

# 机械传动科学技术的发展历史与研究进展\*

秦大同

(重庆大学机械传动国家重点实验室 重庆 400044)

摘要：回顾了机械传动科学技术的发展历史，论述了机械传动科学技术研究的新进展。认为：信息与控制技术、能源与环境保护技术、新材料技术、先进制造技术等 21 世纪最重要领域的科学技术的迅速发展，对机械传动科学技术的发展将产生重要的推动作用。

关键词：机械传动 科学技术 发展历史 研究进展

中图分类号：TH13

## 0 前言

原动机、传动机和工作机(执行机)是机械系统的三大基本构成。原动机提供基本的运动和动力。工作机是机械具体功能的执行系统，随机械功能的不同，工作机的运动方式和结构形式也不同。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，需用传动机将原动机的运动和动力的大小和方向等进行转换并传递给工作机，以适应工作机的需要。由此可见，只要原动机的运动和动力的输出达不到工作机的要求，传动机的存在就是必然的。随着机械向高效、高速、精密、多功能方向发展，对传动机的功能和性能的要求也越来越高，机械的工作性能、使用寿命、能源消耗、振动噪声等在很大程度上取决于传动系统的性能。因此必须重视对传动系统的研究。

机械系统中的传动主要分为机械传动、流体传动和电传动，机械传动由于其恒功率输出、传递运动的精度高、速度响应快、传动效率高等优点，因而在多数机械系统中仍然是主要的传动形式。机械传动的形式也有多种，如各种齿轮传动、带(链)传动、摩擦传动等。各种机构从广义上也属于机械传动，但机构由于自身的特点，在学科分类中已作为一专门的分支。齿轮传动与其他形式的机械传动相比，由于量大面广，在机械传动中占有主导地位。

## 1 机械传动科学技术的发展历史

机械传动作为机械的组成部分，其诞生和发展是与机械同步的。在中国古代，指南车作为早期的

机械就装有类似齿轮传动的装置。20 世纪 60 年代美国华盛顿博物馆展出了这种指南车的模型，根据考古学的证据认为这种指南车造于公元前 1 000 年左右。这一研究表明，有记载的机械传动装置迄今已有 3 000 年的历史。古希腊时代就有了机械传动的史料记载。罗马时代人类文明的进步推动了机械传动的应用，如在水力驱动的谷物碾磨中采用了木制齿轮传动。而瑞典人后来建造的谷物磨中则采用了由石头制成的斜齿轮传动。到 14 世纪，钟的发明推动了齿轮传动的发展，为开发钟的传动系统，人们开始研究金属齿轮传动以减小尺寸。荷兰人在围海造地工程中建造了大量的风力排水装置。这些排水装置采用了大型木制机械传动系统，从而得以将安装位置很高的风力旋转机的机械运动传递到装于底部的提水装置。与此同时，风力传动装置也被用于工厂，以驱动车床等加工机械，从而推动了荷兰制造业的迅速发展。18 世纪初发明了蒸汽机，蒸汽机最早被用于矿井排水，随后很快被用于铁路机车和加工机械，这大大增加了机械传动的需求。与此同时以水能为动力的纺织机械、冶金机械得以问世，大功率、高质量的木制机械传动和金属齿轮传动得到应用。19 世纪末期出现了电动机和内燃机。这些原动机的发展推动了机械传动在铁路机车、船舶、制造厂、发电站等的广泛应用，同时对机械传动提出了更高要求，小型化、长寿命、更可靠的机械传动成为人们追求的目标。从这一时期到 20 世纪初期，先后出现了摆线、渐开线齿形的齿轮传动，主要的传动类型有直齿轮、斜齿轮、锥齿轮和蜗杆传动。船舶、电厂涡轮机采用的大型高速齿轮传动由于其节线速度很高，要求很高的齿形精度，从而推动了磨齿等高精度加工方法和机床的发展。同时高速所引起的动载荷在齿轮传动的设计中开始受到重视。

