

[环保·安全]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2015.02.025

印刷车间再热的热回收节能策略

狄育慧, 周林园, 赵伟, 黄银鹏

(西安工程大学 环境与化学工程学院, 陕西 西安 710048)

摘要:针对夏季印刷车间空气处理过程中,由于控制室内温湿度波动而采取再热措施造成冷热抵消的能源浪费现象,根据空气处理过程焓湿图分析了西安某印刷车间夏季空气处理产生再热的原因,并在对印刷产生有机废气采用局部排风进行有效收集处理的基础上,针对性地提出了利用热回收以补偿再热负荷的思路。比较了几种常见热回收装置的特点,根据对印刷有机废气催化处理后排放尾气的温度,选择了热管式显热回收方式,进而分析了其传热量及显热回收效率的计算过程,突出了其节能优势,最终达到充分利用废热节能的目的。

关键词:印刷;节能;热回收;有机废气;再热

中图分类号:TK114

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2015)02-0098-05

Energy-Saving Strategy for Reheating Heat Recovery in Printing Workshop

DI Yuhui, ZHOU Linyuan, ZHAO Wei, HUANG Yinpeng

(Environmental and Chemical Engineering College, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China)

Abstract: By wasting of energy during the process of air treatment in printing workshop in summer in Xi'an, which is caused by reheating to control the fluctuation of temperature and humidity indoor, the reasons of reheating were proposed based on h-d graph. Then the idea of using technologies for reheating was given based on the treatment means of organic exhaust gas. Characters of several heat recovery equipments were compared, and the thermotube type equipment for sensible heat recovery was chosen on the basis of tail gas's temperature of catalytic oxidation about organic exhaust gas. The computational process was discussed with the highlighted superiority of energy conservation. The final purpose was to take advantages of waste heat to save energy.

Key words: printing; energy-saving; heat recovery; organic exhaust gas; reheating

印刷生产散发的有机废气^[1],不仅对印刷质量、操作工人的健康以及身体的热舒适度产生不利影响,同时不利于节能与环保。本文结合西安某印刷车间有机废气的处理,探讨了再热问题产生的原因,并针对该问题的节能解决方法进行了分析。

1 承印材料对车间温、湿度的要求

承印材料有多种,最为典型的为纸张,具体分为纸和纸板。纸张中水的质量分数的变化是引起纸张性能变化的根本原因。在温度和相对湿度分别为20℃和65%的测试环境条件下纸张中水的质量分数为6%左右。纸张干度随环境温、湿度的变化而变化。图1所示为相对湿度为45%时,温度从18℃上升到48℃对

应的纸张中水的质量分数变化。

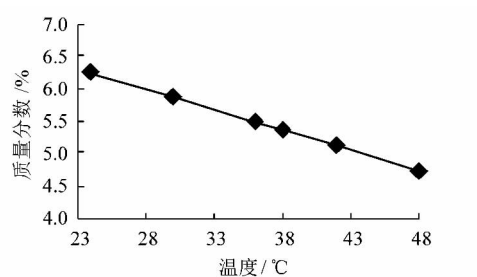


图1 纸张中水的质量分数随温度变化
Figure 1 Changes of paper's water content with temperature

收稿日期:2014-07-31;修回日期:2014-10-08

基金项目:陕西省科技攻关项目(2013K11-31);西安市城乡建设资助项目(SJW2014002)

作者简介:狄育慧(1964),女,陕西西安人,博士,教授,主要研究方向为建筑热环境与节能。通信作者:周林园, E-mail: 15003756216@163.com

在印刷过程中,为保证套印准确,纸张中水质量分数的变化原则上不允许超过 $\pm 0.2\%$ 。由图1可知,印刷车间温度变化应控制在 $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内,纸张中水的质量分数变化才不会超限而影响印刷质量。若环境温度高于 $38\text{ }^{\circ}\text{C}$,纸张的机械性能会明显下降;若环境温度低于 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$,纸张会变脆,吸墨性也会下降,造成印刷脱墨;若印刷时纸张中水的质量分数低于 3.5% ,车间空气相对湿度低于 40% 时易发生静电,使纸面吸附粉尘、纸毛等,对纸张造成污染,还会使纸张之间互黏,加剧飞墨现象;若纸张的含湿量与环境空气相对湿度相差较大,则会引起纸张平衡含水量发生变化,从而导致纸张形状稳定性变化,形成“荷叶边”或“紧边”等影响观感或印刷的缺陷^[2]。

