LBNL-3970E

ERNEST ORLANDO LAWRENCE
BERKELEY NATIONAL LABORATORY
劳伦斯伯克利国家实验室

纺织工业提高能效和降低二氧化碳排放的机会（修改版）

Ali Hasanbeigi

环境能源技术部
能源分析处
中国能源研究室

2012 年 1 月

本项工作通过美国能源部，获得能源基金会与美国环境保护局的支持，以及陶氏化学公司慈善捐款的资助，合同编号为 DE-AC02-05CH11231。

免责声明

本文件编写工作由美国政府资助。同时，虽然本文件中的信息被认为是准确的，但是无论是美国政府或是其机构， 加州大学董事会或是其雇员都既不对文件的准确性，完整性，信息的有用性，仪器，产品，以及披露的过程，或是其使用不侵犯私有权进行明示或暗示的保障，也不负法律责任。此处提到的任何具体商业产品，过程或有商标名称，商标，制造商名的服务，并不一定构成或暗示美国政府或其机构，加州大学董事会的认可，推荐，或偏袒其使用。作者在这里表示的观点和意见，并不一定代表美国政府及其机构，或加州大学董事会。

劳伦斯伯克利国家实验室是一个机会均等的雇主。

纺织工业提高能效的机会

Ali Hasanbeigi

中国能源研究室
能源分析处
环境能源技术部
劳伦斯伯克利国家实验室

摘要

纺织工业有着制造业中最为复杂的工业链之一。它较为零散，其企业多为中小型企业。能源消耗是纺织工业成本的一个主要因素，尤其是在能源高度波动时，纺织工业应主要考虑提高工厂的能源效率。在每个纺织工厂中都存在着多种多样的提高能效的机会，许多措施都是符合成本效益的。然而，在纺织企业多为中小型企业的情况下，由于在如何实施能效措施上缺乏足够的信息，许多低成本高效益的能效措施还没有得到实施。因此，应该整理出有关纺织行业能效技术和能效实践的专业知识，并向纺织企业进行推广。

这本指南提供了适用于纺织工业的能效技术和措施，包括了来自全世界纺织工厂的案例研究，以及能够获得的节能量和成本信息。首先，这本指南介绍了全球纺织行业的概况，对纺织工艺进行了解释，并对不同纺织工艺的类型和所占能耗比例进行了分析。然后，提供了适用于纺织工业主要部门的能效改进措施，并对每一项节能措施进行简短的介绍。同时，也包括了根据中国全国燃料和电网二氧化碳排放因子而计算得出的，每项节能措施带来的与节能量相关的二氧化碳减排量。指南的结论部分不仅包括对纺织工业新兴技术的介绍，还包括对可再生能源在纺织工业中的应用潜力的介绍。

目录

1. 前言 1
2. 纺织工业概述 2
3. 纺织工艺 5
4. 纺织工业的能耗 7
4.1. 终端能耗明细 7
4.2. 纺织工艺的能耗明细 9
4.2.1. 纺纱工艺的能耗 9
4.2.2. 湿法工艺的能耗 10
4.2.3. 综合纺织工厂的能耗明细 (纺纱-织造-湿法工艺) 12
5. 纺织工业提高能效的机会 13
5.1. 能源管理方案 14
5.1.1. 战略性能源管理方案 14
5.1.2. 定出行动计划 15
5.1.3. 执行行动计划 16
5.2. 纺纱工艺的节能技术与措施 17
5.2.2. 环锭细纱机 19
5.2.3. 绕线、并线与后整理工艺 23
5.2.4. 冷气系统与加湿系统 24
5.2.5. 纺纱厂的通用节能措施 26
5.3. 织造工艺的节能技术与措施 28
5.4. 湿法工艺的节能技术与措施 29
5.4.1. 准备工艺 34
5.4.2. 染色与印花工艺 41
5.4.3. 干燥工艺 58
5.4.4. 后整理工艺 64
5.4.5 湿法工艺的通用节能措施 72
5.5. 用于人造纤维生产的节能技术与措施 75
5.6. 跨部门的节能措施与技术* 82
5.6.1. 电力需求控制 (113) 86
5.6.2. 电机电机的能源效率改善机会 87
5.6.3 压缩空气系统的能源效率改善机会 91
5.6.4. 泵系统的能源效率改善机会 94
5.6.5. 风机系统的能源效率改善机会 98
5.6.6. 照明系统的能源效率改善机会 99
5.6.7. 蒸汽系统的能源效率改善机会 101

6. 新兴技术 108
7. 纺织业使用可再生能源 110
8. 摘要与总结 111
致谢 112
参考文献 112
附录 125
附录 1. 纺织工艺介绍 125
A.1. 纤维生产 125
A.2. 细纱生产 125
A.3. 纤维生产 126
A.3.1. 编织 126
A.3.2. 针织 127
A.3.3. 非织造 127
A.4. 湿法工艺 128
A.4.1. 准备 128
A.4.2. 染色 129
A.4.3. 印花 129
A.4.4. 后处理 129
附录 2. 环锭细纱机的技术参数示例 131

1. 前言

随着面对的全球商业环境竞争日益激烈，制造商在不损害产量或产品质量的情况下，均寻求机会降低生产成本。无论是国营企业或民间企业，能源价格持续攀升导致工厂的生产成本增加，增加值降低。成功的，且富有成本效益的节能技术投资和实践，可克服不断提高产品质量与降低生产成本之间的矛盾。这课题在当前尤其重要，因为节能技术通常还会带来”额外的”好处，如提高公司的生产力或降低水及材料的消耗量。

能源效率是企业环保战略很重要的一环。末端解决方案的代价很高，又缺乏效率；但是提高能源效率就能够以较便宜的方法来降低碳与其他污染物的排放。简言之，在当前的制造业环境，对节能技术进行投资是良好的商业战略(Worrell and Galitsky, 2004)。许多国家的政府政策与项目，通过提高能效与降低对环境的影响，来帮助产业提高竞争力。不过，可获得的有关如何提高能效的信息来源通常有限，尤其是针对中小型企业(SME)[1]的节能。所以，应该准备节能技术与实践方面的知识，并发送给工厂。

这本指南提供了适用于纺织行业的能效技术和措施，包括了来自全世界纺织工厂的案例研究，以及能够获得的节能量和成本信息。针对某些措施，本指南提出不同情况下的节能量范围与投资回收期。读者要谨记，本指南的数值仅供参考，各项措施的实际成本与节能量会有不同，取决于工厂的设计与规模、所在地理位置、工厂运行特性、生产与产品特色、地方供应的原料与能源，以及其他因素。举例说，一些节能措施最花钱的地方是劳工成本。所以，相同节能措施的成本在发达国家与发展中国家的差异可能很大。

本文的节能量与能源成本尽可能都以每吨产品的能耗或该设备的能耗百分比来表示。但因信息不足，许多措施与技术的节能量与能源成本以每年或每单位设备/每年来表示。此时，对数据的解读就要特别小心。”平均”一词用来代表类似设备实施节能后，省下的能源与成本的平均数。另外要强调的一点是，本指南给的成本值皆为名义成本。也就是在使用本报告的成本数据时，要考虑到钱币的时间价值。

虽然我们作了广泛的调查，找出多种不同的措施，但因为提高能效的新技术不断地推陈出新，本指南仍不够详尽。为便于信息的使用，本指南基于纺织工业子部门与纺织工艺，将节能措施加以分类。但有时不少系统是相互串联，所以适用某个系统的节能措施也可能是用于其它系统。系统地进行节能对能源效率的优化至关重要。另外要强调，本指南的重点是纺织工业，所以未探讨成衣工业。

[1] 中小型企业的定义因国情而异。

本指南介绍了纺织工业四大子部门与各行业均通用的节能措施与技术，共约 190 项。对于只想找出适合他们工厂之用特定信息的读者，可根据以下章节分类进行选择性阅读。

- 纺纱工厂：3.2, 4.2.1, 5, 6.1, 6.5 章节.
- 织造工厂：3.3, 4.2.3, 5, 6.2, 6.5 章节.
- 湿工艺厂：3.4, 4.2.2, 4.2.3, 5, 6.3, 6.5, 7, 8 章节.
- 生产人造纤维的工厂：3.1, 5, 6.4, 6.5, 8 章节.

2. 纺织工业概述

纺织工业在过去数千年的人类文明发展上，具有很重要的地位。煤、铁钢与棉花是工业发展的主要原料。随着18世纪后半期以来的技术发展，棉花产量成指数增长，首先从英国开始，然后扩大到欧洲的其他国家。20世纪初期开始生产的人造纤维，产量也是倍增(Schönberger and Schäfer, 2003)。图1显示全球人口与纺织总需求量间的关系。假如全球人口在2050年增长到100亿人，并在2150年成长至116亿人后出现平台期，即便是以1990年代相对保守的数字来计算，即每人年均消耗纺织品8公斤，纺织的总需求量预计仍将增长一倍。 (UNIDO, 1992)。

传统上，纺织工业被视为是一种劳力密集产业，依赖于丰富的劳动人口供应。2006年欧盟的纺织与成衣工业雇用约245万人(European Commission, 2009a)，2008年美国雇用约50万人(USDL, 2010)，2005年中国雇用约800万人(Qiu, 2005)。

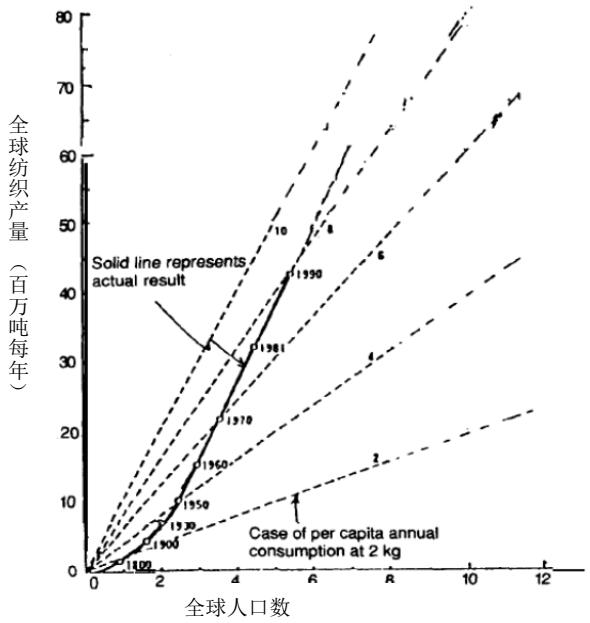


图1. 全球人口与全球纺织消耗及生产间的关系 (UNIDO, 1992)

中国是全球第一大纺织品出口国，占全球纺织与成衣出口40% (European Commission, 2009b)。纺织与成衣工业是中国最大的制造业，约有2万4千家企业。2002年的总产值为10640亿元 (1,298亿美元[2])。中国为全球最大的成衣生产国，纺织品产能为全球最大，包含棉花、人造纤维与丝 (Qiu, 2005)。中国纺织工业2008年的总出口值为654.06亿美元，较2007年增加16.6%。随着中国人民生活水平提升，国内对高品质纺织与服饰品的需求度持续上升 (CRI, 2010)。中国也是纺织机器最大进口国，德国则是纺织机器最大出口国(Textile Exchange, 2009)。图2与图3显示2003年纺织主要进出口国，进出口单位以十亿美元计算。要强调的是，这二个图仅代表纺织，不含成衣。从这些图可看出，欧盟、中国与美国是为首的三大纺织进出口国。

如果欧盟成员国间的贸易往来不纳入计算，欧盟的纺织与成衣工业占全球纺织与成衣出口29%，仅次于中国 (European Commission, 2009b)。欧洲纺织与成衣工业占欧盟制造业营业额 3.4%， 占增加值 3.8%， 占从业人口的 6.9% (European Commission, 2003)。

[2] 假定 2002 年 1 美元兑换人民币的平均汇率为 8.2 元。

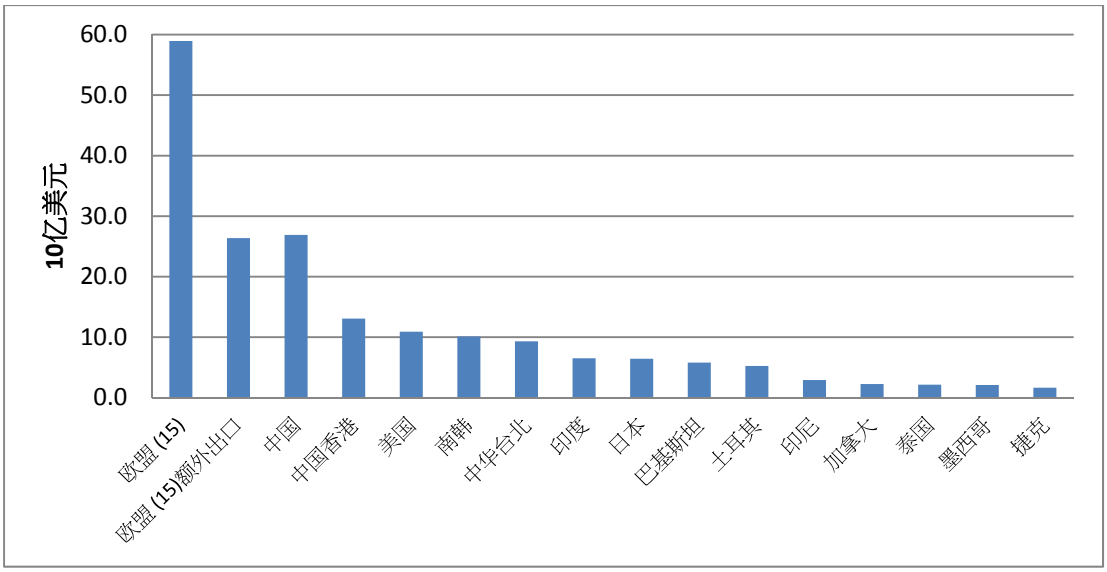


图 2. 2003 年主要纺织出口国家 (WTO, 2004)

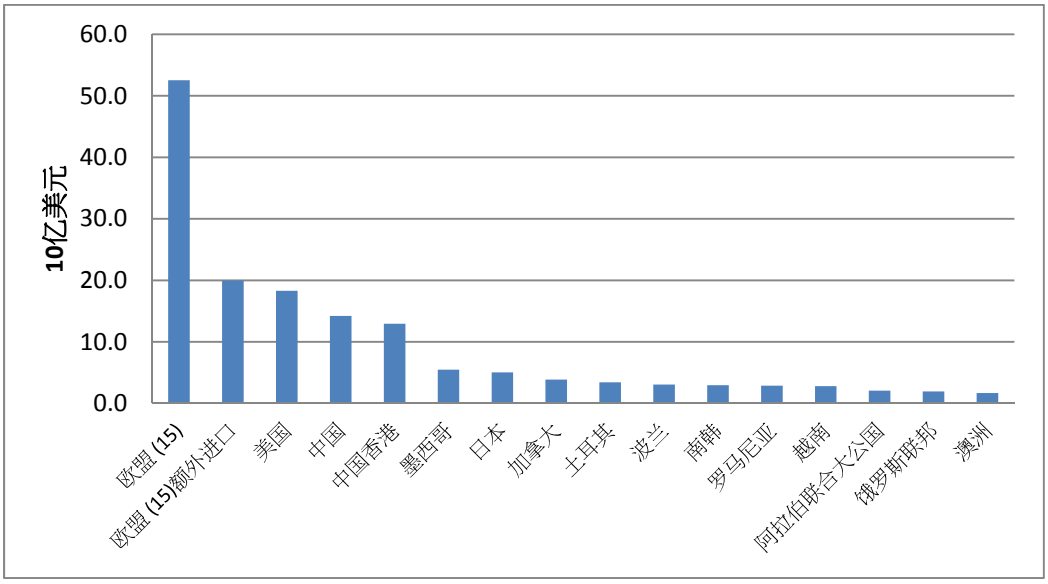


图 3. 2003 年主要纺织进口国家 (WTO, 2004)

3. 纺织工艺

纺织工业的产业链在所有制造业中最为复杂，相当分散，异质性高，大多数企业为中小企业，需求大多数来自三大终端用户：成衣、家饰与工业用途。纺织工业的特性很复杂，因为它使用众多不同的衬底、工艺、机械、配套组件与完工步骤。生产一块成品布要整合不同类型的织布或纱线、不同的织布生产方法，以及不同的染整工艺 (准备、印花、染色、化学/机械整理加工、涂层)。改变其中任何一个要素，最终产品的特性就会受到影响。织物的特性可用多种性质来描述，例如重量、外观、纹理、强度、光泽、弹性、与着色剂的亲和性（上色性能）。

图4是描绘将原料转化成一块成品布所用不同纺织工艺的概况性的流程图。一个工厂不会用到所有这些工艺，虽然有些综合工厂将好几种不同工艺整合在一个工厂中使用。纺织工业也已经发展了不少优势领域与专业产品，其使用的特殊工艺没有包括在图4中 (US EPA, 1998)。

纺织工业运用众多不同的工艺，本指南由于篇幅有限，无法说明所有工艺，所以，附录 1 简介了主要纺织工艺的节能措施，同时也附上这些工艺的流程图，有助读者了解制造的先后顺序与工艺步骤。本指南介绍的主要纺织工艺包含：

- 纺纱
- 织造
- 湿法工艺 (准备、染色、印花、后整理)
- 人造纤维生产

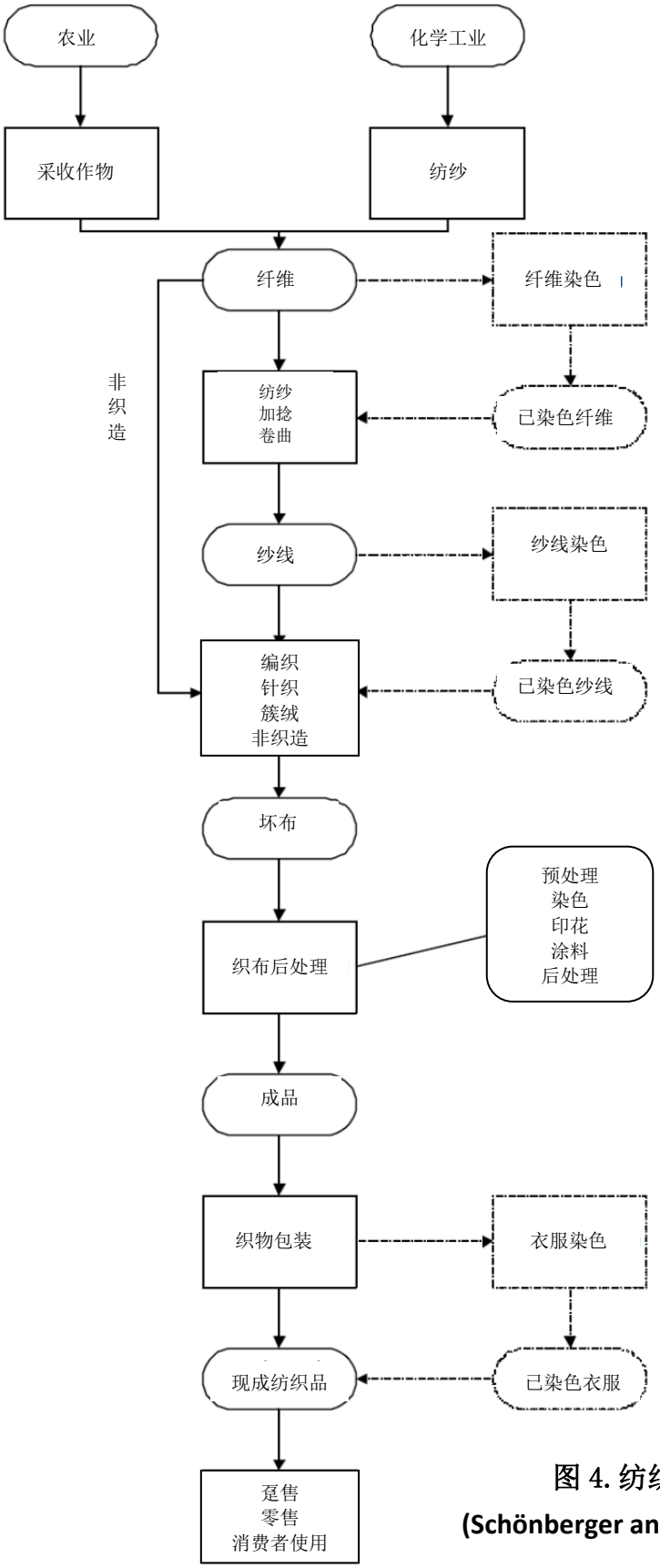


图 4. 纺织生产链

(Schönberger and Schäfer, 2003)

4. 纺织工业的能耗

纺织工业一般不被视为高能耗产业，但是，从事纺织业的工厂数目众多，所消耗的能源总量相当可观。要计算特定国家的纺织工业所用能耗占制造业总能耗的比重，需看该国制造业的结构。例如，在中国，纺织业占制造业的终端能耗约 4% (LBNL, 2007)，在美国，纺织业占制造业的终端能耗不到 2% (U.S. DOE, 2010)。

产品能源成本占纺织工业成本的比重，也因国家而异。表 1 显示在不同国家中 20 特（Tex）精梳棉纱[3]的大致成本比例。能源成本经常居产品总成本的第三位或第四位。

表 1. 2003 年不同国家中 20 特精梳棉纱的成本比重
(Koç and Kaplan, 2007)

成本因素	巴西	中国	印度	意大利	南韩	土耳其	美国
原料	50%	61%	51%	40%	53%	49%	44%
废料	7%	11%	7%	6%	8%	8%	6%
劳工	2%	2%	2%	24%	8%	4%	19%
能源	5%	8%	12%	10%	6%	9%	6%
辅助材料	4%	4%	5%	3%	4%	4%	4%
资本	32%	14%	23%	17%	21%	26%	21%
总计	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

纺织工业使用大量的电与燃料。一个国家纺织工业所用电力与燃料占终端能耗总量的比重，取决于该国纺织工业的结构。例如，纺纱主要是用电力，但湿法工艺主要是用燃料。2002 年美国制造业普查数据显示，美国纺织工业 61%终端能耗来自燃料，39%终端能耗来自电力。在所调查的 16 个美国主要工业部门中，美国的纺织工业为第五大蒸汽用户。。该调查也显示，供应纺织工业的能源，36%的能源的损耗来自现场的损耗（如锅炉、电机系统、配送） (US DOE, 2004)。

4.1. 终端能耗明细

纺织工厂的能源，用途不同，用法也会不同。图5显示美国纺织工业按终端能耗分解总能耗 (US, DOE, 2004)。虽然本图显示的百分比，会因国而异，却可看出纺织工业的终端能耗情况。但要强调，美国纺织工业的劳力密集工艺(如纺纱与织造)不如一些发展中国家多，如劳工成本较低的中国与印度。如下图所示，美国纺织工业的蒸汽与电机驱动系统(泵、

[3] 特(Tex)是用于测量纱线数量(细度)的多种系统之一。特代表每一公里(1000 公尺) 纱线的重量，单位为公克。例如，编号 20 特的纱线每公里重 20 公克。特数会随纱线体积增加而增加。

风机、压缩空气、材料搬运、材料加工等)，占终端能耗的比重最大，各占美国纺织工业终端能耗28%。

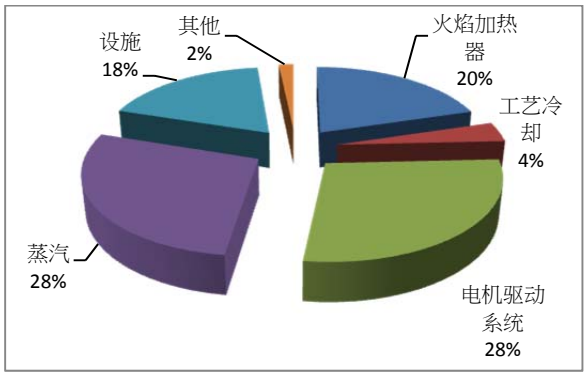


图5. 美国纺织工业的终端能耗 (U.S. DOE, 2004)

前面提过，很多能源的损失发生在纺织厂内。图6显示美国纺织工业现场能源损失情况(US DOE, 2004)，供应的能源约有36%在现场损失。电机驱动系统所占比重最大(13%) ，接着是配送[4]与锅炉(分别占8%与7%)。其他国家的能源损失比重可能不同，要看该国纺织工业的结构。下面的图说明美国纺织工业能源损失的发生地点，与每种损失的相对重要性。

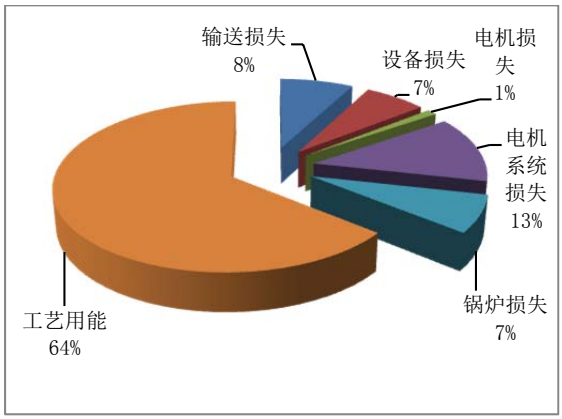


图 6. 美国纺织工业现场能源损失情况 (US DOE, 2004)

如上图所示，电机驱动系统是纺织工业终端能源损失最主要的因素。下面图 7 显示美国纺织工业的电机系统于不同工艺所用能耗的明细，可看出材料加工用掉电机驱动系统最多能源(31%)，接着是泵、压缩空气与风机系统 (分别是 19%、15%、14%)。同样地，这些数

[4] 能源输送耗损包括工厂范围之内与之外。

字在其他国家会因该国纺织结构的不同而有所不同。假如该国的织造工业使用的喷气织机(会消耗大量的压缩空气) 数量明显高于美国的话，压缩空气系统消耗的电机驱动系统能源总量，可能会比图 7 显示的百分比要高。

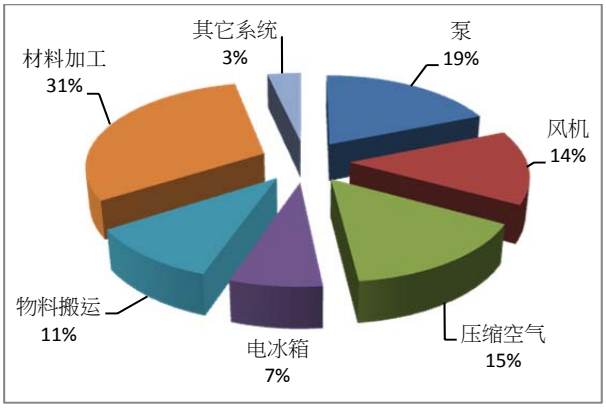


图 7. 美国纺织工业电机系统的能耗明细(US DOE, 2004)

4.2. 纺织工艺的能耗明细

4.2.1. 纺纱工艺的能耗

纺纱厂消耗最多的能源是电力，尤其是棉纺系统。假如纺纱厂的棉纺系统仅生产原纱，生产出来的原纱不再进行染色或处理的话，纺纱厂在寒冷季节可能会用燃料为加湿系统提供蒸汽，把纤维预热后再纺纱。所以，棉纺厂的能耗取决于工厂所在的地理位置与气候。图 8 为一个样本纺纱厂的终端能耗明细，该厂同时有环锭纺纱机与自由端纺纱机。

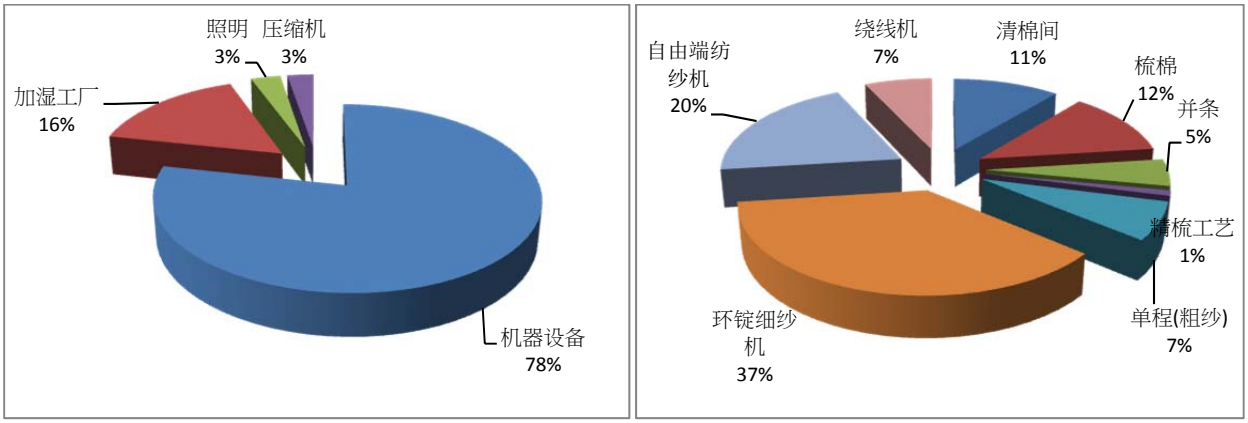


图 8. 兼有环式与开放式纺纱机的纺纱厂的能耗明细 (US DOE, 2004)

注：右图显示的能耗明细，分类依据是左图的"机器"。

表 2 显示 Koç and Kaplan (2007)对不同类型与数量纱线所消耗的能源的计算结果。纺细纱是所有织布中最耗能的，也就是说，用于机织的纱线比用于针织的纱线需要更多的交织捻回。另外，机织纱线的生产速度比针织纱线的生产速度要慢。因此，等量纱线用在机织工艺的能耗较大，同时，等量纱线用在精梳纱的能耗较高，因为有额外的生产步骤 (精梳)。

表 2. 不同数量纱线的一般能耗与终端能耗 (机织对比针织) (Koç and Kaplan, 2007)

纱线数量 (Tex)	精梳纱 (千瓦時/千克)		粗梳纱(千瓦時/千克)	
	针织	机织	针织	机织
37	1.38	1.63	1.34	1.62
33	1.58	1.88	1.54	1.86
30	1.79	2.12	1.73	2.09
25	2.19	2.60	2.11	2.55
20	3.06	3.64	2.96	3.57
17	3.89	4.62	3.74	4.53
15	4.42	5.25	4.23	5.12
12	5.52	6.81	5.52	6.72

环锭纺纱机的能耗计算：

因为纱线制造工艺中，纺纱机的能耗最大，已有不少关于纺纱机能耗的研究。其中一份研究给出如何计算纺纱具体能耗的计算公式(如下)。

$$SEC = 106.7 \times F^{-1.482} \times Dr^{3.343} \times n^{0.917} \times \alpha_{text}^{0.993}$$

其中 SEC 是环锭纺纱机的具体能耗 (千瓦时/公斤)；*F* 是纱线的纤维线性密度 (tex)；*Dr* 是环锭的直径 (米)；*n* 是纺锤速度 (每分钟转速 1000)；α_{text} 是纱线的捻系数。 20 特精梳纱的生产参数假定为 *n* = 每分钟转速 17500；α_{text} = 3828；*Dr* = 0.04 米。 将这些参数套入上述公式，所得环状纺纱机的具体能耗是 1.36 千瓦时/公斤。不过，计算值与实际值可能稍有不同，原因在于所用参数的不同，如速度、浪费率、环式纺纱机的机械效能与能量损失 (Koç and Kaplan, 2007)。

4.2.2. 湿法工艺的能耗

湿法工艺用掉纺织工业最多的能源，因为它需要用大量的蒸汽和热。。湿法工艺的能耗量受到不同因素的影响，如加工产品的形态(纤维、纱线、织物、布)、机器种类、具体工艺类型、成品状态等。表 3 显示纺织湿法工艺在产品形态、机器类型与工艺类型上对能源的需求。

表 4 显示染色厂(包含所有的染色工艺)使用热能的情况。虽然本表的数值是日本染色厂的平均值，但能让我们清楚了解到热能的消耗状况，找出提高能效的机会。从表中可看出，染色厂热能损失的管道大多是在废水、设备散热、废气损失、空转、溶液表面蒸发、未回收冷凝水、冷凝水回收过程中产生损失，以及产品染色过程中(如过度染色)。本指南以下将介绍多种节能措施，来降低这些热能损失。

表 3. 纺织湿法工艺在产品形态、机器种类与工艺上的能源需求 (Carbon Trust, 1997)

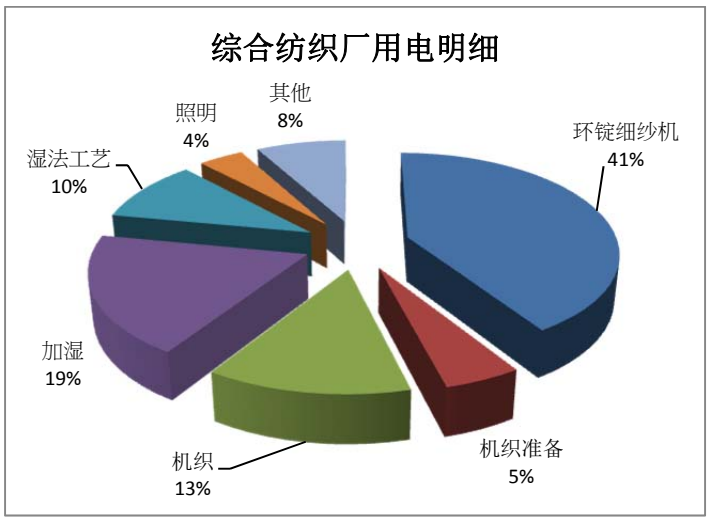
产品形态/机器种类	工艺	能源需求 (吉焦/吨 产量)
退浆机	退浆	1.0 - 3.5
煮布锅	洗毛/漂白	6.0 - 7.5
J 型(存布)箱	洗毛	6.5 - 10.0
平幅机	洗毛/漂白	3.0 - 7.0
低能量蒸汽清洗	洗毛/漂白	1.5 - 5.0
卷染机/绳状染色机	洗毛	5.0 - 7.0
卷染机/绳状染色机	漂白	3.0 - 6.5
卷染机	染色	1.5 - 7.0
绳状染色机	染色	6.0 - 17.0
喷气机	染色	3.5 - 16.0
经轴	染色	7.5 - 12.5
浸轧/分卷	染色	1.5 - 4.5
连续/热熔胶	染色	7.0 - 20.0
选转筛选机	印花	2.5 - 8.5
蒸汽汽缸	干燥	2.5 - 4.5
拉幅机	干燥	2.5 - 7.5
拉幅机	热定型	4.0 - 9.0
封装/纱线	准备/染色(棉花)	5.0 - 18.0
封装/纱线	准备/染色 (聚酯纤维)	9.0 - 12.5
连续绞纱	洗毛	3.0 - 5.0
绞纱	染色	10.0 - 16.0
绞纱	干燥	4.5 - 6.5

表 4.染色厂消耗的热能明细 (日本平均数) (ECCJ, 2007a)

内容	占总热能消耗的比重
产品加热	16.6 %
产品干燥	17.2 %
废水损失	24.9 %
设备释出的热量	12.3 %
废气损失	9.3 %
空转	3.7 %
溶液表面蒸发	4.7 %
未回收冷凝水	4.1 %
冷凝水回收过程的热量损失	0.6 %
其他	6.6 %
总量	100%

4.2.3. 综合纺织工厂的能耗明细 (纺纱-织造-湿法工艺)

综合纺织工厂是同一地点同时结合纺纱、机织/针织与湿法工艺(准备、染色/印花、加工)。图 9 显示一家综合纺织工厂的电力与热能消耗明细 (Sathaye, et al., 2005)。从中可看出，纺纱消耗的电能最多(41%)，其次是机织 (含织造准备与织造)(18%)。湿法工艺准备(退浆、漂白等)与加工二者消耗最多的热能(35%)。蒸汽制造与输送的过程中也有大量的热能损失(35%)，但比重会因工厂而有所不同。



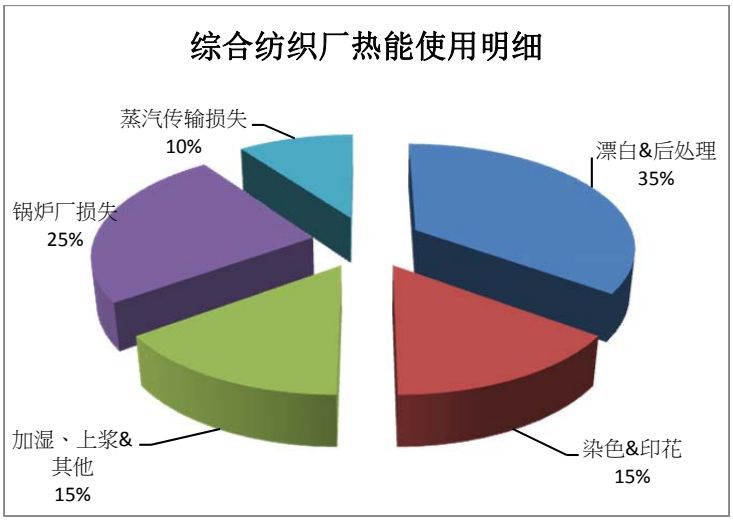


图 9. 综合纺织工厂的电力与热能消耗明细 (Sathaye et al., 2005)

5. 纺织工业提高能效的机会

在分析纺织工业提高能效的机会上，我们纳入改造/工艺优化，与用尖端新技术替换现有机器二部份。但请特别留意改造措施，因为尖端新技术的前期资本成本相当高，所以光以新机器汰换现有设备可以节能的说法，在很多情况下可能无法抵过高额投资费用。但如果考虑到采用新技术所带来的种种好处，如省水、减少浪费、减少废水、减少重复操作、提高产品质量等，新技术确实比较省钱。

另外，我们曾试图介绍一些节能量与能源成本数值可得的措施，但这些数值不尽然都找得到。既然很多节能措施早为人知，就算无法取得有关这些措施的定量的评价，我们还是决定将其纳入本指南，相信纺织工厂工程师仍能从这些技术/措施的定性的信息中，找到提高能效的机会。要强调的是，本指南的节能数据与成本数据，是一般的节约/成本数据，或者是特定工厂/特定例子的数据。这些措施省下的能源量与成本，可能会因以下因素而有不同：工厂与特定工艺、纤维、纱线或布料种类、原料品质、成品规范、以及原料(如纤维、纱线细度、纤维宽度或重量 g/m²等)、工厂地理位置等。例如，某些节能措施最大的成本是劳工成本，所以这些措施费用在发达国家与发展中国家的差异可能很大。

本指南包含约 190 项节能措施与技术。

5.1. 能源管理方案

5.1.1. 战略性能源管理方案[5]

提高能效最成功、也最富成本效益的做法之一，是整个企业实施能源管理方案。这方案理想上要包含设施、运行、环境、健康、安全、与人员等方面的管理。完善的能源管理方案是作出积极改变的必要条件，并能为企业的能源管理指引方向。所以，企业的承诺愈强，能效才能不断提高。能源管理方案可确保能效改善不是昙花一现，而是能持续找出并实施节能方法。

缺乏明确能源管理方案的公司，可能早已知道提高能效的机会所在，但由于组织管理上的障碍，就算其企业的能源成本相当高，也没有加以推广或实施。组织障碍包含工厂间缺乏沟通、不清楚如何对节能项目提供支持、资金有限、责任归属不清、组织惰性不利改变现状。图10说明一个战略能源管理方案包含的主要内容，要注意的是，本图所呈现的概念是基于国际标准组织(ISO)质量管理系统有关策划-执行-检查-行动的理念。

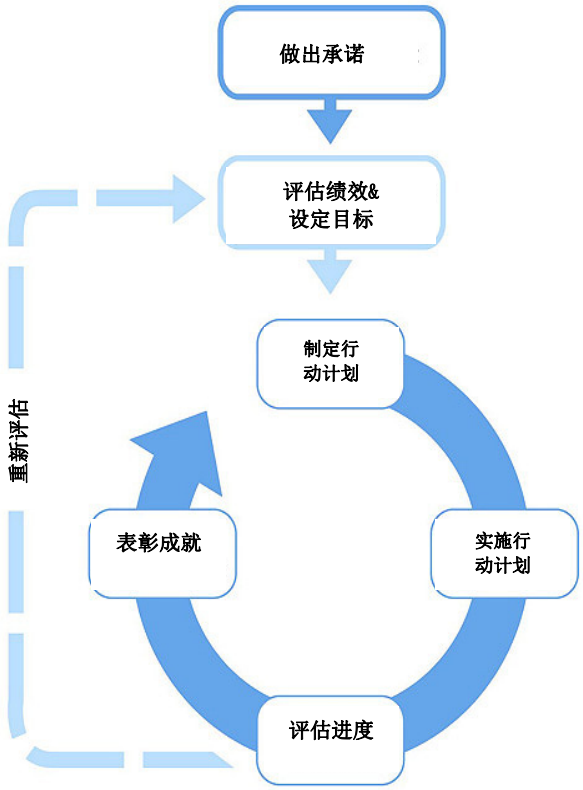


图 10. 战略能源管理方案的主要内容 (EnergyStar, 2004)

[5] 本节摘自 Worrel et al.(2010)。

成功的能源管理方案始于该组织对持续提高能效有强烈决心，包含指派能源主任负责监督与管理、建立能源政策、成立跨功能的能源团队，之后定出评估节能表现的步骤与程序，可通过定期审查能耗数据、技术评估与对标来做到。有了评估，组织就可以制定能源使用的基准，设定改善目标。设定绩效目标有助发展行动计划并加以执行。

行动计划要能成功，很重要的一点是组织的全体员工都要能参予，所有员工不分位阶高低，都应了解能源使用与节能目标。组织要从日常工作上训练员工作一般性的节能。绩效评估要定期审查能耗数据，与行动计划中已完成的活动。正式审查时所搜集的信息，有助定出新绩效目标、行动计划，并揭示最佳实践。定出详细的沟通方案，并对执行成果加以表扬，对未来的活动能否获得支持与动力，十分重要 (EnergyStar, 2004; Worrell et al., 2010)。

5.1.2. 定出行动计划[6]

现实生活中，有许多困难会使能源审计报告建议的节能措施，很难顺利实施。所以，要建立清楚的程序，才可能实践能效改善。行动计划要简明，在宗旨、节能目标量、人员角色与责任的规范上要明确，以便执行 (Austrian Energy Agency 2007)。

详细的行动计划能确保节能措施以系统有序地方式执行。不同于能源政策，行动计划要定期更新，大多数是每年更新一次，以反映最新成果、绩效变化与优先重点的改变。虽然行动计划的范围与规模常由组织决定，以下步骤对建立行动计划的起头，做了概述。

1. 明确技术步骤与目标
2. 确定人员角色与资源

在批准行动计划前，最好先向工厂各部门的管理人员与重点工程人员咨询并集思广益，取得他们对这行动计划的看法 (US EPA, 2007)。

明确技术步骤与目标：

从能源审计的结果，可看出该工厂的技术表现，以及距离实践节能还差多少。据此，可找出提高能效的机会，并加以定出优先顺序。三个重点步骤是：

- **制定绩效目标：**组织要为每个设施、每个部门与各方面的运行，定出绩效目标，以追踪进展幅度。.
- **定出时间表：**行动要有时间表，包含重点人员定期开会评估进展、完成日期、里程碑与预期结果等。

