

# 结构设计对传动带用浸胶芳纶线绳性能的影响

于得江<sup>1</sup>,吴贻珍<sup>2</sup>,施骏捷<sup>3</sup>,高渭淞<sup>1</sup>,姜伟<sup>1</sup>

[1. 青岛天邦线业有限公司, 山东 青岛 266609; 2. 无锡市贝尔特胶带有限公司, 江苏 无锡 214176; 3. 杜邦(中国)研发管理有限公司, 上海 201203]

**摘要:**分别采用1670dtex和1100dtex芳纶丝,研究结构设计对传动带用浸胶芳纶线绳性能的影响。结果表明:当原丝总纤度相同时,随着初复捻捻度的增大,捻度系数增大,线绳的初始断裂强力呈减小趋势,疲劳后断裂强力保持率呈增大趋势;当捻度相同时,增大原丝纤度,可提高线绳的耐疲劳性能;当直径和捻度相同时,通过改变捻线结构,增大初捻捻度系数,保持复捻捻度系数不变,可使线绳的耐疲劳性能得到提高。

**关键词:**传动带;芳纶纤维;捻度系数;耐疲劳性能;断裂强力

**中图分类号:**TQ336.2;TQ330.38<sup>+9</sup>

**文章编号:**2095-5448(2023)05-0235-05

**文献标志码:**A

**DOI:**10.12137/j.issn.2095-5448.2023.05.0235



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

芳纶纤维是芳香族聚酰胺纤维的简称,分为对位芳纶纤维(芳纶1414)和间位芳纶纤维(芳纶1313),最先由美国杜邦公司于20世纪60年代发明,商品名为KEVLAR<sup>®</sup>。其中对位芳纶纤维的强度比锦纶纤维、聚酯纤维和玻璃纤维高1~2倍,模量高2~10倍,其刚性好、伸长率低、蠕变小,耐热性能优良;随着温度的升高,芳纶纤维的复合模量增大,损耗模量减小,即具有优异的高温使用性能、较小的滞后损失和变形以及较低的生热,非常适合作为传动带的骨架材料,被广泛应用于同步带、高强度工业V带、农机V带、无级变速箱的V带、汽车多楔带及平带等产品。

芳纶纤维应用于传动带,一般都是经过加捻成线绳并需进行浸胶处理。捻度、原丝纤度和股数均会影响线绳的加工和使用性能,一般用捻度系数来表征。随着捻度系数的增大,浸胶芳纶线绳的拉伸模量减小,断裂伸长率增大,而拉伸强度在某个捻度系数处出现最大值;对于单股芳纶纤维,其拉伸强度最大值出现在捻度系数约为1.1处<sup>[1-4]</sup>。

**作者简介:**于得江(1984—),男,山东栖霞人,青岛天邦线业有限公司工程师,学士,主要从事纤维骨架材料的研究开发。

**E-mail:**tipont\_ydj@163.com

捻度系数是衡量浸胶芳纶线绳耐疲劳性能的重要设计指标,理论上讲,捻度系数越大,芳纶线绳的耐疲劳性能越好。由于胶带环绕带轮或辊筒运转,靠近带轮或辊筒的胶带层包括骨架材料处于被压缩状态,因此骨架材料的耐压缩疲劳性能必须达到使用要求,否则会出现过早失效。涤纶和锦纶纤维的耐压缩疲劳性较好,而芳纶纤维的耐压缩疲劳性能一般,通过适度的加捻可使其得到改善。但捻度的增大会降低芳纶线绳的强度和模量,因此在提高芳纶线绳耐压缩疲劳性能的同时,还要考虑芳纶线绳的强度和模量不要损失太多,通过设计合理的结构可以平衡强度、模量和耐压缩疲劳性能<sup>[5]</sup>。

本工作研究结构设计对传动带用浸胶芳纶线绳性能的影响。

## 1 实验

### 1.1 主要原材料

K29系列的1670dtex和1100dtex芳纶丝,美国杜邦公司产品;固活化处理液TYCH-11,间苯二酚-甲醛胶乳(RFL)处理液和三元乙丙橡胶(EPDM)粘合增进剂,青岛天邦线业有限公司产品;EPDM混炼胶,无锡市贝尔特胶带有限公司产品。