鉴于上述纸张对环境温、湿度的敏感性,特别是对温度波动的敏感性,即要求印刷车间温度变化在 $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内,因此以纸张为承印材料的印刷车间,采用加大送风温差来实现节能的措施不可行。

2 印刷车间再热问题的提出

位于西安的某印刷车间外形尺寸 $72\text{ m}\times 9\text{ m}$,厂房下弦高度为 5 m ,内部9台印刷机组呈“一”字型排列,印刷机组尺寸 $3.2\text{ m}\times 2.6\text{ m}\times 2.6\text{ m}$ 。表1为印刷车间空调夏季设计计算参数^[3],针对该车间的焓湿图和相应空气处理过程如图2和图3所示。

表1 印刷车间空调夏季设计计算参数

Table 1 Parameters for air condition design in printing workshop in summer

室外干球 温度/ $^{\circ}\text{C}$	室外空气 相对湿度/%	室外大气 压力/ Pa	室内干球 温度/ $^{\circ}\text{C}$	室内相对 湿度/%
35.1	48.7	95 707	22	65

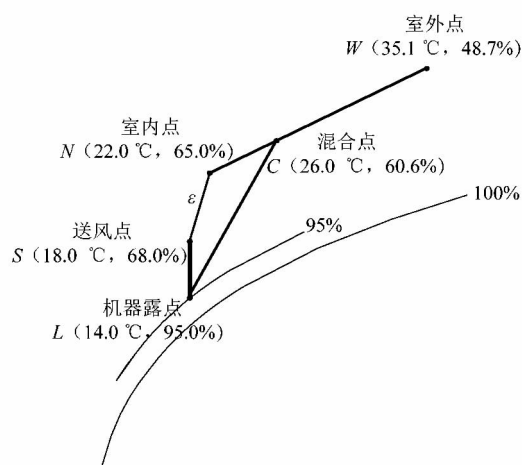


图2 西安某印刷车间夏季空气处理焓湿图
Figure 2 H-d graph of air treatment of printing workshop in summer in Xi'an

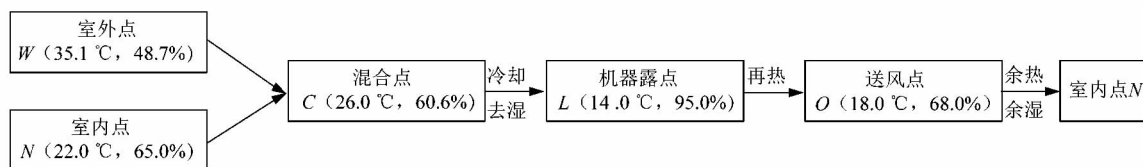


图3 西安某印刷车间夏季空气处理过程

Figure 3 Air treatment process of printing workshop in summer in Xi'an

从焓湿图以及空气处理过程可知室内空气状态点与送风状态点的温差为 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$,若配以合适的气流组织形式,该温差值就能保证室内温湿度波动。送风吸收余热余湿到室内空气状态点 N 的热湿比 ε 为

$$\varepsilon = \frac{h_N - h_O}{d_N - d_O} = \frac{51.1 - 43.5}{0.0114 - 0.0100} = 5428.6 \text{ kJ/kg} \quad (1)$$

式中: h_N, d_N 分别为室内点空气焓值和含湿量; h_O, d_O 分别为送风点空气焓值和含湿量。由焓湿图可查其具体值得 $h_N = 51.1 \text{ kJ/kg}$, $h_O = 43.5 \text{ kJ/kg}$, $d_N = 0.0114 \text{ kg/kg}$, $d_O = 0.0100 \text{ kg/kg}$ 。则可得热湿比 $\varepsilon = 5428.6 \text{ kJ/kg}$,普通办公建筑热湿比为 $3000 \sim 4000 \text{ kJ/kg}$,相对而言热湿比值虽比较大,但若视 ε 为 $+\infty$,从而把送

