



“十二五”国家重点出版规划项目

高性能纤维技术丛书

高性能纤维制品 成形技术

Forming Technology of Textiles with
High Performance Fibers

俞建勇 胡吉永 李毓陵 著



国防工业出版社
National Defense Industry Press



“十二五”国家重点出版规划项目

高性能纤维技术丛书

高性能纤维制品 成形技术

俞建勇 胡吉永 李毓陵 著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

鉴于高性能纤维材料纺织结构制品在国民经济发展中的重要性,以及应用需求的多样性,迫切需要发展相应纺织结构制品成形技术。本书针对高性能纤维的纺织结构成形技术,在概述常见纺织结构预制件成形方法的基础上,举例介绍一些高性能纤维典型纺织结构制品——缆绳、无纬布、机织布、针织布和编织布成形的纤维或纱线准备工序、成形装备和成形工艺。

本书有助于处于产业链各环节的科研院所、企业进行高性能纤维材料研究及纺织结构制品成形技术开发和应用。适于从事纺织制品成形的各方面技术人员和学者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

高性能纤维制品成形技术/俞建勇,胡吉永,李毓陵著.

—北京:国防工业出版社,2017.7

(高性能纤维技术丛书)

ISBN 978-7-118-11323-5

I. ①高… II. ①俞… ②胡… ③李… III. ①纤维
增强复合材料—成型 IV. ①TB33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 116450 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 15 字数 302 千字

2017 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 76.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

高性能纤维技术丛书

编审委员会

指导委员会

名誉主任 师昌绪

副主任 杜善义 季国标

委员 孙晋良 郁铭芳 蒋士成

姚穆 俞建勇

编辑委员会

主任 俞建勇

副主任 徐坚 岳清瑞 端小平 王玉萍

委员 (按姓氏笔画排序)

马千里 冯志海 李书乡 杨永岗

肖永栋 周宏(执行委员) 徐樾华

谈昆仑 蒋志君 谢富原 廖寄乔

秘书 黄献聪 李常胜

序

Foreword

从2000年起,我开始关注和推动碳纤维国产化研究工作。究其原因是,高性能碳纤维对于国防和经济建设必不可缺,且其基础研究、工程建设、工艺控制和质量管理等过程所涉及的科学技术、工程研究与应用开发难度非常大。当时,我国高性能碳纤维久攻不破,令人担忧,碳纤维国产化研究工作迫在眉睫。作为材料工作者,我认为我有责任来抓一下。

国家从20世纪70年代中期就开始支持碳纤维国产化技术研发,投入了大量的资源,但效果并不明显,以至于科技界对能否实现碳纤维国产化形成了一些悲观情绪。我意识到,要发展好中国的碳纤维技术,必须首先克服这些悲观情绪。于是,我请老三委(原国家科学技术委员会、原国家计划委员会、原国家国防科学技术工业委员会)的同志们共同研讨碳纤维国产化工作的经验教训和发展设想,并以此为基础,请中国科学院化学所徐坚副所长、北京化工大学徐樑华教授和国家新材料产业战略咨询委员会李克建副秘书长等同志,提出了重启碳纤维国产化技术研究的具体设想。2000年,我向当时的国家领导人建议要加强碳纤维国产化工作,中央前后两任总书记均对此予以高度重视。由此,开启了碳纤维国产化技术研究的一个新阶段。

此后,国家发改委、科技部、国防科工局和解放军总装备部等相关部门相继立项支持国产碳纤维研发。伴随着改革开放后我国经济腾飞带来的科技实力的积累,到“十一五”初期,我国碳纤维技术和产业取得突破性进展。一批有情怀、有闯劲的企业家加入到这支队伍中来,他们不断投入巨资开展碳纤维工程技术的产业化研究,成为国产碳纤维产业建设的主力军;来自大专院校、科研院所的众多科研人员,不仅在实验室中专心研究相关基础科学问题,更乐于将所获得的研究成果转化为工程技术应用。正是在国家、企业和科技人员的共同努力下,历经近十五年的奋斗,碳纤维国产化技术研究取得了令人瞩目的成就。其标志:一是我国先进武器用T300碳纤维已经实现了国产化;二是我国碳纤维技术研究已经向最高端产品技术方向迈进并取得关键性突破;三是国产碳纤维的产业化制备与应用基础已初具规模;四是形成了多个知识基础坚实、视野开阔、分工协作、拼搏进取的“产学研用”一体化科研团队。因此,可以说,我国的碳纤维工程

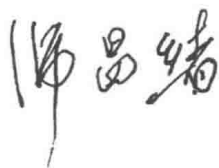
技术和产业化建设已经取得了决定性的突破!

