

新兰伯恩磨耗参数与胶料磨耗状态关系的研究

张云帆¹,王桂林²,王君¹,周磊¹,薛霖²,唐明¹

(1. 青岛双星轮胎工业有限公司, 山东 青岛 266000; 2. 青岛轮云设计研究院有限责任公司, 山东 青岛 266000)

摘要: 研究新兰伯恩磨耗设备试验参数(载荷、试样速度、滑移率和滑石粉落粉速度)与胶料磨耗状态的关系,通过观察胶料表面磨纹在不同磨耗参数下的情况,分析橡胶的磨耗机理。结果表明:载荷与磨耗速度具有较高的正相关性;试样速度与单位时间磨耗速度具有较高的相关性,但与单位距离磨耗速度基本无相关性;滑移率与磨耗速度的相关性较高,随着滑移率的增大,样品表面的磨纹愈发清晰,磨屑聚集情况逐渐加重;落粉速度与磨耗速度的关系相对复杂,当落粉速度小于 $0.3 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ 时,两者的相关性较低;当落粉速度为 $0.3 \sim 0.6 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ 时,磨耗速度随着落粉速度的增大而增大,此时可观察到样品表面磨屑的生长过程;当落粉速度大于 $0.6 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ 时,磨耗速度随着落粉速度的增大而迅速减小。

关键词: 轮胎;橡胶;新兰伯恩磨耗;载荷;滑移率;滑石粉;磨屑

中图分类号: TQ336.1

文献标志码: A

文章编号: 1006-8171(2024)02-0116-05

DOI: 10.12135/j.issn.1006-8171.2024.02.0116



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

轮胎的耐磨性能直接影响其安全性、使用寿命和环保性。国内外学者^[1-7]通过观察橡胶磨耗后的表面状态、纹理、磨屑颗粒以及化学结构等,深入研究了其磨耗机理。ISO 23794:2005对阿克隆磨耗、DIN磨耗、兰伯恩磨耗等14种橡胶磨耗试验法进行了规范。然而,由于橡胶的磨耗涉及物理和化学等复杂过程,其研究仍是橡胶性能研究的热点和难点之一。

与已深入研究的阿克隆磨耗、DIN磨耗、Lat 100磨耗等不同,新兰伯恩磨耗试验机作为新型磨耗设备,其参数与磨耗关系以及机理研究相对较少。本工作研究新兰伯恩磨耗设备试验参数(载荷、试样速度、滑移率和滑石粉落粉速度)与胶料磨耗状态的关系,以及不同磨耗参数下胶料磨耗表面纹理与磨屑的差异,以期深入了解橡胶的磨耗机理。

1 实验

1.1 试验设备及原理

AB-1165型新兰伯恩磨耗设备, $60 \mu\text{m}$ (240

作者简介: 张云帆(1989—),女,山东青岛人,青岛双星轮胎工业有限公司工程师,硕士,主要从事橡胶轮胎、橡胶材料检测与评价工作。

E-mail: 648779423@qq.com

目)砂纸磨轮,日本上岛公司产品。试样与充当路面的砂纸磨轮双向驱动,通过速度差实现滑移率的可控调节,滑移率可测试范围为5%~80%,载荷范围为20~70 N。设备有可设置定量落下滑石粉程序,且自带去污刷子,能够及时清扫砂纸磨轮,减少磨屑粘附对试验结果的影响。

1.2 试样制备

试验胶料配方(用量/份)如下:丁苯橡胶 100,炭黑N375 40,白炭黑1165MP 40,环保油 30,其他 25。

胶料在开炼机上混炼,在平板硫化机上硫化,硫化条件为 $161^\circ\text{C} \times 30 \text{ min}$ 。通过模压成型制备新兰伯恩标准试样,厚度为10 mm,外直径为49 mm,内直径为23 mm。

1.3 试验方案

试验方案设计如下。

方案1:试样速度、滑移率、落粉速度一定,载荷分别为20,30,40,50,60 N进行试验。

方案2:载荷、滑移率、落粉速度一定,试样速度分别为10,12.5,25,50,75,100,125,150 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ 进行试验。

方案3:载荷、试样速度、落粉速度一定,滑移率分别为5%,10%,20%,30%,40%进行试验。

方案4: 载荷、试样速度、滑移率一定, 落粉速度分别为0.053, 0.107, 0.160, 0.213, 0.266, 0.320, 0.373, 0.533, 0.799, 1.078, 1.355 $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ 进行试验。

