

废旧钢丝错体再制造工程翻新轮胎工艺及补强机理

王 强, 齐英杰*

(东北林业大学 交通学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要: 为了提高工程翻新轮胎的承载及抗刺爆性能,利用废旧子午线轮胎钢丝作为补强体,采用镀层法,通过废旧钢丝表面镀铜-镀锌处理,设计了废旧子午线轮胎钢丝错体再制造工程翻新轮胎生产工艺,主要包括局部修复与补强工程子午线轮胎钢丝帘线断裂层工艺、旧胎体层与翻新胎面胶层之间补强一层子午线废旧轮胎钢丝帘布层工艺.分析了废旧子午线轮胎钢丝错体再制造工程翻新轮胎补强作用机理,有效实现了废旧钢丝与轮胎橡胶的黏合,并对错体再制造工程翻新轮胎技术优势进行了分析,采用模硫化法对 26.5R25 全钢工程机械子午线旧轮胎进行了错体再制造翻新生产.结果表明,废旧钢丝错体再制造工程翻新轮胎承载能力和抗刺爆能力大大增强,其使用寿命为同型号普通翻新轮胎的 1.2 倍,接近同型号新轮胎的使用寿命,综合性能表现良好.

关键词: 废旧钢丝;错体再制造;工程翻新轮胎;生产工艺;补强机理

中图分类号: U463.341 **文献标识码:** A **doi:** 10.7511/dllgxb201503006

0 引 言

工程轮胎主要是指工程汽车和工程机械等方面使用的轮胎,简称 OTR(off the road)轮胎.目前,世界工程轮胎的年生产量估计为 1 000 万条,约占轮胎总量的 0.5%,如果按照销售额计,约占全部轮胎销售额的 5.5%.工程轮胎的规格相对较大,一条轮胎质量相当于几条载重轮胎或几十条乘用车轮胎质量,其耗胶量已占到轮胎用胶总量的 10%左右,附加价值比普通轮胎高出 30%~50%,因此工程轮胎已成为当今轮胎工业又一经济增长点.

工程轮胎用于露天矿及土方工程等方面,其中露天矿可以说是工程轮胎使用最集中、使用条件最苛刻的地方,要求工程轮胎具有抗刺扎、耐切割、耐磨损、生热低等特点.一般情况下,一台工程汽车或工程机械每年须更换轮胎 5~6 次,一条新的工程轮胎价格在几千甚至几万元人民币,因此,有效延长轮胎寿命或降低轮胎成本对工程车的经济性有直接影响^[1-2].轮胎翻新能够最大限度地利

用轮胎的使用价值,目前已成为国际公认的节约橡胶原材料、解决废旧轮胎黑色污染、有价值的资源再生利用方式.因此,如何有效使用工程翻新轮胎对于工程汽车用户或者一个企业有着非常实际的意义.然而,我国工程轮胎翻新企业翻新出的工程轮胎质量参差不齐,工程翻新轮胎在工作时经常发生单胎压爆、撞爆、刺爆等事故,使用寿命较短,频繁更换轮胎导致运输企业工程翻新轮胎费用开支增加^[3-4].为此,本研究将废旧子午线轮胎钢丝帘线与工程轮胎翻新相关联,进行废旧子午线轮胎钢丝错体再制造工程翻新轮胎生产工艺及补强机理研究,实现工程翻新轮胎胎体的补强和局部损伤的修复,使部分工程轮胎胎体钢丝帘线断裂层再生,胎体钢丝帘线受到损伤的工程轮胎能够实现翻新再利用而不至于直接报废,同时解决废旧子午线轮胎钢丝的再利用,进一步有效解决废旧轮胎污染环境的问题.与此同时,在翻新胎面层与旧胎体层补强一层子午线轮胎废旧钢丝帘布层,增强工程翻新轮胎承载能力和抗刺爆能力.

收稿日期: 2014-10-25; 修回日期: 2015-04-01.

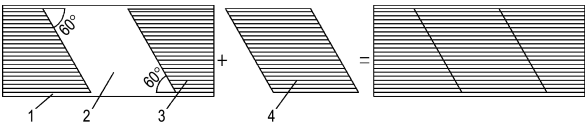
基金项目: 2012 年度黑龙江工程学院青年基金资助项目(2012QJ07).

作者简介: 王 强(1981-),男,博士生,讲师, E-mail: 630702666@qq.com; 齐英杰*(1954-),男,教授,博士生导师, E-mail: 1354839309@qq.com.