[6] 本节摘自 US EPA(2007)，除非有特别标示不同出处。

- **建立监测系统：**建立监测系统来追踪与监测已完成行动的进展，应包含对能耗与项目活动的追踪与测量。

确定人员角色与资源：

发掘组织内部角色

行动计划应确定参与节能项目人员的身份与其责任范围。端看该组织的规模与行动计划的内容，可能参予的部门有下列几个：

- 设施与运行管理
- 金融管理—资本投资、预算规划
- 人力资源—聘雇、培训、绩效标准
- 维护
- 供应管理—采购程序、购买能源、设备与材料
- 建筑物与工厂的设计
- 工程
- 传播行销
- 环境、卫生与安全

发掘组织外部角色

行动计划应确定乃些地方要用到顾问、服务供应商、厂商与其他商品供应商。有些组织选择将整个行动计划内容外包，但有些组织只开放有限的项目让特定厂商参予。如决定使用承包商，行动计划要确定投标案的评估标准，并将这些评估标准写入与承包商订立的合同。

确定资源

针对行动计划包含的每个项目或方案，管理人员都必须估算每个品项的人力成本与资本费用，接着从商业观点，述明编列这些经费的理由，并取得批准 (US EPA, 2007)。

5.1.3. 执行行动计划

要顺利执行行动计划，关键在于赢得参予提高能效计划工厂人员的支持。实施您的行动计画前，要考虑以下步骤：

1. 制定沟通计划：针对重点人员制定您节能行动计划的信息。
2. 增加了解：争取您组织的各个阶层，对提高能效计划与目标的支持。
3. 培养能力：通过培训、获取信息、传递成功的做法与步骤 ，您可以提高员工的能力。
4. 赋予动机：创造诱因，鼓励员工提高能效表现，以达成目标。
5. 追踪与监测：在行动计划中，规划使用追踪系统，来定期追踪与监测进展。

评估进展

行动计划可通过能耗数据与正式的活动审查，来评估活动进展，并和既定目标作比较。正式审查可用来修改行动计划并找出教训。定期评估节能计划的绩效，可让能源管理人员：

- 测量已实施项目与方案是否有效
- 对未来能源项目做出明智的决定
- 嘉奖有成果的个人与团队
- 记录其他的节能机会与无法量化的好处，可作为未来的项目(US EPA, 2007)。

5.2. 纺纱工艺的节能技术与措施

表 5 是纺纱工艺的节能措施与技术。

表 5. 纺纱工艺的节能措施与技术*

编号	节能技術与措施	燃料节约	节电量	二氧化碳排放减排量 ***	资本费用(美元)	回收期(年)**
5.1	**纺纱**					
5.1.1	**准备工艺**					
1	用电子式粗纱断头自动停止侦测器替代气压系统		3.2 兆瓦时/年/机器	2.7 吨二氧化碳/年/机器	180/粗纱机	< 1
2	高速梳棉机				100,000/ 梳棉机	<2
5.1.2	**环锭细纱机**					
3	用节能纺锭油		环锭细纱机能耗的 3% - 7%	3% - 7% 的二氧化碳与环锭细纱机电耗相关		
4	优化纺锤锭脚的油量					
5	用较轻的纺锤替代传统纺锤		23 兆瓦时/年/环锭细纱机	19.2 吨二氧化碳/年/环锭细纱机	13,500 /环锭细纱机	8
6	合成多层带		4.4 - 8 兆瓦时/环锭细纱机/年	3.7 - 6.7 吨二氧化碳/年/环锭细纱机	540 -683/环锭细纱机	1 - 2
7	优化环锭细纱机上细纱支数的绕环直径		环锭细纱机能耗的 10%	10%的二氧化碳与环锭细纱机电耗相关	1600 /环锭细纱机	2
8	环锭细纱机截面装假天花板		8 千瓦时/年/纺锤	6.7 7 吨二氧化碳/年/1000 纺锤	0.7/纺锤	1.2
9	加装节能电机		6.3 -18.83 兆瓦时/年/电机	5.3 - 15.7 吨二氧化碳/年/电机	1950 - 2200 /电机	2 - 4
10	吸棉系统安装超节能风机以替代传统铝风机		5.8 - 40 兆瓦时/年/风机	4.8 - 33.4 吨二氧化碳/年/风机	195 - 310 /风机	< 1
11	使用较轻的缠线管		10.8 兆瓦时/年/环锭细纱机	9 吨二氧化碳/年/环锭细纱机	660 /环锭细纱机	< 1
12	高速环锭细纱机		环锭细纱机能耗的 10% - 20%	10% - 20%的二氧化碳与环锭细纱机电耗		

编号	节能技術与措施	燃料节约	节电量	二氧化碳排放减排量 ***	资本费用(美元)	回收期(年)**
				相关		
13	电机驱动上加装软启动器		1 – 5.2 兆瓦时/年/环锭细纱机	0.8 - 4. 吨二氧化碳/年/环锭细纱机		2
5.1.3	**绕线、并线与后整理工艺**					
14	自动络筒机上加装变频器		331.2 兆瓦时/年/工厂	276.9 吨二氧化碳/年/工厂	19500/工厂	< 1
15	自动络筒机/锥形绕线机的空筒子输送机设在间歇模式		49.4 兆瓦时/年/工厂	41.3 吨二氧化碳/年/工厂	1100/工厂	< 1
16	修改倍捻机外部的纺丝罐		二合一机能耗的 4%	4%的二氧化碳与二合一机电耗相关		
17	优化倍捻机的气球设定					
18	纱抛光机的加热系统由电子式改蒸汽式	提高 31.7 吨蒸汽/年/机器	19.5 兆瓦时/年/机器	16.3 吨二氧化碳/年/机器	980/加湿设备	< 1
5.1.4	**冷气系统与加湿系统**					
19	纱线给湿房改用节能雾气喷嘴		31 兆瓦时/年/加湿设备	25 吨二氧化碳/年/加湿设备	1700/ 加湿设备	< 1
20	在加湿工厂的洗衣机电机泵加装变频器		20 兆瓦时/年/加湿设备	16.7 吨二氧化碳/年/加湿设备	1100/ 加湿设备	< 1
21	加湿风机与冷却塔风机用高效玻璃纤维增强塑料(F.R.P)叶轮取代现有的铝合金风机		55.5 兆瓦时/年/风机	46.4 吨二氧化碳/年/风机	650/ 风机	< 1
22	在加湿系统风机电机上加装变频器以控制流量		18 -105 兆瓦时/年/风机	15.0 - 87.8 吨二氧化碳/年/风机	1900 -8660/ 风机	1 - 2
23	在加湿系统泵上加装变频器以控制流量		35 兆瓦时/年/加湿设备	29.3 吨二氧化碳/年/加湿设备	7100/ 加湿设备	2.7
24	加湿系统上加装节能控制系统		50 兆瓦时/年/加湿设备	41.8 吨二氧化碳/年/加湿设备	7300 ~ 12,200/加湿设备	2 - 3.5
5.1.5	**纺纱工厂通用措施**					
25	机顶巡回清洁器(OHTC)采用节能措施		5.3 - 5.8 兆瓦时/年/ 机顶巡回清洁器	4.4 - 4.8 吨二氧化碳/年/ 机顶巡回清洁器	180 -980/机顶巡回清洁器	0.5 - 2.5
26	机顶巡回清洁器用高效鼓风机		2 兆瓦时/年/风机	1.7 吨二氧化碳/年/风机	100/风机	< 1
27	改善工厂的功率因子 (减少无效功率)		24.1 兆瓦时/年/工厂	20.1 吨二氧化碳/年/工厂	3300/工厂	1.8
28	用齿轮 V 型皮带取代一般 V 型皮带		1.5 兆瓦时/年/皮带	1.3 吨二氧化碳/年/皮带	12.2/皮带	< 1

*本表中所列的节能、资本费用与回收期是针对参考报告中所列的明确条件，执行这些措施能带来额外(非能源)益处。请详阅报告中引述的每个措施,才能对节能量与资本费用有完整了解。

**没有列投资回收期，但有节能量与资本费用者，投资回收期的计算是假设电力价格为 75 美元/兆瓦时（约合 0.075 美元/千瓦时）。

***二氧化碳排放量根据 2008 年中国电网平均二氧化碳排放因子 0.836 千克二氧化碳/千瓦时（来源：NDRC, 2009）和中国纺织行业燃料消耗的加权平均二氧化碳排放因子（等于 91.89 千克二氧化碳/GJ）计算得出（来源：NBS, 2010; IPCC, 1997a; IPCC, 1997b）。

5.2.1. 准备工艺

1. 用电子式粗纱断头自动停止侦测器替代气压系统

在粗纱机上的粗纱断头系统，可用光电停止系统断头侦测器替换气压吸入管侦测器，可获得节能的效果。全球很多纺织厂都这么做。两家印度纺纱厂实施后的节能量是320万瓦时/年/机器，在粗纱机上投资这项措施的平均成本是每台粗纱机需要180美元(EMT, 2008a)。

2. 高速梳棉机

高速梳棉机用于原棉的二次处理，可分离”开清棉”初级加工阶段为清除扭结的棉簇所产生的小纤维棉团，同时除去杂质、皮棉球与人造丝，以改善优质纤维的纵向排列并生产辨型的纤维维束(棉条)。

这款新式梳棉机体积庞大，相当耗电，不过生产效率很高，用1/3的机器台数与一半的电量，就能达到一台普通梳棉机的产能，即以4台、每台耗电41千瓦的新式梳棉机，替代12台、每台耗电27千瓦的旧式梳棉机，这样可节电160千瓦。在日本，不少的大型工厂已安装新式梳棉机，相信这项技术也适用所有发展中国家。新式梳棉机的资本费用约100,000美元，投资回收期约1.3年(NEDO, 2008)。

5.2.2. 环锭细纱机[7]

3. 用节能纺锭油

在矿物提炼出的纺锭油中加入分散剂添加，会比使用传统的油要节能3%。实际节能量取决于机器本身的状况与机器的运行情况，使用较轻的纱锭也可节能，但将合成纺锭油(节能等级)与某些金属相容的添加剂并用，节能量会更大，一般介于5-7%，依粘性而定。油品的节能潜力可从二个方面向来看：

(1)省电程度；

(2)降低纺锤锭脚在室温下上升的温度：温度上升幅度较小可获得节能量。

选用节能纺锭油时，要仔细评估有关油品使用年限上的重要特性，如温度升高、热稳定性、金属相容性、 是否会产生淤渣，以及耐磨/抗磨性(Jha, 2002)。

[7] 环锭细纱机的技术参数(如装机功率、压缩空气使用等)安装请见附录 2。

4. 优化纺锤锭脚的油量

Jha (2002) 解释说，“因为油会产生阻力，所以环锭细纱机的耗电量会随着纺锤锭脚油量的增加而增加；且用油过量，可能会妨碍纺锤锭脚正常地运行。正常情况下，锭脚只加油至总容量的 75%。确定锭脚油量的方法，通常是将锭脚抬高，并观察锭杆的油性，但如想找出所须的一般油量与最少油量的话，这方法可能不够准确。用量油尺才能找出每种纺锤插入器所需的精确油量。量油尺有二个油标：底部油标用来标示最低油量，顶部油标用来标示最高油量。

很多工厂常在加油时，就将锭脚油量加到几乎满位，并依需要再加满，这样做不仅是浪费润滑油，并增加能耗。所以，每次加满油后，应该用量油尺检查，并将油量维持在机器制造商设定的限度内。目前市场可买到不同的油剂量设备，这样纺锤锭脚可以依预先设定好的油量，进行添加或加满。这些设备的新特点是具有油量控制机制，可配合环锭细纱机不同锭脚的油容量，添加所须的纺锤油量(5 到 20 立方厘米)。因为不再过度加油，不仅能省油，还能节能”(Jha, 2002)。

5. 用较轻的纺锤替代传统纺锤

先前提到，环锭纺纱工艺中最耗能的部份是环锭细纱机；而环锭细纱机最耗能的部份则是纺锤旋转，所以，纺锤重量会直接影响机器的能耗。目前市场上已有号称高效的纺锤，其重量比传统纺锤要轻，所以能耗较少。印度有家纺纱厂将环锭细纱机的传统纺锤换成重量较轻的纺锤，每台机器每年的节省量平均为 23 兆瓦时。每台环锭细纱机上使用这项措施的资本费用约 13,500 美元(EMT, 2008b)。

6. 环锭纺纱机的合成多层带

合成多层纺锤带由尼龙、棉纱与特殊合成橡胶混合而成，运行稳定、尺寸稳定性良好、不易断裂、不易产生弱捻纱、不易造成纤维粘著，由柔软且富弹性的带子制成。这些特性可节能5-10%。根据一家印度纺纱厂所做的评估，将棉带换成合成多层带， 每年每台环锭细纱机平均可节能8兆瓦时(92.5千瓦时/吨/年)。每台环锭细纱机换用合成多层带的资本费用是540美元(投资回收期约10个月)(Palanichamy and Sundar Babu, 2005)。

印度另一家纺纱厂在环锭纱线机安装节能多层带后，每台机器每年的节能量平均是 4.4 兆瓦时，资本费用每台是 683 美元。这二个案例的节能量之所以不同，可能是每家工厂使用的环锭细纱机大小不同(每部机器的纺锤数量也不同) (EMT, 2008c)。

7. 优化环锭细纱机上细纱支数的绕环直径

绕环直径对环锭细纱机的能耗影响很大。绕环直径愈大，绕线筒容量愈大，包装愈重，能耗也愈多。绕线筒容量减少 10%，可降低环锭细纱机能源强度约 10%。较细的纱线，用直径 38 厘米/36 厘米的绕线筒，一般纱线，建议用直径 40 厘米的绕线筒。有 1008 个纺锤的长型环锭细纱机，费用是 1,600 美元，回收期约 2 年。在调整绕环直径前，要评估技术上是否可行，包含 Chandran 与 Muthukumaraswamy (2002)二人提到的以下几点：

- “要预测某一特定时期的纱线支数是很困难的。解决之道是，依据支数范围，将环锭纱线机依照合适的绕环直径，加以分开，这样每种环锭纱线机就可生产特定纱线支数。
- 在高速运转下，也无法预测现有绕环的使用寿命。
- 纺纱结束后的整体效率会因为绕线筒容量变少，而下降，但下降的效率可藉由调高机器的转速来补足。”

8. 环锭细纱机截面装假天花板

在工厂加湿区域进行纺纱时，温度和湿度要控制在一定的水平。由于加湿设备的能耗量与该设备的空间直接相关，安装假天花板可压缩空间，达到节能效果。印度有家纺织工厂的纺纱厅可容纳15,000个纺纱锭，就是在大厅屋顶下方安装假天花板来节能。这方法一年可节电125兆瓦时(8千瓦时/纺纱锭/年)。改造成本约11,000美元(EMT, 2008d)。

9. 环锭细纱机安装节能电机

先前提过，环锭细纱机是纺纱工艺中最耗能的设备，所以确保该机器使用高效能电机很重要，就算能效只比原有电机的能效稍微高点，节电量依然可观，且可在短期间内回收投资资金。印度有家工厂将四台环锭细纱机所用电机全数更换为高效电机，高效电机的能效是94.6%，比原有电机92.5%的能效要高，这样不仅可大量节能，还能提高功率因子，每换用一个高效电机，一年可节电6.3兆瓦时，每台电机的投资成本是1,950美元(EMT, 2008b)。

印度另一家工厂换用高效电机后，平均节能量更高，每部机器每年节电18.83兆瓦时，不过投资成本也较高，每台电机为2,200美元。二个案例之间的差额导因于每家工厂每年运行时数不同，以及使用电机的能效不同。我们有关于第一个案例基准能效的信息，但却没有第二个案例基准能效的信息，但可预期基准案例的能耗量与第二个高效电机的能耗量，差距会较大，所以节电量也多 (EMT, 2008E)。

10. 吸棉系统安装超节能风机以替代传统铝风机

环锭细纱机的吸棉同扇可在纱线断裂时吸入纤维，所以可在环锭细纱机吸棉系统上安装超节能风机，替代传统铝风机，据报采用在一台风机上采用本节能措施的成本为195-310美元，每台风机每年可节电40兆瓦时(EMT, 2008B; EMT, 2007a)。

11. 使用较轻的缠线管

环锭细纱机的缠线管用在收集纱线，缠线管位于纺锤上，通过纺锤转动，旋转纺锤是整部机器中最耗电的环节，缠线管愈重，旋转时能耗愈多，纺锤的能耗量也跟着增加。目前使用轻型缠线管已逐渐获得重视。印度一家纺织厂将 30-35 克重的缠线管换成 28 克重的缠线管，一台环锭细纱机每年因此节电 10.8 兆瓦时(假定每天落纱 12 次[8])。每台环锭细纱机换用较轻缠线管的改造成本是 660 美元 (EMT, 2008C)。

12. 高速环锭细纱机

在相同能耗量下，高速环锭细纱机的运行速度可提高10-20%，也就是相同产能下，传统环锭细纱机耗电45千瓦，但高速细纱机只耗电36.0-40.5千瓦。另外，这款机器可使用小直径经纱的节能纺锤，如此可节能约6% (NEDO, 2008)。

13. 电机驱动上加装软启动器

感应电机启动时的电流与外加电压成比例。软起动的设计可让电机在启动时，使用最低电压(基座脉冲电压)，即电机负载需要的最低电压。在设定好的时间内，电压会从最低水平升高至满载，最低与满载电压可在工厂内设定好，如果现有选择受限，也可以使用有扭力控制的软起动。想要启动时很平稳也可用软起动，以避免驱动系统突然受到冲击，或是有必要使用软启动以避免产品/工艺/驱动系统与配件受损。

纺纱厂使用软器动，可减少每次落纱后重新启动环锭细纱机因纱线断裂带来的成本，因为电机启动顺畅并渐进加速时，机器就不会受到冲击。据报采用这方法后每台环锭细纱机一年的平均节电量约 1-5.2 兆瓦时(Vijay Energy, 2009)，回收期约 2 年(CADDET, 1993)。省电之外，其他好处还有减少最大电力需求并改善功率因子。

[8]落纱(doff)一次是指环锭细纱机上的梭蕊每满一次就更换一个空的梭蕊。

5.2.3. 绕线、并线与后整理工艺

14. 自动络筒机上加装变频器

纺纱工艺中，自动络筒机通常用于环锭细纱机之后，这机器会将缠绕于筒子的纱线传到较大的络筒上重新缠绕。在自动络筒机的主要电机上安装变频器，有助保持真空状态，同时节能。采用这方法的印度纺织厂一年省电 331.2 兆瓦时(不过，我们没有自动络筒机使用数量方面的数据)。本方法的投资成本约 19,500 美元(EMT, 2008F)。

15. 自动络筒机/锥形绕线机的空筒子输送机设在间歇模式

空筒子输送带的设定可从持续运转模式调整成间歇运转模式，这方法不仅可以大量节能，还能降低维护成本并减少浪费。印度一家纺织厂将持续传输模式调整为间歇传输模式，即一小时内输送带运转 6 分钟，其余 54 分钟处于休息状态，这样一年可节电 49.4 兆瓦时(我门没有使用这方法的自动络筒机数量)，有关投资成本约 1,100 美元 (EMT, 2008F)。

16. 修改倍捻机外部的纺丝罐

在单捻纱无法提高纱线的某种属性，同时满足对织布的要求时，就必须使用倍捻法。捻二个以上纱线的方法称为并捻、合股或层组加捻，如此纱线就成了倍捻纱、合股纱或层组加捻纱，做这工作的机器成为倍捻机(two-for-one, TFO)。传统上，倍捻机的用途是将纱层组加捻，上行式捻线机的用途是并捻长丝。目前倍捻机用于纺纱及长丝方面，逐渐获得全球采用，主要就是因为他们的内在优点，如可生产不扭结的长纱，这样后续工艺的效能会较好，产量也较高(Shanmuganandam, 1997)。

倍捻机上的纱线气圈张力消耗的电力占总电耗的 50%，使用修改过的外部纺丝罐，可减少纱线张力，进一步缩减气圈的直径。这方法可节省倍捻机 4%的总能耗，同时研究显示这样做不会影响纱线质量(Chandran and Muthukumaraswamy, 2002)。

17. 优化倍捻机的气球设定

倍捻机的气球大小设于低位时，耗电较少，气球大小可在考量纱线数量后加以优化。一家印度纺织厂在优化其倍捻机的气球设定后，在毫无开支的情况下，一年节电 250 兆瓦时(我们没有使用这方法的倍捻机数量) (EMT, 2007a)。

18. 纱抛光机的加热系统由电子式改蒸汽式

纱线在塗上溶液抛光材料后会湿掉，需要干燥。有些工厂的纱抛光机使用电暖气，如果将电暖气换成蒸汽暖气，可降低耗电量。印度一家工厂的两台抛光机采用这方法，每台机器

一年的蒸汽用量增加 31.7 吨，但每台机器每年的平均用电量却减少 19.5 兆瓦时。据报每台机器的改造成本为 980 美元(回收期约半年) (EMT, 2008g)。

5.2.4. 冷气系统与加湿系统

19. 纱线给湿房改用节能雾气喷嘴

有些纺织厂将筒子纱放在纱线给湿房，以保持纱线的恒温与恒湿。给湿房通常对空喷水，供给纱线必须的湿度以提高纱线的强度、柔软度、质量与重量。喷水所用的喷嘴种类，对纱线给湿房的耗电量影响很大。印度有个案例是将给湿房的喷嘴换成节能雾气喷嘴，一年节电 31 兆瓦时，更换成本约为 1,700 美元 (EMT, 2008e)。

20. 在加湿工厂的洗衣机电机泵加装变频器(VFD)

装有加湿系统的工厂，洗衣机电机泵可安装变频器来自动调节电流速度，以符合所需湿度要求。通常电机泵会以满速运转，但湿度由分路控制，造成电力浪费。安装变频器后，电机泵的转速就可根据加湿工厂的需求进行调整。这方法的投资成本约 1,100 美元，一年可节电达 20 兆瓦时 (EMT, 2007a)。表 6 呈现纺纱织布厂不同工艺步骤需要的标准相对湿度 (RH)。这些数字是日本纺织工厂提供的平均数。

表 6. (日本纺织厂)不同工艺步骤平均的标准相对湿度 (ECCJ, 2007a)

工艺步骤	棉纱 (%)	精纺毛织物 (%)	合成纤维 (%)
混毛与清棉	45 - 60	-	-
梳棉	45 – 55	65 – 70	55 – 65
精梳	55 – 65	60 – 70	55 – 65
并条	50 - 60	50 – 60	55 – 65
粗纱	50 - 60	50 – 60	55 – 65
纺纱	50 – 65 [a]	50 – 55	60 – 65
卷绕	60 - 70	50 – 60	60 - 70
捻线	60 - 70	50 – 60	
包装	60 - 70	50 – 60	
机织	70 - 85	50 – 60	

[a] 温度：24-29℃

21. 加湿风机与冷却塔风机用高效玻璃纤维强化塑料(F.R.P)叶轮取代现有的铝合金风机

轴流风机广泛用于提供纺织工厂一些设备所需的气流。这些设备包括冷却塔、空调、通风与加湿系统。在玻璃纤维强化塑料风机叶轮上进行优化的空气动力设计，不管应用在哪里，

效能都会增加。减少风机整体的重量同时可延长机械区动系统的寿命。使用玻璃纤维强化塑料叶轮的风机，其驱动电机与轻型轴承系统需要的额定功率较低，在相同工作环境下，也比铝合金叶轮风机要省电。在我们的研究案例中，一家纺织厂将加湿系统与冷却塔共 17 个风机的叶轮，更换为玻璃纤维强化塑料叶轮。改造后每个风机一年节电 55.5 兆瓦时，每个风机更换叶轮的平均成本为 650 美元(EMT, 2004a)。

22. 在加湿系统风机电机上加装变频器(VFD)以控制流量[9]

纺织工艺(特别是纺纱与织造)的温度与湿度必须受到严格的监控并保持一定水平，这样纱线在机器内的运转才会顺利；工厂要顺利运行，通风系统的功能一定要好。通风系统使用送风机(SFs)与回风机(RFs)来流通湿度高的空气，以保持适当的环境条件、稳定恰当的周遭条件、冷却加工机器、控制空气中的悬浮维粒与纤维。首先，将回风与新空气的混合体通过四台净气器加以清洗、冷却与加湿，之后通过送风机将空气送到工厂设施，同时通过工厂架在天花板的风道与扩散器输送空气，这样产生的温度与相对湿度就能符合要求。之后回风机从处理机将空气抽出，注入地下隧道网络，一般通过每台回风机入口的转筒式过滤器，可将隧道的悬浮维粒与纤维加以过滤。

尽管通风系统每个地方送出与回流的空气质量与空气量，心理感受上相对恒定，但季节变化偶而会导致通风率有微幅变化。此外，因为运转的电机数量与电机负载额度不同，不同产品会造成工厂热负荷的变化。任何影响通风系统压力、体积与阻力的因素，均会直接影响风机的能源需求，因此必须要监测空气密度、阻尼器位置变动、系统压降与空气过滤器压降、送风与回风系统间的相互作用、风机平行运转，以确保通风系统的高效运行。通常可调进气口导叶片(VIVs)与进气口阻尼器可初步控制通风系统的气流，但这些加装效率相当低，无法在这些仪器上做精确设定、出口的设定可以设成手动或自动，且因为空气相当潮湿，可调进气口导叶片与阻尼球会出现腐蚀现象。

变频器可安装在控制流量的地方，以控制风机转速而不改变阻尼器的位置，也就是不再需要阻尼器，但风机控制阻尼器可完全打开，省下风机的用电量。据报美国一家工厂花费8,660美元改造后，每台风机每年节电平均为105兆瓦时(US DOE, 2005)，印度一家纺织厂在花费1,900美元改造后，每台风机每年节电平均为18兆瓦时。这措施带来的节电量与花费的成本会因风机体积、运行条件、气候、使用的变频器种类等因素，而有所不同 (EMT, 2004a)。

23. 在加湿系统泵上加装变频器以控制流量

[9] 本节摘自 US DOE (2005)，除非特别指明不同出处。

纺织厂内加湿系统的泵通常是满载运行，而节流阀则用于控制相对湿度，但节流阀换成变频器，如此可降低泵的速度。在印度设备条件最差的纺织厂，这方法一年可节电约35兆瓦时，投资成本约7,100美元(我们没有使用这方法的变频器数量) (EMT, 2004a)。

24. 加湿系统上加装节能控制系统

纺织厂内加湿系统的耗电量，平均占全厂能耗量的 15-25%，目前已有专为纺织厂加湿系统开发的节能控制系，这套系统包括安装于送风机、出风机与泵上的变频器，以及用于新鲜空气、再循环、排气阻尼器的控制调节器。取决于厂外天候状况，纺织厂安装这套系统可节能约 25-60%，要在现有的加湿系统(自动与手动加湿系统)进行改造很容易，且整个系统可透过中央计算机来控制。SITRA 公司生产的控制系统一个约介于 7,300-12,200 美元，但这还要看加湿系统的规模与其他因素而定。使用这套控制系统一年估计可节电 50 兆瓦时 (Prakasam, 2006; ITJ, 2008)。

5.2.5. 纺纱厂的通用节能措施

25. 机顶巡回清洁器(OHTC)采用节能措施[10]

纺织厂(尤其是纺纱厂与织造厂)有必要对纤维处理过程中产生的废绒毛进行有效管理，不然这会影响成品纱/织布，所以纺织厂要监控加工区域的废绒毛清理工作，确保纱线与织布有最佳的质量。机顶巡回清洁器(OHTC)可用来清除废绒毛与清理机器，该清洁器使用与纺织厂纺纱与织造环节有关的辅助驱动器。常见的废物收集系统(WCS)是个独立的子系统，用来收集机顶巡回清洁器清除的废绒毛。

新式纺织厂通常用一台机顶巡回清洁器来清理有 1008/1200 个纺锤的细纱机，该清洁器在滑架导轨上的移动速度是每分钟 16 公尺，从细纱机的一端滑到另一端需约 140 秒，横向来回移动时，该清洁器会持续地在细纱机不同的机件周围对空吹气并吸入废绒毛。通常，这部清洁器一年耗电 17,000 千瓦时，有些厂商已开发运用创新节能技术的机顶巡回清洁器。下面会介绍这些措施 (Expresstextile, 2005)。

a. 定时器控制的机顶巡回清洁器

使用定时器电路的节能控制系统，可辅助控制箱的主要接触器，在机顶巡回清洁器以直线在细纱机来回移动触及两端时，发挥启动与关闭的功能。也可用关闭定时器，其特点之一是可在位移状态时，延长运行延迟时间 0-30 分钟。案例研究显示运行时间可减少 33%，

[10] 本节摘自 Expresstextile (2005)。

相较基准情况，这样可节能 33%。处理经纬密度较高的织布的纺织厂，因为织布释出的粉尘较少，可采用这方法，但处理织布经纬密度较低的纺织厂，因为粉尘较多，就不适合。案例显示，一台机顶巡回清洁器每年的节电量平均为 5.8 兆瓦时，每台设备采用这项措施的成本约 180 美元(Expresstextile, 2005)。

b. 光控制的机顶巡回清洁器

纺织厂也可使用光学感应器来侦测机顶巡回清洁器在细纱机的位置，这样只有在必要的运行时间内，废物收集系统的鼓风机才会启动，案例回报显示，这方法消耗的电量比基准情况要少 41%，相当于一台清洁器每年可节电 5.3 兆瓦时。每台的改造成本为 980 美元(Expresstextile, 2005)。

26. 机顶巡回清洁器用高效鼓风机

机顶巡回清洁器现有的鼓风机可更换为直径较小、重量较轻的高效鼓风机。节能幅度约 20%，且投资在半年就可回本。案例研究显示，每台鼓风机每年可节电 2 兆瓦时，每台风机的改造成本为 100 美元(Expresstextile, 2005)。

27. 改善工厂的功率因子 (减少无效功率)

纺纱厂有很多电动机会产生无效功率，所以，通过提高纺织厂的功率因子来减少无效功率，是节能与节费的一项重要措施。例如，印度一家纺纱厂将低值电容器换成新式电容器，照样减少系统能耗量，一年据报可节电24.1兆瓦时，投资成本约3,300美元(EMT, 2008c)。

28. 用齿轮 V 型皮带取代一般 V 型皮带

很多纺织厂的电机是透过滑轮与皮带连接到旋转装置，使用 V 型皮带来传动的例子很多。将普通 V 型带换成齿轮 V 型带可减少磨擦损耗，进而节能。印度一家纺纱厂将 20 个使用 V 型带的驱动器做调整后，一年节电约 30 兆瓦时，更换成本为 244 美元(EMT, 2008c)。

5.3. 织造工艺的节能技术与措施

表 7 列出了织造工艺的节能措施/技术。

表 7. 织造工艺的节能措施与技术

编号	节能技術与措施	燃料节约	节电量	资本费用 (美元)
5.2	**织造**			
29	对喷气织造厂的压缩空气系统的能源效率进行评估与强化		440,000 美元 /年 (500 个喷射织机)	
30	织造厂通用的节能措施			

29. 对喷气织造厂的压缩空气系统的能源效率进行评估与强化

喷气织造机器使用压缩空气来塞入纬纱。压缩空气生产时的转换效率相当低(不回收余热的话，不到15%)。由于大多数纺织厂的生产依赖压缩空气，所以提高压缩空气的使用效率将为纺织厂带来显著的经济效益。

举例来说，乔治亚技术学院进行的一项案例研究显示，将漏气量从12%降至6%，且系统空气压力每平方英寸降低16英磅，一台运行500个织造机的空气压缩系统一年可省下440,000美元。同时，发现除非气压降至某种水平，造成纬停现像剧增，否则气压对织造机的性能不会有很大的影响。这份研究指出，只有在流量计的气压每平方英寸低于64英镑时，织造性能不佳的情况才会出现，而这代表试验织造机必须维持的最低气压值，这比制造商建议的每平方英寸80英镑还要低很多(Wang, 2001)。

30. 织造厂通用的节能措施

织造机的用电量占一家织造厂总用电量的 50-60%，其他用电则来自加湿设备、压缩机与照明等设备，取决于使用的织造机种类与湿插入技术(Sivaramakrishnan et al., 2009)。由于织造机只是一部机器，改造现有织造机以提高机器能效的方法有限，当然，不同的织造机所需的能源强度(单位产品的能耗量)也不同。不过，大多数提高能效的方法都离不开织造机的使用方法(生产效率)、辅助设备(加湿设备、压缩空气系统、照明等)，与机器的维护。

前面介绍过提高纺纱工艺所用加湿设备与压缩空气系统能效的方法，某种程度上，这些方法也适用于织造厂。此外，下面介绍提高织造工艺能效的一些措施：

- 织造机的利用率应高于 90%。织造机利用率降低 10%，能耗量会增加 3-4%(Sivaramakrishnan et al., 2009)。
- 织造机的电动机应换成节能电机。
- 织造机的种类对能源强度有很大的影响。所以，购买新织造机时，应考虑节能织造机。不过要注意的是，有些织造机仅能生产特定规格的织布，不是所有织造机都能生产各式各样的织布。因此，我们对于应该使用哪种织造机无法给通用建议；每种情况都应进行具体分析。
- 经纱与纬纱的质量直接影响织造工艺的生产效率与能源效率。所以，使用价格高钱一点、但品质高的纱线，织造工艺较不会出现纱线断裂或停止运转的情形，最终还是比用便宜、质量差的纱线更具成本效益。

5.4. 湿法工艺的节能技术与措施

本指南第 4.2.2 节的表 4 给出了日本染色厂使用热能的平均值。该表清楚显示一家染色厂使用热能的比例，以及每种用途的热能损失，让我们能清楚看到最有节能潜力的地方在哪。再者，该表对哪里损失最多热能，哪些要优先处理，提供了很多有用的信息。我们将该表重新呈现(表 8)，同时加上减少热能损失的通用方法。

表 8. 染色厂的热能消耗(日本平均数) (ECCJ, 2007a)

内容	占总热能消耗的比重	减少热损耗的方法 [a]
产品加热	16.6%	
产品干燥	17.2%	避免过度干燥
废水损失	24.9%	回收余热
设备释出的热量	12.3%	改善保温
废气损失	9.3%	降低废气
空转	3.7%	空转时停止供能
溶液表面蒸发	4.7%	装盖子
未回收冷凝水	4.1%	回收冷凝水
冷凝水回收过程的热量损失	0.6%	
其他	6.6%	
总量	100%	

[a]: 本表仅是降低热损的几个通用方法，这些方法的详细内容会在以下不同工艺步骤加以说明。

表 9 列出了湿法工艺的节能措施/技术。

表 9. 湿法工艺的节能措施与技术[11] *

编号.	节能技術与措施	燃料节约	节电量	二氧化碳排放减排量****	资本费用(美元)	回收期(年)***
5.3	湿法工艺					
5.3.1	**准备工艺**					
31	将准备处理工作进行整合	达 80%准备处理的能耗		高达 80%的二氧化碳与准备处理的能耗相关		
32	冷轧卷堆预备处理	达 38%预备处理的能耗	达预备处理用電量的 50%	高达 38%和 50%的二氧化碳与预备处理的燃料消耗和电耗分别相关		
33	漂白槽回收系统**	省 38,500 - 118,400 美元	80000 -246,000		2.1	
34	用逆流洗涤	洗涤能耗的 41% - 62%		41% - 62%的二氧化碳与洗涤的燃料能耗相关		
35	连续清洗机的钳口和槽加装盖子					
36	连续清洗机加装自动阀					< 0.5
37	连续清洗机加装热回收设备	5 吉焦/吨布料		0.5 吨二氧化碳/吨布料		
38	降低连续清洗机直接蒸汽压					
39	连续清洗机采用使用点热水器	达洗涤能耗的 50%		高达 50%的二氧化碳与洗涤的燃料能耗相关		
40	将纱线丝光机上排风罩的风机运转与水盘移动联锁		12.3 兆瓦时/年/机器	10.3 吨二氧化碳/年/机器		< 0.5
41	将冷却鼓风机电机与布气烧毛机的主要电机联锁		2.43 兆瓦时/年/机器	2.0 吨二氧化碳/年/机器		< 0.5
42	将剪毛机的鼓风机电机和主要电机联锁		2.43 兆瓦时/年/机器	2.0 吨二氧化碳/年/机器		< 0.5
43	酶催化消除法去除漂白后残留的双氧水	2,780 吉焦/年/工厂		255.5 吨二氧化碳/年/工厂		
44	酶催化洗毛					
45	洗毛厂使用除污/油脂回收一体化线圈	2 兆焦/公斤脂羊毛		0.2 吨二氧化碳/吨脂羊毛	615,000 - 1,230,000/ 系统	2 - 4

[11] 表三为一般纺织湿法工艺的用能要求，依据产品形态、机器种类与使用工艺分列。

编号.	节能技術与措施	燃料节约	节电量	二氧化碳排放减排量****	资本费用(美元)	回收期(年)***
5.3.2	**染色与印花工艺**					
46	在毛条染色机的泵电机加装变频器		26.9 兆瓦时/年/机器	22.5 吨二氧化碳/年/机器	3100 /机器	1.5
47	处于高温/高压的染色机进行热绝缘	210 - 280 吉焦/年/工厂		19.3 - 25.7 吨二氧化碳/年/工厂	9000 - 13,000 /工厂	3.8 - 4.9
48	染色厂自动准备与分配化学品				化学品分配: 150,000 - 890,000 ; 染料溶解及分布: 100,000 - 400,000; 粉粒溶解及分布 ::76,000 - 600,000	1.3 - 6.2 ; 4 - 5.7 ; 3.8 - 7.5
49	布印花厂自动准备染料**				23,100 - 2,308,000/ 系统	
50	染色机自动控制器				57,000 - 150,000/系统	1 - 5
51	回收分卷染色机(喷气、经轴、包装、绞、卷染机和绳状染色机)的冷水	1.6 - 2.1 吉焦/吨布料		0.1 - 0.2 吨二氧化碳/吨布料	143,000 - 212,000/系统	1.3 - 3.6
52	冷轧卷堆染色系统	16.3 吉焦/吨染布料		1.5 吨二氧化碳/吨染布料	1215000/系统	1.4 - 3.7
53	中断气流染色机的印染	达机器燃料用量的 60%		高达 60%的二氧化碳与机器燃料用量的能耗相关	190500 - 362,000/机器	
54	在循环泵和色槽搅拌器安装变频器		138 兆瓦时/年/工厂	115.4 吨二氧化碳/年/工厂	2300/工厂	< 1
55	重复使用染浴	省 4500 美元 / 染色机			24,000 - 34,000/ 染色机	
56	优化绳状染色机的设备		机器用电量的 30%	30%的二氧化碳与机器电量能耗相关		
57	优化喷射染色机的设备	1.8 - 2.4 公斤蒸汽/公斤布料	增加 0.07 - 0.12 千瓦時/公斤布料	0.4 - 0.6 吨二氧化碳/吨布料	221,000 机器	1.4 - 3.1
58	单绳流动染色机	2.5 公斤蒸汽/公斤布料	0.16 - 0.20 千瓦時/公斤布料	0.6 吨二氧化碳/吨布料		< 1
59	微波染色设备	比轴染色节能 96%	比轴染色节能 90%	与经轴染色相比，可分别减少 96% 和 90% 的与燃料和电量相关的二氧化碳	450000/ 机器	
60	降低湿式分卷高压染色					

编号.	节能技術与措施	燃料节约	节电量	二氧化碳排放减排量****	资本费用(美元)	回收期(年)***
	机的工艺温度					
61	分卷染色机(绳状染色机、卷染机)的直接蒸汽加热，换成蒸汽盘加热	4580 吉焦/年/工厂		421 吨二氧化碳/年/工厂	165500/工厂	
62	降低湿式高压染色机的工艺时间					
63	在常压湿式分卷机安装盖子或罩子					
64	严格控制常压湿式分卷处的温度	27 - 91 公斤 蒸汽/小时		0.2 - 0.5 吨二氧化碳/运行日		
65	卷染机使用不同溶液流率	传统小滑车比,节能 26%		与传统小滑车相比, 减少与燃料消耗相关的二氧化碳排放 的 26%		
66	从高压釜的废热水回收热量	554 兆焦/批次产品		51 千克二氧化碳/批次产品		
67	高压釜表面做好隔热处理	15 兆焦/批次产品		1.4 千克二氧化碳/批次产品		
68	降低染色工艺再加工处理的必要	10% -12%		减少与燃料消耗相关的二氧化碳排放 的 10% - 12%		
69	从高温洗涤水回收热量	1.4 - 7.5 吉焦/ 吨冲洗布料		0.1 - 0.7 吨二氧化碳/吨冲洗布料	44,000 - 95,000	< 0.5
70	重复使用洗涤与冲洗水					
71	降低洗涤水的温度	10%		减少与燃料消耗相关的二氧化碳排放 的 10%	0	
5.3.3	**干燥工艺**					
	提高滚筒干燥机的能效					
72	采用机械预干燥					
73	选择混合系统	25% - 40%		减少与燃料消耗相关的二氧化碳排放 的 25% - 40%		
74	回收冷凝水与闪蒸汽					
75	配电箱绝缘					
76	为低水附加特性选择流程					
77	避免中間干燥					
78	避免過度干燥					
79	减少空转时间与同时烘干多个布料					
80	在高蒸汽压下操作汽缸					
81	维护烘干机					
82	使用射频烘干机烘干腈	省 45,000 美元 /			200000/工厂	

