



山西科学教育出版社

锅炉给水

纯化处理设计计算

崔玉川 胡振国 编

## 锅炉给水纯化处理设计计算

崔玉川 胡振国

山西科学教育出版社出版 (太原并州北路十一号)  
山西省新华书店发行 山西新华印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 11.875 字数: 250千字

1988年10月第1版 1988年10月太原第1次印刷

印数: 1—13240 册

ISBN 7—5377—0057—5

T·6 定 价: 3.20 元

## 前 言

随着工业和城市的迅速发展，锅炉数量急剧增加。为了保证锅炉的安全经济运行，锅炉给水纯化处理是十分重要的。

本书通过计算例题的形式，具体介绍锅炉给水纯化处理基本工艺设备的设计计算内容、方法和要求。书中主要编写了锅炉给水的水质计算、锅内水处理药剂计算和锅外水质软化、除盐及除气处理设备的工艺设计计算例题67个。其中还列举了一些中小型低压锅炉房给水软化工艺系统的设计计算实例。所编写的例题，大部分取材于实际工程资料。以期初次设计时，仿照例题便可基本完成所需要的设计计算。可供锅炉水处理、电厂化学及给水排水专业的工程技术人员和院校师生使用参考。

该书由崔玉川主编，由白光晋审阅。书中第一、五章由胡振国编写，第二、三、四章由崔玉川编写。

由于我们的水平和收集到的资料有限，书中错误和不妥之处，恳请读者批评指教。

编 者

# 目 录

前 言 .....	( 1 )
第一章 锅内水处理 .....	( 1 )
第一节 水质计算 .....	( 1 )
例 1—1 水质硬度单位换算之一.....	( 5 )
例 1—2 水质硬度单位换算之二.....	( 5 )
例 1—3 水中硬度种类的图解法计算.....	( 5 )
例 1—4 用假想化合物组合规律确定硬度的种 类和数量.....	( 7 )
例 1—5 水质碱度单位换算.....	( 12 )
例 1—6 相对碱度计算.....	( 13 )
例 1—7 由 pH 值计算氢离子浓度.....	( 14 )
例 1—8 由氢离子浓度计算 pH 值.....	( 14 )
例 1—9 计算排污率、含氯量及碱度 的控制指标之一.....	( 23 )
例 1—10 计算排污率、含氯量及碱度 的控制指标之二.....	( 25 )
例 1—11 计算排污率、含氯量及碱度 的控制指标之三.....	( 26 )
第二节 锅内水处理计算 .....	( 27 )
例 1—12 天然碱处理的排污率计算.....	( 29 )
例 1—13 计算两种水的混合比和给水硬度.....	( 30 )

例 1—14	纯碱处理加碱量计算	( 34 )
例 1—15	用图解法求加碱量	( 35 )
例 1—16	氢氧化钠处理用药量计算之一	( 38 )
例 1—17	氢氧化钠处理用药量计算之二	( 39 )
例 1—18	计算磷酸三钠用量之一	( 42 )
例 1—19	计算磷酸三钠用量之二	( 43 )
例 1—20	计算混合软水剂各种成分用量之一	( 49 )
例 1—21	计算混合软水剂各种成分用量之二	( 50 )
<b>第二章</b>	<b>软化</b>	( 55 )
第一节	锅外药剂软化法 计算	( 56 )
例 2—1	石灰软化法加药量计算	( 57 )
例 2—2	石灰软化法设备计算	( 58 )
例 2—3	石灰软化法涡流反应器计算	( 60 )
例 2—4	石灰-苏打软化法 计算	( 64 )
第二节	离子交换软化法 计算	( 67 )
例 2—5	离子交换剂交换容量的单位换算	( 78 )
例 2—6	离子交换剂用量计算	( 79 )
例 2—7	钠离子交换器计算	( 79 )
例 2—8	氢离子交换器计算	( 81 )
例 2—9	交换器的选择计算	( 83 )
例 2—10	固定床顺流再生单级钠离子交换系统计算	( 85 )
例 2—11	部分钠离子交换系统水量计算	( 87 )
例 2—12	H—Na 并联离子交换系统的水量比及CO <sub>2</sub> 产生量计算	( 89 )
例 2—13	H—Na并联固定床离子交换系统计算	( 90 )
例 2—14	不足量酸再生H—Na串联固定床离子交换系统计算	( 95 )

