

青岛纺织工程与管理

Qingdao Textile Engineering and Administration

2016 年第九期 (总第 93 期)

青岛市纺织工程学会 主办

锦桥纺织网 协办

qtlei@sina.com

本期目录

高支精品纱温湿度控制要求和技术参数	2
影响锦纶丝包芯纱包覆效果的主要因素	9
生物质再生纤维柔软光洁纱的开发与生产	16
学习园地	29

高支精品纱温湿度控制要求和技术参数

周玉祥 吴恒银 游 洪 郁春涛 (苏东华纺织有限公司)

摘要: 分析了车间温湿度对精品纱生产过程的影响,介绍了在高支精品纱生产过程中温湿度的控制要求,列举了生产过程中温湿度控制技术参数。

关键词: 空调; 温湿度; 精品纱; 影响

车间空气温湿度控制和调节质量直接影响产品的产量、质量、消耗和员工身心健康,空调应能够满足纺织纤维在加工过程中对温湿度的要求,保证各工序生产过程的正常进行,提高产质量和设备利用率。我公司在如何利用空调来满足纯棉高档精品纱线的生产,降低车间空气温湿度对生产过程的影响方面做了大量有益的尝试。

1 温湿度对棉纤维纺纱性能的影响

棉纤维大分子中存在许多亲水性基因(-OH),吸湿性较好,棉纤维的标准回潮率为8.5%。空气的温湿度直接影响着棉纤维的吸、放湿状态。当吸湿量等于放湿量时,即达到了吸湿平衡状态,棉纤维在正常环境中经过6-8小时即可达到平衡状态。

车间相对湿度对纤维的纺纱性能影响较大,相对湿度增大后能增进和改善长链分子的整列度而使棉纤维的强力增加,在标准温湿度状况下,棉纤维的强力可比干燥状态下提高50%。但相对湿度超过80%以上时,棉纤维的强力增加率减小,甚至有降低趋势。温度对纤维强度的影响较小,一

一般来说，温度高时，纤维分子的运动能量增大，减弱了某些区域纤维分子间的引力，因而拉伸强度降低，有实验表明，温度升高 1℃，纤维的强度约减少 0.3%。

棉纤维表面的棉蜡对纤维具有保护作用，是棉纤维具有良好纺纱性能的原因之一。纤维中的棉蜡在 18.3℃ 以下时呈现硬化状态，纺纱时润滑作用降低，拉伸阻力增加。当环境温度超过 27℃ 时，棉蜡开始融化、发粘，同样对纺纱拉伸带来不利影响。只有当生产环境温度在 18.3-27℃ 时，棉蜡呈现软化状态，纤维润滑柔软，可纺性最佳。

温度对纤维导电性也有影响，一般随着温度的升高，纤维的导电能力也相应的增加。但在温度过高时，棉蜡融化，会发生绕皮辊和绕罗拉的不良后果。当相对湿度由 20% 提高到 60% 时，棉纤维的导电性能可提高四倍；相对湿度低于 45% 时，则容易产生大量静电且散逸困难。

在纺织生产过程中，温度偏高或偏低，都易导致棉纤维脆断、产生静电及对拉伸过程产生影响。而相对湿度偏高或偏低，也会对纺纱过程中造成短绒飞花增多、纱线强力下降。因此，根据棉纤维的物理性能来选择合适的温湿度是纺好高质量纱线产品的前提。

2 温湿度对生产过程中产品质量的影响

2.1 温湿度对清梳联的影响

我公司使用的是新疆棉及进口棉，回潮较低（一般在 6% 以下），难以满足清棉工序的生产工艺要求，短绒增加较多，因此在生产前要对原棉进行必要的预松包加湿处理，使原棉回潮率提高到 7.0% 以上，以利于提高纤维强力，减少纤维在打击分梳过程中的断裂，生产实践表明（见表 1），

原棉回潮率过低，生条短绒增加较多，当原棉回潮率达到 7.5%以上时，生条短绒的增长基本趋于稳定。因此清棉相对湿度一般要控制在 60~65%、梳棉控制在 50~55%，以使纤维在生产过程中处于外干内湿的放湿状态，增强纤维的柔软性和抗打击能力。清棉工序原棉的回潮率过小，棉纤维脆弱易被打断，落棉增加，而短绒增加会直接影响成纱强力。若回潮率过大则不利于开松除杂，纤维易产生束丝。梳棉如相对湿度偏高，则会产生分梳困难、棉结增加、除杂效率下降、断头增多，如果相对湿度太低，则纤维易脆断、落棉飞花增多。生条回潮率一般控制在(6.5 ± 0.5)%为宜。

表 1 不同原棉回潮率状态下生成的生条短绒率

圆盘内原棉回潮率 (%)	6	7.5	8
原棉短绒含量 (%)	19.6		
抓棉机打手速度 (r/min)	1100		
清棉机打手速度 (r/min)	710		
刺辊速度 (r/min)	930		
锡林速度 (r/min)	410		
刺辊/锡林/盖板锐度	上: 中上: 中上		
生条短绒率 (%)	22.4	20.8	20.9

2.2 温湿度对精梳的影响

棉纤维在并条工序先保湿、再吸湿，回潮率应控制在(6.8 ± 0.5)%为宜。预并条的相对湿度要求在 65~70%左右，此时纤维呈现吸湿状态，可提高纤维表面的摩擦系数，以保证拉伸过程中罗拉对纤维的握持拉伸

力，从而可提高纤维的平行伸直度，不同温湿度条件下纤维伸直平行情况见表 2。精梳工序对温湿度的要求较高，一般要求回潮率保持在 63~68% 之间，以保持纤维处于外干内湿的微放湿状态，有利于分梳元件对纤维的分梳。精梳工序如相对湿度过大，易粘卷、粘皮辊和罗拉，棉网易出现破洞。相对湿度过小则易出现静电，产生棉网破边、毛条。当精梳条回潮率控制在 $(65 \pm 2.0)\%$ 时对生产较为有利，可确保精梳条乌斯特条干值在 3.2% 以下。

表 2 相对湿度控制对预并条质量的影响

并条相对湿度 (%)	60	68
生条短绒含量 (%)	19.93	19.93
生条纤维伸直度 (%)	60.3	60.3
预并短绒含量 (%)	20.14	20.86
预并纤维伸直度 (%)	76.81	78.95

2.3 温湿度对并粗的影响

在正常情况下，粗纱的相对湿度宜偏高掌握，以使其在细纱保持内湿外干的放湿状态，内湿则使棉纤维柔软，导电性能好，因而不会由于静电效应而影响纤维正常的排列，条干均匀度好。外干则使摩擦和粘着力减小，有利于拉伸和除杂。

生产实践表明，当粗纱回潮率在 $6.8 \pm 0.3\%$ 时，棉纤维绕胶辊、缠罗拉现象大为降低，生产状态最佳。相对湿度过大（特别是高温高湿季节）时，使用低含糖的新疆棉易出现绕皮辊、绕罗拉现象，拉伸困难，影

响条干均匀，粗纱易出硬头，粗纱锭壳发涩、摩擦增加，阻力增大，粗纱卷绕困难，粗纱捻度不匀、断头增多，并条工序则易产生涌条。此时可相应提高车间温度来降低相对湿度。相对湿度过小并条棉条易产生静电、棉条蓬松、发毛、棉网破裂、纤维飞散、飞花增多，粗纱则松散、加捻困难、断头多、粗纱纤维间抱合力差，影响条干均匀度和粗纱强力，粗纱易出现成型不良现象。粗纱回潮率一般应控制在 6.5-7.1%之间。

