

蒸汽供热技术在湿法合成革干燥部的应用研究

汤伟¹, 张怡真¹, 马兴元², 于东伟¹

(1. 陕西科技大学 轻工与能源学院 陕西 西安 710021; 2. 陕西科技大学 资源与环境学院 陕西 西安 710021)

摘要: 提出了一种烘缸干燥与热风干燥相结合的新型湿法制革干燥方案, 利用功能园区内热电厂产生的蒸汽来代替导热油进行湿法制革所需的加热风, 从而在热电联产中实现蒸汽的有效利用, 同时降低合成革生产过程中的干燥成本, 并提高合成革生产过程的安全性。本研究基于新方案的基布(非织造布经过浸渍或涂层树脂后形成的纤维-树脂复合材料)供汽流程、蒸汽供热系统总体控制, 以及前馈反馈控制、选择控制和PID(比例-积分-微分)控制等控制算法, 并给出了基于S7-300 PLC(可编程控制器)的DCS(集散控制系统)。本控制系统特别适用于当前国家正大力推广的热电联产合成革功能园区的湿法制革生产线。

关键词: 湿法合成革; 烘缸干燥; 蒸汽供热控制系统; 热电联产

中图分类号: TK219 文献标识码: B
DOI: 10.16146/j.cnki.rndlge.2016.02.020

引言

我国合成革制造是一个能耗较高的产业, 尤其是湿法合成革工艺中的基布干燥部^[1-2]。目前, 基布干燥的工艺是通过导热油加热冷空气, 将加热的热风吹向基布进行干燥。整个过程热能的回收循环利用率小, 能耗较大^[3]。另外, 直接使用吹热风干燥使得基布表面凹凸不平, 表面质量差; 干燥所用导热油属于易燃易爆物, 安全性差, 且成本高, 使用寿命短。

本研究将热电厂产生的蒸汽代替导热油用于合成革基布干燥中进行热风加热, 使之降低能耗。并在此基础上提出了一种烘缸干燥与热风干燥相结合的新型湿法制革干燥方案。同时, 设计了适合此新型干燥方案的蒸汽供热控制系统, 提高合成革生产的自动化水平。

1 湿法合成革传统干燥技术

湿法合成革传统基布干燥以导热油为介质, 将冷空气加热成热风, 并对基布吹热风进行干燥的一个工艺过程。其工艺流程为: 储油罐内的导热油利用循环油泵送到导热油锅炉内加热, 加热后的导热油通过换热器将热量传递给冷空气, 将冷空气加热成热风。热风经循环风机、风道送入烘箱, 对烘箱内的基布进行吹热风干燥。基布中水分受热挥发, 挥发的湿热空气通过排气风机及时抽走。换热后的导热油经由换热器卸载后重新通过循环油泵回到导热油锅炉内再次吸收热量, 如此循环用于空气的加热。湿法合成革用导热油供热的干燥流程图如图1所示。

传统烘箱吹热风干燥虽然能完成湿法合成革基布干燥任务, 但仍存在不足。其主要的缺点有: (1) 干燥所用导热油成本高, 使用寿命短; 高温导热油易燃易爆, 若泄露则容易引起火灾, 安全性差; 导热油加热前需先预热, 其预热升温时间长, 整个导热油系统需不停机长时间运行, 运行成本高; 热的导热油在运输和换热过程中, 若温度过高则容易在导油管壁和换热器内出现结焦现象, 造成设备的严重腐蚀^[4]。(2) 热风干燥属于非接触式干燥, 刚进入烘箱的基布湿度较大, 热风吹向基布的力度和温度不当, 容易使基布表面产生凹凸不平, 直接影响基布成形后的表面质量。(3) 现有基布干燥所用导热油的能量循环利用率小, 使得干燥过程能耗大, 同时合成革生产自动化水平低, 基布干燥没有配备控制系统, 导致生产劳动力大且效率低。

