

结构设计

大型工程机械轮胎的设计及制造探讨

文秀澄

(化工部北京橡胶工业研究设计院 100039)

摘要 大型工程机械轮胎的胎面花纹设计既要考虑胎面的“三耐”(耐磨、耐切割、耐刺穿)性能,又要兼顾胎面耐热和散热性能;胎体帘布选用尼龙帘线,各帘布筒采用不同的裁断角度,可避免下胎侧外层反包帘布局部打弯。无内胎大型工程机械轮胎胎圈着合直径应小于轮辋直径,其过盈量一般为 4—8mm;胎圈的钢丝圈为 3 个以上,各钢丝圈的直径不同;胎里气密层用氯化或溴化丁基橡胶胶料;胎坯及成品均需刺孔。

关键词 大型工程轮胎,高层级工程轮胎

随着我国大型矿山的采掘和大型水利工程建设快速发展,对工程机械的需求量不断增加,而其中轮式工程机械占的比例很大,所以用于配套和维修的大型高层级工程机械轮胎的用量也与日俱增。

国外大型工程机械轮胎的生产起始于 60 年代,主要集中于日本普利司通、美国固特异和法国米其林 3 家公司。

我院从 60 年代末开始研制大型工程机械轮胎,如 20.5 - 25,23.5 - 25 等规格,先后向国内有关轮胎厂转让生产技术,1991—1994 年还向泰国某轮胎公司转让了 23.5 - 25 20PR,16.00 - 25 28PR(无内胎)及 18.00 - 25 32PR(无内胎)等层级较高的工程机械轮胎技术软件,并为该公司制造出成品,其产品除供给泰国使用外,还远销美国、柬埔寨、东南亚等国家。近年来我院与河南轮胎厂、桂林轮胎厂合作研制出了 30.00 - 51 52PR 和 36.00 - 51 58PR 为代表的巨型高层级无

内胎工程机械轮胎,平均行驶里程达 3 万 km 以上,在技术及质量上接近国际先进水平。

现将笔者多年从事大型工程机械轮胎设计研究,以及两次赴泰国转让工程机械轮胎技术软件工作中的一些体会作一简要介绍。

1 大型工程机械轮胎胎面花纹设计

工程机械轮胎一般在矿山及水利工程地区使用,运载量大,速度较快,行驶路面条件恶劣(矿山多为碎石路面、铲窝多为爆碎锋利矿石块,且路面坡度大、转弯多;水利工程地区也同样是泥泞碎石路),因此轮胎割伤、刺伤严重,损坏较快。

为此,胎面花纹设计必须满足两方面的性能要求:既要耐磨、耐切割、耐刺穿(后简称“三耐”),又要生热低、散热快,而这两方面性能是相互矛盾的。为满足“三耐”性能要求,必须加深花纹沟、加厚基部胶、减小花纹沟面积,但是这样又会导致轮胎散热性差,从而使轮胎在高运载、高速、长时间行驶时温度急剧升高(胎面与缓冲层之间温度高达 120℃),在最厚的胎肩附近产生胎面脱层。我们在大型工程机械轮胎技术攻关中,曾遇到此问题,如攻关 30.00 - 51 52PR 轮胎时,曾进行两个方案花纹设计,一方案花纹轮胎“三耐”性能较好,但胎面生热高、散热慢,出

作者简介 文秀澄,女,59 岁。1959 年毕业于华南工学院橡胶专业。高级工程师。主要技术成果有:“国家农业轮胎标准制定”1985 年获国家科技进步二等奖;“30.00 - 51 及大型工程机械轮胎研制”1992 年获国家技术进步三等奖。“拖拉机轮胎花纹设计对牵引和耐磨性的影响”、“浅谈我国拖拉机轮胎发展”、“农业轮胎设计特点”、“巨型工程轮胎设计特点的探讨”等论文刊登于《轮胎工业》等刊物。

现胎面早期脱层,影响使用寿命的进一步提高;二方案花纹轮胎“三耐”性能较差些,但散热性好,基本解决了胎面脱层问题,轮胎使用

寿命有明显的提高。这两方案设计的主要参数及使用寿命对比见表 1,花纹形状见图 1 和 2。

表 1 30.00 - 51 52PR 工程机械轮胎花纹设计参数与寿命对比

方 案	行驶面宽 (b),mm	花纹深 (1/4b 处),mm	基部胶厚,mm		肩沟,mm		花纹等分	平均使用 寿命,km	花纹沟占 面积,%
			冠部	肩部	深度	宽度			
一方案	720	74	23	40	83	98	36	25838	31.3
二方案	720	80	15	24	104	106	38	31793	34.7 *

