

中国超精密齿轮技术的“进化”

李英杰¹, 邢珺珂¹, 王洪鹏²

1. 大连理工大学哲学系, 大连 116023

2. 中国科学技术馆, 北京 100012

摘要 制造领域的精度问题是“卡脖子”的重要一环。中国超精密齿轮1级精度的突破是解决这一精度难题的典型代表。超精密齿轮不仅可以用于齿轮精度传递基准, 还作为精密仪器安装于尖端产品和现代化武器, 从而实现传动、变速和变向等目的。西方发达国家对中国进行技术封锁, 为自主掌握核心技术, 中国科学院院士王立鼎历经40余年时间, 于1999年带领团队成功研制出国际标准的1级超精密标准齿轮。基于对王立鼎院士口述访谈等资料的整理与分析, 梳理超精密齿轮从4级到2级精度、2级到1级精度的“进化”过程, 丰富中国超精密齿轮技术发展的历史资料, 展现老一辈科学家勇攀高峰、敢为人先的创新精神。

关键词 超精密齿轮技术; 王立鼎; 标准齿轮

自中美贸易摩擦以来, 芯片被“卡”成为了国家、社会、学界共议的话题。《科技日报》连载系列文章, 讨论30多项“卡脖子”问题。有学者做了统计, 指出其中涉及制造工具等精度问题约占20%^[1]。

20世纪60年代, 为迅速建立社会主义工业化的基础以及满足大型国防工程建设的需要, 齿轮逐渐量产化的同时, 对齿轮精度的要求愈来愈高。例如, 大型精密光学跟踪经纬仪以及精密雷达中的核心技术之一就是中国精度标准3级以上的超精密齿轮。当时中国已有的齿轮无法满足精密级要求, 时间紧、任务难度大, 加上美国、德国等国家尽管掌握高精度齿轮磨床技术、配有高水平的技术人员, 但对中国实施一系列技术封锁的措施, 包括不申请专利、不出售磨齿母机、拒绝参观学习以及不公开

精密磨齿技术等相关经验的文献, 致使中国无法进口磨齿机床与学习磨齿工艺, 必须走自主研发之路。为完成高精尖国防设备的制造任务以及应对超精密齿轮技术封锁的挑战, 中国精密机械和微纳机械专家、中国科学院院士王立鼎带领团队历经40余年的时间, 将齿轮精度从已有的7级精度提高至5级、4级、2级, 直至1级精度, 中国从超精密齿轮技术落后的境地追赶至世界领先。超精密齿轮精度等级的跨越不仅提高了中国超精密齿轮技术研究和生产的水平, 增强了齿轮的性能、质量、稳定性和可靠性, 还能加强机械零件的互换性, 提高装配生产率并促进自动化装配^[2], 对于突破关键技术壁垒, 不再受制于人具有重要意义, 是中国自主掌握关键技术的典型案例。由于齿轮精度从4级精密

收稿日期: 2021-02-18, 修回日期: 2021-07-01

基金项目: 中国科学技术协会老科学家学术成长资料采集工程项目(CJG2019-K-Z-LN02)

作者简介: 李英杰, 讲师, 研究方向为科技史与科技哲学, 电子邮箱: liyingjiedd@126.com

引用格式: 李英杰, 邢珺珂, 王洪鹏. 中国超精密齿轮技术的“进化”[J]. 科技导报, 2021, 39(18): 122-128; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2021.18.016

级到2级超精密级、2级到1级超精密级的阶段是超精密齿轮技术从形成到完善的最关键时期,所以择取这两段齿轮精度跨越的过程。结合王立鼎院士的口述访谈,理清超精密齿轮技术“进化”的历史,目的是了解中国科学家攻坚科研难题、进行技术创新从而登顶超精密齿轮技术高峰的过程。

1 超精密齿轮技术4级到2级的“进化”

1.1 背景

齿轮在机械传动方面具有广泛的应用,其精度关系着机械装备的整体精度。中国4级精度齿轮始于国防需求,1960年,国防部某部门要求中国科学院长春光学精密机械与物理研究所(以下简称长光所)研制出一台光电经纬仪,目的是跟踪我方和敌方的飞机与导弹。这种大型仪器设备包含大量的齿轮传动,要求齿轮精度达到6级以上,但是当时中国工厂加工出的齿轮精度多半为7级,身为长光所研究实习员的王立鼎也参与到这一项目的研发工作,他利用Y7131锥形砂轮磨齿机对齿轮进行磨削与优化,从而圆满完成了国防任务。而后,出于提高齿轮测量效率并适应批量化生产的目的,王立鼎在Y7431磨齿机上研发出4级标准齿轮。不

