

我所的精密机械传动研究

孙麟治

精密机械传动研究在长春光机所内，是从1961年开始的，当时所内开展了大型光学工程仪器的研制工作，这类仪器的精度高、工作要求平稳、噪声低、振动小，从而对其中的精密齿轮传动系统的设计计算以及精密齿轮的研制，提出了很高的要求，成为当时的关键技术之一。因此建立了一个精密齿轮和齿轮传动研究室，室内设置了齿轮传动设计，精密齿轮切齿工艺，精密齿轮磨齿工艺和齿轮精度检测四个方面的研究课题组。

前五年，通过对国外样品的分析，逐渐熟悉和掌握了精密齿轮箱及其传动系统的设计方法，初步建立了采用光学度盘检测精密齿轮箱传动误差和虚动的技术。在精密齿轮的工艺研究方面，比较注意到了切齿工艺和磨齿工艺的精度分析，重视齿轮误差的检测技术，注意机床设备的精化改造，很快地发挥了滚齿机和磨齿机的加工潜在精度，促使我们研制的中小模数齿轮的精度达到了5—6级，为大型光学仪器的研制作出了贡献^[2]。

1966年前，研制成功的测量仪器设备有：万能测齿仪，齿向误差测量仪，基节误差测量装置和周节误差检测装置。工艺方面试制了渐开线凸轮磨削装置，精化了Y7125型磨齿机工件主轴的轴承。还建立了磁分度测试技术用于对高精度蜗轮副进行动态精度的测量，以及光栅式传感器检测传动误差的技术。这几年在全国性的学术会议上，发表了“精密齿轮箱的传动精度分析(全国机械传动年会)”，“Y7125磨齿机磨齿时砂轮背缘切伤旁齿现象的分析(全国机械加工年会)”和“提高剃齿精度的途径(全国机械加工年会)”等论文报告。

文化大革命期间，十年浩劫给精密齿轮研究工作，带来很大灾难。原二十二室被迫拆散，科研骨干力量被调走，剩下的少数人员并入了机械加工车间，编进生产加工班组与工人师傅在一起跟班劳动。终因任务所需，幸免彻底摧毁。

这十年内在同志们的辛勤努力下，仍然完成了很多台光学仪器中的精密齿轮箱的研制，以及精密齿轮加工生产工作量，并且开展了一些新的研究课题。

1969年研制成功一种精密仪器方位测角系统用的轴角编码数据传动齿轮箱，齿轮箱的传动精度要求高达 ± 6 角秒，齿轮箱中的一对超精密齿轮是在国产Y7431型磨齿机上，通过对原机床的精化（原机床只能达到4级精度）和采用了易位调整法等措施研制成的，研制精度接近西德齿轮标准DIN3962的1级，成为当时国内齿轮精度的最高制造水平^[14]。与此同时还为这一精密仪器的俯仰角系统，设计研制了高精度编码数据钢带传动箱，采用了钢带—滚轮传动机构替代齿轮，不仅结构简单，制造方便，而传动精度却提高到 ± 3 角秒以内。这时候，精密齿轮的检测精度，也有了相应的提高，成功地解决了上述的超高精度齿轮以及传动装置的精度检测技术，建立了相应的设备和装置。

这几年内，我们还开展了标准齿轮的研制，模数0.3和0.5两种小模数标准齿轮的精度达到西德DIN3962标准的2—3级。

谐波齿轮传动是五十年代末，首先在美国发展起来的一种新型机械传动装置，成为齿轮

传动的一个分支。我们所从1969年开始进行研究，研制了传动精度为9角秒级的大速比谐波齿轮传动装置，安装于大型光学仪器的俯仰传动系统中，是为国内精度指标最高的一台谐波齿轮传动装置。研制了刚轮输出的滚轮谐波齿轮传动装置，安装于方位传动系统中。还研制了高速伺服电机（10000转/分）驱动的谐波齿轮传动装置，应用于光学仪器的外转台传动系统中，以及其它的微型谐波齿轮减速器等应用于变焦距镜头调节和飞行器的舵机传动中，这些微小型谐波齿轮减速器的特点是体积小、精度高和虚动小，比较适用于精度要求高的伺服系统。

我们在从事上述应用研究和发展研究的同时，还注意到了基础性工作的积累，进行了谐波齿轮传动理论问题的探讨，开展了利用电子计算机进行啮合参数选择以及啮合性能的分析研究。并为此创立了国内独有的谐波齿轮传动实验台，可供谐波齿轮啮合性能分析、加载、动态传动误差测试使用。在此实验台上进行了谐波齿轮啮合过程的连续摄影实验，这一方法不仅具有简便、易行、直观、连续等特点，并且能够比较准确地反映出柔轮和刚轮在任意啮合瞬间的相对位置。

研究实验表明，这类新型传动的结构虽很简单，但需采用特殊参数和特殊形状的内齿轮和外齿轮结构，尤其对于高精度的传动装置，更需要制齿工艺和检测技术的密切配合。针对上述高精度谐波齿轮传动中采用的直线齿廓内齿轮加工的特点，在Y7431磨齿机上创立了磨内齿装置，及其相应的检测技术和装置。成功地研制了内齿钟形柔轮和小模数谐波齿轮。

