

工业循环冷却水添加阻垢缓蚀剂的试验研究

潘丽娜
(华电莱州发电有限公司,山东 莱州 261441)

摘 要:电厂广泛采用热交换器(或水冷器)等设备间接冷却水、汽、油、气等各种介质,针对电厂工业循环冷却水系统结垢及腐蚀严重现象,通过小型阻垢缓蚀剂添加试验确定最佳水处理方案,达到阻垢、缓蚀目的,保证冷却水有良好的冷却效果,实现生产装置正常、高效、长周期运行和节水、节能的目标。
关键词:工业循环冷却水;阻垢缓蚀剂;腐蚀速率
中图分类号:TM 621.8 **文献标志码:**B **文章编号:**1674-1951(2017)02-0031-04

0 引言

冷却水是电力企业生产中不可缺少的工艺条件,某公司广泛采用热交换器(或水冷器)等设备间接冷却水、汽、油、气等各种介质,带走生产过程中产生的多余热量,使工艺介质得到冷却,满足生产工艺的要求;使发热的和高温环境下的部件、设备得到冷却,满足这些部件和设备对温度的要求。在重复利用冷却水时,由于水中溶解盐类质量浓度提高、工艺介质对水质污染等原因,造成循环冷却水水质恶化,使冷却水系统加速发生腐蚀、结垢、黏泥、菌藻滋生等水质故障。从某公司近几年的机组大修化学监督检查情况来看,使用工业循环水作冷却介质的热交换器结垢、腐蚀均较严重,已经影响了生产装置的正常运行。为了防止发生这些故障,保证冷却水有良好的冷却效果,实现生产装置正常、高效、长周期运行和节水、节能的目标,必须对冷却水进行处理。

在冷却水处理技术中,最常用、最经济、最有效的方法是添加化学药剂,即投加水处理剂到冷却水中,使之产生缓蚀、阻垢和杀生作用。目前工业应用的水质稳定剂多为缓蚀阻垢剂,品种繁多,某公司通过大量的试验对循环冷却水添加不同阻垢缓蚀剂、

不同配方比,对腐蚀、结垢两项指标进行综合测评,统一分析,最终确定水处理方案,指导药剂添加。

1 小型试验

1.1 试验 1

试验目的:检验添加一定量的羟基乙叉二膦酸(HEDP)阻垢剂的工业循环冷却水对冷却系统材质铜和钢的腐蚀性。

1.1.1 试验条件

试验水样:取自该公司三期冷却水塔的工业循环冷却水,向其中添加一定量的 HEDP,未加任何缓蚀剂;**试验温度:**(45±1)℃;**试片制备:**将新的黄铜(H62)、碳钢(20 钢)腐蚀指示片用无水乙醇脱脂并清洗干净,用电吹风吹干后在干燥器内干燥 2 h 后称其质量,并测量其表面积(下同)。

1.1.2 试验方法

将添加不同量 HEDP 的试验水样加入 500 mL 烧杯中,将腐蚀指示片悬挂其中,并将烧杯置于(45±1)℃的恒温水浴锅中,静态浸泡 140.5 h。

取出试片,记录试片的表面腐蚀状况,然后擦拭、清洗、干燥后称其质量,计算均匀腐蚀速率,见表 1。

表 1 添加不同量 HEDP 的工业循环冷却水对铜和钢的腐蚀性

$\rho_{\text{HEDP}}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	黄铜(H62)		碳钢(20 钢)	
	腐蚀速率/ $(\text{mm}\cdot\text{a}^{-1})$	点蚀	腐蚀速率/ $(\text{mm}\cdot\text{a}^{-1})$	点蚀
0	0.003 0	有	0.110	无
3	0.004 8	有	0.151	轻微
5	0.002 7	有	0.142	轻微
8	0.002 7	有	0.119	轻微
10	0.006 0	有	0.110	轻微

