

钢丝绳线疲劳性能的影响因素研究

倪自飞, 黄河

(南京工业职业技术大学, 江苏 南京 210023)

摘要:研究钢丝绳线的单丝直径、强度和结构设计对其弯曲疲劳性能的影响。结果表明:相同结构、同等强度等级的钢丝绳线,随着单丝直径的增大,钢丝绳线的破断力提高,但疲劳寿命反而缩短;相同结构、相同单丝直径的钢丝绳线,随着钢丝绳线破断力的增大,疲劳寿命显著延长;单丝直径与单丝根数相同,但结构不同的钢丝绳线,呈线接触1+18结构钢丝绳线的弯曲疲劳性能优于呈点接触1+6+12结构钢丝绳线;钢丝绳线超高强度化且具有良好的耐疲劳性能是轮胎钢丝绳线骨架材料的发展趋势。

关键词:钢丝绳线;弯曲疲劳性能;单丝直径;强度;结构

中图分类号:U463.341;TQ330.38⁺⁹

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2023)02-0125-03

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2023.02.0125



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

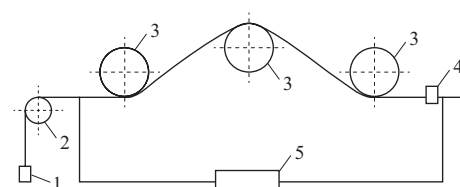
钢丝绳线在轮胎使用过程中受到非常复杂的交变负荷以及周期性的弯曲变形,因此弯曲疲劳寿命直接影响轮胎的使用寿命和安全性^[1-3]。为了配合轮胎轻量化、绿色化发展的要求,在钢丝绳线结构和强度设计时,一方面要考虑破断力(静态强度),另一方面要考虑动态强度和疲劳强度,若作为轮胎骨架材料时对其疲劳强度有更高的要求^[4-7]。目前,影响子午线轮胎钢丝绳线疲劳寿命的主要机理尚不清楚,缺乏相关理论与试验结果。

本工作主要探讨钢丝绳线的单丝直径、强度和结构设计对其弯曲疲劳性能的影响,为新结构钢丝绳线开发与设计提供数据支撑。

1 钢丝绳线疲劳性能测试原理

将钢丝绳线与橡胶粘合经硫化后制成一定尺寸的硫化试样。将硫化试样压在三辊导轮下,两端接通电源后,在施加一定载荷(载荷为钢丝绳线破断力的10%)下,试样进行周期性往复弯曲变形。当钢丝绳线疲劳失效时(即硫化试样内的钢丝绳线有一根单丝断裂),钢丝绳线电流会产生变化,由此可检测其疲劳寿命。应用三辊疲劳试验机进行钢丝绳线弯曲疲劳性能测试的原理如图1

所示^[4]。



1—砝码;2—固定轮;3—三辊导轮;4—固定夹;5—仪表控制柜。

图1 三辊疲劳试验机测试钢丝绳线弯曲疲劳性能的原理示意

2 钢丝绳线弯曲疲劳性能的影响因素分析

2.1 单丝直径

3/9系列是目前在轮胎胎体中应用最为广泛的一种钢丝绳线结构,该结构由12根单丝组成,按相同捻向与捻距一次捻制而成,其中3根直径大的单丝组成芯线,9根直径小的单丝组成面线,其截面近似于三角形,如图2所示。

3/9系列钢丝绳线中的单丝与单丝之间为线接触,可减小单丝之间的接触摩擦,提高钢丝绳线的耐疲劳性能。选取相同HT强度等级、不同直径的单丝捻制而成的3/9钢丝绳线的疲劳寿命如表1所示。

从表1可以看出,相同结构、同等强度的钢丝绳线,随着单丝直径的增大,破断力提高,但疲劳寿命反而缩短。

作者简介:倪自飞(1980—),男,江苏盐城人,南京工业职业技术大学正高级工程师,博士,从事钢丝绳线的研究与开发工作。

E-mail:nzf@xingda.com.cn

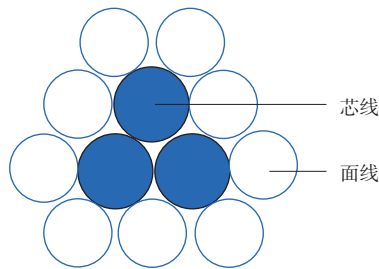


图2 3/9系列钢丝帘线截面示意

表1 不同单丝直径钢丝帘线疲劳寿命对比

钢丝帘线结构 ¹⁾	钢丝帘线直径/mm	破断力/N	疲劳寿命/次
3×0.24/9×0.225	1.17	1 445	26 579
3×0.22/9×0.20	0.85	1 185	29 986
3×0.20/9×0.175	0.75	950	33 853

