

低压锅炉供水水质处理的研究

吴 根 林

(建 工 系 给 排 水 教 研 室)

摘 要

本文从系统的观点出发,以生产实践获得的水中杂质对水垢结生的规律(即水中 $MgO/SiO_2 = 1.0 \sim 1.6$ 之间重量比,钙硬又在3毫克当量/升以下时)为基础,研究局部钠离子交换处理方法,并用算例,说明局部钠离子交换处理法的应用技术和效果。

一、问题的提出

天然水中杂质种类很多,这种未经处理的水,直接供给锅炉,绝大多数都会造成炉内结垢或腐蚀,并污染蒸汽,影响锅炉安全运行和经济效益。为此,必须对锅炉给水采取处理措施,使其符合低压锅炉给水水质标准。

目前,常采用单级钠离子交换处理低压锅炉的供水,根据“关于工业锅炉水处理情况的调查报告”认为,锅炉水处理工作上存在的问题是:有处理设备和进行水处理的低压锅炉,效果较好的只占三分之一。实践中有些低压锅炉虽然按规定采用单钠离子交换软化技术,维持了锅炉给水的硬度在0.03毫克当量/升以下,但由于水中其它杂质仍然存在,锅炉进行较长时间的运行后,其受热面内部,烟管外表等处,仍结有一层一定厚度的水垢。这种现象与用单钠离子交换技术处理的水进入锅炉后的物理化学变化,存在一定的因果关系。

尤其值得注意的是人们不加区别地将常用处理方法应用于供给生活饮用水的低压锅炉上,这是不妥当的,因为,根据医学研究揭示,饮用水的硬度特征与心血管疾病之间具有明显的统计学联系,即心血管病与饮用水的硬度呈逆相关或与水的软化程度正相关。研究证明,正常人每人每天需钙量约0.6—1.0克,这些元素大部分是从水中供给的。因此,作为供生活饮用的低压锅炉,其水质处理方法,就更值得注意。

本文于1987年10月17日收到

二、水中杂质在锅炉内结垢的规律

从防垢处理的角度来看，是要使炉水中析出的沉淀物疏松、质软、不粘于锅（管）壁，易于随炉水排污排出。即是说，对小型锅炉进行防垢处理，应该有效地控制炉水的离子平衡，使炉水中各种离子的浓度达不到生成水垢物质的溶度积，人为地通过炉内外处理，来破坏和防止水垢的形成，干扰水垢结晶体的积聚，促使晶格发生畸变，使沉淀出来的固体与锅炉金属表面有相同的电荷，或者锅炉金属表面形成电中性绝缘层，成为保护膜，阻碍沉淀物以水垢的形式结生在锅炉筒体的金属表面上。

实践证明，锅炉水垢结生速度不取决于给水中硬度的高低，而是取决于水中钙、镁、硅含量的比例。在实验中发现，若锅炉水中 MgO/SiO_2 的重量比在1.0—1.6之间，钙硬度在3毫克当量/升以下时，则有利于在锅炉中生成蛇根碱 $[2MgSiO_3 \cdot Mg(OH)_2 \cdot H_2O]$ 。如果在锅炉内辅以适当的磷酸三钠校正处理，而炉水的PH值又大于10，在高温条件下，炉水中的碱质和 $Ca_3(PO_4)_2$ 反应则产生羟基磷灰石钙 $[Ca_{10}(OH)_2(PO_4)_6]$ 。这两种反应产物均为松散软泥，粘结性较差，能随锅炉排污除去，减少了硅酸盐水垢的结生。若 MgO/SiO_2 之重量比小于1.0时，就必然结生硬质硅酸盐水垢；若 MgO/SiO_2 之重量比大于1.6时，则易产生碳酸盐水垢。由此可见，如对低压锅炉供水采用适宜的炉外水处理技术，使给水残余硬度换算成 MgO/SiO_2 之重量比在1.0—1.6之间，并在锅炉内辅以一定的化学处理，使水在锅炉内产生一系列的物理化学变化，水中的绝大部分杂质就会生成流动性较好的淤泥，并能吸附油分，同时对锅炉钢板产生一层保护性薄膜，还能防止腐蚀作用的发生。