1.1.3 试验结果

(1) 该公司工业循环冷却水是腐蚀性水质,本

身即具有一定程度的腐蚀性。

(2)铜试片在 $\rho_{\text{HEDP}} < 8 \text{ mg/L}$ 的工业循环冷却水中均匀腐蚀速率较低,但有一定程度的局部腐蚀即点蚀现象,点蚀程度随 ρ_{HEDP} 的增加而逐渐加重。

(3)碳钢试片局部腐蚀较轻微,但均匀腐蚀速率较高。

GB 50050—2007《工业循环冷却水处理设计规范》对冷却水系统金属耐蚀性做出如下规定:碳钢管壁的腐蚀速率应小于 0.075 mm/a ,铜及铜合金管壁的腐蚀速率应小于 $0.005 \text{ mm/a}^{[1]}$ 。从试验结果看,碳钢试片在 $\rho_{\text{HEDP}} = 0 \sim 10 \text{ mg/L}$ 的工业循环冷却水中的腐蚀速率均不能满足上述要求;铜试片在 $\rho_{\text{HEDP}} < 8 \text{ mg/L}$ 的工业循环冷却水中的腐蚀速率能满足上述要求,但有局部腐蚀即点蚀现象:因此,必须添加同时具备阻垢和缓蚀效果的水处理剂才能减缓设备腐蚀,延长设备检修周期和使用寿命。

1.2 试验 2

试验目的:工业循环冷却水添加 HEDP 存在一定程度的腐蚀,拟加入一定量的缓蚀剂减缓其腐蚀。向 ρ_{HEDP} 不同和缓蚀剂种类不同的溶液中加入铜、钢指示片,观察其对铜、钢的腐蚀性,检验 LK - 1,巯基苯骈噻唑(MBT)及乌洛托品 3 种缓蚀剂的缓蚀效果。

1.2.1 试验条件

试验水样:取自三期冷却水塔的工业循环冷却水,其中加有一定量的 HEDP、缓蚀剂或不加缓蚀剂;试验温度:室温,约 $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

1.2.2 试验方法

将添加不同量 HEDP 的试验水样加入 500 mL 烧杯中,将腐蚀指示片悬挂其中,在室温(约 $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

下静态浸泡 136 h 。试片取出之后的试验操作步骤同上,结果见表 2。

1.2.3 试验结果

(1)添加缓蚀剂后铜试片均匀腐蚀速率均较低,LK - 1,MBT 作缓蚀剂时腐蚀速率比未加缓蚀剂的三期冷却水低一个数量级,乌洛托品作缓蚀剂时均匀腐蚀速率反而增大,且有点蚀现象,其余均无点蚀。

(2)在添加相同量缓蚀剂的情况下,随着 ρ_{HEDP} 的增加,碳钢试片缓蚀效果变好,MBT 缓蚀剂的缓蚀效果最好,但点蚀较多,乌洛托品效果最差。

从试验结果看,常温条件下,铜试片在添加 3 种缓蚀剂及不添加缓蚀剂的循环水中均能满足腐蚀速率 $<0.005 \text{ mm/a}$ 的要求,但乌洛托品缓蚀效果较差;碳钢试片只在含 MBT 缓蚀剂的循环水中能满足腐蚀速率 $<0.075 \text{ mm/a}$ 的要求,但有局部腐蚀即点蚀现象,乌洛托品缓蚀剂缓蚀效果最差。因此,单纯使用某一种缓蚀剂,并不能满足使用循环冷却水的各种设备材质的防腐要求。

1.3 试验 3

工业循环冷却水分别添加烟台富水科技公司生产的 JB - 101,JB - 102,JB - 106 阻垢缓蚀剂,观察其对铜、钢的腐蚀性,检验 3 种水处理剂的缓蚀效果。

1.3.1 试验条件

试验水样:取自二期冷却水塔的工业循环冷却水(不含 HEDP),其中加有一定量的 JB - 101,JB - 102,JB - 106 阻垢缓蚀剂;试验温度:(45 ± 1) $^{\circ}\text{C}$,水浴。