## 1.2 主要设备和仪器

XLB-350×350×1型平板硫化机,青岛汇才机械有限公司产品;3366型拉伸强力试验机,美国英斯特朗公司产品;3615/A型捻线机,意大利LEMA公司产品;BR/24型线绳浸胶机,德国贝宁格公司产品;线绳动态疲劳试验装置,青岛天邦线业有限公司产品。

## 1.3 试样制备

### 1.3.1 初捻线和复捻线

(1)取1670dtex和1100dtex芳纶丝按设定结构进行加捻合股,备用。

(2)取指定结构的初捻线,按设定结构进行复捻合股,备用。

### 1.3.2 浸胶芳纶线绳

将捻好的线绳拉伸平整,经过装满活化处理液的浸染槽内浸渍,通过烘箱加热处理,使其活化、干燥;活化处理后的线绳经过装满RFL的浸胶槽内浸胶,通过烘箱加热处理、干燥;再经过装满EPDM增进粘合剂的槽内浸渍,通过烘箱加热处理、干燥,即得到EPDM浸胶芳纶线绳<sup>[6-10]</sup>。

## 1.4 性能测试

### 1.4.1 捻度系数

捻度按照GB/T 33338—2016《浸胶纱线、线绳和帘线捻度试验方法》进行测试。捻度系数按下式计算:

$$T_M = \frac{T_{PM} \sqrt{RD}}{3029}$$

式中: $T_M$ 为捻度系数; $T_{PM}$ 为捻度, $T \cdot m^{-1}$ ;  $R$ 为股数; $D$ 为原丝纤度,dtex。

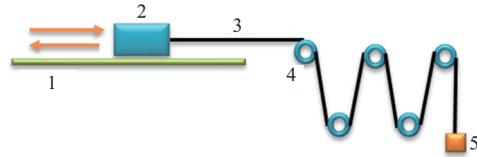
### 1.4.2 拉伸性能

浸胶芳纶线绳的拉伸性能按照GB/T 32108—2015《浸胶线绳、纱线和帘线拉伸性能的试验方法》进行测试。

### 1.4.3 耐疲劳性能

浸胶芳纶线绳的耐疲劳试验参照GB/T 30315—2013《浸胶帘线往复曲挠疲劳试验方法》进行了适当改进,试验装置如图1所示。

试验装置中滑块在导轨上往复运动,牵引线绳在转轮上进行耐疲劳试验;通过增加转轮数量,以增大浸胶线绳的测试强度;砝码质量根据线绳纤度不同,预加张力采用GB/T 30315—2013中规



1—导轨;2—滑块;3—浸胶芳纶线绳;4—转轮;5—砝码。

图1 线绳动态疲劳试验装置示意

定的 $(0.050 \pm 0.005) \text{ cN} \cdot \text{dtex}^{-1}$ 。为验证不同结构线绳在同一型号传动带中的性能,采用与该传动带带轮相同的转轮,没有对不同直径线绳在各自对应的最佳曲率半径下的耐疲劳性能进行对比分析。

采用滑块往复4 000次疲劳试验后浸胶芳纶线绳的断裂强力保持率来表征其耐疲劳性能<sup>[11]</sup>。浸胶芳纶线绳的断裂强力保持率=动态疲劳后线绳的断裂强力平均值/动态疲劳前线绳的断裂强力平均值 $\times 100\%$ 。

### 1.4.4 多楔带的疲劳寿命

多楔带的屈挠试验按照SAE J 2432—2000《PK型多楔带性能试验方法》进行,试验温度为 $120^\circ\text{C}$ ,运行时间为200 h。

多楔带的屈挠疲劳强度保持率=动态疲劳后多楔带强度/动态疲劳前多楔带强度 $\times 100\%$ 。

## 2 结果与讨论

### 2.1 1670dtex与1100dtex芳纶丝的性能对比

1670dtex与1100dtex芳纶丝的性能对比如表1所示。

表1 1670dtex与1100dtex芳纶丝的性能对比

项 目	1670dtex芳纶丝	1100dtex芳纶丝
线密度/dtex	1 678	1 127
单丝根数	1 000	667
断裂强力/N	390	261
比强度/ $(\text{N} \cdot \text{tex}^{-1})$	2.34	2.35
断裂伸长率/%	4.13	4.10

