

# 磁化水防垢问题

李本源

(首都钢铁公司石景山钢铁公司钢铁研究所)

在工业生产、交通运输以及日常生活中,水垢是一种最常见的公害。为克服水垢曾研究过各种办法。其中,设备最简单、操作最方便、投资最少、对环境无污染的是利用磁水器。经过磁水器的磁场处理过的水称作“磁化水”。实践证明,磁化水能防止水垢形成,使受热面上的水垢脱落,非受热面上的老垢逐渐溶解<sup>[1,2,3,4]</sup>。因此,在工业中应用磁化水冷却设备是挖掘设备潜力,增产节约的好措施。在我国二十多年来磁水器的应用范围不断地扩大,但是并非所有的磁水器都能取得最好的防垢效果。对于具备什么条件后,才能使磁化水达到完全无垢,以及如何预检磁化水的防垢效果,还没有总结出规律性的结果。在磁水器的设计和生产中也并没有可靠的数据做参考。为了让磁水器在社会主义建设中发挥更大的作用,需要把实践中积累的经验条理化,上升为理性认识。本文是在总结生产实践和实验的基础上,试图对磁化水中的几个问题做概括的解释。

## 一、水的结构性和氢键<sup>[5,6,7,8]</sup>

毛主席指出:“事物发展的根本原因,不是在事物的外部而是在事物的内部,在于事物内部的矛盾性。”“唯物辩证法认为外因是变化的条件,内因是变化的根据,外因通过内因而起作用。”<sup>[1]</sup>这是指导我们研究磁化水问题的基本思想。在磁化水中,水和水中溶解的溶质的变化是内因,磁化只是外因。为了从事物内部的矛盾运动找根据,我们应当从水的结构性讲起。

水分子是由一个氧原子和两个氢原子化合而成。分子量是 18,常温下密度约为 1 克/厘米<sup>3</sup>,1 克分子的水约占 18 厘米<sup>3</sup>的体积。可以粗略地估计出 1 个水分子所占的体积为 30 Å<sup>3</sup> ( $\sigma^3 = \rho/N = 18 \times 10^{24}/6 \times 10^{23}$  Å<sup>3</sup>, 这里  $\sigma$  是水分子有效直径,  $\rho$  水的克分子体积,  $N$  是阿伏伽德罗常数)。假设水分子都是圆球,并作最密堆积,这个体积的直径应是 3.48 Å, 并且一个分子应有十二个水分子与它相邻近(在晶体结构中,把一粒子周围最近邻的粒子个数,称作配位数)。然而, X 光实验证明水分子的“直径”(两个水分子中的氧原子核间的距离),

从 0°C 到 80°C,是 2.90 到 3.05 Å;一个水分子的最近邻的分子数(即配位数),从 1.5°C 到 83°C 是 4.4 到 4.9。这两点说明水中分子排列不是最密堆积。因此,可以把水看成是水分子按四面体结构排列的体系。位于四面体中心的一个水分子,被分布在四面体四个顶点的水分子包围。其中两个水分子各以一个氢向着中心,另两个水分子的氢则向外。这样五个水分子处在五个相互不平行的平面内。如图 1 所示。在冰中,这样的四面体相互联成一个庞大的整体,而在水中这些四面体按冰中的方式或石英中 SiO<sub>2</sub> 四面体联结的方式联成一个个“集团”。一般用 (H<sub>2</sub>O)<sub>n</sub> 表示这种“集团”(n = 2, 3 …),这些集团本身是非常动荡的。这里的集团分解了,而另一处的“集团”又形成了。这就是水的结构性。

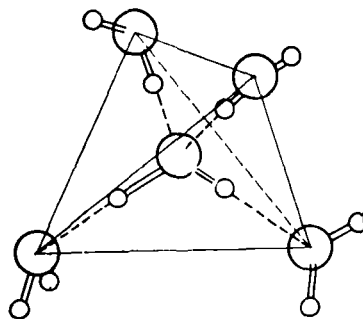


图 1. 水的四面体结构

图中大圆表示氧原子,小圆表示氢原子;双线为共价键,点划线为氢键

作用在水结构中的结合力称作氢键。氢键的能量比一般的化学键小,它是一种强的范德瓦耳力(在水分子之间的范德瓦耳力是 3 千卡/克分子,化学键为几十千卡/克分子,而氢键约是 9 千卡/克分子)。氢键使水结构中两个氧原子核间距为 2.76 Å,而不形成氢键时约为 3.5 Å。氢键具有两个特性:第一,氢键是由氢原子介于两个原子之间形成的键,氢原子的配位数不

1) 毛泽东,《矛盾论》《毛泽东选集》(一卷本),人民出版社,(1969),276—277.

