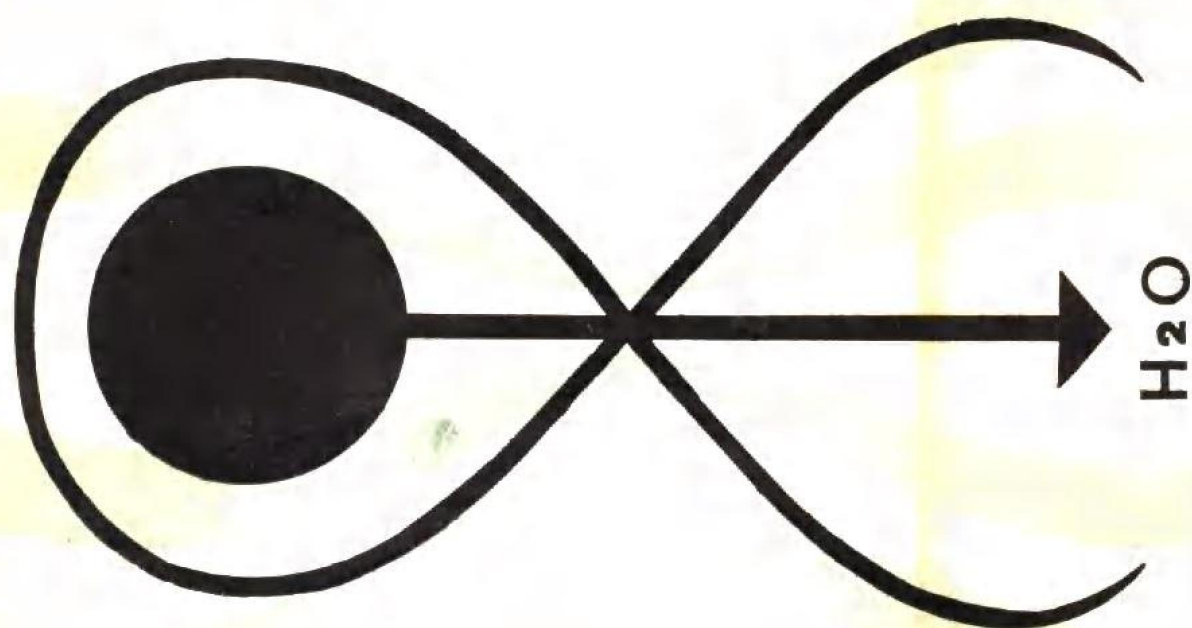


低压锅炉水处理及水分析

何子申 邸文敏 编著



黑龙江科学技术出版社

内 容 提 要

本书比较全面而系统地介绍：低压锅炉水处理的基本知识；炉内和炉外各种水处理方法和设备；锅炉的腐蚀原理和预防方法；水垢清除和停炉保护；锅炉水质和水垢分析等。可作低压锅炉水处理技术培训教材，也可供从事低压锅炉水处理工作的技术人员和有关专业人员参考。

封面设计：柳正英

低压锅炉水处理及水分析

何子申 邱文敏 编著

黑龙江科学技术出版社出版

(哈尔滨市南岗区分部街28号)

长春新华印刷厂印刷·黑龙江省新华书店发行

开本787×1092毫米1/16·印张17.25·字数380千

1984年5月第一版·1984年5月第一次印刷

印数：1—28,000

书号：15217·126

定价：2.20元

前 言

目前，我国有低压锅炉二十余万台，广泛应用于工农业生产和人民生活之中。这些锅炉设备能否安全运行，水质的处理是非常重要的。水汽工质几乎以几分钟或十几分钟为一个循环速度，周流在热力设备中，只要有短时间的工质数量不足或品质的恶化，都会成为锅炉设备的极大危害，即锅炉受热面的结垢、腐蚀损坏和蒸汽受污染等。锅炉内产生水垢以后，会使高温烟气向炉水的传热性能变坏，引起管壁温度升高和金属强度降低，使锅筒、水冷壁管或对流排管鼓疱、变形，甚至发生爆炸事故。锅炉结垢还会使排烟温度升高，浪费燃料和降低锅炉出力。因此，锅炉水处理对防止事故、节约能源、提高锅炉热效率、延长锅炉使用寿命等都具有重要意义。

为了普及锅炉水处理知识，提高水处理人员的理论技术水平，满足低压锅炉水处理技术培训的需要，我们根据几年来从事锅炉水处理管理和科研工作的经验，并参照有关技术资料，编写了《低压锅炉水处理及水分析》一书。

本书在编写过程中，曾得到黑龙江省劳动局和黑龙江省化工研究所有关同志的大力支持；成稿后，承蒙哈尔滨工业大学副教授陈崇枢和哈尔滨建筑工程学院副教授张世贤审阅，在此一并致谢。

