

变速器齿轮倒角尺寸检测中的视觉测量技术

我厂生产的机械式MA手动五挡变速器，1~5挡换挡时均依靠同步器机构实现各个挡位换挡过渡，而倒挡考虑到挂挡的使用情况，没有设计同步器机构，采用齿轮外端倒角直接接触挂挡。1~5挡换挡初期均是通过结合齿之间相互导向滑入，然后依靠同步器完成换挡操作。因此，结合齿及齿轮的倒角尺寸和精度直接影响到换挡是否成功及换挡的平顺性，其相关尺寸的控制也成为挂挡的关键影响因素。

本文以一轴上的倒挡齿轮作为分析对象（挂挡示意图见图1），分析了视觉测量技术在其齿轮倒角质量监控上的应用。针对这种特殊的非接触式测量方式，对测量过程涉及到的校准、测量、结果验证等关键问题的处理给予详细分析解答，也为视觉测量技术在机械几何尺寸精度控制上应用的开拓了新的思路。

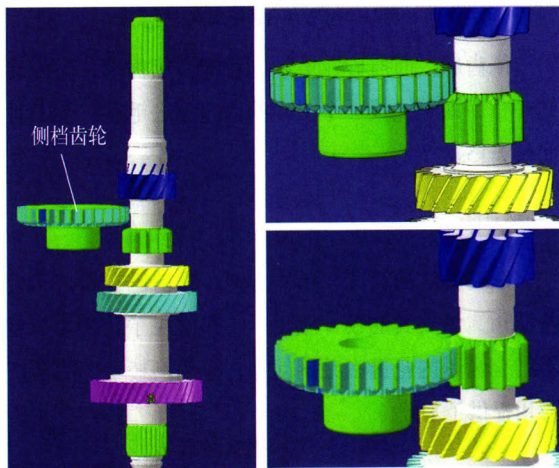


图 1

测量需求解析

倒挡齿轮工艺各项控制参数如图2所示，基准X为通过零件中心及O点的轴线，基准O为正棱线与圆周RC的交点。A、B、C、D点要对挂挡没有干涉，必须控制在工艺要求范围内，而轮齿相对于中棱线以及齿轮中心轴线的对称性，各齿棱线均布情况关系到挂挡前后的平顺性，主要靠对称度、倾斜度、棱线角度分度等指标控制。

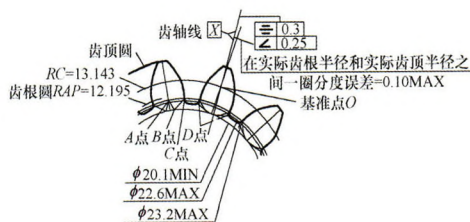


图 2

综合几个关键尺寸指标，对测量设备要求如下：

- 1) 采用中心孔定位方式，保证测量基准与加工基准的统一。
- 2) 采用非接触式测量方法，原因是A、B、C、D点具有不规则性，其形状及位置变化较大，如果采用接触式测量如坐标机、轮廓仪等将无法采集其特征，其计量特性也无法归类，进而无法进行后续处理。
- 3) 零件有测量分度的要求，则定位时，零件应该能绕中心孔回转，同时要保证回转定位精度。由此也不能采用破坏零件的方式进行测量。
- 4) 倒挡齿轮处于1挡和2挡齿轮中间，工艺检测基

准平面是零件的径向截面上,采用传统非接触投影照射方向会被一挡齿轮干涉,并且设备也无法布置。

5) 根据工艺尺寸要求,设备分辨率必须达到0.01mm,测量精度应该达到0.02mm。

考虑到以上因素,实际已将大多数测量仪器排除在外,而且由于所有的测量点、线等元素均分布在零件的径向截面上,这也意味着传统非接触式测量仪如万工显、投影仪、光学二坐标等轮廓母线方向投影设备也无法满足要求。根据对检测设备的分析,我们联系了光学三坐标厂家以及照相视觉设备厂家,通过反复模拟测量,光学三坐标由于部分尺寸无法测量、投资成本过高被排除,而照相视觉技术配合专用夹具具有高度的适配性,并且精度等级基本满足工艺要求,但其主要用于机械手辅助定位以及二维码快速扫描等领域,尚没有在机加零件高精度尺寸上使用的先例,如何能将影像分辨率与几何尺寸精度联系起来,建立从校准到测量的系统测量链成为问题的关键。

