

印染废水处理方法研究

余红霞, 李瑞阳, 刘 蓓, 陈 雪, 郁鸿凌

(上海理工大学 能源与动力工程学院, 上海 200093)

摘要: 针对印染废水处理难度大、费用高的问题, 对常州某印染厂污水处理情况进行了调查, 分析了该厂印染废水水质、锅炉烟气成分以及印染工艺低温余热现状, 对不同种类的印染废水进行低温烟气余热蒸发处理及利用烟气中和碱性废水的方法处理, 此方案可使废水的质量浓度提高约13%, 每小时可处理废水量约27 000 t, 同时使废水 pH 降至7~9。

关键词: 印染废水; 余热蒸发; 锅炉烟气; 能量分析; 中和处理

中图分类号: TK 11 **文献标志码:** A

Printing and Dyeing Wastewater Processing Method

YU Hongxia, LI Ruiyang, LIU Bei, CHEN Xue, YU Hongling

(School of Energy and Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The printing and dyeing wastewater treatment is difficult and costly. The wastewater treatment of a dyeing factory in Changzhou was investigated, and the water quality of the printing and dyeing wastewater, the composition of the boiler flue gas and the status of the low temperature waste heat of the dyeing and printing process were analysed. Different types of printing and dyeing wastewater were treated by using the low temperature flue gas heat by evaporation and also the flue gas to neutralize the alkaline wastewater. This scheme can deal with about 27 000 t wastewater per hour, improving the mass concentration of wastewater by about 13% and reducing the wastewater pH value to 7~9.

Keywords: printing and dyeing wastewater; residual heat evaporation; boiler flue gas; energy analysis; neutralizing treatment

印染废水排放量大, 约占工业废水总排放量的35%, 且印染废水的 pH 值高、色度深、水质变化大, 若直接排放则对环境保护造成很大的威胁。目前, 处理印染废水的方法主要有物理法、化学法、生物法和

碱减量法^[1], 各种方法都有其自身的优缺点, 但总体存在除废力度低、费用比较高等特点。

本文针对印染废水难处理、高投资的特点, 提出了采用燃煤锅炉烟气中和染色废水以及利用锅炉烟

收稿日期: 2016-10-06

第一作者: 余红霞(1991-), 女, 硕士研究生。研究方向: 节能技术。E-mail: 708944823@qq.com

通信作者: 郁鸿凌(1953-), 男, 教授。研究方向: 热能工程和节能技术。E-mail: yuhongxia16@126.com

气余热蒸发退浆废水和碱减量水洗废水,达到以废治废的目的。

1 印染废水性质及锅炉烟气成分分析

1.1 印染废水水质分析

不同的纤维种类和加工工艺的印染废水污染物的组分会有差异.现对常州某印染厂的废水样品进行检测分析,废水水质数据如表1所示.其中,SS表示固体悬浮物质量浓度,CODcr指化学需氧量.

表1 印染废水数据统计表

Tab.1 Data statistics of the dyeing wastewater

类型	工艺	水温/℃	pH	SS/(mg·L ⁻¹)	水量/(m ³ ·d ⁻¹)	CODcr/(mg·L ⁻¹)	备注
高浓度碱减量废水	退浆	45	12.0~13.5	300	25	1 600	可蒸发处理
高温废水	染色	80	12.0	50	200	1 200	烟气中和处理
一般废水	冷水洗	20	6.5~8.0	100	450	120	传统方法处理
碱减量水洗废水	碱减量	40	12.5	500	60	1 100	可蒸发处理
生活废水				100	50		可用于回收

1.2 印染工艺低温余热的能量分析

通过对该印染厂印染工艺进行分析,可知印染企业每种工艺的低温余热来源、数量、品质等,如表2所示.

对印染工艺低温余热进行能量分析,分别从热平衡和焓方面进行分析.热平衡换热公式为

$$Q_{xi} = \rho V(h_1 - h_2) \quad (1)$$

式中: Q_{xi} 为流体流过换热器所具有的最大换热量; ρ 为工艺的循环密度; V 为循环废气体积; h_1 为循环废气进口焓; h_2 为循环废气出口焓.

