

(修订本)

# 低压锅炉水质处理

李培元 王蒙聚 宋建华 黄纪生 编

湖北科学技术出版社

## 内 容 提 要

本书系统地介绍了低压锅炉水处理的基本知识,包括水的锅内、锅外化学药剂处理,水的各种离子交换处理和电渗析工艺,锅炉结垢、腐蚀的原因和防止措施,水质标准和水质分析的原理、方法等。每章后面附有思考题。附录中提供了一些常用的数据资料以备查阅。

本书可作为从事低压锅炉水处理运行人员的培训教材,也可作为与此项工作有关的设计和管理人员的参考书。

低压锅炉水质处理(修订本)

© 李青元 王蒙聚 编  
宋建华 黄纪生

责任编辑:汪 敏

封面设计:姚家丽

出版发行:湖北科学技术出版社  
地 址:武汉市武昌东亭路2号

电话:6812508  
邮编:430077

印 刷:武汉市东华印刷厂

邮编:430021

787×1092mm 16开 17印张  
1992年5月第2版

426千字  
1996年4月第7次印刷

印数:86 001—96 000  
ISBN7—5352—0780—4/TK·2

定价:14.00元

本书如有印装质量问题 可找承印厂更换

## 第一版前言

锅炉水质处理,是关系到锅炉设备安全、经济运行的重要工作,尤其在节约能源方面关系极大。

锅炉水质处理效果如何,在很大程度上取决于水质处理技术的普及和提高。因此,近几年来,各地企业主管部门、锅炉安全监察部门和部分企、事业单位,先后进行了锅炉水质处理的技术培训。广大从事锅炉水处理工作的人员,也迫切需要提高技术和业务水平,以解决运行管理中遇到的技术问题。

为了适应上述需要,原湖北省劳动局于1979年在举办锅炉水处理短训班的基础上,组织有关专业人员编写了本书的第一稿,并在内部出书发行。作为技术培训教材和有关专业人员的参考书,受到全国各地有关方面的欢迎,对推动锅炉水处理工作起了一定的积极作用。但因该书印数有限,不能满足各地工作的要求,在湖北科学技术出版社支持下,由部分原编者将此书修订出版发行。

参加原书编审和本次修改工作的有李培元、王蒙聚、宋建华、黄纪生。窦向平参加了第一稿的编审。严宝康、罗维昆、李文山、易述先参加了第一稿的审查和修改工作。还有刘作元、祁光华、杨国忠在第一稿的审订中也做了一定的工作。

我们希望本书的公开出版发行,对当前低压锅炉水处理技术的普及提高,以及在促进国民经济现代化方面,发挥一定的积极作用。

由于我们水平有限,不足之处在所难免,望读者指正。

编者

1984年元月

## 第二版前言

本书第一版出版至今已七年,在这七年中锅炉水处理技术有了很大发展,特别是《低压锅炉水质标准》进行了修订;全国各行业向使用法定计量单位的过渡期已结束,从今年元月起,除个别特殊领域外,不允许再使用非法定计量单位。因此,本次修订内容涉及面较广,主要有:

1. 在“化学基本知识”中删去了应废除的非法定计量单位(如原子量、当量、当量浓度等),增加了“物质的量和摩尔”,更新了“溶液的浓度”等内容。

2. 在“锅炉用水概述”中增加了“铁的化合物”和“硅酸化合物”,删去了“锅炉用水的分类”。

3. 补充了近期在水的混凝处理中较广泛应用的混凝剂、助凝剂,在锅内处理中应用的有机防垢、缓蚀剂方面的内容,删去了相应的一些陈旧内容。

4. 鉴于离子交换树脂在低压锅炉水质处理中应用得越来越多,在第六章增加了“树脂的命名”和“离子交换平衡的计算”等方面的内容。同时,在第五章中对顺流式、逆流式固定床和浮动床树脂层中离子分布作了较切合实际的介绍;在增加的“离子交换装置应用展望”一节中对有发展前途且已在使用的六种离子交换器作了介绍,以供在不同场合选用时参考。对移动床方面的内容作了删减。

5. 锅炉设备的腐蚀问题往往在解决了防垢问题之后较为突出,因此,有关腐蚀方面的内容在“锅炉设备常见的腐蚀形式及特征”中作了补充。在“给水的除氧”中也补充了“化学药剂除氧”的部分内容。

6. 给水及锅水标准改为“GB1576—85”水质标准,在有关计算中也据此取值,并适当增加了有关管理方面的内容。

7. 在第十一、十二章及附录中凡涉及到以前应用当量浓度进行计算的地方都改用物质的量浓度,从标题上虽然看不出改动,实际上在内容中都作了改写,但最终得出的计算结果在数值上与以前相同。

