

电厂化学

靳云福

21.8

内 容 提 要

本书简要地系统地阐述了热力发电厂的化学工作。全书共七章，分别介绍了化学基本知识，热力发电厂水处理，热力设备腐蚀和结垢的形成及其防止的方法，锅炉的化学清洗，提高蒸汽品质的措施，电厂用油和电厂用煤等。此外，在各章末都还附有一定数量的复习题，供读者在学习本书时检查学习效果用。

本书可供广大电业管理干部学习用，也可供电厂新工人学习参考。

电力生产基本知识丛书

电 厂 化 学

靳 云 福

*

电力工业出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 4印张 103千字

1982年1月第一版 1982年1月北京第一次印刷

印数00001—9620册 定价0.41元

书号 15036·4280

出 版 说 明

为了加强干部培训工作，提高电力工业各级干部和管理人员的业务水平，电力工业部开办了局、厂长学习班，组织学习电力生产过程及生产技术管理知识；并委托有关单位和人员，在头几期学习班讲义的基础上，编写了这套《电力生产基本知识丛书》交我社陆续出版，以满足广大干部学习的需要。

这套丛书共有《电力》、《热力学基础》、《锅炉》、《汽轮机》、《热力过程自动化》和《电厂化学》六个分册。

由于时间较紧，经验不足，书中不妥之处请读者批评指正。

电力工业出版社

一九八一年七月

目 录

出版说明

第一章 化学基本知识	1
第一节 物质、分子和原子.....	1
第二节 元素符号和分子式.....	4
第三节 溶液和溶液浓度.....	5
第四节 酸、碱、盐和 pH 值.....	8
第五节 当量和当量浓度.....	13
复习题.....	15
第二章 电厂水处理	16
第一节 天然水中的杂质.....	17
第二节 给水的水质标准.....	17
第三节 补给水处理.....	21
第四节 凝结水处理.....	52
第五节 冷却水处理.....	62
复习题	66
第三章 热力设备的腐蚀和结垢及其防止方法	66
第一节 腐蚀类型.....	67
第二节 给水系统的腐蚀及其防止方法.....	68
第三节 锅内腐蚀和防止措施.....	71
第四节 锅内结垢和锅内水处理.....	73
第五节 停炉腐蚀和保护方法.....	75
第六节 汽轮机腐蚀及其防止措施.....	78
第七节 凝汽器铜管腐蚀及其防止措施.....	79
复习题	83
第四章 锅炉的化学清洗	84

第一节	化学清洗原理	85
第二节	化学清洗方法	89
第三节	化学清洗的准备工作和安全措施	94
复习题		95
第五章	提高蒸汽品质的措施	95
第一节	蒸汽质量	95
第二节	提高蒸汽品质的措施	98
复习题		100
第六章	电厂用油	100
第一节	油在设备中的作用	100
第二节	油的劣化和监督项目	102
第三节	绝缘油和汽轮机油的监督	107
第四节	绝缘油和汽轮机油的维护	112
复习题		115
第七章	电厂用煤	115
第一节	煤的工业分析	116
第二节	煤的元素分析	117
第三节	煤的热值、煤粉细度及灰中可燃物	119
第四节	燃料监督	120
复习题		121
参考资料		121

第一章 化学基本知识

世界是由物质构成的。物质是在不停地运动着。物质的运动有多种形式。化学是研究物质化学变化的一门科学，通过研究物质的组成、性质、合成及应用，去认识和掌握化学变化的客观规律。

化学在电力工业生产中起着十分重要的作用，诸如，水的净化、热力设备的防腐和防垢、煤质的分析、油务管理以及环境保护等各项工作，都与化学有密切的联系。因此，在这里先介绍一些有关化学的基本知识。

第一节 物质、分子和原子

我们在日常生活和生产中，经常遇到物质的变化有两种：物理变化和化学变化。

例如，水冷却到 0°C 时会结成冰，加热到 100°C 时会变成水蒸气。但水、冰和水蒸气都是同一种物质，水由液态变为固态或气态，只是物质的状态发生了变化，并没有生成新物质。我们把这种没有生成新物质的变化叫做物理变化。