超过 2, 这就是氢键的方向性和饱和性; 第二, 氢原子只有在电负性很强的原子(如氧、氮、氟原子)之间才能形成氢键。

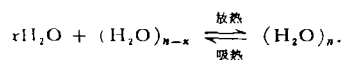
由于水是极性分子, 有人认为: 两个偶极矩反平行的水分子之间, 一个水分子的负电集中点, 可以与另一个水分子的正电集中点产生静电引力。这样, 两个水分子之间形成两个氢键。涅克拉索夫<sup>[11]</sup>认为, 对水分子缔合现象具有根本意义的是所谓氢键的形成。双分子(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>显得最稳定。它的形成, 显然可能是由于同时有两个氢键发生的缘故(见图 2)。也有提出偶极子首尾相吸形成缔合。然而这些缔合图象不符合氢键的方向性要求, 又与水的四面体结构相矛盾。因此, 作用在这些图象中的力是范德瓦耳力, 不是氢键。两个水分子之间只能形成一个氢键。



图 2. 涅克拉索夫的水分子缔合结构<sup>[11]</sup>  
(1) 异极相吸缔合结构 (2) (H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub> 中的双氢键

## 二、破坏氢键与磁化水的物理性质变化

水结构性的变化可以用平衡方程表示如下:



根据吕·查德里定理: 假如改变平衡体系的条件之一, 如温度、压力、浓度, 平衡就向着能减弱这种改变的方向移动。已知在  $-183^\circ\text{C}$  冰中的氢键几乎全部原封不动, 在熔点约 15% 的氢键被破坏, 在  $40^\circ\text{C}$  的水中仅破坏了 50% 左右。由温度升高, 水中氢键减少的现象, 可知破坏氢键是吸热反应。相反, 生成氢键是放热反应。当水流进磁场时, 水被磁化。磁场向水输送了磁化能, 体系能量升高, 平衡应向吸热方向移动。根据物质反磁性理论<sup>[12]</sup>, 当存在磁场  $H$  时, 物质分子中的动量矩为  $J$  的电子轨道受到力矩  $\frac{dJ}{dt} = -\frac{|e|\hbar}{2mc} J \times H$  的作用, 而绕磁场进动。水分子作为一个整体也绕磁场进动。在四面体结构中, 一个氢键所联结的两个水分子, 因不共面, 受到的力矩的方向、大小各不相同, 这样氢键两端的两个水分子之间就产生了一个扭曲力。氢键力又比水分子中的氢氧原子之间的共价力小的多。因此, 当扭曲力超过氢键力时, 氢键被破坏。即磁化能使平衡反应向氢键破坏的方向发展。这就是我们所讲的“磁场破坏氢键”。苏联有人作了磁化水紫外线吸收实验<sup>[9]</sup>, 认为: “磁化了的水会使其结构性增高, 会使吸收光的作用大大增加。”这与我们上述的分析矛盾。产生这个矛盾的原因, 我们认为文章<sup>[9]</sup>没有注

意到水结构的复杂性, 例如, 在不同温度下, 有冰结构的水和石英结构的水; 也没有注意溶质对水的结构性的影响。因此, 磁化水的紫外吸收变化是反映了单水分子多少的变化, 还是反映水中的溶质的化学变化, 还应深入研究。

前面提到形成氢键水分子间的距离变短, 水分子中的氢氧根的长度却变长。因此破坏氢键时, 氢氧根的键长应变短, 键角也变小, 即水分子的偶极矩变化了。与氢氧根相对应的红外吸收峰的频率有变化, 我们推测红外吸收峰应向高频方向移动。