视觉测量理论分析

视觉测量原理:通过标定板对成像系统进行标定,建立像素坐标,采集被测影像,运用软件系统确定被测影像的像素坐标,达到检测目的。视觉测量实际可以分为两个部分:标定和检测。该设备用于视觉测量需要具备以下要求:定焦距以定位置的成像,需要标定板处于与零件相同的平面,标定板中具有若干刻印点。其标定的原理是将刻印点在照相机中摄取成像,每一成像点具有像素特质即在X、Y两个方向上的像素位置,同时刻印点使用传统的长度测量后也具有两个几何坐标,标定过程就是建立像素坐标与其几何坐标之间的映射关联。通过标定以后,在同样位置所摄取的零件影像就能通过像素坐标的变换为几何尺寸,通常标定最少限制为四点以上,当然点数越多,标定精度也越高。从这里也可以看出,由于校准件与测量件处于照相机同一位置,即使照相机与零件被测面不完全垂直,在成像时候造成边缘扭曲,也可以通过校准件的校准,保证二维刻度的准确。这很大程度上减少了夹具设计及安装调试的难度。

考察的康耐视专业级高分辨率工业相机,其分辨率最高达到500万像素,即像素尺寸为2448pixels×2048pixels,配备焦距为55mm的镜头,放

大倍率0.3~1倍,F2.8的大光圈,该镜头属于远心镜头,即在成像时候消除传统相机成像近大远小的问题,这一技术也广泛使用在光学二坐标镜头系统中。

1.根据检测要求选择对应分辨率相机

在相机选用中,依据是工艺要求的几何精度,产品要求设备分辨率为0.01mm,由于测量分度要求,必须保证同时有三个齿轮齿同时出现在图像中,其几何范围尺寸为20mm,500万像素相机所拍摄的一副零件图像中像素点为Y方向2448个像素点,则 $20\text{mm}/2448=0.008\text{mm}$ 为其测量分辨率,由于采用正光成像测量,则测量精度至少为1个像素,即几何精度为0.008mm,这一精度符合设备检测要求。

2.可实施性分析

根据零件特点,通过顶尖固定机构可以实现基准统一的要求,并通过镜片反射可以解决测量部位与成像镜头干涉的问题,并通过草图设计初步确定了机械结构(见图3)。

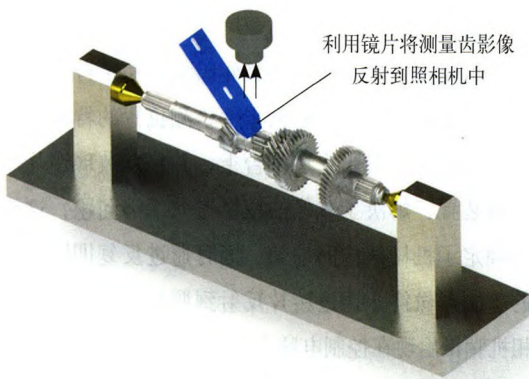


图 3

3.软件分析性能及操作性

在硬件配置基本符合要求的情况下,对成像后期处理,了解数据分析情况。康耐视相机可以认为是一款智能相机,其最大特色是高度的软硬单元集成,即相机本身兼具图像采集、图像处理以及数据信号的传输功能。该相机不同于普通相机的部分在于内置一个处理单元,可以存储图像,并可以通过内部软件进行程序处理,该相机甚至可以直接与PLC进行触发交互,在无显示单元的情况下进行信号采集与处理。根据检测要求,我们希望对图像进行多任务处理,并要求实现图像可视化操作及误差判断,这样就必须将储存在相机中的相片传输到PC中进行分析处理,通过案例演

示了解到，这一功能通过配置一台高性能电脑并定制程序即可实现。

4.设备精度的可验证性

作为一台几何尺寸检测设备，其检测指标必须满足精度要求，并能通过计量系统的溯源。初步拟定通过校准件的重复检测来验证设备的重复性精度，并通过校准件的标定实现溯源。通过理论分析，应用视觉测量系统可以满足测量需求，但是还需要进行模拟实验以便确定实际效果。

