# 425/65R22.5矿山用宽基全钢载重子午线轮胎的设计

王秀梅，宫金荣，隋　斌，王传志，邢正涛，高兴鹏
（青岛双星轮胎工业有限公司，山东 青岛　266400）

**摘要：**介绍矿山用425/65R22.5矿山用宽基全钢载重子午线轮胎的设计。结构设计：外直径　1 126 mm，断面宽　441 mm，行驶面宽度　356 mm，行驶面弧度高　14.5 mm，胎圈着合直径　569.4 mm，胎圈着合宽度　355 mm，断面水平轴位置（$H_1/H_2$）　1.002，采用横向大块曲折花纹沟设计，花纹深度　24 mm，花纹饱和度　62%，花纹周节数　33。施工设计：胎面采用大分层加贴缓冲胶片设计；胎体采用3＋9＋15×0.20ST钢丝帘线；带束层采用3层加0°结构设计，1#和2#带束层采用3＋9＋15×0.22＋0.15NT钢丝帘线，3#带束层采用5×0.30HI钢丝帘线，0°带束层采用3×7×0.20HE钢丝帘线；采用一次法成型机成型，1 651 mm（65英寸）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、强度性能和耐久性能均达到相应设计和国家标准要求。

**关键词：**矿山用轮胎；全钢载重子午线轮胎；结构设计；施工设计
**中图分类号：**U463.341+.3/.6　　**文章编号：**2095-5448（2019）09-0506-05
**文献标志码：**A　　**DOI：**10.12137/j.issn.2095-5448.2019.09.0506

近年来，随着轮胎工业的发展，轮胎的使用呈现多样化和差异化，用户对轮胎的使用要求越来越高。

目前，国内矿山轮胎的规格主要为11.00R20，12.00R20，12R22.5和13R22.5，且矿山车辆多采用双胎并装。双胎并装轮辋的装卸过程复杂且成本高，整车质量大，油耗高。国外子午线轮胎发展较快且大部分为无内胎子午线轮胎，同时也多采用宽基轮胎替代双胎并装[1]。

为了抓住市场机遇，提升产品档次，打造用户需求的差异化产品，我公司根据国外客户提供的车型、路况现状，针对矿山用宽基子午线轮胎的抗刺扎、抗撕裂、高负载等特点进行技术研究，开发了425/65R22.5矿山用宽基全钢载重子午线轮胎，现将其设计情况简介如下。

## 1　技术要求

我公司业务人员与客户交流及实地市场调研，确认该轮胎主要销往美洲市场，使用车型主要为拖挂车，运输货物为金属矿物质，使用路况大部分为矿区砂石路。根据轮胎的使用工况，参考《美国轮胎轮辋协会标准年鉴》（TRA），确定425/65R22.5矿山用宽基全钢载重子午线轮胎的主要技术参数为：标准轮辋　12.25×22.5，充气外直径（$D'$）　1 124（1 107.425～1 140.575）mm，充气断面宽（$B'$）　422（405.12～438.88）mm，标准充气压力　830 kPa，单胎额定负荷　5 150 kg，速度级别　J。

## 2　结构设计

### 2.1　外直径（$D$）和断面宽（$B$）

子午线轮胎的胎体帘线与胎冠中心呈90°或接近90°角排列，带束层帘线接近于周向排列，紧箍在胎体上，因此充气后轮胎的外直径膨胀率（$D'/D$）较小。设计$D$时，其尺寸需符合技术要求。根据经验，并结合现有规格轮胎及竞争产品的$D$统计分析，确定$D$取1 126 mm，$D'/D$为0.998 2。

根据$B'$和充气后断面宽膨胀率（$B'/B$）确定$B$，考虑宽基轮胎的$B$较常用轮胎大0.5～1倍，断

**作者简介：**王秀梅（1984—），女，山东济宁人，青岛双星轮胎工业有限公司工程师，学士，主要从事轮胎结构设计工作。
**E-mail：**wxm@doublestar.com.cn

面高宽比小，断面宽变化率稍大，设计$B$时，需符合技术标准要求，并参考竞争产品及本公司现有规格轮胎的$B$，还要考虑扁平比，达到轮廓平衡。根据一般轮胎设计经验和规律，$B$值应随着胎圈着合宽度（$C$）的变化而变化。近年来，由于轮胎进一步扁平化发展，从轮胎应力分布和工艺需要，一般在标准轮辋宽度的基础上适当加大以设计$C$，公制系列轮胎$C$每增大10 mm，$B$增大4 mm。结合其他途径搜集的数据，综合权衡确定$B$为441 mm，$B'/B$为0.957。