从表1可以看出,两种芳纶丝除线密度和单丝根数明显不同外,其他性能无明显差异。

通过捻度系数计算公式可以发现,提高线绳捻度系数的方法有两种:一是增大捻度;二是增大原丝纤度。为进一步研究结构设计对浸胶芳纶线绳性能的影响,分别采用1670dtex和1100dtex芳纶丝,在初捻捻度相同复捻捻度不同、初捻捻度不同

复捻捻度相同、不同规格原丝制成相同直径浸胶线绳等条件下进行对比分析。

## 2.2 1670dtex芳纶丝系列产品的性能对比

1670dtex浸胶芳纶线绳的结构设计参数见表2。

表2 1670dtex浸胶芳纶线绳的结构设计参数

项 目	样品编号							
	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>	5 <sup>#</sup>	6 <sup>#</sup>	7 <sup>#</sup>	8 <sup>#</sup>
原丝纤度/dtex	1670	1670	1670	1670	1670	1670	1670	1670
捻线结构	1×3	1×3	1×3	1×3	1×3	1×2	1×4	1×5
初捻捻度/(T·m <sup>-1</sup> )	195	195	195	250	300	195	195	195
复捻捻度/(T·m <sup>-1</sup> )	120	150	195	195	195	195	195	195
初捻捻度系数	2.6	2.6	2.6	3.4	4.0	2.6	2.6	2.6
复捻捻度系数	2.8	3.5	4.5	4.5	4.5	3.7	5.3	5.9

从表2可以看出:1<sup>#</sup>—3<sup>#</sup>样品采用1670dtex芳纶丝制成初捻1股、复捻3股的结构,初捻捻度均为195 T·m<sup>-1</sup>,初捻捻度系数均为2.6;复捻捻度分别为120,150和195 T·m<sup>-1</sup>,复捻捻度系数分别为2.8,3.5和4.5。

1670dtex浸胶芳纶线绳的断裂强力和断裂强度保持率分别如图2和3所示。

从图2和3可以看出,对于1<sup>#</sup>—3<sup>#</sup>样品,当原丝纤度、初复捻股数和初捻捻度相同时,随着复捻捻

度的增大,复捻捻度系数增大,浸胶芳纶线绳的断裂强力呈减小趋势,断裂强度保持率呈增大趋势。

3<sup>#</sup>—5<sup>#</sup>样品与1<sup>#</sup>—3<sup>#</sup>样品的不同之处在于复捻捻度均为195 T·m<sup>-1</sup>,复捻捻度系数均为4.5;初捻捻度不同,分别为195,250和300 T·m<sup>-1</sup>,初捻捻度系数分别为2.6,3.4和4.0。3<sup>#</sup>—5<sup>#</sup>样品的动态疲劳性能测试结果呈现出与1<sup>#</sup>—3<sup>#</sup>样品相似的规律:当原丝纤度、初复捻股数和复捻捻度相同时,随着初捻捻度的增大,初捻捻度系数增大,浸胶芳纶线绳的断裂强力呈减小趋势,断裂强度保持率呈增大趋势。

对比3<sup>#</sup>,6<sup>#</sup>,7<sup>#</sup>和8<sup>#</sup>样品可以发现,当初复捻捻度相同时,线绳的总纤度增加,复捻捻度系数增大,浸胶芳纶线绳的断裂强度保持率增大。

