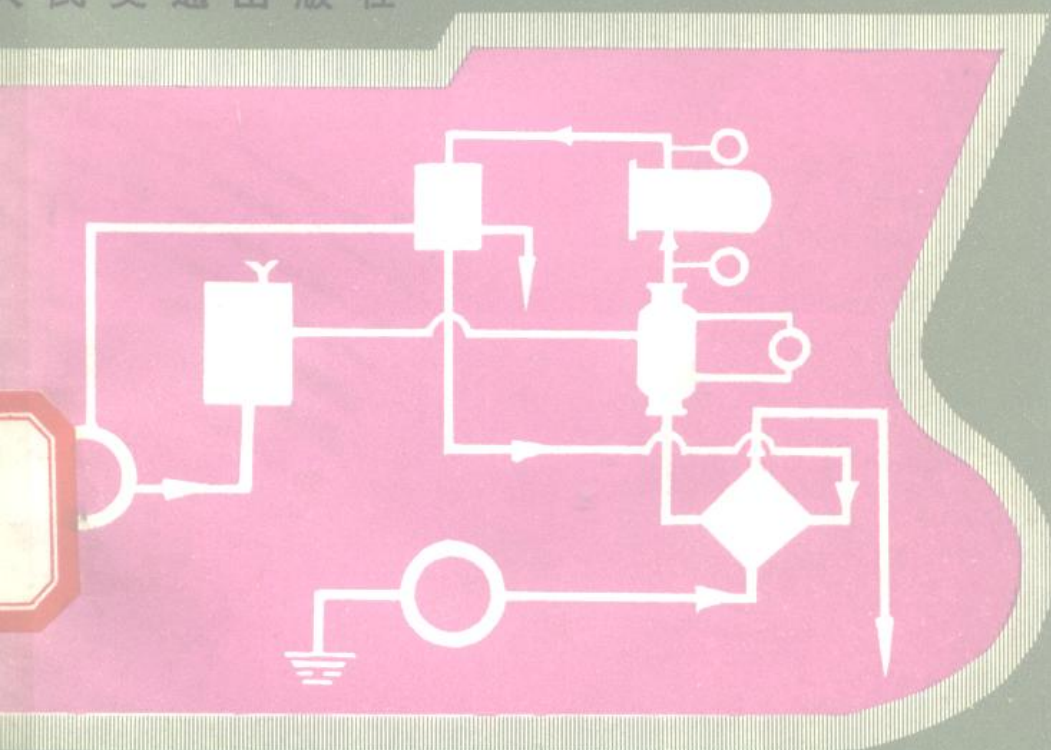


船舶水质处理

杨鸥 编译

人民交通出版社



船舶水质处理

杨 鸥 编译

人民交通出版社

内 容 提 要

本书主要是阐述船舶水质处理的基本原理和近年来国外船舶水质处理的应用状况。涉及范围有炉水处理、柴油机冷却水、饮水和污水处理等。重点是炉水的化学处理。全书共分基础和应用两部分。基础部分(第一至第三章)有水的基本性质、水化学基础、水中杂质造成的危害。应用部分(第四至第六章)有水质处理、清洗和保存、水质试验。

由于国外船用锅炉已趋向中、高压,水质处理技术也达到较高水平。因此,我们在具体应用时必须考虑到本船的特点,在掌握基本原理的基础上灵活应用。

本书较适合轮机人员、水质管理人员以及有关技术人员参考。

本书由杨鸥编译,陈其镔审阅。

船 舶 水 质 处 理

杨 鸥 编译

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第006号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092 1/32 印张: 5.5 字数: 117 千

1980年5月 第1版

1980年5月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—3,500册 定价: 0.45元

目 录

基 础 部 分

第一章 水的基本性质

第一节 概 论	1
第二节 水的化学成分和物理结构	2
第三节 水的化学性质——溶解特性	4
第四节 表示水中物质浓度的单位	6
一、水中含有微量物质的浓度单位	6
二、溶解于水中的气体的浓度单位	6
三、水质处理、试验时使用的浓度单位	6
第五节 船舶用水的性质	7
第六节 表示水质的有关术语	9
一、酸、碱、盐	9
二、pH 值(氢离子浓度)	10
三、硬 度	12
四、碱 度(酸消耗量)	14
五、电导率	15
第二章 水化学基础	17
第一节 水化学的基本原理	17
第二节 图象化的化学反应式	20
一、杂 质	21
二、反应生成物——水垢、泥渣	23
三、腐蚀生成物	24