### 2.2 行驶面宽度（$b$）和弧度高（$h$）

一般情况下，结合实际需要，根据$b/B$控制$b$在一定范围内。高速路和路况较好的条件下$b$取值较小，较差路况下且车速较小时，$b$取值较大。目前$b$取值朝越来越大的方向发展，但$b$较大时，胎面半径（可表征接地印痕压力）若控制不当，易发生偏磨，影响轮胎的耐磨性能。另外，从耐热性能、耐久性能和成本方面考虑，也应控制好$b$。本次开发的轮胎专用于矿区车辆运输，针对较差的路况，应适当增大$b$值，从而增大轮胎内腔体积和负荷量，使胎冠受力均匀，减少使用过程中的胎肩部位应力集中。综合考虑多种因素，确保各性能配合最佳，$b$应与$C$接近，本设计$b$取356 mm。

由于行驶面较宽，宽断面轮胎在充气状态下可能会出现鼓冠现象，特别是胎冠中部，而在使用过程中接地时又会出现胎冠内鼓，造成胎冠变形较大，易造成冠空。故在设计时应充分考虑这些因素的影响，通过$h$的取值抵消部分变形。本设计$h$取14.5 mm。

### 2.3 胎圈着合直径（$d$）和$C$

胎圈部位轮廓尺寸是根据每个标准使用轮辋的法兰形状设定成一个胎圈部位形状进行设计的，以使轮胎与轮辋适配。一般$d$比轮辋相应部分直径小。$d$过大，会造成轮胎与轮辋配合不紧密，轮辋和胎圈部位在轮胎转动时发生相对位移，从而导致轮胎胎圈部位磨损轮辋；$d$过小，会造成轮胎装配困难，胎圈部位过盈力大，钢丝圈安全倍数降低，从而导致钢丝圈强力下降，甚至发生断裂而造成轮胎早期损坏。本设计$d$取569.4 mm。

由于轮胎进一步扁平化，从轮胎应力分布和工艺需要考虑，低断面无内胎宽基轮胎在标准轮辋宽度的基础上加大以设计轮辋宽度，应适当增大$C$值，以提高低断面轮胎胎侧的柔软度，本设计$C$取355 mm。

### 2.4 断面水平轴位置（$H_1/H_2$）

$H_1/H_2$取值的合理性很大程度上决定施工设计中带束层和胎圈的设计方案。$H_1/H_2$是保证轮胎所受应力整体平衡的重要参数，取值时并非在取值范围内随便选取，而需要通过设计、试验及使用积累数据和经验进行取值。低断面无内胎轮胎因胎侧过短，$H_1/H_2$的取值范围较窄，结合材料布置，使其最大变形部位在胎侧最薄处，本设计$H_1/H_2$取1.002。轮胎断面轮廓如图1所示。

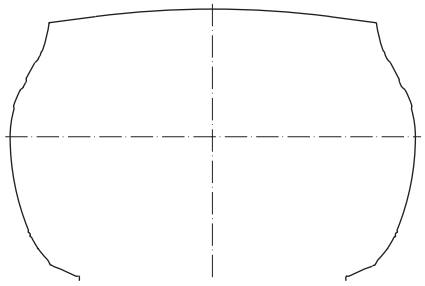


图1 轮胎断面轮廓示意

### 2.5 胎面花纹

胎面花纹的设计是为确保轮胎与路面的摩擦系数，使轮胎发挥制动、驱动、转弯特性等。另外，胎面花纹与轮胎耐磨性能、抗刺穿性能和振动噪声也密切相关。设计胎面花纹时必须明确设计目标，正确掌握现状水平，了解轮胎的销售地、使用环境、使用车型等信息。本设计轮胎主要出口美洲市场，用于矿区车辆使用的驱动轮位，根据矿区行驶路况恶劣、车辆承载大、行驶速度低的特点进行胎面花纹设计。胎冠花纹采用横沟曲折渐变、纵沟镶嵌的大块花纹设计，具有出众的驱动能力、牵引性能和防侧滑性能；在胎肩开槽，提高散热性；胎肩花纹块加强筋设计有效防止崩花、掉块；深花纹沟和加宽行驶面设计使轮胎冠部接地压力分布更均匀，易操控，行驶更稳定、安全。本设计花纹深度为24 mm，花纹周节数为33，花纹饱和度为62%。胎面花纹展开如图2所示。胎面花纹立体效果如图3所示。