## 2.3 1100dtex芳纶丝系列产品的性能对比

1100dtex浸胶芳纶线绳的结构设计参数见表3。

从表3可以看出:9<sup>#</sup>—11<sup>#</sup>样品采用1100dtex芳纶丝制成初捻1股、复捻4股的结构,初捻捻度均为195 T·m<sup>-1</sup>,初捻捻度系数均为2.2;复捻捻度分别为120,150和195 T·m<sup>-1</sup>,复捻捻度系数分别为2.6,3.3和4.3。11<sup>#</sup>—13<sup>#</sup>样品复捻捻度相同,复捻捻度系数均为4.3;初捻捻度分别为195,250和300 T·m<sup>-1</sup>,初捻捻度系数分别为2.2,2.8和3.3。

1100dtex浸胶芳纶线绳的断裂强力和断裂强度保持率分别如图4和5所示。

从图4和5可以看出:对于9<sup>#</sup>—13<sup>#</sup>样品,在原丝纤度和初复捻股数相同的情况下,当初捻捻度相同时,随着复捻捻度的增大,复捻捻度系数增大,浸胶芳纶线绳的断裂强度呈减小趋势,断裂强度保持率呈增大趋势;当复捻捻度相同时,随着初捻捻度的增大,初捻捻度系数增大,浸胶芳纶线绳的

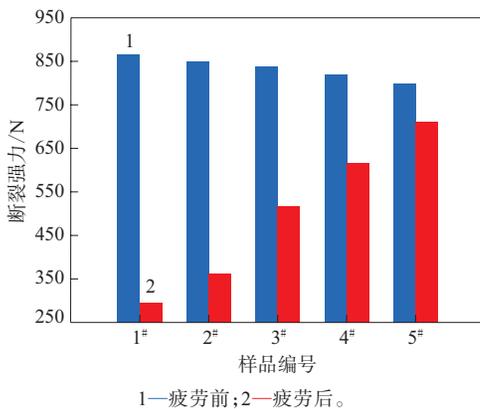


图2 1670dtex浸胶芳纶线绳的断裂强力

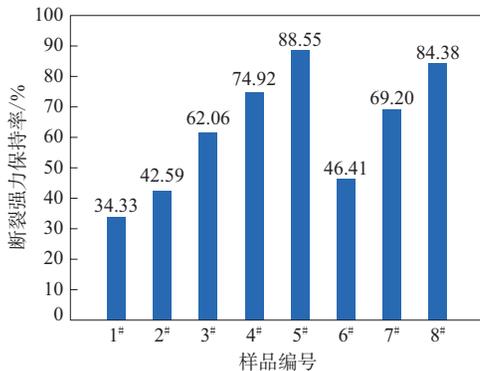


图3 1670dtex浸胶芳纶线绳的断裂强度保持率

表3 1100dtex浸胶芳纶线绳的结构设计参数

项 目	样品编号							
	9 <sup>#</sup>	10 <sup>#</sup>	11 <sup>#</sup>	12 <sup>#</sup>	13 <sup>#</sup>	14 <sup>#</sup>	15 <sup>#</sup>	16 <sup>#</sup>
原丝纤度/dtex	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
捻线结构	1×4	1×4	1×4	1×4	1×4	1×3	1×5	2×3
初捻捻度/(T·m <sup>-1</sup> )	195	195	195	250	300	195	195	195
复捻捻度/(T·m <sup>-1</sup> )	120	150	195	195	195	195	195	195
初捻捻度系数	2.2	2.2	2.2	2.8	3.3	2.2	2.2	3.0
复捻捻度系数	2.6	3.3	4.3	4.3	4.3	3.7	4.8	5.3

