

冰面和干燥路面上轮胎侧偏特性的试验研究*

彭旭东 孟祥恺

(石油大学机电工程学院 东营 257062)

郭孔辉 卢 荡

(吉林大学汽车动态模拟国家重点实验室 长春 130025)

谢友柏

(西安交通大学润滑理论及轴承研究所 西安 710049)

摘要: 采用自行研制开发的平台往复式轮胎力学静特性试验机, 研究了两条规格和胶料性能相同但胎面花纹不同的子午线轮胎在干燥路面和冰面上的侧偏特性, 并进行了对比分析。重点讨论了冰面温度、轮胎负荷、轮胎气压和胎面花纹等因素对侧偏特性的影响规律。结果表明: 低温冰面上轮胎的侧偏特性与干燥路面上的轮胎相似, 但胎面花纹对冰面轮胎的侧偏特性产生更明显影响; 在允许范围内适当降低气压有利于轮胎的操纵稳定性。

关键词: 干燥路面 冰面 轮胎 侧偏特性 试验机

中图分类号: U461.2

0 前言

轮胎是轮式车辆的重要组成部分, 车辆系统所受外力除了作用于车身的空气阻力外, 其余外力(轮胎力系包括6个“分力”)均通过轮胎作用于系统, 并直接影响着车辆的操纵稳定性^[1,2]。所以, 研究轮胎摩擦和力学特性对建立和完善轮胎力学模型, 提高车辆的操稳性和安全性具有重要意义。20世纪末, 带钉轮胎和依靠机械附加装置的抗滑轮胎在日本和美国等国已被禁止生产和使用, 由全天候轮胎取代, 加上同一时期由法国米其林公司推出的绿色轮胎, 两者均要求高抗湿滑性和耐磨性, 这就需要对于轮胎摩擦和力学特性进行大量试验研究。正是基于这样的实际需要研制开发了国内首台冰雪路面轮胎力学特性模拟试验台, 并结合已有的干燥路面轮胎力学特性试验机, 初步研究了两条规格和胎面胶料性能相同而胎面花纹结构不同的轿车子午线轮胎在上述路面上的侧偏特性。

1 试验部分

1.1 试验装置简介

图1所示为吉林大学自主研制开发的轮胎力学

特性试验台, 主要用于测量轮胎在低速滚动时非时变侧偏角及非时变载荷下轮胎的稳态特性。在此基础上研制出了可控温冰雪平台, 可进行有关冬季轮胎摩擦和力学特性的模拟试验研究^[2~5]。试验机主要由伺服液压系统、轮胎及其安装保持装置、力和力矩测量及采集系统、平台以及控制台等5大部分组成, 其中伺服液压系统包括液压机组、驱动、加载和测试共4个子系统, 由计算机实施在线控制。平台的驱动和侧偏角的调节通过计算机由液压系统来完成, 但轮胎侧偏角和负荷是靠稳态反馈比较来实现的。路面对轮胎产生的其余5个力是由上导向

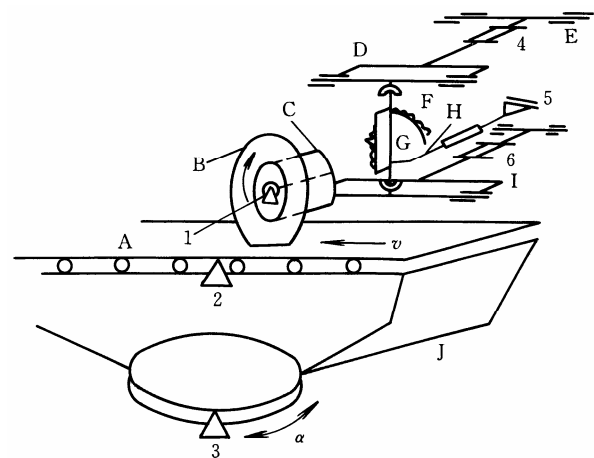


图1 轮胎试验台结构示意图

- A—平台 B—轮胎 C—特制轮毂 D—上导向臂
E—基体 F—扇形体 G—立轴 H—横拉杆
I—下导向臂 J—转盘
1.3. 角位移传感器 2. 位移传感器 4, 6. 测力环 5. 测力棒

