

节能减排

轮胎企业废热回收节能潜力浅析

刘清永

摘要: 通过对轮胎企业蒸汽的供给状况、废蒸汽和冷凝水回收状况、回收量测算分析以及节能经济效果评估等, 得出我国轮胎行业根据具体情况进行节能改造的可行性, 采用闭式循环废热回收系统是轮胎企业进行节能技术改造的最佳方案和发展方向。

关键词: 轮胎企业; 废热回收; 开式循环回收系统; 闭式循环回收系统; 吨煤产汽量

随着世界经济全球化的进程, 市场竞争更加激烈, 轮胎生产企业也不例外。我国已发展成为世界最大的轮胎生产国家。轮胎企业主要由外资企业、国有大中型企业、民营企业等三大主体性质的轮胎生产商组成, 企业间竞争非常激烈。轮胎企业的最大突出特点就是耗能大户, 即能源动力(水、电、风、汽、煤)消耗量相当大。能源动力消耗费用占轮胎生产成本相当大的比重, 这已引起众多轮胎企业的高度关注。因此, 节约能源是轮胎企业的重中之重, 也是节能减排的重要举措, 有

助于企业节约能源动力成本, 生产出优质、低耗的产品, 为企业增收节支, 创造更高的经济效益、环境效益和社会效益。

1 轮胎企业蒸汽供热系统

我国轮胎行业的蒸汽供热系统, 即蒸汽供应系统和冷凝水回收系统一般有两种形式。一种是普通厂家采用的无热电联产的蒸汽供给系统(见图1); 另一种是大中型厂家采用的有热电联产的蒸汽供给系统(见图2)。

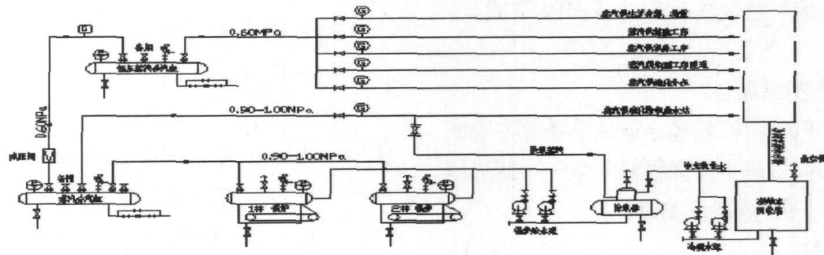


图1 无热电联产蒸汽供给系统

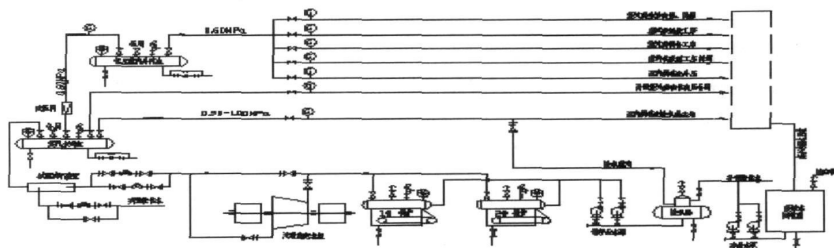


图2 有热电联产蒸汽供给系统

二者的区别在于:由于大多中小型轮胎企业的生产规模较小,蒸汽消耗量相对较少,一般蒸汽供热温度在 160~190℃,压力在 0.8~1.0 MPa 之间;而大型轮胎企业生产规模大,产量高,相对能源动力蒸汽消耗量较大,且蒸汽供热温度也较高,一般在 200℃左右,甚至最高达 320℃,锅炉出口压力在 2.0~2.5 MPa,因而动力驱动大,并且轮胎企业自身耗电量也较大。根据这一特点,轮胎企业完全可以采用自发电即热电联产形式供热,以充分利用余热能源动力,降低规模生产成本。而且,有热电联产的轮胎企业供热,是将驱动汽轮发电机组后的蒸汽,经减压降温装置调节,达到满足生产工艺要求所需的蒸汽后,才供给各用汽设备或生产车间。

二者的共同点:无论采用哪种蒸汽供热形式,它们都是通过蒸汽分汽缸分流后,再将蒸汽减压到满足生产工艺要求所需的蒸汽后,才供给各用汽设备或生产车间。

蒸汽主要供给如下用汽点:炼胶工序及其烘房采暖,全钢、半钢或斜交轮胎压延压出(预备)工序,成型工序的暖通设备,硫化外压和硫化内压除氧器,生活食堂和澡堂等。一般炼胶、压延压出、成型工序,硫化外压以及生活食堂和澡堂等用汽点的蒸汽压力在 0.4 MPa 左右;而硫化内压用汽点在 0.8~1.0 MPa,有时甚至在 1.5~1.8 MPa 之间。

