

低压锅炉水处理

低压锅炉水处理

马 玉 杨东方 编

人 民 交 通 出 版 社

人 民 交 通 出 版 社

低 压 锅 炉 水 处 理

Diya Guolu Shuichuli

马 玉 杨东方 编

人 民 交 通 出 版 社

内 容 提 要

本书是根据低压锅炉水处理的实践经验汇编而成。内容包括了水处理的重要性、炉内处理、炉外软化及锅炉的腐蚀与防止。为帮助读者分析问题，在每章后都附有实例，并加以说明。虽然，实例中有些是成功的经验，有些是失败的教训，但对于水处理工和司炉来说，都是很好的借鉴。

本书对锅炉安全、节能有重要意义，可供各厂矿、企业、机关、学校等单位的水处理工、司炉及行政后勤管理人员阅读。

低 压 锅 炉 水 处 理

马 玉 杨东方 编

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 1/32 印张：3.75 字数：80 千

1985年6月 第1版

1985年6月 第1版 第1次印刷

印数：0001—40150册 定价：0.73元

前 言

我国有近30万台低压锅炉，分散在各厂矿、企业、机关、学校等单位。这类锅炉，由于绝大多数水处理不当或未进行水处理，其结垢严重，因过热发生爆炸等事故是屡见不鲜的。据统计，我国在1983年，此类事故就发生过500多起，损失达数千万元。其中某糖厂，由于锅炉爆炸所引起的损失竟达40万元。同时，由于水垢的导热性差，还造成了燃料的极大浪费，目前每年平均浪费达1000万吨标准煤。因此，搞好这一类锅炉的水处理工作，是有其重要意义的。

本书旨在普及低压锅炉水处理的科技知识，使低压锅炉水处理工和司炉、后勤管理人员懂得水处理的重要意义，掌握如何因炉、因水制宜地进行水处理以及水处理的具体方法。为了帮助读者分析问题，在每章后都附有实例，并作了说明。

由于编者水平有限，收集的资料也不全，因而书中难免有不足之处或错误，恳望读者批评指正。

目 录

前 言

第一章 锅炉水处理的意義	1
第一节 锅炉生产蒸汽时应注意的问题.....	1
第二节 炉内理化过程简介.....	6
第三节 低压锅炉因炉、因水制宜选用水处理方 法.....	10
第四节 炉内水处理实例.....	37
第二章 炉内炉外相结合的水处理	52
第一节 炉内碱处理.....	52
第二节 水汽循环系统分区处理.....	57
第三节 天然水的性质与处理方法.....	70
第四节 炉内炉外相结合的水处理实例.....	80
第三章 锅炉水处理及其发展	94
第一节 胶体化学法防止水渣结垢处理.....	94
第二节 锅炉的清垢、除氧.....	98
第三节 其他锅炉水处理方法实例	110

第一章 锅炉水处理的意義

锅炉在工业和生活中十分重要而且日益增多，目前我国有近30万台低压锅炉，因此，怎样通过有效的锅炉水处理和水质监督来提高它的效率，以达到安全、经济运行，是摆在所有从事锅炉水处理工作人员面前的一项重要任务。实践表明，有效的水处理可使锅炉节省大量的燃料。同时，实践也表明，锅炉设备除要求有合理的设计、选材和较高的制造、安装质量外，对于日常的锅炉的给水、炉水和冷凝水的处理、监督等，也是锅炉能否安全、经济、可靠地运行的重要条件之一。

第一节 锅炉生产蒸汽时应注意的问题

在锅炉内，水吸收燃料燃烧时所放出的热量，而蒸发为蒸汽。为了保证锅炉正常可靠地安全运行，就必须连续（或间断）地往锅炉内加水。锅炉给水一般是由两部分组成。一部分是回收蒸汽凝结所得到的冷凝水，这种水的含盐量一般接近于零；另一部分是补充水，一般是处理过的软化水或者脱盐水。水质不好的天然水做补充水，若不经处理进入锅炉，则在加热中，水中杂质会被浓缩，并沉积在受热面上。这种沉积、结垢的积累，能引起金属局部过热而损坏设备。为了预防这类问题，必须对锅炉补充水进行化学处理。

