

文章编号:1004-2539(2007)01-0092-05

## 带传动理论与技术的现状与展望

(湖南科技大学机电工程学院, 湖南湘潭 411201) 诸世敏 罗善明 余以道 郭迎福

**摘要** 介绍了国内外带传动理论与技术的发展历史,综述了国内外带传动产品、传动带材料、生产装备及理论研究等方面的现状。指出小型化、精密化和高速化将是今后带传动的发展方向,切边V带、同步带、多楔带、CVT用无级变速带、磁性复合金属带等新型传动带将是今后传动带产品开发的重点。同时还指出,先进的生产工艺装备和试验测试设备的研制与开发将是今后带传动技术领域所需要解决的主要问题。

**关键词** 带传动 传动带 制造工艺 试验设备 机械传动

### 引言

由于原动机运动的单一性、简单性与工作机运动的多样性、复杂性之间的矛盾,任何机器都必须包括传动机械。特别是,很多机器的工作性能、使用寿命、能源消耗、振动噪声,在很大程度上取决于传动机械的质量<sup>[1]</sup>。带传动便是其中最重要的传动形式之一。

带传动(Belt drive)是机械传动学科的一个重要分支,主要用于传递运动和动力。它是机械传动中重要的传动形式,也是机电设备的核心联结部件,种类异常繁多,用途极为广泛。其最大特点是可以自由变速,远近传动,结构简单,更换方便<sup>[2]</sup>。带传动根据其传动原理可分为摩擦型和啮合型两大类。摩擦型带传动包括平带传动(Flat belt drive)、V带传动、多楔带传动(Ribbed V-belt drive)以及双面V带传动、圆型带传动等。啮合型带传动即同步带传动(Synchronous belt drive)。

### 1 带传动的应用

随着工业技术水平的不断提高,带传动在各种机械设备传动中的应用越来越广泛,并在一定范围内代替了齿轮传动和链传动。为适应高速化、轻量化、精密化、省力化和长寿命、低噪声的要求,我国在“八五”期间就提出传动带应向“四化”结构发展,即骨架材料聚酯化、结构线绳化、胶料氯丁化和底胶短纤维定向化,从而促进了带传动理论与技术的发展<sup>[3]</sup>。

从大到几千千瓦的巨型电机,小到不足一个千瓦的微型电机,甚至包括家用电脑、机器人等精密机械在内都离不开带传动。作为带传动中的主体部件——传动带也由原来的易损件向功能件方向转变,其品种规格向多样性发展,由传统的普通包布V带和普通平带发展了窄V带(Narrow V-belt)、宽V带、联组V带

(Banded V-belt)、切边带(Raw edge V-belt)、多楔带、同步带、绳芯平带和片基平带等<sup>[4]</sup>。这些传动带已广泛应用于汽车、机械、纺织、家电、轻工、农机等各个领域。可以说,从原始机械到现代自动设备都有带传动的身影,产品也历经多次演变,技术已日臻成熟,并在国民经济和人民日常生活中发挥着愈来愈重要的作用。

以齿型带(包括多楔带)为例,近20年来在工业发达国家发展极为迅猛,正在不断地侵蚀传统的金属齿轮、链条以及橡胶方面的平板带和三角带市场<sup>[2,7-10]</sup>。目前,除已大量用于汽车及传统产业之外,还进一步扩大到OA机器(办公设备)、机器人等各种精密机械的传动。由于胶带内侧带有弹性体的齿牙,能实现无滑动的同步传动,而且具有比链条轻、噪声小的特点,现今欧洲80%以上的轿车、美国40%的轿车都已装用了这种齿型带。我国2000年生产汽车200万辆,齿型带需要700万条以上。最近出现的圆齿带较之方齿带,更进一步增大了传动力和肃静性,作为新一代的环保带,其使用范围更趋广泛。现在,已开始成为对同步传动、噪声要求极为严格的家用和工业用缝纫机、打字机、复印机的使用对象<sup>[2]</sup>。

近年来对带传动安全性、多样性的要求也日益增多,如难燃带、抗静电带等。同时,除用于传递运动和动力外,由于传动带的品种增加,带的背面可制成各种输送结构,用于传递信号、控制开关等,使它更为广泛地应用于各行各业<sup>[6]</sup>。

