

我国的化纤工业及其工程科技发展趋势

季国标

(国家经贸委, 北京 100742)

[摘要] 回顾了我国化纤工业发展历史、现状和地位。提出 21 世纪初我国化纤工程科技发展的方向和重点是加强常规产品差别化、功能性, 提高工艺和装备水平和高性能纤维的产业化, 研究开发绿色和新型纤维。论述了我国化纤工业的薄弱环节和改进措施。

[关键词] 化纤; 工程技术; 发展趋势

[中图分类号] TQ34 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2002)04-0029-07

1 我国化学纤维工业的历史回顾

1.1 发展历史

早在 20 世纪 50 年代, 我国就确立了发展化纤和天然纤维并举的方针, 指引着化纤工业半个世纪的快速发展。其间, 对我国化学纤维工业的发展具有重要意义的事件有: 新中国成立不久, 恢复安东化纤厂和上海安乐人造丝厂的生产; 从东德引进保定化纤厂粘胶长丝和北京合成纤维实验厂尼龙长丝生产技术和装备。60 年代, 自力更生建设了南京、吉林、新乡等地一批粘胶纤维厂, 从日本引进万吨级规模的北京维尼纶厂, 之后又在全国建设了 9 个维尼纶厂。七八十年代, 建设了上海石化等四大化纤和仪征化纤等基地以及平顶山帘子布、阿城涤纶等一些大厂。后又建设了一批中等规模的化纤企业。90 年代中后期, 三资企业、乡镇企业和民营企业的蓬勃发展, 中国化纤工业的总量又上了一个新台阶。近 20 年化纤年平均增长 15%, 2000 年化纤产量为 694×10^4 t。经过 40 多年的发展, 1998 年中国化纤产量首次超过美国跃居世界第一, 中国化纤产量已占世界 24%。

1.2 发展现状及地位

目前我国化纤纤维工业品种齐全, 已经发展成

为一个门类齐全的工业体系, 并形成以下特点: 大类品种齐全, 粘胶、涤纶、锦纶、腈纶、维纶、氨纶和氯纶等都有生产; 已建立和发展了多个大型化纤原料联合企业; 已能自制现代化化纤设备, 国产化率 70%; 有了较强的工程建设和生产管理能力。

化纤在纺织纤维加工总量中占重要地位。在原料、性能、花色品种、用途等多方面支持纺织工业发展, 支持纺织品出口创汇。在全国纺织工业原料中, 化纤已占 63%。纺织品出口 2000 年达到 524 亿美元, 占世界贸易的 13%。我国化纤发展和国际产量比较见图 1。

1.3 差距和不足

我国化纤工业也存在一些差距, 主要表现在: 差别化和功能性纤维较弱; 装备和工程开发能力不强; 高技术、高性能纤维尚无大生产; 引进技术和设备有余, 研究、开发和创新不足; 生产企业总体上小而散, 国际竞争力不强。

2 新世纪初我国化纤工程科技发展方向^[1~3]

