

轮胎生产工艺节能技术改造效益分析

张圆明, 陈庆文, 何军飞

(广州能源检测研究院, 广东 广州 510170)

摘要:对半钢子午线轮胎生产企业实施的炼胶隔离剂热风加温系统节能技术改造、动力循环水系统节能技术改造、硫化工序外排废蒸汽余热回收 3 个项目的技术原理和节能效益进行分析。3 个项目分别采用额定功率小的活塞式压缩机代替功率大的螺杆式空气压缩机、矢量控制型变频器进行负荷调节及由溴化锂制冷机组替代 4 台电制冷机组等措施, 每年可分别节约标准煤 505.2、637.2 和 1 694.8 t, 节能效果显著; 单位产品(每吨轮胎)综合能耗由 2010 年的 428 kg 标准煤下降到 2013 年的 376 kg 标准煤, 达到了半钢子午线轮胎单位产品能耗先进值。

关键词:半钢子午线轮胎; 生产工艺; 节能; 技术改造; 效益

中图分类号:TQ336.1; X783.3 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-8171(2014)07-0395-05

近年来我国能源消费总量迅速增长, 能源资源约束问题日益加剧。我国“十二五”节能目标确立为单位国内生产总值(GDP)能耗下降 16%, 需节能 6.7 亿 t 标准煤, 高于“十一五”的节能量(6.3 亿 t 标准煤)。2010 年我国轮胎总产量达到 4.43 亿条^[1], 增长速度很快, 但轮胎生产过程中需消耗大量的电力和蒸汽, 轮胎行业是重点耗能行业。国家对轮胎行业的单位产品综合能耗监管力度逐步加大, 以半钢子午线轮胎为例, 从 2013 年 10 月 1 日起, 已建成的轮胎生产企业应达到每吨轮胎能耗不大于 530 kg 标准煤的单位产品能耗限定值要求, 新建、改扩建轮胎生产项目应达到每吨轮胎能耗不大于 420 kg 标准煤的单位产品能耗准入值要求^[2]。

某半钢子午线轮胎生产企业积极实施节能技术改造, “十二五”期间先后实施了炼胶隔离剂热风加温系统节能技术改造、动力循环水系统节能技术改造和硫化工序外排废蒸汽余热回收 3 个项目, 本文对这 3 个项目的技术原理和节能效益分析如下。

1 炼胶隔离剂热风加温系统节能技术改造

1.1 节能技术原理

在子午线轮胎炼胶胶片生产环节, 需要把胶

片输入至隔离剂池, 使胶片外表面沾上隔离剂, 避免胶片间相互粘结; 胶片从隔离剂池输送出来后, 需要使用压缩空气把胶片吹干, 即需要 1 台空气压缩机持续对胶冷线胶片进行吹干。炼胶隔离剂热风加温系统节能技术改造项目的工艺流程为: 空气压缩机消耗电能后, 通过压缩机做功, 把常压空气压缩成高压气体, 通过管道系统输送至胶冷线, 对胶片进行吹干。项目实施前使用传统工艺技术, 利用额定功率为 450 kW 的螺杆式空气压缩机生产压缩空气, 压缩空气经冷冻干燥后, 对胶冷线胶片进行吹干。这种吹干方式能耗高, 并且很难吹干胶片水迹, 特别是在潮湿天气更是无法吹干。常温下隔离剂池隔离剂浓度低, 要满足工艺要求必须加大用气量。项目改造后, 利用额定功率为 250 kW 的活塞式空气压缩机生产压缩空气, 从空气压缩机出来的压缩空气约 175 ℃, 经过热交换器调节到 100 ℃后, 再送到高温储气罐, 从高温储气罐出来的压缩空气经过调节减压, 压力由(0.7~0.8) MPa 降至 0.4 MPa。从高温储气罐铺设 1 路 $\Phi 100$ mm 的保温管送气到车间, 再变至 $\Phi 50$ mm 的保温管送到各机台, 到机台后又分两路分别到胶片吹水装置和隔离剂池。项目改造后压缩空气输送流程如图 1 所示。

