

锅炉水处理及水分析

(增订第二版)

陕西省锅炉改造小组 编著
西安冶金建筑学院

科学出版社

内 容 简 介

本书是为工业企业锅炉房安全经济运行及锅炉改造而编写。全书共分两篇。第一篇凡五章,介绍了各种软化、除碱、除盐、除氧等方法的原理、设备、操作经验。第二篇凡三章,介绍了药品配制、仪器用法、水质标准及水分析的原理和方法。为了便于读者学习,在此篇中穿插了部分化学基本概念,每章后并附有习题。此外,尚将酸洗锅炉、离子交换器的选择计算、流动床设计计算、标准酸碱溶液的配制与标定等九项资料列为附录。

本书主要供锅炉房水处理及水分析运行工人及技术人员之用,也可供设计和教学人员参考。

锅炉水处理及水分析

(增订第二版)

陕西省锅炉改造小组 编著
西安冶金建筑学院

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

石家庄地区印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1974年8月第一版 开本:787×1092 1/32

1980年6月增订第二版 印张:9 3/4

1980年6月第三次印刷 字数:217,000

印数:64,631—97,860

统一书号:13031·1180

本社书号:1649·13—4

定价: 1.00 元

增订第二版前言

本书第一版系于1972年脱稿。六年来在工业锅炉水处理方面又有了不少发展。为了适应新的需要，我们对第一版进行了必要的修订，大体上有如下变动：

1. 在“炉内加药处理”一节中“加防垢剂”部分之后，增加了“加碱法”及“橡胶栲胶法”等内容；

2. “高频水改器”部分已经改写增加了新内容，在“磁水器”方面也作了补充；

3. “离子交换水处理”部分增加了树脂方面的内容，“705”软水器的构造图改为最近审定的全国通用的重复使用图，“离子交换除碱”部分增加了“不足量还原氢-钠离子交换”及“氯-钠离子交换”等内容；

4. 增加了“固定床逆流再生”、“浮动床”及“反渗透”原理，在“移动床”、“流动床”、“电渗析”等方面均做了修改与补充，并在附录中增加了“开式流动床的设计计算及例题”；

5. 在“石灰水处理”中对“虹吸式脉冲石灰水处理”和“涡流反应器”都补充了内容；

6. 在第一篇的最后增加“锅炉水处理方法的选用”一章。

鞍山焦化耐火材料设计研究院，结合工业锅炉房的实际条件，对流动床的研制、改进和推广方面做了较多的工作，取得了不少经验。因此，本书第二章第七节中“(二)流动床”部分，及附录五“开式流动床设计计算及例题”部分，特邀请该院甘健秋同志编写。

为了尽快和读者见面，这一版着重于内容上的修改或增

补,在编排上未作较多的变动。

修订过程中承蒙国家劳动总局、国家建委建筑科学研究院标准研究所、华东地区建筑标准设计协作组动力专业组、鞍山焦化耐火材料设计研究院、第一机械工业部第一设计院、沈阳铝镁设计院、陕西省第一设计院、吉林电力学院、上海第 28 棉纺厂、广州铁路局株州水电段、沈阳铁路局辽阳水电分段、银光化学材料厂及长春原朝阳电子仪器厂等很多单位的协助和支持,在此深致谢忱。

由于水平所限,错误和不足之处定然不少,请读者批评指正。

1978 年 2 月

前 言

随着锅炉改造的深入开展，如何保证锅炉安全、经济地运行，水的净化处理是其中的一个重要环节。近几年来，广大锅炉工人和技术人员在水的净化处理方面有很多创造，特别是在小型锅炉上创造了不少简易、经济而又科学的软化经验。我们特将这些行之有效的水处理经验加以总结、整理成册，供有关方面参考。

在调查、编写过程中，很多单位给我们提供了宝贵资料和热情帮助，特别是北京锅炉厂、北京大学、邯郸市民政劳动局及基建局、上海第五制药厂、西安绝缘材料厂、西安仪表厂、西北大学及一机部西安设计院等单位给予大力协助，在此深致谢忱。

