

QIANRUSHI FUHE FANGSHA JISHU

# 嵌入式 复合纺纱技术

徐卫林 陈 军◎著



中国纺织出版社

# 嵌入式复合纺纱技术

徐卫林 陈军 著



 中国纺织出版社

## 内 容 提 要

嵌入式复合纺纱技术在国际上首次提出了“嵌入式系统定位”纺纱理论,研制了“嵌入式系统定位新型纺纱技术”。该技术是我国拥有自主知识产权的新型纺纱技术,不仅可应用于棉麻毛丝纺纱领域,实现高档轻薄面料的超高支纱线的纺织,而且可使传统纺纱难以利用的原料可纺,具有资源优化利用及充分利用、缩短加工流程、降低能源消耗及原料消耗等方面的优点。本书主要对嵌入式复合纺纱技术的纺纱原理进行详细的阐述与分析,介绍普适性细纱机的改造方案以及各种不同原料及支纱纱线的开发等。“嵌入式复合纺纱技术及其产业化”获得2009年国家科技进步一等奖。

## 图书在版编目(CIP)数据

嵌入式复合纺纱技术/徐卫林,陈军著. —北京:中国纺织出版社,2012.7

ISBN 978-7-5064-8661-3

I. ①嵌… II. ①徐… ②陈… III. ①纺纱工艺 IV. ①TS104.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第103466号

---

策划编辑:李秀英 唐小兰 责任编辑:陈静杰 杨旭  
责任校对:王花妮 责任设计:何建 责任印制:刘强

---

中国纺织出版社出版发行

地址:北京东直门南大街6号 邮政编码:100027

邮购电话:010-64168110 传真:010-64168231

http://www.c-textilep.com

E-mail:faxing@c-textilep.com

北京通天印刷有限责任公司印刷 各地新华书店经销

2012年7月第1版第1次印制

开本:710×1000 1/16 印张:12.5

字数:207千字 定价:39.80元

---

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社图书营销中心调换

# 前 言

纺纱是纺织工序中非常重要的加工环节,纱线质量的好坏直接影响后续加工以及产品的质量,所以新型纺纱技术是纺织企业一直比较关注的领域。嵌入式复合纺纱技术是武汉纺织大学及山东如意集团共同发明的纺纱技术,该技术在某些难纺纤维的纺纱、轻薄面料的高支伴纺纺纱以及多花色品种的纺纱方面有比较强的优势。本书主要对嵌入式复合纺纱技术的纺纱原理进行详细的阐述与分析,介绍普适性细纱机的改造方案以及各种不同原料及纱支纱线的开发等。

其中第1章是在作者已发表论文的基础上,分析环锭纺纱的原料要求、成纱原理、工艺缺陷及其发展趋势等;第2章介绍了各种可适用于嵌入式复合纺纱技术的短纤维原料和长丝原料的性能特点;第3章对嵌入式复合纺纱技术的原理进行详细的分析,并进行了一些简单的理论分析,为装备的研制打下了基础;第4章介绍普适性嵌入式复合纺纱细纱机的改造方案和实施措施;第5章介绍影响嵌入式复合纺纱技术的各种参数的研究,为产品开发和稳定生产打下了基础;第6章主要介绍不同产品开发的案例,纤维原料的使用,包括各种难纺纤维的纺纱以及超高支纱的生产技术等。

值得说明的是,本书的大量工作是在众多研究人员共同努力的基础上完成的,在理论和实验研究阶段,得到了博士研究生夏治刚、王洪山,硕士研究生王玲芳、徐巧林、柯琦的大力支持;在产业化的研究方面得到了诸多知名企业的大力支持,特别是山东如意集团、际华三五四二纺织有限公司、湖北天化麻业股份有限公司、湖北妙虎纺织有限责任公司、湖北精华麻业有限公司、湖北锦绣纺织有限公司、武汉江南集团等单位的大力支持,他们提供了大量的一线研究数据并一同进行了大量的技术攻关,没有他们的工作和支持,就没有此书的完成。武汉纺织大学与相关知名企业的合作也取得了一定的成果;武汉纺织大学与湖北天化麻业股份有限公司合作开发的项目《嵌入式麻棉高支高品质产品开发及其产业化》获2010年中国纺织工业协会科学技术进步奖二等奖;际华三五四二纺织有限公司与武汉纺织大学及武汉职业技术学院合作开发的项目《汉麻等短纤维类嵌入纺纱技术研究》获2010年中国纺织工业协

会科学技术进步奖三等奖; 武汉纺织大学与湖北妙虎纺织有限责任公司合作开发的项目《高强低伸特种复合缝纫线纺制技术及其产业化》获得 2011 年中国纺织工业协会科学技术进步奖三等奖。这些成果有益于企业人才创新意识的培养,企业的新技术、新产品的开发,企业经济效益的提高。