技术改造后, 输送到生产车间机台的压缩空气温度为 80 ℃左右, 可将胶片水迹迅速吹干, 用气量大大减少; 同时压缩空气给隔离剂池传热, 并

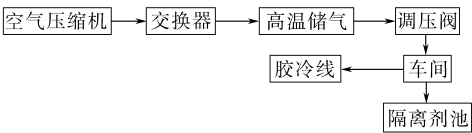


图1 项目改造后压缩空气流程

安装1套温控系统将隔离剂池水温恒定在60℃，使隔离剂能更均匀地分布在胶片上，降低能耗的同时提高了胶片折叠隔离效果。

该项目的节能技术原理为：利用空气压缩机自身工作产生的热能提高吹风温度，快速彻底吹干胶片隔离剂水迹，减少用气量，提高胶片折叠隔离质量。因此，可以采用额定功率小的活塞式压缩机代替功率大的螺杆式空气压缩机，减少用电量，达到节能效果。项目改造前后空气压缩机组的主要技术参数对比如表1所示。

表1 改造前后空气压缩机组主要技术参数对比

项 目	改造后	改造前
空气压缩机类型	活塞式	螺杆式
额定功率/kW	250	450
供气压力/MPa	0.4	0.8
供气温度/℃	80	常温
体积流量/(m ³ ·min ⁻¹)	40.0	81.0

1.2 节能效益

该项目于2012年2—6月期间实施完成，于2012年7月起投入使用并正常运转。改造前后产品种类不变，均为胶冷线胶片干燥处理；能源消费种类不变，均为空气压缩机消耗的电能。项目范围内安装了电能表计量空气压缩机组的电力消耗量，并安装了电子秤计量经干燥处理的胶片量。改造前2011年2月至2012年1月期间，炼胶胶片产量为87 773 945 kg，用电量为3 723 489 kW·h，单位胶片耗电量为0.042 4 kW·h·kg⁻¹，综合能源消费量当量值为457.6 t标准煤；技术改造后2012年7月至2013年1月期间，炼胶胶片产量45 385 208 kg，用电量为1 111 374 kW·h，单位胶片耗电量为0.024 5 kW·h·kg⁻¹，综合能源消费量当量值为136.6 t标准煤。本项目一年可节约能源505.2 t标准煤[(0.042 4-0.024 5)×87 773 945×3.215 4×10⁻⁴=505.2，其中3.215 4×10⁻⁴ t标准煤·(kW·h)⁻¹为电力折标系数，下同]，节能效

果显著。

2 动力循环水系统节能技术改造

2.1 节能技术原理

企业动力循环水系统包含机泵房供水泵、回水泵、冷却水泵及污水站回水泵共24台，其额定功率如表2所示。改造前这些水泵采用人工调节模式，通过调节阀门大小改变供水压力、流量、温度等系统参数以满足生产需要，调节过程中电动机均处于全速运行，实际运行功率接近额定功率，水输送效率低，系统能耗大，存在较大的节能空间。

表2 动力循环水系统水泵额定功率

设备名称	额定功率/kW
1#~7#供水泵	90
1#~3#回水泵	45
4#~5#回水泵	75
1#~6#冷却水泵	75
7#~9#冷却水泵	110
6#~8#回水泵(污水站)	110

由于存在水泵运行时间长、能耗高、负荷变化大等问题，因此考虑采用矢量控制型变频器进行负荷调节，以节约电能消耗。采用无速度传感器矢量控制技术不仅可使异步电动机的调速性能达到与直流电动机媲美的效果，而且能使普通异步电动机达到力矩电动机的控制性能。控制系统具有快速响应、控制准确和稳定性高等特点。

