

# 9.00R20NHS井下矿用光面全钢工程机械子午线轮胎的设计

宋朝兴,李晓明,陈宇,王若飞,周亚兵

(风神轮胎股份有限公司,河南 焦作 454003)

**摘要:**介绍9.00R20NHS井下矿用光面全钢工程机械子午线轮胎的设计。结构设计:外直径 1 050 mm,断面宽 255 mm,行驶面宽度 230 mm,行驶面弧度高 10 mm,胎圈着合直径 510 mm,胎圈着合宽度 184 mm,断面水平轴位置( $H_1/H_2$ ) 0.753,胎面采用光面花纹,花纹深度 51 mm,胎肩增加深沟标识设计。施工设计:胎面采用三层结构,胎体采用0.25+6+12×0.225HT钢丝帘线,1#带束层采用3+9+15×0.175+0.15HT钢丝帘线,2#和3#带束层采用3+9+15×0.22+0.15HT钢丝帘线,4#带束层采用3×7×0.20HE钢丝帘线,采用一次法两鼓成型机成型,采用双模热板式硫化机硫化。成品性能试验结果表明,成品轮胎的充气外缘尺寸和物理性能均达到国家标准及相应设计要求。

**关键词:**井下矿用光面全钢工程机械子午线轮胎;结构设计;施工设计;成品性能

**中图分类号:**TQ336.1;U463.341+.5

**文章编号:**2095-5448(2022)11-0556-04

**文献标志码:**A

**DOI:**10.12137/j.issn.2095-5448.2022.11.0556



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

光面工程机械轮胎系列产品主要适用于两类特定作业条件:一是用在巷道工作的铲运机及类似环境工作的工程机械上,适用于井下矿产的开采、运输、隧道建设等恶劣环境下作业;二是用在筑路机械上,适用于高速公路摊铺沥青路面和路基的压实作业。

本工作主要介绍9.00R20NHS井下矿用光面全钢工程机械子午线轮胎的设计。

## 1 技术要求

根据ETRTO—2017《欧洲轮胎轮辋技术组织标准手册》及客户需求,选取9.00R20NHS井下矿用光面全钢工程机械子午线轮胎的技术参数如下:标准轮辋 7.00T,充气外直径( $D'$ ) 1 054 mm,充气断面宽( $B'$ ) 260 mm,标准负荷 4 375 kg,标准充气压力 825 kPa。

**作者简介:**宋朝兴(1989—),男,河南焦作人,风神轮胎股份有限公司助理工程师,学士,主要从事轮胎结构设计工作。

**E-mail:**songchaoxing@rubber.chemchina.com

## 2 结构设计

### 2.1 外直径( $D$ )和断面宽( $B$ )

在充气状态下,轮胎充气轮廓大于轮胎模具尺寸,充气轮廓与模具尺寸的比值用膨胀率表示。由于子午线轮胎冠部有周向不易伸张的带束层箍紧胎体,充气后轮胎的外直径膨胀率( $D'/D$ )较小,参考相同结构、类似规格(12.00R24, 13.00R25和14.00R20,下同)轮胎的 $D'/D$ 平均值,本次设计 $D'/D$ 取1.003 8, $D$ 取1 050 mm。

$B$ 是一个重要的参数,应慎重选取, $B$ 取值大容易引起并胎现象, $B$ 取值小不满足标准,参考相同结构、类似规格轮胎的断面宽膨胀率( $B'/B$ )平均值, $B'/B$ 取1.020, $B$ 取255 mm。

### 2.2 行驶面宽度( $b$ )和弧度高( $h$ )

$b$ 和 $h$ 是决定轮胎胎冠主要形状以及成品接地印痕的关键参数。确定 $b$ 和 $h$ 后,再确定胎冠采用多段弧还是一段弧以及多段弧是否相切,最终确定胎冠的形状及其对胎面耐磨性能、牵引性、转向性及生热等多项使用性能的影响<sup>[1]</sup>。井下矿用

光面轮胎系列要求 $b$ 较大,因此可适当增大 $b$ 。本次设计取相同结构、类似规格轮胎的 $b/B$ 平均值 0.902,根据已经确定的 $B$ , $b$ 取230 mm,胎冠曲线采用相切的两段弧设计。

$h$ 对轮胎接地印痕的影响较大,增大 $h$ 可以降低胎肩与地面的接触应力,减小 $h$ 可以增大胎肩与地面的接触应力。为保证轮胎与路面在 $b$ 范围内有最大的接地面积,一般 $h$ /断面高( $H$ )为 0.03~0.05,本次设计 $h$ 取10 mm。

