

Harald Schwipl  
Rieter Machine Works Ltd.  
Winterthur, Switzerland

2020年12月



# 再生纤维在纺纱行业日益重要

第1部分

# 目录

1.	再生纤维在纺纱行业日益重要	4
2.	市场标准和规范	5
3.	机械分解再生原料的纤维质量	6
3.1.	织物开松度	6
3.2.	分解工艺的纤维开松效率	7
3.3.	纤维长度特性	9
3.4.	原料分拣和纤维开松要求	12
4.	市场潜力	13
5.	纺纱工艺	14
6.	纤维准备	20
7.	环锭纱质量	23
7.1.	不匀率	23
7.2.	棉结	24
7.3.	强力和伸长率	25
7.4.	毛羽/摩擦	27
7.5.	高品质环锭纺备件套装	28
8.	赛络纱的纱线质量	29
9.	转杯纱与环锭纱的纱线质量对比	31
9.1.	不匀率	31
9.2.	棉结	33
9.3.	强力和伸长率	33
9.4.	毛羽和摩擦	35

10.	织物	36
10.1.	抗起毛起球性	36
10.2.	布面效果	37
10.3.	应用	38
11.	工艺流程建议	39
12.	经济可行性	41
13.	结论	43

# 1. 再生纤维在纺纱行业日益重要

近年来，由于环保意识增强，法律对可持续性的要求提高，原料成本上升，提高原料利用率在纺纱行业中非常重要。如今，再生纤维不仅涉及机械分解纺织品，而且还包括化学开松和回收利用生产的新型纤维。

纺纱过程中产生可以回收利用的原料-称为落棉。本刊将重点探讨纺纱过程中产生的落棉。再生原料：有

的来自消费前环节，有的则来自消费者穿过的旧衣物，即消费后的原料。

再生原料的典型应用是生产无纺布和低支短纤转杯纺纱(5 - 10英支)。现在，再生原料在纺纱工序中开发拓展，能够生产高质量要求的高支环锭纺纱。

再生原料产品设计思路灵活，消费者购买意愿不断增强，市场需求持续增长。为了满足这一需求，设备技术需要随之调整。此外，还要求整条价值链上的各个工业门类之间开展密切合作和协作。为了更清晰地展示理想的再生原料加工过程，立达立项研究：如何加工再生材料与不同比例原棉混纺。

## 再生原料定义 - 以棉为例

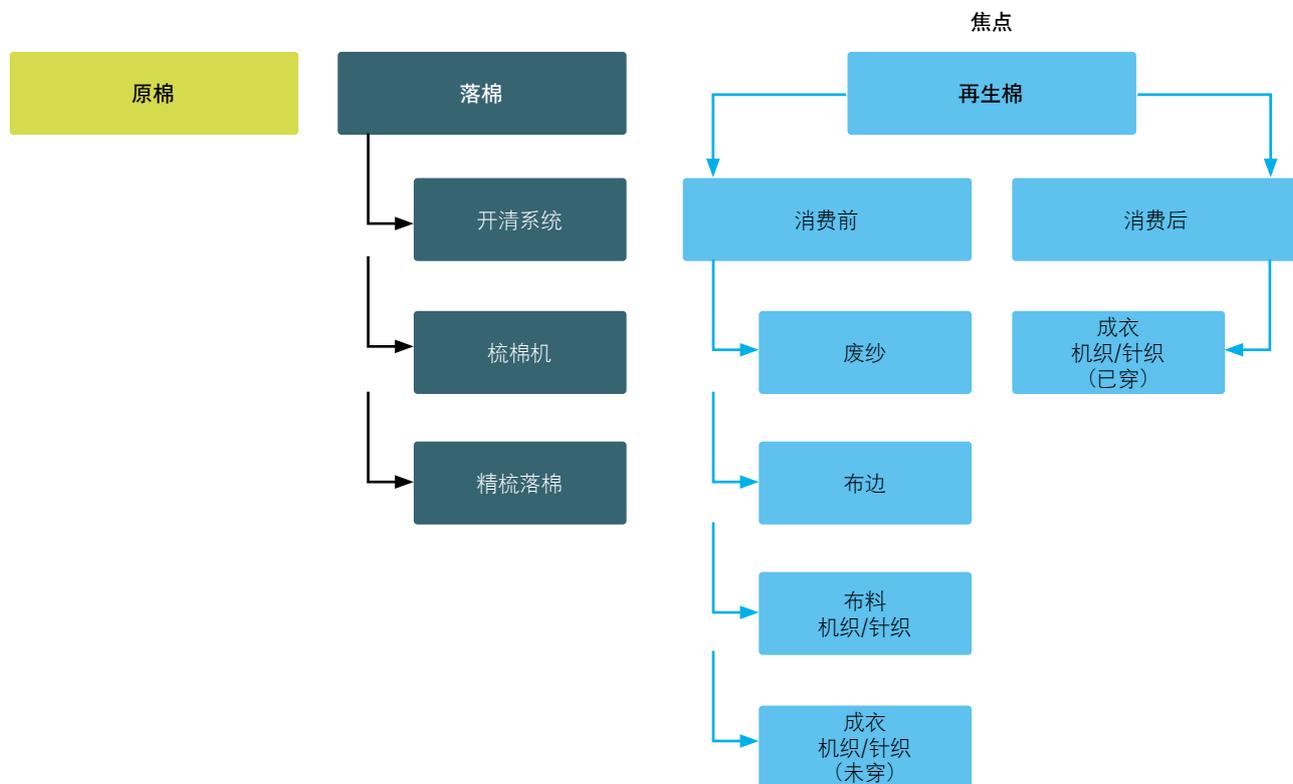


图1：再生原料定义

来源：工艺和过程分析

## 2. 市场标准和规范

现有多家研究机构制定布面标签，在产品营销中保护最终消费者。这些机构的重要目标之一，就是推广再生原料使用。当技术能够满足纺织成品的质量要求时，这一目标就有可能实现。原料质量、纱线支数以及适当的终端纺纱工艺，决定了成品是否达到要求。

所以与原棉混合不会产生贸易壁垒，也不会给最终消费者带来不确定性。

全球回收标准(GRS)适用于再生原料达到20%或以上的产品。GRS旨在满足希望验证其产品（成品和半成品）再生原料含量的公司需求，确保生产过程符合社会、环保和化学规范。GRS适用于业务涉及轧花、纺纱、机织、针织、染整、印花和缝纫工艺技术的企业。

市场上还有一些机构为消费者和厂商处理标准和标签。包括：

- 含量声明标准(CSS)
- 回收声明标准(RCS)
- 认证机构(CB)
- 合规证书(SC)
- 交易证书(TC)
- ISO/IEC：国际标准的结构和起草规则
- ISEAL：制定社会与环境标准的良好规范守则

### 3. 机械分解再生原料的纤维质量

再生原料准备对于纺纱工艺至关重要。这是一项特别的挑战，对于消费后原料非常重要。织物的开松度和效率决定了多少纤维已经为纺纱工艺做好了准备。实验中使用两个重要指标衡量开松质量。

如果残留布片占比为7.7%，则织物开松度(DFO)为92.3%。如果在实际梳理过程（锡林和盖板之间）之前，纺纱过程中的布片无法得到开松或清除，即使是如此低的残留布片占比，也可能对后续的梳理过程造成风险。

#### 3.1. 织物开松度

在当前实验中，分解处理后原料中残留的“未开松”布片数量占总重量的7 - 8%。

各种分解工艺的开松度定义如下：

$$\text{织物开松程度DFO [\%]} = \frac{\text{织物喂入} - \text{织物输出}}{\text{织物喂入}} \times 100$$

#### 纤维质量测定

100%棉包



图2：织物开松度是纺纱工艺的决定性因素。

棉包(7.65%)中针织布片放大图



来源：TIS 28967/工艺和过程分析

### 3.2. 分解工艺的纤维开松效率

除了关于纤维准备过程后残留布片数量的标准以外，经分解工艺开松的纤维数量也是一项重要标准。对纺纱无用，或者一定会在纺纱过程中清除的纤维碎片也在考虑范围之内。已经成功开松的纤维相对于尚未开松的纤维和纤维碎片定义如下：

在计算关键指标时，实验中采用了一种分拣尚未开松或损伤的纤维测试方法。使用该测试方法计算得出的数据必须与人工分拣结果尽量接近。然后使用重量分析得出占比。在比较了市场上的不同测量方法后，我们发现Shirley测试仪能够得到理想的分拣结果。

$$\text{织物开松效率EFO [\%]} = \frac{\text{原料} - \text{未开松纤维} - \text{纤维碎片}}{\text{原料}} \times 100$$

#### Shirley测试仪织物开松效率评估

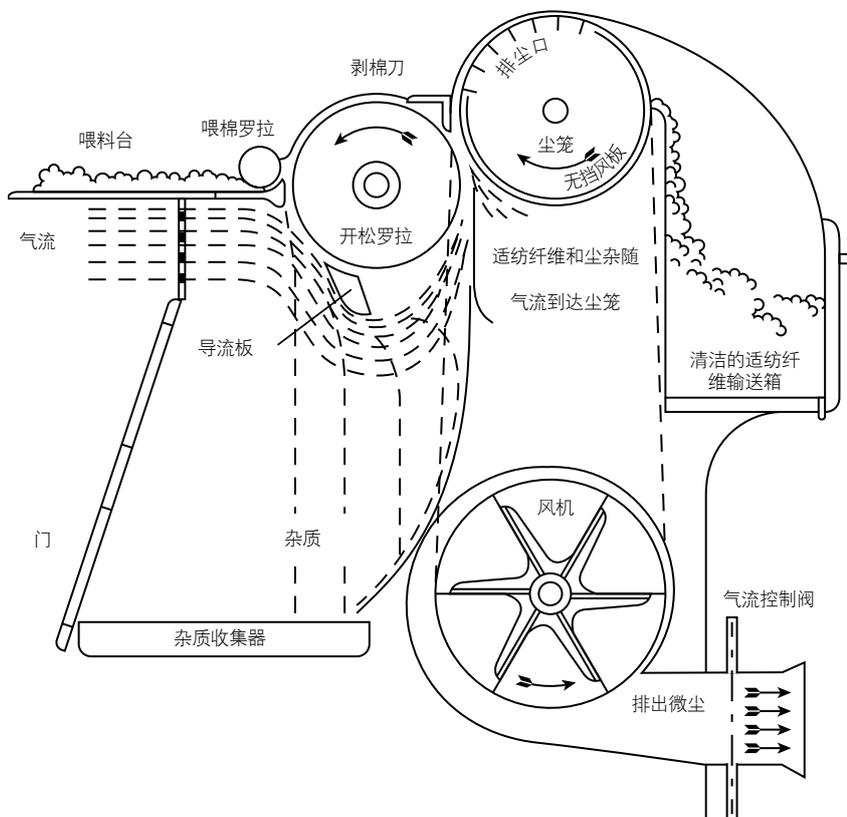


图3：Shirley测试仪准确测量分解过程的纤维开松效率。

来源：TIS 28967/工艺和过程分析

Shirley设备的测量结果与人工分拣结果非常接近。

### Shirley测试仪纤维开松效率评估

100%棉包

开松纤维46%

未开松纤维52.2%



图4：Shirley测试仪纤维开松完成

来源：TIS 28967/工艺和过程分析

### 人工评估纤维开松效率

100%棉包

开松纤维51.1%

未开松纤维48.9%



图5：人工纤维开松完成

来源：TIS 28967/工艺和过程分析

因此, 使用Shirley测试仪衡量分拣工艺, 得出纤维开松效率(EFO)为46%。无论是分解过程, 还是后道纺纱过程的纤维开松, 这一数

字都必须大幅提升。就原料开松除杂而言, 我们建议再生纤维在加工过程一开始就得到充分开松。

对于纤维开松而言, 可以总结和估算以下特定指标, 以便未来加工消费后原料。

	立达实验[%]	未来要求[%]
织物开松度	92.3	98
纤维开松效率	46	70

### 3.3. 纤维长度特性

纤维长度是分解工艺的关键指标，用于确定适用的后道纺纱工艺（环锭纺或转杯纺）、质量（条干）和最高纺纱支数（纱支）。

这些纤维长度特性取决于原料难开松（通常称为“消费后”）还是易开松（通常称为“消费前”）。另一项标准是消费后原料中的织物是针织还是机织，即织物结构。

近年来开展的研究表明，三种纤维长度特性对于质量分级非常重要：

近年来，不同原料类别的重要纤维特性参数都得到了记录。

- 短绒含量[%]
- 平均纤维长度[毫米]
- 5%纤维长度[毫米]

