

# 低压锅炉水处理 技术问答

扬东方 陈洁 编

中国建筑工业出版社

# 低压锅炉水处理技术问答

杨东方 陈洁 编

中国建筑工业出版社

本书重点阐述了小容量低压锅炉水处理工应该掌握的水处理基础知识及实际操作中可能遇到的技术问题。内容较其他书籍详尽、实用。叙述清楚，且有许多实际运行经验。本书采用问答形式，通俗易懂。

本书可供初中以上文化程度的低压锅炉水处理工作为培训教材或自学参考，也可供有关技术人员参考。

## 低压锅炉水处理技术问答

杨东方 陈洁 编

\*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)  
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售  
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

\*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：10 字数：222千字  
1983年12月第一版 1983年12月第一次印刷  
印数：1—24,600册 定价：1.05元  
统一书号：15040·4559

## 前 言

为了保证低压锅炉的安全经济运行，正确进行锅炉水处理是非常重要的。如果锅炉给水不进行处理或处理不当，会使锅炉结垢、腐蚀、蒸汽品质恶化，轻则会缩短锅炉使用寿命，浪费燃料，重则会使锅炉爆破，造成严重损失。

目前，我国有几十万台低压锅炉，如果锅炉受热面上平均结水垢1毫米，则能源浪费将是十分惊人的。因此，普及锅炉水处理，因炉因水制宜，采取有效、经济、简便的水处理方法，对于保证锅炉安全运行、延长锅炉使用寿命、节约能源等具有十分重要的意义。

为了搞好低压锅炉的水处理工作，普及水处理的基础知识，提高锅炉水处理工的技术水平，已成为当务之急。为此，在有关方面的支持下，我们编写了这本小册子。

据有关部门统计，在几十万台低压锅炉中，蒸发量小于4吨/时的锅炉，占总数的80%以上，故本书主要是针对上述小容量低压锅炉编写的。在内容上，以实用为主，主要包括水处理工必须了解和掌握的水处理基础知识和操作中常遇到的技术问题，对一些较深的理论问题及与上述参数锅炉关系不大的内容，均未涉及。在编写方法上，考虑到通俗性，

采取了问答形式。

编者在编写本书时，引用了不少国内外书刊上的资料，由于本书结构形式的限制，恕没有列出参考文献目录。

由于编者的水平有限，内容有不妥之处，请读者批评指正。

编者

1982年11月

# 目 录

一、化学基础知识 .....	1
1. 基本概念 .....	1
2. 水和溶液 .....	8
3. 电解质溶液和电离平衡 .....	20
二、自然界的水和水的品质 .....	24
1. 天然水中含有的杂质 .....	24
2. 水质指标及其含义 .....	29
3. 低压锅炉水质标准 .....	36
三、水质分析方法 .....	44
1. 基本概念 .....	44
2. 分析药品及仪器 .....	46
3. 标准溶液的配制及标定 .....	54
4. 分析方法 .....	60
四、水中杂质对锅炉运行的危害 .....	72
1. 水垢的形成及危害 .....	72
2. 腐蚀的原因及危害 .....	78
3. 蒸汽品质的恶化及危害 .....	80
五、炉内水处理 .....	83
1. 基本概念 .....	83
2. 天然碱处理 .....	88
3. 纯碱处理 .....	93
4. 防垢剂处理 .....	104
5. 有机防垢剂处理 .....	112
6. 加药装置及系统 .....	121

7. 锅炉排污	126
六、钠离子交换软化法	131
1. 基本概念	131
2. 阳离子交换剂	133
3. 钠离子交换法的原理	138
4. 软化法系统和软化器结构	143
5. 软化器的运行	156
6. 提高软化器经济性的方法	177
七、降低水碱度的炉外处理方法	199
1. 部分钠离子交换法	199
2. 铵-钠离子交换法	207
3. 石灰-钠离子交换法	218
4. 钠离子交换加酸法	228
5. 氢-钠离子交换法	238
6. 氯-钠离子交换法	249
八、低压锅炉金属的腐蚀及防止	254
1. 基本概念	254
2. 低压锅炉的几种主要腐蚀	262
3. 给水的除氧	266
4. 停炉保护	276
九、锅炉水垢的清除	280
1. 机械、碱煮、橡胶栲胶除垢法	280
2. 酸洗除垢法	284
十、低压锅炉水处理方法的选择	303