2.4 温湿度对细纱的影响

细纱车间的相对湿度要比并粗小一些，以使粗纱在细纱车间保持内湿外干的放湿状态，这样纤维柔而不易粘附，易加工、导电性好、摩擦力小，对拉伸有利。车间温湿度的控制与棉纤维的线密度也有关，细纤维比粗纤维的柔软性要好，且中空度较高，易吸湿，生产细纤维应比生产粗纤维湿度低一些。如果相对湿度过大，纱线与钢丝圈之间以及钢丝圈与纲领之间的摩擦力增大，易造成钢丝圈飞圈，罗拉、皮圈表面附着飞花，皮辊发粘，绕皮辊，出硬头等，影响生产。所以要求相对湿度偏小控制，但不宜太小，相对湿度过小易使棉纤维散失，飞花增多，拉伸过程中易产生静电，缠绕皮辊，成纱毛羽增加，强力下降。细纱一般相对湿度不宜超过 60%，回潮率在 6.5-7.0%之间，精梳 40 支纯棉纱在不同温湿度状况下主要指标见表 3。

表 3 C14.8tex 在不同温湿度状况下的主要指标

温湿度 (°C/%)	28/55	30/65
强力 (cN)	231	238
强不匀 (%)	6.4	6.9

CV (%)	11.98	12.08
毛羽指数 (H)	4.23	4.56
50%细节 (个/km)	1	0
50%粗节 (个/km)	7	5
140%棉结 (个/km)	97	122
200%棉结 (个/km)	17	24
CVb (%)	1.77	1.82

温度对细纱生产也很重要，高温将造成粗纱回潮率下降而易产生静电，纤维棉蜡融化而出现须条纤维绕胶辊、缠罗拉、拉伸不开等现象，对生产不利。

2.5 温湿度对络筒工序的影响

由于自动络筒机速度高，检测动作灵敏，因此保持一定的相对湿度，可增加纱线的强力和回潮率，有利于清除纱疵，并使纱线表面光滑，毛羽减少。若相对湿度过大，筒子变重纱线吸湿伸长，不易除杂，电清易产生误切，机件表面沾附飞花且易生锈；若相对湿度过小，纱线强力下降，不易除杂，成型不良，毛羽增加，造成质量下降。络筒相对湿度一般控制在65-75%之间，回潮率在7.0-7.5%之间。

3 湿湿度的调节

原棉应根据回潮率和含杂情况在分级室进行预加湿，含杂高的原棉加湿量不应过大，否则在生产中杂质的分离度会受到影响。不同批号的原棉，回潮率差异应尽可能控制在1%之内，以利于清梳联的开松、除杂和混和。

细纱在运行过程中会产生较大的热量，冬季为了充分利用细纱热能，我公司将细纱电机吸热回风经过过滤，通过专用回风管道送入前纺车间空调进行混风，有效地提升了前纺温湿度的控制能力，既保证了质量，又节约了大量的能耗。

夏季细纱工序的温度一般高于前后道工序，所以我们在进行温度调节时，尽可能将粗纱及络筒的温度调节到接近细纱的温度，这样可保持粗纱条在细纱水分不致过快被蒸发，细纱管运输到络筒工序后，纱线表面也不会因温差大而出现结露现象。

细纱车间应呈现微负压状态，地吸的远程吸风口负压不低于 200Pa，确保细纱上下气流的顺向通畅，夏季确保整体换气次数在 15 次以上，冬季不低于 10 次。另外我们还每月对细纱各车弄进行温湿度测量，掌握车弄里车头、车中、车尾的温湿度，准确掌控车间温湿度变化的走势，合理确定温湿度表的调节范围，保证细纱温湿度达到生产规范要求。

当前随着空气质量的恶化，雾霾天气增多，对纺织生产带来了一定的危害，如果空调措施不力就易产生煤灰纱。所以我们专门设计了新风补入通道，利用针刺非织造丙纶纤维过滤材料阻力较小的性能，制作成驻极体过滤材料。该过滤材料在机械捕集机理的基础上，利用静电效应对颗粒物（尤其是微细颗粒物）进行捕集，具有较高的过滤效率，而阻力并不增加，作为新风滤料，过滤性能提高，可有效防治煤灰纱等现象。车间温湿度控制范围兼表 4。

表 4 车间温湿度控制范围

工序	温度 (°C)	相对湿度 (%)	半制品回潮率
----	---------	----------	--------

	夏季	冬季	控制范围	(%) 控制范围
清棉	26~30	18~25	55~60	6.5~7.5
梳棉	26~30	20~25	50~55	6~7.0
精梳	26~30	22~26	60~68	6~7.0
并条	26~30	22~26	60~65	6.5~7.0
粗纱	26~32	22~26	60~70	7.0~7.5
细纱	28~33	26~28	55~65	6.5~7
络筒	28~32	22~26	65~75	7.0~7.5

4 结语

空调管理工作必须科学化、制度化、规范化。控制好生产环节中半制品及成品的回潮率，同时从工艺、设备、操作等环节入手，减少各工序回潮率的波动，是稳定产品质量、保证生产稳定运行的基础。

影响锦纶丝包芯纱包覆效果的主要因素

梁蓉(广州大学纺织服装学院) 林建华(广州广纺联集团有限公司)

高弹锦纶长丝有较高的强伸性及均匀性，它与化学短纤维为外包纤维纺制的包芯纱有较高的强力、较小的不匀和毛羽等，这种包芯纱可用环锭纺、转杯纺、赛络纺、涡流纺、静电纺等方法纺制。由于各自的成纱原理不同，所纺出的包芯纱的结构和性能有一定的差异。如喷气纺包芯纱具有均匀、完整的包覆效果。目前使用最广泛的是环锭纺，可以在略作改动的传统环锭细纱机上加工，在环锭细纱机上加装一套锦纶丝喂人机构和预拉

伸机构，拉伸机构进行改造，采用积极方式控制拉伸量。

包芯纱的包覆效果是指它的外包纤维是否均匀、连续和稳固地分布在芯丝的周围。可通过异色皮、芯纤维试纺来检测，也可用显微观察法或染色法进行检验。用颜色差异对比度明显的芯丝和外包纤维纺纱的结果显示，环锭细纱机纺出的锦纶长丝包芯纱多少有些双组分的股线结构。即使纱条上芯纱包在短纤之中，外包纤维的分布也是不均匀的。包覆不良的纱疵有空芯、露芯、空鞘、麻花纱和弹性不均匀等，尤以“露丝”较多见。环锭锦纶长丝包芯纱的包覆率约为 80%，抗剥离性约为 90%。如果长丝与外包纤维之间出现“露丝”或“剥皮”现象，产品将在染整工序中产生质量疵点。因此，纺纱加工的关键是提高环锭锦纶丝包芯纱抗剥离能力和包覆率。

1 影响包芯纱包覆率的因素

为了提高包芯纱强力和弹性，通常是锦纶长丝位于纱的敲部；为了提高织物的手感，改善织物的舒适性，要求外包短纤维均匀地包覆在芯丝表面。正确的工艺和良好的机构，有利于在环锭细纱机上纺出高质量的锦纶包芯纱。