由于编写时间短促和水平所限，错误之处在所难免，希读者批评、指正。

目 录

第一章 锅炉用水的基础知识	1
第一节 天然水中的杂质及其对锅炉的危害.....	1
第二节 水质指标.....	4
第三节 天然水的分类.....	8
第四节 锅炉用水及蒸汽概念.....	11
第五节 蒸汽污染的危害及其预防.....	12
第二章 锅炉给水的预处理	14
第一节 胶体化学基本概念.....	14
第二节 混凝处理.....	15
第三节 沉淀与澄清.....	21
第四节 沉淀软化处理.....	25
第五节 过滤处理.....	29
第三章 锅炉给水的炉内处理	39
第一节 氢氧化钠法.....	39
第二节 纯碱法.....	40
第三节 天然碱法.....	44
第四节 磷酸盐法.....	46
第五节 栲胶法.....	49
第六节 综合软水剂法.....	51
第七节 有机软水剂法.....	54
第八节 软水剂的选择及用量计算.....	57
第九节 锅炉排污.....	60
第四章 离子交换的基本知识	63
第一节 离子交换剂的分类.....	63
第二节 离子交换剂的结构.....	64
第三节 离子交换原理.....	66
第四节 离子交换剂的性质.....	67
第五节 离子交换速度.....	74
第六节 离子交换剂的使用和保管.....	76
第五章 锅炉给水的离子交换处理	79
第一节 固定床钠离子交换法.....	79
第二节 部分钠离子交换法.....	84
第三节 氢——钠离子交换法.....	86

第四节	部分氢离子交换法	92
第五节	铵——钠离子交换法	93
第六节	氯——钠离子交换法	95
第七节	固定床离子交换器的构造	95
第八节	固定床离子交换器的运行	102
第九节	浮动床离子交换水处理方法	112
第十节	离子交换器的再生系统	121
第十一节	离子交换器的设计计算	128
第十二节	化学除盐	130
第六章	连续离子交换水处理方法	133
第一节	移动床水处理方法及设备	133
第二节	流动床水处理方法及设备	144
第三节	电渗析除盐	150
第七章	锅炉设备的腐蚀及预防	160
第一节	腐蚀的形式	160
第二节	化学腐蚀	161
第三节	电化学腐蚀	162
第四节	锅炉给水系统金属的腐蚀	163
第五节	锅炉本体的腐蚀	167
第六节	影响金属腐蚀的主要因素	171
第七节	锅炉腐蚀的预防	176
第八节	锅炉的停用保护	178
第八章	锅炉给水的除气处理	182
第一节	热力除氧	182
第二节	淋水盘式除氧器	186
第三节	填料式除氧器	188
第四节	喷雾式除氧器	189
第五节	再沸腾装置和除氧器水箱	195
第六节	除氧器的运行调节	197
第七节	真空式除氧器	200
第八节	除氧器的化学监督	204
第九节	解析除氧	205
第十节	化学除氧	205
第十一节	电化学除氧	210
第十二节	除二氧化碳气	213
第九章	锅炉给水的除铁处理	216
第一节	地下水中铁质的来源及其危害	216
第二节	氧化法除铁	218

第三节	其他除铁方法	226
第十章	锅炉水垢的清除	228
第一节	锅炉结垢的原因及危害	228
第二节	锅炉水垢的清除	230
第三节	新炉的煮洗	236
第十一章	锅炉用水及水垢的分析	238
第一节	水样的采集	238
第二节	悬浮固形物的测定	239
第三节	溶解固形物的测定	240
第四节	pH值的测定(比色法)	241
第五节	氯化物的测定(硝酸银容量法)	245
第六节	碱度的测定(容量法)	246
第七节	硬度的测定(EDTA 滴定法)	248
第八节	磷酸盐的测定(磷钼蓝比色法)	251
第九节	溶解氧的测定(两瓶法)	252
第十节	标准试剂的配制与标定	254
第十一节	锅炉水垢的分析	260
附录 I	常用元素的原子量和当量	265
附录 II	氯化钠溶液的密度(20℃)	266
附录 III	筛目表	266
附录 IV	国产离子交换树脂的主要性能	266
附录 V	国产磺化煤的性能	267

