# 浅谈三坐标测量机对光滑工件尺寸的测量

中国工程物理研究院机械制造工艺研究所　（绵阳　621900）　刘建国

**（编者按）**三坐标测量机对工件尺寸进行测量时，由于其特有的测量方法和数据处理方法，易造成测量数据不准确。通过三坐标测量机测量原理及计算机数据处理算法分析，适当改变尺寸数量的方法，可有效提高三坐标测量机测量数据的可靠性。

近几年来，三坐标测量机作为高效精密几何量测量设备在机械、仪器、电器、动力机械等领域得以广泛应用。但三坐标测量机制造厂家众多，对应的机床运动控制软、硬件和测量及数据处理软件都有所差异，例如：在测量两个平面的平行度误差时，Brown&Sharp 公司 Tutor 测量软件对于平行度测量的评定包含了被测平面的平面度误差，而德国 WENZEL 公司 Metromec 测量软件则不包含被测平面的平面度误差，数据处理结果为被测表面上各测量点的最小二乘平面对基准平面的平行度。所以在使用三坐标测量机对零件进行测量时，正确控制测量和选择测量方法及测量结果的处理显得尤为重要。以下两个实例，浅析了测量方法及数据的处理。

**1. 简单圆测量**

（1）测量原理及存在问题　无论哪一家三坐标测量机的测量软件，在测量孔、轴或其他几何元素时，最基本的方法都是先通过对工件几何表面的数据采集，再根据各记录点的 $X$、$Y$、$Z$ 空间坐标，配合相应的测量软件以一定的评定原则计算处理得到孔（或轴）的中心坐标、直径或其他几何元素及轮廓度等。

如图 1，对圆等间隔采点测量，则近似的最小二乘圆心坐标 $X$、$Y$、$Z$ 计算方法如下：

$$X=\frac{\sum_{i=1}^{n}x_i}{n}\qquad Y=\frac{\sum_{i=1}^{n}y_i}{n}$$

最小二乘圆半径 $R$ 为：

$$R=\frac{\sum_{i=1}^{n}r_i}{n}$$

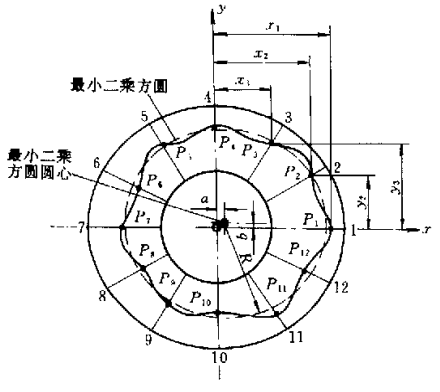



图　1

从而较准确地测量出工件孔的实际垂直度。

测量方法：如果量规测量部位做成图 4 形式，就需要间接测量垂直度如图 5，提高工件哈呋面、前端面（或后端面）与被测螺孔端面的垂直度，然后，分别

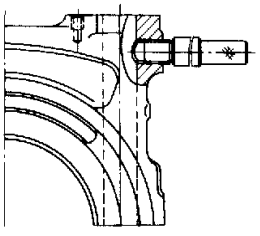


图　5

以工件哈呋面、前端面（或后端面）为基准，在检验平台上打量规测量棒上母线的平行度，间接测出工件螺孔垂直度。

如果量规测量部位做成图 3 形式，可以通过测量台肩面与工件螺孔端面—圈间隙的高度差，直接测量出工件螺孔垂直度。

采用改后的螺纹垂直度量规检验合格的零件，经装机验证，全部合格，达到了预期的目的。

（收稿日期：20030430）

从以上计算公式，可以看出测量机得到的最小二乘半径是各个测量方向上孔或轴的平均半径，这样一方面它有效减小了测量中的粗大误差，保证了测量的准确性，但另一方面它也消除了孔或轴中确实存在的个别高点或低点对尺寸的影响，而这些高点或低点也正是影响孔轴配合的关键要素。这样就带来一个问题，也许被测孔尺寸和与其相配合的轴尺寸都测量合格了，但它们的配合却仍然存在问题。因此，如图1所示，由于被测元素圆度误差存在，使得最小二乘圆直径并非孔或轴的作用尺寸，最终该数据不符合光滑工件尺寸验收的基本原则。