#### 短绒含量

不同的再生纤维

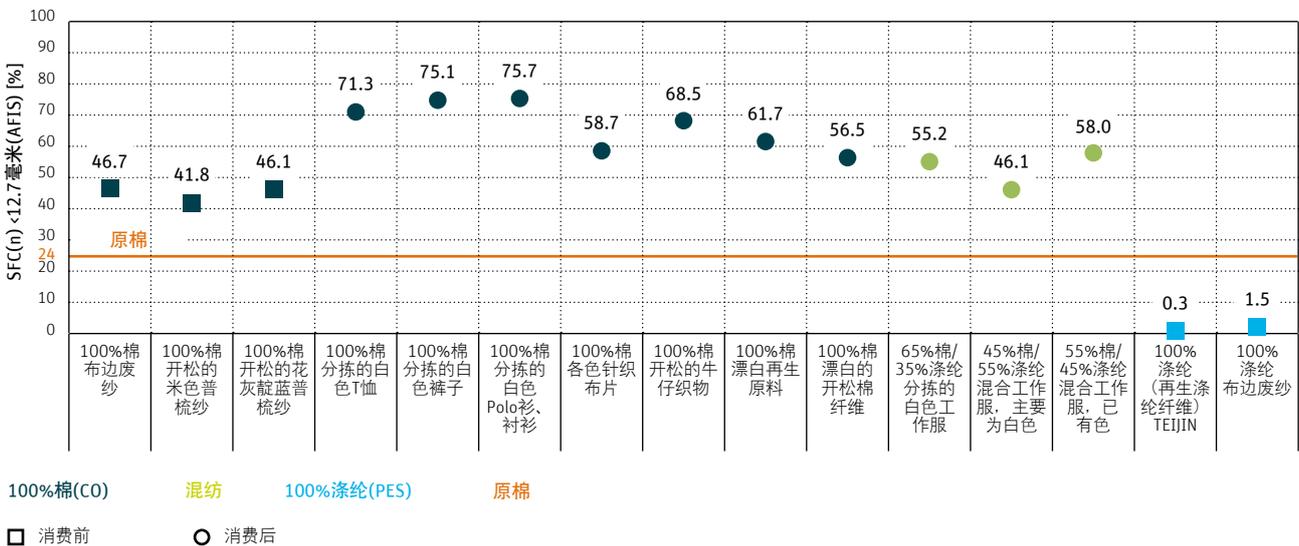
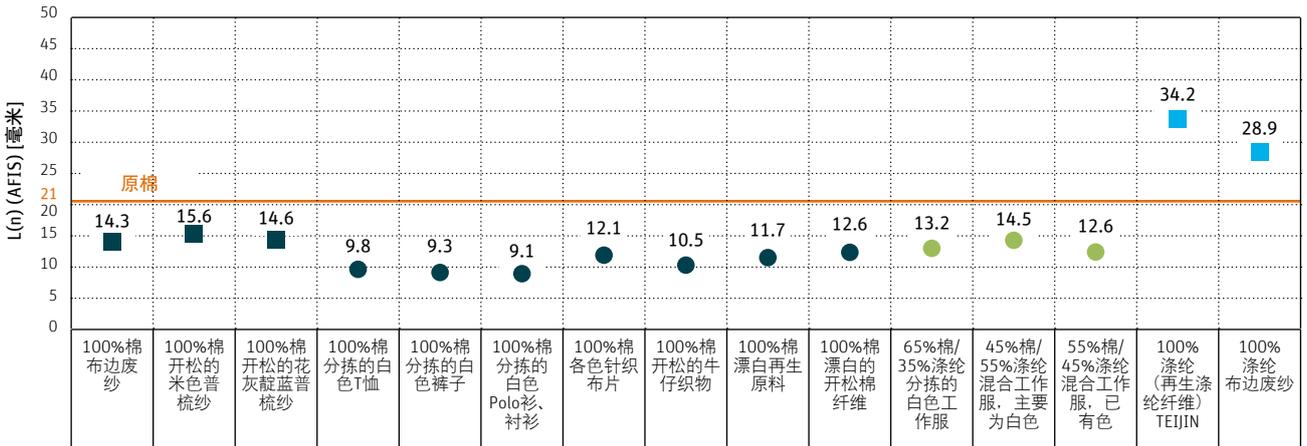


图6：消费后原料的短绒含量更高，因为开松难度更大。

来源：TIS 28487、28178、28572、28669、29074/工艺和过程分析

平均纤维长度  
不同的再生纤维



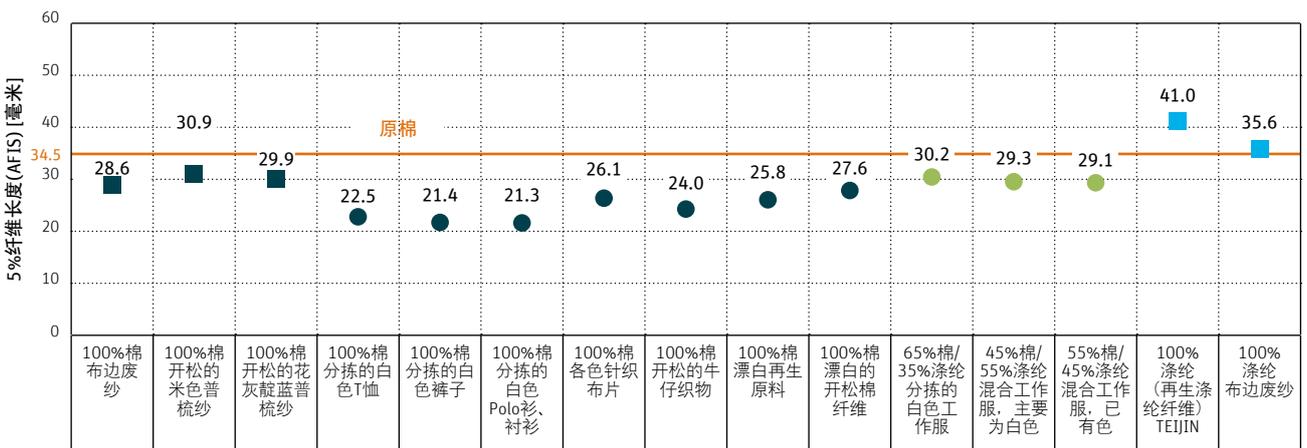
100%棉(CO)      混纺      100%涤纶(PES)      原棉

□ 消费前      ○ 消费后

图7：消费后原料显示出更短的平均纤维长度。

来源：TIS 28487、28178、28572、28669、29074/工艺和过程分析

长纤维含量  
不同的再生纤维



100%棉(CO)      混纺      100%涤纶(PES)      原棉

□ 消费前      ○ 消费后

图8：同样消费后原料中的长纤维含量更少。

来源：TIS 28487、28178、28572、28669、29074/技术工艺分析

利用这些信息，我们进行了以下分级。迄今为止，分级是估计原料可加工性和纱线质量的重要指标。

到“中”级再生原料为止，含量最多可达75%再生纤维的混纺纤维可使用环锭纺工艺进行加工。如果是更高等级的再生和使用化纤作为原生组分的原料，混纺中的再生纤维占比最高可达87.5%。市场中常见的最高再生纤维占比取决于质量、产量和

效率要求能否得到满足。今天，再生纤维的混合目标为25%至最高50%，这一点不难实现。如果技术资源相互协调，相关的工业门类之间加深合作，这一数字还将继续增大。

由于纤维在机械开松过程中，纤维损伤和/或产生短绒无可避免，因此后道纺纱过程尽力避免纤维品质进一步恶化。

#### 立达再生原料分级

再生纤维关键参数（根据AFIS系统开发）

分级	短绒含量	平均纤维长度	5%纤维长度
很好	45%	17毫米	31毫米
好	55%	14毫米	29毫米
中	60%	13毫米	28毫米
差	78%	10毫米	22毫米
原棉（参考）	24%	21毫米	34毫米

纤维应力/长度和纤维棉结能相互影响。

棉结含量不应超过每克纤维原料400 - 600个棉结

图9：立达再生原料分级是估计原料的可加工性和纱线质量的重要指标。

### 3.4. 原料分拣和纤维开松要求

未来会出台新的原料分拣和纤维开松工艺要求，标准也更为严格，以确保短纤纺纱过程高效，并能使用再生纤维生产出高质量产品。这也有助于确保再生原料的应用范围进一步扩大。

未来必然会根据最重要的工艺标准（如原料、织物结构和颜色）进行自动分拣。这需要长时间的跨部门合作，才能在已有或新开发的技术中找到合适的技术。

从截至到目前为止的技术工艺分析中，我们已确定了关于纤维开松的一些提取原料的重要优化和优先领域：

#### 分拣方式

- 原料种类
- 织物结构（机织/针织）
- 织物颜色

#### 开松设备设计和设置

- 针布或针钉开松
- 开松点数量
- 根据织物结构具体设置

#### 开松设备

- 使用辅助材料（如液体）减小“纤维金属应力”

未来，纺织行业中再生原料的规定使用比例将继续上升。原因包括原料资源有限（尤其是棉花）、消费者环保意识增强，以及特定国家/地区的现行再生法律规定。

尽管如此，现有再生行业的进一步发展需要整个纺织再生价值链的相互协调和优化。

再生市场将继续快速增长，因此各工业门类越快相互协调，发展将越顺利。包括：

- 原料采购/分拣
- 纤维开松
- 纺纱工艺
- 纱线进一步加工
- 设备
- 零售商

这将推动再生纤维准备和工艺加工系统的发展。

### 实现纺织行业闭环回收利用

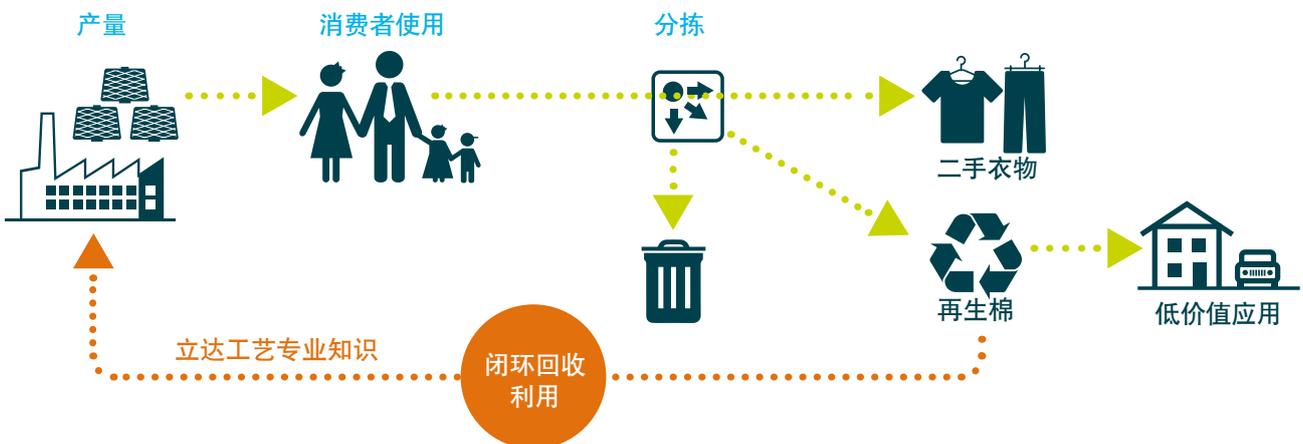


图10：“闭环回收利用”是纺织行业多年来追求的目标之一，它指的是以无原料损耗的方式对产品进行回收和再利用。

来源：TIS 28572/技术工艺分析

## 4. 市场潜力

目前，在纤维产量以及技术和物流因素的基础上，全球深度加工机械和化学方法产生的再生原料的市场潜力只能估计到2030年。

2019年，欧洲收集的纺织废品量估计为每年280万吨（来源：欧盟纺织服装工业联合会）。目前德国每年回收的纺织原料估计为130万吨。在瑞士，Texaid引用的数字为每年8.6万吨。当然，目前只有一小部分的已收集原料返回到再生加工过程中。这一考虑只表示仅欧洲可用的原料。因此，显然需要进行更多的研究和开发，从纺织价值链中回收更多的原料资源。

就棉花原料而言，在需求增加，提高原料利用率方面的法律变更，以及技术可行性的基础上，2030年再生比例预计可达到大约25%。但是，这只是估算结果。荷兰、瑞典等是对原料回收抱有积极态度的国家，其估算数据要高得多，可达到35%。粘胶、莫代尔、莱赛尔等纤维素人造纤维的再生比例约为10%，因为喂入纤维也常用于卫生产品，因此不可回收。对于其他人造纤维，这一数字也在10%左右，因为可再生原料主要用于PET瓶。这些数据表明，短纤维行业的实际再生原料市场潜力约为每年760万吨。

### 再生原料市场潜力

#### 纤维产量

2018年基本短纤维产量（百万吨）

#### 估计可用原料潜力

（百万吨）

#### 估计可用净原料潜力

（百万吨）

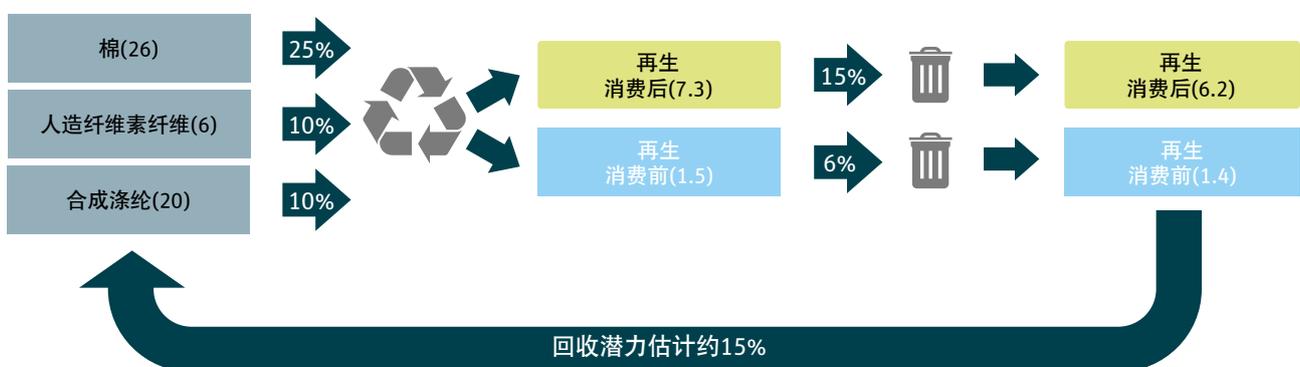


图11：实际再生原料市场潜力约为每年760万吨

来源：TIS 28572/技术工艺分析

## 5. 纺纱工艺

再生原料最高需求的应用是再生棉与原棉的混纺。这种应用通过计算原料准备和最佳机器配置，确定最优纺纱工艺。

研究第一阶段聚焦机械开松（开松棉纤维）的消费后再生纤维，及其与原棉的混纺。此外还评估了扩大再生市场的可能性，转杯纱和环锭纱（主要）的可能应用。

为了评估质量、性能和最优工艺步骤，根据前面定义的纤维长度特性，选择使用分级为“好”的漂白“消费后原料”。然后将该原料与1 1/8英寸原棉混合。实验中采用棉束混合工艺，从纺纱流程一开始就精确混合好原料，以便提高各个纺纱工序的运行可靠性和质量。

所用原料特性	测量装置	开松棉纤维	原棉	
原料		漂白棉	原棉	
产地		针织织物的开松棉纤维	乍得	
纤维UQL (w) [毫米]	AFIS	23.4	30.0	纤维长度
短绒含量< 12.7毫米(n) [%]	AFIS	56.5	22.4	
平均纤维长度L (n) [毫米]	AFIS	12.6	20.2	
平均纤维长度CV% L(n) [%]	AFIS	63.8	47.0	
5%纤维长度(n) [毫米]	AFIS	27.6	33.9	
纤维细度[分特克斯] 纤维细度[马克隆]	Vibrojet HVI	2.31[分特克斯]	4.14[马克隆] (计算得出1.63分特克斯)	细度
强力[厘牛/特克斯]	Vibrojet	22.4	20.9	强力/ 伸长率
伸长率[%]	Vibrojet	6.7	8.9	