四、与水质处理有关的化学反应·····	27
第三节 化学反应计算·····	29
第三章 水中杂质造成的危害·····	31
第一节 对锅炉、透平系统的危害·····	31
一、产生水垢、泥渣·····	32
二、发生腐蚀·····	41
第二节 对冷却水系统的危害·····	54
一、产生水垢、泥渣·····	55
二、发生腐蚀·····	58
第三节 饮水与排水·····	66
一、对饮水污染的后果·····	66
二、排水污染海水·····	67

应用部分

第四章 水质处理·····	68
第一节 水质标准·····	68
一、锅炉给水、炉水标准·····	69
二、冷却水·····	76
三、饮水标准·····	77
四、排水标准·····	79
第二节 锅炉、透平系统的水质处理·····	81
一、使用设备进行水质处理·····	81
二、添加药剂调整水质·····	98
第三节 冷却水系统的水质处理·····	108
一、用设备对冷却水的处理·····	108
二、用药剂对冷却水的处理·····	111
第四节 饮水、排水的调整管理·····	117
一、饮 水·····	117

二、排 水	120
第五章 清洗和保存	124
第一节 锅炉及附属设备的清洗	125
一、机械清洗法	125
二、化学清洗法	125
三、化学清洗方式	138
四、化学清洗的准备工作及注意事项	139
第二节 锅炉的保存法	143
一、满水保存法	143
二、干燥保存法	144
第三节 冷却水系统的清洗法	145
第六章 水质试验	146
第一节 水样采取方法	149
一、炉水采取方法	149
二、给水采取方法	151
三、蒸汽采取方法	154
四、冷却水采取方法	156
第二节 水质分析简介	156
一、混浊度	157
二、pH 值(氢离子浓度)	157
三、电导率	158
四、碱 度(酸消耗量)	158
五、硬 度	159
六、总铁量	160
七、总铜量	160
八、氯离子	161
九、余 氯	162
十、二氧化硅	162

十一、硫酸离子(硫酸盐).....	162
十二、亚硫酸离子(亚硫酸盐).....	163
十三、磷酸离子(磷酸盐).....	163
十四、耗氧量.....	164
十五、油 脂.....	164
十六、蒸发残渣.....	165
十七、氨 氮.....	167
参考资料.....	168

基础部分

第一章 水的基本性质

第一节 概 论

水是自然界的产物。可以说，有史以来地球上水的数量就未曾变化过。然而，水在形态上却是一刻不停地变化着。我们所看到的水，有时呈液态，有时为固态和气态，随着地球上气候的变化，水不断地从一种形态变化到另一种形态。

水从江河、海洋蒸发到空中，通过雨、雪等形式降回大地，最后又流到海洋，是一个永无休止的循环过程。雨、雪降落到大地后，一般来说需要几个月，甚至几年时间才能重新回到海洋。水在这漫长的旅途中，渗过数不尽的土层，流经条条江河，各种各样自然界的矿物、盐类和人们废弃的污物充分溶解于水中，使本来比较纯洁的凝水满载杂质回到海洋。当水再从海洋蒸发时，这些杂质就留在海水中。通过千百万年不断的蒸发、浓缩，而今海洋的含盐量都大大超过了陆地的淡水。

在船舶蒸汽动力装置系统中，同样也有水循环的过程。有蒸发、冷凝和杂质的溶解等。在锅炉的给水中如果含有杂质，当炉水蒸发时，蒸汽仅带走极少量的杂质，而大多数杂质都留在炉水中，如此不断地循环，炉水就不断地浓缩。

一般来说,当蒸汽在冷凝器内被凝成凝水时还比较纯洁。但是,如果装置设备的机能失调或损坏,海水由冷凝器漏入凝水、盐类由蒸发器(造水装置)混入蒸汽、油从油加热器漏入加热蒸汽,以及被腐蚀的金属生成物混入系统等因素,都是杂质的来源,它们污染了清洁的水。

第二节 水的化学成分和物理结构

人们利用水的形态易变的特点,使它蒸发后去作功或加热,然后又将它冷凝成液态。水能改变其形态而不改变其本质,这是它的物理和化学性能所决定的。水是由一个氧和两个氢组成的物质,当它们化合后形成了水。如图 1-1 所示。

