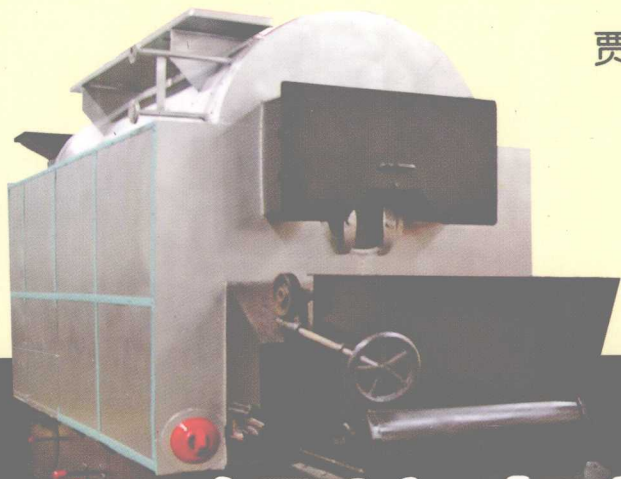
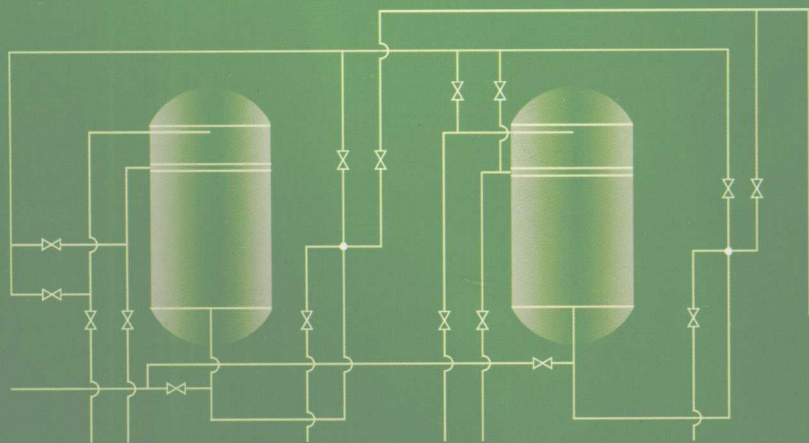


贾思怀 编著



工业锅炉水处理 实用技术



金盾出版社

工业锅炉水处理实用技术

贾思怀 编著

金盾出版社

内 容 提 要

本书对多种水软化工艺以及除盐、脱碱、除氧工艺的工艺流程、设备结构、用料计算、反应原理等都做了详细介绍。文字简洁明了,内容科学实用,叙述图文并茂。可供锅炉管理人员、技术人员及一线工人阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

工业锅炉水处理实用技术/贾思怀编著. —北京:金盾出版社,2008.4

ISBN 978-7-5082-4932-2

I. 工… II. 贾… III. 锅炉用水-水处理 IV. TK223.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 008502 号

金盾出版社出版、总发行

北京太平路 5 号(地铁万寿路站往南)

邮政编码:100036 电话:68214039 83219215

传真:68276683 网址:www.jdcbs.cn

封面印刷:北京精彩雅恒印刷有限公司

正文印刷:北京天宇星印刷厂

装订:东杨庄装订厂

各地新华书店经销

开本:787×1092 1/32 印张:5.5 字数:106 千字

2008 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

印数:1—8000 册 定价:10.00 元

(凡购买金盾出版社的图书,如有缺页、
倒页、脱页者,本社发行部负责调换)

前 言

工业锅炉是工矿企业生产中和居民生活中不可缺少的热力设备,其分布面广、数量多,在国民经济中占有重要位置。然而,锅炉用水的处理在很多企事业单位还属于薄弱环节。笔者通过社会调查发现,有相当一部分企业、事业单位的锅炉水处理存在技术缺陷或技术空白,给锅炉的安全生产带来很大隐患。究其原因主要有两个方面:一是对锅炉水处理重要性的认识不足,二是缺乏这方面的知识和技能。为此特编写了本书。