风吸收印刷设备区产生的余热、余湿达到室内状态点视为等湿过程^[4],则有可能保证不了车间的温湿度条件,不利于生产。按照上述空气处理过程,再热负荷 Q_{re} 表达式

$$Q_{re} = qC_p(t_O - t_L) \quad (2)$$

式中: t_O, t_L 分别表示送风点和机器露点温度, C_p 为定压比热容(下同), q 为风量。风量确定方法

$$q = \frac{Q}{C_p(t_N - t_O)} \quad (3)$$

式(3)代入式(2),得

$$Q_{re} = \frac{Q}{C_p(t_N - t_O)} C_p(t_O - t_L) = Q \frac{t_O - t_L}{t_N - t_O} \quad (4)$$

式中 Q 为设备显热冷负荷: $Q = 15.8 \times 9 = 142.2 \text{ kW}$

(该印刷车间内部 9 台印刷机组, 显热冷负荷指标均为 15.8 kW)。

按照上述空气处理过程, 送风、机器露点之间的温差与送风温差相等, 即再热负荷等于设备显热负荷, 其值很大。结合上式及印刷车间空气处理对送风温差的要求, 在室内显热负荷一定的前提下, 送风状态点越接近机器露点温度, 则再热负荷越小, 但机器露点温度过低时, 若把接近机器露点温度值的新风直接送往工作区, 则有可能对纸张以及油墨的性能产生不利影响, 从而影响印刷。由于送风温度与送风温差的限制以及印刷设备显热负荷大的特点, 再热负荷与对空气冷却处理的冷热抵消是造成能量浪费的重要原因。因此, 本文提出了采用热回收来补偿再热。

3 热回收补偿再热

3.1 印刷车间排风特点及有机废气处理

采用局部排风罩^[5-7]收集每台印刷机散发的有机废气, 然后经排气支管汇集到排风总管。有机废气借助上升热流而向上部和四周散发, 为对其进行有效收集, 排风罩为负压上排式, 罩口尺寸 3.2 m × 3.0 m, 镀锌钢板制成, 考虑到印刷机的高度以及厂房垂直方向的空间限制, 罩口距离印刷机顶部为 0.4 m, 距离废气产生部位为 1 m 左右。车间总排气口尺寸 1 480 mm × 1 550 mm, 总排风量 6 3000 m³/h, 排风中有机废气浓度较低, 但又不满足国家 GB6297-1996《大气污染物综合排放标准》中的二级排放标准的要求, 故不能将其直接排入大气。若采用催化氧化的方法对排风进行处理, 风量大、有机废气浓度低会导致净化效率低和对能量的浪费^[8], 因此可采用吸附浓缩后经催化氧化对排风进行净化处理^[9], 工艺流程如图 4 所示。

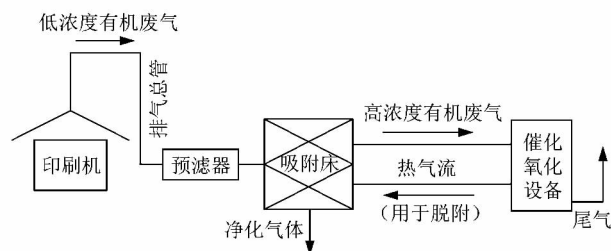


图 4 印刷有机废气处理流程

Figure 4 Treatment process of printing organic waste gas

采用吸附-催化氧化联用工艺处理印刷有机废气, 一般吸附床选 2 台或 2 台以上, 以保证吸附、脱附的连续运转, 这样吸附床与催化氧化设备之间形成了连续循环过程。采用该流程处理有机废气与直接催化氧化

相比, 催化氧化效率显著提高, 由于经吸附后有机废气的浓度较高, 对有机废气氧化放出的热量一般能够满足催化加热, 减少了加热能耗。经催化反应后排出的尾气温度依然很高, 含有大量的潜热和显热, 若直接排入大气则不仅会造成热污染, 同时也不利于节能。因此考虑对该部分的余热进行回收利用。