### 2 带传动的研究概况

由于机械设备不断向高精度、高速度、大功率、长寿命、低噪声、低成本和紧凑化发展,使近年来的带传动产品在保证一定强度的条件下逐步向轻薄方向发展。过去一直在使用方面占绝对优势的普通V带传

动出现下降趋势,同步带传动、多楔带传动、窄V带传动和复合平带(Complex flat belt)传动的应用持续增长。如同步带传动用于汽车发动机中定时系统(Timing system)、机床、纺织机械等行业,多楔带传动在汽车发动机辅助设备以及各类机械装备中的应用等,使同步带传动、多楔带传动的应用大幅度增加<sup>[6]</sup>。

### 2.1 带传动产品及材料的演变

传动带最初是由皮革制造的,19世纪中叶为橡胶所取代。20世纪60年代开始,陆续由NRSBR转向CRPUR。进入20世纪80年代,又进一步扩大到采用CSM和HNBR。骨架材料由棉纤维扩大到人造丝、聚酯尼龙、玻璃纤维、钢丝以及芳纶等,如表1所示。胶带的形状也从平板型扩大到角型、圆型、齿型,使用从单根传动发展到成组并联,从而形成今日的传动带系列群体<sup>[2]</sup>。

表1 传动带材料的演变

发展历程						发展趋势	
年代	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
需求	长寿命		高质量、高可靠性				
变化	高质量、高可靠性						
	轻量化、高传动化						高可靠性
	低成本化						长寿命
产品	平板带、三角带						高负荷
演变	切割三角带						低噪声
	带齿三角带						多轴驱动
	V型平板带、楔形带						低成本
	齿型带		汽车齿型带				
材料	橡胶						
演变	NR、SSR						耐热
	CR短纤维						耐疲劳
	CSM、HNBR						可回收
	帘线						
	棉、人造丝		聚酯				
	钢丝		玻璃纤维				
	芳纶						
	帆布						
	棉						
	聚酯						
	尼龙高强度尼龙						耐热
	芳纶						耐磨

多年来,传动带一直是以V型带为中心,不断扩大品种,取代平板带,而形成了自己的主导产品。为提高V型带的耐久性,从20世纪60年代开始,出现了切割式三角带,它的侧面没有包布,耐弯曲疲劳性非常

好,已取代了大部分包布式三角带。进入20世纪80年代之后,平板带与V型带结合的V型平板带得到快速发展。由于其性能优异,产量急剧增大,现已部分取代了切割式V带。紧接着,在美、日等国又出现了楔形V带,因为这种带的厚度薄,与带轮的接触面积大,弯曲性能好,可以在小的带轮上使用。因而,为传动装置的小型化、节能化做出了重要贡献。再有,利用传动带背面也可驱动的原理,例如在汽车风扇、交流电机、动力操纵系统、空调等采用一根传动带一次驱动的所谓蛇行传动方式,引起了界的关注,使用范围日趋扩大,这种多面多向多机传动的代表性产品有六角带(Hexagonal belt)和圆形带<sup>[2]</sup>。

传动带中的最新一类产品是齿型带(同步带)。它集齿轮、链条、带传动等的优点于一体,具有传动效率高、传动比准确、噪声小、节能、维修方便等特点。其传动原理早在1900年即有若干专利出现,但直到半个世纪之后才开始工业化,20世纪80年代起,终于成为精密机械的主导传动产品。用饱和丁腈橡胶和聚氨酯弹性体制造的高精度微型带,已经进入了高新技术领域。齿型带与传统传动带的最大差别在于同步和静音。因此,它是当今最受推崇的环保型产品。近年来,齿型带的齿牙,由方齿改为圆齿之后,更进一步增大了承载能力,发展前景极为广阔<sup>[2]</sup>。

由于各种机械要求的特性不同,以及各种传动带的价格高低相差悬殊,今后传动带将朝着结构材料多元化的方向发展。其用途和品种规格也日趋多样化,传动带中V型带、齿型带、平板带的构成比例,大体将在6:3:1的范围内上下变化<sup>[2]</sup>。