新技术的开发和应用永无止境,虽然嵌入式复合纺纱技术在某些方面有一些优势,但是继续挖掘它的优点,形成更广泛的应用,还需要我们与企业共同继续努力,相信有兴趣致力于新型纱线开发和生产的厂家在本书的基础上会有更好的突破。由于时间仓促,实验范围还比较有限,书中可能存在一些问题,也恳请读者谅解。

作者

2011 年 11 月

# 目 录

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| 第 1 章 环锭纺纱成纱特点及其发展 .....                     | 1  |
| 1.1 传统环锭纺成纱特点及其局限性 .....                     | 1  |
| 1.1.1 环锭纺纱无法摆脱对所纺纤维强度和根数的需求和依赖 .....         | 2  |
| 1.1.2 纱条截面纤维根数既是环锭连续纺纱的需要又是<br>成纱质量的需要 ..... | 3  |
| 1.1.3 纤维长度既是环锭成纱的必要条件又是致命约束 .....            | 3  |
| 1.1.4 环锭纺纱要求纤维具有适当的初始模量和细度 .....             | 5  |
| 1.1.5 限制环锭纺纱的其他因素 .....                      | 5  |
| 1.2 基于环锭纺发展的新型纺纱技术及其不足 .....                 | 7  |
| 1.2.1 赛络纺纺纱技术的特点 .....                       | 8  |
| 1.2.2 赛络菲尔纺纺纱技术的特点 .....                     | 9  |
| 1.2.3 新型环锭纺纱技术的不足 .....                      | 10 |
| 第 2 章 环锭纺纱的纤维原料 .....                        | 14 |
| 2.1 短纤维的特点及其发展 .....                         | 14 |
| 2.1.1 天然有机高分子短纤维 .....                       | 14 |
| 2.1.2 特种天然有机高分子短纤维 .....                     | 16 |
| 2.1.3 再生短纤维 .....                            | 19 |
| 2.1.4 合成短纤维 .....                            | 21 |
| 2.2 长丝纤维的特点及其发展 .....                        | 25 |
| 2.2.1 天然长丝纤维 .....                           | 25 |
| 2.2.2 再生长丝纤维 .....                           | 26 |
| 2.2.3 合成长丝纤维 .....                           | 26 |

|       |                               |    |
|-------|-------------------------------|----|
| 第3章   | 嵌入式复合纺纱技术原理及其分析 .....         | 29 |
| 3.1   | 嵌入式复合纺纱技术原理及实现形式 .....        | 29 |
| 3.1.1 | 嵌入式复合纺纱技术成纱原理 .....           | 29 |
| 3.1.2 | 嵌入式复合纺纱技术原理的实现 .....          | 31 |
| 3.2   | 嵌入式纺纱技术的原理解析和功能优势 .....       | 32 |
| 3.2.1 | 提高纱线质量和纤维利用率 .....            | 32 |
| 3.2.2 | 实现难纺纤维的可纺 .....               | 33 |
| 3.2.3 | 实现载体纺超高支纱的开发 .....            | 34 |
| 3.2.4 | 实现低品级纺纱原料纺高支纱 .....           | 34 |
| 3.2.5 | 实现在环锭细纱机上纺制具有多花色品种的纱线 .....   | 37 |
| 3.3   | 嵌入式复合纺纱物理模型和力学剖析 .....        | 38 |
| 3.3.1 | 嵌入式复合纺纱成纱三角区物理模型 .....        | 38 |
| 3.3.2 | 嵌入式复合纺纱成纱三角区各纺纱组分的力学分析 .....  | 38 |
| 3.3.3 | 嵌入式复合纺纱成纱三角区各纺纱组分的扭矩分析 .....  | 42 |
| 3.3.4 | 不同支数嵌入式复合纺纱受力分析 .....         | 42 |
| 3.4   | 嵌入式复合纺纱成纱特点归纳 .....           | 44 |
| 3.4.1 | 嵌入式复合纺纱与其他几种纺纱方式成纱条件的比较 ..... | 44 |
| 3.4.2 | 不同纺纱方式成纱纤维长度要求的对比 .....       | 46 |
| 3.4.3 | 不同方式成纱纤维强度要求的对比 .....         | 47 |
| 3.4.4 | 系统定位是嵌入式复合纺纱的特点也是关键所在 .....   | 47 |
| 3.4.5 | 降低纤维丢失及提高纺纱三角区稳定性 .....       | 48 |
| 第4章   | 普适性嵌入式复合纺纱设备 .....            | 51 |
| 4.1   | 嵌入式复合纺纱装备应具备的功能 .....         | 51 |
| 4.1.1 | 原料喂入系统 .....                  | 53 |
| 4.1.2 | 导丝导条系统 .....                  | 55 |
| 4.1.3 | 须条及其丝纱的准确定位系统 .....           | 55 |
| 4.1.4 | 张力控制系统 .....                  | 56 |
| 4.1.5 | 牵伸装置的改造 .....                 | 57 |
| 4.1.6 | 导纱钩装置的改造 .....                | 57 |

