

# 轮胎刚性印痕设备及过程误差估计

孙晓峰, 张凯凯, 王龙庆, 李慧敏, 王兆龙

(青岛森麒麟轮胎股份有限公司, 山东 青岛 266229)

**摘要**: 对同规格同方案轮胎进行重复性刚性印痕试验, 确认设备误差以及工艺和过程误差, 并在此基础上, 进行试验设计, 研究胎面口型设计对轮胎性能的影响, 得出结论: 确认误差大小是进行方案设计调整的前提, 胎面口型整体减薄设计会使轮胎的操纵性能提升, 而抓地性能和舒适性能会有所下降。

**关键词**: 刚性; 印痕; 误差; 数据分析; 结构设计

**中图分类号**: TQ330.492

**文献标识码**: B

**文章编号**: 1009-797X(2024)09-0029-05

DOI:10.13520/j.cnki.rpte.2024.09.007

## 0 前言

对于数据分析领域来讲, 数据的准确性以及数据精度对结果的分析以及结论的获得都有关键的影响, 数据的准确以及合理的波动才能保证结果分析的准确及可靠性<sup>[1]</sup>; 对于轮胎性能研究, 往往需要设计不同方案研究不同的轮胎结构、花纹和配方对轮胎性能的影响, 通过轮胎性能试验获得轮胎的试验数据, 因此, 如何有效的对轮胎的试验数据进行甄别, 是进行数据分析的第一步, 也是至关重要的一步。

刚性印痕试验是轮胎性能试验最常规、最基础的一种室内性能试验<sup>[2]</sup>, 通过刚性印痕试验, 可以获得轮胎的刚性以及印痕形状等轮胎特性相关数据, 工程师可以通过径向刚性和包络刚性的变化研究设计变量对轮胎舒适性能的影响, 通过横向刚性、纵向刚性以及扭转刚性的变化研究变量对轮胎操控性能的影响, 通过对印痕形状的变化, 可以研究轮胎性能的稳定性以及轮胎的整体性能定位情况。

为了研究刚性印痕试验数据的合理波动范围, 为结构、花纹及配方等变量对轮胎性能的影响分析建立基础, 需要设计试验确定刚性印痕设备误差以及工厂生产过程工艺及其他误差的影响, 以便研究确认其他设计变量对轮胎刚性印痕性能的影响程度及方向。

## 1 试验设计

选取常用规格 215/55R17 94/W 进行验证, 进行三次验证试验, 均采用同一方案, 同一花纹, 同一成型设备, 尽可能保证验证条件与工程师进行结构变量

研究时一致; 第一次验证取三条轮胎作为方案 1~3, 第二次验证, 取一条轮胎作为方案 4, 第三次验证取一条轮胎作为方案 5, 三次验证之间相隔一个月以确保生产材料批次更换, 轮胎试制后至少静置一周以使轮胎性能稳定, 之后进行刚性印痕试验。

方案 1 进行三次试验, 确认设备误差, 方案 2~5 依次进行试验, 方案 1~3 对比确认同批次生产工艺误差, 方案 3~5 对比确认不同批次轮胎工艺、过程误差。

## 2 试验设备

TMT-2 PCR 轮胎综合试验机, 汕头市浩大轮胎测试装备有限公司产品。

## 3 结果分析

试验气压 250 kPa, 试验载荷 670 kg, 按照国标 GB/T 23663—2009 进行刚性印痕试验, 分别获取 80%、100%、120% 试验载荷下的刚性数据以及 50%、75%、100% 载荷下的印痕数据<sup>[3]</sup>。

### 3.1 刚性印痕设备误差分析

方案 1-1、1-2、1-3 为方案 1 进行 3 次试验获得数据, 用于估计设备误差大小, 序号与试验指标和载荷相对应, 最大值为三次试验的最大值, 最小值、平均值和极差同理, 变化率为极差与平均值的比值; 代表误差的大小;

**作者简介**: 孙晓峰 (1995—), 男, 本科, 基础研究工程师, 主要研究方向为基础研究, 数据分析, 车辆和轮胎动力学。

**收稿日期**: 2023-02-17

方案1 轮胎进行3次试验, 获取数据如下, 刚性数据见表1, 印痕数据见表2;

