

基于传热介质的蒸汽加热凹印机能耗测试方法研究

金琳, 李艳, 王仪明, 刘淼, 刘宁

(北京印刷学院, 北京 102600)

摘要: **目的** 提出蒸汽加热方式的凹版印刷机在印刷过程中能耗的测试方法。 **方法** 首先采用电平衡法建立凹印机消耗电能的数学模型, 而后采用风量计量法和传热介质计量法分别建立蒸汽加热方式的凹印机消耗热能的数学模型, 最后借助红外测温仪、超声波液体流量计和功率计对印刷厂中的多台凹印机进行现场测试。 **结果** 电阻丝和其他电机消耗的功率符合实际要求, 通过测量的平均有功功率和功率因数反推得到的额定功率, 与电机名牌示数上的额定功率十分接近, 传热介质计量法和风量计量法分别求得的热能消耗值相接近。 **结论** 验证了蒸汽加热方式凹版印刷能耗测试方法的正确性和可行性, 并较准确地测出了印刷过程中消耗的能量。

关键词: 凹印机; 蒸汽加热; 能耗; 测试方法; 管内温度

中图分类号: TS803.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)05-0105-07

Energy Consumption Test Method for Steam Heating Gravure Based on Heat Transfer Medium

JIN Lin, LI Yan, WANG Yi-ming, LIU Miao, LIU Ning

(Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing 102600, China)

ABSTRACT: The aim of this study was to propose a test method of energy consumption during printing by a steam heating gravure. Firstly, a mathematical model of power consumption for steam heating gravure was built by energy balance method. Secondly, two kinds of mathematical models for heat consumption of steam heating gravure were established by the methods of air volume measurement and heat transfer medium metrology. Finally, field tests were conducted on a number of gravures in the printing factory with infrared thermometer, ultrasonic liquid flow meter and power meter. The test results showed that the power of motor and resistance wire were conformed to the actual requirements, the rated power deduced from average active power and power factor was very closed to the rated power shown on the motor nameplate, and the energy consumption values obtained by the methods of heat transfer medium measurement and air volume measurement were similar. The test results verified the correctness and feasibility of the energy consumption test method of steam heating gravure, and had correctly measured the value of energy consumption during printing.

KEY WORDS: gravure; steam heating; energy consumption; test method; internal temperature of the pipe

节能减排是建设资源节约型社会的必然选择, 是推进经济结构调整转变增长方式的必经之路。我国能源法规定, 到2020年我国单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降40%~45%^[1-4]。为应对当前紧迫的能源形势, 印刷行业节能减排迫在眉睫。

2010年10月8日, 国家新闻出版总署和环境保护部共同发布关于实施绿色印刷工作的公告, 其中实施绿色印刷的范围包括印刷设备、原辅材料、生产过程以及出版物、包装装潢等印刷品, 可见印刷机节能是实现绿色印刷不可缺少的部分。凹版印刷机是印刷

收稿日期: 2014-06-06

基金项目: 2013首都设计提升计划资助项目(Z131110000213119); 北京市科委资助项目(Z141104004414070); 北京市教委资助项目(TJSHG201310015016)

作者简介: 金琳(1989—), 男, 湖北人, 北京印刷学院硕士生, 主攻印刷机能耗。

通讯作者: 李艳(1965—), 女, 北京印刷学院教授, 主要研究方向为印刷机械创新设计、绿色印刷与能耗测试分析。

设备中耗能最大、耗能种类最多的设备之一,研究凹版印刷机的节能减排对整个印刷行业实现绿色印刷,达到国家要求的碳排放量具有重要的意义。凹版印刷机能耗测试方法是研究印刷设备节能减排的前提条件,它不仅适用于凹版印机的能耗检测,对其他印刷机械也具有普适性。

1 数学模型

文中研究的对象为正常工作下蒸汽加热凹版印刷机械的能源消耗量,不包括承印物、油墨、印版等实物的消耗,凹版印刷机械的耗能种类大体分为电能和热能。

1.1 电能平衡法数学模型

单相供电功率计算方程:

$$P = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N u(n) \cdot i(n) \quad (1)$$

$$S = UI \quad (2)$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (3)$$

式中: P 为有功功率; S 为视在功率; Q 为无功功率; N 为采样点数; $u(n)$ 为第 n 点的电压向量; $i(n)$ 为第 n 点的电流向量; U 为电压的模; I 为电流的模^[5]。