同一时期,由于有着与碳纤维国产化取得突破相同的背景与缘由,芳纶、芳杂环纤维、高强高模聚乙烯纤维、聚酰亚胺纤维和聚对苯撑苯并二噁唑(PBO)纤维等高性能纤维的国产化工程技术和产业化建设均取得了突破,不仅满足了国防军工急需,而且在民用市场上开始占有一席之地,令人十分欣慰。

在国产高性能纤维基础科学研究、工程技术开发、产业化建设和推广应用等实践活动取得阶段性成就的时候,学者专家们总结他们所积累的研究成果、著书立说、共享知识、教诲后人,这是对我国高性能纤维国产化工作做出的又一项贡献,对此,我非常支持!

感谢国防工业出版社的领导和本套丛书的编辑,正是他们对国产高性能纤维技术的高度关心和对总结我国该领域发展历程中经验教训的执着热忱,才使得丛书的编著能够得到国内本领域最知名学者专家们的支持,才使得他们能从百忙之中静下心来总结著述,才使得全体参与人员和出版社有信心去争取国家出版基金的资助。

最后,我期望我国高性能纤维领域的全体同志们,能够更加努力地去攻克科学技术、工程建设和实际应用中的一个一个难关,不断地总结经验、汲取教训,不断地取得突破、积累知识,不断地提高性能、扩大应用,使国产高性能纤维达到世界先进水平。我坚信中国的高性能纤维技术一定能在世界强手的行列中占有一席之地。



2014年6月8日于北京

师昌绪先生因病于2014年11月10日逝世。师先生生前对本丛书的立项给予了极大支持,并欣然做此序。时隔三年,丛书的陆续出版也是对先生的最好纪念和感谢。——编者注

前言

Preface

高性能纤维目前已广泛应用于纤维增强复合材料。纤维增强复合材料包括柔性工程复合材料、纺织结构复合材料、纤维增强水泥复合材料和玻璃纤维复合材料等。由于这些材料具有环境相容性、功能化、可设计和复合化以及智能化的特点,所以在我国环境污染严重、人口极度膨胀以及地球可开采资源、能源、原材料匮乏的情况下,其应用对于人们生活质量的提高、农业工程技术的支撑、能源新材料的提供、环境保护工程材料的提供和分离、建筑工程材料的提供以及军事航空航天的发展具有重要的战略意义。高性能纤维工程技术应满足新领域、新需求和促进产业结构优化。

高性能纤维新材料要获得长远的发展,其纺织结构成形技术必须跟上去,否则势必影响高性能纤维产业发展。同样,一些特殊用途的高性能纤维材料纺织结构成形技术开发能力跟不上,则势必影响我国军工、消防等特殊行业对材料的发展需求。

纺织结构纤维制品作为纺织结构复合材料的预制件,其纱线不仅沿面内分布,而且可沿厚度方向分布,形成空间网状结构,这种结构在保留了传统层合复合材料高比刚度、高比强度、耐腐蚀、抗疲劳等优点的同时,克服了层合复合材料层间强度低的致命缺点,显著提高了层间性能和损伤容限。另外,其整体成形性和可设计性使得其具有其他材料无法比拟的优点,在航空航天、船舶、汽车和建筑等防护工程领域具有不可替代的作用。

本书是“高性能纤维技术丛书”的分册之一,针对目前几类典型的高性能纤维的纺织结构制品(绳、无纬布、平面正交或多相机织布、三维机织布、经编布、编织布)成形技术,总结现有的研究成果、工程技术及工艺经验,希望有助于处于产业链各环节的科研院所、企业进行高性能纤维材料的研究开发和应用,促进高性能纤维材料的良性发展。