其中, 刚性试验为通过试验机获得轮胎力与位移曲线, 进行拟合, 取部分区段拟合斜率作为刚性数值,

表1 设备误差估计刚性数据

方案	刚性	径向刚性			纵向刚性			横向刚性		
	载荷	80%	100%	120%	80%	100%	120%	80%	100%	120%
	序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
方案1-1		234.6	228.3	225.3	255.3	294.1	287.2	128.2	140.9	134.5
方案1-2		234.7	227.2	225.8	255.7	292.8	285.9	128.2	140.8	134
方案1-3		234.1	228.4	225.2	255.1	294.1	287	128.4	141.5	134.4
最大值		234.7	228.4	225.8	255.7	294.1	287.2	128.4	141.5	134.5
最小值		234.1	227.2	225.2	255.1	292.8	285.9	128.2	140.8	134
平均值		234.5	228	225.4	255.4	293.7	286.7	128.3	141.1	134.3
极差		0.6	1.2	0.6	0.6	1.3	1.3	0.2	0.7	0.5
变化率		0.26%	0.53%	0.27%	0.23%	0.44%	0.45%	0.16%	0.50%	0.37%

方案	刚性	扭转刚性			包络刚性			充气外直径/mm	充气断面宽/mm
	载荷	80%	100%	120%	80%	100%	120%	100%	100%
	序号	10	11	12	13	14	15	16	17
方案1-1		48.9	69.3	91.3	724.2	766.2	805.1	666.86	228.1
方案1-2		49.1	69.6	91.6	722.3	766.3	803.5	666.86	228.3
方案1-3		49	69.3	91.3	725.6	769.6	807.2	666.54	228.2
最大值		49.1	69.6	91.6	725.6	769.6	807.2	666.9	228.3
最小值		48.9	69.3	91.3	722.3	766.2	803.5	666.5	228.1
平均值		49	69.4	91.4	724	767.4	805.3	666.8	228.2
极差		0.2	0.3	0.3	3.3	3.4	3.7	0.32	0.2
变化率		0.41%	0.43%	0.33%	0.46%	0.44%	0.46%	0.05%	0.09%

表2 设备误差估计印痕数据

方案	印痕	接地面积/cm <sup>2</sup>			取样区面积/cm <sup>2</sup>			中间接地长度/mm			接地宽度/mm		
	载荷	50%	75%	100%	50%	75%	100%	50%	75%	100%	50%	75%	100%
	序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
方案1-1		83.33	132.99	171.4	112.53	178.21	224.87	78.03	109.5	131.98	156.89	171.3	177.7
方案1-2		83.19	132.76	171.87	112.88	177.61	224.51	78.25	110.03	131.32	157.49	171.99	177.7
方案1-3		83.45	132.45	171.94	112.37	177.73	225.48	78.28	109.89	131.46	156.83	171.6	178.31
最大值		83.45	132.99	171.94	112.88	178.21	225.48	78.28	110.03	131.98	157.49	171.99	178.31
最小值		83.19	132.45	171.4	112.37	177.61	224.51	78.03	109.5	131.32	156.83	171.3	177.7
平均值		83.32	132.73	171.74	112.59	177.85	224.95	78.19	109.81	131.59	157.07	171.63	177.9
极差		0.26	0.54	0.54	0.51	0.6	0.97	0.25	0.53	0.66	0.66	0.69	0.61
变化率		0.31%	0.41%	0.31%	0.45%	0.34%	0.43%	0.32%	0.48%	0.50%	0.42%	0.40%	0.34%

断面宽和外直径通过卷尺测量, 确认轮胎的尺寸稳定性; 印痕数据通过压力毯和试验机获得;

计算工艺误差; 方案1、2、3的试验数据的平均值作为第一批轮胎的试验数据, 同方案4、5进行对比, 获得不同批次轮胎的数据误差, 计算工艺及过程误差; 误差数据见表3、4。