我国化纤在今后 10 年的增长, 预计将和国际发展趋势一样, 在种类上仍以涤纶、锦纶、腈纶、丙纶和粘胶纤维为主体, 其他一些新纤维将成为研

究开发的重点，但数量不大。到2010年我国化纤产量估计将达到 $1\ 100 \times 10^4$ t。工程科技的发展趋

势如下：

2.1 常规产品差别化、功能化

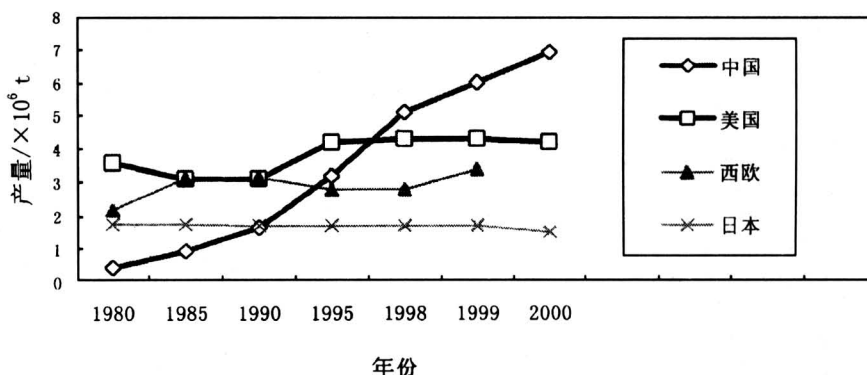


图1 我国化纤发展和国际比较

Fig.1 Output of manmade fiber in China and main area

2.1.1 通过改变物理形态或化学结构，赋予纤维新的性能和功能

1) 纳米技术：将纳米材料引入聚合物中赋予纤维新的功能。如：超双疏性二元协同纳米材料，可使织物具有防水和防油的功能。超双亲性二元协同纳米材料，使织物具有防污清洁功能。纳米粒子添加到聚合物中，制备导电母粒，可纺制导电纤维等。

2) 多异纤维：以异材质、异纤度、异截面、异收缩为特征的多异纤维经织造、染整处理后，会

赋予面料特殊的观感、触感和性能。关键技术在于喷丝板和纺丝组件的设计和制造，以及纺丝工艺技术。

3) 复合纤维：复合纤维有4种断面形态，即：并列型、皮芯型、桔瓣型和海岛型。复合纤维可以采用多种高分子物质或不同分子量的同一种高分子物质进行复合，从而使复合纤维具有独特的性能和功能。

4) 细旦、超细旦纤维、纺丝纤度发展见表1。

表1 细旦 超细旦纤维 纺丝纤度发展

Table 1 Progress of ultra fine fiber

纺丝方法及可得纤度/dtex	特征
直接纺 0.55-0.11	纺丝较难
复合纺 (1)海岛法 0.11~0.011	
(2)剥离法 0.0001	
混合纺 0.00011	

5) 共聚或共混纤维。共混纤维可以在聚合物中添加其他材料，使之具有特殊性能：如添加 ZnO 可反射紫外线，BaSO₄ 呈现珍珠样光泽，ZrC 耐红外线辐射，C 增加导电性，Ag-沸石可抗菌，LiB

和 B-10 可防中子辐射。

6) 接枝改性纤维。

2.1.2 通过上述多种技术方法，达到仿真、超真、特具风格和多种功能 如：具有易染、抗静电、高

吸湿、阻燃、高收缩、抗紫外线辐射、远红外保暖等功能。

2.2 提高工艺和装备水平

化纤工程技术向大容量、高速度、自动化、智能化发展，有效地降低单位产能的投资与生产成本。

2.2.1 纺丝速度 纺丝速度经历了由低向高发展的历程，图 2 就是一个形象描述。纺丝的卷绕速度，70 年代相当汽车，80 年代相当火车，90 年代相当磁悬浮列车，21 世纪初将达到喷气式飞机的速度。

