

低压锅炉水处理工艺及操作

王凤有 宋锦忠 编

吉林科学技术出版社

内 容 简 介

本书包括锅炉水处理基本知识、锅炉用水的炉内处理和炉外处理、锅炉水垢的清除和实用水质化学分析方法等五章。根据国家《低压锅炉水质标准》，重点介绍国内目前常用的水处理工艺流程、操作原理及运行控制的理论知识和操作技术。还扼要地介绍了锅炉水质的分析方法。

本书内容通俗易懂，紧密结合生产实际，可作为从事水处理工作的工人、化验员、管理人员学习用书和培训教材，也供从事锅炉水处理工作的工程技术人员和有关专业的师生参考。

低压锅炉水处理工艺及操作

王凤有 宋纯忠 编

*

吉林科学技术出版社出版 吉林省新华书店发行

洮安县印刷厂印刷

*

787×1092毫米32开本 11,875印张 插图1 260,000字

1986年3月第1版 1986年3月第1次印刷

印数：1—6,000册

统一书号：15376·36 定价：1.75元

前 言

普及工业锅炉的水处理知识和技术，做好锅炉用水的处理工作，是保证锅炉安全经济运行、节约燃料的重要措施。

本书根据实际工作中遇到的问题，在总结实践经验的基础上，本着理论联系实际，普及适用的原则，概要地介绍了锅炉用水处理的原理、工艺和操作方法，各种设备的使用和操作技术，目的是给从事锅炉水处理的工人和技术人员提供一本具有实用意义的读物。

本书在编写过程中曾得到吉林省劳动厅的大力支持，齐秀荣同志细心地审校了初稿，提出了许多宝贵意见，王国祥、苏友、杨长义和黄蔓芸等同志也给了热心地指导和帮助，谨在此表示感谢。

恳请读者对书中的错误和纰漏批评指正。

编 者

目 录

第一章 锅炉水处理基本知识	1
§ 1-1 锅炉水处理的意 义	1
§ 1-2 锅炉水处理的化学基 础	4
§ 1-3 锅炉水处理工艺 基础	39
第二章 低压锅炉用水的炉内 处理	59
§ 2-1 锅炉水质标 准	59
§ 2-2 锅炉水质标准的计算方 法	62
§ 2-3 炉内软化处理的化学反 应	69
§ 2-4 炉内补充软化 处理	75
§ 2-5 给水的全部炉内软化处理方 法	81
§ 2-6 锅炉的给水、补充水及排污水的流量计 算	92
§ 2-7 几种简易炉内软化 法	97
§ 2-8 软水剂的选择与投加方 式	100
§ 2-9 水的磁化处 理	102
§ 2-10 物理化学软化 法	106
第三章 低压锅炉用水的炉外软化 处理	111
§ 3-1 离子交换的基本原 理	115
§ 3-2 离子交换软化方法、软化系统及其操 作	127
§ 3-3 水的除氧方法及其操 作	171
§ 3-4 新型炉外水处理工艺设备及操 作	191
第四章 锅炉水垢及锅炉用水的预 处理	220
§ 4-1 锅炉水垢的形 成	220
§ 4-2 锅炉水垢的种 类	223
§ 4-3 锅炉水垢的危 害	225
§ 4-4 锅炉水垢的清除方法及操 作	227

§ 4-5	新炉炉内清污及防护处理方法	247
§ 4-6	锅炉用水的预处理	249
第五章 实用锅炉水质分析法		255
§ 5-1	分析化学基础知识	255
§ 5-2	一般化学试剂常识	262
§ 5-3	水质化学分析仪器及基本操作	264
§ 5-4	水样的取样方法	269
§ 5-5	锅炉用水的测定内容及其操作方法	282
§ 5-6	锅炉用水分析中标准溶液的配制与标定方法	315
§ 5-7	离子交换剂主要性能的试验方法	325
§ 5-8	我国现行低压锅炉水质标准 (GB1576-79) 及其编制说明	331
附 录		349
1.	常用水处理药品的规格与性质	349
2.	20~4℃时硫酸溶液的比重	350
3.	20~4℃时盐酸溶液的比重	352
4.	20~4℃时氯化钠溶液的比重	353
5.	15~4℃时重于水的液体波美度与比重的关系	354
6.	15℃时硫酸铝溶液的比重	354
7.	20~4℃时氢氧化钠溶液的比重	355
8.	常用元素的原子量表	356
9.	常用化合物的分子量和当量表 (一)	357
10.	常用化合物的分子量和当量表 (二)	358
11.	毫克/升与毫克当量/升换算系数表	359
12.	筛目与孔径对照明细表	360
13.	国际硬度单位换算表	360
14.	低压锅炉水处理分析仪器与药品	361
15.	软化药剂及软化所起的碱度变化	364
16.	炉内处理简易配方	365

