

同步带芳纶骨架材料的性能特点

王善元 董红明 孙金龙 高亚英

(中国纺织大学纺织材料研究开发中心 200051)

摘要 介绍了芳纶纤维的拉伸、弯曲和扭转性能,并与玻璃纤维进行了对比。介绍了所设计的 3 种芳纶帘线的拉伸、蠕变性能,并与玻璃纤维帘线作了对比。研究了以芳纶帘线为骨架材料的同步带的拉伸性能与耐疲劳性能。认为芳纶骨架材料同步带的性能优于玻璃纤维同步带。

关键词 同步带,芳纶,玻璃纤维

同步带是综合齿轮传动、带传动和链传动的优点而发展起来的新型传动带,具有传动效率高、传动比准确、传动速度范围广、噪声低等优点,在国外机械设计中应用广泛。在我国,由于发展较晚,其性能及应用范围方面与国外相比有一定的差距。提高同步带的质量及应用范围需要多方面的努力,骨架材料的选用及优化是一个十分重要的环节。国外同步带骨架材料的发展经历了从涤纶、玻璃纤维、钢丝到芳纶的历程,现在重要传动部件的同步带已普遍采用芳纶作为骨架材料,从而大大改善了同步带的拉伸性能和耐疲劳性能。目前我国同步带骨架材料基本上以玻璃纤维帘线为主。本文主要分析芳纶纤维及芳纶帘线的拉伸及耐疲劳性能,并与玻璃纤维及玻璃纤维帘线进行对比,同时对芳纶同步带的性能进行了研究。

1 芳纶纤维的性能

1.1 芳纶纤维的拉伸性能

同步带骨架材料应具有高模量、高强度、低伸长等特点。从芳纶纤维的拉伸曲线(图 1)来看,芳纶纤维在整个拉伸过程中没有屈服点出现,基本上服从虎克定律(即 $\sigma = E \cdot \epsilon$),这一点与玻璃纤维(以下简称玻纤)相似。

把芳纶的各项强伸指标与其它常用帘线材料进行比较(见表 1),可以发现芳纶的优点:密度仅为钢丝的 1/5,玻纤的 1/2;在等重

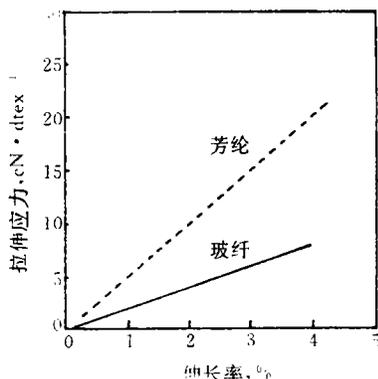


图 1 芳纶纤维和玻纤的拉伸曲线对比

表 1 几种材料的强伸性能比较

性能	芳纶	玻纤	钢丝
密度, $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$	1.41	2.54	7.85
断裂强度, $\text{cN} \cdot \text{dtex}^{-1}$	22.93	8.91	3.00
弹性模量, $\text{cN} \cdot \text{dtex}^{-1}$	520.38	264.60	249.96
断裂伸长率, %	4.6	4.0	1.7

量下,强度为钢丝的 8 倍,玻纤的 3 倍,模量约为钢丝和玻纤的 2 倍;在同体积下,芳纶的强度比钢丝和玻纤高约 50%,模量比钢丝小,但比玻纤略高。但是,芳纶的断裂伸长率比钢丝高,比玻纤略高。芳纶的这种性能主要是由其高分子结构决定的:芳纶具有高结晶、高取向的大分子结构。

由于芳纶近似于弹性体,与玻纤相比,其拉伸疲劳性能十分优越。国外的实验结果表明,芳纶的疲劳应力极限接近其断裂强度^[1]。

1.2 芳纶纤维的弯曲性能

由于同步带在运行过程中要经过反复弯曲,因此要求其骨架材料具有良好的弯曲性能。由于芳纶纤维具有各向异性,且压缩强度、剪切强度与其断裂强度相比要低得多,而纤维的弯曲强度是由其弯曲、压缩及拉伸三方面性能决定的,因此芳纶的弯曲性能比其拉伸性能要差得多。纺织上,衡量纤维弯曲性能的常用指标是结节强度和环扣强度,与断裂强度之比,芳纶纤维和玻纤的这两个指标如表2所示。一般的纺织纤维这两项指标可达80%^[2],而芳纶显然要低得多,但比玻纤仍要高得多。值得注意的是,尽管芳纶相对比值比其它纤维要低,但从绝对值来看,这两个指标并不比其它纤维低。