3.2 热回收总体方案

根据相关研究结果, 有机废气经催化燃烧后, 其温度高达 400 ~ 500 °C^[10], 部分显热传递给催化燃烧以补偿催化反应加热, 排出的尾气温度依然很高。结合该印刷车间空气处理过程, 拟采用该部分尾气所携带余热来满足再热加热, 这样一来既降低了排入大气的尾气的温度, 又减少了再热燃煤、燃气或电加热能耗^[11-13], 其原理图如图 5 所示。

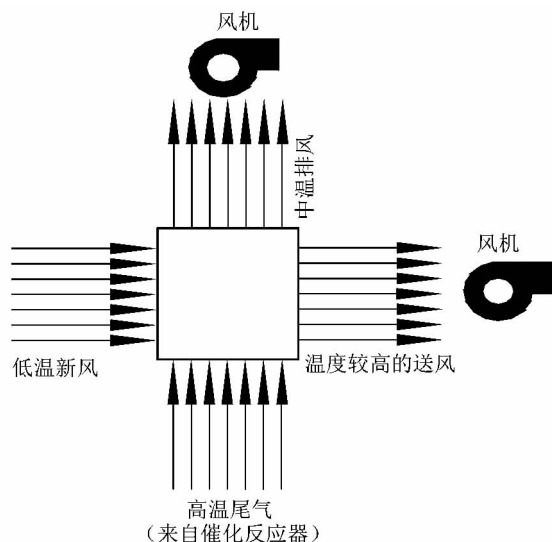


图 5 有机废气处理热回收用于再热原理

Figure 5 Reheating principle of heat recovery of organic waste gas

图 5 中, 通过低温新风与高温有机废气处理尾气在热回收装置内交叉流动实现热量由高温气体向低温新风的转移, 而热交换效率是由 2 种气体的流经换热装置的流速和流量以及换热装置结构、材质等因素决定。实现该热回收利用的装置主要为空气—空气热回收器。

3.3 热回收装置选择及效率分析

热回收器按照应用效果可分为全热回收器和显热回收器; 按照结构形式可分为板式、板翅式、转轮式以及热管式等^[14], 其特点对比见表 2。

综合考虑有机废气经催化处理后其尾气温度特点, 比较以上热回收装置结构、热回收效率、运转等因

表2 常用热回收器形式及特点

Table 2 Types and characters of heat recovery equipments

热回收器形式	特点
板式	静止型,构造简单,多为显热回收,热回收效率40%~60%
板式翅式	在平板式换热器的基础上加入翅片式换热元件,增大换热面积,从而使热回收效率提高,可用作全热回收,能耗较低
转轮式	回转型,可处理风量大,热回收效率高,具有自净作用,不会造成新风的污染,可以进行显热回收和全热回收,但是运转需要靠电机驱动,结构相对复杂
热管式	特别适用于400~500℃或以下的排风热回收;结构简单,便于维修;热管带有翅片,有限空间内传热面积大;可避免对新风的交叉污染;从高温侧向低温侧自然传热,运转无能耗等

素,选择热管式热回收器实现以尾气废热补偿新风再热负荷。图6所示为热管式热回收器用于对新风再热处理:在热管外表面装翅片来增加换热面积;中间设隔板防止高温尾气对与之逆向流动的低温新风产生污染。

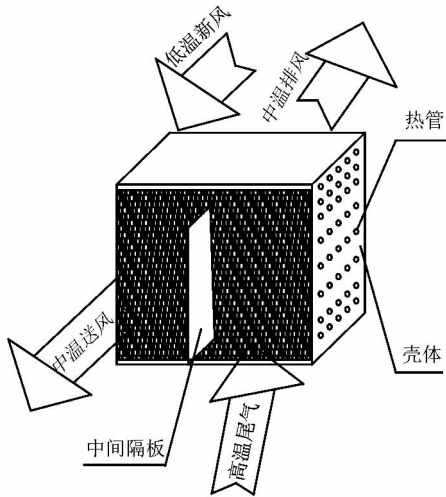


图6 热管式热回收器补偿再热负荷

Figure 6 Compensate reheating load of heat pipe type equipment for sensible heat recovery