例 2—15	NH <sub>4</sub> —Na混合固定床离子交换 系统再生剂用量计算·····	(102)
例 2—16	Na型双塔式单周期移动床计算·····	(105)
例 2—17	H—Na并联双塔连续式移动床计算·····	(110)
<b>第三章</b>	<b>除盐</b> ·····	<b>(121)</b>
第一节	离子交换法除盐设备计算·····	(121)
例 3—1	一级复床除盐系统计算 (一)·····	(126)
例 3—2	一级复床除盐系统计算 (二)·····	(138)
例 3—3	一级混合床除盐系统计算·····	(147)
例 3—4	混合床再生时间估算·····	(152)
例 3—5	一级复床加混合床除盐系统简要计算·····	(153)
例 3—6	一级复床加混合床除盐系统计算 (一)·····	(156)
例 3—7	一级复床加混合床除盐系统计算 (二)·····	(160)
例 3—8	一级复床加混合床除盐系统计算 (三)·····	(177)
例 3—9	双级复床除盐系统简要计算·····	(179)
例 3—10	三塔移动床一级复床除盐系统计算·····	(203)
第二节	电渗析法除盐设备计算·····	(210)
例 3—11	电渗析器几个技术指标的计算·····	(217)
例 3—12	最佳电流密度和极限电流密度等的计算·····	(218)
例 3—13	膜对电阻和膜对面电阻的计算·····	(220)
例 3—14	全部并联 (二级一段) 组装方式 电渗析器计算·····	(222)
例 3—15	多段串联 (二级六段) 等电流 密度组装方式电渗析器计算·····	(228)
例 3—16	多级多段串联 (四级八段) 综合 组装方式电渗析器计算·····	(239)
例 3—17	多台串联工作 (四台每台二级一段) 等水流速度组装方式电渗析器计算·····	(248)

第三节	反渗透法除盐计算.....	(258)
例 3—18	反渗透法淡化海水所需压力及电能计算.....	(263)
例 3—19	水和盐的渗透系数及脱盐率计算.....	(264)
例 3—20	半透膜水的渗透通量及脱盐率计算.....	(266)
例 3—21	反渗透法和电渗析法脱盐的技 术经济比较计算.....	(268)
例 3—22	反渗透法水处理工艺实例.....	(274)
<b>第四章</b>	<b>除气</b> .....	(280)
第一节	除氧器计算.....	(281)
例 4—1	真空式除气器计算.....	(282)
第二节	除二氧化碳器计算.....	(290)
例 4—2	瓷环填料鼓风式除CO <sub>2</sub> 器计算.....	(292)
例 4—3	标准型号鼓风填料式除CO <sub>2</sub> 器的选型计算.....	(296)
<b>第五章</b>	<b>系统设计计算实例</b> .....	(299)
例 5—1	三台4t/h蒸汽锅炉水处理工艺设计计算.....	(299)
例 5—2	三台360×10 <sup>4</sup> KCal/h热水锅炉水 处理工艺设计计算.....	(307)
例 5—3	两台10t/h蒸汽锅炉水处理工 艺设计计算.....	(334)
例 5—4	三台240×10 <sup>4</sup> KCal/h热水锅炉及三台 4t/h蒸汽锅炉水处理工艺设计计算.....	(345)
<b>附 录</b>		
附一	常用元素的原子量和当量.....	(359)
附二	常用化合物的分子量和当量.....	(360)
附三	毫克/升与毫克当量/升换算表.....	(362)
附四	20°/4℃时盐酸溶液的比重.....	(363)
附五	20°/4℃时硫酸溶液的比重.....	(364)

附六	20°/4°C时氢氧化钠溶液的比重.....	(369)
附七	20°/4°C时氯化钠溶液的比重.....	(367)
附八	各种硬度单位的换算表.....	(368)
附九	不同水质的水处理方法参考表.....	(369)
附十	水的含盐量与电阻率计算图.....	(370)