1. 1 芯丝的含量

实际生产中，当纺制细特纱或芯丝较粗时，易发生包覆不良，因为截面中的纤维根数较少，纤维抱合力减小，拉伸时容易断裂，锦纶丝含量超过 30%时，纱的质量明显变差。对纱支固定的包芯纱，芯丝含量高，则外包纤维的含量低，外层纤维中空程度偏大，纤维抱合力减弱，易产生纺纱断头，产生露芯纱疵，甚至出现裸丝，包缠牢度下降，影响包覆效果，

从而导致外观质量降低。

理论计算包芯纱的最小包覆量为：

最小包覆量=[外包纤维最小线密度 / (外包纤维最小线密度+芯丝旦数 / 9)]×100%

实际包覆时，外包纤维随机分布在芯丝周围，不是完全均匀地排列在芯丝周围。因此，实际包覆量应大于理论量，而且外包纤维的含量以保证芯丝不外露为前提，确保包芯纱织物具有外包纤维的风格，织物表面没有色差等。总之，锦纶丝含量不能太高，根据纱线规格和用途，一般控制在25%~30%，如23 tex 锦粘包芯纱的包覆量约为72%，锦纶丝的含量约为28%。

1. 2 芯丝预拉伸倍数

如果芯丝不经过拉伸，包芯纱就不会有弹性，拉伸倍数过低不宜发挥弹性的优势，过高则使纺纱困难。外包纤维不变时，预拉伸倍数越大，芯丝越细，芯丝离开前罗拉时回缩较多，包覆率越高。不同规格的锦纶丝拉伸倍数选择范围不同，同一规格，但不同品牌，甚至同一品牌，不同批号的锦纶丝，其拉伸倍数的选择也有差异。实际生产时，在投料前，最好对每批锦纶丝原料的内在质量指标和适纺性能进行测试，再选择合理的预拉伸倍数。通常高弹锦纶长丝的芯丝预拉伸倍数为1.03~1.35。在拉伸系统设计中，将变换齿轮设计为2只或3只，则拉伸倍数选择范围较广，且更为准确，有利于选择合理的预拉伸倍数。

1. 3 外包纤维的结构性能

纱条加捻时，位于加捻三角区的边沿纤维的向心压力最大，会克服纤

纤维间的阻力，向纱条内部转移；而位于内层的纤维，因受到挤压向外转移，部分纤维转移到长丝附近，遇到长丝的阻挡，改变转移方向，从而包覆在长丝周围。纱中外包短纤维呈圆锥螺旋线，纤维内外缠绕，将锦纶长丝包缠在纱线内。

纤维发生内外转移时，会受到张力和纤维间的阻力，且各根纤维的内外转移程度不相同。较长的纤维会发生多次内外转移；较短的纤维内外转移少，且趋于纱的外层；短纤维在拉伸过程中是浮游纤维，一般不发生内外转移。因此，应合理选配外包纤维原料，优化前纺工艺，如外包棉纤维的前纺最好经过精梳处理，最大程度地去除短绒。化学短纤维细长，长度和细度的整齐度好，这种外包纤维在加捻三角区进行内外转移的数量多，包覆效果好。

1. 4 外包纤维的纺纱工艺

从横截面看，包芯纱的结构应该以芯丝为核心，外包纤维均匀分布在它的周围；从纵向看，芯丝应该位于轴线上，外包纤维以螺旋方式包在外面。研究表明，长而细的纤维易于向纱内部转移，粗而短的纤维倾向于纱的外层，罗拉输出纤维条的上层纤维较多地位于成纱的内层。

在扁带须条成纱三角区中，一方面由于纺纱张力的作用使外层纤维或罗拉夹持的纤维束两侧的纤维不断地挤压中间纤维而形成转移，其转移效率较高；另一方面由于纤维几何机理的作用，使具有初捻的扁带纤维束形成圈捻而造成纤维的转移，这种转移频率较低。纤维的内外转移是纺纱张力和纤维几何位置共存的结果。

况且须条宽度增加，加捻三角区边沿的纤维数量增多，在相同时间内

参与转移的纤维数量增多；三角区的高度增加，加捻三角区的面积增大，参与内外转移的纤维增多。相同纱支的加捻三角区的面积大，则须条厚度小，纤维转移时受到的阻力小，外包纤维转移到芯丝周围的几率大，有利于提高包芯纱的包覆效果。因此，在保证成纱其他质量指标不明显恶化的前提下，细纱加工可采取以下措施：(1)增大前罗拉与上皮圈的距离，但浮游区长度增加，一般取 15 mm；(2)增大前上下罗拉的压力，使握持力大大增加，通常采用 176.4 N；(3)双粗纱喂入，即赛络纺包芯纱，可明显地改善锦纶包芯纱的包覆率；(4)降低细纱的捻度，使纺纱段强力降低，针织用纱可选用的捻系数约为 350；(5)增大两根粗纱间的距离，这一距离应与芯丝直径相对应，约 5 mm；(6)外包纤维输出线速度比芯纱大。

要纺出包覆完整均匀的包芯纱，芯丝所受张力应比外包纤维大，前罗拉钳口处外包纤维输出速度应较芯丝大，并可绕芯丝旋转。这样，当长丝与短纤维须条在加捻三角区同轴复合加捻时，可以保证长丝始终位于加捻中心并保持伸直状态。前罗拉转速可设定为 163 r / min，外包纤维输出线速度为 12.8 m / min。长丝张力由特定的张力装置控制。在后道加工时，例如络筒时使络纱张力小于纺纱张力，让纱线有一点回缩，由于外包纤维变形能力比氨纶丝小得多，外包纤维在纱线微小收缩时张力松弛，而芯丝在微小收缩时张力几乎不变，从而实现芯丝张力大于外包纤维的条件，再利用捻度实现外包纤维对芯丝的旋转包绕，提高环锭包芯纱的包覆效果。

1. 5 导丝轮的安装

纺纱时，芯丝下方只有少量短纤，钳口须条宽窄不定，左右移动，芯丝难以稳定于须条中央。在加捻过程中，由于内外层纤维受力差异，存在

纤维内外转移的现象，一些纤维不会总是处于外层，另一些纤维也不会始终处于内层，况且纺纱是多单元生产，要让每个锭子的导丝轮都位于理想位置，保持芯丝始终处在纱中核心地位，实非易事。然而，纱线加捻后，外包纤维呈圆锥螺旋线排列，Z捻纱的外层纤维以右螺旋线排列，S捻纱的外层纤维则以左螺旋线排列，表层纤维的捻回角大，内层纤维的捻回角小。外包纤维须条与芯丝同时从前罗拉钳口输出，锦纶长丝位于须条的上面。为了充分利用须条的卷捻作用，纺Z捻纱时，长丝应在须条的偏左侧；S捻时则在须条的偏右侧。

如果锦纶丝露出形成“露芯”，在以后的加工中，芯丝直接与机件摩擦导致发热，引起锦纶丝意外断裂，使纱线失去弹性，在布面上起皱，形成疵点。为了获得良好的包覆效果，不再使用细纱机的横动装置，除在皮辊上方安装导丝轮外，还要选用合适的集束器。集束器可使须条收紧，促使芯丝进入集束器后能导向外包须条束的中间，保证前罗拉输出的锦纶丝轴向为外包纤维加捻区的角顶处。此外，采用集束器还可显著减少毛羽，改善成纱强力及伸长率。