20 世纪 40 年代，渐开线和非渐开线齿轮传动的齿形计算方法、齿轮刀具与被加工齿轮、相互啮

\* 纪念《机械工程学报》创刊 50 周年——“机械工程技术的历史、进展与展望”主题征文。20031008 收到初稿，20031022 收到修改稿

合的齿轮之间的展成关系及齿形计算方法、空间三维齿形及其啮合计算方法得以问世, 齿轮几何学的一般分析方法开始形成。20 世纪 50 年代, 基于大量实验研究, 齿轮传动的表面接触强度、轮齿弯曲强度、考虑动载荷的传动设计方法初步形成, 并在高速重载的汽轮发电机传动系的设计中发挥了重要作用。为提高承载能力, 人们提出了齿轮齿廓和齿向修形设计的方法。进入 20 世纪 60 年代, 宇航技术的发展对机械传动提出了更高的要求。火箭助推器及导航系统中的传动装置要求体积小, 承载能力大, 同时, 为确保宇航飞船的安全, 对宇航传动装置的可靠性提出了特殊要求, 因而传动装置可靠性的研究受到人们的重视, 投入了较多的精力对直齿、斜齿和锥齿轮等的表面疲劳强度和可靠性进行研究。与此同时, 人们开始认识到传动装置的材料性能和传动的啮合性能对提高承载能力和可靠性同样重要, 从而开始了传动装置材料性能的研究。进入 20 世纪 70 年代, 空间啮合理论的研究成为机械传动的研究热点并取得了创造性成果, 这些成果被用于曲线锥齿轮、环面蜗杆、点接触蜗杆以及圆弧齿轮等新型传动装置的开发, 大大推动了机械传动的学科发展。这一时期中国在空间啮合理论和新型传动的研究方面达到了世界先进水平。与此同时, 适用于不同工作条件的齿轮润滑油及其添加剂, 如防点蚀、抗胶合、抗磨损的添加剂被研究成功并得到应用, 大幅度提高了传动装置的使用性能和寿命。进入 20 世纪 80 年代, 空间啮合理论推动新型传动研究继续发展, 各种少齿差行星传动、新型伺服传动、新型蜗杆传动相继出现, 考虑弹性变形、热变形、制造误差的啮合理论研究达到很高水平, 局部共轭、失配啮合理论被用于各种啮合传动, 空间啮合轮齿受载接触分析方法相继问世, 齿间载荷分配及应力分析等得到广泛应用。在这一时期, 航空、船舶及工业中一些重要设备的齿轮传动振动噪声问题更加受到重视, 动力学及传动系统减振降噪研究成为研究的热点, 以减振降噪为目的齿廓和齿向修形设计方法得到更加广泛的研究和应用。与此同时, 人们发现了齿轮传动表面疲劳强度与接触点弹性动压油膜厚度, 以及轮齿弯曲强度与齿面疲劳强度和齿面磨损之间的关系。由材料和加工的显微缺陷引起的微裂纹在交变载荷作用下扩张而引起的轮齿断裂机理得到揭示。航空、船用齿轮和一些工业重要齿轮的材质得到严格的控制。润滑性能好、成本低、重量轻的非金属材料如高强度塑料等被用于齿轮传动。

20 世纪 90 年代以来, 齿轮传动、带(链)传动的

动力学建模及振动噪声研究继续成为研究的热点, 研究对象由直齿、斜齿轮向锥齿轮、行星齿轮、同步齿形带及多种形式的链传动拓展。研究方法由齿轮副向考虑齿轮副、轴、轴承、箱体在内的变速箱整体耦合的系统拓展。以减振降噪为目的, 人们提出了更为科学的轮齿三维任意可控修形设计的方法。根据轮齿修形的要求, 多自由度数控齿轮加工机床纷纷问世。基于传动系统动力学研究, 人们提出了齿轮传动系统的状态监控, 故障诊断与失效预报的方法, 开发了相应的诊断系统并用于冶金、船舶、电厂等大型关键设备传动系统的故障诊断。考虑弹性、误差、热变形的齿轮啮合有限元分析理论与方法得到进一步的深入研究并被用于锥齿轮、蜗杆等三维空间啮合传动。各种新齿形、新传动如少齿差传动、精密伺服传动(如端面谐波传动、RV 传动、空间凸轮活齿传动等)得到进一步发展和深入研究。功率分流传动如高速重载行星传动、环式减速机等的功率流程分析设计与均载方法得到深入研究并被用于水泥磨、船用大型减速机等。与此同时, 包括动力源、传动系和工作机为一体的动力传动系统的整机效率、动态特性、系统性能研究受到人们的重视, 传动系统与整机的匹配研究成为新的研究方向。同时机械传动向机、电、液复合传动发展, 传动系统的智能化与自动化成为研究热点, 研究成果被广泛用于汽车、工程机械和机器人等领域。此外, 低成本、重量轻、动力学、摩擦学性能好的新材料或复合材料如高强度塑料等在各种机械传动尤其是办公机械传动系统中得到广泛应用, 零件的表面涂层、强化处理、表面修复等技术被用于机械传动中。

