

# 全路面起重机用445/95R25无内胎全钢工程机械子午线轮胎的设计

张燕龙,王雪岗,岳振,刘本鑫,印海建

[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:**介绍全路面起重机用445/95R25无内胎全钢工程机械子午线轮胎的设计。结构设计:外直径 1 478 mm,断面宽 448 mm,行驶面宽度 355 mm,行驶面弧度高 12 mm,胎圈着合直径 630 mm,胎圈着合宽度 286 mm,断面水平轴位置( $H_1/H_2$ ) 0.96,采用大弧度块状花纹设计,花纹深度 25 mm,花纹饱和度 64%,花纹周节数 54。施工设计:采用冠部胶和基部胶双层胎面设计,带束层采用3+9+15×0.225HT钢丝帘线,胎体采用7×7×0.22+0.15HT钢丝帘线,采用一次法四鼓成型机成型、单模蒸锅式硫化机硫化。成品性能试验结果表明,轮胎的充气外缘尺寸和耐久性分别符合国家标准和企业标准要求。轮胎配备了智能轮胎监测系统实时监测行车过程中轮胎状态,在胎压或充气压力达到报警阈值时及时提醒司机停车休息,提高了轮胎行驶安全性,延长了轮胎的使用寿命。

**关键词:**全路面起重机;无内胎全钢工程机械子午线轮胎;结构设计;施工设计;耐久性能;智能轮胎监测系统

**中图分类号:**U463.341<sup>+</sup>.5/.6;TQ336.1

**文献标志码:**A

**文章编号:**1006-8171(2023)10-0598-05

**DOI:**10.12135/j.issn.1006-8171.2023.10.0598



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

随着现代经济的快速发展,我国基础设施建设日益增长,尤其是风电、化工等行业发展迅猛,对建筑类型工程机械车辆的市场需求显著提升<sup>[1]</sup>。全路面起重机具有全轮转向和多轴驱动的特点,适用于多种工况的全路面吊装作业<sup>[2]</sup>,并具备长途高速转场能力,以适应吊装作业地点分布广而散的现状。全路面起重机经常在恶劣场景进行吊装作业,路面布满石子或建材废料,因此要求轮胎既能确保车辆在高速转场过程中的安全可靠,又要具备一定的抗切割性能。

随着吊装作业需求的日益增加,主机厂不断迭代大载荷全路面起重机<sup>[3-5]</sup>,不仅提高吊载能力,同时车辆可带行驶的上装设备逐渐增多,如在高速转场时可带全臂全腿、可携带配重块行驶,导致轮胎的单胎负荷不断提高,部分轮位的轴荷达到18 t以上,对轮胎行驶安全性提出了更高的要求。高速长距离转场过程中,轮胎生热导致橡胶老化而引起的爆胎问题不仅延长宕机时间<sup>[6]</sup>,更严重影

响车辆行驶安全。

为适应不断变化的市场需求,我公司针对起重高速、重载应用场景,开发了445/95R25无内胎全钢工程机械子午线轮胎,现将相关设计情况介绍如下。

## 1 技术要求

根据《美国轮胎轮辋标准协会标准(TRA—2016)》及《欧洲轮胎轮辋技术组织标准手册(ETRTO—2018)》,确定445/95R25无内胎全钢工程机械子午线轮胎的技术参数如下:标准轮辋 11.25/2.0,充气外直径( $D'$ ) 1 481(1 464~1 498) mm,充气断面宽( $B'$ ) 435(422~474) mm;适用于E2使用条件(移动式起重机)的无内胎轮胎,充气压力 900 kPa,额定负荷 6 700 kg。

## 2 结构设计

### 2.1 外直径( $D$ )和断面宽( $B$ )

结构设计采用了平衡轮廓设计理论,通过仿真建模手段进行模拟分析,同时综合全路面起重机在终端客户的实际使用工况以及客户的痛点需求,最终优化确定 $D$ 为1 478 mm, $B$ 为448 mm。