过齿轮精密级加工真正的难题是实现齿轮精度从4级精度到2级精度、2级精度到1级精度的跨越。

1965年,国家要研制新型精密测量雷达,其中雷达方位测角系统所用的轴角编码数据传动齿轮箱由长光所承担研制。长光所成立专门的研制小组负责齿轮箱的设计、工艺与测量工作。王立鼎是该组的研究实习员,他接到任务时想到此雷达与先前法国报道过的阿基丹雷达具有一定的相似性。超精密齿轮是阿基丹雷达中的核心技术,制造超精密齿轮的厂商是一家世界顶级、具有丰富经验的瑞士马格(MAAG)公司,当时一经报道就引起了王立鼎的关注,但是对外只公布了这一重大成果,未披露任何相关技术细节。这意味着攻关小组要独立完成齿轮箱的研制工作。齿轮箱是由一对分度圆直径为270 mm、120齿、2.25 m(模数)、高达6″(角秒)的传动精度的齿轮组合而成,所有的指标都远远超过了中国最高标准——3级精度。当时德国是超精密齿轮技术领域的“领头羊”,此齿轮箱齿轮的精度要求甚至高于德国工业标准(DIN标准)1级精度,如图1^[9]所示。攻关组所有成员要在1年的期限内完成任务,不仅时间紧张,而且要基于简陋的实验设备条件磨制出超精密齿轮,可谓是难如登天。王立鼎等虽肩负重重压力,但是在“向科学进军”的号召下,只有排除万难去争取胜利。

类别	符号	标准	精度等级									
单 项 指 标	F_p	ISO; GB/T; JIS B	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
		DIN	—	1	2	3	4	5~6	7	8	9	10
		AGMA	—	—	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
	F_a	ISO; GB/T	0	1	0~2	3	4	5	6	7	8	9
		DIN	—	1	1~2	3	4	5	5	6	7	8
		AGMA	—	—	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
综 合 指 标	F_t	ISO; GB/T; JIS B	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
		DIN	—	1	2~3	4	5	6~7	8	9	10	10
		AGMA	—	—	—	—	—	C4	C5	C6	C7	C8
	F_i'	ISO; GB/T; JIS B	—	—	—	—	4	5	6	7	8	9
		DIN	—	—	—	—	5~6	7	8	9	10	10~11
		AGMA	—	—	—	—	—	C4	C5	C6	C7	C8
综 合 指 标	F_i''	ISO; GB/T; JIS B	—	—	—	—	4	5	6	7	8	9
		DIN	—	—	—	—	5	6	7	8	9	9
		AGMA	—	—	—	—	C4	C5	C6	C7	C8	C9

ISO 1328-1:1995、ISO 1328-2:1997 为国际标准;DIN 3962-1~3:1978 为德国国家标准;JIS B1702-1:1998、JIS B1702-2:1998 为日本国家标准;ANSI/AGMA 2015-1A01、ANSI/AGMA 2015-2 A06 为美国国家标准;GB/T 10095.1-2008、GB/T 10095.2-2008 为中国国家标准

图1 现行齿轮标准与精度等级对应

1.2 难题及解决

超精密齿轮加工的整个流程可以概述为将原始的齿坯安装到磨齿机床上,根据被磨齿轮的参数对机床进行选择与调整参数,结合磨齿工艺进行人为技术操作,最后经过测量仪测量,其精度需达到国际齿轮标准3级以上。磨齿机床是超精密齿轮技术的核心要素。攻关组当时有2台磨齿机床——从英国进口的蜗杆砂轮磨齿机床和国产机床Y7431,由于Y7431机床可加工更大直径的齿轮,王立鼎选择此台机床进行改装与精化。1963年,王立鼎先将滑动摩擦Y7431的加工主轴更换为具有高精度、摩擦力矩小的密珠滚动轴系,这为后来研制精密雷达中的编码齿轮奠定了重要技术基础,也是机床精化的一大创新举措。在当时,想要更换机床主轴并不是一件易事,由于当时主轴的主要生产企业是上海机床厂,他们生产主轴的数量由中华人民共和国第一机械工业部(1982年该部门与农业机械部、国家仪器仪表工业总局、国家机械设备成套总局合并为中华人民共和国机械工业部)定量生产,个人无法申请订单,王立鼎只能自己研制新主轴的同时提高其加工精度。转机发生在第一届全国机械传动年会结束后,王立鼎跟随同事去上海机床厂调研电池设备中的分度技术,发现他们所研制的录磁机中的录磁盘回转轴系是由多颗高精度钢球构成,从而直接保证了录磁盘的精度。这一技术启发王立鼎解决机床主轴结构设计问题,他在机床主轴加入400颗钢球,多钢球的设计使得主轴刚度大幅度提高,保证轴承不易弯曲,同时多钢球的结构促使误差发生均化效应,更换之后的主轴精度由原来的 $2\text{ }\mu\text{m}$ 误差减小到 $0.5\text{ }\mu\text{m}$,高于国内生产水平^[4],这个问题的解决让王立鼎充分体会到科研工作中先进思想方法的重要性。