2 供热系统平衡原理

根据能量守恒定律,轮胎企业供热系统主要满足两个平衡原理,即热平衡和物料平衡——载热体(水或水蒸汽)平衡,衡算公式如下:

$$\sum Q = \sum Q_c \quad (1)$$

$$\sum W_R = \sum W_C \quad (2)$$

式中 $\sum Q$ ——放出热量总和, kJ
 $\sum Q_c$ ——吸收热量总和, kJ
 $\sum W_R$ ——输入物料总和, t
 $\sum W_C$ ——输出物料总和, t

2.1 热平衡原理

轮胎企业供热系统的热平衡原理如图 3 所示,有:

$$Q_0 = Q + q \quad (3)$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + q_1 + q_2 \quad (4)$$

$$\eta = (Q/Q_0) \times 100\% \quad (5)$$

式中 Q_0 ——燃料煤燃烧所放出的热量, kJ·h⁻¹;
 Q ——锅炉软化水变为蒸汽所吸收的热量, kJ·h⁻¹;
 q ——锅炉的热损失, kJ·h⁻¹;
 Q_1 ——锅炉除氧器耗用蒸汽的热量, kJ·h⁻¹;
 Q_2 ——用热车间耗用蒸汽的热量, kJ·h⁻¹;
 q_1 ——锅炉除氧器的热损失, kJ·h⁻¹;
 q_2 ——用热车间的热损失, kJ·h⁻¹;
 η ——锅炉的热效率, %。

不同锅炉的热效率是不一样的。新锅炉的热效率一般在 80%~90%之间,老锅炉的热效率在 65%~78%之间。

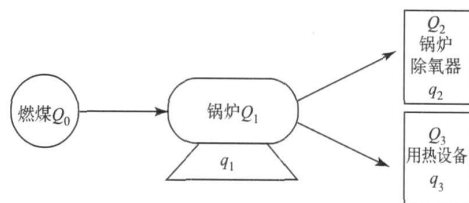


图 3 供热系统热平衡原理

2.2 物料平衡原理

轮胎企业供热系统的物料平衡原理如图 4 所示,有:

$$W_0 = W_1 - W_2 + w_1 + w_1' \quad (6)$$

$$W_1 = W_2 + w_2 + w_2' \quad (7)$$

$$\Phi = (W_2/W_1) \times 100\% \quad (8)$$

式中 W_0 ——补充软化水, t·h⁻¹;
 W_1 ——用汽车间的蒸汽消耗量, t·h⁻¹;
 W_2 ——回收利用的凝结水量, t·h⁻¹;
 w_1 ——锅炉除氧系统部分的排污水量, t·h⁻¹;
 w_2 ——用汽车间的排凝结水量, t·h⁻¹;
 w_1' ——锅炉除氧系统部分的排废蒸汽量, t·h⁻¹;
 w_2' ——用汽车间凝结水回收箱的排废散蒸汽量, t·h⁻¹;
 Φ ——凝结水的回收利用率, %。

不同轮胎企业的凝结水的回收利用率不同,这要看节能技术改造效果而定。

3 废热回收节能潜力测算分析

3.1 轮胎企业余热回收状况

通常,在轮胎硫化过程中,无论是过热水硫化工艺还是蒸汽充氮气硫化工艺,进入胶囊内的蒸汽或冷凝水是有一定腐蚀性的,目前没有切实可行的回收方案,即对锅炉有腐蚀作用的水和蒸汽不能直接回收到锅炉内,必须进行水质分析,处理到满足锅炉给水指标要求后才可回收利用。斜交轮胎硫化用过热水加热蒸汽压力为 0.9 MPa 或 1.9 MPa 直接在热水站除氧器中热交换后作为过热水进入斜交轮胎硫化胶囊内,在产量一定且无泄漏的状况下,过热水势必增加而逐步排放掉。子午线轮胎硫化用蒸汽压力为 $1.4\sim 1.8\text{ MPa}$ 蒸汽在胶囊中因冲入氮气后变为冷凝水,进入热水站冷凝水回收箱而排放掉。若水质指标满足锅炉水质要求是可以回收作为锅炉给水的。斜交轮胎外压蒸汽和子午线轮胎外温热板蒸汽及其它所用