锅炉系统运行时，必须注意是否发生沉积物、腐蚀、蒸

汽带水这几个问题。这些问题的发生部位和危害程度，在各种锅炉中并不完全相同，而且也和水处理方法有关。但对锅炉给水进行处理，则各种锅炉都是必需的。

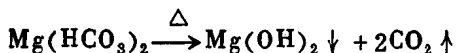
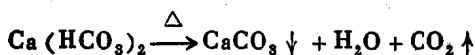
从水处理角度来看，可把锅炉系统分为三个部分：

①炉前设备，包括给水加热器、给水泵和省煤器等；

②锅炉本体；

③炉后设备，包括过热器和冷凝回水系统。一般讲，炉前设备产生沉积结垢的问题比较突出；炉后设备的主要问题是腐蚀；而在锅炉本体中，则沉积结垢、腐蚀以及蒸汽带水三者均能发生。

沉积结垢形成的机理相当复杂，但其原因主要是炉水温度升高并发生浓缩。由于温度升高，一些化合物在水中的溶解度下降；由于浓缩，水中各种化合物的浓度都增大。当某化合物在炉水中的浓度超过该温度下的溶解度时，就会促成沉积结垢现象发生。由于大部分钙、镁盐的溶解度均随温度升高而降低，它们在炉水中反应生成难溶的钙、镁盐。如重碳酸钙和重碳酸镁分解为：

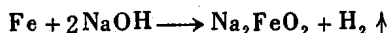


金属腐蚀，按机理可分为化学腐蚀和电化学腐蚀，后者在腐蚀过程中有电流产生。按腐蚀部位可分为全面腐蚀和局部腐蚀。按破坏形式可分为表面腐蚀和抗蚀（或点蚀）。水中微量的溶解氧是造成严重腐蚀的主要原因，因为溶解氧能对腐蚀电池的阴极起去极化作用，使抗蚀继续下去，同时还能促进氨对铜及铜合金、氯化物对奥氏体不锈钢的腐蚀等。尤其在温度高和 pH 值低时，氧腐蚀更加显著。所以，不仅

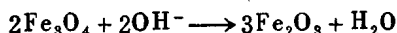
在给水系统和炉前设备，而且在锅炉本身和冷凝回水系统中，只要有溶解氧存在，就都会出现腐蚀现象。另外，给水一般偏碱性，加上通常又从冷凝水中带入氧、二氧化碳和氨，这就会引起钢、铜及铜合金的腐蚀。

无论锅炉型式大小和压力高低，在可能和经济合理的条件下，系统的溶解氧浓度，都应通过物理方法或进一步添加化学还原剂（亚硫酸钠或联氨）将溶氧降至最低程度。

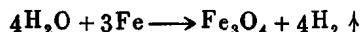
锅炉本体，如汽包和循环水管的内表面，一般虽然有一层磁性氧化铁（ Fe_3O_4 ）保护膜，但遇到下列情况亦会引起腐蚀。如在传热表面松散沉积物层的下面，由于炉水局部浓缩而出现高浓度的氢氧化钠，这就会引起碱蚀：



或者因沉积物导热性差，使金属过热、磁性氧化铁薄膜破裂而引起腐蚀；还有当水的 pH 值波动时，也会影响薄膜的稳定性，而发生腐蚀：

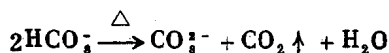


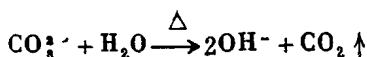
在锅炉本体和过热器内只接触蒸汽的金属表面，在高温下还可能发生蒸汽直接腐蚀：



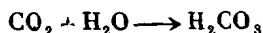
这种腐蚀无法用水处理的方法来控制。

炉后设备腐蚀的主要原因是 CO_2 和氧蚀所造成的低 pH 值。与腐蚀有关的 CO_2 几乎只在冷凝系统中发现。它可能来自原水（特别是井水）中游离的 CO_2 、某些冷凝水、或者某些有机物的分解，但主要是由碳酸氢钠或碳酸钠的分解而来：

