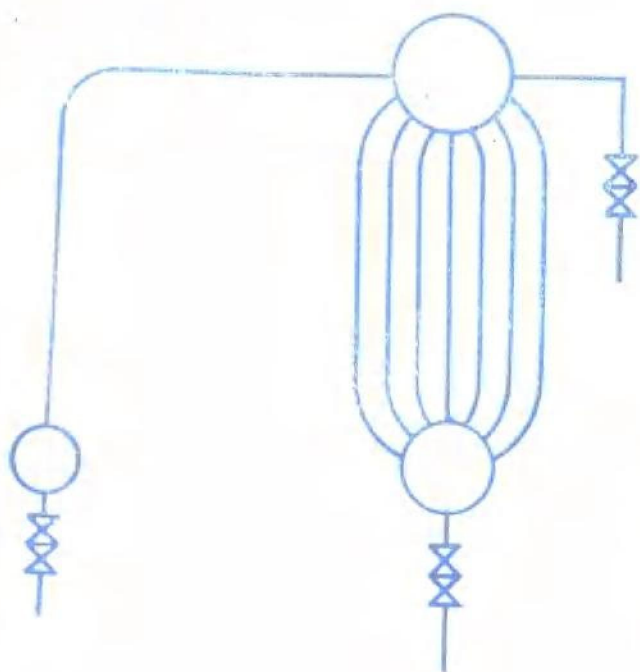




GUOLUPAIWUHESHUIGOUQINGCHU

锅炉排污和水垢清除

天津科学技术出版社

锅炉排污和水垢清除

李朝绪 编著

★

天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道124号

天津新华印刷二厂印刷

天津市新华书店发行

★

开本787×1092毫米 1/32 印张 3 字数 60,000

一九八〇年七月第一版

一九八〇年七月第一次印刷

印数: 1—21,000

统一书号: 15212·12 定价: 0.30元

前 言

普及工业锅炉的技术知识，做好工业锅炉的排污，清除锅炉的水垢，保持锅炉安全经济运行，对节约能源，促进四化建设有着重要的意义。

锅炉排污是锅炉运行中一件必不可少的重要操作，司炉工人无不予以慎密的注意。然而，只有真正掌握了排污的性质和作用，才能达到预期的目的。经验证明，近年来在这一点上还存在着一些问题。编者通过对一台四吨快装锅炉的调查说明，由于排污不当，炉水品质不但难于保持，而且，也造成大量的热能损失。据初步测定，每年因排污过多，浪费高温排污水达8000多吨。排污水就是在锅炉运行压力下的饱和水，饱和水的含热量与锅炉工作压力有关，从附录I的饱和水和饱和蒸汽表中可查得。该炉工作压力为5个绝对大气压时，一公斤排污水的含热量为152.1大卡，考虑给水温度为20℃，则排污水的计算含热量为132.1大卡/公斤水，上述排污水量带走的总热量为 $1,056 \times 10^6$ 大卡。这些热量若按每公斤煤的发热量为5,000大卡来计算，全年就浪费煤211.2吨，浪费输送水量的电力26,560度，食盐1,600公斤，这些物质，折合人民币为11,130元，的确是一宗惊人的损失，应该引起高度重视。

另外，锅炉结垢也是一种普遍存在的现象，一般结垢厚度2~5毫米，严重时竟达到8~10毫米。水垢是不易传热的

物质，水垢的存在，严重影响锅炉受热面的吸热能力，从而降低锅炉的热效率，当受热面结垢1毫米厚时，锅炉热效率就会降低3%以上。显然，水垢的存在，就会造成燃料的大量浪费。据有关部门的调查资料指出：全国12个省市的工业锅炉，由于无水处理设备，或水处理设备管理不善，造成锅炉受热面内部结水垢，以致浪费燃料达1,000多万吨。

上述事实充分说明，清除锅炉受热面的结垢，使锅炉保持无垢运行，是节约燃料的重要环节。本书根据实际工作中遇到的问题，总结实践经验，本着理论联系实际，以实用为主的原则，阐述锅炉排污的实质和水垢的成因，以及正确控制排污、防垢和除垢的若干方法，供从事锅炉工作的工人和技术人员参考。

本书在编写过程中，得到了天津大学李汉炎、赵之敏同志，天津市劳动局周威振同志，纺织局武瑞恒、董从信同志和有关同志的热情帮助指导，在此表示衷心感谢。

限于个人水平，书中错误和不妥之处在所难免，希读者给予批评指正。

作 者

1979.12.

