

磁化水在冷却循环和供暖系统中的应用研究

郭平 (昆明有色冶金设计研究院)

赵丹亚 (云南工业大学)

〔摘要〕 在前苏联科学家们试验研究的基础上,对磁化水用于冷却循环和供暖系统中防垢除垢的机理和应用提出一些理论分析,以期这项有广阔应用前景的技术在我国进一步得到推广应用。

关键词 溶度积 硬度盐 水合作用 磁场力 缔合物

分类号 TK223.51

0 前言

卡诺循环是一个理想循环,它从理论上确定了循环中实现热变功的条件,指出了提高实际热机热效率的方向,即提高初温和降低终温都可以提高热机循环的热效率。由于提高初温受到金属耐热性能的限制,实际上一些中、小型热力设备也不需要很高的初参数。如何提高这些设备的热效率呢?许多人都把注意力转移到研究如何降低终温上来。由于降低终温要受到环境温度的限制,所以只能使凝汽器内的温度与外界温度差尽可能小一些。由于进入凝汽器内的冷却水一般都不进行软化处理,所以当含有硬度盐的水进入凝汽器受热后,一些硬度盐的溶解度降低,使这些硬度盐很快达到过饱和状态从水中析出,形成水垢粘附于管壁上,恶化换热效果,其结果是提高了凝结水的温度,也就是提高了汽轮机的排汽温度,降低了汽机的热效率,使机组在同样出力下要比凝汽器内无水垢时多消耗燃料。

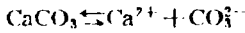
对供暖系统也一样,进入供暖系统的水在不进行软化处理时,进入系统受热后,与上面同理要生成水垢,恶化传热的效果。如果将这些冷却水和供暖用水都进行通常采用的离子交换软化处理,由于用水量太大,使得所投入的人力物力太多而导致运行费用大幅度上升,这是大多数电厂和热网中心都难以承受的。那么是否有一种简便易行且经济实用的防垢除垢方法可供选择呢?本文提到的磁化水在热能工程领域的应用能够较好地解决这一问题。

1 水中杂质在受热面上结垢的机理

1.1 溶度积规则

对于难溶电解质来说,存在着溶度积规则。即在难溶电解质的饱和溶液中,在一定温度下,溶质离子浓度的乘积为一常数。例如,碳酸钙(CaCO_3)在水中的电离平衡方程式为:

收稿日期 1994 05 11 收修稿 1994 08 31



根据质量作用定律有:

$$\frac{[\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{CaCO}_3]} = K$$

式中 K 在温度一定时为常数。由于固体“浓度” $[\text{CaCO}_3]$ 也为常数,所以上式可写为:

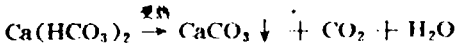
$$[\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] = K_{sp}$$

K_{sp} 为溶度积常数,简称溶度积。 K_{sp} 的大小与物质的溶解度有关,它反映了难溶电解质的溶解能力。

在一定温度下,如果溶液中 $[\text{Ca}^{2+}]$ 和 $[\text{CO}_3^{2-}]$ 的乘积是一个常数,不因固体 CaCO_3 的量而变,即 $[\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] = K_{sp}$,则此溶液即为 CaCO_3 的饱和溶液。如果溶液中 $[\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] > K_{sp}$,即为 CaCO_3 的过饱和溶液,此时若对溶液施加扰动或投放“籽晶”,将有 CaCO_3 析出,直到 $[\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] = K_{sp}$ 析出量才不再增加;反之,如果溶液中 $[\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] < K_{sp}$,则该溶液为未饱和溶液,还有继续溶解固体的能力。

1.2 水中杂质在冷却和供暖系统中结垢的机理

天然水中含有的能在加热后结垢的物质为钙镁的碳酸盐和非碳酸盐,这些物质一般均为难溶电解质,因而它们遵循溶度积规则。在热力设备冷却系统和热力供水管网中形成的水垢,通常为碳酸盐类。这是因为在其运行条件下,常常只发生 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 受热分解而形成难溶 CaCO_3 的原故。 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 的分解反应如下:



事实上,当水温高于 30°C 时就有水垢生成,当水温达到 40°C 以上时,重碳酸盐就会剧烈分解。特别在闭式循环系统中,由于蒸发,风吹,漏泄及冷却塔排污等损失而使水不断浓缩,水中 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 的浓度越来越大,而游离 CO_2 的浓度却会因挥发而减少,这两个

因素都会促使水中重碳酸钙的分解,当分解产物 CaCO_3 在水中达到过饱和状态时,便由水中析出粘附在管壁上形成水垢。

2 磁化水用于冷却和供暖系统防垢除垢的效果

1945年,比利时人 T·韦梅朗就应用磁化水来减少锅垢的形成,并获得了专利,但当时并没有引起科学家们应有的重视。直到六十年代,前苏联科学家们提出了关于磁化处理影响锅垢的沉淀与水系的物理化学性质变化有联系的设想后,才在磁化水的研究和应用方面开辟了广阔的前景。

1964年以来,前苏联科学家们把磁化水应用于热能工程领域并进行了大量的研究,其结果表明,使用磁化水明显地减慢了锅垢的生成,而且老的锅垢还容易清除。甚至在供给海水的热交换器中锅垢的减少也很明显。(见表1)。

此外,在带有敞式配水器的磁化热水供水网中,罗斯托夫中央热电站(供水量为 $250 \sim 300 \text{米}^3/\text{时}$),和阿斯特拉罕中央热电站(供水量为 $150 \text{米}^3/\text{时}$)安装了容量为 $50 \text{米}^3/\text{时}$ 和 $150 \text{米}^3/\text{时}$,磁场强度为 81千安/米 和 121千安/米 的磁处理设备,其热水管网中的去垢率均达到 100% 。(见表2)。

上述资料表明,使用磁化水可以取得良好的防垢除垢效果,不仅可提高设备的热效率,节约能源,而且还可节省每年酸洗除垢所耗费的大量人力物力,其经济效果十分明显,所以,这项技术在我国也有十分广阔的研究和应用前景。

3 磁化水防垢除垢的机理探讨

磁化水防垢除垢的机理目前尚处于假

表1 冷凝器冷却系统应用磁化水的结果⁽¹⁾(1安/米 = 0.0126 奥斯特)

应 用 地 方	冷却系统 和 设备位置	磁 化 得 理 设 备			水 硬 度 (毫 克 当 量 / 升)		去 垢 效 率 %
		型 式	生 产 率 (m ³ /h)	磁 场 强 度 kA/m	总 硬 度	碳 酸 盐 硬 度	
库拉霍夫火力 发电站	单向流动,在汽 机凝汽器前	多极,电磁铁(“ 顿巴斯动力”)型	5000	256	27.2 ~ 11.0	3.4 ~ 2.7	17
别日茨中央热 电站	在补充水线上	BTII电磁铁	50	81	6.0	4.0	100
塔干罗格中央 热电站	在循环水线上	BTII永磁铁		61	29.6	12.4	中等良好
哈尔科夫火力 发电站	在补充水线上 (部分回水)	哈尔科夫工程 经济学院设计	200	121	8.0	6.0	在两次清洗之间的 时间延长了6倍
斯塔罗一别舍 夫火力发电站	在汽机凝汽器 前	哈尔科夫工程 经济学院设计	14400	121	15.6 ~ 13.0	6.8 ~ 4.3	良好

表2 低温加热时各种水的磁化效应⁽²⁾

水 源	磁 场 强 度 (kA/m)	除 垢 效 应 (%)	被 处 理 水 的 质 量				
			碱 性 (mg 当 量 / kg)	硬 度 (mg 当 量 / kg)	含 盐 量 (mg/L)	PH	按 O ₂ 计的 氧 化 性 (mg/L)
伏尔加河水 (阿斯特拉罕)	80	92.0	2.0	3.10	150	7.05	7.0
伏尔加河水 (萨拉托夫)	120	92.2	2.0	3.3	250	7.25	8.7
莫斯科列沃	120	91.5	3.8	4.56	250	7.50	5.6
自流井水(克林)	120	91.0	7.0	7.50	355	7.50	3.2
自流井水(梁赞)	128	95.0	7.0	7.40	270	6.70	0.56
切尔诺夫水库 (顿巴斯)	120	86.0	3.3	21.50	3265	8.6	7.4