通过传感器对动力循环水系统的温度和压力进行检测，将检测数据传输至PLC进行处理，处理后由PLC发出指令控制变频器进行频率调节、改变电动机转速，从而实现电动机的实时调节，提高水的传输效率，在负载相同的情况下大大降低了电动机的能耗。改造后，可实现系统实时监控、自动调节的功能，同时配备故障自诊断模式，避免人工误操作引起电能浪费。此外，对动力循环水系统24台水泵的现场控制柜进行改造，全部采用变频器及PLC一拖一控制，实现24 h不间断变频恒压供水，压力稳定在(0.285±0.005) MPa。改造投入的设备主要有变频器、变频操作柜、压力传感器、温度传感器、中央控制系统、触摸屏、开关电源、PLC及其模块。

2.2 节能效益

本项目为合同能源管理项目,每台水泵均安装了现场电能表进行电量计量。项目实施前主要采用人工抄表的方式进行计量,每月由抄表人员对每台水泵电表进行记录。项目改造后,各水泵现场控制柜统一采用智能电度表,电表数据通过 PLC 进行采集后,由工控计算机进行汇总计算,直观反映出动力循环水系统实时能耗。

2.2.1 改造前后能源消耗

该项目于 2012 年 8—10 月期间实施完成,2012 年 11 月起投入使用并正常运转。改造前后项目范围内用电量统计如表 3 所示。从表 3 可以看出,项目改造后月用电量同比大幅降低。

表 3 改造前后项目范围内用电量统计

月 份	用电量/ (kW · h)	月 份	用电量/ (kW · h)
改造前		2012 年 4 月	576 614
2011 年 1 月	309 839	2012 年 5 月	699 071
2011 年 2 月	425 873	2012 年 6 月	841 085
2011 年 3 月	541 930	2012 年 7 月	868 737
2011 年 4 月	625 897	2012 年 8 月	826 630
2011 年 5 月	726 841	2012 年 9 月	669 759
2011 年 6 月	795 433	2012 年 10 月	426 594
2011 年 7 月	1 264 925	改造后	
2011 年 8 月	756 785	2012 年 11 月	347 700
2011 年 9 月	638 023	2012 年 12 月	286 376
2011 年 10 月	492 232	2013 年 1 月	256 633
2011 年 11 月	520 529	2013 年 2 月	218 173
2011 年 12 月	404 489	2013 年 3 月	361 614
2012 年 1 月	344 419	2013 年 4 月	393 011
2012 年 2 月	464 728	2013 年 5 月	662 997
2012 年 3 月	494 047		

2.2.2 年节能量

项目改造前一个月由合同能源管理实施双方共同监测、确认每台水泵的运行平均功率如表 4 所示。根据表 4 中各水泵的平均功率,模拟计算项目改造后(2012 年 11 月—2013 年 5 月)水泵处于工频运行状态的用电量,计算结果如表 5 所示。

从表 5 可知,工频下动力循环水系统 24 台水泵耗电量模拟计算值总和(W_m)为 4 241 705.5 kW · h;实际上,各水泵改造后处于变频模式运行,通过电表统计得知实际耗电量(W_s)为 3 057 971.7 kW · h。

表 4 改造前水泵运行平均功率监测数据

水泵名称	额定功率/ kW	运行时间/ min	运行电量/ (kW · h)	平均功率/ kW
1# 供水泵	90	4 279	6 396.0	89.68
2# 供水泵	90	5 679	6 990.0	73.85
3# 供水泵	90	5 662	7 548.0	79.99
4# 供水泵	90	4 258	5 742.0	80.91
5# 供水泵	90	5 659	7 948.8	84.28
6# 供水泵	90	5 721	8 592.0	90.11
7# 供水泵	90	5 660	8 542.8	90.56
1# 回水泵	45	5 666	3 449.7	36.53
2# 回水泵	45	5 730	3 312.0	34.68
3# 回水泵	45	5 665	3 402.9	36.04
4# 回水泵	75	5 735	5 610.0	58.69
5# 回水泵	75	5 673	5 325.0	56.32
1# 冷却水泵	75	4 279	5 508.0	77.23
2# 冷却水泵	75	5 663	6 478.5	68.64
3# 冷却水泵	75	5 402	6 471.0	71.87
4# 冷却水泵	75	5 668	6 084.0	68.64
5# 冷却水泵	75	5 727	6 930.0	72.60
6# 冷却水泵	75	5 666	6 172.5	65.36
7# 冷却水泵	110	5 716	8 712.0	91.45
8# 冷却水泵	110	5 662	7 341.6	77.80
9# 冷却水泵	110	5 664	10 440.0	110.59
6# 回水泵 (污水站)	110	5 716	8 928.0	93.72
7# 回水泵 (污水站)	110	5 657	9 600.0	101.82
8# 回水泵 (污水站)	110	5 656	10 416.0	110.50