印刷机用电多为三相电,凹版印刷机中消耗电能的主要部件为电机、风机等,故采用三相四线测量法,电机供电线路见图1。可得:

$$\sum P = P_A + P_B + P_C \quad (4)$$

$$\sum S = S_A + S_B + S_C \quad (5)$$

$$\sum Q = Q_A + Q_B + Q_C \quad (6)$$

式中: P_A, P_B, P_C 分别为A,B,C相有功功率; S_A, S_B, S_C 分别为A,B,C相视在功率; Q_A, Q_B, Q_C 分别为A,B,C相无功功率。由式(1)可得:

$$P_A = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N u_A(n) \cdot i_A(n) \quad (7)$$

式中: $u_A(n)$ 为A相相电压在第 n 点时的电压向量; $i_A(n)$ 为A相线电流在第 n 点的电流向量。将式(7)带入式(4)可得:

$$P = \frac{1}{N} \left(\sum_{n=1}^N u_A(n) \cdot i_A(n) + \sum_{n=1}^N u_B(n) \cdot i_B(n) + \sum_{n=1}^N u_C(n) \cdot i_C(n) \right) \quad (8)$$

同理可得:

$$\sum S = U_A I_A + U_B I_B + U_C I_C \quad (9)$$

$$\sum Q = \sqrt{S_A^2 - P_A^2} + \sqrt{S_B^2 - P_B^2} + \sqrt{S_C^2 - P_C^2} \quad (10)$$

式中: U_A, U_B, U_C 分别为A,B,C相的相电压模值; I_A, I_B, I_C 分别为A,B,C相的线电流的模值。由式(8)—(10)可得各项功需量为:

$$E_D = P_{DE} = \frac{1}{N} \left(\sum_{n=1}^N u_A(n) \cdot i_A(n) + \sum_{n=1}^N u_B(n) \cdot i_B(n) + \sum_{n=1}^N u_C(n) \cdot i_C(n) \right) \cdot \Delta t \quad (11)$$

$$S_{DE} = (U_A I_A + U_B I_B + U_C I_C) \Delta t \quad (12)$$

$$Q_{DE} = (\sqrt{S_A^2 - P_A^2} + \sqrt{S_B^2 - P_B^2} + \sqrt{S_C^2 - P_C^2}) \Delta t \quad (13)$$

式中: E_D 为凹印机在 Δt 时间内消耗的电能; P_{DE} 为 Δt 时间内的有功需量; S_{DE} 为 Δt 时间内的视在需量; Q_{DE} 为 Δt 时间内的无功需量。

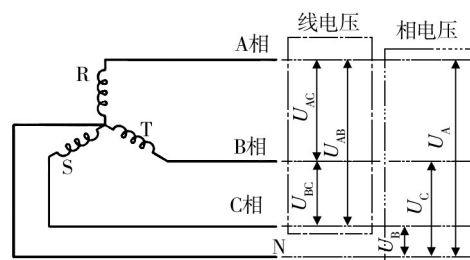


图1 电机供电示意

Fig.1 Schematic of motor electricity supply

1.2 热能测试方法数学模型

传统蒸汽加热凹印机中热能的主要功能是对印刷品进行干燥,见图2。干燥系统工作原理:传热介质通过热交换器给进风管进来的冷空气加热,形成热风,热风在风机的作用下流经印刷品表面,加快印刷品表面油墨溶剂的挥发,使油墨凝固在纸张或者薄膜表面,干燥后的热风小部分回到热交换器中循环使用,剩余部分通过抽风管排到外界。工厂实际印刷过程中,为减少印品上的残留溶剂量,干燥过程中绝大多数凹印机不使用二次回风管,干燥完的废气不经二次回风,直接经抽风管排出^[6-7]。传热介质的种类主要有油、水蒸汽、电阻丝、天然气等,蒸汽加热凹印机所使用的传热介质为高温水蒸汽。干燥系统的能量转移原理分两部分,一是热交换器中的空气分子被电加热或蒸汽加热后,加快运动,其中部分与油墨中溶剂分子碰撞后发生能量转移,促使溶剂

分子运动加快,逃离墨层,即开始挥发^[8];二是干燥箱中的热空气发出的红外线,既有波动性,又有粒子性,当红外线照射在油墨上,光子携带能量撞击分子,并将能量传给分子,转化成热能,导致温度升高,溶剂离开油墨进入气相^[9-10]。