### 2.2 带传动生产设备概况

切边V带、同步带和多楔带等新型传动带,是随着新兴工业发展起来的,具有传动效率高、传动速比大、节能效果明显、使用寿命长等优点,因此又被称为新型高效传动带。近年来,随着现代科学技术的发展以及各种产业对机械化、自动化水平要求的提高,对传动带的使用要求更加苛刻,这为新型传动带的发展提供了广阔的天地。就生产工艺而言,它们基本上都需要整体成型、胶套硫化、磨削、切割等生产工序,使用的设备也大同小异,只是个别工序所用的专用设备有所不同。如磨削工序,同步带需在磨背机上用平砂轮进行磨背,多楔带需在磨削机上用带楔槽的成形砂轮进行磨楔,而切边V带则不需要磨背和磨楔,但要在测量研磨机上对切割不良或长度稍短的带子进行侧面磨削修整。因此,新型传动带之间的产品调整很方便,只需增加或更换磨削机及硫化模具,便可进行切边V带、同步带或多楔带的生产<sup>[3,11]</sup>。

目前,国外发达国家的胶带生产工艺装备和试验测试设备已达到相当先进和完善的地步,整个生产工艺连续化,普遍采用电子计算机控制,使成型、硫化、磨削、切割等工艺设备和功率试验机等测试设备实现了高度机电一体化,操作人员少,生产效率高,产品质量已相当高。如德国的 Scholz 公司、Berstorff 公司、日本的神户公司等专业生产此类先进的专用设备;某些大的橡胶公司,如 Pirelli 公司和 Gates 公司等也可自行设计制造此类设备。但引进这些厂家的设备价格相当昂贵,一般为国产设备价格的 3~10 倍,从而使其在国内推广应用受到约束<sup>[3,5]</sup>。

我国传动带生产技术虽然有了较大的进步,但与发达国家相比,在产品质量水平、生产工艺装备、原材料、测试手段、生产管理和生产规模等方面仍存在较大差距,而且各厂之间发展极不平衡,有相当一部分生产企业仍采用手工成型工艺,产品质量极不稳定。另外,面对激烈的市场竞争,不少企业采取短期行为,以降低产品质量的手段来降低价格,以期达到占领市场的目的。这极大地阻碍了胶带行业的技术进步,影响了传动带产品的整体质量。

从 20 世纪 80 年代末开始,国内少数有实力的厂家,如上海胶带股份有限公司、无锡橡胶厂、贵州大众橡胶有限公司、洛阳橡胶制品厂、宁波同步带总厂、宁波凯驰胶带有限公司、苏州盖茨霓塔传动带有限公司等相继从德国或美国引进了部分新型传动带生产设备,开始生产切边 V 带、同步带和多楔带,产品很受用户青睐,市场销路相当不错。这些先进生产设备的引进,对提高我国胶带行业的工装水平,改善落后状况起到了积极的推动作用。但我们应该清醒地认识到,拥有先进设备的毕竟只是少数厂家,而其它大多数厂家的生产设备仍十分落后,成型工艺无恒张力装置,只实现了自由张力下的成组成型,不少企业还采用手工操作;硫化工艺大多数企业仍采用颚式平板硫化机分段硫化;而拥有动态疲劳试验机的更是寥寥几家,行业整体测试手段落后,也是我国传动带质量不高的一个重要原因<sup>[3,5]</sup>。

### 2.3 带传动理论与技术研究概况

国内带传动技术的研究自改革开放以来基本可划分为三个阶段<sup>[6]</sup>:第一阶段为 20 世纪 80 年代,大专院校、科研院所、生产和制造企业对带传动技术的研究,涉及人员多,研究范围广,形成蓬勃发展的大好局面,在传动理论、试验设备、制造和应用技术等方面出现大批有价值的研究成果。由于生产、使用发展水平的局限,此阶段技术研究主要集中在 V 带传动包括一部分平带传动方面。第二阶段为 20 世纪 80 年代末期至 20

世纪 90 年代初,带传动理论研究人员及研究单位相对集中,新型、特种带传动(如同步带传动和多楔带传动)的研究形成带传动学术研究的主流。由于新型、特种带的制造设备除需要通用设备外,基本为专业机械装备,除少数企业具备进口能力外,许多企业亟待上马。面对这种需要,试验设备、制造设备的研制较为突出,测长机、疲劳试验机、制带生产线(成型机、硫化罐、脱模机、切割机、磨削机等)、带和带轮刀具、模具等经过几代的改进、更新和相互取长补短,已具备一定水平,为国内传动带和带轮的生产做出了贡献。第三阶段为 20 世纪 90 年代后期以来,带传动技术研究仍保持在新型、特种带传动方面,在市场经济的环境下,带传动的实用技术研究日益成为热点,而以大专院校、研究所为主要代表的理论研究则出现后继乏人的局面。