目 录

第一章	锅炉排污的理论	1
第一节	锅炉用原水中的杂质	1
第二节	锅炉水质控制指标	4
第三节	炉水的浓缩过程	10
第四节	炉水品质不良的危害	13
第二章	锅炉排污的方法	16
第一节	定期排污	16
第二节	连续排污	19
第三节	排污管路和配件	21
第四节	排污时应注意的安全事项	25
第三章	合理排污和热能利用	27
第一节	排污合理性的评价	27
第二节	排污水热能的利用	34
第四章	锅炉水垢的形成和危害	39
第一节	水垢的形成	39
第二节	水垢的成分和特性	44
第三节	水垢的危害	46
第五章	清除水垢的方法	50
第一节	机械除垢法	51
第二节	化学除垢法	65
附录 I	饱和水和饱和蒸汽表	83
附录 II	钠离子交换法的原理	85
附录 III	火管锅炉炉内水处理方法	88

第一章 锅炉排污的理论

第一节 锅炉用原水中的杂质

工业锅炉使用的原水(水作为原料用于生产时叫原水),有河水、江水、湖水、泉水和井水。这些水中都含有大量的杂质。这些杂质一般可以分为三种,即悬浮物、溶解物和胶体物质。

一、悬浮物

悬浮物是在水中呈悬浮状态的物质,其颗粒大小在0.2微米以上。微小的泥砂,动植物的有机碎片,是构成悬浮物的主要成分。它的形成是在雨水期间,流水冲击地面,以及工业污水和生活污水中带来的。按照比重的不同,呈飘浮的、悬浮的或沉淀的状态。而悬浮物则主要是植物的有机碎片。

二、溶解物

水中的溶解物质是杂质中含量最多和最令人讨厌的东西。它在水中是以分子或离子的形态存在,颗粒大小都在0.001微米以下。

三、胶体物质

水中的胶体物质有铁(Fe),铝(Al),二氧化硅(SiO_2)的化合物,以及动植物有机体的分解产物——有机物。它们的颗粒大小,在0.001~0.2微米之间。

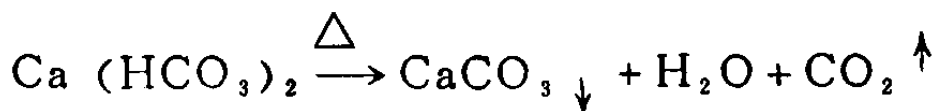
悬浮物和胶体物质是不溶于水的,而能溶于水中的杂质

只是各种气体和无机矿物质盐类，它们是处于真正溶解状态的。

水源不同，原水所含有的矿物质的数量也不同。同一种水源，因地区和季节的不同，其杂质含量也是不同的。一般情况，河水硬度比浅井水的硬度低，而比200米以下的深井水硬度要大。同一河水的水质，在春夏和秋雨季节就比冬季要好，这是由于融化冰水和雨水的稀释作用，使河水的盐分冲淡的缘故。如天津地区，雨季以前的河水水质最坏。在实用上，水中含有杂质的数量，应越少越好。

溶解于水中的矿物质一般包括下列成分：

1. 钙化合物：如重碳酸钙 $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2]$ ，碳酸钙 (CaCO_3) ，硫酸钙 (CaSO_4) 和氯化钙 (CaCl_2) 等。水在受热后，其中重碳酸钙，可以分解出碳酸钙 (CaCO_3) 和二氧化碳 (CO_2) 气体。其反应方程式为：



而其它钙化合物则不能分解。

2. 镁化合物：如氯化镁 (MgCl_2) ，氢氧化镁 $[\text{Mg}(\text{OH})_2]$ ，硫酸镁 (MgSO_4) 等。氯化镁是极易溶解于水中，它对锅炉金属有腐蚀作用。

3. 钠化合物：如氯化钠 (NaCl) ，硫酸钠 (Na_2SO_4) ，重碳酸钠 (NaHCO_3) ，硝酸钠 (NaNO_3) 和氢氧化钠 (NaOH) 等，这些物质是形成泥渣和恶化蒸汽质量的主要因素。