为了争取时间使此修订本早日与读者见面,在编排上变动较少。

参加本次修订工作的有李培元、王蒙聚、宋建华、黄纪生。

我们希望本修订本的出版发行,继续对普及、提高低压锅炉水处理技术发挥积极作用。

衷心欢迎读者就本书中存在的不妥之处提出批评和建议,我们对此表示感谢。

编者

1991年10月

# 目 录

第一章 化学基本知识	(1)
第一节 物质的运动和性质	(1)
第二节 物质的组成	(1)
一、分子；    二、原子；    三、元素、核素和同位素；    四、原子质量和相对原子质量；	
五、单质和化合物；    六、分子式和相对分子质量	
第三节 化合价、化学方程式	(4)
一、元素的化合价；    二、化学方程式；    三、根据化学方程式的计算	
第四节 物质的量和摩尔	(6)
一、物质的量；    二、摩尔；    三、摩尔质量	
第五节 常见的化学反应	(7)
一、化合反应；    二、分解反应；    三、置换反应；    四、氧化还原反应；    五、复分解反应	
第六节 酸、碱、盐、氧化物	(8)
一、酸及其一般化学性质；    二、碱及其一般化学性质；    三、盐及其一般化学性质；	
四、氧化物及其一般化学性质	
第七节 物质的溶解和溶液	(10)
一、水的物理化学性质；    二、物质的溶解过程；    三、溶液	
第八节 溶液的浓度	(12)
一、溶液的浓度；    二、溶液浓度的表示方法	
第九节 化学反应速度和化学平衡	(17)
一、化学反应速度；    二、化学平衡；    三、化学平衡常数	
第十节 电离平衡	(19)
一、电解质的电离；    二、弱电解质的电离平衡；    三、水的电离和pH值；    四、缓冲溶液；	
五、溶度积；    六、离子反应方程式；    七、盐类的水解反应	
第十一节 络合物(配位化合物)	(25)
一、络合物；    二、螯合物；    三、络合物的应用	
第二章 锅炉用水概述	(27)
第一节 天然水中的杂质	(27)
一、天然水的特征；    二、天然水中杂质的分类	
第二节 水质指标	(30)
一、悬浮物；    二、含盐量；    三、硬度；    四、碱度；    五、酸度；	
六、化学耗氧量(用COD表示)	
第三节 天然水的分类	(34)
一、按主要水质指标分类；    二、按水处理工艺分类	
第四节 天然水中的几种主要化合物	(36)

一、碳酸化合物；    二、铁的化合物；    三、硅酸化合物	
第五节 我国天然水的特点 .....	(38)
<b>第三章 水的混凝、沉淀和过滤处理 .....</b>	<b>(40)</b>
第一节 水的混凝处理 .....	(40)
一、胶体化学基础；    二、混凝的原理；    三、影响混凝效果的因素；	
四、混凝剂和助凝剂；    五、机械搅拌加速澄清池	
第二节 沉淀处理 .....	(49)
一、化学沉淀软化处理的原理；    二、石灰处理；    三、其他沉淀软化处理	
第三节 过滤处理 .....	(52)
一、过滤原理；    二、影响过滤因素；    三、过滤设备	
第四节 混凝过滤 .....	(57)
一、直流混凝过滤；    二、接触混凝过滤；    三、变孔隙滤池	
<b>第四章 锅炉用水中杂质的危害 .....</b>	<b>(59)</b>
第一节 水垢的形成及危害 .....	(59)
一、水垢形成的原因；    二、水垢的种类及性质；    三、水垢的危害；    四、防止水垢的方法	
第二节 腐蚀的原因及危害 .....	(60)
一、金属腐蚀的基本形式；    二、电化学腐蚀概述；    三、锅炉设备常见的几种腐蚀形式及特征	
第三节 汽水共腾及危害 .....	(72)
<b>第五章 锅内水处理 .....</b>	<b>(73)</b>
第一节 纯碱法 .....	(73)
一、基本原理；    二、适用范围；    三、加碱量的确定；    四、计算实例	
第二节 天然碱法 .....	(75)
第三节 磷酸盐法 .....	(77)
一、基本原理；    二、适用范围；    三、加药量的估算	
第四节 纯碱—腐殖酸钠法 .....	(78)
一、基本原理；    二、适用范围和加药量	
第五节 复合防垢剂法 .....	(79)
一、无机钠盐与栲胶复合防垢剂；    二、有机膦酸盐与聚羧酸盐复合防垢剂	
第六节 其他方法 .....	(81)
一、橡碗栲胶法；    二、石墨法；    三、物理法	
第七节 锅炉的排污 .....	(84)
一、排污的目的；    二、排污量的确定；    三、排污的方式；    四、排污的装置	
第八节 锅内处理的有关注意问题 .....	(86)
<b>第六章 离子交换的基本知识 .....</b>	<b>(88)</b>
第一节 离子交换剂 .....	(88)
一、离子交换剂的分类；    二、离子交换剂的制造；    三、离子交换树脂结构类型；	
四、树脂的命名	

