

产品应用

胶带用芳纶骨架材料的推广应用

刘希华，张玉友

(山东海龙博莱特化纤有限责任公司，山东 安丘 262100)

摘要：芳纶帘子布和芳纶直经直纬浸胶帆布两种结构的织物是主要的芳纶骨架材料，它们各有其不同的技术性能优势，国外已经成功应用芳纶织物来制造胶带。中国应进一步推广应用芳纶织物的高性能胶带的开发和生产。

关键词：芳纶；橡胶骨架材料；胶带

早在几年前，芳纶在国内纤维骨架材料行业就开始受到瞩目，当之无愧地成为高性能纤维的代名词。人们曾经以为芳纶能够在一定范围内带来骨架材料的更新换代。时隔几年，再次冷静地观察芳纶在骨架材料领域的应用，并未取得很大的进展。究其根源，价格及技术因素固然是重要原因，但纵观国内外对芳纶的认识和应用方面存在的差距，也不难发现其中的个中缘由。不妨让我们再次走进已经浮出水面的芳纶世界，感受芳纶橡胶骨架材料卓越的技术魅力。

1 芳纶的性质和特点

1.1 芳纶的特点

芳纶纤维最早由美国杜邦公司开发成功，其商业名称为“KEVLAR”，现在人们甚至直接用“KEVLAR”作为芳纶的代名词。芳纶材料具有突出的综合性能：强度高，表征强度可达到20 0CN/dtex 以上，是钢材的5 倍、是一般有机化纤材料的2 倍以上；密度小，其密度与普通的有机化纤材料并无多大的差别，与钢材密度相比则低得多，仅为钢材密度的1/5；耐热性能好，在130℃的环境条件下，强度的损失率可以忽略不计，在200℃的条件下可以正常使用，到427℃左右发生碳化，500℃以上才开始分解，无熔点；对一般的酸碱化学品的腐蚀不敏感，只在浓度较高的酸碱环境中长时间暴露或使用才会受到显著的影响；尺寸稳定性好、模量高，是一种典型的热固性材料；较好的耐疲劳性，芳纶的抗

拉伸疲劳性能与尼龙相差无几，远远好于钢材。

1.2 技术指标

在杜邦公司的芳纶家族，防护与橡胶应用是两大主要类别。其中橡胶用芳纶纤维的特点是：强度高、模量高、密度小、韧性好、耐疲劳性好。以代表规格956 系列纤维为例，其主要技术指标见表1。

表 1 杜邦 Kevlar 芳纶纤维技术指标

项 目	测试指标
纤维规格/dtex	1100、1670、3140
断裂强度/（CN/ dtex）	20 6
断裂伸长率/ %	3 7
4 0 CN/ dtex 下的中间伸长率/ %	0 6
模量/（N/ tex）	44
公定回潮率/ %	7 0
干热收缩率（177℃× 2min× 0. 05 CN/ dtex）/ %	0 2

2 国内外的芳纶应用现状

橡胶用芳纶骨架材料在胶带产品中的应用远多于在轮胎产品中的应用。据报道，2004 年，全球芳纶橡胶骨架材料消耗量为7000t，其中胶带产品消耗芳纶橡胶骨架材料5000 余 t。在国内，芳纶的应用显然低于国外发达国家的水平。据了解，2004 年，中国消耗芳纶橡胶骨架材料不足200t，这与中国橡胶制品的消费与产量显然极不相称。

3 芳纶在国内橡胶骨架材料领域应用现状分析

早在2000 年的上海橡胶工业展览及技术论

坛会, 芳纶橡胶骨架材料的展出就引起了业内人士的极大关注, 人们甚至依稀感到芳纶橡胶骨架材料春天的到来。事实上, 发展到 2005 年, 国内橡胶芳纶骨架材料的应用并未发生质的变化, 人们甚至已经把芳纶橡胶骨架材料及其橡胶制品当作一个概念产品看待。这显然有违高性能芳纶材料发明者的初衷。原因何在? 我们不妨围绕胶带产品及其骨架材料作一些有益的探讨。

3.1 胶带用橡胶骨架材料的要求

无一例外, 对胶带用橡胶骨架材料的基本要求是: 强度高、耐疲劳性好、粘合稳定、接头方便、重量轻、符合胶带的特定要求。就满足这些要求而言, 不仅与常用的聚酯、尼龙比较, 即使与钢丝比, 芳纶都具有明显的综合技术性能优势。

