

普通用途 DPP 芳纶输送带的研制

孙桂美,汪光亮,杨 静,张鹏飞,王 飞,赵连云

(兖矿集团唐村实业有限公司,山东 邹城 273522)

摘要:介绍普通用途 DPP 芳纶输送带的研制。试验结果表明:与同级别的普通用途分层带相比,DPP 芳纶输送带的骨架材料强度利用率提高 10%,输送带整体厚度降低 2.1 mm,骨架材料厚度降低 3.1 mm,单位质量降低 3.79 kg·m⁻²,从而可降低输送机无效负荷。

关键词:输送带;DPP;芳纶;粘合强度;覆盖胶

中图分类号:TQ336.2 **文献标志码:**B **文章编号:**1000-890X(2014)07-0430-05

在欧美等发达国家,芳纶输送带已很普遍,应用效果显著。我国高性能芳纶输送带处于试制阶段,尚未大规模使用。随着国内芳纶生产技术的不断提高及国外主要生产厂商产能的扩大,芳纶价格会有所降低;另外,国家对节能环保理念的倡导以及使用厂家对长距离、高强度、长寿命的追求,必然促进芳纶高性能输送带的开发和应用。本文介绍普通用途 DPP 芳纶输送带的研制。

1 实验

1.1 主要原材料

DPP 芳纶帆布,帝人公司产品;天然橡胶(NR),牌号 SCR5,云南天然橡胶产业股份有限公司产品;丁苯橡胶(SBR),牌号 1502,中国石油吉林石化分公司有机合成厂产品;顺丁橡胶(BR),牌号 9000,中国石化齐鲁石化股份有限公司橡胶厂产品;粘合剂 RF-90 和 HMMM,常州常京化学有限公司产品。

1.2 主要设备与仪器

X(S)M-1.5 型密炼机和 XLB-600×600×2 型电热平板硫化机,青岛科高橡塑机械技术装备有限公司产品;GT-M2000AN 型无转子硫化仪和 TCS-2000 型拉力试验机,中国台湾高铁检测仪器有限公司产品。

作者简介:孙桂美(1976—),女,山东济宁人,兖矿集团唐村实业有限公司工程师,学士,主要从事输送带新产品开发及输送带生产管理工作。

1.3 试样制备

试验胶料在 1.5 L 密炼机内按常规工艺混炼,在 XLB-600×600×2 型电热平板硫化机上硫化,硫化条件为 147 °C×30 min。

中试胶料在 140 L 密炼机内按常规工艺混炼,试验带在 XLB-1800×10000×1 型平板硫化机上硫化。

1.4 性能测试

试样的拉伸性能、层间粘合强度和磨耗性能均按相应国家标准进行测试。

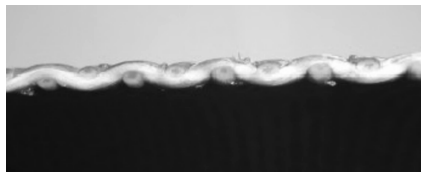
2 结果与讨论

2.1 骨架材料的确定

现常用平纹编织结构帆布见图 1。该结构经线位于纬线上下,通过交叉达到相互固定的目的,由于上下弯曲,纵向水平受力时,一部分作用力



(a)结构示意图



(b)实物照片

图1 平纹编织结构帆布

被分解到垂直方向,纱线理论强度值发生了损失,强度越高,经线弯曲程度越大,强度损失也越大。

采用直经编织结构的 DPP 芳纶帆布可获得更高强度,该结构帆布主要由受力经线、连接经线和纬线三部分组成,见图 2。其纬线位于经线上下,通过连接经线上下交叉来固定相互位置,受力经线由高模量的芳纶组成,并始终处于平直状态。

与平纹编织结构相比,直经编织结构强度利用率更高,在生产同级别分层带时,可以减小骨架材料用量;单层强度大幅度提高可使骨架材料减少到 1 层,避免了分层带来的问题,提高了输送带的耐疲劳性能。此外,直经结构织物的凹凸表面与橡胶粘合强度增大。

