

俞 淇 周 锋 丁 剑 平 编 著

充气轮胎性能与结构



华南理工大学出版社

机械 (TP) 目录题查并图

充气轮胎性能与结构

1991, 华南理工大学出版社

俞洪 周锋 丁剑平 编著

…流 丁

…丁③…周②…俞① 丁

…俞①…周②…丁③ 俞

…俞①…周②…丁③ 俞

江苏工业学院图书馆
藏书章

华南理工大学出版社

1991年1月第1版第1次印刷

华南理工大学出版社

510808·广州·

图书在版编目 (CIP) 数据

充气轮胎性能与结构 / 俞淇, 周锋, 丁剑平编著. —广州:
华南理工大学出版社, 1998. 4

ISBN 7-5623-1223-0

I. 充…

II. ①俞…②周…③丁…

III. ①轮胎, 充气式-性能 ②轮胎, 充气式-结构

IV. TQ336.1

华南理工大学出版社出版发行

(广州五山 邮编 510641)

责任编辑: 袁 泽

华南理工大学印刷厂印装

1998年4月第1版第1次印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 10 字数: 256千

印数: 1—2500

定价: 16.80元

广东省高教厅
科学研究著作出版基金资助出版

前 言

随着我国高速公路的兴建，路面条件的改善，车速不断地提高，对轮胎的性能提出了越来越高的要求。为此轮胎产品结构必须进行更新换代，逐步由斜交结构转化为子午线结构。这样就很有必要对“充气轮胎力学”这门跨学科领域的科学进行研究。本书就是从轮胎结构与性能中出现的力学问题这一角度来阐述的，可为将来从事轮胎、汽车和交通运输行业的大学生和研究生以及已在这些部门工作的有关工程技术人员了解与掌握轮胎力学方面的现代科学知识，奠定良好的理论基础，以便今后开展该领域的科学研究工作。

本书分为二篇共十章。第一篇（第一至六章）为车辆、轮胎和路面三者之间密切相关的性能力学，着重叙述轮胎在静态和动态状况下承受各种力的作用及其变形特性。分章介绍了汽车对轮胎的性能要求，轮胎在三维空间中的坐标系，轮胎的负荷性能，轮胎与路面的附着性能，轮胎的侧偏特性，轮胎的高速性能和均匀性以及轮胎振动和噪音等性能。第二篇（第七至十章）为轮胎设计理论基础的结构力学，主要介绍用于分析研究轮胎结构的力学模型。重点叙述轮胎结构经典理论——薄膜网络理论在充气轮胎形状力学中的应用，并介绍轮胎用帘线/橡胶复合材料和有限元分析法在轮胎结构设计中的应用。

本书第六章由我校汽车工程系周锋副教授执笔，第十章由丁剑平讲师撰写。

本书在编写过程中，得到我校工程力学系罗贤光教授的热忱相助和支持，在此表示感谢。特别对化工部北京橡胶工业研究设计院夏松茂高级工程师和《轮胎工业》叶可舒主编给予的热情帮助，提供资料表示深切感谢。作者的科研工作也得到了国家自然科学基金的资助，在此谨致谢意。

由于水平有限，书中难免有错漏之处，恳请同行、读者批评指正。

作者

1997年6月于华南理工

目 录

第一篇 轮胎性能力学

第一章 轮胎与车辆	3
第一节 汽车对轮胎性能的要求.....	3
第二节 车轮与轮胎在转向桥上的定位.....	4
第三节 轮胎坐标系和术语.....	9
第二章 轮胎的法向力和法向变形	13
第一节 轮胎静负荷性能.....	13
第二节 轮胎的负荷特性.....	15
第三节 轮胎下沉量的理论计算.....	17
第四节 轮胎接地面积和接地压力分布.....	21
第三章 轮胎的侧向力和侧向变形	33
第一节 轮胎的侧向变形.....	33
第二节 轮胎的侧偏特性.....	36
第三节 轮胎侧偏特性测试方法.....	41
第四节 轮胎侧偏特性的试验结果及其影响因素.....	46
第四章 轮胎的纵向力与周向变形	64
第一节 车轮的滚动阻力.....	64
第二节 牵引力和附着性能.....	74
第三节 轮胎的周向变形.....	89
第五章 轮胎的高速性能和均匀性	93
第一节 轮胎高速性能特征.....	93
第二节 轮胎的驻波和临界速度.....	97