**作者简介:**张燕龙(1980—),男,山西运城人,青泰凯英(青岛)专用轮胎技术研究开发有限公司高级工程师,学士,主要从事工程机械轮胎的工艺和质量管理工作以及售后服务管理工作。

**E-mail:**joseph.zhang@techking.com

## 2.2 行驶面宽度( $b$ )和弧度高( $h$ )

全路面起重机轮胎的全生命周期中约90%在状况良好路面上长距离高速转场行驶,而 $b$ 和 $h$ 决定了轮胎的耐磨性能和使用寿命。市场调研发现多个品牌起重机轮胎存在肩部偏磨及花纹块前高后低等畸形磨损情况。因此,针对全路面起重机长距离高速连续行驶的场景,为确保轮胎均匀磨损,延长轮胎的使用寿命,通过仿真模拟分析轮胎的接地印痕形状和接地压力分布,最终优化确定 $b$ 为355 mm, $h$ 为12 mm。

## 2.3 胎圈着合直径( $d$ )和着合宽度( $C$ )

市场调研时发现国内大载荷全路面起重机转场时普遍处于高载荷状态,客户为提高转场效率,节约拖车成本,全路面起重机转场过程中基本带全臂全腿行驶,导致轮胎胎圈部位变形较大,与轮辋之间产生接触磨损。考虑起重机在高速、重载条件下使用,为避免胎圈与轮辋之间产生滑移, $d$ 取630 mm。为获得良好的装配接触性能,同时满足轮胎拆卸的便利性,本次设计 $C$ 取标准值,为286 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最宽处,也是轮胎断面最薄、胎侧横向变形最大的位置, $H_1/H_2$ 取值将直接影响轮胎胎肩与胎圈部位的受力平衡情况<sup>[7]</sup>。 $H_1/H_2$ 取值过小,会导致胎圈部位在加载、释放的循环状态下出现较大的疲劳积累,从而使得胎圈部位异常损坏; $H_1/H_2$ 取值过大,容易造成轮胎肩部应力过大,产生肩空和脱层等问题。

全路面起重机在施工作业时,通过支腿将车辆架起,轮胎悬空不受力;在作业场地内存在短距离低速、重载移动的情况;在转场行驶过程中轮胎处于长运距高速、重载状态,市场上轮胎主要病象以肩部生热过大导致的肩空为主。本设计尽量减小肩部带束层端点处的屈挠程度,减小橡胶应变,从而降低肩部生热,同时兼顾控制重载下的胎圈部位变形,因此 $H_1/H_2$ 取0.96。

轮胎断面轮廓如图1所示。

## 2.5 胎面花纹

全路面起重机在作业过程中存在多轴转向和原地小角度扭转情况,负荷大加上恶劣的路况,导致轮胎胎面磨损加快,使得轮胎的更换频率加

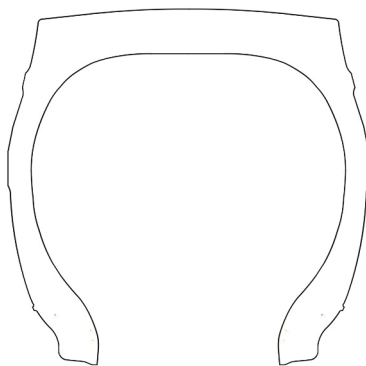


图1 轮胎断面轮廓示意

快<sup>[8-11]</sup>。针对多轴转向带来的轮胎异常磨损问题,同时结合胎肩生热问题,胎肩花纹采用半封闭设计,并增加散热孔,既可有效控制成本,又能有效降低生热。

为满足长运距高速稳定行驶,胎面花纹采用4条纵沟、沟槽采用轻沟槽设计;为兼顾复杂路面的驱动性能,采用大弧度块状花纹设计,冠弧展开长度为355 mm,花纹节距宽度为85.5 mm,花纹深度为25 mm,花纹饱和度为64%,花纹周节数为54。

胎面二维花纹和三维花纹效果分别如图2和3所示。

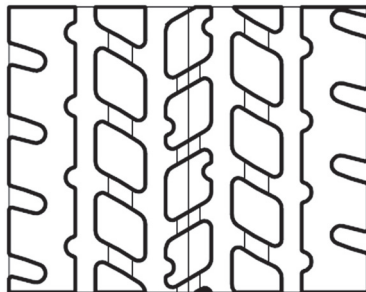


图2 胎面二维花纹示意



图3 胎面三维花纹效果

## 2.6 负荷能力

轮胎结构设计重要的一步是根据用途测算轮胎的负荷能力,主要依据《美国轮胎轮辋协会工程设计手册(TRA EDI—2020)》计算轮胎负荷。根据移动式起重机用工程机械子午线轮胎单胎负荷计算公式计算得出,445/95R25无内胎全钢工程机械子午线轮胎在 $40\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 行驶速度下的负荷能力为9 180 kg,满足轮胎技术条件和整车技术要求。

