

# 聚环氧琥珀酸阻垢剂在纺织空调喷淋水中的应用研究

呼庆锋<sup>1</sup>, 颜苏芊<sup>2,\*</sup>, 冯 瑞<sup>2</sup>

(1.陕西省现代建筑设计研究院, 陕西 西安 710048;

2.西安工程大学, 陕西 西安 710048)

**摘要:**采用理论分析和试验研究相结合的方法,研究了阻垢剂投加在纺织厂后喷淋水硬度、电导率、pH值及临界pH指数(pH<sub>c</sub>)的变化情况。3<sup>#</sup>空调室为投加PESA阻垢剂的试验水池,5<sup>#</sup>空调室为未投加阻垢剂的对比水池。加入阻垢剂有明显的增溶螯合作用,使3<sup>#</sup>空调室喷淋水硬度高于5<sup>#</sup>,同时3<sup>#</sup>空调室喷淋水pH值和电导率先上升后下降,而5<sup>#</sup>空调室喷淋水pH值与电导率则是一直处于上升状态;5<sup>#</sup>空调室的喷淋水从第9d开始,pH值一直大于pH<sub>c</sub>,结垢的趋势越来越严重,3<sup>#</sup>空调室喷淋水随着阻垢剂与成垢离子的不断反应,在运行21d之后,pH值持续降低且小于pH<sub>c</sub>,水质处于不结垢稳定状态,阻垢剂具有良好的阻垢效果。

**关键词:**聚环氧琥珀酸;阻垢剂;纺织空调;喷淋水

**中图分类号:**TS108.5

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-0356(2022)01-0021-04

纺织空调系统采用喷淋水来实现对空气的热湿处理,喷淋系统为敞开式循环水系统,水通过喷嘴喷出,实现与空气接触的热湿交换。实际运行时,因水蒸发损失部分水分,一般采用自来水进行补给。水中的成垢离子和矿物质浓度随着水分蒸发而不断增大,会导致喷淋系统设备和管道结垢,降低设备使用周期,严重影响喷淋水与空气热湿交换效果。

选择使用聚环氧琥珀酸阻垢剂(后简称“PESA阻垢剂”)在咸阳某纺织厂进行实地测试并研究它的实际应用效果。试验设置两种对照运行方案,3<sup>#</sup>空调室投加PESA阻垢剂,5<sup>#</sup>空调室不添加阻垢剂。两个空调室运行33d,监测两种运行方式下喷淋水硬度、pH值、电导率及临界pH指数(pH<sub>c</sub>)等指标的变化情况。

## 1 阻垢剂的选用

PESA阻垢剂是一种无磷、无氮、容易生物降解且不会受高温影响的绿色环保新型高效阻垢剂,是以马来酸酐为原材料在催化剂功效下聚合而成,兼有阻垢缓蚀双重功效,属于一种环保型水处理剂。PESA主要应用于循环水处理,适用于高碱度、高硬度、高温条件,对碳酸钙、硫酸钙等成垢盐均能表现出较好的阻垢作用<sup>[1]</sup>,对结垢离子螯合能力强,在水处理使用中,它的阻垢性能优于市场上常见的阻垢剂<sup>[2]</sup>。

收稿日期:2021-10-13

基金项目:陕西省重点研发计划一般项目(2020GY-199)

作者简介:呼庆锋,男,学士,工程师,主要从事暖通设计、节能咨询与绿色建筑咨询等工作。

\*通信作者:颜苏芊,女,博士,副教授,主要从事纺织空调水处理及水质优化研究工作,E-mail:746266396@qq.com。

## 2 某纺织厂水质测试及分析

临界pH结垢指数(pH<sub>c</sub>)是衡量水质是否结垢的重要指标,在判断水质是否结垢时,用pH<sub>c</sub>与实际运行pH比较,当pH大于pH<sub>c</sub>时,水质易发生结垢;当pH小于pH<sub>c</sub>时,水为不结垢的稳定状态<sup>[3]</sup>,pH<sub>c</sub>的计算公式如式(1)、(2)所示。

$$\text{pHc} = \text{pH}_s + (1.7 \sim 2.0) \quad (1)$$

$$\text{pH}_s = 9.5954 + \lg\left(\frac{0.4\text{TDS}^{0.10108}}{\text{CA} \times \text{TA}}\right) + 1.84\exp(0.547 - 0.00637 \times t + 3.58 \times 10^{-6} t^2) \quad (2)$$