* 国家自然科学基金(50275099)、中国博士后科学基金(2003034349)和山东省自然科学基金(Y2002F01)资助项目。20030910 收到初稿, 20040325 收到修改稿

臂测力环 4 和下导向臂测力环 6，以及横拉杆拉力测力棒 5 确定的。其中 4、6 环分别测量上下导向臂的水平弯曲力和拉、压力，棒 5 测量拉压力^[2,4]。这样，根据力和力矩的平衡原理及有关尺寸便可求得作用在轮胎上的除法向力 F_z 以外的 5 个分力，即纵向力 F_x 、侧向力 F_y 、倾覆力矩 M_x 、滚动阻力矩 M_y 和回正力矩 M_z 。

平台和轮胎的位移都采用高精度的容栅传感器(测量精度为 0.01 mm)测量。其中传感器 3 可以精确地测量出平台转角(即轮胎的侧偏角)，传感器 1 和 2 分别测量轮胎转角和平台位移，以求出轮胎的纵向滑移率。为保证干燥模拟路面摩擦因数的稳定，试验时在钢制模拟面上均匀涂抹滑石粉。进行冬季模拟试验时，平台上联接冰槽，或制冰或填压天然雪，可研究冰雪路面上轮胎的摩擦和力学特性。

1.2 试验方案

试验选用 2 条规格相同的 175/65R14 型轿车轮胎，其胎面胶配方和性能相同，但胎面花纹分别为顺向花纹和逆向花纹，如图 2 所示。试验工况参数见表 1(以下符号定义同此表)。针对轮胎实际使用条件，试验用胎的其他有关参数选择如下：

气压 p_i 为：200 kPa、250 kPa 和 300 kPa。

负荷或法向力 F_z 为：3 040 N、3 970 N、4 855 N、5 815 N 和 6 750 N。冰面试验选择了后 3 种负荷。

轮胎侧偏角 α 选择 8 个角度：0°、1°、2°、3°、6°、9°、12°和 15°。

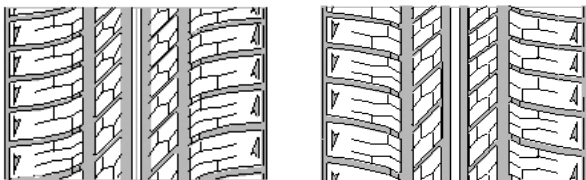


图 2 试验用轮胎的胎面花纹形式

表 1 平台往复轮胎特性试验机的工况参数

轮胎负荷 F_z/N	侧偏角 $\alpha/^\circ$	冰厚 δ/mm	平台速度 $v/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	冰面温度 $\theta_i/^\circ\text{C}$	气压 p_i/MPa
0~7 000	0~15	0~45	0.1	-15~-1	0.20~0.30

2 试验结果及分析

尽管 F_z 和 F_x 也对 F_y 与轮胎运动状态间的关系起一定的影响，并因此间接地影响汽车的操纵稳定性，但是与操纵稳定性关系最大的还是 F_y 和回正力矩 M_z ^[1]，所以主要研究轮胎的侧偏特性(即 F_y 和 M_z 与侧偏角 α 之间的关系)及其常见影响因素。

2.1 冰面温度的影响

汽车在冰面上行驶时，通常认为摩擦牵引力很低，但是实际情况并非总是如此。图 3 所示为不同冰面温度时顺向花纹轮胎的 F_y 与侧偏角 α 之间的关系($F_y \sim \alpha$)，其中 $F_z = 6 750 \text{ N}$ ，气压 $p_i = 250 \text{ kPa}$ 。结果表明：当冰温较高(如 $\theta_i = -4.3^\circ\text{C}$)时，从很小的侧偏角开始(图中 $\alpha > 3^\circ$)侧向力 F_y 便基本稳定了；而当冰温较低(如 $\theta_i = -14.2^\circ\text{C}$)时， F_y 随着侧偏角的增大一直呈明显上升趋势，并且事实上当冰温 $\theta_i = -8.5^\circ\text{C}$ 时，轮胎的 $F_y \sim \alpha$ 关系就已经表现出这种变化趋势了。逆向花纹轮胎的 $F_y \sim \alpha$ 关系也具有类似特征。值得注意的是，在低温冰面(如 $\theta_i = -14.2^\circ\text{C}$)上，侧向力的大小在 $\alpha = 3^\circ$ 时就已接近轮胎法向力的 1/3，而这个值基本上可以满足汽车在冰面上低速行驶时所需的摩擦牵引力大小。