由于我们水平所限，必然会有不少缺点或不足之处，欢迎批评指正。

1972 年

目 录

第一篇 锅炉水处理

第一章 小型锅炉的水处理	1
一、概述	1
二、炉内加药处理	2
(一) 石墨法	2
(二) 柞木法	4
(三) 茶枯法	6
(四) 加防垢剂法	7
(五) 加碱法	10
(六) 橡胶栲胶法	11
(七) 吸附法	18
三、物理水处理	18
(一) 热力软化法	19
(二) 高频水改器	20
(三) 磁水器	24
四、化学与热能综合法	38
(一) 原理	38
(二) 装置及使用	39
第二章 离子交换水处理	43
一、钠离子交换软化法	43
(一) 钠离子交换软化的原理	43
(二) 离子交换剂	44
(三) 离子交换器的构造	49
(四) 盐水制备系统	55
二、钠离子交换软水的操作运行	57
(一) 反洗(或称逆洗)	57
(二) 还原(又称再生)	58

(三) 正洗.....	60
(四) 软化.....	61
(五) 离子交换器常见故障及其消除.....	63
(六) 已衰退的磺化煤的再生.....	66
三、 钠离子交换二级软化.....	66
(一) 二级软化的特点.....	66
(二) 二级软化系统.....	67
四、 离子交换除碱.....	70
(一) 部分钠离子交换.....	70
(二) 氢-钠离子交换.....	70
(三) 不足量酸还原氢-钠离子交换.....	76
(四) 铵-钠离子交换.....	79
(五) 氯-钠离子交换.....	84
五、 离子交换除盐.....	86
(一) 阴、阳离子交换.....	86
(二) 混合床阴、阳离子交换柱.....	87
六、 逆流再生及浮动床.....	87
(一) 固定床逆流再生.....	87
(二) 浮动床.....	96
七、 移动床及流动床.....	100
(一) 移动床.....	100
(二) 流动床.....	105
(三) 连续式双塔移动床.....	119
八、 电渗析及反渗透.....	123
(一) 隔膜分离技术在锅炉上的应用.....	123
(二) 电渗析.....	123
(三) 反渗透的原理.....	126
第三章 石灰软化处理及炉内补充处理.....	127
一、 石灰软化处理.....	127
(一) 石灰-纯碱软化.....	127
(二) 水池式石灰软化.....	131
(三) 热化学石灰软化.....	132
(四) 虹吸式脉冲石灰软化.....	137
(五) 涡流反应器式石灰软化.....	145

(六) 石灰软化处理对钠离子交换剂的影响.....	150
二、 炉内补充处理	151
(一) 炉内加磷酸盐防止结垢.....	151
(二) 炉内加药抑制苛性脆化.....	152
(三) 加酸处理.....	153
第四章 给水的除氧.....	155
一、 水中气体的溶解特性及排除途径	155
(一) 水中气体的溶解特性.....	155
(二) 除氧的根本途径.....	156
二、 热力除氧	157
(一) 热力除氧的特点.....	157
(二) 热力除氧器的构造.....	157
(三) 热力除氧的系统及操作.....	165
三、 解吸除氧	158
(一) 解吸除氧的设备系统.....	168
(二) 解吸除氧的运行操作.....	170
(三) 解吸除氧的优缺点.....	170
(四) 解吸除氧的运用.....	171
四、 化学除氧	171
(一) 钢屑除氧.....	171
(二) 加反应剂除氧.....	173
五、 电化学除氧	176
(一) 电化学除氧的原理.....	176
(二) 电化学除氧器的结构.....	177
(三) 电化学除氧的特点及应用.....	180
第五章 锅炉水处理方法的选用.....	181
一、 水源水质及其与水处理方法的关系	181
(一) 水源水质情况.....	181
(二) 水源水质与水处理方法的关系.....	185
二、 锅炉的参数、结构及用途与水处理方法的关系	186
(一) 锅炉的参数与水处理方法的关系.....	186
(二) 锅炉结构与水处理方法的关系.....	188
(三) 蒸汽用途与水处理方法的关系.....	189

三、 水处理方法的归纳与综述	189
(一) 给水的软化	189
(二) 给水的除碱	192
(三) 给水的除氧	192
(四) 特殊水质的处理	192
(五) 组合式水处理设备	193
四、 防垢、除碱方法选用的参考意见	194

第二篇 锅炉水分析及化学基本概念

第六章 水分析药品及其配制	197
一、 药品的分子式及分子量	197
二、 酸、碱、盐	199
(一) 碱	199
(二) 酸	200
(三) 盐	201
三、 水分析常用化学药品	202
四、 水分析常用仪器的准备及使用	204
(一) 容量瓶	204
(二) 吸管	204
(三) 滴定管	205
(四) 量筒	207
(五) 容量器皿的洗涤	207
五、 溶液的浓度	207
(一) 百分浓度	207
(二) 克分子浓度	208
(三) 当量浓度	209
(四) 分析中常用的另外几种表示浓度的方法	212
六、 试剂的计算及配制方法	214
(一) 百分浓度溶液的配制	214
(二) 当量溶液的配制	215
(三) 根据化学方程式的计算	216
习题	220
第七章 锅炉水质指标及水质标准	221

