

地下矿铰接式卡车用18.00R25 E3全钢工程机械子午线轮胎的设计

王银竹,赵君,于飞,谢仕强*,孙昕

[泰凯英(青岛)专用轮胎技术研究开发有限公司,山东 青岛 266100]

摘要:介绍地下矿铰接式卡车用18.00R25 E3全钢工程机械子午线轮胎的设计。结构设计:外直径 1 602 mm,断面宽 490 mm,行驶面宽度 430 mm,行驶面弧度高 20 mm,胎圈着合直径 630 mm,胎圈着合宽度 330.2 mm,断面水平轴位置(H_1/H_2) 0.84,胎面花纹采用胎冠中间全饱和、胎肩羊角形花纹设计,花纹深度 30 mm,花纹周节数 32,花纹饱和度 86.7%。施工设计:胎面胶采用抗切割胶料配方,基部胶采用低生热胶料配方;采用4层带束层结构,其中1#和2#带束层采用 $7\times 7\times 0.22+0.15$ HT钢丝帘线,3#和4#带束层采用 $4\times 6\times 0.25$ HE钢丝帘线,胎体采用 $7\times 7\times 0.25+0.15$ HT钢丝帘线;采用一次法成型机成型,采用单模蒸锅式硫化机硫化。成品轮胎性能试验结果表明,轮胎的充气外缘尺寸、静负荷性能和耐久性能均达到相应设计和国家标准要求。

关键词:地下矿铰接式卡车;全钢工程机械子午线轮胎;结构设计;施工设计;成品轮胎性能

中图分类号:TQ336.1;U463.341⁺.5/.6

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2023)02-0078-05

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2023.02.0078



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

矿山资源开采主要有露天开采和地下开采两种方式,当矿床埋藏在地下深处时,采用露天开采剥离系数过高,综合技术和经济评估,采用地下开采方式比较合理。同时,由于各国对环保的要求越来越高,矿山露天开采转地下开采的趋势越来越明显。目前,铰接式卡车在大中型矿山中仍为主要的运输车辆,其中载质量为20 t的地下矿铰接式卡车在独联体、南美和非洲仍在大量使用,随着近年地下矿开采量的飞速增长,对该车辆轮胎的需求量也在逐渐增大。由于传统斜交轮胎存在舒适性低、生热高、胎冠抗穿刺性能差等问题,无法满足地下矿运输卡车的需求^[1-3],同时,很多在用的全钢工程机械子午线轮胎并非针对地下矿用车辆设计,存在寿命短、胎侧/胎冠扎伤导致爆胎失效等问题,因此,地下矿用全钢工程机械子午线轮胎的设计非常重要。

为了满足客户需求并提高企业经济效益,本工作针对地下矿铰接式卡车用18.00R25 E3全钢工

程机械子午线轮胎进行设计,以期解决斜交轮胎产品生热高、抗穿刺性能差及子午线轮胎异常损坏比例高、寿命偏短等问题,从而提高产品性能,为客户创造更高的价值。下面将该规格轮胎的设计情况简要介绍如下。

1 技术要求

根据《美国轮胎轮辋协会标准年鉴(TRA)—2016》《欧洲轮胎轮辋技术组织标准手册(ETRTO)—2018》和GB/T 2980—2018《工程机械轮胎规格、尺寸、气压与负荷》,确定18.00R25 E3轮胎的技术参数如下:标准轮辋 13.00/2.5,充气外直径(D') 1 613(1 585.6~1 644.4) mm,充气断面宽(B') 504(485~545) mm,标准充气压力 800 kPa,标准单胎负荷 10 300 kg,行驶速度 50 km·h⁻¹。

2 结构设计

2.1 外直径(D)和断面宽(B)

充分考虑地下矿用车辆的作业路况和应用场景,在结构设计方面以平衡轮廓设计理论为基础,

作者简介:王银竹(1972—),男,山东威海人,泰凯英(青岛)专用轮胎技术研究开发有限公司工程师,学士,主要从事轮胎结构设计和工艺技术管理工作。

*通信联系人(sam.xie@techking.com)

基于经典力学原理,通过有限元方法进行模拟分析^[4-11],最终确定 D 为1 602 mm, B 为490 mm(不包含标志、装饰线和防擦线所增加的宽度),满足国家标准要求。