2.2.2 工艺与装备进展 见表 2。

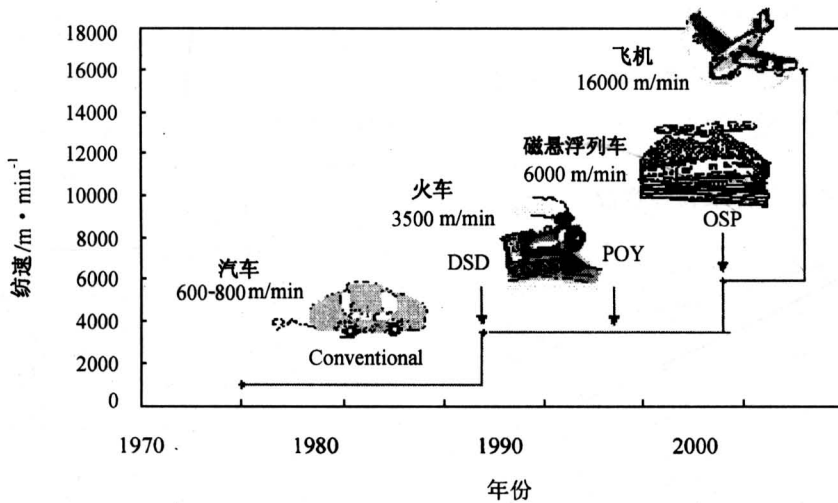


图 2 纺丝速度发展历程

Fig.2 Developing of spinning speed

表 2 工艺与装备进展

Table 2 Progress of technology and equipment

工艺	技术	单线生产能力		
		20 年前	现在	开发中
聚合	连续缩聚 / t · d ⁻¹	100	400	1 200
长丝	卷绕速度 / m · min ⁻¹	3 000	7 000	16 000
短丝	生产线 / t · a ⁻¹	7 500	40 000	80 000
加弹机	变形 / m · min ⁻¹	600	1 500	2 000

2.2.3 生产过程的连续化、高效化 传统的：聚合→纺丝→牵伸→变形 (P→S→D→T)；改进为：聚合-纺丝→牵伸-变形 (POY→DTY)；甚至：聚合-纺丝-牵伸-变形 (P-BCF)。

2.3 高性能纤维^[4]产业化

1) 高性能纤维以其高强、高模、耐高温等特点，已在航空、航天、国防、建筑、水利、环保等领域广泛地应用，比较典型的高性能纤维是芳香族聚酰胺纤维。高性能纤维强度进展见表 3。高性能纤维的耐高温性能如图 3 所示。

表 3 高性能纤维强度进展

Table 3 Strength of high performance fibers compare with normals

纤维名称	一般纤维			超强纤维		
	纺织用尼龙和涤纶	产业用尼龙和涤纶	Aramid Polyarylate	高强聚乙烯	PBO 纤维	碳纤维
强度 / kg · mm ⁻²	60	150	320	440	590	700

2) 芳香族聚酰胺纤维 (对位和邻位)、碳纤维、超高分子量聚乙烯纤维 (相对平均分子质量为 400 万)、高强维纶，还有 PBO, PEN, Basofil 等高性能纤维。我国工程化和产业化已经滞后，应加

快赶上去。

3) 提高常规化纤物性向理论值靠拢^[5]：通过改进大分子结构、形态，使常规化纤的物理性能向“超级”纤维发展。具体见表 4。

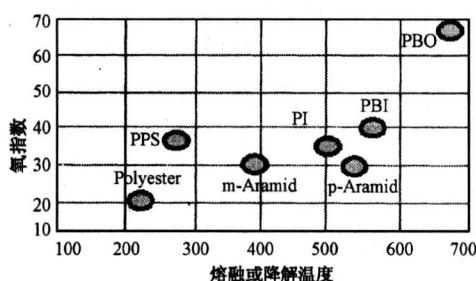


图3 高性能纤维的耐高温性能

Fig.3 Temperature resistance of various fiber

表4 “超级”纤维物理性能

Table 4 Latent physical properties of “super fibers”

	强力/ $\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$			模量/ $\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$		
	理论	现实	倍差	理论	现实	倍差
涤纶	232	9.5	1/24	1 023	160	1/6
锦纶	316	9.5	1/33	1 406	50	1/28
腈纶	196	5	1/39	833	85	1/10

2.4 绿色环保和新型纤维^[6]

鉴于石油资源日益减少，环境污染严重和要求

表5 Lyocell 短纤维与其它纤维性能的比较

Table 5 Properties of lyocell compare with other fibers

	Lyocell		棉	粘胶		涤纶
	Tencel Couralds	Lenzing		常规	HWM	
干强 cN/dtex	4.0~4.4	33	2.0~2.4	2.0~2.4	3.4~3.6	4.5~7.5
湿强 cN/dtex	3.4~3.8	29	2.5~3.0	1.0~1.5	1.9~2.1	43~73
干伸长 %	14~16	14	79	2.0~2.5	13~15	25~30
湿伸长 %	16~18		12~14	24~30	13~15	25~30
回潮率 %	11.5	11.5	13	12.5	12.5	0.4
吸水率 %		65~70	40~45	90~110	75	