芳纶帆布性能指标见表 1。本研究以 DPP1600

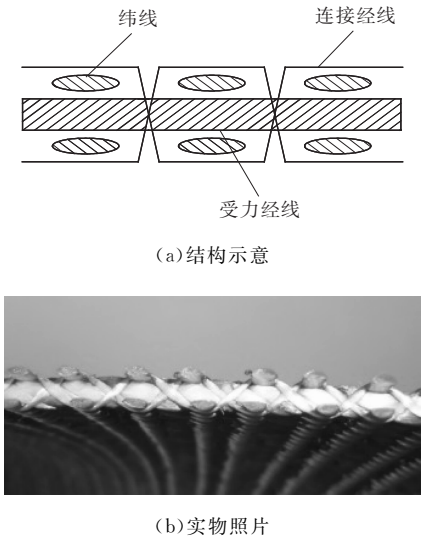


图 2 直经编织结构帆布

表 1 芳纶帆布的性能指标

项 目	芳纶帆布规格					
	DPP500	DPP1000	DPP1250	DPP1400	DPP1600	DPP1800
经向强度/(N·mm ⁻¹)	≥630	≥1 300	≥1 440	≥1 600	≥1 960	≥2 200
纬向强度/(N·mm ⁻¹)	≥120	≥140	≥140	≥180	≥180	≥180
单位质量/(g·m ⁻²)	1 105±50	1 482±50	1 700±50	1 804±50	2 054±50	2 307±50
厚度/mm	1.80±0.20	2.20±0.20	2.40±0.20	2.50±0.20	2.60±0.20	3.00±0.20

芳纶帆布为骨架材料进行试验。

2.2 高耐磨覆盖胶配方

2.2.1 主体胶料

输送带的正常使用寿命取决于覆盖层的磨损情况。在相同工况下,提高覆盖层的磨耗性能有利于提高输送带的寿命。为了与高强度 DPP 芳纶骨架材料寿命相匹配,需设计高耐磨胶料配方,性能要求如下:拉伸强度 ≥18 MPa,拉断伸长率 ≥400%,体积磨耗量 ≤90 mm³。为获得最佳的强度和耐磨性能,考虑选择 NR 与 BR 并用。NR/BR 并用比对覆盖胶物理性能的影响见表 2。

表 2 NR/BR 并用比对覆盖胶物理性能的影响

项 目	NR/BR 并用比					
	80/20	70/30	60/40	50/50	40/60	30/70
拉伸强度/MPa	26.04	23.62	23.78	22.20	20.30	19.42
拉断伸长率/%	576	546	566	564	626	546
体积磨耗量/mm ³	125	108	93	84	76	62

注:配方其他组分和用量分别为补强填充体系 50,活化体系 7,防护体系 2.5,增塑体系 10,硫化体系 3.5。

从表 2 可见:随着覆盖胶中 BR 用量的增大,硫化胶的耐磨性能提高,强度降低;当 BR 用量大于 50 份时,混炼胶不易包辊,工艺性能较差。综合工艺性能与物理性能,输送带高耐磨覆盖胶主体胶料采用并用比为 50/50 的 NR/BR。

2.2.2 补强填充体系

炭黑粒径是影响炭黑补强效果的最重要因素,粒径越小,补强性能越好,硫化胶的耐磨性能也越好^[1]。综合考虑拉伸强度和磨耗性能,本研究选用粒径较小的炭黑 N220 作为补强填充剂。炭黑 N220 用量对覆盖胶物理性能的影响见表 3。

从表 3 可见,炭黑 N220 用量对覆盖胶拉伸

表 3 炭黑 N220 用量对覆盖胶物理性能的影响

项 目	炭黑 N220 用量/份					
	40	45	50	55	60	65
拉伸强度/MPa	20.27	21.34	21.52	22.06	22.70	20.63
拉断伸长率/%	584	595	565	552	485	470
体积磨耗量/mm ³	99	93	86	87	82	84

注:配方其他组分和用量分别为 NR 50,BR 50,活化体系 7,防护体系 2.5,增塑体系 10,硫化体系 3.5。

强度影响明显,当炭黑 N220 用量在 60 份时,胶料拉伸强度最大,之后随着炭黑 N220 用量的增大,胶料拉伸强度逐渐减小。分析认为,当炭黑用量较小时,橡胶大分子与炭黑形成的“结合橡胶”含量较小;当炭黑用量较大时,炭黑分散不均匀,导致被定向排列的二维状态的橡胶量减小。因此,覆盖胶中炭黑用量是影响其拉伸强度和耐磨性能的关键因素。综合考虑,炭黑 N220 用量选择 60 份。

2.2.3 硫化体系

NR 和 BR 均属烯烃类橡胶,使用硫黄硫化时硫化特性相似。半有效硫化体系兼具有效和普通硫化体系的优点。通过试验,确定硫化体系为硫黄/促进剂 DTD/促进剂 CZ 并用体系。