近几年来,带传动理论方面的研究主要集中在同步带传动领域。在现有的梯形齿基础上,单圆弧齿、双圆弧齿(Double circular tooth)、平顶圆弧齿(Flat-top circular tooth)以及抛物线齿(Parabolic tooth)等多种曲线齿廓不断出现<sup>[6]</sup>。其性能研究主要从啮合齿间载荷的分布,带的损坏形式和寿命、同步带的运行误差、运转噪声等方面开展。带齿变形和强度、传动精度、使用寿命的影响因素、同步带和带轮制造技术等研究及同步带传动标准化工作取得了一定成果和进展。这些研究成果对推广同步带传动的应用、延长带的使用寿命、提高传动质量等都取得了一定效果。

此外,带传动的标准化工作近年来发展比较稳定,取得了一定成果。到目前为止,我国已有国家标准和各类行业标准 80 余项,已基本形成我国带传动标准化的完整体系,在一定程度上推动和促进了我国带传动技术的理论研究、产品生产和使用<sup>[6]</sup>。

### 3 带传动的发展前景

纵观半个多世纪以来世界带传动的发展趋势<sup>[16-24]</sup>,随着全球高新技术产业化的迅猛发展,今后传动带的主流是向着小型化、精密化和高速化的方向发展。老式的平板带将被日渐淘汰,新型的环形平板带重新崛起;切割三角带将取代大部分包布 V 型带,同时代之而起的 V 型平板带、多楔带、齿型带可能成为新的主流产品<sup>[2]</sup>。

我国传动带生产的工装设备通过多年来的引进消化吸收和自行开发,已有长足的进步,尤其是 20 世纪 90 年代以来,以生产线绳 V 带和切边 V 带、同步带及多楔带两大系列为主要代表的生产装备已达到了相当水平,基本能满足我国传动带制造的需要<sup>[4]</sup>。但是,从整体上看,我国带传动技术水平仍比发达国家落后,主

要体现在新型带传动产品的开发和理论研究、带传动检测装置和试验设备、传动带和带轮制造设备和工艺控制技术等方面。

① 传动带生产工艺装备除少数引进和吸收消化外,大部分企业生产能力很大,但设备陈旧,管理水平低,职工素质不高,产品质量同发达国家相比,竞争能力明显处于劣势。

② 在保证质量的测试手段方面,20 世纪 80 年代时,日本三星公司一家胶带专业生产公司就有近 300 台试验设备。相对我国,拥有检测设备的厂家为数不多,且一般比较落后,这与我国拥有的生产规模和市场规模很不相称<sup>[6]</sup>。

③ 动力消耗、原材料消耗大,半成品质量差,生产环境亟待改善,劳动生产率低,产品使用寿命短。如农业机械用 V 带使用寿命仅 100 小时,国外一般超过 1000 小时。汽车 V 带疲劳寿命差距也较大。此外,原材料不配套、规格品种少等问题,也较大地影响了我国带传动技术的发展<sup>[6]</sup>。

④ 生产传动带的厂家十分杂乱,除 200 家国有、三资企业之外,还有 1000 余家集体、私营和个体所有制企业。仅 V 型带一种产品,年产即达 4 亿米以上,在产量上虽已位居世界前列,而略具规模水平的不过十几家。除少数引进技术设备和合资企业外,大多处于后进状态,亟待改组、改造、改革<sup>[2]</sup>。

进入 21 世纪,胶带工业的生产技术将有更大、更快的发展。为适应新产品、新工艺的需求,传动带生产设备将不断采用相关行业的新技术、新产品,增加品种和提高质量,配套更加完善、合理,并逐步实现系列化。基于我国带传动的研究及应用现状,未来带传动在理论研究、工艺装备、产品开发及管理方面,应着力考虑以下几方面:

#### (1) 理论研究方面<sup>[1]</sup>

① 摩擦传动带的承载能力与疲劳寿命的研究,重点是对国产带取得数据并研究其计算方法。

② 同步齿形带的研究,其中包括高速、重载、低噪声、高效率同步带传动啮合原理与齿形优选的研究;有误差、变形和多边形效应的条件下同步带的传动精度、动、静态特性及承载能力的研究等。