磨齿机床按照功能性可以划分为砂轮系统、展成系统与分度系统这三大技术模块。3个技术模块之间相互配合、相互作用。展成系统通过驱动渐开线凸轮实现砂轮与齿坯的啮合运动而磨出齿形,从而为砂轮系统的运行提供动力;分度系统按照给定的角度或长度间隔使齿轮与分度盘作间歇运动,能够调节砂轮系统运动时间间隔^[3],如图2^[3]所示。

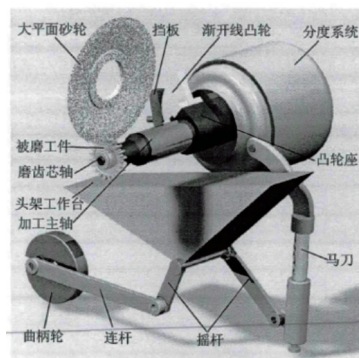


图2 大平面砂轮磨齿机结构

王立鼎认为机床的分度精度是提高齿轮精度的关键,分度盘是分度系统的核心要件,其精度决定了齿轮的分度精度,因此,分度盘的精细加工既是关键,也是难题。王立鼎另辟蹊径,发挥长光所制作精密度盘的优势,将高精度的度盘安装在磨齿机床齿轮的位置,分度盘装置在度盘后面,利用精密的轴系将度盘的精度传递给分度盘,借此将分度盘精度提高至一二十角秒,而要想加工出传动精度 $6''$ 的齿轮,分度盘最佳精度应为 $2\sim 3''$,所以还需进一步提高分度盘的精度。王立鼎画出分度盘误差的数学模型图,显示为一条正弦曲线,他假设此正弦曲线为安装偏心导致的正弦误差,在相反方向画出一条反正弦曲线,从而与实际正弦相抵消来减少纵坐标的误差量,依照反、正弦曲线调整分度盘大大提高分度盘的精度。这便是王立鼎自创的“正弦消减法”。接下来,王立鼎用小锉刀依次研磨分度盘的牙齿,经过2周昼夜不停地研磨,分度盘精度达到加工要求。

然而,齿轮精加工的问题接踵而至,超精密齿轮加工是需要恒温、防尘与防震的实验环境下进行。例如,20世纪60年代美国研发空间飞行物导航系统所需的 $10''$ 精度的齿轮,不仅有专门的实验室,而且实验室方圆1 km以内禁止车辆通行,实验人员配有特殊材料的实验服。与发达国家优越的科研条件相比,国内超精密齿轮实验室设备简陋,无法满足超精密齿轮加工的恒温、防尘与防震的要求,于是王立鼎利用“变中自有不变”的道理,让助手白天进行半精加工工作,自己在同事下班之后,

夜晚相对安静的环境下进行超精加工,齿轮一个齿面的加工需要一天一夜,王立鼎每天加工齿轮到凌晨5点左右,然后打开实验室的门,这使得齿轮能够快速降温,以便于测量实验室人员白天上班后进行测量。昼夜不停的工作强度没有使他退缩,相反,他认为深夜没有车辆行驶的噪音,达到了防震与防尘的要求,同时利用每天凌晨3~4点时的温度最低点,回升到下午2点温度最高点这样一个气温规律,在不同的温度时刻进行齿轮加工。就这样,王立鼎等人克服诸多科研困难,在一年后如期完成编码齿轮的研制任务。之后王立鼎一共参与研制了5批雷达编码齿轮,都相继装载到中国最精密的雷达上,至今尚未出现任何问题,对此他很是自豪与欣慰。那时,刚刚30岁出头的王立鼎便成为国内公认的超精密齿轮专家,当时吉林工业大学采访报道称他为“精密齿轮王”。