作者

2016年10月

VII

目录

Contents

第1章 纺织成形技术简介	001
1.1 纺纱技术	001
1.1.1 环锭纺	001
1.1.2 集聚纺	002
1.1.3 转杯纺	003
1.1.4 喷气纺	003
1.1.5 涡流纺	004
1.2 绳索加工技术	005
1.3 织造技术	007
1.3.1 机织技术	008
1.3.2 针织技术	017
1.3.3 非织造技术	019
1.3.4 编结加工	020
1.4 本章小结	026
参考文献	027
第2章 芳纶纤维纺织结构成形技术	028
2.1 芳纶纤维可加工性	028
2.2 芳纶纤维毡	028
2.2.1 芳纶针刺毡的制备工艺	028
2.2.2 芳纶水刺毡的制备工艺	031
2.3 芳纶纤维绳索	032
2.3.1 绳索编织工艺流程	032
2.3.2 复丝合股加捻	033
2.3.3 倒纱	033
2.3.4 编织机的机构及工作原理	033

2.4	芳纶纤维无纬布	034
2.4.1	工艺流程	034
2.4.2	芳纶无纬布的质量控制	035
2.5	芳纶纤维机织布	035
2.5.1	织前准备	035
2.5.2	普通机织物	037
2.5.3	浸胶芳纶帆布生产工艺	039
2.5.4	芳纶防刺复合材料基布的生产	039
2.5.5	芳纶正交织物制作流程	043
2.6	三维编织物	046
2.6.1	多向三维编织物织造的特点	047
2.6.2	锥形壳体织物的设计及制作技术	047
	参考文献	060

第3章 玻璃纤维制品成形技术 061

3.1	玻璃纤维毡	062
3.1.1	性能特点	063
3.1.2	玻璃纤维规格	063
3.1.3	工艺流程	064
3.2	玻璃纤维绳索	067
3.2.1	纱线及绳的卷绕特点与要求	068
3.2.2	玻璃纤维包芯绳	069
3.2.3	碳纤维与玻璃纤维复合绳索	070
3.3	玻璃纤维无纬布	071
3.3.1	玻璃纤维单向预浸料分类	071
3.3.2	原材料要求	072
3.3.3	无纬布制备方法	073
3.3.4	质量控制	073
3.4	玻璃纤维机织布	076
3.4.1	织前准备	077
3.4.2	玻璃纤维织物	077
3.4.3	玻璃纤维机织系统	080
3.4.4	玻璃纤维机织工艺特性	081
3.5	玻璃纤维经编制品	084
3.5.1	玻璃纤维纱线的可编织性	085

3.5.2	玻璃纤维纱线的整经	087
3.5.3	编织工艺	087
3.6	玻璃纤维三维机织物	091
3.6.1	圆形截面三维机织物	091
3.6.2	字形三维立体织物	093
3.6.3	织物参数对纤维体积分数的影响	096
3.7	玻璃纤维三维编织物	098
3.7.1	三维全五向编织物的制备	098
3.7.2	拉伸性能测试	101
3.7.3	弯曲性能测试	102
3.7.4	压缩性能测试	103
3.8	电子提花机织制多层接结玻璃纤维机织物	105
3.8.1	电子提花机及其改造	105
3.8.2	基于蜂巢组织的多层接结机织物的设计与织造	112
3.8.3	织造总结	121
	参考文献	122

第4章 碳纤维制品成形技术 123

4.1	碳纤维绳索	125
4.1.1	碳纤维拉索的构造	125
4.1.2	碳纤维拉索的优越性	125
4.1.3	加工工艺	127
4.2	碳纤维无纬布	132
4.3	碳纤维机织布	134
4.3.1	织造准备工序	134
4.3.2	织造工艺	136
4.3.3	卷纬工艺	136
4.3.4	碳纤维的四剑杆织机织造	138
4.4	碳纤维经编制品	166
4.4.1	手动横机碳纤维编织	166
4.4.2	碳纤维多轴向经编针织物	168
4.5	碳纤维三维机织物	171
4.5.1	三维机织物	171
4.5.2	三维双轴织物	175
4.6	碳纤维三维编织物	177

4.6.1	四步法编织·····	177
4.6.2	二步法编织·····	178
参考文献	·····	179
第5章	其他高性能纤维制品成形技术·····	180
5.1	芳砒纶纤维·····	180
5.1.1	可加工性·····	180
5.1.2	芳砒纶纱线·····	184
5.1.3	芳砒纶阻燃纯纺机织物的织造·····	185
5.1.4	平面四轴向机织物·····	196
5.2	PPS纤维·····	208
5.2.1	纤维可加工性·····	208
5.2.2	PPS纤维的机织物开发·····	208
5.3	其他高性能纤维典型产品的加工·····	214
5.3.1	高强高模聚乙烯纤维的可加工性·····	214
5.3.2	碳化硅纤维·····	216
5.3.3	聚四氟乙烯纤维·····	217
5.3.4	PBI纤维·····	218
参考文献	·····	219