2.2 行驶面宽度(b)和弧度高(h)

b 为两侧胎肩间胎面行驶面的轴向距离, h 为两侧胎肩线至胎面最外表面的垂直距离。因为地下矿路况复杂,坑洼、多水且泥泞的道路普遍存在,并且 b 和 h 对轮胎的接地印痕、耐磨性能及操控稳定性有很大的影响^[12-13],同时考虑普通子午线轮胎 b/B 范围(0.86~0.90)和 h/H (断面高)范围(0.03~0.05),本次设计对轮胎的接地印痕和胎冠部位生热进行了平衡,结合有限元分析,得出最优的 b 和 h 分别为430和20 mm,在保证轮胎耐热性能的同时,可以提升轮胎的耐磨性能和操控性能。

2.3 胎圈着合直径(d)和着合宽度(C)

d 和 C 主要影响轮胎与轮辋配合的密封性以及轮胎安装和拆卸的便利性;在无内胎轮胎设计过程中,为保证轮胎与轮辋的密封性,胎圈与轮辋采用适当的过盈配合^[14]。本次设计 d 在标准轮辋基础上减小5 mm,取630 mm; C 一般与轮辋着合宽度一致,本次设计取330.2 mm。

2.4 断面水平轴位置(H_1/H_2)

断面水平轴位于轮胎断面两外侧之间的最大距离位置(不包括标志、装饰线和防擦线所增加的宽度),也是子午线轮胎受力后胎侧变形最大的位置,因此, H_1/H_2 的选取对轮胎性能有很大的影响。 H_1/H_2 取值过大,即断面水平轴位置过高,有利于轮胎承载性能,但会导致轮胎肩部应力集中,导致肩部损坏风险增大; H_1/H_2 取值过小,即断面水平轴位置过低,有利于轮胎的高速性能,但会导致胎圈应力集中、胎圈损坏风险增大等问题。根据经验,工程机械子午线轮胎的 H_1/H_2 一般为0.8~1.1^[14],由于地下矿铰接式卡车行驶受限于巷道,轮胎负荷主要是标载,对轮胎的生热和安全性能要求更高,减小生热、降低上胎侧应力集中导致轮胎外伤的几率增大,因此本次设计 H_1/H_2 取0.84。

轮胎断面轮廓如图1所示。

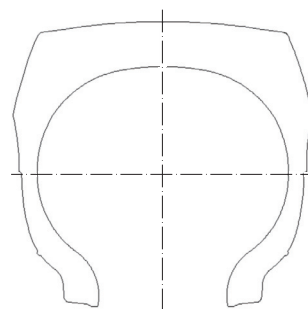


图1 轮胎断面轮廓示意

2.5 胎面花纹

本产品为非公路用途,在地下矿铰接式卡车上使用。相较于露天矿,其作业路面存在泥泞坑洼、矿石散落、巷道狭窄等工况,轮胎胎侧切割/刺穿、胎面矿石切割/刺扎、胎面金属刺穿等异常损坏问题非常普遍,同时一旦轮胎损坏会造成巷道阻塞、轮胎更换困难等问题,增大矿山作业风险,因此在胎面花纹设计中优先考虑轮胎的抗切割和抗穿刺性能。另外,考虑到地下矿铰接式卡车存在不同作业平面的爬坡运输场景和长距离作业场景,也需要保证轮胎的散热性能和牵引性能。因此,本次设计胎面花纹具备优异的抗切割性能、抗穿刺性能、散热性能和牵引性能,以块状耐磨型花纹为基础:胎冠中部采用全饱和设计,可以提升轮胎的抗刺穿和抗切割性能;胎肩采用羊角形沟槽设计,可以提升轮胎肩部的散热性能;花纹沟采用有向设计,可以提供轮胎良好的牵引性能;花纹沟底采用阶梯过渡设计,可以提升沟底的抗刺扎性能和自洁性能;胎肩采用胎侧防护设计,可以降低胎侧外伤几率。花纹深度为30 mm,采用等节距设计,花纹周节数为32,花纹饱和度为86.7%。