蒸汽设备的废蒸汽和冷凝水是可以回收直接作为锅炉给水的,无需软化处理及设备,这样可以减少水质软化处理费用和设备投资费用,节约成本。

合理的蒸汽供热系统关键在于冷凝水回收系统能否高效地将冷凝水回收利用,且系统运行是否可靠等。传统的冷凝水回收系统是将冷凝水从用汽设备排出,经蒸汽疏水器排入开式的冷凝水回收箱,由凝结水泵送回锅炉除氧器与补充软化水混合除氧后,再由锅炉给水泵送入锅炉,这种回收系统为开式循环回收系统,如图5所示。这种冷凝水回收系统将排放出大量的二次蒸汽,并带走大量的热能源。为达到综合有效的回收能源,将冷凝水和废蒸汽一并高效回收利用,可采用闭式循环回收系统,如图6所示。该系统大大减少了散蒸汽及热量排放现象,能源回收率高,是轮胎企业进行节能技术改造发展的方向。

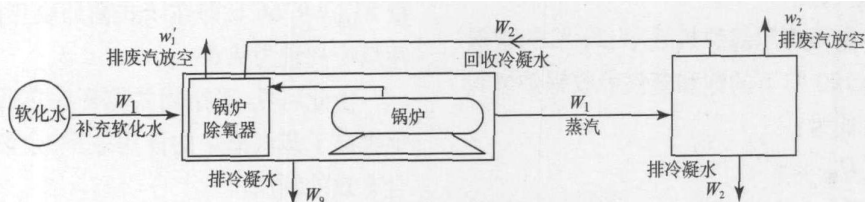


图4 供热系统物料平衡原理示意

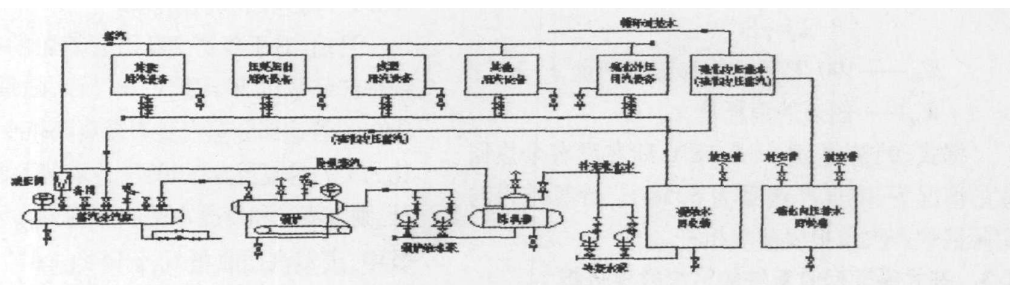


图5 轮胎企业开式循环余热回收系统示意

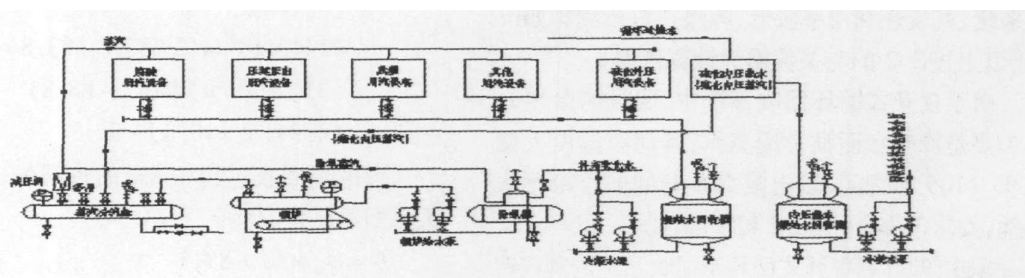


图6 轮胎企业闭式循环余热回收系统示意

3.2 废热未回收时的锅炉蒸汽产量计算

据不完全统计,我国国有大型轮胎生产企业不足 20 家,而大多数轮胎企业为中小型生产规模,轮胎年产量在 80 万~200 万套。根据众多轮胎企业的经验,年产 200 万套轮胎的企业使用的蒸汽锅炉的额定蒸发量一般为 20~35 t·h⁻¹,出口压力均按有热电联产情况考虑选型,为 2.0~2.5 MPa 锅炉的热效率在 70%~90% 之间。对于未采取冷凝水回收系统的轮胎企业,其蒸汽的产量计算如下。