1.4 试验预处理

为确保试验中磨耗数据的稳定性, 试验前需进行砂纸预打磨。砂纸打磨前后的表面状态存在明显差异(见图1), 打磨前表面有高低不平的尖锐棱角, 胶料磨耗量波动较大; 打磨后表面所有高低不平的棱角趋向平缓, 胶料磨耗量相对稳定, 利于研究其他磨耗参数与磨耗状态的关系。砂纸打磨采用低苛刻度条件进行7组试验, 每组5个试样, 结果如表2和图2所示。从表2和图2可知, 从第5组,

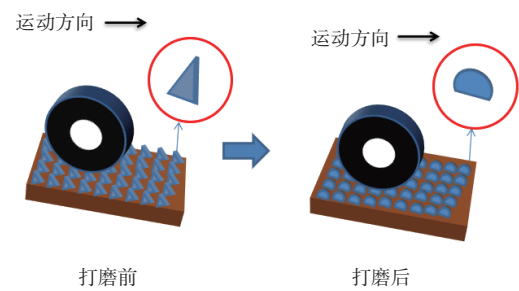


图1 砂纸打磨前后示意

即第21个试样开始, 砂纸磨轮的磨耗数据逐步稳定, 可以进行下步试验。此外, 为保证试样磨耗时状态相同, 砂纸打磨条件一致: 载荷 40 N, 试样速度 $50 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, 滑移率 30%, 落粉速度 $0.053 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, 打磨时间 30 s。

表2 砂纸预打磨试验数据

编 号	平行胶样质量变化/g					平均值/g	标准偏差/%	相对标准偏差/%
	1	2	3	4	5			
第1组	0.223 1	0.234 1	0.253 7	0.255 6	0.227 4	0.238 8	1.502	6.29
第2组	0.215 5	0.225 1	0.218 1	0.222 5	0.217 2	0.219 7	0.398	1.81
第3组	0.220 1	0.212 7	0.225 5	0.205 8	0.219 9	0.212 9	0.997	4.68
第4组	0.209 1	0.215 4	0.2101	0.204 8	0.204 2	0.206 4	0.325	1.57
第5组	0.200 1	0.195 6	0.194 2	0.204 3	0.198 3	0.198 9	0.508	2.55
第6组	0.194 5	0.220 2	0.194 5	0.198 9	0.201 1	0.198 2	0.336	1.70
第7组	0.209 7	0.196 3	0.196 4	0.204 9	0.195 6	0.199 0	0.515	2.59

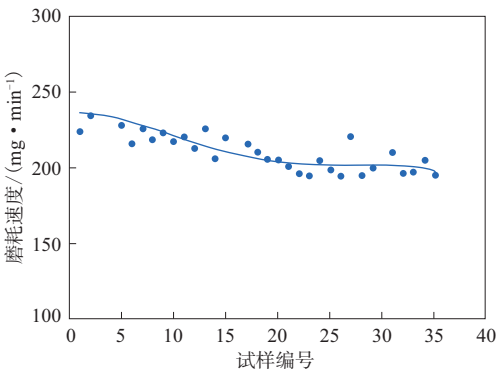


图2 砂纸预打磨时磨耗速度的变化趋势

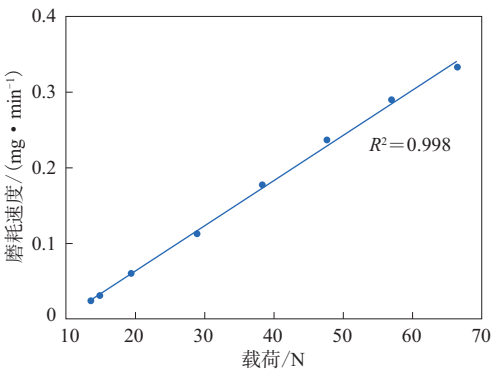


图3 载荷与磨耗速度的关系

2 结果与讨论

2.1 载荷与磨耗速度的关系

按照方案1进行试验, 结果如图3所示, 试样速度、滑移率、落粉速度分别为 $50 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, 30%, $0.053 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ 。从图3可以看出, 载荷与磨耗速度呈线性相关, 且相关性较高。

为深入研究载荷对磨耗速度的影响, 进行了接地面积的测量。使用新兰伯恩磨耗设备自带的

载荷控制系统, 将试样表面涂满拓印颜料后置于测试区。在试样与砂纸磨轮之间放置拓印纸, 启动载荷控制系统, 即可在测试过程中真实地拓印下接地面积并计算其数值, 结果如图4所示。从图4可以看出, 载荷与接地面积呈正相关性。由此可知, 接地面积和接地压力的增大是导致磨耗速度增大的主要原因。载重汽车、巴士等大型车辆的轮胎内压约为700 kPa^[8], 对应测试载荷为40~50 N; 轿车等小型车辆的轮胎内压约为250 kPa, 对应