通过试验确定普通用途 DPP 芳纶输送带高耐磨覆盖胶配方为:NR 50,BR 50,补强填充体系 60,活化体系 6,防护体系 3,增塑体系 8,硫化体系 3.6。高耐磨覆盖胶性能见表 4。

表 4 高耐磨覆盖胶性能

项 目	实测值	指标 ¹⁾
硫化仪数据(147 ℃×30 min)		
t_{10}/min	5.15	
t_{90}/min	17.52	
密度/($\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	1.13	
邵尔 A 型硬度/度	70	
拉伸强度/MPa	20.89	≥ 18
拉断伸长率/%	570	≥ 400
体积磨耗量/ mm^3	80	≤ 90

注:1)DIN 22102-1—1991《散货用带纺织层片的输送带》。

从表 4 可见,高耐磨覆盖胶各项性能满足标准要求。

2.3 高粘合贴胶配方

2.3.1 主体胶料

高粘合贴胶主体胶料的选择主要集中在 NR,SBR 和 BR 三种通用橡胶上。NR 是一种结晶性橡胶,自补强性大,机械强度高,而且具有优异的自粘性。SBR 与帆布浸胶胶乳能产生相似相容效应,而且 SBR 硫化曲线平坦,胶料不易焦烧和过硫,价格低于其他两种橡胶,配合得当可显著降低配方成本。因此选择 NR/SBR 并用胶作为芳纶输送带高粘合贴胶的主体材料。NR/SBR 并用比对贴胶性能的影响见表 5。

表 5 NR/SBR 并用比对贴胶性能的影响

项 目	NR/SBR 并用比				
	80/20	60/40	40/60	20/80	0/100
邵尔 A 型硬度/度	68	75	70	70	73
拉伸强度/MPa	16.87	16.45	17.30	15.63	15.63
拉断伸长率/%	539	564	555	592	596
胶与布粘合强度/ ($\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$)					
平均值	12.57	16.47	17.37	19.52	18.73
最小值	9.98	12.27	12.24	14.65	14.18

注:配方其他组分和用量分别为补强体系 40,填充体系 40,粘合体系 3,活化体系 6,防护体系 2,增塑体系 24,硫化体系 3.8。

从表 5 可见:随着主体胶料 NR/SBR 中 SBR 用量的增大,胶与 DPP 芳纶帆布间的粘合强度逐渐提高;当完全采用 SBR 为主体胶料时,胶与 DPP 芳纶帆布间的粘合强度稍有下降。综合考虑,主体胶料采用 NR/SBR 并用比为 20/80。

由于芳纶浸胶帆布较普通帆布强度大、硬度高,为与骨架材料性能匹配,本研究贴胶强度需比普通用途贴胶强度高,邵尔 A 型硬度控制在 70 度左右。

2.3.2 硫化体系

贴胶主体胶料为 NR/SBR 并用胶,两种橡胶硫化速度基本相同,可以实现共硫化。胶料粘合力随着硫黄用量的增大而提高;采用后效性的次磺酰胺类促进剂能延长胶料的焦烧时间,使胶料在达正硫化前有充分的流动时间渗透到织物中去,有利于橡胶与织物的粘合。经过多次试验,硫黄和促进剂用量确定为 3.8 份。

2.3.3 粘合体系

芳纶纤维的主链中苯环和酰胺键存在共轭效应,大分子链柔性差,空间位阻作用大,传统间苯二酚-甲醛-胶乳(RFL)浸渍液对其表面处理效果不好,因此需先对芳纶纤维进行表面活化,以改善芳纶纤维与 RFL 胶乳的粘合性能^[2]。尽管 DPP 芳纶帆布经过浸胶处理,贴胶配方中也需加入粘合剂,以增强与芳纶帆布的粘合。粘合剂 RF-90 和六甲氧基甲基蜜胺(HMMM)对贴胶硫化特性及其与 DPP 芳纶帆布粘合强度的影响见表 6。

从表 6 可见:随着粘合剂用量增大,贴胶与 DPP 芳纶帆布粘合强度不断提高,当粘合剂 RF-90/HMMM 用量比为 3.5/5.25 时,与 DPP 芳纶

表 6 粘合体系对贴胶硫化特性及其与 DPP 芳纶帆布
粘合强度的影响

项 目	配方编号					
	1#	2#	3#	4#	5#	6#
RF-90 用量/份	1	2	3	3.5	4	4.5
HMMM 用量/份	1.5	3	4.5	5.25	6	6.75
硫化仪数据(147 ℃)						
t_{10}/min	4.05	4.45	4.65	4.97	4.13	5.00
t_{90}/min	10.40	13.70	13.22	16.22	17.77	19.65
粘合强度/(N·mm ⁻¹)						
平均值	10.96	14.23	15.65	20.81	17.98	18.53
最小值	8.96	11.6	11.64	15.93	14.26	14.58

