近年来齿轮测量仪器的发展

成都工具研究所 （四川 610051）谢华锟

为了正确测量和评定产品质量，齿轮测量仪器通常应按照我国国家标准 GB/T10095—2001（等同于 ISO1328：1997）的渐开线圆柱齿轮精度标准所规定的精度项目、精度评定方法以及规定的公差，对产品齿轮进行快速可靠的测量。由于市场（如汽车行业）对齿轮测量不断提出新的更高要求，齿轮测量精度项目不断有所发展，齿轮测量仪器也同样有所创新和发展，测量功能不断增强，以满足新的需求。

齿轮测量仪器通常由仪器主机、坐标或位移传感器、测头装置、测量滑板数控驱动系统、测量系统电气装置与接口以及计算机等主要部分组成。随着关键精密零部件生产专业化、标准化、模块化，尤其是近年来信息技术、计算机技术、精密机械制造技术以及精密测量技术的发展，推动了齿轮测量仪器的研制与开发。新的控制软件和测量软件的开发显得更为重要。

1.CNC 齿轮测量中心

从 20 世纪 80 年代开始，“齿轮测量中心”的开发受到众多齿轮测量仪器制造商的重视；90 年代逐步形成了系列化产品推向市场。CNC 齿轮测量中心是信息技术、计算机技术和数控技术在齿轮测量仪器上集成应用的结晶，是坐标式齿轮测量仪器发展中的一个里程碑。该仪器实质上是含有一个回转角坐标的四坐标测量机——圆柱坐标测量机，主要用于齿轮单项几何精度的检测，也可用于（静态）齿轮整体误差的测量。

德国 KLINGELNBERG 的 P 系列齿轮测量中心，其特点是采用了专利的三维数字式高精度光栅测量头（使用了 HEINDENHAIN 的超高精度光栅），性能稳定的优质铸铁床身，高性能直线电动机驱动系统，高精度滚珠轴系和密珠滚动导轨。仪器精度达到德国标准 1 级（图 1，P26 齿轮测量中心）。据报道该厂生产并经精化的一台 P65 齿轮测量中心，被英国国家齿轮计量实验室选定，作为英国齿轮精度传递及标定的基准仪器。美国 M&M 的齿轮测量中心，其三维高精度电感测量头，花岗石基座，精密气浮轴系以及精密直线滚动体结构导轨，成为该仪器的特色（近年也采用了直线电动机驱动）。仪器测量不确定度为 2μm。德国 MAHR 的 GMX275 采用的模拟量测量头，可选择扫描或单点采样不同方式，它可以按 0.1°间距转动，使测头的测尖能处于被测齿面的法面上。仪器测量不确定度在测量空间内为（2.3μm + L/200）。齿轮测量中心除了能测量圆柱渐开线齿轮，还能测量齿轮滚刀、插齿刀、剃齿刀等齿轮刀具以及蜗杆、蜗轮、凸轮轴等复杂型面的回转体零件。国外齿轮测量中心厂商，大多还开发了适用于不同制式锥齿轮的测量软件和锥齿轮加工机床的参数修正软件，这有益于加快锥齿轮的首件试切。通过接口或网络的信息集成，将测量机和锥齿轮设计及锥齿轮加工机床连接一起，构建成锥齿轮闭环制造系统——将试切锥齿轮几何形状的测量信息，转换成相应机床参数的调整信息后反馈到机床，实现锥齿轮加工的 CAD/CAM/CAT，使锥齿轮的“零废品”制造成为可能（国内还未见应用的相关报道）。选用相关软件，还能用于反求工程对工件参数进行测定。高精度和一机多能的特点，使齿轮测量中心更适合于工厂计量站使用。

图 1 P26 齿轮测量中心

日本的齿轮测量仪器制造商，在我国市场经过近十年的沉寂后近年来亮相频繁。大阪精机在 GC—HP 系列齿轮测量仪器的基础上，开发出 CNC 电子创成式的 CLP 系列齿轮测量仪器。特别值得一提的是最近在国内参展亮相的东京技术仪器公司（Tokyo Technical Instruments Inc.）。2003 年底上海“中国国际齿轮传动、制造技术及装备展览会”上该厂首次展出 TTI—300E 型 CNC 齿轮检测仪（图 2，日本 TTI—300E 齿轮检测仪），据称其质量较小的测头部件能单独在径向运动，便于快速测量齿轮齿距偏差。密珠轴系的主轴回转精度可达 0.03μm，仪器测量重复性达到 0.5μm。除了能对