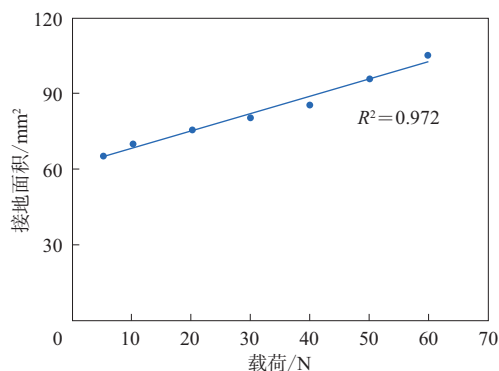


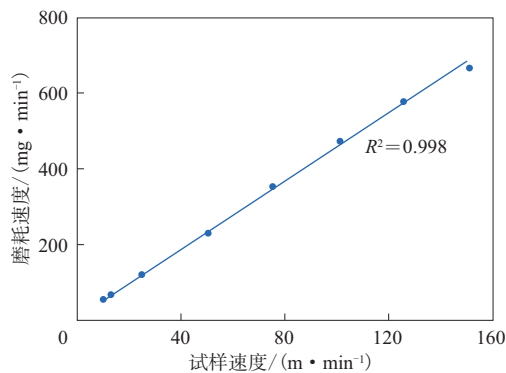
图4 载荷与接地面积的关系

测试载荷为10~15 N。因此,可以根据橡胶的实际应用方式选择合适的测试条件。

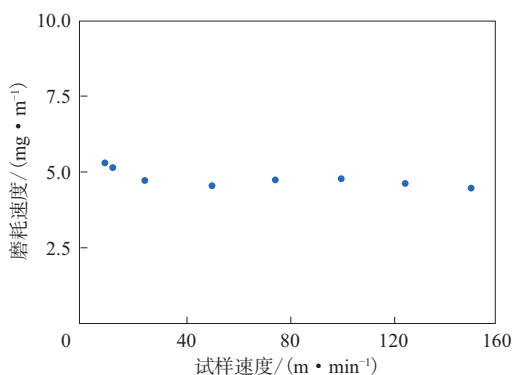
2.2 试样速度与磨耗速度的关系

按照方案2进行试验,结果如图5所示,载荷、滑移率、落粉速度分别为40 N,30%,0.053 cm³·min⁻¹。

从图5可以看出,单位时间磨耗速度与试样速度的相关性较高,而单位距离磨耗速度与试样速度基本无相关性。考虑到车辆的实际行驶情



(a) 单位时间磨耗速度



(b) 单位距离磨耗速度

图5 试样速度与磨耗速度的关系

况,其滑移率和速度都是变化的,因此单位距离磨耗速度更能准确地反映试样速度与磨耗速度的关系。

2.3 滑移率与磨耗状态的关系

按照方案3进行试验,结果如图6—8所示,载荷、试样速度、落粉速度分别为40 N,50 m·min⁻¹,0.053 cm³·min⁻¹。

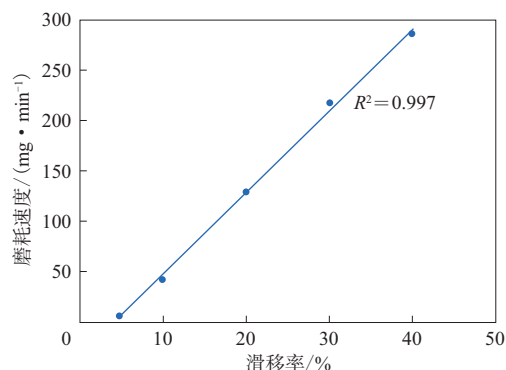


图6 滑移率与磨耗速度的关系



滑移率/%:A1—5;A2—10;A3—20;A4—30;A5—40。

图7 不同滑移率下试样的磨耗表面

从图6可以看出,滑移率与磨耗速度相关性较高。在进行轿车、载重汽车轮胎用橡胶磨耗试验时,通常选择滑移率作为试验条件的设定,这种做法能够得出更接近实际车辆磨耗试验的结果。从图7可以看出,随着滑移率的增大,试样颜色逐渐加深,这是因为滑移率增大,即试样磨耗苛刻度增加。试验过程中滑石粉从过量到足量再到少量所对应的磨耗类型与机理在不断变化,从图8可以看出,未清扫的A1试样磨耗表面呈明显发白状态,几乎无磨屑残留,收集到的磨屑呈细小均匀分布,偶尔出现部分磨屑聚集情况,这表明在此胶料的磨损过程中,由于滑石粉使用过量,几乎未发生由于

