

工业洗涤设备的能耗分析

1. 前言

能源是经济、社会发展和提高人民生活水平的重要物质基础。近年来我国经济虽然高速增长,但资源和能源消耗的代价也十分巨大。我国虽然幅员辽阔,是世界人口和资源总量的大国,但人均资源占有量却大大低于世界人均水平。人均矿产占有量约为世界人均水平的1/2,人均耕地面积、人均水资源量约为世界人均水平的1/3,人均石油、天然气和煤炭量分别为世界平均值的约1/10、1/20和3/5。资源和能源相对不足,给经济发展带来很大的障碍,成为我国可持续发展的重要制约因素。创造每万美元GDP所消耗的能源数量,我国是美国的3倍、德国的5倍、日本的近6倍。由于技术装备相对落后,全民节能意识较差,能源消耗量大,能源浪费现象严重。中国经济高速增长,但万元GDP能耗水平超过发达国家3-11倍,资源和环境的承载力已近极限。把经济增长建立在大量地、无节制地增加能源消耗上的发展方式将不能再继续下去了。我国能源利用效率仅为33%,与世界先进水平相差10个百分点,产值能耗是世界平均水平的2倍多,主要产品单位能耗比国外先进水平高40%,节能空间和潜力很大。

国家已充分认识到了发展节能型循环经济的必要性,发布了第一个《节能中长期专项规划》,除了在一些高能耗的重点行业推行节能技术改造外,还发布了《能源效率标识管理办法》、《节能产品政府采购实施意见》等一系列管理措施。2005年3月1日起,在冰箱、空调、洗衣机等民用产品行业开始建立和实施中国能效标识管理制度,完善强制性能效标准,扩展节能产品认证范围。

工业洗涤设备是对生活中的织物进行洗涤和干燥的处理设备,不可避免的也带来了能源的大量使用和消耗。但由于该行业正处于技术发展初期,市场和管理还不够规范,人们对洗涤设备的设备能耗知识认识不够高,厂家和用户都只强调设备的性能和价格因素,往往片面地宣传设备的采购成本而忽视设备的后期使用成本,忽视能耗指标的要求,使得该行业的设备节能技术水平与国外同类产品相比还停留在较落后的状态,许多国外已淘汰的技术和机种(如开启式干洗机,滚筒式烫平机)还在普遍使用和推广。为此,有必要对一些主要洗涤设备的能耗现状进行分析,帮助大家进一步提高认识,推动洗涤行业的技术发展。

2. 洗涤设备的能耗分析

工业洗涤设备包括了干洗和水洗二大系列产品,除了水洗机主要表现在对水资源的消耗外,其它设备主要表现在提供干燥或熨烫热源的动力消耗,而其中设备本身的驱动动力的消耗相对较少。下面我们逐项进行简单分析。

2.1 干洗机

干洗机的能源消耗主要有溶剂消耗,动力消耗(包括烘干和蒸馏热源消耗)二大部分。

2.1.1 溶剂消耗

干洗机分为封闭式和开启式二种结构形式,所使用的溶剂主要是四氯乙烯。之所以将其划为能耗的范畴来分析,是因为四氯乙烯本身也是石油的副产品,采购成本较昂贵,而且在我国的使用节约意识普遍较差。如果认识不够,不仅使用成本太高,而且会造成对环境的污染和破坏。我国现有干洗机达5万台以上,其中90%为开启式干洗机,其溶剂的回收率低,消耗较大,即便是制作质量较好的设备其溶剂消耗率也达8~12%左右(国产设备普遍制作粗糙,缺乏必要的检测控制,普遍达不到此标准);而全封闭机溶剂消耗为2~3%,第五代全封闭机可达1%,可以大大节约使用成本,减少浪费。下面我们进行一个简单的分析对比:

表 1 12Kg 级全封闭干洗机与开启式干洗机溶剂消耗成本比较表

型号	溶剂消耗率	每车溶剂耗量 公斤/车	每天溶剂耗量 公斤/天	每年溶剂耗量 公斤/年	四氯乙 烯单价 元/公斤	每年使 用成本 元/年	相比节约 费用 元/年
12Kg 开启机	8%	0.96	6.72	1344	12	16128	
12Kg 封闭机	3%	0.36	2.52	504	12	6408	9720
12Kg 五代封闭机	1%	0.12	0.84	168	12	2016	14122

注：按每年开工 200 天，每天洗 7 车，每车洗涤量为 12 公斤额定洗涤容量计算。

由以上比较可以看出，全封闭型干洗机可以大大地降低溶剂（资源）的消耗，节约使用成本（计算每年四氯乙烯的消耗，12Kg 封闭机比 12Kg 开启机预计节约使用费用达 60%，第五代干洗机节约的消耗则更高）。

2.1.1 动力消耗

(1) 驱动电力消耗

干洗机的驱动电机主要由双速拖动主电机，（单）双速风机电机，溶剂泵和过滤器电机等部分组成。常规驱动设备的功率消耗相比差别不大，每车耗电不大于 1KWhr。但目前设计先进的高档的设备均采用了变频驱动技术，不仅可以有效的控制洗涤烘干速度和烘干回收的风量，达到最佳的洗涤烘干效果，减少烘干时间及能耗，而且现代变频技术本身可以降低驱动能耗 40% 左右，使得设备整机地驱动运行能耗大大地减少。

(2) 烘干回收能耗

普通的开启式干洗机分为独立的烘干加热（电加热或蒸气加热）和水冷却回收系统，由于电加热热交换效率低，常温水冷却温度不够低，烘干回收的效果较差，不仅使设备的溶剂回收不够彻底，而且能耗相对较高。电制冷回收技术在干洗机上的成功运用大大改善了干洗机的工作效率，它的热泵回收功能不仅使回收的汽态溶剂得到了有效的低温冷凝回收（可达 -20℃），而且制冷机组本身所带有的预热器产生的热量就可以满足 80% 以上的衣物干燥所需的热量，大大节约了加热能源的消耗，使加热和冷却部件有机的合为一体，循环工作，见图 1 为干洗机的烘干回收工作原理示意图。

一般情况，全封闭干洗机的烘干回收部分的能耗比之电加热开启式干洗机节约电耗 30~40%，比之蒸气加热型开启式干洗机节能 80%（按同比热值计算），同时节约冷却水耗量 70%。表 2 为二种设备的能耗对比分析。

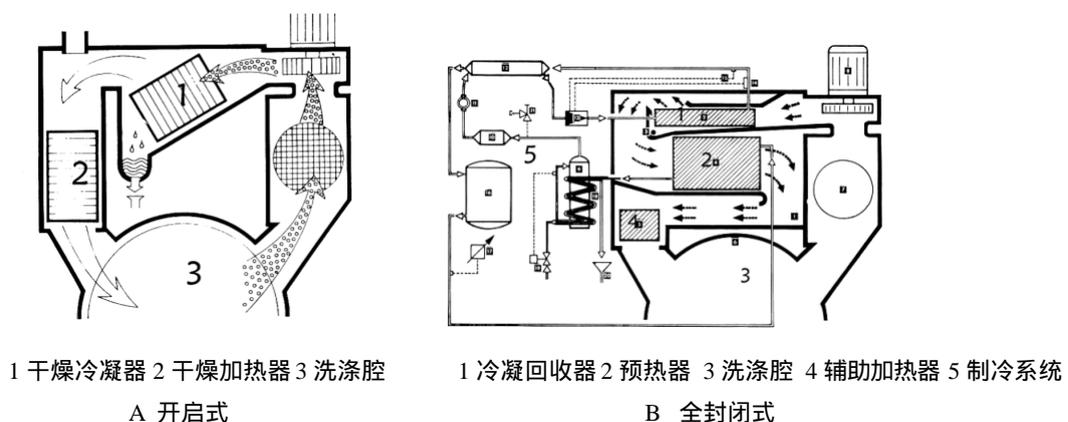


图 1 干洗机烘干回收工作原理示意图

表 2 12Kg 级全封闭干洗机与开启式干洗机洗涤循环能耗比较表

型号	每车 电耗量 度/车	每天 电耗量 度/天	每年 电耗量 度/年	电位 单价 元/度	每年使 用成本 元/年, 元	相比节约 元/年
12Kg 封闭机	4.5	31.5	6300	0.7	8442	9534
12Kg 开启机	6	42	8400	0.7	17976	
注：	1. 按每年开工 200 天, 每天洗 7 车, 每车洗涤量为 12 公斤额定洗涤容量计算。 2. 电加热型对比 (与蒸气型对比差别更大), 均未计算变频拖动的节能。					