4. 铁和铝的化合物：重碳酸铁对金属有侵蚀作用。

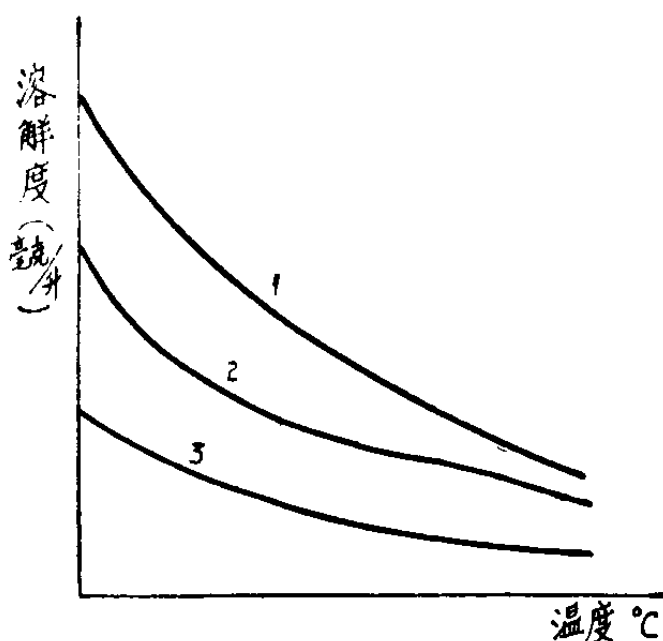
5. 硅化合物：如氧化硅 (SiO_2) 及硅酸盐等。氧化硅在冷水中不易溶解，它在锅炉中积聚而成的硬垢很难除去。

关于水中溶解的气体，有氧（O₂），氮（N₂），二氧化碳（CO₂），氨（NH₃）和硫化氢（H₂S）等气体。尤其是氧气会使锅炉金属遭受严重的腐蚀。不过，随着炉水温度的升高，这些气体的溶解度会逐渐降低，一直降至零。但随着压力的增高，其溶解度却会增大。气体的溶解度与温度的关系，如下表 1 和图 1 所示。

表 1 大气压力下气体溶解度与温度的关系

温 度 (°C)	溶解度 (毫克/升)		
	空 气	氧 气	氮 气
0	28.64	10.19	18.45
5	25.21	8.91	16.30
10	22.37	7.87	14.50
15	20.11	7.04	13.07
20	18.26	6.35	11.91
25	16.71	5.75	10.96
30	15.39	5.24	10.15
40	13.15	4.48	8.67
50	11.40	3.85	7.55
60	9.78	3.28	6.50
80	6.00	1.97	4.03
100	0	0	0

注：空气的主要成分是氧气和氮气。



1. 空气的溶解度曲线

2. 氮气的溶解度曲线

3. 氧气的溶解度曲线

图 1 水中气体溶解度与温度的关系

实践指出：当水的温度在60~80℃时，氧的腐蚀作用最严重。这是因为在该温度条件下，不足以使溶解氧析出，而它倒显得更活跃的缘故。二氧化碳的存在，可促使溶解氧加速腐蚀金属的过程。当其含量较高时，水将呈酸性反应，对锅炉金属有更强烈的腐蚀作用。氨对锅炉设备的铜件有腐蚀性。

第二节 锅炉水质控制指标

一、锅炉水质指标

1. 硬度：钙、镁化合物，是使锅炉受热面生成水垢的主要有害物质。水中含有钙离子(Ca^{2+})和镁离子(Mg^{2+})的数量，常用硬度表示。钙、镁的重碳酸盐叫暂时硬度，之所以

叫暂时硬度，是因为当水被加热到沸腾时，重碳酸盐可以分解成碳酸钙、碳酸镁的泥渣沉淀。

还有一种叫负硬度。负硬度就是钠盐碱度的同义词，“负”这个字可以理解为“减少”硬度的意思。由于钠盐碱度的存在，当水加热后，钠盐碱度就可以使炉水硬度降低，起到使炉水软化的作用。在数值上，负硬度等于总碱度减总硬度，即 $M_{\text{总}} - H_{\text{总}} = \text{负硬度}$ 。（ $M_{\text{总}}$ —代表总碱度， $H_{\text{总}}$ —代表总硬度）。