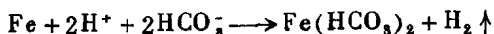




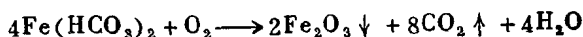
CO_2 在冷凝水中和水生成碳酸:



碳酸一方面降低 pH 值, 引起低 pH 值腐蚀; 另一方面导致生成溶解度较高、且无钝化作用的酸式碳酸铁:



当压力或 CO_2 分压下降时, $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ 转为水合氧化亚铁。当氧也存在时, 不断产生的 CO_2 使反应自动进行下去, 腐蚀得更快:



碳酸腐蚀一般引起金属普遍地变薄。在未充满水的水平管内, 这种腐蚀出现在湿区。当然, 当氧存在时, 仍会出现点蚀。

锅炉系统的腐蚀是非常复杂的问题, 所以对腐蚀的控制是十分重要的。有效的控制, 能防止管的炸裂以及设备的破坏。如不加以控制, 甚至在没有损坏之前, 也会潜伏危险并增大耗费。

锅炉蒸汽中带有水分及杂质(溶解盐类和沉积物)的现象称蒸汽夹带, 也叫蒸汽带水。它是由于机械作用把多量炉水水滴带入蒸汽, 以及炉水中溶解盐类直接挥发到蒸汽中。

机械作用主要与锅炉结构设计(如蒸汽分离器等)和操作有关。当化学上存在能导致发沫、大量增加液滴以及使液滴进入蒸汽分离设备的条件时, 机械作用将更为严重。这个过程大致可分为两类: 汽水共腾和发沫。汽水共腾指未汽化的锅炉水随蒸汽连续冲进汽包空间, 使蒸汽引出管中大量出现水分; 发沫也叫发泡, 是指炉水表面涌出许多细小而牢固

的汽包而形成泡沫层，从而减少了汽水分离空间造成的卷吸。

低压锅炉的蒸汽夹带主要是因卷吸引起。而高压炉水中溶解的固体，能够直接挥发出来，作为溶解物质进入蒸汽中，这种蒸汽污染现象，则称为挥发性夹带。

对此，除在设计、制造上的问题外，在操作方面，要注意控制水面高度，保持发汽量在设计负荷限度内，并维持燃料稳定均衡的燃烧。特别在蒸汽负荷变化很快，炉内压力突然降低或水面急剧升高时，都会导致汽水共腾，必须留心控制。

为了减少机械卷吸，除了通过锅炉排污、控制补充水质量、炉外处理、减少污染等办法调节炉水指标外，还常采用添加消泡剂（也叫消沫剂）的办法。那些不允许有显著卷吸作用发生的锅炉，就需要不定期地应用消泡剂。加入消泡剂可以在生产高质量蒸汽的同时，减少锅炉排污，从而降低锅炉的燃料消耗。

消泡剂主要有两种性质，一是不溶于水，二是表面活性好。聚乙二醇、聚酰胺类是常用的消泡剂。为了使消泡作用更为有效，消泡剂中还掺入有机分散剂。如聚乙烯—聚丙烯乙二醇—丁基醚添加腐殖酸钠。

总之，沉积物、腐蚀、夹带等问题，都是蒸汽发生过程中常常遇到的，应通过对给水进行处理（炉外处理）、炉内水处理以及锅炉排污等办法，来防止和避免上述问题的发生。

第二节 炉内理化过程简介

一、炉内理化过程是炉内处理方法的理论基础

(一)炉内理化过程

炉内工作的过程，包括以下三个方面的内容：一是热能交换的过程，即燃料燃烧放热，炉水吸热蒸发；二是水动力学过程，即炉水自然循环和强制循环的工况变动；三是物理化学过程，即传热面的结垢和腐蚀及部分积盐的过程。