注:1) 钢丝帘线类型为CCHT。

2.2 钢丝帘线强度

为了确定钢丝帘线强度与弯曲疲劳性能的关系,选择NT,HT,ST,UT以及UMT结构的3×0.22/9×0.20系列钢丝帘线进行弯曲疲劳性能测试。其中,3×0.22/9×0.20UMT的制备工艺见文献[8],相同结构、不同强度等级钢丝帘线的疲劳寿命测试结果如表2所示。

表2 不同强度等级钢丝帘线疲劳寿命对比

强度等级 ¹⁾	破断力/N	疲劳寿命/次
NT	1 050	23 853
HT	1 185	29 986
ST	1 320	34 758
UT	1 445	38 758
UMT	1 550	42 579

注:1) 钢丝帘线结构为3×0.22/9×0.20CC。

从表2可以看出,随着单丝强度的提高,钢丝帘线的破断力提高,相应的疲劳寿命显著延长。轮胎在使用过程中,轮胎负载高速运转,且胎侧不断受到屈挠作用,胎体要承受周期性的径向屈挠变形和扭矩传递过程中复杂的扭转变形。因此,胎体用钢丝帘线需具备高强度,良好的耐疲劳、耐磨损性能和尺寸稳定性。低滚动阻力和轻量化是实现降低平均燃油消耗的保障,是研究绿色轮胎的重要措施。

钢丝帘线作为轮胎骨架材料,占轮胎成品质量的20%~30%,对成品轮胎质量、承载、安全、节油、耐磨和可翻新等方面起到重要的作用,因此使用超/特高强度且疲劳性能优异的钢丝帘线成为

制备低滚动阻力和轻量化轮胎必要手段^[9]。

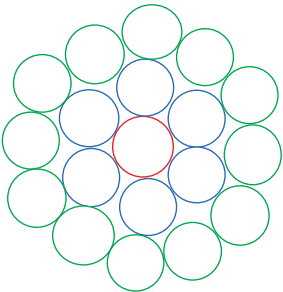
从表1和2进一步分析得出,3×0.22/9×0.20 CCUMT钢丝帘线的强度高于3×0.24/9×0.225 CCHT钢丝帘线,但3×0.22/9×0.20CCUMT钢丝帘线的直径仅为3×0.24/9×0.225CCHT钢丝帘线的72.6%,而疲劳寿命提高26%。因此,采用3×0.22/9×0.20 CCUMT钢丝帘线替代3×0.24/9×0.225CCHT钢丝帘线,不但可减小钢丝帘线的用量,还可降低轮胎的滚动阻力,延长轮胎的使用寿命以及提高耐磨性能。

文献研究了两组带束层用钢丝帘线(2×0.30HT与2×0.30ST,3×0.30NT与3×0.30ST)的弯曲疲劳性能,测试结果与本试验结果相一致,都表明结构相同、强度等级越高的钢丝帘线,其疲劳寿命越长。

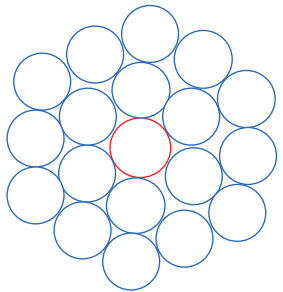
2.3 钢丝帘线结构设计

为研究钢丝帘线结构设计对钢丝帘线弯曲疲劳性能的影响规律,选取了1+6+12与1+18两种结构的钢丝帘线,其结构如图3所示。

基于上述两种结构的钢丝帘线,分别设计了1×0.22+6×0.20+12×0.20HT,1×0.22+18×0.20CCHT和1×0.22+18×0.20CCST三种