根据传热学知识,新风与催化反应尾气在热回收器里的显热总换热量为

表3 再热加热所需燃料量

Table 3 Quantity of fuel for reheating

平均低位发热量				所需燃料量				
原煤/ (kJ·kg ⁻¹)	焦炭/ (kJ·kg ⁻¹)	原油或燃料油/ (kJ·kg ⁻¹)	天然气/ (kJ·m ⁻³)	原煤/ (kg·h ⁻¹)	焦炭/ (kg·h ⁻¹)	原油或燃料油/ (kg·h ⁻¹)	天然气/ (m ³ ·h ⁻¹)	标准煤/ (kg·h ⁻¹)
20 934	28 470	41 868	35 588	24.45	17.98	12.23	14.38	17.47

$$Q_{\text{ex}} = K \cdot A \cdot \Delta T。$$
 (5)

式中: K 为换热系数; A 为换热表面积; ΔT 为对数平均温差^[15],且

$$\Delta T = \frac{(t_{\text{wi}} - t_{\text{xo}}) - (t_{\text{wo}} - t_{\text{xi}})}{\ln \frac{t_{\text{wi}} - t_{\text{xo}}}{t_{\text{wo}} - t_{\text{xi}}}}。$$
 (6)

式中: $t_{\text{wi}}, t_{\text{xi}}$ 分别为尾气和新风进口温度; $t_{\text{wo}}, t_{\text{xo}}$ 分别为尾气和再热风出口温度。

根据热平衡得:

$$Q_{\text{ex}} = M_{\text{w}} c_{\text{w}} (t_{\text{wi}} - t_{\text{wo}}) = M_{\text{x}} c_{\text{x}} (t_{\text{xo}} - t_{\text{xi}})。$$
 (7)

式中: $M_{\text{w}}, c_{\text{w}}$ 分别为参与热交换尾气的质量流量和比热容; $M_{\text{x}}, c_{\text{x}}$ 是参与热交换新风的质量流量和比热容; $t_{\text{wi}}, t_{\text{wo}}$ 分别代表尾气进出口温度; $t_{\text{xi}}, t_{\text{xo}}$ 分别代表新风进出口温度。

显热回收效率

$$\eta = \frac{t_{\text{xo}} - t_{\text{xi}}}{t_{\text{wi}} - t_{\text{xi}}} \times 100\%$$
 (8)

联立(5)~(8)式得

$$\eta = \frac{1 - \exp\left[(R - 1) \frac{K \cdot A}{M_{\text{x}} c_{\text{x}}}\right]}{1 - R \cdot \exp\left[(R - 1) \frac{K \cdot A}{M_{\text{x}} c_{\text{x}}}\right]} \times 100\%$$
 (9)

式中 R 为水当量比, $R = \frac{M_{\text{x}} c_{\text{x}}}{M_{\text{w}} c_{\text{w}}}。$ (10)

从式(9)可知该热管式热回收器的显热回收效率和换热系数与换热面积的乘积、参与热交换气体的量及其比热容有关,因此可以通过安装翅片增加换热面积以及调节进口气体流量比等来提高热回收效率。采用热管式热回收装置是为了补偿前述再热负荷,因此不能仅仅着眼于热回收效率的提高,还要保证热交换量能够补偿部分或全部再热负荷。

4 结果分析

对于该印刷车间的再热负荷,按照前述计算的结果,若不考虑热回收,采用传统锅炉加热热水的方式,根据每小时所需燃料量=再热负荷×3 600÷平均低位发热量,每小时需要燃烧燃料量如表3所示。

由表3可知,若采取锅炉加热的方式,需要大量的燃料来抵消对空气进行冷却处理造成的再热,并且燃料量的计算还没有考虑到燃料燃烧过程、烟气向水传热过程以及水向空气传热过程中的热损失;若采用热回收措施能补偿全部或大部分再热负荷,在能源危机日益加深的情况下,意义重大,同时也可以减轻燃料燃烧对环境造成的压力^[16]。

5 结语

印刷生产散发有机废气多为碳氢化合物,其充分催化氧化后生成的水蒸气含有大量潜热。本文仅分析了夏季工况下显热回收补偿再热,如能采取全热热回收技术则回收热量更为可观。针对全年工况、全热回收以及保证换热量的前提下提高热回收效率的具体措施,则有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] KIM K J, KIM J, SON Y S, et al. Advanced oxidation of aromatic VOCs using a pilot system with electron beam - catalyst coupling [J]. Radiation Physics and Chemistry, 2012, 81(5): 561 - 565.
- [2] 严美芳. 印刷材料与印刷适性[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [3] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 2版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [4] 张卫祥. 恒温恒湿空调设计论述[J]. 科技与生活, 2013(1): 158

- 159.