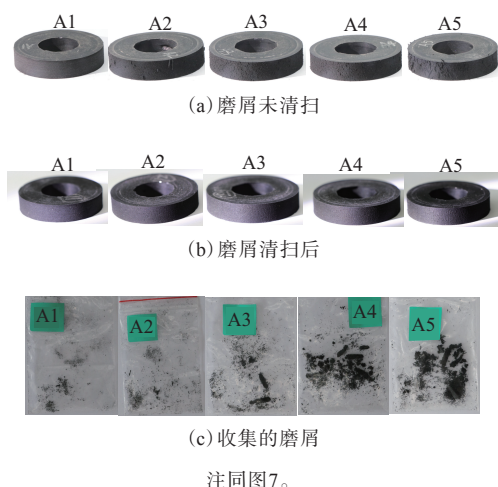


图8 不同滑移率下样品表面的磨耗情况

磨屑聚集导致滚动剪切断裂的黏着磨耗。A2试样磨耗状态与A1试样较相似,以磨粒磨耗为主,但出现少量磨屑聚集,表面也有不明显磨纹。A3—A5试样的磨屑出现大块聚集,磨纹愈发明显,这是在法向负荷引起形变与接触面内剪切力共同作用下的结果。随着苛刻度的增大,磨耗机理愈发复杂,磨粒磨耗、黏着磨耗、疲劳磨耗等掺杂其中,磨纹逐渐合并发展从而形成清晰可见、连续排列的形貌。

2.4 落粉速度与磨耗速度的关系

按照方案4进行试验,结果如图9—10所示,载荷、试样速度、滑移率分别为40 N, 50 m·min⁻¹和30%。

从图9可以看出,当落粉速度小于0.3 cm³·min⁻¹时,磨耗速度变化不大,结合图10可见,落粉速度为0.053, 0.160和0.266 cm³·min⁻¹时的

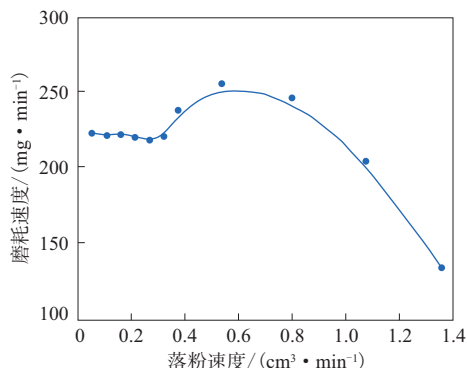


图9 落粉速度与磨耗速度的关系

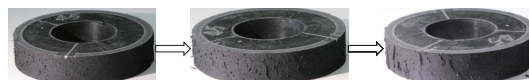


落粉速度/(cm³·min⁻¹): B1—0.053; B2—0.160; B3—0.266; B4—0.373; B5—0.533; B6—0.799; B7—1.078; B8—1.355。

图10 不同落粉速度下试样的磨耗表面

试样表面呈较清晰的磨纹且磨屑存在较大结块的情况,这可能是由于落粉速度较小,大部分胶屑不能及时脱落而迅速聚集成较大胶屑,在聚集过程中一些磨屑承担了部分磨耗,最终由惯性作用下离开胶料表面,磨耗机理在此阶段相对一致,以黏着磨耗和磨粒磨耗为主。随着落粉速度的增大,且小于0.6 cm³·min⁻¹时,磨耗速度先增大后趋于平缓,结合图10可知,落粉速度为0.373和0.533 cm³·min⁻¹时的试样表面几乎无磨纹且磨屑细腻,存在偶有聚集但短且细小的情况,这是因为落粉速度的增大对磨耗有积极作用,足量的滑石粉能够使磨屑及时脱离胶料表面,减少由磨屑聚集导致磨耗,该过程磨耗机理相对稳定,以磨粒磨耗为主,黏着磨耗占比较小。随着落粉速度进一步增大(>0.6 cm³·min⁻¹),磨耗速度迅速减小,结合图10可见,落粉速度为0.799, 1.078和1.350 cm³·min⁻¹时的试样表面明显变白且逐渐加深,磨屑细腻,存在无聚集且由黑色过渡到灰白色的情况,这是因为落粉速度过大,磨屑虽能及时落下,减轻试样磨损,但更多的滑石粉附着在胶料表面,参与磨耗行为,导致磨耗速度减小。