2 影响包芯纱抗剥离能力的因素

2.1 芯丝和外包纤维的结构性能

外包纤维与纱芯一起进行纤维间的相互穿插、纠缠，产生相互握持的自锁结构。表层纤维具有张力，产生的向心压力使纤维相互作用。这种相互接触和挤压导致摩擦和抱合作用，使包芯纱的抗剥离作用增强。若外包纤维细长，整齐度高，锦纶芯丝又是非线性结构的变形长丝，则可使长丝与外包短纤维之间具有较大的抱合力。

2. 2 成纱捻系数

采用较高的捻系数是保证锦纶丝包覆在中央而不外露的最有效手段。加捻作用使纱线中纤维间产生了向心压力，增大了纤维间的摩擦力。捻系数增加，外包纤维的向心压力大，纤维内外转移多，纤维间的摩擦力、抱合力增大，外包纤维对芯丝包缠得更加紧密牢固，包芯纱抗剥离性能越强。

由于锦纶长丝表面光滑，芯丝有收缩趋势，使外包纤维之间、纤维与芯丝之间的抱合力较小。为了获得良好的包覆性能，提高强力以适应织造加工，锦纶包芯纱的捻系数比纯棉纱高约 10%，甚至 14%。但长丝的强力随捻系数的增大而减小，捻系数过高使纱线手感变硬，柔软性差，前罗拉速度降低，影响生产效率。纺细特纱时，生产效率约是相同特数纯棉纱的 1/3，外包纤维所占比例小，纱芯容易露出来。

2. 3 锭子速度

适当降低车速有利于减少外包纤维断头。锭子速度高，钢领和钢丝圈的摩擦阻力大，包芯纱受到的张力大，断裂伸长能力小的外包纤维分担较多的拉伸力。外包纤维断裂了，即使芯丝不断，芯丝会被拉长，出现一小段裸丝。同时，芯丝张力大，难以和外包纤维缠绕，因此，为了提高锦纶包芯纱的抗剥离性能，锭速要偏低掌握，细纱机的锭速选 10 000 r/min 较适宜。

3 结语

与氨纶丝相比，高弹锦纶长丝的弹性较小。为了使锦纶包芯纱有一定的弹性，芯丝的混纺比例较大(一般高于 25%，而氨纶丝约为 20%)，如何提高包芯纱包覆效果成为保证其染色布质量的主要问题。优选拉伸工

艺，优选外包纤维的加工工艺，使锦纶丝与外包短纤维须条所处的相对位置正确合理，工艺上控制锦纶丝的含量，选择品质较好的外层纤维原料等，是提高锦纶包芯纱包覆效果确实可行的措施。

生物质再生纤维柔软光洁纱的开发与生产

朱张林（如皋市丁堰纺织有限公司）

摘要：探索应用新型生物质再生纤维、新型纺纱技术开发研制赛络紧密纺低扭矩柔软光洁纱及织物的工艺、技术和生产方法。阐述了新产品研发的技术和市场背景、意义；生物质再生纤维——海藻纤维、蚕蛹蛋白纤维、莱竹纤维的主要性能特点；研制生物质混纺 14.8tex 赛络紧密低扭矩柔软光洁纱及织物设计的工艺参数、采取的技术措施等。产品开发研究与生产探索具有创新性，对大力发展生物基绿色生态纺织产品具有一定意义。

关键词：生物质再生纤维；赛络紧密纺；低扭矩纺；混纺；柔软光洁纱；织物

1 技术背景

1.1 新型生物质再生纤维

生物质再生纤维是生物质纤维中的一类，生物质纤维包括生物质原生纤维、生物质再生纤维、生物质合成纤维三大类。生物质原生纤维历史悠久，生物质再生纤维、生物质合成纤维历史比较短，是现代科学技术不断发展的产物。我国传统的棉、麻、丝、毛纤维等都是生物原生纤维；目前已大量使用或有一定量产的或正处在研究开发阶段的如棉浆、

木浆、竹浆、麻浆粘胶型纤维、莱竹纤维、牛奶蛋白纤维、蚕蛹蛋白纤维、甲壳素纤维、海藻纤维等都是生物质再生纤维；而聚乳酸（PLA）纤维、聚羟基脂肪酸酯（PHA）、聚对苯二甲酸丙二醇酯（PTT）等都是生物质合成纤维。

结合我公司多年来新品研发情况，我们重点关注了以下三种新型生物质再生纤维。

1.1.1 海藻纤维

海藻纤维是利用海洋中褐藻类植物提取的海藻酸钠为基本原料，经过纺丝加工而成的一种天然高分子功能性纤维。海藻纤维柔软光滑，吸湿透气，与皮肤有很好的亲肤性；海藻纤维具有优秀的自阻燃性，遇火难燃，离火即熄，不产生溶滴，不产生有害气体，不阴燃，极限氧指数 LOI 为 34%；海藻纤维如加入银离子等，则具有抗静电、抗电磁辐射功能；海藻纤维还可用来制造高吸湿或抗菌除臭医用敷料；海藻纤维具有很强的金属离子吸附性，可用于污水处理吸附重金属等；海藻纤维废弃物可降解。

1.1.2 蚕蛹蛋白纤维

蚕蛹蛋白纤维是综合利用高分子技术、化纤纺丝技术、生物工程技术将蚕蛹蛋白与天然纤维素共混后，集真丝与纤维素纤维的优异性能于一体，制成的新型纤维。纤维成形时，由于采用高科技工艺，蛋白质附集在纤维的表面，形成皮芯结构的蛋白质纤维素纤维；纤维表面蚕蛹蛋白富含 18 种氨基酸，织物亲肤养肤，吸湿透气，柔和滑爽，染色鲜艳，光泽如绸，为高档面料的纤维原料，废弃物可自然降解，是一种极佳的

绿色生物质再生纤维。

1.1.3 莱竹纤维

创新性地将 Lyocell 生产工艺应用于竹纤维浆粕，生产出溶剂法纤维素纤维——莱竹纤维，生产过程和产品中不产生对人体有害的化学物，废弃物也可自然降解，保持了产品的绿色生态化生产和利用。竹纤维素中的“竹琨”因子具有天然的杀菌、抑菌、防霉、防臭和抗紫外线功能，莱竹纤维的生态生产工艺有效地保护了天然竹纤维素中的“竹琨”因子，从而赋予了莱竹纤维杀菌、抑菌、防霉、防臭和抗紫外线等功能性，同时还具有棉纤维的舒适、聚脂纤维的强度、粘胶纤维的悬垂、蚕丝的柔软光泽和高贵等特性。

1.2 新型纺纱技术

1.2.1 赛络紧密纺

赛络纺和紧密纺都是近一段时期纺织企业应用较多的新型纺纱技术，而赛络紧密纺则是两项新技术的有机结合，其充分发挥了集聚与合股的双重作用，更有效地减小加捻三角区，成纱毛羽明显减少，尤其是长毛羽可基本消除；两根须条的同向同步加捻，使其双股结构更加清晰紧密，表面纤维排列整齐顺直，截面形状也更圆，退捻后有明显的双股结构；成纱条干、重不匀及强伸性能得到了进一步提升。与普通环锭纺单纱、赛络纺、紧密纺相比赛络紧密纺更显其突出的优越性。

