炼钢厂循环水系统优化运行措施研究*[1]

高 峰,田 颖,王 雨

(内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章分析了某炼钢厂循环水系统水质状况、存在问题,通过试验研究了循环水对碳钢腐蚀、结垢影响,分析了循环水系统提高浓缩倍数的可行性。通过试验研究提出循环水系统优化运行参数,结合炼钢厂现场实际情况提出了可行的节水减排措施。

关键词: 循环水; 碳钢腐蚀; 结垢; 浓缩倍数

中图分类号: X757 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2018)02-0029-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.02.009

Study on Optimization Operation Measures of Circulating Water System in Steel-melting Plant

GAO Feng, TIAN Ying, WANG Yu

(*Technical Center of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp., Baotou* 014010, *Inner Mongolia, China*)

Abstract: The paper analyzes the water quality and existing problems of circulating water system in a Steel-melting Plant. Through experiments, the influence of circulating water on corrosion and scaling of carbon steel is studied, and the feasibility of increasing the concentration multiple of circulating water system is analyzed. The optimized operation parameters of the circulating water system are put forward through experimental study, and the feasible measures for water-saving and emission reduction are put forward based on the actual situation on site in Steel-melting Plant.

Key words: circulating water; corrosion of carbon steel; scaling; concentration multiple

我国现有钢铁行业生产经营的基本规范条件要求:钢铁企业吨钢污水排放量不超过2.0 m^3,吨钢新水消耗不超过5 t;国内一些钢铁企业吨钢新水耗量及外排水量距要求仍有差距,需加大节水减排力度,以适应国家产业政策的要求。本文以某钢铁企业炼钢厂循环水系统为例,循环水系统实施有效节水优化措施,提高新水使用效率,对排污水进行有效处理后回收利用,这样既减少废水的排放量,同时也减少了工业新水量,对减轻环境污染、节约水资源和企业的可持续发展均具有重要的意义。

1 炼钢厂循环水现状研究

1.1 循环水水质稳定分析

(1)水质分析判定方法。利用稳定指数、结垢指数[1]对炼钢厂间冷开式循环冷却水系统的水质作定性判定。

稳定指数 $=2pH_S-pH$

结垢指数 $=2pH_S-pH_{eq}$

饱和pH值(pH_S)的简化计算方法 $pH_S=(9.70+A+B)-(C-D)$

* 收稿日期:2018-01-25

作者简介:高 峰(1973-),男,内蒙古商都县人,工程师,现从事环境保护研究、环境监测技术管理等工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

式中: A—— 总溶解固体系数;

B—— 温度系数;

C—— 钙硬度系数;

D—— 碱度系数。

平衡 pH 值(pH_{eq}) 的简化计算方法:

$$pH_{eq} = 1.465\ lg(M) + 4.54$$

其中 M 为系统中水的总碱度。稳定指数、结垢指数的判别依据见表 1。

表 1 稳定指数、结垢指数的判别依据

稳定指数		结垢指数	
指数值	结垢情况	指数值	结垢情况
<6	结 垢	<5.0	严重结垢
		5.0~60.	轻度结垢
=6	稳 定	6.0~7.0	微量结垢或腐蚀
>6	腐 蚀	7.0~7.5	腐蚀显著
		7.5~9.0	严重腐蚀
		>9	不允许的腐蚀

(2) 炼钢厂循环冷却水系统水质分析判定。根据炼钢厂各循环冷却水系统的实际情况及现场取样监测数据,分析计算各循环水系统目前实际运行控制的浓缩倍数及水质稳定指数、结垢指数见表 2。

由表 2 可知各循环水系统的水质稳定指数为 3.51~6.72,结垢指数为 3.87~5.53,循环水系统基本为结垢型水质,循环水水质稳定药剂应选择阻垢性能好的药剂。

1.2 水稳药剂性能对比试验

选用的缓蚀阻垢剂为目前某钢铁厂使用的 7 种水稳药剂,进行水稳药剂对比试验。试验采用旋转挂片法,具体试验方法参照《水处理剂缓蚀性能测定旋转挂片法》(GB/T 18175—2000) [1]。采用 RCC-Ⅱ型旋转挂片腐蚀试验仪。