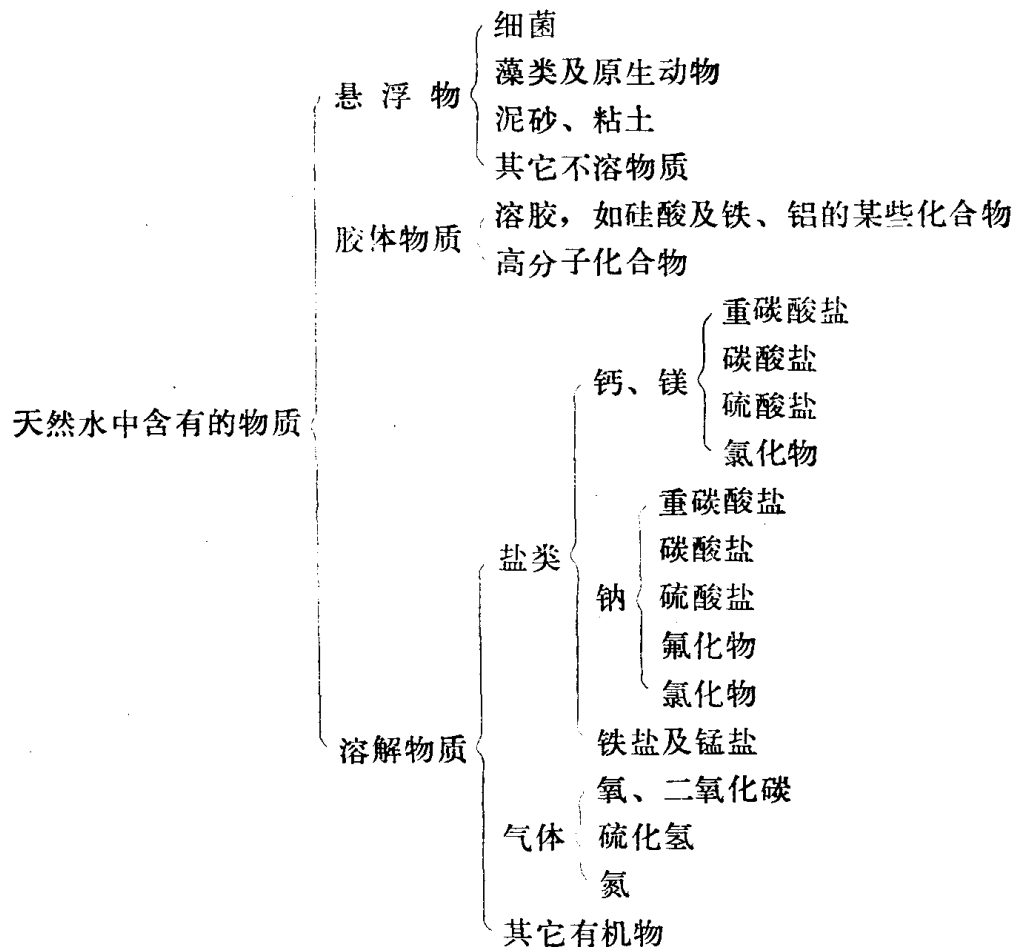
第一章 锅炉用水的基础知识

第一节 天然水中的杂质及其对锅炉的危害

一、天然水

自然界的水称为天然水。它可分为地面水和地下水两大类。地面水包括江河水、水库水、湖水、海水。地下水包括井水和泉水等。地面水主要来自雨水；地下水主要来自地面水。而雨水又主要来自海洋水，以及地面水或地表层等水分的蒸发。因此，水在自然界中是不断循环着的。

天然水中通常含有下列有害物质：



在天然水中，雨水及雪融化后的水含杂质较少，其硬度很低，一般小于0.1毫克当量/升，含盐量不大于40~50毫克/升。但由于与空气和地面的接触，会受到氧、二氧化碳、尘埃、细菌、有机物等污染，而且很难随时大量收集，所以不能做为锅炉用水的水源。

江水和河水中溶解的矿物质较少，硬度也较低。由于流动和冲刷的结果，其中含有

较多的泥砂，悬浮物和有机物等杂质，因而它的浊度较大，另外季节的变化和城市工业废水的排入，对水质的影响也较大。

湖水，按其含盐量的多少，可分成两类。一类是含盐量在500毫克/升以上的湖水；一类是盐量在500毫克/升以下湖水。

海水，由于长时期的蒸发浓缩作用，水中含有高达3.5%的溶解盐类，其中以氯化钠和硫酸镁为主。钙、镁离子总量可达50~70毫克当量/升，有的高达100~200毫克当量/升。

井水、泉水，由于经地层的自然过滤，悬浮杂质极少，因而水的透明度较高。但是，在地层渗透过程中，溶入了较多的矿物质，因而含盐量和硬度都比较高。并且水质比较稳定，受季节变化的影响很小。

能用于锅炉的水，主要是地下的井水和地面的江河水，但这些水都不是纯净的，它们不同程度地含有各种杂质。所以选用水源时，必须根据生产或生活上的要求，对不同的杂质采用不同的净化处理方法。

二、天然水中的杂质对锅炉的危害

天然水的质量是由所含杂质的成分、含量及性质决定的。按其粒径大小和在水中存在的形态及特征，分为悬浮物质，胶体物质和溶解物质三大类。水中杂质分类如表1—1所示。

水中杂质的粒径及特征

表1—1

粒 径 (毫米)	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10
分 类	溶 解 物		胶 体		悬 浮 物				
特 征	透 明		光 照 下 浑 浊		浑 浊		肉 眼 可 见		
常 用 处 理 方 法	离 子 交 换 法		混 凝、澄 清、				自 然 沉 降、过 滤		
							过 滤		

1. 悬浮物

悬浮物主要是指泥土、砂砾和动植物残余体等不溶性杂质，微粒直径约在 10^{-4} 毫米以上。按其微粒大小和比重不同，可分为漂浮的，悬浮的和沉淀的，形成了天然水的浑浊度和色度。

悬浮物会影响锅炉和离子交换水处理设备的安全或经济运行。例如，悬浮物进入锅炉后，会沉积在锅炉内部，使传热情况变坏，引起金属过热而发生事故；进入离子交换器时，会使交换剂（尤其是离子交换树脂）受到污染而减少制水量和影响出水质量。