研究锅炉内部发生上述三方面的问题，主要是为了认识并掌握炉水在炉内受热蒸发和循环过程中所发生的物理化学过程，具体说就是了解锅炉内部结垢和腐蚀以及积盐的机理和过程，以便掌握防止这些现象的有效方法，具体讲就是炉内水处理方法和炉水水质控制。

水在自然界的循环过程中，就含有很多杂质，而这些杂质的存在，就成为锅炉受热面腐蚀、结垢和积盐的物质基础。杂质的来源是由以下三个方面造成的：

1. 补给水带入。根据处理方式可以分为两部分：①即化学净水带入。化学净水质量的差别很大，它可由于水源水质成分和水处理方法的不同而不同。目前化学净水处理方法是化学除盐，处理后水中含盐量十分少，可达 $0.1\sim0.2$ 毫克/升；用氢—钠阳离子交换方法或石灰—钠阳离子交换法处理，能够除去大部分含盐量和硬度及碱度；用单纯钠阳离子交换法处理，只能除去硬度，不能除去碱度和含盐量。原水（也叫生水）虽经过这些化学水处理，但由于处理方法不同，处理后的水中仍含有一定程度的残留硬度、碱度和含盐量以及其他的杂质。②就是蒸汽凝结水带入。这种水的质量

一般说来是比较好的，因为它主要是由蒸汽凝结而来的，但它仍含有不同程度的杂质。

2. 在水汽系统中漏入生水。这是污染给水的又一个来源。漏入的盐量，主要决定于生水的含盐量和漏入的水量。

3. 凝结水（冷凝水）带入。由于蒸汽用户的性质不同，返回的凝结水中就被不同的杂质所污染。一般常见的是硬度盐类和腐蚀产物及其他化合物等。

（二）一般方法处理后的水质

给水除含各种盐类之外，尚含各种有机化合物，主要是腐殖酸及其盐类，此外，给水中经常含有溶解的气体，如氧和二氧化碳等。它们有的是直接溶解的大气成分，有的又加上处理过程中重碳酸盐或碳酸盐分解而形成的。氨的来源主要是有机化合物的分解。水中含有氧及二氧化碳时，对热力设备腐蚀过程有非常大的影响。

一般炉外水处理方法处理后的水质如表 1。

表 1

水质指标 处理方法	处 理 后 水 的 质 量			
	硬 度 毫克当量/升	碱 度 毫克当量/升	SiO_3^{2-} 毫克/升	含 盐 量 毫克/升
化学除盐（二段）	5~10	0.1~0.2	0.02~0.04	0.1~0.2
H、Na 阳离子交换法	5~10	0.35	没有降低	降低相当多
石灰—镁剂除硅— 钠阳离子交换法	5~10	0.9~1.0	1.0	降低相当多
石灰—纯碱沉淀法	350~700	0.9~1.0	降低硅20~30%	降低一部分
Na 阳离子交换法	5~10	没有降低	没有降低	没有降低

二、水中杂质对锅炉的危害

水中杂质在锅炉运行过程中的危害性，在于这些杂质进

入炉内后，有可能在受热面进行下列过程：

1.在锅炉受热面形成水垢。水垢的形成，是一个很复杂的问题，因为水垢的生成过程是在受热面和炉水之间，进行着强烈热交换的过程中进行的，由给水带入的盐类，随着温度的升高，其溶解度不断降低和由于蒸发使得炉水浓缩，因而这些盐类达到饱和溶液状态而直接在受热面上结晶形成水垢，这种水垢为钙镁水垢。但水垢的种类很多，它们的形成过程很复杂，有些过程至今尚未弄清楚，除与水中这些杂质有关外，还与热负荷和水循环状况有关。

在受热面上聚结水垢是有限度的，因为水垢的传热系数很小（一般比金属小几十倍至几百倍），故它能使传热效率大为降低。通常在受热面上结有1毫米厚的水垢，就会使煤耗增加1.5~2%，而严重时将会达到使金属过热、强度下降而爆破。0.2~1毫米的水垢就可能使炉管爆破造成事故。