表 2 添加不同量 HEDP 和阻垢缓蚀剂水样对铜和钢的腐蚀性

缓蚀剂	$\rho_{\text{HEDP}}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	黄铜(H62)		碳钢(20 钢)	
		腐蚀速率/ $(\text{mm} \cdot \text{a}^{-1})$	点蚀	腐蚀速率/ $(\text{mm} \cdot \text{a}^{-1})$	点蚀
$w(\text{LK} - 1) = 0.03\%$	3.00	0.000 54	无	0.092	有
	5.00	0.000 27	无	0.082	有
	8.00	0.000 54	无	0.075	有
	10.00	0.000 81	无	0.072	有
$\rho_{\text{MBT}} = 1.5 \text{ mg/L}$	3.00	0.000 54	无	0.073	较多
	5.00	0.000 54	无	0.068	较多
	8.00	0.000 27	无	0.065	有
	10.00	0.000 81	无	0.060	有
$w(\text{乌洛托品}) = 0.03\%$	3.00	0.002 98	有	0.152	有
	5.00	0.002 71	有	0.155	有
	8.00	0.004 06	有	0.132	少
	10.00	0.003 79	有	0.125	无
未加缓蚀剂	2.42	0.001 08	少量	0.070	有

1.3.2 试验方法

将添加不同量 JB - 101 ,JB - 102 ,JB - 106 阻垢缓蚀剂的试验水样加入 500 mL 烧杯中,将腐蚀指示片悬挂其中,并将烧杯置于(45 ± 1) °C 的恒温水浴锅中,静态浸泡 148 h。试片取出之后的试验操作步骤同上,结果见表 3。

1.3.3 试验结果

(1)添加缓蚀剂后铜试片均匀腐蚀速率均较低,JB - 102 ,JB - 106 的腐蚀速率低于 JB - 101。添加这 3 种水处理剂的点蚀现象均轻微,JB - 106 的点蚀现象最轻,JB - 102 次之。

(2)添加 JB - 102 ,JB - 106 阻垢缓蚀剂的碳钢试片均匀腐蚀较轻,但 JB - 102 较 JB - 106 局部腐蚀重, ρ_{JB-102} , ρ_{JB-106} 较低的循环水中,碳钢试片上均有结垢。

从试验结果看,45 °C 温度下,铜试片在添加 JB - 101 ,JB - 102 ,JB - 106 3 种阻垢缓蚀剂的工业循环冷却水中均能满足腐蚀速率 < 0. 005 mm/a 的要求,但 JB - 101 缓蚀效果较差;碳钢试片在添加

JB - 102 ,JB - 106 阻垢缓蚀剂的循环水中能满足腐蚀速率 < 0. 075 mm/a 的要求,但有局部腐蚀及结垢现象。

从 3 种阻垢缓蚀剂的缓蚀效果来看,JB - 106 缓蚀效果为佳。

1.4 试验 4

工业循环冷却水添加 HEDP 与 JB - 106 阻垢缓蚀剂,观察其对铜、钢的腐蚀性,检验这 2 种混合水处理剂的缓蚀效果。

1.4.1 试验条件

试验水样:取自二期冷却水塔的工业循环冷却水(未添加任何水处理剂),向其中加入一定量的 HEDP 与 JB - 106 阻垢缓蚀剂;试验温度:(45 ± 1) °C ,水浴。

1.4.2 试验方法

将添加不同量 HEDP ,JB - 106 的试验水样加入 500 mL 烧杯中,将腐蚀指示片悬挂其中,并将烧杯置于(45 ± 1) °C 的恒温水浴锅中,静态浸泡 160 h。试片取出之后的试验操作步骤同上,结果见表 4。