胎面花纹二维和三维效果分别如图2和3所示。

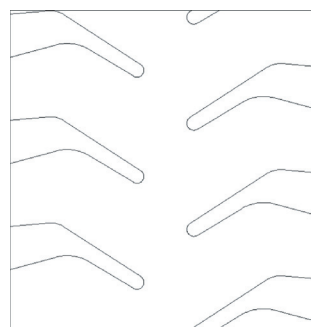


图2 胎面花纹二维效果



图3 胎面花纹三维效果

3 施工设计

3.1 胎面

胎面是轮胎与地面接触的部位,全钢工程机械子午线轮胎对胎面胶的一般要求是具有良好的耐磨性能、抗切割性能和低生热性能等。考虑地下矿铰接式卡车的作业工况及场景的特殊性,胎面胶选用含80%丁苯橡胶的抗切割配方胶料,以保证轮胎在地下泥泞、坑洼的路况下有优异的抗切割性能。考虑到地下矿铰接式卡车存在长时间作业及部分长运距场景,胎面胶与带束层之间增加基部胶设计,其胶料生热低,具有良好的钢丝粘合性能;同时考虑到车辆行驶过程中震动较大,其基部胶具有优异的定伸模量,既有利于降低轮胎在作业状态下的生热,同时又起到缓冲作用,可以降低应力和应变从胎面传递到带束层的幅度。

3.2 胎体

胎体钢丝帘布在轮胎作业过程中主要起承载的作用,目前635 mm(25英寸)及以上工程机械子午线轮胎主要采用胎体帘布高反包设计(反包胎体帘布高度高于断面水平轴),以起到保护胎侧位置胎体帘布,增加胎侧刚性的作用。

考虑地下矿铰接式卡车的载重及使用工况,本设计以充气后轮胎为基础,结合有限元分析,采用 $7\times 7\times 0.25+0.15$ HT钢丝帘线。胎体安全倍数为6.6,满足标准要求。

3.3 带束层

全钢工程机械子午线轮胎一般为4—6层带束层结构,889 mm(35英寸)以上轮胎的带束层一般为5—6层(以最贴近胎体的带束层为1[#]带束层)。以6层带束层为例,1[#]和2[#]带束层为过渡层;3[#]和4[#]带束层为主要受力层,钢丝帘线强度高;5[#]

和6[#]带束层为保护层,采用高伸长型钢丝帘线。带束层结构的选用对轮胎性能(如带束层应力分布、轮胎接地印痕和冠部变形生热等)有非常重要的影响。

本次设计选用4层带束层结构,其中1[#]和2[#]带束层采用 $7\times 7\times 0.22+0.15$ HT钢丝帘线,3[#]和4[#]带束层采用 $4\times 6\times 0.25$ HE高伸长型钢丝帘线。带束层安全倍数为8.5,满足设计要求。

3.4 胎圈

胎圈即轮胎与轮辋的配合部分,目前胎圈钢丝圈有圆形、六角形、斜六角形、U形和矩形等形状;其中六角形钢丝圈由于其具有强度高、工艺制造方便和生产效率高等特点,目前在全钢工程机械子午线轮胎中应用广泛。考虑到地下矿铰接式卡车的作业工况,本次设计钢丝圈采用六角形钢丝圈结构,钢丝直径为2.0 mm,覆胶直径为2.2 mm,钢丝圈根数为200,胎圈安全倍数为11.5,满足标准要求。

3.5 成型和硫化

成型工艺主要考虑作业效率和生产操作的便捷性,同时降低生产过程中人员和物料的浪费,本次设计采用一次法成型机进行成型,其中胎面采用缠绕机进行缠绕。

采用单模蒸锅式硫化机进行硫化。硫化条件为:内温 $(173\pm 3)^{\circ}\text{C}$,外温 $(147\pm 2)^{\circ}\text{C}$,内压 $(2.8\pm 0.1)\text{MPa}$,外压 $(0.35\pm 0.03)\text{MPa}$,总硫化时间 219 min。硫化后成品轮胎外观合格,无缺胶及过硫现象,X光检测骨架材料合格,胎里内衬层厚度检测无异常,轮胎总体合格。