|                                     |        |
|-------------------------------------|--------|
| 4.2 普适性嵌入式复合纺纱装备 .....              | 58     |
| 4.2.1 原料吊挂与喂入 .....                 | 58     |
| 4.2.2 嵌入式复合纺纱长丝张力控制 .....           | 60     |
| 4.2.3 四种原料定位装置的设计及检测 .....          | 61     |
| 4.2.4 嵌入式复合纺纱长丝卷装的准备 .....          | 62     |
| 4.2.5 细纱机牵伸倍数的提高方法 .....            | 65     |
| <br>第5章 嵌入式复合纺纱工艺 .....             | <br>68 |
| 5.1 嵌入式复合纺纱定量设计 .....               | 68     |
| 5.1.1 嵌入式复合纺的细纱定量设计与计算 .....        | 68     |
| 5.1.2 定量设计的举例 .....                 | 70     |
| 5.2 输入间距对嵌入式复合纱成纱结构性能的影响 .....      | 71     |
| 5.2.1 原料与工艺 .....                   | 71     |
| 5.2.2 纺纱过程中加捻三角区的动态变化过程及分析 .....    | 72     |
| 5.2.3 间距对嵌入式复合纱性能的影响分析 .....        | 74     |
| 5.3 捻系数对毛/涤纶长丝嵌入式复合纺纱成纱性能的影响 .....  | 81     |
| 5.3.1 原料与工艺 .....                   | 82     |
| 5.3.2 嵌入式复合纺纱纱线捻系数的优选与分析 .....      | 82     |
| 5.4 长丝预加张力对毛/涤嵌入式复合纺纱线性能的影响 .....   | 87     |
| 5.4.1 原料与工艺 .....                   | 87     |
| 5.4.2 涤纶长丝预加张力对毛/涤嵌入式复合纱性能的影响 ..... | 87     |
| 5.5 涤纶长丝含量对毛/涤嵌入式复合纺纱成纱性能的影响 .....  | 89     |
| 5.5.1 原料及成纱工艺参数 .....               | 89     |
| 5.5.2 复合纱的线密度、捻度和涤纶丝含量 .....        | 90     |
| 5.5.3 涤纶丝含量对复合纱主要性能的影响 .....        | 92     |
| 5.5.4 纱线的外观形态 .....                 | 94     |
| 5.6 几种纺纱方式对成纱性能的影响 .....            | 95     |
| 5.6.1 原料与工艺 .....                   | 95     |
| 5.6.2 不同纺纱方式对嵌入式复合纱的影响与分析 .....     | 96     |
| 5.7 后区牵伸倍数对嵌入式复合纺纱成纱质量的影响 .....     | 98     |
| 5.7.1 后区牵伸倍数对嵌入式复合纱强伸性的影响分析 .....   | 99     |

|        |                                                                                 |     |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.7.2  | 后区牵伸倍数对嵌入式复合纱毛羽的影响分析 .....                                                      | 99  |
| 5.7.3  | 后区牵伸倍数对嵌入式复合纱条干均匀度的影响分析 .....                                                   | 100 |
| 5.8    | 嵌入式复合纺纱工艺参数的优化 .....                                                            | 101 |
| 5.8.1  | 试验方案 .....                                                                      | 101 |
| 5.8.2  | 试验结果和优化分析 .....                                                                 | 101 |
| 5.8.3  | 优化结果 .....                                                                      | 108 |
| 第6章    | 嵌入式复合纱产品创新 .....                                                                | 111 |
| 6.1    | 麻类嵌入式复合纱的开发 .....                                                               | 111 |
| 6.1.1  | 精梳亚麻/黏胶/维纶 15/20/65 5.8tex × 2( W2.22tex × 2)<br>嵌入式复合纱产品开发 .....               | 111 |
| 6.1.2  | 精梳亚麻/莫代尔/维纶/棉 20/10/30/40 7.3tex × 2 ( W2.22tex +<br>JC5.8tex) 嵌入式复合纱产品开发 ..... | 112 |
| 6.1.3  | 精梳亚麻/莫代尔/棉 25/35/40 5.8 tex × 2( JC/M60/40 3.64tex × 2)<br>嵌入式复合纱产品开发 .....     | 115 |
| 6.1.4  | 精梳亚麻/棉 55/45 19.4tex × 2( JC5.8tex × 2)<br>嵌入式复合纱产品开发 .....                     | 118 |
| 6.1.5  | 精梳大麻/棉 55/45 19.4tex × 2( JC5.8tex × 2)<br>嵌入式复合纱产品开发 .....                     | 119 |
| 6.1.6  | 精梳亚麻落麻/锦纶 75/25 18.2tex × 2( N2.22tex × 2)<br>嵌入式复合纱产品开发 .....                  | 119 |
| 6.1.7  | 精梳苧麻/棉 25/75 11.8tex × 2 ( JC5.8tex × 2)<br>嵌入式复合纱产品开发 .....                    | 120 |
| 6.1.8  | 半精梳苧麻/黏胶/棉 25/20/55 11.8tex × 2 ( JC5.8tex × 2)<br>嵌入式复合纱产品开发 .....             | 121 |
| 6.1.9  | 精梳亚麻/莫代尔/棉 15/25/60 5.8 tex × 2( JC/M60/40 3.64tex × 2)<br>嵌入式复合纱产品开发 .....     | 122 |
| 6.1.10 | 纯苧麻高支纱产品开发 .....                                                                | 123 |
| 6.1.11 | 汉麻纤维嵌入纺纱技术研究 .....                                                              | 125 |
| 6.1.12 | 精梳棉/汉麻/锦纶 35/35/30 7.25tex × 2( 2.22tex × 2)<br>产品开发 .....                      | 127 |