再如，水电解时生成氢气和氧气，氢气和氧气都是不同于水的新物质。我们把这种生成新物质的变化叫做化学变化。

物质在化学变化中表现出来的性质，叫做化学性质。物质不需要发生化学变化就表现出来的性质，叫做物理性质。

那么，水为什么会发生状态的变化，水又为什么能分解为氢气和氧气呢？把蔗糖放进水里很快就不见了，但水却有了甜味。这些现象都怎样解释呢？下面我们简要地讨论一下物质的组成和原子-分子论的基本知识。

一、物质的组成

人们经过长期的科学实验证明，物质是由许多肉眼看不见的微粒构成的。构成物质的微粒有多种，其中保持物质化学性质的微粒叫做分子。所以说，物质是由分子组成的，例如水是由水分子组成的；酒精是由酒精分子组成的；蔗糖是由蔗糖分子组成的。

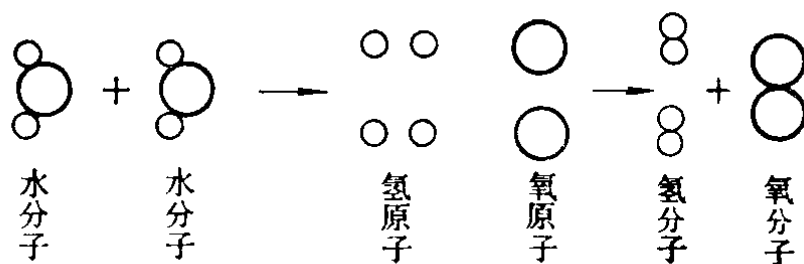
分子总是在不停地运动着。分子之间有一定的间隔。

当物质发生物理变化时，它的分子本身不变，没有生成新分子。而当物质发生化学变化时，它的分子本身起了变化、变成了别的新分子，因此物质也就变成了别的新物质。

一般物质在不同的条件下，有气态、液态和固态的变化。这主要是由于它们的分子之间的间隔大小发生变化的缘故。例如，水变成水蒸气，水分子间的间隔增大了。蔗糖溶解在水里，使水有甜味，是由于蔗糖分子不停的运动而扩散到水中的缘故。

二、分子的组成

水在一定条件下，可以分解为氢气和氧气。这一事实说明，水分子在化学变化中还可以分为更小的氢和氧的微粒，这些微粒在化学变化中不能再分。它们经过重新组合，成为氧分子和氢分子。此变化可用下图表示：



这种在化学变化中不能再分的微粒叫做原子。所以说，分子是由原子组成的，原子是化学变化中的最小微粒。原子也是在不停地运动着。

另外，有些原子直接构成物质，例如，铁是由许多铁原子构成的。

三、原子的组成和原子量

(一) 原子的组成。大量的科学实验证明，原子是由一个原

子核和若干个核外电子组成的。原子核带正电荷，位于原子的中心；电子带负电荷，在原子核周围作高速度运动。原子核所带正电荷的数值与核外电子所带负电荷的数值相等，所以整个原子不显电性。

原子的体积很小（半径约为 10^{-8} 厘米），而原子核的体积更小，它只占原子体积的几千亿分之一。如果把原子设想为一个直径为10米的球体，那么原子核也只有针头那样大。

科学上把一个电子所带的电量（ 1.062×10^{-19} 库仑）定为一个单位电荷，它的电性为负电性。因此，一个电子带有一个单位负电荷。电子的质量很小，约等于氢原子质量的 $1/1840$ ，所以原子的质量主要集中在原子核内。

原子核是由质子和中子组成的。质子带一个单位正电荷，其质量约等于一个氢原子的质量；中子不带电，其质量也约等于一个氢原子的质量。

原子的组成可归纳如下：

原子 $\left\{ \begin{array}{l} \text{原子核} \left\{ \begin{array}{l} \text{质子：一个质子带一个单位正电荷} \\ \text{中子：不带电} \end{array} \right. \\ \text{电子：一个电子带一个单位负电荷} \end{array} \right.$