1.2.1 试验条件

试验用水: 黄河澄清水及浓缩水(浓缩倍数 2.5~3.0) 。

试验挂片: 采用冷却水化学处理标准腐蚀试片。

表 2 炼钢循环冷却水稳定指数、结垢指数的判别

间冷开式循环水系统	浓缩倍数	稳定指数		结垢指数	
		稳定指数值	判别	结垢指数值	判别
1#—5#转炉氧枪	1.4	6.72	稳定	6.42	微量结垢或腐蚀
1#—5#转炉风机	2.5	6.60	稳定	5.53	轻度结垢
小方坯净环水	2.5	4.02	结垢	4.59	严重结垢
小扁坯净环水	1.7	4.34	结垢	4.86	严重结垢
大方坯净环水	2.2	4.17	结垢	4.57	严重结垢
5#铸机冷却	1.6	4.75	结垢	5.15	轻度结垢
100 tVD 炉净环水	2.0	4.27	结垢	5.15	轻度结垢
工业循环冷却水处理设计规范 [2]		≥3.30			

注: 以炼钢厂 1—6 月数据统计计算。

试验参数: 恒定水温 40 ℃、连续试验时间 72~216 h,具体见《水处理剂缓蚀性能的测定旋转挂片法》。

试验药剂及加药量: 试验药剂 7 种: 3DT129+3DT190(4/6) ,QYS-588,QYS-590,FP-002,FP-801A,GD~831,Q33-589,KN~002,403+锌盐。

加药量: 每种药剂加药量分别为 10 mg/L、20 mg/L、30 mg/L、40 mg/L、50 mg/L、60 mg/L。

1.2.2 试验结果及分析

根据各水稳药剂不同加药量的缓蚀试验结果,药剂加药量与缓蚀率的关系如图 1 所示。

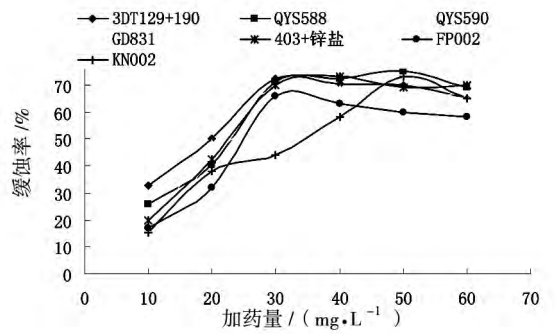


图 1 药剂加药量与碳钢缓蚀率的关系图

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

图 1 中，各水稳药剂的最佳加药量基本为 30 ~ 50 mg/L，碳钢缓蚀率为 50% ~ 70%。加药量为 30 mg/L情况下。试验的水稳药剂对碳钢试片的缓蚀率有所差异，三种药剂(3DT129 + 3DT190、QYS - 588、403 + 锌盐) 缓蚀效果好; QYS - 588 效果最好。综合考虑处理效果及成本，建议适宜加药量为 30 mg/L。

1.3　循环水系统目前存在的主要问题

(1) 循环冷却水运行浓缩倍数控制不稳，变化较大、水质稳定控制不好。炼钢净环水系统的浓缩倍数为 1.4 ~ 2.5。炼钢厂循环水系统浓缩倍数平均值基本都低于 3.0，不满足 GB 50050—2007，《工业循环冷却水处理设计规范》的要求[2]; 各循环冷却水系统运行的浓缩倍数变化较大，这说明水质控制不稳; 水质不稳定，也是造成系统腐蚀、结垢的主要原因之一。调查中发现，炼钢大部分循环水系统采取定时补水，定时排放方式，运行管理方式不科学，应采用连续补水、连续排污方式，保持浓缩倍数控制稳定。部分循环水系统碳钢试片腐蚀率超过标准，应通过调整加药量或选择缓蚀效果较好的水质稳定药剂，减少系统腐蚀。