表2 两种纤维弯曲性能比较

项目	芳纶	玻纤
结节强度/断裂强度, %	40.0	5.0
环扣强度/断裂强度, %	25.0	8.4

纤维的动态弯曲疲劳常用重复弯曲疲劳次数来表征,芳纶和玻纤的重复弯曲疲劳次数分别为50000次以上和10次以下。这说明芳纶的耐弯曲疲劳性能比玻纤好得多。重复弯曲疲劳次数与纤维弯曲过程中纤维的预张力有很大关系。芳纶和玻纤的重复弯曲疲劳次数与其预张力之间的关系如图2所示。随

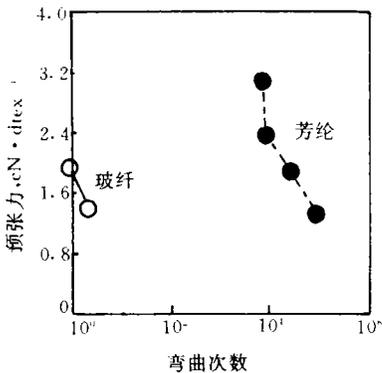


图2 弯曲疲劳次数与预张力的关系

着预张力的增大,重复弯曲疲劳次数降低,预张力和重复弯曲疲劳次数的对数呈线性关系。

1.3 芳纶纤维的扭转性能

由于芳纶纤维分子取向度高,横向联系弱,从而使其剪切强度低、扭转疲劳性差。芳纶用作同步带帘线时需经过加捻,使其中的纤维产生扭转应变,这种扭转应变会破坏高分子间的横向联系,使强度降低。芳纶纤维的剩余强力系数与扭转应变之间的关系如图3所示^[3]。在扭转应变低于10%时,强力几乎没有损失;扭转应变高于15%时,强力直线下降。芳纶的扭转性能比其它常用纤维差,但比玻纤好,因为玻纤脆性大,耐扭曲性更差。芳纶和玻纤的重复扭转次数分别为39和0次。

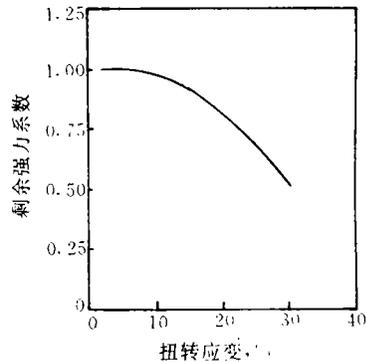


图3 芳纶纤维的剩余强力系数与扭转应变的关系

2 芳纶帘线的性能

2.1 芳纶帘线的拉伸性能

由于芳纶纤维的拉伸性能和扭转性能比玻纤好,因此芳纶帘线的拉伸性能和强力剩余系数比玻纤帘线高。通过对芳纶纱线的结构参数进行优化,我们共设计了3种芳纶帘线,它们的各项拉伸指标与玻纤帘线的对比如表3所示。芳纶帘线的断裂强力比等直径的玻纤帘线高出1倍以上,断裂伸长率虽比

玻纤帘线略大,但也在许可范围内。如果特种同步带要求更低的断裂伸长率,我们对芳纶帘线进行处理,其断裂伸长率可从3.55%减小至2.94%,断裂强力则从279.89N降至230.00N。

表3 芳纶帘线和玻纤帘线的拉伸性能比较

帘线及规格	直径 mm	断裂强 力,N	断裂伸长 率, %
芳纶			
1680dtex	0.495	279.89	3.55
1680dtex/2	0.760	586.92	3.63
1680dtex/3	0.998	879.35	3.82
玻纤			
	0.45	137.20	1.96
	0.9—1.0	450.80	<4.5
	1.2—1.3	637.00	<4.5

2.2 芳纶帘线的蠕变性能

蠕变是指材料在恒定载荷或应力作用下随时间增加而产生的变形和破坏过程。由于同步带在工作过程中总是存在着一定的工作张力,这种张力会使同步带发生蠕变伸长,给稳定负荷传动带来故障。同步带的蠕变主要是由其中的帘线蠕变性能所决定。因此帘线的蠕变性能是衡量帘线质量的一个重要指标。图4是3种芳纶帘线与1种玻纤帘线(直

径为0.45—0.50mm)的部分蠕变图。测试时的预负荷都为其断裂强度的20%。从图中可以看出,芳纶帘线与玻纤帘线的变化规律相似,但芳纶帘线的蠕变比玻纤帘线要大1倍左右。值得注意的是,由于芳纶帘线的断裂强力比玻纤帘线高约1倍,因此测试时它们的负荷也相差1倍。如果在相同的负荷下,则蠕变基本相同。

3 芳纶骨架材料同步带的性能

3.1 芳纶骨架材料同步带的拉伸性能

在一系列假设下,经过理论分析^[4],同步带的拉伸指标可以用下面算式表达:

$$E = E_c V_c + E_m V_m \quad (1)$$

$$P_{t,b} = n P_{c,b} \quad (2)$$

- 式中 E ——同步带的模量;
- E_c ——帘线的模量;
- E_m ——基体的模量;
- V_c ——帘线的体积分数;
- V_m ——基体的体积分数;
- $P_{t,b}$ ——同步带的断裂强力;
- n ——帘线根数;
- $P_{c,b}$ ——帘线的断裂强力。

