

密闭式高温冷凝水回收技术在中密度纤维板生产中的应用

俞 俊

摘要 阐述密闭式高温冷凝水回收技术在林产工业企业的应用前景, 总结分析国家木材工业工程中心中试基地应用此技术在 MDF 生产中获得成功的经验。

关键词 高温冷凝水; 水回收; 节能增效

Application of Recycling Technology for Hermetically Sealed High-temperature Condensation Water in Medium Density Fiberboard (MDF) Production

Yu Jun

(Kunming Prospecting & Design Institute, Bureau of Forestry, Kunming 650031)

Abstract This paper anticipated application prospects for making use of recycling technology for hermetically sealed high-temperature condensation water in forest product industry fields and summarized successful experience of the technology applied in MDF Production of the National Engineering Center of Wood Industry.

Keywords High-temperature condensation water; Water recycling; Energy-saving

1 概述

高温冷凝水的回收利用, 历来是林产工业企业节能增效的重要课题, 1997 年 6 月中国林科院木材工业研究所与原林业部昆明勘察设计院的金杉监理公司共同合作, 为有效地回收利用人造板生产中冷凝水进行了研究与尝试, 成功地将密闭式高温冷凝水回收技术应用于中密度纤维板生产中。通过半年多的运行, 证明系统运行状况良好, 节能效果显著。现就应用中的一些经验介绍如下。愿此文对所有新建和已投产的林产工业企业的节能技术改造有所参考。

2 问题的由来

多年来, 在人造板工业生产中, 由于耗汽量较大的用热设备的用汽压力一般均在 1.0 MPa 以上, 有的甚至达 2.0 MPa。例如刨花板车间热压机的用汽压力一般要求在 1.8~2.0 MPa。这些用汽设备排放的冷凝水, 一般为蒸汽工作压力下的饱和水, 其水温均超过 100 °C, 用普通离心泵输送则要求在水泵入口

有足够的灌注压头, 否则将产生水泵的汽蚀现象。为避免汽蚀现象的发生, 一般均采用开式循环系统来回收冷凝水, 即将生产中各用热设备不同工作压力下的饱和水汇集于常压的冷凝水箱内, 待水温降至 70 °C 以下, 再用普通离心泵将其送回锅炉房软水箱。但开式循环回收系统存在着一个明显的缺点, 即当不同工作压力下的饱和水汇集于冷凝水箱时, 由于各高温冷凝水二次蒸发的蒸汽散发到大气中, 另外剩余的冷凝水与大气相通, 要回收利用就必须重新除氧。计算结果表明, 采用开式循环回收系统, 工质(软化水)的回收率可达 80% 左右, 但热能回收率却不到 30%。因此, 多年来在人造板工业生产中, 冷凝水的回收问题一直是企业和科研部门挖掘节能潜力的问题。

3 密闭式高温冷凝水回收装置的特点

密闭式高温冷凝水回收技术是大连理工大学利用喷射增压原理, 防止离心泵在输送高温饱和水时产生汽蚀现象而研制开发的技术。其关键是在离心泵入口处安装了一个喷射增压装置, 即防汽蚀装置。该装置由于为离心泵入口提供了所需的灌注压头, 因而

从根本上解决了高温冷凝水被输送时因冷凝水压力下降而产生的汽蚀问题。

据介绍,此装置从理论上讲有以下特征:

(1)在喷射增压装置中,喷射泵及混合室针对高温饱和和水易闪蒸的特点进行等压流线设计,混合室内闪蒸量得以最大限度地减少,喷射流和引射流混合最为充分。

(2)装置中的扩压段针对高温饱和水扩压时易分离的特点,设计成双层结构,内层等压降压扩压,外层循环冷却。保证饱和水扩压时不断层、不分离。

按上述理论特征,此装置可输送任何工况的饱和水;装置本身的汽蚀问题可通过水冷方式解决,从而大大地提高了装置输送的水温。

由于喷射增压防汽蚀装置解决了长期困扰人们的输送高温冷凝水会使水泵汽蚀的问题,为采用密闭式循环系统回收高温冷凝水创造了条件。

4 密闭式高温冷凝水回收技术在 MDF 生产中的应用

4.1 设计思路

人造板工业生产中供热系统的特点是:用汽点多、用汽压力高、且各用汽点压力不一致。为解决此问题,在国家木材工业工程中心中试基地 MDF 车间采用的办法是,将水汇集到集水罐中,并将集水罐工作压力整定在 0.3 MPa 左右。整定原则按集水罐工作压力必须比所汇集的冷凝水对应供热设备的工作压力低 70% 左右考虑,以保证各供热设备的疏水器有较大的背压度,冷凝水的输送方能通畅。但由于各冷凝水一般为供热设备工作压力下的饱和水,其水温均大于 0.3 MPa 压力下的饱和水温度。因此各冷凝水进入集水罐后将产生一定量的闪蒸汽。据计算,其闪蒸量一般为冷凝水回水量的 10% 左右。

在以往一些工程设计中,常将经喷射增压离心泵输送的高温冷凝水送入锅炉房除氧器内,但中试基地锅炉房是采用解析除氧,因此高温冷凝水不可能送入除氧器。由于送入除氧水箱的冷凝水一方面要再经过电动给水泵才能送入锅炉,这必然增加回收系统的电耗;另一方面由于热力喷雾除氧器工作压力为 0.02 MPa,除氧水箱内水温不能超过 104 ℃。当高温冷凝水过多进入除氧水箱后,其结果一是会造成除氧水箱内的水自身沸腾,影响除氧效果,二是沸腾后的蒸汽会跑到大气中,造成工质和热量的部分损失。所以在中试基地提出了将高温冷凝水直接经省煤器送入锅筒的构想。由于锅筒容积是集水罐容积的 10

倍左右,冷凝水泵每次输送的水对锅筒水位的升高基本无影响,因此冷凝水泵在输送冷凝水的过程中,可不考虑电动给水泵是否处于运行状态。冷凝水泵的控制与电动给水泵的控制各自独立,互不干扰。再则是根据所用锅炉热力计算书计算,额定工况下冷凝水经入省煤器后的温升约为 40 ℃。因此 140 ℃ 左右的高温冷凝水经省煤器温度最多到 180 ℃,此温度达不到省煤器出口水压力下的饱和温度,故省煤器不会汽化。

实践证明,按新的设计思路将高温冷凝水直接送入锅筒是中试基地成功应用密闭式高温冷凝水回收技术的关键。

4.2 设计特点

4.2.1 基础数据

表 1 中试基地中密度纤维板车间用汽负荷

Tab. 1 Steam consumption							
序号	用汽设备	用汽量 (t/h)	蒸汽压力 (MPa)	序号	用汽设备	用汽量 (t/h)	蒸汽压力 (MPa)
1	干燥机	3.5	1.1	4	石蜡调施胶	0.15	0.3
2	热压机	1.1	1.0	5	采暖系统	1.0	0.3
3	热磨机	1.1	0.6				

说明:本用汽负荷表中只有干燥机、热压机和采暖系统的冷凝水可以回收,其余用汽均属混合加热用汽。

4.2.2 冷凝水回收系统见图 1。

4.3 系统简要介绍

4.3.1 干燥机、热压机冷凝水经疏水器输出汇集于集水罐内到达高水位时,由差压变送器传送集水罐高低水位信号的 1[#]控制箱会自动起动冷凝水泵将水送至锅筒;集水罐水位到低水位时水泵自动停止。1[#]控制箱置于冷凝水泵站内,与锅炉房设备无任何联系。

4.3.2 集水罐顶部设有闪蒸汽出口,出口上装有一个蒸汽抽汽器(热泵)。当集水罐压力超过 0.3 MPa 时,从中纤板车间分汽缸引来表压 1.3 MPa 的新蒸汽进入热泵,抽吸罐内闪蒸汽,闪蒸汽与新蒸汽混合并自热泵出来后,要达到 0.6 MPa,以确保热磨机用汽的最低压力要求。同时闪蒸汽便得到了充分的利用。另外在集水罐顶部还设有一个安全阀。

4.3.3 冷凝水母管在进入锅炉省煤器前,须引一支路到软水箱。支路上装有一个常闭电磁阀,常闭电磁阀由 2[#]控制箱引锅炉房控制锅筒高低水位的差压变送器的信号控制其开闭。当锅筒水位到高水位时,常闭电磁阀打开,此时冷凝水便自动全部流入软水箱(因锅筒压力较软水箱压力高)。2[#]控制箱安装在锅炉房内,与冷凝水泵站无任何联系。