4 成品性能

4.1 外缘尺寸

成品轮胎外缘尺寸按照GB/T 521—2012《轮胎外缘尺寸测量方法》进行测量。安装在标准轮辋上的轮胎在标准充气压力下的 D' 和 B' 分别为1 611和507 mm,均符合国家标准要求。

4.2 静负荷性能

成品轮胎静负荷性能按照HG/T 2443—2012《轮胎静负荷性能试验方法》并根据企业要求进行测试,结果如表1所示。

表1 轮胎静负荷性能测试结果

项 目	负荷/kg				
	3 400	6 800	10 300	13 600	17 000
静负荷半径/mm	779.2	757.7	739.5	721.5	704.9
负荷下断面宽/mm	521.3	533.6	548.5	567.2	579.8
轮胎下沉量/mm	26.3	47.8	66.0	84.0	100.6
接地印痕总面积/cm ²	606	1 136	1 358	1 673	1 919
平均接地压力/kPa	549.8	586.6	736.1	796.7	868.2

从表1可以看出,随着负荷的增大,在试验负荷区间内,轮胎静负荷半径均匀减小,负荷下断面宽和轮胎下沉量均匀增大,轮胎接地印痕总面积及平均接地压力也均匀增大。同时,标准充气压力及标准负荷下,轮胎着合宽度位置接地印痕(见图4)矩形比为1.08,达到企业标准要求。



图4 标准充气压力及标准负荷下轮胎接地印痕

4.3 耐久性能

按照GB/T 30193—2013《工程机械轮胎耐久性试验方法》进行耐久性试验,试验条件如表2所示。

表2 轮胎耐久性试验结果

项 目	试验阶段					
	1	2	3	4	5	6
负荷率/%	65	85	100	100	110	120
速度/(km·h ⁻¹)	15	15	15	10	10	10
行驶时间/h	7	16	24	12	12	12

注:试验充气压力为800 kPa,标准负荷为10 300 kg,环境温度为(38±3)℃。

试验结果要求:按照国家标准要求完成前3个阶段测试后,轮胎无损坏;企业标准要求测试必须完成6个阶段。实际测试完成第6阶段结束,耐久性试验累计行驶时间达83 h后轮胎未损坏。轮胎耐久性能达到企业标准且远高于国家标准要求。

5 结语

针对地下矿铰接式卡车作业场景设计开发的18.00R25 E3全钢工程机械子午线轮胎的充气外缘尺寸达到国家标准要求,静负荷性能满足企业标准要求,耐久性能满足企业标准且远高于国家标准要求。本产品投入市场后客户反馈使用效果较好,胎冠刺穿及胎侧外伤比例明显下降,车辆作业效率大幅提升,降低了地下矿开采的综合成本,并为公司带来了较高的经济效益。

参考文献:

- [1] 俞洪. 子午线轮胎结构与制造技术[M]. 北京:化学工业出版社,2006:27-29.
- [2] 蔡为民. 中国全钢子午线轮胎生产现状和发展[J]. 汽车与配件, 2003(44):36-37.
- [3] 郑正仁,王洪士,毛寿昌. 子午线轮胎技术与应用[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,1994.
- [4] 李炜. 子午线轮胎结构有限元分析和设计原理的若干问题研究[D]. 合肥:中国科学技术大学,2003.
- [5] 潘涛. 子午线轮胎轮廓设计理论的相关研究[D]. 广州:华南理工大学,2011.
- [6] 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.
- [7] 刘亮亮,姜在胜,孙洪沙,等. 775/65R29低断面无内胎工程机械子午线轮胎的设计[J]. 轮胎工业,2018,38(3):145-148.
- [8] 毛建清. 24.00R35全钢工程机械子午线轮胎的设计[J]. 橡胶工业, 2017,64(8):481-484.
- [9] 任学鹏,庞军华. 二段成型全地形车子午线轮胎的开发[J]. 橡胶工业,2022,69(1):55-58.
- [10] 王国林,万治君,梁晨,等. 基于非平衡轮廓理论的子午线轮胎结构设计[J]. 机械工程学报,2012,48(24):112-118.
- [11] 张伟伟,王海艳,任世奇,等. 基于Abaqus的全钢轮胎接地印痕仿真分析[J]. 橡胶科技,2021,19(1):11-14.
- [12] 傅相诚,张伟伟,车明明,等. 基于Abaqus的轮胎接地印痕优化分析[J]. 轮胎工业,2019,39(6):330-333.
- [13] 王志勇,连伟平,王庆文. 385/65R22.5无内胎全钢载重子午线轮胎接地印痕的改善[J]. 橡胶科技,2020,18(9):502-505.
- [14] 蔡庆,韩成勇,徐立. 全钢巨型工程机械子午线轮胎胎圈结构设计[J]. 轮胎工业,2015,35(6):328-335.