# 第一章 锅内水处理

## 第一节 水质计算

### 一、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

表1—1 水质指标及符号

水质指标	符 号	常用单位	水质指标	符 号	常用单位
悬浮物		mg/l	重碳酸根	$\text{HCO}_3^-$	me/l
pH值			碳酸根	$\text{CO}_3^{2-}$	me/l
含盐量	C	me/l	氯离子	$\text{Cl}^-$	mg/l
溶解固形物	S	mg/l	硫酸根	$\text{SO}_4^{2-}$	mg/l
蒸发残渣		mg/l	硅酸根	$\text{SiO}_3^{2-}$	mg/l
电导率		$\mu\Omega/\text{cm}^2$	磷酸根	$\text{PO}_4^{3-}$	mg/l
硬 度	H	me/l	硝酸根	$\text{NO}_3^-$	mg/l
碱 度	A	me/l	亚硝酸根	$\text{NO}_2^-$	mg/l
碳酸盐硬度	$\text{H}_T$	me/l	钙	$\text{Ca}^{2+}$	me/l
非碳酸盐硬度	$\text{H}_F$	me/l	镁	$\text{Mg}^{2+}$	me/l
耗氧量		mg/l	钾 + 钠	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	me/l
含油量		mg/l	铵	$\text{NH}_4^+$	mg/l
二氧化碳	$\text{CO}_2$	mg/l	铁	$\text{Fe}^{2+}; \text{Fe}^{3+}$	mg/l
溶解氧	$\text{O}_2$	mg/l	铝	$\text{Al}^{3+}$	mg/l

衡量水的质量好坏，必须采用一系列的水质指标，如表1—1所示。

锅炉用水的水质指标，通常可分为两类：

一类是反映单独化合物或离子含量多少的成分指标，如含氧量（或称溶解氧）、氢离子浓度（即pH值）、磷酸根等；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，如悬浮物、硬度、碱度、含盐量等。

### （一）悬浮物

悬浮物主要指泥土、砂砾和动植物残余体等不溶性物质。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。单位以mg/l表示。

悬浮物会影响锅炉和离子交换水处理设备的安全和经济运行。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。

悬浮物可用重量分析法测定。

### （二）含盐量

含盐量是指水中各种盐类的总和，亦即水中全部阴离子与阳离子的总和，这样进行全分析工作过于繁重，故常用下列近似指标：

1. 溶解固形物 取过滤的澄清水样，在水浴上蒸干后在105~110℃的烘箱中干燥，其残余物称为溶解固形物。单位以mg/l表示。溶解固形物包括有机物在内，故与含盐量稍有出入。

2. 灼烧余量 将溶解固形物在750~800℃灼烧至残渣变白，有机物灼烧完毕所损失的重量称为灼烧减量。溶解固形物减去灼烧减量即为灼烧余量。灼烧减量不仅包括水中含有的有机物，而且在灼烧时尚有微量的水分挥发；有部分氧化物挥发；硫酸盐还原及部分碳酸盐的分解，故灼烧余量也与含盐量稍有出入。

在锅炉内锅水不断蒸发浓缩条件下，水中的溶解固形物和氯离子（ $\text{Cl}^-$ ）的比值近于常数。因此，在实用上也可根据不同浓度下溶解固形物与氯离子（ $\text{Cl}^-$ ）的对应关系曲线，从测得的氯离子（ $\text{Cl}^-$ ）含量，查出对应的溶解固形物含量。

### （三）硬度（H）

硬度本来是指水中可以形成水垢的高价金属离子的总浓度，称为总硬度，简称硬度。一般是泛指最主要的成垢因素 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 的总含量。它是锅炉用水中一项重要的技术指标。

水的硬度，主要是由于水中有钙与镁的碳酸盐、酸式碳酸盐、硫酸盐、氯化物以及硝酸盐的存在而形成。

水的总硬度 $H_0$ 可按造硬物质组成中阳离子的不同，分为钙硬度 $H_{\text{Ca}}$ 和镁硬度 $H_{\text{Mg}}$ 。也可按其阴离子种类的不同，分为碳酸盐硬度 $H_{\text{T}}$ 和非碳酸盐硬度 $H_{\text{F}}$ 。碳酸盐硬度是钙、镁的酸式碳酸盐和碳酸盐的总和，但实际上因钙、镁的碳酸盐在水中的溶解度很小，所以碳酸盐硬度主要是酸式碳酸盐。另外，碳酸盐硬度在水煮沸后，便可沉淀去除，因此它又称为暂时硬度；钙、镁的硫酸盐、氯化物或硝酸盐等，称为非碳酸盐硬度，它们在水里煮沸时仍难沉淀去除，故又称为永久硬