本书对多种水软化工艺以及除盐、脱碱、除氧工艺的工艺流程、设备结构、用料计算、反应原理等都做了详细介绍。

由于作者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,望广大读者批评指正。

作 者

目 录

第一章 概述	1
第一节 天然水中的杂质及对锅炉的危害	1
第二节 锅炉水质指标	5
第三节 锅炉水质标准	11
第四节 排污率	14
第二章 水的净化	15
第一节 水净化方法	15
第二节 重力无阀滤池	16
第三节 斜管沉淀净化池	19
第三章 炉内化学软化水处理	26
第一节 常用药剂及用量	26
第二节 加药装置与操作	30
第四章 炉外化学软化水处理	34
第一节 石灰软化法	34
第二节 石灰-纯碱软化法	35
第三节 化学-热能综合软化法	38
第五章 离子交换软化法	41
第一节 离子交换剂	41
第二节 钠离子交换软化法	44
第三节 部分钠离子交换软化法	46
第四节 氢离子交换软化法	47
第五节 氢-钠离子交换软化法	48

第六节	铵离子交换软化法	51
第七节	阴-阳离子交换软化法	53
第八节	离子交换法的工艺类型及运行方式	57
第九节	离子交换软化法的工艺	66
第十节	离子交换系统的设备	72
第十一节	工艺条件的选择及交换剂用量的计算	76
第十二节	操作条件的选择	78
第十三节	交换剂的装填、预处理及复苏	80
第六章	水的除氧	84
第一节	热力除氧	85
第二节	解吸除氧	86
第三节	化学除氧	88
第四节	真空除氧	90
第七章	水质分析方法	92
第一节	一般规定	92
第二节	水样的采集	96
第三节	固形物的测定	98
第四节	pH 值的测定	104
第五节	氯化物的测定	111
第六节	碱度的测定	114
第七节	硬度的测定	116
第八节	钙的测定	120
第九节	磷酸盐的测定	122
第十节	溶解氧的测定	126
第十一节	亚硫酸盐的测定	138
第十二节	油的测定	142
第十三节	铁的测定	145

第八章	标准溶液的配制与标定	148
第一节	酸、碱标准溶液的配制与标定	148
第二节	乙二胺四乙酸二钠(EDTA)标准溶液的 配制与标定	153
第三节	硫代硫酸钠标准溶液的配制与标定	155
第四节	碘标准溶液的配制与标定	157
第五节	高锰酸钾标准溶液的配制与标定	158
第六节	试验室用高纯水的制备	160
附表 1	氨、磷酸、硅酸、亚硫酸及其离子在不同 pH 值时总浓度的 % (温度 = 25℃)	164
附表 2	常用酸、碱密度和浓度	165

第一章 概 述

第一节 天然水中的杂质及对锅炉的危害

一、天然水中的杂质

天然水中,无论是地表水还是地下水,都含有各种各样的杂质。水中杂质大体可分为三类。

1. 固态杂质

(1)悬浮物。一般为溶于水的有机物、工业废物、泥沙等物质。

(2)钙盐。一般为重碳酸钙、硫酸钙、硅酸钙以及氯化钙等。

(3)镁盐。一般为重碳酸镁、硫酸镁、硅酸镁以及氯化镁等。

(4)钠盐。一般为硫酸钠、氯化钠等。

(5)铁盐。一般为氧化铁。

(6)氧化硅。

2. 液态杂质

一般指油脂,工业废液、酸液等。

3. 气态杂质

主要有氧气,二氧化碳等。

二、水中杂质对锅炉的危害

1. 在锅炉内生成水垢、水渣

(1)水垢与水渣的区别。锅炉水中的杂质经过蒸发过程

就会逐渐浓缩,运行一段时间后,就会在锅筒和管壁上粘附一些固态附着物,这种现象称为“结垢”,俗称“水垢”。水垢包括碳酸盐水垢(指碳酸钙含量 50% 以上的水垢)、硫酸盐水垢(指硫酸钙含量 50% 以上的水垢)、硅酸盐水垢(指二氧化硅含量 20% 以上的水垢)和混合水垢等。