注: * 肩加 38 条细沟,宽、深各 10mm。

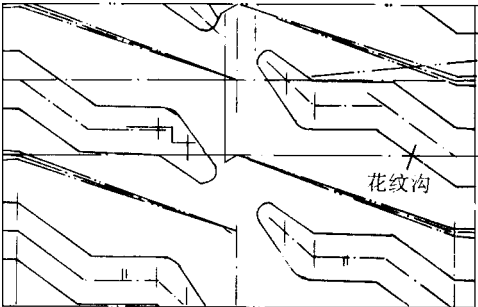


图 1 一方案花纹图

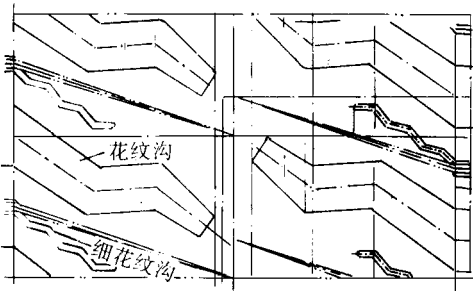


图 2 二方案花纹图

从表 1 看出,改进的第二方案主要是增加花纹块等分、减薄基部胶、加深加宽肩部花纹沟、增加细沟。这样改善了胎面散热性能,克服了胎面早期脱层,行驶里程有了一定提高,但因胎肩增加了细沟,致使轮胎耐切割性能不如第一方案,肩部出现崩花掉块现象,对轮胎里程的进一步提高有一定影响。

大型工程机械轮胎花纹对轮胎使用寿命影响很大,因此设计胎面花纹时既要考虑“三耐”性能要求,又要兼顾胎面耐热和散热性能

好(以免胎面早期脱层)。

2 大型工程机械轮胎胎体骨架材料的选取

高载荷大型斜交轮胎层级较高(一般在 20 层级以上),因此要考虑使用高强度的骨架材料,以减少帘布层数和帘布层总厚度、降低生热和轮胎重量、提高帘布层耐高温性能。尼龙帘线由于具有强力高、热稳定性好和耐压缩-伸张等优越性,可以满足这类轮胎帘布层的工作要求。

2.1 帘线类型的选取

工程机械轮胎可采用强力高、规格较大的尼龙帘线作胎体帘布,如用 2100dtex/2, 1400dtex/3 或 1870dtex/2 替代 1400dtex/2, 必然减少胎体帘布层数,提高生产效率和降低成本;同时由于胎体薄,能有效地抑制胎体中热的累积,提高散热性。缓冲层可用较细的 930dtex/2 尼龙帘线,以减少与胎体层的剪切力,提高粘合强度,对避免胎面脱层有好处。例如在 30.00 - 51 52PR 轮胎中,胎体层用 2100dtex/2 尼龙帘线替代 1400dtex/2 尼龙帘线,帘布层可以减少 10 层,即由 42 层减为 32 层;又如我们为某公司设计的 16.00 - 25 28PR 轮胎,胎体层采用 1400dtex/2 尼龙帘线,需 16 层帘布,轮胎重 230kg,后改用 1870dtex/2 尼龙帘线,只用 14 层帘布,轮胎重 209kg,减轻了 21kg。

2.2 胎体帘布层数的选取

各厂家生产同规格的工程机械轮胎,胎

体帘布层数不一定相同,而帘布选取多少层才合理呢?首先需要进行帘布安全倍数的计算。安全倍数取得大,则层数多,否则层数少。计算公式用彼得尔曼公式,即

$$N = P \frac{R_k^2 - R_0^2}{2 R_k \cdot \epsilon_i} \cdot \frac{1}{\cos^2 \beta_k}$$

式中 N ——单根帘线所受应力, kN;
 P ——轮胎充气压力, kPa;
 R_k ——胎里半径(即轮胎对称轴至断面最宽点距离), m;
 R_0 ——零点半径, m;
 β_k ——胎冠帘线角, (°);
 ϵ_i ——胎冠各层帘线密度和(包括缓冲层帘布), 根 $\cdot m^{-1}$ 。

$$K = S / N$$

式中 K ——帘线安全倍数;
 S ——帘线单根强力, kN。

根据我们的经验,帘线安全倍数一般为 12—15(使用条件苛刻时取大值)。但国外有些厂家安全倍数取值较小,如我院为国外某公司设计的 23.5 - 25 20PR 工程机械轮胎胎体用 1400dtex/2 尼龙帘布 12 层,缓冲层用 930dtex/2 尼龙帘布 4 层,帘布安全倍数为 13,而该公司投产时胎体改为 8 层,安全倍数仅为 9。据向该公司了解,未出现质量问题。由此可见,安全倍数取多少还要根据实际使用情况,在满足用户的使用要求下,尽可能取小些,以降低轮胎成本。