（2）光滑工件尺寸验收的基本原则　在机械零件加工过程中，常使用游标卡尺、千分尺或指示表等普通计量器具，测量轴、孔的验收标准为轴、孔直径应在最大最小实体尺寸范围内。

光滑工件尺寸的检测，据国家标准（GB/T 3177—1997）《光滑工件尺寸的验收》，使用符合泰勒原则的极限量规是最理想的检验方法，但实际工作中由于单件小批量、加工过程尺寸控制及工艺条件和零件形状、精度要求限制，又不得不经常使用三坐标测量机进行测量来提供光滑工件尺寸数据。

所有验收方法应只接收位于规定的尺寸极限之内的工件。

对于有配合要求的工件，其尺寸检验符合泰勒原则。孔或轴的作用尺寸不允许超过最大实体尺寸。即对于孔，其作用尺寸应不小于最小极限尺寸；对于轴，其作用尺寸应不大于最大极限尺寸。

在任何位置上的实际尺寸不允许超过最小实体尺寸。即对于孔，其实际尺寸应不大于最大极限尺寸；对于轴，应不小于最小极限尺寸。

（3）解决方案　通过上面的原理分析，在利用测量机测量孔或轴时，其测量结果由于圆度误差的存在最小二乘圆直径并不是它们的最大最小极限尺寸。数据处理应对孔（或轴）分别加以分析，根据光滑工件尺寸验收的基本原则，找出测量过程中最大最小点，孔（轴）径范围应在最小二乘圆直径加（减）其最大、最小点。例（图2）中，最小二乘方圆直径为 $\phi$40.012mm，最大点为第6点0.004mm，最小点为第2点－0.006mm，该孔径实测范围应是 $\phi$40.006～$\phi$40.016mm。

**2. 两平行平面间的平面度及距离测量**

（1）测量原理及存在的问题　前面我们已提到，某些坐标测量机软件在分析处理平行度误差时存在一些问题，如德国 WENZEL 公司 Metromec 测量软件对平行度误差的测量分析。如图2所示，一般我们测量两个平面的平行度误差或距离，首先测量基准面 $S_1$ 上若干数据点分析得到一个最小二乘基准平面 $A$，然后在另一个被测面 $S_2$ 上，测量若干点计算得到另一个最小二乘平面 $B$，最后分析平面 $A$ 和 $B$ 的平行度误差和距离。这个测量过程在某些测量机测量软件上（如 Brown&Sharp 公司的 Tutor）不会存在问题，而在另外一些测量软件上对平行度的评定是直接用最小二乘平面 $B$ 与 $A$ 计算的，如此导致平行度结果中不包含平面 $S_2$ 的平面度误差，但根据形位公差评定标准 GB 1183—1980 对平行度的评定应不包含基准平面的平面度（即 $S_1$）而必须包含被测平面（即 $S_2$）的平面度。这样在实际测量中可能造成平行度小于平面度的非常离谱的测量结果。

（2）解决方案　首先测量基准平面 $S_1$，建立基准平面并清零，然后在受检表面 $S_2$ 上测量若干单点，在评定方向上用最大值减去最小值得到两平面的平行度。对两平面的距离评定也具有相同的道理，由于实际零件上不存在两个绝对平行的理想平面，也不存在平面度为零的平面，因此测量受检表面 $S_2$ 时不应计算最小二乘平面 $B$，而应该测量若干单点坐标，最终给出这些单点到基准平面的平均距离，同时还应给出测量数据中的最大点和最小点，如此才能比较全面的反映两平面间的距离。

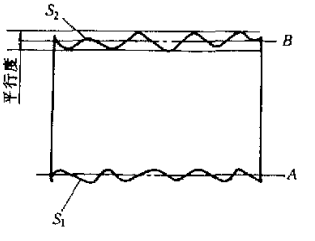


图 2

**3. 结束语**

从以上两个测量实例的分析可以看到，对于三坐标测量机测量，我们不能只拘限于测量机软件的一些现在测量分析功能，对于实际测量问题应该有灵活的处理方法，否则会造成数据结果的片面性和不准确。

（收稿日期：20030328）