计算年节能量时首先应计算水泵系统变频改造后的节电率(K),然后结合项目改造前年耗电量的统计数据计算项目节电量,再根据电力折标系数进行折算。 K 计算公式为

$$K=\frac{W_m-W_s}{W_m}$$

(1)

改造前统计期为 2011 年 8 月—2012 年 7 月,24 台水泵年用电量(W_{sn})为 7 100 761 kW · h,则年节电量(W_n)计算公式为

$$W_n=W_{sn} \cdot K$$

(2)

年节能量为年节电量与电力折标系数的乘积,根据上述公式,可以计算得年节能量为 637.2 t 标准煤。

3 硫化工序外排废蒸汽余热回收

3.1 节能技术原理

企业硫化工艺使用1.4 MPa(内压蒸汽,占

表 5 改造后水泵工频运行的耗电量模拟计算值

水泵名称	额定功率/ kW	运行时间/ h	工频电量/ (kW·h)	平均功率/ kW
1# 供水泵	90	4 264.27	382 438.95	89.68
2# 供水泵	90	644.96	47 630.96	73.85
3# 供水泵	90	3 615.00	289 148.92	79.99
4# 供水泵	90	1 296.11	104 869.85	80.91
5# 供水泵	90	927.18	78 140.68	84.28
6# 供水泵	90	3 951.03	356 027.31	90.11
7# 供水泵	90	4 832.50	437 631.20	90.56
1# 回水泵	45	13.23	483.30	36.53
2# 回水泵	45	4 762.02	165 149.85	34.68
3# 回水泵	45	4 893.27	176 359.84	36.04
4# 回水泵	75	4 859.97	285 242.53	58.69
5# 回水泵	75	0	0	56.32
1# 冷却水泵	75	3 559.07	274 866.98	77.23
2# 冷却水泵	75	0	0	68.64
3# 冷却水泵	75	387.93	27 881.84	71.87
4# 冷却水泵	75	2 507.59	172 120.98	68.64
5# 冷却水泵	75	3 782.18	274 599.34	72.60
6# 冷却水泵	75	0	0	65.36
7# 冷却水泵	110	842.25	77 022.55	91.45
8# 冷却水泵	110	76.40	5 943.82	77.80
9# 冷却水泵	110	1 132.03	125 191.20	110.59
6# 回水泵	110	4 882.80	457 595.92	93.72
(污水站)				
7# 回水泵	110	4 213.14	428 981.91	101.82
(污水站)				
8# 回水泵	110	673.10	74 377.55	110.50
(污水站)				

20%)和 0.9 MPa(外压蒸汽,占 80%)两种压力等级的饱和蒸汽,使用后废蒸汽直接外排,造成热量损失。经分析,内压蒸汽由于接触硫化胶囊,其内部含有粘附性黑色胶粒,如将其回收作为锅炉给水,将会造成过滤器的堵塞以及锅炉除氧器调料、汽包、联箱附上一层难以清理的黑色胶粒,并且内压蒸汽量比较小,因此不回收内压废汽。外压蒸汽直接接触金属模具,是非常洁净的二次能源,回收价值非常高,可回收使用。