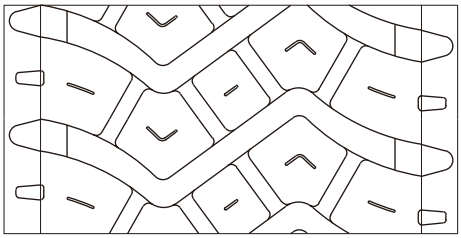


图2 胎面花纹展开示意

图3 胎面花纹立体效果

## 3 施工设计

根据宽基矿山轮胎的性能要求，结合轮胎各部件在轮胎功能中的作用，从胎面配方、新型胎体钢丝帘线开发、钢丝圈结构、带束层结构等方面进行施工设计。

### 3.1 胎面

胎面与胎体、带束层和胎圈均为轮胎部件，胎面与路面直接接触，应具有如下作用：减小路面对带束层和帘布层的冲击；确保轮胎的寿命；传递制动、驱动、牵引力，确保操纵性和直行稳定性；提高耐热性能和耐久性能。胎面采用大分层结构，胎面上层冠部胶采用矿山专用抗撕裂配方胶料以保证胎面硬度和耐磨耗性能，提高轮胎的抗刺扎性能和耐磨性能；胎面基部胶采用低生热胶料，保证胎肩的耐久性能，减小带束层与胎面之间的应力，增强带束层与胎面之间的粘合性，延长轮胎使用寿命10%以上。

### 3.2 胎体

胎体承受轮胎使用时的复杂应力和多次变形，并减缓路面振动和冲击，胎体必须有足够大的强度。针对宽基矿山轮胎的使用路况及负荷能力，本设计胎体材料选用去除外缠丝且耐疲劳性能好的新型高强度3＋9＋15×0.20ST钢丝帘线，胎体帘布采用双面覆胶法，新型高强度钢丝帘线直径减小，适当提高压延密度和总体强度，其安全倍数为11.2，满足宽基矿山轮胎对胎体强度的要求。

### 3.3 带束层

带束层除了起缓和冲击的作用外，主要的作用为箍紧胎体、平衡轮胎形状。对于子午线轮胎，带束层还是主要受力部件，其应采用高强度、高模量和小角度排列的帘线增强材料。本设计采用3层带束层加0°带束层结构，其中1#和2#带束层采用3＋9＋15×0.22＋0.15NT钢丝帘线；3#带束层采用5×0.30HI钢丝帘线；0°带束层采用3×7×0.20HE钢丝帘线；安全倍数为7.6。

### 3.4 钢丝圈

胎圈是车辆和轮胎的接点，并介入轮辋，具有将车辆的操控力传递到轮胎及路面（或者相反，把从路面及轮胎的力传递到车辆）的重要功能，承受外胎与轮辋的各种相互作用力，与胎体和带束层同时支撑着轮胎所承受的负荷和气压，因此钢丝圈是轮胎的基础部件及重要组成部分。全钢载重子午线轮胎的钢丝圈断面形状较多，可分为六角形、圆形、椭圆形和矩形等，根据我公司现有工装及生产工艺，宽基矿山轮胎的钢丝圈为六角形结构。针对宽基矿山轮胎负荷大的特点，本设计在常规钢丝圈的基础上，增加钢丝根数，保证胎圈具有足够的强度和刚性，为轮胎提供良好的支撑性能。钢丝圈排列形式为10-11-12-13-13-12-11-10，共92根，安全倍数为7.1。

### 3.5 胎圈三角胶

胎圈三角胶由胎圈上三角胶和胎圈下三角胶构成。胎圈上三角胶的主要作用是减小胎体反包和胎圈包布端点的应力和生热，三角胶胶料应具有适当的硬度和弹性、低生热、优良的耐热性能和耐疲劳性能。胎圈下三角胶把帘布固定在钢丝圈部位，以提高胎圈部位整体的刚性，具有确保轮胎直行稳定性、操纵稳定性的机能，其胶料应具有硬度高、耐热性能和耐疲劳性能优良的特性。