(a) 1+6+12结构



(b) 1+18结构

图3 两种钢丝帘线的结构示意图

钢丝帘线结构,三种结构单丝根数相同,各层单丝直径相同。但是,1+6+12结构分两步成绳,内层1+6芯股与外层捻距不同,帘线钢丝间呈点接触。1+18结构为一步成绳且同向捻向,内层和外层捻距相同,钢丝间呈线接触。3种钢丝帘线结构的弯曲疲劳性能测试结果如表3所示。

表3 不同结构钢丝帘线疲劳寿命对比

帘线结构 ¹⁾	捻向	破断力/ N	疲劳寿 命/次
1×0.22+6×0.20+12×0.20HT	Z/Z	1 775	35 678
1×0.22+18×0.20CCHT	Z	1 805	39 046
1×0.22+18×0.20CCST	Z	2 010	43 092

注:1) 钢丝帘线直径均为1.020 mm。

从表3可以看出,呈线接触的1+18结构钢丝帘线的弯曲疲劳性能要优于呈点接触1+6+12结构钢丝帘线,且钢丝帘线的破断力越高,其疲劳寿命越长,弯曲疲劳性能越优异,与文献结果相一致。综上所述,钢丝帘线超高强度化且具有良好的弯曲疲劳性能是轮胎骨架材料钢丝帘线的必然发展趋势。

3 结论

(1) 相同结构、同等强度等级的钢丝帘线,随着单丝直径的增大,钢丝帘线的破断力提高,但疲劳寿命反而缩短。

(2) 相同结构、不同强度等级的钢丝帘线,随

着单丝强度提高,钢丝帘线的破断力增大,疲劳寿命显著延长。

(3) 单丝直径与单丝根数相同,但结构不同的钢丝帘线,呈线接触1+18结构钢丝帘线的弯曲疲劳性能优于呈点接触1+6+12结构钢丝帘线。

(4) 钢丝帘线超高强度化且具有良好的弯曲疲劳性能是轮胎骨架材料钢丝帘线的发展趋势。

参考文献:

- [1] 宋为. 钢帘线在不同弯曲疲劳条件下的疲劳极限估算[J]. 金属制品, 2004(S1): 21-23.
- [2] 张清珍. 影响钢帘线动态疲劳性能主要因素的探讨[J]. 金属制品, 1993(2): 18-20.
- [3] 马明强. 子午线轮胎中的钢丝帘线/橡胶界面结构及其动态演变[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2013.
- [4] 傅国娟, 马明强, 史新妍. 疲劳次数对钢丝帘线/橡胶粘合性能的影响[J]. 橡胶工业, 2016, 63(4): 206-210.
- [5] 崔志博, 侯丹丹, 苏召乾, 等. 带束层膨胀对轮胎接地印痕的影响研究[J]. 橡胶工业, 2021, 68(1): 10-16.
- [6] 李利, 刘潇冬, 肖培光, 等. 疲劳加载因素对橡胶钢丝复合体粘合性能的影响[J]. 功能材料, 2016, 47(12): 12206-12211.
- [7] 张国强. 重卡胎体用钢帘线橡胶复合材料的制备和疲劳性能研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2021.
- [8] 倪自飞, 盛荣生. 3×0.22/9×0.20CCUMT钢丝帘线的开发[J]. 轮胎工业, 2020, 40(10): 607-610.
- [9] 陶学伟, 王章忠, 毛向阳, 等. 高强度钢帘线制造技术研究进展[J]. 热加工工艺, 2015, 44(14): 29-32.

收稿日期: 2022-10-16

Influencing Factors of Steel Cord Fatigue Property

NI Zifei, HUANG He

(Nanjing Vocational University of Industry Technology, Nanjing 210023, China)

Abstract: The influence of the monofilament diameter, strength and structure of steel cord on the bending fatigue properties of steel cord was studied. The results showed that for the steel cords with the same structure and the same strength grade, the breaking force of the steel cord increased with the increase of the monofilament diameter, but the fatigue life was shortened. For the steel cords with the same structure and the same monofilament diameter, with the increase of the breaking force of the steel cord, the fatigue life was significantly prolonged. For the steel cords with the same diameter and number of single filaments, the bending fatigue properties of the steel cord with line contact and 1+18 structure were better than that of the steel cord with point contact and 1+6+12 structure. The development of steel cord having ultra-high strength and good fatigue resistance was the trend of the tire steel cord skeleton material.

Key words: steel cord; bending fatigue property; monofilament diameter; strength; structure