

四川省芳杂环类特种有机纤维产业发展建议

撰稿：彭涛 教授级高工

所属：中蓝晨光化工研究设计院有限公司特种纤维及复合材料研究室 主任

成都市新材料产业创新发展联盟专家咨询工作委员会 委员

时间：2017年12月30日

1、国内外芳杂环类特种有机纤维产业情况

芳杂环类特种有机纤维是指分子结构中含有芳环结构的特种合成纤维。按照行业定义，“特种纤维”指抗张强度(比强度) $>17.7\text{cN/dtex}(20\text{g/d})$ ，弹性模量超过 50GPa 的纤维材料。目前产业化成功的芳杂环类特种有机纤维主要包括芳纶 II、芳纶 III、PBO 纤维、芳香族热致液晶聚酯 (TLCP) 纤维和高强型聚酰亚胺 (PI) 纤维等。该类纤维的共性特点是轻质、高强、柔韧、耐高温、介电性能优异，在航天、航空、兵器、船舶、电子、交通、通讯等军民领域具有广泛应用。表 1 列出了几种纤维的力学、热学性能。

表 1 几种芳杂环类特种有机纤维基本性能

性能指标		芳纶 II	芳纶 III	高强型 PI	PBO	PIPD
密度	g/cm ³	1.44	1.45	1.41	1.54-1.56	1.70
拉伸强度	cN/dtex	20-24	28-31	-	30-38	28-31
	GPa	2.9-3.5	4.2- 5.0	3.5	5.0-5.8	4.9-5.3
弹性模量	cN/dtex	490-830	800-1000	-	1100-1700	1700-2100
	GPa	70-120	130-155	150	160-280	290-350
断裂伸长率	%	2.5-4.0	3.2-4.1	2.0	2.0-4.0	1.3
LOI	%	29	30-40	50	68	45
分解温度	°C	505	525	550	650	560
使用温度	°C	250	270	400	320	280

1.1 芳纶

(1) 芳纶 II

芳纶 II 又称作“芳纶 1414”，世界上生产国家主要有美国、日本、韩国及中国，总产能超过 8 万 t/a，是特种纤维中产量和用量都最大的品种。其中美国杜邦公司和日本帝人公司各有约 3.5 万 t/a 的产能，二者合占世界产能的 90%。近年来韩国发展较快，韩国晓星和可隆也有数千吨产能。虽然国内芳纶 II 已产业化成功数年，但一直在进行工艺调试和产品性能提升，因此产业规模增加不大。总体来说芳纶 II 产业化水平还和国外差距较大，不论在产业规模还是产品质量及应用开发等方面还不能构成强有力的竞争格局。单厂实际年产量只有几百吨，重点企业的产能情况见表 2。

表 2 芳纶 II 国内企业产能情况

企业名称	产能情况 t/a
烟台泰和	1500
蓝星（成都）新材料	1000
仪征化纤	3000
河北硅谷	1000
山东万圣博	1000

此外中化国际、深圳中晟、上海舟汉、南充易安、天津国能等也有报道规划建设芳纶 II 产业化装置。

(2) 芳纶 III

芳纶 III 国内也称杂环芳纶，属于对位芳纶中的差异化产品，最早由俄罗斯开发成功，目前其生产主要在俄罗斯和中国，俄罗斯杂环芳纶 SVM、Armos、Rusar 合计总产能在 2000t/a 左右，生产主要集中在卡门斯克和特维尔。芳纶 III 性能较芳纶 II 更优异，但生产效率低，产业规模不大，国内几家重点企业情况见下表 3。其中蓝晨光承担国家“杀手锏”武器所需关键原材料的定点生产任务，并在近年来加强以高端防弹产品为重点方向的应用开发工作，生产和质量稳定，实际产量也最大。