(3) 蒸馏能耗

蒸馏箱是干洗机的一个独立工作单元,主要用于对洗涤后的脏污四氯乙烯溶剂进行蒸馏再生,一般不与洗涤过程同时进行。蒸馏系统的能耗表现在蒸馏箱的加热方式设计和溶剂过滤系统的优化设计二方面。蒸馏箱加热方式有导热油电加热,全水电加热和外接蒸气加热等几种方式,外接蒸气型和全水加热型是压力热传导,蒸馏速度较快,但它们之间的蒸馏能耗指标基本相当。实际上蒸馏能耗的主要区别还表现在过滤系统的设计上,采用生态过滤片的过滤器,由于不需要加入助滤粉,溶剂的清洁度相对较高,排放到蒸馏箱的溶剂不含助滤粉,更容易蒸馏,能耗也就较低;但此种过滤器对色素的过滤能力较低,一般要同时配置一个辅助的活性炭过滤器。一个合理先进的过滤器系统设计可以大大减少过滤后的蒸馏次数(12~15 笼蒸馏一次),而市面上一个便宜简单设备的过滤器却会增加过滤后的蒸馏次数(4~5 笼蒸馏一次),从而大大地增加了蒸馏能耗(加热功率 4~6Kw),这是选择使用设备时特别需要注意的事情。

2. 2 水洗机

工业水洗机的能耗主要表现在水资源的消耗,对水的加热能耗和设备运转驱动能耗三个方面。

2. 2. 1 水消耗

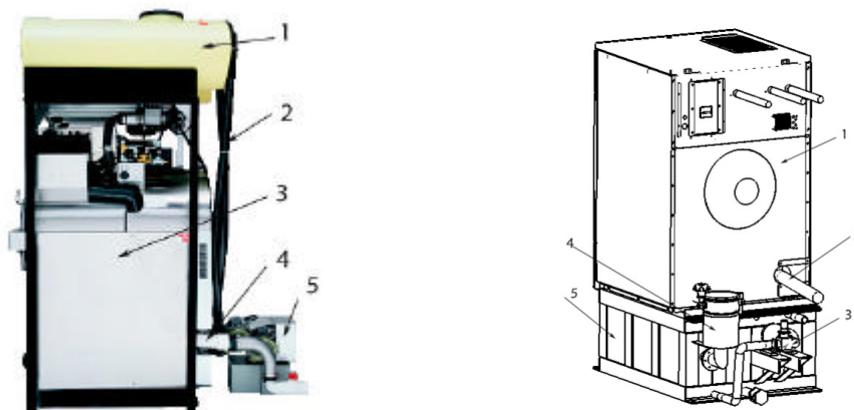
水的消耗指标是体现水洗机是否节能的最主要的方面,特别是各单位在使用工业水洗机时往往无水耗指标的限制和意识,使设备水耗指标普遍较高。相比之下,家用洗衣机的节水标准现已达到和接近了国际标准,去年 3 月 1 日起我国正式出台推行《家用电动洗衣机国家标准》,首次以国家标准 A、B、C、D 四等级的评定形式,将洗衣机用水量的多寡列为整机质量考核的主要依据之一。以 5 公斤容量的洗衣机为例,新标准明确规定:滚筒洗衣机达到国家标准 A 级的,其用水量应少于 60 升(12 升/公斤衣物);最低的 D 级,其用水量也应少于 90 升(18 升/公斤衣物)。而刚刚新制定的工业洗衣机的水耗标准为 25 升/公斤衣物(轻工部行业标准<<工业洗衣机>>QB/T2323-2004),高于家用洗衣机的要求。二者的最关键的差别是家用洗衣机的程序是被固化的,使用者无法改变;而工业洗衣机往往是用户自编程序使用,机动性极大,在确定洗涤工艺流程的时候往往使水耗超标,无意识地造成了水资源的极大浪费。因此,工业洗衣机的水耗分析应按两个方面进行考虑:一是设备本身的节水功能设计;二是用户使用过程中的洗涤工艺节水控制。