|            |                                                    |            |
|------------|----------------------------------------------------|------------|
| 6.1.13     | 涤纶/精梳汉麻/棉 49/30/21 17.7 × 2( 8.33tex × 2)          |            |
|            | 产品开发 .....                                         | 128        |
| 6.1.14     | 罗布麻/莫代尔/锦纶 35/35/30 5.8tex × 2( 2.22tex × 2)       |            |
|            | 产品开发 .....                                         | 134        |
| <b>6.2</b> | <b>棉类嵌入式复合纱的开发 .....</b>                           | <b>140</b> |
| 6.2.1      | 精梳棉/木棉/涤纶 40/30/30 7.25tex × 2( 2.22tex × 2)       |            |
|            | 产品开发 .....                                         | 140        |
| 6.2.2      | 精梳棉/涤 70/30 7.3tex × 2( 2.22tex × 2) 产品开发 .....    | 143        |
| 6.2.3      | 蚕丝嵌入式复合纺纱高档家纺制品开发 .....                            | 148        |
| <b>6.3</b> | <b>嵌入式复合缝纫线的产品开发 .....</b>                         | <b>157</b> |
| 6.3.1      | 工艺流程 .....                                         | 157        |
| 6.3.2      | 产品开发 .....                                         | 158        |
| <b>6.4</b> | <b>基于嵌入式复合纺纱技术的多组分纤维的产品开发 .....</b>                | <b>164</b> |
| 6.4.1      | 精梳棉/天竹/涤 27/27/46 7.4tex × 2( 3.33tex × 2)         |            |
|            | 嵌入式复合纱的开发 .....                                    | 164        |
| 6.4.2      | 亚麻/莫代尔/棉/锦纶 19/19/16/46 7.3tex × 2( 3.33tex × 2)   |            |
|            | 嵌入式复合纱的开发 .....                                    | 165        |
| 6.4.3      | 亚麻/棉/涤纶 30/25/45 7.3tex × 2( 3.33tex × 2)          |            |
|            | 嵌入式复合纱的开发 .....                                    | 166        |
| 6.4.4      | 亚麻/棉/莫代尔/锦纶 15/25/25/35 9.8tex × 2( 3.33tex × 2)   |            |
|            | 嵌入式复合纱的开发 .....                                    | 167        |
| 6.4.5      | 棉/黏/锦 66/17/17 9.8tex × 2( 3.33tex × 2)            |            |
|            | 嵌入式复合纱的开发 .....                                    | 168        |
| 6.4.6      | 棉/锦 66/34 9.8tex × 2( 3.33tex × 2) 嵌入式复合纱的开发 ..... | 169        |
| 6.4.7      | 棉/涤/锦 66/17/17 9.8tex × 2( 3.33tex × 2)            |            |
|            | 嵌入式复合纱的开发 .....                                    | 171        |
| 6.4.8      | 棉/涤/黏 66/17/17 9.8tex × 2( 3.33tex × 2)            |            |
|            | 嵌入式复合纱的开发 .....                                    | 172        |
| 6.4.9      | 棉/涤/黏 33/33/34 9.8tex × 2( 3.33tex × 2)            |            |
|            | 嵌入式复合纱的开发 .....                                    | 173        |
| 6.4.10     | 棉/氨 79/21 7.8tex × 2( 3.33tex × 2)                 |            |