计算条件:(1)年产 200 万套轮胎企业的蒸汽锅炉按额定蒸发量 $W_e=35 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ 选型计;(2)锅炉的热效率按 $\eta=80\%$ 计;(3)蒸汽锅炉的燃料以普遍使用的燃煤计算,其燃烧值 $q_M=18\,883.4 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$;(4)所产蒸汽按 190℃ 下的饱和蒸汽,其焓值 $H_{90}=2\,793.1 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ 计;(5)补充给锅炉除氧器的软化水按 20℃ 的常温水,其焓值 $h_0=83.8 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ 计。

根据热平衡原理和锅炉热效率,20℃ 的常温水软化水转化为 190℃ 下的饱和蒸汽吸收锅炉燃料的热量计算恒式为:

$$\sum Q_S = \sum Q_{MF} \times \eta$$

$$\text{即 } W_Q \times (H_{90} - h_0) = W_M \times q_M \times \eta \quad (9)$$

式中 $\sum Q_{MF}$ ——燃料煤燃烧所放出的热量, $\text{kJ} \cdot \text{h}^{-1}$;

W_Q ——190℃ 下的饱和蒸汽产量, $\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$;

W_M ——燃煤的消耗量, t 。

据式(9)算得: $W_Q=5.58 \text{ t}$,即在无余热回收的情况下,吨煤产汽量为 5.58 t。计算结果与实际锅炉产汽量报表基本相符。

3.3 开式循环回收系统的节能效果分析

目前,我国大多数轮胎企业采用开式循环回收系统,其废热利用率较低,吨煤产汽量测算如下(仍以上述 3.2 的有关数据为计算依据)。

由于在开式循环回收系统中,回收的废热介质主要是冷凝水而没有废蒸汽,其回收温度大概在 95~105℃ 之间,以上限 105℃ 的回收冷凝水为例,其焓值 $h_{05}=440.2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

据式(9)计算得开式循环不回收系统的蒸汽产量 $W_{QK}=6.42 \text{ t}$,即在开式循环废热回收系统中,吨煤产汽量为 6.42 t。

3.4 闭式循环回收系统的节能效果分析

采用闭式循环回收系统,就能减少大量的散蒸汽及热量排放现象,能源回收率高。在此种情况下,回收的余热介质是废蒸汽及冷凝水的混合体(两者比值为 3:7),温度至少在 105℃ 以上,甚至高达 130℃。我们以最低 105℃ 为计算依据,此时热水的焓值 $h_{20}=440.2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$,蒸汽的焓值 $H_{05}=2\,683.6 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。废蒸汽及冷凝水混合体的平均焓值 $H_1=1\,113.94 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

由式(9)计算得闭式循环回收系统的蒸汽产量 $W_{QB}=9.0$,即在闭式循环废热回收系统中,吨煤产汽量为 9.0 t。

如以最高回收温度 130℃ 为计算依据,此时热水的焓值 $h_{30}=583.8 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$,蒸汽的焓值 $H_{30}=2\,736.1 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。废蒸汽及冷凝水混合体的平均焓值 $H_1=1\,229.49 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

由式(9)计算得闭式循环回收系统的蒸汽产量 $W_{QB}=9.66 \text{ t}$,即在闭式循环废热回收系统中,吨煤产汽量为 9.66 t。

由此可见,采用闭式循环废热回收系统大大地提高了蒸汽锅炉的使用效率,余热能源得到综合有效的利用。

3.5 废热回收节能潜力测算

3.5.1 每天回收热量测算

目前,对于年产 200 万套轮胎的企业来讲,其锅炉产汽量以 $W=25 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ 计,则每天产汽量为 600 t。若这部分蒸汽变为废蒸汽和冷凝水(两者之比为 3:7 温度至少在 105℃ 左右)后,回收率以 80% 计,则废蒸汽和冷凝水回收量为 $G_{QS}=480 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ 。其中,废蒸汽回收量 $G_Q=144 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$,冷凝水回收量 $G_S=336 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ 。因此,总的回收热量 Q_1 为:

$$\begin{aligned} Q_1 &= G_Q (H_{05} - h_0) + G_S (h_{05} - h_0) \\ &= 144 \times 10^3 \times (2\,683.6 - 83.8) + \\ &\quad 336 \times 10^3 \times (440.2 - 83.8) \\ &= 4\,941.2 \times 10^8 \text{ kJ} \cdot \text{d}^{-1} \end{aligned}$$

考虑到回收过程中 8% 的热损失,实际上每天总回收热量 Q 为:

$$\begin{aligned} Q &= Q_1 \times (1 - 8\%) \\ &= 4\,941.2 \times 10^8 \times (1 - 8\%) \\ &= 4\,546 \times 10^8 \text{ kJ} \cdot \text{d}^{-1} \end{aligned}$$