3.2 芳纶橡胶骨架材料的应用

人们曾经将芳纶制成经纬密度很大的常规帆布结构织物, 然后制造胶带。使用的结果是粘合性能一般、甚至出现过在使用过程中局部与橡胶脱层的情况。综合试用效果没有达到预计的水平。但是, 也有人将其制成油井提升带, 用来提高油井提升带的寿命, 降低提升动力及磨损, 收到了良好的效果。结合国外发达国家应用芳纶橡胶骨架材料的情况, 发现如何设计、制造合适结构的芳纶织物是成功应用芳纶橡胶骨架材料的第一步, 也是决定能否体现芳纶优越性的关键所在。另外, 由于芳纶材料的化学惰性, 橡胶配方也是影响芳纶橡胶骨架材料技术性能的重要原因。

3.3 芳纶橡胶骨架材料织物结构

在轮胎帘子布骨架材料中, 定型的密经稀纬的织物结构被人们所认定。而在一般的分层胶带中, 已经定型的帆布结构则占据了几乎整个分层胶带骨架材料织物。这种认识或多或少地影响了人们对芳纶橡胶骨架材料织物的合适设计和选择。事实上, 这种关于织物结构的认识用在芳纶胶带骨架材料的制造是不合适的。

探其原因, 不妨从芳纶材料与帆布结构的关系来作一个简单的分析: 常规的帆布结构是一种经纬密度都很大的织物结构, 经线与纬线紧密接触, 相互之间有较强的摩擦力, 特别是在织物受

到外力绷紧或受到牵伸时, 这种作用是一定要发生的, 而芳纶材料是一种刚性较大的纤维, 当受到同等刚度或刚度更大的材料的作用力时, 必然会发生能量的损失即强度的下降。如何在可能的情况下降低和减少这种能量消耗程度, 需要在织物设计时更多地关注胶带的使用场所以及考虑使用过程中一切可能发生的情况。

综合上述分析, 结合国外芳纶橡胶骨架材料应用的成功经验, 提出以下织物类型, 作为对胶带用芳纶骨架材料织物的探讨。

4 芳纶帘子布

4.1 芳纶帘子布结构的优势

人们认为帘子布结构的芳纶产品应用于轮胎制造是理所当然的, 事实上, 芳纶帘子布应用于胶带制造是一种更重要和有益的结构方式。

首先, 帘子布结构的芳纶织物, 经纬线之间线密度差异很大, 纬线对经线的作用可以忽略不计, 杜绝了织物材料自身存在的摩擦和能量损失。特别是在织物受到外力作用拉伸时, 这种结构的优点是显而易见的。而帆布结构的芳纶织物则不具备这种优点。

其次, 帘子布结构的芳纶织物, 在胶带中是被橡胶完全包覆的, 在受到外力作用伸张时织物与橡胶几乎是作为一个完整的增强弹性体, 不仅没有织物之间的摩擦, 也对织物与橡胶的粘合有较大的帮助, 特别是对芳纶材料这种惰性较大的材料来讲, 可以更有效地杜绝织物与橡胶脱离, 这对橡胶胶带产品来说是非常重要的。

第三, 帘子布结构的芳纶织物, 有益于其在胶带中的性能发挥。芳纶帘子布在胶带中几乎是呈直线状态分布的, 这种状态使得其强度相对于芳纶纤维的基础强度保持率是最高的, 而在受到外力作用牵引时其伸长率很低。这种经向几乎没有任何曲率的织物结构是帆布结构织物所不能比拟的, 并且这种优势可以延续到胶带的使用维护中, 譬如使用帘子布结构骨架材料的胶带由于伸张度较小, 长期使用后产生的伸长很小, 可以减少因带体跑长而需要的胶带重新接头。

4.2 芳纶帘子布应用于胶带

芳纶帘子布应用于胶带, 由于在纬向上缺少足够的抗冲击材料, 在多数情况下, 胶带需要一

定的横向抗撕裂层。如何解决该问题是用芳纶帘子布作胶带骨架材料必须要考虑的，相反，用帆布作胶带骨架材料则一般不会遇到这种难题。

有两种方案可以解决该问题。

1 使用横向抗撕裂层织物，抗撕裂层可以是芳纶材料的，譬如防撕裂织物，该织物经向为普通的有机纤维织物，纬向则是芳纶纤维，这是利用芳纶高性能的最简单最直接的典范；也可以是其材料譬如尼龙 66 或尼龙 6 的专用抗撕裂织物。这种抗撕裂层尼龙织物的特点是经向很细，仅起到网络纬向和固定的作用，而纬向很粗，作为纬向增强的主体。至于选择尼龙 66 还是尼龙 6 需要视胶带的使用要求而定。