第二节 离子交换的原理 .....	(93)
第三节 离子交换剂的性能 .....	(96)
一、离子交换树脂的物理性能；    二、离子交换树脂的化学性能	
第四节 离子交换平衡.....	(102)
一、离子交换选择性系数；    二、离子交换平衡的计算	
第五节 离子交换的速度.....	(104)
一、离子交换的过程；    二、离子交换的速度	
<b>第七章 水的离子交换处理.....</b>	<b>(106)</b>
第一节 顺流式固定床钠离子交换法.....	(106)
一、固定床离子交换的原理；    二、固定床钠离子交换法	
第二节 部分钠离子交换法.....	(110)
第三节 氢-钠离子交换法 .....	(112)
一、采用强酸性H离子交换剂的H-Na离子交换；    二、采用弱酸性H离子交换剂的	
H-Na离子交换；    三、H型交换剂采用贫再生方式的H-Na离子交换；    四、除碳器	
第四节 部分氢离子交换法.....	(117)
第五节 氨-钠离子交换法 .....	(119)
一、NH <sub>3</sub> -Na离子交换软化、除碱的原理；    二、NH <sub>3</sub> -Na离子交换的系统与操作	
第六节 氯-钠离子交换法 .....	(120)
第七节 顺流式固定床离子交换器的运行及其常见故障处理.....	(121)
一、顺流式固定床离子交换器的运行；    二、离子交换器的常见故障和处理	
第八节 顺流式固定床离子交换设备与再生系统.....	(125)
一、顺流式离子交换器的结构；    二、再生系统	
第九节 逆流式固定床离子交换器.....	(128)
一、逆流再生的原理；    二、逆流再生设备的结构；    三、逆流再生设备的运行操作；	
四、无顶压逆流再生；    五、顺流式钠离子交换器改为逆流式实例	
第十节 浮动床.....	(132)
一、浮动床工作原理；    二、浮动床的设备结构；    三、浮动床的操作方法；	
四、浮动床的特点；    五、体内抽气擦洗式浮动床	
第十一节 移动床与流动床.....	(138)
一、移动床；    二、流动床	
第十二节 计算实例.....	(140)
第十三节 水的化学除盐.....	(141)
一、原理；    二、运行；    三、混合床除盐	
第十四节 离子交换装置应用展望.....	(145)
一、自控单阀多柱浮床；    二、ZF型自动浮床软水器；    三、S流式浮动床；    四、清洗床；	
五、双流式离子交换器；    六、满罐逆流再生离子交换器	
第十五节 水处理系统的防腐.....	(148)
一、橡胶衬里；    二、防腐涂料；    三、玻璃钢；    四、聚氯乙烯塑料；    五、不锈钢	
第十六节 电渗析.....	(151)
一、电渗析原理；    二、电渗析器的结构；    三、电渗析器的运行	

<b>第八章 给水的除氧</b> .....	(158)
<b>第一节 热力除氧的原理和设备结构</b> .....	(158)
一、热力除氧的原理；    二、热力除氧器的结构；    三、热力除氧器的运行；	
四、热力除氧器的调整	
<b>第二节 真空除氧</b> .....	(163)
<b>第三节 化学除氧</b> .....	(164)
一、钢屑除氧；    二、化学药剂除氧	
<b>第九章 锅炉水垢的清除和停炉保护</b> .....	(168)
<b>第一节 化学清洗除垢</b> .....	(168)
一、酸洗除垢；    二、碱洗(煮)除垢	
<b>第二节 橡胶栲胶除垢</b> .....	(173)
一、除垢原理；    二、除垢方法；    三、注意事项	
<b>第三节 停炉腐蚀与保护</b> .....	(174)
一、停炉腐蚀的原因；    二、停炉保护的方法；    三、停炉保护方法的选择	
<b>第四节 新炉的煮炉</b> .....	(177)
一、新装锅炉煮炉的必要性；    二、煮炉的药剂；    三、煮炉操作	
<b>第十章 低压锅炉的水质标准</b> .....	(179)
<b>第一节 水质标准制订的目的和依据</b> .....	(179)
<b>第二节 低压锅炉水质标准</b> .....	(180)
<b>第三节 低压锅炉水质标准中某些标准的说明</b> .....	(182)
一、关于给水水质标准；    二、关于锅水水质标准	
<b>第四节 执行水质标准的技术管理</b> .....	(184)
一、化学监督；    二、技术对策	
<b>第十一章 水质分析原理</b> .....	(186)
<b>第一节 分析天平的结构和使用</b> .....	(186)
一、空气阻尼天平的结构；    二、半自动电光天平的结构；    三、砝码；	
四、分析天平的使用；    五、分析天平使用规则	
<b>第二节 容量器皿的洗涤和使用</b> .....	(191)
一、容量器皿的洗涤；    二、容量器皿的使用	
<b>第三节 常用化学试剂</b> .....	(194)
<b>第四节 重量分析法</b> .....	(195)
一、重量分析对沉淀的要求；    二、重量分析结果的计算	
<b>第五节 滴定分析法</b> .....	(196)
一、酸碱滴定法(中和法)；    二、氧化还原滴定法；    三、沉淀滴定法；    四、络合滴定法	
<b>第六节 比色分析法</b> .....	(204)
一、目视比色法；    二、光电比色法	
<b>第七节 电化学分析法</b> .....	(205)