根据焓的定义^[2]可知,热量焓的计算公式为

$$E_{xi} = Q_{xi} \left(1 - \frac{T_0}{T_{xi}} \right) \quad (2)$$

式中: E_{xi} 为流体流过换热器进出口时的热量焓; T_{xi} 为流体流过换热器进出口时的温度; T_0 为环境温度.

能级以焓分析为基础,用来表示能量质量的高低,其概念是系统单位能量中含有焓值的份额,即

$$\lambda = E_x / E \quad (3)$$

式中: E_x 为向系统提供的能量; E 为向系统提供的能量中所含有焓值.

印染工艺流程中低温余热分析计算结果如表2所示.

表2 印染低温余热统计表

Tab.2 Statistics of the low temperature waste heat by printing and dyeing

工艺	类型	温度/℃	流量/(m ³ ·h ⁻¹)	热量/(GJ·h ⁻¹)	焓/(GJ/h ⁻¹)	能级	备注
锅炉	烟气	220	13 000.00	5.06	0.517	0.352	余热利用时,烟气温度降到140℃
预定型	废气	160	2 200.99	0.99	0.153	0.150	用于加热冷水
烘干定型	废气	120	5 315.85	2.13	0.183	0.086	热量较多,但能级较小,可利用热量较少
印花烘燥	废气	200	5 451.56	2.71	0.234	0.086	热量较多,但能级较小,可利用热量较少
染色	废水	80	443.63	0.62	0.090	0.146	余热可以利用,加热染色冷水,减少过热蒸汽
还原水洗	废水	20	0	0	0	0	排出的主要是冷水洗的废水
热水洗	废水	20	0	0	0	0	排出的主要是冷水洗的废水

从表 2 可知,燃煤锅炉的烟气和染色排水不仅热量高而且能级高,可加以利用;预定型、烘干定型和印花烘干工艺排出的废气,虽然废气的流体体积大、热量高,但能级低,比热容较小,余热没有回收价值;在生产过程中,还原水洗和热水洗工艺只是排出水洗槽中的水洗水,没有回收价值.

2 印染废水处理方案

2.1 污水蒸发处理

利用锅炉烟气余热蒸发退浆废水和碱减量水洗废水,回收冷凝水使废水重新被利用.该厂烟气量为 $13\,000\text{ m}^3/\text{h}$,蒸汽锅炉燃烧产生的废气温度为 $220\text{ }^\circ\text{C}$,比热容为 $1.102\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$.采用翅片式换热器给废水加热,出口烟气温度为 $140\text{ }^\circ\text{C}$,比热容为 $1.074\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$;平均比热容 $C_a = 1.088\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$,烟气平均温度在 $180\text{ }^\circ\text{C}$ 时的密度 $\rho = 0.788\text{ kg}/\text{m}^3$,烟气放热量

$$Q = C_a \rho V \Delta t \quad (4)$$

式中, Δt 为烟气进出口温差.

得到烟气放热量 $Q = 8.92 \times 10^5\text{ kJ/h}$.

若一天按 24 h 计算,则烟气每天的放热量 $Q_F = 2.14 \times 10^7\text{ kJ}$.

冷源为 $40\text{ }^\circ\text{C}$ 的退浆废水和碱减量水洗废水,废水的焓值 $h_1 = 167.54\text{ kJ/kg}$, $100\text{ }^\circ\text{C}$ 时蒸汽的焓值 $h_g = 2\,675.57\text{ kJ/kg}$.