锅炉运行时,还会从炉水中析出一些固体物质,有的比较松散,呈悬浮状态,有的沉积在锅筒和下集箱底部等水流缓慢或停滞的地方。这些物质都叫做“水渣”,可用排污的方法除掉。其中,呈沉积状态的水渣,再经受热面高温烘焙,常常会转变成水垢(通常称之为“二次水垢”)。这些物质包括磷酸镁 $[\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2]$ 、氢氧化镁 $[\text{Mg}(\text{OH})_2]$ 等。

(2)水垢、水渣形成的原因。水在锅炉中之所以会结垢,首先是因为水中含有能够结垢的物质(钙盐、镁盐之类),其次还要具备一定的条件。水垢、水渣形成的原因大体上有以下三种:

①水在被加热和蒸发的过程中,某些钙、镁盐类发生化学反应,生成难溶的物质析出。如重碳酸钙 $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2]$,原是易溶于水的盐类,当其受热后即分解析出难溶于水的碳酸钙 (CaCO_3) 沉淀物。

②某些钙、镁盐类的溶解度随着水温的升高而下降。如硫酸钙 $[\text{CaSO}_4]$ 在水温 20°C 时,溶解度为 4052.8 毫克/升,而当水温升到 200°C 时,其溶解度只有 103.4 毫克/升。

③水不断受热蒸发,水中盐类的浓度随之增大,当溶液达到饱和浓度时便有沉淀析出。

从水中析出的盐类物质,为什么能附着在受热面上呢?这是因为受热金属表面一般都粗糙不平,有许多微小的突起小丘,这些小丘能成为从溶液中析出固体的结晶核心。此

外,受热金属表面上常常覆盖着一层氧化膜,这种氧化膜有相当大的吸附能力,能成为金属壁和由溶液中析出物的粘结层。

从水中析出的盐类物质,可能成为水垢,也可能成为水渣。这不仅取决于它们的化学成分、结晶状态,而且还与析出时的条件有关。如在省煤器、给水管道中,水中析出的碳酸钙常形成坚硬的水垢,而在锅炉本体受热面上,由于锅炉水的碱度较强,又处于剧烈的沸腾状态,因此,析出的碳酸钙常形成海棉状的松散水渣。

(3)水垢的危害。

①浪费燃料。水垢的导热性很差。它的导热系数只有钢板的 $1/30 \sim 1/50$ 。也就是说,1 毫米厚度水垢的热阻相当于 $30 \sim 50$ 毫米厚度钢板的热阻。由此可见,结垢后会使得受热面传热情况恶化,增高排烟温度,降低锅炉热效率,浪费燃料。经测定,在达到同样温度的条件下,水垢厚度与多消耗燃料的关系见表 1-1。

表 1-1 水垢厚度与多消耗燃料的关系表

水垢厚度(毫米)	0.5	1	3	5	8
多消耗燃料(%)	2	3~5	6~10	15	34

②影响运行安全。锅炉正常运行时,钢板受热后很快将热量传递给炉水,两者温度相差 $30 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 。有水垢时,钢板的热量受水垢的阻挡,很难传递给炉水,要使炉水达到同样的温度,钢板的温度要上升几倍至十几倍。钢板温度急剧升高,导致强度显著下降,造成钢板受热变形、鼓包、裂缝,甚至破裂,严重威胁锅炉的运行安全。以 20 钢为例,温度与强度的对应关系见表 1-2。

表 1-2 20 钢温度与强度对应关系表

温度(℃)	260	300	400	450	500
基本许用应力(MPa)	1.3	1.2	0.93	0.66	0.28

③影响水循环。锅炉内结生水垢后,管内水通过的截面积减小,增加了水循环的流动阻力,造成锅炉出力不足、蒸发量下降。

④缩短锅炉寿命。水垢附在锅炉受热面上,特别是附着在锅炉管内,很难清除。为了除垢,需经常清洗锅炉,从而增加了检修费用,不仅仅耗费人力、物力,而且由于经常采用机械方法与化学方法除垢,会使受热面受到损伤,缩短锅炉的使用寿命。