### 2.3 胎圈着合直径( $d$ )和着合宽度( $C$ )

$C$ 是指上下胎踵之间的垂直距离,以使用轮辋宽度为基础进行确定,对于子午线轮胎,适当增大胎圈宽度,轮胎充气后,轮胎的应力应变会往胎肩方向移动,从而减小胎圈损坏的风险<sup>[2]</sup>。结合设计经验,小型工程机械轮胎胎圈宽度比轮辋宽度大 0~6.35 mm(0.25英寸),本次设计 $C$ 取184 mm。 $d$ 依据轮辋类型和轮辋标定直径确定,保证轮胎胎圈部位与轮辋装配后紧密不漏气且装卸方便,本次设计 $d$ 取510 mm。

### 2.4 断面水平轴位置( $H_1/H_2$ )

断面水平轴又称断面中心线,位于断面最宽处,是负荷下法向形变的最大部位,如何保证轮胎从充气状态至负荷状态下 $H_1/H_2$ 保持不变是设计的重点和难点。轮胎在使用过程中,如果断面水平轴往胎冠方向偏移,容易引起胎肩部位应力集中,如果断面水平轴往胎圈方向偏移,容易引起下胎侧应力集中,兼顾胎圈和胎肩应力分布找到最优 $H_1/H_2$ 非常重要<sup>[3]</sup>,参考相同结构、类似规格轮胎的 $H_1/H_2$ 平均值,本次设计 $H_1/H_2$ 取0.753, $H_1$ 为116 mm, $H_2$ 为154 mm。

轮胎轮廓如图1所示。

### 2.5 胎面花纹

胎面花纹采用超厚光面花纹设计,根据《中国轮胎轮辋气门嘴标准年鉴》,花纹代号为L-5S,可提高井下等恶劣工况下轮胎的耐磨性能,花纹深度为51 mm。胎肩增加测深沟标识(见图2),上下模各3个,均匀错开。

## 3 施工设计

### 3.1 胎面

胎面采用3层设计,包括上胎面、中胎面、下胎

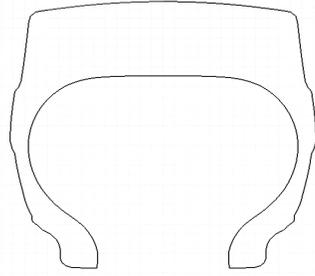


图1 轮胎轮廓示意

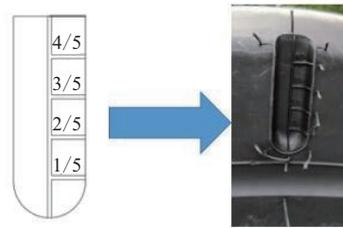


图2 胎肩测深沟标识示意

面(见图3),上胎面和中胎面采用耐磨性能好的专用配方,下胎面采用低生热配方,可降低轮胎使用中的生热<sup>[4]</sup>。

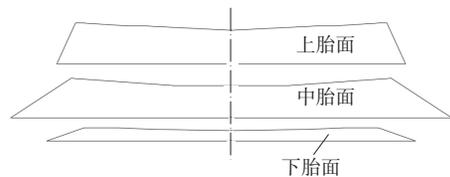


图3 胎面结构示意

### 3.2 胎体和带束层

胎体采用0.25+6+12×0.225HT钢丝帘线,运用薄膜-网络理论<sup>[5]</sup>计算胎体帘线应力,得到胎体安全倍数为13,轮胎的耐疲劳性能和耐磨性能满足要求。

带束层采用4层结构。1<sup>#</sup>带束层为过渡层,帘线角度一般相对大一些,常用范围为50°~60°,本次设计1<sup>#</sup>带束层使用3+9+15×0.175+0.15HT钢丝帘线,角度为55°。2<sup>#</sup>和3<sup>#</sup>带束层为工作层,是带束层结构中主要承受应力的帘布层,帘线角度常用范围为15°~22°,本次设计2<sup>#</sup>和3<sup>#</sup>带束层使用3+9+15×0.22+0.15HT钢丝帘线,角度均为18°。4<sup>#</sup>带束层为保护层,一般采用高伸长率和高抗冲击型钢丝帘线,常用角度范围与工作层接近,本次设计4<sup>#</sup>带束层使用3×7×0.20HE钢丝帘线,角度为15°。运用彼德尔曼公式<sup>[5]</sup>计算带束层帘线