渐开线齿轮高精度测量外，该仪器还能对齿轮刀具（如滚刀、剃齿刀、插齿刀）以及蜗杆蜗轮进行测量。公司产品近年在中国已售出30余台，主要集中在台资企业。

图2 日本TTI—300E齿轮检测仪

近年来国产CNC齿轮测量中心有了长足的发展，哈尔滨量具刃具厂、哈尔滨精达公司都先后成功开发出了自己的系列产品（参见图3，哈量齿轮测量中心）。哈量的3903A齿轮测量中心，经过几年努力，仪器精度和测量速度据称已达到或接近KLINGELNBERG产品的先进水平；精达公司为后起之秀，发展引人瞩目。它的JD、JDS系列齿轮测量中心，目前在国内产品中销量最多。国产齿轮测量中心的质量和性能不断提高，已经具有和国外产品竞争的能力。不过在仪器精度、稳定性，尤其在测量软件（如弧齿锥齿轮的测量软件）、仪器故障诊断功能等方面，和国外还有一定差距。令人欣慰的是国内齿轮量仪制造商已有共识，联合高校院所，协同攻关，努力缩小差距；随着性价比的迅速提高，参与市场竞争能力的增强，国产齿轮测量中心的发展前景看好，在国内市场所占比重将会越来越大。

图3 哈量齿轮测量中心

2. 齿轮啮合检查仪

（1）齿轮单面啮合滚动点扫描测量仪　这类仪器在我国曾得到大力开发与生产，特别适合摩托车、汽车齿轮批量生产现场的质量检测和生产工艺监控。成都工具研究所研制的CNC蜗杆式齿轮整体误差测量仪是一个典型实例，至今已在国内市场销售200余台，少量销往国外。它的特点是采用跳牙磨薄测量蜗杆与被测齿轮啮合，对齿轮齿面进行滚动点扫描测量。测量信息丰富，测量效率高（参见图4，成都工具所的CZ450）。德国FRENCO公司最近推向市场的URM齿轮误差滚动扫描测量仪（参见图5，URM齿轮测量仪），其测量原理完全同于我国齿轮整体误差测量技术。该仪器可称为平行轴齿轮式齿轮整体误差测量仪。它采用高精度圆光栅作为角度传感器，特殊测量齿轮为测量元件。测量基本单元是测量齿轮上特制的测量棱线，分别为齿廓测量棱线和齿向（螺旋线）测量棱线。（参见图6，测量齿轮的测量棱线示意图）测量仪器的不确定度为3.5～4.5μm，测量重复性为2～3μm。测量时间1～2min，测量齿轮使用寿命约20万次。产品已在德国福特汽车厂、大众汽车厂得到应用。成都工具研究所生产的CSZ500A、B型锥齿轮整体误差测量仪，是滚动点扫描测量技术在锥齿轮测量上的应用范例。测量锥齿轮的齿廓、齿向测量棱线的制作，采用了自行开发的专利技术。仪器测量重复性可高达1～2μm，可测量锥齿轮的齿形、齿向、齿距偏差，齿面形貌偏差，切向综合偏差以及接触区。测量时间取决于大小锥齿轮齿数，通常5～10min（参见图7a，CSZ500—A锥齿轮检测仪；图7b，锥齿轮整体误差线）。

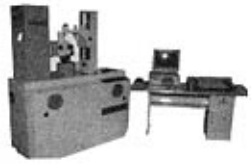


图4 成都工具所的CZ450测量仪

图5 URM齿轮测量仪

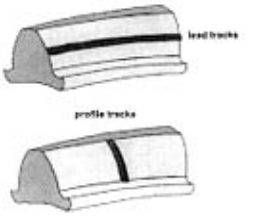
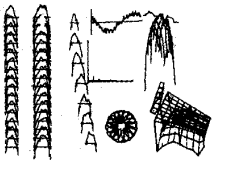


图6 测量齿轮的测量棱线示意图

(a) CSZ500—A锥齿轮检测仪



(b) 锥齿轮整体误差线

图7

（2）齿轮双面啮合检查仪　近年来由于计算机、精密光栅传感器以及数控技术的应用，传统齿轮双面啮合检查仪，经过技术改造、提升，整体水平有了质的改变，分析功能增强。哈尔滨量具刃具厂的智能双面啮合齿轮测量仪配备笔记本电脑，长、圆光栅传感器，直流伺服电动机，单片机数据采集，能对齿轮的径向综合偏差、一齿径向综合偏