因此，对低压锅炉的供水，应设法使经处理后的水质达到总硬度在3.5毫克当量/升以下（国标规定）， MgO/SiO_2 的重量比在1.0—1.6之间，碱度控制在6—8毫克当量/升，炉内投加磷酸根小于5毫克/升，这样就能使锅炉的排污量控制在10%以下，并能保持炉水中所需要的碱度，从而保证锅炉在经济和高效的工况下安全地运转。

三、合理的低压锅炉供水处理方法

由于锅炉水处理是锅炉最基本的技术管理工作，在复杂的水质条件下，锅炉供水的处理，就应以系統工程的观点，来研究和解决水处理的工艺，使其流程简单，处理后的水质应能满足在锅炉正常运行的特定条件下既不结垢，又不腐蚀，充分发挥其热效率。根据生产实践和现场实验，笔者认为采用部分钠离子交换法可以达到上述目的，该法经过实践的考验，目前已在安徽，山东，甘肃等省得到推广应用。

实践证明，这种方法有下列几个优点：

- 1、可以充分利用原有水中的自然碱度，进行有效的炉内碱处理，不需再加入工业碱性药剂；
- 2、克服了对补充水全部钠离子交换软化不能降碱，从而引起炉水碱度过高和排污量过大的一系列损失；
- 3、对于含硅量偏高的炉水，可以控制硅垢的产生和油垢的形成，获得较好技术经济效益；

4、可以节省部分离子交换设备、交换剂和再生剂，从而降低锅炉水处理费用。

部分钠离子交换法是一部分给水经钠离子交换器除去硬度，留下碱度；另一部分给水(原水)不经钠离子交换器，两部分水按照计算的比例混合，然后进入锅炉。这样可以利用水中保留下来的碱度。对混合后给水中的硬度，在锅炉内进行自身碱处理。因此，部分钠离子交换法是一种炉内外相结合的水处理系统，如图1所示。

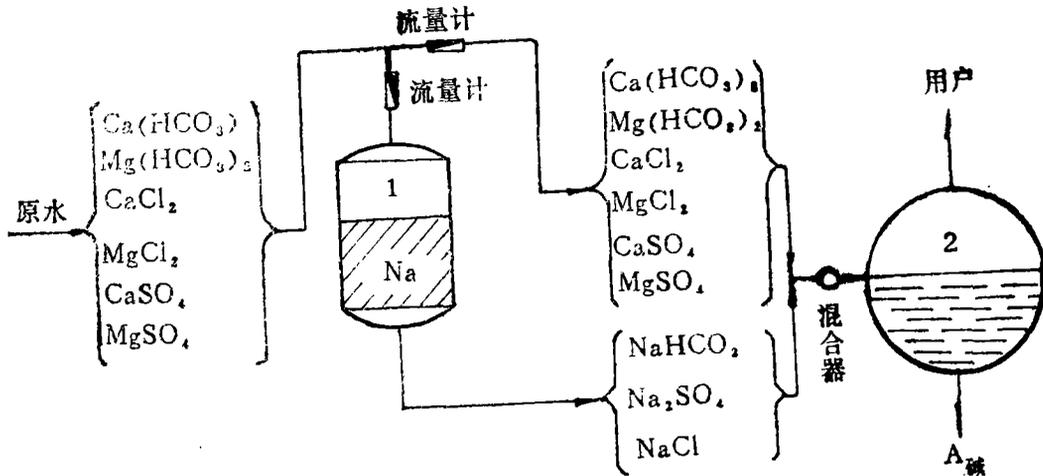
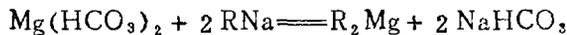
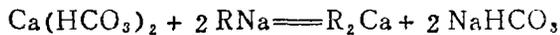


图1 锅炉给水处理系统原理图
1—钠离子交换器 2—锅炉

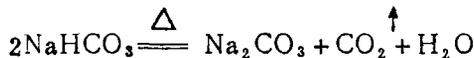
该处理工艺流程的特点如下。

1、原水中硬度与钠离子交换反应：



.....