## 3 施工设计

### 3.1 胎面

胎面是轮胎直接接触地面的部位,对起重机轮胎胎面胶的要求一般是具备全路面工况行驶性能,重点兼顾高速性能、生热和耐磨性能。因此,采用冠部胶和基部胶双层胎面设计。考虑起重车辆全路面的作业行驶特点和轮胎肩空的主要失效模式,冠部胶选用硬度较高、抗刺扎的胶料配方,以保证复杂路面上轮胎的抗切割和耐磨性能;基部胶采用低生热胶料配方,同时保证胎面与带束层之间具有良好的过渡性能,以降低轮胎生热,减少肩空故障。

### 3.2 带束层

全钢工程机械子午线轮胎一般采用3—6层带束层。本设计采用3层带束层,均采用 $3+9+15\times 0.225\text{HT}$ 钢丝帘线,带束层安全倍数为6.9,满足使用要求。因全路面起重机需具备长距离高速转场的性能要求,带束层包胶和隔离胶采用工程机械轮胎定制模量的高速配方,以提升轮胎的耐久性能。

### 3.3 胎体

胎体骨架主要起承载作用,本设计胎体采用 $7\times 7\times 0.22+0.15\text{HT}$ 钢丝帘线,胎体安全倍数为6.3,满足使用要求。由于起重机轮胎在作业过程中扭转程度大且频次高<sup>[12]</sup>,因此胎体帘布采用高反包设计,即胎体帘布反包高度超过轮胎的断面水平轴,以支撑胎侧,降低高频扭转带来的胎圈部位损坏风险。

### 3.4 胎圈

胎圈的主要作用是车辆在启动和制动时能够将轮胎牢牢紧固在轮辋上。本设计胎圈采用传统

的六边形钢丝圈结构,钢丝总根数为102,钢丝直径为1.8 mm,覆胶钢丝直径为2.0 mm,胎圈安全倍数为6.2,满足使用要求。

### 3.5 成型

采用一次法四鼓成型机成型,以提升生产效率<sup>[13]</sup>。胎体帘布高反包结构需要充气胶囊助推到位,控制胶囊充气时长,并关注胎侧的辊压排气,以降低胎体帘布反包处的工艺缺陷<sup>[14]</sup>。

### 3.6 硫化

采用单模蒸锅式硫化机硫化。硫化条件为:内温  $(175\pm 3)^\circ\text{C}$ ,外温  $(143\pm 2)^\circ\text{C}$ ,内压  $(0.8\pm 0.05)\text{ MPa}$ ,外压  $(0.30\pm 0.02)\text{ MPa}$ ,总硫化时间 85 min,硫化轮胎无外观质量缺陷,检测合格。

## 4 成品轮胎性能

### 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 $D'$ 为1 478 mm, $B'$ 为448 mm,符合国家标准要求。

### 4.2 耐久性能

参考GB/T 30193—2013并结合企业测试标准进行轮胎耐久性试验,试验条件如表1所示。

按照国家标准要求完成前3个阶段测试后轮胎无损坏;企业标准要求轮胎必须通过第13个阶

表1 轮胎耐久性试验条件

| 试验阶段 | 负荷率/% | 行驶时间/h |
|------|-------|--------|
| 1    | 65    | 7      |
| 2    | 85    | 16     |
| 3    | 100   | 24     |
| 4    | 110   | 10     |
| 5    | 120   | 10     |
| 6    | 130   | 10     |
| 7    | 140   | 10     |
| 8    | 150   | 10     |
| 9    | 160   | 10     |
| 10   | 170   | 10     |
| 11   | 180   | 10     |
| 12   | 190   | 10     |
| 13   | 200   | 10     |

注:充气压力为900 kPa,标准负荷为6 700 kg,试验速度为 $35\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ,环境温度为 $(38\pm 3)^\circ\text{C}$ 。