应力,最终得出安全倍数为10。

### 3.3 胎圈

胎圈采用常用的六边形结构,排列方式为5-9-6,钢丝直径为 $\Phi 1.65$  mm,未缠绕锦纶包布前钢丝圈内直径为526 mm,安全倍数为4。

### 3.4 胎圈填充胶、胎圈加强层和胎侧

子午线轮胎胎圈结构部件种类多,相对于斜交轮胎比较复杂,本次胎圈填充胶采用双复合结构,分为硬三角胶和软三角胶,填充胶挤出后采用冷敷贴方式组成胎圈组合件。

胎圈加强层使用钢丝帘布加强,采用U型包方式。

胎侧采用三复合结构设计,降低耐磨胶端点打褶的风险,且因为用于井下,路况恶劣,胎侧容易被割伤,对胎侧厚度进行了加强设计(见图4)。



图4 胎侧施工示意

### 3.5 成型

成型采用一次法两鼓成型机,胎体伸张值取1.5%计算平宽,带束层伸张值取3%计算辅鼓周长。成型预定型宽度为510 mm,定型宽度为400 mm,超定型宽度为310 mm。

### 3.6 硫化

采用1 473.2 mm(58英寸)双模热板式硫化机硫化。由于本次设计为超加深光面花纹,为缩短硫化时间、提高生产效率,模具需额外增加模套设计,可以显著提高硫化速度。

硫化机采用RB9001型硫化胶囊,硫化胶囊拉伸高度为675 mm,预定型高度为400 mm,定型高度为280 mm。

## 4 成品性能

### 4.1 充气外缘尺寸

轮胎装配标准轮辋,标准充气压力为825 kPa,按照GB/T 521—2012进行测试,测得 $D'$ 为1 055

mm, $B'$ 为257 mm,轮胎充气外缘尺寸满足相应设计要求和国家标准要求。

### 4.2 物理性能

成品轮胎物理性能测试结果如表1所示。

表1 成品轮胎物理性能测试结果

项 目	实测值	GB/T 1190—2018
胎面胶		
邵尔A型硬度/度	66	$\geq 55$
上中层胶拉伸强度/MPa	21.9	$\geq 16.5$
下层胶拉伸强度/MPa	21.8	$\geq 16.5$
上中层胶拉断伸长率/%	483	$\geq 350$
下层胶拉断伸长率/%	441	$\geq 350$
上中层胶阿克隆磨耗量/ $\text{cm}^3$	0.46	$\leq 0.5$
下层胶阿克隆磨耗量/ $\text{cm}^3$	0.44	$\leq 0.5$
胎侧胶		
拉伸强度/MPa	18.5	$\geq 16.5$
拉断伸长率/%	530	$\geq 350$
粘合强度 <sup>1)</sup> /( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$ )		
胎体与1 <sup>#</sup> 带束层间	7.6	
胎体与胎侧胶间	25.4	
1 <sup>#</sup> 与2 <sup>#</sup> 带束层间	10.6	
2 <sup>#</sup> 与3 <sup>#</sup> 带束层间	15.7	
3 <sup>#</sup> 与4 <sup>#</sup> 带束层间	17.5	
4 <sup>#</sup> 带束层与胎面胶间	28.7	