2.在蒸汽流通部分形成盐类的沉积。蒸汽被污染的程度，决定于蒸汽的参数、炉水的成分、含盐量及锅炉结构和运行情况等因素。当炉水含盐量过大或炉内汽水分离不当时，蒸汽中会带走一部分炉水，而炉水中含有盐类、胶态物质和悬浮物。当压力高于60大气压时，蒸汽还有直接溶解硅酸和其他盐类的能力，而压力愈高，这种现象愈显著。这些被蒸汽带走的盐类，一部分随蒸汽流过所有的设备（过热器和蒸汽机具），最后随凝结水返回锅炉，另一部分则沉积在蒸汽流程中的设备内。

由蒸汽带出的炉水，在过热器中蒸发浓缩，其中一部分盐类将被蒸干而沉淀出来。这种盐类的沉积，会减小蒸汽的流通截面积。而且有时，特别是拐弯处，会被完全堵塞，引起管壁过热，甚至发生爆管事故。

当用蒸汽的动力机械内积盐时，因通汽截面减小增加了阻力，则必然会降低出力，影响经济性和效率的降低，甚至造成停车事故。

防止锅炉内部水垢形成和蒸汽通道形成盐类沉积的方法，首先是要保证炉水的水质和获得洁净合格的蒸汽。为此，要设法减少给水中杂质的含量，这就要进行炉外补给水的处理。最好是采用蒸馏水的方法，但这种方法较贵，一般用化学方法处理也就可以了。故对任何压力的汽包式锅炉，通常也可以用化学处理水来补充。这时，炉水水质和锅炉排污率指标是很关键的问题，据资料得知，排污率每增加1%时，约增加煤耗0.2%。因此，过分排污是不允许的，解决的方法是从组成给水以前，就除去水中的杂质，使其含量达到锅炉给水的水质标准。这就是给水处理阶段降盐、降碱处理的来由。以蒸发量为2吨/时，工作压力为8公斤/厘米²的锅炉为例，假设当排污率为5%时，锅炉热效率为80%，随着排污率的增加锅炉热效率的降低情况如表2所示。

表 2

排污率 p %	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
锅炉热效率 η %	80	78.8	77.5	76.5	75.5	74.5	73.2	72.4	71.4	70

由上可见，为了节省燃料，锅炉排污率不宜过高，一般应在5%，而不应大于10%，以便保证锅炉在设计效率下工作。

随着锅炉压力的增高，获得清洁蒸汽的问题也更加复杂化了，因为在低、中压炉蒸汽污染的主要原因，是蒸汽机械地携带炉水，而高压炉除机械携带外，蒸汽中还有明显溶解盐类的现象。因此，压力越高，获得清洁蒸汽也就愈加困

难，因此对炉外和炉内水处理的要求也就愈加严格。

为了防止锅炉本体受热面附着水垢和沉淀物，首先应降低给水的硬度和其他杂质。此外，更关键的措施是采用炉内校正处理（碱化处理），即人为地保持炉水中过剩的 PO_4^{3-} 含量，或 CO_3^{2-} 含量，及 pH 值在 10~12，使它们和炉水中的钙、镁离子形成松软的水渣而通过适当的排污排出炉外。

第三节 低压锅炉因炉、因水制宜 选用水处理方法

目前我国低压锅炉的数量很多，占锅炉总数的百分比很大。根据九个省、市的调查和在全国锅炉安全会议上其他部分省市的不完全统计，约有半数的低压锅炉尚未进行水处理。而且在已开展水处理工作的半数中，处理效果不够好的又占三分之二。这些锅炉较为普遍的问题是结生水垢。由于水垢导热性很差，从而降低了锅炉热效率，增加了耗煤量。据估算全国每年为此浪费的燃料竟达一千万吨之多。由于不进行水处理或处理不当，还会引起金属腐蚀（包括苛性脆化），使锅炉过早损坏，甚至发生爆炸。另外，水质不良，又会引起蒸汽带水，影响蒸汽质量，并造成蒸汽管道结垢及腐蚀。所以普及锅炉水处理是当务之急。