(2) 部分老循环水系统设计不合理。循环水系统补水管和排污管在同一个吸水井中，这样进行系统的排污易造成补充新水的严重浪费，炼钢厂转炉和铸机水系统补水全部采用手动补水，炼钢厂转炉和铸机循环水系统补水全部采用手动补水，运行工人数减少，工作量大，运行人员职守点距补水阀距离远，补水阀一直处于半开半闭状况，造成澄清水补水的大量浪费。6#、7#转炉设备水、氧枪水浓缩倍数一直在 1.1 ~ 1.3 倍之间，达不到设计要求的 2.5 倍。

2　循环水系统优化运行试验研究

2.1　提高循环水运行浓缩倍数的可行性分析

根据炼钢厂现有循环水补水水质及《工业循环冷却水处理设计规范》间冷开式系统循环冷却水水质指标限值[2]，计算循环水系统浓缩倍数限值见表 3。

由表 3，以钙硬度 + 甲基橙碱度计算的浓缩倍数限值较低，钙硬度 + 甲基橙碱度是影响水质结垢的主要指标[3]，因此理论上炼钢循环水系统浓缩倍数可以控制为 3.5。根据现有循环水及补水水质数据，计算浓缩倍数 3.5 时炼钢各循环水系统的稳定指数为 3.36 ~ 3.52，结垢指数为 3.81 ~ 4.05。均满足《工业循环冷却水处理设计规范》要求不小于 3.30 的要求[2]。

表 3　炼钢间冷开式循环水系统浓缩倍数限值计算

项目	工业循环冷却水处理设计规范指标	补水水质	浓缩倍数计算限值
浊度/NTU	≤10.0	3.0	3.3
COD_{Cr}/(mg · L^{-1})	≤100.00	3.08	33.00
铁/(mg · L^{-1})	≤1.00	0.28	3.50
CL^-/(mg · L^{-1})	≤1 000.0	110.0	9.1
钙硬度 + 甲基橙碱度(以 $CaCO_3$ 计) /(mg · L^{-1})	≤1 100.0	300.0	3.7
NH_3 - N/(mg · L^{-1})	≤10.0	1.4	7.1

2.2　循环水提高浓缩倍数试验

炼钢厂净环水系统冷却塔均为玻璃钢机械通风冷却塔，补水均为黄河澄清水，循环水水质控制指标相同，同比工业运行指标相似，故选择现场试验条件较好的小方坯循环水系统进行工业试验。通过小方坯循环水现场工业试验结果分析炼钢厂循环水系统提高浓缩倍数的可行性。

2.2.1　试验内容

在炼钢厂小方坯循环水系统进行了 50 天的现场工业试验。调整净环水浓缩倍数运行值为 3.3 ~ 3.6。除与浓缩倍数相关的循环水系统补排水量外，其余生产运行工艺参数不变，试验期间检测循环水水质变化及循环冷却水系统的腐蚀率，黏附速率等指标。

2.2.2　试验结果分析

现场试验系统运行比较正常，浓缩倍数提高后，循环水系统补水量及排水量均比以往减少，试验效果较好。循环水换热器、冷却塔进出口温度、温差与原生产运行时基本一样，说明提高浓缩倍数对循环水系统换热效率影响不大。

试验后试片表面结有薄垢、有锈点，酸洗后表面光滑、无点蚀。酸洗后试片外观如图 2 所示。试片监测数据见表 4。

由表 4 可知，各种材质的试验试片平均腐蚀率、黏附速度均满足《工业循环冷却水处理设计规范》标准。现场工业试验循环水水质、腐蚀率，黏附速率等指标均满足《工业循环冷却水处理设计规范》标准，且生产运行正常，表明炼钢小方坯循环水系统可以在较高浓缩倍数(净环水 3.5 左右) 运行。炼钢

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

厂循环水系统水质控制指标相同，运行条件也相似，如其它循环水系统通过增加一些必要的设施（旁滤设施、自动加药及水质监测设施），且保持运行稳定，控制好循环水水质，可以适当考虑提高其它循环水系统浓水倍数。