### 3.6 胎圈包布

胎圈包布既作为增强胎圈刚性的补强材料，又作为主体材料帘布的保护材料，对于轮胎的耐久性能和使用寿命相当重要。在充分掌握轮胎的

用途、使用条件、设计质量目标后，本设计采用柔软性和抗弯曲疲劳性能较好的3×7×0.20HE钢丝帘线。

### 3.7 成型和硫化

成型采用一次法成型机，成型机头直径为535 mm，宽度为870 mm。硫化使用1 651 mm（65英寸）热板式硫化机，采用氮气硫化工艺，选择先进的硫化设备，取消过热水。氮气硫化能提高硫化温度的均匀性，保证产品质量，缩短硫化时间，提高生产效率，硫化条件为：内饱和蒸汽压力（1.8±0.1）MPa，内饱和蒸汽温度 （207±3）℃，高压氮气压力 （2.6±0.15） MPa，模套温度（160±2） ℃，热板温度 （152±2） ℃，总硫化时间 54.2 mim。

## 4 轮胎结构优化设计

根据主要设计参数，制定5种不同方案，利用有限元仿真对三角胶尺寸及材料（高度、厚度和软硬胶分布比例）、胎体反包高度、胎圈包布与胎体反包结构方式、带束层材料、带束层参数（宽度和角度）等进行优化，以实现轮胎各部件之间、各材料内部应力分布的匹配，获得最优接地印痕，并减小轮胎下沉量。

### 4.1 接地印痕分析

轮胎理想的接地印痕越接近矩形，接地压力分布越均匀，轮胎越耐磨，使用寿命越长。不同方案轮胎接地印痕照片如图4所示。

根据图4中轮胎接地印痕照片，选择方案5对轮胎进行优化设计。

### 4.2 胎体反包端点应变曲线

对于子午线轮胎，胎体反包高度是影响胎圈耐久性能的重要因素，反包高度过大或过小均容易导致反包端点脱层和胎圈破裂。胎体反包端点胶料的不良流动也可能引发胎侧裂口等不良现象。

不同方案胎体反包端点应变曲线如图5所示。由图5可知：方案1和方案5胎体反包端点接地部位的应变变化趋势与其他方案相反；胎体反包端点整体应变最大值按从大到小顺序为方案1，2，4，3，5；胎体反包端点整体应变最小值按从小到大顺序为方案2，1，4，5，3。综上所述，选择胎体反包端点应变变化较小的方案5对轮胎结构进行优化设计。

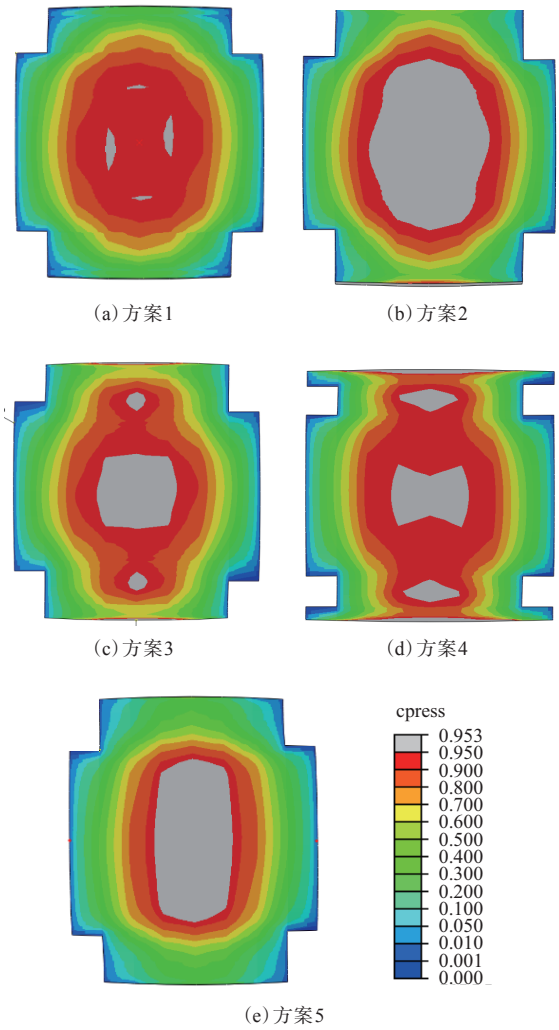
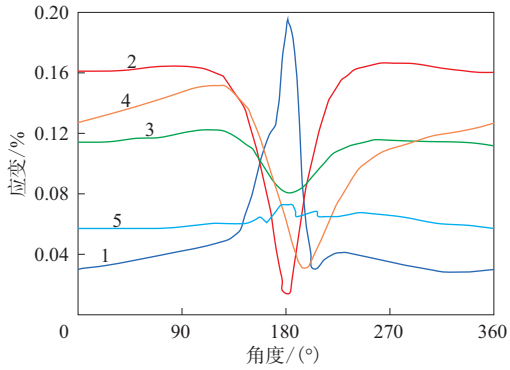