一、水中杂质存在的形式	221
(一)粗分散杂质	221
(二)胶体物质	221
(三)真溶液物质	221
二、水质指标	222
(一)表示单独化合物或离子的含量的指标	222
(二)技术指标	223
(三)水质指标常用的单位	225
三、水垢的形成、性质及危害	227
(一)水垢形成的内因及外部条件	227
(二)水垢的种类及性质	228
(三)水垢的危害	229
四、腐蚀及其影响因素	229
(一)局部腐蚀及晶间腐蚀	229
(二)电化学腐蚀的原理	230
(三)水质对于锅炉腐蚀的影响	233
五、发沫及汽水共腾	235
六、锅炉给水及炉水标准	236
(一)给水及炉水标准的制定	236
(二)给水及炉水标准	237
(三)炉水的相对碱度	238
七、锅炉排污	239
习题	241
第八章 水质分析方法	242
一、碱度的测定(容量法)	242
(一)测定碱度的原理	242
(二)分析方法	245
二、氯离子的测定(容量法)	248
(一)测定氯离子的原理	249
(二)分析方法	249
三、硬度的测定(络合滴定法)	251
(一)测定硬度的原理	251
(二)分析方法	254

(三) EDTA 的配制与标定.....	255
四、 溶解氧的测定(两瓶法).....	257
(一) 测定溶解氧的原理.....	257
(二) 分析方法.....	259
(三) 硫代硫酸钠及碘标准溶液的配制与标定.....	262
习题	266
附录一 几种元素的原子量及常用化合价	267
附录二 用盐酸加“02-钢铁缓蚀剂”清除锅炉水垢	267
附录三 交流外绕式磁水器的设计计算及例题	271
附录四 离子交换器的选择设计计算及例题	276
附录五 开式流动床设计计算及例题	279
附录六 溶解氧的测定(靛胭脂比色法)	285
附录七 磷酸根的测定(偏钒酸铵法)	291
附录八 酸、碱标准溶液的配制与标定	292
附录九 水分析常用化学药品	297

第一篇 锅炉水处理

第一章 小型锅炉的水处理

一、概 述

在我国，蒸发量为2吨/小时以下的小型锅炉数量很多，根据西安市锅炉资料，按台数计算这类锅炉占85%左右，上海市一次锅炉会战就淘汰了两千台“煤老虎”，都是小炉子。这些小型锅炉包括很多旧式火筒、火管锅炉，也有一些是新装的立水管式或快装锅炉。过去旧式小型锅炉一般给水都不经过处理，往往结垢很厚，不仅费煤，而且要常停炉清垢，有时还要酸洗，既费劳力，又不经济，甚至因为水垢危害锅炉而造成事故。尤以快装锅炉的采用，以及不少旧式锅炉改装为快装锅炉，使小型锅炉的水处理日益成为急需解决的问题。

小型锅炉房对水处理设备有其特殊要求，这就是：

- 1) 方法简单，设备投资小，易于采用；
- 2) 最好不需要经常化验，否则要另设化验设备及人员；
- 3) 对水质要求较低，目前主要要求不结硬垢。

往往在中型或容量较大的工业锅炉上行之有效的水处理方法，由于上述要求的限制，而不能在小型锅炉上大力推广。

为了解决这个问题，广大工人及技术人员，创造了不少简易水处理方法。这些方法已在各地逐步推广，在使用中也有所改进。实用的结果说明，这些方法虽然有些在其原理上尚未摸索清楚，但是其效果有些还是较好的。当然还有些方法

尚待进一步试用和研讨。

本章我们在总结一些小型锅炉房水处理经验的基础上，介绍一些用于小型锅炉的水处理方法。

二、炉内加药处理

(一) 石墨法

将石墨粉随锅炉上水加入锅炉，以防止结垢。此方法有些锅炉房反映效果良好，运行半年或一季，锅炉内壁上仅挂一层1—2毫米松软的石墨及水垢混合的杂质，用水冲洗或扫刷即可脱落。但有的锅炉房由于加石墨过量或排污不良而结石墨状硬垢。有些锅炉房改为碱石墨法，在加石墨的同时加入纯碱或磷酸三钠，取得较好效果。加入的碱与石墨的重量比，由1:1至3:1，因水质而异。石墨法操作简便，几乎不需要什么设备费用，它仅适用于蒸汽锅炉。采用石墨法后的蒸汽可以直接用于医药、开水、蒸饭、酿酒、做豆腐而无毒害。