表 3 工业循环冷却水添加不同量、不同种类阻垢缓蚀剂对铜和钢的腐蚀性

缓蚀剂	质量浓度/(mg · L ⁻¹)	黄铜(H62)		碳钢(20 钢)		
		腐蚀速率/(mm · a ⁻¹)	点蚀	腐蚀速率/(mm · a ⁻¹)	点蚀	结垢
JB - 101	50	0. 001 2	轻微	0. 114 1	大面积	无
	80	0. 001 2	轻微	0. 063 7	有	无
	100	0. 000 7	轻微	0. 051 2	大面积	无
JB - 102	50	0. 000 5	轻微	0. 008 7	有	少量
	80	0. 000 2	轻微	0. 041 7	有	无
	100	0. 000 2	轻微	0. 014 1	有	无
JB - 106	10	0. 000 5	轻微	0. 021 7	有	有
	15	0. 000 2	轻微	0. 042 5	有	有
	20	0. 000 5	轻微	0. 023 6	有	无
	30	0. 000 5	轻微	0. 042 0	有	无

表 4 工业循环冷却水添加 HEDP ,JB - 106 阻垢缓蚀剂对铜和钢的腐蚀性

缓蚀剂质量浓度/(mg · L ⁻¹)		黄铜(H62)		碳钢(20 钢)		
ρ_{JB-106}	ρ_{HEDP}	腐蚀速率/(mm · a ⁻¹)	点蚀	腐蚀速率/(mm · a ⁻¹)	点蚀	结垢
5	0	0	轻微	0. 143 9	有	有
5	3	0	轻微	0. 141 4	有	有
5	5	0. 000 46	有	0. 135 9	有	有
5	8	0. 001 15	有	0. 074 0	有	无
8	0	0	轻微	0. 138 4	有	有
8	3	0. 000 23	轻微	0. 130 4	有	少
8	5	0. 001 38	有	0. 119 1	有	少
8	8	0. 001 61	有	0. 056 2	少	无
10	0	0	轻微	0. 154 2	有	有
10	3	0. 000 23	轻微	0. 094 0	少	无

续表

缓蚀剂质量浓度/(mg·L ⁻¹)		黄铜(H62)		碳钢(20 钢)		
$\rho_{\text{JB-106}}$	ρ_{HEDP}	腐蚀速率/(mm·a ⁻¹)	点蚀	腐蚀速率/(mm·a ⁻¹)	点蚀	结垢
10	5	0	轻微	0.073 5	少	无
10	8	0.000 69	有	0.081 7	少	无

1.4.3 试验结果

(1)添加阻垢缓蚀剂 JB-106 与 HEDP 后,铜试片均匀腐蚀速率均较低,在 $\rho_{\text{JB-106}}=10\text{ mg/L}$ 的循环水中的腐蚀速率整体低于 $\rho_{\text{JB-106}}=5,8\text{ mg/L}$ 的循环水。

(2)在 $\rho_{\text{JB-106}}$ 相同的条件下,碳钢试片均匀腐蚀速率随 ρ_{HEDP} 的增加而减小。总体看, $\rho_{\text{JB-106}}=10\text{ mg/L}$ 的循环水中,碳钢试片均匀腐蚀速率相对略低。

(3)在 $\rho_{\text{JB-106}}$ 相同的条件下,碳钢试片上的结垢随 ρ_{HEDP} 的增加而减少。但 $\rho_{\text{JB-106}}=10\text{ mg/L}$ 的循环水中,碳钢试片上结垢最少。

从试验结果看,45℃下,铜试片均能满足腐蚀速率<0.005 mm/a 要求。在 $\rho_{\text{JB-106}}=5\text{ mg/L}$ 与 $\rho_{\text{HEDP}}=8\text{ mg/L}$, $\rho_{\text{JB-106}}=8\text{ mg/L}$ 与 $\rho_{\text{HEDP}}=8\text{ mg/L}$, $\rho_{\text{JB-106}}=10\text{ mg/L}$ 与 $\rho_{\text{HEDP}}=5\text{ mg/L}$ 的循环水中,碳钢试片能满足腐蚀速率<0.075 mm/a 要求,在 $\rho_{\text{JB-106}}=5\text{ mg/L}$ 与 $\rho_{\text{HEDP}}=8\text{ mg/L}$ 的循环水中有局部