段测试。结果表明,轮胎测试至第13个阶段结束,累计行驶147 h后轮胎未发生损坏。轮胎的耐久性能达到企业标准要求,超过国家标准要求。

## 5 智能轮胎监测系统的应用

在长距离高速、重载使用工况下,全路面起重机轮胎常见失效模式为肩空,因轮胎连续高速、重载行驶,胎肩内部积累的热量逐渐增加且得不到释放,长时间处于高温状态会大大缩短轮胎使用寿命,并伴有高热肩空风险,因此需要司机养成良好的行车习惯,及时停车休息,让轮胎降温。本设计的445/95R25无内胎全钢工程机械子午线轮胎配备了智能轮胎监测系统,实时监控行车过程中轮胎状态,当胎温或充气压力达到报警阈值时,及时提醒司机停车休息,从而实现规范司机驾驶习惯,降低轮胎因高热引发的失效风险,提高轮胎行驶安全性,延长轮胎的使用寿命。例如全路面起重机600T终端客户装配了445/95R25工程机械子午线轮胎,同时配备智能轮胎监测系统,车辆在转场行驶过程中带全臂全腿,轴负荷达到18 t左右,以 $40\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的平均速度连续行驶3.5 h,重载轮位均触发高温报警;次日按规范要求行车2 h停车休息0.5 h,重载轮位均处于良好运行状态。两种行车状态下的轮胎的温升曲线对比见图4。

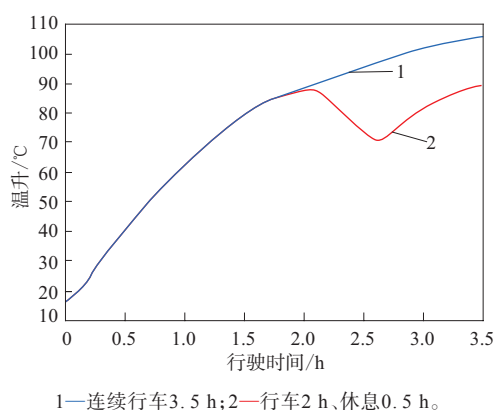


图4 不同行车习惯下的温升曲线对比

从图4可以看出,应用智能轮胎监测系统后,规范了司机良好的行车习惯,降低了轮胎行驶过程中的温度上限,提高了轮胎行驶安全性。

## 6 结语

针对全路面起重机长运距、重载场景设计开发的445/95R25无内胎全钢工程机械子午线轮胎的外缘尺寸满足国家标准要求,耐久性能达到企业标准要求。该产品投入市场后,终端客户反馈轮胎使用效果优良,在大载荷全路面起重机细分市场占比高,轮胎失效比例得到显著控制,为全路面起重机提供了有效的轮胎解决方案,同时通过智能轮胎监测系统,行车过程实时监控轮胎状态,不仅规范了司机良好的行车习惯,同时提升了轮胎行驶安全性和使用寿命。

## 参考文献:

- [1] 黄胜红. 国内外大型起重机的研究现状及发展趋势[J]. 工业C, 2016(4):101.
- [2] 丁中立. 国外全路面起重机的发展动向与产品现状[J]. 世界机电技术,1991(3):4-8.
- [3] 卓先领,张海燕. 徐重:200 t级全路面起重机[J]. 工程机械文摘, 2005(4):44.
- [4] 张琳. 徐工重型:中国首台240吨全路面起重机顺利施工[J]. 工程机械,2007(7):92.
- [5] 赵志国. 徐工集团在2010年宝马展上推出国内最大吨位起重机[N]. 中华建筑报,2010-11-27(3).
- [6] 邢程,余本祎,蔡莹莹. 轮胎老化耐久性能的研究[J]. 橡胶科技, 2019,17(3):146-150.
- [7] 樊军伟,董青松,任利利,等. 无内胎全钢载重子午线轮胎胎圈损坏原因分析及解决措施[C]. “中国化工风神杯”第16届中国轮胎技术研讨会,北京:中国化工学会橡胶专业委员会,2010.
- [8] 王洁,李钊,李子然. 全钢载重子午线轮胎胎面磨损行为研究[J]. 浙江大学学报,2021,55(9):1615-1624.
- [9] 许顺凯,臧孟炎,周涛. 基于几何更新方法的轮胎胎面磨损行为分析[J]. 机械设计与制造工程,2018,47(3):86-90.
- [10] 赵亚元. 子午线轮胎胎面磨损性能的有限元分析[D]. 青岛:青岛科技大学,2015.
- [11] 李钊. 轮胎胎面磨损行为的实验研究与数值分析[D]. 合肥:中国科学技术大学,2013.
- [12] 王东华. 全路面起重机转向桥振动研究[D]. 长春:吉林大学, 2011.
- [13] 张建造,张芝泉. 四鼓式全钢丝工程子午线轮胎一次法成型机[P]. 中国:CN 2765767,2006-03-22.
- [14] 廖桂松,沈中华,曹卫华,等. 基于ANSYS软件的工程机械轮胎后充气装置机架的轻量化研究[J]. 橡胶工业,2023,70(1):62-67.