收稿日期: 2015-07-21; 修订日期: 2015-08-20

基金项目: 陕西省重点科技创新团队计划项目(2014KCT-15); 咸阳市科技计划项目(2012K03-01)

作者简介: 汤伟(1971-), 男, 河南信阳人, 陕西科技大学教授、博士生导师。

因此,在现有基布干燥的基础上,将蒸汽代替导热油作为加热介质,同时设计一种烘缸干燥与热风干燥相结合的干燥方式。其可行性在于,首先,基布进入干燥部进行干燥,低温段一般温度不超过 100℃,可使用接触式的干燥方式,若采用烘缸干燥,对基布有热压熨平的作用且不会产生粘缸现象,因此烘缸干燥可以代替热风干燥作为低温段的预热干燥。其次,在工业园区实施热电联产化生产的前提下,发电的同时,可有效利用汽化潜热进行供热。其产生的蒸汽压力可达到 1.28 MPa,完全满足合成革干燥中加热空气所需热源温度。因此,可将蒸汽代

替导热油应用到湿法合成革的基布干燥中去。

2 新型合成革干燥技术

新型干燥系统方案没有改变烘箱内干燥的工艺流程。改变的部分是将基布干燥部低温段的烘箱吹热风干燥换为接触式的烘缸干燥,同时将导热油换成蒸汽来实现热风在换热器内的加热,并在此基础上结合闪蒸罐和热泵设计出 3 段供汽热回收循环系统,实现蒸汽的循环利用,并初步拟定整个供热系统的控制方案。

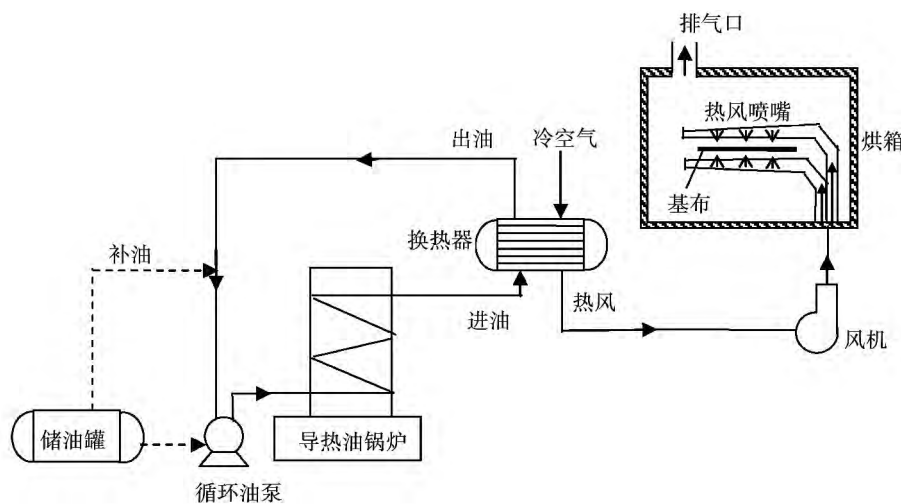


图 1 湿法合成革用导热油供热干燥流程图

Fig. 1 Drying process diagram of wet synthetic leather with heat conduction oil heating

2.1 基于蒸汽供热系统的基布干燥装置

根据基布干燥的 3 个阶段: 预热阶段、恒速干燥阶段、降速干燥阶段; 将干燥部分为低温段、中温段和高温段。其中, 低温段为烘缸组干燥, 中温段和高温段为烘箱干燥。从低温段到高温段, 基布干燥温度依次升高, 直至最后保持稳定状态。在烘缸表面绕缸运行的基布正反两面依次接触缸面, 使得基布受热均匀, 同样基布在烘箱内运行的过程中, 热风上下吹向基布, 使基布正反面均匀干燥。整个干燥部可根据车速、基布性能来调整整个干燥的长度, 确保在一定的干燥时间下能够达到基布所需的干燥强度, 而不存在干燥不良的情况^[5-6]。其基布干燥装置示意图如图 2 所示。