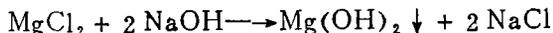
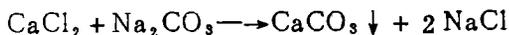
2、经钠离子交换后的水与原水按比例混合，混合水的组分如图1所示为；同时存在重碳酸钙 $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2]$ ，重碳酸镁 $[\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2]$ 以及比原水又增加了重碳酸钠 $[\text{NaHCO}_3]$ ，(该 NaHCO_3 可作为锅炉内水的软化剂)，以上碱性物质在炉内受热后起下列反应：



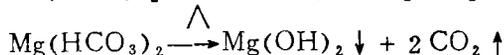
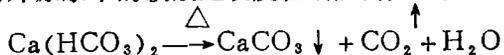
分解后的 Na_2CO_3 ，在锅炉内会继续分解：



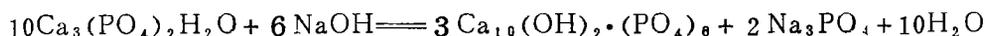
这两种产物 (Na_2CO_3 、 NaOH)，将与进入锅炉的钙、镁离子起化学反应。



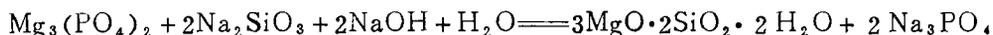
而另外原水中的碳酸盐硬度在锅炉内，因受热产生如下反应，其绝大部分得到去除。



如果用部分钠离子处理的水辅以炉内加适当的磷酸三钠校正处理，而炉水的PH值又大于10时，在高温条件下，炉水中的碱质和 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 反应产生羟基磷灰石钙：



而镁盐与 NaOH 及 Na_2SiO_3 发生反应，产生类似蛇纹石的物质，称为蛇根碱：



前已述及这两种反应产物，均为松散软泥，能随锅炉排污除去。

从上述一系列反应可知，部分原水经钠离子交换后与另一部分原水混合，再在锅炉内反应，生成软泥（水渣），从而达到使炉水软化降碱的目的。只要原水水质合适，混合时水量配比适当，就能同时达到良好的效果。采用这种方法时，必须控制好给水中软化水量和原水量的比例，这就是说必须使经钠离子交换软化水、与未经钠离子交换的原水混合后，其给水硬度中的镁离子含量应满足 $\text{MgO}/\text{SiO}_2 = 1.0 \sim 1.6$ 的范围要求。

现以下列说明适宜的混合硬度及水量分配等计算方法。

例：某厂原水总硬度 $H_{\text{总}} = 4.0$ 毫克当量/升，其钙：镁 = 3：1，总碱度 $A_{\text{总}} = 3.5$ 毫克当量/升，水中的二氧化硅 $\text{SiO}_2 = 7.25$ 毫克/升，软化出水残留硬度取为 $H_{\text{残}} = 0.1$ 毫克当量/升，该水质采用部分钠离子交换软化后供给蒸发量为2吨/时，水容量为4.5吨的低压锅炉使用。在运行中控制炉水碱度值 $A_{\text{炉碱}} = 20$ 毫克当量/升，试计算各种数据。

1、首先求出适宜的混合水的硬度值，为保证不结硅垢的条件为：

$$\text{MgO}/\text{SiO}_2 = 1.0 \sim 1.6 \quad \text{采用} 1.4$$

$$\therefore \text{MgO} = 1.4\text{SiO}_2 = 1.4 \times 7.25 = 10.15 (\text{毫克}/\text{升})$$

$$\therefore \text{MgO} \text{的当量为 } N_{\text{Mg}} = 20.16$$

$$\therefore N_{\text{Mg}} = \text{MgO}/20.16 = 10.15/20.16 \approx 0.5 (\text{毫克当量}/\text{升})$$

$$\text{又} \therefore \text{Ca}^{2+}:\text{Mg}^{2+} = 3:1$$

$$\therefore \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} = 3 + 1 = 4$$