差、径向圆跳动进行测量外，还能对毛刺、划伤、磕碰等缺陷进行判定。随着信息产业的发展，信息、办公机器以及照像机、玩具行业等用小模数齿轮、尤其是塑料齿轮产量大增，质量要求也越来越高，小型齿轮双面啮合检查仪市场需求相应增加。2003年上海展览会上就展出了日本东京技术仪器和大阪精机的齿轮双面啮合检查仪。据东京技术仪器公司介绍，他们的TF—40NC据称是世界上第一台CNC齿轮双面啮合检查仪（参见图8，TF—40NC齿轮双啮仪）。其特点除了自动校零点、显示最大、最小和中心距平均值外，还能对基准（测量）齿轮的径向振摆进行自动补偿。MARPOSS的M62系列、大阪精机的GTR—PC、北井产业的KGT、我国哈尔滨精达测量仪器有限公司等也都生产用于工位检测、有计算机数据处理功能的齿轮双面啮合检查仪。

图8 TF—40NC齿轮双啮仪

（3）齿轮单面啮合检查仪　又称齿轮副传动精度检查仪，或齿轮滚动检验机。典型实例是美国GLEASON公司（凤凰HCT500）、德国KLINGELNBERG公司（GKC60）的CNC锥齿轮滚动检验机。它装有高精度圆光栅，可以测量锥齿轮、圆柱齿轮副的传动精度——切向综合偏差，以及加载加速时的三维结构噪声分析、齿面接触斑点，用以评定传动副配对质量。

内江机床厂最近在和重庆大学合作下，也已经成功研制出国产CNC锥齿轮滚动检验机，为赶超国外先进水平作出了贡献。小模数齿轮刀具制造商日本小笠原开发的MEATA—3型齿轮副传动精度检测仪，可以测量蜗杆蜗轮副，内外直、斜圆柱齿轮副，锥齿轮副，端面齿轮副等的传动误差，仪器分辨率为1″。

3. 齿轮在线测量分选机

这类仪器主要应用于批量生产汽车轿车齿轮质量的最终检测，以保证齿轮变速器的装配总成质量。由英国MOORE公司制造、美国ITW出产的齿轮在线自动分选机，实质上是一种改型的齿轮双面啮合在线检测分选机（图9）。除了能测量齿轮径向综合偏差、齿厚、齿轮加工毛刺及磕碰缺陷以外，由于有特殊的二维齿向测量机构，仪器还能测量双啮“齿向偏差”和双啮“齿向锥度偏差”等齿轮误差。该仪器适用于车间现场，能满足对批量生产汽车齿轮100%的在线检测和自动分选的要求。测量速度快，每小时可测300～600个齿轮；使用不同工装夹具，可分别对内、外齿轮，盘、轴齿轮进行测量；配有计算机数据处理系统和SPC统计分析软件，能对齿轮加工过程和工艺状况进行监测和预报；此外它还具有仪器自身故障自动诊断功能。仪器重复性精度指标：齿厚4μm，径跳3μm，齿向4μm，毛刺7μm。据称美国、德国汽车制造厂都配备类似仪器，对齿轮质量和加工进行了有效监控。大阪精机的AG系列齿轮自动分选机，也在日本得到了很好的应用。

图9 ITW的齿轮在线分选机4900

4. 激光齿轮测量仪

有关激光齿轮测量仪，近年日本报道较多。大阪精机近年开发用于基准传递、渐开线样板检测的CNC高精度齿轮测量仪，采用了高精度气浮主轴，气浮导轨，高精度长、圆编码器的同时，还采用了激光测长系统进行齿面精度检测（参见图10，高精度齿轮测量仪结构简图）。据报道仪器测量精度（重复）0.2～0.3μm。日本AMTEC公司的G3—SYSTEM 50非接触式齿轮测量仪，采用了激光全息技术，实现了精确、高速测量。该仪器如图示是一台由伺服电动机驱动XYZC轴运动的四轴（圆柱）坐标测量机。（参见图11）G3—SYSTEM 50仪器配置了CONOPROBE激光全息测量头（参见图12，CONO激光测头），当其物镜为HD25mm时，测头的绝对精度＜1μm，重复性1σ＜0.2μm，工作区域为0.65mm。该仪器可测量渐开线直、斜齿轮，花键，螺纹等，今后还将测蜗杆、锥齿轮