2.2 蒸汽供热系统工艺方案

整个供热系统按照基布干燥条件同样分为低温

段、中温段和高温段。在中温段和高温段, 使用蒸汽代替导热油来加热空气, 蒸汽由蒸汽总管及支管进入到换热器中, 通过换热器将冷空气加热成热风, 热风通过风机、风道进入到烘箱对基布进行吹热风干燥, 基布中水分受热挥发。在低温段, 将蒸汽通入烘缸内, 蒸汽通过烘缸壁将热量传给紧贴烘缸表面并绕缸运行的湿基布, 对基布进行干燥。

蒸汽通过换热器加热冷空气, 在换热器内遇冷成凝结水, 通过安装在换热器的冷凝水出口管道排出, 冷凝水通过闪蒸罐闪蒸成二次蒸汽进行回用, 高温段闪蒸的二次蒸汽供中温段换热器加热冷空气使用, 中温段闪蒸的二次蒸汽通入低温段烘缸使用, 此系统形成了能量的梯形利用, 实现了热力系统能量的循环^[7]。过剩的二次蒸汽可通过表面冷凝器对水洗槽和凝固槽所需溶液进行加热, 来满足基布水

洗和凝固工艺的温度需求。如若对水洗和凝固所需的 DMF 二甲基甲酰胺水溶液质量和浓度要求不高, 则可将干燥部冷凝水罐内的冷凝水经过滤净化后用

于水洗, 再通过逆向溢流到凝固槽。其带控制点的流程图如图 3 所示。

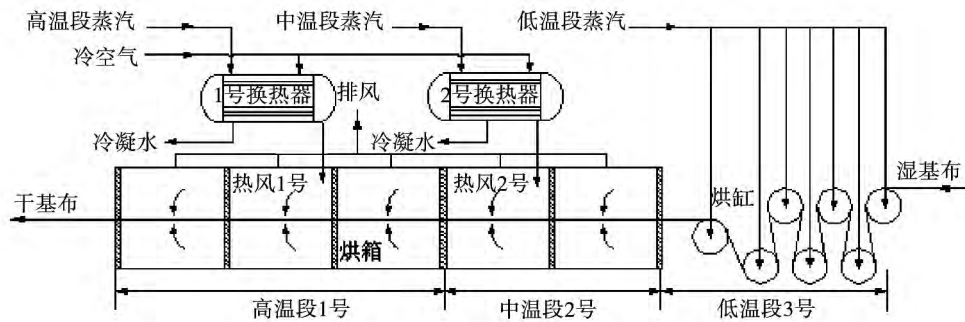


图 2 基于蒸汽供热系统的基布干燥装置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of base drying device with steam supply