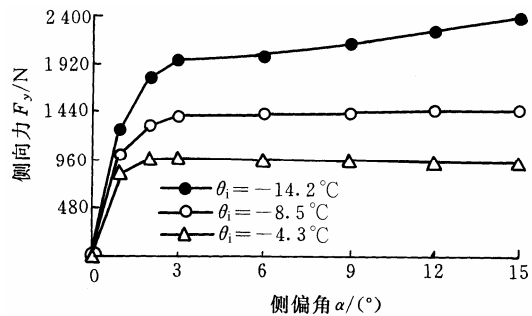


图 3 不同冰温下顺向花纹轮胎的 $F_y \sim \alpha$ 变化关系

2.2 冰面和干燥路面的影响比较

以前曾分别研究过干燥路面和冰面上轮胎的侧偏特性^[1,2]，但没有同时研究同条轮胎在上述两种路面上的侧偏特性。图 4 所示为逆向花纹轮胎在 $F_z = 6 750 \text{ N}$ ， $p_i = 250 \text{ kPa}$ 条件下的侧偏特性，其中冰面温度 $\theta_i = -4.8^\circ\text{C}$ 。结果表明：低温冰面上轮胎的 $F_y \sim \alpha$ 关系变化规律与干燥路面上轮胎的类似(图 4a)，但这种规律除与轮胎负荷和气压有关(下面将作详细分析)，还与路面条件(如是否被污染)等因素有关^[5]。综合图 3 和图 4a 来看，无论是在干燥路面上还是在冰面上，对相同规格的轮胎来讲，其侧向力 F_y 均随侧偏角 α 的增大而增大，且当 α 大于某一值时， F_y 基本稳定或接近极限值(即轮胎与地面的最大摩擦力)，该极限值与轮胎胎面胶料性能和路面条件等因素有关。轮胎(自动)回正力矩 M_z 是 F_y 作用点的后移造成的，这个后移量也被称为“气胎拖距”^[1]。由于 F_y 随侧偏角 α 的增大受限，所以“气胎拖距”随 α 的增大而逐渐减少， M_z 值也就出现了随 α 的增大先升后降的现象，如图 4b 所示。 M_z 出现负值是轮胎印迹上法向反力的合力向前偏移的结果，前移出现与否及其数值大小与路面的附着系数

μ (定义为最大摩擦力与轮胎法向力的比值)有关^[1], μ 值越大则前移量越小, M_z 越不易出现负值, 这也就是图 4b 中冰面轮胎的 $M_z \sim \alpha$ 关系中出现 M_z 为负值的原因。结果还表明, M_z 出现负值既可能发生在冰面上, 也可能发生在干燥路面上。顺向花纹轮胎也具有类似的侧偏特性。轮胎的这种力学特性要求汽车在行驶过程中, 应尽量避免大角度侧偏或大而急的转弯, 在冰面上更是如此, 以避免因轮胎无法提供足够大的汽车转弯力而造成安全事故。