一、电位分析法； 二、电导分析法

<b>第十二章 水质分析方法</b> .....	(209)
<b>第一节 水样的采集</b> .....	(209)
<b>第二节 悬浮固形物的测定</b> .....	(210)
一、概要； 二、仪器； 三、试剂； 四、测定方法	
<b>第三节 溶解固形物的测定</b> .....	(211)
一、概要； 二、仪器； 三、试剂； 四、测定方法	
<b>第四节 pH值的测定</b> .....	(212)
一、pH电极法； 二、比色法	
<b>第五节 氯化物的测定(硝酸银滴定法)</b> .....	(217)
一、概要； 二、试剂； 三、测定方法	
<b>第六节 碱度的测定(滴定法)</b> .....	(218)
一、概要； 二、试剂及配制； 三、测定方法	
<b>第七节 酸度的测定(滴定法)</b> .....	(219)
一、概要； 二、试剂； 三、测定方法	
<b>第八节 硬度的测定(EDTA 滴定法)</b> .....	(220)
一、概要； 二、试剂； 三、测定方法	
<b>第九节 磷酸盐的测定</b> .....	(223)
一、磷钒钼黄分光光度法； 二、磷钼蓝比色法	
<b>第十节 铁的测定(磺基水杨酸分光光度法)</b> .....	(225)
一、概要； 二、仪器； 三、试剂； 四、测定方法	
<b>第十一节 溶解氧的测定</b> .....	(226)
一、两瓶法； 二、靛蓝二磺酸钠比色法	
<b>第十二节 亚硫酸盐的测定</b> .....	(231)
一、碘量法； 二、盐基品红分光光度法	
<b>第十三节 油的测定(重量法)</b> .....	(233)
一、概要； 二、仪器； 三、试剂； 四、测定方法	
<b>第十四节 水质全分析结果的校核</b> .....	(234)
一、审查阳、阴离子以相当于具有一个电荷的粒子作基本单元的物质的量浓度总数；	
二、审查总含盐量与溶解固形物； 三、pH值的校核	

## 附 录

<b>一、常见元素的相对原子质量</b> .....	(239)
<b>二、水分析中常用的化学药品</b> .....	(239)
<b>三、酸、碱电离常数</b> .....	(241)
1. 酸电离常数； 2. 碱电离常数	
<b>四、溶度积和溶解度</b> .....	(242)
<b>五、常用药剂的性能</b> .....	(242)
<b>六、常用溶液的密度</b> .....	(244)
1. 硫酸溶液的密度； 2. 盐酸溶液的密度； 3. 氢氧化钠溶液的密度；	

4. 氯化钠溶液的密度；	5. 石灰乳的密度；	6. 氨水的密度；	
7. 重于水的液体的波美度与相对密度的关系；	8. 其他一些盐类水溶液的密度		
七、有关单位的换算	.....		(249)
1. 水处理中常用单位及换算；	2. 筛目表		
八、磺化煤的性能	.....		(250)
九、实验室用离子交换树脂的准备和纯水的制备	.....		(250)
十、酸、碱标准溶液的配制与标定	.....		(251)
十一、乙二胺四乙酸二钠盐(EDTA)标准溶液的配制与标定	.....		(254)
十二、高锰酸钾标准溶液的配制与标定	.....		(254)
十三、硫代硫酸钠标准溶液的配制与标定	.....		(255)
十四、碘标准溶液的配制与标定	.....		(257)
十五、水分析常用的仪器	.....		(257)
化学元素周期表	.....		(259)
参考文献	.....		(260)

# 第一章 化学基本知识

## 第一节 物质的运动和性质

自然界是由物质构成的。水、空气、食盐、钢铁等都是物质。

自然界的任何物质都是处在不断地运动状态中,而且其运动形式是多种多样的。例如,水在锅炉中受热变成蒸汽,蒸汽在温度调节设备中又能冷凝成水。在上述过程中,水能由液态变成气态,又能由气态变成液态,虽然状态发生了变化,但没有新物质产生。我们通常把物质仅发生外形或状态的变化而没有产生新物质的运动形式,叫做物理变化。物质通过物理变化所表现出来的性质,叫做物理性质。如物质的形态、颜色、气味、密度、沸点、溶解性等都是物理性质。如果锅炉用煤作为燃料,煤在炉膛中燃烧以后,煤中的碳和空气中的氧结合成为二氧化碳,在这个过程中,有新物质二氧化碳产生,我们通常把这种有新物质生成的运动形式,叫做化学变化,或叫做化学反应。在化学变化中,往往有热量的变化,有时还有光的发射或吸收,碳燃烧时就发热发光。物质通过化学变化而表现出来的性质,叫做化学性质。化学变化也是多种多样的。由两种或两种以上的物质起变化而成为一种新物质的反应,叫做化合反应。如上述的煤中的碳和空气中的氧互相化合成为二氧化碳的反应。由一种物质变成两种或两种以上新物质的反应叫做分解反应。如石灰石(碳酸钙)灼烧成为石灰(氧化钙)和二氧化碳的反应。物质的这些性质只有在起化学变化时才表现出来,所以叫做化学性质,物质能够变色,放出气体,产生沉淀等属于化学性质。