# 一、化学基础知识

## 1. 基本概念

### 1. 什么叫物质？

凡是客观存在的东西，都通称为物质。例如人们日常生活中经常碰到的水、空气、煤、食盐等，都是客观存在的具体物质。

### 2. 物质具有那些性质？

自然界是由物质构成的。世界上的物质有千千万万，人们就是根据不同物质具有不同的性质来区别它们的。一切物质都在不停地运动和变化着，而物质变化的形式是多种多样的：有物理的、化学的和生物的等等。物质发生变化时，没有新物质生成，这种变化叫做物理变化。如水受热变为蒸汽，蒸汽冷却又变成水，水冷却变成冰，冰受热又变成水。水、蒸汽和冰，虽然聚集状态发生了变化，但仍属同一种物质，所以这种变化叫做物理变化。用物理方法就能认识的物质性质，叫做物理性质，如颜色、气味、沸点、熔点和溶解性等。

物质在发生变化时有新物质产生的变化，叫做化学变化。物质在化学变化中所表现出来的性质，叫做化学性质。如碳燃烧时，碳和氧相互反应生成了一个新物质——二氧化碳。

化学变化和物理变化虽然有本质的区别，但它们并不是



孤立的毫无联系的，物质在发生化学变化的同时，常常伴随着物理变化。

### 3. 物质是由什么组成的？

科学实践说明，一切物质都是由分子组成的。

### 4. 什么叫分子？

分子是能够独立存在并保持原物质化学特性的最小微粒。例如水就是由很小的水分子构成的。构成物质的分子，并不是静止不动的，而是处于永恒运动状态中。例如打开氨水瓶，周围就能闻到氨味，箱子里放了樟脑，打开箱子就能闻到樟脑味。为什么可以闻到氨和樟脑的气味呢？这是因为氨和樟脑的分子向空气中运动的结果，这也说明，虽然分子的重量和体积都很小，用肉眼看不到，但却能察觉到它的存在。

物质在发生物理变化时，它的分子没有质的变化，例如水加热变成水蒸汽时，分子没有改变，只是分子运动加剧，分子之间的距离增大，由液态变成了气态。但物质在发生化学变化时，分子就会发生质的变化，成为新物质的分子。例如电解水时，生成氢气和氧气，这时水分子就变成与其性质完全不同的氢分子和氧分子。

### 5. 什么叫原子？

组成分子的更小的微粒，叫原子。原子一般不保持原物质的性质。例如从水的电解可知，每一个水分子就是由一个氧原子和两个氢原子组成的。

### 6. 原子是由什么组成的？

原子是由原子核和核外电子两部分组成。原子核在原子的中心，带有正电荷，核外电子则在原子核周围的空间绕核作高速运动，带有负电荷。

氢原子结构示意图如图 1-1 所示。原子核又由两种微粒组成，一种叫质子，带有一个正电荷，其电量和电子的电量相等，但符号相反。另一种叫中子，不带电荷，其质量和质子的几乎相等。因此，原子核中的质子数决定了原子核的核电荷数，原子核中的质子数和中子数，决定了原子的重量。

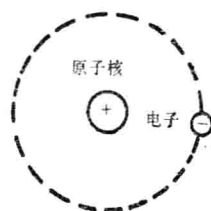


图 1-1 氢原子结构示意图

### 7. 什么叫元素？

核电荷数相同（质子数相同，中子数不一定相同）的一类原子，总称为某元素。元素不是指某种具体物质中某个具体原子，而是一类原子的总称。例如碳原子的质子数是 6，但中子数有 7、8、9 三种，所以就有原子量为 12、13、14 三种不同的碳原子，但由于它们的核电荷数相同，所以仍总称为碳元素。