根据闪蒸原理,使印染废水在压力骤变的情况下蒸发得到饱和蒸汽.在满足印染企业退浆工艺和碱减量工艺温度的需求下,采用单效蒸发器蒸发废水,取热利用率 $\epsilon = 0.8$,则印染厂一天的废水蒸发量

$$m = Q/(h_g - h_1)\epsilon = 6.826\text{ t/d} \quad (5)$$

通过分析可知,利用烟气加热蒸发污水,每天可

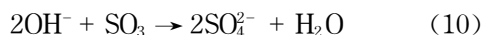
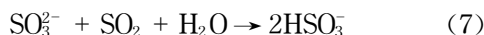
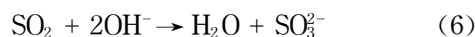
回收 6.826 t 的低压蒸汽,退浆废水和碱减量水洗废水的质量浓度由原来的 30% 提高到了 42.7% .

2.2 烟气中和处理污水

传统印染废水的处理方法需要投入大量的酸性液体中和碱性废水,处理过程繁琐,投资量大且很难达到国家排放标准.由于燃煤烟气是呈酸性的气体,通过泵将呈碱性的工业废水输送到锅炉湿式除尘塔顶部,并沿喷射装置喷淋,使废水产生雾化效果,与锅炉烟气进行最大程度的接触中和,从而降低废水的 pH 值^[4-5].与此同时,可以起到燃煤烟气锅炉脱硫、除尘的作用.此方案不仅可以降低处理废水、烟气的成本,还能使废热重新得到利用,达到节能减排的目的.

该印染厂的锅炉采用 $1\,200\text{ 万 kcal}$ ($1\text{ kcal} = 4.184\text{ kJ}$) 煤粉导热油作为热源,燃烧后的烟气成分主要有 SO_2 , NO_x , NO , CO 及 CO_2 .其中,烟气含量为 $13\,000\text{ m}^3/\text{h}$, SO_2 质量浓度为 $310\text{ mg}/\text{m}^3$, NO_x 质量浓度为 $314\text{ mg}/\text{m}^3$, NO 质量浓度为 $205\text{ mg}/\text{m}^3$, CO 质量浓度为 $153\text{ mg}/\text{m}^3$, CO_2 的体积分数为 16.7% .

烟气中 SO_2 和 NO_2 溶于水后可与碱发生反应,部分 CO_2 会溶于水, CO 和 NO 难溶于水.燃煤烟气中 NO_x 的比例高达 95% ,碳酸根的酸性弱于亚硫酸根,碱性印染废水和酸性烟气中和的化学反应方程式为^[6]



由式(6)可知,处理 $13\,000\text{ m}^3/\text{h}$ 的烟气量,需要 121 mol 质量浓度为 $310\text{ mg}/\text{m}^3$ 的 SO_2 .表 3 为燃煤烟气中和不同程度碱性废水所需废水量.

表 3 烟气中和印染废水所需废水量

Tab.3 Wastewater quantity required for the neutralization of the wastewater with the flue gas

废水种类	来源	排放量/ $(\text{t}\cdot\text{h}^{-1})$	pH	浓度/ $(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$	中和需水量/ $(\text{t}\cdot\text{h}^{-1})$
高温印染水	染色	9.0	12	10^{-2}	24.2
高温印染水	还原	9.5	10	10^{-4}	2 420
一般废水	热水洗	9.0	9	10^{-5}	24 200

由表 3 可知,当烟气硫化物和污水碱性物质完全反应时,每小时所需高温印染废水约 $2\,445\text{ t}$,即每天可处理高温废水 $58\,680\text{ t}$,每小时所需一般废水为 $24\,200\text{ t}$,即每天可处理一般废水 $580\,800\text{ t}$,pH 值可降至 $7\sim 9$.此外,由于印染工艺流程中产生的

含碱性物质的废水不能满足烟气脱硫的要求,因此,在废水中加入一定比例的 CaCO_3 或 CaO ,制成脱硫浆液^[3],作为燃煤锅炉的脱硫剂使用,降低烟气脱硫系统的钙化比,达到节水环保的目的.