2. 腐蚀锅炉金属

由于水质不良造成锅炉腐蚀,分为均匀腐蚀和局部腐蚀两种。均匀腐蚀又称为“一般腐蚀”,是指金属在腐蚀性介质作用下,整个接触表面都受到腐蚀;局部腐蚀又称为“选择性腐蚀”,是在金属表面的个别部分产生腐蚀,腐蚀速度比均匀腐蚀快得多。锅炉金属腐蚀主要是局部腐蚀。锅炉钢板被腐蚀后,厚度变薄,应力增高,致使锅炉达不到应有的强度,承受不了许可的压力。

3. 污染蒸汽

蒸汽被污染,通常指蒸汽中带有杂质和水分,使其品质降低。当锅炉水中含有较多的溶解盐类和悬浮物时,随着炉水不断浓缩,含盐量及碱度增高。当含量达到一定值后,就有大量的胶体粒子上升到蒸发表面,形成有一定强度的薄膜。这些薄膜在炉水蒸发时所形成的微小气泡既不易破裂,又难以合并变大,在蒸发面上聚集,形成泡沫层,造成炉水发泡、起沫及汽水共腾,导致蒸汽夹带较多的水分、盐类及其它

杂质。这些杂质会在过热器、蒸汽管道和用气设备中沉积，导致杂质造成的危害由炉内向炉外蔓延。不仅影响传热，降低锅炉热效率，还会破坏设备，造成事故。

第二节 锅炉水质指标

一、水质指标常用单位

水质指标一般是用杂质的浓度表示的。水质指标常用的浓度有三个，即质量浓度、当量浓度和物质的量浓度。它们的计量单位分别是“毫克/升”(mg/L)，“毫克当量/升”(mgN/L)和“毫摩尔/升”(mmol/L)。

1. 毫克/升

表示每 1 升水中含有杂质的毫克数。

2. 毫克当量/升

表示每 1 升水中含有杂质的毫克当量数。

不同的物质在发生化学反应时，彼此相当的量称为“当量”。以毫克表示的当量数称为“毫克当量”。

按照物质的类型不同，它们的当量可以按照下列公式求出：

$$\text{元素或单质的当量} = \frac{\text{元素的相对原子质量}}{\text{元素的化合价}}$$

$$\text{例如：钙的当量} = \frac{40.08}{2} = 20.04。$$

$$\text{酸的当量} = \frac{\text{酸的相对分子质量}}{\text{酸分子中所含可被置换的氢原子数}}$$

$$\text{例如：硫酸}(\text{H}_2\text{SO}_4)\text{的当量} = \frac{98.07}{2} = 49.04。$$

$$\text{碱的当量} = \frac{\text{碱的相对分子质量}}{\text{碱分子中所含的氢氧基数}}$$

例如:氢氧化钠(NaOH)的当量 = $\frac{40.01}{1} = 40.01$ 。

$$\text{盐的当量} = \frac{\text{盐的相对分子质量}}{\text{盐分子中的金属原子数} \times \text{金属的化合价}}$$

例如:硫酸铝[Al₂(SO₄)₃]的当量 = $\frac{342.14}{2 \times 3} = \frac{342.14}{6} = 57.02$ 。

一种物质在不同的反应中,可以有不同的当量。例如铁在 2 价铁化合物中的当量是 $\frac{55.847}{2} = 27.92$, 在 3 价铁化合物中的当量是 $\frac{55.847}{3} = 18.62$ 。又如铬酸钾(K₂CrO₄)作为氧化剂时,当量是 $\frac{194.19}{3} = 64.73$; 但作为盐时,当量是 $\frac{194.19}{2} = 97.10$ 。物质相互作用时的质量,同它们的当量成正比。知道了物质的当量,可以算出它们在反应中的质量比值。