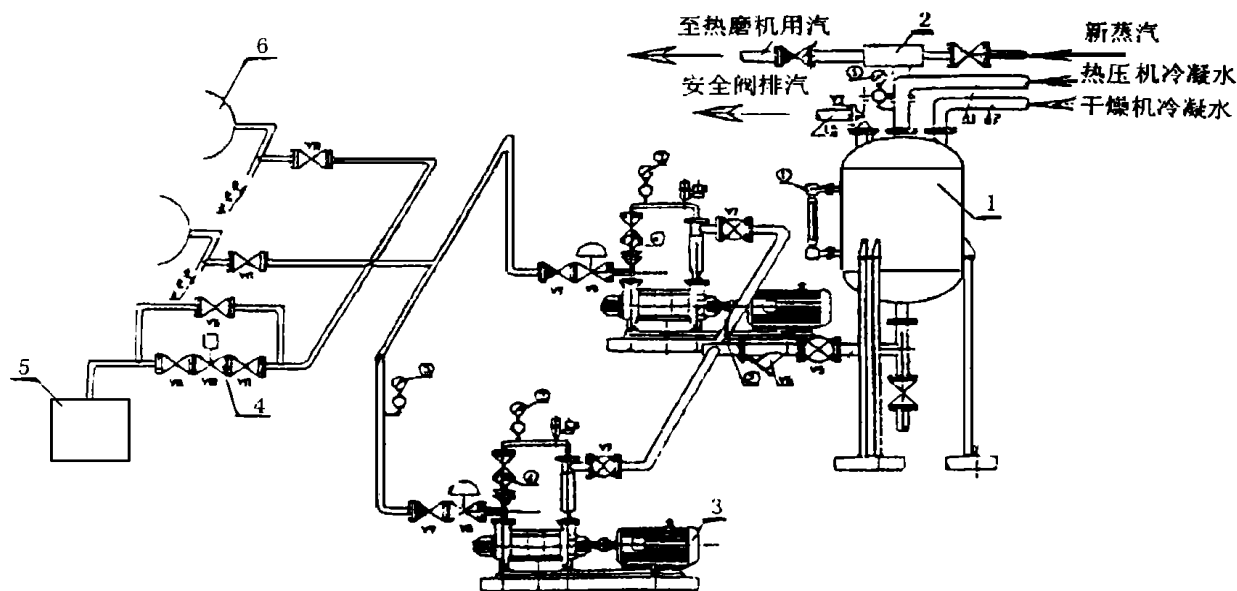


图 1 冷凝水回收系统

Fig. 1 Condensation water recycling system

1. 集水罐; 2. 蒸汽抽汽器(热泵); 3. 喷射增压防汽蚀离心泵; 4. 常闭电磁阀; 5. 软水箱; 6. 省煤器

4.3.4 省煤器进口与高温冷凝水管的连接位置, 应在锅炉高压除氧给水系统水管上的电动调节阀之后。因为如果将高温冷凝水管接在电动调节阀前, 当锅筒水位升高, 电动调节阀开度减少, 高温冷凝水管阻力增大, 输送时间过长, 这必然影响冷凝水泵的正常运行。但如果冷凝水管接在电动调节阀后, 不但冷凝水泵的运行不会受阻, 而且对高压给水系统也保持了原有的设计意图。

4.4 冷凝水回收系统运行情况

1997 年 12 月为配合中纤板生产线的顺利投产, 密闭式高温冷凝水回收系统也投入了试运行。从试运行的结果看, 设计基本达到了预期目的, 但某些环节也存在差异, 具体体现在:

4.4.1 新蒸汽通过热泵抽吸闪蒸汽的目的未实现。在新蒸汽进入热泵后, 其闪蒸汽不但未被抽走, 反而新蒸汽还串进了集水罐中, 其原因有二, 一是热泵离热磨机太远, 造成热泵进出口管线太长, 不利于建立抽汽真空, 二是闪蒸汽出口无止回阀, 在新蒸汽进入热泵之初由于流速过低未形成抽汽真空, 新蒸汽自然会跑到集水罐内。

4.4.2 干燥机个别疏水器有漏汽现象。从实际运行情况看, 虽然干燥机、热压机疏水器均为原设备供货方配供, 但用于高温冷凝水回收系统, 疏水仍是通畅的, 疏水器背压度满足设计要求。