|                                                |            |
|------------------------------------------------|------------|
| 嵌入式复合纱的开发 .....                                | 174        |
| 6.4.11 棉/锦/氨 67/22/11 7.3tex × 2( 3.33tex × 2) |            |
| 嵌入式复合纱的开发 .....                                | 176        |
| 6.4.12 棉/黏/氨 67/22/11 7.3tex × 2( 3.33tex × 2) |            |
| 嵌入式复合纱的开发 .....                                | 177        |
| <b>6.5 毛类嵌入式产品开发 .....</b>                     | <b>178</b> |
| 6.5.1 毛 11.8 tex × 2 的产品开发 .....               | 178        |
| 6.5.2 毛 5.1tex × 2 的产品开发 .....                 | 179        |
| 6.5.3 毛 3.5tex × 2 的产品开发 .....                 | 180        |
| 6.5.4 高支羊毛西服面料的产品开发 .....                      | 181        |
| <br>主题词 .....                                  | <br>186    |
| 索 引 .....                                      | 187        |
| 附录 1 本书中纺织材料常用单位换算及说明 .....                    | 189        |
| 附录 2 本书中不同符号代表纤维的含义 .....                      | 190        |

# 第 1 章 环锭纺纱成纱特点及其发展

环锭纺纱因其成纱质量好而深受纺织企业的欢迎 ,虽然各种新型非环锭纺纱的纺纱技术不断出现 ,但是环锭纺纱在市场上仍占有 90% 以上的份额 ,实际上环锭纺纱也存在许多方面的问题和瓶颈需要突破 ,如管纱小卷装的问题以及加捻效率低的问题等 ,关于这方面的研究内容我们曾以文章“高效短流程嵌入式复合纺纱技术原理解析”发表在《纺织学报》2010 年第 6 期上 ,下面就环锭纺纱的一些原理进行阐述和分析。

## 1.1 传统环锭纺成纱特点及其局限性

纺纱工序是整个纺织工业的基础和关键环节 ,纺纱环节所生产纱线的质量直接决定纱线的后续加工 ,如织造效率以及布面效果等。迄今为止 ,大部分短纤维纱线的纺织都是通过环锭纺技术来实现<sup>[1]</sup> ,这主要是因为环锭纺纱技术经过不断研究改进 ,纺纱效率和成纱水平已相当高 ,锭速可达到 15000 ~ 25000r/min ,且原料适应性强 ,成纱结构紧密 ,强力较高<sup>[2]</sup>。特别是以传统环锭纺纱技术为基础 ,一些新型纺纱方法应运而生 ,如紧密纺技术、赛络纺技术、赛络菲尔纺以及缆型纺技术等。紧密纺纱线在纤维排列上优于普通环锭纺纱线 ,因此紧密纺纱线强力更高、条干更加均匀<sup>[3]</sup>。赛络纺和缆型纺所纺纱线耐磨性较好 ,与传统股线相比 ,毛羽较少 ,而且有单一捻度方向<sup>[4]</sup>。因此 ,开发新型纺纱方法对于提高纱线质量、优化和升级纱线产品有很大推动作用。

但是许多纺纱技术是在传统环锭纺纱的基础上发展起来的 ,环锭纺对原料有一些特定要求 ,下面先就这方面进行分析和介绍。

环锭纺纱是一种将加捻和卷绕同时进行的纺纱方法。如图 1.1.1 所示 ,纺纱过程中纱锭带动纱管回转 ,使得具有张力的纱条拖动钢丝圈沿

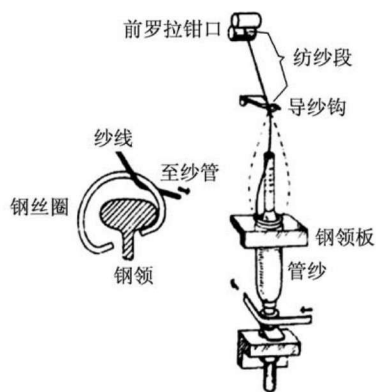


图 1.1.1 环锭纺纱的细纱加捻过程<sup>[5]</sup>

钢领回转产生捻回,然后加捻纱线通过扭转克服导纱钩阻碍,自下而上地将捻回传递到纺纱段。

1.1.1 环锭纺纱无法摆脱对所纺纤维强度和根数的需求和依赖

捻度能够使得外层纤维对内层纤维产生横向抱合力以夹紧纤维,致使纤维须条成纱<sup>[6]</sup>。在环锭纺纱过程中,导纱钩在纱线捻度传递过程中起到“捻陷”作用<sup>[7]</sup>,阻止了一部分捻回从气圈段向纺纱段的传递,Wegener 和 Landwehrkamp<sup>[8]</sup>研究发现,气圈控制器会使得捻度传递损失 20%,导纱钩使得捻度在此损失后的基础上再次损失 19%。因此纺纱段的捻回相对较少,纱线结构相对不够密实,特别是在位于纺纱前钳口下端的纺纱三角区,纤维须条上的捻度相对更少,如图 1.1.2 示。