当量浓度是用于表示溶液浓度的一种单位。符号为 N。定义为:1N=1 克当量/升。例如:1 克当量硫酸(49.04 克)溶解在水中成 1 升溶液时,其当量浓度为 1N。

需要指出的是,当量是在化工领域没有建立“物质的量”这一概念之前,为了说明化学反应中物质间定量关系所采用的一个术语。随着新概念的建立,“当量”、“当量浓度”已不再使用,代之以摩尔和摩尔浓度。

3. 摩尔浓度

摩尔是物质的量的单位,简称“摩”,用符号 mol 表示。它是国际单位制(SI)中七个基本单位之一。它是一系统的

物质的量,含有的基本单元数与 $0.012\text{kg}^{12}\text{C}$ 的原子数目相同(6.02×10^{23} 个)。

1mol 物质的质量称为该物质的摩尔质量,单位是克/摩(g/mol),数值上等于该物质的原子质量、分子质量。如 $1\text{mol}^{12}\text{C}$ 的原子质量为 12 克,则 ^{12}C 的摩尔质量为 12 克/摩。同理, NH_3 的摩尔质量为 17 克/摩, SO_4^{2-} 的摩尔质量为 96 克/摩。

摩尔浓度是物质的量浓度,表示 1 升溶液中含有某种物质的量,其计量单位为摩/升(mol/L)。

当量浓度(N)与摩尔浓度(mol/L)之间的换算关系可用下式表示:

$$N = (\text{mol/L}) \times \text{离子价数}$$

或

$$(\text{mol/L}) = N \div \text{离子价数}$$

例如: $1\text{N NaOH} = 1\text{mol/L NaOH}$

$2\text{N H}_2\text{SO}_4 = 1\text{mol/L H}_2\text{SO}_4$

二、锅炉用水的主要指标

锅炉用水的主要指标有悬浮物、溶解固形物、含盐量、总硬度、总碱度,相对碱度、含油量、溶解氧、pH 值及磷酸根等。

1. 悬浮物

悬浮物指标表示 1 升水样中含有悬浮物的多少,单位是毫克/升(mg/L)。通常是水中悬浮的固体物质烘干后的质量。实际测量时,可取 1 升水样,经定量滤纸过滤后,将滤纸和滤出物在 $105 \sim 110^\circ\text{C}$ 温度下烘至恒重,称其质量,即是该水样悬浮物的指标值。悬浮物指标值越大,表示水中悬浮物越多,水质越混浊。

2. 溶解固形物

溶解固形物指标表示 1 升已过滤的水样(即不含悬浮物)中溶解的盐类和有机物的多少,单位是毫克/升(mg/L)。通常是指水中溶解的盐类、有机物等烘干后的质量。实际测量时,可取 1 升已过滤(不包括悬浮物)的水样,蒸干后于 105~110℃ 温度下烘至恒重,称其质量,即是该水样溶解固形物的指标值。

3. 含盐量

水中的盐类一般都以离子状态存在。其全部阳离子(Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^{+} 、 K^{+})和阴离子(Cl^{-} 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^{-} 、 SO_4^{2-} 等)含量的总和称为“含盐量”。主要由钙盐、镁盐和钠盐组成。水中含盐量愈多,水质就愈差。含盐量是制定锅炉水质标准和确定锅炉排污量的主要依据,其单位是毫克/升(mg/L)。

4. 总硬度

总硬度是指溶于水中能生成水垢、水渣的钙盐和镁盐的总含量。总硬度由碳酸盐硬度和非碳酸盐硬度两部分组成。

(1)碳酸盐硬度。碳酸盐硬度是指由水中溶解的重碳酸钙 $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2]$ 和重碳酸镁 $[\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2]$ 所形成的硬度。当水被加热后,这些盐类可分解成碳酸盐水渣沉淀析出,所以又称为“暂时硬度”。如重碳酸钙 $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2]$ 加热后,即生成碳酸钙(CaCO_3)沉淀从炉水中析出。