2. 胶体物质

胶体物质主要是铁、铝、硅的化合物以及动植物的有机体分解产物。它们往往是许多分子或离子的集合体，粒径约在 10^{-6} ~ 10^{-4} 毫米之间。由于胶体物质的比表面积（单位体积物质所具有的表面积，颗粒愈小比表面积越大）很大，有明显的表面活性^①，所以

注：① 液体或固体表面具有吸附其它物质能力，称为表面活性。

能吸附许多分子或离子，而带正电荷或负电荷。因为同类胶体带同性电荷而互相排斥，因此不能互相粘合，也不能自行下沉。这类杂质比较稳定、均匀地存在于天然水中。

胶体物质的存在，会使锅炉产生坚硬的水垢，使炉水产生大量汽泡，容易引起汽水共腾，污染蒸汽品质，影响锅炉正常运行。

3. 溶解物质

溶解物质是指溶解在水中的矿物质盐类和气体，常以分子或离子状态存在于水中。其粒径约在 10^{-6} 毫米以下。

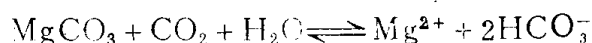
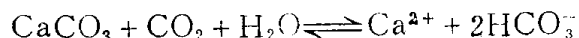
(1) 呈离子状态的杂质如表 1—2 所示。

天然水中溶有离子状态的杂质

表 1—2

类别	阳离子			阴离子			浓度的数量级
	名称	符号	名称	符号			
I	钠离子	Na^+	重碳酸根	HCO_3^-	自几毫克/升 至几万毫克/升		
	钾离子	K^+	氯离子	Cl^-			
	钙离子	Ca^{2+}	硫酸根	SO_4^{2-}			
	镁离子	Mg^{2+}	硅酸氢根	HSiO_3^-			
II	铵离子	NH_4^+	氟离子	F^-	自十分之几毫克/升 至几毫克/升		
	铁离子	Fe^{2+}	硝酸根	NO_3^-			
	锰离子	Mn^{2+}	碳酸根	CO_3^{2-}			
III	铜离子	Cu^{2+}	硫氢酸根	HS^-	小于十分之一毫克/升		
	锌离子	Zn^{2+}	硼酸根	BO_2^-			
	镍离子	Ni^{2+}	亚硝酸根	NO_2^-			
	钴离子	Co^{2+}	溴离子	Br^-			
	铝离子	Al^{3+}	碘离子	I^-			
			磷酸氢根	HPO_4^{2-}			
			磷酸二氢根	H_2PO_4^-			

钙离子 (Ca^{2+})、镁离子 (Mg^{2+}) 及重碳酸根 (HCO_3^-) 和硫酸根 (SO_4^{2-}) 的来源，主要是水中游离二氧化碳 (CO_2) 对石灰石 (CaCO_3)、白云石 ($\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$) 和石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 的溶解作用，其化学反应式如下：



钙、镁的盐类是引起锅炉结垢的主要成分。钙镁的硅酸盐、氯化物及镁的硫酸盐，会使蒸汽品质恶化。氯化钙、氯化镁和硫酸镁还会使锅炉金属腐蚀。

水中钠离子 (Na^+) 和氯离子 (Cl^-) 是当水流经地层时，溶解了氯化物和钠的矿物质所产生的。

钠的硫酸盐及氯化物，在炉水中含量高时容易造成锅炉汽水共腾，氯化物还能引起锅炉金属的腐蚀。

(2) 天然水中常见的溶解气体有氧气 (O_2) 和二氧化碳 (CO_2)，有时还有硫化氢 (H_2S)、二氧化硫 (SO_2) 及氨 (NH_3) 等。

氧气 (O_2) 的来源主要是大气中氧的溶解。天然水中的含氧量一般在 0~14 毫克/

升之间。

二氧化碳 (CO₂) 的来源是由于水中或泥土中有机物被微生物的分解和地质化学作用而产生的。天然水中 CO₂ 的含量为几十至几百毫克/升之间。

水中溶有氧及二氧化碳等有害气体, 易造成锅炉设备的腐蚀损坏。

天然水中溶解的各种盐类及气体, 对锅炉设备的危害, 见表 1—3 所示。

天然水中杂质对锅炉的危害

表 1—3

杂质名称	分子式	对锅炉水质影响			对锅炉的影响		
		碱度	硬度	含盐量	腐蚀	结垢	汽水共腾
氯化钠	NaCl			0	0		0
硫酸钠	Na ₂ SO ₄			0			0
碳酸钠	Na ₂ CO ₃	0		0	※		0
重碳酸钠	NaHCO ₃	0		0	※		0
重碳酸钙	Ca(HCO ₃) ₂	0	0	0		0	
重碳酸镁	Mg(HCO ₃) ₂	0	0	0		0	
重碳酸亚铁	Fe(HCO ₃) ₂	0	0	0	0	0	
硫酸钙	CaSO ₄		0	0		0	
硫酸镁	MgSO ₄		0	0	0	0	
硝酸钙	Ca(NO ₃) ₂		0	0		0	
硝酸镁	Mg(NO ₃) ₂		0	0	0	0	
氯化钙	CaCl ₂		0	0	0	0	
氯化镁	MgCl ₂		0	0	0	0	
硅酸钙	CaSiO ₃	0	0	0		0	
硅酸镁	MgSiO ₃	0	0	0		0	
氧气	O ₂				0		
二氧化碳气	CO ₂				0		
硫化氢气	H ₂ S				0		
无机酸				0	0		
有机物				0	0	0	0
油类				0		0	0
悬浮物						0	0