总硬度是永久硬度和暂时硬度的总和。硬度的单位有二种表示方法，过去用德国度（°G）表示，现在普遍采用毫克当量/升（mgN/l）来表示。两者可换算如下：

1 毫克当量/升 = 2.804 德国度

总硬度也即水中 Ca^{2+} ， Mg^{2+} 离子数的总量。

2. 碱度：碳酸钠（俗称碱面或纯碱），重碳酸钠（小苏打）和氢氧化钠（火碱）是构成碱度的成分。水的总碱度表示水中 HCO_3^- ， CO_3^{2-} 和 OH^- 离子的总含量。碱度的单位，过去也是以德国度（°G）表示，现在也改为以毫克当量/升来表示。

3. 含盐量：就是水中溶解矿物质的数量，即水中阳离子和阴离子的总含量。用含盐浓度毫克/升（mg/l）来表示。

4. pH：用来表示水中的酸碱性。pH = 7 时，水呈中性，pH > 7 时，水呈碱性，pH < 7 时，水呈酸性。

5. 含氧量：表示水中氧气的含量，用毫克/升表示。

6. 含油量：表示水中含油质的数量，用毫克/升表示。

二、锅炉水质标准

锅炉给水和炉水的水质标准，根据国家标准 GB1576—

79低压锅炉水质标准规定如下：

1. 立式水管锅炉，立式火管锅炉，卧式内燃锅炉等燃煤火管锅炉的水质标准应符合表 2 规定：

表2 立式水管、立式火管、卧式内燃锅炉水质标准

项 目	给 水		炉 水	
	炉内加药 处 理	炉外加药 处 理	炉内加药 处 理	炉外加药 处 理
悬 浮 物 (mg/l)	≤20	≤ 5		
总 硬 度 (mgN/l)	≤3.5	≤0.04		
总 碱 度 (mgN/l)			8 ~20	≤20
pH(25℃)	> 7	> 7	10~12	10~12
溶解固形物(mg/l)			<5000	<5000
相对碱度 ($\frac{\text{游离NaOH}}{\text{溶解固形物}}$)			<0.2	<0.2

- 注：（1）如测定溶解固形物有困难时，可采用测氯离子（Cl⁻）的方法来间接控制。但溶解固形物与氯离子间的比例关系，须由各单位依据具体清况试验确定，并应定期复试和修正此比例关系。
- （2）兰开夏锅炉的溶解固形物，可小于10,000毫克/升。
- （3）当相对碱度超过0.2时，应采取防止苛性脆化的措施。

2. 水管锅炉和水火管组合锅炉(包括燃油、燃气锅炉)水质标准应符合表 3 规定：

表3

水管和水火管组合锅炉水质标准

项 目		给 水			炉 水		
工作压力(kg/cm ²)		≤10	>10 ≤16	>16 ≤25	≤10	>10 ≤16	>16 ≤25
悬浮物(mg/l)		≤5	<5	≤5			
总硬度(mgN/l)		≤0.04	≤0.04	≤0.04			
总碱度 (mgN/l)	无过热器				≤20	≤18	≤14
	有过热器					≤14	≤12
pH(25°C)		>7	>7	>7	10~12	10~12	10~12
含油量(mg/l)		≤2	≤2	≤2			
溶解氧(mg/l)		≤0.1	≤0.1	≤0.05			
溶解固形 物(mg/l)	无过热器				<4000	<3500	<3000
	有过热器					<3000	<2500
PO ₄ ³⁻ (mg/l)						10~30	10~30
相对 碱度	($\frac{\text{游离NaOH}}{\text{溶解固形物}}$)				<0.2	<0.2	<0.2

注：(1) 当锅炉蒸发量≤2吨/时、采用炉内加药处理时，其给水和炉水水质要求应符合前表2规定。但炉水的溶解固形物要小于4000毫克/升。

(2) 锅炉蒸发量≥10吨/时，必须除氧。锅炉蒸发量<10吨/时≥6吨/时应尽可能除氧。对于发电锅炉，其给水含氧量均应≤0.05毫克/升。

(3) 当相对碱度超过0.2时，应采取防止苛性脆化的措施。

3. 热水锅炉水质标准应符合表 4 的规定：

表4

热水锅炉水质标准

项 目	热 水 温 度(°c)			
	≤95采用炉内加药处理		>95	
	补 给 水	循 环 水	补 给 水	循 环 水
悬浮物 (mg/l)	≤20		≤ 5	
总硬度 (mgN/l)	≤ 6		≤0.7	
pH (25°C)	> 7	10~12	> 7	8.5~10
溶解氧 (mg/l)			≤0.1	≤0.1