以上两式的实际意义是,同步带的模量不仅与其中帘线和基体的模量有关,而且与它们的体积比有关;同步带的强度是由其中的帘线的总强度决定的。

我们分别用芳纶和玻纤两种帘线加工出同种规格的同步带(130XL307),它们的拉伸曲线如图5所示。由图5可以看出,两者的拉伸曲线相似。拉伸曲线开始阶段,两者几乎重合,也就是说它们的初始模量几乎相等;在拉伸后半阶段,芳纶骨架材料同步带的模量高于玻纤骨架材料同步带。而在一般的情况下,同步带的工作应力不超过其断裂强度的20%,所以在同等工作条件下,芳纶骨架材料同步带并不比玻纤骨架材料同步带的伸长

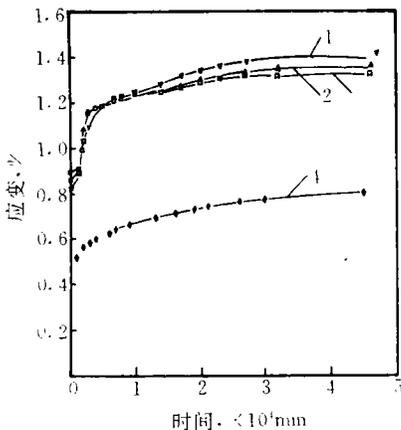


图4 几种帘线的蠕变曲线

1—1680dtex/3 芳纶帘线;2—1680dtex/2 芳纶帘线;
3—1680dtex 芳纶帘线;4—玻纤帘线

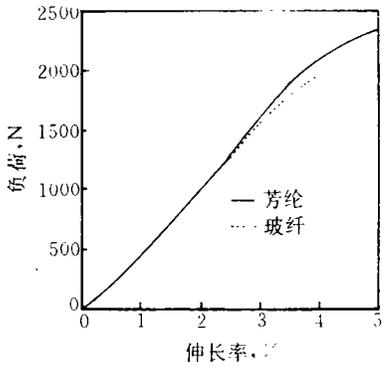


图5 两种骨架材料同步带的拉伸曲线

3.2 芳纶骨架材料同步带的疲劳性能

疲劳是指材料在周期或脉动载荷下产生的损伤和破坏行为。同步带的破坏大多是由于疲劳所致,主要包括两个方面:一是同步带在工作过程中,在长时间的外力和反复弯曲作用下,长度会不断增加;二是由于材料的疲劳等原因,同步带在工作过程中,其强力会逐渐降低,一旦剩余强力低于带的工作强力,则会使带断裂,失去工作能力。

图6是芳纶和玻纤两种骨架材料同步带在运行过程中的蠕变图,其中玻纤骨架材料同步带的曲线描述了从开始到断裂整个过程,而芳纶骨架材料同步带仅是部分蠕变图,表示的是从开始到强力损失20%这一过程

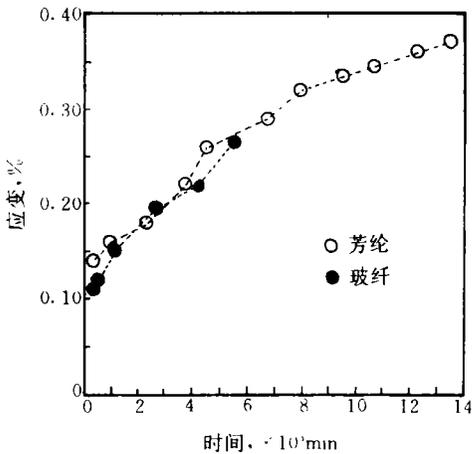


图6 两种骨架材料同步带运行过程中的伸长变化

的伸长情况。两条曲线在形状上有些相似,在开始阶段(0—2000min),芳纶骨架材料同步带的伸长比玻纤骨架材料同步带略高,最大差异处约在2000—6000min范围内;在此之后直至玻纤骨架材料同步带断裂,两者伸长量相近。

图7描述的是两种不同骨架材料同步带在工作过程中强力的损失情况。可以看出,玻纤骨架材料同步带的强力降低迅速,在工作约6000min后,即发生断裂,而芳纶骨架材料同步带在工作14000min后,强力仅损失20%。这主要是由于玻纤的耐弯曲疲劳和扭转疲劳性很差,而芳纶纤维相对较好所致。