表 3 芳纶III国内企业产能情况

企业名称	产能情况 t/a
中蓝晨光	50
航天拓力	50
自贡辉腾	300

1.2 高强型 PI 纤维

PI 纤维的发展分为两个路线，其一为耐高温领域，代表产品即为 P84 纤维，P84 其常用最高温度可达 260℃，LOI 值为 38~40，尤其是在抗酸性优良，因此在垃圾焚化炉烟气除尘过滤材料方面具有优势。其二为高强高模领域，代表产品为俄罗斯的高强型 PI 纤维。俄罗斯目前仅将聚酰亚胺纤维应用于军工方面、航空航天中的轻质电缆护套、耐高温特种编织电缆等，但对我国实施进口封锁。20 世纪末俄罗斯更报道了强度达到 Kevlar49 的 2 倍的高强高模聚酰亚胺纤维，其力学性能可以与碳纤维 T700 媲美，而质量则比碳纤维减轻了 20%，对航空航天意义重大。

我国近十年来东华大学、四川大学、中科院长春应用化学研究所等都着重开展了高强型聚酰亚胺纤维的研究。目前国内实现高强型 PI 生产的单位有江苏先诺和江苏奥神，技术分别来自北京华工大学和东华大学，其中江苏先诺已在建设百吨级生产线。

1.3 PBO 纤维

PBO 纤维目前全球实现商业化运营的只有日本东洋纺，年产 500 吨左右 Zylon 纤维，主要销往日本和美国。

目前国内 PBO 研制方面，中蓝晨光通过近十年的开发，突破了 PBO 的聚合放大、多工位纺丝和工程化热处理关键技术，截止 2017 年，中蓝晨光建立了一条年产 10 吨级 PBO 纤维的能力中试实验线，是国内目前唯一有能力百公斤级供货的单位，纤维性能接近东洋纺 Zylon 的性能。此外东华大学和浙江工业大学也在进行 PBO 纤维的研制。在产业化方面，成都新晨新材料有限公司正在建设 380t/a 的 PBO 纤维生产装置；中蓝晨光也在积极扩产。

作为差异化品种，PIPD 纤维国外杜邦公司正在进行中试开发，还未实现产业化。国内中蓝晨光在 PIPD 制备方面突破实验室制备技术，获得十公斤级纤维样品，性能基本达到文献报道水平，其相关研究还在进行。

1.4 TLCP 纤维

TLCP 纤维是一类聚芳酯纤维，代表产品为日本可乐丽的 Vectran 纤维，其产能约为 400 吨/年，Vectran 是目前世界上唯一实现产业化的 TLCP 纤维。

国内晨光院在 TLCP 合成方面研究较早，取得一定突破。TLCP 纺丝方面国内东华大学和四川省纺织科学研究院开展了相关工作。国内 TLCP 研究获得了一些突破，但还未实现产业化。

2、 优劣势分析及我省情况

几种纤维各有优缺点，应用领域也有一定重叠，存在一定的相互竞争，但又不能完全相互取代，优劣势分析见表。

	优势	不足	优势应用
芳纶 II	高强高模、耐高温、应用形式多样、需求量大	国内单线规模小，亏损严重	光缆、防护、橡胶增强等
芳纶 III	超高强高模、耐高温	成本较高、应用受限	军工高端
PBO	超高强高模、超耐高温	耐紫外差、复材界面差，成本较高	高端军工、热防护
TLCP	高强高模、耐高温、吸水率低	还未实现国产化	系留绳、飞艇等
PI	耐高温、耐辐照性好	国产规模小，应用重叠严重	高温及耐紫外防护

我省目前产业化和在研涉及到的单位和纤维品种见下表。

企业名称	产品	情况
中蓝晨光	芳纶 II、III 纤维及 PBO、PIPD、TLCP 纤维	处于国内领先。芳纶 II 专利技术交由蓝星（成都）新材料运营；芳纶 III 现有产能 50t/a，PBO 计划

		扩产至 50t/a；PIPD 小试技术；TLCP 聚合研究。
蓝星（成都） 新材料	芳纶 II	国内一流，实际产能 600t/a，计划扩产至 1200t/a。
成都新晨	PBO 纤维	正在建设，380t/a。
四川纺织研究院	TLCP 纤维	纺丝研究
四川大学	PI 纤维	制备研究