在环锭纺纱过程中,纺纱张力对成纱强力起着决定性的作用。所纺纱线任何一段的强力只要低于纺纱张力,纱线就会断裂,导致纺纱断头而影响纺纱的连续进行<sup>[9]</sup>。从理论上而言,纺纱三角区成为纺纱过程中最薄弱的环节,该部位纤维须条纺纱强力大小直接影响环锭纺纱断头率以及纤维纺纱连续性。只要该部位须条横截面内纤维强度不够高、根数不够多,就会出现纺纱断头,如图 1.1.3 所示。为了纤维须条在环锭细纱机上能进行正常连续地纺纱,一般通过两个途径来实现:一是通过纺纱工艺调整,尽量降低纺纱张力;二是通过合理选配纤维,使得细纱工序须条所包含的纤维具有足够的纺纱品质,以提高纺纱过程中纱线强力。环锭加捻和卷绕同时进行,环锭纺纱过程中纺纱张力不可能消除,且不可以消除,因为纺纱张力是环锭纺纱过程中成纱三角区须条纤维内外转移以达到成纱目的的主要因素<sup>[10]</sup>。因此,在最佳环锭纺纱张力下,保证纤维纺纱连续稳定的进行只有依靠合理选用纤维原料,使得环锭纺纱三角区纤维须条截面内纤维强度和根数足够,以满足纺纱过程中纱条任何一处强力高于纺纱张力,实现稳定、连续成纱。

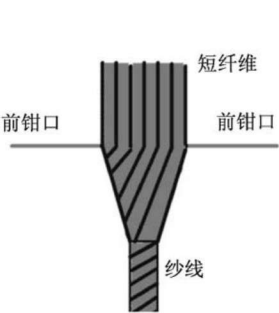


图 1.1.2 传统环锭纺加捻三角区

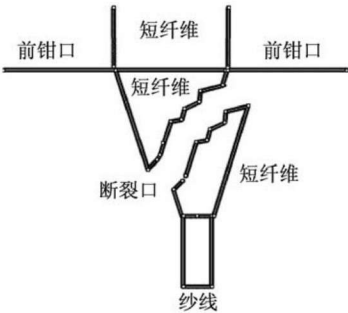


图 1.1.3 传统环锭纺细纱断头

1.2 嵌入式复合纺纱技术

一般情况下,同种纤维须条截面内纤维所含纤维根数越少,成纱三角区部位纤维须条强力越低。当前钳口须条所包含纤维量降到一定根数时,就会出现纺纱强力太低而不能成纱,这也是环锭细纱机上很难开发超高支纱线的根本原因。因此可纺纱线最高支数一直是工厂纺纱水平的体现。传统环锭细纱机上开发高支纱线,一般是采用增强长丝伴纺短纤维的办法,且短纤维原料采用高品质纤维原料(如拉细羊毛、超细羊毛、超细羊绒等),同时降低纺纱速度以降低纺纱张力。即使如此,所纺纱线支数也很有限,主要因为纱条截面内短纤维根数下降导致短纤维与短纤维以及短纤维与长丝之间抱合力下降,短纤维须条不能与长丝良好地捻成一体而成纱,因此在传统环锭细纱机上只要须条截面内短纤维根数较少,须条纺纱和成纱性能就会下降,甚至不能成纱。由此看出,传统环锭纺纱一直没有突破对纤维原料的束缚,特别是对纺纱所需纤维强度和纤维根数的依赖。

### 1.1.2 纱条截面纤维根数既是环锭连续纺纱的需要又是成纱质量的需要

如上所述,纱条截面内足够纤维根数不仅仅是满足环锭纺纱过程纱条有足够强力和成纱抱合力的需要,且是生产具有一定环锭纱线质量的需要。首先须条在牵伸过程中,牵伸倍数越大,附加不匀越大,前钳口输出须条加捻所成纱条不匀率增大;当输出纱条截面根数低到一定程度,质量不匀会急剧恶化。其次,纱条截面纤维根数越低,纤维之间抱合力越低,纤维不容易良好地捻入纱体,所以纱线越细,长毛羽相对越多,纱线外观越差。再次,纱条截面纤维根数越少,纱线强度和耐磨性越差,给纱线后续加工带来沉重负担。