应用形象化的图象法来表示化学反应方程可以加强理解,使印象更深刻。本书的基础部分将尽量采用这种表示方式。图1-2和图1-3就是用图象法表示的水的两种基本形式。

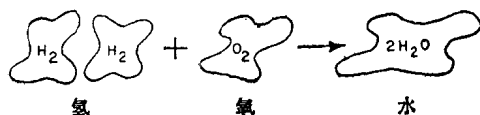


图 1-1

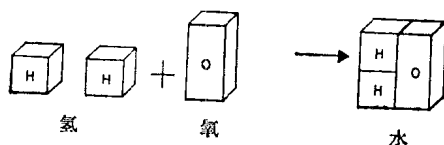


图 1-2

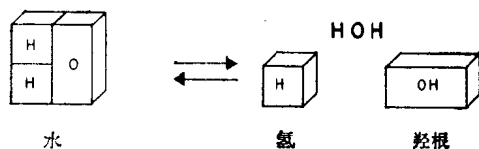


图 1-3

图 1-2 表示了水的化学成分，图 1-3 表示了水的存在形式。特别是水能分解成氢和羟根，使水具有很多种重要的化学性能。

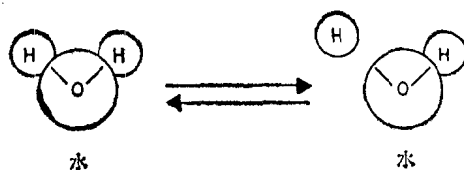
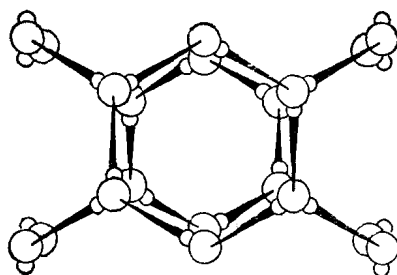


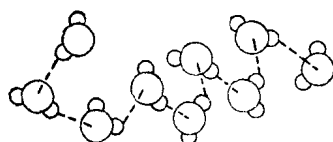
图1-4 水分子的物理结构

下面，我们再从水的物理结构来说明水的主要物理性能。从图 1-4 中可以看到一个水分子的物理结构，即一个氧原子和两个氢原子结合成水分子的两两种形式。

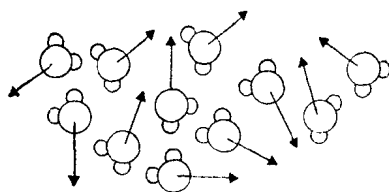
水的物理性能是水可以以气态（蒸汽）、液态和固态（冰）的形式存在，但其化学成分和结合形式却不变化。在每一种状态中，水分子都保持着同样的结合形式，但有着不同的空间布置。这种不同的空间布置又取决于水的温



固态



液态



气态

图1-5 水分子的各种结构形态

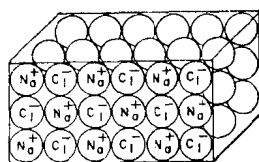
度和压力。水分子始终处于运动之中，温度和压力决定了水分子的移动速度，而水分子的运动速度又决定了它的存在状态——固态、液态和气态。固体水(冰)没有化学反应，水分子坚硬而耐压。冰被加热溶化后，水分子开始流动，并能够和其它流体和固体反应。再继续加热，水分子的运动速度更快，动能更大，和其它物质的反应能力更强。当加热到一定程度，其动能足够使其从液态变化到气态。如果在一个密闭的容器内，更快速的水分子运动形成了更高的压力和温度，水在锅炉中的变化基本上就可以得到解释。图 1-5 是水分子在各种形态的物理结构示意图。

第三节 水的化学性质——溶解特性

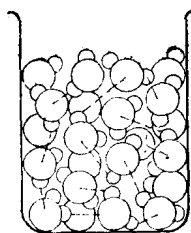
水的化学性质和物理性质之间的差异，是很难下定义，而且更难于形象化。一般来说，化学性质和化学变化发生在“微观”级，或原子级；而物理性质和物理变化发生在“宏观”级。“宏观”的意思是能够观察到足够大的变化，譬如重量、尺寸等的变化。为了说明上面的问题，我们举一个例子：如果我们将一根光洁的铁杆切割成许多小段或小片，铁杆就发生了物理变化，在尺寸上被分成若干小段和小片，在重量上也变化了。这些都是“宏观”的物理变化和物理性能。如果我们把这些碎铁片放到水里，这些铁片就会生锈，生锈的过程是一个化学变化。铁和水中的氧反应，生成了氧化铁(铁锈)。虽然人们可以观察到生锈变色的物理变化，但发生在微观级的化学变化却是观察不到的。

水有一个最重要的化学性质，即水的溶解特性。水是一种万能溶剂，它的溶解能力非常大，可以溶解它所接触到的任何物质，只不过有的物质溶解特别快，有的溶解特别慢罢了。譬如，盛在玻璃容器中的水可以溶解加入的食盐，也可