质子数 = 核电荷数 = 电子数

原子量 $\approx$ 质子数 + 中子数

（二）原子量。原子虽小，却有一定的质量。例如：

一个氧原子的质量是： 2.657×10^{-23} 克

一个碳原子的质量是： 1.993×10^{-23} 克

用“克”做单位来表示原子的质量，使用、记忆和书写都很不方便。为此，在科学上表示原子质量时，一般不用实际质量，而用相对质量。原子的相对质量，叫做原子量。这种相对质量是以一种碳原子（原子核内有6个质子和6个中子的碳原子）的质量等于12为标准，测其它元素的原子量。例如，氢的原子量为1.008，氧的原子量为16，硫的原子量为32.06等等。

第二节 元素符号和分子式

一、元素符号

在化学上，我们把原子核电荷数（即质子数）相同的一类原子，总称为元素。氧元素就是所有核电荷为 8 的氧原子的总称。

到目前为止，我们已经发现了107种元素，这107种元素组成了几百万种物质。

在化学上，各种元素都用不同的符号来表示。例如，氧元素用“O”表示，氢元素用“H”表示，铁元素用“Fe”表示等。这种符号叫做元素符号。

元素符号是用该元素拉丁文名称的第一个字母（大写）来表示。有些元素第一个字母相同，就再附加一个字母（小写）以示区别。如碳（C）、铜（Cu）、钙（Ca）等。

元素符号表示某一种元素；表示某种元素的一个原子；表示某种元素的原子量。

一些常用的化学元素符号和原子量列于表1-1中。

表 1-1 常用的化学元素符号和原子量

元素名称	符 号	原 子 量	元素名称	符 号	原 子 量
氢	H	1.008	硅	Si	28
氧	O	16	铁	Fe	56
氮	N	14	铜	Cu	63.5
磷	P	31	钙	Ca	40
碳	C	12	镁	Mg	24
硫	S	32	银	Ag	108

二、分子式和分子量

任何纯净物质都是由相同种类分子组成的，而其中每一个分子的组成是一定的。例如，每一个水分子都是由两个氢原子和一个氧原子组成的；二氧化碳气是由许多二氧化碳分子组成的，而每一个二氧化碳分子都是由两个氧原子和一个碳原子组成。由于

物质的分子是由原子组成的，而且其组成又是一定的，因此可以利用元素符号来表示分子中所含各元素的原子个数。这种用元素符号来表示物质分子组成的式子，叫做分子式。例如，水的分子式是 H_2O ，氧气的分子式是 O_2 。元素符号右下角的数字表示这种原子的个数，右下角没有数字的表示一个原子。

分子式是表示一个分子中各元素的原子个数，因此写分子式应根据实验结果，而不能凭想象臆造。我们常见物质的分子式如表1-2中所示。

表 1-2 常 见 物 质 的 分 子 式

物质名称	分 子 式	物质名称	分 子 式	物质名称	分 子 式
碳	C	氧 气	O_2	氢氧化钠	NaOH
硫	S	氢 气	H_2	氢氧化钾	KOH
磷	P	氮 气	N_2	氢氧化钙	$\text{Ca}(\text{OH})_2$
铜	Cu	氯 气	Cl_2	氯化钠	NaCl
铁	Fe	二氧化碳	CO_2	硫酸铜	CuSO_4
钠	Na	水	H_2O	硫酸亚铁	FeSO_4
钾	K	氯化氢	HCl	硅酸钠	Na_2SiO_3
钙	Ca	硫酸	H_2SO_4	碳酸钠	Na_2CO_3
镁	Mg	硝酸	HNO_3	碳酸钙	CaCO_3
铝	Al	硅酸	H_2SiO_3	碳酸氢钙	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
银	Ag	磷酸	H_3PO_4	磷酸三钠	Na_3PO_4
锌	Zn	碳 酸	H_2CO_3	六偏磷酸钠	$(\text{NaPO}_3)_6$