说的提出和论证阶段,到目前为止积累的实验和经验数据还不足以建立严格的理论。

前苏联科学家们的实验表明,水系磁化处理后,水对光的吸收是增加的,离子的水合作用也明显地发生变化,电导率降低,介电常

数也降低,且水对锅垢的溶解能力明显增强。我们知道,水中含有各种杂质离子(即使是二次蒸馏水,都不可能完全纯净,只是杂质离子相对少一些),磁化过程中在磁场力的作用下,运动离子产生的感应电场使得离子在

洛仑兹力的作用下产生旋转运动,且正、负离子旋转方向相反,一旦水系脱离磁场,这种旋转运动突然停止,正、负离子相反运动的惯性便产生了一种向心力使它们结合起来,形成一些大离子型结合物。这些结合物不在具有原有离子的性能,因而溶液中也测不出原有离子的浓度,使得溶液对原有物质的溶解能力大大增强。这种推理可以从磁化处理后水的电导率降低和介电常数降低这个实验来获得支持。电导率降低说明水中杂质离子的浓度降低了,而介电常数的降低则说明离子间的引力增大了,从而使得许多正负离子结合成了缔合物。

由于磁化处理后水对光的吸收增加了,从气体溶解度与温度的关系可知,水受热则气体的溶解度降低,而水变冷则气体的溶解度增加,有人也做了磁化处理后水对红外线吸收情况的实验,结果也表明磁化处理后水对红外线吸收高于未处理的水,从这一现象我们是否可以认为,磁化处理促进了空气在水中的溶解?这一假设也得到了实验结果的支持。测定空气接触和不接触的水磁化处理后其磁化率的变化,结果发现磁化处理促进了氧气在水中的溶解。因而我们又可以提出这样的设想,即磁化处理后溶进水中的气体在液体内部产生一个气压差从而引起了液体中离子浓度的起伏,这是一种频率依赖于气压差的振动,这种振动作用可以导致离子水合外层的破坏,使得离子结合成一些缔合物。

若从磁场边界理论来分析,也可得出与上述一致的结论。根据磁场的性质,在其边界区域内流体的流动过程与在均匀磁场中是截然不同的。在边界区域中磁场的强烈不均匀性能促使波的产生,在波的传播方向上又

促进了离子的位移,也就是会产生一种纵向的磁声波振荡,同时,水是一种导体,它在磁场中流动时能产生一个感应电场,因而又有了一个与磁声波同频率的电波振荡,这些效应也可导致离子水合外层的破坏,使离子结合成较大的缔合物,这样一来,水中杂质离子的浓度当然大大降低了,使得水对这些物质的溶解能力增强了。

虽然上述理论推导与实验结果是一致的,而且较好地解释了磁化水比普通水具有更大溶解无机物能力这一自然现象,但毕竟这些设想暂时还带有假说的性质,因为对于真实的水系来说,其中离子及其缔合物和络合物所具有的复杂性,对它们进行确切的验证很困难。然而实验和实践都证明,磁化处理对含碳酸盐的水除垢防垢效果尤为明显,这对冷却循环和热水供暖这样一些低温加热系统来说,具有巨大的实用性,因为在这些系统中,通常只发生碳酸盐分解析出的过程。在这些系统中采用磁化处理设备,可取得较好的防垢除垢效果,同时可省去采用离子交换或加药软化所需的高额运行费用,以及每年酸洗除垢所需的大量人力、物力和时间,其良好的经济效益是显而易见的。所以,在这些低温加热水系统中采用磁化处理技术,在我国也具有广阔的推广和应用前景。