## 2 机械传动科学技术的研究进展

回顾机械传动科学技术发展史可以清楚地知道, 机械传动作为机械系统的重要组成部分, 其科学技术的发展和机械系统一样, 是与人类生产力水平的发展而相伴的。生产力水平的发展对机械系统的性能提出了新的要求, 而机械系统的原动机、工作机为满足生产力水平而产生的突破性进展对传动机提出的要求推动了传动科学技术的进步。

21 世纪信息技术、能源及环境保护技术、新材料技术、先进制造技术等成为科学技术发展的重要领域, 这些领域的最新研究成果和技术进步无疑将对机械传动科学技术的发展产生重要的推动作用。

现代机械传动科学技术的研究进展如下。

### 2.1 机械传动的信息化与智能化

机械传动的信息化与智能化是信息、计算机和

控制技术与机械传动技术的结合。其特点是根据原动机的效率特征和工作机的功能要求,通过计算机智能控制,实现动力传动功率和速比的实时控制,以达到工作机与原动机的最佳匹配与协调,是机械装备实现自动化和智能化的重要基础。在汽车、工程机械和军用车辆中应用最为广泛的信息化、智能化传动是自动变速传动。

已得到应用的汽车自动变速传动有三种形式:机械自动变速传动 ASM(Automatic shift manual transmission)、液力机械自动变速传动 AT(Automatic transmission)和无级自动变速传动 CVT(Continuously variable transmission)。

(1) 机械自动变速传动 ASM。机械自动变速传动 ASM 是在手动变速传动的基础上采用离合器自动控制 and 增加自动换挡机构,以实现传动系统离合器的自动结合控制和选挡、换挡控制。

ASM 是动力中断情况下的换挡,需要频繁地控制离合器,因而离合器控制的好坏直接影响到车辆的起步和换挡控制的平顺性。因此,离合器起步控制和换挡操纵规律是困扰 ASM 技术发展的难点。由于 ASM 技术还不十分成熟,在国外的普及率还较低,而国内还没有一家汽车公司正式采用。其原因主要在于离合器的控制、换挡策略等不能很好地反映车辆在各种路况下运行的实际规律,以及系统在离合器结合控制、换挡品质控制和可靠性等方面尚存在不足。此外,离合器在运行磨损后的自动检测、补偿控制、符合各种道路条件和运行工况的离合器结合规律和换挡规律及其控制策略、可靠的执行机构等是 ASM 尚需解决的问题。

(2) 液力机械自动变速传动 AT。液力机械自动变速传动 AT 由液力变矩器和行星齿轮传动构成,液力变速器既可以增加扭矩、吸收冲击振动,也可以在小范围内实现无级变速。由于行星齿轮传动有多个自由度,通过控制与行星齿轮传动各构件相连的离合器和制动器,就可实现 AT 的档位切换。由于 AT 采用液力变矩器,因而车辆起步换挡平稳、舒适。此外,液力变矩器的增扭作用提高了车辆的爬坡能力。但液力变矩器传动效率较低,加工工艺复杂,成本较高。

国外 AT 技术已相当成熟,如今,美国轿车 AT 的装车率已高达 95%。AT 在工程机械、军用车辆等上的应用也十分广泛。国内与国外在 AT 技术方面差距甚大,目前还没有完全国产化设计生产的厂家。随着国内中高档轿车市场的发展,上海通用别克、广州本田、神龙富康和大众奥迪 A6 等车型上都装用了进口的 AT。因此,自主的 AT 研制与开发对发展我国汽车工业十分重要,其研究开发的重点在于

