基于逆向工程的手柄数字化测量与数据获取技术

江苏省徐州机电工程高等职业学校 （221011） 陈子银

仿制、仿造已经成为我国一部分企业的固定生产方式，针对市场热门产品的仿造品屡见不鲜，逆向工程的广泛应用在其中起到了不可忽视的作用。

目前，逆向工程的研究和应用在某些领域已经比较成熟，它是按照产品引进、消化、吸收与创新的思路，以实物→原理→功能→三维重构→再设计的框架进行工作，其中，最主要的任务是将原始物理模型转化为工程设计概念模型或产品数字化模型。逆向工程技术路线如图 1 所示。

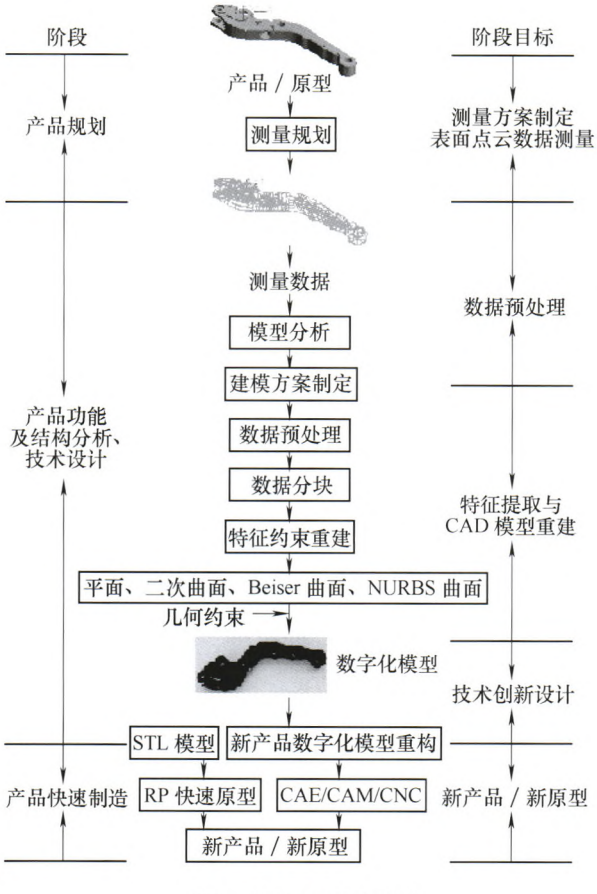

图 1 逆向工程技术路线

1. 三坐标测量机测量模式

本文采用的测量软件是立科 3D 测量系统，即 Measure 测量软件。在逆向工程中，点云数据是建模的基础。针对不同的工程需求，技术人员应采用最具经济性的测量设备获取实物产品表面的点云数据。点云数据的质量决定了产品 CAD 模型重构的精度。因此，要根据工作的具体需要来选择合适的测量设备和测量方法，也可采用不同测量方式相互补充。随着测量技术的不断进步，不同测量原理的测量设备也在不断涌现，三坐标接触测量作为一种精确测量方式广泛应用于工业检测领域，对数据精度要求高的产品建模常用三坐标测量机作为工具来获取数据源。

物体表面三维测量是逆向建模技术的第一步。测量方法的好坏直接影响到对被测实体进行描述的精确、完整程度，进而影响到重构的 CAD 实体模型。因此，物体表面三维测量是整个逆向建模的基础。随着计算机技术、传感技术、控制技术和视觉图像技术等相关技术的发展，出现了各种数据获取方法，三维数据获取方法按照测量原理可以分为接触式测量和非接触式测量两大类。其中，接触式自动测量模式有点位探测模式、连续扫描模式和自定中心探测模式 3 种；非接触式自动测量模式有三角光学法、图像聚焦法、立体视觉法、超声测量法和 CT 测量法等。

图 2 所示是三坐标测量机与 CAD/CAM/FMS/CIMS 集成的示例。三坐标测量机一方面读取 CAD 的设计图样数据文件，自动构筑虚拟工件；另一方面接受由 CAM 加工的实际工件，并根据虚拟工件自动制定实际工件的检测规划，自动生成测量路径，实

现无人自动测量，并将实际工件的检测结果返回给主控机。一般生产是先有图样和加工文件，按它们制成工件后再检测。在模具生产与测绘设计时常先有实物或模型，根据坐标测量结果来形成 CAD 图样和 CAM 加工信息，这就是逆向工程。