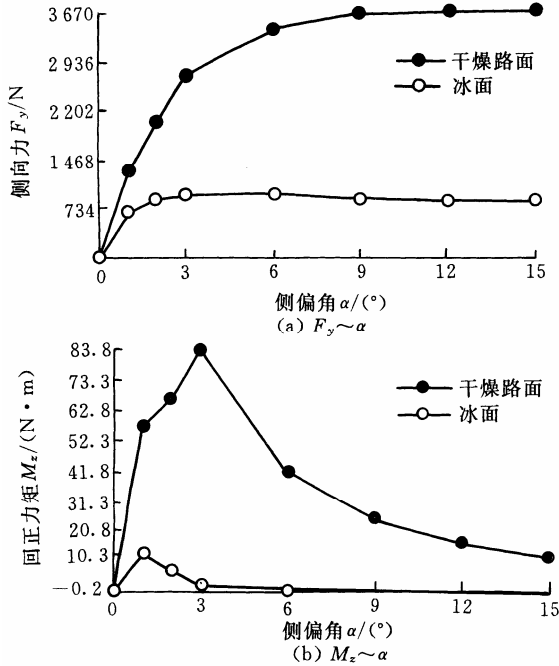


图4 不同路面上逆向花纹轮胎的侧偏特性

2.3 轮胎负荷的影响

图 5 所示为 F_z 对轮胎侧偏特性的影响, 其中 $p_i = 250$ kPa, $\theta_i = -8.5$ °C。可以看出, 随着 F_z 的增加, 无论干燥路面还是冰面, 在同一侧偏角下的轮胎侧向力和回正力矩将增大, 这种规律在其他气压条件下和对逆向花纹轮胎是相同的。其原因可接受解释为: 在较高负荷作用下, 伴随轮胎接地面积的增大, 实际摩擦面积也增大, 从而使轮胎侧向力增大。但是, 随着 F_z 的增加, 轮胎附着系数 μ 将减小^[1], 若单纯依靠增加 F_z 来增大 F_y , 则当轮胎侧向力系数 (F_y/F_z) 超过 μ 值时, 汽车将产生“甩尾”现象, 所以为确保汽车的操纵稳定性应严禁超载。

2.4 轮胎气压的影响

气压大小不仅影响轮胎的使用寿命(磨损率), 而且对轮胎的侧偏特性产生影响, 如图 6 所示, 其中试验条件为 $F_z = 5815$ N, $\theta_i = -8.7$ °C。综合干燥路面上的所有试验结果, 分析表明: 在本试验的气压调节范围(200~300 kPa)内, 气压变化对轮胎的