一、低压锅炉因炉、因水制宜选用水处理方法

根据我国炉型多，水质杂，水处理方法也很多的客观情况，可将低压锅炉分为水管、火管、水火管混合式（即快装式）三类；将水质中可结垢物即硬度（H）与可防垢物即碱

度(A)的相对大小分为 $H < A$, $H > A$, $H = A$ 三类;将当前确实有效的化学水处理方法也分为炉内加药处理、炉外沉淀软化和炉外离子交换(以钠离子交换法为主)三类,来考虑低压锅炉因炉、因水制宜选用水处理方法。

下面就分类的原则简述如下。

(一)低压锅炉的炉型

目前综合国内设计制造和改造的锅炉来看,蒸发量在2吨/时以下的主要采用各种型式的火管锅炉。这种锅炉,水容量大,运行方便,汽压稳定,且占地面积小,锅炉房造价也较低,对水质要求不高。

蒸发量在2吨/时以上时,一般采用水管锅炉。这种锅炉的热效率较火管锅炉高,单位蒸发量耗钢量较少,但对水质有较高的要求。

快装锅炉是一种新型炉,在出厂前就整体组装好,使用单位可以快速安装投产。这种锅炉单位受热面蒸发量高,锅炉体积小,相应的锅炉房也较小。由于使用轻型火墙和密封外壳,其散热损失较小,热效率较高。但要特别注意锅炉结垢,积灰和蒸汽带水,否则就会出现许多问题。这种锅炉结垢后,内部清除较困难,必须采用化学清洗,因此对水质要求较严格。我国目前快装锅炉容量一般在1~4吨/时,以2吨/时的为最多。

(二)低压锅炉用水的分类

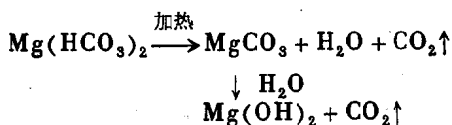
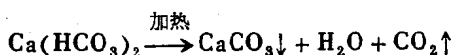
下面先介绍几种与低压锅炉关系密切的水质指标,然后再按照水质进行分类。

1. 几种重要的水质指标:

①含盐量:含盐量是水中所含盐类的总和,物和有机物。其量一般以毫克/升表示。

②硬度(H)：硬度一般指钙、镁离子的总浓度。由镁盐形成的硬度称镁硬，由钙盐形成的硬度称钙硬。其量的表示方法有德国度、ppm等，通常用的是毫克当量/升。硬度又可分为暂硬和永硬。

暂硬即碳酸盐硬度，是指水中的重碳酸钙、镁，它们在炉内加热后可以成为沉淀物而除去，故名暂时硬度(H₀)。加热后沉淀反应式如下：



永硬即非碳酸盐硬度，是指水中钙镁的氯化物、硫酸盐、硝酸盐等，在加热后不能除去，故称永久硬度(H₊)。

③碱度(A)：碱度是指水中OH⁻、CO₃²⁻和HCO₃⁻的总和。它们在水溶液中都呈碱性，可以用酸中和，所以总称碱度。天然水中一般只有HCO₃⁻。锅炉水中根据压力不同还会使HCO₃⁻全部分解为不同比例的CO₃²⁻和OH⁻。其量也以毫克当量/升表示。

如果水中碱度大于硬度(A>H)即HCO₃⁻>(Ca²⁺+Mg²⁺)就称为碱性水。这种水中的钙镁都是重碳酸盐，即都是暂硬。没有永硬。过剩的HCO₃⁻和钠钾结合，称为负硬(H₋)。

如果水中硬度大于碱度(H>A)，即非碱性水。水中的碱度与钙镁离子结合成暂硬，可剩的硬度即是永硬。

如果水中硬度等于碱度(H=A)，即全部都是暂硬，无永硬，也无负硬。