物质的这些不同性质,是由物质本身的结构所决定的。化学的任务就是研究物质的组成、结构、性质和化学变化的规律。

## 第二节 物质的组成

### 一、分子

不同的物质,具有不同的性质;相同的物质具有相同的性质。人们经过长时期的实践,证明了物质是由分子构成的。分子是能够独立存在,并且保持物质化学性质的最小微粒。分子非常小,水分子的直径大约是  $2.8 \times 10^{-8} \text{cm}$ 。一滴水(约  $0.05 \text{mL}$ )中就有  $1.5 \times 10^{21}$  个分子。而分子又是由更小的微粒——原子构成的。原子是在化学反应中不能再分割的最小微粒。在同一种分子中含有原子的种类和数目是一定的。如水分子中有两个氢原子和一个氧原子。分子和原子都是处在不断地运动状态,其运动情况与外界条件有关。

### 二、原子

现代科学已证实,原子是由一个小而致密的原子核和一个围绕原子核存在有电子出现的区域组成。原子核由质子和中子组成,它们统称为核子。质子和中子的质量几乎相等。质子

1. 在人民生活和贸易中,质量习惯称为重量。

带一个单位的正电荷,中子不带电,所以原子核带正电荷。

原子核外面的电子数目和质子数目相等。每一个电子带一个单位负电荷,并在原子核周围的空间高速运动。因为原子中的质子数和电子数是相等的,故显示电中性。例如氢原子核中,有一个质子,核外只有一个电子。而氧的原子核中有8个质子,8个中子,核外有8个电子。所以氢和氧原子都显电中性。

### 三、元素、核素和同位素

#### 1. 元素

元素是核电荷数相同的一类原子的总称,如氧元素、碳元素等。到目前为止,人们在自然界中发现88种元素,但由这些元素所组成的物质种类却非常多。

为了方便,在化学上各种元素都用一定的符号表示。这个符号是用元素名称的拉丁文开头的第一个字母表示,如果有两个元素拉丁文的名称开头第一个字母相同,则用两个字母,第一个字母大写,第二个字母小写。例如氧的元素符号用“O”表示,铁的元素符号用“Fe”表示。

元素符号具有下面三个意义:

- ①表示一种元素;
- ②表示这种元素的一个原子;
- ③表示这种元素的相对原子质量(以前叫原子量)。

常用的元素名称、符号和相对原子质量见附录一。

#### 2. 核素

核素是具有一定数目的质子和一定数目的中子的一种原子。

例如原子核中有6个质子和6个中子的碳原子,称C—12核素;原子核中有6个质子和7个中子的碳原子,称C—13核素。

#### 3. 同位素

同种元素的不同核素含有的质子数相同,化学性质也相同,在元素周期表中占同一位置,所以把同一元素的不同核素互称为同位素。

同一元素的各种同位素的原子核虽然不同,但它们的核外电子数和基本化学性质相同,发生同样的化学反应,故共存于所生成的各种物质中。

### 四、原子质量和相对原子质量

#### 1. 原子质量

原子质量可以用克(g)表示,如 $^{12}\text{C}$ 的原子质量用克表示应为 $1.9927 \times 10^{-23} \text{g}$ ,数值很小,使用很不方便,正像我们用吨(t)表示1粒小米的质量一样。1973年国际计量局规定:一个 $^{12}\text{C}$ 核素原子质量的 $\frac{1}{12}$ 为“统一原子质量单位”,用“u”表示。例如 $^{12}\text{C}$ 的原子质量为12u,其他核素的1个原子的质量是1个原子质量单位的多少倍就是那种核素的原子质量。如: $^{16}\text{O}$ 的原子质量是“原子质量单位”的15.994915倍,所以它的原子质量为15.99415u。

仅 $^{12}\text{C}$ 核素的原子质量是整数,其他核素的原子质量都是小数。

#### 2. 元素的平均原子质量

大多数元素都有同位素,而其每一核素一个原子的质量又各不相同。某元素所有天然同位素原子质量的加权平均值称为该元素的平均原子质量,其单位仍以u表示。

加权平均值不同于算术平均值,它考虑了各同位素在自然界中的相对含量。

#### 3. 相对原子质量

元素的相对原子质量在数值上等于元素的平均原子质量除以  $u$  而得。它是无量纲的。

在一般化学计算中,根据有效数字的要求,有时可采用相对原子质量的近似值进行计算。例如碳的相对原子质量为 12.01114,近似值可取 12.0;氯的相对原子质量为 35.453,近似值可取 35.5。

## 五、单质和化合物

按照组成物质的元素种类多少,可把物质分成两大类:单质和化合物。

### 1. 单质

如果物质的分子是由同种元素组成的,则把这种物质叫做单质。根据单质的性质,又可分为金属和非金属两大类。铁、铜等都是金属,具有金属光泽、导电、传热等性质;氧气、氮气等都是非金属,不具有金属光泽、导电、传热等性质。