破坏氢键后, 使大的整体的集团分裂为单散的水分子或较小的集团。这些单散分子和小集团间, 因无方向性的限制, 各自移动, 彼此向空处靠拢, 使水的密度增加。如果用  $\sigma$  表示一个水分子平均占有体积的有效直径, 克分子体积用  $\frac{\pi}{6} N\sigma^3$  表示, 水的密度

$$\rho = M / \frac{\pi}{6} N\sigma^3,$$

其中,  $M$ ——克分子量,  $N$ ——阿佛加德罗数。水的密度增加, 由上式可以推知磁化水中水分子平均有效直径  $\sigma$  变小了。

由分子物理和统计物理知道, 液体的粘滞系数

$$\eta = K \sqrt{\frac{8}{\pi}} \frac{\sqrt{MkT}}{\pi\sigma^2},$$

液体的表面张力系数

$$\alpha = t \frac{R^2}{\sigma^3}.$$

其中,  $k$  为玻尔兹曼常数,  $t$  是表面中的分子受到的指向液体内的力,  $R$  表示分子力的作用半径。由上两式看出, 由于破坏氢键, 水分子的平均有效直径  $\sigma$  变小, 水的粘滞系数和表面张力系数都相应地增加了。

以上讲的只是磁场对水的结构的作用和产生的物理现象, 对于水溶液(如工业水)除此以外, 尚需考虑溶质受磁场作用及其对溶液性能的影响。例如, 热力学证明<sup>[16]</sup>: 表面张力的变化与液体表面层中的溶质浓度有关。其关系式称为吉布斯吸附公式。具体公式为:

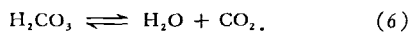
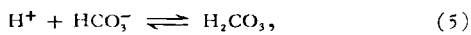
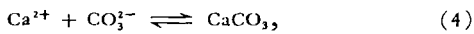
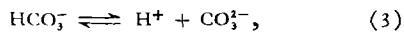
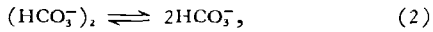
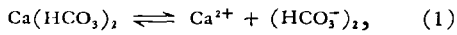
$$e = -\frac{c}{RT} \frac{d\alpha}{dc},$$

$e$  称为单位面积内的溶质过量。无机电解质(如盐类)溶于水, 往往增加水的表面张力系数(增量不大), 产生负的吸附作用,  $e < 0$ ; 许多有机物溶液产生正的吸附作用,  $e > 0$ 。在工业水中, 溶质的主要成分是无机盐, 下面的分析将指出, 水磁化时离子浓度下降, 即  $dc < 0$ , 因为  $e < 0$ , 所以  $d\alpha < 0$ 。由此看出吸附的作用使磁化水的表面张力系数下降。综合上面关于表面张力系数变化的讨论可知, 磁化水的表面张力系数的变化, 是由水分子的平均有效直径变小,  $\alpha$  增加, 和表面吸附效应受磁化影响而使  $\alpha$  降低, 两种相反的作用所影响。因此表面张力系数在水被磁化后是增是减,

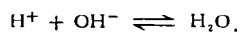
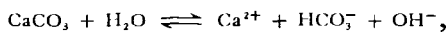
不仅与磁化有关,而且还与水中溶解的盐类的种类、浓度有关。然而,目前国内外关于磁化水的报道中,只注意了水硬度的影响,而对其他化学成分的影响的分析资料太少了。

### 三、水被磁化时,电解质平衡变化和胶体 $\text{CaCO}_3$ 粒子的形成及其影响

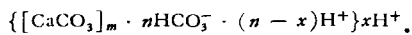
为了说明磁化水为什么能防垢,现在分析磁化对结垢物析出过程的影响,必须强调,讨论仅限于只含碳酸氢根碱度(无碳酸钙存在)的水。碳酸氢钙  $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2]$  分解成碳酸钙  $(\text{CaCO}_3)$  的化学过程由以下六个过程组成:



在碳酸氢钙分子内有一个分子内氢键<sup>[10]</sup>,式(2)表示分子内氢键破裂的过程。加热时,水中析出碳酸钙的原因是二氧化碳溶解度下降,二氧化碳放出,使(5),(3),(2),(1)向右进行。钙离子  $(\text{Ca}^{2+})$  和碳酸根离子  $(\text{CO}_3^{2-})$  浓度增加,(4)向右移动,碳酸钙析出。水被磁化时,因氢键被破坏,首先破坏了(2)的平衡,反应向右进行,同时引起(1),(3)向右进行,钙离子和碳酸根离子浓度增加,碳酸钙分子析出。因此,磁化水中,温度虽未升高,但有碳酸钙析出了。水在磁场中流动的作用,又增加了碳酸钙分子相遇的机会,几个碳酸钙分子碰在一起形成固相碳酸钙。这种固相碳酸钙粒子尺寸还很小,不稳定,有被溶解的趋势,但是当其表面上的一部分碳酸钙又与水发生水化作用,即:



由于水化作用,反应(5),(6)平衡变化较小,或保持着原来的平衡;水中碳酸氢根离子  $(\text{HCO}_3^-)$  浓度增加,造成固相碳酸钙粒子吸引碳酸氢根离子的可能,形成带负电的碳酸钙胶体粒子。这样,碳酸钙粒子虽小,但可以在水中稳定存在了。胶体碳酸钙粒子表示为:



胶体碳酸钙粒子是否存在?我们曾经在使用磁化水的汽化冷却锅炉的汽泡内看见过如棉花样的絮状物。并认为絮状物是胶粒存在和发展(即絮凝过程)的结果。还必须指出,上述的一切过程,从破坏氢键到形成胶粒都是在磁场内完成的。因此,水和碳酸钙虽是反磁性物质,负电胶粒的形成,是使磁化效果得以保持重要因素。

以上讲的是磁场破坏氢键,实际上只是磁场对水和阴离子的作用,磁场同样对阳离子有影响,使阳离子的极化力变化。若阳离子极化力用  $(z-s)^2/r$  表示(其中  $z$  是原子序数,  $s$  是屏蔽常数,  $r$  是离子半径)<sup>[11]</sup>,由于电子轨道绕磁场进动的结果,离子的电子云密度分布改变了,屏蔽常数  $s$  变小,阳离子极化力增强。阳离子电场增强了,阴离子的负电重心向阳离子的方向作少许移动,结果化合物的离子键性减小,共价键性增加。化合物在水中的溶解度下降<sup>[12]</sup>,而有利于碳酸钙、硫酸钙  $(\text{CaSO}_4)$  等盐类在磁场中析出。这就是磁化不仅能防止碳酸钙结垢,也能防止硫酸钙结垢的原因。钙离子的极化力小于镁离子,极化力的磁化增量又不大。因此,磁化对极化力本来就大的镁离子的影响相对小些。这就是实践中发现的,钙硬度高的水磁化防垢效果好的原因。磁场对于典型的离子化合物氯化钠  $(\text{NaCl})$  溶液中的氯离子和钠离子的直接影响很微小,然而,水磁化后介电常数的增加(见下节分析),水中的钠离子  $(\text{Na}^+)$  和氯离子  $(\text{Cl}^-)$  的静电引力变小,因此溶解度增加。由此可知,水中有钠、氯离子时,一些实验现象的反常直接与水中氯化钠浓度有关。

磁化水中带负电的碳酸钙胶粒的形成,水中钙离子和碳酸氢根离子浓度相应的下降了。因此,天然水磁化后电导率下降,介电常数增加(见下节分析)。但是有的实验观察到了相反的情况。我们认为可能与水中钾、钠、氯等的离子浓度的大小,以及水中原来就已经有碳酸钙粒子存在等情况有关。

纯水中氢离子  $(\text{H}^+)$  和氢氧根离子  $(\text{OH}^-)$  在电场作用下的迁移方式不“亲自”由一个电极到另一电极,而是借助于缔合结构“接力”式的移动。因此,水中氢离子和氢氧根离子有得反常的迁移率<sup>[13]</sup>。磁化使水的结构性减小,氢离子和氢氧根离子的“接力”迁移几乎不可能,电导率下降。但是必须注意:  $[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-]$  的浓度积是很小的(约为  $10^{-14}$ );电场对水的作用也能破坏氢键减少结构性;纯水不是绝对的纯,仍含有微量的离子(如钠、氯等)。仪器的精度、温度的变化、电极电压高低等等因素都会影响电导率测量结果的准确性。

像在碳酸钙胶粒表示式中表示的那样,负电胶粒把许多氢离子吸引到自己的周围。可以推想氢离子的活动自由受到了制约,活度系数下降,因此磁化水的 pH 值应略有增加的可能。从实践情况分析看出:凡是温度升高时,溶液 pH 值能增加的,磁化防垢效果就好。磁化水的 pH 值应略有增加的可能,是指磁化后未加热时的情况。若温度升高,溶液 pH 值下降时,就会将磁化的效果削弱甚至抵消,因此防垢效果就差。无论是在水中或化学溶液中都有这种情况存在。