编号.	节能技術与措施	燃料节约	节电量	二氧化碳排放减排量****	资本费用(美元)	回收期(年)***
	纶纱	工厂				
83	用低压微波干燥机烘干取代干蒸汽加热器来干燥梭蕊		107 千瓦时/吨纱线	0.1 吨二氧化碳/tonne yarn	500000/工厂	< 3
84	染色后用高频减压烘干机烘干梭蕊		200 千瓦时/吨产品	0.2 吨二氧化碳/吨纱线	500000/机器	
5.3.4	**后整理工艺**					
	提高拉幅机的能效					
85	将拉幅机和烘干机的热流加热系统换成直接燃气燃烧系统	11000 吉焦/年/工厂	120 兆瓦时/年/工厂	1111 吨二氧化碳/年/工厂	50000/工厂	1
86	用拉幅机前，先用机械脱水或接触干燥	拉福机能耗的 13% - 50%		减少与燃料消耗相关的二氧化碳排放的 13% - 50%		
87	避免过度干燥					
88	空转时关闭废气流					
89	调高干燥温度					
90	关闭密封侧面板					
91	正确保温	拉福机能耗的 20%		减少与燃料消耗相关的二氧化碳排放的 20%		
92	优化排气湿度	拉福机能耗的 20 - 80%		减少与燃料消耗相关的二氧化碳排放的 20% - 80%		
93	安装热回收设备	拉福机能耗的 30%		减少与燃料消耗相关的二氧化碳排放的 30%	77,000 - 460,000/系统	1.5-6.6
94	拉幅机直接燃气系统采用高效火口技术					
95	拉幅机加装传感器和控制系统	拉福机燃料用料的 22%	拉福机用电量的 11%	减少与燃料消耗相关的二氧化碳排放的 220% 和减少与电量相关的二氧化碳排放的 11%	湿度控制器：20,000 – 220,000；停留时间控制：80,000 – 400,000	湿度控制器：1.5 - 5；停留时间控制：4 - 6.7
5.3.5	**湿法工艺的通用节能措施**					
96	退浆、染色与后整理用自动蒸汽控制阀	3250 吉焦/年/工厂		299 吨二氧化碳/年/工厂	5100/工厂	
97	自湿法工艺工廠回收冷凝水	1.3 - 2 吉焦/吨布料		0.1 - 0.2 吨二氧化碳/吨布料	1000 - 16,000	1 - 6
98	将空气压缩机回收的热量用于燥织尼龙网	7560 吉焦/年/工厂		695 吨二氧化碳/年/工厂	8500/年/工厂	
99	利用热交换器回收湿法	1.1 – 1.4 吉焦/吨		0.1 吨二氧化碳/吨成	328820 /系统	

编号.	节能技術与措施	燃料节约	节电量	二氧化碳排放减排量****	资本费用(美元)	回收期(年)***
	工艺排放的废水	成品布		品布		

*本表中所列的节能、资本费用与回收期是针对参考报告中所列的明确条件，执行这些措施能带来额外(非能源)效益。请详阅报告中引述的每个措施,从而对节能与资本费用有完整的了解。

**此措施的节能量是净年均运营节能量（工厂平均值），包括能源和非能源方面的节约。

***没有列投资回收期，但有节能量与资本费用者，投资回收期的计算是假设电力价格为 75 美元/兆瓦时（约合 0.075 美元/千瓦时）。

****二氧化碳排放量根据 2008 年中国电网平均二氧化碳排放因子 0.836 千克二氧化碳/千瓦时（来源：NDRC, 2009）和中国纺织行业燃料消耗的加权平均二氧化碳排放因子（等于 91.89 千克二氧化碳/GJ）计算得出（来源：NBS, 2010; IPCC, 1997a; IPCC, 1997b）。

5.4.1. 准备工艺

31. 将准备处理工作进行整合

将一块棉织布的准备工作如退浆、洗毛、漂白结合起来做，可将原先8个准备步骤，缩减到剩2个，这方法需要用到蒸汽清洗、冷轧卷堆技术，少掉中间三个清洗步骤、一个热煮布锅步骤、一个冷酸步骤，可节能高达80% (Carbon Trust, 1997)。

32. 冷轧卷堆预备处理

染整厂可用冷轧堆法进行预处理，这方法是用轧染机将碱/过氧化氢加入布料中，再将布料存放，使布料在清洗前，有机会与这些化学品进行充分的交互作用。这方法可节省高达50%的用水量与用电量，以及 38%的蒸汽用量。不过冷轧堆技术只能用在棉织布 (Greer et al., 2010)。

33. 漂白槽回收系统[12]

由于施法工艺使用大量的水，所以将水回收并重新利用，可大幅降低废水处理系统的水力负荷，同时节约用水、用能与废水处理。回收利用冲洗水与洗涤水有二个途径：可将水用于对洗涤水质量要求不高的洗涤步骤，或者可作为湿法工艺步骤的加工水，添不添加化学品都可以。例子有：

- 重复使用碱洗水、洗毛补给水与洗涤水内进行漂白后的冲洗水
- 重复使用退浆洗毛或冲洗印染机的洗涤水
- 重复使用丝光加工的冲洗水来清理洗毛槽、漂白槽、润湿槽

[12] 本节摘自 Marbek Resource Consultants (2001)，除非有特别指明不同出处。

在这些例子，准备化学品，特别是荧光增白剂与色调，在选择时必须要避免引发质量问题如斑点，同时需要储存槽储存加工溶液，以作为下一次染浴的补充水。

漂白浴回收系统可用在针织与机织环节，这样 100%的棉全漂白的所有工艺（如洗毛前、漂白与中和作用）中的用水量，有 50%可重复使用。节约还体现在能耗量降低与废水处理开支减少。回收水的平均温度估计为 40°C。中型规模的纺织厂一年可节能约 51,000 美元[13]。

例如，煮布锅的热洗涤水可作为下一批洗毛水，这样可节能 10% (Carbon Trust, 1997)。英国一家染整厂将漂白工艺的洗涤水，重复用在洗毛冲洗，省下 50%的用水量，一年省下 16,900 美元的废水处理费与用水成本(Marbek Resource Consultants, 2001)。表 10 给出不同规模纺织厂的漂白槽回收系统的资本成本与年运行成本。

表 10. 漂白槽回收系统的资本成本与年运行成本 (Marbek Resource Consultants, 2001)

成本项目	工厂规模(美元)		
	小型	中型	大型
资本成本 (每个工厂平均值)	$80,000	$123,000	$246,000
每年节省的运行成本净值 (每家工厂平均值)	$38,500	$59,200	$118,400
简单回收期 (中型规模纺织厂)	2.1 years		

注释：这里的成本与节约量不是指单一机器，而是与不同规模工厂的产量有关。

34. 使用逆流洗涤

在织布通过整个清洗环节时，清洁的水也从工厂的末端回到前端，这意味最干净的织布碰到的冲洗水也是最干净的，所以使用逆流技术可省水并节能。开发这技术的目的在于减少洗涤时的用水量，用到的设备包括洗涤设备、洗衣机与干燥设备、过滤设备、感应器与泵。洗涤水的流向与织布流向相反，感应器可侦测水是否纯净，以便自动调整进水速度(ECCJ, 2007a)。

例如以冷轧堆技术进行染色时，先以配有夹控轧辊的轧染机将染料以预设的方式添加到织布，停留一段时间后(时间长短依染料而定)，再将多余的染料冲掉。此时要注意，以下步骤是有区别的：

- 将染料从织布表面洗掉
- 皂洗 (染料从织布内层浮到织布表面)

[13] 假定淡水的平均温度为 13°C。

- 中和作用
- 将中和过程产生的盐分冲掉

这个过程一般每公斤织布需要 20 公升的水与 1.6 公斤的蒸汽，不过逆流技术可以依序用于这些步骤，进而达到省水与节能的效果。用在最后冲洗盐份的水会被导入皂洗环节，等到要洗涤织布表面染料时再用。由于冲洗过程末端累积的泥土不多，水就可以导向前端作有效利用。此外，皂洗过程的水不用很热，可以省下蒸汽的用量。这个逆流洗涤过程每公斤织布用了 9 公升的水与 0.95 公斤的蒸汽。再者，在下游干燥过程的用能量也较少，因为此时气温已比传统方法要高出 40°C。在这个例子，节水幅度达 55%，蒸汽用量则减少 41%(Textiledigest, 2009)。

不过，据报日本节能中心(ECCJ) (2007a)在使用逆流技术后，节约的蒸汽量高达 50%，用水量高达 90%。英国碳信托有限公司(Carbon Trust)(1997) 将其连续式清洗机的 9 个槽中的 7 个热水槽改用逆流技术，在冲洗效能完全不受影响下，省下了 62%的用能量与用水量。图 11 是逆流洗涤过程的示意图。

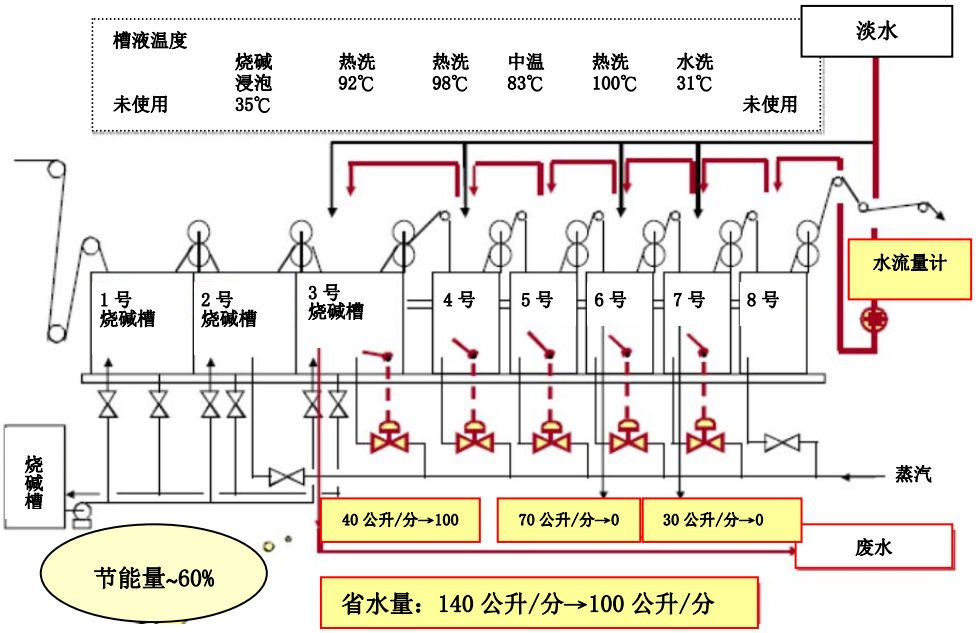


图 11. 逆流洗涤过程示意图 (ECCJ, 2007b)

连续式清洗机的节能量[14]

[14] 本节有关连续式清洗机的能效测量是摘自 Carbon Trust (1997)，除非有特别指明不同出处。

连续式清洗机一般是用在准备工艺如洗毛、漂白、丝光或染色等步骤之后，该机器(或称”显色皂洗联合机")是由数个槽、隔间或缸组成，这些部份由张力补偿器及夹锟连接。织布绕着每个槽一连串的滚筒进行编织、平幅。滚筒有助溶液搅动并分离杂质，以提高冲洗效率(Carbon Trust, 1997)。图12是连续式清洗机的示意图。表11显示不同清洗步骤一般所需的用能量与用水量。表12是清洗机一般用能情况的细目。

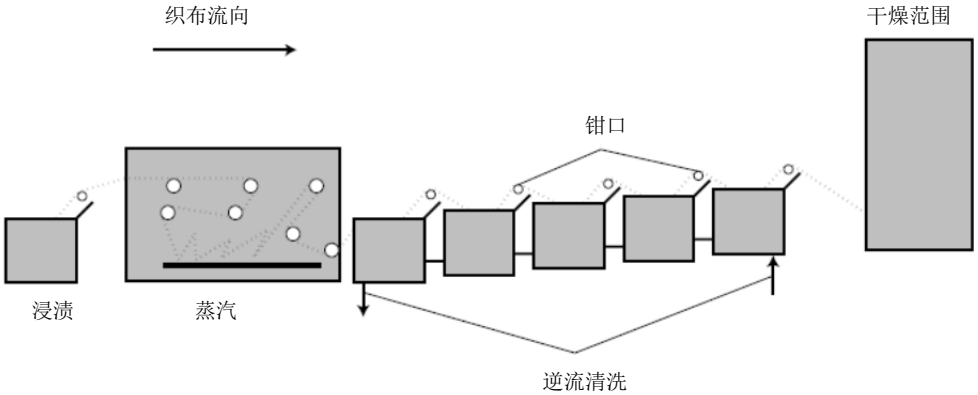


图 12 连续式清洗机示意图 (Carbon Trust, 1997)

表 11. 不同清洗步骤一般所需的用能量与用水量 (Carbon Trust, 1997)

冲洗结束前的步骤	清洗机种类	一般能耗量 (吉焦/吨)	一般用水量 (立方公尺/吨)
漂白	5 个热直立槽	7.5	10.4
漂白	4个全逆流式、有热交换器的热槽，	2.8	4.3
洗毛/漂白	5 个全逆流式、有热交换器的热槽	3.0	5.5
染色	4 个逆流热槽、1个冷直立槽	6.6	8.2
印花	4 个逆流热槽、3个独立流冷槽	10.5	35.0
印花	4 个逆流热槽、3 个独立流冷槽	5.5	35.0

图 12. 连续式清洗机一般用能情况的细目 (Carbon Trust, 1997)

环节	占总能耗量的比重
水加热	50%
钳口损失	36%
辐射与对流损失	3%
蒸发损失	11%
总量	100%

35. 在连续清洗机的钳口与槽加装盖子

从表12可看出经由钳口损失的能量相当大，有些例子甚至超过清洗机总能耗量的40%，所以在钳口与热槽上加装盖子很重要，要用时能够立即打开才是合适的盖子。这个简单改造措施带来的节能量很可观 (Carbon Trust, 1997)。

36. 连续清洗机加装自动停止阀

连结机器主要驱动系统与水流间的自动停止阀，可在机器停止运行时立即中断水流，以达到节能与省水的效果。一连串短暂停机的时间加起来可占到机器运行时间的 20%，通常中断时水流与加热仍会持续，导致大量的能源与水遭浪费。在连续清洗机加装自动停止阀的回收期可快到只有一个月 (Carbon Trust, 1997).

37. 连续清洗机加装热回收设备

在连续清洗机加装热回收设备是个简单又有效的方法，因为清水进废水出搭配得宜，就不需要聚水槽，机器排出的废水会受到纤维材料的污染，所以加装能够承受这些废水量的热交换器就很重要。方法之一是自清、轮替使用可节能 70%的元件交换器，另一个方法是加装有预先过滤功能的简易板式换热器，虽然期初成本较高，但节能幅度可高于 90%。

上面表 11 说明连续清洗机安装热交换器的节能潜力。如在印花后不进行热回收处理，该机器的能耗强度为 10.5 吉焦/吨织布，装了热交换器后能源强度降至 5.5 吉焦/吨织布 (Carbon Trust, 1997)。

38. 降低连续清洗机直接蒸汽压

降低新蒸汽压力可避免蒸汽渗漏，进一步提高热交换器在直接加热蒸汽时的能效，同样地，降低密闭纱圈的蒸气压有个好处：低蒸气压的潜热含量较高(Carbon Trust, 1997)。

39. 连续清洗机采用使用点热水器

采用使用点燃气热水器可将部份工艺与工厂中央锅炉系统的运行分开，这样可解决因为中央系统引发的锅炉与输送管漏损问题(可高达燃料用量的 50%)。使用点加热方法的弹性较大，因为它可在主要锅炉不运行时运转，不过，这个方法要对清洗机进行大幅度的改造，资本成本有可能较高(Carbon Trust, 1997)。

40. 将纱线丝光机上排风罩的风机运转与水盘移动联锁

很多工厂在纱线丝光机运行时，并未将装在排烟器罩子上的排风罩风机拿掉，不过排风罩风机与水盘往前移动在用电上可互联，因为风机只需要排放清洗阶段产生的烟。采用这方

法可减少风机的用电量，有个案例回报的节电量是每台机器每年节电 12.3 兆瓦时，且投资成本相当低(EMT, 2006a)。

41. 将冷却鼓风机电机与布气烧毛机的主要电机联锁

纺织厂经常出现一个现象，就是一台机器停止运行时，辅助机器却持续运行，造成能源浪费，烧毛机就是一个例子。很多工厂在烧毛机停机时，还让冷却鼓风机继续运行。解决这问题的方法，就是将冷却股风机电机与烧毛机主要电机联锁，这样就能节能。印度一家工厂采行这方法每台机器每年节电 2.43 兆瓦时。该方法的成本非常低，或者可忽略不计。(EMT, 2005a)。

42. 将剪毛机的鼓风机电机和主要电机联锁

与先前布气烧毛机采用的方法近似，剪毛机的主要电机也可和鼓风机联锁。印度一家纺织厂采行这方法后，一台机器一年节电 2.43 兆瓦时。本方法的成本非常低，或者可忽略不计。 (EMT, 2005a)。

43. 酶催化消除法去除漂白后残留的双氧水

原棉织布必须要漂白，通常要仰赖双氧水达成。要达到同样的漂白效果，在漂白结束时，双氧水的残留量应有原先用量的 10-15%。由于染料容易氧化，需将双氧水残留物完全清除干净，才能避免染料颜色发生变化。除去双氧水残留物常用的几种技巧中必须包含减少化学剂量与多冲洗几次。传统方法的主要缺点是能耗量大、用水量大、使用硫去除化学剂。

使用特殊酶(过氧化物)进行催化，可将双氧水还原成氧气与水，不会与基质或染料产生副作用。过氧化物是生物可完全降解的化学剂，使用过氧化物漂白后的几个洗涤步骤，可用酶催化除去过氧化物地方法将以缩短(通常只有热水冲洗步骤是必要的)。过氧化物对下游染色工艺不会有负面影响。一般步骤包括：过氧化物漂白—更换溶液—(热水)冲洗一次—更换溶液—用酶去除过氧化物—染色但不用更换溶液。

在间断、半连续与连续生产模式下，可使用酶去除过氧化物，这方法适用新的设备与现有的设备，省水量与节能量约占生产成本 6-8% (E-textile toolbox, 2005a)。Barclay 与 Buckley (2000) 的报告指出，根据当地用水与用电的成本，一吨织布的节能量约介于 15-30 美元。丹麦纺织厂 Skjern Tricotage-Farveri 采用这方法，一年节电达 2780 吉焦并节约 1350 万公升的用水。

44. 催化酶洗毛[15]

用强碱与漂白进行退浆、洗毛，是棉花加工厂常见的前处理步骤，洗毛与漂白常一起进行，酶可取代强碱洗毛的步骤。由于酶的漂白效果较佳，经过洗毛步骤的织布在漂白时，就可此用较少的化学剂与助剂。有了酶洗毛，就可省却洗毛常用的烧碱。就质量而言，催化酶洗毛可一再重复却不影响质量、织布受损情况减少、织布尺寸较一致、得色量提升、织布结构较柔软。

洗毛用水量会比传统方法少 20%。如果催化酶洗毛与漂白、减少过氧化减用量相结合，冲洗涤用水量会比传统方法少 50%。这方法适用于持连续模式与不连续模式的纤维素纤维与其混合物(针织布)。现有机器(喷气机、溢流管、绞车、浸轧、轧染蒸汽机、轧染滚筒)也可采用。看厂内状况，这方法可省水、省时、省化学助剂又节能，全球都适用，尤其是德国的加工厂(E-textile toolbox, 2005b)。

45. 洗毛厂使用除污/油脂回收一体化线圈

洗毛过程相当耗能。除了家庭常用的一般节能方法外，通过安装污水/油脂回收线圈来减少排放至地下道或厂内污水处理厂的污水量，可节约的能源用量是最多的，方法是安装热交换器将污水/油脂排放线圈内的余热进行回收，这方法：

- 减少 25%至 50%于的用水量(使用逆流方法的传统工厂，每公斤原毛的用水量介于 5 公斤至 101 公斤)；
- 如果有安装回收线圈与热交换器，则洗毛时从污水/油脂回收线圈节省下的能耗量大约是 2 兆焦/每公斤原毛；
- 生产值钱的羊脂作为副产品；
- 清洁剂的用量将随着用水量的下降而减少；
- 送至污水处理厂的污水量(耗氧物质与悬浮固体)将减少，即可减少处理污水时需用的能源量与化学品剂量。

一年处理原毛量介于 15,000 吨至 25,000 吨的工厂，安装污水/油脂回收线圈的成本约在 615,000 至 123 万美元，具体金额取决于选用的规格、特定系统的质量与容量。如不考量污水处理成本降低带来的好处，投资回收期为 2-4 年。请留意这成本信息是取自英国的研究报告(European Commission, 2003)。

[15] 本节摘自 E-textile toolbox (2005b)。

5.4.2. 染色与印花工艺

46. 在毛条染色机的泵电机加装变频器

毛条染色是精梳毛在纺纱前使用的染色法。染色时，将毛条装入大的染色桶，并以高温将染液来回倒入毛条。毛条染色机的泵电机安装变频器后，泵电机的转速可根据染色工艺的要求进行设定，达到节能的效果。印度一家纺织厂在 25 台染色机的泵电机上安装变频器，实现的平均节能量为 26.9 兆瓦时/年/机器，据报每台机器的投资成本约 3,100 美元 (EMT, 2008H)。

47.处于高温/高压的 染色机进行热绝缘

在管路、阀、槽与机器上作热绝缘处理，是做好内务处理的通则，凡是有消耗到蒸汽的地方，纺织厂都应该要做热绝缘处理。据报，热绝缘省下的用能量是湿法工艺机器在高温高压下总能耗的 9% (Carbon Trust, 1997)。

绝缘材料可能会接触到水、化学品或物理震动，所以绝缘外层要采用耐磨、防化学品/防水的材料，据报这样做的潜在节能量一年可高达210-280吉焦，每家工厂的投资成本为9,000美元至13,000美元(含绝缘材料与安装费用)。回收期约介于3.8年至4.9年(European Commission, 2003)。

印度的另一个案例是使用高温高压染色机来染棉纱/涤纶丝。将纱线置入染色机后，染缸随即注水，跟着添加染料与其他化学品，再将溶液混合物加热至130°C，起初这家纺织厂的染缸并未有绝缘处理，造成机器的大量热损。原本每染一公斤的纱线，需要消耗7.2公斤的蒸汽，在染色机器进行绝缘处理后，每公斤纱线的蒸汽用量降至7.05公斤(EMT, 2008G)。

Saad El-Din(2004)在报告中也指出，进行施法工艺的纺织厂于强化染色机与蒸汽系统的热绝缘后，节能量为每吨布4吉焦、节电量为每吨加工布6.3千瓦时，投资成本为每吨加工布5.2美元。

48. 染色厂自动准备与分配化学品[16]

纺织业很多公司已采用电子配色间与电子化学计量及配送系统，多数公司未于发达国家。微处理器控制的计量系统，会依据等速或变速等不同情况，自动分配化学剂量。现代的剂

[16] 本节摘自 European Commission (2003)，除非有特别指明不同出处。

量与配送系统在计算要准备多少用水时，已将清洗准备缸与配送管的用水量计入。这方法省水，但需要事先将化学品混合，如果化学品进到染色机前无需混合的话，可使用其他的自动计量系统，此时，个别产品使用独立的液流，在下步骤开启前就不必要清洗筒子、泵与管路，这样可使用的化学计量、水量、能耗量与时间，就可减少。这是连续加工生产线很重要的一个特色。

图13化学品自动配送系统的示意图，用于准备预处理液与整理液(不用预先混合化学品)。半连续染色(冷轧堆)与连续染色也可使用类似的设备。

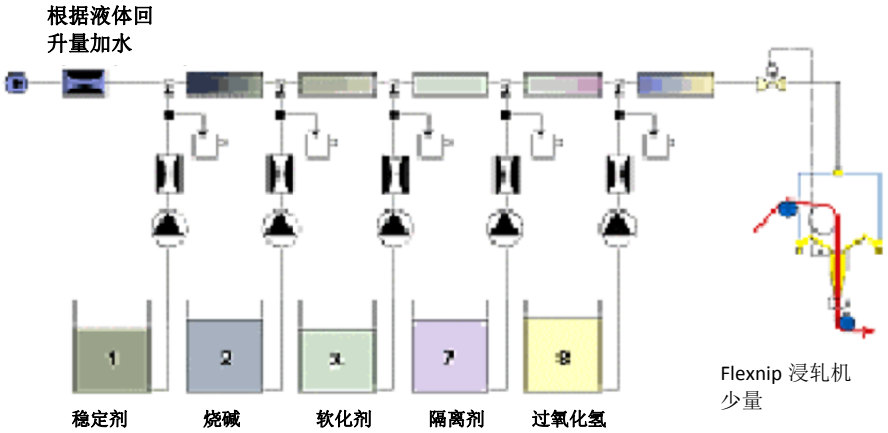


图 13. 化学品自动配送系统示意图 (European Commission, 2003)

自动化可确保机器一开始就正确运行，将进行重做、重染、脱色、色泽调整等补救措施的次数减到最少，这样可节省大量的能源、水、化学品与时间。再者，能实时准备溶液并将不同化学品(也就是不用预先混合)分开配送的自动化系统，可大量减少废水与化学废料造成的污染。另一个要考虑的重要问题是工作环境是否有比较安全与健康，少了人为接触就不会有人碰触或吸入有毒危险物质。一家纺织染色厂(规模5,500吨/年)提供的数据显示，在安装化学品自动计量与分配的系统后，有了下列改善：

- 重做：减少17%
- 化学品开支：减少11.2%
- (染色厂)劳动成本：减少10%
- 染色机效率：提高5%

本节介绍的自动计量与分配方法，同样适用于新设备与现有设备。通常工厂的规模与年份并不会限制自动化计量与配送系统的使用。液态化学品的自动计量机成本大约介于354,000美元至477,000美元，确切价格取决于要配送的机器数目、需准备的容液量与化学

品用量。粉末染料的自动计量机成本介于385,000美元至1,077,000美元间，粉末助剂的自动计量机成本从最低的170,000美元至最高的477,000美元，这些数字不含管路与连接的成本 (European Commission, 2003)。

加拿大工业节能计划(CIPEC) (2007)给出染色厂化学品自动计量与分配机器的成本与回收期(见表 13)。省下的成本来自化学品、能源与水用量的减少；再现性的提增；人工成本的降低。据报节费幅度高达 30%。

表 13. 染色厂使用化学品自动计量与分配机器的成本与回收期 (CIPEC, 2007)

	资本成本	回收期(年)
分卷染色机使用化学品自动配送系统 (喷嘴、经轴、包装、绞纱、卷染机、绞车)	$150,000—$890,000	1.3 - 6.2
分卷染色机使用染料自动溶解与配送系统	$100,000–$400,000	4 - 5.7
分卷染色机使用散装粉自动溶解与配送系统	$76,000–$600,000	3.8 - 7.5

欧洲现有的印染厂，有60%已采用自动计量与配送系统，其中又以液态化学品的自动设备最为普及(占所有工厂的70%)，而粉末染料与粉末助剂则占20%。比起欧洲国家，一些纺织业规模相当大的开发中国家，使用情况偏低 (European Commission, 2003)。

49. 印花厂将染料准备过程自动化

连续式绢网印花在准备染料时要混合涂料与色浆，此时容易产生过多的色浆，得要排掉。如果使用自动计量方法，就可减少色浆过多的问题。自动化有助确认影响染料用量的几项重要因素造成的效果(例如材料固色与材料强度)。预防色浆过多的另一个方法是采用连续与自动混合系统，这样，可实时测量色浆的用量，再根据测量结果来确定要生产多少的新涂料与色浆。也就是混合时能完全配合染料印花工艺的确切需求。

改善色浆调色过程可提高印花工艺效率，减少过多的色浆量，及节省每单位产品的原料、水与能源用量。为印花工艺设置一个染料自动混合间，一年省下的废水处理、色浆、能与水的用量为 154,000 美元，依据设备的大小与种类，投资成本介于 23,100 美元与 2,308,000 美元(E-textile toolbox, 2005c)。

50. 染色机自动控制器

染色机自动控制器能够加强对染色工艺的控制。取材自微处理器，控制器可针对工艺参数上的酸碱值、颜色与温度等，进行反馈控制，控制器能持续对工艺参数进行分析，比手动控制系统的回应时间要短、同时更加精确。工厂很多染色机可改造为染色机控制器(Marbek Resource Consultants, 2001)。

染色机自动控制器可控制染色周期，包括染色工艺的用水量，与以污水形式排出的水与污染物的量。自动控制器的主机包括染色程序管理与报送系统、 在线调度、配方管理、成本分析(能源、染料、化学品等)。燃色机控制器可减少 4.3%的工业污水排放量。表 14 是不同规模工厂采用染色机控制器的成本与效益。

表 14. 染色机控制器成本与效益 (Marbek Resource Consultants, 2001)

成本项目	小型工厂 (8,000 公斤/周)	中型工厂 (60,000 公斤/周)	大型工厂 (117,000 公斤/周)
资本成本 (每个工厂平均值)	$280,000	$450,000	$800,000
每年节省的运行成本净值 (每家工厂平均值)	$79,770	$128,200	$227,900
简单回收期 (年)	3.5		

注释：这里的成本与节约量不是指单一机器，而是与不同规模工厂的产量有关。

全球有很多案例已证明染色机控制器带来的效益。以美国纺织厂 Amital 为例，该公司在一个新的腈纶纱生产设施加装染浴流调节与温度调节后，由于排出的染浴很干净，就不必要再清洗一次，达成省水、节能与省用化学品的效果。另一个案例是美国 Bloomsburg 工厂将染色工艺的手动设备升级至自动设备，由于染色后的清洁能通过自动化设备作更精确的调节，用水量因而减少 28%、能耗量减少 16% (Marbek Resource Consultants, 2001)。

印度一家染色厂原本也是采用手动设备，但因人工设定的工艺参数导致蒸汽用量偏高，再换装自动调节系统，并改由软件调节工艺参数后，不仅工艺参数设定达到最佳状态，同时蒸汽用量也减少。整体节能效益为每年 100,000 美元。据报该工厂的投资成本为 222,000 美元，回收期 2.2 年 (EMT, 2006b)。加拿大工业节能计划(CIPEC)在一份报告中提出染色厂安装工艺自动化与质量调节系统的资本成本与回收期(详见表 15)。

表 15. 染色厂安装工艺自动化与质量控制系统的资本成本与回收期 (CIPEC, 2007)

技术	资本成本(美元)	回收期 (年)
染色厂计算机控制系统主机	$57,000 - $150,000	3.8 – 5.0
微处理器染色机自动控制器	$79,000	0.9
试验室染色机自动混色器	$100,000	2.5

51. 回收分卷染色机(喷气、经轴、包装、绞、卷染机和绳状染色机)的冷水

冷水与冷凝水不用于工艺上。许多冷水系统的运行是单流循环。通常先将冷水与冷凝水用泵抽至热水储存槽，需用热水时，如染色补给水、漂白、洗涤与清洗时，再重复利用这些储水。高温高压下的染色如使用回收的冷水，约可节省一半的用能，还能节省用水量与污水处理的成本。表 16(喷射染色机年度能耗细目示例)显示冷水占总能耗量 43%左右。如将冷水导入热水储存槽并加热至 50°C – 60°C 进行二次利用，即可回收多数的用能。但要小心控制染液的初始温度，避免产生染料瞬染率与织布皱折等问题(Carbon Trust, 1997)。

表 16. 喷射染色机年度能耗细目示例 (Carbon Trust, 1997)

组成	能耗量 (吉焦/年)	占总能耗量的比重	排水温度(°C)
洗毛污水	278	18%	40
染色污水	448	29%	60
冷水	653	43%	61
辐射/反射损失	145	10%	
总量	1524	100%	

这方法最花钱的地方是泵、管道改装与热水储存槽。英国一家纺织厂在回收重复使用冷水与冷凝水后，节约了 1 万 1 千立方米的用水量，一年省下 6,000 美元的污水处理费，这还不包括节约的抽水与处理水费用以及用能量。苏格兰一家布处理工厂将其溶剂洗毛厂回收的冷水用于湿法工艺，一年省下约 10,000 美元的费用。省水与节省污水处理费用之外，随这预热水与抽水的需求减少，该公司的用能也减少 (Marbek Resource Consultants, 2001)。

美国自然资源保护委员会(NRDC)针对中国数家纺织厂进行的个案研究显示，回收冷水做二次利用，每吨布可节省 1.6 吉焦至 2.1 吉焦的用能与 1.44 吨至 7.4 吨的用水 (Greer et al., 2010).

加拿大工业节能计划 (2007)估计在分卷染色机安装冷水回收系统的投资成本为 90,000 美元，回收期为 3.6 年。Marbek Resource Consultants 在另一份报告中，给出了不同规模纺织厂对湿法工艺使用的冷水与冷凝水进行回收重复使用，所需的投资成本与节约的费用(表 17)。要注意这系统的期初成本很大部份取决于工厂规模与回收系统将连接的机器数量。全厂采用这方法需要的投资成本与带来的节约均较高，仅系统/机器使用这方法，所需投资成本与带来的节约均会较低。

表 17. 回收重复使用冷水与冷凝水的资本成本与节费量
(Marbek Resource Consultants, 2001) [a]

项目	中型工厂 (60,000 公斤/周)	大型工厂 (117,000 公斤/周)
资本成本 (每个工厂平均值)	$143,000	$212,000
每年节省的运行成本净值 (每家工厂平均值)	$82,900	$161,500
简单回收期 (年)	1.7	1.3

[a] 请注意：本表所列成本与节费量是冷水与冷凝水的总和。冷凝水的重复使用将在下节分开讨论。
注释：这里的成本与节约量不是指单一机器，而是与不同规模工厂的产量有关。

52. 冷轧卷堆染色系统[17]

冷轧卷堆染色法很弹性、用途很广。首先，将准备好的织布浸入预先混合纤维反应性染料与碱的溶液中，在利用轧液机将多余的溶液挤出，随后将织布分卷放在滚筒上或置入箱中，盖上塑胶膜以免吸入空气中的二氧化碳，同时避免水分蒸发，织布存放 2 小时至 12 小时后，用缸、经轴或其他可用的机器来清洗织布。平均产量是一分钟 70 米至 140 米，要看织布的结构与重量。这方法可用于纺织布或针织布，同时由于反应性染料可溶于水，色泽可经常作变化。再者，冷轧卷堆机器很有弹性，染料又属水溶性，清洗次数可降到最低。

使用绞盘绳状染色工艺，每公斤染色布的能耗量为 20.9 兆焦，如改用冷轧卷堆染色工艺外加经轴洗涤，能耗量将降至 4.6 兆焦(减幅达 350%)。使用冷轧卷堆染色工艺也可大幅减少化学品如盐、润滑剂、匀染剂、防泳移剂、固色剂与消泡剂的用量；其他好处还包括省水与节省劳动成本。经轴洗涤的冷轧卷堆染色工艺的用水量只有绞盘绳状染色工艺的 10%(即减幅达 90%)。此外，与常压绞盘绳状染色工艺相较，冷轧卷堆工艺可省下高达 80% 的劳动成本(Marbek Resource Consultants, 2001)。

尽管染色厂使用反应性染料来染棉与染人造丝的成本效益很高，这方法可能无法生产出想要的织布特性，且这方法也不适用合成纤维织布的染色。表 18 呈现冷轧卷堆系统的平均资本成本与可节省的运行成本。

表 18. 冷轧卷堆系统的资本成本与节省的运行成本 (Marbek Resource Consultants, 2001)

项目	小型工厂 (15,000 公斤/周)	中型工厂 (40,000 公斤/周)
资本成本 (每个工厂平均值) [a]	$1,215,000	$1,215,000

[17] 本节摘自 Marbek Resource Consultants (2001)。

每年节省的运行成本净值 (每家工厂平均值)	$329,000	$878,000
简单回收期 (年)	3.7	1.4

[a] 资本成本不会随工厂规模而改变。

注释：这里的成本与节约量不是指单一机器，而是与不同规模工厂的产量有关。

53. 中断气流染色机的印染[18]

处理纺织品时，间歇法消耗的水量与能量通常要比连续法多。长期以来，纺织业在优化间歇法以提高产量及效率与大幅减少用能量与用水量上，做了努力，这促成喷气染色机的出现，该机器的液比一代比一代低，最新机种(气流染色机)的液比分别为 1：3 (纺织布与聚酯纤维)与 1：4.5(纺织棉布)，相较下，传统喷气染色机为 1：10~1：12。再者，气流染色机具有产量高、省水、省用化学品与省能的特色。液比要低，通过湿润空气或蒸汽与空气(不可有液体)的混合物，以及藉由绳状染色机的辅助，让织布在喷器染色机内移动。而预先准备好的染料、助剂与基本化学品，就注入气流中。

使用这项技术必须要购置新的染色机，因为现有机器无法进行改造，这机器可用于针织品及纺织品，但因为缩绒问题，不适合羊毛布或羊毛成分超过 50%的混纺纱。由于溶液比低，新式气流染色机的用水量与用(热)能量预估可减少 60%、化学品用量减少 40%、盐用量减少 35%、染料用量减少 10%。相较于传统喷气染色机，气流染色机的价格要高出三分之一左右。依据储存室的数量与整体装机容量，气流染色机的资本成本如下。

- 1 个储存室，150 公斤，新式喷气染色机的成本为 195,000 美元
- 2 个储存室，450 公斤，新式喷气染色机的成本为 240,000 美元
- 3 个储存室，625 公斤，新式喷气染色机的成本为 309,500 美元
- 4 个储存室，900 公斤，新式喷气染色机的成本为 362,000 美元(E-textile toolbox, 2005d)

54. 在循环泵和色槽搅拌器安装变频器

染色厂用循环泵让化学品在机室内环流。很多工厂，特别是使用老旧机器设备的工厂，多以关闭球阀的方式来控制化学品的流动，不妨改用变频器来控制流率，进而节能。色槽上的搅拌器用于混色，搅拌器也可加装变频器来控制转速，因为搅拌器的运行不需使用全速。印度一家工厂采行这两项改造措施后，一年节电 138 兆瓦时，投资成本为 2,300 美元(报告并没有安装变频器的机器数量) (EMT, 2005b)。

55. 重复使用染浴[19]

[18] 本节摘自 E-textile toolbox (2005d)。

[19] 本节大多数摘自 U.S. EPA/SEMARNAP (1996)。

重复使用染浴的过程是先分析排放的热染浴，看残留的着色剂浓度有多高，之后再补充染浴，将这染浴重复在另一批布料的染色，这样做可减少污水的排放量，以及污水所含的污染物浓度，最大的风险是色泽会随着杂质的累积而改变，降低了这工艺的稳定性。如控制得宜，染浴可重复使用15次以上(5次至25次间)，想要取得最大益处，一定要将染料进行分类，之后染色时就尽量不要有变动(尼龙与羊毛使用酸性染料、聚乙烯腈系纤维与共聚物使用基本染料、棉花用直接染料、合成聚酯纤维使用分散染料)(见表19)。缸、硫化黄染料、纤维反应性染料很再利用，这引发的一个问题：为获致想要的颜色而加入染浴的个别颜色，可能有不同的织布黏着性；所以要正确地补充染浴，个别的颜色可能要依不同的比例添加，与最初的配方可能不同，增添重复使用染浴时颜色方面比例要对的难度 。

表 19. 重复使用染浴的适当系统 (U.S. EPA/SEMARNAP, 1996)

成品	纤维	染料种类	机器
针织布	• 聚酯纤维 • 棉线 • 聚酯纤维/棉线	• 分散式 • 反应式或直接 • 分散式/反应式或直接	• 喷气 • 缸 • 缸
纱线卷装	• 聚酯纤维 •聚酯纤维/棉线 •聚乙烯腈系纤维	• 分散式 •分散式/反应式或直接 • 基本	• 卷装 • 卷装 • 卷装
短袜	• 尼龙/弹性纤维	• 酸性染料	• 踏板
裤袜	•尼龙/弹性纤维	• 分散式/酸性 • 分散式	• 缸 • 踏板/滚筒
地毯	•尼龙 •聚酯纤维	•分散式/酸性 • 分散式	• 缸 • 缸
机织布	•芳族聚酰胺纤稚/诺梅克斯纤维 •棉线 •棉线	• 基本 • 直接 • 缸/硫	• 喷嘴 • 绕线筒 • 卷染机
绞纱	•聚乙烯腈系纤维	• 基本	• 绞纱

重复使用染浴的投资回报在于节省染料、化学品、能源的使用量，并减少废水的排放量与污水处理费用。作为实验室设备与改装机器，染浴重复使用的资本费用每台机器约2万4,000美元至34,000美元，另外每年的运行成本每台机器是1,000美元至2,000美元。一般每台机器每年约节省21,000美元(体现在染料、化学品、水、污水管、能源方面的用量减少)。表20是节约费用估计值的明细(U.S. EPA/SEMARNAP, 1996)。

表 20. 重复使用染浴节约的费用 (U.S. EPA/SEMARNAP, 1996)

节约项目	每台机器节省的费用 (美元)
染料与化学品	15,000
水	750
污水管	750
能源	4,500
总量	21,000

注释：不同工厂与国家的总量与个别节约的费用可能会不同。

56. 优化绳状染色机的设备[20]

技术上，绳状染色机已做了多项改进措施：

- 加热：传统绳状染色机要加热溶液，得通过多孔管直接注入蒸汽完成，这样绳状染色机的温度可迅速增加，搅动速度加快，但溶液会遭到稀释，这点要留意。新式染色机多采用间接加热/冷却，以避免稀释与溢水问题。
- 溶液比：新式绳状染色机使用的溶液比要比传统机器低很多；另一项特点是分卷小量染色使用的溶液比与单批大量染色的溶液比大致相同。
- 洗涤：新式绳状染色机的设计是取出地毯时不用排水、不用冷却或以洗涤水稀释染浴。这系统名为「热拉伸系统」，可自动将地毯从染槽移到真空脱水机以脱去游离水，再将这些多余溶液导回染浴。
- 新式绳状染色机都有加盖，以维持温度，减少溶液蒸发。
- 新式绳状染色机也有配备自动计量处理控制系统，染色工艺中可完全控制温度与喷入的化学品(图14)。

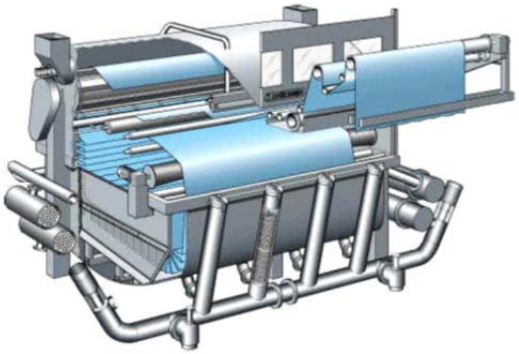


图 14. 新式绳状染色机 (European Commission, 2003)

前面介绍的特点可节省大量的用水量、化学品用量与用能量。机器制造商声称整个染色过程可少用40-50%的新鲜水(94%的节约是来自冲洗水用量的减少)与30%的电量。新式机器应用的先进概念是：洗涤布料不用分卷洗，而是在同一机器的不同环节进行连续冲洗，被

[20] 本节大多数摘自 European Commission (2003)。

染整织布与染浴间不会有接触。这样就洗涤水就不会混到排放的热染液，二者液流可回收重复使用，同时热能也可回收再利用 (European Commission, 2003)。

57. 优化喷射染色机的设备[21]

最新式的喷气染色机是以湿润空气或蒸汽空气混合体，来移动织布(图15)。染料、化学品与助剂注入到气流中。纺织聚酯纤维的溶液比可为1：2，通过喷气染色机的纺织棉布的最低溶液比可为1：4.5。这台机器适用于针织布与机织布，及几乎其他所有种类的织布。