第 1 章

纺织成形技术简介

纱线、绳、织物,都是纺织材料,是纤维制品的主要种类,是纺织品的基本形式。纱线,是由动物、植物、矿物,再生、合成以及金属纤维等运用加捻或并合的方式抱合成的一连续性无限延伸的纤维集合体,以便适用于织布、制绳、制线、针织、刺绣和编织等加工工艺。织物,是由纺织纤维和纱线制成的、柔软而具有一定力学性能和厚度的制品,也就是人们通常所说的纺织品。一般而言,织物是纤维、纱线或二者结合的集合体。纺织品可通过多种成形方法制备。每一种成形方法可制备多类纤维集合体结构,它们因所使用的原材料、利用的装备和机器及制备过程涉及的工艺不同而产生差异。在具体应用时,以织物为代表的纤维集合体的选择,取决于最终用途的性能要求或最终用户期望的美学特征,同时考虑成本和价格。

1.1 纺纱技术^[1-3]

当代纺纱工艺技术概括为六大类:环锭纺(ring spinning)、集聚纺(compact spinning)、转杯纺(rotor-spun)、喷气纺、涡流纺(vortex spinning)和绳索。这六种纺纱体系具有不同的特征,可纺纱支数范围、自动化程度、费用、结构、最终产品外观等的优缺点都各不相同。

1.1.1 环锭纺

环锭纺始于 19 世纪,是市场上用量最多、最通用的纺纱方法,核心是锭子、钢领和钢丝圈系统。经拉伸后的纤维须条通过环锭钢丝圈旋转引入,钢丝圈由纱管上的纱条带动绕钢领回转对纱条加捻,而钢领的摩擦使纱条转速略小于纱管而得到卷绕(图 1-1)。环锭纺广泛应用于各种短纤维的纺纱工程,包括普梳、精梳及混纺等方式。环锭纱的形态为纤维大多呈内外转移的圆锥形螺旋线,使纤维在纱中内外缠绕联结,纱的结构紧密、强力高,适用于制线、机织、针织和编织等各种产

品。环锭纺的纺纱质量已达到相当高的水平,应用范围及品种适应性大。

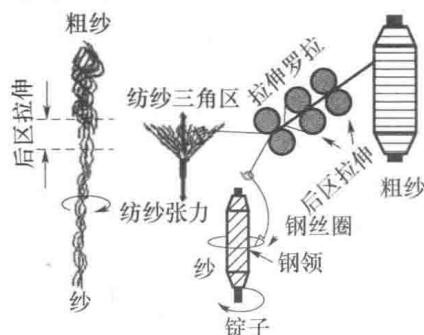


图 1-1 环锭纺纺纱原理

1.1.2 集聚纺

集聚纺又称紧密纺。虽然环锭纺已得到相当的发展,现代普通环锭纺纱质量及纱线结构都很好,但生产技术仍不十分理想。普通环锭纺纱形成区引出纤维宽度明显大于纺纱三角区的宽度,表明三角区边的一些纤维会散失,或者不能被纱线体抓持住,产生不受控纤维。为了进一步消除纱疵,减小毛羽,瑞士立达公司研究开发了 Comfortspin 工艺技术,在纱线从前罗拉到加捻点之间,纺纱三角区增加负压吸力,形成拉伸钳口线与纱线形成点之间的集聚区(图 1-2),使成纱非常紧密,故称集聚纺。集聚纺的显著优点是纱线结构的改进,它有较好的强力及伸长率,纤维散失少,显著减少不正常的质量现象,即强力弱环和毛羽减少,织机效率增加。减少毛羽,尤其是减少 3mm 及以上的毛羽含量,是集聚纺对环锭纺的重要改进,对进一步加工起积极作用。此外,可以适当减少纱线捻系数,增加细纱机输出速度,对下游工序加工有利。