1 废旧子午线轮胎钢丝错体再制造工程翻新轮胎生产工艺

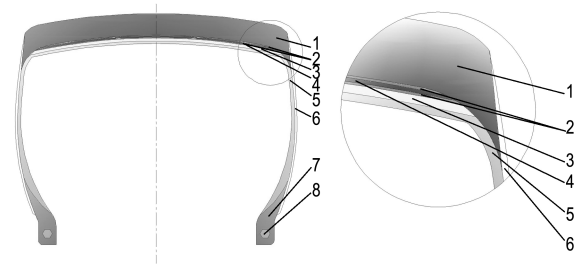
将废旧子午线轮胎钢丝再利用到工程轮胎翻新中,实现其剩余使用价值,工程轮胎翻新后除了拥有自身的钢丝帘布层外,还添加有其他报废轮胎的钢丝帘布层作为补强层,为此,本研究称之为钢丝错体再制造工艺,目前国内外未见相关成果发表,其工艺技术关键为有效实现废旧子午线轮胎钢丝和胎体基体二者之间的黏合. 钢丝错体再制造技术工艺主要包括:(1)局部修复和补强工程子午线轮胎钢丝帘线断裂层,可有效解决胎体钢丝帘布层损坏无法进行翻新而被直接报废的难题. 其主要工艺为将损坏的钢丝帘布断裂层与旧胎体进行剥离,清除掉损坏的断裂层部分,并将损坏区域两端的钢丝层切割成与胎体横断面成 60° 夹角,对露出的胎体层部分进行打磨处理,测量打磨部位的尺寸,并制作与之吻合的补强钢丝帘布层. 其局部补强示意图如图 1 所示,补强钢丝帘布层与旧胎体钢丝接头部位用中间胶进行黏合. (2)旧胎体层与翻新胎面胶层之间补强一层子午线废旧轮胎钢丝帘布层,结构示意图如图 2 所示,钢丝帘布层两面分别贴有缓冲胶,钢丝帘布层环绕胎体一周,并成 45° 夹角对接. 废旧子午线轮胎钢丝错体再制造工程翻新轮胎生产技术工艺如图 3 所

示. 为了保证翻新胎面胶、两层缓冲胶、钢丝帘布



1 旧轮胎胎体; 2 钢丝帘线断裂层区; 3 旧胎体剩余钢丝帘布层; 4 补强钢丝帘布层
图 1 废旧子午线轮胎钢丝局部补强破损胎体钢丝断裂层示意图

Fig. 1 Diagram of local reinforcement of damage tire body fracture layer with waste radial tire steel wire



1 翻新胎面层; 2 缓冲层; 3 带束层; 4 废旧子午线钢丝层; 5 胎体层; 6 胎侧层; 7 趾口胶层; 8 钢丝圈
图 2 废旧子午线轮胎钢丝错体再制造工程轮胎结构示意图

Fig. 2 Structure diagram of dislocation remanufactured retreated OTR tires with waste radial tire steel wire

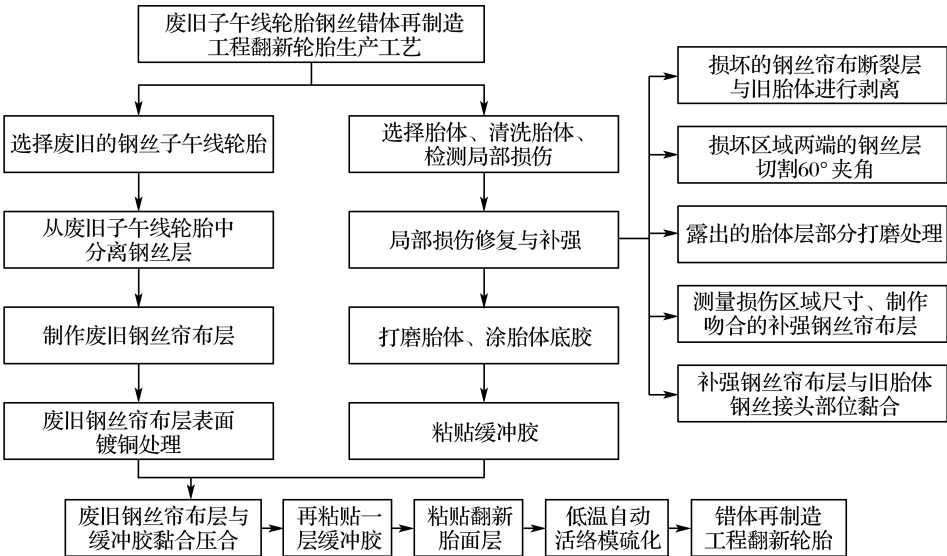


图 3 废旧子午线轮胎钢丝错体再制造工程翻新轮胎工艺

Fig. 3 Process of dislocation remanufacture of retreated OTR tires with waste radial tire steel wire