来源：TIS 28572/技术工艺分析



图12：原料

来源：TIS 28178/工艺和过程分析

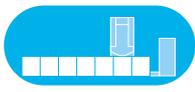
研究表明，不同原料组成的再生纤维混合比最高可达75%，通过纺纱工艺确保最终纤维结构。

纺纱计划包括最多75%再生纤维和25%原棉的混合。为了增强不同混纺原料的可比性，确定最佳工艺步骤，实验中保持产量不变，并以可达到的最高再生原料混合比来评估。这样就能根据混合比确定纺纱过程中的最优工艺步骤了。

## 纺纱工艺流程

为了确定最佳工艺步骤，使用以下环锭纺和转杯纺工艺流程加工不同的混纺原料。

### 短流程转杯纺工艺



VARIOline柔性开清

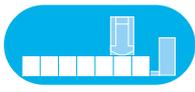


梳棉机  
配RSB模块



转杯纺纱机

### 短流程环锭纺工艺



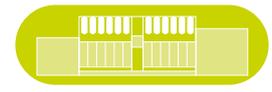
VARIOline柔性开清



梳棉机  
配RSB模块

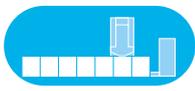


粗纱机



环锭细纱机

### 短流程转杯纺工艺



VARIOline柔性开清



梳棉机

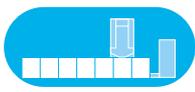


自调匀整并  
条机



转杯纺纱机

### 短流程环锭纺工艺



VARIOline柔性开清



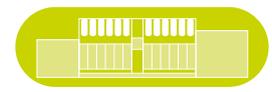
梳棉机



自调匀整并  
条机

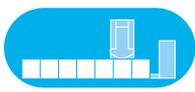


粗纱机



环锭细纱机

### 紧密纺赛络纱流程



VARIOline柔性开清



梳棉机



自调匀整并  
条机

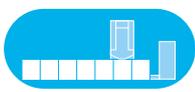


粗纱机



紧密纺纱机  
Com4®compact-twin紧密赛络纱

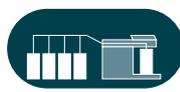
### 环锭纺传统工艺



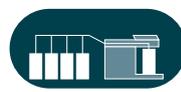
VARIOline柔性开清



梳棉机



并条机



自调匀整并  
条机



粗纱机



环锭细纱机

来源：工艺和过程分析

## 纺纱计划 – 75%开松棉纤维和25%原生棉的混纺原料加工

	机器	喂入 [特克斯]	并合 [倍]	牵伸 [倍]	产量 [特克斯]	捻度 [ae]/[捻/米]	眼数	
	开清系统							原生棉：A 12 – B 12 – B 34 – A 81 – A 79 开松棉纤维：----- B 34 – A 81 – A 79
直接流程	梳棉机 (32个活动盖板)				16000			80千克/小时
	带模块	16000	1	2.3	7000			
	转杯纺纱机	7000	1	237	30	4.7/828	130000转/分钟	纺杯33-XT-BD
	粗纱机	7000	1	9.3	738	2.27/80	1000转/分钟	
	环锭细纱机	738	1	15 20 25	49 37 30	4.7/641 4.7/740 4.7/828	14000转/分钟 15000转/分钟 16000转/分钟	钢领直径 42毫米
短流程	梳棉机 (32个活动盖板)				7000			80千克/小时
	并条机	7000	6	6	7000		500米/分钟	
	转杯纺纱机	7000	1	237	30	4.7/828	130000转/分钟	纺杯33-XT-BD
	粗纱机	7000	1	9.3	738	2.27/80	1000转/分钟	
	环锭细纱机	738	1	15 20 25	49 37 30	4.7/641 4.7/740 4.7/828	14000转/分钟 15000转/分钟 16000转/分钟	钢领直径 42毫米
赛络纱流程	梳棉机 (32个活动盖板)				7000			80千克/小时
	并条机	7000	6	8	5250		500米/分钟	
	粗纱机	5 250	1	14.2	369		1000转/分钟	
	紧密纺纱机	2 x 369	2	25	30	4.7/828	16000转/分钟	钢领直径 42毫米

来源：TIS 28178/工艺和过程分析

纺纱计划 – 50%开松棉纤维和50%原生棉的混纺原料加工

	机器	喂入 [特克斯]	并合 [倍]	牵伸 [倍]	产量 [特克斯]	捻度 [ae]/[捻/米]	眼数	
	开清系统	原生棉：A 12 – B 12 – B 34 – A 81 – A 79 开松棉纤维：----- B 34 – A 81 – A 79						
直接流程	梳棉机 (32个活动盖板)				16000		80千克/小时	
	带模块	16000	1	2.3	7000			
	转杯纺纱机	7000	1	237	30	4.7/828	130000转/分钟	纺杯33-XT-BD
	粗纱机	7000	1	9.3	738	1.99/70	1000转/分钟	
	环锭细纱机	738	1	15 20 25	49 37 30	4.7/641 4.7/740 4.7/828	14000转/分钟 15000转/分钟 16000转/分钟	钢领直径 42毫米
短流程	梳棉机 (32个活动盖板)				7000		80千克/小时	
	并条机	7000	6	6	7000		500米/分钟	
	转杯纺纱机	7000	1	237	30	4.7/828	130000转/分钟	纺杯33-XT-BD
	粗纱机	7000	1	9.3	738	1.99/70	1000转/分钟	
	环锭细纱机	738	1	15 20 25	49 37 30	4.7/641 4.7/740 4.7/828	14000转/分钟 15000转/分钟 16000转/分钟	钢领直径 42毫米
赛络纱流程	梳棉机 (32个活动盖板)				7000		80千克/小时	
	并条机	7000	6	8	5250		500米/分钟	
	粗纱机	5250	1	14.2	369		1000转/分钟	
	紧密纺纱机	2 x 369	2	25	30	4.7/828	16000转/分钟	钢领直径 42毫米

来源：TIS 28178/工艺和过程分析

## 纺纱计划 – 25%开松棉纤维和75%原生棉的混纺原料加工

	机器	喂入 [特克斯]	并合 [倍]	牵伸 [倍]	产量 [特克斯]	捻度 [ae]/[捻/米]	眼数	
	开清系统							原生棉：A 12 – B 12 – B 34 – A 81 – A 79 开松棉纤维：----- B 34 – A 81 – A 79
直接流程	梳棉机 (32个活动盖板)				16000			80千克/小时
	带模块	16000	1	2.3	7000			
	转杯纺纱机	7000	1	237	30	4.7/828	130000转/分钟	纺杯33-XT-BD
	粗纱机	7000	1	9.3	738	1.71/60	1000转/分钟	
	环锭细纱机	738	1	15 20 25	49 37 30	4.7/641 4.7/740 4.7/828	14000转/分钟 15000转/分钟 16000转/分钟	钢领直径 42毫米
短流程	梳棉机 (32个活动盖板)				7000			80千克/小时
	并条机	7000	6	6	7000		500米/分钟	
	转杯纺纱机	7000	1	237	30	4.7/828	130000转/分钟	纺杯33-XT-BD
	粗纱机	7000	1	9.3	738	1.71/60	1000转/分钟	
	环锭细纱机	738	1	15 20 25	49 37 30	4.7/641 4.7/740 4.7/828	14000转/分钟 15000转/分钟 16000转/分钟	钢领直径 42毫米
赛络纱流程	梳棉机 (32个活动盖板)				7000			80千克/小时
	并条机	7000	6	8	5250		500米/分钟	
	粗纱机	5250	1	14.2	369	1.19/59	1000转/分钟	
	紧密纺纱机	2 x 369	2	25	30	4.7/828	16000转/分钟	钢领直径 42毫米
传统流程	梳棉机 (32个活动盖板)				7000			80千克/小时
	头道并条	7000	6	6	7000		500米/分钟	
	二道并条	7000	6	6	7000		500米/分钟	
	粗纱机	7000	1	9.3	738	1.71/60	1000转/分钟	
	环锭细纱机	738	1	15 20 25	49 37 30	4.7/641 4.7/740 4.7/828	14000转/分钟 15000转/分钟 16000转/分钟	钢领直径 42毫米

来源：TIS 28178/工艺和过程分析

## 6. 纤维准备

加工再生纤维时，梳棉机之前的纤维准备配置必须在棉生产线的基础上进行改动。与原生棉纤维混合，还必须确保适当的各组分分配量以及再生纤维的长期一致性。在整个流程中，可根据质量要求使用不同的选项。该研究的重点为两种原料组分的配量，而非再生组分的长期一致性。这是因为再生原料来自同一生产批次，并且只使用少量稳定的喂入。根据一致性要求，可以在过程开始时使用混合仓加工再生原料，或者在两种原料组分的配料单元之后使用，以确保长期一致性。

纤维长度特性参数是重要的标准，因此短纤纺纱过程中不得再进一步损伤纤维。不能进一步增加短纤维，也不能减少中长纤维（5%纤维长度）。这一点通过使用正确的流程装置、设置和工艺部件来实现。

流程阶段中的短纤维含量  
29.7毫米原生棉，4.1马克隆/开松棉纤维

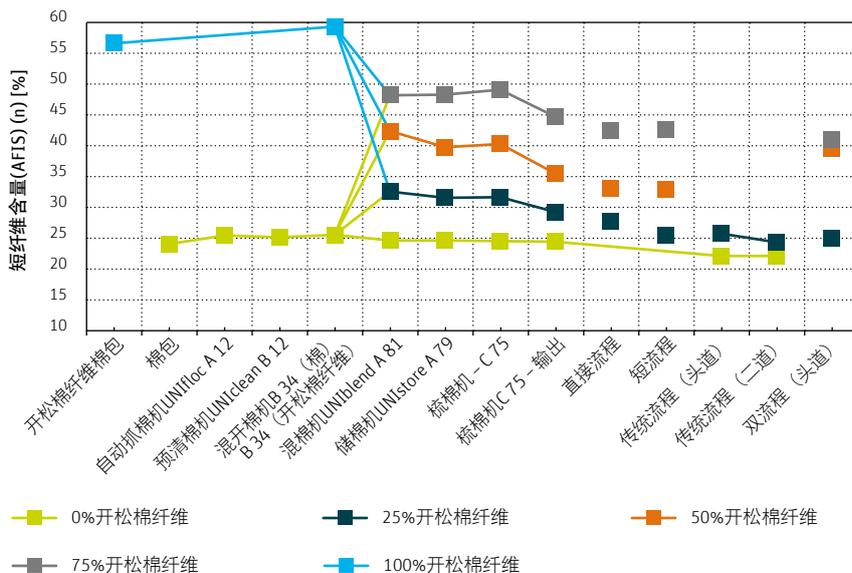


图13：从棉包到并条机棉条的短纤维含量

来源：TIS 28178/工艺和过程分析

过程阶段中的平均纤维长度  
29.7毫米原生棉，4.1马克隆/开松棉纤维

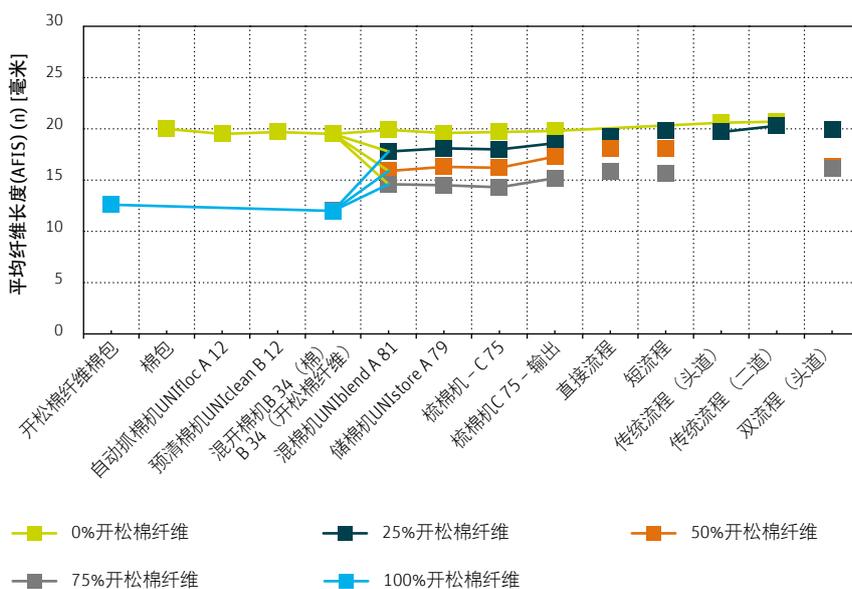


图14：从棉包到并条机棉条的平均纤维长度

来源：TIS 28178/工艺和过程分析

对梳棉机而言，重要的是使用最佳梳棉机型号（例如C 75）、合适的针布和设置。这里的梳棉机型号表示锡林和盖板之间的适当梳棉长度。合适的针布和设置可实现从锡林到道夫，以及从道夫到棉网集中装置的出色纤维转移。这样一来，梳棉机产量可达到80千克/小时，还能减少棉结数量，对于原生棉而言也是如此。