模拟实验过程

建立模拟实验的目的，是尽可能利用现有软硬件条件，分析检测的可实施性，避免投资失误，并通过实验分析技术难点，力争在前期妥善处理软硬件测试问题。实验的重点在于验证两项内容：检测零件成像效果并检测运行情况，验证最终成像能否满足检测需求，能够输出工艺要求的各项长度尺寸；定位夹具及照相机系统能否建立，其定位精度能否满足测量要求。

使用现有顶尖机构作为零件固定回转平台，在此基础上固定相机系统，根据零件检测位置的特殊性，我们使用尼龙框架固定在平台上，并粘贴玻璃镜片作为反射装置，解决了成像的投影方向干涉问题，这样基本确定了机械结构的框架，同时通过反复调试，零件的检测影像终于通过镜片反射到照相机镜头中，通过相机拍摄出现在控制电脑中，影像效果非常清晰。

解决了结构以及成像问题，进一步测试检测过程。这一过程首先要解决的是校准件的问题，我们尝试使用零件在检测截面上加工多个台阶，通过测量台阶交点尺寸作为校准数据，实际验证校准结果时发现，重复性结果相差很大。经过分析判断，原因有两个，一是台阶焦点毛刺过大，严重影响到校准关键点的成像重复性；二是由于投影面积有限，用于校准图像的台阶点过少（受加工条件制约只能在成像图片中加工六个台阶交点），也在一定程度上影响校准效果。因此更改了校准件的制作，根据被测零件的几何属性，制造了一个专用校准件，它由一个测量环和定位心轴组合而成，测量环可以提高成像清晰度，进而提高校准精度。测量环采用聚四氟乙烯作为测量环基体，在基体上钻了13个 $\phi 1\text{mm}$ 交叉分布的基准孔，并

使用黑色环氧树脂胶填充基准孔，将测量环套装在顶尖定位心轴上。

这样的设计可以达到以下效果：

1) 采用顶尖定位，不仅重复定位准确度高，而且达到了测量基准与加工基准统一的要求，避免了定位误差与基准不重合误差。

2) 采用化工材料作为标准件，黑白对比分明，成像效果清晰，最大程度上提高了校准精度。

3) 覆盖到整个影像中的均布孔，最大程度校正边缘扭曲，提高校准精度。

4) 测量环与心轴分开加工，虽然有装配误差，但是分体结构不仅有利于加工制造，便于检测，而且可根据各自要求采用最适宜的材料，来满足校准要求。其成像效果如图4所示。

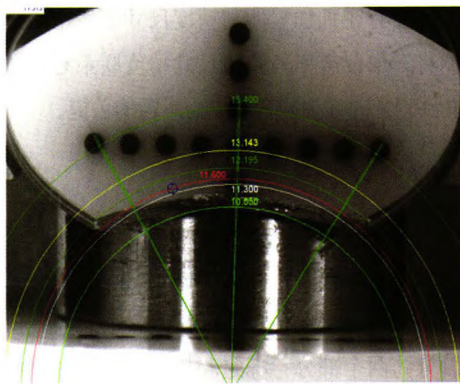


图 4

通过重复检测，图像成像清晰稳定，绘制的尺寸界线也初步达到了检测要求，模拟实验验证了理论分析结果，并为具体实施提供了方案。

检测过程实施

根据模拟实验结果，制作了用于结构组装的机械零部件，并定制了专用光源，用于提高成像效果。我们将校准件送到上海奥智品公司进行检测，确保了校准件的校准精度，也为测量的溯源理顺了渠道。

校准过程：根据校准件测量报告，将测量环中孔的坐标位置输入软件中，孔的坐标位置，而且包含一组完整坐标，即坐标不仅包括孔的绝对位置同时包含各孔之间的相对距离。通过成像机构采集校准件影像，通过图像分析软件识别典型轮廓，即测量环中分布的各个孔，此时通过软件映射将实际轮廓与标称值对应，由此采集到的图像就具备了像素精度与几何精度的对应性，进一步建立完善的刻度线，此时标定工