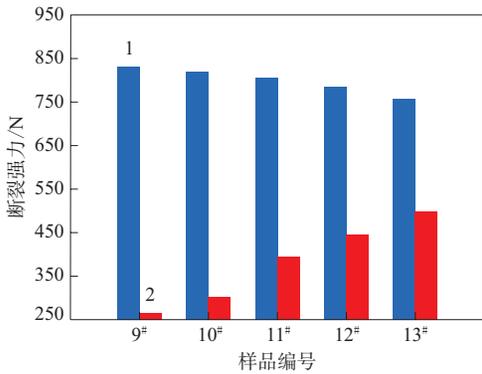


图4 1100dtex浸胶芳纶线绳的断裂强力

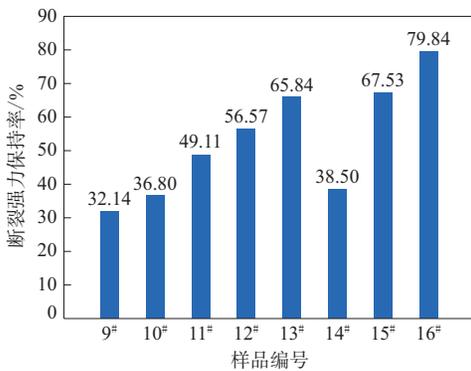


图5 1100dtex浸胶芳纶线绳的断裂强力保持率

断裂强力呈减小趋势,断裂强力保持率呈增大趋势。14<sup>#</sup>—16<sup>#</sup>样品在初、复捻捻度相同的情况下,随着线绳总纤度的增大,浸胶芳纶线绳的断裂强力保持率增大。

#### 2.4 不同芳纶丝同直径产品的性能对比

为进一步研究捻度系数中纤度对浸胶芳纶线绳静态和动态疲劳性能的影响,分别取直径为0.65 mm的6<sup>#</sup>和14<sup>#</sup>样品(第1组)以及直径为0.95 mm的7<sup>#</sup>和16<sup>#</sup>样品(第2组)进行对比分析。

如果只考虑复捻结构,两组对比样品的直径、总纤度和复捻捻度相同,计算出的复捻捻度系数相同,理论上耐疲劳性能也应该相同。但由于

原丝纤度和捻线结构不同,初捻捻度系数存在差异。这表明初捻和复捻的捻度系数均会影响浸胶芳纶线绳的耐疲劳性能。在第1组样品中,由于6<sup>#</sup>样品的初捻捻度系数大于14<sup>#</sup>样品,6<sup>#</sup>样品的断裂强力保持率大于14<sup>#</sup>样品;在第2组样品中,由于16<sup>#</sup>样品的初捻捻度系数大于7<sup>#</sup>样品,16<sup>#</sup>样品的断裂强力保持率大于7<sup>#</sup>样品。

试验发现,在直径相同的情况下,捻线股数对浸胶芳纶线绳的结构稳定性有一定影响,如复捻为3股的结构会比复捻为2股的结构表现出更好的结构稳定性,使得因捻度系数改变而产生的耐疲劳性能差异缩小。

对比试验结果表明,当线绳总纤度和复捻捻度系数相同时,初捻捻度系数不同也会影响浸胶芳纶线绳的耐疲劳性能。因此,在设计浸胶芳纶线绳的结构时,应综合考虑初捻捻度系数与复捻捻度系数的搭配,以及初捻捻度系数和复捻捻度系数与断裂强力和耐疲劳性能的关系。

#### 2.5 不同结构线绳的实际应用效果对比

选取1670dtex/1×2,1100dtex/1×3和1670dtex/1×4规格的浸胶芳纶线绳,根据实际需求对捻度系数进行设计,制作型号为6PK1200的汽车多楔带,并进行多轮屈挠疲劳试验,多楔带的屈挠疲劳强度保持率如表4所示。

表4 多楔带的屈挠疲劳强度保持率

项 目	线绳样品编号		
	6 <sup>#</sup>	14 <sup>#</sup>	7 <sup>#</sup>
线绳规格	1670dtex/ 1×2	1100dtex/ 1×3	1670dtex/ 1×4
初捻捻度/(T·m <sup>-1</sup> )	195	195	195
复捻捻度/(T·m <sup>-1</sup> )	195	195	195
初捻捻度系数	2.6	2.2	2.6
复捻捻度系数	3.7	3.7	5.3
多楔带屈挠疲劳强度 保持率/%	56	23 <sup>1)</sup>	74