注：当采用炉外化学水处理时，应符合热水温度>95°C的水质标准。

各国对于工业锅炉给水和炉水水质都规定了标准，现摘录一部分如下供参考：

苏联规定：受热面在400平方米以下，工作压力在22个绝对大气压以下的工业锅炉，炉外水处理时：无水冷壁的锅炉，给水硬度不得超过1.5德国度。有水冷壁的锅炉，给水硬度不得超过0.3德国度。若为炉内水处理时：水容量大的锅炉，给水的硬度不得超过60德国度。水容量小，并且无水冷壁的锅炉，则不得超过15德国度。

工业锅炉给水中的含油量，不得超过 3 ~ 5 毫克/升。水管式锅炉的炉水含盐量不大于6,000毫克/升。炉水的碱度在15~35德国度之间。火管圆筒式锅炉的炉水含盐量，不得大于20,000毫克/升。炉水的碱度在25~65德国度之间。

美国规定：强制式热水锅炉给水硬度不得超过0.07毫克当量/升。筒式热水锅炉给水硬度不得超过0.12毫克当量/升。蒸汽锅炉的炉水碱度，不得超过14毫克当量/升。

日本规定：如下表 5 所示：

表5 中、低压水管锅炉水质标准

项 目	水 管 锅 炉				
	锅 炉 的 压 力(kg/cm ²)				
	<10	10~20	20~30		
	受热面的蒸发率(kg/m ² ·h)				
	<50	>50	/	/	
给 水	pH 值	>7	>7	>7	>7
	硬度CaCO ₃ (PPm)	<40	<2	<2	<2
	油脂(PPm)	接近0	接近0	接近0	接近0
	溶氧O ₂ (PPm)	尽可能低	尽可能低	/	/
炉 水	pH值(25°C)	10.8~11.0	11~11.5	10.8~11.3	10.5~11.0
	酚酞碱度 CaCO ₃ (PPm)	300~800	300~600	<400	<120
	总固形物(PPm)	<3,000	<2,500	<2,000	<700

注：1 mgN/l = 50.1PPm

实践说明，对于蒸汽压力 ≤ 13 公斤/厘米²，蒸发量 ≤ 6.5 吨/时的工业锅炉，给水硬度的控制标准小于或等于0.1毫克当量/升就可以。如某厂一台6吨/时快装锅炉的水质标准是：

给水硬度为 ≤ 0.1 毫克当量/升，炉水碱度为 ≤ 20 毫克当量/升，氯根不大于1,000毫克/升。在此标准下，一个运行周期后的检查，发现水垢最厚只达0.5毫米，锅炉基本上达到了无垢运行。氯根规定为1,000毫克/升，是由于吸取一台10吨/时锅炉过热器爆管事故的经验而确定的。当然，对于每

一台锅炉的水质标准的制定，要通过该炉的热力化学试验，求出一个正确的标准，不宜任意套用。因为，水质标准的指标与使用水源情况，炉内装置结构和蒸汽用户的性质等均有关系。实用上，工业锅炉水质的控制项目，给水一般是考虑硬度一项指标，炉水则掌握氯根和碱度二项，至于pH值（一般掌握在10.5左右）可做为参考指标来控制。