腐蚀现象。

1.5 试验结果

从铜、钢试片的均匀腐蚀、局部腐蚀、结垢 3 方面看,在 $\rho_{\text{JB-106}}=10\text{ mg/L}$ 与 $\rho_{\text{HEDP}}=5\text{ mg/L}$ 的循环水中综合效果最好。

2 实施效果

为了检验工业循环冷却水处理的实际缓蚀、阻垢效果,在循环水出口处悬挂经过处理的铜(H62)、碳钢(20 钢)腐蚀指示片。

经过 9 个月运行试验,分期将悬挂在循环水出口处的腐蚀指示片取出,记录试片的表面腐蚀状况,然后擦拭、清洗、干燥后称其质量,计算均匀腐蚀速率,结果见表 5。铜试片腐蚀速率均为 0,满足腐蚀速率<0.005 mm/a 的要求;碳钢试片腐蚀速率也均能满足腐蚀速率<0.075 mm/a 要求,水冷器进出口温差也由原来的 3℃增至 7℃,说明结垢减少。

表 5 $\rho_{\text{JB-106}}=10\text{ mg/L}$, $\rho_{\text{HEDP}}=5\text{ mg/L}$ 的循环水中铜和钢的腐蚀性

取出时间	黄铜(H62)		碳钢(20 钢)		
	腐蚀速率/(mm·a ⁻¹)	点蚀	腐蚀速率/(mm·a ⁻¹)	点蚀	结垢
3 个月后	0	轻微	0.034 2	少	无
6 个月后	0	轻微	0.054 6	少	无
9 个月后	0	轻微	0.073 5	少	无

3 安全与经济效益分析

(1)确保生产装置高效、长周期运行,减少火力发电装置的能耗。采用水处理技术,可以有效抑制水冷器腐蚀和结垢以及循环水中的菌藻繁殖、黏泥滋生,使水冷器水侧可以高效运行 3 年以上。

(2)延长设备使用寿命。冷却水中溶解氧体积浓度的提高和水质恶化,使冷却水的腐蚀性增强,碳钢的腐蚀速率可以高达 2.3 mm/a,导致碳钢水冷器设计使用 8 年的寿命缩短为 4 个月^[2]。大修时发现所有的水冷器都存在堵塞和部分穿孔现象,污垢堵塞的占 80%,冷却水进出口温差由设计的 7.7℃降到不足 1.0℃;添加阻垢缓蚀剂后,水冷器进出口温差由原来的 3℃增至 7℃。

(3)节约水资源。将已有循环冷却水的运行浓缩倍数提高,可以进一步减少水耗。

(4)减少污水排放。冷却水在冷却过程中,受

冷却介质、热量和周围环境的影响,水质变差成为工业污水,采用工业水处理技术,可以大幅度减少工业污水排放。

4 巩固阶段

(1)加强水质监督。循环水中不同离子对水处理效果的影响不同,因此,应加强水质管理,使水中的各种离子都处于较理想的运行状态;每星期定期化验 pH 值、钙硬、碱度、氯离子、电导率、总磷等,及时控制加药量。

(2)控制相应的水温和流速。水温越高、流速越低,结垢趋势和水垢形成越严重,腐蚀趋势增加。因而,在实际运行中,要求循环水温度不大于 50℃,走管程的流速不小于 0.5 m/s。

5 结束语

防止循环冷却水系统的腐蚀、(下转第 37 页)

变压器制造高度降低,这在运输高度受限时往往是选择三相五柱式铁芯变压器的原因。

3 短路阻抗的选择

变压器阻抗为变压器带负载运行后,负载电流在变压器一、二次绕组内部及其周围区域产生的漏磁通与一、二次绕组铰链形成的漏电抗,对限制发电厂母线短路电流及电网侧短路电流有作用,但会带来变压器电压调整率增大、变压器损耗增加等问题。