四川省在几种纤维方面具有较好基础，中蓝晨光在芳纶 II、III、PBO、PIPD 等品种研发和产业化方面的成绩，获国防科工局近 2 亿元资金支持，建设“特种有机纤维及军用高分子材料多品种小批量研发平台”，并与四川纺织研究院一起，成立四川省高技术有机纤维重点实验室，具备很好的发展潜力。

但也应看到：（1）地域劣势，几种纤维的上下游产业链大部分都集中在长三角和珠三角，离我省较远，运输成本较高；（2）配套问题，目前企业所在园区没有统一的动力、能源供应，导致生产运营成本较高；（3）产业现状问题，芳纶 II 国内企业都处于亏损状态，已完成一轮洗牌，数家停产，目前国内仅有蓝星（成都）新材和烟台泰和维持运营。芳纶 III 生产成本较高，应用范围仍受到限制。PBO 目前国内还处于装置建设期，如能抓住时机尽快推出产品，前景较为看好。高强度 PI 纤维国内已有产业化装置，不必要重复上装置。TLCP 纤维技术还不成熟。

3、产业发展建议

芳杂环特种有机纤维及其下游制品具有高性能、低密度、功能性等优势，在空间、航空、航天、舰船、交通、兵器、电子等领域具有重要的应用，其发展水平在一定程度上体现一个国家的整体工业水平和技术实力，其往往具有技术水平高、开发难度大、技术封锁严密、对装备要求高等特点，是发达国家得以保持其技术优势和工业领先的重要体现。随着社会发展、工业不断进步，各应用行业对高性能化、轻量化、功能化的应用需求，此类纤维及其下游制品的需求越来越大、要求越来越高、需要日趋迫切。在满足国内需求实现自主保障的同时，不断促进我省产业结构调整、推动产业转型升级，向低碳、环保、资源节约方向发展，促进技术、经济和社会的可持续发展，对未来国防安全、现代工业、环境治理及民生发展方面将发挥巨大作用。

通过上述分析，结合我省情况，提出以下发展建议：

3.1 突出发展重心

我省在几种纤维发展方面应该有所取舍、突出重点，不必要也不应该全面发展。具体分析如下。

(1) 蓝星成都新材料的芳纶 1414 产业虽然亏损，但市场出现供不应求的局面，基本全产全销，2017 年实际产量将近 600t，产能全部释放，亏损的主要原因是装置产能太小，规模化效应不明显，正在着手进行新增 600t 产能扩产。建议在产业政策和产业发展方面给予重点支持。

(2) 中蓝晨光的芳纶 III 产业盈利能力弱，主要是军工需求有限，民口需求价格太高，导致应用较为单一。当务之急是加快工艺革新和产能扩张，降低成本，同时积极推进应用开发，拓展市场。中蓝晨光已开发出芳纶 III 的干湿法纺丝技术和热处理工艺改进，并正在着手新增 30t/a 产能扩建，同时开发了其在高端防弹领域应用，预计年用量百吨级。建议在产业政策、产业发展、应用开发和技术进步方面给予重点支持。

(3) 成都新晨 380t/a 新建 PBO 项目正在建设期，中蓝晨光 50t 装置也正在报批。建议在产业政策和产业发展方面给予支持。

(4) PIPD 和 TLCP 纤维处于研发期，建议给予研发支持。

3.2 上下游协同发展

应从政策引导方面，支持引进纤维上下游产业链企业，提高整体产业实力的同时，降低纤维企业的上下游运输成本；整合升级产业园区，统一配套能源、动力等，降低企业生产成本。

3.3 依托军民融合战略，做大优势产业

应促进成果转化，鼓励开发性企业在前期工程化研究成果基础上，与产业资本合作，扩大生产规模，降低运行成本，将成果转化为产品收益，与上下游协同发展，形成良性发展的纤维复合材料产业生态圈。