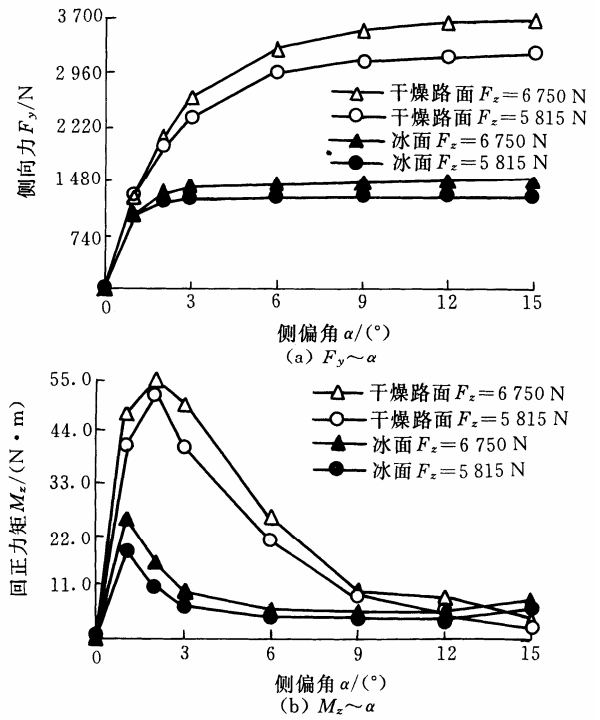


图5 不同负荷 F_z 条件下顺向花纹轮胎的侧偏特性

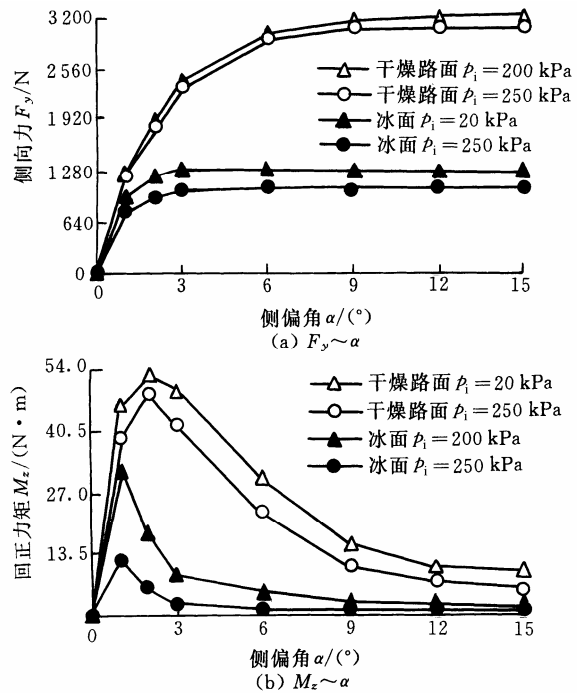


图6 不同气压 p_i 条件下逆向花纹轮胎的侧偏特性

$F_y \sim \alpha$ 关系影响不很明显, 但是对 $M_z \sim \alpha$ 关系的影响比较明显, 即随着侧偏角的增大, 低气压胎的 M_z 值大于高压胎。而在冰面上气压对侧偏特性的影响就很明显: 低气压轮胎的 F_y 和 M_z 值总是大于较高气压轮胎。这再次验证了参考文献[4,6]中关于轮胎中央充放气系统(Central tire inflation/deflation system, CTIS)对改善冰雪路面上行驶汽车操纵稳定性和安全性所起积极作用的结果。造成上述两种路

面上轮胎侧偏特性变化规律不同的原因可能是:在干燥路面上,相同条件(包括 F_z)下低气压轮胎胎面上的微孔张开更充分并附着更多的滑石粉,形成了更大的粉与粉之间的摩擦面积,相应地减少了轮胎与滑石粉或钢板之间的运动接触面积,从而部分或完全抵消了接地面增大带来的侧向力增大的效果。在冰面上的情况却不尽相同。因为胎面胶料和冰的性质不仅与 F_z 有关,还与 θ_i 有关^[6,7],同时由于冰受界面摩擦热熔化和近冰点时压力融化的影响,在微凸体突起处可能产生的熔化使轮胎在冰面上的运动更为复杂^[2,3]。同较高气压轮胎相比,在其他条件(包括 F_z 和 θ_i)相同时,低气压轮胎的接地面面积较大(μ 也较大),导致接地面处的平均接触压力下降,产生的摩擦热量减小,接地面上冰的熔化程度下降,因此使轮胎具有较好的侧偏特性。

2.5 轮胎胎面花纹的影响

结果表明,在本试验条件范围内,在其他试验条件相同的情况下,两种不同花纹轮胎在干燥路面上的侧偏特性差别不是很明显,但是在冰面上却不然,表2给出了几组有代表性的数据。可以看出,冰面上顺向花纹轮胎的侧向力一般大于逆向花纹轮胎,尽管 $M_z \sim \alpha$ 关系的变化规律性不明显,但由于轮胎的 M_z 值大小对实际操作中轮胎的回正所起作用比较小,因此在本试验条件下冰面上顺向花纹轮胎的侧偏特性总体上好于逆向花纹轮胎。其原因可能是在本试验条件下,与顺向花纹轮胎相比,逆向花纹胎面具有更好的微排水效果和较低的侧向胎面刚度。由于研究胎面仅取了两种花纹,所以花纹密度和其他典型花纹形式以及高温冰面上花纹的破、排水效果等都有待作进一步的研究。

表2 不同胎面花纹轮胎在不同负荷条件下的侧偏特性($\alpha = 15^\circ$)