下面分析磁化水防垢的具体过程。磁化水被加热时,由于二氧化碳的溶解度下降,反应(6)的平衡向右

移动,(5)也向右进行.这样形成带负电的碳酸钙胶粒的循环条件发生了变化,其稳定性被破坏;已知晶体从液体中析出的必要条件是存在过饱和溶液,碳酸钙在水中的溶解度是随温度升高而下降.因此,胶体碳酸钙粒子虽然不稳定了,但其固相碳酸钙核具备了不仅不被溶解,反而长大的条件和趋势,成为结晶中心.水中结晶中心的形成,减少了碳酸钙在加热面上形核的几率.在未磁化水中,结晶中心尚需在碳酸钙析出过程中形成.由于温度升高与过饱和的条件首先在受热面附近区域达到;加上新生的碳酸钙在原有固体表面上析出时,自由能低,在水中新生固相核需要的自由能高,因而,未磁化水中碳酸钙最易在加热面附近析出,并被吸附在加热面上,在水中形成的悬浮晶核数受到限制.结果,磁化水中悬浮的结晶中心数多于未磁化水,相应的每个碳酸钙粒子的长大速度也就慢了.未磁化的水加热时,部分碳酸钙附着在受热面上,而水中悬浮粒子少,但是其长大速度则快些.这样,两种水在相同的温度下,加热同样长的时间后,用滤纸过滤悬浮液时,磁化水中能通过滤纸的小粒子多,小粒子又能和EDTA起反应,这就是文献[11]所测得的,“磁化水中残余钙离子浓度高于未磁化水现象”;也就是所谓的“磁化水中暂时硬度分解速度慢”<sup>[12]</sup>.在此还需指出,磁化水中碳酸钙结晶粒子小是相对的,同时又在不断地长大.加热延长至一定时间后(此时间的长短与水的硬度有关,硬度高的水所需的时间短),上述“暂时硬度分解速度”的差别就看不出来了.如果水中不只含有碳酸氢根离子,如上所述,情况就更复杂了.另外,从以上分析可以看出,磁化并没有排除碳酸钙在受热面上析出的可能性,而只是水中悬浮的粒子多,长大速度慢.因此在锅炉应用磁水器时,必须根据给水硬度确定合适的排污周期,认真操作,才能达到好的防垢效果.水越硬,碳酸钙粒子长大越快,排污周期就要越短.对于如何加强排污,邯郸市、漯河市积累了不少有益的经验,可供具体应用参考.

#### 四、水磁化后介电常数的变化

当电容器中有电介质时,电容增加.若无电介质时电容器的电容为 $C_0$ ,有电介质时为 $C$ ,电容器的电量 $Q = CV$ .则电介质的介电常数为:

$$D = C/C_0 = V_0/V.$$

介电常数实际上是电介质分子在电场中整齐排列或被极化所需的能量( $E = QV = CV^2$ )的量度.水分子在电场作用下除被极化作用外,主要的是偶极子转动而整齐排列,这就要破坏氢键而消耗能量.磁化水由于部分氢键已被破坏,水分子在电场中排列时所需的能量减少, $\delta E = 2CV\delta V < 0$ ,所以 $\delta V = V - V_0 < 0$ .而 $\delta D = -V_0/V^2\delta V$ ,则 $\delta D > 0$ .因而,纯水被磁化

后,介电常数应增加.对于溶有电解质的水,除了已分析的情况外,还有离子对水的介电常数影响的问题<sup>[6]</sup>.在溶有电解质的水溶液中,水的结构只能在离子的某一距离外得到保存.测量水溶液的介电常数 $D$ 的实验表明, $D$ 随溶液克分子浓度 $C$ 的增加而直线地下降.可表示为:

$$D = D_0 + 2\bar{\delta}C,$$

式中, $D_0 = 78.3$ ,是25℃时纯水的介电常数; $\bar{\delta}$ 是一个负值的常数.介电常数的下降,主要是由于离子外的第一层水分子对离子有牢固的取向,这些水分子在电场作用下的转动受到阻碍,不能随电场而取向,只产生极化,介电常数只有4或5的低值.