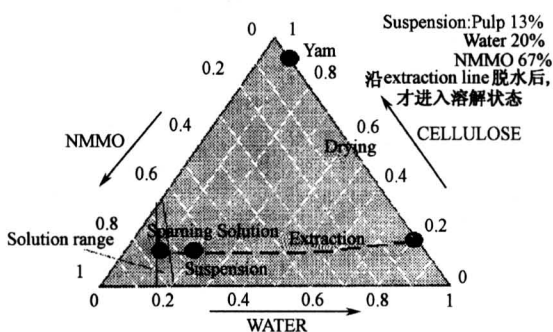


图4 纤维在 NMMO 中溶解的相图

Fig.4 Phase diagram of cellulose dissolving in NMMO

人体生物相容等因素，近年来，发达国家在大力研究以农产品和生物工程为主要原料和技术路线的绿色纤维。

2.4.1 溶剂法纤维素纤维 (Lyocell) 它以纤维素为原料，具有天然纤维和人造纤维的舒适性，包括良好的吸湿性、透气性、柔和的光泽，优良的染色及生物可降解性。可制得高聚合度，高结晶度的纤维，从而使纤维的强度（特别是湿态强度）增加。产品的服用性能远远优于合成纤维（表5）。该技术最先由英国 Courtaulds 公司研制开发，被誉为21世纪的革命性纤维。目前，除英国外，奥地利、美国、德国也具有这种纤维的生产技术。Lyocell 纤维的技术原理是以 N-甲基吗啉-N-氧化物 (NMMO) 的水溶液为溶剂直接溶解纤维素（图4）。其生产工艺分3个过程：①将纤维素浆粕溶解在 NMMO 的水溶液中，形成有假塑性稳定的浓溶液（10%~20%）；②经过滤、脱泡后的纺丝液在稀氯化铵凝固液中沉淀析出，形成纤维；③再经洗涤、拉伸、干燥等后加工，制成可供纺织的纤维素纤维。

2.4.2 对苯二甲酸丙二酯 PTT 纤维 (Polytrimethylene Terephthalate)^[7] PTT 是继 50 年代 PET，70 年代 PBT 后工业化的新合纤，由对苯二甲酸和丙二醇缩聚而成。PTT 性能好，具有 PET 耐化学性和 Nylon 的弹性回复及抗污性，还有良好的易染性、耐磨性，高速和细旦可纺性（表6）。

1941 年，美国 Calico Printers 公司就开发成功 PTT，但因原料丙二醇价贵，当时未能工业化。90 年代初，德国 Degussa 公司开发用丙烯醛路线制丙二醇，在 Antwerpen 建成 2 000 t/a 中试线，1996 年又建成 50 000 t/a 丙二醇大装置，并和 Zimmer

公司合作建设 PTT 化纤厂。1995 年, Shell 公司建成 5 000 t/a 装置, 并已有环氧乙烷路线的丙二醇中试线 2 500 t/a, 还在扩建 7×10^4 t/a 的丙二醇生产线。因其成本低、效率高, 现又建设 11.5×10^4 t/a 的 PTT 装置, 已于 2001 年投产。此外, 杜邦公司也在开发用生物酶制丙二醇的新路线, 拟建 PTT 生产线。

表 6 PET, PTT, PBT 3 种纤维的性能比较

Table 6 Character comparison between PET, PTT and PBT

	PET	PTT	PBT
熔点/℃	260	228	226
玻璃化温度/℃	70	55	24
尺寸稳定性	免烫	免烫	不稳定
允许应变 (100% 回复)	3%	14%	9%
允许应变 (80% 回复)	7%	30%	17%