注:1)运行82 h后多楔带断裂,测其残余强度。

从表4可见,采用1670dtex/1×4浸胶芳纶线绳的多楔带屈挠疲劳强度保持率最大。

### 3 结论

结构设计对浸胶芳纶线绳性能的影响主要是通过调整捻度和原丝纤度实现。当原丝总纤度相同时,初复捻捻度的增大均会使捻度系数增大,从而提高线绳的耐疲劳性能,但线绳的初始断裂强力会有所减小;当捻度相同时,增大原丝纤度,可提高线绳的耐疲劳性能;当直径和捻度相同时,通过改变捻线结构,增大初捻捻度系数,保持复捻捻度系数不变,可提高线绳的耐疲劳性能。由于线绳的初始断裂强力和疲劳后断裂强力保持率的总体变化趋势相反,在设计浸胶芳纶线绳结构时应综合考虑两者的平衡关系,以确保产品性能达到最佳。

### 参考文献:

[1] 王维相,翁亚栋.芳纶在橡胶制品中的应用概况[J].橡胶工业,2004,51(7):436-439.

- [2] 吴贻珍.传动带用骨架材料现状与发展[J].橡胶工业,2012,59(6):373-378.
- [3] 庄士平.对位芳纶纤维在切边V带中的应用[J].青岛科技大学学报(自然科学版),2017,38(S2):102-104.
- [4] 崔小明.芳纶纤维在橡胶工业中的应用研究进展[J].橡胶科技,2020,18(1):5-8.
- [5] 吴贻珍,潘建茂,鲁英楠,等.芳纶线绳EPDM多楔带性能研究[J].机械传动,2013,37(8):37-38,42.
- [6] ANDREIKOVA L N, BOBROV S P, ANDRIASYAN YU O, et al. The influence of the type of dipping composition on the structure of aramid cord threads[J]. International Polymer Science and Technology, 2018, 45(4): 171-173.
- [7] 费传军,夏涛,李静,等.橡胶制品用芳纶纤维的疲劳性能研究[J].玻璃纤维,2006(4):13-14,26.
- [8] 曲荫章,于发家,姜华,等.几种胶带用聚酯和芳纶线绳浸胶技术的研究[J].橡胶工业,2004,53(3):154-158.
- [9] 于得江,姜伟,姜华,等.切边V带用新型浸胶芳纶硬绳的研究[J].橡胶工业,2020,67(7):514-518.
- [10] 周琴,李杨,钟代飞,等.芳纶纤维的热氧化处理及对环氧树脂界面黏结的影响[J].塑料科技,2021,49(5):1-6.
- [11] 全国橡胶与橡胶制品标准化技术委员会浸胶骨架材料分技术委员会.浸胶帘线往复曲挠疲劳试验方法:GB/T 30315—2013[S].北京:中国标准出版社,2014.

收稿日期:2023-01-15

## Effect of Structure Design on Properties of Dipped Aramid Cord for Transmission Belt

YU Dejiang<sup>1</sup>, WU Yizhen<sup>2</sup>, SHI Junjie<sup>3</sup>, GAO Weisong<sup>1</sup>, JIANG Wei<sup>1</sup>

[1. Qingdao Tipont Cord Co., Ltd, Qingdao 266609, China; 2. Wuxi Rubber Belt Co., Ltd, Wuxi 214176, China; 3. DuPont (China) R&D and Management Co., Ltd, Shanghai 201203, China]

**Abstract:** The effect of structure design on the properties of dipped aramid cords for transmission belts was studied by using 1670dtex and 1100dtex aramid yarn. The results showed that when the total filament size was the same, with the increase of the initial and secondary twist, the twist coefficients increased, the initial breaking strength of the cord decreased and the breaking strength retention rate after fatigue increased. When the twist was the same, the fatigue resistance of the cord could be improved by increasing the filament size. When the diameter and twist were the same, the fatigue resistance of the cord could be improved by changing the twist structure, increasing the initial twist coefficient, and keeping the secondary twist coefficient unchanged.

**Key words:** transmission belt; aramid fiber; twist coefficient; fatigue resistance; breaking strength

欢迎关注微信公众号“橡胶工业传媒”  
免费在线阅读最新6期电子刊