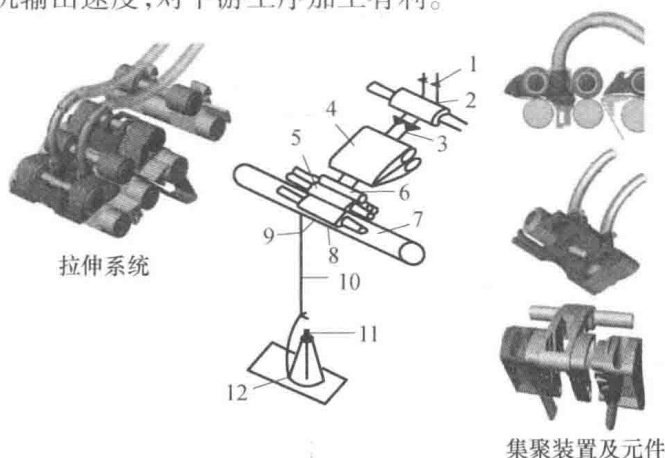


图 1-2 集聚纺纺纱原理

1—粗纱导纱器;2—后罗拉;3—粗纱须条;4—拉伸皮圈;5—过桥齿轮;6—前罗拉;
7—异形吸管;8—输出罗拉;9—汇聚点;10—集聚区;11—锭子;12—钢丝圈。

1.1.3 转杯纺

转杯纺,也称气流纺,因采用转杯凝聚单纤维而得名。该纺纱技术不用锭子,主要用分梳辊、纺杯、假捻装置等多个部件。分梳辊用来抓取和分梳喂入的棉条纤维,通过它的高速回转所产生的离心力可把抓取的纤维甩出。纺杯是个小小的金属杯子,其旋转速度比分梳辊高出10倍以上,由此产生的离心作用,把杯子里的空气向外排;根据流体压强的原理,使棉纤维进入气流杯,并形成纤维流,沿着杯的内壁不断运动。这时,杯子外有一根纱头,把杯子内壁的纤维引出来,并连接起来,再加上杯子带着纱尾高速旋转所产生的钻入作用,就好像一边“喂”棉纤维,一边加纱线搓捏,使纱线与杯子内壁的纤维连接,在纱筒的旋绕拉力下进行拉伸,连续不断地输出纱线,完成转杯纺纱,如图1-3所示。纺纱有速度快、纱卷大、适应性广、机构简单,以及不用锭子、钢领、钢丝圈的优点,可成倍地提高细纱的产量。

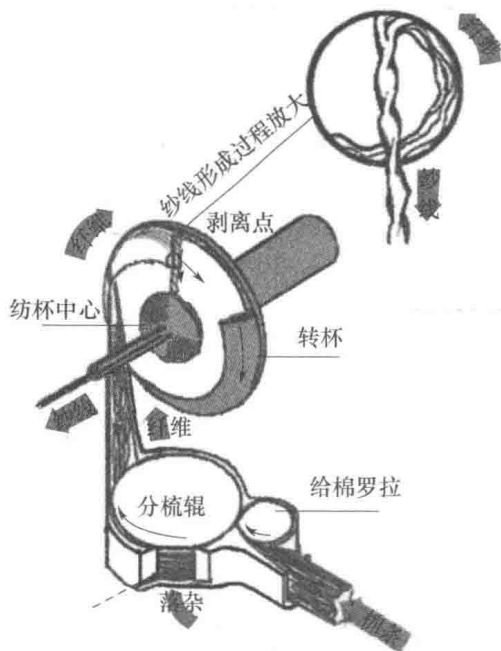


图1-3 转杯纺纺纱原理

1.1.4 喷气纺

喷气纺是利用高速旋转气流使纱条加捻成纱的一种新型纺纱方法。喷气纺采用棉条喂入,四罗拉双短胶圈超大拉伸,经固定喷嘴加捻成纱。纱条引出后,通过清纱器绕到纱筒上,直接绕成筒子纱,如图1-4所示。喷气纺可以纺制30~7.4tex(20~80英支)的纱线,适用于化纤与棉的纯纺及混纺。因喷气纺的成纱机理特殊,喷气纱的结构、性能与环锭纱有明显的差异,其产品具有独特的风格。