17. 蒸馏水指标要求.....	365
18. 盐酸浓度和“02—缓蚀剂”用量.....	366
19. 配制需用盐酸浓度的盐酸和水的用量.....	366
20. 配制缓蚀剂原料用量.....	367
21. Na_2CO_3 转为 NaOH 的百分数	367
22. pH值和碱度的关系.....	368
23. 炉水的水质指标.....	369
24. 水处理用国产大孔性离子交换树脂主要产品的规格 性能.....	370
25. 水处理常用的国产普通凝胶型离子交换树脂主要产品 的规格与性能.....	372

第一章 锅炉水处理基本知识

§ 1-1 锅炉水处理的意義

所谓锅炉水处理就是用化学或物理方法，清除水中的杂质，从而保持锅炉内部的清洁，提高锅炉的热效率，保证锅炉的生产能力和蒸气品质，防止锅炉的金属腐蚀，使锅炉安全经济运行。如果不进行锅炉水处理，锅炉就会结垢，不仅浪费大量燃料，增加维修量，增大事故频率，甚至发生重大人身、设备事故，严重影响锅炉安全、经济运行，减少锅炉使用寿命。

锅炉用水取之于天然水源（地表水、地下水等）。由于水是一种很好的溶剂，因此，水中含有各种杂质。这些杂质主要有悬浮物、胶体物、溶解物三类。如果不进行处理，锅炉运行一段时间，水中的杂质就会以固体物质沉降出来。这些固体物质附着在锅炉的板壁或管壁上，形成两种固体物质，一种比较坚硬的，称为水垢。水垢大体上可以分为四种类型：（1）碳酸盐水垢，比较坚硬。（2）硫酸盐水垢，更坚硬，更致密。（3）硅酸盐水垢，特别坚硬很难除掉。

（4）混合水垢，里面含有铁、铜等元素。在一台锅炉内很少是单一型水垢，要确定水垢的性质，必须分析水垢的含盐成分。另一种比较松软的，称为水渣。水渣又分为两种：悬浮水渣，可以用排污的方法除掉；沉渣状水渣，沉淀下来，一部分可以用排污的方法除掉，一部分变成了坚硬的水垢，

附着在板壁或管壁上。防止结生和消除水垢或使其不附着在板壁或管壁上，这是锅炉水处理的主要任务。

水垢的存在对锅炉的安全经济运行影响很大，其主要原因是水垢属于不良导热体。不同的水垢导热系数不同，根据测算大约为0.1~0.5千卡/米²·时·度。而钢板的导热系数大约为50千卡/米²·时·度。可见，水垢的导热系数远远小于钢材的导热系数，这就给锅炉运行带来一系列危害。

从表 1-1 和图 1-1 可以看出水垢、水渣与燃料消耗之间的关系。

表1-1

水垢厚度 (时)	1/50	1/32	1/25	1/20	1/16	1/11	1/9
燃料浪费率 (%)	6	7~8	8~9	11	12~13	15	16

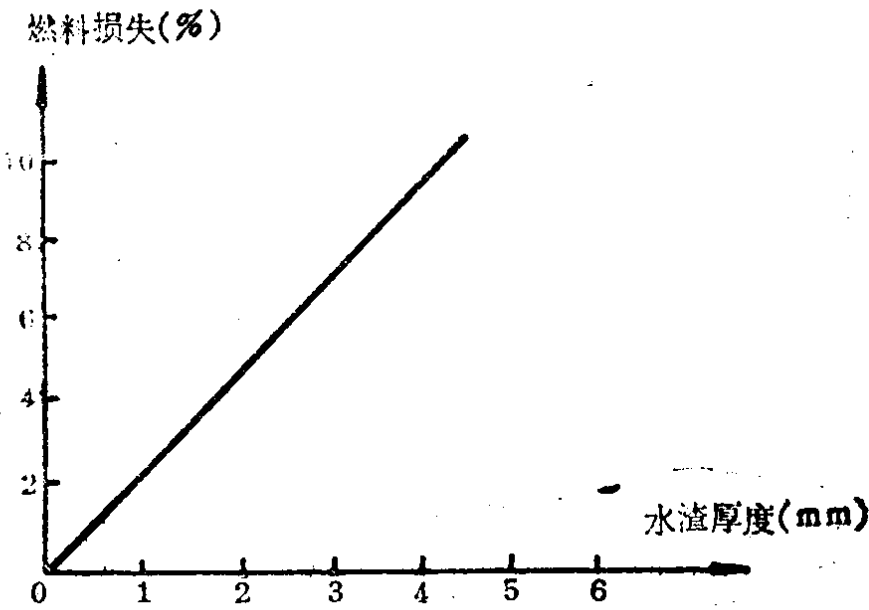


图1-1 水渣厚度与燃料损失关系

从表1-2和表1-3可以看出，水垢厚度对钢材壁温的影响及温度对钢材强度的影响。水垢增厚，必然会使钢材壁温增高，从而使金属强度显著下降。导致锅炉板材或管材由于强度不足发生鼓包、变形、甚至爆炸。由此而造成锅炉报废的实例是常见的。