### 8. 什么叫元素符号？它表示何种意义？

物质的种类虽然有几百万种，但构成这些物质的元素却不多，到目前为止，已发现的有 107 种（其中 14 种是人工合成的）。

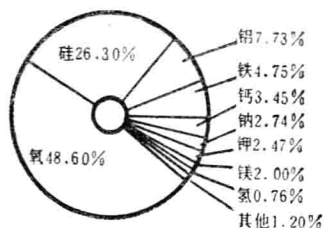


图 1-2 地壳中主要元素的百分含量

元素可以大致分为金属元素和非金属元素两大类。各元素在自然界中存在的量是不同的，地壳（包括大气层和水层）中以氧最多，硅次之，如图 1-2 所示。

为了使用方便，国际上统一规定每种元素有一定的代表符号，称为元素符号。元素符号通常用该元素拉丁文的第一

个字母来表示，如氢元素用“H”表示，氧元素用“O”表示。一些常用元素的名称和符号列于表1-1。

一些常用元素的名称和符号

表 1-1

名 称	符 号	名 称	符 号
氢	H	镁	Mg
氧	O	铝	Al
氮	N	铁	Fe
氯	Cl	铜	Cu
碳	C	锌	Zn
硅	Si	钾	K
硫	S	钠	Na
磷	P	钙	Ca

元素符号表示下列三种意义：

- (1) 表示此元素的名称。
- (2) 表示此元素的一个原子。
- (3) 表示此元素的原子量。

例如，元素符号“O”，既表示氧元素，又表示一个氧原子和氧的原子量（等于16）。

### 9. 什么叫单质？

由同一种元素原子组成的物质，叫做单质。例如氧气（ $O_2$ ）、氢气（ $H_2$ ）和铁（Fe）等。

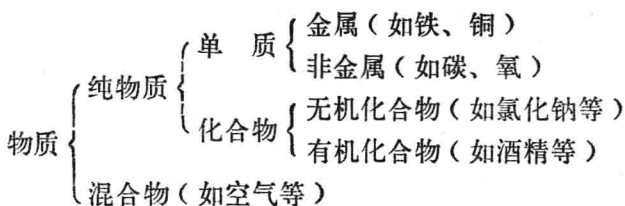
### 10. 什么叫化合物？

分子是由不同元素的原子组成的物质，叫做化合物。例如水 $H_2O$ 、二氧化碳 $CO_2$ 和硫酸 $H_2SO_4$ 等。

### 11. 什么叫混合物和纯物质？

物质可分为纯物质和混合物。由一种单质或一种化合物组成的物质，叫纯物质。由两种以上不同的单质或化合物混

合在一起的物质，叫做混合物，例如空气等。在混合物中，各物质仍保持它们各自的性质，例如空气中的氧气仍保持其助燃的性质。综上所述，物质的分类，可概括如下：



## 12. 什么叫原子量？

用“碳单位”表示某元素的一个原子重量，叫做该元素的原子量。因为每个原子的重量都很小，如碳、氧和氢三种原子的重量分别为：

一个碳12原子的重量 =  $1.992 \times 10^{-23}$  克

一个氧原子的重量 =  $2.652 \times 10^{-23}$  克

一个氢原子的重量 =  $1.67 \times 10^{-24}$  克

从上列数据可知，用克做单位表示原子的重量时，数值太小，使用和计算很不方便，因此，国际上采用“碳单位”来表示原子的重量，一个“碳单位”是一个碳12（碳12是原子核中有6个质子，6个中子的碳原子）原子重量的1/12，即一个碳12原子的重量等于12个碳单位。

$$\begin{aligned}
 1 \text{ 个碳单位} &= \frac{1 \text{ 个碳12原子重量}}{12} \\
 &= \frac{1.992 \times 10^{-23} \text{ 克}}{12} = 1.66 \times 10^{-24} \text{ 克}
 \end{aligned}$$