收稿日期:2023-05-29

## Design on 445/95R25 Tubeless All-steel Off-The-Road Radial Tire for All-terrain Crane

ZHANG Yanlong, WANG Xuegang, YUE Zhen, LIU Benxin, YIN Haijian

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

**Abstract:** The design on 445/95R25 tubeless all-steel off-the-road radial tire for all-terrain crane was described. In the structural design, the following parameters were taken: overall diameter 1 478 mm, cross-sectional width 448 mm, width of running surface 355 mm, arc height of running surface 12 mm, bead diameter at rim seat 630 mm, bead width at rim seat 286 mm, maximum width position of cross-section ( $H_1/H_2$ ) 0.96, using a large radian block pattern design, pattern depth 25 mm, block/total ratio 64%, and number of pattern pitches 54. In the construction design, the following processes were taken: adopting cap compound and base compound double-layer tread design, 3 + 9 + 15 × 0.225HT steel cord for belt, 7 × 7 × 0.22 + 0.15HT steel cord for carcass, one-step four-drum building machine for building and single-mode steamer curing press for curing. The results of finished tire performance tests showed that the inflated peripheral dimension and durability met the requirements of national standards and enterprise standards respectively. The tire was equipped with an intelligent tire monitoring system to monitor the tire status in real time during driving, and timely remind the driver to stop and rest when the tire temperature or inflation pressure reached the alarm threshold, which improved the driving safety and prolonged the service life of the tire.

**Key words:** all-terrain crane; tubeless all-steel off-the-road radial tire; structural design; construction design; durability; intelligent tire monitoring system

### 一种越野轮胎生产装置

由山东玲珑轮胎股份有限公司申请的专利(公布号 CN 115716350A, 公布日期 2023-02-28)“一种越野轮胎生产装置”,公开了一种越野轮胎生产装置,包括轮胎L型加工台以及轮胎加工支架,轮胎加工支架安装于轮胎L型加工台上,轮胎L型加工台以及轮胎加工支架上安装有轮胎收卷结构、热熔成型结构、打磨结构以及自动化搬运结构。本发明通过自动化搬运结构将轮胎原料进行自动化水平搬运,通过轮胎收卷结构将橡胶轮胎皮自动化旋转收集,同时通过内外两侧的膨胀达到先期塑型的效果,之后通过自动化水平搬运到打磨与热熔结构之间,实现热熔成型与抛光打磨,方便后期根据不同的轮胎需求进行调节。

(本刊编辑部 马 晓)

### 一种智能轮胎柔性应变传感器及其制备方法

由广东粤港澳大湾区黄埔材料研究院申请的专利(公布号 CN 115682913A, 公布日期 2023-02-03)“一种智能轮胎柔性应变传感器及其制备方法”,公开了一种智能轮胎柔性应变传感器及其制备方法。本发明智能轮胎柔性应变传感器的下基底层为轮胎内胎面,在制备轮胎内胎面时,通过模具压印出智能轮胎柔性应变传感器的内嵌凹槽,再制备电阻层、加装电极以及封装层,最后进行硫化得到一体成型的智能轮胎柔性应变传感器。本发明智能轮胎柔性应变传感器为压印凹槽内嵌传感器,与轮胎为同一整体,无普通传感器的外置粘贴凸出结构,不影响轮胎内胎面形貌和安全性,且可以拉伸、弯折和扭曲,稳定性更好。

(本刊编辑部 马 晓)