式中:pH<sub>s</sub>—碳酸钙在水中呈饱和状态时的pH值;TDS—总溶解固体量,mg/L;CA—Ca<sup>2+</sup>的含量,mg/L;TA—碳酸盐碱度,以CaCO<sub>3</sub>计,mg/L;t—水的温度,°F;

对咸阳某纺织厂补水、运行15d喷淋水的水温、pH值、TDS、Ca<sup>2+</sup>含量、碱度等进行测试分析。水温为25℃(77°F),通过计算CaCO<sub>3</sub>在水中呈饱和状态时的pH值(后简称pH<sub>s</sub>)和pH<sub>c</sub>来反映喷淋水质状态,具体水质测试指标见表1。

表1 补水、喷淋水指标

类别	pH值	TDS /(mg·L <sup>-1</sup> )	CA /(mg·L <sup>-1</sup> )	TA /(mg·L <sup>-1</sup> )
补水	6.91	500	80	350
喷淋水	8.45	2 250	220	1 326

喷淋水在运行过程中,随着水分不断蒸发,喷淋水在高浓缩倍率下运行,使得水中pH值、Ca<sup>2+</sup>浓度、TDS等指标都明显升高。通过公式(1)、(2)计算该纺

织厂补水参数:  $\text{pH}_s=6.87$ ,  $\text{pH}=6.91$ ,  $\text{pHc}=8.67$ , 补水  $\text{pH}$  小于  $\text{pHc}$ , 水质不结垢处于稳定状态; 运行 15 d 喷淋水参数:  $\text{pH}_s=6.06$ ,  $\text{pH}=8.45$ ,  $\text{pHc}=7.91$ ,  $\text{pH}$  大于  $\text{pHc}$ , 喷淋水处于结垢状态。为了防止喷淋水在运行过程中结垢而影响空调系统正常运行, 通过投加 PESA 阻垢剂对喷淋水进行阻垢处理, 并与未投加阻垢剂的循环水进行对比分析。

### 3 方法与步骤

选择咸阳某纺织厂运行工况相似、水池体积相等的 3<sup>#</sup>、5<sup>#</sup> 两个空调室, 两个水池的尺寸均为长 4.55 m、宽 8.5 m、水深 0.4 m, 体积为 15.47 m<sup>3</sup>。两个水池都是通过 2 台功率 15 kW、流量 120 m<sup>3</sup>/h、扬程 24 m 的水泵提供喷水动力, 其中设置 3<sup>#</sup> 空调室为投加阻垢剂的试验水池, 5<sup>#</sup> 空调室为未加阻垢剂的对比水池。为了保证两个水池试验条件相同, 试验前清理水池并重新换水, 做好试验前的准备。

(1) 试验时间总共 33 d, 测试间隔时间为 4 d。参照 GB/T 15452-2009《工业循环水中钙、镁离子的测定 EDTA 滴定法》<sup>[4]</sup> 对水中钙硬度和总硬度测试, 水样滴定前后颜色变化如图 1 所示。通过测试 PESA 阻垢剂的最佳投加量为 15 mg/L。水池水量为 15.47 m<sup>3</sup>, 药品投加量约为 232 g, 使其均匀地分散在水池中, 两个水池定期补水, 保证两个水池在相同的工况下运行。