液力变矩器的设计理论、传动效率的提高和制造技术等方面。

(3) 无级自动变速传动 CVT。无级自动变速传动 CVT 有两种主要的类型,即带式 CVT 和牵引式 CVT。CVT 的速比可自动无级调节,能实现发动机—变速器—道路负载的最佳匹配,从而可实现汽车动力传动系统的最佳燃油经济性和动力性。同时由于挡位连续,换挡过程无动力中断,可减小换挡冲击,提高车辆的乘坐舒适性,是理想的车辆变速传动。

最早的带式 CVT 是荷兰研究成功的橡胶 V 带 CVT。由于橡胶带转矩传递能力很低,随后荷兰又提出了用金属钢带代替橡胶带以提高承载能力,从而推动了带式 CVT 的广泛应用。随着金属带 CVT 不断推向市场,人们不断研究开发能用于中大排量的金属带 CVT。日产汽车公司用功率分流的思想研究开发了金属带混合 CVT 并实现了装车商品化,使金属带 CVT 汽车的排量达到 2 升甚至 3 升以上。目前国际上对这种 CVT 研究主要集中在:机械系统研究以提高承载能力,液压和控制系统研究以提高效率,系统与整车匹配的研究以提高整车动力性和燃油经济性,控制系统研究以提高传动速比控制的精确可靠性。满足整车综合性能和各种道路条件以及人们驾驶习惯的各种控制策略、控制方法的研究成为研究的热点。迄今为止,国内只有少数研究小组初步实现了这种传动的装车运行,离商品化仍有较大的距离。

牵引式 CVT 由于结构和传动原理上的特点,可用于大功率传动。其传动原理是靠主从动传动件接触点处的牵引油在接触压力下产生的剪切力传递运动和动力,其传动能力与牵引油的性能、接触表面的材质性能、加工精度等密切相关。20 世纪 90 年代末期,日本 NSK 和日产汽车公司合作率先研究开发成功牵引式 CVT 并实现了装车运行。这种 CVT 由于承载能力大,可用于大排量汽车、工程机械和重型装甲车辆,是日本、欧美等发达国家和地区重点研究开发的自动变速传动。由于这种传动需在接触点形成很大的接触压力,因而采用液压系统加压,高压下液压系统和接触点处存在较大的效率损失,从而传动效率较金属带式 CVT 要低。迄今为止,这种传动的结构形式、牵引油特性、材质及表面疲劳强度、接触点处的运动学特性、传动效率的提高等仍然是人们关注和研究的重点。我国在牵引式 CVT 研究开发方面几乎还是空白,其主要制约在于牵引油、传动元件的材质、表面精密加工技术等。

## 2.2 动力传动系统的节能与环境保护

动力传动系统的节能与环境保护既包括传动系统本身的节能与环境保护,也包括由原动机、传动系、执行机组成的动力传动系统的节能与环境保护。前者如研究高效率的传动副或系统以节约能源,采用无污染的工作或润滑介质以节约润滑油并避免环境污染,采用干式切削加工技术制造传动元件以避免冷却(润滑)剂对环境的污染,发展传动元件净成形加工技术以节约原材料、减少或避免切削加工。在传动系统设计方面,人们针对以行星传动为代表的分流传动研究了功率流的设计方法,以实现分流传动功率流的协调和均载,避免输入功率变为负载功率而引起系统效率下降和带来附加载荷。

动力传动系统在综合考虑原动机、传动系、执行机的整机节能和环境保护研究近年来受到人们的重视。根据原动机的功率与速度特性和执行机的负载和运动特性设计传动系统,使原动机和执行机实现最佳匹配,以保证原动机(如发动机)在最高效率和最低污染物排放区工作。如在汽车和工程机械中采用多档变速和无级变速实现发动机最佳工作点的调节,在混合动力汽车中采用可实现动力适时转换的自动离合器和自动变速器等构成的动力分配装置以保证车辆行驶中发动机和电动机工作在各自的最佳效率区以达到节省能源、减小废气排放的目的,在制动能量回收时采用无级自动变速传动最大限度地回收减速制动能量等。混合动力驱动的研究始发于 20 世纪 90 年代,1997 年本田汽车公司率先推出了商品化混合动力汽车 Prius,随后日本各大汽车公司和美国福特、欧洲等的汽车公司也纷纷推出了自己的车型。我国在“十五”863 科技计划中将混合动力汽车列为重大专项项目,计划在 5 年内实现混合动力汽车的产业化。混合动力汽车节能环保功能的实现,在很大程度上取决于混合动力驱动系统,传动系统与各动力源的匹配、动力的适时转换和分配、减速制动能量的回收、各功能下传动系统的自动控制、控制策略的研究与控制器的开发等,是混合动力驱动系统研究开发的关键之一。