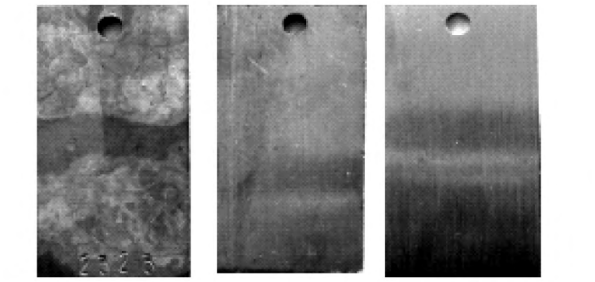


图2 酸洗后试验试片外观

表4 试片监测结果

试片材质	平均腐蚀率/(mm·a^{-1})	腐蚀率评价结果	粘附速度/(mg·cm^{-2}·月$^{-1}$)	粘附速度评价结果
A3 碳钢	0.066	合格	8.38	合格
HSn-1B 铜合金	0.003	合格	2.68	合格
不锈钢(316)	0.001	合格	1.22	合格

3 循环冷却水系统优化运行措施

3.1 优化用排水量

炼钢厂各循环冷却水系统运行浓缩倍数平均值在2.0～2.2之间，低于《工业循环冷却水处理设计规范》规定“间冷开式系统的设计浓缩倍数不宜小于5，且不应小于3”要求。

通过试验研究确定炼钢厂循环水系统浓缩倍数可以提高到3.5运行。但就炼钢厂目前的实际情况，炼钢厂循环水系统浓缩倍数要达到3.0以上长时间稳定运行，必须增加必要的水处理设施和监测管理手段，需做到：

（1）循环冷却水系统增加旁滤设施，降低循环水浊度，改善水质。

（2）增加水稳药剂自动加药装置，根据补水水质及系统结垢腐蚀程度及时调整水稳药剂配方，减少结垢和腐蚀的发生，提高水质稳定性。

（3）增加循环水系统监测设施和循环水水质分析检测设备等，增加必要的循环冷却水系统等管理人员，强化管理手段，提高管理水平，控制好循环水系统的排污量，稳定浓缩倍数[4-5]。

研究认为炼钢厂循环冷却水系统具备上述条件后，净环水浓缩倍数在3.0以上稳定运行是可行的。

3.2 提高用水的使用效率

针对现状调查时发现的不合理用水环节进行相应的技术改造。改造的思路是提高用水效率，尽可能的采用串级用水方式。

3.2.1 直流水系统改为循环水系统

3#、4#精炼炉风机系统冷却水为直冷水，水流量为50 m^3/h，进行技术改造将直流水改为循环水，运行浓缩倍数控制值为3，节水约49.22 m^3/h。

3.2.2 回收利用排污水

（1）排污水作为浊环系统沙石过滤器的反洗水。炼钢浊环系统沙石过滤器的反洗水量约为168 m^3/h。反洗工艺对水质要求不高，循环水系统的排污水可以作为反洗水使用，目前仅小扁坯系统反洗水利用循环水排污水，利用量42 m^3/h。可进行相应的技术改造将其它系统循环水排污水作为砂石过滤器的反洗水，可节约新水用量126 m^3/h。

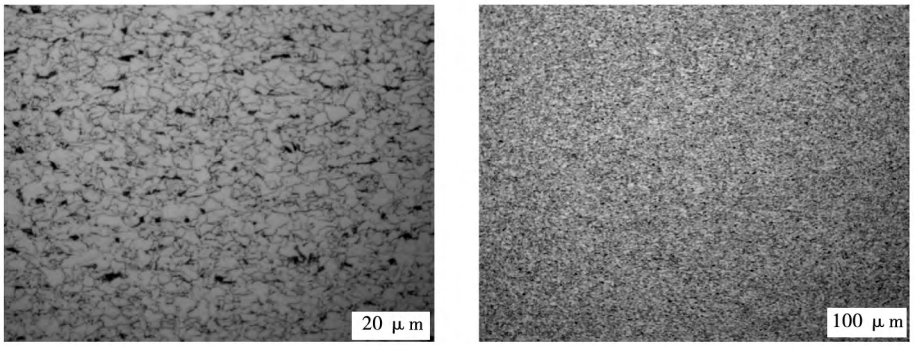
（2）回收软水。将除氧室水泵机械密封冷却水和取样冷却器冷却水回收，回水回到疏水箱，再由疏水箱水泵将软水和除盐水供到除氧器，加热除氧后供汽化烟罩使用。机械密封冷却水回收改造，节约软水8 m^3/h。除氧室取样冷却水回收，可节水5 m^3/h。