企业在所有硫化机外压出汽管上安装疏水阀,并将疏水后的汽水混合物汇总至一根蒸汽回收总管,在蒸汽闪蒸罐中集中,经过汽水分离后蒸汽和冷凝水分别回收使用。

(1)蒸汽在闪蒸罐中憋压至 0.35 MPa(表压),通过蒸汽管道输送至低压用户,如食堂、中央空调、里程实验室、炼胶车间、锭子房、锅炉除氧器及溴化锂制冷机组。

(2)冷凝水经过大排量疏水阀输送至冷凝水箱,再用水泵送回锅炉除氧器。

企业共投资 492 万元用于废蒸汽和冷凝水回收装置和蒸汽管网的改造以及溴化锂制冷机组的采购安装;项目实施后企业原有的 4 台电制冷机组将由溴化锂制冷机组替代,大大减少了制冷电能的使用。

3.2 节能效益

3.2.1 蒸汽余热利用节能量

在空调制冷季节,蒸汽主要提供给溴化锂制冷机组使用,经制冷机使用后蒸汽变成 65~70℃的冷凝水,再将其输送至锅炉除氧器,实现能源的梯级利用;在非空调制冷季节,不使用溴化锂制冷机组,蒸汽提供给食堂、里程实验室、炼胶车间、锭子房和锅炉除氧器等使用。

3.2.1.1 空调季节蒸汽余热利用节能量

在空调制冷季节(5—10 月,以 165 天计),蒸汽主要供给溴化锂制冷机组使用,以制取空调冷冻水。相对于电制冷机组,溴化锂制冷机组省去了冷水机组压缩机的电耗,电耗由废蒸汽的余热取代;增加的电耗主要为机组控制系统和内部溶液泵的电耗;其他附属设备如冷冻水泵、冷却水泵和冷却塔风机等的能耗在改造前后基本不变。因此,蒸汽废热制冷带来的节能量为蒸汽余热利用量与机组控制系统和溶液泵能耗之差。

经测量,进入吸收式制冷机组的蒸汽为 130℃的干饱和蒸汽,从制冷机组出来的凝结水温度为 66.3℃,蒸汽和凝结水流量为 2.16 t·h⁻¹,则每小时蒸汽余热利用量(Q)的计算公式为

$$Q=m \cdot (h_1-h_2) \tag{3}$$

式中 m ——蒸汽或凝结水流量,kg·h⁻¹;
 h_1 ——进汽焓值,kJ·kg⁻¹;
 h_2 ——出水焓值,kJ·kg⁻¹。

经查表计算,进汽焓值为 2 719.9 kJ·kg⁻¹,出水焓值为 277.5 kJ·kg⁻¹,则蒸汽每小时的余热利用量为 5 275 584 kJ。按照一年制冷机组运行 165 天、一天机组运行 24 h 计,则年蒸汽余热利用量为 2.089 13×10¹⁰ kJ。折标准煤系数取 3.412×10⁻¹¹ t 标准煤·J⁻¹(下同),则一年节约标准煤 712.8 t。

机组控制系统和溶液泵通过同一个配电柜供

电,经测量,其运行功率之和为 6.51 kW。改造后年耗电量为 25 779.6 kW·h,年增加能耗量为 8.3 t 标准煤。综上所述,蒸汽废热制冷带来的年节能量为 704.5 t 标准煤。

3.2.1.2 非空调季节蒸汽余热利用节能量

在节能改造前,食堂、里程实验室、炼胶车间、饺子房消耗的蒸汽直接由锅炉供给,改造后在非空调制冷季节,溴化锂制冷机组不开启,不使用硫化机外压出汽的余热,余热蒸汽切换给食堂、里程实验室、炼胶车间、饺子房等使用,减少锅炉供汽量。