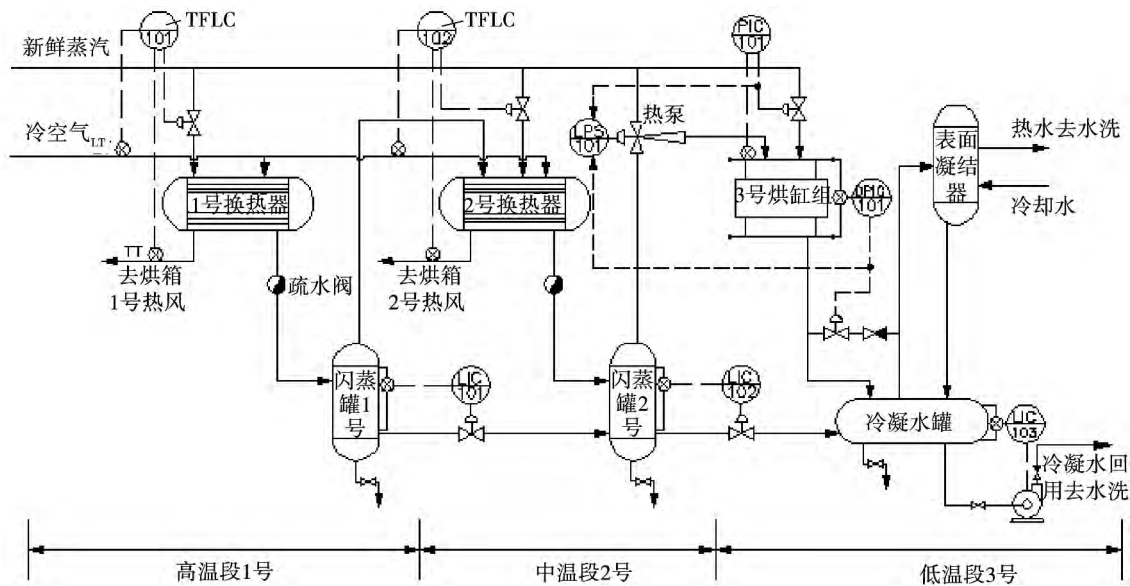


图 3 带控制点的基布干燥供汽流程图

Fig. 3 Steam supply diagram of base drying section

具体工艺流程如下, 高温段供热流程: 新鲜蒸汽通入 1 号换热器将冷空气加热成热风, 1 号热风通入到烘箱高温段对基布进行干燥, 从 1 号换热器冷凝的冷凝水进入闪蒸罐 1 号进行闪蒸, 闪蒸后的二次蒸汽通入 2 号换热器使用, 闪蒸罐 1 号中余下的冷凝水流入闪蒸罐 2 号;

中温段供热流程: 从高温段来的二次蒸汽通入 2 号换热器将冷空气加热成热风, 当二次蒸汽温度达不到加热要求时, 由新鲜蒸汽进行补汽, 2 号热风通入到烘箱中温段对基布进行干燥, 从 2 号换热器

冷凝的冷凝水进入闪蒸罐 2 号进行闪蒸, 闪蒸后的二次蒸汽经热泵由一部分新鲜蒸汽引射增压后通入 3 号烘缸组使用, 闪蒸罐 2 号中余下的冷凝水流入冷凝水罐;

低温段供热流程: 从中温段来的二次蒸汽通入 3 号烘缸对基布进行干燥, 当二次蒸汽温度达不到加热要求时, 由新鲜蒸汽进行补汽, 从 3 号烘缸组冷凝的冷凝水进入冷凝水罐, 由冷凝水泵泵送到水洗工段进行回用, 冷凝水罐中剩余的二次蒸汽通过表面冷凝器将冷水加热进行利用^[7]。

2.3 蒸汽供热系统控制方案

采用蒸汽供热系统,必须采取科学合理的控制方案来提高基布干燥质量,同时实现能量的循环利用,达到节能减排、保护环境的设计目的。

2.3.1 控制策略及控制算法

(1) 热风温度前馈反馈控制

换热器热风出口温度直接影响基布干燥质量,应保证热风温度适宜,避免温度过高基布表面平整度下降,温度过低则基布干燥不良。根据基布干燥温度曲线设定各个干燥段的热风温度,同时将温度控制在设定温度范围内,以确保进入烘箱内的热风温度稳定。本蒸汽供热控制系统在各段换热器热风出口段分别设置了 TFLC-101 等热风温度前馈反馈控制回路,通过调节蒸汽管道上的阀门改变通入蒸汽流量,来对进入烘箱内的热风温度进行自动控制。这里以热风温度信号为反馈控制量,冷空气流扰动量为前馈信号,控制原理示意图如图 4 所示。