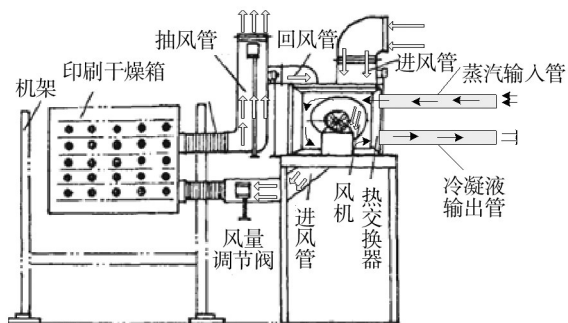


图2 凹版印刷机干燥系统

Fig.2 Schematic of gravure drying system

基于凹印机的工作原理和能量转移原理,测量凹印机干燥系统消耗热能的方法有很多种,主要分为直接测量和间接测量。直接测量通过测量输入管道液体或气体的温度^[11-13]和流量,计算出干燥系统消耗的热量。间接测量通过测量干燥系统进风口的风量、温度和干燥箱中空气的温度等相关参数,可求出干燥系统消耗的热量^[14]。因间接测量法忽略了热风从热交换器流动到烘干箱这一段距离的热量损失,而直接测量法弥补了这一段距离热量的损失,理论上直接测量法的测量值比间接测量法的测量值大,直接测量法的测量精度比间接测量法的测量精度高^[15]。文中采用直接测量方法为传热介质计量法,通过与间接测量法计算结果进行差异分析,验证试验方法的可行性。

1.2.1 风量计量法

风量计量法属于间接测量方法,其测量步骤:首先,测量进风口和排风口内部的截面尺寸;其次,通过风速流量计测量进入干燥箱内空气流速、空气的温度,以及干燥箱中空气被加热到的温度;最后,测量排风口废气的流速和风温。凹版印刷机给印刷品加热的直接介质为热风,热风从热交换器到印刷干燥箱之间损耗的热量忽略不计^[16]。干燥过程中热风通过对流传热方式向室内传输的热量可通过测量机器周边的温度变化算出其近似值,并计入机器向工厂内部的排热量,干燥装置结构见图2^[17]。凹版印刷机在印刷过程中干燥部分消耗的热量 E_p 的计算公式为:

$$E_p = c_p \frac{p_0 \cdot \varphi_0 \cdot \Delta t \cdot M}{R \cdot t_0} (t_1 - t_0) \quad (14)$$

式中: t_0 为干燥箱进风口的风温; t_1 为干燥箱中空气被加热到的温度; p_0 为外界空气的压强; φ_0 为空气的流量; R 为摩尔气体常数; M 为摩尔质量; Δt 为测量时间; c_p 为空气温度为 $\frac{t_1 - t_0}{2}$ 时的比热容。

1.2.2 传热介质计量法

传热介质计量法属于直接测量方法,其测量步骤:首先,通过红外测温仪测量冷凝水输出管外壁的温度,并推算出管内的温度;其次,使用超声波流量计测量冷凝水输出管道内液体的流速;最后,读取蒸汽输入管道内蒸汽的压强,并测量输入输出管道的尺寸参数。蒸汽加热方式凹印机在交换器中给冷风传热的介质为水蒸汽,假设输入蒸汽为饱和蒸汽,输出水为饱和水,输出饱和水的压强为0.1 MPa,又热交换器的体积不发生变化,蒸汽在热交换过程中为定容过程^[18],由文献[2]可得在印刷过程中凹版印刷机干燥部分消耗的热量 E_{vp} 为:

$$E_{vp} = [(h_2 - p_2 V_2) - (h_1 - p_1 V_1)] \rho_s \varphi_2 \Delta t \quad (15)$$

式中: h_1, h_2 分别为饱和水和饱和水蒸汽的焓值; p_1, p_2 分别为饱和水和饱和水蒸汽所处的压强; V_1, V_2 分别为饱和水和饱和水蒸汽的比体积; ρ_s 为饱和水的密度; φ_2 为输出冷凝水的流量; Δt 为测量时间。