### 2. 化合物

如果物质的分子是由不同种元素组成的,则把这种物质叫做化合物。如食盐(氯化钠)由氯和钠两种元素组成;碳酸钙(石灰石)由碳、钙、氧三种元素组成。化合物也可根据它们的组成和性质分为有机化合物和无机化合物。无机化合物又可分为酸、碱、盐和氧化物等。

另外,物质还有纯净物和混合物之分。由一种单质或一种化合物组成的物质叫纯净物质。世界上绝对纯的物质是没有的。化学上用的所谓纯净物质也是相对的,只是指这种物质中杂质含量很少(如 0.01%)。由几种不同的单质或化合物任意混合在一起,而且保持原来性质的物质,叫混合物。如空气是由氧气、氮气、二氧化碳、水蒸汽、少量的惰性气体、灰尘和其他杂质混合在一起的混合物。

## 六、分子式和相对分子质量

### 1. 分子式

用元素符号表示某种物质分子组成的式子,叫做分子式。因为在同一种单质或化合物分子中,元素的种类和各种元素的原子数是一定的,即各种物质都具有一定的组成。因此,可以用元素符号表示某种物质的组成。例如水的分子式为  $H_2O$ ,二氧化碳的分子式为  $CO_2$ 。

写单质分子式时,先把元素符号写出,组成分子的原子数写在元素符号的右下角。例如氧分子是由两个氧原子组成,所以氧气的分子式写成  $O_2$ 。

写化合物分子式时,必须先知道这种化合物的分子由哪些元素组成,每种元素有几个原子。通常把金属元素和氢元素写在左方,非金属写在右方,各元素的原子数写在该元素符号的右下角。例如氧化铁中含有两个铁原子和三个氧原子,所以它的分子式写成  $Fe_2O_3$ 。

由非金属和氧元素组成的化合物,它的分子式是把非金属写在左方,氧元素写在右方。例如二氧化碳写成  $CO_2$ 。

### 2. 相对分子质量

用“原子质量单位”来表示物质分子的质量,叫做相对分子质量(以前叫分子量)。相对分子质量等于组成这个分子的各个原子的相对原子质量的总和。例如水( $H_2O$ )的相对分子质量是  $1 \times 2 + 16 = 18$ 。

因为元素符号表示这种物质的相对原子质量。因此,分子式也表示它的相对分子质量。同时,分子式只表示这种物质的一个分子。在分子式前面写上数字,就表示这种分子的个数。例如  $3H_2O$  表示三个水分子。

分子式有如下五种含义,以  $H_2O$  为例:

(1)表示物质的一个分子——代表一个水分子;

(2)表示组成物质的元素——水由氢、氧两种元素组成；

(3)表示物质一个分子中各元素的原子数——水分子中含有两个氢原子和一个氧原子；

(4)表示物质的相对分子质量——水的相对分子质量 $=1\times 2+16\times 1=18$ ；

(5)表示组成物质的各元素的质量比——水分子中氢与氧的质量比 $=1:8$ 。

### 3. 有关分子式的计算

(1)根据分子式计算相对分子质量。如硫酸的分子式是 $H_2SO_4$ ，相对分子质量为 $1\times 2+32+16\times 4=98$ 。

(2)计算组成分子的各元素的质量比。如 $H_2SO_4$ 中氢、硫、氧的质量比为 $1:16:32$ 。

(3)计算组成分子的各元素的百分组成。如硫酸中硫的百分组成为：

$$\frac{S}{H_2SO_4} \times 100\% = \frac{32}{98} \times 100\% = 32.6\%$$

同样可求得硫酸中氢和氧的百分组成。

## 第三节 化合价、化学方程式

### 一、元素的化合价

化合价表示各种元素相互化合时的原子数之间的比例关系。通常以氢的化合价为1，其他元素的化合价，可根据该元素一个原子能和几个氢原子化合，或可置换几个氢原子来决定。例如氢燃烧时，二个氢原子和一个氧原子结合成一个水分子( $H_2O$ )，其中氢和氧的原子数之比是 $2:1$ ，所以氧的化合价为2。由于氧的化合物比氢的化合物还多，所以元素的化合价也常以氧为2价进行推算。例如氧化物 $Al_2O_3$ 、 $CaO$ 中铝为3价，钙为2价。

在化合物中，元素的化合价有正价和负价两种。一般氢是+1价，氧是-2价。而且化合物中正价总数和负价总数相等。如 $Al_2O_3$ 中铝为+3价，氧为-2价。

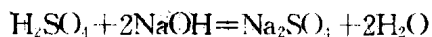
一般来说，金属元素都是正价，而非金属元素和氢化合时显示负价，和氧化合时显示正价。如硫在 $H_2S$ 中是-2价，在 $SO_2$ 中是+4价。