### 1.1.3 纤维长度既是环锭成纱的必要条件又是致命约束

足够的纤维长度是环锭成纱过程中纤维转移和形成纱线强力的需要。加捻和纱体中纤维位置改变是致使所纺纱线具有强力和纱体内部纤维抱合的两个必要条件<sup>[6]</sup>。Peirce<sup>[11]</sup>称“纱体中纤维位置变化”为纤维位置交换,Morton<sup>[12]</sup>称之为纤维内外转移。正是纺纱时纤维发生内外转移,使得须条全部纤维中部分被夹紧,是纺纱时纱线产生强力的必要机理<sup>[13]</sup>,一般情况下纱体内纤维转移越少,纱线强力就越低。实际上自由端纱线(OE纱)与环锭纱线相比强力较低就是纱体内纤维转移有限所致<sup>[14]</sup>,纤维转移只相当典型环锭纱线的六分之一左右<sup>[12]</sup>。环锭纱体中纤维转移量与OE纱相比较大是因为在环锭加捻过程中,纤维须条一端被前钳口握持,能够实现有效加捻和良好的纤维内外转移。环锭纱线中纤维内外转移的经典轨迹如图1.1.4

所示。

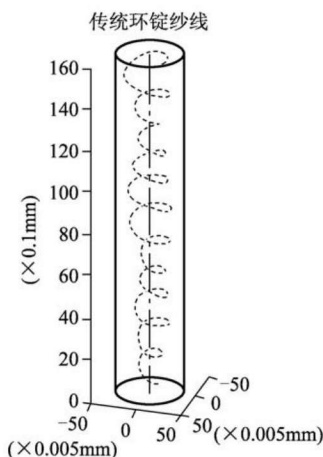
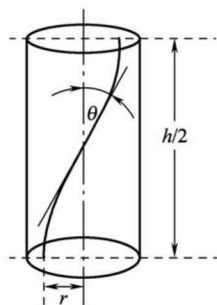


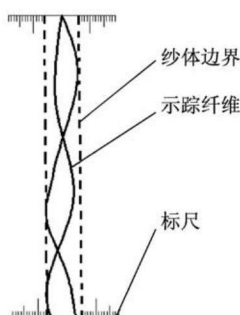
图 1.1.4 传统环锭纱线中纤维经典转移轨迹<sup>[15]</sup>

首先对理想纱线结构中半个捻回内纤维几何路径进行理论分析,如图 1.1.5 (a) 所示。在图 1.1.5 (a) 中  $\theta$  为纤维与纱线中轴线夹角  $r$  为纱体中纤维与纱线中轴线之间的距离  $h$  为一个捻回高度。沿一均匀纱线对半个捻回部分的纤维进行几何分析可得: 一个完整捻度内的纤维长度  $L = h / \cos \theta$ , 其中  $\theta = \arctan(2\pi r / h)$ 。这是理论纱线结构,实际环锭纺纱过程中,从前钳口输出的纤维须条呈扁平带状,故而纤维须条受到张力和几何机理共同作用<sup>[16-18]</sup>,不仅沿纱线轴向进行扭转,而且在纱线径向发生内外转移。相关文献<sup>[12]</sup>表明纤维内外转移一次一般需要 3~4 个捻回,通常情况下一个完整的纤维内外转移所占据纱线长度为 5~7mm。但实际纱体中纤维一般要内外

转移许多次,因此纺纱所需纤维长度更长。如图 1.1.5 (b) 所示, Morton<sup>[12]</sup> 引进示踪纤维法对短纤维内纤维转移进行了相关实验,结果表明 15~20mm 的纤维在纱体中有明显内外转移,但长度纤维等于或小于 10mm 时,在实验所用纱线中完全没有内外转移。由此可以看出纺纱时纤维须条受到加捻而发生纤维内外转移与纤维的长度密切相关,足够的纤维长度是环锭纺纱中扁平带状须条加捻成纱的必要条件。



(a) 半个捻回内纤维理论几何路径



(b) 纱体内示踪纤维的转移

图 1.1.5 纱体中的纤维转移

短纤维在纺纱牵伸区不易被控制,形成运动不规则的浮游纤维,导致纱线条干不

匀增大 影响成纱的强度;且成纱中短纤维长度小于或等于 2 倍滑脱长度时,纤维不能被握持,大大降低纱线拉伸断裂强度<sup>[19]</sup>。环锭纺纱中纤维长度与须条纺纱以及成纱性能密切相关,纤维须条中含长度较短纤维(如 15~20mm 棉纤维)越多,纺纱性能和成纱品质越差,甚至由于缺乏必需的纤维转移而不能进行纺纱。因此,纤维过短是制约环锭纺纱质量和纤维可纺性能的关键因素;纤维长度对传统环锭纺系统致命约束充分体现在羽绒、毛绒、麻绒以及过短落棉等纤维不可传统环锭纺纱。