(2)非碳酸盐硬度。非碳酸盐硬度主要指由水中溶解的氯化钙、氯化镁、硫酸钙、硫酸镁、硝酸钙、硝酸镁、硅酸钙、硅酸镁等所形成的硬度。当水被加热后,这些盐类不会析出,所以又称为“永久硬度”。

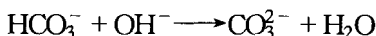
总硬度等于碳酸盐硬度和非碳酸盐硬度之和。硬度的

大小和组成,直接关系到锅炉水垢的数量、特质、水处理的方法和软水剂的消耗量等。其单位是毫摩尔/升(mmol/L)。其基本单元为($\frac{1}{2}\text{Ca}^{2+}$ 、 $\frac{1}{2}\text{mg}^{2+}$)。

5. 总碱度

总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的含量。包括重碳酸根碱度(HCO_3^-)、碳酸根碱度(CO_3^{2-})和氢氧根碱度(OH^-)三类。这三类离子碱度的总和称为总碱度。碱度的大小,关系到水处理方法的选用以及软水剂的消耗量等。其单位与硬度单位相同,即毫摩尔/升(mmol/L)。其基本单元为(OH^- 、 $\frac{1}{2}\text{CO}_3^{2-}$ 、 HCO_3^-)。

需要指出的是,构成总碱度的三种离子不能在水中同时存在,因为当 HCO_3^- 与 OH^- 相遇时,会发生如下反应:



6. 相对碱度

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

由于水中的碱性物质和溶解固形物加入锅炉后基本不减少,并且与炉水同时浓缩,所以相对碱度可以用给水碱度(以 NaOH 表示的量)与给水中溶解固形物的比值来计算。

$$\text{即: 相对碱度} = \frac{\text{炉水(或给水)中游离 NaOH 含量}}{\text{炉水(或给水)中溶解固形物含量}}$$

相对碱度小时,炉水含盐量相对增多。由于中性盐蒸发后将金属晶间缝隙闭塞,因而可以避免晶间腐蚀^①。当相对碱度大于等于 20% 时,应采取防止晶间腐蚀的措施。

7. 含油量

含油量是指水中油脂的含量。单位是毫克/升(mg/L)。

表示 1 升水中含有多少毫克的油脂。油脂能粘在锅炉受热面上,产生油泥状的水垢,还可能造成汽水共腾,污染蒸汽品质。因此,给水中含油量越低越好。

8. 溶解氧

溶解氧是指溶于水中氧气的含量,单位是毫克/升(mg/L)。表示 1 升水中含有多少毫克的氧气。氧在水中的溶解度,取决于水温和水面上气体中的氧含量,即水面上氧气的分压。当水温高或水面上气体中含氧量低时(即氧的分压低),氧的溶解度小。溶解于水中的氧,对热力设备有强烈的氧化腐蚀作用,应尽量除掉。

9. pH 值

pH 值是指水中氢离子(H^+)的浓度,也就是指水的酸碱度。用溶液中氢离子(H^+)浓度的负对数表示, $pH = \lg[H^+]$ 。pH 值最小为 1,最大为 14。常温下水的酸碱性程度与 pH 值之间的关系,见表 1-3。

表 1-3 常温下水的酸碱性程度与 pH 值之间的关系

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

由表 1-3 可知,当 pH 值为 7 时,水呈中性;当 pH 值小于 6.5 时,水呈酸性,pH 值越小,酸性越强;当 pH 值大于 7.5 时,水呈碱性,pH 值越大,碱性越强。

炉水的 pH 值以 10~12 为宜。当 pH 值小于 7 时,容易对钢材产生酸性腐蚀;当 pH 值大于 13 时,容易将钢材表面的保护膜溶解,加快腐蚀速度。

① 晶间腐蚀又叫苛性脆蚀,是指碱性物质入侵金属晶粒之间引起的腐蚀。