假设锅炉提供上述蒸汽,需要热量(Q_G)为

$$Q_G = m_G \cdot (h_{G1} - h_{G2}) \tag{4}$$

式中 m_G ——余热蒸汽流量,kg·h⁻¹;

h_{G1} ——余热蒸汽焓值,kJ·kg⁻¹;

h_{G2} ——锅炉除氧器给水焓值,kJ·kg⁻¹。

经查表计算,余热蒸汽焓值为 2 719.9 kJ·kg⁻¹,锅炉除氧器给水焓值为 83.86 kJ·kg⁻¹,因此锅炉需提供热量为 5 693 846.4 kJ·h⁻¹。按照一年非空调季节生产和动力车间运行 165 天,一天运行 24 h 计,则一年锅炉需提供热量为 22 547 631 744 kJ,折标准煤 769.3 t,即节能改造后相当于每年节约标准煤 769.3 t。

综上所述,蒸汽余热利用年节能量为蒸汽空调季节节能量与非空调季节节能量之和,即每年 1 473.8 t 标准煤。

3.2.2 冷凝水余热利用节能量

蒸汽闪蒸罐汽水分离后的冷凝水被送回锅炉除氧器。在锅炉除氧器入口处测得冷凝水温度为 88.8℃,除氧器给水温度以 20℃计。经计量,冷

凝水回收量为 2.84 t·h⁻¹。

冷凝水回收余热(Q_L)计算公式为

$$Q_L = c \cdot m_L \cdot \Delta t \tag{5}$$

式中 m_L ——冷凝水回收量,t·h⁻¹;

c ——水的比热容,4.186 kJ·(kg·℃)⁻¹;

Δt ——除氧器入口处冷凝水实测温度与除氧器给水温度之差。

将数据代入上述公式,计算得 Q_L 为 817 910.91 kJ·h⁻¹。以企业生产和动力车间每年运行 330 天、每天运行 24 h 计算,年冷凝水余热回收量为 6 477 854 423.0 kJ,折标准煤 221.0 t。

3.2.3 项目总节能量

项目总节能量为废蒸汽回收和冷凝水回收节约标准煤之和,即年节能量为 1 694.8 t 标准煤。

4 结论

该轮胎生产企业“十二五”期间通过实施炼胶隔离剂热风加温系统节能技术改造、动力循环水系统节能技术改造和硫化工序外排废蒸汽余热回收 3 个项目,年节约标准煤分别为 505.2、637.2 和 1 694.8 t,节能效果显著;相应的单位产品(每吨轮胎)综合能耗由 2010 年的 428 kg 标准煤下降到 2013 年的 376 kg 标准煤,达到每吨半钢子午线轮胎 380 kg 标准煤的单位产品能耗先进值。

参考文献:

- [1] 刘桂生. 我国轮胎行业建设项目综合能源消耗研究[J]. 轮胎工业,2012,32(7):394-400.
- [2] GB 29449—2012,轮胎单位产品能源消耗限额[S].

收稿日期:2014-03-23

子午线轮胎用圆形截面钢丝圈制备方法

中图分类号:TQ330.38⁺9 文献标志码:D

由中国化工橡胶桂林轮胎有限公司申请的专利(公开号 CN 103707538A,公开日期 2014-04-09)“子午线轮胎用圆形截面钢丝圈制备方法”,涉及的子午线轮胎用圆形截面钢丝圈制备方法为:在钢丝缠绕装置上,将单根附胶钢丝缠绕于钢丝圈缠绕盘的内凹半圆形瓦块上而形成截面为圆形的钢丝圈,缠绕过程中,钢丝的卷取、钢丝之间

的水平排丝、钢丝之间的上下跳丝和钢丝的缠绕总量分别由钢丝缠绕装置上对应设置的伺服系统分别控制,各伺服系统通过线路与 PLC 控制器连接,实现自动化控制;钢丝缠绕装置与钢丝导开装置,布轮清丝装置,预热装置,挤出机,牵引、储料及冷却装置,预弯曲装置和钢圈包布缠绕装置构成圆形截面钢丝圈制造生产线。本发明具有取料精确、缠绕紧密、间隔均匀、圆形截面形状稳定的特点。

(本刊编辑部 马 晓)