在一般情况下， $H_2SO_4$ 中的一个硫原子和四个氧原子形成一个原子团。这个原子团在一般的化学反应中不再分解，类似化合物分子中的一个原子。这种原子团叫做“根”。根在化合物中也有自己的化合价。单独写根时，通常在它的右上角标明它的价数，以表示它是带电的离子而不是中性分子。如氢氧根 $OH^-$ ，碳酸根 $CO_3^{2-}$ ，磷酸根 $PO_4^{3-}$ ，铵离子 $NH_4^+$ 。

有许多元素在不同的化合物中，显示不同的化合价。如铁在 $Fe_2O_3$ 中为+3价，而在 $FeO$ 中为+2价。常用元素的化合价见附录一。

### 二、化学方程式

用元素符号和分子式来表示化学反应的式子，叫做化学方程式。因为化学反应只是原子间的重新组合，因此，化学反应后各元素原子的总数应等于反应前各元素原子的总数。也就是说，反应前后物质的总质量不变。这就是质量守恒定律。例如在硫酸中加入氢氧化钠，生成硫酸钠和水，可写为：

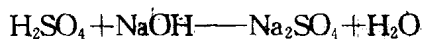


化学方程式的写法：

1. 根据化学反应事实写出反应物和生成物

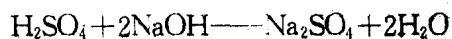
左边写反应物分子式，右边写生成物分子式，反应物和生成物之间划一条短线。如果反应

物和生成物在两种以上,就用“+”号连接起来。如上述硫酸和氢氧化钠的反应:

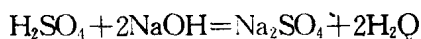


2. 根据质量守恒定律,配平方程式

在上式两边分子式前配上适当的系数,使两边各元素的原子数相等,上式中钠原子和氢原子数不相等。在氢氧化钠和水分子前加系数 2。

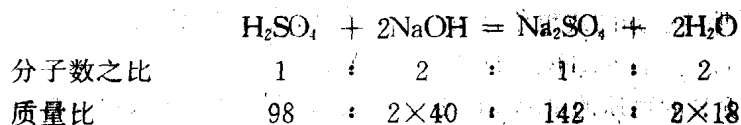


3. 如果两边原子数完全相等,将短线改为等号



到这里才算写出了完整的化学方程式。

根据化学方程式既可以知道反应物和生成物,又可以知道它们的分子数之比和质量比,例如:



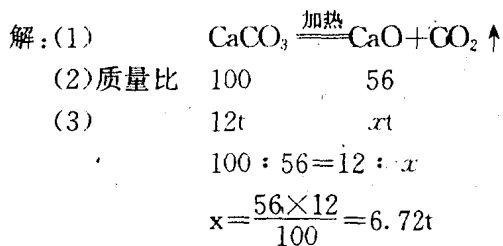
所以必须准确地书写化学方程式。

### 三、根据化学方程式的计算

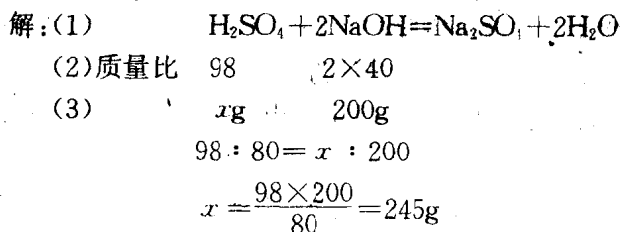
根据化学方程式,由已知反应物的量计算生成物的量,或由生成物的量计算所需反应物的量。步骤如下:

- (1) 写出化学方程式;
- (2) 算出与题有关物质的质量比或有关比例;
- (3) 按照题意,列出比例式,进行计算。

例 1 石灰石( $\text{CaCO}_3$ )经灼烧后,可以生成生石灰( $\text{CaO}$ ),并放出  $\text{CO}_2$  气体,若灼烧 12t 石灰石(假设不含杂质),可以产生多少吨生石灰?



例 2 200g 氢氧化钠,需用多少克 98% 的浓硫酸和它完全中和?



求得的值是纯硫酸的质量。按题意,再求 98%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  的量:

$$\frac{245\text{g}}{0.98} = 250\text{g}$$

## 第四节 物质的量和摩尔

### 一、物质的量

物质 B 的物质的量  $n_B$ , 是从粒子数  $N_B$  这一角度出发, 用以表示物质多少的一个物理量, 它是正比于系统中单元 B 的数目  $N_B$  的量, 即

$$n_B \propto N_B$$

或

$$n_B = \frac{1}{N_A} N_B$$

式中  $N_A$  ——阿伏伽德罗常数。

换句话说, 物质的量  $n_B$  是以阿伏伽德罗常数为计数单位, 来表示物质的指定的基本单元是多少的一个物理量。

基本单元可以是原子、分子、离子、电子及其他粒子, 或是这些粒子的特定组合。所谓特定组合, 并非只限于那些已知的或想象存在的独立单元, 或含整数原子数的组合。

例如, 单元可以是  $\text{NaOH}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\frac{1}{5}\text{KMnO}_4$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  等。