水垢厚度对钢材壁温的影响 表1-2

水垢厚度 (毫米)	导热系数 (千卡/米·时·度)				
	2.0	1.0	0.5	0.2	0.1
0	200℃	200℃	200℃	200℃	200℃
1	320℃	380℃	450℃	605℃	760℃
2	370℃	470℃	580℃	755℃	860℃
3	410℃	520℃	650℃	830℃	950℃
4	450℃	580℃	705℃	895℃	980℃
5	490℃	610℃	760℃	920℃	1000℃

温度对钢材强度的影响 表1-3

温 度	260	300	400	450	500
额定允许应力 (公斤/厘米 ²)	11.6	10.5	8	5.6	3.0

可见，锅炉用水经过必要处理，不但可以节省燃料，还能延长锅炉的使用年限，这对节约钢材和安全运行都是非常必要的。我们国家对开展锅炉水处理工作极为重视，颁布了一系列规定和水质标准，正在全国范围内大力推行，已收到了显著效益。

§ 1-2 锅炉水处理的化学基础

一、物质的性质和变化

在锅炉水处理过程中，要经常与水、酸、碱、盐等接触，这些东西统称为物质，可以说世界上的一切物体都是由物质组成的。而这些物质又都是在不停地运动、变化和发展中。就其变化的本质来说，可分为两大类。

1. 物理变化 物质的外形或状态发生了变化而物质的本质并没变化。或者说在变化过程中并没有生成新的物质。例如：冰受热融化变成了水，水受热气化变成了蒸气，铁块受热体积增大等。

物质在物理变化过程中，所表现出来的性质，叫做物理性质。例如：颜色、气味、状态、比重、熔点、沸点等。

2. 化学变化 物质不仅状态发生了改变，而且物质的本质也发生了变化，或者说在变化过程中，生成了新的物质。例如：金属生锈、煤燃烧后变成了灰等。

物质在化学反应过程中所表现出来的性质，叫做化学性质。例如：可燃性、氧化性、还原性、活泼性、酸性、碱性等。

物理变化和化学变化虽然是两类不同性质的变化，但在许多情况下，它们又是常在一起发生的。例如：点燃蜡烛时，固体蜡烛受热熔化，这是物理变化，同时又燃烧变成了水蒸气和二氧化碳，又是化学变化。一般说来，物质发生物理变化时不一定同时有化学变化发生，但发生化学变化时，一定伴随着物理变化的发生。

3. 物质的性质 物质的性质包括物理性质和化学性质，而每种物质都具有自己的特征，物质所具有的特征，叫做物质的性质。这种特征表现在许多方面。例如：颜色、味道、气味、溶解性、可燃性等，不外是物理和化学性质。一种物质所具有的特征是区别于它物质的标志，白糖和食盐虽然都是白色，但糖是甜的，而食盐却是咸的等等。

研究物质就是要掌握物质的性质，摸清其变化规律。

二、物质的组成

物质是由分子组成的，分子是由原子组成的，原子是由原子核和电子组成的。原子核是由质子和中子组成的。

1. 分子 是保持原物质的一切性质的最小微粒。例如：水是由水分子组成的，氧气是由氧分子组成的，氢气是氢分子组成的等等。

(1) 同种物质的分子性质相同，不同种物质的分子性质不同。由相同分子组成的物质叫纯净物，例如：纯水。由不同分子组成的物质叫混合物，例如：空气。

(2) 分子之间保持一定的距离，但彼此之间又有联系，如果距离较大，物质就是气态，如果较小就是液态或固态。所以气态物质的体积受压力影响较大，而液态或固态物质的体积受压力影响较小。