过程阶段中的5%纤维长度  
29.7毫米原生棉，4.1马克隆/开松棉纤维

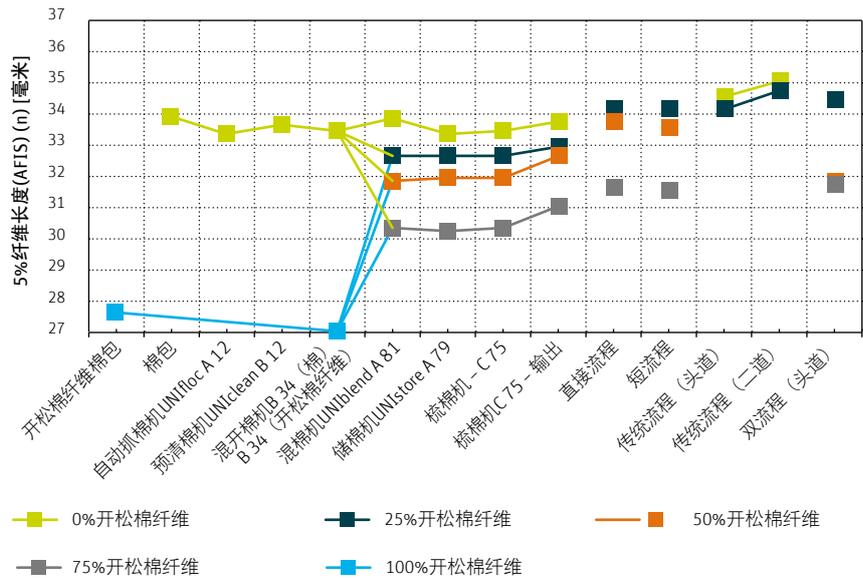


图15：从棉包到并条机棉条的长纤维

来源：TIS 28178/工艺和过程分析

过程阶段中的棉结  
29.7毫米原生棉，4.1马克隆/开松棉纤维

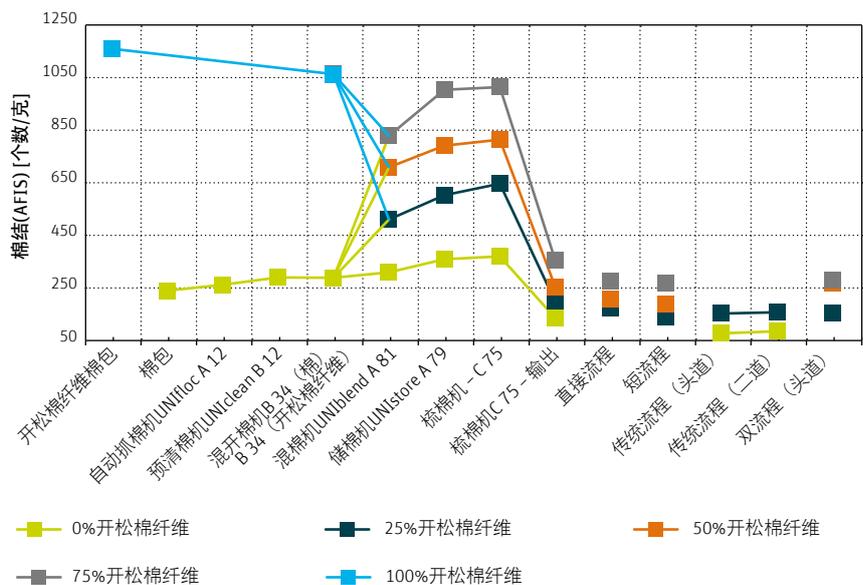


图16：从棉包到并条机棉条的棉结

来源：TIS 28178/工艺和过程分析

主牵伸区域中有效的握持距，是后道并条机工艺的重要设置。有时，握持距不足可通过后牵伸和主牵伸之间的牵伸部分稍许优化。这可通过增加后牵伸隔距并降低主牵伸隔距来实现。最好根据纤维长度调整最佳距离。

由于短纤维长度比原生棉更短，因此需要在粗纱机上达到2900厘牛的最大粗纱抱合强度限值（如有可能）。否则无法在环锭细纱机上实现均匀牵伸，由于粗纱中的纤维质量分布不匀。Rothschild测量仪在不同牵伸下测量的“粗纱抱合强度变化”表明，环锭细纱机上的后牵伸高度不得超过1.25倍。否则，环锭细纱机上的后牵伸会对牵伸产生不良影响，从而影响纱线条干，具体视混纺中的开松棉纤维含量而异。

开松棉纤维含量越高，粗纱捻系数或捻度越大。

**粗纱抱合强力变化**

29.7毫米原生棉，4.1马克隆/开松棉纤维，0.8英支

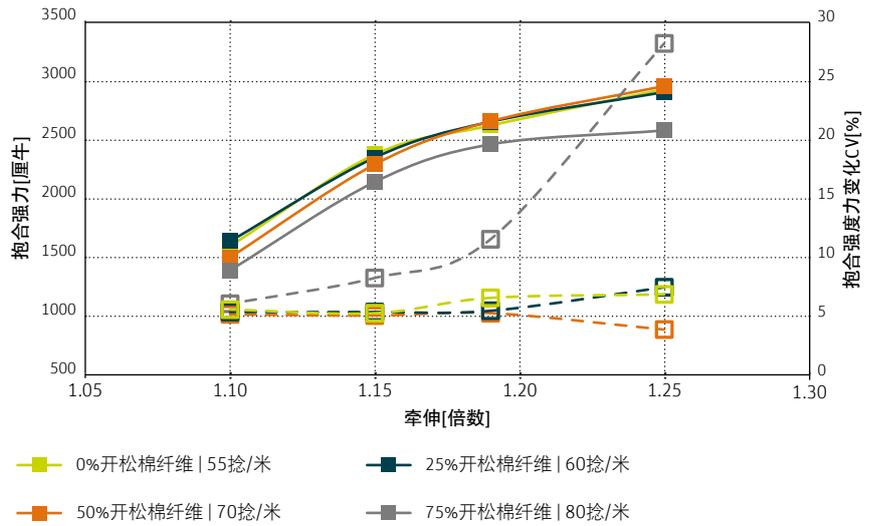


图17：抱合强力表示环锭细纱机上的后牵伸高度。

来源：TIS 28178/工艺和过程分析

**捻系数与开松棉纤维占比关系图**

29.7毫米原生棉，4.1马克隆/开松棉纤维，0.8英支

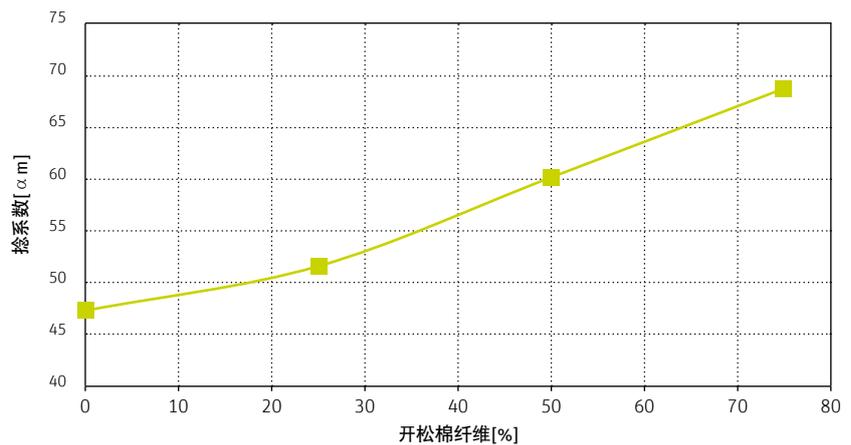


图18：再生原料比例越高，粗纱机上的扭转越大，产能越低。

来源：TIS 28178/工艺和过程分析

## 7. 环锭纱质量

### 7.1. 不匀率

不匀率随开松棉纤维含量的增加而上升。当开松棉纤维含量达到50%时，不匀率绝对值比原生原料高出4%。只有当再生组分含量为75%时，不匀率值才会远远超过使用原生原料的不匀率。实际生产中，与其对比原生原料质量，不如考虑哪种产品可以使用不匀率更高的纱线。然而就可加工性和质量而言，75%已成为再生纤维含量的极限。

开松棉纤维含量越高，纱线支数的差异越小。一个重要的发现是，使用一道并条机工艺是加工再生纤维混纺的最佳选择。无论是采用RSB模块的直接流程，还是采用两道并条机的传统工艺，都不适合此过程。关于直接流程不适用的一个观点是，除了短纤维以外，再生纤维和与原生棉混合的再生纤维都有足够的载体纤维，可达到最佳牵伸过程。即使开松棉纤维含量达到75%，短纤维含量也仅仅约为42%，因此尚未达到直接流程的建议使用范围。

尽管如此，由于总牵伸较小，直接流程可提升整体棉条抱合强度力，这通常可以减少牵伸错误，从而小幅改善长波剪切长度范围的不匀率。为此，并条机的牵伸和合并设置不得超过6倍。如果因需要细支粗纱而生产细支棉条，则合并应减至4倍。在传统工艺中，总牵伸会过大，无法实现均匀的棉条牵伸。

#### 不同并条机道数的不匀率

29.7毫米原生棉，4.1马克隆/开松棉纤维，环锭纱， $\alpha_e$  4.7

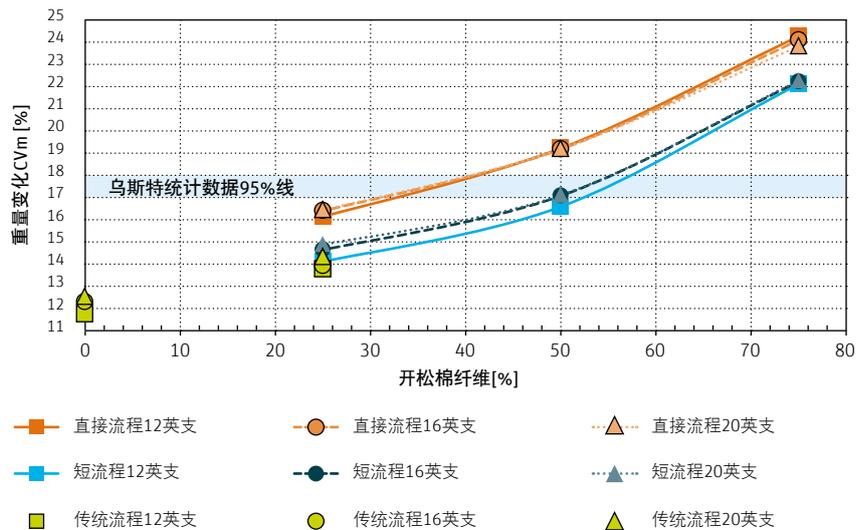


图19：当开松棉纤维含量达到50%时，不匀率绝对值比原生原料高出4%。

来源：TIS 28178/工艺和过程分析

## 7.2. 棉结

纤维棉结的形成更多地受到纤维破碎过程的影响，而非短纤维纺纱过程中的纤维准备。这就是再生纤维含量为50%的混纺纱中的棉结数量已经远远多于100%原生纱的原因。不匀率和棉结指标都显示出，再生纤维含量为50%的混纺纱已经呈现出独特的纱线结构。因此，必须根据质量和设计要求选择后道纱线加工应用。

不同并条机道数的棉结

29.7毫米原生棉，4.1马克隆/开松棉纤维，环锭纱， $\alpha_e$  4.7

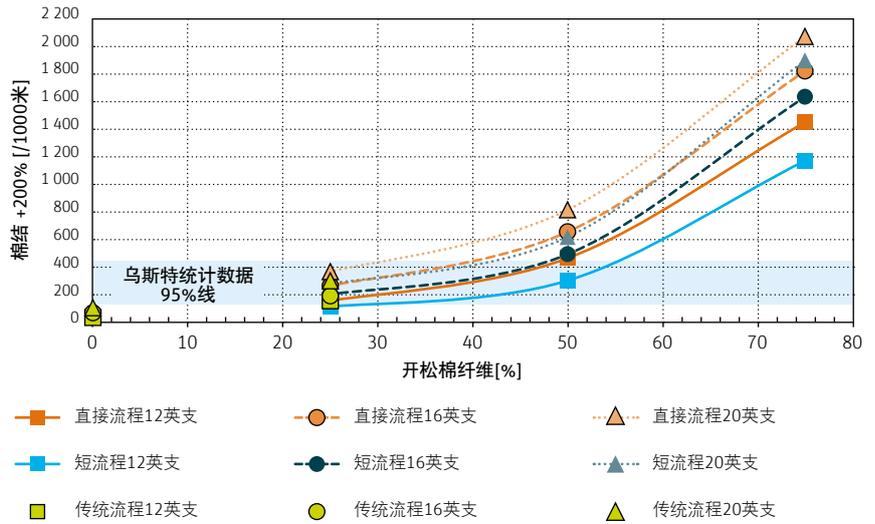


图20：再生纤维含量为50%的混纺纱比100%原生棉纱的棉结更多，因此呈现出独特的纱线结构。

来源：TIS 28178/工艺和过程分析

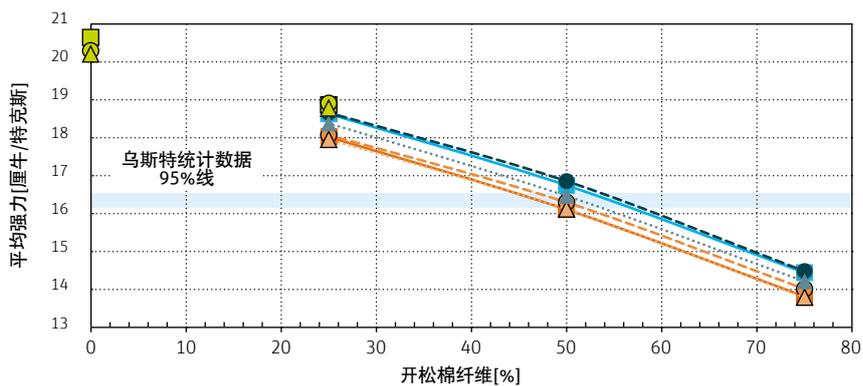
### 7.3. 强力和伸长率

纱线强力随着再生纤维和短纤维含量的增加而降低。短牵伸流程生产的纱线的绝对强力值高出直接流程0.5厘牛/特克斯。

如果假设喷气织机要求纱线具有12厘牛/特克斯的平均最小强力、12英支至20英支的纱线支数，8厘牛/特克斯的最小强力和2%的平均伸长率，那么再生纤维含量高达75%的纱线依然可在机织厂中用于纬纱织造。