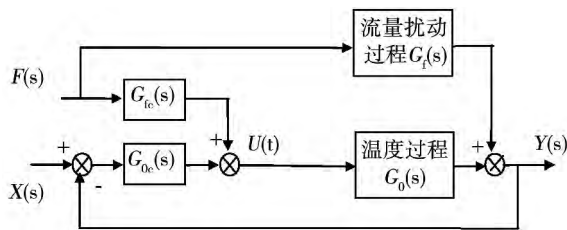


图 4 热风温度前馈反馈控制原理示意图

Fig. 4 Schematic diagram of feed forward feedback control

其中, $G_{oc}(s)$ 和 $G_{fc}(s)$ 分别表示反馈控制器和前馈控制器, $G_{oc}(s)$ 通常采用 PID 控制器,而 $G_{fc}(s)$ 计算如下:

已知温度过程和冷空气流量干扰过程的传递函数分别为:

$$G_0(s) = \frac{k_0}{T_0s + 1} e^{-\tau_0s}, G_f(s) = \frac{k_f}{T_f s + 1} e^{-\tau_f s} \quad (1)$$

由前馈控制通道得:

$$Y(s) = G_f(s) F(s) + G_{fc}(s) G_0(s) F(s) \quad (2)$$

根据不变性原理可知:

$$\frac{Y(s)}{F(s)} = 0 \quad (3)$$

可得前馈控制器的模型应为:

$$G_{fc}(s) = - \frac{G_f(s)}{G_0(s)} = - \frac{k_f T_0 s + 1}{k_0 T_f s + 1} e^{-(\tau_f - \tau_0)s} \quad (4)$$

在整个控制回路中,热风出口温度为被控参数,蒸汽入量为控制参数,冷空气流量的变化作为可测扰动,通过前馈控制器将在流量变化时及时产生控制作用,通过改变蒸汽量来消除冷空气流量对热风出口温度的影响,同时反馈控制温度调节器获得温度变化的信息后,将按一定的控制规律对蒸汽量产生控制作用。

(2) 烘缸进口、出口压力控制

湿基布从水洗槽进入干燥部低温段,由于含水量大,要求温度保持平稳地上升趋势,因此烘缸内蒸汽的温度需保持稳定。烘缸进汽压力决定烘缸内蒸汽的温度,在低温段烘缸进气端设置了 PIC-101 压力测控回路,通过常规 PID 控制来调节蒸汽管道上的阀门开度,对进入烘缸内的蒸汽压力控制,以确保进入烘缸内的压力稳定。烘缸进出口设置了 DPIC-101 压差测控回路,通过常规 PID 控制来调节烘缸出口的排汽管道上的阀门开度,来控制烘缸进出口的压差,防止烘缸内积水,保证烘缸排水畅通。

(3) 热泵开度低选控制

低温段采用热泵,一方面是为了提高二次蒸汽的品位,满足低温段所需蒸汽压力;一方面保证烘缸内排水畅通。低温热泵供热段设置了 LPS-101 热泵开度低选控制回路,即采用上述 PIC 和 DPIC 控制回路 PID 理论输出值的较低的一个进行控制,其原理图如图 5 所示。热泵开度的实际动作规律如图 6 所示,当 PIC 和 DPIC 控制器的理论输出值小于 50% 时,排汽阀和补汽阀都关闭,这就意味着烘缸所需要的蒸汽都由闪蒸罐闪蒸出来的二次蒸汽经热泵增压后得到的混合蒸汽来供给;而热泵的实际开度比理论计算值大,当其理论值为 50% 时,实际值就达到 100%,即处于全开状态,以尽可能多地利用二次蒸汽,减少新鲜蒸汽的使用量,达到节能降耗的目的^[8]。

(4) 闪蒸罐液位控制

冷凝水通过闪蒸罐闪蒸成二次蒸汽进行循环利用,由于蒸汽循环利用率取决于闪蒸罐的闪蒸效率,因此要求各闪蒸罐的液位保持稳定。本蒸汽供热系统在闪蒸罐和冷凝水槽设置了 LIC-101 等液位测控回路。通过常规 PID 控制来调节排出管道的调节阀开度,控制闪蒸罐液位;冷凝水罐则通过变频调节