度。

所以，水的总硬度是碳酸盐硬度（暂时硬度）和非碳酸盐硬度（永久硬度）之和，也可近似为钙硬度加镁硬度。

阳离子型硬度（ $H_{Ca}$ ， $H_{Mg}$ ）和阴离子型硬度（ $H_T$ ， $H_F$ ）之间的数量关系为：

$$H_{Ca} + H_{Mg} = H_T + H_F = H_0 \quad (1-1)$$

$$H_{Ca} = H_{Ca}^T + H_{Ca}^F \quad (1-2)$$

$$H_{Mg} = H_{Mg}^T + H_{Mg}^F \quad (1-3)$$

$$H_T = H_{Ca}^T + H_{Mg}^T \quad (1-4)$$

$$H_F = H_{Ca}^F + H_{Mg}^F \quad (1-5)$$

式中  $H_{Ca}^T$  —— 钙的碳酸盐硬度；  
 $H_{Ca}^F$  —— 钙的非碳酸盐硬度；  
 $H_{Mg}^T$  —— 镁的碳酸盐硬度；  
 $H_{Mg}^F$  —— 镁的非碳酸盐硬度；

其他符号同前。

硬度的常用单位是毫克当量/升(me/l)，此外，还有用德国度（°G）和百万分单位（ppm）表示的。

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

（2）德国度（°G） 即每升水中含有10mgCaO时，水的硬度称为1德国度（°G）。

（3）百万分单位（ppm） 指1百万份水中含有1份重量的CaCO<sub>3</sub>，即每升水（或1百万mg）中含有1mgCaCO<sub>3</sub>时，水的硬度称为1ppm。

上述三种单位的换算关系如下：

$$1\text{me/l} = 2.8^\circ\text{G} = 50.1\text{ppm} \quad (1-6)$$

$$1^{\circ}\text{G} = 0.357\text{me/l} = 17.9\text{ppm} \quad (1-7)$$

$$1\text{ppm} = 0.02\text{me/l} = 0.056^{\circ}\text{G} \quad (1-8)$$

### 例1-1 水质硬度单位换算之一

已知某水样分析结果为  $\text{Ca}^{2+} = 44.2\text{mg/l}$ ,  $\text{Mg}^{2+} = 18.2\text{mg/l}$ , 试用三种单位表示其硬度。

解: 从附录一查得,  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  的当量值分别为 20.04 和 12.15, 故:

$$(1) \frac{44.2}{20.04} + \frac{18.2}{12.15} = 3.7\text{me/l}$$

$$(2) 3.7 \times 2.8 = 10.4^{\circ}\text{G}$$

$$(3) 3.7 \times 50.1 = 185.4\text{ppm}$$

### 例1-2 水质硬度单位换算之二

某厂水井水测得硬度为  $10.9^{\circ}\text{G}$ , 试换算成  $\text{me/l}$  和  $\text{ppm}$  单位, 此硬度又相当于每升多少  $\text{mgCa}^{2+}$  浓度?

解: 由公式 (1-7)

$$(1) 0.357 \times 10.9 = 3.89\text{me/l}$$

$$(2) 17.9 \times 10.9 = 195.1\text{ppm}$$

又从附录一查得,  $\text{Ca}^{2+}$  的当量值为 20.04, 故此硬度相当于  $\text{Ca}^{2+}$  为:

$$\frac{20.04}{2.8} \times 10.9 = 77.9\text{mg/l}$$

### 例1-3 水中硬度种类的图解法计算

已知原水总硬度  $H_0 = 50^{\circ}\text{G}$ , 碳酸盐硬度  $H_T = 30^{\circ}\text{G}$ , 钙硬度  $H_{Ca} = 20^{\circ}\text{G}$ 。

解: (参见图 1-1)

1. 以纵座标表示硬度, 画出  $H_0 = 50^{\circ}\text{G}$  的带状图。



$$H_{Mz}^T = 0。$$

例1-4 用假想化合物组合规律，确定硬度的种类和数量。

### 1. 概述

假想化合物组合规律（或假想化合概念）是说，水中阳离子和阴离子之间是按照一定的组合规律相联系着的。这个组合规律是根据组合成化合物的溶解度的大小次序得出的，即离子要优先组合成溶解度小的化合物，然后按溶解度由小到大进行组合产生。

对于水中常见离子的组合规律，如表1—2所示。

表1—2 水中常见离子的组合次序

阳 离 子		阴 离 子	
(组合次序) ↓	$Ca^{2+}$	$HCO_3^-$	(组合次序) ↓
	$Mg^{2+}$	$SO_4^{2-}$	
	$Na^+$	$Cl^-$	
	$K^+$	$NO_3^-$	