(1) 设备控制

普通的工业洗衣机均按规定的 > 10 的容积载荷比设计制造(1 公斤衣物需用 10 升的容腔),在相同洗涤程序的情况下,各个厂家的设备水耗指标并无太大的区别。要达到节水的目的,就必须考虑增加额外的节水装置,如配置双排水的水循环系统的设备可以达到节水 40% 的效果。一台 100 公斤的洗衣机,使用该装置即可每月节水 200 吨左右!

洗衣机的水消耗循环装置有二种形式:一种是简单型,设备仅配置双排水系统和相应的控制功能,由用户自建相应的循环水池与之配套使用(如成飞牌 SX100U);另一种是完整

型,设备自带含有储水箱和循环泵的水循环装置,无需增加外围器件即可自行独立使用(见图2所示)。他们的共同特点是仅将第一次的主洗污水排掉,而将相对较干净的第二、第三次的漂洗水进行贮存,用于下一笼洗涤时的主洗或漂洗使用,这种循环水的使用可以极大地降低设备水耗。



1 储水箱 2 管路 3 洗衣机 4 双排水阀 5 循环水泵

A.美国 Unimic 牌

1 洗衣机 2 排水管 3 水循环泵 4 过滤器 5 水箱

B. 成飞牌

图 2. 循环节水型工业洗衣机

真正的节水型洗衣机应首推国外普遍使用的最先进的隧道式洗衣机,其较大的容积载荷比(>45),连续自动洗涤,低水位分级水循环再利用的洗涤方式是改变大批量集中洗涤的一次革命,不仅自动化程度高,洗涤量大,速度快,而且可以达到水耗 <8 升/公斤衣物的水平!甚至德国凯尼基萨发明了一种使用特别传感技术的水箱系统,这种系统可以使洗每公斤布草的水耗达到 $2.9\text{—}3.3$ 升的水平而无需在外部另外安装水再用系统。隧道式洗衣机大大的减少了水资源的浪费和污染,是今后集中洗涤的一个发展方向。

(2) 使用控制

洗衣机节水的另一个重要方面是对设备的正确使用和操作的控制。由于工业洗衣机的操作程序设置人机交互机动性极大:洗涤流程步骤的设置,水位的高低,脱水速度的高低设定等因素都会直接影响设备的能耗水平。无谓的增加预洗或漂洗次数,提高水位或采用连续进水溢流的漂洗方式都会极大地增加水资源的浪费。设备最终的脱水速度太低,使织物的含水率过高就会大大地增加后期烘干、烫平的能耗,这也是相当不划算的。因此,设备的使用方必须进行细化的科学管理,加强对设备的节能控制,用最合理的洗涤工艺达到理想的洗涤效果,降低能耗。

2.2.2 加热能耗

工业洗衣机通常采取二种加热方式:蒸气加热或电加热,在我国主要使用的是蒸气加热型设备。行业标准规定的正常蒸气耗量为 $<0.9\text{Kg/Kg}$ 衣物,水从常温加热到所需的温度需要的热量是基本恒定的,因此加热能耗的大小与设备本身的结构设计关系不大,而与操作者的管理和使用水平关系密切。不必要的提高加热温度和加热时的水位会增大蒸气能耗,不将织物进行分类洗涤(不同的程序步骤与相应的温度)也会增加能耗。