2 使用芳纶帘子布作为防撕裂层。当然，由于用作防撕裂层的帘子布在强度方面没有经向那么高，故可以使用强度级别较低的芳纶帘子布。有两种方法可以实现芳纶帘子布的强度级别的降低。一是采用低线密度的芳纶帘子布，如用 1100dtex/2 芳纶帘子布代替 1670 dtex/3 芳纶帘子布；二是在帘子布线密度不变的情况下，可以通过降低帘子布的经线密度来降低其强度级别，如将密度由 30EPI 降低到 18EPI。或者是将这两个方法同时并用。对于骨架材料的制造企业来讲，这都是非常简单的技术调整。

以上提及的两种技术方案，第一方案显然是最有利于胶带成型操作的，因为无论是用作经向增强的芳纶帘子布还是用作纬向防撕裂的织物，都可以沿着织物的长度方向进行压延，不会产生额外的切割工作量和劳动成本。

在第二个方案中，使用芳纶帘子布作防撕裂层存在的问题是如何将长度方向的帘子布用在胶

带的横向上，起到纬向增强的作用。这也是芳纶帘子布用作纬向防撕裂层的难题所在。到目前为止，解决的方法仍然是将芳纶帘子布压延后进行切割，然后再一片片地将压延胶片垂直于胶带纵向进行贴成型，需要付出较大的劳动成本。尽管如此，芳纶帘子布作为纬向增强或防撕裂层得到的更多的应该是肯定。事实上，目前国内正在用的钢丝绳带纬向防撕裂织物芳纶防撕裂布并非芳纶性能应用的最佳方案。因为芳纶防撕裂布是一种纬向使用芳纶材料的织物，众所周知，织物在浸胶热定型的时候，纬向是自由收缩没有任何牵伸控制的。这种定型的直接后果是使得纬向的芳纶纤维的受热时产生一定的自由收缩，尽管这种自由收缩很低可以忽略不计，但其后果是不利于芳纶纤维的取向度的保持，降低了纬向芳纶的取向度也就降低了芳纶的强度保持率，显然对于价格昂贵的芳纶材料来讲，这是一个不可忽视的浪费。另外，使用这种纬向芳纶织物用作防撕裂层还有一个使用缺陷，就是由于织造保持布面纱线排列均匀的需要，用作纬向的芳纶纤维，使用了较低的加捻捻度（呈扁型），而低捻度的纱线的缺点是耐疲劳性较差。在胶带使用过程中，反复承受冲击是经常的工作状态，这种常规结构的芳纶防撕裂织物显然有待于改进。如果能够对纬向进行牵伸控制保持其取向度，那么芳纶的强度保持率无疑会大大提高。显然，常规结构的芳纶浸胶帘子布做到了这一点。所以，使用芳纶帘子布用作纬向防撕裂层也就在情理之中了。

通过表 2 对芳纶帘子布和芳纶防撕裂织物进行基本的比较，就会对以上论述得到验证。

表 2 杜邦 Kevlar 芳纶帘子布与芳纶防撕裂布技术指标

项目	芳纶帘子布		芳纶防撕裂布	
	经向	纬向	经向	纬向
结构	1670 dtex× 2	20Ne× 1	1100 dtex× 1	1670 dtex× 2
密度/（根/10 cm）	随防撕裂等级而定		随防撕裂等级而定	
材质	芳纶	纯棉纱	涤纶	芳纶
捻度/（T/ 10 cm）	31. 0	—	10	10
断裂强力/ N	498. 6	3. 6	72. 5	398. 6
断裂强度/（CN/ dtex）	14. 93	—	6. 59	11. 93
断裂伸长率/ %	3. 6	7. 5	14. 2	10. 2

从表 2 比较两种芳纶织物的物理指标可以发现，以具有可比性的断裂强度指标来看，芳纶帘

子布明显高于芳纶防撕裂布，其同比强度相差 3 0 CN/dtex，对于追求芳纶材料性能最大化使用的人们来讲，这是一个值得关注的数字。正因为如此，才有人选择芳纶浸胶帘子布作为胶带的防撕裂层骨架材料织物。