用“碳单位”表示氧、氢原子的重量时：

$$1 \text{ 个氧原子的重量} = \frac{2.652 \times 10^{-23}}{1.66 \times 10^{-24}} \approx 16 \text{ “碳单位”}$$

1 个氢原子的重量 =  $\frac{1.67 \times 10^{-24}}{1.66 \times 10^{-24}} \approx 1$  “碳单位”

故氧的原子量为16，氢的原子量为1。

常用元素的原子量列于表1-2。

常用元素的原子量

表 1-2

元素名称	原子量	元素名称	原子量
钾	39	硫	32
钠	23	碳	12
钙	40	氯	35.5
镁	24	铝	27
氮	14	银	108
氧	16	铜	63.5
磷	31	铁	56
硅	28	锌	65
氢	1	锡	119
钡	137	铅	207

### 13. 什么叫分子量？

分子量是组成此分子的所有原子的原子量总和。例如二氧化碳 $\text{CO}_2$ ，已知碳的原子量是12，氧的原子量是16，则二氧化碳的分子量 =  $1 \times 12 + 2 \times 16 = 44$ 。

### 14. 什么叫分子式？

用元素符号来表明物质分子组成的式子，叫做分子式。某些单质的分子是由单个原子组成的，例如惰性气体氦的分子式是He。另一些单质的分子是由两个相同的原子组成的，例如氧气的分子是由两个氧原子组成，氧气的分子式是 $\text{O}_2$ 。化合物的分子是由不同种类的原子组成的，按其组成，可以写出化合物的分子式，例如每个水分子含有两个氢原子和一

个氧原子，所以水的分子式为 $H_2O$ 。

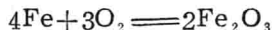
### 15. 什么叫化学方程式？

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。在书写化学方程式时，应注意以下两个问题：

(1) 它所表示的化学反应必须是真实存在的。

(2) 它是符合物质不灭定律的。

由于化学方程式可以简明的表达化学反应，因此，用它学习化学及进行有关计算，也将方便得多。例如锅炉给水中的溶解氧可腐蚀铁，形成铁的氧化物，此反应就可以用化学方程式表示如下：



### 16. 怎样运用化学方程式进行有关计算？

由于化学方程式不仅表明了质的转变，而且也指出了量的关系，所以，可根据化学方程式进行一系列的有关计算。计算时，可按下列步骤进行：

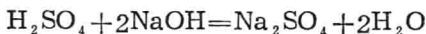
(1) 写出并配平化学方程式。

(2) 算出有关物质的重量比。

(3) 设未知数，并写明已知数，列出比例式。

**【例】** 现有200克氢氧化钠  $NaOH$ ，需用多少克 98% 的浓硫酸  $H_2SO_4$  和它完全作用生成水和硫酸钠  $Na_2SO_4$ ？

**【解】** 先求出所需纯硫酸的重量，然后换算为含 98% 浓硫酸的重量。设与 200 克氢氧化钠完全作用的纯硫酸为  $x$ 。



98( $H_2SO_4$  分子量)  $2 \times 40$ ( $NaOH$  分子量)

$x$  200

$98:80 = x:200$

$$x = \frac{200 \times 98}{80} = 245 \text{ 克}$$

需98%浓硫酸的重量为:

$$245 \div 98\% = 250 \text{ 克}$$

## 2. 水 和 溶 液

### 17. 水的一般性质有哪些?

水的一般性质可分为物理性质和化学性质两大类。纯水是无色(水层较厚时呈淡蓝色)、无味、无臭的液体。纯水几乎不导电,如果水中溶有盐类等电解质,则导电性增强。水的主要物理性质如下:

#### (1) 密度和比热

物质的密度是表示单位体积中所含该物质的质量(一般以重量代替)。一般物质都有热胀冷缩现象,因此它们的密度均随温度的降低而增大,但水的密度与温度的变化却不那么规律,水在 $4^{\circ}\text{C}$ 时密度最大,为 $1 \text{ 克/厘米}^3$ 。高于或低于此温度,其密度都要减小。水在凝固(结冰)时体积增大,密度减小(冰的密度为 $0.92 \text{ 克/厘米}^3$ ),由于冰的密度比水小,所以冰总是浮在水面。由于水结冰时体积要增大,故有胀破器皿的危险,因此在冬天,对冷水管要注意采取防冻措施。