如前所述,天然水被磁化时,有胶体碳酸钙粒子析出,这就使原来围绕着生成碳酸钙胶粒的那一部分钙离子和碳酸根离子的水分子被解放,被解放的水分子的介电常数由4或5恢复到78.3.因此磁化后的天然水介电常数增加了.

苏联有人测量了磁化水电容率(即介电常数)的变化<sup>[13]</sup>,发现磁场为1500奥斯特时,电容率是未磁化时的2—3倍.对于这个结果不妨用上面的公式讨论一下.作试验用的水总硬度为8克当量/升,相当于0.004克分子/升.假设磁化时有四分之一碳酸钙析出,则介电常数的变化为 $(D_2 - D_1)/D_1 = -2\bar{\delta} \times 0.001/(78.3 + 2\bar{\delta} \times 0.004)$ ,若 $\bar{\delta} = -10$ ,则为0.00026左右.即介电常数增加只有万分之2.6.另外,纯水比总硬度为8毫克当量/升的水的介电常数也只约高千分之二.从这里的讨论看出,文献[13]的结果是有问题的.还有实验测得磁化水的介电常数不是增加而是下降<sup>[17]</sup>,这可能是所用仪器的绝缘或水中有钠离子等离子的影响有关.

#### 五、磁化水中析出的CaCO<sub>3</sub>晶体结构

由于碳酸根离子是三角形,碳酸钙的晶体结构属于ABO<sub>3</sub>型化合物中的第一类<sup>[14]</sup>.在这一类化合物中,方解石和文石是两种主要的晶体结构.方解石型碳酸钙中钙离子的配位数是6;文石型碳酸钙的钙离子的配位数是9.鉴于离子的接触半径是随配位数增减而增减.文石结构中阳离子配位数较大,当适合于阳离子比较大的化合物.在磁化水中,一方面,由于破坏氢键,水中单散水分子的比例增加,水合钙离子 $[Ca(H_2O)_n]^{2+}$ 中的水分子数可以相应地增加,这就是钙离子的配位数增加,具备了碳酸钙析出时有可能呈文石结构的条件;另一方面,如上所述,由于钙离子极化力的增加,化合物共价键性增加,共价键的方向性又限制了钙离子配位数的增加,即不利于文石型碳酸钙形成.因此,碳酸钙析出后结晶是文石还是方解石,仅考虑磁化这一个

因素还不够,还要考虑温度,压力和水中的其他离子的影响。在实验检测方面文献[12]报导了用X光分析上海铁合金厂使用磁水器后的水池沉淀物、水中悬浮物、铜管内的粉状附着物都是文石结构。未用磁水器前结的硬垢是方解石。在磁化水实验中发现,无垢的不锈钢热交换器表面有薄薄的一层泥状附着物也是文石碳酸钙。我们用X射线衍射仪分析了北京铁合金厂使用磁水器后的水池沉淀物和铜管内的垢,发现垢中文石约占四分之一,其余是方解石;水池沉淀物中文石比例增加,约占百分之四十。从这些实验看出,文石比方解石更易被水带出加热系统。基于这种情况,一般认为:磁水器的磁化效果好时,水中析出的 $\text{CaCO}_3$ 完全呈文石结构,受热面上就无硬垢了。但是,我们发现未用磁化水的水壶里的硬垢、软垢和悬浮物都是文石。分析一些未用磁化水的工业设备中的硬垢主要的是方解石,但也有少量的文石。因此,对于用什么样的条件使水磁化才能保证生成文石( $\text{CaCO}_3$ )?在加热时,尚需什么条件文石才不结硬垢?都需进一步地研究。我们认为,碳酸钙呈文石结构只是无垢的必要条件,但不是唯一的、充分的条件。

1975年和以前在北京举办的比利时展览会上,都展出了CEPI磁水器,并散发了有关的资料。在其资料中说,未处理的水受热后形成方解石,用CEPI处理后,晶体已分解而形成无定形的(amorphous)物质。这里指出了在磁化水中有无定形碳酸钙的问题。所谓无定形的物质是非结晶状态的物质。判断一种物质是晶体还是无定形,要用X光晶体衍射分析法,或用偏光显微镜。CEPI材料中,只说是用显微镜拍摄的图片,未说明是否用偏光显微镜。因此,对他们说的无定形物质,我们表示怀疑。因为碳酸钙是很容易结晶的物质。对CEPI的图片中所显示的无楞角的沉淀物,我们认为是凸晶<sup>[14]</sup>。凸晶主要是由于晶体形成后,又遭受溶解而产生的结果。

