考 文 献

- [1] Lewis, John R.: College Chemistry, Barnes and Noble, Inc., New York (1965).