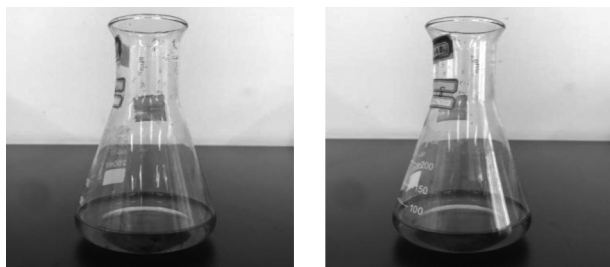


图 1 试验水样前后颜色变化

(2) 每隔 4 d 分别取 3<sup>#</sup>、5<sup>#</sup> 两个空调室水样进行测试, 测试指标有硬度、 $\text{pH}$  值、电导率。硬度采用滴定法,  $\text{pH}$  值和电导率使用工业级探头测试, 其实物如图 2 所示。

## 4 水质变化的试验测试

### 4.1 钙硬度随运行时间变化

喷淋水中钙硬度随时间变化趋势如图 3 所示。

由图 3 可知, 在开始运行时, 两个水池的钙硬度均

为 200 mg/L, 随着运行时间的增加, 投加阻垢剂的 3<sup>#</sup> 空调室相比未加阻垢剂的 5<sup>#</sup> 空调室中喷淋水钙硬度高且上升速度快, 主要由于加入 PESA 阻垢剂对碳酸钙垢有明显的增溶螯合作用, 提高了钙离子在水中溶解度。在前 13 d 内, 阻垢剂与碳酸钙垢不断接触并发生反应, 使得钙离子释放速度变快, 大量钙离子游离出来; 在第 13 d 之后, 钙离子释放速度变缓, 主要由于补水不断增加导致阻垢剂被稀释, 造成阻垢剂与钙垢反应不充分, 阻垢效果逐渐减弱; 在第 25~33 d 之间, 阻垢剂基本达到最佳阻垢效果, 此时钙离子含量在 850 mg/L 左右之间波动, 其浓度不再明显上升, 钙硬度值趋于稳定, 整个过程起到阻止水垢形成。

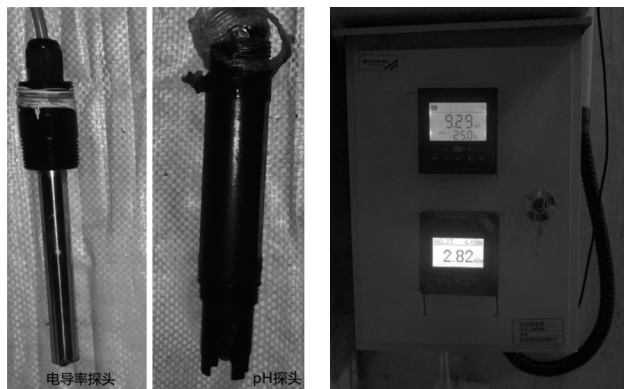


图 2 水质检测器实物

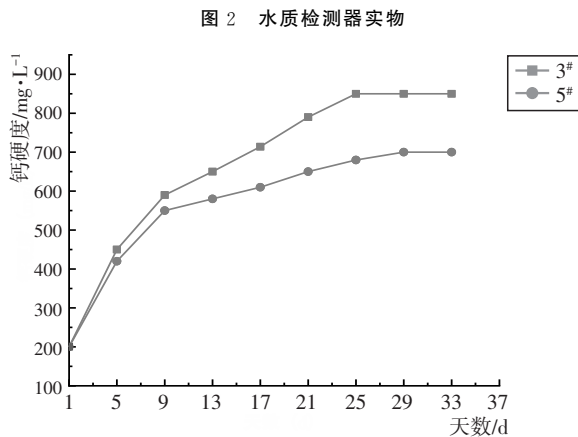


图 3 钙硬度随运行时间变化

### 4.2 总硬度随运行时间变化

通过图 4 喷淋水中总硬度随时间变化趋势可知: 2 个空调室在开始运行时总硬度均为 366 mg/L, 随着运行时间的增加, 3<sup>#</sup> 和 5<sup>#</sup> 空调室喷淋水总硬度变化趋势为先上升后趋于稳定。投加 PESA 阻垢剂后的 3<sup>#</sup> 空调室喷淋水总硬度高于未投加阻垢剂的 5<sup>#</sup> 空调室喷淋水的总硬度, 主要由于阻垢剂的加入, 发生增溶、分散作用破坏了碳酸钙、氢氧化镁等垢物的生长, 并阻止了钙离子、镁离子与成