为了清楚地展示试样表面磨屑生长的过程,将落粉速度为0.373 cm³·min⁻¹时的试样分3部分进行跟踪拍摄,结果如图11所示。从图11可以看出,磨屑从无到有后聚集成条状磨屑至最后脱落,这是因为落粉速度适中,而落粉速度过小或过大都无法观察到此过程。

图11 落粉速度为0.373 cm³·min⁻¹时的试样表面磨屑生长过程

4 结论

(1) 载荷与磨损速度具有较高的相关性,且为正相关。

(2) 试样速度与单位时间磨损速度具有较高的相关性,但与单位距离磨损速度基本无相关性。

(3) 滑移率与磨损速度的相关性较高,随着滑移率的增大,试样表面的磨纹愈发清晰,磨屑聚集情况逐渐加重。

(4) 落粉速度与磨损速度的关系相对复杂,当落粉速度较小($<0.3 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)时,两者的相关性较低;当落粉速度适中($0.3 \sim 0.6 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)时,磨损速度随着落粉速度的增大而增大,此时可观察到试样表面磨屑的生长过程;当落粉速度较大($>0.6 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)时,磨损速度随着落粉速度的增大而迅速减小。

参考文献:

[1] GROSCH K A, SCHALLAMACH A. Relation between abrasion and

strength of rubber[J]. Rubber Chemistry & Technology, 1966, 39(2): 287-305.

[2] SCHALLAMACH A. Recent advances in knowledge of rubber friction and tire wear[J]. Rubber Chemistry & Technology, 1968, 41(1): 209-244.

[3] SAVKOOR A R. On the friction of rubber[J]. Wear, 1965, 8(3): 222-237.

[4] GILLEN K T, CELINA M, BERNSTEIN R. Validation of improved methods for predicting long-term elastomeric seal lifetimes from compression stress-relaxation and oxygen consumption techniques[J]. Polymer Degradation & Stability, 2003, 82(1): 25-35.

[5] 赵慧, 陈家辉, 戴仲娟, 等. LAT100磨耗试验机评价载重轮胎胎面耐磨性能条件的确定[J]. 轮胎工业, 2013, 33(9): 567-571.

[6] PAEGLIS A U. A simple model for prediction heat aging of EPDM rubber[J]. Rubber Chemistry & Technology, 2004, 77(2): 242-256.

[7] 富有斌, 吴晓辉, 张立群, 等. 炭黑在橡胶中分散技术的研究进展[J]. 橡胶工业, 2022, 69(3): 228-233.

[8] HIROSHI MOURI. Optimized laboratory test condition to predict tire tread wear[J]. Rubber World: The Technical Service Magazine for The Rubber Industry, 2022, 265(4): 26-30.

收稿日期: 2023-11-16

Relationship between New Lamborn Wear Parameters and Wear State of Compound

ZHANG Yunfan¹, WANG Guilin², WANG Jun¹, ZHOU Lei¹, XUE Lin², TANG Ming¹

(1. Doublestar Tire Industry Co., Ltd., Qingdao 266000, China; 2. Qingdao Lunyun Design and Research Institute Co., Ltd., Qingdao 266000, China)

Abstract: The relationship between the experimental parameters of New Lamburn wear equipment (load, sample speed, slip rate and talc powder falling speed) and the wear state of the compound was studied. By observing the surface abrasion patterns of the compound under different wear parameters, the wear mechanism of rubber was analyzed. The results showed that, there was a high positive correlation between load and wear speed. The sample speed had a high correlation with the wear speed per unit time, but had little correlation with the wear speed per unit distance. The correlation between slip rate and wear speed was relatively high. As the slip rate increased, the surface abrasion patterns of the sample became clearer and the accumulation of wear debris was gradually aggravated. The relationship between powder falling speed and wear speed was relatively complex. When the powder falling speed was below $0.3 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, the correlation between the two was relatively low. When the powder falling speed was $0.3 \sim 0.6 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, the wear speed increased with the increase of powder falling speed, and the growth process of wear debris on the sample surface could be observed at this time. When the powder falling speed was above $0.6 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, the wear speed decreased rapidly with the increase of powder falling speed.

Key words: tire; rubber; New Lanburn wear; load; slip rate; talc powder; wear debris