#### 不同并条机道数的纱线断裂强力

29.7毫米原生棉，4.1马克隆/开松棉纤维，环锭纱， $\alpha_e$  4.7



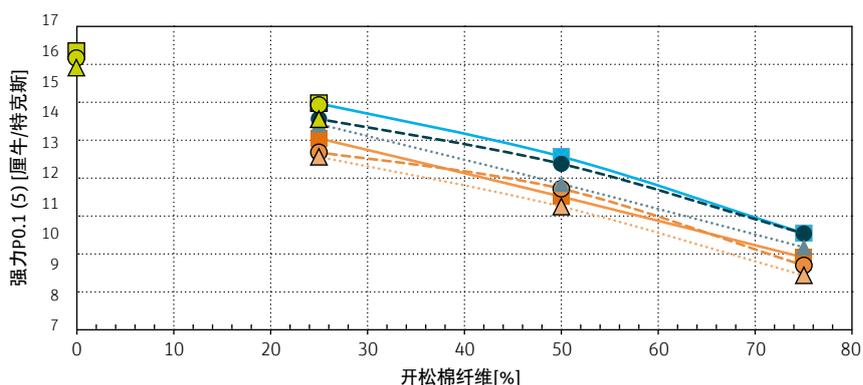
- 直接流程12英支
- 直接流程16英支
- ▲— 直接流程20英支
- 短流程12英支
- 短流程16英支
- ▲— 短流程20英支
- 传统流程12英支
- 传统流程16英支
- ▲— 传统流程20英支

图21：图中所有纱线的纱线强力超过12厘牛/特克斯，可用于机织厂的纬编工艺。

来源：TIS 28178/工艺和过程分析

#### 不同并条机道数的纱线断裂强力

29.7毫米原生棉，4.1马克隆/开松棉纤维，环锭纱， $\alpha_e$  4.7



- 直接流程12英支
- 直接流程16英支
- ▲— 直接流程20英支
- 短流程12英支
- 短流程16英支
- ▲— 短流程20英支
- 传统流程12英支
- 传统流程16英支
- ▲— 传统流程20英支

图22：纱线的最小强力比平均强力低4厘牛/特克斯。

来源：TIS 28178/工艺和过程分析

不同并条机道数的纱线断裂伸长率

29.7毫米原生棉，4.1马克隆/开松棉纤维，环锭纱， $\alpha_e 4.7$

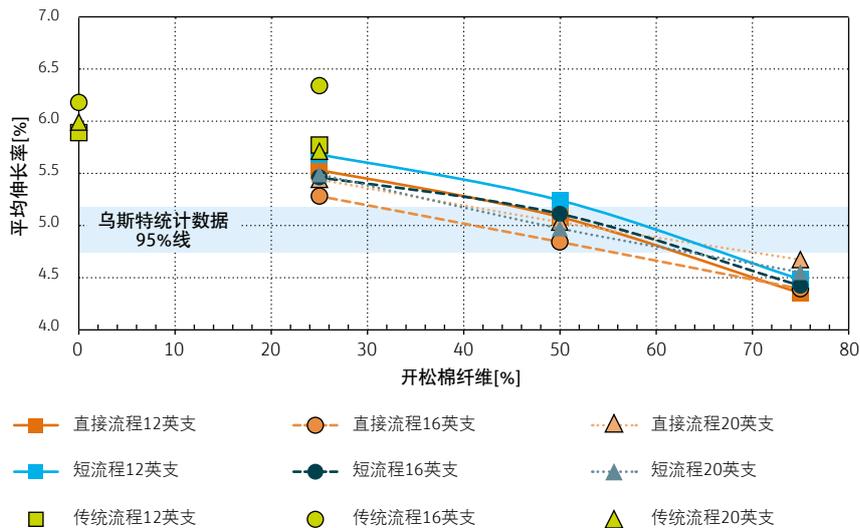


图23：图中所有纱线的纱线伸长率超过2%，可用于机织厂的纬纱。

来源：TIS 28178/工艺和过程分析

不同并条机道数的纱线断裂伸长率

29.7毫米原生棉，4.1马克隆/开松棉纤维，环锭纱， $\alpha_e 4.7$

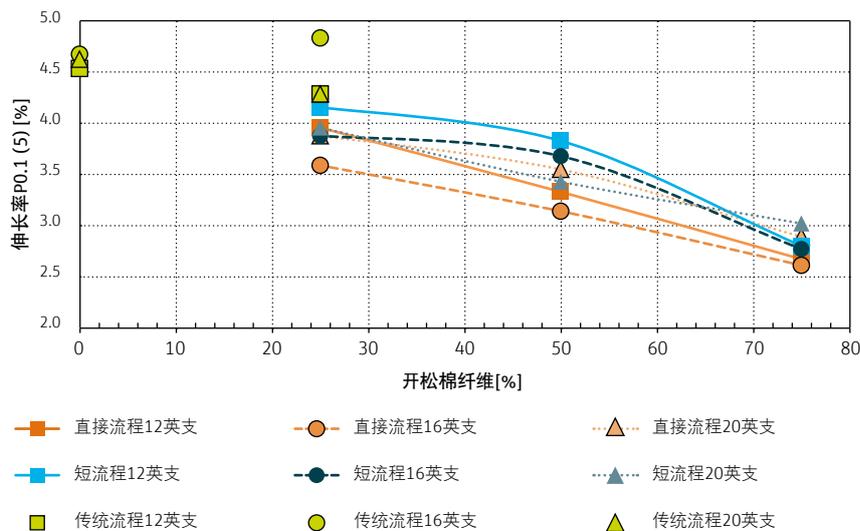


图24：纱线的最小伸长率比平均伸长率小约2%。

来源：TIS 28178/工艺和过程分析

### 7.4. 毛羽/摩擦

毛羽与短纤维含量直接相关，因此对耐磨性不利。这意味着从50%的再生纤维含量起，起毛起球等服用性能会降低，尤其在针织织物中。机织织物中纱线更紧密，因此影响更小。尽管如此，成品的使用寿命仍然比原生产品要短。因此，使用可持续性原料的优势因成品使用寿命缩短而有所减弱。由于时装产品通常使用寿命较短，所以这一缺点不会对最终用户造成影响。

与直接流程相比，短流程具有明显的重要优势，但是由于再生纤维含量超过30%的混纺纤维的伸直平行度更高，因此摩擦系数稍有增大。从50%的再生纤维含量起，短流程生产的纱线摩擦系数大于直接流程。尽管如此，必须整体考虑和权衡优点和缺点。

不同并条机道数的毛羽

29.7毫米原生棉，4.1马克隆/开松棉纤维，环锭纱， $\alpha_e$  4.7

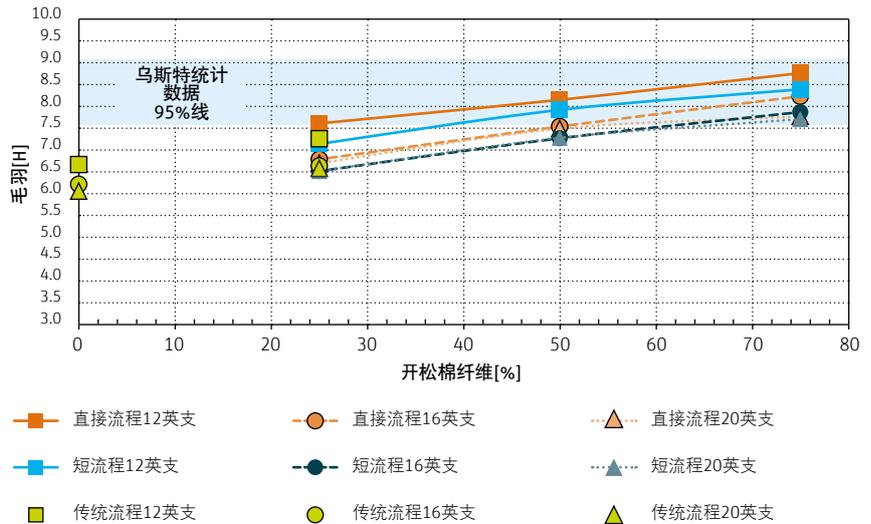


图25：毛羽与短纤维含量直接相关，可增大摩擦，从而影响起毛起球等服用性能，尤其在针织物中。

来源：TIS 28178/工艺和过程分析

### 不同并条机道数的摩擦

29.7毫米原生棉, 4.1马克隆/开松棉纤维, 环锭纱,  $\alpha_e$  4.7

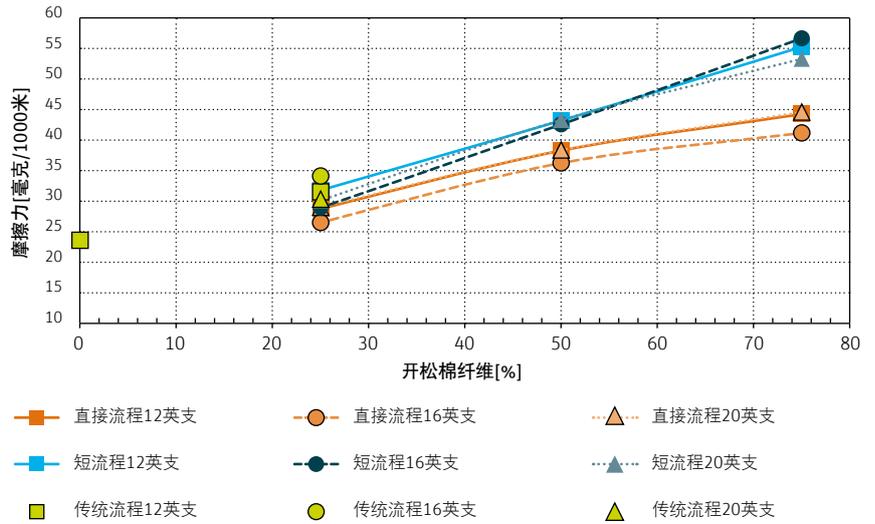


图26: 从50%的再生纤维含量起, 短流程生产的纱线摩擦系数大于直接流程。

来源: TIS 28178/工艺和过程分析

## 7.5 高品质环锭纺备件套装

为了在环锭细纱机上加工再生纤维, 牵伸系统需要使用特殊的纤维喂入元件。这种高品质备件套装适用于环锭细纱机和紧密纺纱机, 用于棉纺时, 在整个纺纱流程中可减少常发性纱疵(IPI)。高品质备件套装在不影响纱线强度的前提下, 可减少常发性纱疵和偶发性纱疵。

### 环锭细纱机的高品质备件套装



图27: 根据纤维需求, 提供不同的环锭细纱机牵伸系统元件。

来源: TIS 28178/工艺和过程分析

## 8. 赛络纱的纱线质量

在紧密纺纱机上生产赛络纱 (Com4®compact-twin紧密赛络纱), 可在25%的低再生纤维含量下, 将不均匀率绝对值进一步减小1%。这相当于相对值降低了7%。

生产赛络纱还会在纱线强力、毛羽和摩擦方面有大幅改善。就绝对值而言, 平均纱线强力可增加2厘牛/特克斯。毛羽绝对值可减小约一个百分点, 而摩擦相对值至少可减小50%。

环锭纱和紧密赛络纱的纱线断裂强力对比

29.7毫米原生棉, 4.1马克隆/开松棉纤维, 短流程, 20英支, ae 4.7

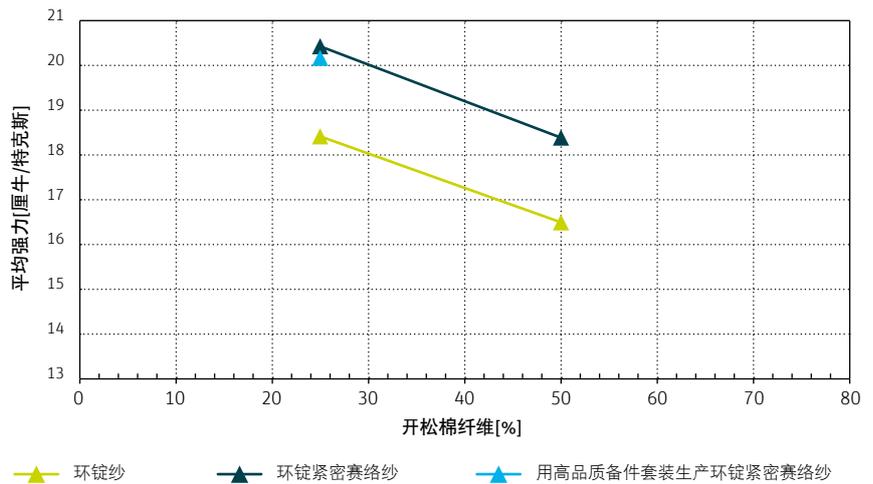


图28: 与单纱相比, 紧密赛络纱的纱线强力可增大2厘牛/特克斯。

来源: TIS 28178/工艺和过程分析

环锭纱和紧密赛络纱的毛羽对比

29.7毫米原生棉, 4.1马克隆/开松棉纤维, 短流程, 20英支, ae 4.7

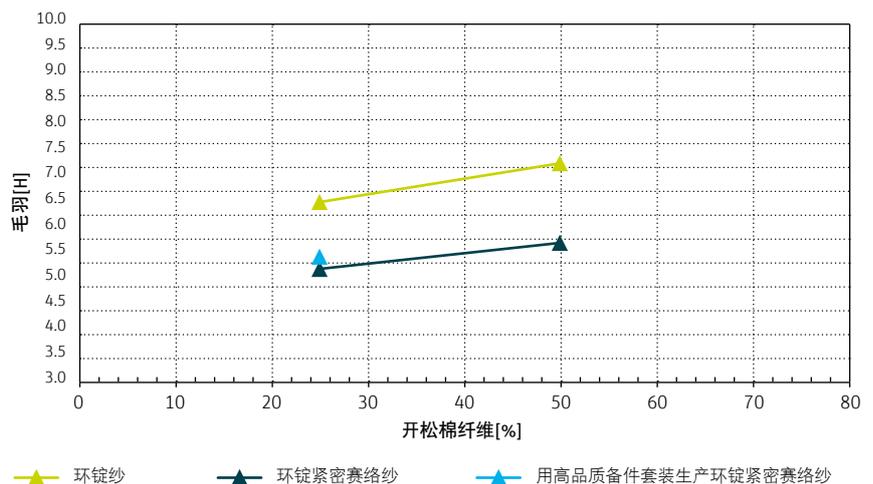


图29: 紧密赛络纱的毛羽绝对值可减小一个百分点。

来源: TIS 28178/工艺和过程分析

### 环锭纱和紧密赛络纱的摩擦对比

29.7毫米原生棉，4.1马克隆/开松棉纤维，短流程，20英支， $\alpha_e 4.7$

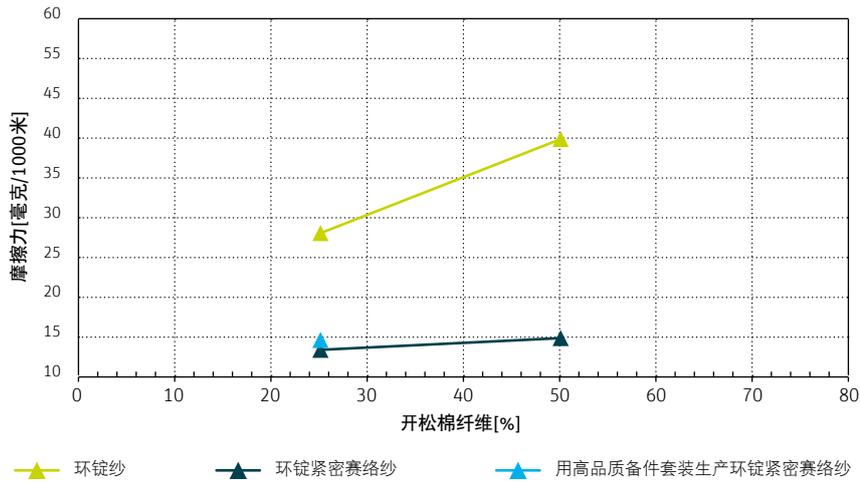


图30：紧密赛络纱的摩擦相对值至少可减小50%。

来源：28178/工艺和过程分析

## 9. 转杯纱与环锭纱的纱线质量对比

### 9.1. 不匀率

总的来说，转杯纺纱机更适合加工短纤维含量高的原料(> 30%)，产出的纱线条干更好。这是因为开松纤维在封闭式纤维喂入通道中更好地喂入，以及单纤维在纺杯中进行后道合并。使用的开松棉纤维含56%的短绒，因此短绒含量在30%和45%之间，具体取决于原生棉的混合比例。就纱线条干而言，转杯纺工艺的定性优势更明显。