冷凝水泵来控制冷凝水罐的液位稳定。

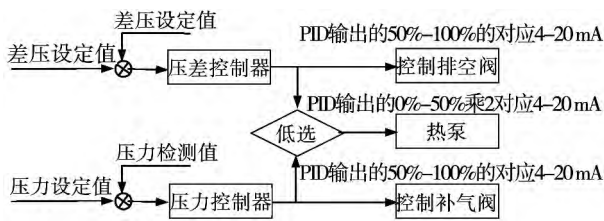


图 5 热泵阀门开度低选控制原理图

Fig. 5 Illustrative diagram of steam ejector valve opening

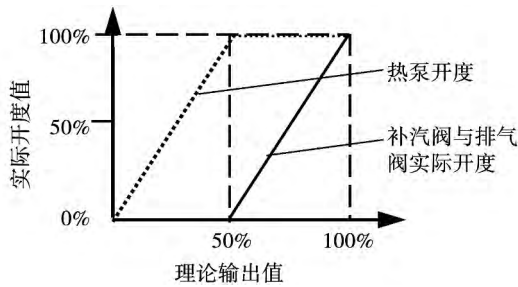


图 6 热泵实际开度动作规律

Fig. 6 Actual opening of steam ejector

2.3.2 基于 S7300PLC 的控制系统

本控制根据上述湿法制革干燥过程的蒸汽冷凝水控制的要点和难点,提出了图 7 所示的基于 S7-300 PLC 的控制系统。本控制系统由操作员站、工程师站、S7-300PLC 为控制单元的蒸汽供热控制站以及现场生产控制过程组成。其中使用 1 台工控机作为工程师站,2 台工控机作为操作员站,S7-300PLC 控制站 CPU(中央处理器)选用 314,后面挂接 I/O 模块,来实现工业现场的实时控制。其中工程师站与操作员站之间用工业以太网连接进行信息交换,CPU314 与操作员站之间用 MPI/DP(接口)连接进行相互通讯,CPU314 与各 ET200M 站用 profibus-DP 进行高速通讯。另外,系统还提供了丰富的接口功能,能够与合成革厂的其它工段或车间方便地进行联网和通讯。

本蒸汽供热系统应用软件在西门子提供的 Step7 + WinCC 软件平台上开发而成。其控制算法采用 STEP7 语言编写,下载到下位 PLC 中对整个系统进行控制,上位人机接口界面通过 WinCC 软件组态完成。此系统的 WinCC 运行主界面如图 8 所示。