第三节	轮胎临界速度的近似计算	101
第四节	临界速度的影响因素	109
第五节	轮胎均匀性及其分类	111
第六节	轮胎刚性不均匀性的测试方法和测量项目	118
第七节	轮胎不均匀性检测指标	122
第八节	轮胎不均匀性产生的原因及其影响因素	125
第六章	轮胎的振动与噪音	129
第一节	轮胎的基本振动及其频率	129
第二节	轮胎的振动特征	136
第三节	轮胎振动的测试方法	139
第四节	轮胎振动对汽车性能的影响及轮胎振动的影响因素	141
第五节	轮胎噪音发生的机理	144
第六节	轮胎噪音的测量	147
第七节	轮胎噪音的影响因素	149

第二篇 轮胎结构力学

第七章	轮胎结构力学理论与模型	157
第一节	轮胎结构应用经典理论	158
第二节	轮胎结构应用有限元法的现代设计理论	162
第八章	轮胎形状力学	188
第一节	斜交轮胎形状力学	188
第二节	子午胎形状力学	214
第三节	自由旋转时的轮胎形状力学	226
第九章	充气平衡轮廓在轮胎结构设计中的应用	234
第一节	充气平衡轮廓曲线的特征	234
第二节	列线图法预测轮胎充气形状	235

第三节	采用压力函数计算轮胎模型与充气形状.....	247
第十章	轮胎用有限元分析法.....	259
第一节	轮胎用有限元分析法的理论基础.....	260
第二节	轮胎用有限元分析法的单元模型.....	265
第三节	有限元分析法的解题步骤.....	271
第四节	材料参数的确定.....	274
第五节	有限元分析法应用实例.....	283
参考文献	305

第一篇 轮胎性能力学

第一章 轮胎与车辆

轮胎是介于车辆和路面之间的陆用车辆上典型结构部件，它是车辆上受力的支撑体和各种力的传递部件。车辆的许多性能必须通过轮胎才能体现出来，所以车辆设计时对轮胎提出各种性能要求。例如对高速轿车就要强调轮胎的高速性和舒适性，对拖拉机和越野车则要求有良好的牵引性和通过性，对工程车辆要求满足其作业性能等。为了充分发挥车辆的功能，应该重视车辆与轮胎之间的互相匹配，要扭转以往车辆设计制造方只是单纯地向轮胎厂购货的老观念，而轮胎制造方也应主动去了解轮胎在车辆中的地位和工作状态。特别在新型车辆研制选择配胎时，更需要实事求是地提出技术要求，充分发挥好轮胎的功能，以达到提高车辆性能的目的。

现在介绍一下使用量最广的汽车对轮胎性能的要求和作为汽车重要部件之一的轮胎在汽车上的工作状态。

第一节 汽车对轮胎性能的要求

1. 汽车轮胎的基本功能

车轮与轮胎是汽车行驶系中重要部件，其作用是：支承整车的重量；缓冲由路面传来的振动和冲击；通过轮胎与路面间的附着性能来传递驱动力和制动力；产生侧向力和回正力距来平衡汽车转向行驶时的离心力；在保证汽车正常转向行驶时，使车轮能保持直线行驶的方向；承担越障提高通过性。

现代汽车几乎都采用充气轮胎。轮胎安装在轮辋上，直接与路面接触，它必须完成的基本功能是：

- ①承受汽车负荷的能力；
- ②和汽车悬架共同来缓冲来自路面的冲击，并衰减由此产生的振动，以保证汽车有良好的行驶平顺性和乘坐舒适性；
- ③为传递驱动力和制动力，提供足够的附着力；
- ④为改变或保持汽车行驶方向提供足够的转向操纵与方向稳定性。

2. 汽车轮胎的使用性能

根据轮胎在汽车上需发挥的功能，要求轮胎的使用性能如下：

- ①承载负荷性能；
- ②操纵稳定性；
- ③行驶安全性(耐湿滑性和抗侧滑性)；
- ④附着与牵引性能；
- ⑤耐久性(耐疲劳和破坏、耐磨耗)；
- ⑥节能经济性；
- ⑦高速性能；
- ⑧乘坐舒适性；
- ⑨低噪声性能。