表1—2表示，水中阳离子和阴离子组合规律的次序，首先是 $Ca^{2+}$ ，然后依次是 $Mg^{2+}$ 、 $Na^+$ 、 $K^+$ ；水中阴离子和阳离子的组合规律次序，首先是 $HCO_3^-$ ，然后依次是 $SO_4^{2-}$ 、 $Cl^-$ 、 $NO_3^-$ 。所以， $Ca^{2+}$ 将首先与 $HCO_3^-$ 按等当量化合，若 $Ca^{2+}$ 含量大于 $HCO_3^-$ 含量（均以me/l计）时，那么剩余的 $Ca^{2+}$ 再依次与 $SO_4^{2-}$ 、 $Cl^-$ 、 $NO_3^-$ 相化合。反之，若 $HCO_3^-$ 含量大于 $Ca^{2+}$ 含量时，当 $Ca^{2+}$ 被化合完后，剩余的 $HCO_3^-$

再依次与 $Mg^{2+}$ 、 $Na^+$ 、 $K^+$ 相化合，其余类推。

应当指出，这种“假想组合规律”并不符合严格的化学观点，只是给出一个粗略的概念。尽管如此，但仍有很大使用价值，而且和实际情况也较一致。掌握这个规律，就可把水里的阴阳离子组合成假想的化合物，并可按此写水处理的化学反应式，确定水中硬度的种类及数量，这样比较容易理解。

2. 例题：已知水质分析资料如下：

$$Ca^{2+} = 72\text{mg/l}; \quad HCO_3^- = 158\text{mg/l};$$

$$Mg^{2+} = 14.6\text{mg/l}; \quad SO_4^{2-} = 38\text{mg/l};$$

$$Na^+ = 4.6\text{mg/l}; \quad Cl^- = 57.6\text{mg/l}.$$

解：(1) 把每种离子的计量单位 $\text{mg/l}$ 换算成 $\text{me/l}$ ，列于表1—3

表1—3

阳离子 (me/l)	阴离子 (me/l)
$Ca^{2+} = 72/20 = 3.6$	$HCO_3^- = 158/61 = 2.6$
$Mg^{2+} = 14.6/12 = 1.2$	$SO_4^{2-} = 38/47 = 0.8$
$Na^+ = 4.6/23 = 0.2$	$Cl^- = 57.6/36 = 1.6$
合计 5.0	合计 5.0

(2) 分别计算阴、阳离子的总量 (me/l)，以验证是否符合“正负离子对等规律”。

计算结果，阴、阳离子总量分别为 5.0 me/l，是对等



的。

(3) 用图解法确定阴、阳离子的假想化合物 (参见图 1—2)。

I	阳离子	$\text{Ca}^{2+} = 3.6$	$\text{Mg}^{2+} = 1.2$	$\text{Na}^+ = 0.2$
II	阴离子	$\text{HCO}_3^- = 2.6$	$\text{SO}_4^{2-} = 0.8$	$\text{Cl}^- = 1.6$
III	假想化合物	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = 2.6$	$\text{CaSO}_4 = 0.8$	$\text{CaCl}_2 = 0.2$ $\text{MgCl}_2 = 1.2$ $\text{NaCl} = 0.2$
IV	硬度种类	$H_T = H_{T_a}^H = 2.6$	$H_F = H_{C_a}^F + H_{M_g}^F = 1.0 + 1.2 = 2.2$	
V	总硬度	$H_o = H_T + H_F = 2.6 + 2.2 = 4.8$		

0                      2                      3                      4                      5

图 1--2 图解法确定阴、阳离子的假想化合物

①以横坐标为阳（阴）离子的含量 (me/l)，定出总长，标出刻度。

②在横坐标之上方列出表格 (见图 1—2)。

③根据各种离子的假想组合次序，按照各种离子的含量数值 (me/l)，在表的 I、II 列中自左向右画出各种离子所占的范围(长度)。即  $\text{Ca}^{2+} = 3.6$ ， $\text{Mg}^{2+} = 1.2$ ， $\text{Na}^+ = 0.2$ ； $\text{HCO}_3^- = 2.6$ ， $\text{SO}_4^{2-} = 0.8$ ， $\text{Cl}^- = 1.6$ 。

④在表的第 III 列中，写出阴、阳离子的假想化合物及其数量。即  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = 2.6$ ， $\text{CaSO}_4 = 0.8$ ； $\text{CaCl}_2 = 0.2$ ， $\text{MgCl}_2 = 1.2$ ， $\text{NaCl} = 0.2$ 。

(4) 计算各种硬度的数值 (参见图 1—2)

①在图 1—2 的第 IV 列中，按照阴离子的不同，画出各