图4 不同方案轮胎接地印痕照片




1—方案1；2—方案2；3—方案3；4—方案4；5—方案5。

图5 不同方案胎体反包端点应变曲线

## 5 成品性能

### 5.1 外缘尺寸

成品轮胎安装于标准轮辋上，在标准充气压力下，按照GB/T 521—2012《轮胎外缘尺寸测量方法》进行测试，轮胎的$D'$和$B'$分别为1 128和427 mm，均符合设计要求。

### 5.2 静负荷

在5 150 kg负荷、830 kPa充气压力下进行静负荷检测，轮胎的静负荷半径为512 mm，最大下沉量为51.88 mm，下沉率为18.7%，负荷下接地宽度为271 mm，接地长度为355 mm，印痕面积为962 $cm^2$。

### 5.3 强度性能

按照GB/T 4501—2016《载重汽车轮胎性能室内试验方法》进行成品轮胎强度性能试验，试验条件为：充气压力 830 kPa，压头直径 38 mm。试验结果表明，第5点未压穿，轮胎破坏能为5 222.1 J，为国家标准规定值的249.86%，符合设计要求。

### 5.4 耐久性能

成品轮胎耐久性试验按照GB/T 4501—2016进行，试验条件为充气压力 830 kPa，试验负荷5 150 kg。当完成国家标准的规定程序47 h后，试验转鼓速度不变，每延长10 h负荷率增大10%继续进行试验，累计行驶时间为89.87 h，试验结束时轮胎状况为肩空，成品轮胎的耐久性能良好，符合设计要求。

## 6 结论

425/65R22.5矿山用宽基全钢载重子午线轮胎的充气外缘尺寸、强度性能、耐久性能均符合设计以及国家标准和企业标准要求。该轮胎的特点如下：优化花纹设计，轮胎的驱动性和爬坡能力提高；采用矿区专用抗撕裂胶料配方，增强轮胎的抗扎性能和耐磨性能，配合超高强度骨架材料提高轮胎的承载性能；在矿区使用时，轮胎的抗冲击性能和抗刺扎性能较优，故障率低，承载能力大，安全性高，使用寿命长。自投放美洲市场以来，轮胎使用效果较好，得到了客户好评，为公司创造了良好的经济效益和社会效益。

**参考文献：**

[1] 李福香，张春颖，邢正涛. 445/45R19.5超低断面宽基无内胎全钢载重子午线轮胎的设计[J]. 橡胶工业，2017，64(3)：170-173.

**收稿日期**：2019-05-16

# Design on 425/65R22.5 Wide-base Truck and Bus Radial Tire for Mine

*WANG Xiumei, GONG Jinrong, SUI Bin, WANG Chuanzhi, XING Zhengtao, GAO Xingpeng*

(Qingdao DoubleStar Tire Industry Co., Ltd, Qingdao 266400, China)

**Abstract**: The design on 425/65R22.5 wide-base truck and bus radial tire for mine was described. In the structure design, the following parameters were taken: overall diameter 1 126 mm, cross-sectional width 441 mm, width of running surface 356 mm, arc height of running surface 14.5 mm, bead diameter at rim seat 569.4 mm, bead width at rim seat 355 mm, maximum width position of cross-section ($H_1/H_2$) 1.002, large transverse zigzag pattern groove design for tread, pattern depth 24 mm, block/total ratio 62%, and number of pattern pitches 33. In the construction design, the following processes were taken: large layered construction for tread with cushion rubber layer, 3+9+15×0.20ST steel cord for carcass, 3 layer cord plus 0° structure design for the belt, 3+9+15×0.22+0.15NT steel cord for 1# and 2# belt layers, 5×0.30HI steel cord for 3# belt layer, 3×7×0.20HE steel cord for 0° belt layer; using single-stage building machine to build tire, and 1 651 mm (65 inch) hot plate curing press to cure tire. It was confirmed by the finished tire test that, the inflated peripheral dimension, strength performance and durability met the requirements of the design and national standards.

**Key words**: tire for mine; truck and bus radial tire; structure design; construction design