石墨在炉水中有吸附于受热面的趋势，它对生成水垢的

物质起了“隔离层”作用。

同时，水中盐类和石墨吸附成为渣垢，大部分渣垢沉淀可经排污排出，少部分结于受热面上，也松软易除去，且导热系数较大。

投药装置十分简单，如图1-1所示，只需在上水管装一支管，在支管上接阀门1，阀门1上装一段直径为108毫米左右的

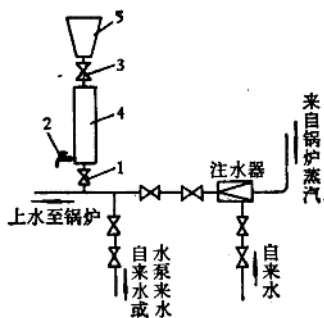


图 1-1. 投药装置示意图

钢管4，钢管两端封死，在其上接有水管与阀门3相连。在钢管底部装有放水活栓2，放存水用。阀门3上焊一个加石墨的漏斗5。

投药装置最好装于注水器之后(如图1-1所示)，因为这样不易堵塞注水器。若注水器离锅炉太近，投药装置必须装于注水器之前时，则应使石墨先制成稀浆液再经注水器，这样就不致堵塞。

操作时，先关阀门1，然后打开阀门3及放水活栓2，将存水排尽；关放水活栓2，从漏斗5加入适量石墨粉；关闭阀门3，再开阀门1。

一般多为一个班(八小时)加一次石墨粉，加石墨前先进行锅炉排污，加石墨后立即上水。石墨要求含碳量在67%以上，颗粒大小最好在140目以上，100—120目也可使用。每个班石墨粉加入量按下列公式计算：

$$\begin{aligned} \text{石墨粉用量(克)} &= \text{锅炉蒸发量(吨/小时)} \\ &\quad \times \text{用水硬度(德国度)}^{\text{1)}} \\ &\quad \times 1(\text{克/吨} \cdot \text{度}) \times 8(\text{小时}) \end{aligned}$$

采用石墨法时应注意如下问题：

- 1) 在锅炉里有黑色石墨及泥渣沉积物时，必须加强排污；
- 2) 加石墨粉量要适当，加得过多不仅浪费石墨，而且会造成过多沉积物；
- 3) 直接用蒸汽加热饮食品或吹开水时，锅炉水位不能过高，否则蒸汽容易夹带含有石墨的炉水，而使饮用水微带灰色，甚至有石墨沉积；
- 4) 加石墨粉的上水管，不要有支管连至其他自来水用

1) 以下硬度或碱度单位以“度”表示而未注明者均为德国度。

户,否则加石墨粉后其他用户自来水中常会带有石墨粉。

(二) 柞木法

柞木法有将柞木直接放入锅炉内,或把柞木放在热水箱(回水箱或给水箱)中浸泡两种方法。

将柞木放于锅炉内时,应先将柞木去皮,按锅炉长度情况截成小段,顺年轮纹劈成直径为 60—100 毫米的长条,用铁丝捆成小捆,扎于锅炉内。使用量及使用期限与锅炉种类,有无水垢、有无回水有关,根据实用情况,可参考表 1-1。

表 1-1 柞木使用量及使用期限

锅炉类型 及特征	水垢厚度 (毫米)	每次使用量 (公斤/吨)		使用 次数	每次使用期限(月)	
		使用回水	不用回水		使用回水	不用回水
卧式火筒锅炉等水容量大、蒸发量低的锅炉	无水垢	2	2		5	2—3
	1—3	4	6		2	2
	4—6	6	8	2—3	2	2
立式横火管、直水管分联箱、K型等水容量小、蒸发量高的锅炉	无水垢	8	12		5	2—3
	1—3	12	25	1	2	2
	4—6	25	30	2—3	2	2

用热水浸柞木的方法,柞木可不去皮,柞木长度及粗细就不象放于锅炉内那样要求严格。热水水温最好在 60℃ 以上,至少应保持 40—50℃。若水箱中水温过低,可向水箱中通入蒸汽加热。柞木装入量为每吨水箱水容量用 40 公斤左右,每三个月更换一次柞木。