## 2.3 新材料在机械传动中的应用

材料科学与技术是 21 世纪重点发展的科学与技术领域。各种新材料在机械传动中的应用已经推动、必将继续推动机械传动科学技术的发展和性能的提高。梯度材料、陶瓷材料、高分子聚合物、纳米材料、智能材料、表面涂层及自修复材料等由于其独特的性能特点,将对机械传动的性能甚至功能产生重要影响。

梯度材料是指材料由表至里其成分梯度变化的

一类材料。由于材料的成分梯度变化,因而其性能也由表至里有规律地变化,特别适用于传动零件。以齿轮传动为例,齿轮轮齿表面要求抗磨损、抗点蚀,而内部则要求较高的韧性和抗弯强度,采用梯度材料可满足这些要求。梯度材料已在一些重要的传动零件中应用。

陶瓷材料由于其耐磨、耐腐蚀和高温性能稳定性,特别适用于滑动摩擦大、温度高和具有腐蚀介质的工作环境,其摩擦磨损性能远优于一般金属材料。已被用于重要的机械传动零件如滚动和滑动轴承。由于陶瓷材料独特的摩擦学性能,甚至可用于无润滑介质的传动摩擦副。

高分子聚合物由于其特殊的摩擦磨损和润滑性能,在机械传动中有广泛的应用前景。如塑料齿轮传动已广泛用于办公设备且无需润滑介质。以高分子塑(橡)胶复合材料和金属配对的水润滑轴承已被广泛用于船舶推进系、水轮机等。由于塑(橡)胶复合材料的减振性,这种轴承也被用于水下军事装备的推进系统。随着聚合物复合材料种类的增多,性能的不断提高,在机械传动中的应用将不断扩展。

纳米材料由于其纳米尺度下的量子效应、小尺寸效应、表面效应等,在物理、化学和力学等方面具有特别优越的性能,如高强度、高韧性和高延展性等。因此,采用纳米材料如纳米金属、纳米陶瓷、纳米高分子聚合物的机械传动零件具有比采用普通同类材料的零件高得多的性能。含纳米添加剂的润滑油由于纳米添加剂特殊的物理、化学表面效应,可使传动副的摩擦和润滑性能大幅度改善。因此,纳米材料作为传动副的结构材料、表面涂层材料或作为润滑介质的添加剂,将使机械传动的综合性能大幅度提高。

智能材料是 20 世纪出现的一种可通过信息控制适时改变其服役性能,从而使结构器件具有智能可控性的材料。在发达国家,智能材料已用于航空航天、国防和结构工程等领域。我国在大型建筑结构工程、汽车的悬架系统中已有智能材料的应用例子。随着智能材料的广泛应用,人们已开始研究采用智能材料的机电传动装置,如在大型高速旋转机械和传动系统中采用电流变、磁流变等材料,通过对系统刚性的适时控制实现减振降噪和降低尖峰应力等。在不远的将来,采用智能材料的传动装置将得到实际应用。

机械传动中的材料表面工程技术对传动零件的表面疲劳强度、摩擦磨损性能和使用寿命有重要影响,通过对传动零件进行表面涂层、表面化学或物理改

性,可提高传动副的服役性能。已用于传动零件的表面工程技术有:挤压、喷丸等表面强化技术,渗碳、氮化等表面热处理技术,电镀、气相沉积等表面涂层技术,堆焊、热喷涂等表面修复和表面性能增强技术。传动零件的表面工程技术的应用使机械传动由液体润滑向固体润滑发展,从而拓展了机械传动的应用空间。随着表面工程技术的进一步发展,传动零件的纳米涂层技术、具有仿生和智能特征的表面自诊断、自修复技术的研究和应用日益得到重视,其研究目标是实现对传动副表面性能的主动控制和传动副的服役延寿。