PTT 纤维: 是优良的地毯材料, 因其回弹性和染色性能好, 适合做内衣、泳装等, 也适于做高档服装面料, 手感、丰满度和悬垂性好。国际化纤维界对 PTT 的发展前景看好, 有专家预测 2010 年生产能力可能扩大到 100×10^4 t。我国应创造条件, 及时实现工业化。

PPT 纤维因其分子含 3 个碳原子, 扩大了链间结构, 因而纤维易染、蓬松、有弹性, 可常压染色, 弥补 PET 的不足。

2.4.3 乳酸纤维 (PLA) 是一种生物可降解的环保型纤维^[8,9] 聚乳酸纤维 (Lactron), 是 1992 年由日本岛津和钟纺开发的, 它以玉米淀粉为原料, 发酵后转化成乳酸。乳酸的聚合体熔融纺丝, 乳酸纤维的物理性能接近尼龙和涤纶, 强力 5 g/dtex, 热稳定性和热塑性好; 生物降解性能优于纤维素纤维, 较软、较轻 (密度 1.2), 染色性好, 色牢度高于 3 级, 有生物相容性, 服用舒适、安全。聚乳酸纤维物理性能见表 7。

乳酸纤维可制成复丝、单丝、短纤、假捻变形、针织物、无纺布等, 用于服装 (内、外衣)、产业 (建筑、农用、林用、造纸用) 和医卫等。

乳酸纤维原料丰富, 不用石油, 友好环境, 性能优良, 是环保纤维, 发展前景广阔。美国 Cargil Dow Polymer 公司投资 3 亿美元, 已建设了以玉米为原料的 14×10^4 t/a 聚乳酸纤维工厂。我国也应加强研究开发。

表 7 聚乳酸纤维的物理性能

Table 7 Physical properties of "lactron" fiber

	聚乳酸长丝	一般涤纶
断裂强度/MPa	500~600	550~600
断裂伸长/%	30~40	30~40
杨氏模数/GPa	4~6	10~15
结晶度/%	>70	50~60
熔点/℃	175	265

2.4.4 大豆蛋白纤维^[10] 蛋白纤维在国外的研究始于 1935 年, 意大利 Fessetti 从牛奶酪中研制蛋白纤维; 1938 年, 美国 ICI 公司从花生中研制蛋白纤维; 1939 年, Corn Product Refining 公司从玉米中提炼蛋白纤维; 1948 年, 美国通用汽车公司从豆粕提取大豆纤维; 但都由于原料限制, 纤维性能不理想 (强力低, 色黄), 得率低 (如东洋纺从牛奶提炼蛋白质得率仅 2%), 成本高等原因, 未实现大工业化生产。

在我国河南濮阳, 经 10 年研究开发, 已初步开发成功大豆蛋白纤维, 建成 1 500 t/a 装置。生产过程为: 大豆粕浸泡后分离出球蛋白, 和聚乙烯醇、丙烯腈等共聚后纺丝成纤。具有羊绒的手感, 蚕丝的光泽, 棉纤维的导湿, 似羊毛的保暖性。尚待改进之处有手感较烂; 抗皱弹性差; 短纤维抱合力较小等。我国原料丰富, 纺织加工能力强, 经过改进提高和一条龙产品开发, 很有发展前途。

2.4.5 甲壳质纤维 (Chitin) 甲壳质是 N-乙酰基-D-葡萄糖胺, 为多糖类高分子, 简称异丁聚糖。甲壳质纤维以虾、蟹等的甲壳为原料, 经提纯和化学处理后纺丝。纤维有极好的生物相容性, 是理想的卫生、保健纺织品和医用材料, 适于做内衣和医用敷料。我国已经开始产业化^[11]。

2.4.6 仿蜘蛛丝 20 世纪化纤的发展, 基于石油研制出各种聚合体, 如尼龙、腈纶、涤纶等。21 世纪化纤发展的一个方向, 是运用生物工程把谷物、玉米、土豆等天然植物先转化为糖, 再转化成抽丝的原体, 这种方法, 原料丰富, 成本低, 符合环保。杜邦公司正在进行上述技术的基础研究, 仿蜘蛛丝仅是首例。