## 六、关于引用洛仑兹力说明磁化水防垢的问题

洛仑兹力是宏观电动力学中的基本原理之一,其矢量形式是

$$F = \frac{e}{c} \mathbf{V} \times \mathbf{H},$$

它表示电子以 $\mathbf{V}$ 速度在磁场 $\mathbf{H}$ 中运动时,有一个垂直于 $\mathbf{V}$ 和 $\mathbf{H}$ 的力作用在电子上。在许多关于磁化水的报告中,引用洛仑兹力说明防垢效率与磁场强度的关系。但是引用者用 $e$ 表示带电粒子(一般是离子)的电量,而又用水流速度表示粒子的运动速度。实际上,水中带电粒子的运动速度要比水流速度大千万倍。这样就很难分清楚,引用洛仑兹力是说明磁场对离子的作

用,还是对整个水流的作用(如同电学中的磁场对电流的作用)。用这种模糊的图象,形成了“磁水器的磁场越强,防垢效果就应更好”的观点。但是在磁水器的实践中,没有发现随着磁场强度增加,磁化水的防垢效果也增加的规律。例如,邯郸市于1973年用6000—8000奥斯特磁水器代替了磁场为1400—2000奥斯特磁水器<sup>[13]</sup>,水流速度都是1米/秒左右。从总结材料和使用单位介绍的情况看,防垢效果并无多大差别,有的单位的强场磁水器甚至没方形的防垢效果好。在1973年前使用方形磁水器时,防垢效果差的两台锅炉用的磁水器的磁场是1950和2050奥斯特,而防垢效果好的锅炉使用的磁水器中,有1400—1600奥斯特。漯河市也发现强磁场的磁水器不一定比低磁场的好。又如几个铁合金厂使用的铁合金式磁水器,磁场为1500—2500奥斯特,循环水冷却的导电铜管和电极把持器内基本无垢。北京铜厂使用了磁场高于10000奥斯特磁水器,水套中的水垢量虽比以前减少了,但不是基本无垢。1968年在上海组织过两种磁水器的工业性对比试验。一台锅炉使用的磁水器磁场为4800—5200奥斯特,水垢增长率为0.331克/米<sup>2</sup>·吨,防垢率为55.87%,水垢较硬。另一台锅炉的磁水器磁场为4500—4800奥斯特,水垢增长率为0.313克/米<sup>2</sup>·吨,防垢率58.27%,水垢酥松。未用磁水器的对比锅炉的水垢增长率是0.750克/米<sup>2</sup>·吨,水垢很硬。三台锅炉运行条件基本相同。以上的结果表明,前一台锅炉用的磁水器磁场虽然高些,但防垢效率和水垢硬度都没有后一台好。因此,我们认为“磁场强度高,磁化水防垢效率高”的观点不符合实际情况。另外关于磁化水的实验表明<sup>[17]</sup>,几种物理参数的变化都不与磁场成直线关系,而是随磁场的增加而周期地变化。这就在实验方面证明了,这样简单地引用洛仑兹力说明磁化水的效果是不正确的。

## 七、结 论

1. 磁化水能防止水垢的原因,是由于在磁场作用下,水和溶于水中的碳酸氢钙中的氢键部分地被破坏和阳离子极化力的增加,水电解质平衡发生了变化,水中有带负电的胶体碳酸钙粒子形成。因此,水的密度、表面张力系数、粘滞系数、pH值、电导率、介电常数等都有变化。其变化的方向和量又与水中的其他盐类的种类、浓度有关。

2. 在磁化水中,碳酸钙析出呈文石结构,只是无垢的必要条件,但不是唯一的、充分的条件。

3. 磁水器的防垢效率不随磁场强度的提高而直线地增加。

4. 分析指出:磁化不是使水的结构性增加,而是减少了水的结构性;介电常数的增加只有万分之几,不

是增加 2—3 倍;用磁化水煮过的玻璃片上的无楞角的沉淀物不是无定形碳酸钙,而是碳酸钙的凸晶。

### 参 考 文 献

- [1] 北京铁合金厂,《磁水器在铁合金电炉上的应用》,《物理》,5-1 (1976), 15.
- [2] 北京矿冶研究院实验厂,《用磁场处理工业用水》,《物理》,5-1 (1976), 11.
- [3] 《锅炉水处理及水分析》,科学出版社 (1974).
- [4] 《磁水器的应用》(资料汇编),冶金工业出版社, (1975).
- [5] 唐有祺,《结晶化学》,高等教育出版社.
- [6] 黄子卿,《电解质溶液理论导论》,科学出版社.
- [7] 徐光宪,《物质结构》,高等教育出版社.