注: 表中的“0”是表示有影响, “※”是表示受热后可能导致金属的苛性脆化。

第二节 水质指标

由于水的用途不同, 对水质的要求也不同, 为了评价和衡量水的质量好坏, 必须采用一系列的水质指标, 如表 1—4 所示。

水质指标及符号

表1-4

水的品质指标	符 号	常 用 单 位	水的品质指标	符 号	常 用 单 位
悬浮物		毫克/升	重碳酸根	HCO_3^-	毫克当量/升
pH			碳酸根	CO_3^{2-}	毫克当量/升
含盐量	C	毫克当量/升	氯离子	Cl^-	毫克当量/升
	S	毫克/升	硫酸根	SO_4^{2-}	毫克当量/升
蒸发残渣		毫克/升	硅酸根	SiO_3^{2-}	毫克/升
电导率		微姆/厘米	磷酸根	PO_4^{3-}	毫克/升
碱度	A	毫克当量/升	硝酸根	NO_3^-	毫克/升
硬度	H	毫克当量/升	亚硝酸根	NO_2^-	毫克/升
碳酸盐硬度	$\text{H}_{\text{碳}}$	毫克当量/升	钙	Ca^{2+}	毫克当量/升
非碳酸盐硬度	$\text{H}_{\text{非}}$	毫克当量/升	镁	Mg^{2+}	毫克当量/升
耗氧量		毫克/升 O_2	钾+钠	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	毫克当量/升
含油量		毫克/升	铵	NH_4^+	毫克/升
二氧化碳	CO_2	毫克/升	铁	$\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}$	毫克/升
溶解氧	O_2	毫克/升	铝	Al^{3+}	毫克/升

通常，锅炉用水的水质指标可分为两类：

一类是反映某种物质或离子含量多少的成分指标，如磷酸根、溶解氧、氯根等；另一类是为了技术上的需要，反映水质某一方面特性的某一类物质含量多少的技术指标。如硬度、碱度等。

一、悬浮物

悬浮物是指经过滤后分离出来的不溶于水的固体物质的含量，单位以“毫克/升”表示。

悬浮物可用重量分析法测定。其方法是將一定量的水样经定量滤纸过滤后，将滤纸截留物在 110°C 下烘干称重而得。单位以“毫克/升”表示。

二、溶解固形物 (S)

溶解固形物是指水中溶解的全部盐类的总含量，单位以“毫克/升”表示。

溶解固形物可以按照水质全分析的结果，由阴、阳离子总量而得。但由于水质全分析比较麻烦，通常是取一定体积过滤水样于蒸发皿中，在水浴锅上蒸发干涸后所得固形物含量，即为溶解固形物。

在炉水不断蒸发浓缩条件下，水中的溶解固形物和氯化物 (Cl^-) 的比值近于常数。因此，可根据不同浓度下溶解固形物—氯化物 (Cl^-) 的对应关系曲线，从测出的氯化物 (Cl^-) 的含量，查出对应的溶解固形物含量。

三、硬度 (H)

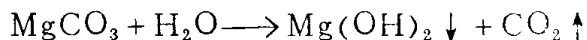
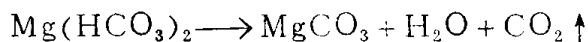
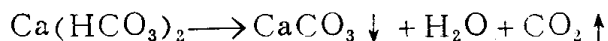
硬度是指溶于水中能结生水垢的钙、镁离子的总含量。是锅炉用水中一项重要的技术指标。它包括碳酸盐硬度和非碳酸盐硬度，即：

总硬度 = 碳酸盐硬度 + 非碳酸盐硬度

1. 碳酸盐硬度 ($\text{H}_{\text{碳}}$)

指水中钙、镁的碳酸盐和重碳酸盐的含量。由于天然水中碳酸根的含量很少，所以一般将碳酸盐硬度看作钙、镁的重碳酸盐含量。

当水被加热到一定温度（常压下煮沸）时，钙、镁的重碳酸盐会发生分解反应，析出沉淀物。所以，称之为“暂时硬度”，简称“暂硬”。如重碳酸钙 $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2]$ 和重碳酸镁 $[\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2]$ 加热后，即分解为碳酸钙和氢氧化镁沉淀析出。其化学反应式如下：



2. 非碳酸盐硬度 ($H_{\text{非}}$)