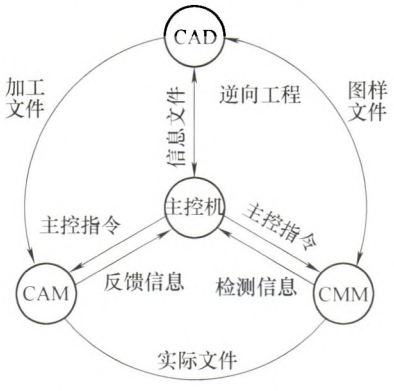

图2　CMM 与 CAD/CAM 的集成

（1）测头标定：三坐标测量机的测量，是以测头上测针的球状端部（测球）与被测工件表面接触的方式进行的，三维测长装置在测球接触表面的瞬间进行采样。因此，测球的位置和半径将直接影响三维坐标数据。在测量手柄的过程中，为满足不同表面的测量要求，往往需要更换测针甚至测头，同一个测头上也可以有多个测针。此时，必须测定各测针的球径和测针间的相互位置，这就是测头校验的基本任务。为了进行校验，需在三坐标测量机的工作台上固定以校验基准件。校验基础件有基准球和基准立体两种类型，相应地有两种校验方法和程序。图 3 所示为测头标定。

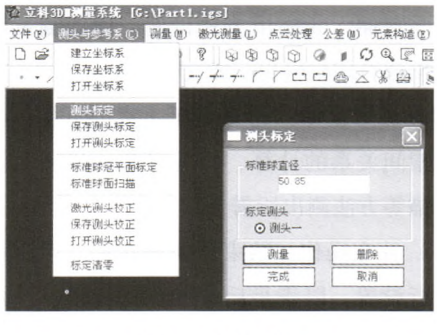

图3　测头标定

（2）坐标变换：在三坐标测量中，存在 3 种坐标系，如图 4 所示。①测头坐标系（A，B，C）。不同测针在此坐标系中有不同的坐标位置，引起测量数据基准不统一。测头校验，相当于将不同位置的测针统一到一个位置固定的“虚拟”测针上。②三坐标测量机坐标系（X，Y，Z）。③工件坐标系（X'，Y'，Z'）。

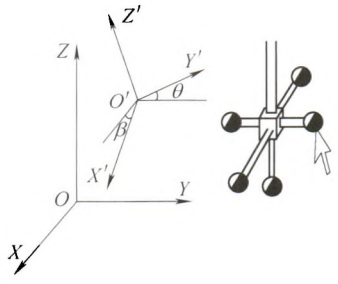

图4　3 种坐标系

从三坐标测量机测长系统采到的测量数据是相对于测量极坐标系的，但工件的尺寸要求是标注在工件坐标系中的，两者需要统一。传统的机械和光学坐标系的测量中，需调整测量坐标系或工件坐标系，使两者互相平行或重合。在三坐标测量机中，则可以通过软件，将测量机坐标数据转换到工件坐标系中来，相当于建立一个“虚拟”的与工件坐标系重合的测量坐标系。这个虚拟的坐标系由软件形成，可随工件位置而变，故称为柔性坐标系。坐标转换包括两项工作，一是建立坐标系，按工件的实际位置确定虚拟坐标系的位置，即测定工件坐标系与测量机坐标系的相对位置。如图 5 所示为建立坐标系；二是坐标转换。每次测量后，用程序将采得的测量机坐标值转换到工件坐标系中，再进行几何参数计算。计算公式为

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l_1 & m_1 & n_1 \\ l_2 & m_2 & n_2 \\ l_3 & m_3 & n_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} g \\ h \\ k \end{pmatrix}$$

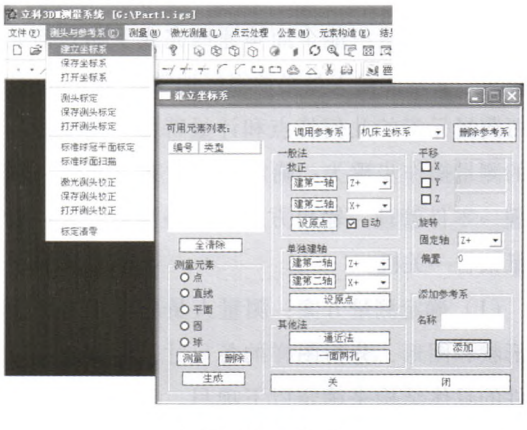

图5　建立坐标系

（3）几何参数计算：根据工件表面各测点的坐标值，计算各种几何参数值。①两点间距离的测量。A（x_1，y_1，z_1）、B（x_2，y_2，z_2）两点的距离 L 可由