层及旧胎体层(可能存在局部补强部分)之间的黏结力,需要对钢丝帘布层对接部位、翻新胎面层对接部位进行打磨并刷浆,采用充气压力 0.20 MPa 的充气式胎面压合技术,保证钢丝帘布接头、胎面接头平整及光滑.采用活络模硫化机进行硫化,硫化温度为 150 ℃,硫化压力为 0.5 MPa,硫化时间为 2.5 h.

2 废旧子午线轮胎钢丝错体再制造工程翻新轮胎补强机理

废旧子午线轮胎钢丝帘布层两面先与两层很薄的缓冲层进行黏合,然后再通过硫化作用分别与胎面胶和胎体胶进行黏合.为了有效提高黏合强度,缓冲层橡胶在配方设计上与普通翻新轮胎缓冲胶有所不同,其配方设计如表 1 所示.配方中适当增加白炭黑用量,有利于促进橡胶与钢丝二者之间的黏结.适当增加增塑剂的用量,提高胶料的流动性,有利于胶料渗透到钢丝帘布层的缝隙之中,有效增强橡胶和钢丝的黏合强度;适当增加不溶性硫黄的用量,使橡胶分子链中双键的反应点大大增加,促进碳碳键交联链的形成,提高橡胶与钢丝的黏合强度;选择合适的 NOBS 促进剂,增加硫化时的焦烧时间,加长硫化诱导期,加宽硫化曲线平坦范围,增加硫化速度,有效促使橡胶、硫黄与钢丝镀铜层之间的硫化达到平衡^[5-6].硫化温度为 140 ℃,硫化时间为 15 min,硬度为 69 度,抗拉强度为 21 MPa,扯断伸长率为 504%,与胎面胶黏合强度为 30 kN/m,与胎体层橡胶黏合强度为 34 kN/m.

表 1 缓冲层橡胶主要配方设计
Tab.1 Main formula design of rubber buffer layer

配方组成	质量/g	配方组成	质量/g
天然橡胶(SMR 5CV)	100	防老剂 RD	2
促进剂 NOBS	3.5	白炭黑	30
助剂 HNZ	1.5	促进剂 D	0.5
炭黑 N660	45	不溶性硫黄	5
氧化锌	5	环烷酸钴	2
增塑剂	2.5	合计	197

为了有效提高橡胶与钢丝帘线的黏合性能,对废旧钢丝表面采用镀黄铜法进行镀层处理,即

对废旧子午线轮胎钢丝表面进行镀铜-镀锌处理,钢丝镀层中铜与锌含量比选择为 65 : 35,在钢丝表面形成铜-锌两层镀层.镀铜钢丝帘线表面有一层氧化层,在镀铜钢丝被拉拔时,锌离子扩散到表面,两层之间相互扩散,在表面形成一层叠加氧化铜层的氧化锌层,从而形成黄铜合金,称之为镀黄铜^[7-8],具体结构如图 4 所示,其中 Cu₂O 厚度为 0.5 nm,CuO + ZnO 厚度为 10 nm,CuZn + ZnO 厚度为 50 nm.

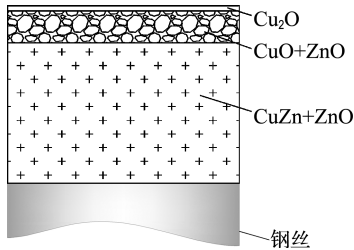
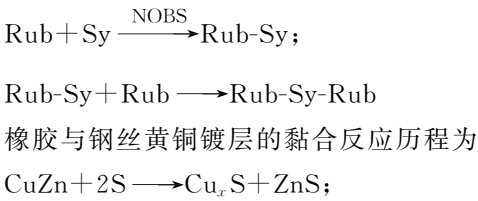