非碳酸盐硬度主要是指水中钙、镁的氯化物、硫酸盐、硅酸盐及其他钙、镁盐类的含量。当水加热时，这些盐类不会沉淀析出。所以，又称为“永久硬度”。

3. 硬度单位的表示方法

常用的硬度单位是“毫克当量/升”。此外，还有用德国度($^{\circ}\text{G}$)和百万分单位(PPM)表示的。

(1) 毫克当量/升 即每升水中含有钙20.04毫克或镁12.15毫克时，水的硬度称为1毫克当量/升。

(2) 德国度($^{\circ}\text{G}$) 即每升水中含有10毫克氧化钙(CaO)时水的硬度称为1德国度(1°G)。

(3) 百万分单位 指1百万份水中含有1份重量的碳酸钙，即每升水(或1百万毫升)中含有1毫克碳酸钙时，水的硬度称为1PPM。

上述三种单位的换算关系如下：

$$1 \text{ 毫克当量/升} = 2.8^{\circ}\text{G} = 50.1 \text{ PPM} \quad (1-1)$$

〔例题〕水分析结果： $\text{Ca}^{2+} = 42.4$ 毫克/升， $\text{Mg}^{2+} = 25.5$ 毫克/升，试用三种单位表示其硬度。

解： Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的当量值分别为20和12.15，故：

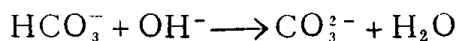
$$(1) \frac{42.4}{20} + \frac{25.5}{12.15} = 4.22 \text{ 毫克当量/升}$$

$$(2) 2.8 \times 4.22 = 11.82^{\circ}\text{G}$$

$$(3) 50.1 \times 4.22 = 211.4 \text{ PPM } \text{CaCO}_3$$

四、碱度 (A)

碱度是指水中含有能与强酸作用、即与氢离子相化合的物质含量。包括重碳酸根(HCO_3^-)、碳酸根(CO_3^{2-})和氢氧根(OH^-)碱度。单位也用“毫克当量/升”表示。其中重碳酸根碱度和氢氧根碱度不能同时存在于水中，因为它们相遇后会发生如下中和反应：



所以，碱度在水中有下列五种存在形式：

(1) 重碳酸根(HCO_3^-)碱度单独存在；

(2) 碳酸根(CO_3^{2-})碱度单独存在；

(3) 氢氧根(OH^-)碱度单独存在；

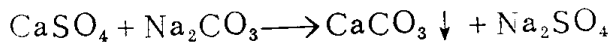
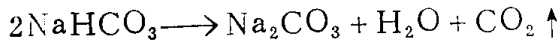
(4) 重碳酸根(HCO_3^-)碱度和碳酸根(CO_3^{2-})碱度同时存在；

(5) 碳酸根 (CO_3^{2-}) 碱度和氢氧根 (OH^-) 碱度同时存在。

一般情况下,天然水中只有重碳酸根 (HCO_3^-) 碱度,锅炉水中根据压力不同会使重碳酸根 (HCO_3^-) 碱度全部分解为不同比例的碳酸根 (CO_3^{2-}) 碱度和氢氧根 (OH^-) 碱度。

当天然水中碱度较高时,除了钙镁的重碳酸盐以外,还存在钠、钾的重碳酸盐,通常称为“钠盐碱度”。

钠盐碱度能消除永久硬度,因此,钠盐碱度又称为“负硬度”,如下述反应:



由此看来,水中钠盐碱度和永久硬度不能同时存在。

所以,水中碱度与硬度的关系有以下三种情况:

(1) 总碱度 < 总硬度, 水中有永久硬度和暂时硬度, 而无钠盐碱度。则:

$$\text{总硬度} - \text{总碱度} = \text{永硬}$$

$$\text{总碱度} = \text{暂硬}$$

(2) 总碱度 > 总硬度, 水中无永久硬度而有暂时硬度和钠盐碱度, 则:

$$\text{总硬度} = \text{暂硬}$$

$$\text{总碱度} - \text{总硬度} = \text{钠盐碱度 (负硬度)}$$

(3) 总碱度 = 总硬度, 水中没有永久硬度, 也没有钠盐碱度, 只有暂时硬度, 则:

$$\text{总硬度} = \text{总碱度} = \text{暂硬}。$$

碱度与硬度的上述关系也可用表 1—5 示出。

水中碱度与硬度的相互关系

表 1—5

分 析 结 果	硬 度		
	硬 度	碳 酸 盐 硬 度	非 碳 酸 盐 硬 度
H > A		A	H - A
H = A		A	0
H < A		H	0
			负 硬 度
			0
			A - H

五、相对碱度

炉水中游离氢氧化钠 (NaOH) 含量与炉水中溶解固形物含量的比值叫相对碱度。

即:

$$\text{相对碱度} = \frac{\text{游离NaOH}}{\text{溶解固形物}} \quad (1-2)$$

它表示游离 NaOH 占全部含盐量的比值。经验表明,对铆接或胀接的锅炉,当相对碱度 > 0.2 时,有产生金属苛性脆化的可能。

相对碱度是为防止锅炉产生“苛性脆化”而规定的一项技术指标。

所谓游离氢氧化钠,指由水中 OH^- 碱度折算成的 NaOH 含量,其算法如下:

当水中只有酚酞碱度时:

$$\text{游离 NaOH} = A_{\text{酚}} \times 40 \text{ 毫克/升} \quad (1-3)$$

当水中酚酞碱度大于甲基橙碱度时:

$$\text{游离 NaOH} = (A_{\text{酚}} - A_{\text{甲}}) \times 40 \text{ 毫克/升} \quad (1-4)$$

式中 $A_{\text{酚}}$ —酚酞碱度, 毫克当量/升;

$A_{\text{甲}}$ —甲基橙碱度, 毫克当量/升;

40—NaOH 的当量。

六、pH 值

pH 值是指水中氢离子浓度的负对数,

$$\text{即: } \text{pH} = -\lg[\text{H}^+] \quad (1-5)$$

它表示了水的酸性或碱性强弱的程度。pH 值最小为 1, 最大为 14。当 $\text{pH} > 7$ 时, 为碱性; $\text{pH} < 7$ 时, 为酸性; $\text{pH} = 7$ 时, 即为中性。如表 1—6 所示。

pH 值与水的酸、碱性关系

表 1—6

pH 值	1—5.5	5.5—6.5	6.5—7.5	7.5—10	10—14
酸性	酸性	弱酸性	中性	弱碱性	碱性

对锅炉给水或炉水, 要求有一定 pH 值, 因为它会影响锅炉结垢和腐蚀速度。

七、含油量

含油量是指水中油脂的含量, 以 1 升水中含有油脂的毫克数来表示, 单位以“毫克/升”表示。

天然水中一般是不含油脂的, 但蒸汽的凝结水或给水在其使用过程中可能带入油类物质。如炉水含油量较多, 会造成汽水共腾, 污染蒸汽品质及使水位计失真。

八、溶解氧 (O_2)

溶解氧是指溶于水中的氧气含量, 即 1 升水中含有氧气的毫克数, 单位以“毫克/升”表示。

氧气在水中的溶解度, 取决于水温和水面上气体中氧气的分压力, 若水温较高或水面上气体中的氧气分压力较低时, 氧的溶解度就小。溶解氧对热力设备具有强烈地氧化、腐蚀作用, 应尽量除掉。

九、氯离子 (Cl^-)

氯离子是指溶于水中氯离子的含量, 即 1 升水中含有氯离子的毫克数, 单位以“毫克/升”表示。

由于氯离子在锅炉运行条件下比较稳定, 不挥发, 也不会呈固相析出, 所以常以炉水和给水氯离子含量的比值来表示炉水的浓缩倍率, 用以指导锅炉排污。水中氯离子含量越低越好。氯离子含量高时, 易产生汽水共腾和引起锅炉的腐蚀。

第三节 天然水的分类

天然水可以按其主要的水质指标来分类, 也可以按水中阴、阳离子结合情况分类。

一、按主要水质指标分类

天然水可按其含盐量和硬度等指标分类，但目前尚无统一标准。现将常见的分类方法介绍如下。

1. 按含盐量分类

低含盐量水——含盐量在200毫克/升以下；

中等含盐量水——含盐量为200~500毫克/升；

较高含盐量水——含盐量为500~1000毫克/升；

高含盐量水——含盐量在1000毫克/升以上。

我国的江、河水有二分之一以上是低含盐量水，其他都是中等含盐量水。地下水大部分是中等含盐量水。高含盐量的水，一般不宜直接用于低压锅炉。

2. 按硬度分类

极软水——硬度在1.0毫克当量/升以下；

软水——硬度为1.0~3.0毫克当量/升；

中等硬度水——硬度为3.0~6.0毫克当量/升；

硬水——硬度为6.0~9.0毫克当量/升；

极硬水——硬度在9.0毫克当量/升以上。

我国江、河水的硬度，东南沿海一带，大都小于1.0毫克当量/升，为极软水区，越向西北地区硬度越高，最高可达3~6毫克当量/升以上。东北地区松花江及沿海一带水的硬度较低，一般为0.5~2.0毫克当量/升，由北向南硬度增大。

二、按主要阴、阳离子的结合情况分类

溶于水中的盐类多是呈离子状态存在的，所以水分析的结果常用离子形式来表示。但有时为了便于分析研究问题，也可将阴、阳离子含量都以毫克当量/升的单位表示而互相结合起来，写成化合物的形式。如图1—1所示。

Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	
HCO ₃ ⁻		SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
Ca(HCO ₃) ₂	Mg(HCO ₃) ₂	NaHCO ₃	NaCl
		Na ₂ SO ₄	

图1—1 水中阴、阳离子的假想结合

图1—2中，ab的量代表Ca(HCO₃)₂、bc代表Mg(HCO₃)₂、cd代表MgSO₄、其余是Na⁺和K⁺的盐类含量比。

这种表示法的理由是，Ca²⁺和Mg²⁺的重碳酸盐，最容易转变为沉淀物，其次是它们的硫酸盐；阳离子Na⁺与K⁺，阴离子Cl⁻都不易转为沉淀物。根据这种假想，又可以将水分成碱性水和非碱性水。