5 芳纶直经直纬浸胶帆布

5 1 芳纶直经直纬浸胶帆布的特点

芳纶材料本身具备低伸长、低变形的特点，芳纶直经直纬浸胶帆布则保持和延续了这种性能特点，使织物生产强度保持率明显高于传统工业用帆布的强度保持率，在一些特定场所它是替代钢丝绳的优秀骨架材料。

该产品将芳纶加捻线作织物的主经线、尼龙 66 加捻线作织物的主纬线、编织经采用低线密度的高模低缩涤纶工业丝加捻线，在产品设计中采用和体现“高旦线不易弯曲”、“低旦结构适宜编结”、“高张力强化直经效果”等织物设计及生产技术思路。以 DEP—900 芳纶直经直纬浸胶帆布为例，其主要技术指标见表 3。

表 3 其直经直纬浸胶帆布技术指标

项目	材质及测试指标
直经材料	芳纶
编织经材料	高模低缩涤纶
直纬材料	尼龙 66
组织	1/1+2/2
经向强力/ (N ° mm ⁻¹)	1020 5
纬向强力/ (N ° mm ⁻¹)	100 5
经向 10%定负荷伸长率/ %	0 2
平方米重量/ (g ° m ⁻²)	1280 5
厚度/ mm	2 0
粘合性能/ (N/2.5cm)	220 5
经向干热收缩率/ %	0 3

5 2 芳纶直经直纬浸胶帆布应用于胶带

与芳纶浸胶帘子布相比，芳纶直经直纬浸胶帆布应用于胶带则要方便得多，其最大的好处就是方便操作，这种结构的织物在经向增强和纬向防撕裂性能方面同时兼顾，无需另外增加防撕裂层织物，在胶带成型时不需要增加额外的人工。这种织物在强度级别不很高的情况下有较多的技术优势，且胶带制品的横向成槽性较好，可以满足胶带制品在该方面的要求。

与芳纶帘子布相比，芳纶直经直纬浸胶帆布的胶带应用级别要低 500N ° mm⁻¹ 左右，这是由

于这种帆布结构交织的织物的经线与纬向都要占用一定的分布空间，而芳纶帘子布则不存在纬向占用空间的问题，故织物级别即胶带级别相对要高。

所以，在选择芳纶骨架材料制造胶带时，如何根据胶带的规格及技术性能要求选择结构合适的芳纶织物，是成功应用芳纶骨架材料制造胶带最基础的第一步。

6 芳纶织物应用于胶带的成功案例

在国内，胶带制品有应用芳纶防撕裂布作钢丝带防撕裂层的生产实践，但就芳纶帘子布和芳纶直经直纬织物在制造胶带方面的应用尚缺乏典型的成功案例。

在这方面，芳纶 KEVLAR 的发明者杜邦公司对国外芳纶织物应用于胶带的情况进行了追踪汇总。从 1975 年以来，芳纶已在地下与露天煤矿、港口、采石矿和其它应用输送带的领域中体现出其不凡的价值，展现了芳纶织物应用于胶带生产的卓越性能。这给国内将芳纶骨架材料应用于胶带生产增添了极大的信心。下面不妨让我们领略一下国外芳纶应用于胶带制造的优秀表现。

6 1 Sydvaranger 公司

Sydvaranger 公司掌管着世界上最远的 taconite 矿，它位于挪威 Kirkenes，在北极圈以北 480km，-40 °C 的温度在冬季是常事，苛刻的自然条件使得公司把其设备的可靠性定为公司极为重要的工作指标。

1979 年，该公司曾试图把矿石产量增加 20%，这个煤矿已经是处于每天 24h 运转状态，增加产量就意味着去掉运转瓶颈：530m 长、67m 抬举高度的主输送带，其作用是把主破碎机破碎后的 150mm 大小的矿石输送到地面。主输送带的运行速度和宽度稍提高一点，加上把成槽角增加到 45°，其产能就可达到每小时 4000t 的目标。选择合适的输送带来代替当时在用的以 EP 帆布增强的低强度输送带成为解决该问题的关键。

3150 型、1200mm 宽的芳纶帘子布增强输送带能满足该公司对输送带在强度和柔软性方面的要求，还能在短时间内进行硫化接头，接头耐

久性亦很好。尼龙减震层能缓冲来自 2m 高的主破碎机砸到输送带的冲击。

Sydvaranger 公司实现了其增加产量的目标, 而且芳纶帘子布增强的输送带工作可靠性很好。1983 年, 该公司又增加了该种输送带的长度。

6.2 Saarbergwerke AG 公司

Saarbergwerke AG 公司在德国有 6 座煤矿, 每年生产 1000 万 t 煤炭, 在总长度达 260km 的 345 条输送带上输送 2000 万 t 的物料, $2500 \sim 4500 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$ 的高强度等级输送带占安装输送带总长度的 15%。这些输送带曾经全部使用钢丝绳输送带。钢丝绳输送带运行数年后大量的钢丝绳已被腐蚀, 而芳纶则很少出现这类问题。正因为如此, 现在一半以上都已采用芳纶织物为骨架材料。而且, 芳纶骨架材料增强的输送带采用直径较小的传导轮, 节省了空间和资金。