3.1 短路阻抗对限制短路电流的影响

现代电网要求电网发生三相短路时其短路电流不超过 50 kA,新投电源点选择主要电气设备时应考虑电网中、长期规划对上述短路电流的限制(机组增多,短路电流增加)。发电厂主变压器短路阻抗增大除了可以限制本电厂高压母线短路电流外,对系统其他点短路电流也有限制,限制程度还与电厂和系统电气距离、系统容量等因素有关。发电厂高压母线及系统短路电流限制数值,可由发电机、主变压器及系统等效电抗精确计算得到^[4]。如某 600 MW 机组选用短路阻抗为 20% 的变压器较选用短路阻抗为 14% 的变压器,可使电厂高压母线短路电流减少 0.5 kA 左右。

3.2 短路阻抗对机组稳定性的影响

短路阻抗增加相当于增大了机组与系统间电气距离,由于发电机静态稳定性和发电机与系统间的阻抗成反比,短路阻抗增加,会导致机组静态稳定性降低。

3.3 短路阻抗对变压器电压调整率的影响

变压器带负载后,内部漏抗产生电压降,二次电压 U_2 与空载电压 U_{2N} 不相等,电压调整率可以反映二次电压变化程度,其值与变压器短路阻抗的电阻分量、电抗分量及负载电流性质有关,电压调整率 Δu 可表示为^[5]

$$\Delta u = \frac{U_{2N} - U_2}{U_{2N}} \times 100\% = [U_{KR} \cos \varphi + U_{KX} \sin \varphi + \frac{1}{200}(U_{KX} \cos \varphi - U_{KR} \sin \varphi)^2] \times 100\% , \quad (3)$$

式中: Δu 为电压调整率; U_{KR} 为短路阻抗电阻分量;

(上接第 34 页)结垢,提高机组的安全经济性能是一个非常大的课题,今后我们将继续努力,加强研究,防止热力设备因腐蚀而损坏,为确保机组的安全、经济、稳定运行做出应有的贡献。

参考文献:

[1] 工业循环冷却水处理设计规范:GB 50050—2007[S].

U_{KX} 为短路阻抗电抗分量; $\cos \varphi$ 为负载功率因数; U_{2N} 为二次空载电压; U_2 为额定功率因数及额定负载电流下的二次负载电压,从运行角度考虑,希望其越小越好,这就要求短路阻抗不宜过大。

3.4 短路阻抗与变压器损耗的关系

调整变压器短路阻抗,通常通过调整变压器铁芯直径和绕组参数等来实现。提高变压器短路阻抗,必然有较多的绕组漏磁通与高、低压绕组铰链,漏磁通的增加所带来的突出问题是绕组和结构件内的杂散损耗增加。某容量为 750 MV·A 的变压器,短路阻抗为 14% 及 20% 时,变压器损耗值差为 60 kW 左右,每年损耗电量 30 MW·h(年利用小时数按 5000 计算)。

4 结束语

发电厂大容量升压变压器容量选择应与发电机额定容量配套并考虑厂用计算负荷,同时还要留有裕度。在三相一体与 3 个单相变压器组选择上,提出了在运输条件许可时,综合考虑损耗、可靠性及投资概算等,应优先选用三相一体式变压器。变压器短路阻抗选择在满足电网短路水平前提下,应考虑其对变压器损耗及运行电压调整率的影响。

参考文献:

[1] 大中型火力发电厂设计规范:GB 506620—2011[S].
[2] 火力发电厂厂用电设计技术规程:DL/T 5153—2014[S].
[3] 火力发电厂设计技术规程:DL 5000—2000[S].
[4] 傅知兰. 电力系统电气设备选择与实用计算[M]. 北京:中国电力出版社,2004.
[5] 谢毓城. 电力变压器手册[M]. 北京:机械工业出版社,2003.

(本文责编:刘芳)

作者简介:

巨争号(1963—),男,陕西扶风人,高级工程师(教授级),从事电气及自动化专业运行与管理工 作(E-mail:sd005616@163.com)。

[2] 李本高. 现代工业水处理技术与应用[M]. 北京:中国石化出版社,2004.

(本文责编:刘芳)

作者简介:

潘丽娜(1975—),女,山东威海人,工程师,从事大型火力发电厂化学监督工 作(E-mail:panrena@163.com)。