工业再生水对循环冷却水系统腐蚀的分析研究*

薛 烨[1], 郝文瑞[2]

(1. 包头钢铁(集团)有限责任公司节能环保中心, 内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司动供总厂, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 通过单因素腐蚀试验和钢铁企业再生水的缓蚀试验, 研究了再生水回用过程中对循环冷却水系统的影响。结果表明, 在循环冷却水系统运行过程中, 水中 Cl^-、SO_4^{2-} 对系统腐蚀比较严重; 选用缓蚀药剂并合理掌握其用量, 可有效改善循环冷却水系统实际运行状况, 提高系统设备使用寿命, 降低运行成本, 对钢铁企业工业废水的再生回用有指导性意义。

关键词: 再生水; 循环冷却水; 腐蚀; 缓蚀剂
中图分类号: TG179 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2020)03-0076-03
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.03.020

Analytical Research on Corrosion of Industrial Reclaimed Water to Circulating Cooling Water System

Xue Ye[1], *Hao Wen-rui*[2]

(1. *Energy Conservation and Environmental Protection Center of Baotou Iron & Steel (Group) Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Power Supply General Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The influences of reclaimed water on circulating cooling water system in the recycling process are studied through single factor corrosion test and corrosion inhibition test of reclaimed water in iron and steel enterprises. The results showed that the corrosion of Cl^- and SO_4^{2-} in water to the system was serious during the operation of circulating cooling water system. The actual operation status of circulating cooling water system can be effectively improved, service life of system equipment can be improved and operation costs can be reduced by selecting corrosion inhibitor and reasonably master its dosage, which is of guiding significance for regeneration and reuse of industrial wastewater in iron and steel enterprises.

Key words: reclaimed water; circulating cooling water; corrosion; corrosion inhibitor

将工业废水再生后回用于循环冷却水系统中, 既能解决水资源危机, 还能带来巨大的环境效益、经济效益和社会效益。一般情况下, 工业再生水中 Cl^-、SO_4^{2-} 是决定循环冷却水系统能否正常运行的主要因素。Cl^-、SO_4^{2-} 对循环冷却水系统会造成不同程度的腐蚀, 其腐蚀类型包括点蚀、局部腐蚀等。一直以来钢铁企业再生水产生量较大, 将再生水回用于循环冷却水系统, 不但解决了废水排放问题, 也满足了钢铁企业循环冷却水用量较大的需求。合理选择水处理缓蚀剂, 对再生水回用于循环冷却水系

* 收稿日期: 2020-03-10
作者简介: 薛 烨(1986-), 男, 内蒙古包头市人, 硕士, 工程师, 现从事环境影响评价工作。

统有着指导意义。本文以某大型钢铁企业为例，介绍了以钢铁企业再生水作为循环冷却水系统补充水的可行性研究与应用。

1　试验方法和试验条件

采用旋转挂片[1]来测定水质的平均腐蚀速率，其主要试验条件为：水温(45 ± 1) ℃，试片旋转速度为 75 r/min，试验时间 72 h，试液体积与试片表面积之比为 36 mL/cm^2，浓缩倍数为 1.5。

采用 20$^{\#}$碳钢挂片，在严格控制的试验条件下及规定时间内，将放有试验用水和挂片的 2 000 mL 的烧杯放入模拟现场冷却水运行条件的旋转挂片试验仪(RCC - Ⅲ型旋转挂片腐蚀试验仪)中，在(50 ± 1) ℃下恒温 72 h，其间当达到浓缩倍数 1.5 倍时，每 4 h 加一次去离子水，使浓缩倍数恒定。根据试验前后挂片质量的变化 Δw 即可计算该钢片在该试验条件下的平均腐蚀速率 v。

在单因素试验中，所采用的试验用水是蒸馏水，在再生水腐蚀试验中，采用的试验用水是某钢铁企业的再生水，水质及补充水标准[2]见表 1。

表 1　再生水、黄河来水水质及回用于循环冷却水系统补充水的标准　　mg/L

项目	pH	COD	Cl^-	SO_4^{2-}	氨氮	SS	总硬度
钢铁企业再生水	7.62	55	320	365	3.40	35	347
标准	6.5 ~ 8.5	≤60	≤250	≤250	≤10		450