分子式既然是表示分子的组成，就可以利用分子式算出分子量。一个分子中各原子量之和就是分子量。例如，二氧化碳的分子式为 CO_2 ，那么二氧化碳的分子量就是两个氧原子和一个碳原子的原子量之和，即：

$$\text{CO}_2 \text{分子量} = 12 + 16 \times 2 = 44$$

第三节 溶液和溶液浓度

一、水

许多物质能溶解在水中，所以大量的化学反应是在水中进行

的。

纯水是无色、无味、透明的液体。纯水不易导电。常压下，水在 0℃ 时结冰，100℃ 时沸腾。水在 4℃ 时分子最密集，这时它的密度最大（1 克/厘米³）。

由于水分子中氢原子和氧原子结合得比较牢固，所以在通常状况下，水是很稳定的，即使加热到 1000℃ 的高温也只有极少量的水分解为氢气和氧气。在通电的条件下，水可以分解为氢气和氧气。

二、溶液及其浓度

一种物质的分子（或离子）均匀地分布在另一种物质里所得到的均匀液体，叫做溶液。例如，将少量蔗糖放入水中，加以搅拌，蔗糖逐渐溶解，最后得到均匀的液体，这种液体叫做糖溶液。

溶液是由溶剂和溶质构成的，我们把能够溶解其它物质的液体叫做溶剂；溶解在溶剂中的物质叫做溶质。

在一定量的溶液中，所含溶质的量叫做溶液浓度。溶液浓度有不同的表示方法，可根据需要选用。常用的有：百分比浓度、ppm（或 ppb）浓度、当量浓度和摩尔浓度等。这里仅介绍前两种，当量浓度见本章第五节。

（一）百分比浓度。这种浓度是用溶质的重量占全部溶液重量的百分比来表示。即：

$$\text{百分比浓度} = \frac{\text{溶质的重量}}{\text{溶液的重量}} \times 100\%$$

$$\text{溶液的重量} = \text{溶质的重量} + \text{溶剂的重量}$$

$$\text{溶质的重量} = \text{溶液的重量} \times \text{百分比浓度}$$

〔例〕 在水处理中使用的硫酸溶液的浓度为 3%，问 500 公斤硫酸溶液中含有多少公斤纯硫酸？多少公斤水？

解：按百分比浓度公式计算如下：

$$\text{溶质的重量} = 500 \text{ 公斤} \times \frac{3}{100}$$

$$=15 \text{ 公斤}$$

$$\text{水的重量} = 500 \text{ 公斤} - 15 \text{ 公斤}$$

$$=485 \text{ 公斤}$$

答：溶液中含纯硫酸15公斤，水485公斤。

(二) ppm及ppb。在生产中还常常用ppm或ppb表示某些稀溶液的浓度。

浓度以ppm表示的含义，就是在一百万份重量的溶液中，含有溶质重量的份数，该份数即为溶液的ppm数。浓度以ppb表示的含义，就是在十亿份重量的溶液中，所含溶质的重量份数，该份数即为溶液的ppb数。

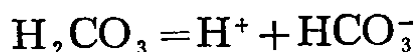
例如，一般含盐量在200ppm以下的水，叫低含盐量的水，这就是指1公斤水中含盐量在200毫克以下的水。又如，某锅炉给水中铁的含量为15ppb，就是1公斤给水中含铁15微克。

三、溶液的导电性

(一) 电解质与非电解质。某些物质的水溶液，像食盐水、酸溶液等能够导电；而另一些物质的水溶液，像蔗糖溶液等却不能导电。我们把溶于水或在熔化状态下能导电的化合物叫做电解质，如食盐、酸和碱等；溶于水或在熔化状态下不能导电的化合物叫做非电解质，如蔗糖和酒精等。

(二) 电解质的电离。电解质溶于水或在熔化状态时为什么能导电呢？我们知道电流是由许多带电微粒定向移动形成的，金属导电就是金属中自由电子定向移动的结果。电解质溶液（或熔化状态的电解质）既然能导电，就说明电解质溶液里或熔化状态的电解质中，也有能够自由移动的带电微粒，这种带电的微粒称为离子。