1.2.2 低扭矩纺纱

低扭矩纺纱技术纺出的纱具有低残留扭应力（有人称低扭矩纺纱为扭妥纺），其核心技术是在纱设计较低捻系数的情况下，在纤维前罗拉输

出前钳口与导纱钩之间加一假捻装置，纱条在前钳口输出时即获得阶段性较高假捻系数的假捻，而在假捻过程结束后，回归到真捻状态。由于增加了假捻工艺过程：（1），消除了原纺纱过程前钳口加捻三角区的加捻弱环；（2），纺纱段纱条动态张力显著降低；（3），纱体结构发生重要改变。其核心效应，一是纱条低扭矩（但仍有较好的纱强），为后道用户所追求的高质及相关性能，二是纺纱节能效果显著。

2 市场背景

我国已经“产业化了的生物质再生纤维典型品种包括 Lyocell 纤维、PLA、细菌纤维、PBS、海藻纤维、甲壳素纤维、和部分具有生物质特征的 PTT、多元醇聚酯等等。在生物质纤维领域内，具有一定市场前景的研究工作还包括多种生物蛋白纤维和以可再生物质为原料制取各种聚合物单体的技术等等”。立足于技术，追求满足市场新需求的高性能、新功能，并且兼顾与环境相协调的新型生物质纤维及制品日益受到工业企业和消费者的青睐。

3 产品研发定位

3.1 选用新型生物质再生纤维

我公司的产品定位中，原料以再生纤维素纤维为主，七、八年来研究开发的江苏省高新技术产品也基本为新型再生纤维素纤维为主。这次确定研究开发生物质再生纤维，选用莱竹纤维（Lyocell 竹纤维）、蚕蛹蛋白纤维、海藻纤维，三种纤维原料来自于植物、动物，产自于陆地和海洋，体现了资源利用进入了新阶段，尤其是海藻纤维是海洋植物应用于纺织品纱线制造，更具重要意义。这三种纤维都各具特色功能，可循环

再生，可自然降解，绿色环保，是我国近期研发的具有自主知识产权的新型生物质再生纤维，是未来纤维应用和发展的重要方面。

3.2 采用赛络紧密纺纱技术和低扭矩纺纱技术相结合的新技术探索研究

利用低扭矩纺纱技术，在赛络紧密纺罗拉钳口与导纱钩之间加装高假捻装置，使赛络紧密纺的双股纱效果更加突出，从而纺出纱体更紧密、条干更均匀、毛羽少，纱线强伸性好、手感柔软的低扭矩赛络紧密纺新型纱线。

3.3 生物质再生纤维柔软光洁纱及织物的研发

3.3.1 选用原料

- (1) 蚕蛹蛋白纤维 1.67dtex×38mm
- (2) 莱竹纤维 1.33dtex×38mm
- (3) 海藻纤维 1.67dtex×38mm

3.3.2 品种规格设计

A 纱：生物质再生纤维光洁纱：蚕蛹蛋白纤维/莱竹纤维/海藻纤维 50/44/6 赛络紧密纺 14.8tex

B 纱：生物质再生纤维柔软光洁纱：蚕蛹蛋白纤维/莱竹纤维/海藻纤维 50/44/6 低扭矩赛络紧密纺 14.8tex

C 面料：棉 14.5/生物质混纺 14.8, 117cm, 314.5/539 横贡缎面料（注：生物质原料及混纺比为蚕蛹蛋白纤维/莱竹纤维/海藻纤维 50/44/6）

4 纺纱产品试制

4.1 纺纱工艺流程

FA002A 型抓棉机→SFA035C 型混开棉机→FA025 型多仓混棉机→FA106A 型豪猪开棉机→SFA161 型振动给棉机→A076F 型成卷机→FA201B 型梳棉机→TMFD81 型并条机（一道）→TMFD81（L）型自调匀整并条机（二道）→TJFA457A 型粗纱机→FA507B 型细纱机（装有赛络紧密纺和低扭矩纺装置）→POLAR 型自动络筒机。

4.2 主要工艺原则及技术措施

4.2.1 清花工序

蚕蛹蛋白纤维/莱竹纤维/海藻纤维 50/44/6 按质量混配比例，人工称量精细均匀混和，在抓棉机上排盘；生产过程中为了防止损伤纤维、减少棉结，采用多梳少打的工艺原则。SFA035C 型开棉机压棉帘与角钉帘隔距调整为 20mm，两平行打手及小豪猪打手采用最低一档速度，FA106A 型豪猪开棉机改用梳针打手，打手速度 480r/min，A076F 型成卷机综合打手速度 800r/min，棉卷定量设计 370g/m，棉卷均匀度 $\leq 0.8\%$ ；为了充分混和均匀，流程中用多仓混棉机。

4.2.2 梳棉工序

为了提高梳理质量和产品品质，采用轻定量、慢速度、紧隔距、强分梳、快转移工艺原则；锡林速度 330r/min，刺辊速度 680r/min，道夫速度 18r/min，锡林~盖板隔距 0.23、0.20、0.18、0.18、0.20 mm；锡林采用 2520 系列针布，盖板运用 MCH36 针布，生条定量 16.5g/5m，棉结 1 粒/克以内。

4.2.3 并条工序

采用两道并条方式，二道并条采用自调匀整机，为确保胶辊不带纤

维，前导向胶辊采用尼龙-66 加碳黑抗静电涂层，牵伸胶辊采用免处理胶辊，用适当比例的涂料进行微处理；其次调低车速（特别是二道），适当缩小吸风箱的吸口风门，以防止吸风箱吸白花。主要工艺参数见表 1。

表 1 并条主要工艺参数

品种	道 数	干定量 (g/5m)	总牵伸 (倍)	后牵伸 (倍)	隔 距 (mm)	出条速度 (m/min)	并合数 (根)
蚕蛹蛋 白 / 莱 竹 / 海 藻	头	15.5	6.4	1.92	7×15	180	6
50/44/6 14.8tex	二	14.5	8.6	1.25	8×16	160	8

熟条条干（USTER）水平：3.5%。

4.2.4 粗纱工序

采用轻定量、慢速度、大捻度、小后牵伸、小张力工艺原则，粗纱定量 4.18g/10m，后区牵伸倍数 1.18 倍，捻系数 86，锭速 800r/min，采用 WRC-975 免处理皮辊。粗纱条干（USTER）水平：5.6%。

4.2.5 细纱工序

A 纱采用四罗拉负压集聚式赛络紧密纺，负压集聚管开口上 6mm、下 3mm、槽宽 1.2mm；细纱设计捻系数 341，后区牵伸 1.20 倍，隔距 18.5×43mm，前罗拉 179r/min，锭速 11340r/min；采用 PG1-4254 轴承钢高精度减磨钢领，Bracek 蓝宝石钢丝圈；WRC-DM65 低弹抗绕前胶辊，

WRC-365 阻捻胶辊; 纺制 B 纱在纺 A 纱基础上加装新型低扭矩纺纱装置, 优选假捻线速度与前罗拉线速度比, 捻度设计为 A 纱的 87.7%。细纱工序管纱检测相关质量对比见表 2。