收稿日期:2022-08-14

Design on 18.00R25 E3 All-steel Off-The-Road Radial Tire for Articulated Truck in Underground Mining

WANG Yinzhu, ZHAO Jun, YU Fei, XIE Shiqiang, SUN Xin

[Techking (Qingdao) Special Tire Technology Research and Development Co., Ltd., Qingdao 266100, China]

Abstract: The design of 18.00R25 E3 all-steel off-the-road radial tires for articulated trucks in underground mining was introduced. In the structure design, the following parameters were taken: overall diameter 1 602 mm, cross-section width 490 mm, width of running surface 430 mm, arc height of running surface 20 mm, bead diameter at rim seat 630 mm, bead width at rim seat 330.2 mm, maximum width position of cross section (H_1/H_2) 0.84, the tread pattern was designed with full saturation in the middle of the crown and horn pattern on the shoulder, pattern depth 30 mm, number of pattern pitches 32, and block/total ratio 86.7%. In the construction design, the following processes were taken: using the cutting resistant compound formula for tread and using the low heat build-up compound formula for base, 4-layer structure for the belt, $7 \times 7 \times 0.22 + 0.15$ HT steel cord for 1[#] and 2[#] belt, $4 \times 6 \times 0.25$ HE steel cord for 3[#] and 4[#] belt, $7 \times 7 \times 0.25 + 0.15$ HT steel cord for the carcass, using one-stage building machine to build tires and single-mode steamer type curing press to cure tires. The test results of the finished tire showed that the inflated peripheral dimension, static load performance and durability of the tire met the requirements of the corresponding design and national standards.

Key words: articulated truck in underground mining; all-steel off-the-road radial tire; structure design; construction design; finished tire performance

铁系枝化丁戊橡胶创制技术获奖

日前,第二届“率先杯”未来技术创新大赛总决赛结果揭晓。由中国科学院青岛能源所申报、中国石油化工股份有限公司巴陵分公司(简称巴陵石化)等单位参与的“铁系枝化丁戊橡胶创制关键技术研究”项目获赛事最高奖项——决赛优胜奖。

该项目针对我国合成橡胶依赖进口和石化下游 $C_4 \sim C_5$ 烯烃转化的重大需求,由中国科学院青岛能源所与巴陵石化、山东玲珑轮胎股份有限公司、青岛森麒麟轮胎股份有限公司、山东昊华轮胎有限公司等企业合作,发展了铁系枝化丁戊橡胶新材料的创制、合成与应用技术。

据介绍,该项目通过设计合成新型铁系金属络合物催化剂,创制铁系枝化丁戊橡胶新材料,研发出高效、高选择性的催化剂技术和催化聚合技

术,以及枝化丁戊橡胶微观结构的精准构筑与调控技术。研究团队还突破工程化放大若干技术难题,实现了铁系枝化丁戊橡胶百吨级间歇聚合和连续聚合中试放大试验,万吨级产业化示范项目也正在进行。

该项目还通过研究枝化丁戊橡胶微观结构与宏观性能之间的构效关系,构建其抗湿滑性能、滚动阻力与耐磨性能之间的平衡关系,突破其在高性能轮胎胎面胶方面的应用关键技术,获得高性能抗湿滑胎面胶新材料,有望形成变革性技术产品,解决溶聚丁苯橡胶关键技术难题。

此外,研究团队制造的铁系枝化丁戊橡胶轮胎抗湿滑性能达到欧盟标准A级,缩短了汽车的刹车制动距离,目前正在研建年产100万条高性能轮胎制造示范线。

(摘自《中国化工报》,2022-12-09)