#### 2.4 微型机械传动

微机械中的微型传动系统由于其尺度效应,具有与普通机械传动不同的工作原理和性能特征。微型机械传动的工作原理、性能特征和设计制造研究是机械传动研究的重要发展方向。

微传动机构的运动和动力传递机理由于其尺度效应的影响,与常规尺度的传动系统有很大不同。当传动机构的尺寸小到微米或纳米级时,会产生很多新的科学问题。比如传动副元件的表面积与体积之比增大,表面力学、表面物理效应将起主导作用,同时微传动机构的摩擦学、热传导与常规尺度的传动机构也不相同。因此,传统的设计和分析方法将不再适用,必须寻求新的设计原理和分析方法。微传动机构的尺度效应和物理特征是微机械系统研究中的关键科学问题,其研究内容有:微传动机构的形态和结构;微传动元件粘性力和表面对传动特性的影响;微传动机构的材料及其特性(微小尺度下的各相同性要求);微传动系统的传动摩擦学特性;微传动系统的运动学和动力学特性;微传动系统的热传导及其对传动系统性能的影响;微传动系统传动精度及效率的测试技术等。

#### 2.5 特殊(极端)环境中的机械传动

宇宙空间的高真空、微重力、大温差,海洋环境下的海水腐蚀,强磁场和强电场等特殊(极端)环境对机械传动的应用带来严峻的挑战,这些特殊环境中的机械传动的服役特性及其对环境的适应性研究以及传动系统的研究开发成为机械传动研究的重要任务。

宇宙空间处于  $10 \mu\text{Pa}$  以下的超高真空状态、昼夜温差大且处于失重环境。在此环境下传动副表面之间的润滑就成了问题,因润滑液在真空条件下极易挥发。同时,由于温差大使得润滑油(或润滑脂)性能发生变化。而失重条件下润滑液容易弥漫空间站和飞行器环境,难于到达需要润滑的位置。解决上述问题的主要方法是在传动副摩擦表面涂覆耐温

差且润滑性能好的材料,或进行传动副表面改性或复合表面处理,或采用自润滑材料等,以实现传动装置在宇宙空间环境中的固体润滑。由于宇宙空间的微重力环境,使机械传动的动力学特性与常规条件有所不同,现有理论和分析设计方法中,所有与重力相关的结论都需要重新研究。因此,宇宙空间中机械传动的动态特性和减振降噪方法研究,具有优良动力学特性的机械传动装置的设计等成为了重要的课题。

用于海洋资源开发和化工生产的机械装备中的传动装置易受到海水腐蚀和化学腐蚀。如何进行腐蚀防护,延长传动副的使用寿命,也是有待研究的课题。解决问题的途径是研究和采用抗腐蚀材料,进行传动元件的表面防腐涂层和表面处理等。

战争或突发事件条件下的重要装备如战斗机和武装直升机等由于遭受攻击或遭遇突发事件引起传动系统漏油等导致润滑丧失。在此严酷环境下传动系统的可靠性及短时缺油运行性能等成为重要的研究课题。美国航空航天局针对武装直升机主旋翼传动系统在润滑油泄漏条件下的性能响应和工作寿命进行了研究,提出了润滑丧失条件下传动性能响应特性的分析方法和安全防护的措施。类似特殊(极端)条件下的传动系统性能特性和可靠性研究受到人们的重视。

工作在电厂、发电站等强电场和强磁场环境中的机械传动由于电场和磁场易引起传动元件表面的“电蚀”,在传动元件如齿轮啮合面,轴承摩擦面形成类似于疲劳点蚀的大面积点状圆形凹坑。电蚀导致了传动副啮合面的磨损,降低了传动副的啮合精度,引起振动和噪声,加快了传动副的破坏,甚至引发重大事故。对于电蚀,人们的研究尚不深入,缺乏电蚀失效判定依据及其与其他失效形式的比较,更缺乏对电蚀成因的深入研究。因此,开展传动副电蚀的研究,弄清其形貌特征和失效判据,掌握其发生的机理和影响因素,获得防止电蚀的方法和措施等,是今后电蚀研究的重要课题。

#### 2.6 机械传动装置的高性能、低成本、小型轻量化

高速、重载、精密、高效、低噪声、长寿命、重量轻和成本低是机械系统的发展方向。与上述要求相适应的研究是机械传动研究的重要方向。

机械传动科学与技术的发展经历了较长的时期,在世界范围内已达到较高水平。但就我国的实情来看,仍与发达国家存在较大的差距。发达国家和地区如欧美、日本尽管在机械传动领域已达到相当高的水平,但仍在不断追求传动装置的高性能、小型轻量化和低成本的要求,以利于在日益激烈的产