③ 带传动可靠性的研究,包括带传动的可靠性分析、可靠性指标的试验数据采集,以及带传动的概率设计方法等。

④ 带传动 CAD 的研究,要求逐步建立包括以现代计算方法为基础的带传动优化设计、可靠性设计、动态设计在内的 CAD 系统。

⑤ 新材料及新型带传动的研究,例如,金属带式

无级变速传动(CVT)<sup>[12,13]</sup>,磁力金属带传动(MB-DM)<sup>[14,15]</sup>等。

⑥ 带传动试验方法与装置、测试技术等研究,包括带的强化试验与强化系数的研究。

#### (2) 在传动带工艺装备方面<sup>[3,4]</sup>

① 进一步提高现有装备的可靠性、可操作性和自动化水平,应用现代计算机技术做到人机对话。

② 开发国内急需的生产装备如 V 带鼓式硫化机、双面齿同步带制造设备等。

③ 加强对新技术、新工艺的研究和开发如注射反应传动带、短纤维补强同步带、斜(人字)齿同步带、热塑性弹性体 V 带及 CVT 用变速 V 带、复合磁性金属带等,并研制相应的装备。

④ 实验设备的国产化工作并提高其可靠性,特别是高温多楔带实验机、高温喷水汽车同步带疲劳寿命试验机和摩托车变速 V 带疲劳寿命试验机的研制和推广。

⑤ 有条件的传动带生产厂家应积极自行开发传动带生产技术和装备。

#### (3) 在带传动产品开发和管理方面<sup>[3,6]</sup>

切边 V 带、同步带和多楔带等新型高效传动带是传动带的发展趋势,代表着带传动技术及产品的发展方向。进入 21 世纪,胶带工业的生产技术将有更大、更快的发展。为适应新产品、新工艺的需求,传动带生产设备将不断采用相关行业的新技术、新产品,增加品种和提高质量,配套更加完善、合理,并逐步实现系列化。

① 传动带的骨架材料继续向聚酯化、线绳化、轻量化的方向发展。传动带用化学纤维线绳的规格系列将丰富并标准化,V 带聚酯线绳将全部国产化,淘汰棉帆布。国内引进或开发线绳生产设备和软件的企业要使产品质量达到国外同类产品水平。

② 重视开发具有经济效益和一定规模的窄 V 带、联组 V 带、同步带、切边带、多楔带,重视为农业、轻工机械、新兴电子行业配套。充实和扩大规格系列范围,逐步形成我国传动带和带轮产品的完整系列。

③ 为提高胶带产品质量,并在未来的竞争中占领市场,生产企业必将增加对成品实验设备的需求,加大胶带产品测试仪器设备的开发和生产。

④ 带轮加工逐渐形成规模生产,并向专业化、标准化、商品化方向发展。

#### 参 考 文 献

- 1 李华敏. 关于齿轮、链、带等学科的发展方向. 机械传动, 1992, 16 (1): 1~5

- 2 于清溪. 世界传动带发展现状与展望. 橡塑技术与装备, 2001, 27(6):1~6
- 3 邹维涛. 新型传动带生产设备现状及发展方向. 橡塑技术与装备, 2002, 28(2):6~9
- 4 吴贻珍. 我国传动带工艺装备现状与展望. 橡胶技术与装备, 2002, 28(12):14~20
- 5 苑晓东. 传动带生产设备现状和发展方向. 特种橡胶制品, 2002, 23(2):56~58
- 6 秦书安. 带传动技术现状和发展前景. 机械传动, 2002, 26(4):1~2
- 7 路剑锋, 张一心. 橡胶同步带的发展与展望. 产业用纺织品, 2002, 20(1):9~11
- 8 张传智. 同步带用材料的现状和发展. 特种橡胶制品, 1997, 18(1):9~11
- 9 曾宪奎, 朱继向. 橡胶多楔带特点分析及制造设备介绍. 特种橡胶制品, 1997, 18(4):35~39
- 10 赵彩荣, 刘朝晖, 杨洁等. PTMG型聚氨酯同步带的研制. 特种橡胶制品, 2002, 23(5):27~29
- 11 黄靖, 姜维锋. 橡胶传动带生产设备现状. 橡塑技术与装备, 2001, 27(8):10~13
- 12 程乃士, 刘温, 郭大忠等. 金属带式无级变速器传动效率的实验研究. 东北大学学报, 2000, 21(4):394~396
- 13 李华英, 秦大同, N A Attia. 牵引式锥盘滚轮 CVT 的研究现状及发展趋势. 重庆大学学报, 2003, 26(4):15~19
- 14 罗善明. 磁力金属带传动的原理与设计. 中国机械工程, 2002, 13(7):544~547
- 15 罗善明, 郭迎福, 陈安华. 磁力金属带传动的传动特性分析. 中国工程科学, 2005, 7(7):76~80
- 16 Zhang L, Zu J W. Nonlinear vibration of parametrically excited moving belts, part 1: dynamic response. ASME, Journal of Application Mechanics, 1999, 66(4):396~402
- 17 Kenichi Makita, Masanori Kagotani, Hiroyuki Ueda, et al. Influence of idler on transmission error in synchronous belt drivers (case of no load). ICMT'2001, Chongqing, China. Beijing: China Machine Press, 2001:530~534
- 18 Kagotani Masanori, Ueda Hiroyuki, Koyama Tomio, et al. Transmission error in helical synchronous belt drives (Effect of belt side tracking). Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Part C, 1997, 63(614):3612~3618
- 19 Moon J, Wickert J A. Non-linear vibration of power transmission belts. Journal of Sound and Vibration. 1997, 200(4):419~431
- 20 Adachi Kazutaka, Wakahara Tatsuo, Shimanaka Shigeki, et al. Robust control system for continuously variable belt transmission. JSAE Review, 1999, 20(1):49~54
- 21 Furukawa, Yutaka, Ikeda. Development of new type of variable speed power transmission using V-belt. Proceedings of small Engine Technology Conference. Soc. of Automotive Engineers of Japan, 1991:539~544
- 22 Mabuchi Yutaka, Kano Makoto, Ishikawa Takao, et al. Effect of ZDDP additive in CVT fluid on increasing friction coefficient between belt elements and pulleys of belt-drive continuously variable transmissions. Tribology Trans., 2000, 43(2):229~236
- 23 Alciatore D G, Traver A E. Multi-pulley belt drive mechanics: creep theory vs. shear theory. Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME, 1995, 117(4):506~511
- 24 罗善明, 余以道, 郭迎福等. 带传动理论与新型带传动. 北京: 国防工业出版社, 2006

收稿日期:20060302

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:50205023)

作者简介:诸世敏(1966-),女,重庆江津人,副教授

(上接第62页)

表2 仪表圆弧齿轮的性能指标

误差状态			力矩比变动率/%	平均传动效率/%
$\Delta a$	$\Delta t_1$	$\Delta t_2$	$\delta_{\dot{y}}$	$\eta(\%)$
0.0	0.0	0.0	5.708	97.569
-0.015	0.044	-0.044	9.441	95.317
-0.015	-0.044	0.044	18.807	96.542
0.015	-0.044	0.044	19.118	96.851

由表1和2可以看出,两者的最大力矩比变动率分别为3.057%和19.118%,也就是说本文提出的双压力角渐开线齿轮,其力矩比变动率仅为相同条件下仪表圆弧齿轮的33.53%。

## 5 结论

通过分析,双压力角渐开线齿轮传动对制造和装

配误差不敏感。双压力角渐开线齿形从理论上较好的解决了渐开线齿轮在少齿数时的根切和变位问题,在理论齿廓相啮合的情况下其力矩传动比较平稳,效率较高,齿轮转动灵活,能满足钟表机构的工作要求。

## 参 考 文 献

- 1 高恩华译. 钟表机构渐开线齿轮传动的研究. 钟表, 1979, 7, 23
- 2 仙波正庄著, 曹玉立译. 钟表齿轮. 北京: 轻工业出版社, 1981
- 3 陈文华. 计时仪器中渐开线齿轮啮合过程的分析. 仪器仪表学报, 1996
- 4 陈文华. 定力矩比齿轮传动的研究[硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 1987
- 5 容光义. 关于渐开线齿形的若干问题. 山东钟表, 1979(9)

收稿日期:20060125

作者简介:陈晓英(1974-),女,浙江永康人,讲师,研究生