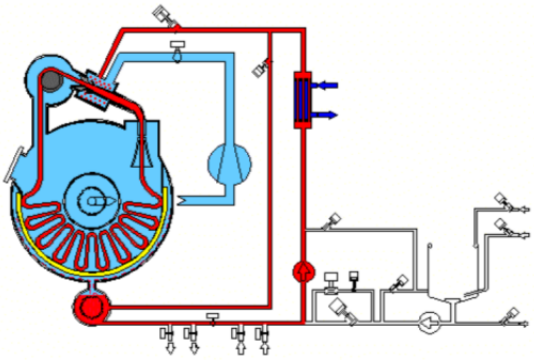


图 15. 有空气循环与染液注入示意图的喷气染色机 (European Commission, 2003)

不同于传统机器，洗涤织布的整个过程中，洗涤水只有在织布通过机器时会在织布表面喷水，之后就被排出，不再与织布有任何接触，所以洗涤不用再分卷，反而有连续工艺具有的优点(省时、可于130°C高温高压染色获取最佳热回收效果后，将染液排出、热染液与洗涤水间可清楚划分)。

根据染液量而决定的化学品(如盐)用量，可减少40%；用水量也可减少(不同于传统机器使用1:8-1：12的溶液比，新式机器可节约用水达50%)。Marbek Resource Consultants (2001) 在报告指出，低溶液比喷气染色机的节能量甚至更大：省水量比传统机器多70%、化学品用量比传统机器少60%(溶液比为1：8)。低溶液比染色法的能耗量相当低。染色时，染浴加热会消耗掉大部分的能源，所以，使用低溶液比的机器，可以节省大量的蒸汽用量，另一个好处是缩短循环的时间，因为机器的排水、注水、加温与冷却的速度变快了(Marbek Resource Consultants, 2001)。表21是分别使用反应性染料、溶液比1：8-1：12的传统喷气

[21] 本节大多数摘自 European Commission (2003) 与 Marbek Resource Consultants (2001)。

染色机与新式喷气染色机来染棉，所得到的输入数据范围。这些数据来自欧洲地区不同工厂的实测值。

表21. 传统喷气染色机(溶液比1：8-1：12)与气流喷气染色机使用反应性染料染棉的输入值比较 (European Commission, 2003)

输入	单位	使用溶液比1：8-1：12的传统喷气染色机	使用溶液比1：2-1：3(聚酯纤维)/1：4.5(棉)的气流喷气染色机
水 [a]	l/公斤	聚酯纤维：100 棉：150	聚酯纤维：20 棉：80
助剂	克/公斤	12 – 72	4 – 24
盐	克/公斤	80 – 960	20 – 320
染料	克/公斤	5 – 80	5 – 80
蒸汽	公斤/公斤	3.6 – 4.8	1.8 – 2.4
电	千瓦时/公斤	0.24 – 0.35	0.36 – 0.42

[a]: 包含洗涤

要注意这方法并不是改造措施，而是投资购买一台低溶液比的新机器(Carbon Trust, 1997)，这机器成本要比传统机器高出三分之一，但节约量大，所以回收期相对来说较短。使用这机器的最大动力是生产力高、可重复使用，接着是可减少水、化学品与能源使用量(European Commission, 2003)。表 22 是不同规模的工厂使用低溶液比喷气染色机的资本成本与每年节约的运行成本。

表 22. 低溶液比喷气染色机的投资成本与节约的费用 (Marbek Resource Consultants, 2001)

成本项目	Plant Size		
	小型工厂 (10,000 公斤/周)	中型工厂 (60,000 公斤/周)	大型工厂 (120,000 公斤/周)
资本成本 (每个工厂平均值)	$928,000	$3,370,000	$4,900,000
每年节省的运行成本净值 (每家工厂平均值)	$298,000	$1,790,000	$3,580,000
简单回收期 (年)	3.1 years	1.9 years	1.4 years

注释: 这里的成本与节约量不是指单一机器，而是与不同规模工厂的产量有关。

Alamac Knit 公司将其位于北加州 Lumberton 的工厂的喷气染色机升级为低溶液比、循环周期短的机器，如此省下了 60-70%的化学品用量。一家位于英国的针织布代加工染整厂 Shrigley Dyers 公司，因为安装了最先进的密闭喷气染色机，获致经济与环境方面的效益。该公司的运行数据显示，新机器(每吨织布 64 立方米)的用水量只有传统机器(每吨织布 142 立方米)的一半，与传统机器每公斤织布需要 1480 公斤蒸汽相较，新式机器只需要 980 公斤的蒸汽；新机器处理一批织布的时间只有传统机器的 20%，所以生产量也较高。1996 年新机器装机时的成本为 221,000 美元，回收期为 1.6 年 (Marbek Resource Consultants, 2001)。

58. 单绳流动染色机[22]

表 16 是这台喷气染色机的结构，该机器处理织布的方式和染色周期，与传统的绳流动染色机不同。首先，机器只有一条布绳，这布绳会通过所有的流动组件，结束后再回到第一个组件，这样做可确保系统维持最佳的均匀度，同时染色效果是可重复的(European Commission, 2003)。

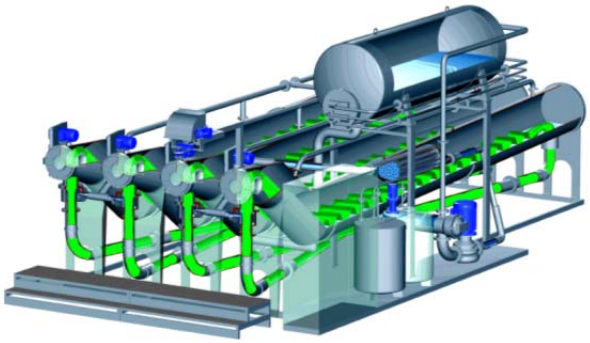


图 16. 单绳流动染色机的示意图 (European Commission, 2003)

由于染色周期很短与其他的特点，这台机器比传统的多绳染色机更省水与节能(达35%)；加以这机器的染色效果重复性高、稳定性相当好，还能带来额外的环境效益。采用这些方法的公司观察到重做次数从5%降低至2%。表23是传统染色机(溶液比1：10-1：12)、「新一代染色机」(溶液比一般是1:8，配有最新式的省时仪器)与单绳染色机(溶液比为1：6)，处理相同染色工艺的结果。数据取自欧洲地区不同工厂的测量数据 (European Commission, 2003)。

表23. 传统喷气染色机、新一代喷气染色机与单绳染色机使用反应性染料染棉的效果 (European Commission, 2003)

输入	单位	传统喷气染色机	新一代喷气染色机	单绳喷气染色机

[22] 本节大多数摘自 European Commission (2003)。

水 [a]	l/公斤	100-130	50-90	30-70
助剂	克/公斤	15-75	8-40	5-25
染料	克/公斤	10-80	10-80	10-80
蒸汽	公斤/公斤	4-5	2-3	1.5-2.5
电	千瓦时/公斤	0.34-0.42	0.26-0.32	0.18-0.22
时间[b]	分钟	510-570	330-390	210-220

[a]: 包括洗涤

[b]: 包括装载与卸载

单绳喷气染色机用于各种纤维成分的针织布与机织布的染色上，都很成功。不过除非使用水平式的单绳喷射染色机，不然含有羊毛与丝或这两类成分的织布，染色效果就没那么好。这类机器的投资成本比新一代的喷气染色机的投资成本要高出20-30%，但因为节约量多、生产力高，回收期不到一年(European Commission, 2003)。

59.微波染色设备

微波染色设备使用微波技术，使得染料与化学品在分散与渗透到织布时，能省时、有效与节能。这机器不同传统的染色机，由于微波辐射是透过介电损耗产生热能，有大量能损的物体就将这热能吸收，所以带有水分的布料在受热时，周遭设备与空气不会随之受热。再者，不同于带有水分(染液)的织布，织布于内部生热后，本身就为了一台蒸汽发电机，此时染料与化学品就能快速均匀地分散渗透，确保连续染色在处理量大时的稳定性。表 24 是与类似的传统经轴染色机比较后的节能量。表 17 是微波染色机的图解。建设资本成本约 450,000 美元 (ECCJ, 2007a)。

表 24. 微波染色机与经轴染色机分卷染色的节能量比较 (ECCJ, 2007a)

能源消耗	经轴染色机	微波染色机	减幅
一般耗电量 (千瓦)	50	5	90%
一般蒸汽用量 (公斤蒸汽/小时)	3600	150	96%

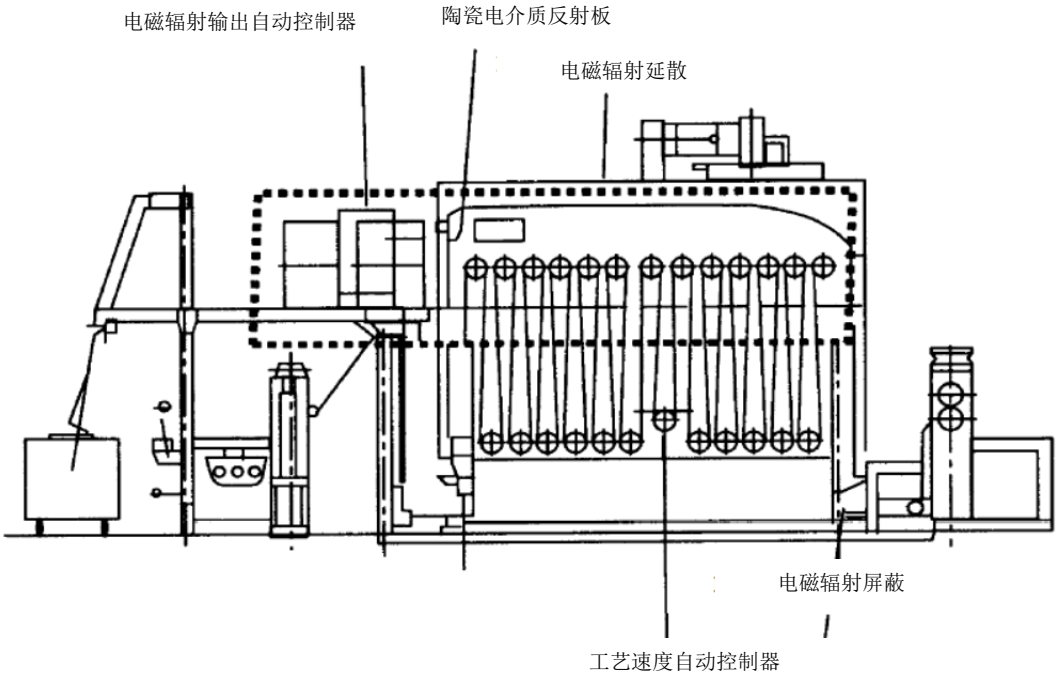


图 17. 微波染色机示意图 (ECCJ, 2007a)

60. 降低湿式分卷高压染色机的工艺温度

要降低工艺温度，湿式分卷高压染色机可采用其他的工艺方法，例如在适当情形下，以 100-120°C 高温运行的直接染色机，可改成反应式染色，运行温度为 40-60°C，如此可减少水加热以及辐射/反射工艺的能量耗损。不过在采用这方法前，应对工厂与产品进行评估 (Carbon Trust, 1997)。

61.分卷染色机(绳状染色机、卷染机)的直接蒸汽加热，换成蒸汽盘加热

在老式的分卷染色机如绳状染色机与卷染机，染浴的加热是通过喷射生蒸汽，这种蒸汽加热染浴的方法效率很低。在染浴液下设置蒸汽盘，就可回收冷凝水，进而节省大量的燃料。加拿大一家工厂将其蒸汽喷射系统换成蒸汽盘来加热染浴，一年省下 4580 吉焦。据报更换成本约 165,500 美元 (CADDET, 1993)。

62. 降低湿式高压染色机的工艺时间

调整特定染色周期的温度设定，有时可节省工艺时间，这不仅节能，还能提高生产力。使用不同化学配方，也可缩短准备工艺的时间。有个案例在调整煮布锅的洗毛/漂白配方后，工艺时间从 10 小时缩短至仅 2 小时。不过，这方法不适用于所有工艺，采用前应对工厂/工艺与产品进行评估 (Carbon Trust, 1997)。

63. 在常压湿式分卷机安装盖子或罩子

常压湿式分卷机加装盖子或罩子听来很理所当然，但高温运行下的很多卷染机与绳状染色机常没有加盖或罩子是打开的。加盖可减少一半因蒸发产生的损耗。工艺温度超过60°C时，尤其要留意蒸发的问题(Carbon Trust, 1997)。

64. 严格控制常压湿式分卷处的温度[23]

过度加热是常压湿式分卷染色机常见的问题，原因大多是不当控管，特别是老旧机器。常压器最高温可达 95-100°C，染液一旦沸腾，再怎么加热都无法提高温度，只会让蒸发情况加剧。虽然染液快点煮沸可让织布的搅动更加剧烈，但安装循环器效果可能更好。温度高于 80°C 时，可能会出现生蒸汽漏损；漏损可能高达 15% (Carbon Trust, 1997)。表 25 说明调低温度以及染卷机的盖子保持关闭状态可节约的能量。

表 25. 染卷机在不同温度与条件下的蒸汽用量 (Carbon Trust, 1997)

运行温度 (°C)	一般蒸汽用量 (公斤/小时)		节约蒸汽量 (公斤/小时)
	罩子开启	罩子关闭	
80	50	23	27
90	61	28	33
95	73	34	39
100 (即将沸腾)	91	55	36
100 (剧烈沸腾)	218	127	91

只要稍微调降运行温度，产生的节能量都很可观。例如，卷染机温度设定在95°C时，其蒸汽用量是卷染机温度设定在100°C，处于闭罩状态蒸汽用量的27%，处于开罩状态蒸汽用量的33%。闭罩状态的节能量比开罩状态多。只要将染液从沸腾状态调整到即将沸腾状态(保持运行温度在100°C)并关闭罩子，就可节约75%的用能(Carbon Trust, 1997)。

65. 卷染机使用不同溶液流率

在纺织工艺，纺织品以小批交付的情况愈来愈多。有些工厂的纺织品产量，一半以上是采小批交付，传统染卷机在应对这种情况有几项不利条件：溶液比无法调整，造成水、颜料、化学品无法根据织布的处理量，做正确地调整；要展开另一批染色时，机器冷却的时间变长；清洗织布时间很长；前一批染料结束前要接着添加额外的织布，避免织布从压呢机滑落。

[23] 本节大多数摘自 Carbon Trust (1997)。

为克服这些不利条件，新开发的新一代卷染机允许不同的溶液比。这些卷染机使用热交换器，让热气能转移到工厂其他地方再利用。每个通道都会丈量织布的长度，以避免每批织布尾端出现多余织布。由于真空系统与洒水器等特点，清洗循环的次数可以大大减少(有个真实例子，清洗次数从 20 次降至 5 次)。有个案例省下 26%的用能、19%的用水、5%的化学品用量 (E-textile toolbox, 2005e)。

66. 从高压釜的废热水回收热量

高压釜(高温/高压)染色机可产生高温 75°C 的废水，很多工厂直接将这些废热水排到下水道，直接浪费电量了。但另一方面，却用蒸汽加热器来加热 13-25°C 的淡水，不妨考虑加装热交换器与周边设备如水槽与泵，将废热水的热回收作为热能的来源。通常建议使用板式热交换器。

热水槽的蒸汽冷凝水可加以回收(图 18)。高压釜染色机与其他机器如连续式清洗机的废水，可在相同的热回收系统进行处理。伊朗一家纺织厂采行这项措施后，其高压釜染色机每批[24]织布节能 554 兆焦 (ECCJ, 2007b)。

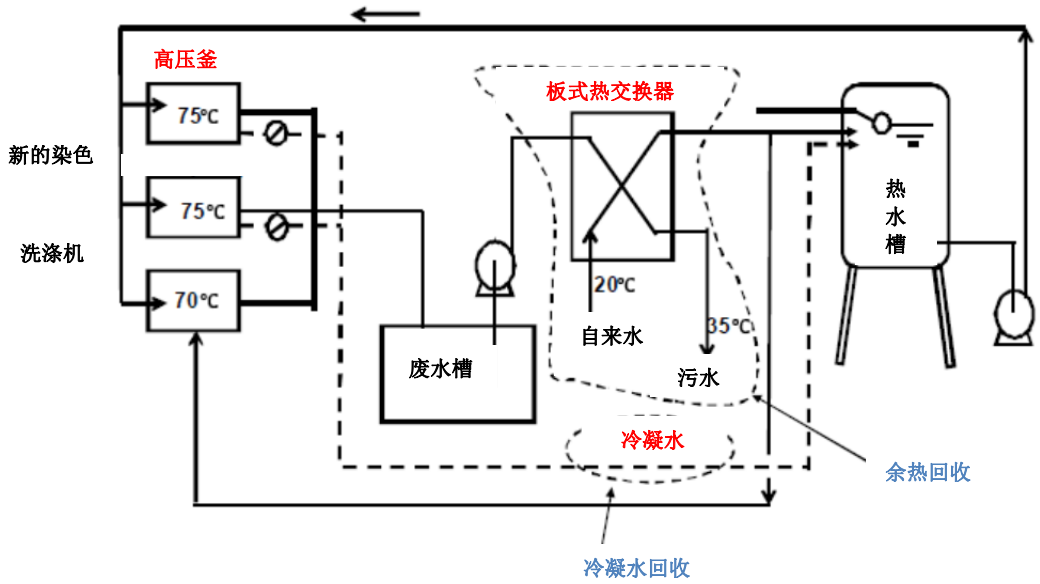


图 18. 高压釜染色机的热回收系统示意图 (ECCJ, 2007b)

67. 高压釜表面做好隔热处理

如果高压釜染色机的表面没有做好隔热处理，机器表面温度将高达 100-110°C，不仅能源遭浪费，工作环境也不舒适。因此，机器表面会感到热的地方都要做隔热处理，包括主要

[24] 高压釜每次处理的材料称为”一批”。

染缸、通汽槽、热交换器、水循环管路等。一般建议使用防水、易黏着的隔热材料。使用隔热计算软件，每批织布据报可节能 15 兆焦 (ECCJ, 2007b)。

68. 降低染色工艺再加工处理的必要

需要再加工处理的主要原因之一是织布取样过程有其难度，且很花时间，尤其是老旧机器，所以染色厂调色时快又准确且能保持色泽一致极为重要。处理的方法一是通过给员工更好的培训来提高工人的操作水平。对大型工厂来说，可安装全套的染色管理和控制系统，从而实现实时监控机器、修订染色循环、排定生产时间。

染色厂控制系统已从较严格、只能读取的内存程序设计，逐渐转向具有弹性的软件程序设计，时间与程序可在现场特制。这可提高产品质量与生产力，同时能优化染料、化学品、水与能源的用量。改善监控一般只会造成5%的产品需要润色，这样节能量约在10-12%左右(Carbon Trust, 1997)。

69. 从高温洗涤水回收热量

纺织施法工艺通常使用大量的热水(高达 80°C)来洗涤织布或纱线。工厂可能排放大量的洗涤水，水量可高达洗涤纱线/织布重量的 30 倍。工厂可以捕集洗涤水的热能，用来预热下一批洗涤水。这方法带来的另一个重要好处，是可在处理前先降低废水的温度。然而，全球很多工厂并未回收热洗涤水。

板式热交换器可将洗涤废水的热能，移转用来加热下一批冷水。持续工艺使用简易热交换器就够了；对间歇工艺，热交换器要配备缓冲槽与工艺控制仪器。根据美国自然资源保护委员会(NRDC)对数个中国纺织厂的研究显示，采行这方法洗布每吨布可节能 1.4-7.5 吉焦；投资成本据报介于 44,000 美元至 95,000 美元之间，确切费用要看工厂规模与厂房布置，该委员会研究的案例回收期均不到 6 个月(Greer et al., 2010)。

70. 重复使用洗涤与冲洗水[25]

通常漂白或间歇染色产生的洗涤水可以重复使用多次。漂白工艺的洗涤水通常可重复用于碱处理后的洗涤。在很多案例中，水重复使用的第三次是用于冲洗脆化的上浆剂。在间歇染色后，第一次的冲洗水几乎尚未受到污染，可以作为染色工艺下个步骤的首次冲洗水。如果织布在该工艺的起头就放入染浴，冲洗后就拿出，这样冲洗水就可留在染浴中，无需分开储存。

[25] 本节大多数摘自 E-textile toolbox (2005f)。

冲洗水也可用于染色前的预处理步骤。实际造作中，由于颜料会残留在水中(特别是黑色)，要重复使用染色工艺用过的冲洗水要经过很复杂过程，所以，要回收冲洗水的先决条件之一是使用色泽淡固色力高的颜料(低颜料浓度)。工厂在使用这个方法前，应先评估冲洗水或洗涤水是否干净到可重复使用。

冲洗机使用这方法可节省相当多的能源，一年可省水 3000-8000 立方米。回收洗涤水只需要购买能够捕获污染物质的收集器、泵、过滤器或筛网。如果进一步要将水净化，则需较大的投资成本 (E-textile toolbox, 2005f)。

71. 降低洗涤水的温度

染色后要洗涤织布的洗涤水要加热到60°C，产品的质量才会好。从不同工厂的运行可证明，即便使用温度50°C的洗涤水，也不会损害产品质量，如此可省下大量的用能。美国乔治亚州一家工厂在采用这措施后，用能量减幅10%。这做法无需投资成本，也就是无前期投资成本，节能量却很大 (US DOE ITP, 2007)。

5.4.3. 干燥工艺

提高滚筒干燥机的能效[26]

接触干燥主要用于中间干燥，而不是最后干燥(因为无法控制织布宽度)，以及拉幅前的预干燥。织布通过一连串由35-65psi蒸气压加热的滚筒，此时滚筒可用来加热多种织布。不过，由于织布表面会受到挤压，这工艺不适用于有凸纹表面的织布 (Carbon Trust, 1997)。表26是一组12个滚筒的能耗量，这些滚筒由60psi蒸汽压加热，用于干燥湿度介于5%至55%的棉织布。

表26. 一组蒸汽滚筒干燥机的能耗量明细 (Carbon Trust, 1997)

组件	能耗量 (吉焦/吨产品)	占总能耗量的比重
蒸发	1.35	52%
辐射与反射损耗	0.87	34%
织布	0.16	6%
湿度	0.14	5%

[26] 本节有关滚筒干燥机的能源效率大多数是摘自 Carbon Trust (1997)。

摩擦	0.07	3%
总量	2.59	100%

本案例中，干燥的水份量相当织布重量的一半，因蒸发损失的能耗占总能耗量的50%以上。干燥织布时，含水量从100%以上降至零，蒸发造成的能量损耗也增加至75% (Carbon Trust, 1997)。以下将说明可用于滚筒的一些节能措施。

72. 采用机械预干燥

利用机械式预干燥来降低干燥成本的方法包括，如把布等送入轧布机中轧压、离心式脱水、吸槽、空气刮浆刀脱水等，即在织布进入滚筒干燥机进行接触干燥前，先除去一些水份。吸槽的用能量是轧布机的三倍多，但用于各种织布后的保水率始终较少。轧布机是否有效取决几个因素：轧辊的直径与硬度、作用压力、织布所含水分的温度、织布转速等。离心式脱水可用于某些织布的干燥，但容易造成皱折，主要还是用在纱线或人造丝。离心式脱水机的成本与性能介于轧布机与吸槽之间。

吸槽的位置处于干燥机正面。吸槽吸取织布所含的空气时，织布会从吸槽上方快速通过，被吸收的空气/水过滤后，会被送至水分离器(图19)。虽然这方法虽然很有效，但吸槽用电量很大(高达50千瓦) (Carbon Trust, 1997)。表27为各种织布在使用轧布机与吸槽后，一般的保水率。

从表27可看出吸槽的保水率通常较低，尤其将疏水性纤维(如二醋酯纤维、尼龙6.6与聚酯纤维)透过吸槽来脱水时，保水率更是低。实务上，轧布机很难达到预设值，性能可能不佳。比方说，棉花的保水率一般为80-100%。所以吸槽很适合疏水性纤维(如棉花与粘胶纤维)，但能耗量大，使用前应多考虑 (Carbon Trust, 1997)。

表 27. 各种织布水分残留比率 (Carbon Trust, 1997)

织布	轧布机保水率 (%)	吸槽保水率(%)
棉花	45-70	40-55
粘胶纤维	60-100	60-80
二醋酯纤维	40-50	27-40
尼龙 6.6	20-40	14-30
聚酯纤维	20-30	10-16
羊毛	58-60	35-55

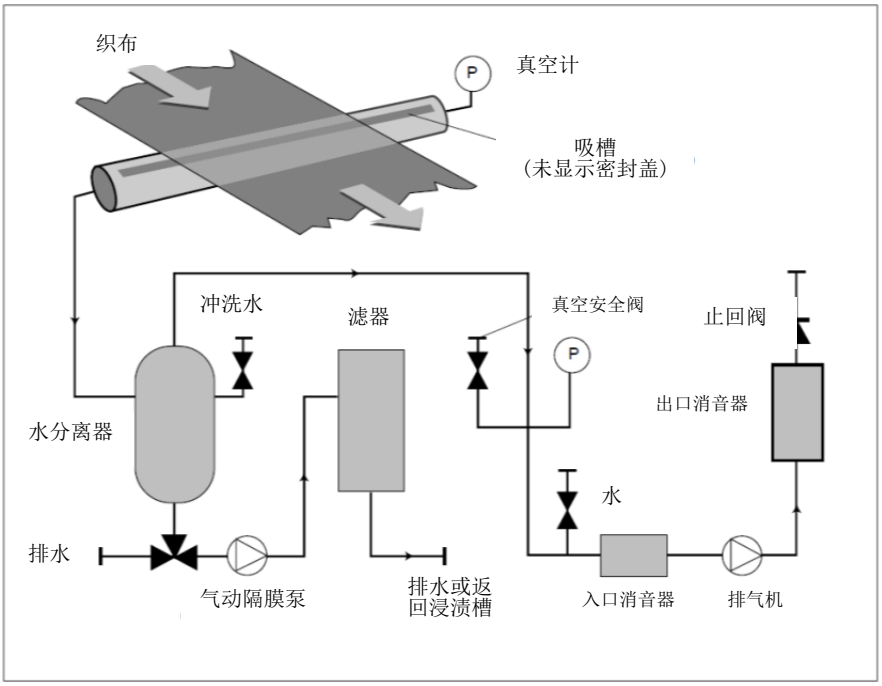


图 19. 干燥机正面吸槽系统装置示意图 (Carbon Trust, 1997)

73. 选择混合系统

蒸汽滚筒的性能可借由使用室温或高温等定向空气来强化。定向空气设备有助驱散蒸发的湿气，由印度公司开发的ATIRA Rapidry系统就是个例子，这系统使用喷气进行干燥，声称干燥效果提高25-30%左右。据报道，另一个品牌Shirley Hood用于上浆与涂料，它的干燥率达40%(Carbon Trust, 1997)。

74. 回收滚筒干燥机的冷凝水与闪蒸汽

由于滚筒干燥机使用大量的蒸汽 ，所以应该要回收冷凝水并转回锅炉房再利用。再者，冷凝水在常压下所产生的闪蒸汽，也可回收作为低压蒸汽，用于加热水或其他低压蒸汽工艺 (Carbon Trust, 1997)。

75. 滚筒干燥机的配电箱进行隔热处理

在滚筒干燥机末端部份进行隔热处理可减少余热损失，进而节能。不过这方法比较适合直径大于一公尺的滚筒干燥机；直径小于一公尺的滚筒干燥机，因为蒸汽管路、冷凝水管路与安全阀会造成阻碍，这方法就不适合 (Carbon Trust, 1997)。

76. 为低水附加特性选择流程

这方法的用意是在干燥前，回头再看是否有必要调整或改变预干燥工艺，使织布的用水量能降至最低。处理工艺可考虑使用泡沫、涂料辊或喷雾等(Carbon Trust, 1997)。

77. 避免滚筒烘干机的中间干燥

有些系统允许处理剂用在“湿布轧液加工”(wet on wet)，避免工艺中发生中间干燥情况。织布在通过处理工艺时通常需要干燥2-3次。干燥除了很耗能之外，也是处理工艺上的一个瓶颈；所以，只要省略干燥工艺的一个步骤，就能同时提高能效与生产力 (Carbon Trust, 1997)。

78. 避免过度干燥

织布过度干燥是纺织业常见的问题。织布有平衡回潮率，或自然水分含量，低于这个含量再干燥效果就不大。有些织布的平衡回潮率相当高，所以控制干燥滚筒机的速度在均衡回潮率以内就很重要。手持式湿度可与传感器辊子并用于监控织布离开干燥滚筒机时的含水量。表28是周围空气温度20°C、相对湿度65%时的回潮率。图20是滚筒干燥机控制织布湿度的示意图。

表 28. 多种织布的回潮率 (Carbon Trust, 1997)

织布	回潮率 (%)
棉花	7.0
羊毛	16-18
粘胶纤维	12.5
二醋酯纤维	6.9
三醋酸纤维	4.5
尼龙 6.6	4.3
尼龙 6	4.4
聚酯纤维	0.4
丙烯酸	1.5
聚丙烯纤维	0.0

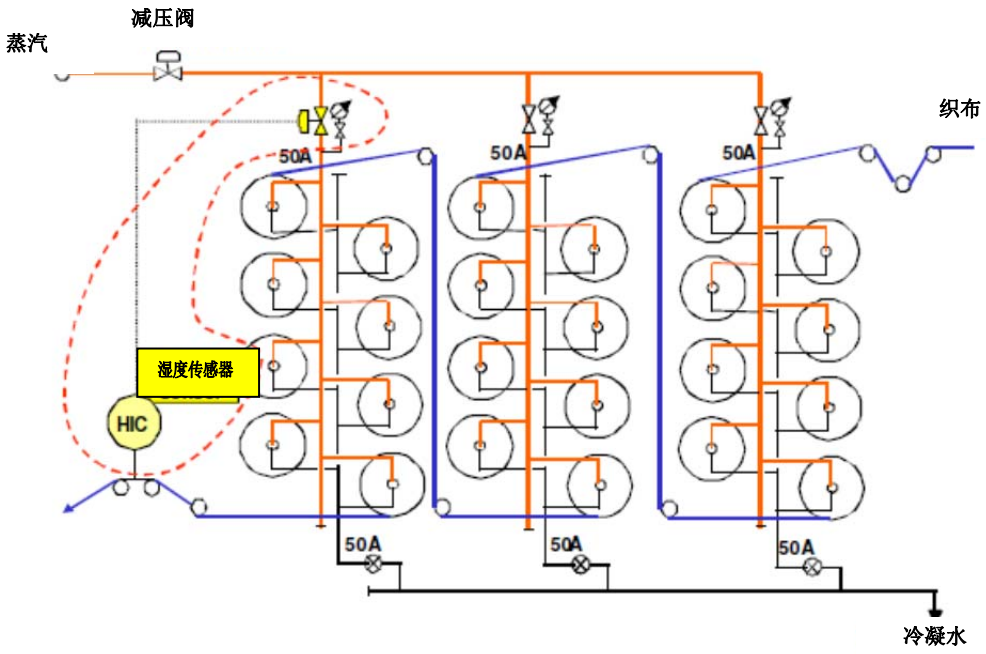


图 20. 滚筒干燥机控制织布湿度示意图 (ECCJ, 2007b)

79. 减少空转时间与同时烘干多个布料

细心设定织布送入滚筒的时程可减少机器空转的时间，进而节能。同样地，将滚筒直径扩大到能同时容纳二小批织布运转，也可节能。要取得最大的节能量，使用的织布长度最好一致，这样开始与结束可同步，避免滚筒有一侧空转 (Carbon Trust, 1997)。

80. 在高蒸汽压下操作汽缸

滚筒在高蒸气压与温度下运行的辐射量较低，对流损失也较少(Carbon Trust, 1997)。

81. 维护烘干机

蒸汽滚筒常出现漏洞的地方是真空断路器、排气口、液压联轴器与蒸汽疏水阀。一台烘干机有32个滚筒，所以出现渗漏的可能性相当大。制定完善的维护计划定期检查蒸汽疏水阀是否有漏损情况很重要 (Carbon Trust, 1997)。

82. 使用射频烘干机烘干腈纶纱

可将用于烘干晴纶纱丝绞的蒸汽加热烘干机，换成射频烘干机，以降低烘干纱线的用能成本、维护成本与劳动成本。射频烘干机在烘干晴纶纱时会起分子作用，造成晴纶纱膨胀变大，膨大增加地毯的光泽，提高地毯的吸引力与质量。一家地毯制造商将原本用于烘干晴

纶纱的蒸汽加热烘干机换成射频烘干机后，据报省下 45,000 美元的用能成本，投资成本为 200,000 美元 (CADDET, 1993)。

83. 用低压微波干燥机烘干取代干蒸汽加热器来干燥梭蕊

传统上，要烘干梭蕊是通过干蒸汽加热器采用的干气烘干法，如果将干蒸汽加热器换成低压微波干燥机，可节省些能源。低压微波干燥法的特点是烘干效率高，且能避免产品过度干燥，过度干燥的情况在干气干燥机很常见。日本在投资 500,000 美元换机后，每吨纱线的用电量减少 107 千瓦时，不到 3 年就回本(ASEAN Center for Energy, 1997)。

84. 染色后用高频减压烘干机烘干梭蕊

梭蕊染色后要烘干时，常用高频减压烘干机，这方法相较于传统的干蒸汽热气干燥机，耗电量要少 20%。要大幅减少用电量，可改变干燥工艺的温度设定，从固定在某一温度，改由程式来控制，并在考量干燥材料与数量的前提下，优化干燥缸的温度。这机器使用较多的压力开关，压力设定分二阶段，第一阶段为低压，以消除干燥不够均匀的地方，缩短干燥工艺。图 21 为热气干燥系统的示意图。图 22 为高频减压干燥机的示意图。换机后每吨产品可少用 200 千瓦时的电量，投资成本为 500,000 美元 (ECCJ, 2007a)。

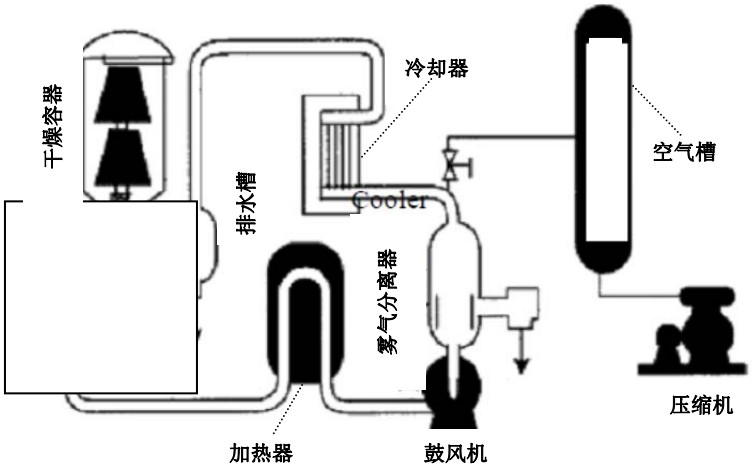


图 21. 热气干燥系统示意图(ECCJ, 2007a)

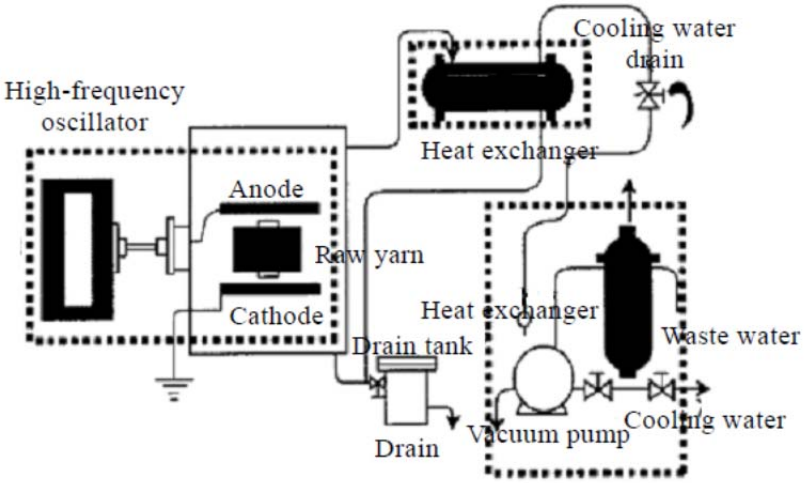


图 22. 高频减压干燥系统示意图 (ECCJ, 2007a)

5.4.4. 后整理工艺

提高拉幅机的能效

拉幅机在织布的染色与加工上具有重要地位。织品加工时，常用拉幅机于加热定型、干燥、热熔制程与加工。粗估织布加工时，平均会经过拉幅机来回处理 2-3 次(European Commission, 2003)。拉幅机基本上包含一对循环输送带，带上有细针布夹，并在轨道上运行。织布布边先固定在这对输送带上，随着输送带向前运行，布料会开展到设定的宽度。如同加热定型与固化，拉幅机也会影响织布加工后的长度、宽度与属性。织布的加工速度为每分钟 10-100 公尺，温度在 200°C 以上。加热拉幅机的方法很多，如直接烧煤气或通过热流体系统；燃烧煤气的拉幅机在控制使用不同温度的工艺上，相当容易。

热流加热的拉幅机要用到热燃油锅炉(通常是烧煤气的燃油锅炉)以及相关的输送管路。相较于燃烧煤气的拉幅机，这系统的能效较低、投资成本与运行成本均较高。不过，如同煤气，这机器可在不同的温度下运行，问题是加热只能通过热交换器以间接方式完成，能效不如间接燃烧瓦斯的拉幅机，所以目前也不常用。蒸汽加热的拉幅机有很多种，但受制于温度(通常最高温不超过160°C)，这些拉幅机只能用于干燥，不适用织布加热定型或热熔固色。

拉幅机运作时先将热气吹向织布，再进行循环，并在排出少部份空气后，注入新鲜空气。为求更好的控制效果，拉幅机被分成多个隔间，一般是介于2-8个。图23的拉幅机每个隔间为3公尺，均配有温度计、燃烧器/热交换器、风机、排气管与阻尼器(图23)。

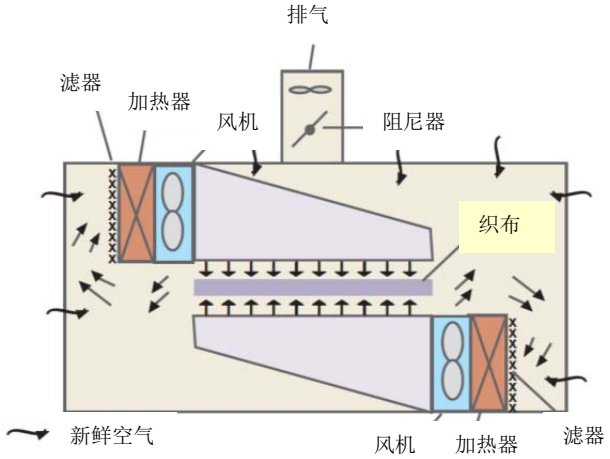


图 23. 拉幅机内部气道示意图 (CII, 2006)

表 29 是热气干燥拉幅机的能耗细目，其中蒸发与空气加热的能耗量最大。所以在织布进入拉幅机前，有必要将织布的含水量降至最低，同时减少拉幅机排气管的气流。很多拉幅机以手动调整排气管，并依靠操作员来预估织布所需干燥时间 (Carbon Trust, 1997)。

表 29. 拉幅机的能耗明细 (Carbon Trust, 1997)

组件	能耗量 (吉焦/吨产品)	占总能耗量的比重
蒸发	2.54	41.0 %
空气加热	2.46	39.7 %
织布	0.29	4.6 %
箱	0.39	6.3 %
链条	0.09	1.5 %
驱动器	0.43	6.9 %
总量	6.20	100 %

85. 将拉幅机和烘干机的热流加热系统换成直接燃气燃烧系统

Carbon Trust (1997)解释说热流加热器经常用于提供拉幅机与干燥机必要的热能，液体加热到 260°C 后，通过传输管路在工厂内循环流动，热量从液体流向致使用散热器的房间，大量的热损出现在热流锅炉、输送管路与散热器。要降低热损，可将热流加热系统换成直接燃烧煤气的加热系统，这样空气由燃烧煤气的燃烧器直接加热，热气在房间循环后就可达到所需温度。

直接燃烧气系统比热流加热系统具有多项优势。首先，热损降低可节省用能量；可免去泵送热液与传送热液需承担的风险；具有在房间直接加热的优势；工艺需求温度可依据每个工艺的要求实时达成；不必仰赖中央加热系统；生产规划可做得更好(E-textile toolbox, 2005g)；采用这技术的拉幅机的加热时间也可缩短，减少空转的热损。当初采用这项技术时，曾有人担心氮氧化物(将空气曝露在燃烧室温度下形成)会造成织布变黄或染料变白等问题。但这些担心没有得到证实(Carbon Trust, 1997)。

新款机器在设计上已成功地结合直接燃烧气系统，调整后的设计并未改变干燥机的实体大小与外观，既有的通风槽则改装为燃烧室。印度一家工厂将其热流系统改装为直接燃气系统，一年节省 1 万 1,000 吉焦的燃料用量(约为总燃料用量的 40%)与 120 兆瓦时的用电量(占总能耗量的 90%)。这项改造措施的总投资成本为 50,000 美元，回收期约 1 年(E-textile toolbox, 2005g)。

86. 用拉幅机前，先用机械脱水或接触干燥

拉幅机运行时相当耗能，所以在织布进入干燥机前，应尽可能地加以脱水，可利用机械脱水设备如轧液机、离心机、吸槽与气刀；或使用热滚筒进行接触干燥。如果织布在进入拉幅机前，含水量能从60%降至50%，拉幅机的用能量可减少15%(取决于使用的基质)(European Commission, 2003)。

接触干燥的能耗量是吸槽脱水法的5倍多，但仅占一台拉幅机总能耗量的三分之二。织布在通过拉幅机前如能先干燥将水分含量降至25-30%左右，这样织布的宽度仍可配合客户需求加以调整。降低干燥成本的其他技巧包括红外线干燥与射频干燥。燃气红外线干燥已被用于织布进入拉幅机前的预先干燥，如此干燥速度可提高至50%，舒缓拉幅机常见的生产瓶颈 (Carbon Trust, 1997)。

射频干燥广泛用于散纤维、卷装、羊毛条与羊毛绞纱以及缝纫棉线的干燥与染料固色，能耗量是传统蒸汽加热干燥机的70%左右，不过用途仅限于散纤维与卷装。这方法目前还不适用针织获纺织布，这是因为拉幅机输送带上的传统针夹会干扰射频干燥场，造成放电。

有个案例是在进入拉幅机前以吸槽进行预干燥，一年节省 10,400 美元，投资成本为 1,550 美元，(吸槽)运行成本为 1,400 美元(E-textile toolbox, 2005h)。能源效率局(BEE) (2000)报导说如采用吸槽进行预干燥，产量可提高 50%。使用吸槽干燥增加约 25 千瓦的电力负载 。表 30 是不同种类织布在生产时的每吨能耗量与节能量。如考量安装吸槽产生的所有效益，回收期约 3 个月，但仅考量节能量的话，则回收期为 19 个月。

表 30. 拉幅机干燥每吨织布的能耗量 (BEE, 2000)