- [8] *Water and Its Impurities*, 1973.
- [9] Промыш. энергетик, -8, (1970).
- [10] 《水素结合》,岩波讲座 VIG, (1956).
- [11] 大藏武等,《工业用水》, -39 (1961), 30.
- [12] 第二研究设计院磁化水试验小组,《磁化水试验与测试》,《物理》,5-1 (1976), 38.
- [13] Ж. Т. Ф. 12 (1965), 2245—2248.
- [14] 季寿元等,《结晶学》,人民教育出版社.
- [15] 涅克拉索夫,《普通化学教程》上册, 132.
- [16] 黄子卿,《物理化学》,高等教育出版社.
- [17] 郭祀远,《华南工学院学报》, (1965).
- [18] 郭贻诚,《铁磁学》,高等教育出版社.
- [19] 温元凯、邵俊,《地球化学》, -4 (1973), 276.  
《科学通报》, -3 (1975), 131.

## 磁水器防垢原理的初步探讨

磁 水 组

(山东省冶金学校工厂)

近年来,国内外广泛使用磁水器来处理小型低压锅炉的给水和各种水冷却设备的冷却用水,取得了较为显著的防止水垢的效果。特别是这一方法的突出特点——设备简单、投资少、不需要化学药剂、不需要专人管理、不需要运行维护费用、不产生任何污染——,使这一水处理方法能独树一帜,具有强大的生命力。

但是,经磁水器处理过的水(即磁化水)为什么能防止水垢,也就是有关磁水器的机理问题,却至今还没有被人们所认识,虽然在这方面国内外很多单位已经做了大量的工作。目前在磁水器的设计、使用方面还存在很多盲目性,很多参数的选择基本上都还是停留在经验阶段。这就给磁水器的应用和推广带来了很大困难,也可以说是磁水器发展道路上的大障碍。

我厂自从 1972 年开始试制磁水器以来,通过对磁水器的实际使用,并学习了国内有关生产、试验、科研单位的先进经验,又查阅了部份资料,对磁水器的防垢机理有一些粗浅的体会。本文仅在使用磁水器的实际经验的基础上对某些方面作一些定性的粗略的描述。希望同志们批评指正。

### 一、两种不同形态的水垢说明了什么?

众所周知,当锅炉用水或冷却用水使用未经任何处理的水时,在水所接触的受热面上会生成紧密粘着的坚硬水垢。然而,当我们使用发挥了应有作用的磁水器来处理这些水,我们得到的将是大家所熟知泥渣

状的沉积物。这些沉积物将不会紧密地粘附在锅炉或热交换器的着水面上,与使用未处理水所形成的水垢具有两种截然不同的形态。

这两种不同形态的水垢说明了什么呢?

我们知道,当水在锅炉内受热后,水中构成暂时硬度和永久硬度的钙镁盐类将会以结晶的形态析出,开始形成的是从晶胞成长的小颗粒的晶体,这些晶体在水中受到水分子的包围。对于未经磁场处理的水,水分子对这些晶体的包围并不是很紧密的,水分子很容易从晶体周围脱离,使它们相互结合起来,形成坚硬的水垢。

而受磁水器处理过的水析出的钙镁盐类的晶体,不但其结晶形态与未经磁场处理过的水有所不同,而且改变了晶体的水合状态,即是“泥渣状的”,这意味着在这些晶体的周围有水分子紧紧地包围着它们,使它们不能互相结合成大块水垢。

我们认为,晶体结晶形态和水合状态的这种改变是探讨磁水器作用机理的重要线索。

### 二、磁场是如何对水分子和水中离子施加作用的呢?

磁化水析出晶体的结晶形态和水分子与晶体关系(水合状态)的变化来源于磁场对水源的作用。

实践证明,要使磁水器产生实际使用效果,不仅要求磁水器内有足够的磁场强度,而且要求水流在磁水器内有足够的流速,还要求水流的方向必须沿着与磁