凡是说到物质 B 的物质的量  $n_B$  时, 必须用元素符号、化学式或相应的粒子符号标明基本单元, 否则表示的意思将含糊不清。

例如, 讨论硫酸铜时, 若含糊地写成“硫酸铜”物质的量, 则是不允许的。因为基本单元是  $\text{CuSO}_4$ , 还是  $\frac{1}{2}\text{CuSO}_4$  等并未指明。

如用 B 泛指基本单元, 则将 B 写在右下角; 若基本单元有具体所指, 则应将代表单元的符号写于与量的符号齐线的括号中, 如  $n(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 。

物质的量是一个基本量, 它有自己的量纲。因此, 不要把物质 B 的物质的量  $n_B$  与 B 的质量  $m_B$  混同起来。物质的量和质量是两个独立的基本量, 是对物质的两种不同属性进行度量时引入的两种物理量, 是完全不同的两种概念。

### 二、摩尔

摩尔是物质的量的单位。中文表示为摩[尔], 符号为 mol。

对于摩尔, 1971 年第 14 届国际计量大会给出以下的定义:

(1) 摩尔是一系统的物质的量, 该系统中所含的基本单元数与 0.012kg 碳—12 的原子数目相等。

(2) 在使用摩尔时, 基本单元应予指明, 可以是原子、分子、离子、电子及其他粒子, 或是这些粒子的特定组合。

定义的第一条说明摩尔是物质的量的单位, 并给出了它的大小。0.012kg<sup>12</sup>C 所含的原子数目  $N_A$  (阿伏伽德罗常数), 现经各种实验方法测定约为  $6.022045 \times 10^{23}$ 。因此, 若某物质系统所含的基本单元的数量等于  $N_A$  时, 那么该系统的物质的量即为 1mol。

定义的第二条要求讨论摩尔时与讨论物质的量一样必须指明基本单元, 否则, 所说的摩尔就没有明确的意义。例如:

1mol H, 表示有  $N_A$  个氢原子;

1mol  $\text{O}_2$ , 表示有  $N_A$  个氧分子;

1mol ( $\frac{1}{2}\text{O}_2$ ), 表示有  $N_A$  个 ( $\frac{1}{2}\text{O}_2$ ), 亦即有  $N_A/2$  个氧分子;

1mol ( $\frac{1}{5}\text{MnO}_4^-$ ), 表示有  $N_A$  个 ( $\frac{1}{5}\text{MnO}_4^-$ ), 亦即有  $N_A/5$  个  $\text{MnO}_4^-$ 。



### 三、摩尔质量

1 摩尔物质的质量叫摩尔质量。单位为克每摩[尔](g/mol),用符号  $M$  表示。例如 1 摩尔  $^{12}\text{C}$  的质量是 0.012kg,则  $^{12}\text{C}$  的摩尔质量就是 12g/mol。当已知物质的质量为  $m$  和摩尔质量为  $M$  时,物质的量  $n$  可依下式换算:

$$n = \frac{m}{M} \quad (1-1)$$

在用到摩尔质量这个量时,也必须指明基本单元,对于同一物质,规定的基本单元不同,则其摩尔质量就不同。

任何元素原子的摩尔质量,单位为克每摩[尔]时,数值上都等于其相对原子质量,此结论可推广到分子、离子及其他微粒。例如:

$\text{O}_2$  的相对分子质量=32, $\text{O}_2$  的摩尔质量=32g/mol;

$\text{Cu}^{2+}$  的相对分子质量=63.5, $\text{Cu}^{2+}$  的摩尔质量=63.5g/mol。

摩尔质量为计算提供了方便,例如要计算某物系中 B 的物质的量,只需精确称量 B 的质量,知道了 B 的相对分子质量,就可求出物质的量  $n_B$ ,并不需要计算 B 的个数是阿伏伽德罗常数  $N_A$  的多少倍。

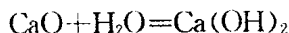
在实际应用中,有时感到摩尔这个单位太大,而需经常采用毫摩[尔]或微摩[尔],符号分别为 mmol 和  $\mu\text{mol}$ 。1mol 等于 1 000mmol,1mmol 等于 1 000 $\mu\text{mol}$ 。

## 第五节 常见的化学反应

化学反应的种类很多,这里介绍的仅是锅炉水处理工作中常遇到的几种化学反应。

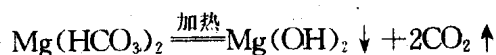
### 一、化合反应

由两种或两种以上的物质,互相化合生成一种新物质的反应,叫做化合反应。例如生石灰( $\text{CaO}$ )和水反应生成熟石灰:



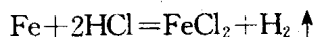
### 二、分解反应

一种物质,分解成两种或两种以上的新物质的反应,叫做分解反应。例如加热碳酸氢盐的反应:



### 三、置换反应

单质的原子代替化合物分子中另一种原子的化学反应,叫做置换反应。例如铁受盐酸腐蚀的反应:



### 四、氧化还原反应

在化学反应过程中,如果参加化学反应的元素的化合价发生了改变,这类反应称为氧化还原反应。

例如氧和亚硫酸钠的反应:

