

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2017.02.029

# 工程塑料尼龙在机械零件中的应用

夏学莲,史向阳,赵海鹏,李辉,李翔

(河南城建学院材料与化工学院,河南平顶山 467036)

**摘要:** 尼龙作为五大工程塑料之一,具有优异的力学性能、耐热性能、加工性能、电性能、耐溶剂性、阻燃性等,特别是浇铸尼龙被广泛应用于国防军工、工业机械、交通工具、民用机械等领域。综述了尼龙在国防、机械工业、交通工具等领域机械零件中的应用进展情况,并指出尼龙作为工程材料在很多领域应用非常广,但与国外的差距还很大,大多都只用在低速、轻载场合。塑料机械零件还未被企业和政府所重视,有少量应用,但产品质量落后于世界水平,尼龙机械零件的研究和应用还有很大的提升空间。

**关键词:** 尼龙;工程塑料;机械;应用

**中图分类号:** TQ323.6      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-3539(2017)02-0128-05

## Application of Nylon Engineering Plastics in Mechanical Parts Field

Xia Xuelian, Shi Xiangyang, Zhao Haipeng, Li Hui, Li Xiang

(School of Materials and Chemical Engineering, Henan University of Urban Construction, Pingdingshan 467036, China)

**Abstract :** Nylons, as one of the five major engineering plastics, with excellent mechanical properties, heat resistance, processability, electrical properties, solvent resistance, flame retardant, especially the monomer casting nylon are widely used in national defense, industrial machinery, transport machinery, civil field and so on. The application of nylon in defense, industrial machinery, transportation and other fields as mechanical parts were reviewed. It was pointed out that nylon as engineering materials were very widely used in many fields, but the gap with foreign countries is still very great, most of them only used at low speed and light load situation. The plastic machinery parts have not been paid more attention to by enterprises and government, having a small amount of application. But the quality of plastic products is behind the world level. The research and application of nylon mechanical parts have a lot of room for improvement.

**Keywords :** nylon ; engineering plastic ; machinery ; application

工程塑料是用于工业零部件或产品外壳塑料的总称,一般具有较高的强度、韧性、硬度,且具有优异的耐热性和耐老化性等优点。尼龙(PA)又称为聚酰胺,为五大工程塑料之一,随着聚合技术不断进步<sup>[1-4]</sup>,应用越来越广泛,已从普通装饰件逐渐发展到承重结构件和功能件。

尼龙主链上含有大量极性较强的酰胺键,分子间作用力强,加之氢和给电子基团羟基之间易形成牢固氢键<sup>[5]</sup>,使得其性能优异,主要表现在以下八方面。(1)力学性能。尼龙拉伸强度、弯曲强度、冲击强度、硬度、刚性、模量、韧性都较好,尤其经过纤维增强的复合材料或与其它高聚物混合制成的合金,其强度、模量、硬度、刚度、耐磨性进一步提高。特别地,尼龙具有较好的耐摩擦磨损性、自润滑性(水可以作为润滑剂)和耐疲劳性,这是其能够作为工程塑料广泛使用的重要原因之一。(2)耐热性。尼龙具有较高的熔点,一般在240℃以上,芳香族尼龙的耐热性较脂肪族尼龙高<sup>[6]</sup>,若加入一定的增强填料,其热稳定性能大大提高,热变形温度可高达250℃。(3)加工性能。尼龙是热塑性塑料,熔融后

在剪切力作用下黏度较低,流动性好,易于成型加工,维修容易。(4)电性能。在干燥的条件下,尼龙具有较好的电绝缘性,可作为绝缘材料使用,是特别好的高频绝缘性材料。但是尼龙容易吸水、吸湿,吸湿以后绝缘性降低<sup>[7]</sup>。(5)耐溶剂性。尼龙的化学稳定性好,耐碱,耐弱酸;而且属于耐溶剂型塑料,尤其耐芳烃类化合物和常用有机溶剂,可用于化学、化工仪器;在某些金属容易生锈的环境,如水表,可用尼龙材料代替。(6)阻燃性。易于功能化:尼龙的阻燃性较好,一般不易燃烧;加入抗菌剂还能使其具有抗菌性、自净功能<sup>[8]</sup>。(7)比金属材料更优的特性。尼龙还具有质量轻、工作噪音小、工作过程中不会擦起火花、不会生锈、不受电磁干扰的特点。另外,作为齿轮使用时,可通过自身的变形和偏转达到缓冲碰撞和冲击目的,还能减少因安装偏差引起的局部负载。(8)尼龙还具有原料充足、品种多、价格低、易于回收利用、良好染色性、所得制品精度高、尺寸稳定性好等优良特性<sup>[9]</sup>。

联系人:夏学莲,博士,讲师,主要从事高分子材料改性与应用研究  
收稿日期:2016-12-02

浇铸尼龙(MC尼龙)属于尼龙的一种,它是通过反应单体在碱催化作用下发生阴离子聚合而得到,生产工艺简单,不需要复杂昂贵的设备,成本低。MC尼龙聚合度高,分子量高达7万~10万,比缩聚得到的尼龙高2倍多,且分子量分布均匀。尼龙中酰胺键极性较大,且存在分子内、分子间氢键,使得分子容易结晶,结晶度高达50%以上。因此力学强度很高,在强度、耐摩擦磨损、刚度、耐化学腐蚀、绝缘性等方面比缩聚得到的尼龙有很多优势<sup>[10-11]</sup>。此外,MC尼龙制品的尺寸只要模具允许就不受限制,大型制品质量可达几百千克;且所得制品各向同性,所以,特别适合制造注塑和热压无法成型的大型制品。目前,MC尼龙正逐步替代金属材料<sup>[12]</sup>。

基于尼龙综合性能好的原因,已作为齿轮、蜗轮、滑轮、轴承保持架<sup>[13]</sup>、凸轮、衬垫、轴瓦、轴套、密封环、滑块进瓶螺旋等机械零件,部分替代金属材料。尼龙已被广泛地应用于国防、航空、地铁、船舶、汽车、建筑机械(单槽绞车中的齿轮)、选煤机械、球磨机、纺织机械、甘蔗压榨机、石油化工、轻工、家电(仪表、水表、玩具)等,涉及国防军工、工业机械、交通、民用等诸多领域<sup>[14-15]</sup>。

## 1 尼龙在国防、军工领域的应用

尼龙质轻,约为钢铁密度的 $1/7 \sim 1/6$ ,玻璃纤维增强尼龙的比强度约为 $4000 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ,而钢铁约为 $1600 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ,这对减轻武器装备质量非常重要,可达到兵器轻量化目的。在军用结构材料中,按质量计算,塑料及其复合材料大约占78%,钢铁约占20%,表明塑料将进入大量应用时期,军用材料逐渐从钢铁、轻质铝合金转变为塑料时代。尼龙在国内弹药的引信产品中大量应用,如117产品基座,118产品涡轮、线圈骨架、转子、挡圈、三脚接位线销均采用玻璃纤维增强尼龙6;131产品的线包骨架、高频插座、高频座、十字夹、绝缘套、绝缘筒等采用尼龙1010,尼龙1011作为绝缘环<sup>[16]</sup>。

另外,军用领域中的陀螺仪及操纵装置,常采用尼龙材料作为齿轮。尼龙材料的使用,可减轻自身质量,降低成本,提高生产效率和产品质量。

## 2 尼龙在工业机械领域的应用

### 2.1 采煤、选煤机械

尼龙应用于煤矿井下采煤设备,锚杆预紧力的施加是通过螺母施加扭矩产生的,不采用其他减摩方式,采用尼龙1010和改性尼龙1010减摩垫片,达到的减摩效果最佳<sup>[17]</sup>。山西三元煤业选煤厂,末精煤脱水过程采用LLL型立式螺旋刮刀卸料离心机,该设备采用尼龙齿轮套联轴器<sup>[18]</sup>。

### 2.2 球磨机

洛阳中信重工机械股份有限公司生产的筒式钢球磨(350/600),4<sup>#</sup>炉A磨煤机小齿轮与减速机采用尼龙6为材

质的棒销联轴器连接<sup>[19]</sup>。山东华银特种水泥股份有限公司的球磨机( $\Phi 2.2 \times 6.5 \text{ m}$ )中,电动机与ZD70减速机采用尼龙柱销联轴器联结<sup>[20]</sup>。

### 2.3 纺织机械

剑杆纺织机(GA736型)打纬机构采用尼龙扇形齿条。GA736剑杆纺织机的行星小齿轮和扇形齿的材料至少有一件是非金属材料(尼龙),才能保证齿轮振动小、噪声低,且使用尼龙齿轮可降低成本<sup>[21]</sup>。

迟玉斌等<sup>[22]</sup>运用ANSYS对用于纺织机械碳纤维增强尼龙齿轮进行有限元应力分析,结果表明,采用尼龙齿轮各项力学性能均达到设计要求指标。欧美已普遍将碳纤维增强尼龙材料应用于纺织机械类产品,国内还较为少见。

张国良等<sup>[23]</sup>以碳纤维增强尼龙齿轮为例,探讨碳纤维在纺织机械上的应用,认为这必将是发展的趋势。

### 2.4 甘蔗压榨机

以往,蔗糖厂压榨机中的轴承采用铜轴瓦和滚动轴承,由于有色金属价格昂贵、辊轴运转时间长造成轴颈磨损,缩短使用寿命。因此,甘蔗糖厂的小型压榨机采用MC尼龙轴瓦代替铜轴瓦。MC尼龙代替有色金属材料,有很高的经济效益。陈德望等<sup>[24]</sup>采用MC尼龙材料作为大型压榨机 $\Phi 1000 \times 2000$ 上的轴瓦替代原有的铜轴瓦,并实践证明了可行性。

### 2.5 除锈机

李喜微<sup>[25]</sup>针对除锈机WQ10提升机轴承磨损情况,从结构和材料两方面进行改造。材料方面,采用尼龙轴衬与钢外套两件组装,塑料和金属不同材质接触的工作表面,可减小摩擦、磨损。改造后,除锈机工作时轴承灵活运转,性能完全能满足设备的使用要求。改造前,提升机轴承使用一个多月就发生磨损;改造以后,大大延长了使用寿命,达到了预期的改造目标。

### 2.6 工程机械起重机

在起重机类的大型机械中,尼龙材料也有应用。起重机械臂上使用的尼龙滑块起到三重作用:(1)可以防止伸缩臂的直接接触造成的摩擦、磨损,减小了起重机械臂在伸缩时产生的摩擦力<sup>[26]</sup>;(2)提高其工作稳定性、安全性;(3)同时,尼龙滑块可以支撑臂与臂之间的压力。李毅等<sup>[27]</sup>通过向MC尼龙中添加一种轴承润滑油,改善其摩擦、磨损性能,结果表明,润滑油用量仅为5%时,复合材料即可达到较高的拉伸、压缩强度,且摩擦系数和磨损量较低,完全满足使用要求。

### 2.7 单槽绞车

MC尼龙经过改性后,也可用于大型的建筑工程机械中,如单槽绞车,其电动机的功率可达15 kW,卷扬机的质量为16020 kg,运行速度约为40 m/min。在这类大型机械中,

电动机小齿轮与大齿轮都采用 MC 尼龙复合材料,该复合材料主要采用石墨填充改性,两个 MC 尼龙 / 石墨复合材料齿轮啮合时,与金属齿轮传动相比有很多优势,如更轻、精度更高、噪声更低,且尼龙齿轮更容易成型。

## 2.8 其它

轴承的滚道界面润滑和接触力对轴承使用寿命影响较大,为了提高圆柱形滚子轴承的使用寿命,吴继强等<sup>[28]</sup>采用有限元法计算了尼龙 1010、丁腈橡胶、硬质铝合金和紫铜四种填充材料对轴承滚道与滚子之间接触力大小的影响。结果表明,尼龙 1010 填充材料开槽轴承降低了滚子与滚道接触力,增加了滚子接触个数,可减缓轴承疲劳。相似地,为提高滤波减速器寿命,曹伟等<sup>[29]</sup>分析认为使用尼龙 1010 开槽齿轮啮合力降低、齿面接触应力减小,可增加啮合齿对数。

无锡市国悦机械制造有限公司生产的轴承沟道超精机(ZC型)的超精导辊成套轴承中,平顶尖和一个轴承装配隔套使用尼龙材料<sup>[30]</sup>。孙猛等<sup>[31]</sup>以尼龙齿轮代替金属齿轮,设计外啮合渐开线齿轮泵。贾秋生等<sup>[32]</sup>开发了 RV 减速机用 BT 轴承,采用尼龙 66 注塑成型保持架替代钢板冲压架保持架。在螺旋输送机中,用尼龙轴瓦代替粉末冶金轴瓦,适合输送潮湿物料,无需添加润滑脂、润滑油,可干运转<sup>[33]</sup>。孟浩东等<sup>[34]</sup>采用尼龙合金复合材料的水油箱降低单缸柴油机表面噪声,效果明显。

## 3 尼龙在交通工具中的应用

### 3.1 航空

小型航空器的动力陀螺器、稳定控制表面的动力旋转器,均采用非金属齿轮,尼龙 6、尼龙 66、MC 尼龙制成的齿轮具有耐冲击<sup>[35]</sup>、耐疲劳、自润滑性能好、耐磨损的优点<sup>[36]</sup>。

自润滑杆端的关节轴承由带螺纹杆轴承壳体、空心球状内圈和自润滑衬垫组成。常用衬垫层有聚四氟乙烯和尼龙等<sup>[37-38]</sup>,衬垫承载能力强,摩擦系数低,可实现其在航空、航天等领域承载能力强、使用寿命长、自润滑<sup>[39]</sup>、免维护、易拆卸等的要求<sup>[40]</sup>。

占松华等<sup>[41]</sup>对比了注塑改性尼龙和烧结聚四氟乙烯作为关节轴承杆端衬垫使用时的摩擦、磨损性能,结果表明,尼龙衬垫的耐摩擦性优于聚四氟乙烯;两种衬垫耐摩擦磨损性指标均达到了美国航空标准 SAE-AS81820 的要求。

### 3.2 地铁

地铁轴承 BT2-8545 产品的保持架结构采用 PA66-GF25-JB/T7048 增强尼龙;尼龙材质摩擦系数小、噪声低、自润滑性好。城市轨道交通快速发展,北京、天津、上海、广州等多个大城市均在建,今后 5 年左右将建设六十多条线路两千多公里,总投资六千多亿。我国机车制造业在世界上生产规模最大,具有最先进的加工设备,每年出口的机车、配件

约 5 亿美元,中国机车已将尼龙材料应用于地铁领域<sup>[42]</sup>。

### 3.3 汽车

近年来人们对汽车轻量化、低油耗、抗冲击、安全等要求不断提高,塑料越来越多地应用于汽车行业。汽车领域大量应用工程塑料代替昂贵的有色金属和合金,提高了汽车造型美观、设计灵活性,降低零件加工、装配、维修费用,大幅减轻汽车自重,降低能耗。

汽车领域应用的多为增强、增韧尼龙,主要应用有以下五个方面。(1) 汽车电气部件,如电气配线、接线柱<sup>[43]</sup>、中央电器板、跟踪前灯、大灯调节器和车灯外壳<sup>[44]</sup>;(2) 发动机,汽缸头盖、发动机装饰盖、发动机盖、发动机水箱盖、风扇,还有进气歧管,1990 年宝马汽车首次将玻纤增强尼龙进气歧管用于六汽缸发动机中。(3) 燃油箱,油滤清器、输油管;(4) 车身部件,如升降门、座位、风扇、散热器格栅、刮雨器。(5) 其它受力部件,汽车车体的驱动、控制部件、涡轮增压装置、斜齿轮调解装置、刹车传动器、电动节气门段、AMT 换挡档执行机构蜗轮<sup>[45]</sup>、动力转向器、减震驱动器等。采用尼龙合金还可提高外板的防腐性,碰撞时具有一定复原性<sup>[46]</sup>。NSK 日本精工面向汽车的自动变速箱、无级变速箱、混合动力车及轮毂电机采用玻璃纤维增强尼龙。东风汽车 2005 年开始研究稀土含油 MC 尼龙零件的应用,主要试制开发了底盘推力杆球销式衬套、底盘平衡轴直销式衬套、推力杆球碗、板簧吊耳衬套、降噪片和钢板弹簧用衬套等零件<sup>[47]</sup>。

尼龙作为汽车配件材料的研究还在改进,陈谦等<sup>[48]</sup>采用稀土、润滑油改性 MC 尼龙,结果显示其热稳定性、耐磨损性和刚性提高,可替代聚甲醛和锡青铜双金属材料,在重载和中低速摩擦条件下用于汽车的衬套、轴承等。

### 3.4 船舶

船舶中塑料尾轴承已得到广泛应用,船舶尾轴承主要采用尼龙、赛龙等合成材料<sup>[49]</sup>。船舶推进系统中,以水作为工作介质替代矿物油的水润滑轴承成为各国研究热点,它具有结构简单、节能环保、维修方便等特点。尼龙材料作为水润滑轴承,与聚对苯二甲酸乙二酯、铸铁、青铜相比,承载力强、使用寿命长、摩擦系数低。明尼苏达州(美国)Winona 开发的 RTP200 系列尼龙混合物被 Cyclaire 公司用于抽水系统轴承<sup>[50]</sup>。

某公司斜流泵中的水润滑轴承磨损失效,时连卫等<sup>[51]</sup>根据水润滑轴承相关技术要求,采用 MC 尼龙基体、20% 橡胶弹性体、3% 石墨和适量柔韧剂制备了复合工程塑料,性能接近国外赛龙轴承材料。

## 4 尼龙在民用机械领域的应用

尼龙齿轮有很多优点,比如传动噪声低,吸振、自润滑等,而且可以开模加工,生产效率高。因此,非金属齿轮经常

替代金属齿轮用于洗衣机传动装置、通风和空调系统的减振驱动器、流动设施中的阀门传动、打印机、公共休息室中的自动冲扫器,经过阻燃改性后的尼龙还可用于接线板、电器接插件、电缆线等。

## 5 国内外生产工程塑料尼龙零件产品的公司

国外生产该类产品的供应商有美国 Timken, Dodge, Kaydon, Sealmaster, 杜邦 (70G25HSLR, 70G25L), 瑞典 SKF, 德国的 INA, FAG, BASF(PA66-GF25, A3HG5), 法国罗地亚 (A218V25), 日本的 NSK, KOYO, NTN, 荷兰帝斯曼 (TW241F6)。

国内生产尼龙工程机械零件的公司有南京轴承、重庆长江、常州光洋、镇江飞亚等;生产了许多替进口品牌改性塑料,如神马集团的 2730, 南京德尔隆的 A7064 等,但还存在耐热性<sup>[52]</sup>、耐磨性<sup>[53]</sup>、韧性差等缺陷。

## 6 结语

相对于金属机械零件,尼龙的研究较晚,人们对尼龙机械零件的了解还不深入,只是在模仿着金属元件改进。然而,一味模仿行不通,尼龙不像金属材料,不遵循胡克定律,表现出黏弹性,其力学模型、相关参数与金属材料迥异。尼龙的力学性能与施力方法、施力时间相关,因而其变形无规律可循,极为复杂。尼龙的黏弹性对器件意义重大,静态黏弹性表现为蠕变、应力松弛;当摩擦、碰撞等引起温度升高时,由于黏弹性产生的变形更加明显。器件的抗疲劳、耐磨、抗冲击、降噪音和减振等与尼龙的黏弹性有关<sup>[54]</sup>。

在国外,已经在塑料机械零件的应用及理论方面做了大量试验和研究。在应用方面,已非常普遍地将塑料机械零件作为传递动力的机械装置;在理论研究方面,对塑料机械零件的疲劳寿命、振动、失效形式、失效机理、磨损、传动效率、噪声、本体温度测试和温度计算等方面进行了分析,关于粘弹性材料的滞后原理探讨也有所涉及。

在国内,尼龙作为工程材料在很多领域应用非常广,但与国外的差距还很大,大多都只用在低速、轻载场合。一方面塑料机械零件还未被企业和政府所重视,有少量应用,但产品质量落后于世界水平。另一方面,国内塑料机械零件的工程应用还没有统一标准,主要参照金属机械零件标准进行设计和应用,基本依靠实践经验或者高额引进国外先进技术。尼龙机械零件的研究和应用还有很大的提升空间。

## 参考文献

- [1] 白荣光,等. 化工进展,2014,33(1):21-24.  
Bai Rongguang, et al. Chemical Industry and Engineering Progress, 2014, 33(1):21-24.
- [2] 万丽华,等. 化工学报,2004,55(1):106-109.  
Wan Lihua, et al. Journal of Chemical Industry and Engineering, 2004, 55(1):106-109.
- [3] 谢建军,等. 化工学报,2002,53(10):1 057-1 060.  
Xie Jianjun, et al. Journal of Chemical Industry and Engineering, 2002, 53(10):1 057-1 060.
- [4] 谢建军,等. 化工学报,2000,51(1):45-51.  
Xie Jianjun, et al. Journal of Chemical Industry and Engineering, 2000, 51(1):45-51.
- [5] Xia Guangmei, et al. Colloid and Polymer Science, 2012, 290:1 943-1 947.
- [6] 万利,等. 化工进展,2016,35(4):1 257-1 262.  
Wan Li, et al. Chemical Industry and Engineering Progress, 2016, 35(4):1 257-1 262.
- [7] Zhen Mei, Chung D D L. Thermochimica Acta, 2001, 369:87-93.
- [8] Ummartyotin S, et al. Colloid and Polymer Science, 2016, 294:1 217-1 224.
- [9] 陈坤. 基于有限元法的 MC 尼龙斜齿轮性能分析 [D]. 长沙:湘潭大学,2011.  
Chen Kun. Performance analysis of MC nylon helical gear based on the finite element method[D]. Changsha:Xiangtan University, 2011.
- [10] Jian Lingqi, et al. Tribology Letters, 2009, 36:199-208.
- [11] 陈坤,等. 机械设计与制造,2012(3):110-112.  
Chen Kun, et al. Machinery Design & Manufacture, 2012(3):110-112.
- [12] Qiu Shangchang, et al. Polymer Bulletin, 2011, 67:1 945-1 959.
- [13] 王朝光,等. 哈尔滨轴承,2012,33(3):5-11.  
Wang Chaoguang, et al. Journal of Harbin Bearing, 2012, 33(3):5-11.
- [14] 周煜,等. 化学工程与装备,2014(8):14-18.  
Zhou Yu, et al. Chemical Engineering & Equipment, 2014(8):14-18.
- [15] Tehnicka S, et al. Technical Gazette, 2010, 172:251-254.
- [16] 全兴勇. 工程塑料在弹药系统中的应用问题研究 [D]. 南京:南京理工大学,2010.  
Tong Xingyong. Research on application of engineering plastics in ammunition system[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2010.
- [17] 孟宪志,等. 煤矿安全,2015,46(10):60-63.  
Meng Xianzhi, et al. Safety in Coal Mines, 2015, 46(10):60-63.
- [18] 张引刚. 中国煤炭,2013,39(4):82-85.  
Zhang Yingang. China Coal, 2013, 39(4):82-85.
- [19] 徐健. 中国科技信息,2012(10):138-144.  
Xu Jian. China Science and Technology Information, 2012(10):138-144.
- [20] 宗学德,等. 四川水泥,2008(5):35-36.  
Zong Xuede, et al. Sichuan Cement, 2008(5):35-36.
- [21] 石书义. 纺织机械,2009(4):34-37.  
Shi Shuyi. Textile Machinery, 2009(4):34-37.
- [22] 迟玉斌,等. 江苏纺织,2013(3):35-37.

- Chi Yubin, et al. Jiangsu Textile, 2013(3):35-37.
- [23] 张国良,等. 机械制造, 2011, 49(568):39-41.  
Zhang Guoliang, et al. Machinery, 2011, 49(568):39-41.
- [24] 陈德望,等. 甘蔗糖业, 2016(1):37-41.  
Chen Dewang, et al. Sugarcane and Canesugar, 2016(1):37-41.
- [25] 李喜微. 油气田地面工程, 2008, 27(7):19-21.  
Li Xiwei. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2008, 27(7):19-21.
- [26] Lin Ye. Journal of Materials Science Letters, 1994, 13:1 684-1 687.
- [27] 李毅,等. 塑料科技, 2016, 44(2):41-44.  
Li Yi, et al. Plastics Science and Technology, 2016, 44(2):41-44.
- [28] 吴继强,等. 四川大学学报, 2016, 48(4):197-203.  
Wu Jiqiang, et al. Journal of Sichuan University, 2016, 48(4):197-203.
- [29] 曹伟,等. 四川大学学报, 2016, 48(5):192-200.  
Cao Wei, et al. Journal of Sichuan University, 2016, 48(5):192-200.
- [30] 邹友民. 纺织器材, 2016(10):1-3.  
Zhou Youmin. Textile Accessories, 2016(10):1-3.
- [31] 孙猛,等. 机械制造, 2015, 42(7):20-22.  
Sun Meng, et al. Machinery, 2015, 42(7):20-22.
- [32] 贾秋生,等. 哈尔滨轴承, 2011, 32(2):5-7.  
Jia Qiusheng, et al. Journal of Harbin Bearing, 2011, 32(2):5-7.
- [33] 苑春艳. 福建建材, 2009(6):88-96.  
Yuan Chunyan. Fujian Building Materials, 2009(6):88-96.
- [34] 孟浩东,等. 南京航空航天大学学报, 2012, 44(6):898-903.  
Meng Haodong, et al. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2012, 44(6):898-903.
- [35] Wang Yuexin, et al. Journal of Material Science, 2015, 50:6 291-6 301.
- [36] 王鸿昌. 基于大轮失配的尼龙与钢制弧齿锥齿轮研究[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2013.  
Wang Hongchang. The research of nylon and steel spiral bevel gear base on the mismatch of the gear[D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2013.
- [37] 朱真才,等. 中国矿业大学学报, 2009, 38(3):362-366.  
Zhu Zhencai, et al. Journal of China University of Mining & Technology, 2009, 38(3):362-366.
- [38] 刘勇,等. 工程塑料应用, 2010, 38(1):80-84.  
Liu Yong, et al. Engineering Plastics Application, 2010, 38(1):80-84.
- [39] 崔景. 电子制作, 2016(6):94.  
Cui Jing. Practical Electronics, 2016(6):94.
- [40] 陈冠杰. 中国高新技术企业, 2015(31):65-66.  
Chen Guanjie. China High-Tech Enterprises, 2015(31):65-66.
- [41] 占松华,等. 润滑与密封, 2013, 38(3):90-92.  
Zhan Songhua, et al. Lubrication Engineering, 2013, 38(3):90-92.
- [42] 李锦红,等. 哈尔滨轴承, 2011, 32(2):3-7.  
Li Jinjiang, et al. Journal of Harbin Bearing, 2011, 32(2):3-7.
- [43] 黄赋云. 现代塑料加工应用, 2008(5):58.  
Huang Fuyun. Modern Plastics Processing and Applications, 2008(5):58.
- [44] 宁林波,等. 塑料工业, 2010, 38(16):30-33.  
Ning Linbo, et al. China Plastics Industry, 2010, 38(16):30-33.
- [45] 崔玉萌. AMT 选换挡执行机构改进设计及分析[D]. 北京: 燕山大学, 2014.  
Cui Yumeng. Revised design and analysis of AMT shift actuator[D]. Beijing: Yanshan University, 2014.
- [46] 钱志国,等. 工程塑料应用, 2008, 36(11):45-49.  
Qian Zhiguo, et al. Engineering Plastics Application, 2008, 36(11):45-49.
- [47] Shin J, et al. Journal of Central South University of Technology, 2012, 19(2):365-373.
- [48] 陈谦,等. 汽车工艺与材料, 2009(1):61-65.  
Chen Qian, et al. Automobile Technology & Material, 2009(1):61-65.
- [49] 华永锋. 中国水运, 2010, 10(10):128-129.  
Hua Yongfeng. China Water Transport, 2010, 10(10):128-129.
- [50] 段海涛,等. 润滑与密封, 2012, 37(9):109-116.  
Duan Haitao, et al. Lubrication Engineering, 2012, 37(9):109-116.
- [51] 时连卫,等. 轴承, 2010(12):29-30.  
Shi Lianwei, et al. Bearing, 2010(12):29-30.
- [52] Vyas A, et al. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2014, 117:39-52.
- [53] 王军祥,等. 高分子材料科学与工程, 2015, 21(3):184-188.  
Wang Junxiang, et al. Polymer Materials Science & Engineering, 2015, 21(3):184-188.
- [54] 梅自元,等. 清远职业技术学院学报, 2015, 8(5):84-86.  
Mei Ziyuan, et al. Journal of Qingyuan Polytechnic, 2015, 8(5):84-86.

## 本刊声明

近期有不法网站和个人假借本刊名义向广大读者征稿,同时收取高额注册费、审稿费、版面费。本刊特此声明:《工程塑料应用》为中国兵器工业集团第五三研究所(山东非金属材料研究所)主办,杂志社所在地为山东省济南市,本刊唯一合法投稿网址为 [www.epa1973.com](http://www.epa1973.com),本刊未委托任何机构和个人从事征稿和组稿业务。请广大作者牢记本刊投稿网址,辨别来电属地,不要给个人账户汇款,防止受骗。本刊保留对相关网站和个人追究法律责任的权利。

(工程塑料应用杂志社)