喷气纱质量的综合评价较好,除了成纱强力比环锭纺低 5% ~ 20% 以外,其他质量指标均优于环锭纱。喷气纱的物理特性,如条干 CV 值,粗细节和纱疵均优于环锭纱。3mm 以上毛羽较环锭纱少,虽成纱强力较低,但强力不匀率比环锭纱低。适用于剑杆织机和喷气织机等新型织机的织造,可提高织机生产效率 2% 以上。喷气纺的品质除了与环锭纱类似,还有其独特性,喷气纱摩擦因数较大,纱线具有方向性,其摩擦性能也具有方向性。耐磨性能优于环锭纱,但手感较硬。

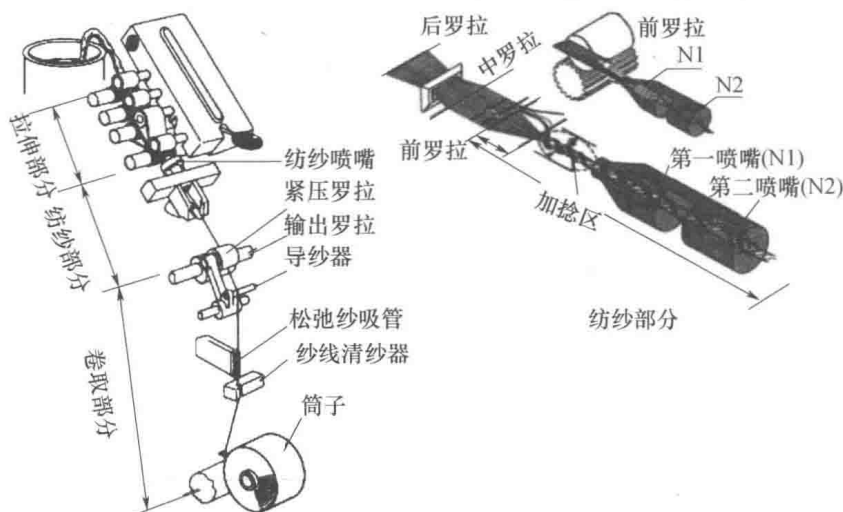


图 1-4 喷气纺纺纱原理

1.1.5 涡流纺

涡流纺靠涡流作用使开松成单根状态的纤维凝聚和加捻成纱。涡流纺纱是利用固定不动的涡流纺纱管来代替高速回转的纺纱杯进行纺纱的一种新型纺纱方法。从某种意义上说,涡流纺纱才是真正意义上的气流纺纱。首先把纤维条经刺辊开松呈单根纤维状态,然后靠气流的作用使纤维通过切向通道进入涡流管内,形成纤维流。在涡流管的适当位置沿圆周切向开若干进气孔,涡流管的尾端经总风管和过滤网接抽风机,使涡流管内始终保持负压。高速回转的涡流沿涡流管做轴向运动,与切向通道送入的纤维流同向回转,达到轴向平衡。在平衡位置上,涡流推动自由端纱尾做环形高速回转。不断喂入的纤维与运动着的纱尾相遇而凝聚到纱尾上。自由端在高速回转时,纱条即被加上捻度。纺成的纱由一对输出罗拉积极输出,经槽筒或往复导纱器绕成筒子纱(图 1-5)。

涡流纱中纤维的平行伸直度较差,成纱的结构与环锭纱不同,所以涡流纱的强力较环锭纱低。涡流纱的结构蓬松,吸色性好。为了使纺成的纱具有一定的强力和条干水平,要求喂入的纤维具有较好的整齐度和适当的长度。因此,涡流纺纱比较适宜于化纤纯纺或混纺的粗中号纱,用作起绒纱或用以纺包芯纱。涡

流纺纱单产水平和制成率都比较高,由于在负压条件下纺纱,车间飞花少,劳动条件好。产品可用作毛毯、围巾、服装和装饰用织物。

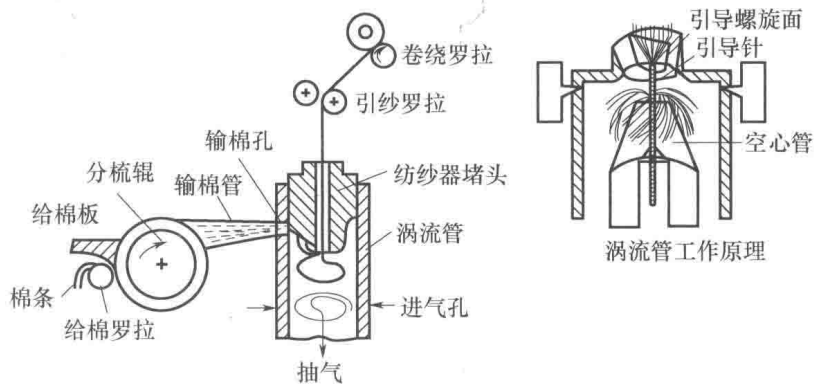


图 1-5 涡流纺纺纱原理

1.2 绳索加工技术^[3]