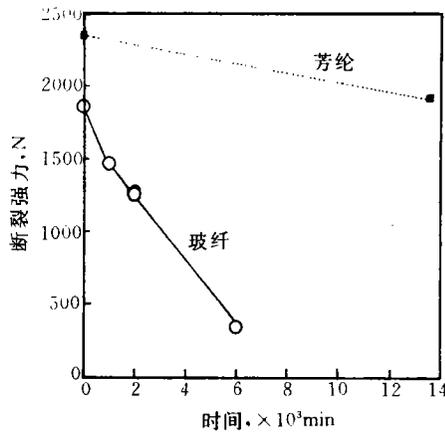


图7 两种骨架材料同步带运行过程中的强力变化

4 结论

(1)芳纶纤维的拉伸性能、弯曲性能、扭转性能的所有指标均高于传统的同步带骨架材料玻纤,更适于用作同步带的骨架材料。

(2)芳纶帘线的拉伸性能优于玻纤帘线,两者在同直径同负荷下蠕变相近。

(3)芳纶骨架材料同步带的拉伸性能、耐疲劳性能均优于玻纤同步带,但芳纶骨架材料同步带运行中的伸长和蠕变略大。如果特种同步带要求更低的伸长,可对芳纶帘线进行处理,其伸长可进一步降低。

参考文献

- 1 Konopask L and Hearle J W S. The tensile fatigue behavior of para-oriented aramid fibers and their fracture morphology. *Journal of Applied Polymer Science*. 1977; 21 (10):2791—2816
- 2 Morton M E and Hearle J W S. *Physical properties of textile fiber*. London: Textile Institute. 1975: 410
- 3 Deteresa S J *et al.* Compressive and torsional behaviour of kevlar 49 fibre. *Journal of Materials Science*. 1984; 19 (1):57—72
- 4 董红明. 同步带芳纶骨架材料的研制及性能探讨. 中国纺织大学硕士研究生论文, 1994

收稿日期 1995-01-23

全球橡胶市场走势预测

近年来,天然橡胶和合成橡胶价格大幅上涨,但预计今后很长时间内,全球需求仍将日趋旺盛。据调查统计显示,1995 年全球橡胶需求将超过 1994 年的水平,1996 年还将持续增加。

近期的天然橡胶价格是一年前价格的 2 倍,合成橡胶的价格也迅速攀升。据美国经济情报研究所的橡胶专家分析,55% 的橡胶用于制造轮胎,因此橡胶市场的价格走势在很大程度上取决于运输工具的生产量。毫无疑问,天然橡胶市场是全球经济活动的主要晴雨表。据国际橡胶研究机构测算,1995 年世界橡胶的消费量将增长 4.4%,1996 年将增长 3.95%。世界银行报告称,分析家预测 1995 年全球汽车产量将从 3570 万辆增加到 3780 万辆,欧洲和北美地区的产量将有较大幅度的增长。商业性运输工具的产量也将从 1460 万辆增至 1540 万辆。

美国经济情报研究所在一份研究报告中预测,尽管轮胎销售在 1995 年曾一度滑坡,但预计在 1994—2000 年,销售将增加 14%。1995 年各种运输工具的总产量将增长 3.55%,1996 年将增长 2.3%,而新兴工业化国家的产量增长速度最快。预计 1995 年汽车轮胎制造业的橡胶需求量将从去年的 520.8 万 t 增至 543.5 万 t,1996 年为 559.3 万 t (其中天然橡胶占 47%,合成橡胶占 53%)。

根据世界橡胶研究机构的预测显示,

1995 和 1996 两年国际橡胶市场总的情况是,需求高于产量,供应持续紧张,合成橡胶的供应状况比天然橡胶更紧张。国际橡胶研究机构预计 1995 年天然橡胶的产量将增长 2.7%,1996 年将增长 3.1%。美国经济情报研究所预测,到 1996 年年底,世界橡胶价格将开始逐渐下滑。

天然橡胶生产国最近达成一项新的世界天然橡胶协定,通过缓冲库存干预机制,使供应及价格走势规范化,以达到抑制价格下跌的目的,该协定于 1995 年 2 月份生效,有效期为 4 年。

无论天然橡胶和合成橡胶的价格如何变动,有一点是不容置疑的,全球对橡胶的需求将日益增长,尤其是亚洲新兴工业国家和地区。

据亚洲开发银行预测,1995 年亚洲新兴工业国家经济增长率居世界首位。为此,不少经济专家一致认为,在较长一段时间里,韩国、中国内地、台湾地区、印度、泰国、印度尼西亚、马来西亚等国家和地区的汽车及轮胎制造规模将进一步扩大,对橡胶的需求也将不断增长。预计今后几年,亚洲地区合成橡胶的进口将增加,而天然橡胶的出口将减少。在过去 3 年中,天然橡胶产量占世界总产量 70% 的泰国和马来西亚对橡胶(天然橡胶和合成橡胶)的消费量大为增加。

(摘自《中国化工报》,1995,9,29)