3.2 过程及工艺误差确认

方案1 三次试验数据的平均值作为方案1的试验数据, 同方案2、3进行对比, 获得同批次轮胎的数据,

表3 不同方案刚性试验数据误差

方案	刚性	径向刚性			纵向刚性			横向刚性		
	载荷	80%	100%	120%	80%	100%	120%	80%	100%	120%
	序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
同轮胎 (设备误差)		0.26%	0.53%	0.27%	0.23%	0.44%	0.45%	0.16%	0.50%	0.37%
同批次 (工艺误差)		1.31%	2.38%	1.78%	1.21%	0.78%	2.23%	0.99%	1.55%	1.12%
不同批次 (过程误差)		2.00%	1.44%	1.37%	2.02%	1.55%	1.25%	0.87%	2.30%	1.79%

方案	刚性	扭转刚性			包络刚性			刚性指标平均误差	充气外直径/mm	充气断面宽/mm
	载荷	80%	100%	120%	80%	100%	120%	100%	100%	
	序号	10	11	12	13	14	15	16	17	
同轮胎 (设备误差)		0.41%	0.43%	0.33%	0.46%	0.44%	0.46%	0.38%	0.05%	0.09%
同批次 (工艺误差)		1.73%	1.84%	2.33%	1.15%	1.22%	0.80%	1.49%	0.11%	0.47%
不同批次 (过程误差)		1.46%	1.32%	1.73%	1.93%	1.78%	2.38%	1.68%	0.33%	0.85%

表 4 不同方案印痕试验数据误差

方案	印痕	接地面积 /cm <sup>2</sup>			取样区面积 /cm <sup>2</sup>			中间接地长度 /mm			接地宽度 /mm			印痕指标平均误差
	载荷	50%	75%	100%	50%	75%	100%	50%	75%	100%	50%	75%	100%	
	序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
同轮胎(设备误差)		0.31%	0.41%	0.31%	0.45%	0.34%	0.43%	0.32%	0.48%	0.50%	0.42%	0.40%	0.34%	0.39%
同批次(工艺误差)		2.11%	1.93%	1.62%	1.37%	2.02%	1.49%	1.50%	2.10%	1.42%	1.15%	1.95%	0.14%	1.57%
不同批次(过程误差)		1.20%	1.15%	2.25%	1.85%	1.88%	2.12%	1.92%	0.39%	1.68%	0.80%	1.30%	0.75%	1.44%

如图 1 所示, 同轮胎试验误差(即设备误差)和同批次和不同批次的不同轮胎试验误差(工艺和过程误差)进行对比, 序号(横坐标)与列表中载荷和指标一一对应, 其中序号(横坐标)16/17 分别代表轮胎断面宽和外直径的差异, 代表轮胎的尺寸稳定性, 可以看出, 断面宽和外直径试验数据误差较小, 说明不同轮胎方案尺寸较为相近, 不同轮胎尺寸稳定性较好; 同时, 通过外直径和断面宽的各级试验数据误差对比, 可以发现, 误差大小按同方案轮胎、同批次轮胎、不同批次轮胎试验数据误差依次增加, 说明试验设计符合预期。

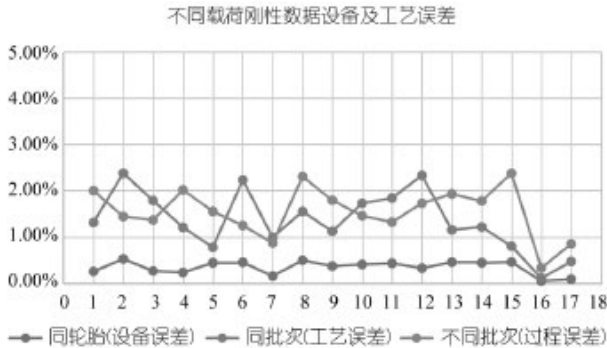


图 1 刚性试验数据设备及工艺误差

每三个序号(横坐标)为一组数据进行横向对比, 可以确认误差在不同载荷下的表现差异, 可以确认设备误差和过程误差与载荷没有线性或近线性关系; 通过表 1 数据, 可以观察到扭转刚性和包络刚性试验数据随载荷有较强的正相关性, 随载荷的增加而增加, 而该相关指标的试验误差则没有表现出与载荷的正相关性, 说明试验指标相互独立, 试验误差与试验数据相互独立; 试验误差水平与试验数据数值大小没有相互关系。