注:配方其他组分和用量分别为 NR 20,SBR 80,补强体系 40,填充体系 40,活化体系 6,防护体系 2,增塑体系 24,硫化体系 3.8。

帆布粘合强度最大;之后继续增大粘合剂用量,贴胶与 DPP 芳纶帆布粘合强度稍降,并保持稳定。

通过对主体胶料、硫化体系和粘合体系的选择,最终确定普通用途 DPP 芳纶输送带高粘合贴胶配方为:NR 20,BR 80,补强体系 40,填充体系 40,粘合体系 5,活化体系 7.3,防护体系 2,增塑体系 24,硫化体系 3.8。高粘合贴胶性能见表 7。

2.4 生产工艺及接头工艺

2.4.1 混炼工艺

混炼工艺对贴胶粘合性能有很大影响。粘合剂 RF-90 是间苯二酚给予体,必须与亚甲基给予体 HMMM 发生反应才能起粘合作用,该反应在硫化温度下很快发生,如果反应在硫化之前发生,则失去粘合作用。因此在密炼过程中,RF-90要

表 7 高粘合贴胶性能

项 目	实测值	项 目	实测值
硫化仪数据		拉伸强度/MPa	15.86
(147 ℃×30 min)		拉伸伸长率/%	660
t_{10}/min	5.02	贴胶与布间粘合强度 ¹⁾ /	
t_{90}/min	13.90	(N·mm ⁻¹)	
密度/(Mg·m ⁻³)	1.01	平均值	18.25
邵尔 A 型硬度/度	68	最小值	15.64

注:1)覆盖胶厚 6 mm。

求在混炼前期(或一段混炼)与氧化锌、硬脂酸等小料在高温(<140 ℃)下一起加入,与胶料进行混炼发生预反应;HMMM 要求在混炼后期(或二段混炼)低温(<100 ℃)下加入,以保护活性。

2.4.2 压延成型

DPP 芳纶输送带的压延成型工艺与普通分层带工艺基本一致。但由于 DPP 芳纶帆布纬向收缩率较小,当成品宽度不小于 1 000 mm 时,带坯宽度要求比成品宽度小 10~15 mm,以使边胶厚度适宜,保证硫化过程中不漏边。

贴胶厚度对布层之间的粘合强度影响较大,压延时要保证贴胶厚度适宜。在普通分层带生产过程中,为保证性价比,贴胶厚度在保证层间粘合强度的情况下越小越好。一般情况下,型号越低贴胶越厚,层数越少贴胶越厚。本研究芳纶输送带骨架材料为直经直纬芳纶浸胶帆布,纱线粗,帆布花纹深,厚度为 3 mm 左右,因此吃胶量要大。为保证帆布与贴胶的粘合强度,对贴胶厚度进行试验。具体数据见表 8。

从表8可见,随着贴胶厚度的增大,贴胶与帆

表 8 贴胶厚度对贴胶与帆布粘合强度的影响

项 目	贴胶厚度/mm							
	1.0		1.5		2.0		2.5	
覆盖胶厚度/mm	6	3	6	3	6	3	6	3
粘合强度/(N·mm ⁻¹)								
平均值	13.903	10.529	13.934	13.384	24.977	23.309	19.099	13.381
最小值	11.62	8.73	12.37	10.54	22.68	11.94	15.84	11.55

布的粘合强度并非逐渐增大,贴胶厚度小于 2.0 mm 时粘合强度随着贴胶厚度的增大逐渐增大,在贴胶厚度为 2.0 mm 时达到最大,当贴胶厚度为 2.5 mm 时,粘合强度反而下降。DPP 帆布厚度为 3 mm 左右、贴胶厚度为 2 mm 时,帆布吃胶后的厚度为 4 mm 左右。即当总的贴胶厚度与帆

布总吃胶厚度的差值与帆布厚度基本一致时,贴胶与帆布粘合强度最大。

2.4.3 硫化

按普通分层带硫化工艺进行硫化,硫化温度为 147 ℃,时间为 30 min,主机压力为 2.5 MPa,根据带坯宽度和厚度,选择合适的垫铁、型腔及压

缩比。

2.4.4 接头工艺

DPP 芳纶输送带由于经线始终处于平直状态,机械接头效率低,仅为 33%,必须采用热硫化指形搭接方式,以提高输送带使用寿命。指形接头尺寸见表 9,接头示意图 3。