4.4.3 原设计考虑喷射增压离心泵为连续运行, 但从实际运行情况看, 集水罐从低水位到高水位平均约

需 15 分钟, 而泵起动后, 冷凝水从高水位到低水位仅需 2 分半钟。水泵实际是间断运行。

4.4.4 由于冷凝水在输送过程中对锅筒水位的变化影响不大, 实际运行时就是锅筒水位在中上位置, 常闭电磁阀都不会动作, 因此整个系统运转非常正常。

4.5 关于采暖系统冷凝水回收问题

按原设计采暖系统冷凝水直接送到冷凝水箱内, 并与干燥机、热压机二次蒸发完后的冷凝水一起用冷凝水泵打回软水箱。由于该系统除了工质、热量不能全部回收外, 冷凝水还要经冷凝水泵、软水泵、电动给水泵三次运行方能送入锅筒。由于冷凝水箱置于地下, 增大了该系统的土建投资费用。但采用密闭式高温冷凝水回收系统后, 中纤板车间采暖系统冷凝水无法回收(采暖系统工作压力只有 0.3 MPa)。为此将采暖系统冷凝水引到距中纤板车间仅有 15m 的换热站内, 并用站内已投入使用的以蒸汽作动力的阿姆斯特壮冷凝水泵将其送回锅炉房软水箱。做到在未增加任何设备投资的前提下, 使车间采暖冷凝水得以回收利用。

5 经济效益分析

5.1 效益分析原则

经济效益分析是照原设计的开式循环系统而进行比较的。

5.2 基础数据

根据中试基地生产财务部门提供的资料, 其效益

分析基础资料如下:

燃煤发热量: 18840 kJ/kg 应用低位发热量
燃煤价格: 220 元/t
软化水价格: 3 元(其中自来水价格 1.3 元)/t
除氧给水价格: 3.2 元/t
电 价: 0.56 元/(°)

蒸汽价格: 70 元/t
年工作时间: 工作日 255 天, 其中采暖季 112 天
日工作时间: 22.5h
5.3 密闭式与开式系统小时及季节燃料、动力消耗
比较详见表 1。

表 2 密闭式与开式循环系统燃料和动力消耗比较

Tab. 2 Comparison of fuel and power consumption both in close & open systems

序号	名称	开式循环系统		密闭式循环系统	
		采暖季	非采暖季	采暖季	非采暖季
1	车间小时理论用汽量(t/h)	6.85	5.85	6.85	5.85
2	车间小时可利用的二次蒸汽量(t/h)	0.42		0.42	0.42
3	小时丧失于大气中的二次蒸汽量	0.423	0.76	0.083 ^a	
4	车间小时实际用汽量(t/h)	6.43	5.85	6.48 ^b	5.43
5	小时回软水箱的冷凝水量(t/h)	4.757	3.84	0.967	
6	季度回软水箱的冷凝水量(t/seas)	11 987	12 355	2 437	
7	小时回锅筒的冷凝水量(t/h)			4.18	4.18
8	季度回锅筒的冷凝水量(t/seas)			10 534	13 449
9	锅炉小时耗煤量(t/h)	1.14	1.05	1.05	0.87
10	锅炉季度耗煤量(t/seas)	2 873	3 378	2 646	2 799
11	软水泵小时电耗(°)/h	1.55	1.67	0.57	0.32
12	电动给水泵小时电耗(°)/h	11.2	10.25	4.10	2.30
13	冷凝水泵小时电耗(°)/h	1.74	1.50	7.56	7.56
14	三台水泵小时电耗合计(°)/h	14.49	13.42	12.23	10.18
15	三台水泵季度电耗合计(°)/seas	36 515	43 179	30 820	32 754
16	小时冷却水耗量(t/h)	0.30	0.30	0.20	0.20
17	季度冷却水耗量(t/seas)	756	965	504	644

注a. 为采暖冷凝水进阿姆斯壮泵后丧失于大气中的二次蒸汽量; b. 含阿姆斯壮泵动力用汽量 0.05t/h.