同理, 观察到印痕试验数据与载荷同样没有相关性(图 2), 刚性指标(序号 1~15)所有载荷下指标的相应误差进行平均计算, 印痕指标(序号 1~12)同样处理, 可以确认, 同批次轮胎和不同批次轮胎的试验误差(工艺和过程误差)高于设备误差, 同时, 同批次轮胎和不同批次轮胎的试验误差相近, 表明生产

材料的性能稳定性较好, 工艺和过程差异是产生试验误差的主要原因; 同时, 此次验证也说明设备误差对试验数据有较大的影响, 因此, 在工程师进行方案设计、性能研究过程中, 必须对设备和工艺误差进行评估, 才能确认方案设计差异对轮胎性能的影响程度, 得出正确的结论。

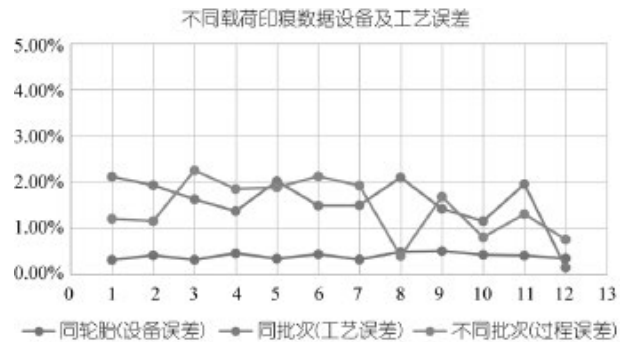


图 2 印痕试验数据设备及工艺误差

### 3.3 不同胎面胶料对比验证

基于刚性印痕设备误差及工艺过程误差研究结果, 研究胎面口型变化对刚性印痕的影响, 选取规格 215/55R17 进行方案设计, 口型二在口型一基础上整体减薄 4, 其余方案保持一致, 进行轮胎试制, 轮胎进行刚性印痕试验, 计算试验数据的变化量, 确认胎面口型单变量变化对刚性印痕数据是否存在影响, 试验数据如下表 5、表 6。

如图 3、图 4 所示, 胎面口型变化造成的刚性和印痕指标变化, 对比相同规格相同条件下设备误差和过程误差, 可以发现, 胎面口型变化, 断面宽和外直径均发生改变, 而且变化幅度高于设备误差和工艺误差, 表明, 试验设计符合预期, 胎面口型的调整使轮胎的性能发生了改变; 观察发现, 胎面口型调整, 径向刚性、纵向刚性、和扭转刚性变化很小, 甚至部分载荷下变化率小于设备误差, 表明, 胎面口型调整对这三个刚性指标影响很小, 同时可以发现, 横向刚性和包络刚性发生了较大改变, 说明胎面口型调整主要影响横向刚性和包络刚性; 对于胎面口型调整, 印痕指标的变化, 可以发现, 印痕的接地宽度没有发生明

表 5 不同胎面口型验证刚性数据误差

方案	刚性	径向刚性			纵向刚性			横向刚性		
	载荷	80%	100%	120%	80%	100%	120%	80%	100%	120%
序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
□型一	218.3	219.3	222.2	266	274.7	267.4	115.2	108.7	103.3	
□型二	224.2	223.2	226.2	267.4	276.2	270.3	120.7	112.65	106.35	
平均值	221.25	221.25	224.2	266.7	275.45	268.85	117.95	112.65	106.35	
极差	5.9	3.9	4	1.4	1.5	2.9	5.5	3.95	3.05	
变化率	2.67%	1.76%	1.78%	0.52%	0.54%	1.08%	4.66%	3.51%	2.87%	