这样适宜的混合水的硬度值应为：

$H_{\text{混}} = N_{\text{Mg}} \times 4 = 0.5 \times 4 = 2.0$ 毫克当量/升 < 3.5 毫克当量/升，一般说来，当计算出的 $H_{\text{混}} \leq 3.5$ 毫克当量/升，则说明这种原水适用部分钠离子交换软化法，因为低压锅炉水质标准中，规定给水硬度 ≤ 3.5 毫克当量/升。

2、求经钠离子交换水量的配比：

当两部分水经混合后，其混合硬度值表示为以下的公式：

$$H_{\text{混}} = G_{\text{Na}} \cdot H_{\text{残}} + (1 - G_{\text{Na}}) H_{\text{总}}$$

经整理后得：

$$Q_{\text{Na}} = \frac{H_{\text{总}} - H_{\text{混}}}{H_{\text{总}} - H_{\text{残}}} = \frac{4.0 - 2.0}{4.0 - 0.1} = 0.513 = 51.3\%$$

即进入钠离子交换器的水量占给水量的51.3%。

3、上述水质进入锅炉以后，为防止炉水碱度过高，要控制好锅炉的排污率，其排污率的计算如下：

$$P = \frac{A_{\text{总}} - H_{\text{混}}}{A_{\text{炉碱}}} \times 100\% = \frac{3.5 - 2.0}{20} \times 100\% = 7.5\%$$

其计算排污率为7.5% < 10% 符合规定。

4、该水质空炉上水时、给水中是否需投加碱剂 (Na₂CO₃) 计算：

$$G_1 = (H_{\text{混}} - A_{\text{总}} + A_{\text{炉碱}}) \times 53 = (2.0 - 3.5 + 20) \times 53 = 980.5 (\text{克/吨})$$

当空炉上水时每吨水中仍需投加Na₂CO₃量为980.5克。

5、在正常运行时，给水中是否需要投加Na₂CO₃碱剂计算：

$$G_2 = (H_{\text{混}} - A_{\text{总}} + A_{\text{炉碱}} \cdot P) \times 53 = (2.0 - 3.5 + 20 \times 7.5\%) \times 53 = 0$$

计算结果，由于水质碱度能满足锅炉水的碱度需要，就可维持锅炉水碱度在 8—20 毫克当量/升的范围。

四、结束语

当前低压锅炉供水，采用多种处理方法，常因操作复杂，设备投资大，而且由于水质复杂，又忽略了处理方法的选择，缺乏系统工程的观点，常常为了贯彻水质标准，而却达不到经济效益。因而对低压锅炉给水处理方法进行综合试验研究，是十分必要的。例如局部钠离子交换软化法，在技术上是属于炉内碱处理方法的一种，实质是利用软化水中的碱度 (NaHCO₃)，对部分原水中的非碳酸盐硬度及硅酸盐进行综合炉内碱处理，同时又补充锅炉排污水损失的碱量。

总之、充分利用天然水中原有的碱度而转化钠碱度 (NaHCO₃)，按照《低压锅炉水质标准》要求与因炉因水制宜选用水处理方法的原则，既维持炉水需要的碱度、PH值、CO₃²⁻和OH⁻一定的比例及SO₃²⁻同CO₃²⁻一定的比值，又使给水带入炉内所有能结垢的钙，镁盐类及硅酸根等杂质，和炉水中的CO₃²⁻、OH⁻等碱剂起物理化学作用，通过适量的排污，这样所产生的淤泥不多，同时又能控制锅炉的腐蚀和硅垢的产生，从而收到省煤，节水，减少药耗延长锅炉寿命的技术经济效果。

参 考 文 献

- [1] 环境保护杂志社《环境保护》1987.7
- [2] 吴根林，《低压锅炉供水采用部分钠离子交换技术》《实用能源》1986.1
- [3] 湖北科技出版社《低压锅炉水质处理》1984
- [4] 化工部工业水处理科技情报中心站《工业水处理》1985.5
- [5] GB1576—79 (84) 《低压锅炉水质标准》1984
- [6] 日本公开特许公报昭58—6297