在完成科研任务后,王立鼎没有满足于已有的科研成果。为转变中国超精密齿轮应用领域被动的境况以及尽快拥有自主知识产权的超精密齿轮制造技术,王立鼎毅然决定继续钻研攻克超精密齿轮技术难题,直至研制出1级超精密齿轮,使得中国的超精密齿轮技术不仅要跟上发达国家的步伐,还要领先于国际水平。这体现了技术专家所拥有的“技术梦想”,正像《技术发展简史》中所说的,“发明家们解决他们遇到的难题,征服摆在他们面前的挑战”^[5]。于是,为了使机床分度系统能充分达到研制2级精度齿轮的要求,王立鼎彻底改装分度机构,添加了端齿自动分度机构。端齿自动分度机构实际上是精密角度转台中的一种机械结构,美国最先制造出端齿盘转台,但是将端齿自动分度机构装备于机床尤其是精密机床用来磨齿,这一点是国内首创。此后,上海机床厂也利用了这种创新想法,用端齿分度改装机床,不过上海机床厂改装之后的精度是7",而王立鼎改装后的机床精度达到1.71",王立鼎认为之所以自己能够做到同一技术方法下研制出的齿轮精度更高,主要在于自己全程参与设计思路、制造过程、精度检验和技术调整鉴定,能够准确了解最佳安装位置,这样才能做到高精度加工,这也是他认为自己能在超精密齿轮领域实现重

大创新的核心因素。

1977年,王立鼎经过多次实验与调整,将端齿分度机构添加到Y7413机床,改装后的机床能够稳定研磨出西德齿轮标准DIN3962-3967中的2级精度的“小模数标准齿轮”。王立鼎所研制的德国DIN标准3级和2级精度的“小模数标准齿轮”在1978年先后获得了中国科学院的重大科技成果奖和全国科学大会奖。此外,王立鼎于1976—1978年研制“多齿轮自动分度机构”替代了传统齿轮磨床上的分度盘。除了小模数齿轮,王立鼎还进行了多种模数齿轮的研究,其中“中模数基准标准齿轮”获中国科学院科技进步一等奖,中国计量科学研究院将之用作国家级齿轮精度实体基准。

2 超精密齿轮技术2级到1级的“进化”

2.1 背景

1978年,中国实施改革开放基本国策。随着改革开放和社会主义市场经济体制的建立,计划经济体制下形成的原有科技体制不能满足当时发展的需要,因此,1985年中国正式全面启动科技体制的改革。在第一阶段,以开拓技术市场为突破口,引导科技工作面向经济建设,促进科技与经济的紧密结合。除此之外,1986年成立国家自然科学基金,以推动自然科学基础研究的发展。在国家对科技领域大力扶持下,王立鼎以“渐开线误差形成规律和最佳成型方案的研究”为课题申请了国家自然科学基金项目,目的是研制出1级精度标准齿轮,“从事科研,我们要跟世界去比较,要为中国科学事业做出贡献”^[6]。王立鼎心怀坚定信念,务必要追上并超过德美,使中国在超精密齿轮领域不再受制于人,独立掌握核心技术。

2.2 创新

在王立鼎从事超精密齿轮研究的60年人生中,20余年致力于解决机床分度精度问题,当分度精度这个主要矛盾解决以后,为将超精密齿轮精度从2级提升至1级,王立鼎又用20余年集中解决齿轮齿形的精度问题。齿轮的齿形有摆线与渐开线

两种曲线,摆线齿轮因为齿数少的缘故而常用于仪表仪器中,较少用作动力传动,而渐开线齿轮具有传动平稳、振动小、输出转速恒定无波动等优点,是现代机械装置应用范围最广的齿轮。超精密齿轮就是应用了渐开线的齿形设计,属于渐开线齿形、圆柱形的齿轮外形的平行轴齿轮。降低齿轮齿形误差的关键是提高机床渐开线凸轮的精度,王立鼎解决渐开线凸轮精度难题的灵感是来自于他与德国学者贝尔博士的一次探讨。1975年,德国联邦技术物理研究所贝尔博士到国内讲学,王立鼎就贝尔博士关于渐开线样板的博士毕业论文提出相关问题,在与贝尔博士讨论之后,王立鼎坚定了他提出的双滚轮渐开线样板装置能够实现超精密加工工作的设想。1993年,王立鼎不仅研发出双滚轮式渐开线磨削装置,还进一步设计并制造了渐开线测量装置,为中国计量科学研究院提供了校对仪器。渐开线磨削装置与测量装置结构上大致相同,都是依据渐开线的发生原理,唯一的区别是磨削装置上安装了砂轮,测量装置安装的是测量头。王立鼎研制的渐开线样板磨削与测量装置经过精度比照,与贝尔博士的渐开线样板不相上下,甚至有所超越。总而言之,王立鼎所研制的高精度渐开线样板,不仅可用于机床磨削出1级精度齿形,还能作为中国计量科学研究院渐开线精度传递的基准,于1999年荣获国家科技进步三等奖。