品竞争中立于不败之地。

传动装置的高性能、低成本、小型轻量化研究的相关内容如下。

新型传动方式的研究。探索传动装置的新种类和新形式，从传动原理和结构上创新，研究开发承载能力大、效率高、体积小、重量轻的新型传动。

传动副的新材料和表面处理研究。采用高强度的新材料可提高传动系统的承载能力和使用寿命，从而减小传动系统的体积和重量。同样，采用喷丸、冷挤压、表面涂层和表面复合处理等可提高传动副的表面强度和摩擦磨损性能，从而提高承载能力和使用寿命，减小传动副的重量和体积。

传动副的破坏机理及强度设计研究。传动元件表面显微缺陷诱发的微点蚀及其在交变应力下的裂纹扩展、热处理对微点蚀及裂纹扩展的影响；传动副受载条件下的啮合分析、齿间载荷分配及应力评估，齿面修形与齿间载荷分配和应力强度的关系；传动系统各元件等强度、等寿命设计等，是提高传动系统承载能力和使用寿命、减小传动系统重量和体积所需研究的课题。

传动系统动力学特性及减振降噪的研究。包括传动系统动力学因子的准确计算和评价；摩擦、薄壁效应等对振动特性的影响；载荷波动及传动误差对振动特性的影响；传动副、轴、轴承与箱体耦合作用下的动力学特性和振动控制；传动系统噪声传递建模及噪声控制；传动副啮合齿面三维修形设计与动态特性及减振降噪、齿间载荷分配及承载能力的关系等。

传动装置的制造技术研究。制造技术与传动装置的性能和成本密切相关。以齿轮传动为例，采用高精度、硬齿面的加工技术，如热处理后的磨削加工可提高传动的承载能力、降低振动和噪声。但磨削加工的效率低，从而导致高的制造成本。高精度硬齿面滚齿和剃齿是齿轮传动高效率、低成本、高性能加工的发展方向。硬齿面高精度滚齿和剃齿要解决的问题是：机床的刚性和硬质合金（或陶瓷等）滚刀和剃刀的制造。传动副啮合齿面任意可控三维修形对获得设计要求的齿形、提高传动系统的动力学性能、减振降噪，并改善啮合齿对间的载荷分配、降低应力水平，提高承载能力十分重要。国际上已成功研发了包括复杂齿面在内的任意可控修形的加工技术和相应的数控加工装备。而我国在这一领域尚处于研究开发的初期阶段。可有效降低传动副制造成本的加工技术是传动元件的近净成形加工技术，其特点是少切削或无切削，因而节省材料、减少工时、降低成本。目前国内外近净成形加工技术

仍主要限于二维传动元件加工。三维复杂传动元件的高精度成形加工是未来发展的方向。为此，需开展相关几何成形理论及成形过程的力学数值模拟和试验研究，并研究开发相应的工艺装备。

### 3 结 论

回顾和论述了机械传动科学技术的发展历史和研究进展。认为：机械传动作为机械系统的重要组成部分，其科学技术的发展和机械系统一样，是与人类生产力水平的发展而相伴的。生产力水平的发展对机械系统的性能提出了新的要求，而机械系统的原动机、工作机为满足生产力水平而产生的突破性进展对传动机提出的要求推动了机械传动科学技术的进步。

21 世纪信息与控制技术、能源与环境保护技术、新材料技术、先进制造技术等成为科学技术发展的重要领域，这些领域的科技进步对机械传动科学技术的发展将产生重要的推动作用。