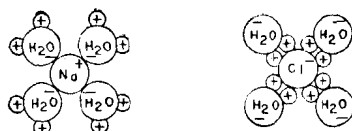
溶解与水接触到的空气（包括氮、氧、二氧化碳等气体），更有趣的是，它还能溶解极其微量的盛水的玻璃容器。当然，这个现象是发生得极端缓慢而难于观察到的。食盐（氯化钠—— NaCl ）溶解于水发生了化学变化，图 1-6 形象化地表示了这种变化。



食盐晶体



水溶液



食盐溶解于水中

图1-6 食盐溶解于水中的分子结构示意图

图 1-7 是液态水的结构，它可以被分离成氢正离子 (H^+) 和羟根负离子 (OH^-)。离子可以由单原子或几个原子组成。从图 1-8 中可以看到 C 和 D 之间的反应可以相互进行，而且水的这两种形态始终处于平衡之中。水能够以分子状态存在，又能够分离成离子，这种特性是水能够和其它物质反应的最基本条件。

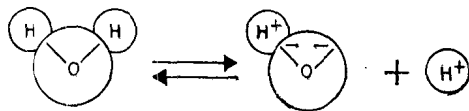


图 1-7

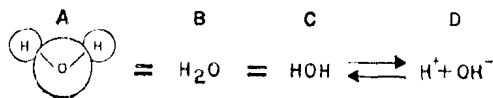


图 1-8

第四节 表示水中物质浓度的单位

一、水中含有微量物质的浓度单位

1. ppm 1 公斤水中含有物质的毫克数称为 ppm。用单位表示为毫克/公斤或 mg/kg 。在常温下, 1 升水重 1 公斤, 故 ppm 的单位也可用毫克/升或 mg/l 表示, 而且用这种单位还相当普遍。ppm 的符号在表示水质、水质处理方面使用很普遍, 而且也是国际上的通用符号, 本书也将使用这一符号。

2. ppb 1 千公斤水中含有物质的毫克数称为 ppb。用单位表示为毫克/千公斤或 $\text{mg}/1000\text{kg}$ 。同样, 也可用毫克/千升或 $\text{mg}/1000\text{l}$ 表示。一般在超高压锅炉水质管理中使用该符号。

此外, 英、美、德、法国还有他们自己的表示单位。

二、溶解于水中的气体的浓度单位

氮气(N_2)、氧气(O_2)和二氧化碳气体(CO_2)等都能溶解于水。表示其溶解浓度可以用重量比的 ppm 表示, 也可用容积比的毫升/升 (ml/l 或 cc/l) 表示。这时, 气体的容积必须换算成标准状态(0°C 、760 毫米汞柱)下的容积来进行计算。

三、水质处理、试验时使用的浓度单位

1. 百分浓度(%)

用百分率来表示溶质溶于液体的重量或容量称为百分浓度。其中又分重量百分浓度和容量百分浓度。

$$\text{重量百分浓度} = \frac{\text{溶质的重量(克)}}{\text{溶液的总重量(克)}} \times 100 (\%)$$

$$\text{容量百分浓度} = \frac{\text{溶质的容量(毫升)}}{\text{溶液的总容量(毫升)}} \times 100(\%)$$

2. 克分子浓度(莫尔浓度)

在 1 升溶液中包含的溶质, 用克分子数(莫尔数)来表示其浓度则称为克分子浓度(莫尔浓度)。例如硫酸(H_2SO_4)的分子量是 98, 克分子数是 98 克(即莫尔数), 若将 98 克的硫酸溶于 1 升水中, 则稀释的硫酸浓度称为 1 克分子浓度或 1 莫尔浓度(mol/l)。

第五节 船舶用水的性质

船舶上经常使用的水有海水、淡水和蒸馏水。

前面已经提到过, 海水是通过江河水把陆地上的盐类反复溶解, 带到海洋, 经反复蒸发、浓缩而形成含盐量很高的水。在各个海域, 海水中溶解的固体物质(杂质)浓度都不一样, 其中以红海最高, 为 5.1~6.9%; 波罗的海最低, 为 0.72%; 而太平洋为 3.4~3.6%。一般认为海水中杂质的平均浓度为 3.445%(即 34,450 ppm)。表 1-1 和表 1-2 分别表示了海水中含有的各种离子和化合物。

表 1-3 列出了水的主要物理性质, 从表中可以看到淡水和海水的物理性质差异并不太大。最主要的差异是在溶解盐类的浓度。溶解于水中的盐类会产生腐蚀, 盐类浓缩析出后会产生水垢。船舶上使用的淡水一般都由城市自来水供水系统补给, 没有太大的问题。