此外，转杯纺工艺还提供两种过程步骤选项。直接流程可增大棉条抱合长度，因此会小幅改善1-3米剪切长度范围的长波不匀率。然而从反面来看，缺乏棉条合并会对再生原料的长期同质性造成不良影响。转杯纺工艺中可采用两种过程步骤，即直接流程和短流程。

#### 环锭纱和转杯纱的不匀率

29.7毫米原生棉，4.1马克隆/开松棉纤维，20英支， $\alpha_e$  4.7，纺杯33-XT-BD

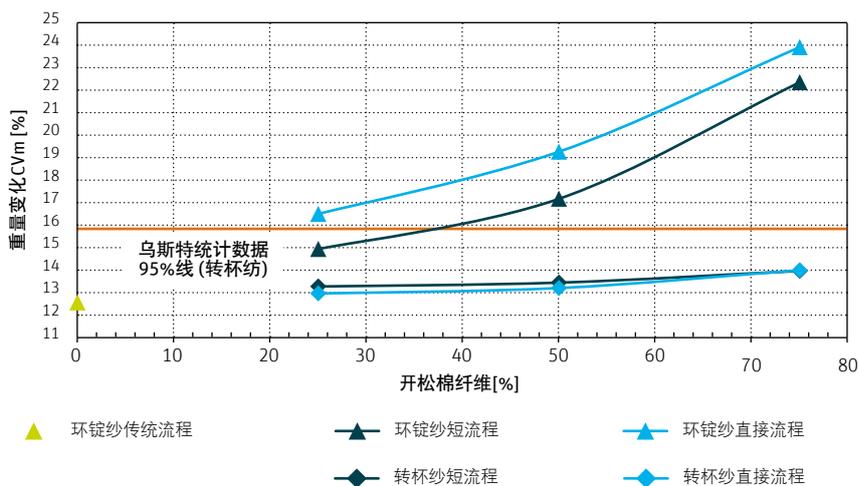


图31：转杯纺纱机更适合加工短纤维含量高的原料，产出的纱线条干更好。

来源：TIS 28178/工艺和过程分析

#### 环锭纱和转杯纱的不匀率

29.7毫米原生棉，4.1马克隆/开松棉纤维，20英支， $\alpha_e$  4.7，纺杯33-XT-BD

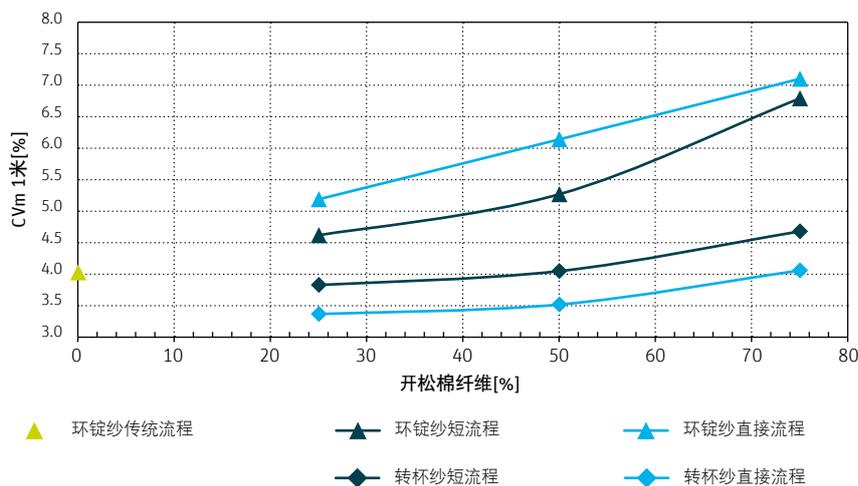


图32：两种转杯纺工艺都获得可接受的指标，当加工开松棉纤维含量高的原料时也是如此。

来源：TIS 28178/工艺和过程分析

环锭纱和转杯纱的不匀率

29.7毫米原生棉, 4.1马克隆/开松棉纤维, 20英支,  $\alpha_e$  4.7, 纺杯33-XT-BD

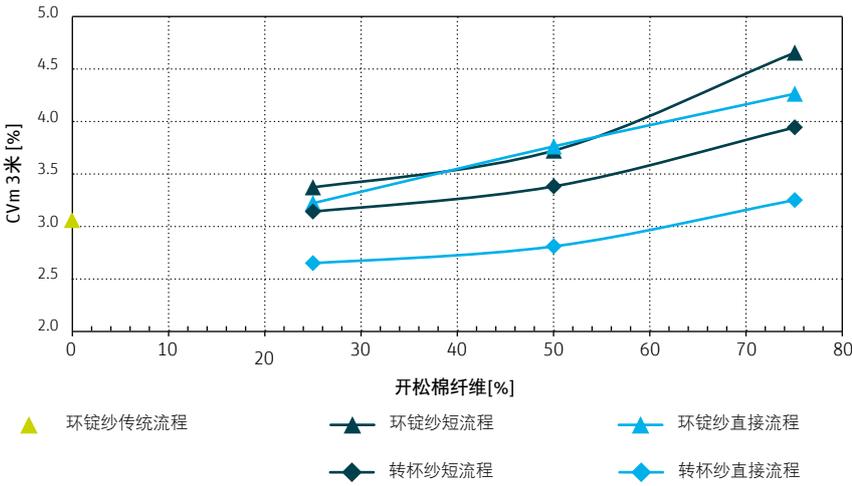


图33: 棉条抱合长度更高的转杯纺直接流程可改善长波不匀率。

来源: TIS 28178/工艺和过程分析

环锭纱和转杯纱的不匀率

29.7毫米原生棉, 4.1马克隆/开松棉纤维, 20英支,  $\alpha_e$  4.7, 纺杯33-XT-BD

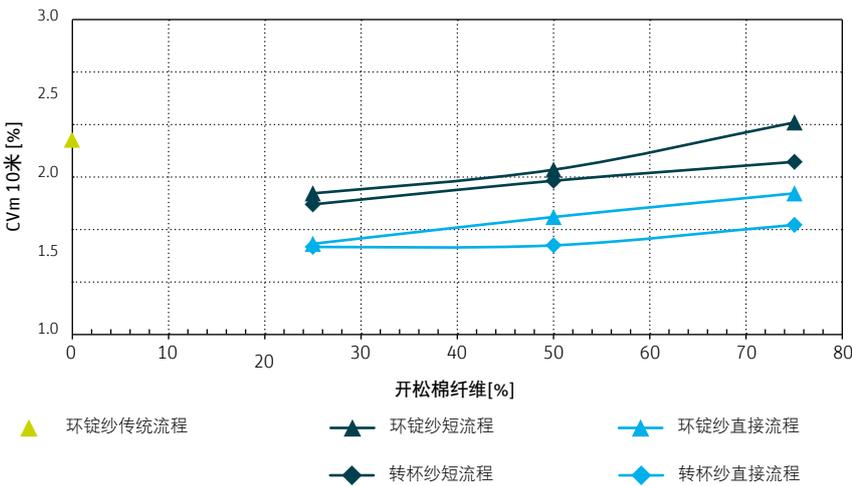


图34: 在此, 转杯纺直接流程也达到最佳指标值。

来源: TIS 28178/工艺和过程分析

## 9.2. 棉结

与环锭纺工艺相比，转杯纺工艺除了在纤维喂入上有优势以外，还能凭借分梳辊和排杂单元清除原生棉纤维中的小纤维结和杂质颗粒。随着再生纤维含量的上升，这可大幅减少转杯纺工艺中的棉结数量，增强转杯纺的优势。随着再生纤维含量的上升，环锭纺工艺的劣势不成比例地增大，在极端情况下可以达到转杯纺工艺的五倍。

### 环锭纱和转杯纱的棉结

29.7毫米原生棉，4.1马克隆/开松棉纤维，20英支， $\alpha_e$  4.7，纺杯33-XT-BD

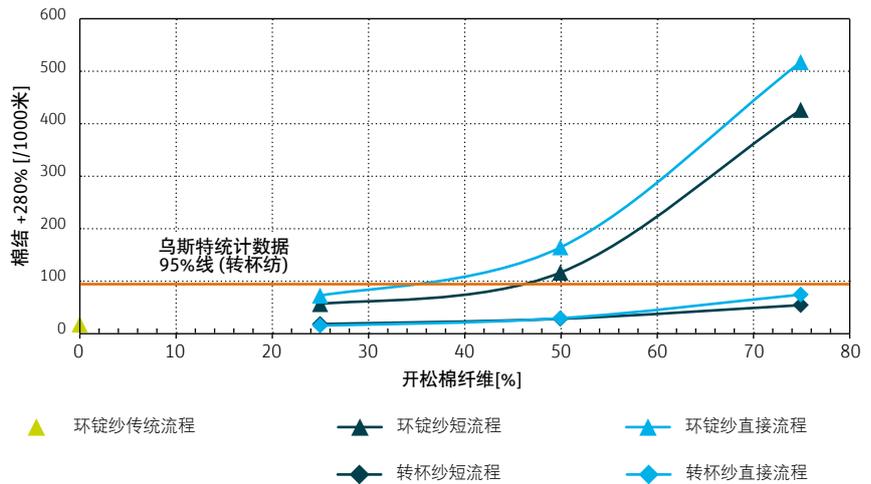


图35：与环锭纺相比，转杯纺的棉结大幅减少，尤其当再生纤维含量增加时。

来源：TIS 28178/工艺和过程分析

## 9.3. 强力和伸长率

由于纱线结构和纤维间摩擦，纺纱系统对纱线强力的影响强于混纺中的再生纤维含量或纤维长度特性。因此，环锭纺工艺的纱线强力高于转杯纺。在转杯纺和环锭纺中，纱线强力与再生纤维含量呈线性反比关系。

### 环锭纱和转杯纱的纱线断裂强力

29.7毫米原生棉，4.1马克隆/开松棉纤维，20英支， $\alpha_e$  4.7，纺杯33-XT-BD

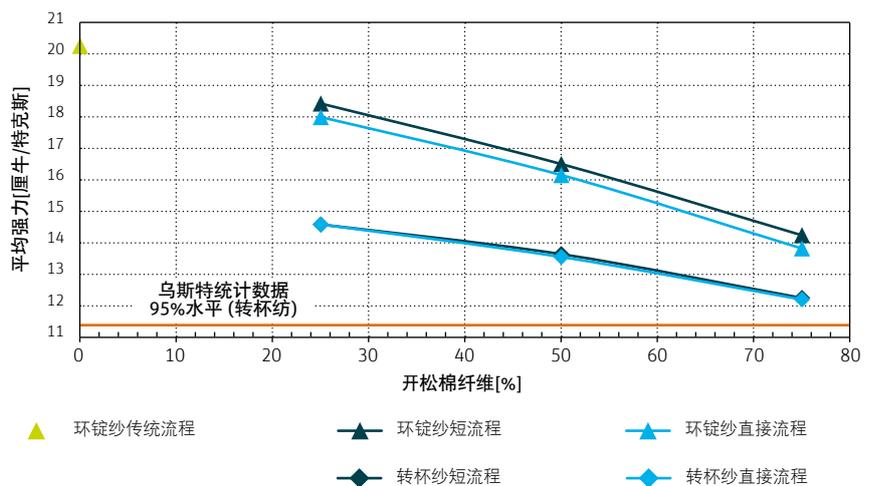


图36：环锭纱的纱线结构和纤维间摩擦对纱线强力有明显的改善。

来源：TIS 28178/工艺和过程分析

当再生纤维含量达到75%时，转杯纱无法再满足机织厂后道加工的纱线强力要求。未来如需扩大再生应用，除了无纺布织物生产和转杯纺生产粗支纱以外，还必须确保再生原料能够通过环锭纺工艺优质加工。