5.4 闭式与开式循环系统年综合节能价值比较详见表 3。

表 3 密闭式与开式循环系统年综合节能价值比较

Tab. 3 Comparison of comprehensive energy-saving between close & open systems

序号	名 称	开式循 环系统	密闭式循 环系统
1	系统设备及管道安装费(万元)	12	15
2	系统土建费(万元)	6	2
3	年耗煤量(t/a)	6 251	5 445
4	年回软水箱的冷凝水量(t/a)	24 342	2 437
5	年回锅筒的冷凝水量(t/a)		23 983
8	设备年折旧费(年折旧率为 10%)(万元/a)	1.2	1.5

5.5 密闭式与开式系统经济效益比较

5.5.1 年节煤价值

$M_2 = (6\,251 - 5\,445) \times 220 = 177\,320 \text{ 元}/a$

5.5.2 年多回收冷凝水价值

$M_2 = 23\,983 \times 3.2 + 2\,437 \times 3 - 24\,342 \times 3$
 $= 11\,031 \text{ 元}/a$

5.5.3 年节电价值

$M_3 = (79\,694 - 63\,574) \times 0.56 = 9\,027 \text{ 元}/a$

5.5.4 年节约冷却水价值

$M_4 = (1\,721 - 1\,148) \times 1.3 = 745 \text{ 元}/a$

5.5.5 年设备折旧增加价值

$M_5 = (1\,500 - 1\,200) = 3\,000 \text{ 元}/a$

5.5.6 年节约综合节能价值

$M = M_2 + M_2 + M_3 + M_4 - M_5 = 195\,123 \text{ 元}/a$

6 存在的问题与建议

6.1 关于集水罐中闪蒸汽的利用,其最佳方案是在集水罐压力未到 0.3 MPa 时,可将罐内闪蒸汽引至调施胶及浴室使用。当闪蒸量过大,集水罐压力超过 0.3 MPa 后,再用热泵抽吸至热磨机。热泵的安装位置应尽量放置在热磨机附近。此外,集水罐出口须装设止回阀,以免新蒸汽经热泵进入集水罐。

6.2 所有用汽设备宜选用背压度高,质量较好的疏水阀,否则一旦疏水阀漏汽,必然影响整个系统的正常运行。

6.3 高温冷凝水经省煤器送入锅筒对提高炉膛温
(下转第 35 页)

欧洲标准规定, 准耐水级 MDF 的平面抗拉强度为 0.7 N/mm^2 (2.5~4 mm 厚) 或 0.8 N/mm^2 (6~12 mm 厚), 吸水厚度膨胀率为 30% (2.5~4 mm 厚) 或 12% (6~9 mm 厚)。由试验结果可以看出, 按照以上工艺压制的 MDF 板, 这两项指标均达到要求。随着 MF 树脂用量的增加, 板材的吸水厚度膨胀率降低, 而甲醛释放量升高。薄板的甲醛释放量达到了欧洲 MDF 标准的 A 级 ($< 9\text{ mg/100g}$), 厚板亦接近欧

洲 MDF 标准的 A 级。所以, 用 MF-97 制备的 MDF 板完全可以用作室内装修材料。

4 参考文献

1. Pizzi A. Chapter 3: Melamine-formaldehyde Adhesives Advanced Wood Adhesives Technology. Marcel Dekker Inc., 1994
2. 王恺, 王天佑, 叶克林, 丁美蓉. 我国中密度纤维板的发展问题. 中密度纤维板工业发展问题研讨会论文集, 长沙, 1996 年 10 月。

(上接第 33 页)

度, 减少煤耗量, 增加锅炉出力均是有益的。但同时也存在着排烟温度升高, 使锅炉热效率降低的因素。因此对冷凝水的回水温度宜控制在 $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。否则锅炉热效率下降过多, 将起不到节能的效果, 省煤器的运行也不安全。

7 结论

从效益分析比较可知, 中试基地采用密闭式循环

系统回收冷凝水, 在建设初期, 设备及土建综合投资与开式循环回收系统相差不大, 但密闭式循环系统运行后, 每年比开式循环系统可节约 19.5 万元的燃料动力消耗费用, 其节能效果是显著的, 目前, 中试基地仅用一台 6 t/h 、 1.57 MPa 锅炉便能保证全厂生产及采暖用汽 (换热站用汽量为 0.5 t/h), 这在全国同行业企业中是不多见的。因此密闭式高温冷凝水回收技术不但适用于林产工业企业, 而且对林产工业企业的节能具有广阔的应用前景。