(3) 一切分子都是处在不断地运动状态。分子运动状态受温度影响很大。

2. 原子 是物质进行化学反应的最小微粒。

(1) 同种原子性质相同，不同种原子性质不同。一般说来，一种原子不能变成另一种原子，金原子不能变成铜原子，氧原子不能变成氢原子。

(2) 原子是由原子核和电子组成的，原子核位于原子的中央，电子高速绕原子核运动，原子核是由质子和中子组成的。它们的性质概括如下：

原子	{	电子 (每个电子带一个单位负电荷，其质量约为
		质子质量的 $\frac{1}{1840}$)
	{	原子核 { 质子 (每个质子带一个单位正电荷)
		中子 (不带电)

由此可以看出，原子核带正电，电子带负电。由于原子是电中性的，所以原子核内质子数等于原子核外电子数，在通常的化学反应中，原子核是不变的，但原子中的电子可以得失，化学变化的实质是核外电子的变化。

三、元素和元素符号

1. 元素 是核电荷数相同的一类原子的总称。到目前为止，已发现107种元素。

(1) 单质和化合物，同种元素组成的物质叫做单质，例如：氧气、氮气、铁、碳、铜等；不同种元素原子组成的物质叫做化合物，如：水、二氧化碳、二氧化硫、食盐等。

(2) 金属和非金属，根据元素的性质可分为金属元素(85种)和非金属元素(22种)两大类。金属物质具有较好的延展性、导电和传热的性能；多以固体状态存在。非金属物质延展性差，不易导电和传热，以气态、液态、固态存在。

2. 元素符号 是用元素的拉丁文名称的缩写来表示的。

(1) 元素符号的写法，用单字母表示的元素符号一定

要大写，如氧用O，碳用C；用双字母表示的元素符号第一个字母要大写，第二个字母要小写，如：硅 Si，银 Ag，镁 Mg等。

(2) 元素符号的意义。

- ① 表示一种元素；
- ② 表示这种元素的一个原子；
- ③ 表示这种元素的原子量。

详见元素周期表。

四、原子量、分子式、分子量

1. 原子量

(1) 原子虽然很小，但也具有一定的质量，不同的原子的质量各不相同，如果以克为单位来计算，数值是很小的，例如：1个碳原子的质量是 1.994×10^{-23} 克；1个氧原子的质量是 2.657×10^{-23} 克；1个氢原子的质量是 0.1661×10^{-23} 克。这样的小数在书写、记忆和使用上都很不方便，所以原子是都不以克做单位来计量，但原子的质量却是真实的存在着。

(2) 为了使用上的方便，在国际上做了统一的规定，原子量就是以1个碳原子(指 ^{12}C)质量的 $\frac{1}{12}$ 作为标准比较而得的相对质量。例如：氢原子的质量正好等于碳原子质量的 $\frac{1}{12}$ ，它的原子量就规定为1；同样氧的原子质量是碳原子质量的 $\frac{16}{12}$ ，氧的原子量就规定为16；对于碳原子本身，它的原子量就是12。

(3) 原子量是一个相对的量，它用碳原子的质量来衡量其它元素原子的质量，所以它是一个相当的量，原子量只是代表不同原子质量的比，所以它没有单位。

2. 分子式

(1) 用元素符号来表明物质分子组成的式子叫做分子式。

(2) 单质的分子式分为双原子分子和单原子分子，由两个相同原子组成的分子，叫做双原子分子，例如：气态单质的分子式（稀有气体除外）大多数是双原子分子，如氢分子 H_2 、氧分子 O_2 、氮分子 N_2 等。单个原子组成的分子叫做单原子分子，例如：稀有气体、金属和固态非金属的分子式大多都是单原子分子，这些物质的分子，实质上就是单个原子。因此，这一类单质的分子式就是构成这种分子的原子的元素符号。例如：氦气的分子式是He，氖气的分子式是Ne，铁分子式是Fe，碳分子式是C等等，用元素符号代表即可了。

(3) 化合物的分子式是由不同的原子组成的，通常是将金属元素符号写在前边，非金属元素符号写在后边，例如：氯化钠的分子式是NaCl，氧化铁的分子式是 Fe_2O_3 。

(4) 分子式代表如下的含意：

- ① 表明某种物质；
- ② 表明了某种物质的一个分子；
- ③ 表明了某种物质是由哪几种元素组成的；
- ④ 表明在这种物质的一个分子里含有各种原子的个数。例如： H_2SO_4 ，它代表了硫酸这种物质和硫酸的1个分子，它表示了硫酸是由氢、硫、氧三种元素组成的，并且还表示了1个硫酸分子里含有2个氢原子，1个硫原子和4个氧

原子。

3. 分子量

(1) 分子是由原子组成的，既然原子有质量，分子同样应当有质量。分子量也是用“碳单位”来表示物质的一个分子的质量，同样是个相当量，也是无单位的，分子量就是组成这种分子的所有原子的原子量的总和。

(2) 分子量计算：首先要知道分子式，根据分子式就能很方便地计算出分子量。例如：氧气的分子量， $O_2 = 16 \times 2 = 32$ 。水的分子量 $H_2O = 1 \times 2 + 16 = 18$ ，硫酸氨的分子量 $(NH_4)_2SO_4 = (14 + 1 \times 4) \times 2 + 32 + 16 \times 4 = 132$ 。

五、摩尔

在生产和科学实验中，所研究的物质并不是一个或几个分子或原子，而是由亿万万个原子或分子组成，为了实际需要，1971年10月第十四届国际计量大会决定增加第七个基本单位，用来表示物质数量的单位——摩尔。

1. 摩尔的概念 摩尔是一种表示物质的量的单位。它是一系统的物质的量，该系统所含有的基本单元数为12克 ^{12}C 中所含的原子数相同。这个数近似地等于 6.02×10^{23} ，称为阿佛加德罗数。所谓物质的基本单元数就是物质含有的分子数、原子数、离子数或某些微粒的特定组合数等。因此，可以近似地说：凡含有基本单元数为 6.02×10^{23} 的物质，都是摩尔物质。例如：

1 摩尔氯原子含有 6.02×10^{23} 个氯原子。

1 摩尔氯分子含有 6.02×10^{23} 个氯分子。

1 摩尔氯离子含有 6.02×10^{23} 个氯离子。

1 摩尔氢氧根含有 6.02×10^{23} 个氢氧根离子。

0.5摩尔铜离子含有 3.01×10^{23} 个铜离子。

2. 摩尔质量 1摩尔物质的质量叫做摩尔质量，通用的单位是克/摩尔。采用这种单位时，如果物质的基本单元为原子，则摩尔质量的数值等于其原子量。

例如：

氧的原子量 = 16

1摩尔氧原子的质量 = 16克

铁的原子量 = 56

1摩尔铁原子的质量 = 56克

如果物质的单元为分子，则摩尔质量的数值等于其分子量。

例如：

水的分子量 = 18

1摩尔水的质量 = 18克

硫酸的分子量 = 98

1摩尔硫酸的质量 = 98克

氧的分子量 = 32

1摩尔氧的质量 = 32克

又如：64克的氧相当多少摩尔？

$$\frac{64\text{克}}{32\text{克}} = 2 \text{ 摩尔。}$$

294克的硫酸相当多少摩尔？

$$\frac{294\text{克}}{98\text{克}} = 3 \text{ 摩尔}$$

由此可列通式：

$$\frac{\text{物质的质量 (克)}}{\text{摩尔质量 (克)}} = \text{摩尔数。}$$

引入了摩尔单位之后，不仅将无法称量的原子、分子等微粒的微观量变成可以称量的宏观量，而且将原子、分子数目和原子量、分子量联系起来。也就是说引用了摩尔原子、摩尔分子这两个单位，不仅可以表示出物质的质量，而且还可以表示出一定质量物质里所含原子个数和分子个数。给化学计算带来了很大方便。

六、物质的构成和化学方程式

1. 原子的组成

① 以氢原子为例说明原子结构 氢原子结构最简单，它的原子核只带 1 个单位正电荷，所以核外只有 1 个电子，由于电子以极高速度绕原子核运动，相似于原子核被一层带负电的云所笼罩，这种云称为“电子云”(图1-2)

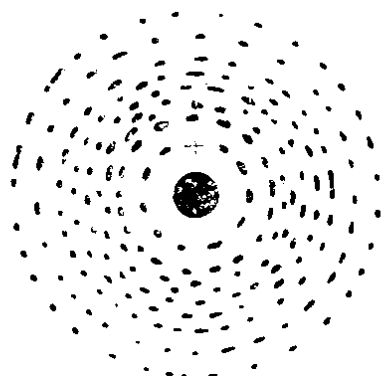


图1-2 氢原子电子云示意图

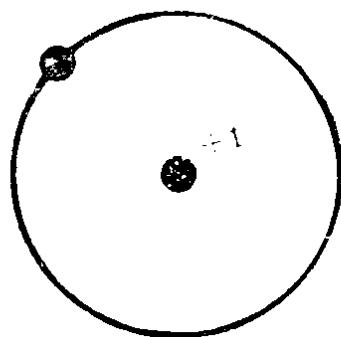


图1-3 氢原子结构图

如果把电子静止地看，象图 1-3 的结构，图中的圆圈叫做电子层，它表明电子距原子核的远近，以及能量的大小，距离核近能量小，距离核远则能量大，所以又把它叫做能级。

2. 原子核外电子的排布 除氢原子核外电子是 1 外