环锭纺的另一项优势是伸长率指标明显更优。这可显著改善纱线的加工性能，从而扩大了机织厂应用。

**环锭纱和转杯纱的纱线断裂强力**

29.7毫米原生棉，4.1马克隆/开松棉纤维，20英支， $\alpha_e$  4.7，纺杯33-XT-BD

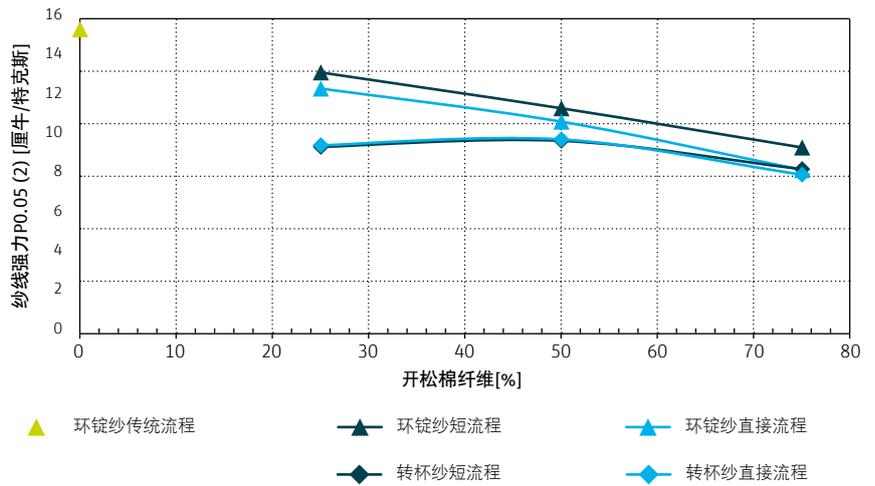


图37：纱线的最小强力为8 - 14厘牛/特克斯。

来源：TIS 28178/工艺和过程分析

**环锭纱和转杯纱的纱线断裂伸长率**

29.7毫米原生棉，4.1马克隆/开松棉纤维，20英支， $\alpha_e$  4.7，纺杯33-XT-BD

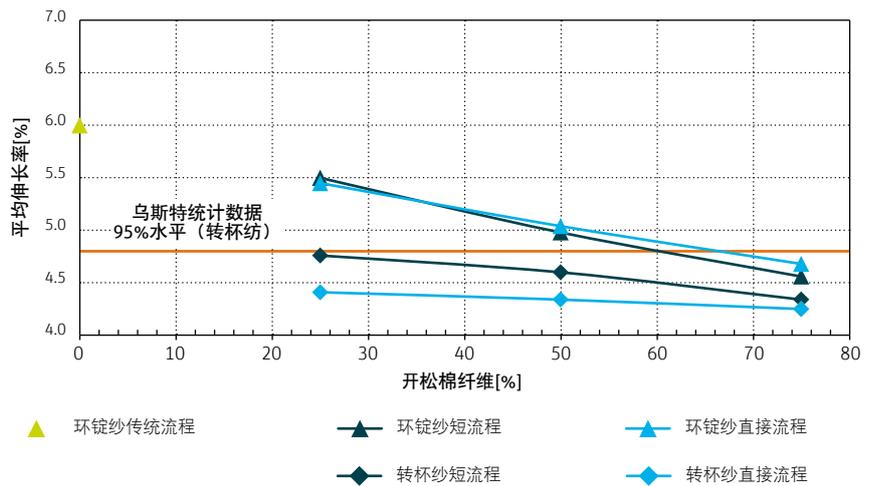


图38：环锭纺的伸长率指标明显更优。

来源：TIS 28178/工艺和过程分析

### 9.4. 毛羽和摩擦

毛羽主要与终端纺纱技术中的纱线结构相关。与环锭纱相比，转杯纱一般具有毛羽更少的特点，因此在后道加工和最终成品上更有优势（例如抗起毛起球性）。毛羽和摩擦还与混纺中的再生纤维含量有关。随着混合比增大，短纤维含量增大，毛羽和摩擦增加。

#### 环锭纱和转杯纱的毛羽

29.7毫米原生棉，4.1马克隆/开松棉纤维，20英支， $\alpha_e$  4.7，纺杯33-XT-BD

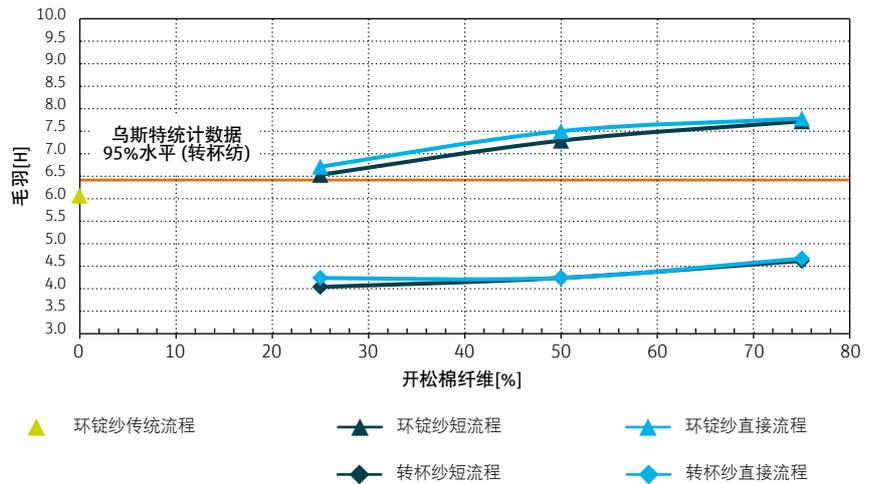


图39：凭借纱线结构，转杯纱的毛羽一般比环锭纱更少，这里也是一样。

来源：TIS 28178/工艺和过程分析

#### 环锭纱和转杯纱的落毛率

29.7毫米原生棉，4.1马克隆/开松棉纤维，20英支， $\alpha_e$  4.7，纺杯33-XT-BD

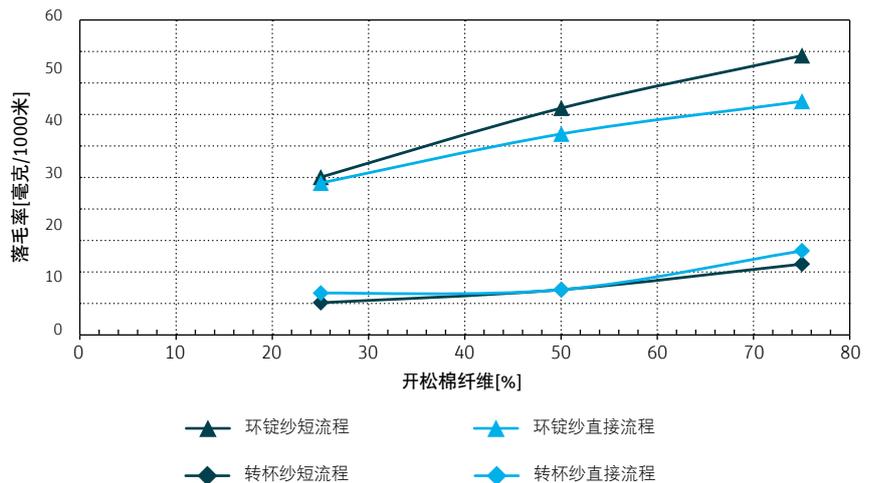


图40：毛羽更少意味着落毛更小，这也是转杯纱的优势之一。

来源：TIS 28178/工艺和过程分析

## 10. 织物

### 10.1. 抗起毛起球性

再生原料的抗起毛起球性与原生原料一致。这是因为再生纤维长度更短，因此刚度更大，比长纤维更不容易起毛起球。因此与短纤维含量相比，纤维的细长度对抗起毛起球性的影响更大。这意味着再生纤维的抗起毛起球性不差于原生棉，尽管短纤维含量更高，毛羽更多。

纱线结构的影响明显更大。显然，在抗起毛起球性方面，转杯纱照例比环锭纱更优。只有赛络纱的抗起毛起球性与转杯纱相当。

环锭纱和转杯纱的起毛起球指标

29.7毫米原生棉，4.1马克隆/开松棉纤维，20英支， $\alpha_e$  4.7，纺杯33-XT-BD

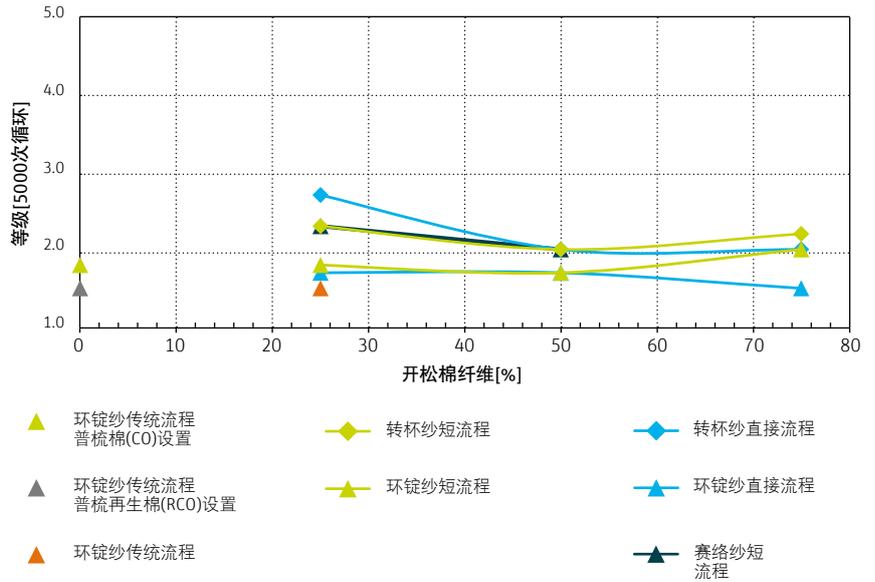


图41：由再生纤维生产的纱线，其抗起毛起球性与原棉纱线一致。

来源：TIS 28178/工艺和过程分析

## 10.2. 布面效果

随着再生纤维含量增加，机织和针织织物的颜色变浅，因为开松棉纤维经过漂白。与环锭纱相比，转杯纱在纱线不匀率上的优势在织物上得到明显的体现。

转杯纺纱机上的分梳辊单元具有积极的作用。转杯纱织成的织物中所包含的小杂质颗粒明显更少。这些由于添加原生棉而产生，或者未在

开清车间中去除的杂质颗粒，在转杯纺纱机分梳辊的作用下高效清除。

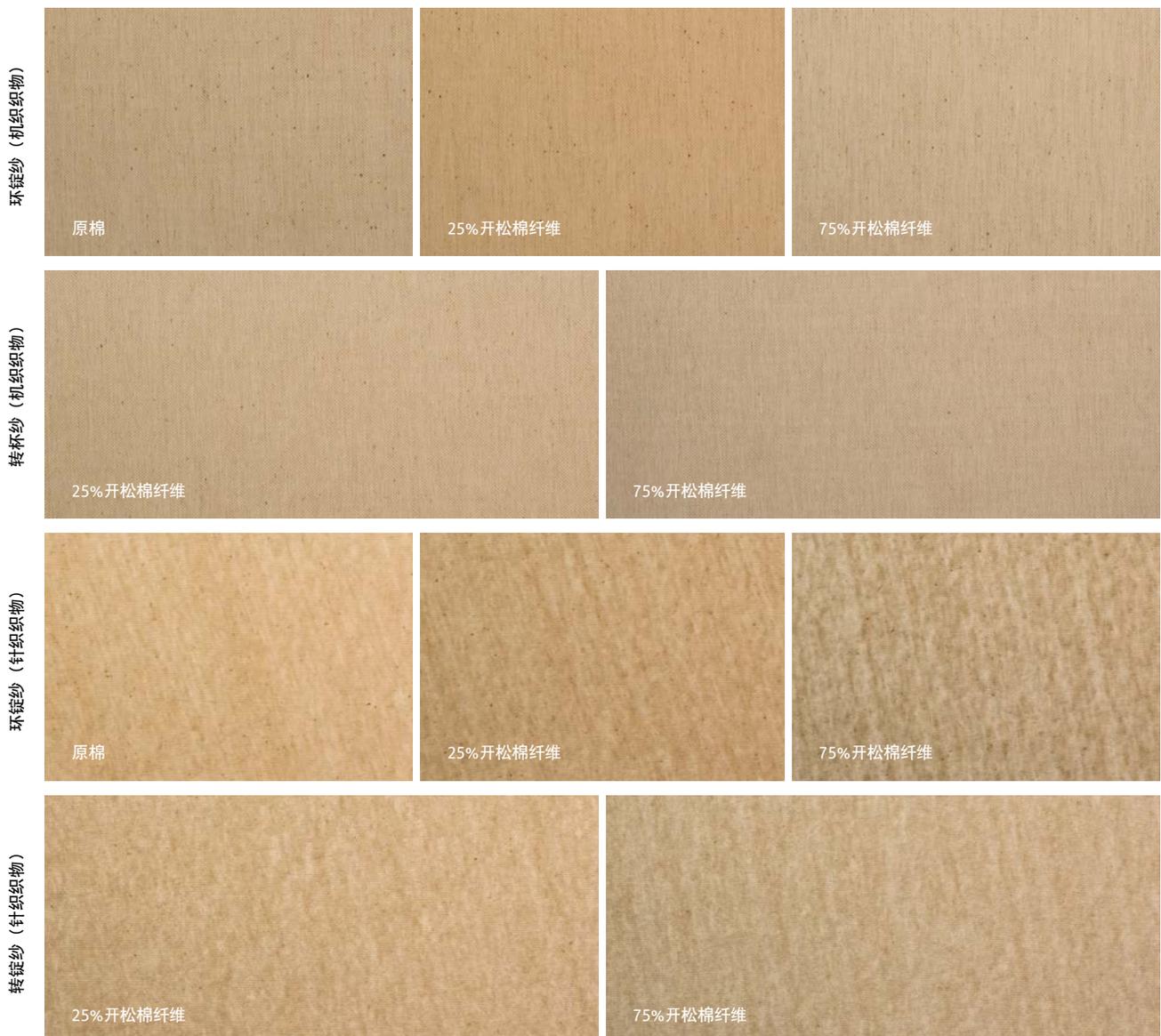


图42：与环锭纱相比，转杯纱在纱线不匀率上的优势在织物上得到明显的体现。

来源：TIS 28178/工艺和过程分析

### 10.3.应用

由于具有良好的织物抗起毛起球性和布面效果，以下应用成为可能：



图43：牛仔和工作服

来源：Kipas TR 100%再生棉



图44：T恤衫



来源：ECOALF 60%原棉，40%再生棉

## 11. 工艺流程建议

我们可以通过从纤维准备到环锭纱和转杯纱的中间产品、纱线和织物效果确定工艺过程步骤。

纤维开松过程必须包括

- 棉包抓取
- 纤维开松和布片的清理
- 混合组分的配量
- 根据客户要求，进行一种或两种成分的“长期混合”，达到再生组分的同质性要求

因此，柔性开清线VARIOLine的纤维准备提供几种选项。根据最终成品要求，后道工序可以生产环锭纱或转杯纱，其中转杯纱有两种不同的过程步骤选项：直接流程和短流程。