方案	刚性	扭转刚性			包络刚性			充气外直径/mm	充气断面宽/mm
	载荷	80%	100%	120%	80%	100%	120%	100%	100%
序号	10	11	12	13	14	15	16	17	
□型一	51.7	73.3	96.3	675.7	746.3	757.6	667.5	223.1	
□型二	52.3	72.3	95.7	695	757.8	775.7	671	224.9	
平均值	52	72.8	96	685.4	757.8	775.7	669.25	224	
极差	0.6	1	0.6	19.3	11.5	18.1	3.5	1.8	
变化率	1.15%	1.37%	0.62%	2.82%	1.51%	2.33%	0.52%	0.80%	

表 6 不同胎面口型验证印痕数据误差

方案	印痕	接地面积/cm <sup>2</sup>			取样区面积/cm <sup>2</sup>			中间接地长度/mm			接地宽度/mm		
	载荷	50%	75%	100%	50%	75%	100%	50%	75%	100%	50%	75%	100%
序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
□型一	88.221	136.392	179.803	115.66	174.4	229.31	97.231	125.578	153.924	148.742	160.934	168.554	
□型二	88.805	133.647	175.183	116.92	172.51	224.43	92.812	120.549	147.066	151.028	160.934	169.164	
平均值	88.513	135.02	177.493	116.29	173.455	226.87	95.021	123.063	150.495	149.885	160.934	168.859	
极差	0.584	2.745	4.62	1.26	1.89	4.88	4.42	5.029	6.858	2.286	0	0.61	
变化率	0.66%	2.03%	2.60%	1.08%	1.09%	2.15%	4.65%	4.09%	4.56%	1.53%	0.00%	0.36%	

显的变化，在 75%、100% 载荷时，中间接地长度和接地面积发生了较大的改变，说明胎面口型调整主要对印痕中间接地长度产生影响，进而引起接地面积的变化。

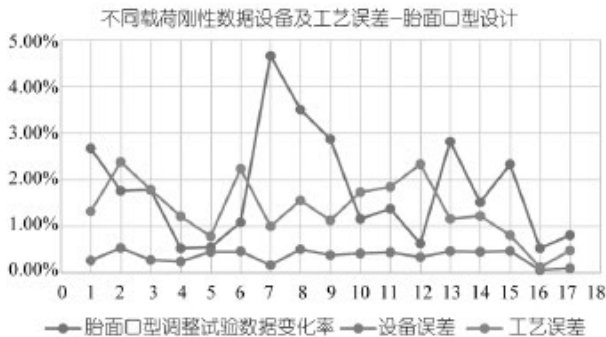


图 3 不同胎面口型验证刚性变化与设备误差和工艺误差对比

对两方案的横向刚性、包络刚性、接地面积和中间接地长度进行对比，可以发现，胎面口型整体减薄后，横向刚性和包络刚性明显增加，这会影响到轮胎的操纵稳定性和舒适性包覆感评价，同时，胎面减薄后，中间接地长度明显减小，进而引起接地面积减小，这将影响到轮胎的抓地性能，由此可以推断，胎面口型减薄后，轮胎的操纵性能有所提升，而抓地性能和舒适性会有所变差；在进行轮胎设计时，工程师可以