2.2.2 驱动能耗

相比之下,洗衣机的驱动电耗并不高(行业标准的要求为 $<0.04\text{Kwhr/Kg}$),如100公斤级的设备只配备一台 $7.5\text{—}11\text{Kw}$ 的驱动电机,而且是间隙性分功率段速运转。现代洗涤脱水机均已采用了先进的变频拖动技术,使得设备的驱动电耗比之前期的段速多电机设备减少了40%左右,同时也使设备的脱水速度普遍得到了提高,降低了织物的脱水含水率,有效地减少了后期干燥处理的能耗。一台100公斤的洗脱机洗涤棉织物时脱水加速度从原来的 100G

提高到 300G (> 700rpm), 可多脱出 30 公斤的水, 每月就可以节约烘干机约 25 吨的蒸气消耗。

2.3 烘干机

工业烘干机是将洗涤后的织物进行干燥处理的设备, 因此它也是工业洗涤设备中能耗最大的设备之一。我们按加热方式, 设备结构形式和安装使用方法三个方面进行简单的分析。

2.3.1 加热方式

烘干机按加热方式分为蒸气加热型、电加热型、燃气加热型等几种基本形式, 虽然加热源不同, 但他们的共同特点是利用热源加热空气, 使热空气与织物进行充分接触而去除织物上的非结合水和结合水 (详细工作原理参见《工业烘干机的效能控制》《现代洗涤》总 27 期)。由于热值的差别, 他们的烘干加热效率各不相同 (见表 3 所示)。天然气的燃烧热值高, 直接加热的空气干燥 (湿度低), 烘干速度快且经济实惠, 非常适合于在烘干机上进行烘干织物, 适合于在我国天然气资源较丰富的地区推广。国外 (特别是美国) 市场的工业烘干机大部分都是采用燃气加热型就是基于这个道理。

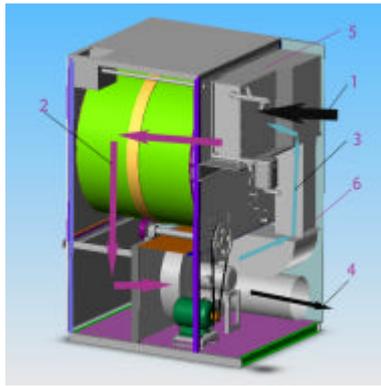
表 3 普通 25 公斤级烘干机不同加热方式的热能消耗对比

类别	排风量	烘干时间	烘干热能耗量	标准热值消耗	市值
单位	升/秒	分钟		BTU/hr	元/车
蒸气加热型	265	50	(5.5bar)70kg/hr	180250	8.8
电加热型	265	45	28kwhr	95000	14.7
燃气加热型	265	40	3.2m ³ /hr	120000	4.3

2.3.2 结构形式

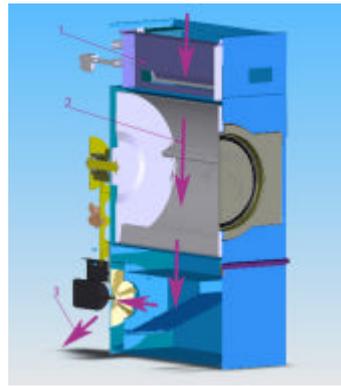
工业烘干机的结构设计形式是决定它是否高效节能的最关键因素。国内市场的烘干机绝大部分都是普通的径向进风型 (上部进风, 下部吸排风) 设备, 这类设备结构简单, 成本较低, 但直接排出的热废气带走的热量较多, 能耗相对较高 (行业标准规定烘干织物上每公斤水分的能耗为蒸气型: < 4Kg 蒸气/Kg 水分, 电加热型: < 2Kwhr/ Kg 水分)。国外几家企业最近几年推出的新型轴向进风型烘干机可以节能 40% 左右, 蒸气型的能耗达到了 < 2Kg 蒸气/Kg 水分的水平, 大大地降低了烘干机的能耗, 是我们今后技术发展的一个方向。一台市面上普通的 100 公斤级的径向进风型烘干机的蒸气耗量为 180Kg 左右, 而同规格的轴向进风循环型烘干机蒸气耗量仅为 100Kg 左右 (如成飞 HG100Z), 每年可节约蒸气消耗近 200 吨 (价值 3 万元), 所节约的费用当年就可以再买一台新设备。全国有近 20 万台正在使用的工业烘干机, 其可节约的能耗惊人。该类设备的特点为 (见图 3 所示):