### 纤维准备过程建议

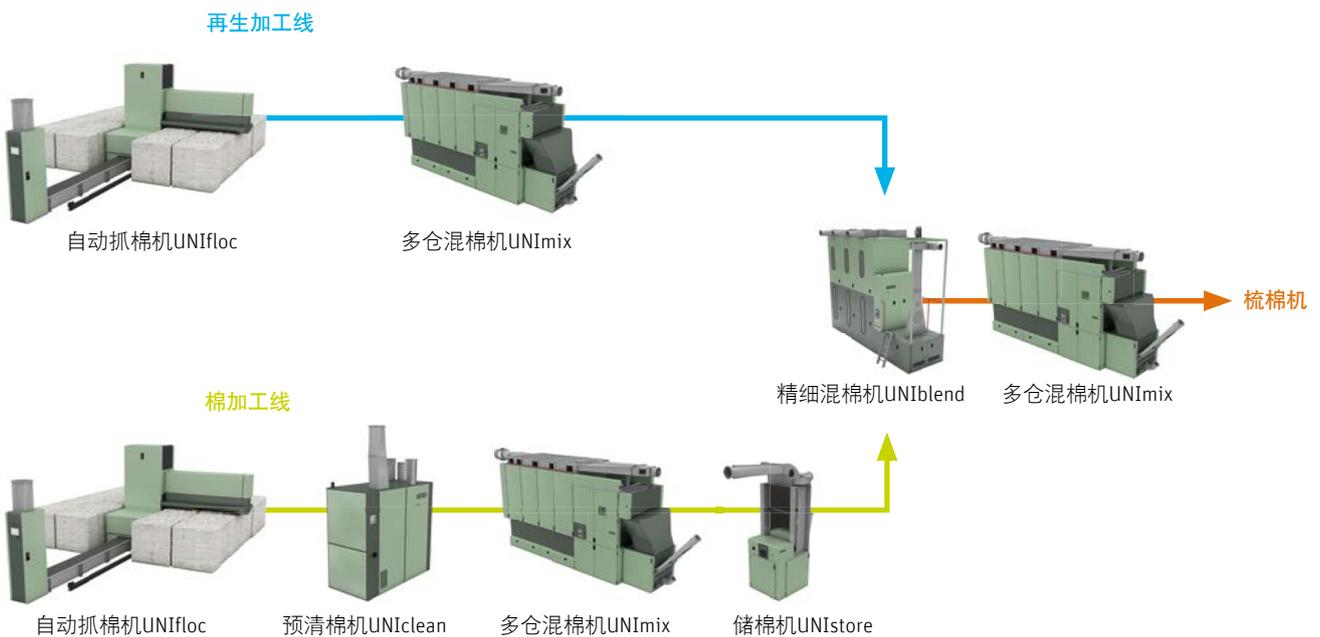
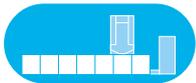


图45：对于纤维准备，这是唯一的配置。

## 再生原料纺纱的工艺过程建议

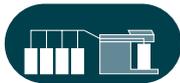
### 环锭纺 - 再生棉与原棉混纺或再生棉与涤纶混纺



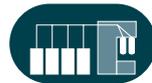
VARIOnline柔性开清



梳棉机



自调匀整并条机

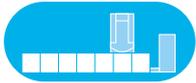


粗纱机



环锭细纱机

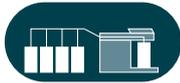
### 转杯纺 - 再生棉与原棉混纺或再生棉与涤纶混纺



VARIOnline柔性开清



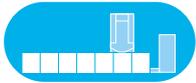
梳棉机



自调匀整并条机



转杯纺纱机



VARIOnline柔性开清



梳棉机  
配RSB模块



转杯纺纱机

图46：进行开松棉纤维与原棉的混纺纺纱时，推荐一种环锭纺工艺和两种转杯纺工艺。

来源：工艺和过程分析

## 12. 经济可行性

在生产12 - 20英支纱线的应用案例中，纱线加工成本按照土耳其的环锭纱和转杯纱市场计算。

如果只考虑纱线加工成本，由于存在未开松布片，加工消费后材料的废料多于加工原棉原料。短纤维纺纱过程中的废棉随着再生纤维含量的上升而增加。自然，仅当布片没有在撕碎或短纤维纺纱过程中分解时，纱线加工成本才适用。在消费前材料应用案例中，由于废料等于或少于使用原棉原料，因此这一考量不成立。布片或杂质的清理也不适用。

正如预期，环锭纱的纱线加工成本比转杯纱最多高出0.3美分/千克(图47)。

除了纱线加工成本以外，另一个重要的经济分析要素是投资回报率，这也会考虑到原料价格和纱线销售价(图48)。再生原料的混合和加工，为短纤维纺纱工艺取得经济成功带来了好机会。

所有经济分析的前提是，再生原料价格稍低于中等品质的原棉如1 1/8英寸的纤维长度(短纤维含量 < 26%)。计算结果还基于一个现实观点，那就是对于品质下降程度可忽略不计的纱线和织物，为了推动原料资源的全球化利用，促进可持续发展，交易中可接受更高的价格。

因此对于含25 - 50%再生原料的混纺纱，其销售价至少上涨0.1 - 0.2美分/千克应当是现实可行的，具体视终端纺纱工艺和纱线支数而定(图49)。

### 土耳其国内成本比较

29.7毫米原棉，4.1马克隆/开松棉纤维， $\alpha_e$  4.7

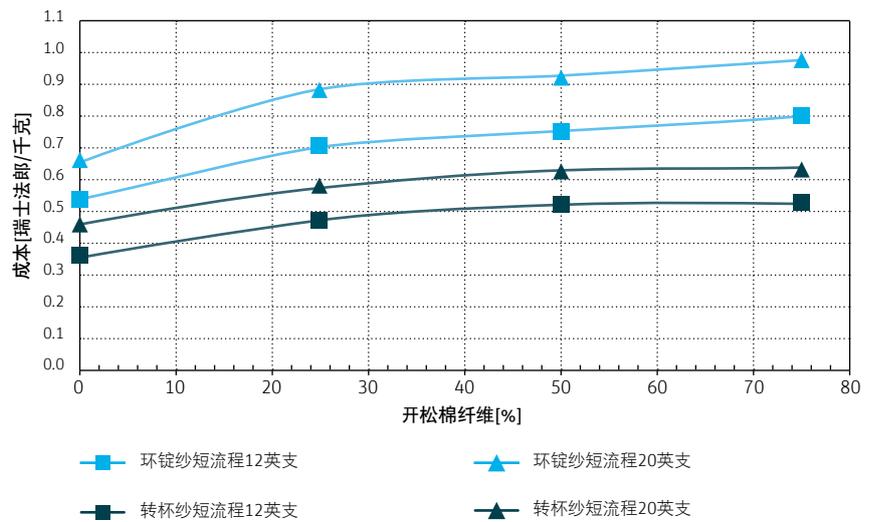


图47：正如预期，环锭纱的纱线加工成本比转杯纱最多高出0.3美分/千克。来源：TIS 28178/技术工艺分析

含75%再生原料的混纺纱会造成纱线质量不成比例地下降，这意味着纱线销售价预期低于或等于原棉纱。这种情况下，短纤维纱厂的投资回收年限会再度延长。

根据纱线贸易或全整合工艺，短纤维纱线生产过程的经济可行范围会增大或减小。无论如何，经济分析显示，利用短纤维纺纱设备加工再生棉原料具有良好的市场机会。

### 土耳其国内投资回报

29.7毫米原棉, 4.1马克隆/开松棉纤维,  $\alpha_e$  4.7

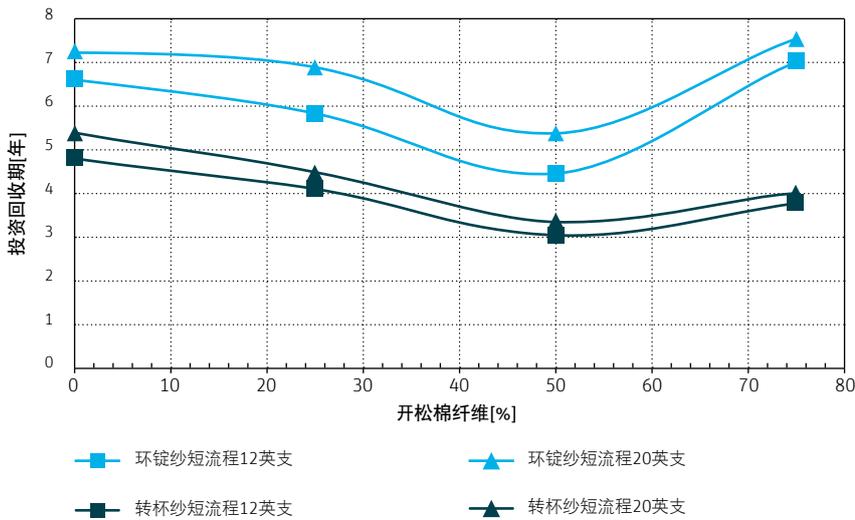


图48: 经济分析显示, 加工再生棉原料具有良好的市场机会。

来源: 28178/工艺和过程分析

### 土耳其纱线价格

29.7毫米原棉, 4.1马克隆/开松棉纤维,  $\alpha_e$  4.7

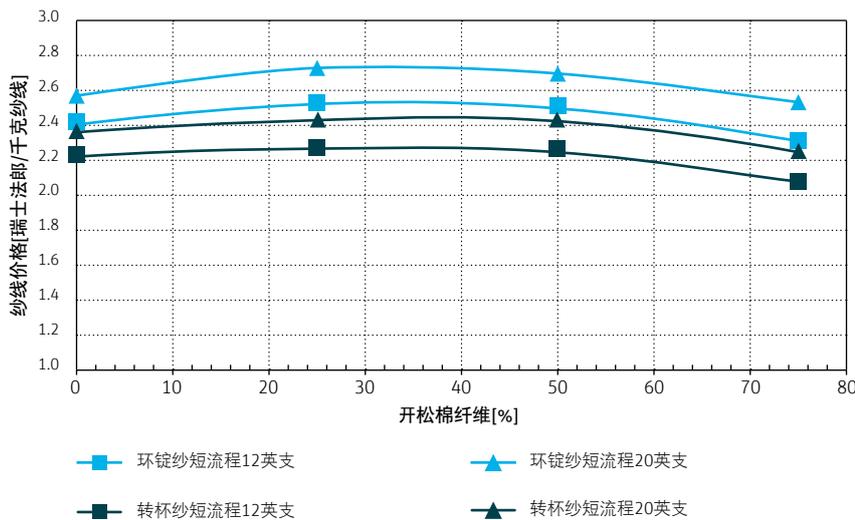


图49: 对于含25 - 50%再生原料的混纺纱而言, 其销售价至少上涨0.1 - 0.2美分/千克应当是现实可行的。

来源: TIS 28178/工艺和过程分析

## 13. 结论

近年来，由于环保意识增强，法律对可持续性的要求提高，原料成本上升，提高原料利用率在纺纱行业中非常重要。因此，人们对各种原料回收领域进行了更多的研究和开发。

机械开松消费后材料的要求和重要指标必须为每个工业细分领域定义。“织物开松程度”、“纤维开松效率”和“纤维长度特性”都是本次研究中的定义和分级。

从原料采购到生产新纺织成品的各工业细分领域之间的协调与合作将至关重要。只有这样，才有可能扩展和优化整个再生过程，使其发展壮大。如果以目前的趋势发展，在接下来的几年里，再生纤维量预计将至少达到每年750万吨。

本研究的对象是再生消费后纺织成品（开松棉纤维）以不同比例与平均1 1/8英寸的非洲棉混合的原料。本研究成功地证明了，在最优加工方案下，短纤维纺纱过程不会进一步缩短纤维长度。尽管如此，对于几乎所有过程而言，都需要调整过程步骤、改造机器和调节设置。

如需获得可接受的纱线质量和运行可靠性，在此原料配置中，混纺原料的再生纤维含量最高可达75%。

由于转杯纺在纤维喂入通道中采用封闭式纤维输送，并在纺杯中进行纤维合并，因此高短纤维含量(> 30%)的转杯纱具有出色的不匀率指标。根据纱线质量要求，有两种纤维准备工艺可供选择，即直接流程和短流程。

相反，环锭纱的纤维抱合力更强，因此具有出色的纱线强力。这一特点使得应用范围得以扩大，例如机织厂应用增多。就环锭纱而言，在紧密纺纱机上生产赛络纱时，可以提高开松棉纤维含量高达50%的混纺纱的纱线强力，同时还能改善不匀率。

获得的纺纱计划参数可以汇总如下。

### 开松棉纤维和原生棉的混纺

开松棉纤维(75%)与1 1/8英寸原生棉(25%)	
梳棉机产量[千克/小时]	80
粗纱捻系数[ae]	2.3
环锭纱和转杯纱的纺纱限值[英支]	20
环锭纱和转杯纱的捻系数[ae]	4.7

今天，生产再生纤维含量高达75%（转杯纱）和60%（环锭纱）的混纺纱已具有经济可行性。



**Rieter Machine Works Ltd.**

Klosterstrasse 20  
CH-8406 Winterthur  
T +41 52 208 7171  
F +41 52 208 8320  
machines@rieter.com  
aftersales@rieter.com

**Rieter India Private Ltd.**

Gat No. 768/2, Village Wing  
Shindewadi-Bhor Road  
Taluka Khandala, District Satara  
IN-Maharashtra 412 801  
T +91 2169 664 141  
F +91 2169 664 226

**立达（中国）纺织仪器有限公司**

中国江苏省常州市新北区  
河海西路390号  
邮编：213022  
电话：+86 519 8511 0675  
传真：+86 519 8511 0673

[www.rieter.com](http://www.rieter.com)

本资料中的图片、参数及与之相关的参数资料为即期发行物。立达保留根据需要随时对有关参数进行修改并恕不另行通知的权利。立达系统和立达创新产品均受到专利保护。

3379-v2 zh 2106