垢阴离子的结合,使得结垢状态的钙离子、镁离子处于游离状态,导致总硬度增加;在前 17 d 之前,总硬度增长速度最快,此时阻垢剂的阻垢作用逐渐达到最佳,在第 21 d 之后,总硬度基本处于稳定状态,在 1 345~1 389 mg/L 之间波动,阻垢剂与垢物反应完全,完成了整个阻垢过程,达到阻垢效果。

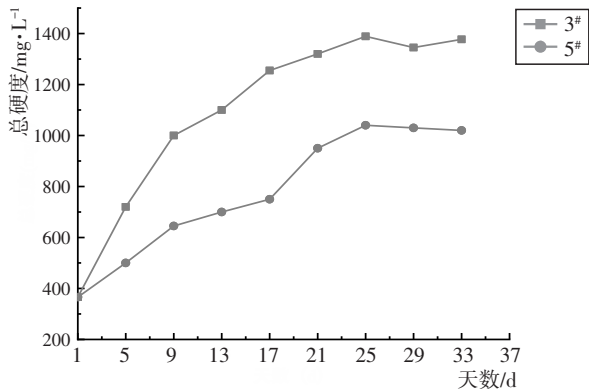


图 4 总硬度随运行时间变化

#### 4.3 pH 值随时间变化

试验通过测试加入阻垢剂与未加入阻垢剂喷淋水中 pH 值的变化,来分析 PESA 阻垢剂对喷淋水 pH 值的影响,pH 值随运行时间的变化如图 5 所示。

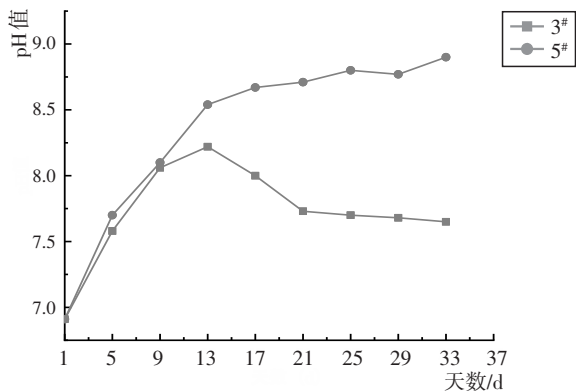


图 5 pH 值随运行时间变化

在开始运行的第 1 d,两个水池的 pH 值均为 6.91。随着运行时间的增加,循环水浓缩倍率不断增大,未加阻垢剂 5# 空调室喷淋水的 pH 值整体呈现上升的状态,第 33 d 的 pH 值达到最大 8.9 还处于上升趋势。加入 PESA 阻垢剂后的 3# 空调室喷淋水在前 13 d 内,pH 值呈现上升状态并达到 8.22,这是由于阻垢剂增溶整合作用不断进行,加入阻垢剂的循环水 pH 值随着循环时间增加不断上升;在第 13~33 d 之间,循环水在运行过程时会发生  $\text{Ca}^{2+} + \text{C}_6\text{H}_4\text{COOH} \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_4\text{COOCa} + \text{H}^+$  反应,该反应进行会生成  $\text{H}^+$ ,造成 pH 值降低的现象;随着反应的不进

行,水中的金属配合物还会继续水解发生  $\text{C}_6\text{H}_4\text{COOCa} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_4\text{COOH} + \text{Ca}^{2+} + \text{OH}^-$ ,因此 pH 值先缓慢下降后趋于平缓稳定,在第 33 d 循环水 pH 下降达到 7.65。