3.5.2 全年总回收热量

以 350 个生产日计算, 则全年总回收热量:

$$\sum Q = 4\,546 \times 10^8 \times 350 = 1\,591\,1 \times 10^{11} \text{ kJ}$$

3.5.3 全年节煤量 $\sum W_M$

折算为燃煤, 则全年节煤为:

$$\sum Q = \sum W_M \times q_M$$

所以

$$\sum W_M = \sum Q / q_M$$

$$= 1\,591\,1 \times 10^{11} \div 18\,883.4$$

$$= 8\,426 \text{ (燃煤)}$$

经测算, 实际可节约标准燃煤为 5 429 t, 但这种燃煤市场较少, 而且价格高。

3.5.4 全年节约软化水量 $\sum W_S$

$$\sum W_S = 480 \times 350 = 168\,000 \text{ t}$$

3.5.5 全年节约资金 $\sum R$

$$\sum R = \sum W_M \times V_M + \sum W_S \times V_S$$

式中 V_M ——燃煤的单价, 普遍使用的燃煤单价大约 200 元 $\cdot \text{t}^{-1}$;

V_S ——目前水的单价, 大约 3.20 元 $\cdot \text{t}^{-1}$ (工业用水价格)。

计算得 $\sum R = 222.28$ 万元。

考虑到废热回收过程中回收凝结水泵 (输送到锅炉除氧器) 的动力消耗: 4 台 7.5 kW 的电机全负荷计算, 则年消耗电

$$D = 4 \times 7.5 \times 24 \times 350 = 252\,000 \text{ kWh}$$

相当于消耗电费 15.12 万元 (电费价格以 0.6 元 $\cdot \text{kWh}^{-1}$ 计, 实际上没有这么多)。

因此, 全年实际节约资金: 207.16 万元。

3.5.6 效益评估

可见, 采用闭式循环回收系统, 大大减少了散蒸汽及热量排放现象, 能源回收率高, 全年回收投资资金达 200 余万元, 技术改造后全部投入运行, 在较短

的投资回收期内即可得到高值回报, 为企业增收节支, 创造良好的经济效益、环境效益和社会效益。

4 节能技术改造方案

节能减排, 为企业增效是我们每个轮胎企业的神圣职责和追求的目标, 各轮胎企业在节能技术改造实践中总结了不少的经验, 也为企业创造了可观的经济效益和社会效益。然而, 各轮胎企业的节能技术改造方案/方式不同, 都在探索最佳的节能技术改造方案。这里简要介绍一些节能改造方案。

废热回收作为轮胎 (斜交轮胎) 硫化工段胎坯烘房采暖的加热介质; 废热回收间接加热澡堂洗澡用水; 废热回收作为锅炉给软化水的加热介质; 废热回收作为成型工段溴化锂吸收式空调机的动力能源; 废热回收作为炼胶车间的原料烘房加热介质; 直接或间接回收入锅炉除氧加热器以及锅炉给水系统的加热介质, 形成闭式或开式循环; 废热回收作为轮胎胎坯定型蒸汽介质; 废热回收作为其它加热介质用等。

以上各个节能改造方案各有其优缺点, 轮胎企业可根据自身具体特点进行实施节能技术改造。

5 结语

综上所述, 轮胎企业进行废蒸汽及冷凝水回收节能技术改造, 对降低公司产品的能源、动力消耗成本是可行的。采用闭式循环废热回收系统是轮胎企业进行节能技术改造的发展方向。这将为企增收节支, 创造良好的经济效益、环境效益和社会效益。

参考文献: 略

(上接第 9 页)

2.5 包塑工艺代替包铅工艺

为避免铅污染, 胶管的包铅硫化工艺不再使用, 我国 20 世纪 80 年代以来引进的多台包铅机组只好废置。胶管生产工艺的最新动向是用包塑工艺代替包铅工艺。

包塑工艺有以下 3 种。

1. 包 PA 国外采用熔融包覆工艺, 国内采用

挤出包覆工艺。

2 包 PP 采用挤出包覆工艺 (国内某企业已用于生产, 但尚未见文献报道)。PP 热收缩性能不如 PA 但价格比较低廉。

3 包 PA/PP (共混比 70/30) 共混物, 包覆形状记忆合金 (但未见国内外工业化生产的报道)。

参考文献: 略

(完)