作完成，设备也具备了几何测量精度。从校准过程可以看出，视觉设备的关键就在于校准的正确实施。

编程过程：通过校准给定的尺寸刻度，根据工艺要求画出各轮廓控制线，简单的编程界面，通过类似EXCEL公式的简易代码执行轮廓分析及检测，不仅易于编程而且维护方便，也简化了操作者的操作。

测量过程：将零件放入定位机构，通过照相机采集影像，此时实际影像与编程生成的尺寸线对应即可进行测量分析，如需要进一步精确测量，可以使用轮廓像素点的捕捉获得不同位置的尺寸，其实际成像如图5所示，设备成像清晰，零件轮廓与背景对比强烈，操作者能够很方便地判断边缘轮廓点，交点捕捉轻松，实现了轮廓尺寸的所见即所得，图2中工艺要求的所有尺寸均可测量输出，测量系统满足了基本功能性要求。

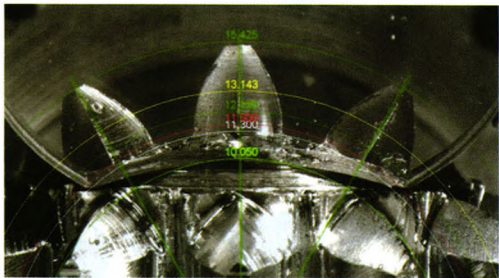


图 5

该相机在实际测量中的几何精度可以通过一组关系式换算。成像图片中的最小单元是像素，图片在横向0.3mm的范围内一共分布26个像素点，则最小分辨率 $为0.3/26=0.011mm$ ，即每个像素点为0.011mm，而在纵向0.95mm范围内一共分布89个像素点，则最小测量分辨率为 $0.95/89=0.01mm$ ，可知该设备最小精度为0.01mm。而在实际校准时由于成像清楚，校准点锐利，测量系统还可将像素点继续细分，实际精度达到了 $1/4\sim 1/2$ 像素单位，换算几何尺寸为0.002 5~0.005mm；这一结果验证符合前期的理论推算，完全满足设备分辨率要求。

结果验证

由于视觉测量技术主要的应用领域是扫码以及机械手辅助定位等方面，通常对精度只有定性要求而没有定量指标，如何确定其在长度测量中的实际精度尚无先例，针对这种情况引入传统两坐标类量仪的标定方法，即标准物质比对法。通过更高级精度单位

给定的标准物质“真值”，与相机实际测量值进行对比，其10次重复测量平均值小于1/2工艺设计精度为合格。

使用校准件重复测量绝对位置尺寸与相对距离两项指标（图6中的设计尺寸10mm及19.35mm），其结果见附表。实际测量分辨率为手动模式最小像素单元0.01mm，自动模式0.002 5mm。实际测量误差值0.006 1mm，满足工艺要求精度的0.02mm的1/2的要求（顶尖回转机构跳动误差0.003mm）。

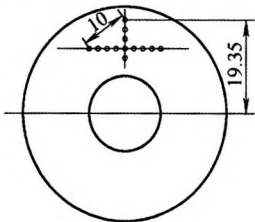


图 6

测量结果 (单位: mm)

	序号	两孔之间距离尺寸	单孔位置尺寸
真值		10.018 2	19.37
实测	1	10.021 4	19.369
	2	10.021 6	19.369
	3	10.021 6	19.369
	4	10.021 6	19.369
	5	10.030 2	19.374
	6	10.029 6	19.374
	7	10.029 6	19.374
	8	10.023	19.369
	9	10.021 4	19.369
	10	10.022 8	19.37
极差值		0.008 8	0.005
平均值与真值之差		0.006 1	0.000 6

结语

将视觉测量技术应用到切削加工零件尺寸检测中，成功解决了现生产的测量难题，节约了大量的设备投资，同时也为其他类似项目的应用提供了思路。在项目方案的设计摸索期间做了大量的方案讨论并随即开展了多次有数据支撑的模拟实验，充分保证了后期安装调试的顺利实施，项目也得到了使用单位的高度认可。通过项目的磨合，我们对于视觉测量这一新兴领域也有了更深的认识和了解，从应用领域以及精度级别来看，视觉技术是光学测量的重要补充，它的低成本，可视化特点也颇具特色，未来应该有更大的应用前景。

关键词：

视觉测量 变速器齿轮 检测

(收稿日期20131212)