表 2 赛络紧密纺 14.8tex 与低扭矩赛络紧密纺 14.8tex 相关质量检测对比

项目	捻度 (捻/10cm)	捻度 CV (%)	重量偏差 (%)	重量 CV (%)	平均强力 (cN)	强力 CV (%)
赛络紧密纺	88.7	3.9	1.3	1.5	264.3	7.53
低扭矩赛络紧密纺	77.8	4.3	1.5	1.3	268.4	6.9
项目	乌斯特条干 CV (%)	细节 (-50%)	粗节 (+50%)	棉结 (+200%)	1mm 以上毛羽	3mm 以上毛羽
赛络紧密纺	12.23	1	10	31	433	6.35
低扭矩赛络紧密纺	12.07	1	12	33	437	8.41

4.2.6 络筒工序

络纱速度选择 950m/min，电清参数按针织纱要求设定。

5 织造产品试制

5.1 织造工艺流程

ASGA221 (180) 型分批整经机→ASGA365C—S 型双浆槽浆纱机→G177 型穿综机→1515M 织机（外销产品要求有梭光边织物）→GA801 型验布机→G841 型折布机→A752 型打包机。

5.2 工艺技术措施

5.2.1 整经工序

产品整经三均匀：张力均匀、排列均匀、卷绕均匀，尤其张力均匀关系到织物布面纹路清晰等质量的风格特征，需精致调整张力装置，提高张力的均匀性；同时需对整经机所有纱线通道进行全面清洁并消除毛刺，以减少纱线整经过程中的强力损失和生产断头，并适当降低整经速度（350m/min）。

5.2.2 浆纱工序

由于该设计为横贡贡缎产品，经纱用纯棉普通环锭纺纱（纬向纬面缎纹用生物质再生纤维柔软光洁纱，形成高贵品质），上浆按照“加强被覆、减少毛羽、增强、保伸”的要求，采用变性淀粉为主体的、辅以部分丙稀酸类和极少量 PVA 浆料，包覆与渗透兼顾，各区张力调节合理，严格控制湿伸长（伸长率 $<0.5\%$ ），车速 60m/min，后上腊，浆液粘度 8.5"，温度 $\geq 95^{\circ}\text{C}$ ，上浆率 12%，回潮率 6.5%（如经纱用生物质再生纤维柔软光洁纱，则工艺核心是纱中含蚕蛹蛋白纤维，力求避免酸、碱、

高温，选择高浓低粘浆料组方，采用低温上浆，较低烘干温度工艺)。

5.2.3 穿综工序

穿综时严格操作，防止穿错。

5.2.4 织造工序

为保证开口清晰，织机采用弹簧吊综开口装置和特制加边开口装置；采用低后梁迟开口工艺，上机张力偏小掌握；合理调整开口投梭时间，纬纱小张力退绕；合理选择边撑刺环，防边撑疵；适当降低布机车速。多项技术措施保证了布面光洁、丰满、体现出贡缎绸面特征。

6 产品质量

产品质量经有关产品质量监督检验机构检验，报告见表 3、表 4、表 5。

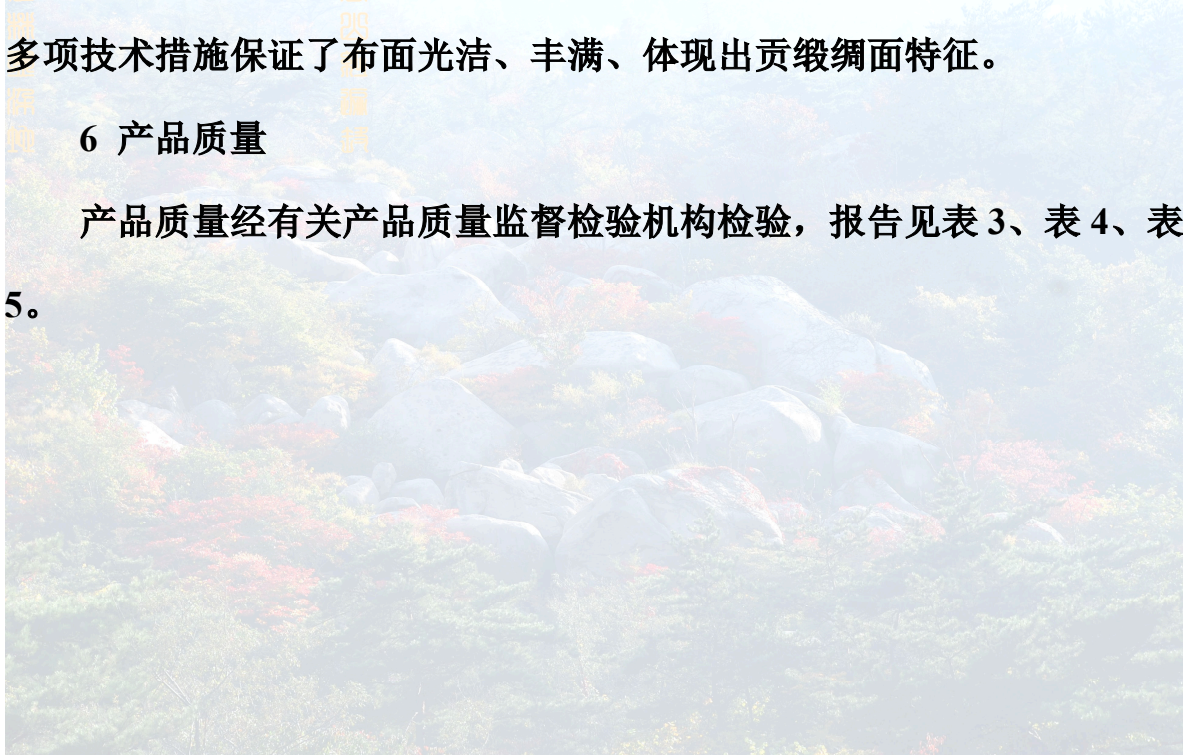


表 3 蚕蛹蛋白/莱竹/海藻 50/44/6 赛络紧密纺纱线 14.8tex

序号	检验项目	测试方法	技术要求	检验结果	单项判定
1	单纱断裂强力 CV (%)	GB/T3916-1997	≤12.5	7.4	合格
2	百米重量变异系数 (%)	GB/T4743-2009	≤3.0	1.2	合格
3	黑板条干 (优: 一: 二: 三)	GB/T9996.2-2008	≥0: 7: 3: 0	0: 8: 2: 0	合格
4	条干 CV (%)	GB/T3292.1-2008	≤15.0	13.0	合格
5	单纱断裂强度 (cN/tex)	GB/T3916-1997	≥10.5	16.8	合格
6	百米重量偏差 (%)	GB/T4743-2009	±2.5	+0.5	合格

表 4 蚕蛹蛋白/莱竹/海藻 50/44/6 低扭矩赛络紧密纺纱线 14.8tex

序号	检验项目	测试方法	技术要求	检验结果	单项判定
1	单纱断裂强力 CV (%)	GB/T3916-1997	≤12.5	8.0	合格
2	百米重量 CV (%)	GB/T4743-2009	≤3.0	1.2	合格
3	黑板条干 (优: 一: 二: 三)	GB/T9996.2-2008	≥0: 7: 3: 0	0: 8: 2: 0	合格