#### 1.1.4 环锭纺纱要求纤维具有适当的初始模量和细度

纤维的初始模量对纤维的内外转移有非常大的影响,相对初始模量越高,纤维在纱线方向的转移周期越大,在纱线横截面方向的纤维转移幅度越小<sup>[20]</sup>,即纤维的模量越大,纤维的内外转移作用越差。这也是混纺纱线中模量大的纤维易于位于纱线里层的原因<sup>[21]</sup>,但是当纤维的初始模量过大时,纤维刚度较高,纤维不易弯曲,纤维的内外转移较差。因此,一般的苧麻纤维内外转移较差,纺纱性能较差,成纱毛羽较多,当纤维过粗、初始模量过大,如一些动物毛发等纤维,就会无法实现在环锭细纱机上纺纱。这从另一方面也说明了纤维越细,刚度越小,模量越小,纤维须条越容易被加捻,内外转移越好,纺纱性能越好。另外,纤维越细,如超细羊毛,纺同支数纱线截面的纤维数越多,纤维之间的抱合性越好<sup>[22]</sup>,纱线强力越高。

#### 1.1.5 限制环锭纺纱的其他因素

短纤维转变成纱线过程中,不仅受到纤维长度、细度、纤维数量等影响,而且还受到纤维几何结构、表面性能等因素影响。纤维几何结构包括三方面,即长度方向结构、径向截面结构和表面结构形态<sup>[23]</sup>。纤维长度方向结构如图 1.1.6 所示,按照纤维弯曲形态结构分为笔直、弱卷曲、卷曲。一般情况下,纺纱纤维卷曲形态优良,纤维纺纱性能越好,成纱质量越高。兔毛纤维环锭成纱抱合差、飞毛和落毛严重主要原因就是兔毛纤维毛杆笔直、无卷曲、鳞片张角小、表面光滑,摩擦系数小等因素所致<sup>[24]</sup>。纤维径向截面几何结构是指纤维截面几何形态,一般化学短纤维截面为圆形,差别化纤维截面可以有叶状、锯齿状等,天然纤维中棉截面形态为腰圆形。纤维表面结构形态表现在纤维表面粗糙程度,与纤维表面有无鳞片、鳞片大小、孔洞大小等因素密切相关。

纤维表面结构形态和截面形态关系到纺纱过程中纤维之间摩擦系数,对纤维的可纺性有很大影响。一般情况纤维摩擦系数过小,就会很难成纱,因此常采用对纤维

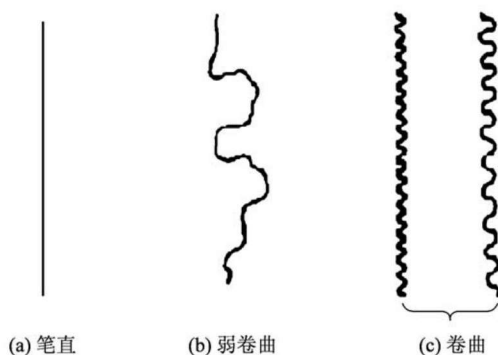


图 1.1.6 纤维沿长度方向几何结构示意图

进行和毛加油以提高纺纱过程中纤维之间抱合力、降低静电作用。由此看出,纤维具有一定卷曲和表面摩擦性能,是环锭成纱中短纤维之间必须产生足够成纱抱合力的需要,这是传统环锭成纱原理所固有的最基本要求。

总之,正是上述原因,限制了环锭纺所能加工的纤维品种以及所生产纱线的极限支数,导致传统环锭纺纱技术无法充分利用纤维原料,对一些纤维,如一些短绒、羽绒、落毛、落棉、木棉等纤维很难进行纺纱加工。并且,环锭纺纱过程中,处于扁带状纤维须条外围的纤维将会因不能很好地捻入纱体而形成毛羽,特别对于刚度较大、转移较困难的纤维,如苧麻纤维、纱线毛羽问题更加严重,使得纤维利用率以及产品档次下降。

除了上述问题以外,从成纱的特点来看,环锭纺纱主要以短纤维为主要原料,品种较为单一,虽然有长丝复合纱的开发和生产,品种还是受到较大的局限,为了实现消费者对不同花色品种需求的发展,许多生产企业应用花式线成纱设备进行多花色品种纱线的生产,也有的在环锭纱的基础上进行二次开发,但普遍生产效率比较低,如何在环锭细纱机上实现多花色品种纱线的生产也具有非常大的意义。

加捻和卷绕同时进行是环锭纺纱的最大特点,捻度是环锭纺纱成纱的必要条件,对于提高纱线的强度和减少纱线的毛羽非常重要,但是捻度所形成的残余扭矩对后续生产带来了诸多麻烦,如导致针织纱中辫子纱或扭结、针织产品的纬斜等。为了克服这些问题,在织造前需要对纱线进行蒸纱处理或者对最终的面料进行扩幅热定型,也有研究人员为此进行平行纺纱或者低扭矩纱线生产技术的研究。

环锭纱的毛羽也是一个非常显著的问题。后续的纱线需要经过浆纱或者烧毛处理,或者最终的产品需要经过烧毛处理,适当加大捻度可以降低毛羽,但是这降低了