织布种类	仅轧液机的能耗量 (吉焦/吨)	吸槽的能耗量 (吉焦/吨)	节能量(%)
聚酯纤维与尼龙 (非纺织布)	28.15	14.02	49.6
尼龙 (纺织布)	11.79	5.57	49.1
聚丙烯 (纺织布)	11.19	9.49	12.9

87. 避免在拉幅机中过度干燥

由于拉幅机运行能源成本很高，所以避免过度干燥相当要紧，与前面提到滚筒干燥机的情况类似。以自动红外线、放射性或导电性为基础的湿度测量系统，可与拉幅机的速度控制相互串联，以确保织布的含水量是正确的(Carbon Trust, 1997)。

88. 拉幅机空转时关闭废气流

更换每批织布的时间可能要花10-15分钟，一些极端情况(代加工干燥机)甚至要花到一个小时，此时常见排气系统仍持续运行。由于拉幅机需要用到很多空气加热，所以要尽可能将排器系统分开，或至少在拉幅机闲置时将排气系统关闭 (Carbon Trust, 1997)。适当地安排加工时程可将机器停机次数以及加热/冷却的步骤减至最少，是节能的先决条件 (European Commission, 2003)。

89. 调高拉幅机的干燥温度

如果织布可接受较高温度，则调高拉幅机干燥温度造成的辐射与反射热能损失，会比蒸发热能损失来得少，进而降低单位产品能耗 (Carbon Trust, 1997)。

90. 关闭拉幅机密封侧面板

老旧机器的侧面板有时会受损，造成烘箱内气流不平衡，所以应该要修复或更换有问题的侧面版，让烘箱四周的密封能紧密。

91. 正确保温

将拉幅机包络正确地保温可大大减少热能损失。通常改善整个拉袱机的保温处理效果不大，不过在老旧机器的顶盖进行保温可能还划算(Carbon Trust, 1997)。如果将保温材料的厚度从120厘米增加至150厘米(假设使用相同材料)，可减少能耗20% (European Commission, 2003)。

92. 优化拉幅机排气湿度

前面表29显示拉幅机在空气加热与蒸发上耗用最多能源。要优化干燥比率与减少能耗量，得小心控制流入烘箱的气流(与排气率)。绝大部份拉幅机仍仰赖人工来控制排气率，尽管实务上做来很困难，且常造成排气孔无谓地被开着。如果不仔细监控气流的流动，空气加热的能耗为总能耗的60%(相较表29列出的39.7%)(European Commission, 2003)。拉幅机排气湿度保持在0.1-0.15公斤水/公斤干空气时的效果最佳，不过排气湿度为0.05公斤水/公斤干空气的情况也不少，显示排气量太大，用来加热空气的能源也过多。

市面上已有能够自动控制阻尼器将排气湿度维持在特定范围的设备，这设备可减少空气损失却不严重影响织布的通过量。不过有些织布与工艺会产生烟气(尤其是将合成纤维织布预定型时)，造成织布缝隙散发出 "蓝烟"，此时，应将拉幅机的排气口完全打开 (Carbon Trust, 1997)。

另一种设备为可调速风机，这机器可根据废气含水量、织布含水量或织布温度，自动调整排气气流。每公斤织布消耗的新鲜空气从 10 公斤减少到 5 公斤，可节能 57% (European Commission, 2003)。印度一家合成纺织厂使用半自动监控系统欲控制废气在规定范围并减少能耗，据报一年节能 670 吉焦，投资成本仅 600 美元(E-textile toolbox, 2005i)。

日本节能中心(ECCJ) (2007b)在使用排气控制系统后 ，据报节能 20-80%。使用率低、排气阻尼器完全开启、排气风机以全速运行的拉幅机，由于未使用废气控制系统会造成大量热能损失，故节能潜力也最大。针对一家纺织厂拉幅机废气自动湿度控制的研究观察显示，所有废气风机均以全速运行；通过调整废气风机的速度来调整废气的流速，可将废气湿度控制在规定的范围内，如此一年可节能 3840 吉焦。下面为废气流速控制系统的示意图。

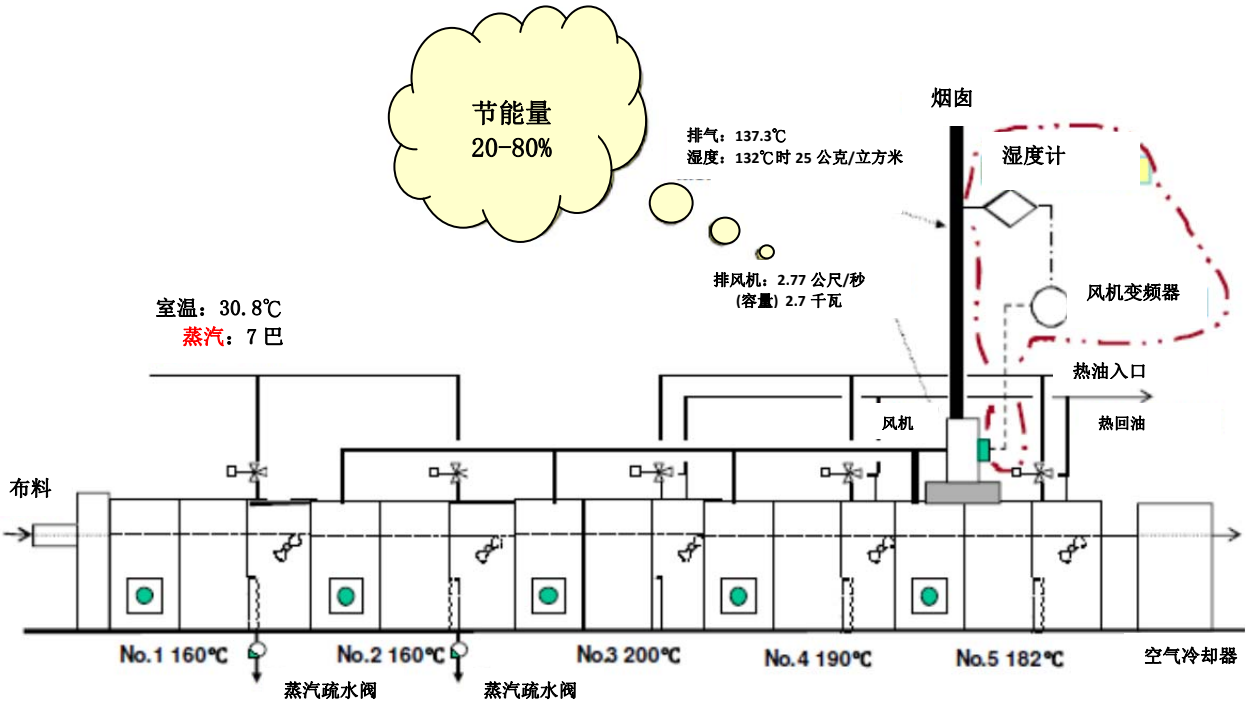


图 24. 拉幅机废气流速控制系统示意图 (ECCJ, 2007b)

93. 在拉幅机安装热回收设备

回收拉幅机废气的热回收设备有二种，分别是：

- 热回收空气/空气：使用废气的热能来加热供应拉幅机的新鲜空气
- 热回收空气/水：使用废气的热能来加热湿处理(如清洗、染色、漂白)的厂用水。

回收废热气可使用空对空系统如板式换热器、玻璃管换热器或心形轮，节能效果一般可达 50-60%，但可能会有空气分流、污塞与腐蚀等问题。

空对水系统如喷雾回收，可避免污塞同时清理排气机，但腐蚀情况会增加。使用次级水/水热交换器是必要的但必须找出该机器对热能的需求。节能幅度大约在 30%(European Commission, 2003)。如果拉幅机产生大量的挥发性有机物或甲醛，有可能要用到洗涤器、静电除尘器、甚至焚化炉，才能符合有关环保法规明定的限制(Carbon Trust, 1997)。随着引出气流的冷却，空气中的污染物会凝结，此时就可使用滤器来过滤移除。此时，排放气体就不会含有机污染物，回收的热气也能重新使用。投资成本介于 77,000 美元至 460,000 美元之间(E-textile toolbox, 2005j)。

拉幅机用能要降至最低必须有适当的维护(清理热交换器与拉幅机、检查控制/监测健仪器等)，尤其装有回收系统更需如此。表31列出由欧盟执委会(2003)提供用于干燥工艺与热定形工艺的热交换系统(空气/水与空气/空气系统)的回收期数据。

表31. 不同工艺(织布干燥与热定形)与每天不同班次
(空气/水与空气/空气)热回收系统的回收期

系统种类	工艺	1 班/天		2 班/天		3 班/天	
		节费 (欧元)	回收期 (年)	节费 (欧元)	回收期 (年)	节费 (欧元)	回收期 (年)
空气/水 新鲜水 温度：15°C	干燥	32,050	5.7	64,150	2.6	96,150	1.7
	热定形	34,450	5.4	68,900	2.4	103,350	1.5
空气/水 新鲜水 温度：40°C	干燥	18,050	12.6	36,100	5.9	54,150	3.3
	热定形	23,350	8.6	46,700	3.7	70,050	2.4
空气/水 新鲜水 温度：20°C	干燥	8000	>20	16,000	15.6	24,000	8.5
	热定形	11,000	>20	22,000	9.6	33,000	6.6

注释：上述结果是依据以下参考数据：逆流管路、干燥温度 130°C、热定形温度 190°C、废气流量 15,000 立方米/小时、废气含水量(干燥)70 公克/立方米、废气含水量(热定形)40 公克/立方米、淡水温度(热回收前)15°C、效率 70%、天然气热值 9.3 千瓦时/立方米、天然气成本 0.25 欧元/立方米、维护成本 1 千欧元/年、利率 6%。

前述信息不包含织布湿度控制与废气湿度控制等措施，一旦安装这些设备，有报道指出热回收的成本效益就不大(European Commission, 2003)。一些公司如 BRÜCKNER 有贩售适用拉幅机的热回收设备 (BRÜCKNER, 2010)。

94. 拉幅机直接燃气系统采用高效火口技术

优化直接燃气系统燃烧器的燃烧系统并进行充分的维护，可将甲烷的排放量降至最低，这点相当重要是因为燃烧器排放的甲烷对直接确定了坏燃烧器的实际容量。拉幅机的一般维护应委由专业公司定期进行；同时应该要定期检查燃烧器进气口是否有被绒毛或油阻塞，清理管路内的沉淀物，并请专家调整燃烧器。

95. 拉幅机加装传感器和控制系统

传感器与控制系统对拉幅机相当重要，有了他们才能确保质量控制与有效用能。以下是PLEAVA(2009)列举用于拉幅机的几个重点控制系统：

- 废气湿度测量：测量并控制湿度才能以有效地承载带有湿度的废气，如此可减少热废气量，进而大幅节能。
- 残留含水量测量：控制残留含水量可以最少的成本获致最高的生产力，通过使用这类控制系统可避免过度干燥问题。
- 织布与空气温度测量：在拉幅机内侧织布旁安装数个织布温度传感器，是个监控与优化热处理工艺的好系统。
- 过程显示系统：这些系统能显示工艺参数以及机器各个部份的实时表现，提供操作员监控机器性能的有用信息(图 25)(PLEAVA, 2009)。

根据 PLEAVA 公司(拉幅机控制系统供应商)监测土耳其一台装有该公司控制系统的拉幅机的性能数据显示，燃料用量减少 22%、用电量减少 11%、生产量提升 28%。

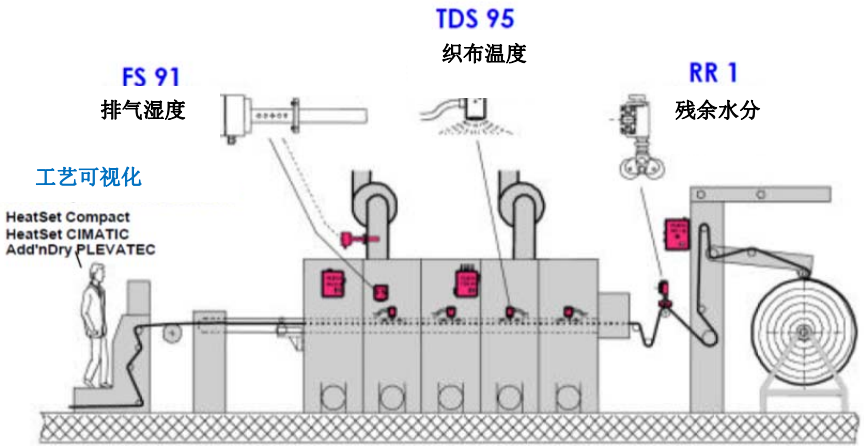


图 25. PLEAVA 公司贩售的拉幅机传感与工艺控制系统示意图 (PLEAVA, 2009)

加拿大工业节能计划(CIPEC)(2007)报告干燥机与拉幅机湿度控制器的资本成本介于 20,000 美元至 220,000 美元，差幅很大，回收期介于 1.5 年至 5 年间；烘干机与拉幅机停留控制系统的资本成本介于 80,000 美元至 400,000 美元，差幅也很大，回收期介于 4 年到 6.7 年，这控制系统是这些机器能安装的几个重要系统其中之一。图 26 是拉幅机主要节能机会的速描。用于整理拉幅机的几项好方法包括：

- 使用至少 75-80%拉幅机的宽度
- 由于堵塞的滤器会破坏干燥的效率，所以必须定期清理滤器
- 确保拉幅机顶部、底部与侧面有防漏门与适当的保温处理
- 鼓风机电机应与主要电机互联，这样机器停止运行时鼓风机电机也会停止(E-textile toolbox, 2005k)

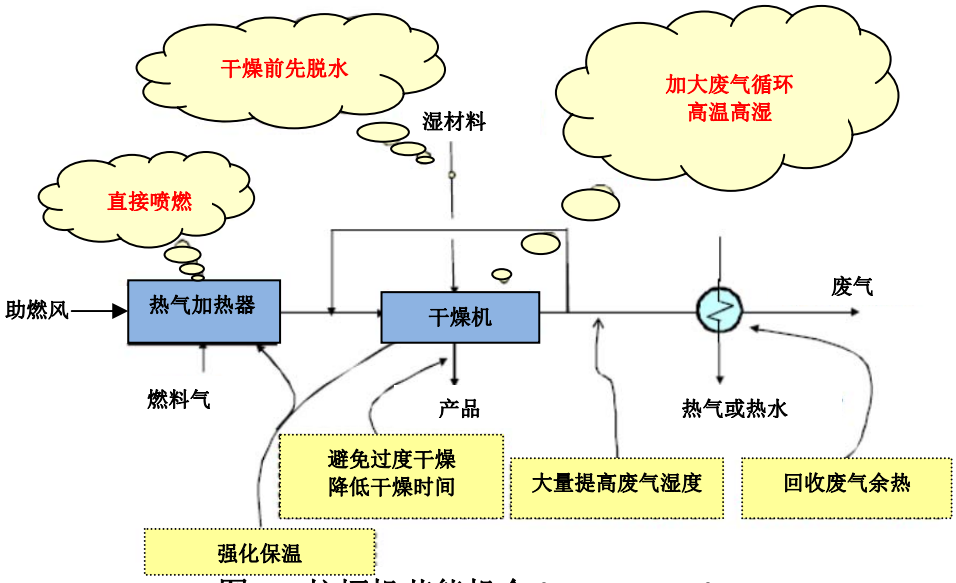


图 26. 拉幅机节能机会 (ECCJ, 2007b)

5.4.5 湿法工艺的通用节能措施

96. 粗斜纹布退浆、染色与后整理用自动蒸汽控制阀

纺织湿处理工艺如织布退浆、染色与后处理普遍采用蒸汽进行。在很多纺织厂，特别是老旧工厂，湿法工艺很多环节是由人工控制，导致大量蒸汽遭到浪费。这些工厂可将手动蒸汽控制系统改造为自动控制系统，让自动控制系统根据预先设定的工艺要求，对每个设备供应蒸气，以避免供应过量的蒸汽。印度一家粗斜纹布制造厂在所有退浆、染色与后处理工艺安装蒸汽自动控制阀，据报一年节能3,250吉焦；本案例投入资本约为5,100美元。各厂的节能量与资本成本可能会不同，要看拟安装蒸汽自动安全阀的机器数量与工厂运行情况 (EMT, 2008I)。

97. 采用湿法工艺的工厂回收冷凝水

纺织厂的染色与其他湿法工艺需要大量的饱和蒸汽，部份蒸汽在工厂运用蒸汽的过程中会被转换为高温纯净的冷凝水；冷凝水形成支部染色与后整理厂，所以收集冷凝水的最佳地点之一为干燥滚筒，织布在接触经由蒸汽加热的热滚筒时会变干。针织厂可在疏水阀中发现大量冷凝水；最能有效运用冷凝水的方式是将冷凝水送回锅炉，再转换成新蒸汽。不过对于向外采购蒸汽的公司以及锅炉距离使用蒸汽的工艺太远的公司而言，冷凝水可用于冲洗与退浆，因而可回收水与热。

很多纺织厂视冷凝水为废水直接排放掉不再重新利用。美国自然资源保护委员会研究的一家纺织印染厂的干燥滚筒制造冷凝水的速度为每小时 15 公斤，相当每年 18,975 吨的冷凝水，占该工厂总用水量 2.5%。回收冷凝水的好处除了节约用水之外，重新利用冷凝水所节约的能源也相当可观。根据美国自然资源保护委员户对中国三家纺织厂所做的案例研究与 Saad El-Din (2004)所做的另一项研究均显示，采行这项措施每吨织布可节省 1.3-2 吉焦的用能与 2.6-6 吨的用水(Greer et al., 2010; Saad El-Din, 2004)。本措施必须安装捕集与送回冷凝水的管路。预估的投资成本差异很大，因为要看纺织厂的布局与冷凝水来源距离锅炉有多远。不过加拿大工业节能计划(2007)针对间歇染色机(喷嘴、经轴、包装、绞纱、染卷机、绳状染色机)的冷凝水回收系统给出的投资成本为 1,000 美元至 16,000 美元之间，而美国自然资源保护委员会研究的中国案例，回收期不到一年(Greer et al., 2010)。

98. 将空气压缩机回收的热量用于燥织尼龙网

空气压缩机的用电有高达 85-90%最后被当做余热浪费掉，确切数字要看压缩机种类与负荷量。只要在安全设定上做简单调整，空气压缩机的余热可作为室内采暖之用，或者将余热用于须要低热的工艺。英国一家生产织尼龙网的纺织厂有个系统可将网干燥系统压缩机排放的余热再做利用。

该工厂设计建造一个简易的热回收系统，压缩机排放的余热被输送至改装的货柜中，再被铺有湿网的台车抽吸，配备于每个台车底部的风机再抽吸湿网上的干燥热气，这些台车一路上吸收水分；湿气透过货柜侧面的气孔释出到空气中(图27)。这项目一年节能量为7560吉焦[27]，设计、建造与运行这套余热压缩回收系统的资本成本为8,500美元(Carbon Trust, 2005)。

99. 利用热交换器回收湿法工艺排放的废水

纺织厂目前使用大量热水作为连续准备范围及染色机在退浆、洗毛与漂白时冲洗用。目前被视为废水排掉的大多数热水与部份化学物，可以透过富成本效益的方法回收重新利用。现在已有很多回收余热的技术，这些技术可降低工艺运行成本并节省大量的燃料(Pulat et al., 2009)。

Kiran-Ciliz (2003)公布一家棉织湿处理厂采用”水对水”热交换器来回收工艺废水产生的余热，每吨成品织布可节能 1.1-1.4 吉焦。为了节能，该公司共投资 328,820 美元，这费用包含运行成本与所有装置的费用 (Kiran-Ciliz, 2003)。Saad El-Din (2004) 认为湿处理工厂从冷水

[27] 注释：空气压缩机必须要充分冷却，才能避免过热、性能损失或损害。在实施热回收项目前要先有妥当的设计意见。

与热/废水回收热的节能量较高，每吨织布的节能量为 10.5 吉焦，节电量为 5.5 千瓦时，省水量为 12.6 立方米。由于这些节约，每年每吨织布产能省下 38.4 美元的费用。

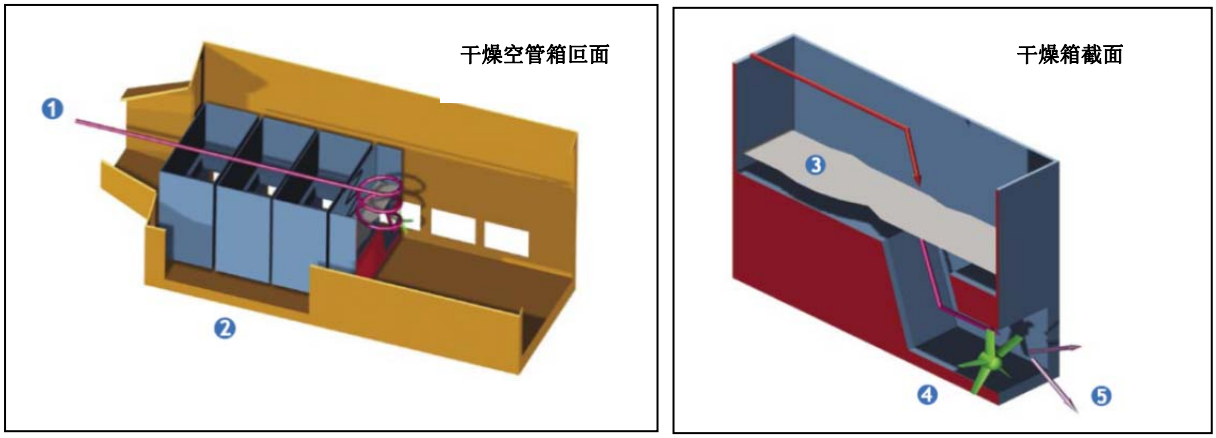


图 27. 空气压缩系统热回收系统示意图 (Carbon Trust, 2005)

在此要强调 Saad El-Din (2004) 计算节能量时有考虑到从冷水回收的热，但 Kiran-Ciliz (2003) 仅考虑从废水回的热。加拿大工业节能计划针对湿处理厂废水余热回收系统给出的投资成本介于 5 万 8,800 美元至 250,000 美元，回收期介于 0.3 年至 4.2 年。图 28 为染色机热污水回收余热的示意图。

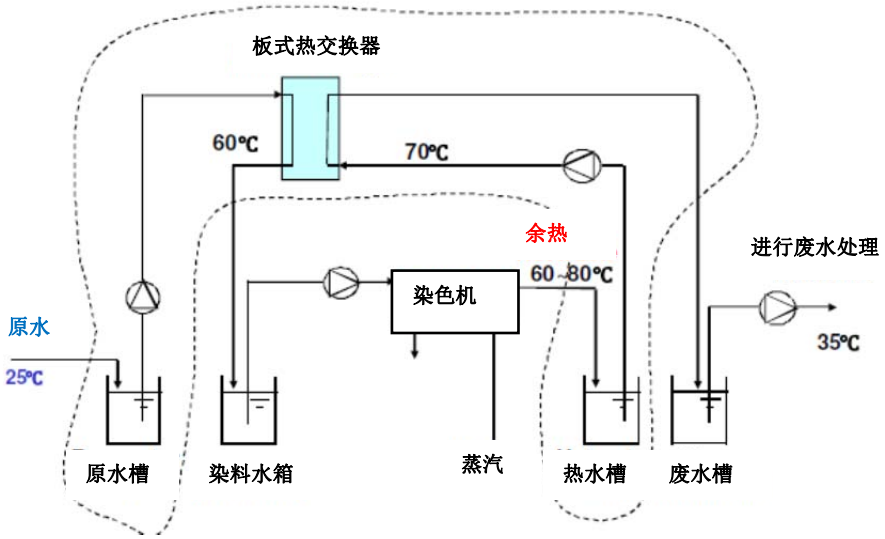


图 28. 染色机热污水回收余热示意图 (ECCJ, 2007b)

5.5. 用于人造纤维生产的节能技术与措施

表 32 将本指南针对人造纤维生产可用的节能措施/技术列表。

表 32. 人造纤维的节能措施与技术*

编号	节能技术/措施	燃料节约	节电量	二氧化碳排放减排量***	资本费用(美元)	回收期(年)**
5.4	**人造纤维生产**					
100	人造纤维生产		105 兆瓦时/年/干燥机	87.8 吨二氧化碳/年/干燥机	11,000/ 干 燥机	1.3
101	生产粘胶长丝时，在后处理干燥机的热空气风机上安装变频驱动器(VFD)		9.6 兆瓦时/纺纱机/年	8.0 吨二氧化碳/纺纱机/年	680/机器	< 1
102	用轻量碳强化的纺纱罐，替代钢强化的纺纱罐		32.8 兆瓦时/风机/年	27.4 吨二氧化碳/风机/年	5600/风机	2.3
103	在人造纤维纺纱厂的加湿系统的清新空气风机上，安装变频驱动器		49.5 兆瓦时/搅拌器/年	41.4 吨二氧化碳/搅拌器/年	9500/搅拌器	2.6
104	在溶解器的电机上安装变频驱动器		40.4 兆瓦时/泵/年	33.8 吨二氧化碳/泵/年	930/泵	< 1
105	后处理工序的洗涤泵安装附有变频驱动器的压力控制系统		7 兆瓦时/机器/年	5.9 吨二氧化碳/机器/年		< 0.5
106	纺纱机的纺丝罐间安装铅隔板	3800 吉焦/年/工厂		349.2 吨二氧化碳/年/工厂	29000/工厂	
107	用节能的真空高压蒸汽喷射器替代真空低压蒸汽喷射器来进行黏胶液脱泡	1 吉焦/干燥机运转时数		2.2 吨二氧化碳/干燥机运转天数	66700/系统	
108	生产粘胶长丝时,干燥机使用换热器		205 兆瓦时/年/工厂	171.4 吨二氧化碳/年/工厂		
109	优化倍捻机的气球设定		500 兆瓦时/机器(16 纺锤)/年	418 吨二氧化碳/机器(16 纺锤)/ 年	200000/机器	5.3
110	溶液纺丝高速纱线制造设备(聚氨酯聚合物除外的长丝)		55%	减少与电量消耗相关的二氧化碳排放 的 55%	320000/机器	
111	用高速多线程线纱制造设备生产尼龙和聚酯长丝		788 兆瓦时/年/工厂	658.8 吨二氧化碳/年/工厂	190000/工厂	3.2
112	安装假天花板以减少人造纤维生产纺纱厅的高度		73 兆瓦时/年/机器	61 吨二氧化碳/年/机器	80,000/机器	14.6

*本表中所列的节能、资本费用与回收期是针对参考报告中所列的明确条件，执行这些措施能带来额外(非能源)益处。请详阅报告中引述的每个措施，从而对节能量与资本费用有完整的了解。

**没有列出投资回收期，但有列出节能量与资本费用的节能措施，其投资回收期的计算是假设电力价格为 75 美元/兆瓦时（约合 0.075 美元/千瓦时）。

***二氧化碳排放量根据 2008 年中国电网平均二氧化碳排放因子 0.836 千克二氧化碳/千瓦时（来源：NDRC, 2009）和中国纺织行业燃料消耗的加权平均二氧化碳排放因子（等于 91.89 千克二氧化碳/GJ）计算得出（来源：NBS, 2010; IPCC, 1997a; IPCC, 1997b）。

100. 生产粘胶长丝时，在后处理干燥机的热空气风机上安装变频驱动器(VFD)

生产黏胶长丝的原料为木浆，木浆价格便宜又属可再生资源，但要将木浆制成黏胶长丝就相当耗能与耗水。生产黏胶长丝的程序有三：1.溶解木浆，2.挤出纱线，3.通过漂白冲洗将纱线净化。净化后的黏胶长丝再以热气干燥机加以干燥(图 29)。

将纱线丝拼加以干燥是生产黏胶长丝的最后一道手续，干燥是由空气干燥机完成，通过流通热气以除去纱线丝拼的水分。干燥是分阶段在干燥机的不同区域完成，如图 30 所示。干燥量最大的是前二个区域，接下来区域的干燥量就逐渐减少。最后一个区域的除湿率相当低并与空气速度无关，所以可以降低这区域的送风速度。

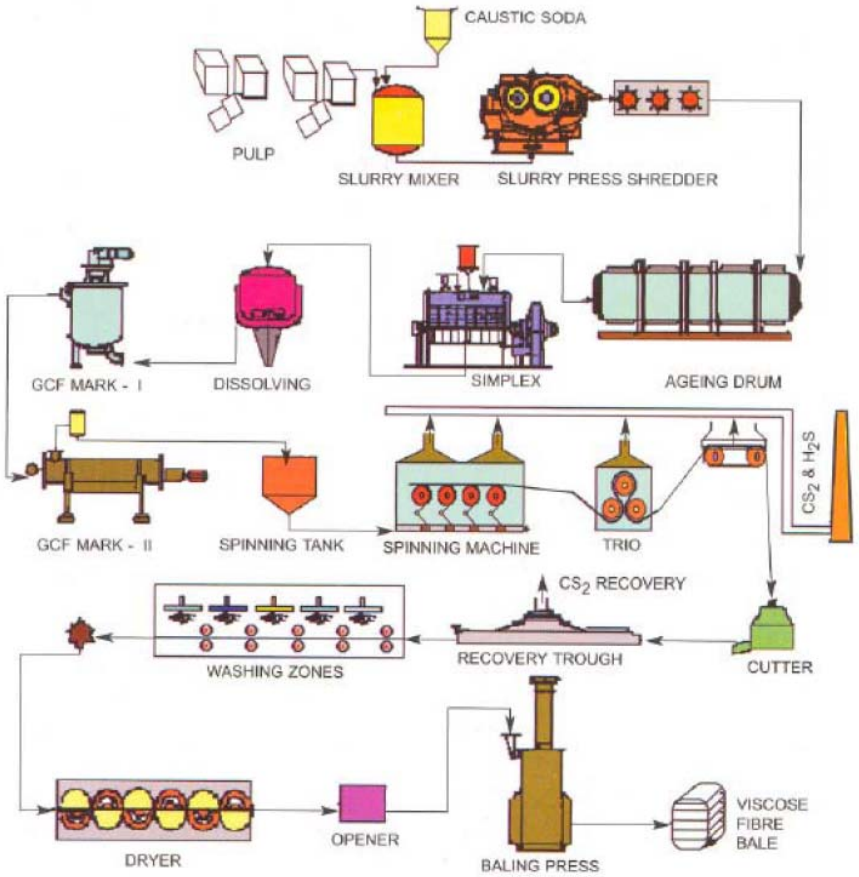


图 29. 黏胶人造丝生产的工艺流程图 (EMT, 2006C)

图 30. 后处理干燥机不同区域 (改造前) 示意图(CII, 2007)

印度黏胶长丝最大制造商 Century Rayon 公司，欲优化干燥机最后区域的空气速度，改造了旗下一家工厂的四台后处理干燥机。新系统包括在一组用于驱动热空气风机的电机上安装多个变频驱动器，这些风机再依据所在区域分组，如图 31 所示。在含水量很高的初始阶段(第 1、2、3 区域)，变频驱动器采高速运转(RPMs)以制造更多热气流，以便降低含水量。当纱线通过第二阶段(第 4 区域)，由于除湿率比第一阶段要低，风机的转速就可降低。由于最后阶段(第 5 区域)的含水量相当少，热空气风机的转速可进一步降低，如图示。电机使用变频驱动器调节风机转速以促成大量的节能 (CII, 2007)。

2006 年 Century Rayon 公司在所属的四台日式干燥机的最后二个区域内所有送风机上安装了变频驱动器。第四区域每分钟转速从 1000 降至 700，第五区域每分钟的转速从 1000 降至 500。这样一台干燥机一年节能 105 兆瓦时，每台干燥机的资本成本为 11,000 美元，回收期据报为 15 个月(EMT, 2006d)。

图 31. 后处理干燥机不同区域 (改造后)示意图 (CII, 2007)

101. 用轻量碳强化纺纱罐替代钢强化纺纱罐

传统上，生产合成纤维的工厂使用钢强化纺纱罐。Century Rayon 公司印度厂使用的钢强化纺纱罐重量为 2.8 公斤，纺纱机每天能耗量为 581 千瓦时。钢强化纺纱罐可换成碳强化纺纱罐。该公司所用的碳强化纺纱罐重量为 2.2 公斤(图 32)。

换用之后，每台纺纱机每天的能耗量降至 549 千瓦时，可以说减轻纺纱罐的重量每年可为每台机器节能 9.6 兆瓦时，每台机器的更换成本为 680 美元。Century Rayon 公司在 39 台纺纱机进行改造，据报回收期为 9 个月(UNEP Risoe Center, 2007)。

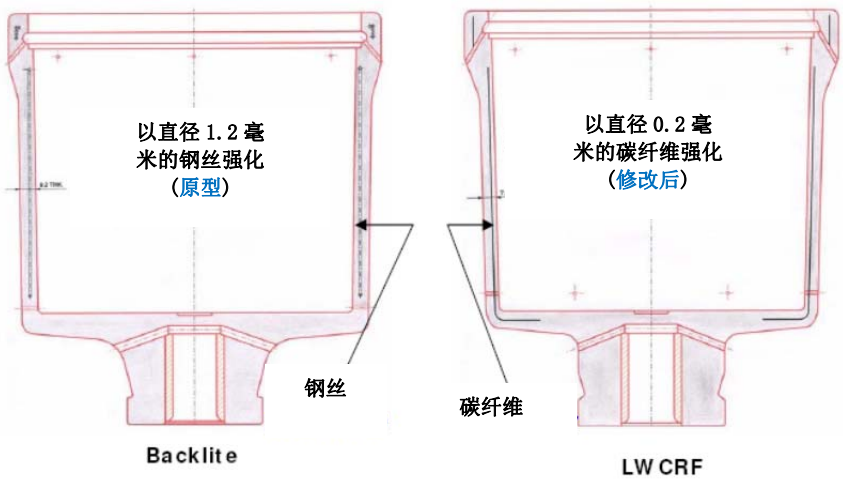


图 32. 钢强化纺丝罐与碳强化纺丝罐 (UNEP Risoe Center, 2007)

102. 在人造纤维纺纱厂的加湿系统的清新空气风机上安装变频驱动器

人造纤维生产工艺有些地方的温度与湿度应根据特定要求进行控制维护，所以人造纤维工厂通常有多台空调系统与加湿系统。可在加湿系统新鲜空气风机上安装变频驱动器，让变频驱动器通过调整频率来控制这些风机的转速，以便生产工艺的温度与相对湿度在经过测量后能符合对新鲜空气的要求。印度一家生产黏胶长丝的工厂在其生产工艺的 19 台新鲜空气风机上安装变频驱动器后，每台风机一年平均节电 32.8 兆瓦时，投资成本据报为 5,600 美元 EMT, 2008J)。

103. 在溶解器的电机上安装变频驱动器

生产黏胶长丝时会用到溶解器，如浸渍时纤维素是在烧碱中溶解。溶解器通常以定速运行，但其实可以根据工艺要求做些调整。印度一家生产黏胶长丝的工厂在6台溶解器安装变频驱动器，如此转速可依据工艺要求做调整，该厂回报每台溶解器一年平均节电30.3兆瓦时，每台溶解器的投资成本为1万6,400美元(EMT, 2008j)。

Century Rayon公司属的另一加工厂将每批织布浸渍于溶解器要花18分钟，此时搅拌器共定以每分钟1000次的转速运行，该公司在安装变频驱动器后决定将搅拌器转速调降至每分钟500次持续60分钟(前120分钟每分钟转速1000次)，结果每台搅拌器一年平均节电49.5兆瓦时，每台搅拌器的投资成本为9,500美元，且黏胶长丝的质量未受影响 (EMT, 2006d)。

104. 后处理工序的洗涤泵安装附有变频驱动器的压力控制系统

生产黏胶长丝纱线的后处理工艺使用的洗涤泵可安装有附有压力控制的变频驱动器，如此，可根据纱线纤度(厚度)调整洗涤泵转速，进而优化洗涤泵的能耗量。印度一家生产黏胶长

丝的工厂将这做法应用在19台洗涤泵后，每台洗涤泵一年平均节电40.4兆瓦时，每台泵的投资成本为930美元(EMT, 2007b)。

105. 纺纱机的纺丝罐间安装铅隔板

纺纱机内的纺纱罐通常以每分钟 7800 次的速度选转，致使纺纱罐间产生交叉气流，进而增加纺纱机的电力负荷。此时可在纺纱罐间安装铅镉板除去交叉气流(图 33)。印度 Century Rayon 公司在 69 台纺纱机的纺丝罐间安装铅镉板后，每台机器一年平均节电 7 兆瓦时，虽然我们没有这些装置的投资成本数据，但据报道回收期相当短(EMT, 2005C)。

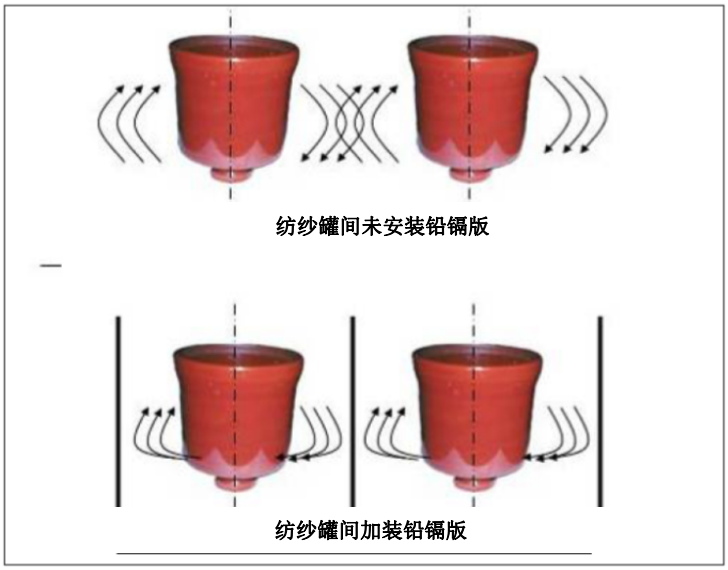


图 33. 纺纱机的纺纱罐间安装铅镉板示意图 (EMT, 2005C)

106. 用节能的真空高压蒸汽喷射器替代真空低压蒸汽喷射器来进行黏胶液脱泡

黏胶脱泡器用于去除滤过黏胶上存留的汽泡，以避免黏胶被送入纺纱机进行再生时夹带汽泡，传统上是采用低压蒸气四阶段换纤锤来去除汽泡，不过由于蒸汽压不足，换纤锤有时无法产生所需的真空，造成蒸汽消耗量过多。要克服这问题，可改用二阶段高压蒸汽换纤锤。印度一家工厂在投资 29,000 美元执行这项措施后，一年节能 3,800 吉焦(EMT, 2004b)。

107. 生产粘胶长丝时,干燥机使用换热器

在黏胶长丝生产线上的干燥机，新鲜空气一般是通过蒸汽盘加热，再流入干燥室，湿蒸汽再以 90°C 高温排入空气中。可考虑安装热交换器来回收废气中的热，再用这些热来预热新鲜空气，这样可节省大量的用能。由于安装热交换器，干燥机运行每小时可节能高达 1 吉焦；投资成本据报约为 66,700 美元(BEE, 2003)。

108. 优化倍捻机的气球设定

研究发现倍捻机气圈设定较低时用电量较少，但只要求气圈设定低是不够的，应该就不同纱线数量纱线捻度进行研究，以优化气圈设定。据报道，采用这中做法一年可节电 205 兆瓦时，但采行这方法的倍捻机数量则不明确(gtz, 2007)。

109. (用于长丝而非聚氨酯聚合物)溶液纺丝高速纱线制造设备[28]

这设备在应用新技术以人造丝等原料生产纱线的同时，还能展现高性能与完成节能。这设备主要包含原料混合设备与纺丝头。聚合物一边通过纺纱喷嘴由齿轮泵挤出，一边在原料液混合设备里溶解、过滤、脱脂。在纺丝头内，从喷嘴流出的原料液通过主要、次要与第三级纺锤进行分子排列，最后完全凝结就可形成纱线(图 34)。

在传统设备上，每台机器可纺 16 捲长丝，但这设备在安装高速纺纱节能电机后，每台机器可生产 24 捲长丝让，纺纱速度增加约 2.7 倍(300 公尺/分钟→800 公尺/分钟)，同时用电量减少约 35%，每台机器一年节能 500 兆瓦时(16 纺锤)；再者，这个设备使用的耗材较少，大大降低维护成本。安装这设备的投资成本为 200,000 美元(含建设费用)。日本各地采用这方法的大型工厂很多 (NEDO, 2008)。

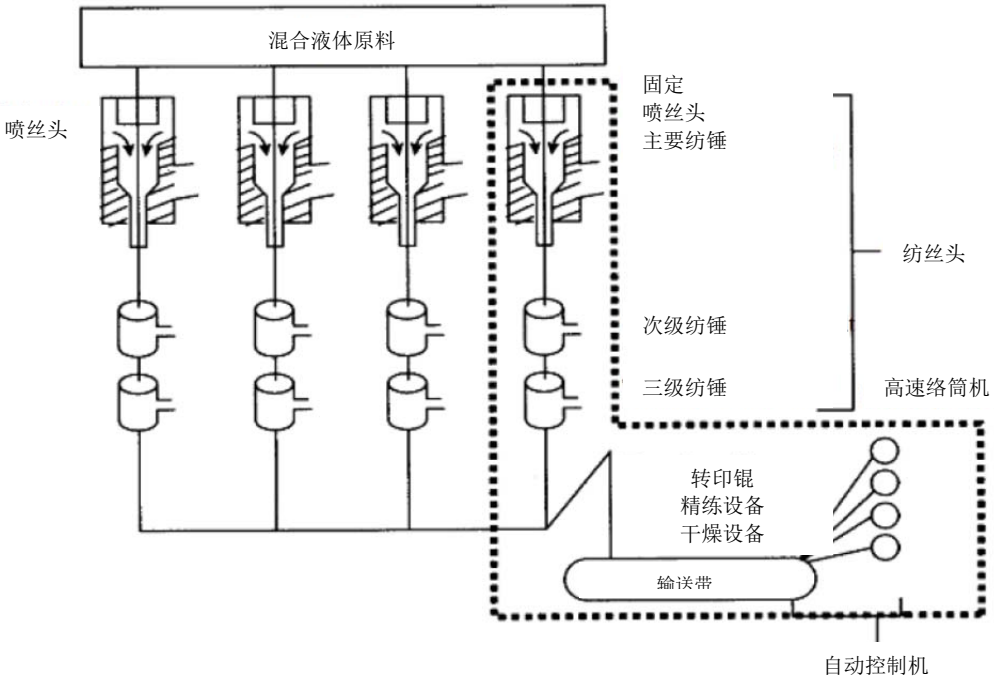


图 34. 溶液纺丝高速纱线制造设备示意图 (NEDO, 2008)

[28] 本节摘自 NEDO (2008)。

110. 用高速多线程纱线制造设备生产尼龙和聚酯长丝[29]