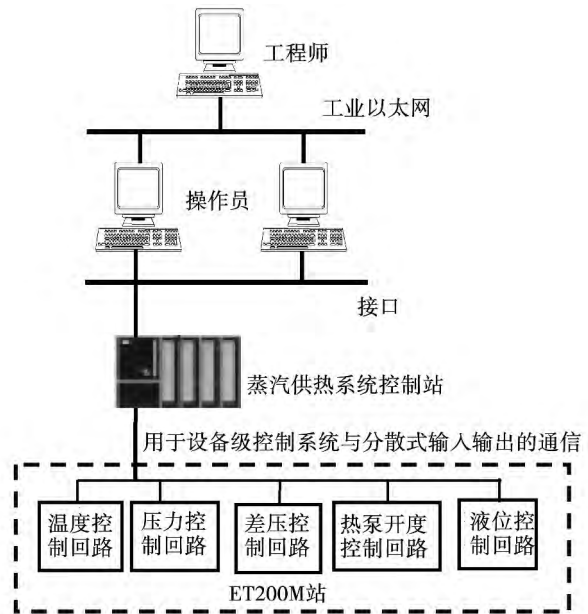


图 7 蒸汽供热 DCS 控制系统结构示

Fig. 7 Framework of DCS control system for steam supplying

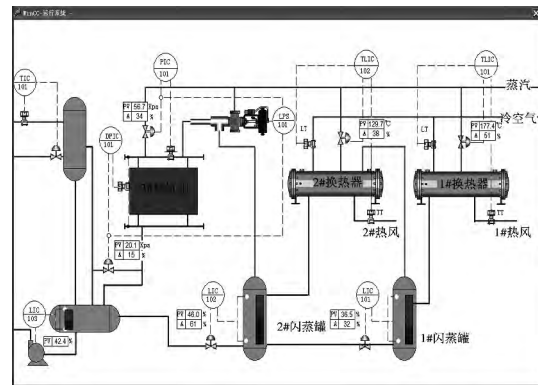


图 8 WinCC(视容控制中心)主运行画面

Fig. 8 WinCC main interface

3 结论

本研究在传统湿法合成革热风干燥方式的基础上设计了一种烘缸干燥与热风干燥相结合的新型干燥技术及利用蒸汽代替导热油进行热风加热的蒸汽供热系统。该方案对蒸汽供热系统压力容器的要求高,设备和管路的制造安装费用较大,使得投资成本增加。然而,经改造后的干燥部无论是从经济性还是社会效益都得到了改善。首先,利用热电联产中蒸汽代替导热油降低了加热介质的制备费用,改善

了合成革生产中导热油安全性差问题和能源消耗问题;其次,通过低温段的烘缸热压熨平干燥改善了基布表面质量;最后,自动化的引入提高了干燥效率,实现了合成革的自动控制,减少了劳动力。

参考文献:

[1] 中国塑料加工工业协会人造革合成革专业委员会. 我国人造革合成革现状及发展趋势[J]. 塑料制造, 2010(9): 14-18.
The status and the development trend of artificial leather and synthetic leather in China [J]. Plastics Manufacture, 2010, (9): 14-18.

[2] 中国塑料加工工业协会人造革合成革专业委员会. 我国人造革合成革现状及发展趋势(二) [J]. 塑料制造, 2010(10): 46-52.
The status and the development trend of artificial leather and synthetic leather in China [J]. Plastics Manufacture, 2010, (10): 46-52.

[3] 曲建波. 合成革工艺学[M]. 化学工业出版社, 2010.
QU Jian-bo. Synthetic leather technology [M]. Chemical industry press, 2010.

[4] 张雅超. 导热油供热系统常见设计问题分析[J]. 化工管理, 2014(33): 122-123.
ZHANG Ya-chao. Analysis of common design problems of heat

conduction oil heating system [J]. Chemical Enterprise Management, 2014, (33): 122-123.

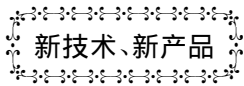
[5] 郝景标. 热风穿透烘燥在水刺非织造布上的应用[J]. 产业用纺织品, 2000(1): 25-26.
HAO Jing-biao. Application of Through-air Drying System for Spunlaced Nonwovens [J]. Technical Textiles, 2000, (1): 25-26.

[6] Ben Wilson. Maximizing heating and drying efficiencies during production [J]. Nonwovens World, 2004, 13(2): 79-88.

[7] 汤伟, 张金果, 吴瑞, 等. 基于纸机干燥部热力平衡计算的热力控制系统研究[J]. 化工自动化及仪表, 2010, 37(4): 13-18.
TANG Wei, ZHANG Jin-guo, WU Rui, DANG Rui, WANG Meng-xiao. Study on Steam and Condensate Control System Based on Thermodynamic Equilibrium Calculation of Paper Machine Drying Section [J]. Control and Instruments In Chemical Industry, 2010, 37(4): 13-18.

[8] 汤伟, 李清旺, 王孟效. 一种新的纸机干燥部蒸汽冷凝水热泵控制系统[J]. 化工自动化及仪表, 2007, 34(3): 62-66.
TANG Wei, LI Qing-wang, WANG Meng-xiao. A novel steam-driven jet heat pump control system for drying section steam & condensate system of paper machine [J]. Control and Instruments In Chemical Industry, 2007, 34(3): 62-66.