2.3 各帘布筒帘布采用不同的裁断角

过去,从国外专利了解到大型高层级轮胎的内、中、外层的帘布采用不同裁断角,当时觉得工艺麻烦,没有采用。1994 年我们给某公司设计 16.00 - 25 28PR 和 18.00 - 25 32PR 较高层级轮胎时,解剖试胎断面发现两个规格轮胎都存在同样问题,即在下胎侧外层反包帘布局部产生打弯(见图 3)。分析其原因,我们认为这是由于帘布层数多,成型鼓宽随着贴合的帘布层增加而增宽,尤其在成型鼓肩部,外层帘布比成品宽得太多,硫化时未

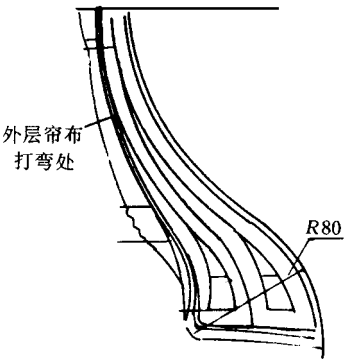


图 3 高层级工程机械轮胎外层帘布打弯部位能充分伸张而引起打弯。通过采取各帘布筒从里至外帘布裁断角递增 1° 的方法,即增加外层帘线的伸张,使帘线的内外层伸张均匀,使 16.00 - 25 28PR 轮胎帘布打弯问题得到了解决,但 18.00 - 25 32PR 轮胎打弯问题未能完全解决,可能是因规格太大,帘布层又较多,各布筒的裁断角应相差大些才合理。

解剖的国外大型工程机械轮胎,其胎冠帘线角(帘线与轮胎横向的交角)也是从内到外逐渐增大的,如固特异 36.00 - 51 58PR 轮胎,胎体帘布 36 层,胎冠角为 52.5—59°;日本东洋 30.00 - 51 52PR 轮胎,胎体帘布 32 层,胎冠角为 53—59°。表 2 示出了一些工程机械轮胎内、中、外帘线角度差别。

表 2 国外工程机械轮胎使用帘线的内、中、外帘线角差别

轮胎规格	使用的尼龙帘线	胎体层数	成品帘线胎冠角, (°)		
			内层	中间层	外层
18.00 - 33	2100dtex/2	18	46	50	54
24.00 - 49	2100dtex/2	24	50	55	59
30.00 - 51	2100dtex/2	32	49	55	61
36.00 - 51	2100dtex/2	40	48	55	62

化工部曙光橡胶工业研究所在对多层大型航空轮胎的研究中发现,该轮胎帘布如从里至外采用同一角度,必然会产生帘线伸张不均匀,抗爆破压力减小的问题。他们对某规格轮胎检测得出:内层伸张值比外层大 2.5%,单根帘线受力相差 4.5kg。他们制造

6 层级轮胎时,如内外层裁断角相差 1° ,制造 20 层级轮胎时,如内外层裁断角相差 1.5° ,就能使各层帘线伸张均匀,提高胎体安全倍数,降低轮胎滚动时胎肩的温度(可降低 10—20)。

从国内外文献报道和我们实践说明,高层级轮胎各布筒采用不同的裁断角,会使内外帘线伸张均匀或内松外紧一些,这样不仅可避免外层帘线打弯,还可提高轮胎的耐热性及耐冲击性。

3 无内胎工程机械轮胎设计与制造

大型无内胎工程机械轮胎的优点为可靠性高、生热低、装卸简便,且重量轻,节省制造内胎、垫带等设备及胶料,降低成本。因此目前工程机械轮胎正向着无内胎化方向发展。无内胎工程机械轮胎在设计与制造上从几个关键技术来保证其气密性。

3.1 胎圈设计

3.1.1 胎圈着合直径及钢丝圈直径的选取

胎圈设计是否合理,关系到胎圈的气密性和使用安全性。无内胎轮胎要求胎圈与轮辋具有更紧密的配合,以防止胎圈漏气,因此胎圈着合直径应小于轮辋直径,其过盈量一般为 4—8mm,规格大的轮胎过盈量可大些。有关规格工程机械轮胎胎圈过盈量的选取见表 3。

表 3 无内胎工程机械轮胎着合直径与轮辋直径关系

规 格	轮辋直径	轮胎着合直径	过盈量
16.00 - 25	635	630	5
18.00 - 25	635	630	5
30.00 - 51	1295.4	1288	7.4