轮胎负荷 F/N	冰面上轮胎的侧偏特性($p_i = 250 \text{ kPa}$, $\theta_i = -14.2 \sim -13.9^\circ \text{C}$)				干燥路面上轮胎的侧偏特性($p_i = 300 \text{ kPa}$)			
	顺向胎面花纹轮胎		逆向胎面花纹轮胎		顺向胎面花纹轮胎		逆向胎面花纹轮胎	
	侧向力 F_y/N	回正力矩 $M_z/(N \cdot m)$	侧向力 F_y/N	回正力矩 $M_z/(N \cdot m)$	侧向力 F_y/N	回正力矩 $M_z/(N \cdot m)$	侧向力 F_y/N	回正力矩 $M_z/(N \cdot m)$
3 040	—	—	—	—	1 630	4.98	1 712	6.28
3 970	—	—	—	—	2 124	6.28	2 130	6.28
4 855	1 597	1.31	1 163	1.97	2 713	7.68	2 639	5.64
5 815	1 953	2.31	1 482	7.00	3 255	7.38	3 064	5.44
6 750	2 385	1.68	1 840	10.5	3 868	4.82	3 738	7.00

3 结论

(1) 冰温是影响冰面上轮胎侧偏特性的重要因素,低冰温下的轮胎侧偏特性更有利于汽车的操纵稳定性和安全性;在相同条件下,相同轮胎在低温冰面上低速运动时的侧偏特性类似于干燥路面。

(2) 在允许范围内适当降低气压,将有助于提高轮胎的侧偏特性,特别是能明显改善冰面上汽车的摩擦牵引力,提高其机动性。

(3) 胎面花纹影响轮胎的侧偏特性,花纹设计应有利于改善排水效果、增大胎面摩擦力。

(4) 试验结果证明,自行设计研制的模拟试验机可以用于冰雪面上轮胎摩擦和力学特性的模拟研究和新型胎面结构的研制。

参 考 文 献

- 郭孔辉. 汽车操纵动力学. 长春: 吉林科学技术出版社, 1991
- 彭旭东. 冰面上轮胎摩擦特性及其控制方法的研究: [博士学位论文]. 西安: 西安交通大学, 1999

- Peng X D, Xie Y B, Guo K H. Study on contacting melting and anti-skid technology for a tire traction on ice. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2001, 14(3): 212~214
- 彭旭东, 宗长富, 谢友柏, 等. 冰面上轮胎摩擦牵引力的试验研究. 摩擦学学报, 2000, 20(1): 30~33
- Peng X D, Xie Y B, Guo K H. A new method for determining tire traction on ice. SAE 001640, 2000: 271~277
- Peng X D, Xie Y B, Guo K H. A tire traction modeling for use in ice mobile. SAE990478, 1999: 97~106
- 石川泰弘. タイヤの摩擦—氷上摩擦と材料特性. 日本ゴム協会誌, 1997, 70(4): 193~203

EXPERIMENTAL STUDY OF CORNERING PROPERTIES OF A TIRE ON AN ICY AND A DRY PAVEMENT

Peng Xudong Meng Xiangkai
(College of Mechanical and Electronic Engineering,
University of Petroleum, Dongying 257061)

Guo Konghui Lu Dang

(State Key Laboratory of Automobile Dynamic
Simulation, Jilin University, Changchun 130025)

Xie Youbai

(Theory of Lubrication and Bearing Institute,
Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049)

Abstract: The test rig for tire traction on icy and snowy pavements is developed based on the existing static tire test rig for dry pavement. The cornering behavior of two pieces of radial tires with the same type and the same tread compounds but different tread patterns is investigated on the above two test rigs. Discussions are focused on the effects of ice surface temperature, normal load, inflation pressure and tire tread

patterns on cornering behavior of a tire on ice and on dry pavements. The results showed that the tendencies of tire cornering force varied with slip angle on cold ice are similar to that of a tire on dry pavement, and different tread patterns can affect the cornering behavior of a tire, especially for a tire on ice. It is suggested that lowering inflation pressure to the accepted extent will be benefit for controllability and stability of an automotive.