公式 $L=\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2+(z_2-z_1)^2}$ 计算。②圆的直径和圆心的测量。测量圆上任意3点的坐标值（x_1，y_1）、（x_2，y_2）和（x_3，y_3），则圆心 C 的坐标（x_c，y_c）、半径 R 通过公式即可计算出来。在三坐标测量机上用类似的方法可以测量球面的曲率半径，这时，需在球面上测取不在同一圆周上的4个点的坐标值。③求直线方向。根据空间两点 P_1（x_1，y_1，z_1）、Q_2（x_2，y_2，z_2），可以确定它在 XY 平面上的投影与 X 轴夹角 θ，直线与同 XY 面相垂直的轴的夹角 β。类似地，直线与其他坐标平面的投影与坐标轴的夹角也可计算出来。

对于形位误差评定，应用比较普遍的是最小二乘法。最小区域法是最合理的评定方法，但算法较复杂，有的形位误差的数据处理，如圆柱度的评定，只能是近似计算。

计算机数控三坐标测量机能实现自动测量。测量时可用预先编好的程序或采用“学习程序”。学习程序是模拟人工测量的方式来编辑程序的。计算机记录下第一个零件手工测量的全过程，包括测头移动的轨迹、测量点坐标以及子程序的调用等，作为这一批零件的测量程序。在测量同批零件时，可反复调用此程序，并通过数控伺服机构控制测量机按程序自动测量。这种方法可缩短编程时间，提高测量效率。

2. 手柄的数据获取

手柄点云数据的三坐标测量机的测量过程，是一个包括预备操作、测量操作和补充操作的过程。要是三坐标测量机能全面快速地完成手柄几何元素的测量，要求测量人员必须很好地掌握 Measure 软件中可测量元素的几何特点和计量特征。三坐标测量机的测量操作步骤为：确定测量方案→开机→测头管理→零件管理→输出方式设置→测量元素→输出测量报告→关机。

（1）确定测量方案：测量人员应仔细分析手柄的形状和图形，分析图样的各尺寸、形位公差以及零件的具体结构来确定以下项目。①确定各几何元素所需输出的参数项目。确定被测几何元素尺寸能否通过直接测量、间接测量或计算几何元素间的关系而获得。②分析手柄零件的形状和要素，选择基准元素确定测量基准。由于手柄零件没有零件图样，也没有给出设计基准，因此需要建立零件坐标系。在选择手柄测量基准时，由于手柄底部是一个平面，这样就可以用3点方式确定一个平面，底部中心点处法线方向确定一个坐标轴，利用右手笛卡尔坐标系原则确定另外一坐标轴，用这样的方法来建立手柄的测量坐标系。③根据测量点的方位确定测头数。考虑到手柄是由手把、连接件和功能件3个部分组成，且其表面是形状较复杂的自由曲面，因此对它的测量选用的是自动调整转角的三向触发式测头，如图6所示。

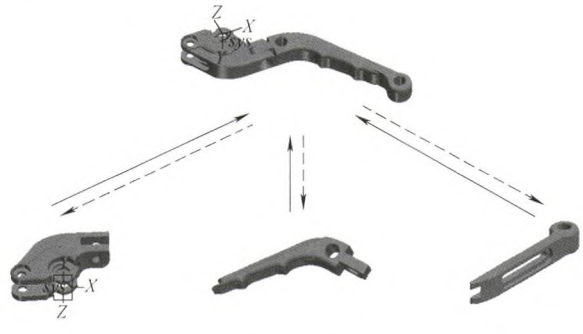

图6　手柄曲面构成

（2）开机：首先打开空气压缩机储气罐排水阀排水；然后依次开启空压机、冷干机和测量机气源，检查气压是否在0.4～0.5 MPa范围内，如果不在此范围内则可通过气源调节阀调节；再依次接通交流稳压电源、UPS电源、控制系统电源和计算机电源，启动 Measure 测量程序。

（3）测量预备操作：①测头管理，包括测尖、校正和数据存储等。②零件管理，包括零件坐标系的建立与存储。③输出方式设置。设置测量结果由屏幕输出或打印机输出，或文件输出。

（4）测量操作：通过几何元素的直接测量、构造、元素间关系的计算、位置误差的检测以及几何形状扫描等方法测出所需参数。

（5）补充操作：结束测量操作后，对测量输出格式进行设置，以满足后续工作的需求。该设置也可在测量操作前完成。

（6）关机：完成以上各步骤后，整个测量过程也就结束了。三坐标测量机的关机顺序与开机顺序相反。即首先“初始化”使测头停止在安全位置，其次关闭 Measure 测量程序，再依次关闭计算机、控制系统电源，最后关闭气源系统。**MW**

（收稿日期：20140312）