1.2.3 管内液体传热介质温度测量

因受印刷机正常工作时的限制,无法直接用仪器测量管内液体温度,只能通过测量管外部条件推导出管内部温度状况。假设管内液体密度均匀,在截面方向上温度相同,管壁温度均匀,管壁温度与液体温度的温差不超过30℃。当雷诺系数 Re_t 为 $10^4 \sim 1.2 \times 10^5$ 时,液体为湍流;当雷诺系数 $Re_t < 10^4$ 时,液体为层流。

1.2.3.1 层流液体的传热系数公式

由参考文献[3]可得齐德-泰特层流换热实验关联式:

$$Nu_t = 1.86 \left(Re_t Pr_t \frac{d}{l} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu_t}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad (16)$$

$$Re_t = \frac{ud}{v_t} \quad (17)$$

式中: Nu_t 为努塞尔数; Re_t 为雷诺数; Pr_t 为普朗特数; d 为管道内径; l 为管道长度; μ_t 为管内液体动力黏度; μ_w 为液体和内壁平均温度下的动力黏度; u 为液体的流速; v_t 为液体的运动黏度。由层流表面液体的传热系数公式:

$$h_0 = \frac{\lambda_t Nu_t}{d} \quad (18)$$

式中: h_0 为液体层流条件下的传热系数; λ 液体的导热系数。由式(16)~(18)可得:

$$h_0 = \frac{\lambda_f}{d} 1.86 \left(\frac{ud Pr_f}{v_f} \frac{d}{l} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu_f}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad (19)$$

1.2.3.2 湍流液体的传热系数计算公式

由参考文献[3]可得 Gnielinski 湍流换热实验关联式:

$$Nu_f = \frac{(f/8)(Re - 1000)Pr_f}{1 + 12.7 \sqrt{f/8}(Pr_f^{2/3} - 1)} \left[1 + \left(\frac{d}{l} \right)^{2/3} \right] c_i \quad (20)$$

$$\text{对液体 } c_i = \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0.01} \quad (21)$$

$$\text{对气体 } c_i = \left(\frac{t_f}{t_w} \right)^{0.45} \quad (22)$$

$$f = (1.82 \lg Re - 1.64)^{-2} \quad (23)$$

式中: f 为 Darcy 阻力系数; c_i 为修正系数, Pr_f 为管内流体的普朗特数; Pr_w 为流体与内壁平均温度下的普朗特数; t_f 为管内流体的平均温度; t_w 为管内流体与内壁的平均温度。由式(17)(18)(20)得:

$$h_0 = \frac{\lambda_f}{d} \frac{(f/8)(Re - 1000)Pr_f}{1 + 12.7 \sqrt{f/8}(Pr_f^{2/3} - 1)} \left[1 + \left(\frac{d}{l} \right)^{2/3} \right] c_i \quad (24)$$

因管外空气流动过于复杂,参考相关设计资料后在合理范围内取值。

1.2.3.3 红外测温法计算管内液体温度

计算圆管内液体的温度有多种方案^[19],文中使用的方法为红外测温法。红外测温法首先通过使用红外测温仪测量圆管表面多个点的温度,计算出内壁的温度,再通过热力学方程计算出管内液体的温度。由参考文献[1]得圆管内壁的计算公式为:

$$t_{nl} = t_{wl} + \frac{Rh_1}{K} (t_{wl} - t_{\infty}) \ln \frac{R}{r} \quad (25)$$

式中: t_{nl} 为圆管内壁温度; t_{wl} 圆管外壁温度; R 为圆管的外半径; h_1 为圆管外壁面与环境的对流换热系数; λ 为圆管的热传导系数; t_{∞} 为环境温度; r 为圆管内半径。

$$t_{nl} - t_{wl} = \Phi \left(\frac{\ln(R/r)}{2\pi\lambda} \right) \quad (26)$$

$$t_y - t_{nl} = \Phi \left(\frac{1}{2\pi r h_0} \right) \quad (27)$$

式中: Φ 为单位长度管表面的散热量; t_y 为管内液体的温度。由式(20)(26)(27)可得^[20]:

$$t_y = t_{wl} + \left(\frac{Rh_1}{\lambda} + \frac{Rh_1}{r h_0 \ln(R/r)} \right) (t_{wl} - t_{\infty}) \ln \frac{R}{r} \quad (28)$$