第二节 车轮与轮胎在转向桥上的定位

为了保证汽车转向操纵轻便、可靠和稳定的直线行驶，以及考虑轮胎行驶过程中的磨损问题，应使转向桥上的主销、车轮保持一定的相互关系，这种关系称为转向轮的定位参数。转向轮定位参数具体包括有：主销后倾角、主销内倾角、车轮外倾角和车

轮前束。

1. 主销后倾角

转向桥上的主销在汽车的纵向平面内有一定的倾角，主销上部向后倾斜一个 θ 角称为主销后倾角，如图1-2-1所示。当主销具有后倾角 θ 时，主销轴线与路面交点 a 将位于车轮与路面接触点 b （轮胎接地中心）的前面，见图1-2-1a所示。

主销后倾角的作用是使车轮在偏离直线行驶方向时，由于汽车本身离心力的作用，在车轮与路面接触点 b 处，路面对车轮作用着一个侧向反作用力 F_y 。此反力 F_y 对车轮形成绕主销轴线作用的力矩 $F_y l$ ，其方向正好与车轮偏转方向相反。在此力矩作用下，将使车轮回复到原来直线行驶方向的位置，从而保证了汽车稳定的直线行驶方向。

主销后倾角 θ 不宜过大，因后倾角数值的增大会引起力臂 l 的增大，从而导致力矩 $F_y l$ 的增加，则在转向时为了克服此力矩，驾驶员须在转向盘上施加较大的力，即所谓转向盘沉重，不利于操纵。因此为不使转向盘沉重，一般采用的主销后倾角 θ 不超过 $2^\circ \sim 3^\circ$ 。现代高速汽车由于轮胎气压降低、弹性增加，后倾角 θ 可以减小到接近于零，甚至为负值（如红旗牌轿车）。解放CA1091型汽车的主销后倾角约为 $1^\circ 30'$ ，见图1-2-1b示意。

2. 主销内倾角

转向桥上的主销在汽车的横向平面内也有一定的倾角，主销上部向内倾斜一个 β 角（见图1-2-2a）即主销的安装一般不垂直于路面，它与路面垂直线的夹角称为主销内倾角 β 。

主销的内倾使得主销轴线与路面交点到车轮中心平面与地面交线的距离 c 减小（见图1-2-2a），从而可减小转向时驾驶员加在转向盘上的力，使转向操纵轻便，同时也可减少从转向轮传到

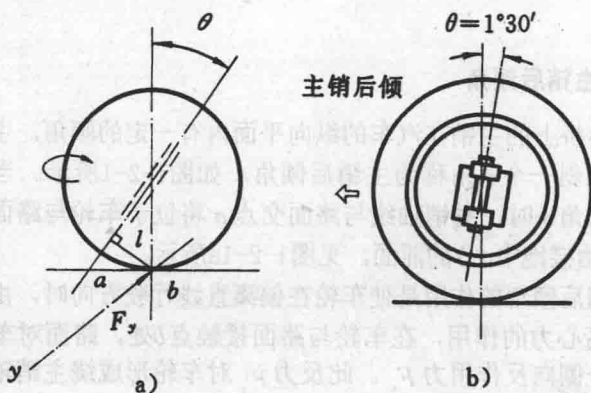


图1-2-1 主销后倾角示意图

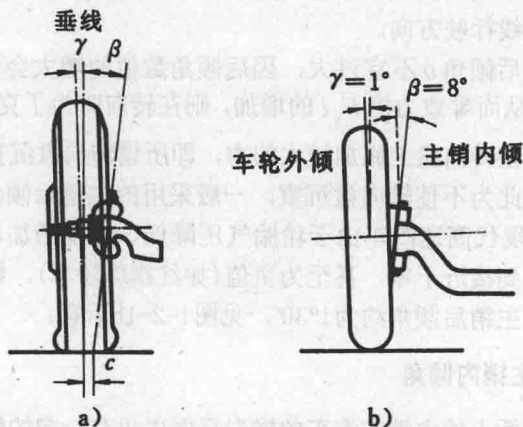


图1-2-2 主销内倾角 β 和车轮外倾角 α 示意图

转向盘上的冲击力。但 c 值也不宜过小，即内倾角不宜过大，否则在转向时，车轮绕主销偏转的过程中，轮胎与路面间将产生较大的滑动，因而增加了轮胎与路面间的摩擦阻力，这不仅使转向变得沉重，而且加速了轮胎的磨损。故一般内倾角 β 不大于 8° （载