通过以上水质情况可以看出，某钢铁企业再生水中 Cl^-、SO_4^{2-} 的浓度超过了再生水回用于循环冷却水系统补充水的标准限值，因此，需对水中 Cl^- 以及 SO_4^{2-} 进行单因素腐蚀试验分析。

2　单因素试验

在本次单因素试验中，根据钢铁企业再生水水质特点，以及前期大量腐蚀因子动态实验，选择了 Cl^-、SO_4^{2-} 来研究碳钢腐蚀速率的主要影响因素。

2.1　Cl^- 的腐蚀试验

取 Cl^- 浓度分别为 10 mg/L、20 mg/L、30 mg/L、40 mg/L、50mg/L，试验经过 72 h 的周期，Cl^- 不同浓度的腐蚀影响见图 1。

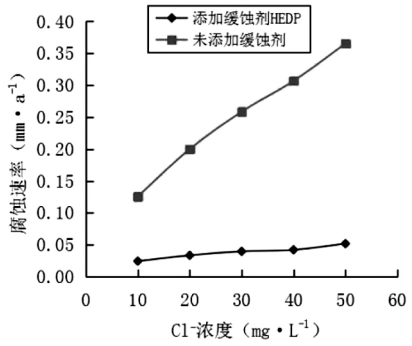


图 1　Cl^- 对试片腐蚀的影响

由图 1 可知，未添加缓蚀剂的情况下，随着 Cl^- 浓度不断升高，其对冷却水系统的腐蚀速率上升趋势较明显。由于 Cl^- 是一种极容易促进金属腐蚀的离子，且离子半径小，穿透力较强，易于穿透金属表面形成的保护膜，使得金属腐蚀以点蚀开始[3]，最终腐蚀逐渐加剧，当 Cl^- 浓度很小时，对金属保护膜的破坏较轻，腐蚀速率较低，此时主要表现对金属碳钢的全面腐蚀，点蚀情况较少，随着 Cl^- 浓度不断增大，穿过保护膜的离子增多，大量 Cl^- 在蚀孔聚集，使得局部部位呈酸性，这时表现为严重的点蚀，因此必须严格控制循环水系统中 Cl^- 的浓度。

2.2　SO_4^{2-} 的腐蚀影响

取 SO_4^{2-} 浓度分别为 10 mg/L、20 mg/L、30 mg/L、40 mg/L、50 mg/L，试验经过 72 h 的周期，SO_4^{2-} 浓度的腐蚀影响见图 2。

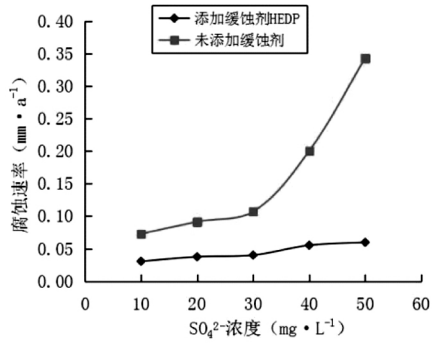


图 2　SO_4^{2-} 对试片腐蚀的影响

由图 2 可知，在未添加缓蚀剂的情况下，当 SO_4^{2-} 浓度超过 30 mg/L 时，腐蚀速率上升趋势迅

速。由于 SO_4^{2-} 的半径比较大，致使其穿透性能较差，因此在一般情况下对金属不会造成太大的腐蚀，但是当冷却水中存在硫酸盐还原菌时，因为硫酸盐还原菌是在无氧或缺氧状态下用硫酸盐中的氧进行氧化反应而得到能量的菌群，它能把水溶性的硫酸根还原为硫化氢，使得细菌繁殖点周围的 pH 值骤然下降，金属表面表现为严重的局部腐蚀[4]。由试验数据可得，随着浓度越高，腐蚀速率逐渐增强，因此应尽可能将 SO_4^{2-} 浓度控制在较小浓度范围内，以免造成设备腐蚀加剧。