通过假定液体的温度 t_s , 查找在该温度下液体的特性参数, 带入式(19)或(24)求出液体的传热系数 h_0 , 再将 h_0 带入式(28)中求出液体的温度 t_y , 与假定值 t_s 作比较, 用迭代法求出 t_y 的近似值。

2 测试安装与数据采集

2.1 电能采集、测试安装原理

2.1.1 电能采集原理

采用三相功率分析仪来测量凹印机所消耗的电能。功率分析仪数据采集基本原理见图3, 功率仪通过电流钳采集电路中的电流, 再通过电压线串接电阻采集电路中的相电压, 采集后的电压、电流模拟信号经功率采样模块转变成数字信号, 最后进入运算单元进行计算, 运算结果输入电脑。功率分析仪接线原理见图4。

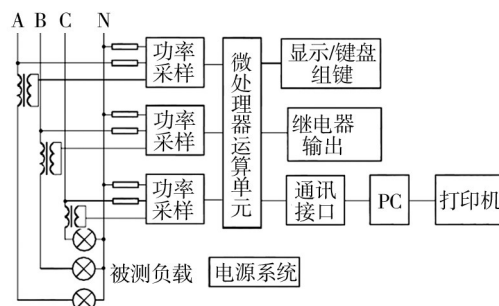


图3 功率分析仪数据采集基本原理

Fig.3 Basic fundamental of data collection by power analyzer

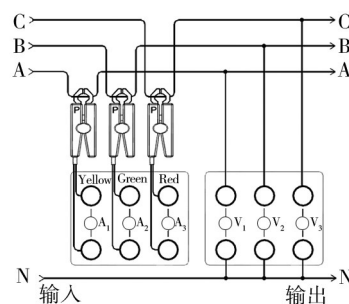


图4 功率分析仪接线原理

Fig.4 Schematic of power analyzer wiring

2.1.2 测试安装

根据不同的测试要求, 可在电气柜的继电器、空气开关或总电缆处接入电流钳和电压表笔线, 采集所测部分的功率, 采集后的电压、电流经功率分析仪运算单元出来完后输入电脑, 现场测试安装见图5。

2.2 热能采集、测试安装

2.2.1 风量测量安装

文中所采用的测量风量仪器为风速测量仪,通过测量干燥装置进风口的内径、风速及风温,即可算出进风口的风速和风量,在测量风速和风温时,应在进风口处多个位置测量求平均值。测量方式见图6。



图5 电能信号现场采集
Fig.5 On site collection of power signal

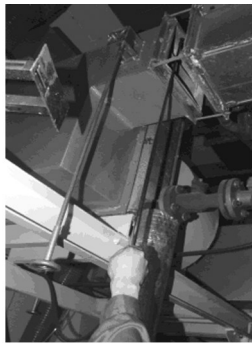


图6 进风口风速、风温测量
Fig.6 Inlet pipe air speed and air temperature measurements

测量流量之前,首先根据管道型号查找管道的内外径尺寸和管道的材质和导热系数,其次在热交换器附件的冷凝液输出管道外壁找一位置,将其附近的锈迹打磨干净,最后在光滑处安装超声波流量计传感器、并输入管道的相关参数进行测量,见图7。

2.2.2 传热介质温度测量

因不能影响印刷机的正常工作,在测量传热介质温度时,只能通过管道外部条件来计算管内液体温度。文中通过使用红外测温仪测量冷凝液输出管外壁温度,测量点选在图7中管道打磨的位置,测量结果见图8。



图7 管内液体流速测量
Fig.7 Flow measurement of liquid in pipe

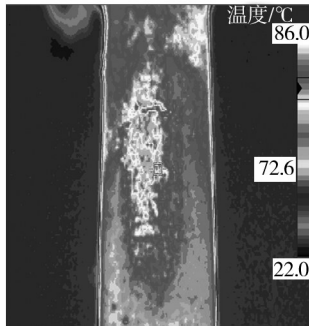


图8 管道外壁温度测量
Fig.8 Temperature measurement of pipe outer wall

3 测试结果

3.1 电能测试结果及分析

印刷过程中,某些机型可能只使用部分色组,且部分耗能部件并不使用,或者额定功率不相同(如版风机),或者某些机型不具备某些耗能部件(如刮墨电机)。此外,在大多印刷现场,印刷机所需要的冷却液以及气泵等都由工厂集中供应,而且这部分所消耗的能耗不多,文中的测试结果并不包括这部分的数据,但文中所研究的测量方法仍然可用于这部分的测量。针对这些情况,文中只列出不同型号凹印机的某些耗能部件,见表1和图9,来验证电能测试方法的正确性。表1中反推额定功率为测量的平均有功功率和平均功率因数反推得到的额定功率。