图 4 镀铜钢丝帘线的表面结构模型
Fig.4 Surface structure model of copper plating steel cord

钢丝错体再制造工程翻新轮胎橡胶补强作用机理结构模型^[9-11]如图 5 所示,镀黄铜钢丝在硫化作用初期铜离子(Cu²⁺)、锌离子(Zn²⁺)和自由电子(e)通过阳离子扩散到铜丝表面形成硫化铜(CuS)层和硫化锌(ZnS)层,因为亚铜离子(Cu⁺)比 Zn²⁺ 的氧化电位高,Zn²⁺ 更容易与硫发生反应生成 ZnS,如果铜表面有氧化铜,ZnS 层很快被生成的 CuS 层所覆盖,CuS 层对提高橡胶与钢丝帘布层间的黏合性能十分有利.其厚度有一个最优值,太厚容易从铜表面脱落,导致黏合力下降;太薄,不能充分地与橡胶材料相互渗透,同样导致黏合力下降.在硫化作用下 CuS 层渗透到橡胶胶料中,并被橡胶胶料牢固捆绑,橡胶胶料与 CuS 层通过硫键结合在一起形成黏合层,其黏合层的结合力超过橡胶本身的结合力,经测试,二者之间的黏合强度可达到 41 kN/m.橡胶与硫黄的硫化反应历程为



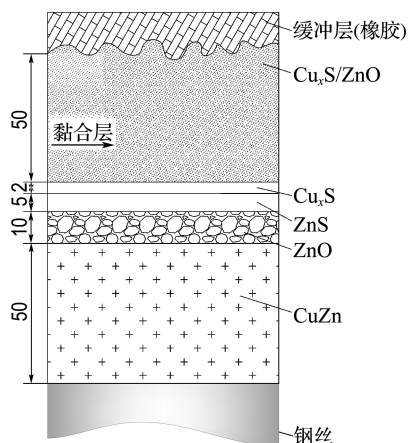


图5 钢丝错体再制造工程翻新轮胎橡胶补强作用机理结构模型(单位:mm)

Fig. 5 Structure model of rubber reinforcing mechanism for dislocation remanufacture of retreated OTR tires (unit:mm)

3 结 语

废旧子午线轮胎钢丝错体再制造工程翻新轮胎技术不但可以解决环保问题,而且开辟了废旧子午线轮胎利用的新途径,可使旧轮胎的利用率从10%提高到20%以上,变废为宝,而且能够有效解决工程翻新轮胎胎体钢丝帘线受损而无法再进行翻新使用的技术难题。利用该废旧子午线轮胎钢丝错体再制造工程翻新轮胎生产工艺及补强机理,采用模硫化法对26.5R25全钢工程机械子午线旧轮胎进行了翻新生产,所翻新工程轮胎经物理机械性能检测,其指标符合工程机械翻新轮胎HG/T 3979—2007行业标准。成品在露天矿区进行抗刺爆测试,其刺爆率由40%(普通工程翻新轮胎)下降到20%(错体再制造工程翻新轮胎),同时,用户反馈信息也表明,废旧子午线钢丝错体再制造的26.5R25工程翻新轮胎抗刺扎、抗刺爆能力大大提高,整体表现良好,其使用寿命为12个月左右,而同型号普通工程翻新轮胎使用寿命为10个月左右,同型号新工程轮胎的使用寿命一般为12个月左右,错体再制造工程翻新轮胎使用寿命为普通翻新轮胎的1.2倍,与同型号新轮胎的使用寿命基本持平,而总成本仅为新轮胎总成本的40%。

参考文献:

- [1] 于清溪. 工程轮胎的现状与发展[J]. 橡塑技术与装备, 2014, 40(1):5-19.
YU Qing-xi. Present situation and development of OTR tires [J]. **China Rubber/Plastics Technology and Equipment**, 2014, 40(1):5-19. (in Chinese)
- [2] 王崇南,余家波,李国林. 如何提高矿用工程轮胎使用寿命[J]. 企业科技与发展, 2014(3):14-16,24.
WANG Chong-nan, YU Jia-bo, LI Guo-lin. How to improve the mine project OTR tires using life [J]. **Technology and Development of Enterprise**, 2014(3):14-16, 24. (in Chinese)
- [3] 熊 伟. 全钢载重子午线轮胎翻新的发展状况[J]. 轮胎工业, 2012, 32(7):390-393.
XIONG Wei. Development situation of all steel radial truck tires renovation [J]. **Tire Industry**, 2012, 32(7):390-393. (in Chinese)
- [4] 杨得兵. 大型工程机械轮胎预硫化翻新[J]. 轮胎工业, 2013, 33(6):323-325.
YANG De-bing. Prevulcanization retreating of large OTR tires [J]. **Tire Industry**, 2013, 33(6):323-325. (in Chinese)
- [5] 王进文. 轮胎钢丝帘线与橡胶粘合的最新进展(一)[J]. 世界橡胶工业, 2012, 39(8):42-47.
WANG Jin-wen. New progress of tire cords and rubber adhesive (one) [J]. **World Rubber Industry**, 2012, 39(8):42-47. (in Chinese)
- [6] 王进文. 轮胎钢丝帘线与橡胶粘合的最新进展(二)[J]. 世界橡胶工业, 2012, 39(9):26-31.
WANG Jin-wen. New progress of tire cords and rubber adhesive (two) [J]. **World Rubber Industry**, 2012, 39(9):26-31. (in Chinese)
- [7] 马明强,贾凌雁,李 琦,等. 硫黄与癸酸钴对轮胎胎体橡胶/钢丝粘合性能的影响[J]. 特种橡胶制品, 2013, 34(3):5-9.
MA Ming-qiang, JIA Ling-yan, LI Qi, et al. Sulfur and cobalt decanoate effect on tyre carcass rubber / steel bonding properties [J]. **Special Purpose Rubber Products**, 2013, 34(3):5-9. (in Chinese)
- [8] 丁 晨,梁继才,尹艳宁,等. 增强橡胶与金属材料粘接的表面处理技术[J]. 合成橡胶工业, 2013, 36(5):405-410.
DING Chen, LIANG Ji-cai, YIN Yan-ning, et al.

- Surface treatment technology for enhancing adhesion between rubber and metal [J]. **China Synthetic Rubber Industry**, 2013, **36** (5): 405-410. (in Chinese)
- [9] 陈 新,赵燕超. 轮胎用钢丝帘线与橡胶的粘合机理[J]. 轮胎工业, 2013, **33**(6):326-333.
- CHEN Xin, ZHAO Yan-chao. Bonding mechanism of steel cord for tires and rubber [J]. **Tire Industry**, 2013, **33**(6):326-333. (in Chinese)
- [10] 郑 晖,曾凡伟. 橡胶与金属骨架材料粘合强度的影响因素[J]. 橡胶工业, 2013, **60**(11):697-701.
- ZHENG Hui, ZENG Fan-wei. Adhesion strength influence factors of the rubber and metal material [J]. **Rubber Industry**, 2013, **60**(11):697-701.
- [11] 陈 琪. 天然橡胶与镀铜钢丝粘合性能及其机理的研究[D]. 青岛:青岛科技大学, 2012.
- CHEN Qi. Mechanistic investigation of natural rubber and brass-plated cord adhesion and bonding mechanism [D]. Qingdao: Qingdao University of Science & Technology, 2012. (in Chinese)

Process and reinforcement mechanism of dislocation remanufacture of retreated OTR tires by use of waste steel wire

WANG Qiang, QI Ying-jie*

(Traffic College, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: In order to improve the bearing and anti-impaling performances of retreated off the road (OTR) tires, the production process of dislocation remanufacture was designed using waste radial tire steel wire as a reinforcing body through the coating method of plating copper-zinc on the surface of waste steel wire. The production process includes the local repair and reinforcement process of engineering radial tire steel cord fracture layer, and the reinforcement process of waste tire wire cord layer between the old carcass and retreated tire surface. The reinforcement mechanism about dislocation remanufacture of retreated OTR tires with steel wire of waste radial tire was analyzed, the adhesion of waste steel wire and tire rubber was effectively realized, and the technology advantage of dislocation remanufactured retreated OTR tires by use of steel wire of waste radial tire was analyzed. 26.5R25 radial retreated OTR tires were remanufactured using the mold vulcanization. The experimental results show that the bearing and anti-impaling performances of dislocation remanufacture of retreated OTR tires with steel wire of waste radial tire are further increased, the service life is 1.2 times of the same type of ordinary retreated tire, close to service life of the same type of new tire, and the comprehensive performance is good.

Key words: waste steel wire; dislocation remanufacture; retreated OTR tires; production process; reinforcement mechanism