不同于前面介绍的那个设备，这个设备会将尼龙与聚酯长丝先融化，再以每分钟6000米的高速将这些原料纺成全延伸丝(FDY)或半延伸丝(POY)。另外，为提高节能与生产力，也在相同工艺进行拉伸捲取(图35)。传统设备的种类为批次或间接连续式，因为纺纱由纺纱工艺生成，成品长丝(全延伸丝或半延伸丝)由拉取机器生成。新设备在纺纱与生产长丝时是以连续方式进行，促成耗电量降低55%，安装这设备的投资成本约320,000美元(NEDO, 2008)。

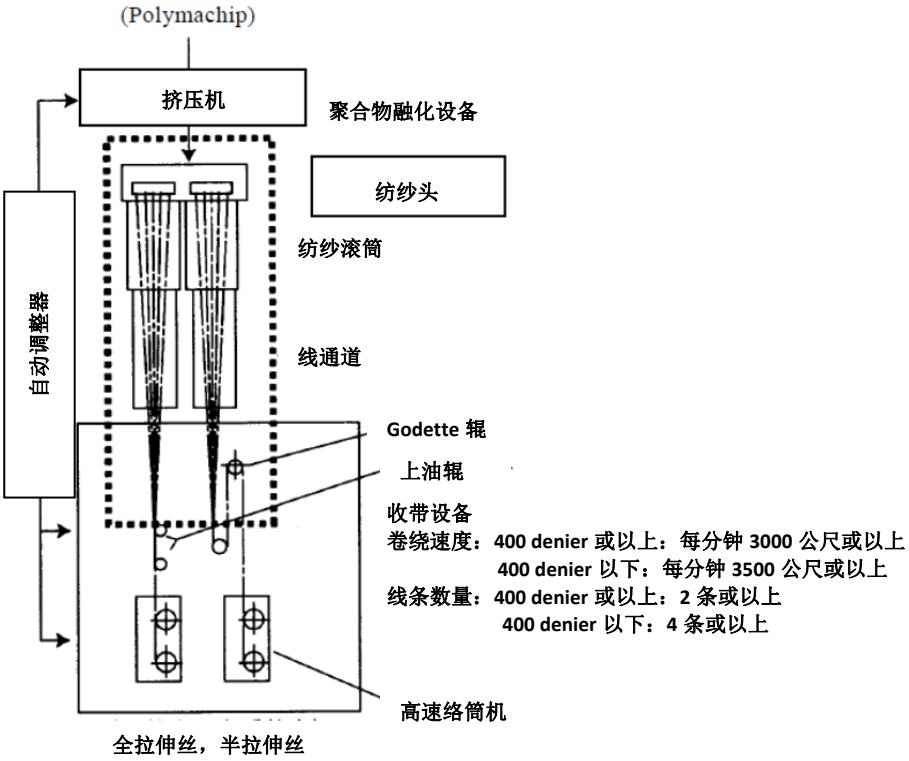


图 35. 高速多线程纱线制造设备示意图 (NEDO, 2008)

111. 安装假天花板以减少人造纤维生产纺纱厅的高度

由于绝大多数人造纤维生产工艺需要空调系统与加湿系统，纺纱房的大小会直接影响暖通空调系统的能耗。有些工厂纺纱房的高度太高，此时可以安装假天花板降低天花板高度，达到降低暖通空调能耗的效果。印度一家工厂在其纺纱房安装假天花板，降低房间高度约一公尺，结果暖通空调一年节电 788 兆瓦时，投资成本据报为 190,000 美元。节能与节费幅度可能要看安装假天花板的房间大小而定 (EMT, 2007b)。

[29]本节摘自 NEDO (2008)。

112. 提高假捻变形机的电机效率[30]

聚酯长丝生产工艺使用假捻变型机来拉深及假捻未拉伸的线，该设备由电机驱动，传统上采用异步电动机的初级电压可控硅系统来控制电机速度。这方法的缺点(1)低速时相当耗电，(2)电机冷却风机相当耗电。再者，由于可控硅系统会产生大量的热，出现电机轴承卡住是很常见的，导致生产出分层纱，之后得丢弃分层纱，以及修复电机要花大笔费用等问题。

要提高假捻变型机能效，可使用组合晶体管变频系统来控制电机速度(图36)。这样每台机器一年可节电73兆瓦时(全天运行，一年运行330天)，每台机器的投资成本为80,000美元(NEDO, 2008)。

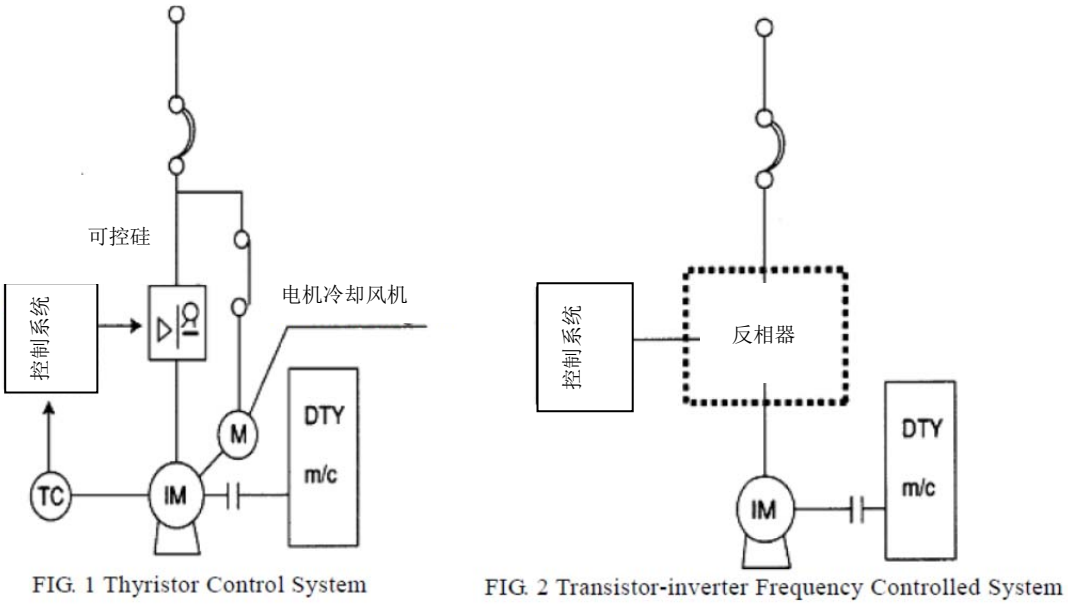


图 36. 可控硅系统(图 1)与晶体管变频控制系统(图 2) (NEDO, 2008)

5.6. 跨部门的节能措施与技术*

表 33 将本指南介绍的跨部门节能措施/技术列表。

[30]本节摘自 NEDO (2008)。

表 33. 跨部门的节能措施与技术*

编号	节能技術/措施	燃料节约	节电量	二氧化碳排放减排量**	资本费用(美元)	回收期(年)
5.5	**跨部门的节能措施**					
5.5.1	**电力需求控制**					
113	电力需求控制					
5.5.2	**提高电动机能源效率的机会**					
114	电机管理计划					
115	维护		电机系统能耗 2% - 30%	减少与电机系统电量消耗相关的二氧化碳排放 的 2% - 30%		
116	节能电机					
117	电机重绕					
118	适当大小的电机					
119	调速驱动器		7% - 60%	减少与电量消耗相关的二氧化碳排放的 7% - 60%		< 3
120	功率因子校正					
121	电压不平衡情况降至最低					< 3
5.5.3	**提高压缩空气系统能源效率的机会**					
122	降低需求					
123	维护					
124	监测					
125	减少(管线与设备)漏气		高达压缩空气系统能耗 20%	最高减少与压缩空气系统电量消耗相关的二氧化碳排放的 20%		
126	电子疏水阀 (ECDTs)					
127	降低入风温度		每降低 3°C，可节省压缩机能耗 1%	每降低 3°C，减少与压缩空气系统电量消耗相关的二氧化碳排放 的 1%		< 5
128	将进气口露点压力调至最大					
129	优化压缩机的用电负载					
130	适当管路尺寸		高达空气压缩机能耗 3%	最高减少与压缩空气系统电量消耗相关的二氧化碳排放的 3%		
131	热能回收		高达压缩空气系统能耗 20%	最高减少与压缩空气系统电量消耗相关的二氧化碳排放的 20%		< 1

编号	节能技術/措施	燃料节约	节电量	二氧化碳排放减排量**	资本费用(美元)	回收期(年)
132	调速驱动器(ASDs)		高达压缩空气系统能耗 15%	最高减少与压缩空气系统电量消耗相关的二氧化碳排放的 15%		
5.5.4	**提高泵系统的能源效率机会**					
133	维护		泵用电量 2% - 7%	减少与泵系统电量消耗相关的二氧化碳排放 的 2% - 7%		< 1
134	监测					
135	控制					
136	降低需求		泵用电量 10% - 20%	减少与泵系统电量消耗相关的二氧化碳排放 的 10% - 20%		
137	使用更多高效泵		泵用电量 2% - 10%	减少与泵系统电量消耗相关的二氧化碳排放 的 2% - 10%		
138	适当泵大小		泵用电量 15% - 25%	减少与泵系统电量消耗相关的二氧化碳排放 的 15% - 25%		< 1
139	不同负载用不同泵		泵用电量 10% - 50%	减少与泵系统电量消耗相关的二氧化碳排放 的 10% - 50%		
140	修剪叶轮(或修剪滑车轮)		高达泵用电量 75%	最高减少与泵系统电量消耗相关的二氧化碳排放 的 75%		
141	调速驱动器(ASDs)		泵用电量 20% - 50%	减少与泵系统电量消耗相关的二氧化碳排放 的 20% - 50%		
142	避免用节流阀					
143	适当管路尺寸					
144	更换皮带传动机		高达泵用电量 8%	最高减少与泵系统电量消耗相关的二氧化碳排放 的 8%		< 0.5
145	精确铸造、表面涂料或抛光					
146	改善密封					
5.5.5	**提高风机系统能效的机会**					
147	压力最小化					
148	控制密度					
149	风机效率					
150	正确风机尺寸					
151	调速驱动器(ASDs)		风机系统用电量 14% - 49%	减少与风机系统电量消耗相关的二氧化碳排放 的 14% - 49%		

编号	节能技術/措施	燃料节约	节电量	二氧化碳排放减排量**	资本费用(美元)	回收期(年)
152	高效率带(带齿皮带)		风机系统用电量 2%	减少与风机系统电量消耗相关的二氧化碳排放 的 2%		1 - 3
5.5.6	**提高照明系统能效的机会**					
153	照明控制系统					< 2
154	T-8 直管荧光灯或金属卤化物灯替代 T-12 直管荧光灯		114 兆瓦时 / 年 /1196 灯泡	95.3 吨二氧化碳/年 /1196 灯泡	26800/ 1196 灯泡	
155	用高压钠灯或金属卤化物灯替换水银灯		50% - 60% / 灯泡	减少与一个灯泡电量消耗相关的二氧化碳排放 的 50% - 60%		
156	用高强度荧光灯替代金属卤化灯		50% /灯泡	减少与一个灯泡电量消耗相关的二氧化碳排放 的 50%	185/ 灯具	
157	用电子镇流器替换电感镇流器		936 千瓦时/镇流器/年	0.8 吨二氧化碳//镇流器/年	8/ 镇流器	
158	优化工厂生产和非生产部门的照明(优化 lux)					
159	优化利用自然阳光					
5.5.7	**提高蒸汽系统能效的机会**					
160	需求匹配					< 2
161	控制锅炉分配					
162	烟道关闭档板					
163	维护	高达锅炉能耗 10%		最高减少与锅炉燃料消耗相关的二氧化碳排放 的 10%		< 0.5
164	改进保温	锅炉能耗 6% - 26%		减少与锅炉燃料消耗相关的二氧化碳排放 的 6% - 26%		
165	减少污染					
166	优化锅炉排污率					1 - 3
167	减少烟气量					
168	减少过量空气					< 1
169	烟气监测					< 1
170	利用烟气热量预热锅炉给(废气预热器)	锅炉能耗 5% - 10%		减少与锅炉燃料消耗相关的二氧化碳排放 的 5% - 10%		< 2
171	回收锅炉排污热量					< 2
172	回收冷凝水					1
173	热电联产(CHP)					
174	关闭多余的传输线					
175	适当管道尺寸					
176	绝缘相关措施					1.1
177	检查和监测蒸汽疏水阀	高达锅炉能耗 10%		最高减少与锅炉燃		< 0.5

编号	节能技術/措施	燃料节约	节电量	二氧化碳排放减排量**	资本费用(美元)	回收期(年)
				料消耗相关的二氧化碳排放 的 10%		
178	恒温疏水阀					
179	关闭蒸汽疏水阀					< 0.5
180	减少输送管漏水					< 0.5
181	闪蒸汽回收					
182	预先筛选煤	1.8 吉焦/吨成品布		0.2 吨二氧化碳/吨成品布	35000 / 系统	< 0.5

*****本表中所列的节能、资本费用与回收期是针对参考报告中所列的明确条件，执行这些措施能带来额外(非能源)益处。请详阅报告中引述的每个措施，从而对节能量与资本费用有完整的了解。
**二氧化碳排放量根据 2008 年中国电网平均二氧化碳排放因子 0.836 千克二氧化碳/千瓦时（来源：NDRC, 2009）和中国纺织行业燃料消耗的加权平均二氧化碳排放因子（等于 91.89 千克二氧化碳/GJ）计算得出（来源：NBS, 2010; IPCC, 1997a; IPCC, 1997b）。

5.6.1. 电力需求控制 (113)

需求控制通常是由能源审计人员在建立需求或负载概况后进行的后续分析。需求的控制是拉平负载概况图的一个简单技巧，即“削”峰和“填”谷(图 37)。需求控制和负载管理的主要好处是减少电费。实际上，由于很少可能在固定的功率消耗下运行,工厂的需求极限是高于平均的电力要求。在需求控制计划中的第一步是分析电力公司的收费结构和工厂以前的用电需求历史。负载系数概念是需求控制分析的有用工具。

计算负载系数 (LF)：

负载系数是某期间(电费单周期)电耗除以这段时间满载电耗的比值。

$$\text{负载系数 (\%)} = \frac{\text{某期间电耗(千瓦时)}}{\text{最大需求(千瓦)} \times \text{计算时数 (小时)}} \times 100$$

最大需求和总的千瓦小时可以容易地从过去的电费单中得到。负载系数一般是低于 100%，也就是说实际电耗会比这段期间额定功率乘以总用电时数的乘积要少。通常来说，如果工厂降低了负载系数，其总电费将更高(Morvay and Gvozdenac 2008)。换句话说，负载系数是判断工厂用能设备运行时间长(高负载系数)或短(低负载系数)的有用工具，所以工厂应该分析负载系数以找出改善机会并对需求做出控制 (Rutgers 2001)。

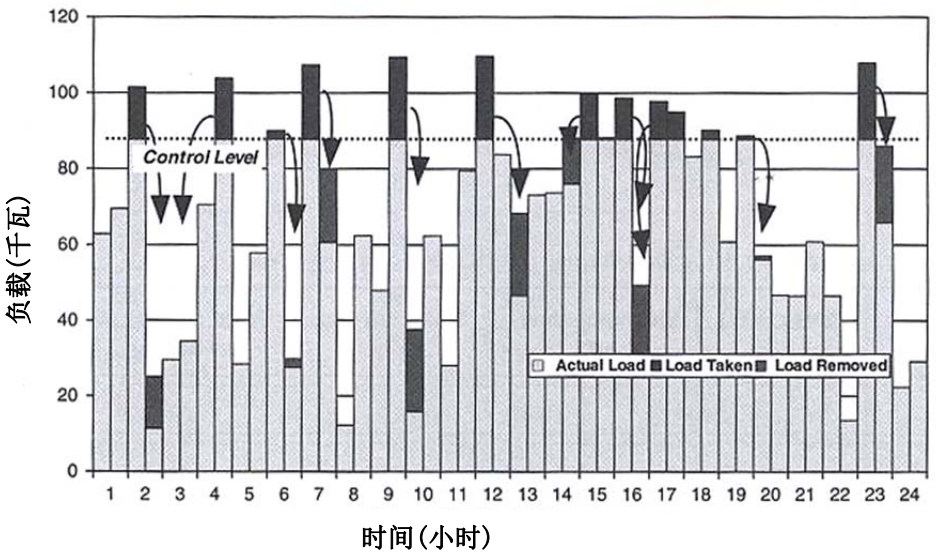


图 37. 有负载系数控制的负载概况 (负载系数 LF = 80%)
(Morvay and Gvozdenac 2008)

减少最大负荷的最简单方法是规划生产活动,使最大的用电者完全不在高峰期运行,或者尽可能至少一部分不在同时运行。*机器排序*是一个根据每天中的时间、每星期中的日期、日期的类型或其他可变因素和生产的需要而开动或停止设备的方法。通过考虑到生产中的能源因素的有效的生产规划可以达到改进机器排序。这是其中一个避免机器空转和减少高峰需求的最有效方式。*第二个方法*是在高峰期中的一个预设时段依靠自动控制来关闭非基本负载, 可使用某种负载管理设备例如简单的开关装置、单负荷控制设备、需量限制器或者计算机化的负载管理系统等(Morvay and Gvozdenac 2008)。

5.6.2. 电机电机的能源效率改善机会[31]

在考虑改善工厂电机系统的能源效率时，必须采用整合泵、压缩器、和风机的的系统方法，以求得最佳节能和功效。下面将介绍关于电机系统的能源使用与节能机会的一些考虑，部分例子是以个案研究来说明。泵、风机和压缩空气系统将与电机电机分开讨论。

114. 电机管理计划

电机管理计划是工厂实施能源管理策略实很重要的部分。有了电机管理计划能帮助企业了解长期电机系统的能源节省情况，同时确保电机故障时能以快又有成本效益的方法处理。电动电机节能计划建议，一个健全的电机管理计划应纳入以下要点 (CEE, 2007)：

[31]本节摘自 Worrell 等人 (2010 年)。但 Worrell 等人提供的每节出处在本文也有提及。个案研究的出处不同,也有提供。

1. 为电机建立一个调查与追踪项目
2. 建立积极主动维修/更换决定的准则
3. 建立备用零件库存以应对电机故障
4. 制定采购规范
5. 制定维修规范
6. 制定并实施预见性及预防性质的电机维护项目

115. 保养维护

保养维护电机的目的在于延长电机使用年限并预知电机何时会故障。因此电机的维护措施可区分为预防性或预见性。预防性措施,包括将电压不平衡降至最低、考虑用电负载、电机校准、润滑与电机通风。下面将进一步讨论这些措施中的几个。请注意其中有些措施目的是避免电机温度的升高，因为高温将增大绕线电阻、缩短电机使用年限并增加能耗。预见性电机维护目的在于持续观察电机温度、振动与其他运行数据，从而在故障发生前找出需要修理或更换电机的时间(Barnish *et al.*, 1997).

一个持续进行的电机维护项目，其节能范围是整个电机系统能耗的 2%到 30% (Efficiency Partnership, 2004).

116. 高效电机

高效电机经由改善设计、使用较佳材质、更高耐度与改进制造技巧来降低能源损失。只要妥善安装,高效电机同时能保持在较低温度,这或许有助降低工厂的热负载、提高使用系数、提高轴承寿命、提高隔热寿命与降低振动。

是否安装高效电机常取决电机运作条件与投资相关的生命周期成本。一般来说,用高效电机取代一年运作逾 2 千小时的电机是最具经济效益的。有时以高效电机替代现有电机甚至会缩短投资回收期。根据铜合金发展协会（CDA）的数据,相较符合 1992 年能源政策法规明定最低效能的电机,升级到 50 马力的高效电机能使回收期缩短至 15 个月内(CDA, 2001)。

117.电机重绕

在某些情况下,重绕现有高效电机可能比购置新电机具成本效益。依据经验,重绕成本超过新电机成本 60%以上时,买新电机可能是较好的选择（CEE,2007）。

修理或重绕电机时,挑选遵守电机重绕最佳实践标准的电机服务中心,以将潜在的效能损失降至最低。电器服务协会(EASA)提供这些标准(EASA, 2006)。如采用电机重绕的最佳实践,效能损失一般低于 1%(EASA, 2003)。MotorMaster 等软件工具有助依据工厂的特殊条件,找出适合于该工厂的高效电机及应用的地方。

118. 电机选配

长久以来的一个迷思认为过大的电机,尤其是些运作低于 50%额定负载量的电机,因为效率低下应该立即更换为具有适当大小的高效电机。事实上,要完成节能的正确评估须有许多信息,包含电机负荷、电机在特定负载点的运作效率、要被更换的电机的满载速度(每分钟转动次数),及较小电机的满载速度（用来替换原有电机）。

普通电机与高效电机的效率一般运转到满载值的 75%时即达高峰,然后就降至 50%的负载点。较高负载量电机能以相当节能,低至 25%额定负载方是合理运转。另有二种趋势:较高负载量电机能同时显示较高满载与部分负载能效值,较小负载量较常出现电机运作效能低于 50%负载点。软件包如 MotorMaster 有助于选购合适的电机。

119. 调速驱动器(ASD)[32]

调速速驱动器能为电机运转调配适合负载要求的速度,以确保电机的能源使用在特定用途上能达优化。因为电机的能源使用和流速体积[33]大致成比例,将流速稍微调降至符合泵的速度,就能产生显著的节能效果。

供应变速驱动器系统的供货商很多,全球都买得到。Worrell 等人(1997 年)对变速驱动统广泛运用下的的节能效果有简介,典型的节能幅度介于 7%到 60%间,以简单回收期方法的计算,预测 0.8 年到 2.8 年就可收回成本(Hackett et al., 2005 年)。

120. 功率因子校正

功率因子是有效功率与表观功率的比值,用来测量电力使用的有效程度。高功率因子代表用电利用率高,低电功率代表用电利用率低。有感负荷如变压器、电动电机和氙气灯可能会产生低功率因子。可通过将电动电机空闲时间减到最少(关闭的电机不耗电)、改用高效

[32]实务上,用来描述可由不同速度驱动的机械负载的电机系统,包括调速驱动器(ASDs)、变速驱动器(VSDs),频率调节驱动器(AFDs)、和变频驱动器(VFDs)。这些词汇在本指南中可互用。

[33]这个公式只适用动态系统。调速驱动器对只含有解除(静态头系统)的系统没有帮助(反而常让系统变得更没效率),因为他们不受流速影响。同样的,有更多静电头的系统比大多动态(摩擦)系统的收益更少。系统的确切收益要经过仔细的精算。

电机、在交流电路上安装电容器以降低电机系统的无效功率的规模，对功率因子进行校正(U.S. DOE, 1996)。

121. 将电压不平衡降至最低

电压不平衡会降低三相电机的效能和缩短其使用年限,同时引起电流不平衡,进而导致转矩脉动、增加振动与机械压力、能耗增加与电机过热,这些会降低电机的绕线绝缘的隔热寿命。电压不平衡可能是因为对功率因子校定设备、变压器组不平衡或断路电压的不当操作而造成的。依经验,尽管 1%的不平衡在变负荷运转时会降低电机的效能,电机端子的不平衡电压不应超过 1%。不平衡达 2.5%时将降低电机满载运转时的效能。

透过定期监测电机端子的电压与以热像法检测电机,可发现电压不平衡。同时建议确认单相负载有平均分配,并依规定装设接地故障指示设备。另一电压不平衡的讯息是振动达 120 赫兹,此时应该立即检查电压平衡度(U.S. DOE-OIT, 2005b)。在美国为低负载电机安装电压控制设备的回收期一般是 2.6 年(U.S. DOE-IAC, 2006)。

案例研究：

以下是纺织业电动电机提高节能机会的几个研究案例。

降低后整理工艺的电机马力

EMT (2008h)公司在进行工艺要求分析后，将用20马力的电机替换自家工厂处理部门的30马力的绳状精练机，结果一年节电12兆瓦时。该公司另将处理部门冲压机的电机马力降低，结果一年节电33兆瓦时 (EMT, 2008h)。

降低纺纱工艺的电机马力

印度另一家工厂将圆筒式绕线机和软包装机上四个低负荷的4.5千瓦额定功率的电机，更换为2.2千瓦的电机，每个电机一年节电5.5兆瓦时，投资成本为1,000美元/台(EMT, 2008g)。

生产黏胶纤维的工厂用高效电机替换老旧低能效的电机

印度一家生产黏胶纤维的工厂汰换了 39 个老旧低能效电机，结果每个电机一年节电 7 兆瓦时，改造每个电机的成本平均为 1,500 美元(汰换电机的投资成本要视电机马力而定)(EMT, 2007b).

以”V”型楔形齿皮带代替普通"V型皮带

一家纺织厂将多台机器的普通V型皮带换成“V”型楔形齿皮带，一年节电37.5兆瓦时。本方法的投资成本很低，约260美元(EMT, 2005d)。替换的皮带数量不明。

5.6.3 压缩空气系统的能源效率改善机会[34]

仪器设备会大量消耗厂内许多个别地方的压缩空气,且容易造成漏损。多数漏损发生在螺纹接头、塑料管接头、阀门、调解器、封带与老旧气压设备。针织过程常见漏气,漏气量有时相当大。这种情形会导致大量隐藏成本,这样会损害整体设备。含针织运转的综合工厂应该检查针织与染整区域的压缩空气系统。

输入空气压缩器的电能超过 85%以废热气形式损失,剩下不到 15%的电能转换成气动压缩空气能源(U.S. DOE-ITP EM, 2008)。这让压缩空气在作为能源传输工具上较空气系统昂贵许多。降低压缩空气系统的能耗有很多方法。要达最佳节能与效率,建议采用系统的方法。以下将介绍压缩空气系统的节能方法。

122. 需求降低

因为压缩空气系统的营运成本相对较高,应在尽可能短的时间内使用最小量的压缩空气，经常监控,并与其他可替代方法再次比较。

123. 保养维护

保养维修不够会降低压缩效能,增加漏气或气压产生变化,以至于运作温度升高、湿度控制不佳与过多的污染。好的保养维护可减少这些问题, 同时节能。

124. 监控

使用适当的仪器设备进行监控，有助保养维护。这些设备仪器包括 (CADDET, 1997)：

- 测量每个接收器或主要支线的压力,并对所有干衣机、过滤器等设备进行差压流量测量。
- 对压缩器与其冷却系统进行温度测量以发现是否有堵塞。
- 用流量器测量空气用量。
- 测量露点温度以监控空气干燥机的效率。
- 压缩机驱动上装置千瓦小时电度表与运行时间计读器。

[34]本节摘自 Worrell 等人 (2010 年)。但 Worrell 等人提供的每节出处在本文也有提及。个案研究的出处不同,也有提供。

125. 减少(管线与设备) 漏气

漏气会增加压缩机的能耗与维护成本。最常漏气的地方是接头、软管、可拆除装置、气压调节器、疏水阀、截断阀、管路接头、端子与管路螺纹密封胶。快速连接可拆除装置一定会漏气,应该避免使用。漏气不仅增加能耗,还会降低气压系统/设备的效率并对生产有不良影响、缩短设备使用年限、导致要更多保养维护,同时增加设备不定期的停用。

一般没有做好保养维护的工厂,其整体压缩空气的产能会损失 20%至 50% (Ingersoll Rand 2001)。修补漏气与之后的保养维护有时能将产能损失降至 10%以下。Gergel 等人也引用过类似数据。大体上,修补漏气可降低压缩系统 20%的年能耗 (Radgen and Blaustein, 2001)。

侦测大规模漏气的简单方法是将肥皂水倒在怀疑有漏气的地方。最好的方法是用超声波检测器,该仪器可辨识因漏气引起的高频声音。

126. 电子疏水阀 (ECDTs)

因为须除去系统中的冷凝水,通过迫使接收器疏水阀打开的持续抽干法,已是常用的一般作法,但因为漏气,这做法很浪费又高成本。电子疏水阀 (ECDTs)较可靠,同时效率很高,因为排冷凝水时几乎没有浪费任何气体。回收期长短得看能减少多少漏气量,并由压力、运作时数、漏气的实际规模和电力成本等因素决定。

127. 降低入风温度

降低入风温度能降低压缩机的能耗。在许多工厂是有可能借从楼房室外空气以降低入风温度。进口新鲜空气的回收期最高可达 5 年,取决于压缩机入风口的位置 (CADDET, 1997)。根据经验,每降低 3°C 可省下压缩机 1%的能耗 (CADDET, 1997; Parekh, 2000) 。

128. 将进气口露点压力调至最大

选用可将露点压力调至最大与最有效能的的干燥机。根据经验,干燥剂干燥机的压缩机能耗占压缩机总能耗的 7%至 14%,冷冻干燥机能耗占压缩机总能耗的 1%至 2% (Ingersoll-Rand,2001 年)。可考虑使用有浮动露点的干燥机。要注意暴露于冷冻环境的气压管线,不适用冷冻干操机。

129. 优化压缩机的用电负载

在安全边际或预期未来有额外需求的考虑下,工厂人员常会采购超过所需大小的设备。由于压缩机在未满载运作时更耗能,所以要避免这情形发生。有些工厂安装模块化系统,以模块方式让许多较小型的压缩机满足压缩空气的需要 (Cergel et al., 2000)。某些情况下,所需

压力很低,用鼓风机代替压缩机就可满足需求,节能量相当可观,因为鼓风机的能耗只有压缩机的一小部分 (Cergel et al., 2000)。

130. 适当管路尺寸

管路体积一定要正确,才能发挥最佳效能,或者应配合压缩系统重新重设大小。不合适的管路体积会导致漏压、增加漏气并提高制造成本。增加管路直径一般能降低压缩机一年能耗的 3% (Radgen and Blaustein, 2001)。

131. 热能回收

如前所说,工业用空气压缩机有 85%的电力能耗会转换成热能 (美国能源部工业技术计划 EM,2008 年)。一个 150 马力的压缩机排出的热能相当 90 千 瓦电阻加热器或 422 兆焦耳天然瓦斯暖气炉 (Cergel et al., 2000)。

在许多例子,一个热能回收器能回收 50%至 90%的可用热能转作为室内暖气、工业热制程、水加热、外气空调采暖、锅炉补给水预热、工业染整、工业洗净过程、热泵、洗衣或预热吸气燃油炉 (Parekh 2000)。大型水冷式压缩机的回收效能一般是 50%至 60% (U.S. DOE, 1998)。 用作室内暖气时,回收的热能是一年空气压缩系统能耗的 20% (Radgen and Blaustein, 2001)。投资回收期一般不到一年。在某些例子,空气经压后的温度低于其在冷冻干燥机的露点,从而可凝结并除去空气中的水蒸汽。除湿机和后置冷却器排出得的废气可再生并用于室内采暖、给水加热或热制程 (Cergel *et al.*, 2000)。

132. 调速驱动器(ASDs)

负荷或环境温度变动很大时,压缩机的负和和效率将会出现很大变动。此时安装可调速驱动器或可让回收期变短 (Heijkers et al. 2000)。在旋转式压缩系统安装可调速驱动器可节下该系统 15%的能耗 (Radgen and Blaustein, 2001)。

案例研究：

以下是纺织业压缩空气系统提高节能机会的几个研究案例。

纺纱与织造一体化工厂优化空气压缩系统

汤普森公司(Thomaston)位于美国乔治亚州汤普森的厂房是个垂直整合的厂房，1500 名员工生产全系列的纺织品。该厂使用(消耗大量空气系统的)喷气织机与细纱机，在执行提高压缩空气系统的项目后，不仅有节能效果，还能提高产品质量与系统稳定度。系统目前的配置是采用五个基载分离式压缩机，并以一个 1000 马力的压缩机作为备援。新购多个 350 马力压缩机中的一个为基载，另一个压缩机则视情况再决定次否启动。以旋转螺旋压

缩机作为修剪压缩机可里大幅减少分离式压缩机的排气量。这样一年可节电 3,431 兆瓦时，相当每年电费的 4%。另外，该厂采购 350 马力压缩机替代 900 马力的分离式压缩机，一年节电 55,000 美元 (US DOE, 2000)。

湿法工艺工厂优化压缩空气系统

根据 Greer 等人(2010)对中国多家纺织厂的研究显示，修补压缩空气系统有漏损的地方，并定期优化压力设定，节电量为 2.3-59.1 千瓦时/吨织布，这做法成本很低，很快就回本。CIPEC (2007)也提出要回收压缩机冷却水的热气，进而节能。这方法的资本成本为 6,000 美元，回收期约 2.4 年。

尼龙长丝工厂优化压缩空气系统

美国能源部 (2001)提到有一家工厂从系统角度改善压缩空气系统，这改善项目的主要特包括：

- 在二个储量各为 3000 加仑的压缩空气储存槽(总储量 6000 加仑)安装三个压力/流量控制器与一个备份压力/流量控制器
- 安装新型干燥机并在所有干燥机安装滤雾器
- 安装可编程控制(PLC)压缩机自动化系统
- 安装压缩空气管理信息系统(MIS)
- 在部份现有管道系统安装新的管道并进行改造
- 修复能效不佳的压缩机与后冷却器

由于系统效能获得改善，在厂内几台压缩机停机的同时，该工厂能够同时维持生产所需的气流与压力。这做法一年节能 15,000 兆瓦时，其中三分之一是源自对冰水的需求减少。这项目的投资成本为 150 万美元 (US DOE, 2001)。

5.6.4. 泵系统的能源效率改善机会[35]

泵系统包含泵、驱动器、管路装置和控制器(如可调速驱动器或节流阀),也是整体电机系统的一部分。钢铁工业用泵来流通循环墙壁内与供油系统内的冷却液。

133.保养维护

[35]本节摘自 Worrell 等人 (2010 年)。但 Worrell 等人提供的每节出处在本文也有提及。个案研究的出处不同,也有提供。

保养维护如果不够，会降低泵系统效能,加速泵的毁损并增加成本。保养维护如果得当，可减少这些问题并节能。具体作法如下(Hydraulic Institute, 1994; U.S. DOE, 1999)：

- 更换损坏的叶轮,特别是在腐蚀性或半固体地方所用的叶轮
- 接受检查与修复
- 接受更换润滑油,一年一次或半年一次
- 检查和更换包装密封
- 检查与更换机械密封
- 更换磨耗环与叶轮
- 检查泵/电机定位
- 最好的机会通常是避免节流阀遗失

就美国工业而言，对泵系统的运作和保养维护省下的能源一般预估是在泵电耗的 2%至 7%之间。回收期通常不到一年 (Xenergy, 1998; U.S. DOE-OIT, 2002)。

134. 监控

维护和运行措施同监控措施一并使用可以及时发现问题，并找出相应的解决方案，使系统更高效的运行。监督措施能够发现如下的运行事故：部件间出现接合间隙，出现障碍物、叶轮损坏、吸力不足、运行参数异常、泵体或管路发生阻塞和充气，以及泵磨损等。监控系统的功能包括：

- 磨损监控
- 震动分析
- 压力和流量监控
- 电流或功率监控
- 泵的扬程变化及温度上升状况的监控（也称热力学监控）
- 配送系统的结垢或污染物堆积的监控

作为监控的最佳指示信号之一是单位流速的能耗或电力消耗 (Hovstadius, 2007)。

135. 控制

控制的战略目标在关闭不必要的泵或降低个别泵的负载。远程控制可以相当快速又正确地启动与关闭泵系统,相对传统控制系统所需的人力较少些。

136. 降低需求

液体存储器可用来均衡生产过程中使用的流体，可以提高能效，潜在的减少对泵能力的需求。此外，还应去掉旁通管路和其它不必要的管流。在这些措施中，每项措施都可节能高达 5%～10% (Easton Consultants, 1995)。采取降低过程静压、降低从吸液池到排液池的高程差、使用虹吸管减少静态高程变化、降低喷射口的流体出口速度等措施，可以降低泵的总扬程。

137. 高效泵

在泵的使用寿命内，泵效率可能会降低 10%～25%。然而，业界的专家认为，问题并不一定是泵使用时间的长短而造成的，而是由于工艺过程发展了变化，造成泵和运行之间不匹配。不过,买个泵有时会更有效率,也因为新泵的效能较高。

市场上可买到多种针对特定压力头和流速功能要求而设计的泵。买对了泵常可省下营运成本与购买另一个泵的资本设备成本。在合用时能以最高速运转的泵一般是最具效能,初期成本也最低 (Hydraulic Institute and Europump, 2001)。例外情况是泥浆泵、特定高速泵或在作用时,该泵的泵入口需要最低净正吸水头。

换用新高效能泵可节能 2%至 10% (Nadel et al. 2002)。有证据显示高效能泵可提高泵系统的效能 2%至 5% (Tutterow, 1999)。

138. 适当泵大小

泵如果在节流阀条件与流速变化超过高旁路流速达 30%的条件下运作,所用泵大小可能不符目前所需 (U.S. DOE-OIT, 2005)。能降低高峰负载值,就能降低泵大小。但小一点的泵不见得都可节能,还要看电机的负载量。只有较大型电机处在低效能状态下运作时,更换才会有节能效果。藉由更改泵设定与改善运作与管理的方法或有可能降低泵的负载。

泵体积特别过大时,可用齿轮或皮带驱动或较低速马达等方式降低速度。但这做法不常见。采用这些解决方法的回收期不到一年(U.S. DOE-OIT, 2002)。体积过大与装有截流阀的泵因会制造过多的压力,相当适合以更换叶轮或「修剪」的方式来节能与降低成本。调整体积过大大的泵可省下(美国工业平均数)15%至 25%的泵电能耗(Easton Consultants, 1995)。

139. 不同负载用不同泵

对不同负载使用不同的泵通常是最具成本效益,也是最节能的方式,特别是以静压头为主的系统。另外,动态系统也可考虑采用可调速驱动器 (见下文) 。

并联泵组可提供冗余度并增加稳定度。就美国工业而言，一般为变动很大的负荷安装并联系统,可省下泵电耗的 15%至 25%的 (Easton Consultants, 1995)。

140. 修剪叶轮(或修简滑车轮)

修剪叶轮会降低叶轮的端速,进而降低注入用泵打入液体的能源量,结果同时降低泵的流速和压力。因此,小一点或经修剪的叶轮可有效用在目前会过热的叶轮上 (U.S. DOE-OIT, 2005)。在食品加工业、造纸和石化工业,修剪叶轮或降低齿轮比率可为特殊用途的泵可省下估计高达 75%的电能耗 (Xenergy, 1998)。

141. 可调速驱动器(ASDs)

可调速驱动器可为泵的负载要求做较好的配速。就电机而言,泵的能耗和流速立方[36]成比例,因此流速稍减就能产生大量的节能。安装新泵的回收期可能较短。另外,安装可调速驱动器会改善整体生产力、控制和产品质量、减少设备的耗损,因此减少将来的保养维护成本。

如同能调节电机系统的负载量,电机的模块功能预估也能省下 20%至 50%的泵能耗,回收期相对较短,取决于用途、泵大小、负载量与负载变量(Xenergy, 1998; Best Practice Programme, 1996)。从经验来看,除非泵的特性曲线特别得平, 调节 10%的流量可为泵节能 20%,而 20%的调节应该能节能 40% (最佳实践项目,1996 年)。

142. 避免用节流阀

变速驱动器或开观调节系统总是比节流阀节能(Hovstadius, 2002)。所以要避免用节流阀。广泛使用节流阀或旁路环,可能意谓泵体积过大(Tutterow et al., 2000)。

143. 适当管路尺寸

采用最合适的管路直径尺寸,可减少因摩擦造成的能源损失,达到节能。所须摩擦功率取决于流量、管路直径尺寸、管路全长、管路特性(表面粗糙程度、材质等),以及用泵打出来的液体的属性。在系统设计阶段 （成本限制较少）就应该决定正确的管路尺寸(U.S. DOE-OIT, 2005)。

144. 更换皮带传动机

多数泵是直接传动。但有些泵使用标准 V 型带,这种带子容易延展、滑动、弯曲和压缩,导致效能损失。改用镶齿带可节能、省钱,即便是给机器设备装新配件。更好的做法是改用直接转动系统,可逐步省下达 8%的泵系统能耗,回收期可短到 6 个月(Studebaker, 2007)。

[36] 本公式仅适用动态系统。

145. 精确铸造、表面涂料或抛光

使用铸造、涂料或抛光可减少表面粗操感,进而增加能效,长期来看，也有助维持能效,此法对较小型的泵更具效果。

146. 改善密封

在许多应用上,高达 70%的泵故障是缘于不当密封(Hydraulic Institute and Europump, 2001)。泵的密封配置有助吸收功率,通常使用阻气密封、平衡密封与非接触迷宫式密封.有助提高泵效能到最佳程度。

5.6.5. 风机系统的能源效率改善机会[37]

风扇系统的效能因为叶轮种类的不同而有很大的差异。美国制造业用的风扇系统， 一般节能潜力估计为 6%(Xenergy,1998)。要达最佳的节能与效能建议采系统性作法。以下将介绍风扇系统的节能机会。

147. 压力最小化

压力在减少能源成本方面往往有很多机会。有良好气流设计(风道速度与大小设定在最佳状态)、搭配合适的控制仪器、压力监视器与变频驱动器的风机系统,有助管理系统压力。系统使用年限期间,多数集尘袋或其他集尘设备的压力下降会不同。袋式除尘器在较高压降时通常有更好的除尘效率,但能耗更大。压力监控系统可控制系统的容积流量，品质好的系统，即使是中型尺寸，每年仍可省下数千美元。由于可调速驱动器的价格愈来愈便宜,安装的工厂也愈来愈多。但要注意风道的低效率与风机风机系统的作用(例如进气口和出气口的拐弯等等)。这些快捷方式做法会增加系统的静压和运作成本 (Lanham, 2007)。

148. 控制密度

管道或容器的温度、水分、分子量、高度和绝对压力会影响输送天然气的密度。密度变化可能会影响系统对硬件的要求。例如蒸发冷却会减少体积,但较高密度的空气更耗电。降低较小管道、控制装置和风机所降低的成本(以及价值较低的体积流率方程)会大大抵消这部分的能耗成本(Lanham, 2007)。

149. 风机效率

任何设计的关键选择合适的风机。风机和风机叶片的设计会明显影响风机的效能和功率需求。实验室测得的峰值效率未必是最稳定的运作点。如果峰值效率和压力曲线的峰值相同

[37]本节摘自 Worrell 等人 (2010 年)。但 Worrell 等人提供的每节出处在本文也有提及。个案研究的出处不同,也有提供。

时,可能操作有问题,因为体积流速会随系统压力的变化而变动。设计者在选择最好的风机以及优化稳定性与用电量的操作点时,必须考虑这两条曲线。合适的选择可由风机类型决定。翼型车轮,虽然较有效率,在处理空气微粒上可能不是个好的选择 (Lanham, 2007)。

150. 正确风机尺寸

特殊用途的风机大部分尺寸过大,这会造成 1%至 5%的效率损失 (Xenergy,1998)。但控制速度比更换风机系统更符合成本效益。

151. 可调速驱动器(ASDs)