表1 5种型号凹印机5个部分的功率消耗
Tab.1 Power consumption of five parts on five models of gravure

机型	测量部位	额定功率/kW	平均有功功率/W	平均无功功率/W	平均功率因数	反推额定功率/kW
A	冷风机	0.75	144.7	736.1	0.191	0.756
B	电阻丝	3	2995	30	0.99	3.025
C	热风机	4	3351	2657	0.788	4.253
D	版风机	0.18	35.2	175	0.197	0.178
E	刮墨电机	0.37	121	345	0.357	0.339

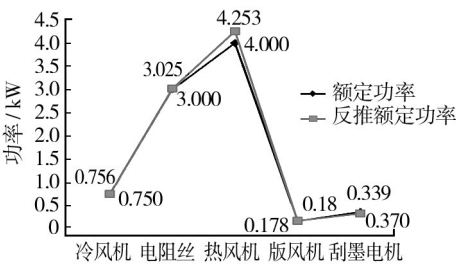


图9 额定功率与反推额定功率对比
Fig.9 Comparison chart between rated power and deduced rated power

由表1可得各机型所测部位的有功功率和无功功率均没有超过额定功率。因电阻丝是通过电阻发热,没有阻抗,且在印刷过程中一直保持通电,所以测量的结果中电阻丝的有功功率几乎与额定功率接近,测量值符号实际情况。图9中电机额定功率和通过测量反推得到的额定功率十分接近,说明测量结果准确。

表2中,E型机使用电机为伺服电机,A型机使用电机为普通三相异步电机,在使用色组相同,印刷速度和幅宽都比E型机大的情况下,E型机消耗电能比A型机的小,进一步验证了伺服电机比三相异步电动机节能。上述结果表明,文中提出的电能测试方法可行。

表2 不同型号印刷机总耗电量
Tab.2 Total power consumption of different models of gravure

机 型	使用色组数	印刷速度/ ($\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$)	印刷卷料 幅宽/mm	总平均耗电 量/($\text{kW}\cdot\text{h}$)	总耗电量转化 成标准煤/($\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$)
A	10	150	855	49.13	6.045
D	10	140	780	19.55	2.405
E	10	188	945	42.77	5.262

注:各试验的加热方式均为蒸汽加热。

3.2 热能测试结果及分析

为检验文中方法的正确性,对E机型分别使用风量计量法和传热介质计量法进行试验。

3.2.1 传热介质计量法数据处理及计算

假设管内饱和水温为80℃,输入蒸汽为饱和蒸汽。因管外空气流动过于复杂,参考相关设计资料,取空气的传热系数为 $h_1=10$ 。通过参考文献[3]查得80℃饱和水的物理参数为: $v_1=0.365\times10^{-6}\text{ m}^3/\text{s}$, $u_1=355.1\times10^{-6}\text{ Pa}\cdot\text{s}$, $\lambda_1=67.4\times10^{-2}\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, $Pr=2.21$, $u_w=549.4\times10^{-6}\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 。通过超声液体流量计测量得到液体平均流速为0.068 m/s,由E型凹印机传热介质计量法测量的参数(进气管道压强为0.45 MPa,出水管外径为57 mm,出水管内径为49 mm,管外壁平均温度为74.1℃,出水管液体流速为0.068 m/s,环境温度为21.1℃)和式(17)得,故管内液体为层流。测量处管道长2.45 m,将参数代入式(19)得 $h_0=187.31$,将 h_0 及E型凹印机传热介质计量法测量参数代入式(28)中得 $t_5=77.7\text{ }^\circ\text{C}$,计算温度与假设温度相接近,可认为假设成立,即输出水管内水温为77.7℃左右。

读取蒸汽输入管道的压力表得到输入蒸汽的压强为0.45 MPa,通过参考文献[2]查得在该气压下的饱和蒸汽以及0.1 MPa下80℃饱和水的物理性质为 $h_2=2733.81\text{ kJ/kg}$, $h_1=334.93\text{ kJ/kg}$, $V_2=0.509\text{ m}^3/\text{kg}$, $V_2=0.001\text{ }029\text{ }03\text{ m}^3/\text{kg}$, $\rho_s=971.8\text{ kg/m}^3$,代入式(15)得凹印刷机干燥部分消耗的热量 $E_m=282.96\text{ kW}\cdot\text{h}$,转化成标准煤,即每小时平均消耗34.814 kg标准煤。