科学实验证明，电解质溶于水后，在水分子的作用下，可以形成自由移动的离子，如食盐、碳酸在水中按下式解离：



水溶液中，由于有自由移动的离子，当接通电源的两个电极

插入溶液后，溶液中已有的带电离子，就开始作定向移动，此时溶液就类似金属导体一样开始导电。在一般稀溶液条件下，电解质电离出的离子数目越多，导电能力越强。

电解质在水的作用下（或受热熔化）解离成离子的过程，叫做电离。电解质电离的结果，总是形成两种离子：一种带正电荷的离子，称为阳离子（或正离子）；另一种带负电荷的离子，称为阴离子（或负离子）。在溶液中所有阳离子带正电荷总数和所有阴离子带负电荷总数是相等的，所以整个溶液不显电性。在电厂水处理工作中常遇到的离子如表1-3中所示。

表 1-3 电厂水处理工作中常遇到的离子名称及其符号

阳 离 子		阴 离 子	
名 称	符 号	名 称	符 号
钠	Na ⁺	氢 氧 根	OH ⁻
钾	K ⁺	氯 根	Cl ⁻
钙	Ca ²⁺	亚 硝 酸 根	NO ₂ ⁻
镁	Mg ²⁺	硝 酸 根	NO ₃ ⁻
铁	Fe ²⁺ , Fe ³⁺	硫 酸 根	SO ₄ ²⁻
铝	Al ³⁺	重 碳 酸 根	HCO ₃ ⁻
锌	Zn ²⁺	碳 酸 根	CO ₃ ²⁻
铜	Cu ²⁺	磷 酸 根	PO ₄ ³⁻
氢	H ⁺	硅 酸 根	SiO ₃ ²⁻
铵 根	NH ₄ ⁺		

第四节 酸、碱、盐和pH值

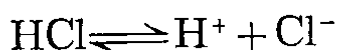
在化学水处理工作中，我们经常使用盐酸、硫酸、烧碱、熟石灰和食盐等。这些物质分别属于酸类、碱类和盐类，它们的水溶液有不同程度的酸、碱性。酸碱度一般常用pH值表示。

一、酸

（一）盐酸。盐酸是氯化氢气体的水溶液，它是酸类中的一种，它的分子式是HCl。

纯净的盐酸是无色的液体，有腐蚀性。常用的浓盐酸大约含37%的氯化氢。盐酸易挥发，有刺激性气味。

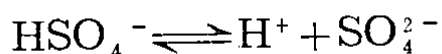
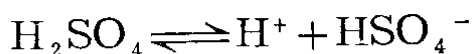
盐酸中的氯化氢分子，能电离出氢离子和氯离子，故能与许多物质发生化学反应。



(二) 硫酸。纯净的硫酸为无色油状的液体，不易挥发。浓硫酸的比重为1.84(98.3%)，其当量浓度为36N。浓硫酸易溶于水，并放出大量的热，如果把水倒入浓硫酸中，溶解时放出的热使水沸腾，能使硫酸液滴四处飞溅。因此，在稀释硫酸时，只能把浓硫酸在不断搅拌下，缓慢地倒入水中，绝不能把水倒入浓硫酸中。

浓硫酸的吸水性较强，在工业和实验室中常作为某些气体的干燥剂。它还能从纸张、木材、蔗糖、布、皮肤(它们是碳、氢、氧等元素组成的化合物)里，夺取与水分子组成相当的氢和氧，使这些物质碳化。工作中如果不小心将硫酸滴落在皮肤上会造成严重灼伤，应该立即用大量水冲洗(切勿用力擦拭)，然后用稀氨水浸润伤处，最后用水冲洗。

稀硫酸溶液中的硫酸分子可以电离成离子如下：

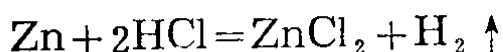
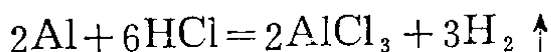


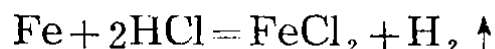
(三) 酸的通性。无论是盐酸或是硫酸或其他酸，它们的分子电离后生成的阳离子都是氢离子(H^+)。