#### 4.4 电导率随时间变化

电导率表示水中含盐量的大小,是衡量水纯度的一个重要指标。水中电导率越低,水越纯净,电导率越大,含盐量越高。试验测试投加与未投加阻垢剂喷淋水电导率变化,来探究 PESA 阻垢剂对喷淋水电导率影响。空调喷淋水电导率随运行时间的变化如图 6 所示。两个水池的初始电导率均为 0.77 ms/cm,随着运行时间增加,未投加阻垢剂的 5# 空调室喷淋水电导率一直呈现上升的趋势,由第 1 d 的 0.77 ms/cm 上升到第 33 d 的 7.25 ms/cm,电导率上升幅度较大,水中含盐量增加。而投加 PESA 阻垢剂 3# 空调室前 25 d 内,电导率处于上升的状态,这是由于循环水在使用过程中不断蒸发,水中盐浓度不断增加,电导率持续增长。在第 25 d 后,阻垢剂整合增溶提高了水中钙镁离子的饱和溶解度,使得循环水电导率达到平衡的时间延长,且达到平衡后,电导率不再上升,在 7.0 ms/cm 左右浮动,因此阻垢剂的加入有效控制喷淋水电导率,使其处于稳定的范围内。

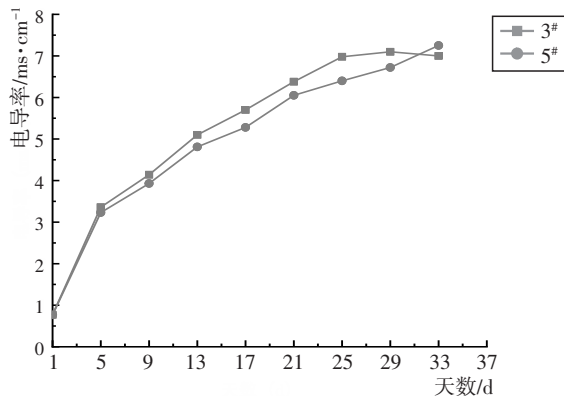


图 6 电导率随运行时间变化

### 5 应用效果评价

通过测试喷淋水实际运行时硬度、pH 值、电导率等指标的变化,发现投加 PESA 阻垢剂的 3# 空调室较未投加阻垢剂的 5# 空调室有明显控制效果,投加阻垢剂后水质指标更稳定。为了进一步探究两种不同运行工况下的水质变化情况,通过 pHc 与实际运行的 pH 值对比来分析运行 33 d 后两个空调室的水质状态。表 2 为 pHc 与 pH 随运行时间的变化情况。

表2 喷淋水的 pHc 与 pH 运行变化

天数/d		1	5	9	13	17	21	25	29	33
5 <sup>#</sup>	pHc	9.10	8.26	8.09	8.03	7.98	7.91	7.85	7.82	7.78
	pH	6.91	7.70	8.10	8.54	8.67	8.71	8.80	8.77	8.90
3 <sup>#</sup>	pHc	9.10	8.21	8.08	8.04	7.86	7.79	7.72	7.71	7.71
	pH	6.91	7.58	8.16	8.22	8.00	7.73	7.7	7.68	7.65

由表2可知,未投加阻垢剂的5<sup>#</sup>空调室与投加阻垢剂的3<sup>#</sup>空调室水质pHc随着运行时间增加呈现下降趋势,而实际pH值则呈现上升趋势。5<sup>#</sup>空调室水质pHc由第1d的9.1下降到第33d的7.78,它的pH值则是从第1d的6.91上升到第33d的8.9,同时从第13d起到第33d,pH始终大于pHc,因此5<sup>#</sup>空调室在运行13d之后水质处于结垢状态。3<sup>#</sup>空调室水质pHc的变化由第1d的9.1下降到第33d的7.71,它的pH值由第1d的6.91上升到第13d的8.22接着又下降到第33d的7.65,可以发现阻垢剂的加入有效降低了喷淋水pH值。随着阻垢剂与喷淋水中成垢离子的不断反应,3<sup>#</sup>空调室喷淋水从第21d起到第33d,pH小于pHc,因此3<sup>#</sup>空调室在运行21d之后喷淋水不结垢处于稳定状态,可知PESA阻垢剂的加入控制了喷淋水质的变化,使其在稳定的状态下运行。