表 9 指形接头尺寸					mm
带体强度规格	指宽 (b_f)	指长 (l_f)	覆盖编织物长度(l_d)	接头长度 (l_v)	
630S	60	800	1 100	1 300	
800S	60	1 000	1 300	1 500	
1000S	60	1 200	1 500	1 700	
1250S	60	1 500	1 800	2 000	
1600S	70	2 000	2 300	2 500	
2000S	70	2 400	2 700	2 900	
2500S	70	3 000	3 300	3 500	
3150S	70	3 800	4 100	4 300	

注:边缘区域的指宽必须大于 $0.5b_f$; l_f 为公称强度值的 1.2 倍; $l_d=l_f+300$; $l_v=l_f+500$ 。

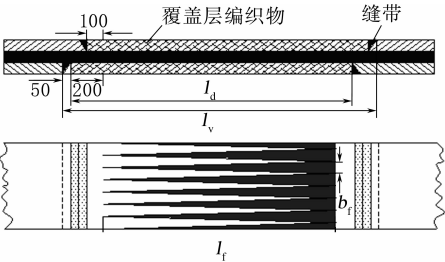


图 3 指形插接示意

2.5 输送带成品性能

经现场中试,生产出 1400 DPP1 1600(6+3) 芳纶输送带,检测其性能,并与 1400 EP6 300 (6+3) 普通分层带进行对比,结果见表 10。

从表 10 可见,与同级别普通分层带相比,芳纶输送带骨架材料强度利用率提高 10%,输送带整体厚度降低 2.1 mm,骨架材料厚度降低 3.1 mm,单位质量降低 $3.79\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,产品性能完全符合 DIN 22102-1—1991 标准要求。

3 结论

(1)NR 与 BR 并用可显著改善覆盖胶的磨耗性能,当 NR/BR 并用比为 50/50 时,胶料的体积磨耗量最小;硫化体系种类及用量对覆盖胶体积

表 10 芳纶输送带与普通分层带成品性能对比

项 目	芳纶输送带		普通分层带	
	实测值	指标 ¹⁾	实测值	指标 ²⁾
上层覆盖胶厚度/mm	6		5.5	
下层覆盖胶厚度/mm	3.6		3.1	
带体厚度/mm	14.0		16.1	
带体单位质量/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	16.25		20.04	
拉伸强度/($\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$)				
纵向	1 964	$\geq 1\ 600$	1 666	$\geq 1\ 600$
横向	195	≥ 180	506	≥ 300
粘合强度/($\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$)				
厚覆盖胶-布层间				
平均值	19.32		12.18	≥ 2.7
最小值	14.62	≥ 4.5	10.90	≥ 2.2
薄覆盖胶-布层间				
平均值	15.21		8.29	≥ 2.7
最小值	13.77	≥ 4.5	7.32	≥ 2.2
布-布层间				
平均值			14.79	≥ 4.5
最小值		≥ 5	8.53	≥ 3.9

注:1)同表 4 注 1);2)GB/T 7984—2001《输送带 具有橡胶或塑料覆盖层的普通用途织物芯输送带》。

磨耗和拉断伸长率影响明显;炭黑用量对覆盖胶拉伸强度和磨耗性能的影响明显。

(2)适当增大 SBR 用量能够提高贴胶与帆布的粘合强度;贴胶配方中加入粘合体系能够提高帆布的附胶量和贴胶与帆布的粘合强度;贴胶的厚度影响其与帆布间的粘合强度,需依据帆布厚度来选择;混炼时粘合剂加入顺序、温度和时间对贴胶与帆布粘合强度的影响较大。

(3)与同级别普通分层带相比,DPP1600 芳纶输送带骨架材料强度利用率提高 10%,输送带整体厚度降低 2.1 mm,骨架材料厚度降低 3.1 mm,单位质量降低 $3.79\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,从而可降低输送机无效负荷。

(4)本研制高耐磨覆盖胶大大延长了输送带使用寿命,减少了输送带更换频次,减少了资源浪费和报废输送带对环境的污染。

参考文献:

[1] 朱文靖.天然橡胶补强的研究进展[J].热带农业工程,2006 (1):11-15.
[2] 申明霞.芳纶纤维与表面处理层界面粘合机理研究[J].橡胶工业,2007,54(8):463-465.