通过密珠滚动轴系、“正弦消减法”、端齿分度机构和渐开线样板磨削与测量装置这些创新技术的应用,磨齿机床的精度已满足磨削1级精度超精密齿轮的要求,但是超精磨齿轮的磨削还需要在加工工艺方面进行革新。王立鼎在加工齿轮的过程中,发现齿轮磨削出的火花有大小不一的现象,这说明齿轮有一部分没有被磨削到,因此王立鼎效仿分度盘的误差规律,将齿轮旋转 180° 后磨削一半的齿轮,停止磨削齿轮的剩余部分,将齿轮精度从原先的 $60''$ 提高至 $45''$,王立鼎将这种磨齿加工工艺命名为“易位法”。王立鼎认为“易位法”的发明关键在于要特别注意实验现象,他在机床旁边专门放置一个办公桌,便于在加工齿轮时能够一边分析一边记录。除了观察实验现象,王立鼎还注意听磨齿的

声音来判断齿轮加工程度。在工作实践中只有特别留意各种现象,抓住问题——突破,才能进行技术创新,不断进步。除此之外,结合调整机床头架、更换砂轮修整器材料、调整砂轮工作面等措施改装机床之后,配合新工艺,1994年,王立鼎带领团队成功研制出4种国际标准化组织制定的标准(ISO标准)1级精度标准齿轮,经过由多位院士组成的专家组鉴定,精度指标达到国际领先。

2.3 意义

齿轮在机械设备传动方面应用广泛。在齿轮的精度等级中,6~8级为中等精度等级,可应用于机床与汽车等工业设备;3~5级为高精度等级,主要应用于超精机床、仪器、船舶、雷达以及航空航天发动机等具有高速高平稳传动要求的场合;1~2级精度为超精密等级,主要作为国家级或国际齿轮量仪校对和精度传递实体基准^[7]。中国是首个掌握1级精度基准标准齿轮核心技术的国家,因此其成功研发具有重要的科研价值与应用前景。

科研价值方面,首先,王立鼎所研制的磨齿机床Y7125及其磨齿工艺填补了国内外1级精度齿轮制造工艺的空白,奠定了中国超精密齿轮领域在国际上的领先地位,突破了超精密齿轮的制造质量难关,不仅提升了中国齿轮制造业的技术水平,还为中国成为齿轮制造强国打下坚实的基础;其次,1级超精密齿轮作为齿轮精度传递基准,被中国计量科学研究院以及企业用来鉴定普通精度的齿轮或齿轮测量仪器,标准齿轮是检查批量齿轮的一个工具,将被测齿轮与标准齿轮对照着转一圈以后,能够立即知道被测齿轮的误差,从而提高齿轮检测效率,适用于规模生产;最后,超精密齿轮技术在工业生产、航空航天及军用装备等多个重要领域起到关键作用,具有重要的战略地位。

应用前景方面,王立鼎带领他的团队紧跟国家科研需要以及国际齿轮技术前沿,继续攻克基准级齿轮渐开线样板和齿轮螺旋线样板难题。2017年,国家科技部明确提出将“机械基础技术和关键零部件”作为重点任务来抓,其中重点提到“基准级别齿轮渐开线样板和螺旋样板设计与精密制造和计量”^[8]。王立鼎于20世纪90年代所研制出的高精

度渐开线样板,主要用于精化渐开线凸轮来磨削齿轮,而基准级齿轮渐开线样板和齿轮螺旋线样板特指1级及以上精度的齿轮渐开线和螺旋线样板,用于国家级齿轮渐开线和螺旋线的量值传递基准。另外,《中国制造2025》对未来10年中国制造业的发展方向做出了顶层规划,要求主攻技术含量高的智能制造领域以满足经济发展和国防建设对重大技术装备的需求^[9],工业机器人作为高端智能制造的代表,对此生产需求大幅度增加,而精密减速器是工业机器人传动的核心部件,成本占据工业机器人总成本的近三成^[10]。目前大量应用在关节型机器人的减速器主要有RV减速机和谐波减速机,这两种减速机分别被日本的纳博特斯克公司和哈默纳科公司所垄断,占据全球机器人减速器75%的市场^[11],中国的减速器起步晚且主要依赖进口,导致中国工业机器人发展受到极大限制。由于减速器中包含了大量齿轮传动,精密减速器对齿轮精度有极高要求,因此加快精密减速器国产化成为中国未来工业机器人发展战略的主要课题,也是超精密齿轮技术领域中的重大研究方向。