## 6 结论

选择聚环氧琥珀酸类阻垢剂处理咸阳某纺织厂喷淋水,测试并研究其应用效果。通过试验发现:

(1)由于阻垢剂的加入,在水中发生增溶、分散作用破坏了碳酸钙、氢氧化镁等垢物的生长结构,致使钙离子、镁离子处于游离状态,使投加阻垢剂的3<sup>#</sup>空调室喷淋水比未投加阻垢剂的5<sup>#</sup>空调室喷淋水钙硬度、总硬度高。3<sup>#</sup>的pH值和电导率变化先上升后下降,

而5<sup>#</sup>的pH值与电导率则是一直处于上升状态,这主要是由于阻垢剂的加入控制了pH值和电导率上升并使其最终处于稳定的范围内;

(2)在前5d,喷淋水质处于稳定状态;随着运行时间增加,两个水池pH值均有不同程度的升高,pHc均降低;投加阻垢剂水池pH值升高及pHc降低幅度均小于未添加阻垢剂水池。未投加5<sup>#</sup>空调室的喷淋水在运行到第9d之后,pH值一直大于pHc,水质变差,结垢的趋势越来越严重。3<sup>#</sup>空调室喷淋水随着阻垢剂与成垢离子的不断反应,在运行21d之后,pH值持续降低同时小于pHc,喷淋水在21d之后处于不结垢稳定状态。

综上所述,阻垢剂对喷淋水起到了良好的阻垢效果,改善了水质结垢问题,达到节能减排的目的。

## 参考文献:

- [1] 宋绍富,吕宇涛.绿色水处理剂聚环氧琥珀酸的研究进展[J].化工技术与开发,2019,48(11):54-57.
- [2] 耿超.聚天冬氨酸的改性及其性能研究[D].西安:西北大学,2010.
- [3] 周本省.工业水处理技术[M].2版.北京:化学工业出版社,1997.
- [4] 工业循环水中钙、镁离子的测定 EDTA 滴定法:GB/T 15452-2009[S].2009.

## Application of Polyepoxysuccinic Acid Scale Inhibitor in Textile Air Conditioning Spray Water

HU Qing-feng<sup>1</sup>, YAN Su-qian<sup>2,\*</sup>, FENG Rui<sup>2</sup>

(1.Shaanxi Modern Architecture Design & Research Institute, Xi'an 710048, China;

2.Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** The changes of hardness, conductivity, pH value and critical pH index (PHc) of spray water after adding scale inhibitor in textile mill were studied by means of theoretical analysis and experimental research. 3<sup>#</sup> air conditioning room was the experimental water tank with PESA scale inhibitor, and 5<sup>#</sup> air conditioning room was the comparison water tank without scale inhibitor. The addition of scale inhibitor had obvious solubilization and chelation effect, so that the hardness of spray water in 3<sup>#</sup> air conditioning room was higher than 5<sup>#</sup>. At the same time, 3<sup>#</sup> pH value and conductivity first increased and then decreased, while 5<sup>#</sup> pH value and conductivity always increased; 5<sup>#</sup> since the 9th day, the pH value of the spray water in the air conditioning room had been greater than pHc, the water quality had become worse, and the scaling trend was more and more serious. With the continuous reaction between the scale inhibitor and the scaling ion, the pH value of the spray water in the air conditioning room continued to decrease and was less than pHc after 21 days of operation. The water quality was in a stable state of non-scaling, and the scale inhibitor had a good scale inhibition effect on the spray water.

**Key words:** polyepoxysuccinic acid; scale inhibitor; textile air conditioning; spray water