（3）循环水系统补排水点分离。炼钢厂各连铸系统循环水排污点设在吸水井，而补水点也设在吸水井，在排污的同时，一部分新补进来的澄清水随排污流走，造成无谓浪费。补水利用率仅为60%，是造成浓缩倍数偏低的主要原因。经研究决定将补水点与排污点分离，这样可提高新水的使用效率，提高浓缩倍数。可将排污点设在砂石过滤器反洗入的管道上，在砂石过滤器正常运行时，排污水通过反洗入水管经过旁通阀进入反洗吸水井。这样即将排污点与补水点分离也能利用循环水排污水作为反洗补水。补水点与排污点分离，可提高循环水系统浓缩倍数，可节约循环水补水量约为20%～30%。

（4）排水方式由人工控制变为液位自动控制。将补排水方式由人工控制全部变为液位自动控制自动补水排水，减少人为的浪费。改造费用不高，通过改造，节约软水用量25 m^3/h，直接或间接节约黄河澄清水量约302 m^3/h，产生的经济效益十分明显。

（下转第57页）

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



（a）500 倍　　（b）100 倍

图 5　X52MS 金相组织照片

(3) 热轧板带轧后易出现带状组织，其主要来源于连铸坯中产生的枝晶偏析，控制连铸坯的枝晶偏析、制定合理的加热、轧制和冷却制度是减轻或消除带状组织的有效方法。

参 考 文 献

[1] 徐锋. 高级别耐酸管线钢的开发现状及发展趋势 [J]. 钢铁研究，2014，42(4)：58－61.
[2] API SPEC 5L，管线钢管规范 [S].
[3] NACE Standard TM0284，管线及压力容器钢抗氢致裂纹试验方法 [S].
[4] NACE Standard TM0177，H2S 环境中抗特殊形式的环境开裂材料试验方法 [S].
[5] 王春明. 管线钢的合金设计 [J]. 鞍钢技术，2004，(6)：22－28.
[6] 周琦. 管线钢中的硫化夹杂物与氢致开裂 [J]. 材料工程，2002，(9)：37－46.
[7] 姚春发. 管线钢氢致裂纹影响因素研究进展 [J]. 上海金属，2014，36(5)：54－58.
[8] 李海波. 钙处理工艺对钢中夹杂物的影响 [A]. 第十七届全国炼钢学术会议论文集 [C]. 北京：中国金属学会出版社，2013.
[9] 陈永. 高级别管线钢钙处理冶金效果研究 [A]. 2011 年特钢年会论文集 [C]. 北京：冶金工业出版社，2011.
[10] 周琦. 管线钢中带状组织与氢致开裂 [J]. 甘肃工业大学学报，2006，28(2)：30－34.
[11] 顾宝兰. 管线用钢显微组织对氢致裂纹影响的研究 [J]. 理化检验－物理分册，2006，42(1)：8－11.

(上接第 32 页)

4　结论

(1) 利用稳定指数、结垢指数对以黄河澄清水为补水炼钢厂间冷开式循环冷却水系统的水质作定性判定，循环水系统基本为结垢型水质。

(2) 通过对炼钢厂采用的各类水质稳定剂的缓蚀性能进行测定，各水稳药剂的最佳加药量基本为 30 ~ 50 mg/L，碳钢缓蚀率为 50% ~ 70%。QYS－588 效果最好，综合考虑处理效果及成本，建议适宜加药量为 30 mg/L。

参 考 文 献

[1] GB/T 18175—2000，水处理剂缓蚀性能测定旋转挂片法 [S].
[2] GB 50050—2007，工业循环冷却水处理设计规范 [S].
[3] 张振声. 电厂高浓缩倍率循环水稳定处理的试验研究 [J]. 华北电力学院学报，1995，22(3)：77－79.
[4] 房金祥. 提高电厂循环水浓缩倍率的措施 [J]. 江苏电机工程，2006，25(2)：73－75.
[5] 程敏. 热电厂净循环水处理中的问题及对策 [J]. 梅山科技，2006，2：47－49.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net