风机安装调速驱动器可大量节能源。风机改造安装调速驱动器后的节能幅度介于风机系统能耗的 14%至 49%(Xenergy,1998)。

152. 高效率带(带齿皮带)

皮带在很多任务厂的风机系统占很大部分。标准 V 型带易伸展、滑动、弯曲和压缩,进而造成效率的损失。用带齿皮带取代标准 V 型带可节能和节费,甚至只是改造都可。齿皮带运行温度更低、使用寿命更长、需要较少的维护,效率比标准 V 带高约 2%。一般投资回收期介于不到一年至三年(Xenergy,1998)。

5.6.6. 照明系统的能源效率改善机会

照明的能耗占纺纱厂总能耗的 3%左右(Koç and Kaplan, 2007),， 占复合材料纺织厂(具有纺纱、织造与湿法工艺的工厂)的 4%左右 (Sathaye et al, 2005)。以下介绍几个富成本效益、又可降低能耗的节能机会。

153. 照明控制系统

在非工作时间,照明灯可以通过自动控制系统自动关闭。比如人体感应传感器,当无人时灯会自动关闭。在一些较小区域,自动控制和手动控制同时使用以节省更多的能源。照明控制系统的回收期一般不到二年 (Worrell and Galitsky, 2004)。

154. T-8 直管荧光灯或金属卤化物灯替代 T-12 直管荧光灯

工业上一般是用 T-12 直管荧光灯。T-12 是指管径为 1/8 英寸的 12 倍(即管径为 12/8 英寸或 3.8 cm)的荧光灯。T-12 的初始输出功率较高,但能耗也较高。T-12 直管荧光灯的效率低,灯寿命短,易光衰,显色指数低。维护和能源成本也都很高。用 T-8 直管荧光灯替代 T-12 后,能效可近乎提高一倍,进而省电(Worrell and Galitsky, 2004)。

EMT (2008j) 报告说，将1196个普通直管灯泡换成省电直管灯泡后，一年省电114兆瓦时，此一改造投资成本据报为26,800美元。Sathaye等人(2005)报告的案例，是将1172个直管灯泡与电感镇流器(如下)换成880个省电直管灯泡与440个电感镇流器，结果一年节电150兆瓦时，投资成本据报约11,000美元，不到前面案例投资成本的一半。

155. 将水银灯换成金属卤素灯或高压钠灯

强调色彩还原的地方，可用金属卤素灯取代水银灯或荧光灯，节能效果达50%。如果色彩还原不很要紧，高压钠灯的节能效果要比水银灯高出50-60% (Worrell and Galitsky, 2004)。

156. 用高强度荧光灯替代金属卤化灯

可用高强度荧光灯来替代传统的金属卤化灯(HID)。新的系统把高效荧光灯、电子镇流器以及高效灯具整合起来,能使工作场所的输出功率最大化。新系统的优点有很多:低能耗、灯的整个寿命期内光衰较低,较好的调旋光性,启动快,重启迅速,显色好和较高的初始透光率和低眩光。高强度荧光灯系统比金属卤化灯灯节能50%。原本在金属卤化灯上不可能实现光的调控,在新系统中得以实现,从而节约了大量的能源。更新改造系统时,包括安装费在内每套灯具需花费约185美元。除了节能和较好的照明质量外,高强度荧光灯还有助于提高生产率,降低维护成本 (Worrell and Galitsky, 2004)。

157. 以电子镇流器取代电感镇流器

镇流器是一种机械装置,可以调节照明设备启动时所需的电量,并可使光的输出量保持稳定。电子镇流器比电感镇流器节电约 12%~25% (Worrell and Galitsky, 2004)。印度一家纺织厂在采行此一措施后每个镇流器一年节电 936 千瓦时。每个镇流器的改造成本约 8 美元 (EMT, 2005d)。

158. 优化工厂生产和非生产部门的照明(优化 lux) [38]

许多任务厂的照明系统并非专为这过程而设计。每个类型的纺织工艺都有 lux 标准。例如,织造所需 lux 通常高于湿处理。即使在一个工艺中,需要的 lux 也会因为不同的生产步骤而不同。例如,在棉布纺纱工艺中,在开清棉房所需的照度应远低于环锭细纱机。不管在哪个生产步骤,如果光线高于标准(必要的 lux)的,会浪费电力。因此,工厂的工程师应根据标准的 lux 为每个特定过程的照明系统进行优化。

印度GIMATEX公司根据每个工艺步骤要求的标准lux优化其工厂的照明度，结果省用了300多个灯泡，在无需任何资本花费下，一年省电108 兆瓦时(EMT, 2008b)。其他纺织厂在优

[38]Lux 是 SI 单位的亮度,相当于每平方米流明。

化工厂照明后，一年据报节电31-182兆瓦时。节电量会随各厂的实际情况与现有照明系统而不同 (EMT, 2007a; EMT, 2007b; EMT, 2005e)。

159. 优化利用自然阳光

很多任务厂没有最好地利用自然阳光。除优化窗户的大小外,屋顶可安装透明板,好让更多阳光进到生产区域，并减少白天所需照明。有效利用自然光，据报一年可节能 1-11.5 兆瓦时 (EMT, 2007a; EMT, 2008i)。

5.6.7. 蒸汽系统的能源效率改善机会[39]

纺织厂常有蒸汽系统,该系统消耗大量终端能源。提高锅炉效率和捕获余热能节省大量能源与改善生产。以下介绍工业蒸汽系统在蒸汽制造与输送上常见的提高能效机会。

蒸汽发电：

160. 需求匹配

锅炉在高火设定下效率较高。由于工艺加热需求可能随时间而改变,会出现锅炉运作未达最佳效率。此外,锅炉可能因为前所未有的增添或扩充而过大。实施节能措施或实施热回收措施也可能降低对热能的需求。因此,该设施可有多个锅炉,每台额定在几次最大预期负载(U.S. DOE-OIT, 2006)。锅炉过大常见的另一问题是“短循环”,即一个超大的锅炉快速完成工艺或室内采暖的需求后就会关闭,一直到再次需要热能时。

在系统增加小锅炉可节省燃料,大小要符合该设施的平均负载。对经营者而言,多个小锅炉能有可靠性和灵活性，可依据负载变化调整,而不至于发生过热与短循环。尤其是设施对蒸汽的需求有很大季节性变化时,更应在需求下降时用小锅炉,而不是整年都用大锅炉。针对高火设定下运作的锅炉实施操作措施,平均回收期为 0.8 年,安装小锅炉以增加高火循环的平均回收期为 1.9 年（U.S. DOE-IAC, 2006）。

161. 控制锅炉分配

[39]本节摘自 Worrell 等人 (2010 年)。但 Worrell 等人提供的每节出处在本文也有提及。个案研究的出处不同, 也有提供。

包含多个锅炉的系统利用适当的分配策略可达到节能。如果多个锅炉同时在低火下运作,更能节能。

自动控制器可替该设施中的每个锅炉设定出增量成本(蒸汽成本变化/负载变化),然后据以转换负载。这最大限度地提高效率,降低能源成本。

可能的话,为锅炉负载订时间表,以帮助优化锅炉系统效能。热水锅炉的效率可借由自动流量阀而提高。流量阀自动关闭未运转的锅炉,防止热锅炉的热水在通过没运作的锅炉时变冷,因为阀门一直开着时,平均流量温度会低于最初的设定,进而耗用更多燃料（CADDET，2001）。

162. 烟道关闭档板

锅炉因负载变动而定期关闭者时,烟囱损失的热能会很大。解决之道是装置可完全关闭的管道截气阀,该装置会在锅炉不用时开启。另一种方法是在风机口安装类似的气密截阀（CADDET，2001）。

163. 维护

在没有一个很好维护系统时, 燃烧器和凝冷水回流系统可能磨损或者无法调节。这些因素在 2～3 年的时间可使蒸汽系统只能达到最初效率的 20%～30％ (U.S. DOE-OIT, 2001)。一个简单的维护计划可确保锅炉所有组件在最高能效下运作,这可大量节能并减少空气污染物的排放。可能的节能估计平均为 10% (U.S. DOE-OIT, 2001)。 建立锅炉维护计时间表 的平均回收期为 0.3 年 (U.S. DOE-IAC, 2006)。

164. 改进保温

一个有良好维护的锅炉,其外壳的热损耗应低于 1%。新保温材料的效果更好,且需要较少热容量,但加热组件的输出温度更容易有波动。因此要强化控制以维持旧耐火砖系统的输出温度范围。同时采用改进保温与提高暖气的电路控制作法,可节能 6%至 26% Caffal, 1995)。

165. 减少污染

炉边锅炉管与锅炉结垢水边的污垢的应加以控制。试验证明,0.03 英寸(0.8 毫米)厚的煤烟会降低 9.5%的传热,而厚度 0.18 英寸(4.5 毫米)会减少 69%的热传递(向 CIPEC,2001)。水垢沉积时,会造成多数供水中常见的钙,镁与硅,持续在锅炉热交换管的水边累积。试验显示,水管锅炉污垢累积 0.04 英寸(1 毫米)会多消耗 2%燃料(CIPEC,2001)。在火管锅炉结垢会浪费高达 5%的燃料(U.S. DOE-OIT, 2006)。此外,结垢会造成炉管无法使用。

除垢可以通过机械方式或酸性清洗。从烟气温度可判断是否有结垢,或利用锅炉关闭维护时以肉眼检查锅炉管。烧煤锅炉比天然瓦斯或烧油锅炉 (烧固体燃料的锅炉如煤 ,应经常检查,因为他们比液化燃料锅炉,更常有污染)。(U.S. DOE-OIT, 2006)。

166. 优化锅炉排污率

排污不足可能导致结转的水进入蒸汽锅炉,或形成结垢。过度排污会浪费能源、水和化学品。最佳排污率取决于多种因素,包括锅炉类型,运作压力,水处理和补给水的质量。视锅炉给水流量,排污率通常介于 4%至 8%,但在补给水含大量的固体物时,排污率可高达 10%(U.S. DOE-OIT, 2006)。因此将排污率降到最低，可大幅降低能量损耗、补给水和化学处理的费用(U.S. DOE-IAC, 2006)。优化排污率可用自动排污控制系统完成。在许多情况下,使用这系统所致的节能,简单的投资回收期为 1 至 3 年（U.S. DOE-OIT, 2006）。

167. 减少烟气量

过多的烟气通常是由锅炉和烟道漏出,不仅减少转移到蒸汽的热量,同时增加抽气的必要性。这些渗漏通常容易修复。措施包括视觉定期维修检查或烟道气体监测,以下会有说明。

168. 减少过量空气

用于烧燃料的空气越多,就浪费更多的热于加热空气。超过燃料空气理论比例的空气供给量,在安全上是必要的,同时可减少氮氧化物排放量,但要看燃料的种类。维修不善的锅炉可导致高达 140%的过剩空气,进而到至过量的废气。不过,一个高效能的天然气炉需要 2%至 3%的超额氧气,或烟气内要多含 10%至 15%的空气,用以烧燃料却不会形成一氧化碳。依据经验,每减少 15%的过量空气可提高锅炉效能 1%(U.S. DOE-OIT, 2006)。锅炉的燃料空气比值应定期检查。平均而言, 分析适当的空气/燃料混合物的回收期为 0.6 年。

169. 烟气监测

废弃的氧气成分包含额外的空气(这是刻意引入以提高安全或减少排放)和空气渗透(漏到锅炉的空气)。一并进行氧气监测与进气气流监测,有可能检测出(小)泄漏。与一氧化碳和氧气的读数并用,可以优化燃油/空气混合物让火焰温度更高(这也是最好的节能)和降低排放。安装烟气分析仪来确定适当的空气/燃油比例平均为的回收期为 0.6 年(U.S. DOE-IAC, 2006)。

170. 利用烟气热量预热锅炉给(废气预热器)

热废气可用在省煤器以预热锅炉给水。借由预热供水,供水温度在锅炉入口已升高,减少生产蒸汽所需热能,进而节能。尽管这措施常见于大型锅炉,回收更多热能的潜力仍大。一般来说,烟气温度每降低 22℃,锅炉效能就提升 1% 。通过回收废气,可省下一部废气预热器 5%至 10%的燃料需求,回收期不到 2 年(U.S. DOE-OIT, 2006)。

171. 回收锅炉排污热量

从高压锅炉槽吹水时,压力减少往往产生大量的蒸汽。高达 80%的排放热能适可经由闪蒸器和热交换器来回收(CADDET,2001)。回收的热能随后可作室内采暖与供水与热,以提高系统的能效。任何锅炉连续排污超过 5%的蒸汽率是很适合作排污余热回收。如果是非连续排污系统,则考虑选择替换为能兼作热回失的连续排污系统(U.S. DOE-OIT, 2006)。高压锅炉的节能幅度较大。利用从排污锅炉来的热能的回收期平均是 1.6 年(U.S. DOE-IAC, 2006)。

172. 回收冷凝水

通过安装冷凝节能器,企业可以提高整体热回收及蒸汽系统的效率高达 10%(U.S. DOE-OIT, 2007)。许多锅炉可受益于这种额外的热量回收。冷凝式节能器需要特定地点施工和设计,并需要深入了解这些设备对现有蒸汽系统和水化学的影响。

热凝结水可以转回锅炉以节能与减少将锅炉给水处理为冷凝水的必要。冷凝水极为纯净且具有较高的热容量。增加冷拟水的回收量的做法,投资回收期平均为 1.1 年(U.S. DOE-IAC, 2006)。冷凝水也可作为热水供应,回收期平均为 0.8 年(U.S. DOE-IAC, 2006)。

173. 热电联产(CHP)

热电联产(CHP)是将单一燃料来源、二种不同型态的有用能源进行序列生产。多数的热电联产,将燃料的化学能转换为机械和热能。机械能一般用来发电,而热能用于生产蒸汽,热水或热空气。

相较传统能源系统,如传统电厂只发电,锅炉系统只生产蒸汽或热水供工艺使用,热电联产系统可从燃料中抽取更多有用的能源。热电联产有机会将内产的燃料用来发电,让电网运作更独立,甚至出口到网格。这增加供电的可靠性以及成本效益。此外,当热电联产系统位于或靠近终端用户时,输送过程的能损可到最低 (Oland, 2004)。

供电至电网的成本效益取决于该工业所处国家的法令规定,但至少提供很大的经济诱因。不是所有国家都准许电力传输(即透过电网直接卖电给顾客)。允许电力传输的国家,有关卖电予电网经营者在关税结构上的法规也可能不同。

蒸汽传输系统:

174. 关闭多余的传输线

装置及蒸汽需求会随着时间而改变,如此可能造成蒸汽传输容量利用率不足与额外的热能损失。要优化系统以应付蒸汽需求的改变可能又太贵。但检查多余的传输线和并加以关闭,是减少传输线内蒸汽损失又具成本效益的的方法。

175. 适当管道尺寸

设计新的蒸汽输送系统一定要考虑速度和压力下降,这可降低蒸汽管道过大的风险。管道过大不仅攸关成本,也造成更多热能损失。过小的管道可能有腐蚀和压降情况增多现象。(Van de Ruit, 2000)。

176.相关措施的隔热和绝缘

绝缘一般可减少 90%的能量损失,并确保工厂设备维持正确的蒸汽压力(U.S. DOE-OIT, 2006)。采用绝缘作法能大量节省能源成本,投资回收期又相当短。例如,蒸汽与热水管的投资回收期一般是 1.0 年、冷凝水管道是 1.1 年、供水槽是 1.1 年(U.S. DOE-IAC, 2006)。美国能源部开发了软件工具 3E-Plus 可用于评估蒸汽系统的绝缘情况。

177. 检查和监测蒸汽疏水阀

建立蒸汽疏水阀检查计划以确定其运作正常可大量节能。如果蒸汽疏水阀 3 至 5 年没有维护,有 15～30%会出现故障,造成新鲜蒸汽进入冷凝水回收系统。有定期保养计划的系统,会渗漏的疏水阀应占不到 5%(U.S. DOE-OIT, 2006)。修理和更换蒸汽疏水阀的平均回收期为 0.4 年(U.S. DOE-IAC, 2006)。定期检查蒸汽疏水阀与有后续维修的蒸汽系统的节能幅度预估可达 10% (Jones, 1997; Bloss, 1997)。

178. 恒温疏水阀

采用现代恒温疏水阀可减少能耗,并提高可靠度。主要优点是温度接近饱和蒸汽(2℃以内)时会开启,每次开启后会清除非凝性气体,并可在启动选项上打开让蒸汽系统快速暖机。这些疏水阀也很可靠,适用于大范围的蒸汽压可(Alesson, 1995)。节能幅度会因所装的蒸汽疏水阀和维修情况而不同。

179. 关闭蒸汽疏水阀

关闭蒸汽疏水阀其他节能措施包括过热蒸汽管在线的疏水阀不用时就关闭,这作法的回收期平均是 0.2 年(U.S. DOE-IAC, 2006)。

180. 减少输送管漏水

如同蒸汽疏水阀,如果没有一个定期检查与维护的计划,输送管也常有渗漏。修渗漏洞的回收期平均是 0.4 年。(U.S. DOE-IAC, 2006)。

181. 闪蒸汽回收

当蒸汽疏水阀将冷拟水从加压蒸汽输送系统排到环境压力时,就会产生闪蒸汽。根据当时的压力,闪存蒸汽约保留原有冷凝水能量的 10%至 40%。这能源可透过换热器回收,再用于室内采暖或供水预热。(Johnston, 1995; U.S. DOE-OIT, 2006)。这项措施有多少潜力得看工厂,因为工厂不太可能盖一个全新的管道系统来传输质量低的蒸汽,除非 可和蒸汽疏水阀靠着用。使用多种压力蒸汽系统的工厂可将高压冷凝水生成的闪蒸汽透过固定管路输送,以降低系统压力。

182. 预先筛选煤[40]

在使用燃煤锅炉的一些纺织工厂(常见于中国和其他国家),原煤送入锅炉,进行燃料链烧,这会让体积小的煤穿过链子而浪费掉。为解决这方面的损失,公司应采取螺旋煤屏技术来筛选原煤。这装置大大提高好煤与坏煤的分离率,防止小煤颗粒从加燃料链上掉落并提高燃煤的热值。依据中国的个案研究,湿法加工厂安装一个螺旋煤屏器的节能量是一吨布料可节省 79 公斤的煤(1.8 吉焦/吨布料)。筛选器所需费用估计为 35,000 美元,回收期约五个月(Greer et al., 2010)。

案例研究：

以下介绍纺织业蒸汽系统使用节能做法的几个案例研究。

在锅炉安装烟气预热器

锅炉烟气温度通常很高，可在锅炉安装烟气预热器来回收余热以预热锅炉的补给水。燃气锅炉比燃煤锅炉更适合余热回收，因为烟气很少会造成腐蚀。不过，使用其他燃料的锅炉可使用抗腐蚀材料，将腐蚀造成的影响降至最低。

Shaw Industries 公司所属多家纺织厂其中之一使用蒸汽系统评估工具(SSAT)软件后，预估在锅炉安装烟气预热器每年可节能约 11,600 吉焦(US DOE ITP, 2008b)。根据对中国多家采用施法工艺的纺织厂所做的研究显示(US DOE ITP, 2008b)，这做法每吨织布可节能约 1.5 吉焦，成本据报约为 22,000 美元。CIPEC (2007) 报告这个技术的资本成本约为 18,000 美元至 405,000 美元，回收期介于 1.4 年至 5.1 年之间。

在将助燃风吹入锅炉的鼓风机上安装变频驱动器

[40]这机会仅适用燃煤的工业锅炉。虽然在中国很常见燃煤锅炉, 其他国家却不一定常用, 因此这里的建议并不一定适用。

鼓风炉的用途在于供应助燃风至工厂蒸汽锅炉，可在鼓风炉安装变频驱动器。助燃室氧气过多时可能会导致对蒸气的需求不稳定，这时通常会以入风口叶片作为管制，也就是在低负载时，风机电机持续以接近额定功率的速度运行。可用变频驱动器可代替叶片控制，这样满载运作的效能不仅最佳，还可解决烟雾问题。加拿大一家纺织厂采行此一措施后，一年节电65兆瓦时 (CADDET, 1993)。

将老旧效率低的给水泵换成高效泵

锅炉给水泵的用途在于将热水送至锅炉中。印度一家纺织厂使用的锅炉给水泵能耗为12.9千瓦，在换成能耗9.88千瓦的节能泵后，据报一年省电27兆瓦时，投资成本为3,000美元 (gtz, 2007)。

透过侦测漏损、进行预防性维护与改进清洁度来节能

尽管个别漏损相对整体能耗看来不是那么要紧，但一年之间这些漏损所消耗的资源是相当惊人的。例如，在饱和蒸汽压 5 公斤/平方公分下，2 厘米的蒸汽漏损一年预估会消耗 240 吉焦的能源。同样地，压缩空气系统在 0.6 米巴(mPa)压力下漏电 4 厘米，一年能耗为 52 兆瓦时。专家预估只要在纺织设施安装有效的漏损侦测器并执行预防性维护方案，可节能达 10%。

Greer 等人在评估中国纺织厂的能源使用时观察到，定期检查蒸汽系统与压缩空气系统漏损的来源并实施预防型的维护方案，一吨织布可节能 1.1-7.9 吉焦，并报告这措施的投资成本相当低，回收期相当短(Greer et al., 2010)。不过 CIPEC (2007)认为采行施法工艺的纺织厂如要实施预防性维护方案，成本将介于 10,000 至 35,000 美元之间，回收期介于 2 年至 3.5 间。要强调的是这方法的实际节能量与成本，得看行动的规模大小。

案例研究：美国一家纺织厂改善蒸汽系统能效

2006 年美国能源部「现在就节能计划」在 Shaw Industries 公司位于乔治亚州 Dalton 地区的多个纺织厂之一，进行能源评估，以找出可改善蒸汽系统能效的潜在机会。评估的第一步是先优化锅炉的用电负载，即与能效较佳锅炉的基本负载齐平。接着，在染料管与染色房的另一道工艺安装废水热交换器。与其直接安装热交换器，该工厂决定以喷洒蒸汽的方式来加热水温到规定的温度。最后在其中一台锅炉安装废气预热器，因为这台锅炉的运转速度比其他锅炉快，所以有安装预热器的急迫性。采行这些做法后，一年节能约 98115 吉焦，实施成本约 150 万美元(US DOE ITP, 2008b)。

蒸汽输送、使用与冷凝水回收系统优化[41]

纺织厂内多种机器设备与工艺均会用到蒸汽。由于工厂很多地点都会使用蒸汽，蒸汽输送过程中产生的漏损量相当大，如果输送的距离远，最好使用高压窄管的管路，而不要使用低压宽管的管路。另外，必须要安装减压阀来调节使用点的蒸气压，以阻绝热气损失。根据业界数据，直径 200 厘米或 51 厘米、长度一公尺的蒸汽管路(管内温度 200°C)，如果没有进行保温处理，损失的能量相当于一年浪费三吨的煤。如果工厂将所有管路做好保温处理，就可将这方面造成的热损失减少 90%(Greer et al., 2010)。

多数纺织厂，特别是发展中国家的纺织厂，管路、阀与边盘的保温都很差。要将这些工厂的蒸汽输送管做最大的改善，必须要对厂内所有的管路、阀与边盘进行定期检查与做保温处理。保温如出现缺口(如破损等)，应该要修复更换。矿渣棉是常用的保温材料，特点是质量佳、能效高、价格便宜，不过厂房地点不同，可能需要的保温材料也不同。根据 Greer 等人(2010 年)对中国工厂的研究显示，湿处理工厂生产一吨织布可节省用能 5-884 兆焦，对管路、阀与边盘做保温处理的相关费用据报为 4,500 美元。

CIPEC (2007) 报告说，湿处理工厂实施蒸汽疏水阀监测计划大约要花费 3,200 美元至 10,000 美元，回收期为 1.5-2.5 年。

6. 新兴技术

纺织业运行中耗用大量的能源，刚好为多种运行程序的创新提供了机会。下面介绍一些新兴技术，这些技术多半用在最耗能的纺织湿法工艺上。

183. 超临界染色技术

气体在超过临界温度时还能保有气态的自由流动性，但随着压力的升高，气体密度就会增加，类似液体。以多数溶质而言，超临界液体的溶解力近似轻烃，密度愈高(即加压)，可溶性愈高。不过，氟化合物在二氧化碳中的可溶性，要比在碳氢化合物中高，而高溶度对聚合作用很重要。二氧化碳常被作为溶剂，因为它先天具有的优点如不具毒性、不会腐蚀、不具危险性等，与系统有关。二氧化碳可量产，运送上也容易，相较其他气体，二氧化碳较容易达到临界温度与临界压力 (Ramachandran et al., 2008)。

[41]除非有标注不同出处，本节摘自 Greer 等人(2010)的报告。

以超临界二氧化碳作为染色介质是项新技术。染色是在名为高压釜的高压容器内进行。二氧化碳处于 31°C 与 72 巴以上压力时，会以临界液体形态存在。 这个无水工艺有很多生态上与经济上的好处，如无需准备处理水、加热液体时的能耗较少(Prince, 2008)。

184. 超声波辅助的施法工艺[42]

超声波辅助的工艺是传统上以高温处理纺织材料方法之外的另一种方法。在现有机器安装超声波设备可提高织布准备及染色的效率，去不会损害加工材料的属性。纺织施法工艺采用超声波技术由于可降低处理时的温度、缩短处理时间、减少化学助剂的用量，进而到节能的效果(Prince, 2008)。声波可分成超低声(至 16 赫兹)、可听声(16 赫兹 – 16000 赫兹)与超声波，超声波包括声波高于可听声，频率介于 16 千赫至 106 千赫间。使用超声波有二个好处，一是不同声压引发液体快速流动，有助溶剂的压缩与稀释，二是超微束。超声波过程产生的热足够用于染色工艺，所以就不用透过外部加热。纺织施法工艺采用超声波技术由于可降低处理时的温度、缩短处理时间、减少化学助剂的用量，进而到节能的效果。

超声波技术已经有效运用在不同的织布准备工艺，包括退浆、洗毛、漂白、丝光工艺，以及冲洗与凵洗涤等辅助工艺。已经有人尝试要分析染色工艺采用超声波后，对使用直接染料、反应性染料、酸性染料与分散染料的织布的影响。由于织布的湿度提高，超声波能加快染料在织布的扩散速度(Ramachandran et al., 2008)。

185. 泡沫技术[43]

由于泡沫工艺能大量减少水分含量，所以可减少加热、干燥、热固与制造蒸汽的能耗，进而节能(Prince, 2008)。泡沫工艺是以空气稀释液体，而不是以水稀释纺织材料表面化学物的一般做法。以泡沫处理时，大部分的水已由空气取代，减少干燥工艺的用能，同时能省下可观的用能费用。

泡沫是由散布于液态连续介质中的大量气泡组成的液胶系统。泡沫可经由大量搅动以机械吹气方法形成，或者使用发泡剂的化学方法来生成，也可以将机械与化学方法合并使用。泡沫中的空气与液体含量的相对比例是由吹胀率决定。要时常留意泡沫的稳定性、密度与直径等这要参数。

泡沫技术也可用于织布的准备、印染、软化、防水防油处里、阻燃整理、防静电整理、思光工艺等。泡沫可涂在织布的一边或两边。使用泡沫整理工艺的节省80%的用水与60%-65%

[42] 本节摘自 Ramachandran 等人 (2008)的报告。
[43] 本节摘自 Ramachandran 等人 (2008)的报告，除非有著名其他出处。

的用能，实际数字要看采用哪种后处里法。这方法同时能大量减少有害气体与污染。以泡沫技术来整理织布的回收期是介于6个月到2年 (Ramachandran et al., 2008)。

7. 纺织业使用可再生能源

纺织业使用可再生能源的潜力很大。表 34 列出使用再生能源的几个案例，但再生能源在纺织业的用途不限于这些案例。

表 34. 纺织业使用可再生能源的几个案例 *

编号	措施	节能	省电	二氧化碳排放减排量***	资本成本(美元)	回收期(年)**
186	屋顶安装由风带动旋转的涡轮通风机		23 – 91 兆瓦时/年/工厂	19.2 - 76.1 吨二氧化碳/年/工厂	6100 - 9100 /工厂	1.3 – 3.5
187	直接使用太阳能来干燥织布	每年 4200 美元			2700 /系统	0.5
188	纺织厂使用太阳能来加热水					

*本表中所列的节能、资本费用与回收期是针对参考报告中所列的明确条件，执行这些措施能带来额外(非能源)益处。请详阅报告中引述的每个措施,才能对节能量与资本费用有完整了解。
**没有列入投资回收期，但有节能量与资本费用的节能措施，其投资回收期的计算是假设电力价格为 75 美元/兆瓦时（约合 0.075 美元/千瓦时）。
***二氧化碳排放量根据 2008 年中国电网平均二氧化碳排放因子 0.836 千克二氧化碳/千瓦时（来源：NDRC, 2009）和中国纺织行业燃料消耗的加权平均二氧化碳排放因子（等于 91.89 千克二氧化碳/GJ）计算得出（来源：NBS, 2010; IPCC, 1997a; IPCC, 1997b）。

186. 屋顶安装由风带动旋转的涡轮通风机

纺织厂有些地方的温度与湿度需要靠暖通空调维持在一定的标准，不过不需要全厂都这么做。纺织厂很多地方不需要用到暖通空调系统，如大多数采行湿法工艺的工厂与非生产区域。这些地方通常使用风机来通风。与其使用风机，可在屋顶上安装能利用自然风带动旋转的涡轮通风机。能否采用这方法要看工厂所在的地理位置，同时风速与风向可能会有季节上的差异。印度多家纺织厂在自家工厂屋顶安装涡轮通风机后，据报一年省电 23-91 兆瓦时，投资成本介于 6,100 美元至 9,100 美元。节能量与省下的成本取决于安装的通风机数量与及更换的风机数量(EMT, 2008k; EMT, 2008l)。

187. 直接使用太阳能来干燥织布

在一些纺织厂，湿织布要经过干燥工艺，如晴纶纤维在染色工艺后要加以干燥。如果工厂所处地理位置一年中有七个月晒得到阳光，就可以直接使用太阳能来干燥织布。印度一家纺织厂以铁丝网围栏兴建一个平台，这平台直接面对空地并未于太阳正下方，结果一年节省 4,200 美元的用能成本，投资成本为 2,700 美元。要采行这措施得注意工厂所在的地理位置与气候条件。织布的种类也会影响干燥的程度(EMT, 2008l)。

188. 纺织厂使用太阳能来加热水

纺织进行湿处理时需要大量的低温热水，此时可利用太阳能来产生热水。要了解纺织厂使用太阳能的潜力有多大，可针对工厂的地理位置与气候条件进行可行性研究，找出使用太阳能供应低温热水是否经济可行。施法工艺工厂使用太阳能热水系统，可以考量二种构型。第一种构型为太阳能预热系统，可以补充锅炉所需的热水。这系统可适用于不同的流速与输出温度。第二种构型是在需要低温热水(达85°C)的染色工艺，直接注入由太阳能系统加热的热水。可比较这二种构型的经济性以确定哪个系统最佳。埃及一家纺织厂执行专门研究这二种构型优化设计的项目，期间考量了最佳集热面积与流率，发现第二种构型(即染色工艺直接注入由太阳能系统加热的热水)比较经济有效(Abdel-Dayem and Mohamad, 2001)。其他有关纺织湿工艺使用太阳能的诸多案例之一是Muneer等人(2006)在巴基斯坦进行的研究。

8. 摘要与总结

用能是纺织业最花钱的地方之一，特别是能源价格高度波动时，所以纺织厂应将提高能效作为要务之一。纺织厂有很多节能的方法，其中不少方法的成本效益很高，不过，纺织厂有时无法采行这些高成本效益的方法，主因是对执行节能的方法了解不多，尤其绝大多数纺织厂的规模都算中小型，这些工厂取得信息的管道有限，所以应该准备有关节能技术与做法的专业知识，并发送给纺织厂。

本指南提供适合纺织业采用的节能技术与措施，内容包括全球多个纺织厂的案例研究，这些案例均有提供节能量与节费信息。有些措施的节能量与回收期是本指南依据不同情况给出的范围。读者要时时切记的一点是，本指南给出的所有数值只是参考，各措施的实际费用与节能量会因为工厂构型、规模、地点、运行特点、生产与产品特性、地方供应的原料与能源，以及其他等多种因素而有所不同。例如，有些节能措施最花钱的地方是劳工成本，这些成本在已发展国家与发展中国家的差异很大，所以同样的节能措施在已发展与发展中国家实施，费用可能会差异相当大。也就是对本指南介绍的所有节能措施，个别工厂应该就经济性与不同措施是否适用于自家工厂独特的生产方式，再做进一步研究，以便评估措施的可行性。

致谢

本项工作通过美国能源部，获得能源基金会与美国环境保护局的支持，以及陶氏化学公司慈善捐款的资助，合同编号为 DE-AC02-05CH11231。

作者要感谢劳伦斯伯克利国家实验室的浦思琳(Lynn Price)、乌得勒支大学 (Utrecht University)的 Ernst Worrel、美国自然资源保护委员会(NRDC)的 Linda Greer 与 Marbek 资源顾问公司的 Martin Adelaar 与 Henri Van Rensburg 等人，对本指南提供独到的见解。作者尤其要感谢 Christopher Williams 校订本指南的英文本，以及鲁虹佑协助准备本指南。

作者同时要感谢以下组织单位/个人，他们的报告对本指南的助益很大，本指南经常引用/节录他们的报告内容：

- 加拿大工业节能计划(加拿大)
- 欧洲委员会(欧盟)
- 碳信托有限公司 (英国)
- 印度工业联合会 (印度)
- Marbek 资源顾问公司 (加拿大)
- 美国环保署 (美国)
- 美国能源部 (美国)
- 节能中心 (日本)
- Worrell, E.; Blinde, P.; Neelis, M.; Blomen, E.; Masanet, E. (Worrell 等人的报告，2010)

参考文献

Abdel-Dayem, A.M. and Mohamad, M.A., 2001. “Potential of solar energy utilization in the textile industry-a case study”. Renewable Energy 23 (2001) 685–694.

Alesson, T. , 1995. *All Steam Traps Are Not Equal*. Hydrocarbon Processing 74.

ASEAN Center for Energy, 1997. *LP Microwave Drying Machine for Cheese Dyeing. Technical Directory for Industry*. Available at: http://www.aseanenergy.org/download/projects/promeec/td/industry/LP%20Microwave%20drying%20machine%20for%20cheese%20dyeing%20%5Btex%5D.pdf

Austrian Energy Agency, 2007. *Step by step guidance for the implementation of energy management*. Benchmarking and Energy Management Schemes in SMEs Project of Intelligent Energy – Europe. Available at: http://www.iee-library.eu/index.php?option=com_jombib&task=showbib&id=1013&return=index.php%3Foption%3Dcom_jombib%26amp%3BItemid%3D30%26amp%3Bcatid%3D48

Barclay, S.; Buckley, C., 2000. *Waste Minimization Guide for the Textile Industry*. Available at: http://www.c2p2online.com/documents/Wasteminimization-textiles.pdf

Barnish, T. J., M. R. Muller, and D. J. Kasten., 1997. "Motor Maintenance: A Survey of Techniques and Results". Proceedings of the 1997 ACEEE Summer Study on Energy efficiency in Industry. American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, D.C.

Bureau of Energy Efficiency (BEE), 2000. *Best Practice manual: Dryers*. Available at: http://www.energymanagertraining.com/CodesandManualsCD-5Dec%2006/BEST%20PRACTICE%20MANUAL%20-%20DRYERS.pdf

Bureau of Energy Efficiency (BEE), 2003. *A case Study by Kesoram Rayon: Dryers.* Available at: http://www.bee-india.nic.in/index.php?module=intro&id=10

Best Practice Programme, 1996. *Good Practice Case Study 300: Energy Savings by Reducing the Size of a Pump Impeller*. Available at http://www.carbontrust.co.uk/default.htm

Bloss, D., R. Bockwinkel, and N. Rivers, 1997. "Capturing Energy Savings with Steam Traps." Proc. 1997 ACEEE Summer Study on Energy efficiency in Industry, ACEEE, Washington DC, USA.

BRÜCKNER, 2010. *ECO-HEAT heat recovery systems*. Available at: http://www.brueckner-textile.cn/index.php?id=515&L=3

Caffal, C., 1995. *Energy Management in Industry*. Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADDET), Sittard, the Netherlands.

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADDET),, 1993. *Energy efficiency in a carpet mill*. Available at: http://oee.nrcan.gc.ca/publications/infosource/pub/ici/caddet/english/pdf/R138.pdf

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADDET), 1997. *Saving Energy with Efficient Compressed Air Systems*. Maxi Brochure 06, Sittard, The Netherlands.

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADDET), 2001. *Saving energy with Steam Production and Distribution. Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies*. Maxi Brochure 13, Sittard, The Netherlands. Available at: www.caddet.org.

Carbon Trust, 1997. *Cutting your energy costs-A guide for the textile dyeing and finishing industry*. Available at: http://www.carbontrust.co.uk/Publications/pages/publicationdetail.aspx?id=GPG168

Carbon Trust, 2005. *Low cost heat recovery at W & J Knox Ltd, Ayrshire. Good Practice*. Available at: www.carbontrust.co.uk

Cergel, Y.A., B.G. Shiva Prasad, R.H. Turner, RH and Y. Cerci, 2000. "Reduce compressed air costs." Hydrocarbon Processing, December 2000, pp. 57-64.

Chandran, K.R. and Muthukumaraswamy, P., 2002. *SITRA Energy Audit – Implementation Strategy in Textile Mills.* Available at: http://www.emt-india.net/process/textiles/pdf/SITRA%20Energy%20Audit.pdf

Confederation of Indian Industry (CII), 2006. *Energy Bulletin on Finishing Stenters*, ADB Energy-efficiency Support Project.

Confederation of Indian Industry (CII), 2007. "Energy Saving in After Treatment Dryer." Energy-efficiency Bulletin (No.40). Available at: http://www.emt-india.net/Documents/CS19Oct09/Textiles/Textile-treatment%20dryer.pdf

Canadian Industry Program for Energy Conservation (CIPEC), 2001. *Boilers and Heaters, Improving Energy-efficiency*. Natural Resources Canada, Office of Energy-efficiency, Ottawa, Ontario, Canada.

Canadian Industry Program for Energy Conservation (CIPEC), 2007. *Benchmarking and best practices in Canadian wet-processing*. Available at: http://oee.nrcan.gc.ca/industrial/technical-info/benchmarking/ctwp/index.cfm

Canadian Industry Program for Energy Conservation (CIPEC), 2007b.*Team up for energy savings-Fans and Pumps.* Available at: http://faq.rncan.gc.ca/publications/infosource/home/index.cfm?act=online&id=5716&format=PDF&lang=01

Copper Development Association (CDA), 2001. *High-Efficiency Copper-Wound Motors Mean Energy and Dollar Savings*. Available at http://energy.copper.org/motorad.html.

Consortium for Energy efficiency (CEE), 2007. *Motor Planning Kit, Version 2.1*. Boston, MA.

China Research and Intelligence (CRI), 2010. *Research Report of China's Textile Industry, 2009.* Available at: http://www.researchandmarkets.com/reports/1053813/research_report_of_chinas_textile_industry.pdf

E-textile toolbox, 2005a. *Enzymatic removal of residual hydrogen peroxide after bleaching*. Available at: http://www.e-textile.org/previewmeasure.asp?OptID=2288&lang=ind

E-textile toolbox, 2005b. *Enzymatic scouring*. Available at: http://www.e-textile.org/previewmeasure.asp?OptID=2289&lang=ind

E-textile toolbox, 2005c. *Automated dyestuff preparation.* Available at: http://www.e-textile.org/previewmeasure.asp?OptID=2031&lang=ind

E-textile toolbox, 2005d. *Discontinuous dyeing with airflow dyeing machine*. Available at: http://www.e-textile.org/previewmeasure.asp?OptID=2296&lang=ind

E-textile toolbox, 2005e. *Textile dyeing jiggers with a variable liquor ratio.* Available at: http://www.e-textile.org/previewmeasure.asp?OptID=2305&lang=ind

E-textile toolbox, 2005f, *Reuse of wash and rinse water*. Available at: http://www.e-textile.org/previewmeasure.asp?OptID=2011&lang=ind

E-textile toolbox, 2005g. *Conversion of Thermic Fluid System to Direct Gas Firing System*. Available at: http://www.e-textile.org/previewCase.asp?casID=178&lang=ind

E-textile toolbox, 2005h. *Provision of vacuum slit before stenter.* Available at: http://www.e-textile.org/previewmeasure.asp?OptID=2240&lang=ind

E-textile toolbox, 2005i. *Energy savings through exhaust air control in stenter*. Available at: http://www.e-textile.org/previewCase.asp?casID=179&lang=ind

E-textile toolbox, 2005j. *Heat recovery and air purification on Stenter frames*. Available at: http://www.e-textile.org/previewmeasure.asp?OptID=2043&lang=ind

E-textile toolbox, 2005k. *Energy savings in stenters*. Available at: http://www.e-textile.org/previewmeasure.asp?OptID=2297&lang=ind

Electric Apparatus Service Association (EASA), 2003. *The Effect of Repair/Rewinding on Motor Efficiency*.

Electric Apparatus Service Association (EASA), 2006. ANSI/EASA Standard AR100-2006. *Recommended Practice for the Repair of Rotating Electrical Apparatus.*

Easton Consultants, 1995. *Strategies to Promote Energy-Efficient Motor Systems in North America's OEM Markets*. Easton Consultant Inc., Stamford, Connecticut, USA.

Energy Conservation Center, Japan (ECCJ), 2007a. *Energy Saving Measures & Audit of Dyeing & Finishing Processes in Textile Factories.* Available at: http://www.aseanenergy.org/download/projects/promeec/2007-2008/industry/eccj/ECCJ_SW02%20EE&C%20Measures%20in%20Textile%20(Audit)_VN.pdf

Energy Conservation Center, Japan (ECCJ), 2007b. *Overview of Energy Saving Technologies in Textile Industry*. Available at: http://www.aseanenergy.org/download/projects/promeec/2007-2008/industry/eccj/ECCJ_SW03%20Overview%20of%20energy%20saving%20technology_TH.pdf

Efficiency Partnership, 2004. *Industrial Product Guide – Manufacturing and Processing Equipment: Motors*. Flex Your Power, San Francisco, California.