4	条干均匀度 CV (%)	GB/T3292.1-2008	≤15.0	12.4	合格
5	单纱断裂强度 (cN/tex)	GB/T3916-1997	≥10.5	16.8	合格
6	百米重量偏差 (%)	GB/T4743-2009	±2.5	+0.9	合格

表 5 棉 14.5/生物质混纺 14.8 横贡缎面料 117cm 314.5/539

序号	检验项目	测试方法	技术要求	检验结果	单项判定	
1	幅宽 (cm)	GB/T4666-2009	117 (-1.0%~-1.5%)	118	合格	
2	密度 (根/10cm)	GB/T4668-1995	经向	314.5 (-1.5%)	311.6	合格
			纬向	539 (-1.0%)	539.6	合格
3	断裂强力 (N)	GB/T3923.1-1997	经向	—	340	—
			纬向	—	719	—
4	棉结疵点格率 (%)	FZ/T10006-2008	—	1	—	
5	棉结杂质疵点格率 (%)	FZ/T10006-2008	—	4	—	

7 结束语

生物质再生纤维柔软光洁纱及织物运用蚕蛹蛋白纤维、莱竹纤维、海藻纤维开发研究生产混纺纱线及面料，是我公司在多年来开发研究生产多种再生纤维素纤维纱线和功能性纱线基础上，新产品开发研究升级和创新的探索：

(1) 使用的再生纤维不再局限于植物性再生纤维，拓展到生物质再生纤维领域，进一步开拓了纱线及面料的绿色生态领域，对大力发展生物基绿色生态纺织产品具有一定意义。

(2) 运用新技术纺制新型纱，即运用赛络紧密纺技术纺制生物质再生纤维混纺光洁纱、运用低扭矩技术加赛络紧密技术纺制生物质再生纤维混纺柔软光洁纱。

学习园地

石墨烯的结构性能

戴受柏 辑

摘要：石墨烯是 2004 年才发现的一种有奇异性能的新型材料，它是由碳原子组成的二维六角点阵结构，具有单一原子层或几个原子层厚。石墨烯因其具有独特的电子能带结构和具相对论电子学特性，是迄今为止人类发现的最理想的二维电子系统，且具有丰富而新奇的物理特性。本文详细介绍了石墨烯的结构，特殊性能以及对石墨烯原胞进行了 $5 \times 5 \times 1$ 的扩展，通过密度泛函理论（DFT）和广义梯度近似（GGA）对 50 个碳原子的本征石墨烯超晶胞进行电子结构计算。

关键字：石墨烯，结构，特殊性能，超晶胞，电子结构计算

一、引言

石墨烯是 2004 年以来发现的新型电子材料。石墨烯是 sp^2 杂化碳原子形成的厚度仅为单层原子的排列成蜂窝状六角平面晶体。在单层石墨烯中，碳碳键长为 0.142nm，厚度只有 0.334nm。石墨烯是构成下列碳同素异型体的基本单元：例如：石墨，碳纳米管和富勒烯。石墨烯被认为是平面多环芳香烃原子晶体。石墨烯在电子和光电器件领域有着重要和广阔的应用前景。正因为如此，石墨烯的两位发现者获得了 2010 年的诺贝尔物理学奖。

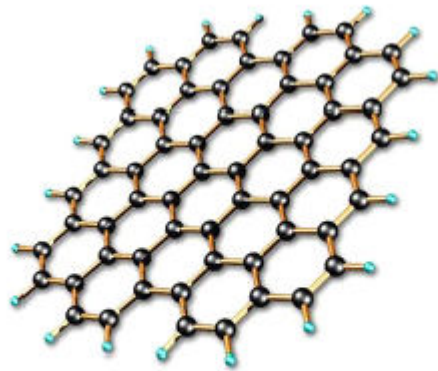


图1 石墨烯结构图

石墨烯是一种没有能隙的半导体，具有比硅高 100 倍的载流子迁移率，在室温下具有微米级自由程和大的相干长度，因此石墨烯是纳米电路的理想材料，石墨烯具有良好的导热性 $[3000W / (m \cdot K)]$ 、高强度(110GPa)和超大的比表面积 ($2630m^2 / g$)。这些优异的性能使得石墨烯在纳米电子器件、气体传感器、能量存储及

复合材料等领域有光明的应用前景

二、石墨烯的特殊性能

石墨烯是一种半金属或者零带隙二维材料，在靠近布里渊区 6 个角处的低能区，其 E-k 色散关系是线性的，因而电子或空穴的有效质量为零，这里的电子或空穴是相对论粒子，可以用自旋为 1 / 2 粒子的狄拉克方程来描述。

石墨烯的电子迁移率实验测量值超过 $15000\text{cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ (载流子浓度 $n \approx 10^{12} \text{cm}^{-2}$)，在 $10 \sim 100\text{K}$ 范围内，迁移率几乎与温度无关，说明石墨烯中的主要散射机制是缺陷散射，因此，可以通过提高石墨烯的完整性来增加其迁移率，长波的声学声子散射使得石墨烯的室温迁移率大约为 $200000\text{cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ ，其相应的电阻率为 $10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ ，比室温电阻率最小的银的电阻率还小。硅的电子迁移率为 $1400\text{cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ ，电子在石墨烯中的传输速度是在硅中的 100 倍，因而未来的半导体材料是石墨烯而不是硅。这将使开发更高速的计算机芯片和生化传感器成为可能。但是当石墨烯生长在 SiO_2 衬底上时，由于衬底的光学声子对电子的散射比石墨烯本身对电子的散射要强很多，导致电子的迁移率下降为 $40000\text{cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ 。同时，人们也研究了化学掺杂对石墨烯载流子迁移率的影响。Schedin 等发现，即使杂质浓度超过 10^{12}cm^{-2} ，载流子迁移率也没有发生变化。Chen 等研究发现，低温和超高真空的环境下，对石墨烯掺杂金属钾可以使载流子的迁移率下降至原来的 1 / 20 左右，而当加热石墨烯，去除掺杂的钾后，载流子的迁移率又可以恢复到以前的水平。石墨烯独特的电子特性产生了一种令人预想不到的高不透光性，这种单原子层对白光的吸收率是一个非常令人惊奇的数字： $\alpha \approx 2.3\%$ ， α 是精细结构常数。

石墨烯的电子特性可以用传统的紧束缚模型来描述，在这个模型中，

电子能量与波数可以用式(1)来表示：

$$E = \pm \sqrt{\gamma_0^2 (1 + 4 \cos^2 \pi k_y a + 4 \cos \pi k_y a \cdot \cos \pi k_x \sqrt{3} a)} \quad (1)$$

其中： $E = 2.8 \text{ eV}$ 为最紧邻跃迁能量， a 为晶格常数，色散关系中的正负号分别对应于导带和价带，它们在 6 个 K 点处值相同。这 6 个 K 点中有 2 个是无关系的，而其它 4 个由于对称性而完全等价。在 K 点附近，能量线性地依赖于波数，非常像相对论粒子。