杜邦公司运用生物工程着力研究 DNA* (脱氧核糖核酸) 的重新联合, 仿造蜘蛛丝。运用先进的计算机模拟技术, 建立蜘蛛丝蛋白质各种成分分子模型, 然后运用遗传学基因合成技术, 把遗传

基因植入酵母和细菌，仿制出蜘蛛丝蛋白质，溶解后抽丝。它的特性是轻、强、有弹性，纤度可达真丝的1/10，强力是相同纤度钢丝的5~10倍（见图5、6）。

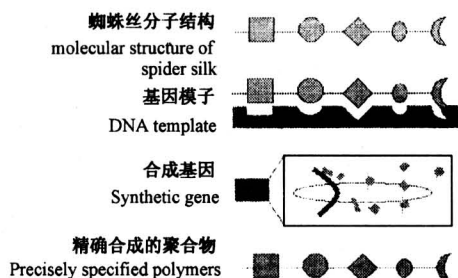


图5 蜘蛛丝生物合成示意

Fig.5 Precisely specified molecules biosynthesis schematic

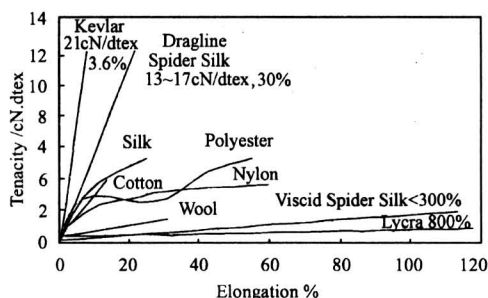


图6 蜘蛛丝的卓越强伸度

Fig.6 Unique stress-restrain properties of spider silk

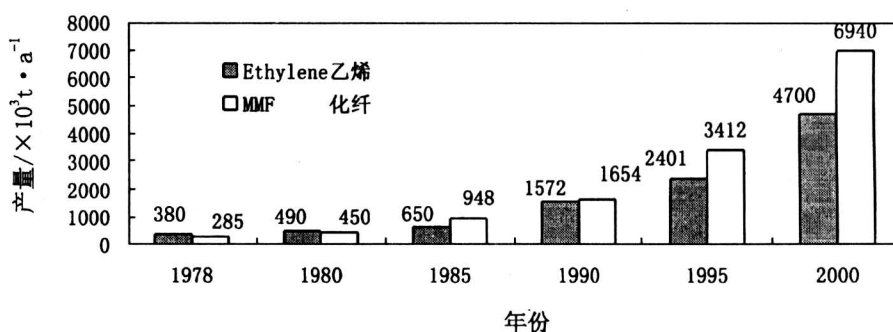


图7 化纤与乙烯产量比较

Fig.7 Output comparison of MMF and ethylene

企业结构需要在社会主义市场经济发展中优化，通过联合、兼并、债转股、破产、改制等方式形成相当一部分科、工、贸一体的大企业集团，增强经济实力、技术实力和营销实力，这样才能和国际大型企业竞争。

3.4 加强消化吸收 研究开发和自主创新能力

2.4.7 聚酯瓶和化纤废旧料的回收再利用 现已有先进技术，把聚酯瓶和化纤废旧料还原成聚合体或化纤单体，做絮棉、地毯和人造毛皮等。美国涤纶短纤维，现约有30%是利用再生原料的。既解决了白色污染，又节约了资源。

3 需要加强的一些薄弱环节

3.1 化纤原料与抽丝能力的平衡

我国的化纤原料落后于抽丝能力。合纤原料40%以上需进口，应加快提高国产率。图7为化纤与乙烯产量比较见图7。

3.2 发展工程公司 增强自主建设实力

工程公司要有消化吸收和试验创新的手段，要有自主知识产权（也可用人家技术），承包工程实力（尤其是经济和技术）和承担风险的能力。同时，工程公司要和生产企业、制造单位合作，和产学研结合，在交往、合作和承包项目上要和国际接轨。工程公司可以隶属于大的企业集团。我国已引进了几百条生产线，我国化纤在设计、建设、生产、运行、管理等方面也已具有相当丰富的经验，关键在于集成，工程公司应成为集成的主体，同时需要政府、社会、银行、保险等部门的支持。