Energy Manager Training (EMT), 2004a. *Best practices/case studies - Indian Industries, Energy-efficiency measures in Jaya Shree Textiles Rishra.* Available at: http://www.emt-india.net/eca2004/award2004/Textile/Jaya%20Shree%20Textiles%20Rishra.pdf

Energy Manager Training (EMT), 2004b. *Best practices/case studies - Indian Industries, Energy-efficiency measures in Grasilene Division Haveri*. Available at: http://www.emt-india.net/eca2004/award2004/Textile/Grasilene%20Division%20Haveri.pdf

Energy Manager Training (EMT), 2005a. *Best practices/case studies - Indian Industries, Energy-efficiency measures in Raymond Limited Madhya Pradesh*. Available at: http://www.emt-india.net/eca2005/Award2005CD/32Textile/RaymondLimitedMadhyaPradesh.pdf

Energy Manager Training (EMT), 2005b. *Best practices/case studies - Indian Industries, Energy-efficiency measures in Nahar Industrial Enterprises Ltd Punjab*. Available at: http://www.emt-india.net/eca2005/Award2005CD/32Textile/NaharIndustrialEnterprisesLtdPunjab.pdf

Energy Manager Training (EMT), 2005c. *Best practices/case studies - Indian Industries, Energy-efficiency measures in Century Rayon Shahad Thane*. Available at: http://www.emt-india.net/eca2005/Award2005CD/32Textile/CenturyRayonShahadThane.pdf

Energy Manager Training (EMT), 2005d. *Best practices/case studies - Indian Industries, Energy-efficiency measures in Kanco Overseas Gujarat*. Available at: http://www.emt-india.net/eca2005/Award2005CD/32Textile/KancoOverseasGujarat.pdf

Energy Manager Training (EMT), 2005e. *Best practices/case studies - Indian Industries, Energy-efficiency measures in Maral Overseas Limited MadhyaPradesh*. Available at: http://www.emt-india.net/eca2005/Award2005CD/32Textile/MaralOverseasLimitedMadhyaPradesh.pdf

Energy Manager Training (EMT), 2006a. *Best practices/case studies - Indian Industries, Energy-efficiency measures in Mahavir Spinning Mills Hoshiarpur*. Available at: http://www.emt-india.net/eca2006/Award2006_CD/32Textile/MahavirSpinningMillsHoshiarpur.pdf

Energy Manager Training (EMT), 2006b. *Best practices/case studies - Indian Industries, Energy-efficiency measures in Maral Overseas Limited Sarovar Plant*. Available at: http://www.emt-india.net/eca2006/Award2006_CD/32Textile/MaralOverseasLimitedSarovarPlant.pdf

Energy Manager Training (EMT), 2006c. *Best practices/case studies - Indian Industries, Energy-efficiency measures in Grasim Industries Ltd Staple Fibre Division Nagda*. Available at:

http://www.emt-
india.net/eca2006/Award2006_CD/32Textile/GrasimIndustriesLtdStapleFibreDivisionNagda.pdf

Energy Manager Training (EMT), 2006d. *Best practices/case studies - Indian Industries, Energy-efficiency measures in Century Rayon Shahad*. Available at: http://www.emt-
india.net/eca2006/Award2006_CD/32Textile/CenturyRayonShahad.pdf

Energy Manager Training (EMT), 2007a. *Best practices/case studies - Indian Industries, Energy-efficiency measures in RSWM Limited Banswara*. Available at: http://www.emt-
india.net/eca2007/Award2007_CD/32Textile/RSWMLtdBanswara/Projects_13.pdf

Energy Manager Training (EMT), 2007b. *Best practices/case studies - Indian Industries, Energy-efficiency measures in Indian Rayon Junagadh*. Available at: http://www.emt-
india.net/eca2007/Award2007_CD/32Textile/IndianRayonJunagadh/Profile.pdf

Energy Manager Training (EMT), 2008a. *Best practices/case studies - Indian Industries, Energy-efficiency measures in Rishab Spinning Mills, Jodhan.* Available at: http://www.emt-
india.net/eca2008/Award2008CD/31Textile/RishabSpinningMillsJodhan-Projects.pdf

Energy Manager Training (EMT), 2008b. *Best practices/case studies - Indian Industries, Energy-efficiency measures in Gimatex industries.* Available at: http://www.emt-
india.net/eca2008/Award2008CD/31Textile/GimatexIndustriesPvtLtdWardha.pdf

Energy Manager Training (EMT), 2008c. *Best practices/case studies - Indian Industries, Energy-efficiency measures in Kanco Enterprises Ltd Dholka*. Available at: http://www.emt-
india.net/eca2008/Award2008CD/31Textile/KancoEnterprisesLtdDholka-Projects.pdf

Energy Manager Training (EMT), 2008d. *Best practices/case studies - Indian Industries, Energy-efficiency measures in DCM Textiles*. Available at: http://www.emt-
india.net/eca2008/Award2008CD/31Textile/DCMTextilesHissar-Projects.pdf

Energy Manager Training (EMT), 2008e. *Best practices/case studies - Indian Industries, Energy-efficiency measures in RSWM Limited Banswara*. Available at: http://www.emt-
india.net/eca2008/Award2008CD/31Textile/RSWMLimitedBanswara-Projects.pdf

Energy Manager Training (EMT), 2008f. *Best practices/case studies - Indian Industries, Energy-efficiency measures in Rishab Spinning Mills Jodhan*. Available at: http://www.emt-
india.net/eca2008/Award2008CD/31Textile/RishabSpinningMillsJodhan-Projects.pdf

Energy Manager Training (EMT), 2008g. *Best practices/case studies - Indian Industries, Energy-efficiency measures in Vardhman Yarns & Threads Ltd Hoshiarpur*. Available at: http://www.emt-
india.net/eca2008/Award2008CD/31Textile/VardhmanYarns&ThreadsLtdHoshiarpur-Projects.pdf

Energy Manager Training (EMT), 2008h. *Best practices/case studies - Indian Industries, Energy-efficiency measures in Raymond Limited Chhindwara*. Available at: http://www.emt-
india.net/eca2008/Award2008CD/31Textile/RaymondLimitedChhindwara-Projects.pdf

Energy Manager Training (EMT), 2008i. *Best practices/case studies - Indian Industries, Energy-efficiency measures in Raymond UCO Denim Pvt Ltd Yavatmal*. Available at: http://www.emt-india.net/eca2008/Award2008CD/31Textile/RaymondUCODenimPvtLtdYavatmal.pdf

Energy Manager Training (EMT), 2008j. *Best practices/case studies - Indian Industries, Energy-efficiency measures in Indian Rayon Ltd Veraval*. Available at: http://www.emt-india.net/eca2008/Award2008CD/31Textile/IndianRayonLtdVeraval.pdf

Energy Manager Training (EMT), 2008k. *Best practices/case studies - Indian Industries, Energy-efficiency measures in Raymond Limited Jalgaon*. Available at: http://www.emt-india.net/eca2008/Award2008CD/31Textile/RaymondLimitedJalgaon.pdf

Energy Manager Training (EMT), 2008l. *Best practices/case studies - Indian Industries, Energy-efficiency measures in RSWM Limited Kharigram*. Available at: http://www.emt-india.net/eca2008/Award2008CD/31Textile/RSWMLimitedKharigram.pdf

EnergyStar, 2004. *Guidelines for Energy Management*. Available at: http://www.energystar.gov/index.cfm?c=guidelines.download_guidelines

Expresstextile, 2005. *Innovative energy conservation measures in overhead cleaners*. Available at: http://www.expresstextile.com/20051031/technext01.shtml

European Commission, 2003. *Reference Document on Best Available Techniques for the Textiles Industry*. Available at: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/brefdownload/download_TXT.cfm

European Commission, 2009a. *Statistics on textiles*. Available at: http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/textiles/statistics/index_en.htm

European Commission, 2009b. *Textiles and clothing industry-External dimension*. Available at: http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/textiles/statistics/index_en.htm

Greer, L.; Egan Keane, S.; Lin, Z., 2010. *NRDC's Ten Best Practices for Textile Mills to Save Money and Reduce Pollution.* Available at: http://www.nrdc.org/international/cleanbydesign/files/rsifullguide.pdf

gtz, 2007. *Replacement of Oversized Pump by optimizing capacity in Spin bath in T.C. Plant.* Available at: http://www.energymanagertraining.com/Compendium-Volume2/91-97.pdf

Hackett, B., Chow, S., and A.R. Ganji, 2005. "Energy-efficiency Opportunities in Fresh Fruit and Vegetable Processing/Cold Storage Facilities." Proceedings of the 2005 ACEEE Summer Study on Energy efficiency in Industry, American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, D.C.

Heijkers, C., E. Zeemering and W. Altena, 2000. "Consider Variable-Speed, Motor-Driven Compressors in Refrigeration Units." Hydrocarbon Processing, 8, 79, pp.61-64 (August 2000).

Hovstadius, G., 2002. Personal communication with Gunnar Hovstadius of ITT Fluid Technology Corporation.

Hovstadius, G., 2007. "Key Performance Indicators for Pumping Systems." Proceedings EEMODS '07Conference, Beijing, China, June 10-13, 2007.

Hydraulic Institute, 1994. *Efficiency Prediction Method for Centrifugal Pumps*. Parsippany, New Jersey, USA.

Hydraulic Institute and Europump, 2001. *Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems.* Parsippany, New Jersey, USA.

Ingersoll-Rand, 2001. *Air Solutions Group—Compressed Air Systems Energy Reduction Basics*. Available at http://www.air.ingersoll-rand.com/NEW/pedwards.htm. June 2001.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1997a. "Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual (Volume 3)." http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch1ref1.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1997b. "Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook (Volume 2)." http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch1wb1.pdf

ITJ (Indian Textile Journal), 2008. *Energy control system for humidification plants*. Available at: http://www.indiantextilejournal.com/products/PRdetails.asp?id=530

Jha, A., 2002. *Conservation of Fuel Oils and Lubricants.* Available at: http://www.emt-india.net/process/textiles/pdf/Conservation%20of%20Fuel%20Oils.pdf

Jones, T. , 1997. "Steam Partnership: Improving Steam Efficiency Through Marketplace Partnerships". Proc. 1997 ACEEE Summer Study on Energy efficiency in Industry, ACEEE, Washington DC, USA.

Johnston, B., 1995. "5 Ways to Greener Steam". The Chemical Engineer, 594, pp. 24-27 (August).

Kiran-Ciliz, N., 2003. "Reduction in resource consumption by process modifications in cotton wet processes". Journal of Cleaner Production 11 (2003) 481–486

Koç, E.; Kaplan, E., 2007. "An Investigation on Energy Consumption in Yarn Production with Special Reference to Ring Spinning." FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe, 2007, Vol. 15, No. 4 (63).

Lanham, G., 2007. "4 factors to lower energy costs," Metal Producing & Processing Jan./Feb. 2007, Vol. 45 Issue 5, p8-8.

LBNL (Lawrence Berkeley National Laboratory), 2007. *China Energy Databook Version 7.0*. Available at: http://china.lbl.gov/research/china-energy-databook

Marbek Resource Consultants, 2001. *Identification and Evaluation of Best Available Technologies Economically Achievable (BATEA) for Textile Mill Effluents*. Available at: http://www.p2pays.org/ref/41/40651.pdf

Morvay, Z.K. and Gvozdenac, D.D., 2008. *Applied Industrial Energy and Environmental management*. John Wiley & Sons Ltd. UK.

Muneer, T.; Maubleu, S.; Asif, M., 2006. "Prospects of solar water heating for textile industry in Pakistan." Renewable and Sustainable Energy Reviews,10 (2006) 1–23.

Nadel, S., R. N. Elliott, M. Shepard, S. Greenberg, G. Katz and A. T. de Almeida, 2002. *Energy-efficient Motor Systems: A Handbook on Technology, Program, and Policy*.

National Bureau of Statistics (NBS), 2010. *China Energy Statistical Yearbook 2009*. China Statistics Press, 2010. Beijing, China.

National Development and Reform Commission (NDRC), 2009. : "Notice of 2009 Emission Factors of regional power grid in China," July 3, 2009. http://cdm.ccchina.gov.cn/WebSite/CDM/UpFile/File2334.pdf

New Energy and Industrial Technology Development Organization, Japan (NEDO), 2008. *Global Warming Countermeasures: Japanese Technologies for Energy Savings/GHG Emissions Reduction (2008 Revised Edition)*. Available at: http://www.nedo.go.jp/library/globalwarming/ondan-e.pdf

Oland, C.B., 2004. *Guide to combine heat and power systems for boiler owners and operators*, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, USA. Available at http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices

Palanichamy, C.; Sundar Babu, N., 2005. "Second stage energy conservation experience with a textile industry." Energy Policy 33 (2005) 603–609.

Parekh, P., 2000. "Investment Grade Compressed Air System Audit, Analysis and Upgrade." In: Twenty-second National Industrial Energy Technology Conference Proceedings. Houston, Texas, USA. April 5-6: pp. 270-279.

PLEAVA, 2009. *Sensors and Controls.* Available at: http://www.carpetmachinery.com/pdf/Energy%20Saving%20News%20from%20TSI%20&%20PLEAVA.pdf

Prakasam, R., 2006. *Energy conservation in loom sheds*. Available at: http://www.emt-india.net/Presentations/27/textile_19_20Mar2006/08EnergyConservationinShuttlelessLoomsheds-DrRPrakasm.pdf

Prince, A., 2008. *Energy conservation in textile industries & savings*. Available at: http://www.fibre2fashion.com/industry-article/12/1129/energy-conservation-in-textile-industries-savings1.asp

Pulat, E.; Etemoglu, A.B. ; Can, M., 2009. "Waste-heat recovery potential in Turkish textile industry: Case study for city of Bursa." Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 663–672.

Qiu, L.D., 2005. *China's Textile and Clothing Industry*. Available at: http://www.bm.ust.hk/~larryqiu/China-Textile.pdf

Radgen, P. and E. Blaustein, 2001. *Compressed Air Systems in the European Union, Energy, Emissions, Savings Potential and Policy Actions*. Fraunhofer Institute, Karlsruhe, Germany.

Ramachandran, T.; Karthick, T.; Saravanan, D., 2008. "Novel Trends in Textile Wet Processing." IE(I) Journal–TX. Volume 89, August 2008.

Rutgers (the State University of New Jersey), 2001. *Modern Industrial Assessments: A Training Manual, Version 2.0.* Available at: http://www.iac.rutgers.edu/indassess.php

Saad El-Din, A., 2004. *Energy Conservation Potential of Measurement & Control Systems and Energy Saving Equipment In Textile (Dyeing) Processes*. Available at: http://www.cd4cdm.org/North%20Africa%20and%20Middle%20East/Region/3rd%20Regional%20Workshop%20-%20Baseline%20Methodologies/15b-RW2PII%20Mar2004%20Attia.pdf

Sathaye, J.; Price, L.; de la Rue du Can, S.; Fridley, D., 2005. *Assessment of Energy Use and Energy Savings Potential in Selected Industrial Sectors in India*. Report No. 57293, Berkeley, CA: Lawrence Berkeley National Laboratory. Available at: http://industrial-energy.lbl.gov/node/130

Schönberger, H.; Schäfer, T., 2003. *Best Available Techniques in Textile Industry*. Available at: http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2274.pdf

Shanmuganandam, D., 1997. *Study on Tow-For-One Twisting*. Available at: http://www.fibre2fashion.com/industry-article/technology-industry-article/study-on-two-for-one-twisting/study-on-two-for-one-twisting1.asp

Sivaramakrishnan, A.; Muthuvelan, M.; Ilango, G.; Alagarsamy, M., 2009. *Energy saving potential in spinning, weaving, knitting, processing, and garmenting.* Available at: http://www.emt-india.net/Presentations2009/3L_2009Aug8_Textile/06-SITRA.pdf

Studebaker, P., 2007. 2007 *Best Practice Award Winners. Plant Services*, February 2007.

Textiledigest, 2009. *Benninger introduces process-integrated resource management for textile finishing*. Available at: http://www.ttistextiledigest.com/index.php?option=com_content&task=view&id=1531&Itemid=73

Textile Exchange, 2009. *Latest Trends of Global Textile Machinery Industry.* Available at: http://www.teonline.com/articles/2009/04/latest-trends-of-global-textile-machinery-industry.html

Tutterow, V., 1999. *Energy efficiency in Pumping Systems: Experience and Trends in the Pulp and Paper Industry.* American Council for an Energy-efficient Economy (ACEEE).

Tutterow, V., D. Casada and A. McKane, 2000. "Profiting from your Pumping System." In Proceedings of the Pump Users Expo 2000. September. Louisville, Kentucky, USA. Pumps & Systems Magazine, Randall Publishing Company.

UNEP Risoe Center, 2007. *Developing financial intermediation mechanism for energy-efficiency projects in Brazil, China, and India, Energy-efficiency case studies in Indian industries.* Available at: http://3countryee.org/public/EECaseStudiesIndustriesIndia.pdf

United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), 1992. *Energy Conservation in Textile Industry-Handy manual.* Available at: www.unido.org/fileadmin/import/userfiles/puffk/textile.pdf

United States Department of Energy (U.S. DOE), 1996. *Reducing Power Factor Cost.* U.S. Department of Energy, Motor ChallengeProgram. September 1996.

United States Department of Energy (U.S. DOE), 1998. *Improving Compressed Air System Performance, a Sourcebook for Industry*. Prepared for the U.S. Department of Energy, Motor Challenge Program by Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) and Resource Dynamics Corporation (RDC).

United States Department of Energy (U.S. DOE), 1999. *Improving Pumping System Performance: A Sourcebook for Industry*. Prepared for the U.S. Department of Energy, Motor Challenge Program by Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) and Resource Dynamics Corporation (RDC).

United States Department of Energy (U.S. DOE), 2000. *Compressed air system optimization saves energy and improves production at a textile manufacturing mill. Best Practices, Technical case study*. Available at: http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/thomaston.pdf

United States Department of Energy (U.S. DOE), 2001. *Compressed Air System Optimization Saves Energy and Improves Production at Synthetic Textile Plant. Best Practices, Technical case study*. Available at: http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/solutia.pdf

United States Department of Energy (U.S. DOE), 2004. *Energy Use, Loss and Opportunities Analysis: U.S. Manufacturing & Mining*. Available at: https://www.eecbg.energy.gov/industry/intensiveprocesses/pdfs/energy_use_loss_opportunities_analysis.pdf

United States Department of Energy (U.S. DOE), 2005. *Improving ventilation system energy efficiency in a textile plant*. Available at: http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/case_study_ventilation_textile.html

United States Department of Energy (U.S. DOE), 2010, *Manufacturing Energy Consumption Survey (MECS)-2006*. Available at: http://www.eia.doe.gov/emeu/mecs/mecs2006/2006tables.html

United States Department of Energy (U.S. DOE) Industrial Assessment Center (IAC), 2006. Industrial Assessment Center (IAC) Database. Department of Energy, Washington, DC, USA. Available at: http://iac.rutgers.edu/database/index.php

United States Department of Energy (U.S. DOE) Industrial Technologies Program (ITP), 2007. *Plant Assessment Summary: Shaw Industries Inc - Plant 4*. Available at: http://apps1.eere.energy.gov/industry/saveenergynow/partners/plant.cfm/esa=ESA-007-2

United States Department of Energy (U.S. DOE) Industrial Technologies Program (ITP), 2008. *Energy Matters, winter issue 2008, U.S. Department of Energy, Industrial Technologies Program, Energy Matters,* Available at: http://apps1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/energymatters/

United States Department of Energy (U.S. DOE) Industrial Technologies Program (ITP), 2008b, *Save Energy Now Assessment Helps Expand Energy Management Program at Shaw Industries*. Available at: http://www1.eere.energy.gov/industry/saveenergynow/pdfs/42460.pdf

United States Department of Energy (U.S. DOE) Industrial Technologies Program (ITP), 2001. *Steam Cost Reduction Strategies; Reducing your steam system energy bill.* U.S. Department of Energy, Washington, DC, USA. Available at: http://www1.eere.energy.gov/industry/

United States Department of Energy (U.S. DOE) Industrial Technologies Program (ITP), 2002. *Pumps: Cost Reduction Strategies.* Office of Industrial Technologies U.S. Department of Energy, Washington, *DC, USA.* Available at: http://www1.eere.energy.gov/industry/

United States Department of Energy (U.S. DOE) Industrial Technologies Program (ITP), 2005. *Pumping Systems Tip Sheets*, January 2006. Industrial technologies Program, Office of Industrial Technologies, U.S. Department of Energy, Washington, DC, USA.

United States Department of Energy (U.S. DOE) Industrial Technologies Program (ITP), 2005b. *Energy Tips: Estimate Voltage Unbalance. Information Sheet*. Office of Industrial Technologies, Washington, DC. Motor Systems Tip Sheet #7.

United States Department of Energy (U.S. DOE) Industrial Technologies Program (ITP), 2006. *Steam Tip Sheets*, January 2006. Industrial technologies Program, Office of Industrial Technologies, U.S. Department of Energy, Washington, DC, USA. Available at: http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices

United States Department of Energy (U.S. DOE) Industrial Technologies Program (ITP), 2007. *Steam Tip Sheets*, August 2007. Industrial technologies Program, Office of Industrial Technologies U.S. Department of Energy, Washington, DC, USA. Available at: http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices

United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA), 1998. *Preliminary Industry Characterization: Fabric Printing, Coating, and Dyeing*. Available at: http://www.p2pays.org/ref/01/00166.pdf

United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA)/SEMARNAP, 1996. *Pollution prevention in the textile industry*. Available at: http://www.p2pays.org/ref/20/19041.pdf

United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA),, 2007, *Guidelines for Energy Management. EnergyStar Program*. Available at: http://www.energystar.gov/index.cfm?c=guidelines.guidelines_index

U.S Department of Labor, (USDL), 2010. *Career Guide to Industries, 2010-11 Edition - Textile, Textile Product, and Apparel Manufacturing.* Available at: http://www.bls.gov/oco/cg/cgs015.htm#addinfo

Van de Ruit, H., 2000. "Improve Condensate Recovery Systems." Hydrocarbon Processing, 12, 79 pp.47-53 (December 2000).

Vijay Energy, 2009. *Energy saving soft-starter*. Available at: http://www.vijayenergy.com/esss.html

Wang, Y., 2001. *Evaluation and Enhancement of the Energy efficiency of Compressed Air Supply Systems for Air-jet Weaving and Spinning*. Available at: http://www.ptfe.gatech.edu/faculty/wang/comp-air/CCACTICompAirRpt10-2001.pdf

Worrell, E., Bode, J.W. , and De Beer, J.G., 1997. *Energy-efficient Technologies in Industry* (ATLAS project for the European Commission), Utrecht University, Utrecht, the Netherlands.

Worrell, E. and Galitsky, C., 2004. *Energy-efficiency improvement opportunities for cement making. An ENERGY STAR Guide for Energy and Plant Managers.* Report No. 54036, Berkeley, CA: Lawrence Berkeley National Laboratory. Available at: http://industrialenergy.lbl.gov/node/324/print

Worrell, E., Galitsky, C., and Price, L., 2008 , *Energy-efficiency improvement opportunities for the cement industry*. Berkeley, CA: Lawrence Berkeley National Laboratory. Available at: http://ies.lbl.gov/node/402

Worrell, E.; Blinde, P.; Neelis, M.; Blomen, E.; Masanet, E., 2010. *Energy-efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the U.S. Iron and Steel Industry*. An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers. (Report In Press)

World Trade Organization (WTO), 2004. *INTERNATIONAL TRADE STATISTICS 2004-Trade by sector.* Available at: http://www.wto.org/english/res_e/statis_e/its2004_e/its04_bysector_e.htm

Xenergy, 1998. *United States Industrial Electric Motor Systems Market Opportunities Assessment*. Prepared by Xenergy Inc. for U.S. Department of Energy's Office of Industrial Technology and Oak Ridge National Laboratory.

附录

附录 1. 纺织工艺介绍

A.1. 纤维生产[44]

天然纤维取自动植物。最重要的天然纤维是棉花与羊毛。人造纤维的原料可以是天然的、人造聚合物或无机物。聚酯、聚酰胺、聚丙烯腈、聚丙烯、再生纤维素(粘胶纤维)、醋酸纤维等为纺织业最重要的人造纤维。由于人造纤维消耗的能源远比天然纤维来得大，所以本指南仅介绍人造纤维生产可采用的节能措施。

以下为人造纤维生产的简介，作为人造纤维工艺的第一步，原料要制成长丝，是通过纺纱多个工艺的其中一个工艺：

- 熔融纺丝
- 干燥纺丝
- 湿法纺丝

用于热塑性聚合物的熔融纺丝(聚酰胺、聚酯、聚丙烯等)，是在冷却后由纺纱喷嘴将聚合物颗粒融化、压缩、接合起来。在干燥纺丝(针对聚丙烯腈与弹性纤维)与施法纺丝(针对粘胶纤维与铜氨丝)，聚合物在合适的溶剂中融解后，要将溶剂移除。干燥纺丝过程中，由于长丝通过纺纱喷嘴时会接触到热气，溶剂会因而蒸发。进行湿法工艺时，长丝先浸润在纺丝液中，再通过控制扩散工艺除去纤维中的溶剂。纺纱工业结束后，再拉取长丝提高其大分子的取向，进而提高纱线的张力。人造纤维可作为长丝或复丝纱，或在通在线面裂纹处理后转换成定长纤维。

如果以人造纤维作为长丝，可考虑使用卷曲工艺来提高其保热性、弹性与体积，效果会比扁平丝好(Schönberger and Schäfer, 2003)。卷曲过程使用机械压与热压(以高温将扁平丝线卷曲)来改变大分子的取向，在粗量检定时可看到卷曲效果，进而扩大材料的体积。

A.2. 细纱生产[45]

细纱成型是在纺纱厂完成。纤维在进入纺纱机前，要先做好准备工作，包括将纤维包打开、混合纤维、清洗整理麻痹纤维、将纤维拉伸缠绕成丝线。完成这些初步工作后，细纱就生成了。天然纤维与人造定长纤维要制成纱线是透过不同的纺纱系统，而纤维长度、厚度与

[44] 本节摘录自 Schönberger and Schäfer (2003)。
[45]本节摘录自 Schönberger and Schäfer (2003)。

成品的终端用途，将决定使用哪种系统。环锭纺纱是最重要、也是最常见的技术。气流纺纱技术是新式纱技术中最常用的。其他细纱纺纱系统包括：

- 纺棉技术 (适用所有纤维，特别是40厘米长的棉布)
- 精梳毛纺(羊毛与定长人造纤维((尤其是聚酯与聚丙烯腈))
- 半精梳毛纺(对粗羊毛与定长人造纤维很重要((尤其是聚酰胺与聚丙烯腈))
- 粗纺工艺 (羊毛与超细人造先通用的技术

上述介绍的各种纺纱系统中，最后一个步骤是通过环锭细纱机或新型纺纱机完成(Schönberger and Schäfer, 2003)。

A.3. 纤维生产

生产纤维最常用的三项技术为：编织、针织与非织造技术，将于下面介绍。而比较少用的几项技术如簇绒和编结，则不在本指南的介绍范围。

A.3.1. 编织 [46]

编织需要交错使用至少两种纺纱系统来进行纵向与横向的编织。编织纺织品可用于所有纺织行业(服装、家用纺织品、工业用纺织品)。织机运行时，纬纱会穿过纵向的经线(织机梭口)。编织工艺展开前，要先完成一些准备工作。首先要准备织轴，并由整经机接合经线，编织前，多数的细纱与长丝纱必须经过上浆步骤。织造厂进行上浆意在避免经线于编织过程中遭到损坏断裂。上浆会在经线表面形成一层保护膜，减少纤维布端突出机会，因为布端突出会导致织机停摆。上浆可由浆纱机完成(Schönberger and Schäfer, 2003)。引纬步骤可使用下面几个技术之一完成：

- 滑梭
- 片梭
- 剑杆
- 喷水
- 喷气
- 特殊引纬技术
- 原编织技术

[46] 本节摘录自 Schönberger and Schäfer (2003)

A.3.2. 针织 [47]

针织时，织布的成型是通过一组或多组纱线的联锁或相互串套。针织是使用下列二个工艺其中之一：纬编或经编。每种工艺需要有多种机器配合。纬编的线圈是织针朝织布的宽编织而成；经编的线圈则是织针朝一连串与织布合成同向的经线编织而成。针织用于生产毛衣、织袜、工业用产品与其他种类的织布(US EPA, 1998)。

图 A-1为细纱纺纱过程的示意图 (棉纺系统)与织造/针织工艺。

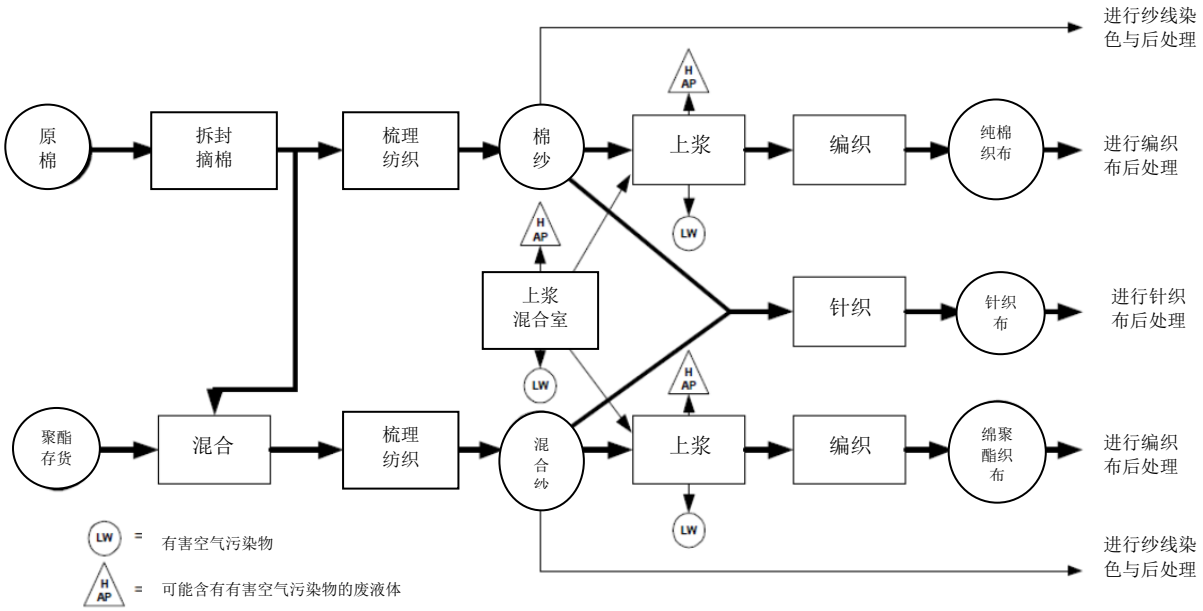


图 A-1. 细纱纺纱过程与织造/针织工艺的示意图 (US EPA, 1998)

注释：HAP：有害空气污染物，LW：可能含有有害空气污染物的废液体

可能含有有害空气污染物的废液体

A.3.3. 非织造 [48]

非织造织布是指由纤维构成、却未经过中间纺纱工艺的织布，其基本结构是由纤维、纱线、长丝接合或联锁而成的薄纱被单或纤维网，接合是透过机械、热、化学或溶剂等方法。非织造织布具有塑膜性等优越性能，一般会依据不同用途做特殊处理，如土工布、毛毯、尿布、绝缘与滤器。非织造织布的结构可以是同质的纤维网、网状结构或层压/复合材料。通常用来制造非织造织布的纤维包括：聚酯、聚丙烯、人造丝与毛浆 (U.S. EPA, 1998)。

[47] 本节摘录自 US EPA (1998)
[48] 本节摘录自 US EPA (1998)

A.4. 湿法工艺[49]

湿法工艺涉及很多步骤：在纤维、纱线或织布添加颜料，在织布上加图样，以及赋予成品应有特性的各种处理步骤。这些处理步骤对棉布与合成布生产最为重要。生产大多数的羊毛产品、人造纤维产品或棉质产品(如彩色格子布)时，纱线在织造前要经过染色处里，之后再将图样印在织布上。图二为一般编织物通过湿法工艺的示意图。

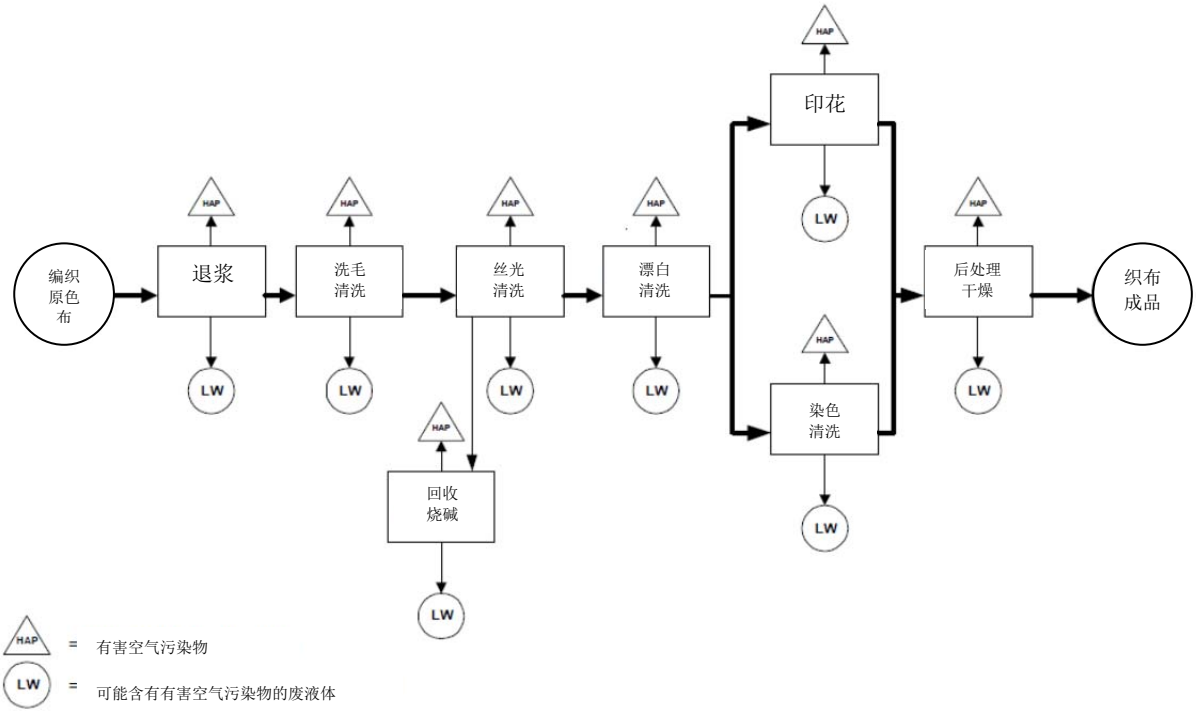


图 A-2. 一般编织物通过湿法工艺的示意图 (US EPA, 1998)

注释：HAP: Hazardous Air Pollutants, LW: Liquid Waste

A.4.1. 准备

准备工作包括织布在印染前要经过清洗或准备的一些步骤。准备工作至少包含：设定热度、退浆(仅限于编织品)、烧毛、洗毛、漂白与丝光工艺(仅限棉步)。不同准备步骤要使用不同的设备与化学品，但不是所有织布都需要经过这些步骤。退浆、洗毛与漂白均涉及去除杂质，可由不同洗涤机与蒸汽机完成。棉步是否要经过丝光工艺可由工厂自行决定，丝光的目的在于提高染料亲和力/吸收力，提高强度等。干燥一般多使用烤箱、滚筒或拉幅机(US EPA, 1998)。

[49] 本节摘录自 US EPA (1998)

A.4.2. 染色

染色是将带有染色牢固的颜料涂在整块织布上，通过连续与间歇工艺就可完成织布的染色，染色可选在制造工艺多个步骤的其中之一进行(即挤压纱线、织布与服装的纤维前，此时纤维仍处于稳定状态)。多种染色机可同时用于连续与间歇工艺。每个染色系统有不同的多面性、售价、织布张力、使用载体、重量限制等。染色系统又可分为水染色系统、非水染色系统(无机溶剂)或使用升华作用(热熔胶、传热)。亲水性纤维如棉花、人造丝、羊毛与丝，一般来说要比醋酸纤维、聚酯、聚酰胺与聚丙烯腈等容易上色(US EPA, 1998)。

A.4.3. 印花

虽然纯色或简单图样会偏好使用染色技术，但大多数其他情形则用印花技术。印花工艺要将浆状颜料以特定图样涂在织布上，并以蒸汽、热或化学物将颜料固定在织布上。使用的化学物种类包括涂料(用于大多数的印花布)或染料与助剂(如软化剂、糊料与交联剂)。涂料与染料虽有相同点，但不同点更多，如涂料不溶于水也不溶于常用的溶剂。在印花范围内，织布印花可以不同的印花技术完成，做常用的技术为圆网印花、平板筛网印花(主要用于定做的布料)、刻花铜辊印花、热移转印花(US EPA, 1998)。

A.4.4. 后处理

后处理是指在织布在完成编织或织针后，用于改善织布外观与实用性的工作(不含准备与著色)。后处理包含许多机械工艺(如变形工艺、起毛加工)与化学工艺(如抛光、软化剂、用于抗皱的尿素甲醛樹脂)，纤维、纱线或织布在经过这些工艺后，外观、组织结构或性能可以获得改善。后处理前可选择以对流(热空气)法或是导电法(滚筒干燥机)先将织布干燥。化学式的后处理可透过连续处理机(浸轧与拉幅机)完成。图A-3为一般织布的染色与后处理工艺 (US EPA, 1998)。

湿法工艺可用于纺织的所有环节：用于松散的纤维、纱条、纱线、织布与现成的纺织品。图A-4为德国不同纺织品采用湿法工艺的比重，由图可见，织布湿法工艺是所有湿法工艺中最常见的，也说明了何以织布湿法工艺的能耗量与用水量也较大，因此，针对纺织湿法工艺的节能研究相对也较多。本指南也将提高能源效率的重点放在织布湿法工艺上。

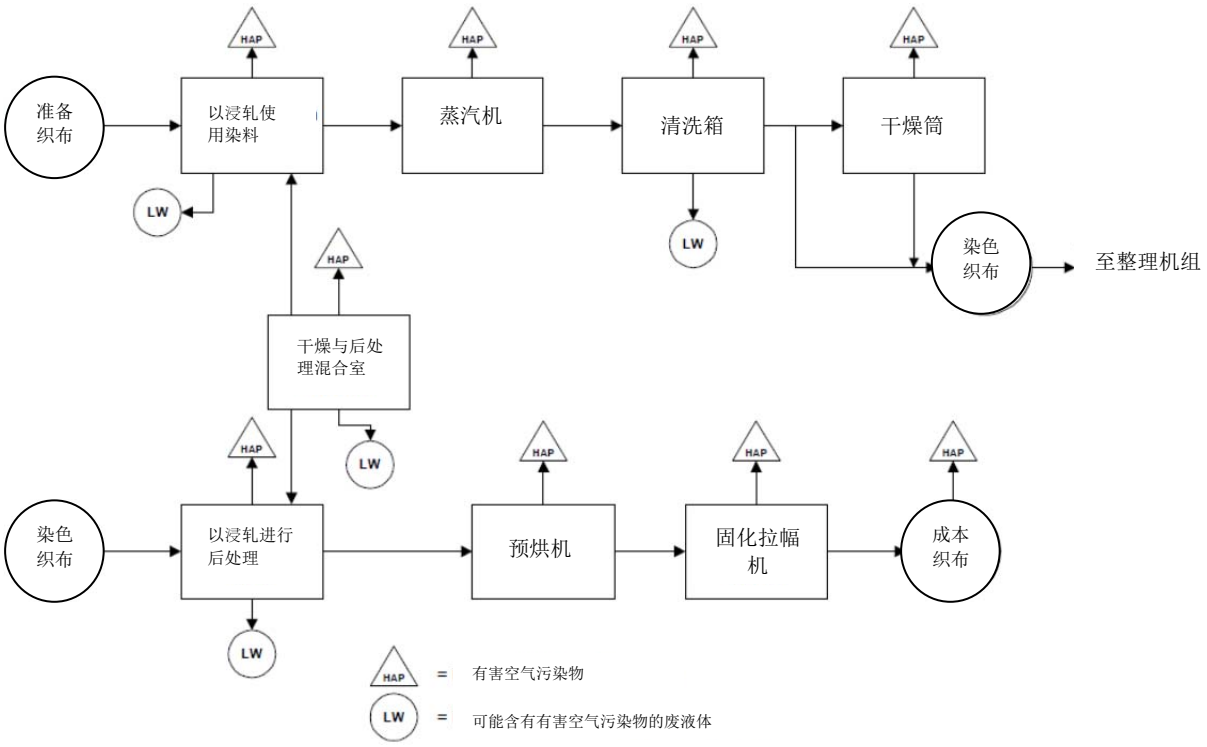


图 A-3. 一般织布的染色工艺与后处理工艺 (US EPA, 1998)

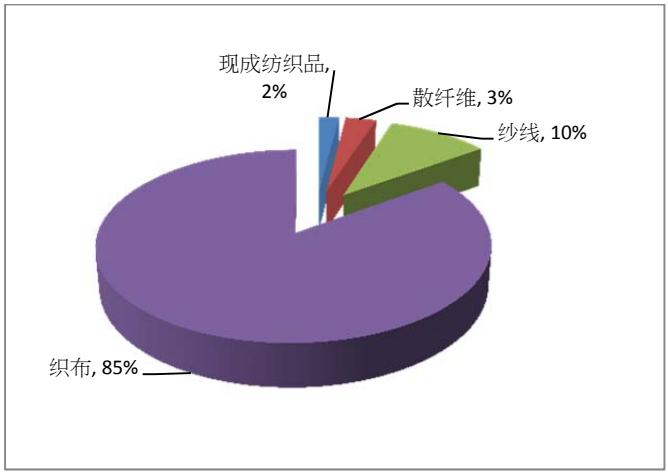


图 A-4. 德国不同纺织品采用湿法工艺的比重 (Schönberger and Schäfer, 2003)

附录 2. 环锭细纱机的技术参数示例[50]

Spindle speed	up to 25 000 rpm (mechanical)
Installed power – drive motors – drafting system drive – ring rail drive	 40, 55, 80 kW (depending on number of spindles and yarn count) without central drive 10 kW (total) with central drive 12.5 kW (total) 1.75 kW
Supply frequency 50 Hz: – suction motor up to 1 200 spindles – suction motor up to 1 440 spindles – suction motor up to 1 632 spindles	 6.5 kW 9.0 kW 12.6 kW
Supply frequency 60 Hz: – suction motor up to 1 200 spindles – suction motor up to 1 440 spindles – suction motor up to 1 632 spindles	 6.5 kW 9.0 kW 12.6 kW
Mains connection – standard – option	400 - 420 V, 50/60 Hz 380/440/460/480/500/550/575 V, 50/60 Hz
Compressed air – min. supply pressure – consumption (depending on yarn count)	 7 bar approx. 1.25 Nm^3/h (up to 1 200 spindles) approx. 1.75 Nm^3/h (up to 1 632 spindles)
Suction – air throughput – required vacuum	 9 500 m^3/h (1 632 spindles) 50 - 200 Pa

[50] 摘自Rieter，2010. 网址：http://www.rieter.com/cz/textile/short-staple-yarn/ring-spinning/g-35-ring-spinning-machine/?tx_damdownloadcenter_pi1%5Bfile%5D=166336&cHash=a1dcecc3ce