(下转第 333 页)

子试验系统的模态分析有限元模型,通过计算,得到了转子系统的振型和频率,并通过试验验证了理论分析的正确性和设计的不足之处,为试验台的改进设计和系统的控制方案设计提供依据,并指导试验,大大减少试验次数,从而节省了设计时间。

参考文献:

- [1] 林乐新. ZUSTD 型倒挂式叶轮超速试验机的设计与开发[D]. 杭州:浙江大学,2011.
- [2] 毛乐园,尹健昭. 立式超速试验台轴系动力特性分析[J]. 火箭推进,2016,42(1):88-94.
- [3] 宣海军. EORD 支承转子动力学特性分析及其在超高速旋转机械中的应用研究[D]. 杭州:浙江大学,2004.

- [4] 曹妍妍,赵登峰. 有限元模态分析理论及其应用[J]. 机械工程与自动化,2007(1):73-74.
- [5] 常利辉,胡宇达. 超导发电机转子模态分析[J]. 计算机辅助工程,2016,25(1):35-40.
- [6] 代颖,崔淑梅,宋立伟. 车用电机的有限元模态分析[J]. 中国电机工程学报,2011,31(9):100-104.
- [7] 杨永峰,任兴民,徐斌. 国外转子动力学研究综述[J]. 机械科学与技术,2011,30(10):1775-1780.
- [8] SHAIK K, GUPTA R K, GOUTHAMAN G. Design and development of high speed spin test facility [C]// Vetomac-IV, International Conference on Vibration Engineering and Technology on Machinery. 2007: 169-177.

(编辑:石 瑛)

(上接第 322 页)

3 结 论

a. 介绍了能量分析的 3 种方法及其特点,得到了余热回收的评价指标,为后续分析印染工艺设备用能系统的合理性打下了基础。

b. 提出了利用锅炉烟气余热蒸发退浆废水和碱减量水洗废水,回收冷凝水的方案. 对锅炉烟气及印染废水进行热平衡分析,计算得到烟气每天的排放量为 2.14×10^7 kJ,每天可用于回收 6.826 t 的低压蒸汽,使退浆废水和碱减量水洗废水的浓度提高 12.7%. 若计算得到的烟气利用率按 80% 来计算,则每年可节约 5 123.7 t 的标煤,每吨标煤按 800 元来计算,则每年可节省 4 098 960 元^[7-8]。

c. 提出了利用燃煤烟气中的酸性气体中和碱性废水的方案. 经过计算分析,利用流量为 13 000 m³/h 的烟气,每天可以中和高温印染废水 58 680 t,一般废水 580 800 t, pH 值可降至 7~9. 此外,烟气 SO₂ 去除率达 85% 以上,烟尘去除率达 97%~98%,每年可减少中和硫酸 207.75 t,约 8.1 万元。

在印染工艺流程中,对蒸汽余热进行最大化回收利用,以及工艺废气和废水处理过程中更加准确

地掌握其物性特点及所用能量比例,这两点是印染工艺流程中有效合理用能亟待解决的关键技术问题。

参考文献:

- [1] 瓮亮,吴赞敏,李洪霞. 印染废水的处理方法及进展[J]. 印染助剂,2005,22(11):7-10.
- [2] 沈维道,童钧耕. 工程热力学[M]. 北京:高等教育出版社,2007.
- [3] 吴勃,王伟东. 煤化工废水零排放处理方法研究[J]. 应用能源技术,2013(3):1-4.
- [4] 刘精今,牛秋雅. 印染废水与烟气脱硫联合治理技术[J]. 节能与环保,2002(6):30-31.
- [5] 王益静. 印染行业废水余热回收[J]. 科学之友,2011(24):152-153.
- [6] 王毅霖,杨雪莹,张晓飞,等. 污水“零排放”技术发展现状[J]. 绿色科技,2014(8):189-191.
- [7] 朱和林,来东奇. 印染废水处理及回用工程实例[J]. 印染,2017(7):35-38.
- [8] 许丹宇,石岩,张洪雷. 印染废水处理与回用的工艺设计与应用[J]. 给水排水,2015,41(3):49-53.

(编辑:石 瑛)