3.3 优化企业结构，改变小而散的格局

我国化纤工业虽有一些大型企业，但为数甚少，从整体上看，平均规模不足发达国家的1/10。化纤及主要品种平均产能比较见表8。

大企业要建立研究开发中心，在经济上加大投入，并配备相关的各种专业力量，明确责任制与奖惩制度。企业主要领导分工负责，实现产、学、研相结合。

企业的研发工作要有自己的特色与制高点，上下游垂直整合进行技术和产品开发，讲求实效。

表8 化纤及其主要品种平均
产量比较/ $\times 10^4 \text{t} \cdot \text{a}^{-1}$

Table 8 Average capacity between Chinese and
foreign chemical fiber plant

	化纤行业	涤纶	涤纶长	腈纶	粘胶
中国	1.18	1.88	1.09	3.23	1.43
美国	28	15.8	11.5	11.5	6.7
日本	6.48	3.54	3.75	7.57	2.46
韩国	15	13.84	8.96	6.26	
台湾省	13.4	11.57	11.26	7.85	6.74

3.5 人才问题

人才是企业发展的根本, 企业要建立多元化的人才支撑体系, 应招聘、培养经营管理、生产、建设、研发等各方面人才, 建立在职培训制度; 年轻干部要有学历, 中级以上的专业人才必须掌握一门外语; 积极扩大人才引进和对外开放, 参加相关的国际活动, 补充高新技术人才, 尤其是复合型人才。

参考文献

[1] Ji Guobiao. The manmade fiber and textile industry in China[A]. Great past and bright future[C]. 39th International Manmade Fiber Congress 2000 in Dornbirn

- Austria
- [2] Shosaburo Hiratsuka. Present situation and future outlook for technological developments in chemical fiber[J]. Asia Manmade Fiber conference 1999
- [3] Ji Guobiao. Prospects of China's chemical fiber industry [J]. Chemical Fiber International, 1998, 2
- [4] 罗盖锋. 高科技纤维新动向[J]. 高科技纤维与应用, 2001, 2
- [5] Arun P Aneja, John P O'Brien. A vision for fiber at the dawn of the new millennium[A]. 39th International Manmade Fiber Congress 2000 in Dornbirn Austria[C]
- [6] W Albrecht M. Reintjes lyocell fiber[A]. 7th Beijing International Manmade Fiber Conference[C], 1999
- [7] Charles C. Corterra (PTT)-A new fiber in the new century[A]. 8th Beijing International Manmade Fiber Conference[C], 2000
- [8] Mari-eel Dartee. Nature works PLA-A sustain performance fiber [A]. 39th International Chemie Faser Tagung, Austria[C], 2000
- [9] Yoshikazu Kondoh Environmentally-Friendly biodegradable fibers "Lactron"[A]. Asia Techtexile Symposium, Osaka[C], 1996
- [10] 姚穆. 大豆蛋白纤维的思考和战役[J]. 中国纺织经济, 2001, 6
- [11] 史 仅. 甲壳素纤维的制备和特征[J]. 纺织导报, 2001, 6

The Man-made Fiber Industry with Its Engineering and Technical Trend

Ji Guobiao

(State Economic and Trade Commission, Beijing 100742, China)

[Abstract] This paper describes the historic evolution, present status and position of Chinese man-made fiber industry. It points out that the engineering and technical trend mainly are exploring differential and functional fibers, upgrading technology and equipment, producing high performance fibers, and developing green and new fibers. Also, the paper discusses bottle necks and improving measurement.

[Key words] man-made fiber; engineering and technology; developing trend