比热是指1克物质的温度升高(或降低) $1^{\circ}\text{C}$ 所吸收(或放出)的热量,单位是卡/克 $\cdot^{\circ}\text{C}$ 。在所有固态和液态物质中,水的比热最大。1克水温度升高(或降低) $1^{\circ}\text{C}$ ,所吸收(或放出)的热量为1卡。由于水的比热大,而且资源丰富,所以工业上常用水做冷却介质。

## (2) 蒸汽压

将一杯水放在室内，水就会蒸发，蒸发可以一直进行到杯子中的水全部蒸发完，如果将水放在一个密闭的容器里，就不会蒸发完，这并不是说，在密闭容器里的水就不会转化为蒸汽，实际上，不论是在敞开的还是在密闭的容器中，水面上一部分动能较大的水分子能够克服水分子间相互的引力，逸出水面进入容器的空间成为蒸汽，这一过程称为蒸发。同时进入容器空间的水蒸汽分子也在不断地运动，经常有一部分蒸汽分子碰到水面，为液体水分子所吸引，又返回到液体中来，这个过程称为凝结。显然，在容器空间的蒸汽分子愈多，凝结速度就愈快。水在密闭容器中，开始时，蒸发速度比凝结速度大，随着空间蒸汽分子逐渐增多，凝结速度也逐渐增大，经过一定时间，凝结速度与蒸发速度就会相等，此时液面上蒸汽浓度就不再改变，即达到下列动态平衡：



在某温度下，达到平衡时的蒸汽，叫做该温度下的饱和蒸汽，此时的蒸汽压力，称为该温度下水的饱和蒸汽压，或简称蒸汽压。

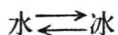
## (3) 沸点

水的蒸汽压是随温度升高而增大的。当水的温度升高到一定值，其蒸汽压等于外界压力时，水就沸腾，这时的温度叫做水在该压力下的沸点。例如在  $100^{\circ}\text{C}$  时，水的蒸汽压是 760 毫米汞柱，如外界压力也等于 760 毫米汞柱（一个大气压）时， $100^{\circ}\text{C}$  就是在一个大气压下水的沸点。当外界压力改变时，水的沸点也要改变。

## (4) 冰点

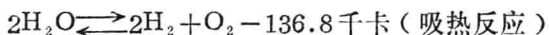


如果在水全部结成冰或冰全部变成水以前，就停止冷却或加热，水和冰就会共存。这时冰融化为水和水凝固成冰的速度相等，即处于下列平衡状态：

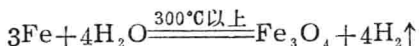


冰和水平衡共存时的温度称为水的凝固点（或冰的熔点），习惯上又叫做冰点。在一个大气压下，水的冰点是 $0^{\circ}\text{C}$ 。

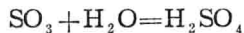
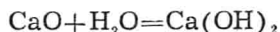
上面谈的是水的主要物理性质，下面再谈谈水的化学性质。水的热稳定性很好，即使被加热到 $100^{\circ}\text{C}$ 时，也又有极小一部分（ $0.00003\%$ ）水分解为氢和氧：



由于水的热稳定性好，工业上常把水加热成高温高压的水蒸汽来传送热能。水在加热时虽很稳定，但当它和某些物质相遇时，却很容易起反应。如水能与活泼的金属和非金属作用放出氢：



水还能与许多金属氧化物和非金属氧化物化合，生成碱和酸：



水还能与其他许多物质反应。此外，水可以溶解很多物质，是一种很好的溶剂。

### 18. 什么叫溶液？

由两种或两种以上物质组成的均匀而稳定的体系，叫做溶液。如将食盐溶解在水里，得到的均匀澄清溶液，叫做食