胎圈过盈量过大会使轮胎装卸困难,同时,因钢丝圈伸张过大,容易引起钢丝折断;过盈量小则由于胎圈箍不紧轮辋而引起漏气。同时胎圈底部倾斜角应比轮辋座倾斜角大 0.5° 。有关 16.00 - 25 28PR 无内胎轮胎

胎圈与轮辋配合见图 4。

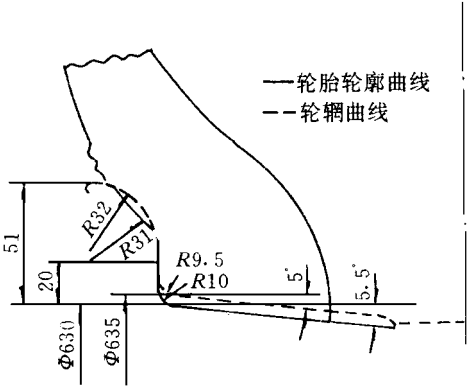


图 4 无内胎工程机械轮胎胎圈与轮辋配合图

胎圈为 3 个钢丝圈以上的无内胎巨型工程机械轮胎,由于使用的轮辋为 5 角的全斜底轮辋,轮辋座较宽,且轮辋座不同位置的直径也不同,从轮辋边向内逐渐减小,因而若钢丝圈采用相同的直径,则胎圈与轮辋配合不紧密,外紧内松,造成各钢丝圈受力不均,外钢丝圈容易损坏。因此,要求各钢丝圈的直径不同,并且各钢丝圈底部帘布层数尽可能接近。图 5 为 30.00 - 51 52PR 无内胎工程机械轮胎的 3 个钢丝圈分布的示意图。

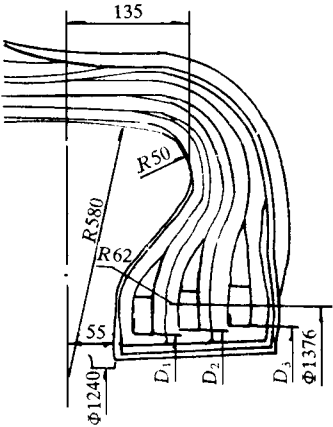


图 5 工程机械轮胎 3 个不同直径 (D_1 , D_2 , D_3) 的钢圈分布示意图

3.1.2 增加钢丝圈强力

无内胎工程机械轮胎的钢丝圈受力比有

内胎轮胎大 30 %左右,由于胎圈与轮辋有过盈量的影响,同规格的轮胎,无内胎轮胎钢丝圈的钢丝根数要多于有内胎轮胎,因此计算公式有所不同。无内胎工程机械轮胎钢丝圈强力及安全倍数的计算按彼得尔曼公式进行。

$$T = \frac{T_0 + (E_1 b_k r_c / 2 \Delta K_p) \delta_H}{1 + (E_1 b_k r_c^2 / E F_{kp} \Delta K_p)}$$

式中 T ——钢丝圈总应力, kN;

T_0 ——钢丝圈受内压产生的应力, kN;

E ——钢丝弹性模量 (2×10^8 kPa);

E_1 ——钢丝圈下部材料压缩弹性模量 (一般为 3×10^4 — 5×10^4 kPa, 取 4×10^4 kPa);

b_k ——钢丝圈宽度 (胎圈中一个或两个以上钢丝圈宽度总和), m;

ΔK_p ——钢丝圈下部材料厚度, m;

δ_H ——胎圈对轮辋的箍紧量, m;

F_{kp} ——所有钢丝总面积, m^2 ;

r_c ——钢丝圈中心半径, m。

$$T_0 = \frac{P(R_k^2 - R_0^2)}{2 \cos \beta_c} \cos \beta_k$$

式中 P ——轮胎内压, kPa;

R_k ——胎里半径, m;

β_c ——钢丝圈中心处帘线角度, (°)。

$$\sin \beta_c = (r_c / R_k) \sin \beta_k$$

$\delta_H = d_0 \delta - d + 2a(\operatorname{tg} \alpha_n - \operatorname{tg} \alpha_0)$

式中 d_0 ——轮胎着合直径, m;

d ——外胎着合直径, m;

α_n ——胎圈基部倾角, (°);

α_0 ——轮辋斜底倾角, (°);

a ——轮辋边缘至胎圈中心距离, m。

$$T' = mns$$

式中 T' ——钢丝圈实际能承受应力, kN;

m ——每个钢丝圈钢丝总根数;

n ——钢丝圈个数;

s ——单根钢丝强力, kN。

钢丝圈安全倍数 $K = T' / T$ (一般要求

为 2.5 — 4.0)