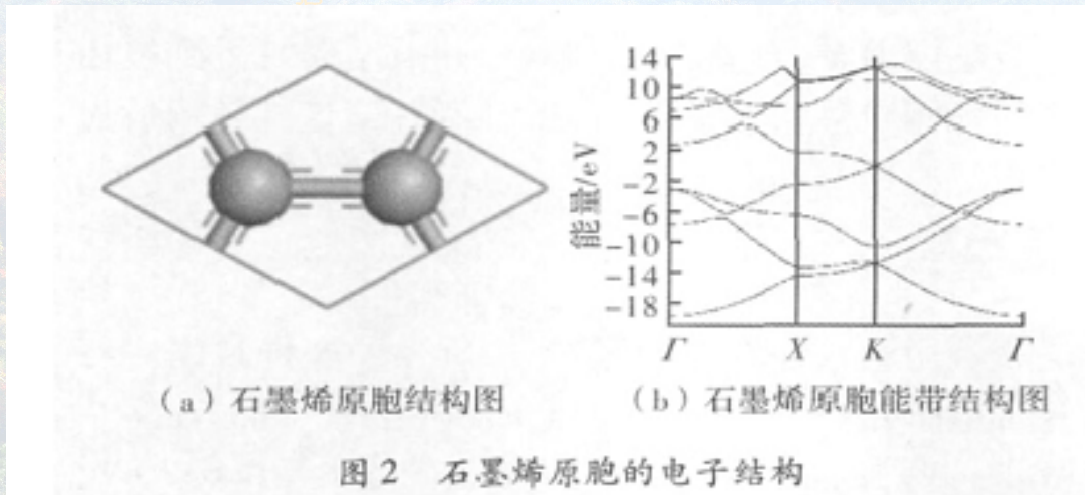
石墨烯被认为是理想的自旋电子学材料，因为其自旋-轨道耦合很弱，而且碳原子的核磁矩几乎为零，因此，电子的自旋注入核探测可以在室温下进行。石墨烯中，电子自旋扩散长度在室温下甚至超过 1 μm 。石墨烯是现在世界上已知的最为坚固的材料。哥伦比亚大学 James Hone 组的研究人员将石墨烯薄片衬于直径为 1~1.5 μm 的 SiO_2 空洞上，用显微镜确定石墨烯的位置后，开始利用硅探头来按压石墨烯薄膜，但是，他们很快发现硅探头的强度不够，往往是石墨烯薄膜未破，硅探头就断了，后来就只能改用半径大概为 10~30nm 的钻石探头来按压，以得到薄膜被破坏时的应力值。然而令人震惊的是，石墨烯的强度是世界上最好的钢强度的 100 倍。最后，研究人员利用原子力显微镜针尖测量了石墨烯的力学性能，其弹性系数为 10 N/m ，而杨氏模量达 0.5 TPa。

三、本征石墨烯超晶胞模型

几何结构的优化和电子结构的计算是采用基于密度的泛函理论 (DFT) castep 软件包完成。在进行结构弛豫和电子结构的计算中。采用广义梯度近似修正的泛函处理交换相关势能。能带结构积分路径的选取如图 1

所示。为减少平面波的数量采用超软赝势描述原子实与价电子之间相互作用。平面波截断能设置为 280eV，k-point 设置为 $1 \times 1 \times 2$ 对应第一布里渊区。

结构优化采用 BFGS 算法，优化参数设置如下：单元电子能收敛标准为 1.0×10^{-5} eV/atom，原子间相互作用力收敛标准为 0.03 eV，晶体应力收敛标准为 0.05GPa，原子最大位移收敛标准为 1.0×10^{-13} m，三维模型中真空层取 1.0×10^{-9} m，石墨烯原胞结构如 2 (a) 所示，能带结构如 2 (b)，



由图 2 可以看出，对于石墨烯原胞，其能带结构带隙为零，表现了很强的金属特性。

文中对石墨烯原胞进行 $5 \times 5 \times 1$ 的扩展，得到 50 个碳原子的超晶胞。对几何模型进行优化后，结果如图 3 所示

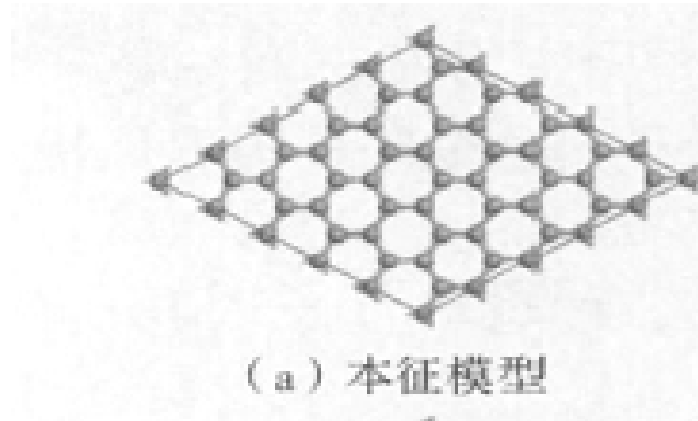


图 3

在计算模型的电学性质时，采用的积分路径如图 4 所示，首先从 Γ 出发，到达 X 点，再从 X 点到达 K 点，最后从 K 点回到 Γ 点，从而完成在布里渊区的计算。

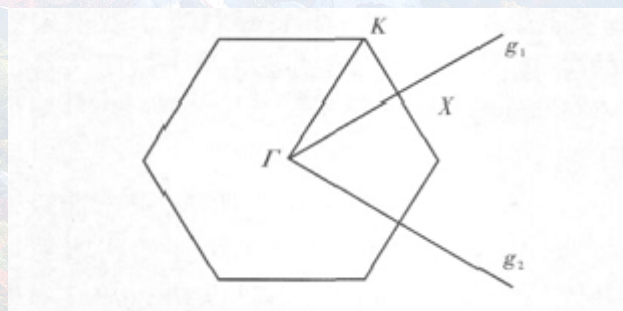
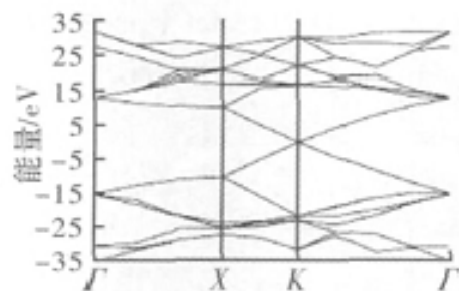


图 4 布里渊区高对称点

50 个碳原子的本征石墨烯超晶胞模型的能带结构，如图 4 所示，其中黑色虚线表示体系的费米能级，在能带结构中只关心费米能级附近的计算，因此在计算中，选取费米能级附近的 20 条能带附近进行分析。



(a) 含50个碳原子的本征石墨烯超晶胞能带结构图

图 5

由图 5 可以看出，对于 50 个碳原子的超晶胞，能带带隙为零，以上计算结果与实验测试相符合，表明石墨烯具有良好的导电性。

四、 结束语

本文对石墨烯结构和特殊性能的分析中得到石墨烯具有以下特点：石墨烯结构非常稳定，具有优秀的导电性，受到的干扰非常小，电子的运动速度达到了光速的 $1/300$ ，远远超过了电子在一般导体中的运动速度，有相当的不透明度，是人类已知强度最高的物质比钻石还坚硬，强度比世界上最好的钢铁还要高上 100 倍。同时为了分析石墨烯的能带结构，采用了对石墨烯原胞进行 $5 \times 5 \times 1$ 的扩展，得到 50 个碳原子的超晶胞，利用软件得到了原胞和超晶胞的能带结构图，从图中看到能带间隙为零，解释了石墨烯的导电性。