不同载荷刚性数据设备及工艺误差-胎面口型设计

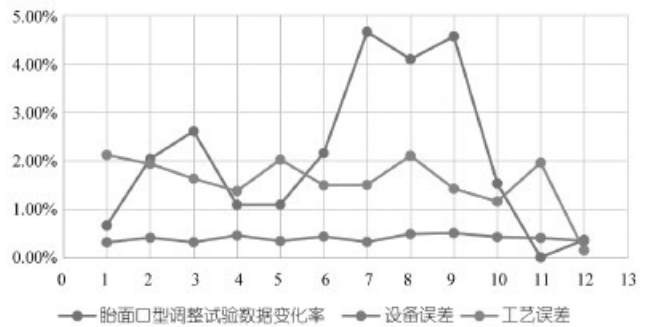


图 4 不同胎面口型验证印痕变化与设备误差和工艺误差对比

指向性对轮胎的口型进行设计，从而达到轮胎性能的平衡设计或特定需求轮胎方案设计的目的。

#### 4 结论

本次试验设计考察刚性印痕设备误差以及工艺、过程误差的大小，并在此基础上设计试验研究口型变化对刚性印痕的影响，可以得出以下结论：

(1) 工艺及过程误差大于设备测量误差，过程误差是造成测试数据波动的主要因素，控制生产过程的误差可以极大提高试验数据的稳定性。

(2) 试验误差具有明显的载荷差异性，但没有明确的规律；对比刚性印痕试验数据和数据误差与载荷

的相关性，发现试验指标相互独立，试验误差与试验数据相互独立；试验误差大小与试验数据大小没有相关性。

(3) 在刚性印痕试验数据误差研究基础上进行胎面口型设计的调整设计验证，可以发现，胎面减薄设计会对轮胎的横向刚性、包络刚性和中间接地长度、接地面积产生影响，并由此推断出，胎面口型减薄后，轮胎的操纵性能有所提升，而抓地性能和舒适性能会有所变差，这可为结构设计指导提供方向。

(4) 整体来说，本次试验样本数量有限，得出的结论不能代表全部的试验误差，仅对误差进行估计；具体试验时可考虑增加试验次数，提高数据精确度，

另外，进行方案设计优化方案时，确认设备和过程误差是极有必要的。

#### 参考文献：

- [1] 李云雁，胡传荣. 试验设计与数据处理 [M]. 北京：化学工业出版社，2019.
- [2] 陈其忠. 轮胎结构设计对轮胎性能影响的研究 [D]. 青岛理工大学，2018.
- [3] 胡德斌，张宁. 轮胎施工参数对横向刚性的影响 [J]. 轮胎工业，2020,40(11):700-702
- [4] 朱世杰，谢上盛. 挤出胎面口型开型比的试验研究 [J]. 轮胎工业，2018,38(02):105-108.
- [5] 车明明，索艳茹，马尧等. 轮胎与整车匹配性研究 [J]. 轮胎工业，2020,40(1):3-8.

## Tire rigid imprint equipment and process error estimation

Sun Xiaofeng, Zhang Kaikai, Wang Longqing, Li Huimin, Wang Zhaolong

(Qingdao Sentury Tire Co. LTD., Qingdao 266229, Shandong, China)

**Abstract:** This article conducts repetitive rigid imprint tests on tires of the same specifications and design to confirm equipment errors, as well as process and manufacturing errors. Based on this, experimental design is carried out. At the same time, the influence of tread design on tire performance was studied. Finally, the conclusion is that confirming the size of the error is a prerequisite for making adjustments to the scheme design; The overall thinning design of the tread pattern will improve the handling performance of the tire, while the grip and comfort performance will decrease.

**Key words:** rigidity; imprint; error; data analysis; structural design

(R-03)

## 国家出台措施加大设备更新支持力度利好全钢胎

Our country was released policy beneficial for all-steel tires

近日，国家出台《关于加力支持大规模设备更新和消费品以旧换新的若干措施》加大了设备更新支持力度，提高汽车报废更新补贴标准。本措施有利于促进老旧柴油货车的集中淘汰，并刺激新车市场的购买，最受益的产品品种是柴油重卡和新能源重卡，并且能够提高资金使用的积极性，使得需求在年内得到释放。

2024年7月份，我国重卡市场销售约5.9万辆左右（批发口径，包含出口和新能源），环比6月份下降17%，比上年同期的6.13万辆下滑4%，减少了约2000辆。累计来看，2024年1~7月，我国重卡市场销售各类车型约56.34万辆，比上年同期上涨2%，净增加近1.4万辆，累计增速较1~6月进一步缩窄。

政策支持的加大有望在金九银十对重卡销量形成支撑。本周山东轮胎企业全钢胎开工负荷为56.43%，较上周走高2.42个百分点，较去年同期走低2.15个百分点。本周国内轮胎企业半钢胎开工负荷为78.86%，较上周走高0.04个百分点，较去年同期走高6.73个百分点。

摘编自“中国轮胎商务网”

(R-03)