3 钢铁企业再生水的缓蚀试验

以某钢铁企业的再生水作为试验用水，通过查阅相关资料以及调查钢铁企业实际生产情况，将 HEDP 和 HAG 作为循环冷却水系统的缓蚀药剂在实际运行中较为常见。因此继续利用挂片试验，使用上述两种药剂，投加量分别为 20 mg/L、40 mg/L、60 mg/L、80 mg/L、100 mg/L 的条件下测定挂片的缓蚀情况。试验结果见图 3。

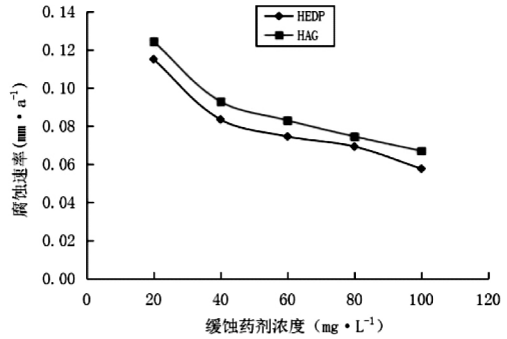


图 3 再生水的缓蚀影响

由图 3 可见，在加药量区间范围内，水处理药剂的投加量越大，试片腐蚀速率越低，水处理剂抑制试片腐蚀的效果就越明显。根据《工业循环冷却水处理设计规范》(GB 50050—2007)[5] 规定腐蚀速率应小于 0.075 mm/a 的要求，两种药剂在 60～80 mg/L 时，腐蚀速率小于 0.075 mm/a，都能符合工业循环冷却水处理设计规范要求，对试片的腐蚀性较弱。结合图 3 的试验结果，从选用药剂种类来看，HEDP 的缓蚀效果较佳[6]。

根据再生水水质分析和单因素试验结果，我们认为采用再生水为补水的循环冷却水中，Cl^- 和 SO_4^{2-} 对碳钢的相对腐蚀程度较大，合理使用缓蚀药剂能有效降低循环水冷却水系统的腐蚀速率，也可提高循环冷却水系统的运行周期和设备使用寿命[7]。结合钢铁企业生产现状以及以上试验结果，工业再生水回用于循环冷却水系统中，添加的缓蚀药剂中 HAG、HEDP 较为常见，且 HEDP 的缓蚀性能较好。

因此，提高再生水深度处理技术，可改善再生水水质，特别是降低再生水中的含盐量包括 Cl^-、SO_4^{2-} 及总硬度等指标，对提高循环冷却水系统中金属设备使用寿命及运行周期有着指导性意义。

4 结论

(1) 单因素挂片腐蚀试验结果表明，Cl^- 和 SO_4^{2-} 对敞开式循环冷却水系统腐蚀影响相对比较严重。因此，应该有效降低循环冷却水系统中 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的浓度。

(2) 钢铁企业再生水挂片腐蚀试验结果表明，降低 Cl^- 和 SO_4^{2-} 浓度，合理选择缓蚀药剂，可有效提高循环冷却水系统设备的运行周期及使用寿命；从 HEDP 和 HAG 两种缓蚀药剂来看，HEDP 的缓蚀效果较佳。

参 考 文 献

[1] GB/T 18175—2000，水处理剂缓释性能的测定—旋转挂片法[S].

[2] GB/T 19923—2005，城市污水再生利用工业用水水质标准[S].

[3] 张成玲. 循环冷却水处理概述[J]. 河南化工，1994，(8)：6－7.

[4] 张颙. 污水回用于循环冷却水系统腐蚀影响因素的研究[J]. 工业水处理，2001，(3)：1－3.

[5] GB 50050—2007，工业循环冷却水处理设计规范[S].

[6] 韩漪. 再生水回用于循环冷却水的水处理剂配伍性研究[J]. 环境科学与技术，2014，(3)：53－57.

[7] 王佳. 再生水回用于循环冷却水系统阻垢缓蚀剂试验研究[J]. 给水排水，2012，(11)：160－161.