由造水装置制造的蒸馏水比较纯洁, 但溶解盐类过少有时反而容易引起腐蚀。蒸馏水作为饮用水时对生理上有不良影响, 因此必须根据不同用途对水质进行调整。

海水中含有的各种离子

表1-1

离子名称	符号	海水含量 (ppm)
钠离子	Na^+	10500
镁离子	Mg^{2+}	1250
钙离子	Ca^{2+}	400
钾离子	K^+	350
锶离子	Sr^{2+}	14
氯离子	Cl^-	19000
硫酸根离子	SO_4^{2-}	2700
重碳酸根离子	HCO_3^-	140
溴离子	Br^-	70
无水硅酸	SiO_2	10
其它45种物质		16
合计		34450

海水中含有的各种化合物

表1-2

名称	分子式	海水含量 (ppm)
氯化钠 (食盐)	NaCl	26680
氯化钾	KCl	1220
溴化钾	KBr	180
氯化镁	MgCl_2	820
硫酸镁	MgSO_4	3380
氯化钙	CaCl_2	910
重碳酸钙	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	380
其它		880
合计		34450

水的物理性质 (摘要)

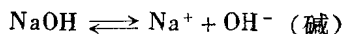
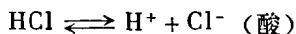
表1-3

		蒸 馏 水	淡 水	海 水
溶解盐类	(ppm)	15以下	600以下	约35,000
比 重	4°C	1.000	1.0005	1.028
	25°C	0.997	0.9976	1.024
沸 点, °C,		100	100	101
比 热	14°C	1.0000	0.999	0.945
	100°C	1.0069	1.006	—
汽化热, 卡/克,	60°C	563.2	563.2	—
	100°C	539.0	539.0	—
	200°C	463.5	463.5	—
导热系数, 千卡/米,	20°C	0.515	0.515	—
	150°C	0.587	0.587	—
氧溶解度, 毫升/升,	20°C	6.35	6.30	5.5
pH	25°C	5.4~6.8	5.8~8.0	7.6~8.2
电导率, 微欧姆/厘米	20°C	0.1~30	40~1000	约70,000

第六节 表示水质的有关术语

一、酸、碱、盐

溶解于水中的物质可以分成酸、碱和盐三类。如果溶解于水中的物质能提供自由的氢离子(H^+),则称之为酸。例如盐酸(HCl)在水溶液中能形成氢离子(H^+)和氯离子(Cl^-)。如果溶解于水中的物质能提供自由的氢氧根(羟根)离子,则称之为碱。例如氢氧化钠,也称苛性钠($NaOH$),在水溶液中能形成钠离子(Na^+)和羟根离子(OH^-)。



盐是酸和碱反应的生成物。例如盐酸和氢氧化钠反应,氢离子和羟根离子化合成水,钠离子和氯离子化合成食盐。

如图 1-9 所示。

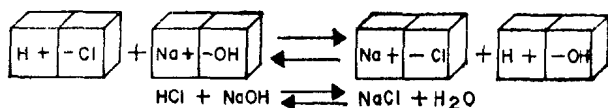


图 1-9

如果按图 1-9 的反应，配给一定量的盐酸和氢氧化钠，使在溶液中反应的生成物既没有过多的氢离子(H^+)以呈酸性，又没有过多的羟根离子(OH^-)以呈碱性，即(H^+)和(OH^-)的数量相等，则该溶液就称为中性溶液，其反应生成物称为盐。

二、pH 值（氢离子浓度）

pH 值是表示溶液中氢离子浓度的一个度量单位，它的数值可以表明溶液呈酸性还是碱性。如果把水溶液电解，形成氢离子(H^+)和羟根离子(OH^-)，在常温(25°C)下，各离子的莫尔浓度有如下的关系。

$$[\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14} \text{ (莫尔/升)}$$

在绝对中性的水溶液中，氢离子和羟根离子数相等。其数值为： $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = \sqrt{10^{-14}} = 10^{-7}$

在酸性的水溶液中氢离子数多于羟根离子数， $[\text{H}^+] > [\text{OH}^-]$ ，则 $[\text{H}^+] > 10^{-7}$ ；

在碱性的水溶液中，氢离子数少于羟根离子数， $[\text{H}^+] < [\text{OH}^-]$ ，则 $[\text{H}^+] < 10^{-7}$ 。

pH 值就是用 $[\text{H}^+]$ 倒数的对数来表示的数值。

$$\text{pH} = \log_{10} \frac{1}{[\text{H}^+]}$$

解析上式，如果 $[\text{H}^+] = 10^{-7}$ ，