绳索是指在软物质范畴里,由纱线或纤维束(天然纤维、化学纤维)经过并、捻或编等工艺制成的柔软而且细长的物体。相对于弯曲、扭转载荷来说,绳索能承受比较大的轴向拉伸载荷,所以绳索主要用作传递载荷,或者用作固定、连接某些物体的工具。绳索可分为捻绳和编织绳。其中编织绳根据结构可分为圆编绳和立体编绳。圆编结构的绳一般由绳芯和外皮组成。如图 1-6(a)所示,绳(股)芯在绳股捻制和使用时,起支撑外层绳股、保持绳股形状完整的作用;纤维绳芯还起增加柔软性和润滑减磨作用。当绳受冲击和拉伸时,被压紧的纤维绳(股)芯,因平行伸直而能起一定承载作用。绳芯可以为纤维、无纺布或者纤维和无纺布。立体编绳的结构如图1-6(b)所示,一般没有明显的皮芯结构,各绳股产生整体的穿插绞合,形成立体结构。

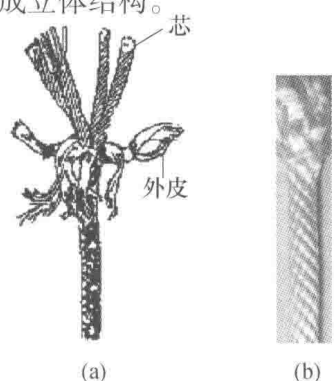


图 1-6 绳索
(a) 捻绳; (b) 编织绳。

绳索生产设备一般包括制绳机、编绳机及合股机。

常见绳索按制造工艺可分为平行纤维绳、捻绳和编织绳。另外,可供借鉴的还有一种编织结构——盘根(packing)。各种加工工艺和产品性能的特点如下。

1. 平行纤维绳

常见钢缆、钢绞线即采用平行纤维绳结构(图1-7(a)、(b))。其制造工艺较为简单。

2. 捻绳

捻绳制作工艺是先将多根初捻后的单丝、纤维束或纱线,经反向复捻形成绳线,再将多根绳线反向复捻形成绳子,多根绳纱反向复捻成绳股,多根绳股即可捻制后加工为绳索。其中单根纱线和单股、单股和绳子的扭结方向都是两两相反,以便结合紧密。捻绳的两端必须分别固定,否则原来的扭结会散开。三股绞编绳结构如图1-8所示。



图1-7 平行钢丝索和平行钢绞线索 图1-8 三股绞编绳结构
(a) 平行钢丝索;(b) 平行钢绞线索。

3. 编织绳

在编织绳中,绳股不是以加捻的方式绞合在一起的,而是以一种穿插的形式相互交叉在一起的。根据编织绳的种类其加工机械可分为立体绳编织机、圆编机和捻线机。根据编织速度其加工机械可分为高速机和普通机。普通的编织结构为管型编织绳、实心编织绳以及八股编绞绳等。常见编织绳结构如图1-9所示。

圆编机主要包含锭子、编织机构、卷绕输出机构三个主要部分,如图1-10所示。其中锭子是经过预织机卷绕而成的储纱部件,放置在圆编机编织机构的轨道上。圆编机的编织机构根据不同的机型有所不同,但是大体原理相同。圆编机的卷绕输出机构主要是通过一对主动轴的带动作用,将经过编制而成的绳子从编织区拉出。其作用有两方面:一方面,给轨道上的锭子以一定的张力,从而保证编织张力,以及编织口位置的相对稳定;另一方面,将绳子从编织口及时拉出并送到卷绕或者储备绳子的桶子中。

4. 盘根结构

盘根也称为密封填料,用于密封,通常由较柔软的线状物编织而成,其是截面为正方形、长方形或圆形的条状物。盘根结构的特点是高强度、高回弹,柔软