对炉水相对碱度的概念，也可以表示为：

$$\frac{\text{给水或炉水中碱度以NaOH的表示量}}{\text{给水或炉水中含盐量}} \leq 0.2$$

第三节 炉水的浓缩过程

锅炉炉水的浓缩过程，是一种复杂的物理化学过程。当含有矿物质的给水（经过软水处理）进入锅炉之后，水受高温加热而剧烈的蒸发，成为蒸汽从锅炉汽包中引出，由管道送到需要用汽的地方，而矿物质盐类就留在锅炉水中。随着蒸汽的不断蒸发，炉水就逐渐变浓，以致成为高浓度矿物质的水质。但炉水的浓度是有一定限度的，即溶解矿物质的数量并不是可以无限量增加的，也就是说，在一定温度条件下，当矿物质在炉水中的溶解度达到一定限度（或者叫饱和）时就不会再溶解了，而从炉水中析出沉积在锅内形成水垢、泥渣和粘质等沉积物。溶解有一定限度的现象在我们的日常生活中也很常见，例如逐渐将食盐放入一杯水里，开始看到食盐可以完全溶解于水中，但放进一定数量的食盐后若继续加进食盐，就会发现即使加以搅拌，食盐也不再溶解了。说

明这时杯里的水所能溶解的食盐已经达到了最大的限度。同样道理各种矿物质盐类在炉水中都有各自的最大限度。

另一方面，一些轻质物质和盐类，由于炉水上下部温度的差异及水循环的作用，易浮于表面，形成高浓度的水面层，如上汽包内的高浓度表面水。

上述现象就是炉水的浓缩过程。

前面提到过的暂时硬度在水被加热到沸腾时可以分解沉淀。构成永久硬度的钙、镁盐物质则是当炉水中的永久硬度盐浓度超过溶解限度时，就会析出沉积在受热面上形成水垢（详见第四章）。因此控制炉水的浓缩过程是防止锅炉受热面结垢的基本方法。

炉水浓缩的程度与下列因素有关：

1. 给水质量：在锅炉水中沉淀出固态物质的多少，与炉水浓度的大小和送入锅炉的给水里含有无机矿物质的数量有着直接关系。尤其当给水中含钙、镁化合物物质愈多，就愈易使锅炉水在浓缩时产生更多的沉淀物附于锅壁上。如某化纤厂一台4吨/时快装炉，给水没经过软水设备处理，结果只运行三个月，由于结垢而被迫停炉。相反，在某染整厂由于给水经过很好的软化处理，给水水质符合国家规定的水质要求，锅炉运行一年多后，停炉检修，锅炉受热面结垢甚微。这充分说明，给水水质的好坏，对炉水浓缩、沉淀物的堆集过程有着直接的关系。另外，给水的含盐量和碱度愈大，炉水表面的浓度就愈高。给水中气体的含量同样增加炉水的气体含量。因此，给水质量的优劣，对炉水质量起着决定性的作用。所以，工业锅炉的给水，应进行过滤、软化和除气处理，力求达到给水水质标准要求。

2. 锅炉蒸发倍率: 锅炉的蒸发倍率就是锅炉本身容水空间的容水量与锅炉每小时蒸发量的比率, 可以下式来表示:

$$C = \frac{D}{Q}$$

式中: C—表示蒸发倍率;

D—表示锅炉蒸发量 (吨/时);

Q—表示锅炉容水量 (吨)。

如一台快装炉的容水量为 7 吨, 每小时的蒸发量为 4 吨, 则蒸发倍率 $C = \frac{4}{7} = 0.57$ 。从式中可以看出, 蒸发倍

率C愈大, 即锅炉出力D愈大, 炉水浓缩就愈快, 也就容易生成沉淀物。而C愈小则锅炉容水量Q相对愈大, 炉水浓缩程度就慢, 炉水质量就好。根据这个道理, 工业锅炉, 尤其是水管锅炉的运行是不允许有超负荷的现象。超负荷不仅影响锅炉设备和结构上的损坏, 而且会使炉水过度浓缩, 生成大量的沉淀物, 危及安全经济运行。

3. 锅炉汽压和温度: 随着锅炉汽压和炉水温度的升高, 炉水中某些盐质的溶解度便降低, 炉水浓缩的程度便相对增加。在局部情况下, 当炉水接触过热的金属表面便形成所谓薄膜炉水, 在温度超过沸腾的温度时, 易溶的钠盐, 如硫酸钠、碳酸钠也会沉析出来。在高温条件下, 炉水中的物质同时也进行着某种化学反应过程, 使一种离子转变成另外一种能够形成难溶化合物的离子。如重碳酸钙和重碳酸镁, 在沸腾温度时: 分解为难溶的碳酸钙和碳酸镁沉淀物。温度愈高, 碳酸盐沉淀过程进行得就愈快, 炉水浓缩的过程就加剧。