将柞木放于锅炉内,更换柞木时要停炉,并且放置不当有可能影响锅炉水循环,故采用热水浸泡法较好。柞木法只适用于压力为 13 公斤/厘米²以下的火管锅炉及类似表 1-1 所

列的水管锅炉。

柞木法的效果较显著。用柞木法仍结 2—3 毫米黄色水垢，垢松软能用水冲掉或刮掉。但蒸汽有难闻的馊味（在新加柞木时较浓，以后气味逐渐变淡），蒸汽吹的开水稍带苦味。因此，做蒸馏水、药用水及饮食用的锅炉不宜用柞木法。

柞木法防垢的原理，就是由于柞木中含有单宁（苯鞣酸）、磷酸化物及醋酸化物。单宁是有机胶，又名栲胶，落于水成胶体状态，其作用是：

1) 在金属表面上形成绝缘层，使金属表面与形成水垢的盐之间的静电吸引作用完全或部分停止。

2) 有机胶体包围于钙盐（硫酸钙和碳酸钙）质点的外层，使其易生沉淀。

3) 碱性溶液中，有机胶体能与氧结合，有防腐蚀的作用。

磷酸化物的作用是将老垢溶掉，能除硬度；生成保护层，防止气体腐蚀；磷酸根（ PO_4^- ）附着于金属表面防止苛性脆化。关于这方面的原理，以后还要详叙。

醋酸化物的作用是使水垢中的钙（ Ca^{++} ）、镁（ Mg^{++} ）离子形成可溶性盐类，故可使垢松软脱落。

除柞木外，凡含有上述各种物质较多的植物，如赤杨木、棉秆皮（含单宁 10—15%）、红树皮（刺梅花根）、柳树皮、橡子皮、向日葵秆、土豆、红薯、柿子皮都可采用。

北京原煤炭工业部科学研究院，曾对北京附近的柞木进行分析，其结果见表 1-2。

从表 1-2 可以看出，新柞木比老柞木单宁含量高三倍以上，尤其树皮浸取的含量特别高；灰份高的磷化物含量也高。

生长于山南面朝阳的小叶柞，比生长于山北面背阳的大叶柞单宁含量高；年轮多的柞木单宁含量比年轮少的多。总

表 1-2 北京附近柞木组成

项 目	怀 柔 新柞木 (带皮)	兴 隆 新柞木 (带皮)	兴 隆 老柞木 (带皮)	兴 隆 新 皮	兴 隆 老 皮
原木水分, $W^*(\%)$	13.25	13.20	10.94	16.24	10.47
干基灰分, $A^*(\%)$	0.95	1.19	1.06	3.62	4.43
干基磷分, $P^*(\%)$	0.022	0.024	0.023	0.033	0.039
磷, 按 $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 计($\%$)	0.28	0.30	0.28	0.41	0.48
总收敛性物质(干基, $\%$)	4.15	3.44	1.44	—	—
单宁(干基, $\%$)	2.36	2.18	0.60	—	—
几次浸取单宁结果($\%$)	—	0.48	0.43	3.00	2.65
一次		0.19	0.10		
二次					
浸液氢离子浓度(pH值)	3.8	3.8	4.1	3.8	4.1

之,以年轮在10—14年的新砍的带皮树干为最好。

我国柞木的资源很丰富,是一种有效而简便的水处理材料。

(三) 菸秸法

菸秸中含有菸碱(尼古丁)、单宁、磷酸盐、淀粉、有机酸及胶质等物质。将菸秸包扎成捆放于锅筒内,或采用将菸秸浸泡后的水送入锅炉以防止结垢,其原理基本上与柞木法相同,东北地区使用较多。

菸秸中含有有机胶及磷酸盐,故不仅可以防止锅炉结硬垢,而且还有防腐蚀的作用。因此有的热水锅炉房,就采用菸秸水处理作为热水锅炉及热水管网防腐蚀及防垢的方法。

菸秸的用量在一般给水硬度为10—14度时,蒸汽锅炉每吨/小时蒸发量加30公斤,约用50天;热水锅炉每 60×10^4 千卡/小时产热量装入30公斤,可用一个采暖期。

蒸汽锅炉用菸秸水处理时,和柞木法相似,系用细的金属丝网将菸秸扎成捆,放在锅筒的容水空间中,也可浸在给水箱