- (1) 热空气从笼体的后部放射状直接进入内胆, 全部与衣物充分接触烘干工作, 克服了传统径向进风型烘干机的气流行走路线长, 从内外笼之间旁路流失热气较多, 热气流易被旋转的织物所阻隔等缺陷。
- (2) 由于排气口与进汽口的距离短, 采用二次回风加热风道设计, 将 40% 的湿气摔出, 而将相对较干燥 60% 排除的热风再次循环加热进笼烘干。



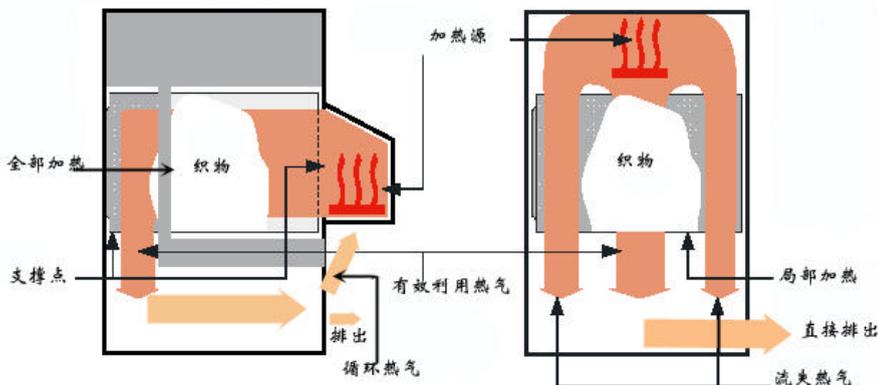
1 冷空气 2 烘干气流 3 循环气流
4 排除废气 5 热交换器

A. 轴向进风型



1 热交换器 2 烘干热气流 3 排除废气

B. 径向进风型



C. 系统比较图

图 3 径向进风型与轴向进风型烘干机烘干比较示意图

2.3.3 安装使用

烘干机的安装使用方法的正确与否也是影响其能耗指标的重要因素。应特别注意以下几个方面：

- (1) 保持设备的工作腔处于密封状态，最好有保温层；
- (2) 正确的安装设备的蒸气管路，特别注意疏水阀的安装方式和型号选择，否则将会无形中浪费大量的能源；
- (3) 正确的安装排风管路，避免多台设备之间的串风或排风不畅现象；
- (4) 及时地清理过滤网，太长的工作时间也会造成能源的浪费；
- (5) 合理地运用打冷的余热进行后期烘干，节约加热能源；等等。

2.4 烫平机

烫平机是一种将洗涤后的织物进行熨烫和干燥处理的设备，它同样是工业洗涤设备中能耗大户之一。在我国市场上主要有滚筒加热式烫平机和槽加热式烫平机二大类别，在此我们重点对其二者的能耗进行对比分析。

2.4.1 滚筒式烫平机

滚筒式烫平机是一种高能耗的设备，国外已基本停产淘汰，但由于设备的结构简单，价格低廉，在我国的市场占有率仍在 90% 以上，甚至一些主流厂家仍在大量生产和推广。其主要缺点是滚筒的加热表面完成外露，在设备工作或工作间隙时向空气中大量辐射浪费热能；被熨烫的布草与滚筒相对静止无滑动和无压力，使热量的传递不够充分（见图 4 所示）。