1968年前，我们还与北京量具刀具厂合作，设计研制了CD320型光栅式齿轮单面啮合检查仪，仪器结构独特。采用精密蜗杆作为测量元件，并且成功地将本所研制的计量光栅技术应用到了齿轮误差测试中。这种单面啮合检测，具有测量过程连续和测量效率高等特点，是一致公认的一种比较接近齿轮工作状态的检测方法，我国国标将其列为齿轮误差的主要测量项目，过去由于国内外都没有合适的商品仪器，影响了其在实际工作中的具体应用。后来我们又与该厂进一步合作，研制了CDY型光栅式传动链测试仪，用于测定精密齿轮箱和滚齿机等机床传动链的传动误差，测量精度可达 ± 1.5 角秒，分辨率为0.5角秒，能够自动记录误差曲线。而在过去，对于这类误差的测定只能采用经纬仪和平行光管，或者采用光学度盘等静态测试方法，不仅费时，测试点不连续，不能充分反映传动链的实际运转等缺点。两种仪器的研制成功，为齿轮及其传动链的动态测试提供了有效条件，现已批量生产，在国内获得广泛应用。

全国科学大会以后，我们重新从机械加工车间独立出来，在原来的基础上，发展建立了精密机械传动研究室。

近年来，我们继续开展了精密谐波齿轮传动研究，研制成功了精密步进谐波传动，这是一种可用于数控系统中的高分辨率的新型传动装置。它在步进传动误差小于3角分、步距误差小于13角秒情况下，分辨率可达19200。探讨了采用椭圆凸轮发生器谐波齿轮传动的啮合分析方法。椭圆凸轮与国外常用的余弦凸轮相比，具有加工方便、精度高等优点。为此编写的“谐波齿轮传动啮合性能分析”一文，被1981年日本东京召开的国际齿轮和传动装置会议选为交流内容，并被编入会议论文集中。

近几年内，我们还在研制高速摄影机齿轮传动噪声的基础上，结合柴油发动机增速器以及氢氧发动机，进行了高速齿轮研究。前一种齿轮的转速为26000转/分，线速度高达88米/秒，后一种齿轮的转速为40000转/分，线速度高达104米/秒。试验表明，这类高速齿轮采用齿形修形和齿向修形，是降低齿轮噪声、振动以及防止齿面胶合的有效措施。

在高精度齿轮方面,这几年内着重研制了中模数高精度基准标准齿轮,通过精化机床工件主轴和将多齿分度盘代替单齿分度盘之后,机床工件主轴的分度精度由原来 $20''\sim 30''$ 提高到了 $1.71''\pm 0.18''$,从而研制成m2基准标准齿轮,精度达到DIN2级,可用于综合测量批量生产中普通精度的标准齿轮,和标准蜗杆以及校验齿轮量仪。

对于形状复杂、精度高的精密齿轮,加工工艺中出现的误差的分析,需要检测方面的密切配合。二十多年来,我们的精密齿轮检测实验室配备了万能式渐开线检查仪、万能测齿仪,光栅式单面啮合检查仪,光栅式齿轮万能测量仪,精密分度头和圆转台等测量仪器设备。改装和精化了原有的几台测量仪器。通过对MAAG FP60单盘渐开线仪的精化,将仪器原有的杠杆式放大记录器,更改成为交叉弹簧片误差传递杆和电感测微记录器后,使仪器的测量精度提高到 ± 0.52 微米,灵敏度优于0.1微米。使蔡司偏摆检查仪的测量精度提高到 ± 0.7 微米。自制周节测量装置的测量精度达到 ± 5.5 微米。另一台由端齿台组装成的周节测量装置,采用了双片弹簧导轨往复移动台和电感测微器,测量精度可以达到 ± 0.6 微米。还研制成一台高灵敏度双啮综合检查仪,径向综合误差的测量精度可达 ± 0.58 微米。而MAAG DAS40型双啮仪的测量精度,因受500倍机械式记录仪精度限制,低于 ± 2 微米。从而解决了高精度中小模数齿轮的齿形、周节、基节、齿圈径向跳动、齿向以及综合误差的测量。

除此以外,在为高能加速器研制的束流测量装置中,采用了由步进电机驱动精密滚珠丝杆和齿轮组成的传动机构,实现束流发射度监测器的步进运动,探讨了高真空条件下使用的传动问题。

在为小型飞行器制导技术研制的光学实景显示仪中,探讨了光学仪器中的小模数齿轮传动链的设计计算。

目前我们还针对空间科学技术中的机械问题,正在开展一些空间机械传动研究工作,并将根据侧重基础、侧重提高的方针,为国民经济建设和国防建设服务,为我国的四个现代化建设作出贡献。

参 考 文 献

- [1] 孙麟治、谢金瑞:《中国机械工程学会第一届全国机械传动年会论文选集,第一分册,齿轮传动》,1965年10月。
- [2] 薛培中:《光学机械》,1980年6期。
- [3] 王慧娥:《光学机械》,1980年6期。
- [4] 王立鼎:《光学机械》,1977年4期。
- [5] 凌如昭、李元璧:《光学机械》,1978年5期。
- [6] 谢金瑞:《光学机械》,1978年6期。
- [7] 顾钟秀:《光学机械》,1978年6期。
- [8] 赵明晶、李元璧:《光学机械》,1979年5期。
- [9] 谢金瑞:《光学机械》,1980年3期。
- [10] 谢金瑞、何惠阳:《吉林机械》,1981年2—3期。
- [11] 赵明晶:《吉林机械》,1981年2—3期。
- [12] 长春光机所、北京量具刃具厂联合研制组:《北量技术》,1978年11月。
- [13] 薛培中、王慧娥:《光学机械》,1978年5期。
- [14] 王慧娥:《光学机械》,1980年3期。