(刘瑶 编辑)



墨西哥建造 139 MW Flexicycle 电站

据《Gas Turbine World》2015年5-6月刊报道, Waertsilae 已经收到来自 Energia del Caribe 的关于着手把 139 MW Flexicycle(灵活循环)发电设备供应到墨西哥北部蒙特雷工地现场的文件。施工将立即开始。

文件包括规划、设计和在 2014 年 9 月签字的管理施工的总承包合同, 并且该电站预定于 2016 年 4 月投入商业运行。快速路径交付包括 7 台燃天然气的 Waertsilae 50SG 发动机, 它们是世界上最大的燃气发动机。

来自该电站的电力将通过墨西哥出口到危地马拉。该电站将以一天 24 h 满功率运行, 以便把约 950 GWh 电力交付给危地马拉 Empresa 公用事业电力公司。

选择内燃机是为了确保电力运行的可靠性。如果 7 台发动机中的 1 台在维修中, 则另外的 6 台是满功率运行。这就保证了正常的电力供应。

选择内燃机的另外一个理由是燃料效率高。涉及这个问题时燃气发动机技术是最有效的技术。在极端的温度下, 这些发动机能保持很高的效率。为了使效率达到最大值, Waertsilae 的 Flexicycle 电站选择了联合循环汽轮机。

Mexico 对于 Waertsilae 是一个很重要的市场。通过提供有效的尖峰负荷功率和对风能和太阳能的快速反应补充, 使灵活发动机电站可以有助于使电力系统最优化。

(吉桂明 摘译)

蒸汽供热技术在湿法合成革干燥部的应用研究 = **Applied Research on Steam Supply Technology in the Drying Section of Wet Synthetic Leather Making Process** [刊, 汉] TANG Wei, ZHANG Yi-zhen, YU Dong-wei (College of Light Industry and Energy, Industrial Automation Institute, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an, Shaanxi, China, Post Code: 710021), MA Xing-yuan (College of Resource and Environment, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an, Shaanxi, , Post Code: 710021) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016, 31(2). -264-269

To improve the traditional drying technology of wet synthetic leather, a new drying scheme of combining cylinder drying and hot air drying in the wet synthetic leather was put forward. This scheme uses the steam generated from the combined heat and power (CHP) in functional industrial park to replace the heat conducting oil in the hot air heating process. It not only makes full use of steam produced from CHP, but also reduces the drying cost and improves the safety of synthetic leather process. In this paper, the steam flow for the fabric based on the new drying scheme, general control strategy for steam supply system, feedforward and feedback controls, selective control and PID control algorithms were presented in detail, followed by the DCS control system based on S7-300 PLC. This presented control system is especially suitable for the production line of wet synthetic leather using CHP in the functional industrial park which is vigorously promoted by the current government, and has broad application prospects. **Key words:** wet synthetic leather, cylinder drying, steam supply control system, combined heat and power

循环流化床燃烧 NO_x 排放特性分析 = **Analysis of NO_x Emission Characteristics in Circulating Fluidized Bed Boiler** [刊, 汉] Wang Yao-xin (Harbin Electric International Company Limited, Harbin, China, Post Code: 150028) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016, 31(2). -270-272

The advantage of Low NO_x emissions inherent to the circulating fluidized bed (CFB) is being challenged because the pollution emission standard is increasingly stringent. Better understanding on the principle and influencing factors of NO_x emission in CFB boiler is expected to result in optimizations of design and operation that further decrease NO_x emissions, and possibilities of denitration equipment removal and operation cost reduction. For these reasons, experimental test and analysis were performed by using a 300 MW CFB boiler with an external heat exchanger. The trends of NO_x emission concentration and nitrogen conversion rate with the coal type, combustion temperature and oxygen content were obtained. The results can be used as references for boiler design, operation and commissioning. **Key words:** circulating fluidized bed, NO_x emission, nitrogen conversion rate, furnace temperature, oxygen content