某物质电离后生成的阳离子都是氢离子(H^+)的化合物，称为酸。酸有一些相似的化学性质：

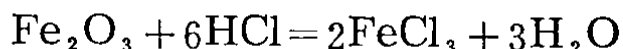
(1) 酸的水溶液能使橙色的甲基橙试液变成红色，不能使无色酚酞试液变色。

(2) 酸的水溶液能与多种金属发生反应。例如，盐酸可与铝、锌、铁等金属发生反应：





(3) 酸的水溶液可与某些金属氧化物发生反应。例如，盐酸与氧化铁反应：



由于上述反应，盐酸可以做除锈剂，用以清洁金属表面。

(4) 酸可以和许多盐反应。例如，盐酸与碳酸钙反应：



上述反应是盐酸清洗碳酸盐水垢的主要化学反应。

二、碱

(一) 氢氧化钠。氢氧化钠是碱类中的一种，俗名烧碱。它的分子式是NaOH。

氢氧化钠是一种白色固体，极易溶于水，溶解时放出大量的热，它很容易吸收空气中的水分。因此，在某些工业生产中常用烧碱做干燥剂。

氢氧化钠水溶液有滑腻感觉，对皮肤、纸张、棉织物有强烈的腐蚀作用，热而浓的烧碱溶液腐蚀性更强。因此，氢氧化钠又叫苛性钠。在使用氢氧化钠和它的溶液时，要注意安全。

氢氧化钠在水中能电离出金属钠离子和氢氧根离子。



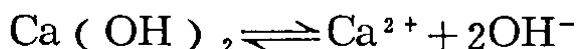
(二) 氢氧化钙。氢氧化钙是建筑上或水处理中常用的熟石灰（或消石灰），是碱的一种。它的分子式是Ca(OH)₂。

氢氧化钙，一般是由生石灰（CaO）加水反应生成的，反应时放出大量热。



氢氧化钙是一种白色的粉末，微溶于水，工业上使用的往往是它的悬浮液，即石灰乳。

氢氧化钙的水溶液，叫做石灰水。石灰水中的氢氧化钙分子，能电离出金属钙离子和氢氧根离子。



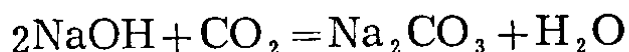
氢氧化钙对皮肤、棉织物等也有一定的腐蚀作用。

(三) 碱的通性。无论是氢氧化钠或是氢氧化钙或其他的金属氢氧化物，它们的分子电离后，生成的阴离子都是氢氧根离子。

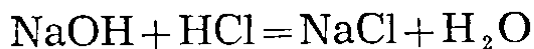
某物质电离后，生成的阴离子都是氢氧根离子 (OH^-) 的化合物，称为碱。碱有一些相似的化学性质。

(1) 碱的水溶液能使无色酚酞试液变成红色；橙色的甲基橙试液变成黄色。

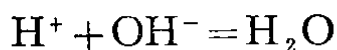
(2) 碱能和多种非金属氧化物作用。例如，氢氧化钠与二氧化碳反应：



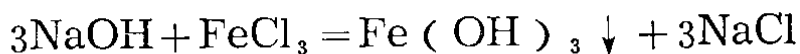
(3) 碱能与酸反应。例如，氢氧化钠与盐酸能发生下列反应：



酸与碱作用的结果，生成了盐和水，当酸和碱的数量适当时，反应结果形成的溶液不显酸性，也不显碱性。化学上把酸与碱作用生成盐和水的反应，叫做中和反应。中和反应的实质就是酸中的 H^+ 和碱中的 OH^- 结合，生成难电离的水，这个反应可用下面的反应式表示：



(4) 碱能和某些盐发生反应。例如，氢氧化钠与氯化铁发生下列反应：



三、盐

盐从分子的组成来看，是由金属离子和酸根相结合的化合物，如 NaCl (氯化钠)、 FeSO_4 (硫酸亚铁) 和 AgNO_3 (硝酸银) 等。

盐在水中都能电离出金属离子和酸根离子：