行业标准规定的能耗指标为 < 0.16Kg 蒸气/平方米布料。

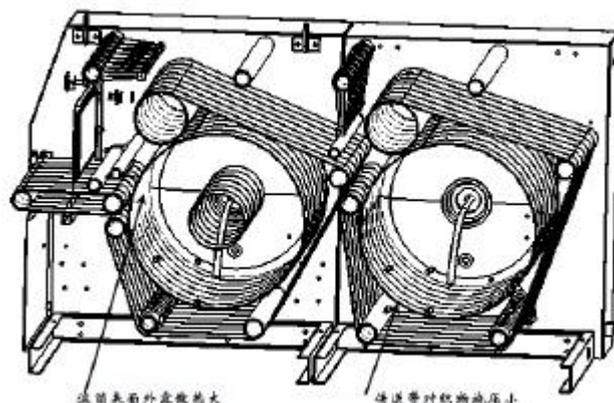


图 4 滚筒式烫平机结构示意图

2.4.2 槽式烫平机

槽式烫平机是一种新型的高效节能型烫平机，国外已完成普及使用，但在我国只有少数几个厂家能够生产。槽式烫平机的半园弧结构的加热槽与毛毡熨棍的配合工作设计，使得熨烫工作表面热传导效率得到了极大的提高，不仅杜绝了热量的辐射浪费，而且通过对布草滑移加压传热，提高了能量的传递速度和效率，工作运行速度也得到了提高（见图 5 所示）。行业标准规定的能耗指标为 < 0.1Kg 蒸气/平方米布料。

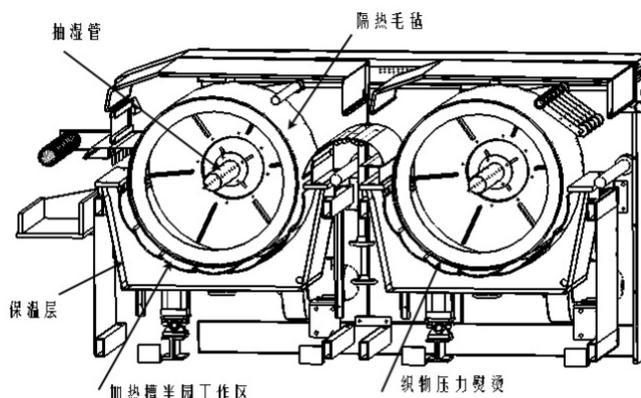


图 5 槽式烫平机结构示意图

2.4.3 对比分析

在此我们列举各一台被测试的同样规格滚筒式烫平机与槽式烫平机的性能指标，对二者的能耗水平进行对比分析。

表 4 同规格滚筒式烫平机与槽式烫平机性能对比表

类别	工作宽度 MM	滚筒直径 MM	蒸气压力 Mpa	有效熨烫速度 M/min	蒸气耗量 Kg/hr	能耗比 Kg/M2	备注
滚筒式	3000	800	0.8	13	300	0.128	
槽热式	3000	800	0.8	20	200	0.055	

根据表中的数据，在相同工作量的情况下，滚筒式烫平机的能耗是槽式烫平机的 2.32 倍。也就是说，同样熨烫 1000 张床单（2M×3M），滚筒式烫平机要消耗 768Kg 蒸气，而槽式烫平机只需 330Kg 蒸气，节约能耗 57%。如果按槽烫每天工作 4 小时同比熨烫工作量的理论计算，槽烫每年就可节约蒸气消耗约 380 吨(价值 5.7 万元)。全国目前有万台以上的滚

筒式烫平机正在使用，浪费较大，应逐步淘汰，可见其市场挖掘潜力巨大。

3. 总结

通过以上分析可以看出，我国工业洗涤设备的技术发展水平还远远跟不上国外技术的发展，存在着许多能耗较大的落后设备品种，但这也同时使我们发现了国产设备在节能技术上的较大可挖掘发展空间，它不仅仅需要我们大力开发节能高效的新产品，也需要我们去正确的引导用户，规范市场，提高节能意识和技术水平。目前一些部门已经认识到规范洗涤设备的节能指标的重要性，如轻工部刚刚报批下发的 2004 版洗涤设备的行业标准，对各类洗涤设备的能耗指标都有明确的规定；中标认证中心下发执行的《城镇生活服务业节水产品认证实施规则 - 工业洗衣机》也是一个非常良好的开端。希望通过我们的共同努力，使我们国产工业洗涤设备尽快的实现节能高效的目的，为我们自己节约更多的可利用能源。

廖明 2005-2-16