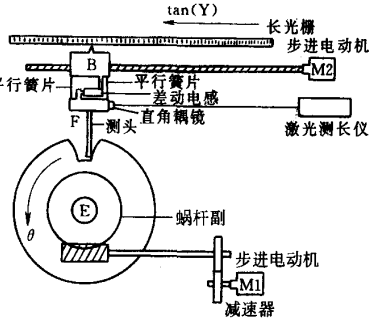


图10 高精度齿轮测量仪结构简图

等。齿轮模数小至 0.1mm，直径 1～50mm，齿宽 0.1～100mm，齿数 4～200。由于采用激光非接触测量方式，仪器可以测量齿面上非渐开线齿根部分几何形状。专门开发的仿真软件可以模拟求得被测齿轮和其配对齿轮啮合时的传动误差和相应的 FFT 频谱分析；所测数据和分析数据还可通过 LAN 共享。

图 11　G3—SYSTEM 50

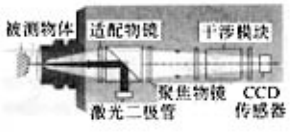


图 12　CONO 激光测头

5．超精密三坐标测量机

日本松下电器产业开发了采用原子力测头的超精密三坐标测量机（参见图 13，仪器结构简图），精度为 0.01μm。用它测量齿轮时，由于测头只能沿垂直方向运动，所测齿轮受到一定限制。但是在

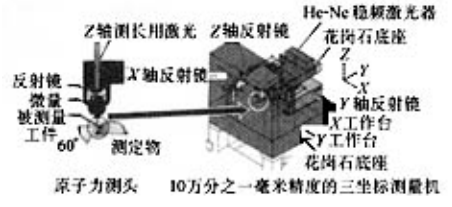


图 13　超精密三坐标机结构简图

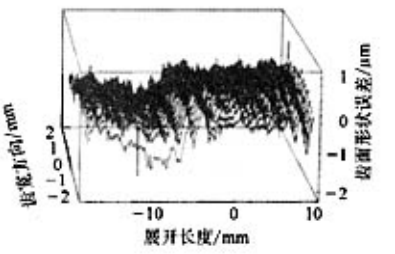


图 14　三维渐开线样板误差

测量限定齿数的实物样板时，测量精度可达到纳米级。（参见图 14，三维渐开线样板误差）所用测针的顶端曲率半径为 2μm，因而可以测量齿面的粗糙度。

随着我国齿轮制造业的快速发展，随着渐开线圆柱齿轮精度国家标准 GB/T10095—2001（等同于国际标准 ISO1328：1997）的公布、宣传和贯彻，我国齿轮测量技术和齿轮测量仪器的发展，方向更明，步伐更快。齿轮测量技术已成为先进齿轮制造技术中的不可忽缺的一个重要组成部分。随着齿轮质量要求的不断提高，新的齿轮精度评定指标的出现将推动齿轮精度标准的不断发展，齿轮测量技术和齿轮测量仪器也将不断发展。近年来，中国齿轮专业协会在组织、引导我国齿轮制造业，提高整体行业齿轮制造技术和质量方面，做出了卓有成效的努力；中国仪器仪表学会机械量测试仪器分会对于齿轮测量仪器的发展，给予了关注和支持。相信我国齿轮测量仪器制造业将会有新的振兴。

（收稿日期：20040428）

在 Solidworks 中对模型进行剖面视图

中国人民解放军四三零九工厂　（辽宁大连　116041）　朱培元

为了便于观察及操作复杂的零件，可以在 Solidworks 中进行剖面视图。剖面视图就是利用模型的基准面或平面把模型剖开显示，以便观察模型的内部结构。剖面视图的具体操作方法如下：

（1）打开所需剖视的零件文件，调整视图为等轴侧。

（2）在特征管理树里单击选中“右视”基准面，注意图形区域里的反馈以确保正确的选择。

（3）选择“视图—显示—剖面视图”，出现“剖面视图”对话框。

（4）单击选中“预览”复选框，当选取此项时，图形区域将根据当前选项预览剖开后的情形，注意箭头指示剖开的方向。

（5）单击“反面观看”复选框，以相反方向剖开模型。单击“确定”，零件的剖视出现。

（6）如果更改视图的显示方式（上色、线架）、方向或缩放、旋转模型，剖面显示会保持不变。

（7）在整个操作过程中只是零件的显示被切开而不是模型本身，模型仍然是完整的。再次选择“视图—显示—剖面视图”，即可取消剖面显示，看到完整的模型。

（收稿日期：20040715）