参 考 文 献

- 1 克拉辛 B II. 毛铤凡等译. 磁化水. 计量出版社, 1982
- 2 克拉辛 B II. 王鲁译. 水系统的磁处理. 宇航出版社, 1988
- 3 王致明. 无机化学原理. 清华大学出版社, 1983
- 4 无机化学编写组. 无机化学. 人民教育出版社, 1978
- 5 赵凯华, 陈熙谋. 电磁学. 人民教育出版社, 1978
- 6 程守洙, 江之永. 普通物理学. 人民教育出版社, 1979

作者简介: 郭平, 男, 39岁, 1982年毕业于云南工业大学热能动力工程专业。现从事热能动力工程的设计和科研工作。现在昆明有色冶金设计研究院热工室任工程师。(昆明市 650051) (渠源 编辑)

An abrupt converging and abrupt diverging piping should not be viewed as a simple superimposition of an abrupt converging connection to an abrupt diverging one. It has been found through tests that under the condition of a given distance of the abrupt convergent and abrupt divergent connection the pressure drop in a piping is related to the dual-phase flow dryness and gas flow rate for which the authors have derived the corresponding calculation formulas. Key words: abrupt convergence, abrupt divergence, gas/liquid dual-phase flow, pressure drop

磁化水在冷却循环和供暖系统中的应用研究—An Applied Study of Magnetized Water in a Cooling Circulation and Heat Supply System [刊,中]/ Guo Ping (Kunming Non-ferrous Metallurgy Design Institute), Zhao Danya (Yunnan Industrial University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(6). -371~374

On the basis of the experimental research conducted by scientists of the former Soviet Union a series of theoretical analyses have been carried out regarding the mechanism of fouling prevention and elimination of magnetized water when used in a cooling circulation and heat supply system with the aim that such a technology may eventually find widespread uses in China. Key words: solubility product, salt hardness, hydration, magnetic field force, complex compound

循环流化床煤燃烧过程中 N_2O/NO_x 的排放研究—An Investigation on the Emissions of N_2O/NO_x During the Process of Circulating Fluidized Bed Coal Combustion [刊,中]/ Lu Jianxin, Liu Hao, Feng Bo, Lin Zhijie, Liu Dechang (Central China University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(6). -375~380

On a circulating fluidized bed hot state test rig an investigation has been conducted of the generation during coal combustion of nitrogen oxides (including N_2O and NO_x) with the variation of their concentration along the bed height being measured. It has been found through tests that there emerged a continuous increase in N_2O and a drastic decrease in NO_x with the increase in furnace height. The N_2O attained a maximum value at the furnace outlet with a dramatic increase in emissions. The authors have analysed the underlying causes of such phenomena and also studied the effect of operating parameters on the N_2O and NO_x emissions. Key words: circulating fluidized bed, coal burning, nitrogen oxides

发电厂省煤器管镍基合金喷熔层组织与性能的研究—Study on Structures and Properties of the Nickel Based Alloy Spray Welding Layers on the Pipes of Economizers of Coal-Fired Power Stations [刊,中]/ Liu Shaoguang, Wang Ping, Shu Delin (Anhui Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(6). -381~384

In this paper, the authors investigated on purpose the structures and properties of the nickel based alloy spray welding layers, considering the serious actual situation of high temperature erosion of the pipes of economizers of coal-fired power stations. It has been shown that there are the complex structures, higher hardness and connecting strength, excellent oxidation resistance and high temperature erosion resistance on the layers. It is fairly suitable to deal with the high temperature erosion problem of the pipes of the economizers. Key words: economizers, high temperature erosion, nickel based alloy spray welding layers, structures and properties

工业汽轮机转子高温疲劳及寿命评估—High-temperature Fatigue and Service Life Evaluation of Industrial Steam Turbine Rotors [刊,中]/ Guo Yimu, Lu Zutong, (Zhejiang University), Ni Jinhui, Sun Yinghai (Hangzhou Industrial Steam Turbine Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(6). -385~392

On the basis of industrial turbine rotor material low-cycle fatigue tests and the analysis under actual operating conditions of the rotor transient temperature and stress field a prediction of the rotor effective life has been conducted with the ensuing development of a special software. The analysis of specific examples shows that the software is capable of effectively