3.1.3 胎圈采用专门胎圈包布及胎圈包胶

胎圈应采用专门胎圈包布及胎圈包胶, 以保证胎圈的气密性。

3.2 胎里气密层的制造

无内胎轮胎的气密性是通过一系列结构措施来保证的, 而轮胎内表面气密层是采用透气性小的胶料制成的。胎里气密层一般用氯化丁基 (或溴化丁基) 橡胶胶料, 制造方法有两种: 一是挤出法, 用挤出机挤出一定厚度的胶筒, 然后剪开成片, 由几片贴合成所需尺寸的密封胶筒, 直接用于成型; 另一种方法为压延法, 将密封胶用压延机压成薄片, 厚度不超过 1.8mm (太厚易产生气泡), 由 2 层或 3 层胶片贴成密封胶层, 也可直接贴在内层帘布筒里 (要避免胶片有孔或气泡)。防止气密层漏气最好有专门制造胎里气密层的设备, 使气密层质量更有保证。

3.3 胎坯与成品刺孔问题

为避免成品出现气泡, 无内胎轮胎在硫化前胎坯也需要穿孔, 但要注意不能刺到胎里气密层。同时因大型工程机械轮胎尺寸大, 易夹藏大量气泡 (这些气泡无论是制造过程, 还是使用中都会产生, 最终向气密层扩散, 引起气密层脱层), 故轮胎成品还需刺孔, 使积藏于轮胎布层中的空气排出。在胎肩沟部、胎侧中部和胎圈外上侧的整个圆周上刺若干个孔, 孔径一般为 2.5 — 3mm, 刺孔深度是从轮胎表面到该 1/2 帘布层厚度处, 刺孔的位置应在外胎模具上刻有标记, 即使外胎成品上显示出标记, 以便于刺孔。

4 结语

大型高层级工程机械轮胎制造成本高, 价格也比较昂贵 (每条胎几千元至几万元), 因此, 必须精心设计, 精工细作, 否则, 会产生废品或使用早期损坏, 造成巨大的经济损失。

第九届全国轮胎技术研讨会论文

Design and Manufacture of OTR Tyre

Wen Xiucheng

(Beijing Research and Design Institute of Rubber Industry 100039)

Abstract A compromise between the wear resistance ,cut resistance and puncture resistance of the tread and the heat durability and heat dissipation of the tread must be made in the tread pattern design of the giant OTR tyre. The nylon cord is used as the reinforcement in carcass. The cords of different bands are cut at different angles to prevent the turn-up ply of the outer layer inthe lower sidewall from bending locally. The diameter of giant tubeless OTR tyre at rim seat should be smaller than the diameter of the rim and the usual interference is 4—8mm. More than 3 bead rings with different diameters are used in the bead area. CIIR or BIIR is used in the inner liner. Both the green tyre and finished tyre should be pricked.

Keywords giant OTR tyre ,multiple cord OTR tyre

国外动态

日本对汽车轮胎胎面花纹
磨损深度的法规限制

按日本运输部门规定 ,为保证行车安全性 ,汽车轮胎在使用过程中 ,其胎面花纹保留高度不应低于表 1 和 2 的规定值。

表 1 在一般公路上

轮胎类型	花纹沟深度 ,mm
轿车轮胎	1.6
超轻型和轻型载重车轮胎	1.6
载重和大客车轮胎	1.6
摩托车轮胎	0.8

表 2 在高速公路上

轮胎类型	花纹沟深度 ,mm
轿车轮胎	1.6
超轻型载重车轮胎	1.6
轻型载重车轮胎	2.4
载重和大客车轮胎	3.2

(相 泰译自《96 日本轮胎工业》,P17)

美国联信在亚洲建合资厂

美国《橡胶和塑料新闻》1996 年 3 月 13 日 8 页报道：

联信公司和开平聚酯公司在中国开平建立了两个生产聚酯的合资厂。这两个合资厂设在开平聚酯公司两个现有的聚酯厂内。其中一个厂将生产聚酯织物 ,另一个厂生产主要用于轮胎的聚酯纤维。

联信公司估计两个合资厂将于 7 月 1 日投入运作。合资双方期望 1997 年销售额达到 3000 万美元。

两家公司计划在未来 2—3 年内联合投资 2000 万美元 ,以装备生产联信先进的 DSP (尺寸稳定型聚酯) 纤维生产线 ,并将现有年产 5896.8t 的生产能力提高 1 倍。

中国汽车市场每年平均增长 8 %是联信决定在中国投资的主要因素。合资公司的主要用户包括固特异、米其林和上海轮胎橡胶公司。

(萧 仪摘译)