Key words: Dry pavement Icy pavement Tire
Cornering behavior Test rig

作者简介: 彭旭东, 男, 1964 年出生, 博士, 教授。主要从事橡胶类材料摩擦和磨损以及机械密封等方面的研究和教学, 发表论文 70 余篇, 获国家专利 2 项, 主持省部级以上课题 5 项。

E-mail: pengxd@mail.hdpu.edu.cn

《机械工程学报》被 EI 收录论文目次 (2003 年第 7 期)

- 批量客户化生产模式下的模块划分方法研究..... 潘双夏 高 飞 冯培恩 (1)
- 基于结果链的建模方法在企业分析和系统设计中的研究与应用..... 米小珍 刘晓冰 臧传真 (7)
- 考虑特征差异的多特征工件依次定位..... 陈善勇 李圣怡 戴一帆 (13)
- 无堵塞离心泵内部三维固液两相湍流场数值模拟..... 袁寿其 李 昫 何朝辉 (18)
- 气动人工肌肉系统建模与仿真..... 李宝仁 刘 军 杨 钢 (23)
- 斜齿圆柱齿轮传动系统动力学模型及动特性试验研究..... 林 江 楼建勇 (29)
- 可重构机器人单元结构设计及组合特性分析..... 郑浩峻 汪劲松 李铁民 (34)
- 一种含平行四边形支链的 3 自由度并联机构姿态精度综合与装配工艺设计..... 李思维 黄 田 Derek Chetwynd 等 (38)
- 基于单脉冲放电的钨微细电极快速成形方法及其应用研究..... 曹国辉 王振龙 迟关心等 (43)
- 提高弹性模型方法预测焊接变形实用性的研究..... 蔡志鹏 赵海燕 鹿安理 (48)
- 供气压力波动自适应缓冲高速气缸的研究..... 王祖温 王海涛 包 钢等 (51)
- 受制滚动钢摩擦副的摩擦特性研究..... 刘启跃 周仲荣 (56)
- 焊缝位姿及焊枪位姿的模型..... 陈志翔 卢振洋 殷树言等 (59)
- 配置蓄能器的变频驱动液压电梯能耗特性研究..... 林建杰 徐 兵 杨华勇 (63)
- HT-7U 超导托卡马克装置真空室结构数值分析..... 宋云涛 姚达毛 武松涛等 (68)
- 采用线性加减速伺服系统的快速准确定位方法..... 郭新贵 李从心 阮雪榆 (74)
- 高速强力电磁阀挤压油膜阻尼的研究..... 夏胜枝 欧阳明高 周 明等 (84)
- 基于神经元的多传感器数据级融合研究..... 谷立臣 张优云 (89)
- 模拟板带轧制三维变形的流面条元法..... 刘宏民 王英睿 (94)
- 高性能 CVD 金刚石薄膜涂层刀具的制备和试验研究..... 孙方宏 陈 明 张志明等 (101)
- 轧辊表面微凸体形貌激光毛化技术的试验研究..... 刘 莹 陈大融 杨文言 (107)
- 单螺杆挤出机并联式稳压装置的模拟计算..... 李晓林 吴大鸣 伊万 M (111)
- 链环式超越离合器高速超越特性研究..... 黄靖远 孙吉平 高 志等 (116)
- 准恒力电磁铁的吸力特性研究..... 付文智 李明哲 崔相吉 (119)
- 柴油机微粒金属丝网过滤体特性及反吹再生的初步研究..... 宁 智 资新运 张春润等 (123)
- 深海采矿装置的自动升沉补偿系统的模拟研究..... 吴百海 肖体兵 龙建军等 (128)
- 基于五坐标数控圆柱刀具线接触加工自由曲面的几何学原理..... 曹利新 吴宏基 刘 健 (134)
- Ti 微合金钢第二相粒子在焊接热循环过程中的溶解、粗化及再析出..... 陈茂爱 武传松 廉 荣等 (138)
- 发动机叶轮铣数控加工方法及误差计算..... 陈皓晖 刘华明 孙春华 (143)
- 基于 B/S 的刀具使用寿命评价体系和方法的研究..... 曹 杰 易 红 陈森发等 (146)
- 基于一种新的时频分布的机械故障诊断..... 王新晴 马瑞恒 王耀华等 (150)
- 电化学机械光整加工表面形貌研究..... 张 明 侯仰海 毛蜀平 (154)