3.2.2 风量计量法数据处理及计算

通过风速测量仪对凹印机各干燥箱进风口测量

风速,测量数据为风口尺寸为240 mm×240 mm,1—7进风口平均风速为7.659 m/s,8—10进风口平均风速为10.4486 m/s,进风口平均风温为21.1℃,进风口气压为0.1 MPa,1—7烘干箱中热风温度为55℃,8—10烘干箱中热风温度为65℃。所以1—7进风口中单个进风口的风量为0.4412 m³/s,1—7总进风量为3.008 m³/s;8—10进风口单个风量为0.6019 m³/s,8—10总进风量为1.806 m³/s, $t_0=21.1\text{ }^\circ\text{C}$,第1—7机组干燥箱中空气被加热到的温度 $t_1'=55\text{ }^\circ\text{C}$,第8—10机组干燥箱中空气被加热到的温度 $t_1''=65\text{ }^\circ\text{C}$, $c_p=c_{(t_1+t_1')/2}=1.005\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$,代入式(14)得凹印刷机干燥部分消耗的热量 $E_p=226.593\text{ kW}\cdot\text{h}$,转化成标准煤,即每小时平均消耗27.879 kg标准煤。

上面所分析的测量热能数据,均是对同一台印刷机同一时间段正常印刷时进行测量的。通过计算,风量计量法所得到的E型凹印机正常印刷时平均每小时消耗的热能为27.879 kg标准煤,传热介质计量法所测得的E型凹印机正常印刷时平均每小时消耗的热能为34.814 kg标准煤,2种方法测量的值在合理范围内,且值相接近,传热介质计量法计算的结果比风量计量法稍大,故可认为这2种凹印机热能测量方法正确。表2为使用传热介质计量法在印刷现场测得的凹印机能耗总值。

4 结语

文中建立了电能测试方法以及风量计量法、传热介质计量法2种热能测量方法的数学模型,提出了现场能耗测试安装方法,并对印刷过程中的凹版印刷机按照文中方法进行测试。结果表明,电阻丝和其他电机消耗的功率符合实际要求,凹印机印刷过程中消耗的功率没有超过额定功率,且通过测量的平均有功功率和功率因数反推得到的额定功率与电机名牌示数上的额定功率十分接近,验证了电能测试方法的正确性。使用风量计量法和传热介质计量法计算出的热能值相接近,且满足传热介质计量法测量值大于风量计量法测量值的理论要求,证明这2种测量方法基本正确。根据现场能耗测量数据表明,蒸汽凹印机在印刷过程中消耗的热能远大于消耗的电能,约是电能消耗量的6倍。文中方法不仅用于测试凹印机的能耗,还对印刷机能耗标准的制定和凹印机节能减排改进设计具有重要的意义。

参考文献:

- [1] 张成义. 红外测温法确定圆柱内壁温度的误差分析和优化研究[J]. 激光与红外, 2007(7): 656—658.
ZHANG Cheng-yi. Quantitative Diagnosis and Optimization to Estimation Errors of Internal Temperature of a Hot Wire Embedded at the Center of a Cylinder Based on Infrared Temperature-measuring[J]. Journal of Laser and Infrared, 2007(7): 656—658.
- [2] 张学学. 热工基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
ZHANG Xue-xue. Thermal Engineering Fundamentals[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [3] 杨世铭. 传热学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
YANG Shi-ming. Heat Transfer Theory[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [4] 杨宏伟. 能源与环境概论[M]. 北京: 中国市场出版社, 2012.
YANG Hong-wei. Energy and Environmental Studies[M]. Beijing: China Market Press, 2012.
- [5] 任佳, 苏宏业. 印染热定型机煤、电能耗建模及优化求解研究[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(3): 582—586.
REN Jia, SU Hong-ye. Coal & Electricity Energy Consumption Modeling and Optimal Solution of Fabric Heat-setting Machine[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2013, 34(3): 582—586.
- [6] 黄清明, 陈芳园, 许鹏, 等. 凹版印刷机干燥系统机型结构工艺参数节能减排设计[J]. 机械工程师, 2010(3): 38—42.
HUANG Qing-ming, CHEN Fang-yuan, XU Peng, et al. The Energy-saving & Emission Reduction Design of Mechanical Structure Parameters to Intaglio Press Drying System[J]. Mechanical Engineer, 2010(3): 38—42.
- [7] 李沪萍. 热工设备节能技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
LI Hu-ping. Energy-saving Technologies of Thermal Equipment[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010.
- [8] 王阿妮. 塑料凹印热风干燥参数优化设计[D]. 西安: 西安理工大学, 2008.
WANG A-ni. Parameter Optimization of Plastic Gravure Hot Air Drying[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2008.
- [9] 傅红武. 轮转凹印机热风干燥系统的结构优化[J]. 印刷技术, 2010(10): 52—55.
FU Hong-wu. The Structural Optimization of Rotogravure for Hot Air Drying System[J]. Printing Technology, 2010(10): 52—55.
- [10] 贾春江. 水性油墨热风干燥机理及数学模型研究[J]. 中国印刷与包装研究, 2010(11): 47—56.
JIA Chun-jiang. Research on the Mathematical Model and Air-drying Mechanism of Water-based Ink[J]. China Printing and Packaging Study, 2010(11): 47—56.
- [11] 张辉, 陈善年, 徐益谦. 圆管内壁温度的推算方法[J]. 中国电机工程学报, 1994, 14(4): 8—13.
ZHANG Hui, CHEN Shan-nian, XU Yi-qian. A Method for Estimation of the Inner Surface Temperature of Cylinders from the Outer Surface Temperature History[J]. Proceedings of the CSEE, 1994, 14(4): 8—13.
- [12] 张有为. 采用共轭梯度法的管内壁温度导热反问题求解[J]. 工程热物理学报, 2009(7): 1188—1190.
ZHANG You-wei. Inverse Heat Conduction Problem of Deducing Inner Wall Temperature by Using Conjugate Gradient Method[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2009(7): 1188—1190.
- [13] 李越铭, 吴静怡. 水冷(热)变频空调系统的全年能耗模拟和分析[J]. 太阳能学报, 2011, 32(7): 40—44.
LI Yue-ming, WU Jing-yi. Annual Energy Simulation and Analysis of the Water Cooled/Heated Variable Refrigerant Flow System[J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2011, 32(7): 40—44.
- [14] 刘自放. 热工检测与自动控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 2013.
LIU Zi-fang. Thermal Detection and Automatic Control[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2013.
- [15] 钟晓晖, 吴玉庭, 张行周, 等. 热泵空气侧换热热量测量空气焓差法改进[J]. 流体机械, 2006, 34(3): 83—86.
ZHONG Xiao-hui, WU Yu-ting, ZHANG Xing-zhou, et al. Improve of Enthalpy Potential Method for Measuring Air Heat Capacity of Heat Pump[J]. Fluid Machinery, 2006, 34(3): 83—86.
- [16] INOUE S, EGUCHI K. Development of High Thermal Efficiency Impinging Jet Nozzle for Hot Air Drying of Gravure Printing[J]. Journal of Chemical Engineering of Japan, 1998, 6(21): 569—575.
- [17] 张海燕. 凹版印刷机干燥系统的研究[J]. 轻工机械, 2009, 27(4): 31—35.
ZHANG Hai-yan. Study on Drying System of Gravure Press[J]. China Light Industry Press, 2009, 27(4): 31—35.
- [18] 韩昭沧. 燃料及燃烧[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2007.
HAN Zhao-cang. Fuels and Combustion[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2007.
- [19] 关荣华. 非接触测温技术对圆筒设备内部温度的定量检测[J]. 红外技术, 2002, 24(2): 46—48.
GUAN Rong-hua. Quantitative Diagnosis to Internal Operating Condition of Industrial Heat Equipment by Using Infrared Technique[J]. Infrared Technology, 2002, 24(2): 46—48.
- [20] 曹春梅. 圆管内壁温度的红外热诊断解析方案[J]. 激光与红外, 2007, 37(7): 658—660.
CAO Chun-mei. Infrared Thermal Diagnosis Study on Inner Wall Temperature of Pipeline[J]. Laser & Infrared, 2007, 37(7): 658—660.