### 参 考 文 献

- 1 会田俊夫. 齿车的技术史. 东京：开发社, 1970
- 2 日本机械学会. RC132 传动装置的现在技术の限界とその克服に関する調査研究分科会研究报告书. 东京：日本机械学会, 1997
- 3 Dudley D W. Gear Technology -Past, Present and Future. In : Proceedings of International Conference on Gearing. Zhengzhou, China, 1988
- 4 Yoshio Terauchi. In : Proceedings of the International Conference on Motion and Power Transmissions. Tokyo : The Japan Society of Mechanical Engineers, 1991
- 5 Fawcett J N. Proceedings of the 1994 International Gearing Conference. London :Mechanical Engineering Publications Limited, 1994
- 6 Karvelis A. In : Proceedings of the 7th International Power Transmission and Gearing Conference. New York : The American Society of Mechanical Engineers, 1996
- 7 Lungwen Tsai. In : Proceedings of the 8th International Power Transmission and Gearing Conference. New York : The American Society of Mechanical Engineers, 2000
- 8 Qin Datong. Proceedings of the International Conference on Mechanical Transmissions. Beijing : China Machine Press, 2001
- 9 Kubo A. In : Proceedings of the JSME International Conference on Motion and Power Transmissions. Tokyo : The Japan Society of Mechanical Engineers, 2001

## HISTORY AND PROGRESS OF SCIENCE AND TECHNOLOGY ON MECHANICAL TRANSMISSION

*Qin Datong*  
(Chongqing University)

**Abstract :** The development history of science and technology on mechanical transmission is reviewed. The new research progresses are introduced. The rapid progresses of science and technology in information and control, energy resource and environment protections, new materials as well as the advanced

manufacture, etc. which are the most important research fields in the 21st century, will play a very important role in the development of science and technology on mechanical Transmission.

**Key words :** Mechanical transmission Science and technology  
Development history Research progress

作者简介：秦大同，男，1956 年出生，工学博士、教授。现任机械传动国家重点实验室主任兼重庆大学机械工程学院院长。从事机械传动、机电液复合传动、车辆动力传动研究。先后主持国家自然科学基金重点项目、专项项目、面上项目、国家 863 项目共 8 项，省部级项目 11 项，企业委托项目 8 项。获省部级科技进步一等奖 2 项，二等奖 3 项、三等奖 3 项。发表学术论文 150 余篇，其中被 SCI、EI 收录 50 余篇。

### 国家自然科学基金资助项目成果简介 ——面向机械测试的智能控件化虚拟仪器系统的研究

2003 年 11 月 16 日，国家自然科学基金委员会工程与材料学部组织专家对国家自然科学基金重点项目“面向机械测试的智能控件化虚拟仪器系统的研究”（批准号：50135050）进行了中期检查。评审组听取了项目组的工作进展、学术研究等 6 个报告，参观了智能控件化虚拟仪器的现场演示。经过认真讨论，形成如下意见。

本项目在以下方面取得突出进展：

1. 提出了一种以智能虚拟控件为基础的新的仪器模式。该智能虚拟控件是具有测试仪器属性的“仪器单元”，拼搭这些“仪器单元”便可组成智能控件化虚拟仪器；所提出的“功能赋予”、“测试融合”和“拼搭场与积木工拼搭”三个概念是构成智能控件化虚拟仪器的依据。

2. 建立了智能虚拟控件和控件化虚拟仪器共性部件的物理模型和数学模型。包括智能虚拟控件的几何模型和物理模型；高速、多区显示、多模式切换、缩放和统计等高度智能化的虚拟显示器的物理模型；测试分析功能数学模型（零相位数字滤波、基本瞬时频率估计的旋转机械阶比跟踪、基本 Gabor 变换的阶比分量提取、多分辨时频分析等）。提出并建立了 FFT、STFT、WT 信号变换的统一模型。

3. 提出了一种基本“层次消息总线”的智能虚拟控件开发系统的构架模式，应用这种模式，实现了用统一的方法来管理运行所需的智能虚拟控件和控件化虚拟仪器系统，并可支持系统的动态演化。

4. 所设计的智能虚拟控件解决了控件的高内聚、低耦合和可复用等问题。建立了虚拟控件的计算机表达、智能虚拟控件的层次结构及其描述方法；建立起一套虚拟控件的电子分类档案，实现了基于层次消息总线的可复用智能虚拟控件的制造。

5. 设计了智能控件化虚拟仪器柔性零编程开发系统。

评审组认为：项目组在研究中做了系统的创造性工作，取得高水平的研究成果，高质量地完成了项目研究计划。

建议：

1. 进一步揭示和提炼智能控件化虚拟仪器的科学内涵。
2. 加强高性能硬件的研制，以提高仪器整体性能。
3. 加大对该项目基础研究的投入。