1. 碱性水

这种水的特征是碱度 (A) 大于硬度 (H), 即 $A > H$, 可视为 $[\text{HCO}_3^-] > [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]$, 如图 1—2 所示。在碱性水中, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 都成为重碳酸盐。没有非碳酸盐硬度、水中还有 Na^+ 和 K^+ 的重碳酸盐。

Ca^{2+}		Mg^{2+}		$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	
HCO_3^-		SO_4^{2-}		Cl^-	
$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	Na_2SO_4	NaCl		
a	b	c	d	e	f

图 1—2 碱性水图解

在这种情况下, A 和 H 的差值, 相当于 Na^+ 和 K^+ 的重碳酸盐量, 为过剩碱度, 或称为“负硬度”(H_负)。即

$$H_{\text{负}} = A - H$$

2. 非碱性水

非碱性水的特征为硬度大于碱度 ($H > A$), 即 $[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] > [\text{HCO}_3^-]$ 含量。此时, 水中有非碳酸盐硬度 (H_非) 存在。

非碱性水又可按钙、镁分配情况分为两种: 一种为钙硬水, 其特征为 $[\text{Ca}^{2+}] > [\text{HCO}_3^-]$, 如图 1—3(a) 所示, 水中有钙的非碳酸盐硬度, 即图中的 CaSO_4 量, 而没有镁的碳酸盐硬度, 即图中没有 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$; 另一种为镁硬水, 其特征为 $[\text{Ca}^{2+}] < [\text{HCO}_3^-]$ 含量, 如图 1—3(b) 所示, 水中有镁的碳酸盐硬度, 而没有钙的非碳酸盐硬度。

Ca^{2+}		Mg^{2+}		$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	
HCO_3^-		SO_4^{2-}		Cl^-	
$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	CaSO_4	MgSO_4	NaCl		

(a)

Ca^{2+}		Mg^{2+}		$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	
HCO_3^-		SO_4^{2-}		Cl^-	
$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	MgSO_4		NaCl		

(b)

图 1—3 非碱性水中钙、镁的分配关系

(a)—钙硬水 (b)—镁硬水

此外，也可将水质分为碳酸盐型和非碳酸盐型。前者为 $[\text{HCO}_3^-] > [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{Cl}^-]$ 含量，后者是 $[\text{HCO}_3^-] < [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{Cl}^-]$ 含量。

我国地域辽阔，水质情况复杂，多数为碳酸盐型水，通常钙硬占总硬度的70%左右，多为中等含盐量，硅酸盐含量在20毫克/升以下，悬浮物含量的变化特别是地表水较大。

第四节 锅炉用水及蒸汽概念

锅炉用水大致可分为原水、凝结水、补给水、给水、炉水、排污水和冷却水等，如图1—4所示。

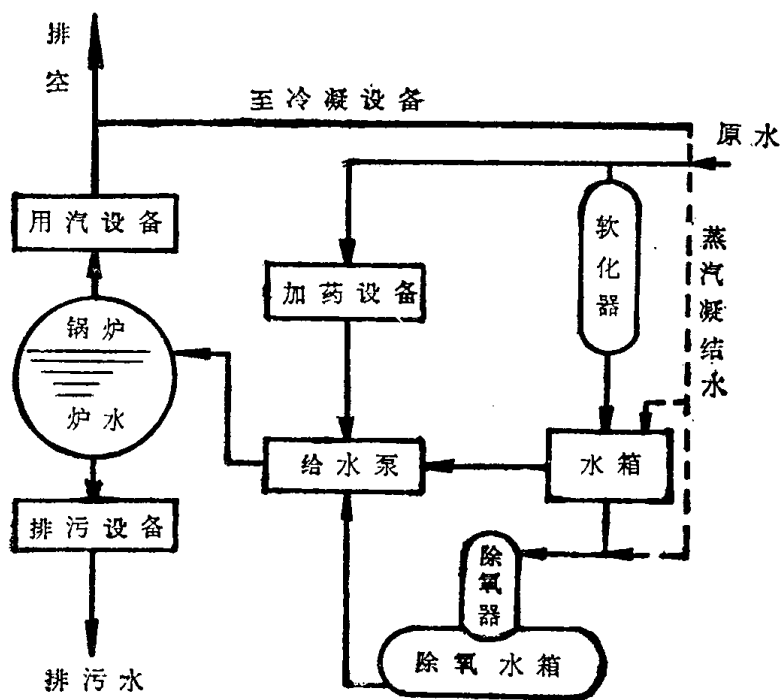


图1—4 锅炉汽水循环示意图

1. 原水

原水也称生水，是未经任何处理的天然水（如江、河水，湖水、地下水等）。一般由自备水源（地面水或地下水）或城市供水网取来的水，作为锅炉给水的水源。

2. 凝结水

凝结水也称回水。就是锅炉在输出的蒸汽作功或供热之后，经冷凝返回锅炉给水箱的水。

3. 补给水

锅炉在运行中，由于取样、排污、漏泄等要损失掉一部分水，而且生产回水被污染不能回收利用或无蒸汽凝结水时，都必须补充符合水质要求的水，这部分水叫做补给水。