注:1)粘合强度在国家标准和企业标准中均没有要求,目前主要进行数据测量收集。

从表1可以看出,成品轮胎的物理性能满足国家标准要求。

### 4.3 静负荷性能

轮胎静半径(轮胎充气后,在负荷状态下其中心到接地端的距离)和负荷断面宽与负荷的关系曲线如图5所示,轮胎接地面积与负荷的关系曲线如图6所示。

针对轮胎静半径、负荷断面宽和接地面积随

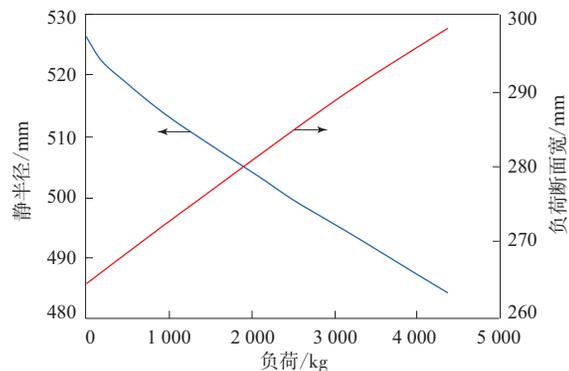


图5 轮胎静半径和负荷断面宽与负荷的关系曲线

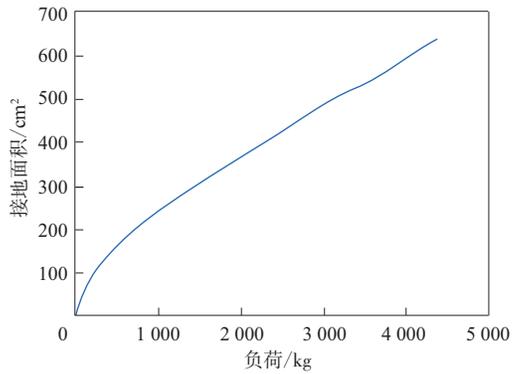


图6 轮胎接地面积与负荷的关系曲线

负荷的变化曲线,用多项式拟合出变化曲线,具体如下。

静半径随负荷变化的曲线方程( $x_1$ 为负荷, $y_1$ 为静半径)如下:

$$y_1 = -3e^{-10}x_1^3 + 3e^{-6}x_1^2 - 0.0158x_1 + 526.48 \quad (1)$$

负荷断面宽随负荷变化的曲线方程( $x_2$ 为负荷, $y_2$ 为负荷断面宽)如下:

$$y_2 = -2e^{-7}x_2^2 + 0.0086x_2 + 264.47 \quad (2)$$

接地面积随负荷变化的曲线方程( $x_3$ 为负荷, $y_3$ 为接地面积)如下:

$$y_3 = 9e^{-9}x_3^3 - 8e^{-5}x_3^2 + 0.3019x_3 + 7.995 \quad (3)$$

根据上述各曲线方程建立数学模型,用于轮胎静负荷性能的分析,结果均满足设计要求。

## 5 结语

9.00R20NHS井下矿用光面全钢工程机械子午线轮胎生产工艺稳定,外形美观大方,质量合格,成品轮胎的充气外缘尺寸、物理性能和静负荷性能均满足国家标准及相应设计要求。该产品的成功研发完善了我公司产品图谱,是小规格井下用途系列轮胎的重要品种。

## 参考文献:

- [1] 梁守智,钟延堃,张丹秋. 橡胶工业手册修订版 第四分册 轮胎[M]. 北京:化学工业出版社,1989:56.
- [2] 李仁国,朱作勇,成建超,等. 145R12LT 80/78N轻型载重子午线轮胎胎圈着合宽度对轮胎性能的影响[J]. 轮胎工业,2020,40(12):726-729.
- [3] 沙昌新,蒋丰璘,王军. 载重子午线轮胎断面水平轴位置的优化[J]. 轮胎工业,2016,36(6):331-334.
- [4] 王先宁,廖发根,胡善军. 间苯二甲酰肼在绿色轮胎胎面胶中的应用研究[J]. 橡胶工业,2021,68(5):344-350.
- [5] 俞淇. 子午线轮胎结构设计及制造技术[M]. 北京:化学工业出版社,2006:138-139.

收稿日期:2022-07-19

## Design on 9.00R20NHS Smooth Off-The-Road Radial Tire for Underground Mining

SONG Chaoxing, LI Xiaoming, CHEN Yu, WANG Ruofei, ZHOU Yabing

(Aeolus Tyre Co., Ltd., Jiaozuo 454003, China)

**Abstract:** Design of 9.00R20NHS smooth off-the-road radial tire for underground mining was introduced. In the structure design, the following parameters were taken: overall diameter 1 050 mm, cross-section width 255 mm, width of running surface 230 mm, arc height of running surface 10 mm, bead diameter at rim seat 510 mm, bead width at rim seat 184 mm, maximum width position of cross section ( $H_1/H_2$ ) 0.753, using smooth pattern for the tread, pattern depth 51 mm, and adding groove depth measuring design on the tire shoulder. In the construction design, the following processes were taken: using three-layer structure for the tread, using 0.25+6+12×0.225HT steel cord for the carcass, 3+9+15×0.175+0.15HT steel cord for 1<sup>#</sup> belt, 3+9+15×0.22+0.15HT steel cord for 2<sup>#</sup> and 3<sup>#</sup> belts, 3×7×0.20HE steel cord for 4<sup>#</sup> belt, using one-stage two-drum building machine to build the tire and dual-mode hot plate curing press to cure the tire. The test results of the finished tire showed that the inflation peripheral dimension and physical properties of the finished tire met the requirements of national standard and corresponding design.

**Key words:** smooth off-the-road radial tire for underground mining; structure design; construction design; finished tire performance