3 结论

中国超精密齿轮技术的“进化”一方面来源于国家需要,另一方面来源于大国工匠对技术本身的追求。1956年1月,毛泽东在全国知识分子问题会议上发出“向科学进军”的号召。面对复杂的国际形势,突破发达国家技术封锁的难关,对科学技术的发展提出急迫的要求,超精密齿轮技术便是始于中国制造大型尖端仪器设备的需求。王立鼎就是在国家需求的推动下完成了超精密齿轮技术从4级到2级的跨越,研发出德国DIN标准2级精度标

准齿轮。而后,在技术梦想和要让中国拥有1级超精密齿轮的信念支持下,王立鼎潜心钻研,通过技术实践独创了“正弦消减法”“易位法”等磨齿方法,突破重重技术难关,带领团队成功研制国际标准ISO1级超精密齿轮,填补了中国精密级齿轮技术的空白。超精密齿轮精度的“进化史”体现了中国技术自主创新的若干本土化特征。

参考文献(References)

- [1] 王英俭. “卡脖子”问题到底被什么卡住了[J]. 科学与社会, 2020, 10(4): 9-11.
- [2] 杜云峰, 朱晓刚. 超精密加工技术浅析[J]. 金山, 2011, 4(4): 1.
- [3] 凌四营. 超精密磨齿中的机床精化及磨齿工艺研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2011.
- [4] 精化国产磨齿机磨制超精密齿轮[J]. 机床, 1977(3): 4.
- [5] 乔治·巴萨拉. 技术发展简史[M]. 周光发, 译. 上海: 复旦大学出版社, 2000: 73.
- [6] (所志)编委会. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所志[M]. 长春: 吉林人民出版社, 2002: 75.
- [7] 龙海波, 姚璐. 王立鼎院士团队自主研发1级精度标准齿轮[EB/OL]. (2017-05-17) [2021-06-25]. <http://news.dlut.edu.cn/info/1002/47973.htm>.
- [8] 王子侯, 乔雪峰. 先进制造技术领域科技创新专项规划发布[EB/OL]. (2017-05-03) [2021-06-25]. <https://http://finance.people.com.cn/n1/2017/0503/c1004-29250561.html>.
- [9] 张樵苏. 李克强主持召开国务院常务会议[EB/OL]. (2016-08-25) [2021-06-25]. <http://www.xinhuanet.com/politics/2016-08/25/c1119456312.htm>.
- [10] 王文涛, 杨斌. 浅谈工业机器人用精密减速器[J]. 中国新技术新产品, 2018(13): 40-41.
- [11] 熊嘉豪, 张广宇, 孙启凡. 工业机器人精密减速器的应用及现状[J]. 科技风, 2021(7): 171-172.

The progress of ultra-precision gear technology in China

LI Yingjie¹, XING Junke¹, WANG Hongpeng²

1. Department of Philosophy at Dalian University of Technology, Dalian 116023, China

2. China Science and Technology Museum, Beijing 100012, China

Abstract In the manufacturing field, the precision is a difficult point. The breakthrough of the grade 1 precision of the super-precision gear in our country can be served as the typical example for its illustration. The ultra-precision gear for achieving transmission, speed change and direction change can be used as the transmission benchmark for the gear precision, and can also be used as a precision instrument to be installed in cutting-edge products and modern weapons. Due to the restriction of the technology transfer to our country by Western developed countries, Wang Liding, academician of the Chinese Academy of Sciences, with his team have successfully developed the grade 1 ultra-precision standard gear in the international standard in 1999 and mastered the core technology independently. Based on the interview with Wang Liding, this paper analyzes the evolution process of the super-precision gear from grade 4 to grade 2, and then to grade 1, to enrich the historical data of the development of the ultra-precision gear technology in China and to show the innovative spirit of the older generation of scientists in China.

Keywords ultra-precision gear technology; Wang Liding; standard gear ●



(责任编辑 王丽娜)