重汽车), 距离 c 一般为40~60 mm。图1-2-2b为解放1091型汽车的主销内倾角 8° , 轿车的内倾角 β 值小一些约为 $3^\circ\sim 5^\circ$ 。

3. 车轮外倾角

若在汽车的正前面看车轮时, 车轮的中心面也不垂直于路面, 而是上部向外倾斜一个角度 γ , 称为车轮外倾角, 见图1-2-2a所示。除上述主销后倾和内倾两个角度保证汽车稳定直线行驶外, 车轮外倾角 γ 也具有定位作用。如果空车时车轮的安装正好垂直于路面, 则满载时, 车轮将因承载变形, 而可能出现车轮内倾。这样将加速汽车轮胎的偏磨损。另外, 路面对车轮的垂直反作用力沿轮毂的轴向分力将使轮毂压向轮毂外端的小轴承, 加重了外端小轴承及轮毂紧固螺母的负荷, 降低它们的使用寿命并影响行车安全。因此, 为了使轮胎磨损均匀和减轻轮毂外端小轴承的负荷, 安装车轮时预先使车轮有一定的外倾角, 以防止车轮内倾。同时, 车轮有了外倾角也可以与拱形路面相适应。但外倾角也不宜过大, 否则也会使轮胎产生偏磨。外倾角 γ 一般取 1° 左右。如图1-2-2b, 为解放1091型汽车的前轮外倾角。

4. 车轮前束

当汽车两个前轮从上面向下看时, 则两个车轮的中心面不平行, 通常是两轮前边缘距离 B 短, 而后边缘距离 A 长一些, A 和 B 之差称为车轮前束(图1-2-3)。

车轮有了外倾角后, 在路面上滚动时, 就类似于滚锥, 从而导致两个车轮向外滚开。由于转向横拉杆和车轴的约束使车轮不可能向外滚开, 车轮将在地面上出现边滚边滑的现象, 从而增加了轮胎的磨损。为了消除车轮外倾带来的这种不良后果, 采用前轮前束来调节。前轮前束的取值与前轮外倾角有关, 取值要求是减少行驶过程中轮胎的侧滑, 从而减小轮胎的磨损, 一般前束值为 $0\sim 12$ mm。测量位置除图1-2-3所示的位置外, 通常还取两轮

胎中心平面处的前后差值，也可以选取两车轮钢圈内侧面处的前后差值。

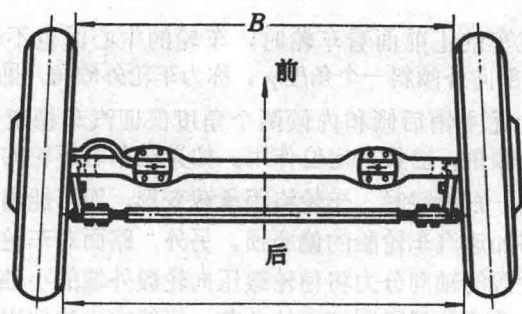


图1-2-3 车轮前束(俯视图)

下列表1-2-1为常见的几种国产汽车转向轮定位参数。

表1-2-1 几种国产汽车转向轮定位参数

汽车型号	主销后倾 θ	主销内倾 β	前轮外倾 γ	前轮前束 (mm)
北京BJ1040	1°30'	7°30'	1°	1.5~3
北京BJ2020	3°	5°20'	1°30'	3~5
跃进NJ1041A	2°30'	8°	1°	1.5~3
解放CA1091	1°30'	8°	1°	2~4
东风EQ1090E	2°30'	6°	1°	8~12
东风EQ2080	0°30'	8°	1°	2~5
黄河JN1150	2°	6°50'	1°40'	6~8
黄河JN1181C13	2°	5°	1°	3~4.5
红旗CA7560	1°30'	7°60'	0°60'	5~7