6.3 Neighboring Ruhrkohle AG 公司

Neighboring Ruhrkohle AG 公司的 23 座煤矿平均每年共生产 6000 万 t 煤炭。多达 2300 条输送带承担着每年 1.4 亿 t 的原煤输送任务, 其中的 15% 是钢丝绳输送带。但是, 钢丝绳输送带存在两个问题: 一是抵抗长度方向裂口的性能很差, 二是易受腐蚀。该公司认为芳纶提供了解决这些缺陷的方案, 实验开发的第一批芳纶增强输送带中就包括一条 1250 型、2km 长芳纶帘子布增强、氯丁橡胶为覆盖层材料的输送带。试验后, 芳纶帘子布增强的输送带被正式推广应用。

6.4 EMO 港口

位于 Rotterdam 的 EMO 港口是世界上最大的驳运终端之一, 每天要转运 10 万 t 的煤炭和铁矿石, 使用 22km 的输送带。多年来, 公司在实践中面临着其钢丝绳输送带需要大量的维护和工作稳定性问题。包括主要的海埠头输送带因输送材料的损坏, 堆垛回收装置输送带的表面覆盖层快速磨损, 以及铁炭腐蚀导致表面覆盖层出现小裂口, 输送带出现大面积损害。

通过实验, EMO 港开始用芳纶输送带代替钢丝绳输送带, 后来, 15km 长的芳纶输送带投入运行。芳纶输送带带来了诸多好处, 如抗损坏

性更好, 更容易修理 (钢丝绳输送带每季度都要进行小修), 不存在腐蚀问题, 工作寿命显著提高, 在同样的堆垛回收装置输送带上, 芳纶输送带表面磨损只相当于钢丝绳输送带的 1/3。

7 芳纶骨架材料与阻燃胶带的天然渊源

提及胶带, 不能不涉及阻燃胶带。在中国, 钢丝带、整体芯 PVC 带几乎 100% 充当着阻燃带的角色。工业用织物如何更好地走进阻燃带的领地成为业内人士关注的焦点, 也给骨架材料研制生产单位提出了严峻的课题。棉、尼龙、聚酯、人造丝、玻璃丝、碳纤维等, 细数这些纤维家族的当家花旦, 有的阻燃性能可以, 譬如玻璃丝和碳纤维, 但耐疲劳性极差; 有的耐疲劳性佳, 但阻燃性差, 譬如聚酯和尼龙, 总之无一能够胜任阻燃带的使命。

通过对芳纶性能的分析比较发现, 芳纶是开发生产阻燃带的目前唯一理想的骨架材料织物。

首先, 芳纶具备阻燃性能, 离开火焰立即熄灭, 无熔点, 即使达到 500°C 以上也只会分解而不会熔融, 满足阻燃带的要求。其次, 芳纶的强度高, 达到 $20\text{CN}/\text{dtex}$, 在很多场合可以替代钢丝带, 有其推广应用的價值。第三, 芳纶的耐疲劳性较好, 仅比尼龙稍差, 与碳纤维、玻璃丝比较, 这是难能可贵的。第四, 芳纶的抗撕裂能力、防刺割能力都是极佳的, 决定了其适用于胶带制造。

当前, 中国对化纤耐燃带尚处在研究阶段, 从以上分析可以说, 芳纶, 注定与阻燃带有不解的天然渊源。事实上, 国内有关单位正在积极进行这方面研究开发。相信不久, 关于芳纶应用于阻燃带的制造就会取得实质性的进展。

8 应用展望

在欧美等国家, 芳纶织物应用于橡胶制品已经很普遍。随着适应高性能胶带的开发生产和人们对芳纶骨架材料优越性的认识, 芳纶骨架材料的应用将越来越广泛。

在开发生产胶带制品的道路上, 当您对现有骨架材料的性能不能完全满意时, 不妨多一些对芳纶的关注, 相信芳纶会带给您惊喜。