- [5] 孙一坚. 简明通风设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [6] 任改霞, 王怡. 局部排风罩的高温尘源捕集效率研究[J]. 广州大学学报: 自然科学版, 2010, 9(3): 76 - 79.
- [7] 马立. 玻纤布上胶车间通风及净化处理[J]. 暖通空调, 2005, 35(1): 72 - 73.
- [8] 许鹏, 陈芳园, 黄清明, 等. 凹版印刷 VOCs 废气的净化治理联用工艺[J]. 轻工机械, 2009, 27(3): 107 - 111.
- [9] 苏建华, 罗卫平, 王筱虹, 等. 活性炭纤维净化印刷过程产生的 VOC 废气[J]. 环境污染治理技术与设备, 2006, 7(11): 117 - 120.
- [10] 黄任, 丁永飞, 吴会军. 漆包机集中群排废系统余热综合利用方案分析[J]. 建筑热能通风空调, 2012, 31(5): 76 - 77.
- [11] 邵征宇, 刘敏, 李莹, 等. 夏热冬冷地区某卷烟厂制丝工艺排风余热回收[J]. 暖通空调, 2013, 43(2): 87 - 90.
- [12] 祝侃, 夏建军, 谢晓云, 等. 吸收式热泵及直接接触换热在燃气锅炉全热回收中的应用[J]. 暖通空调, 2013, 43(9): 111 - 115.
- [13] 欧阳欣. MOCVD 法制备 GaN 基 LED 外延尾气处理技术进展[J]. 轻工机械, 2013, 31(3): 96 - 98.
- [14] 黄翔. 空调工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [15] 杨世铭, 陶文铨. 传热学[M]. 4版. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [16] 高普生. 雾霾天气、环境与能源——暖通空调行业的对策[J]. 暖通空调, 2013, 43(9): 33 - 47.

[信息·简讯]

· 产品介绍 ·

●上海源冠高品质的控制阀

上海源冠自控设备有限公司成立于 2004 年, 专业经营控制阀及相关产品。源冠的宗旨是“为用户提供专业的控制阀应用解决方案”。经过 10 年的发展, 目前源冠的控制阀产品销往全国各地, 在重工、轻工及军工行业均有源冠的控制阀产品在安全稳定运行。在满足国内需求的同时, 部分产品出口国外。

滑板式控制阀是上海源冠自控设备有限公司的专利产品, 与欧美等国的同类产品达到同一先进水平。滑板式控制阀是一种高性能、高科技、仪表化的控制阀, 具有外形紧凑、质量轻巧、控制精确稳定、免维护和能耗低的优点。现代工业装备的控制阀已向精、巧、轻和能耗低的方向发展, 逐步取代体积庞大、笨重、能耗大的传统控制阀。而滑板式控制阀所具有的优势使其迅速在国内外的现代工业装备和军工装备中得到了普遍的应用。

源冠公司生产的滑板式控制阀包括: 气动滑板式控制阀,

电动滑板式控制阀, 自力式滑板阀, 高温型滑板式控制阀, 低温深冷型滑板式控制阀, 波纹管密封滑板式控制阀和手动滑板阀。

产品的参数:

口径—DN15 ~ DN250 mm;

压力范围——PN1.6 ~ PN10 MPa;

使用温度范围——-200 ~ 530 ℃;

阀体材料——各类不锈钢及合金材料。

上海源冠自控设备有限公司从设计、生产制造、选型及技术支持、售后服务等多个环节强化用户对于源冠控制阀的满意度, 从第 1 次产品问询到现场开车维修服务, 源冠自控已经建立起了一套完整的管理流程, 确保“为用户提供专业的控制阀应用解决方案”这一核心理念得到贯彻和执行。

(上海源冠自控设备有限公司)