

轨道交通机加工产品形位公差检测研究

■ 中车戚墅堰机车有限公司（江苏常州 213011） 史俊平

摘要：本文对高精度轨道交通机加工产品形状位置公差的测量方法进行研究，对同一产品运用不同测量手段和测量工具进行测量，并进行数据对比，探求适合现场测量的方法，提出建设性意见。

1. 测量要求

机械加工产品的现场测量是保证机械加工质量的基本手段。但是受测量手段和测量工具所限，我公司机械加工产品的现场测量仅局限于对产品尺寸加工精度的测量控制，而对于形成产品质量重要要素的形状和位置的加工精度，大多不能做到现场测量。目前形位精度主要依靠样板、首件送检测中心测量、凭机床的精度保证以及少量的专用检具等来控制。但这些往往都局限在专用的、个别的和定性的测量分析上，不可能替代有效的三维测量。要解决长期以来高精度加工产品（如凸轮轴、连杆、缸头、抱轴箱及空心轴套等）的现场形状位置公差测量的盲点问题，目前最需要的是—种适合现场使用的检测工具，且符合以下要求：①测量精确度可以满足我公司绝大部分产品的设计要求和工艺检测要求。②使用方便。③数据处理快捷。④能够快速地建立起即时三坐标测量基准，可以方便地对需要做相对位置测量的零件、组装件以及夹具、检具等在任意场合完成各项测量。

2. 检测方法的应用研究

在生产现场完成产品形状位置公差测量，除了现行的在个别零件上采用样板、专用检具的手段之外，一般还可以采用在机床上加装跟机检测装置、生产现场配备固定式三坐标测量机或测量划线机等手段。这些手段在国内很多厂家都有成功的应用先例，特别是用于大批量专业化生产线产品质量的在线检测。

对于我公司的机械加工生产现场，从目前情况看，要使用三坐标测量大致有以下几种方式：

（1）跟机在线检测装置。如马波斯在线检测装置，检测方便，检测效果真实可靠，由于价格较贵，多年来在添置和改造的加工设备上还没有配备过这类装备，今后在增加新的数控设备时可以适当考虑加装此类检测装置，以提高该项机床加工产品的质量可靠性。但是跟机检测只能满足个别设备的加工在线测量，因此，在现有设备上大面积加装一定精度等级的专门检测装置是不现实的。

（2）现场安装固定式三坐标测量机。这类手段的使用相对比较普

遍，但也有一定的局限性，主要是占地面积大，对环境有较高的要求，而且一般安置在生产现场的测量机绝大多数是生产型的，测量精度并不高，价格也不便宜，使用不方便。

（3）使用便携式三坐标测量装置。这也是近年来逐渐兴起的一种现场三维测量方式，大多用于装配生产现场检测相对位置的精确度，也有用于夹具模具测量的，以及各种复杂形面的测量，直接用于机加工生产现场的似乎并不多。

在以上3种方法中，便携式三坐标测量装置的优越性比较突出，其优点体现在：

一是使用方便。测量臂质量很轻，携带便利，组装方便，可以采用多种安装方式，根据需要在地面、平台、产品表面及机床表面自由选择安装面，安装台面或安装支架无需调整水平，可以自由立装、水平安装甚至倒装，均不会影响测量精度；更换测头时的校准，有方便快捷的现场校准方式。

二是数据处理快捷。可以方便地完成几何元素、三维坐标、

形位公差和曲线、曲面的测量和扫描，对大量测量数据进行统计分析，并给出图形分析报告，直观清晰；测量臂可以直接控制计算机；带有USB数据接口，可实现热插拔。

三是能够快速地建立起即时三坐标测量基准，可以方便地对需要做相对位置测量的零件、组装件及夹具、检具等在任意场合完成各项测量。

这些优点对于在生产现场完成多种产品的在线三维检测都是十分必要的。

目前生产便携式三坐标测量机的厂家主要是国外厂商，如美国法如、科兴等公司。为了研究方便，选择法如国际贸易（上海）有限公司推荐的FAROARM便携式三坐标测量臂作为重点研究对象，并指定中等精度的钛金系列测量半径1.2m的规格。这款设备基本上具备了便携式三坐标测量装置的主要优点。对其适用性与可靠性研究，是通过现场实物实测数据采集，以及与公司现有较高精度的三坐标测量机同物同测的数据对比的方式进行的。

3. 便携式三坐标测量机的适用性验证

表1～表3所示分别是对280连杆、DF8B抱轴箱和DF11空心轴套，在同一零件分别使用FAROARM便携式三坐标测量臂和我公司蔡司三坐标测量机检测情况下的数据采集结果。

3种零件共采集数据20组，其中属形状公差的7组；位置公差的13组。分开对照两类数据，以FARO数据与蔡司数据的差值<公差带1/3者为吻合，差值<

表1 280连杆的测量结果（单位：mm）

序号	检测内容	工艺设计标准值	实测数值			备注
			FARO	蔡司1	蔡司2	
1	大端侧面对基准C的对称度	0.3	0.09	0.555 7	0.564 9	位置
2	小端侧面对基准B的平行度	0.02	0.049 9	0.027 6/0.021 2	0.026 7/0.020 5	位置
3	大孔轴线对基准A的平行度	φ0.04	φ0.027 1	φ0.011 3	φ0.011 5	位置
4	小孔轴线对基准B的垂直度	φ0.05	φ0.040 7	φ0.038 2	φ0.039 1	位置
5	大孔圆柱度	0.007	0.010 0	0.004 4	0.007 7	形状
6	小孔圆柱度	0.005	0.011 7	0.004 7	0.004 6	形状

表2 DF8B抱轴箱的测量结果（单位：mm）

序号	检测内容	工艺设计标准值	实测数值			备注
			FARO	蔡司1	蔡司2	
1	C面对基准A-B的平行度	0.06	0.013 5	0.046 7	0.052 0	位置
2	C面平面度	0.05	0.036 5	0.043 0	0.047 7	形状
3	左轴承孔圆柱度	0.015	0.014 4	0.014 9	0.012 8	形状
4	右轴承孔圆柱度	0.015	0.015 2	0.015 9	0.015 6	形状
5	左轴承孔端面对基准A垂直度	0.05	0.033 3	0.064 1	0.060 1	位置
6	右轴承孔端面对基准B垂直度	0.05	0.017 8	0.048 7	0.031 5	位置
7	右轴承孔对基准A的同轴度	φ0.04	φ0.128 9	φ0.103 1	φ0.107 5	位置
8	左轴承孔对A-B公共轴线的同轴度	—	φ0.007 5	φ0.002 6	φ0.002 7	位置

表3 DF11空心轴套的测量结果（单位：mm）

序号	检测内容	工艺设计标准值	实测数值			备注
			FARO	蔡司1	蔡司2	
1	内孔对基准F的同轴度	φ0.12	φ0.319 8	—	—	位置
2	后端面对基准G垂直度	0.06	0.031 8/0.041 3	0.032 5	0.037 7	位置
3	H面与基准G平行度	0.10	0.082 2	0.031 3	0.032 7	位置
4	顶两侧面与基准H垂直度	0.04	0.016 2	0.052 6/0.018 0	0.053 4/0.016 7	位置
5	G面平面度	0.025	0.027	0.039 2	0.037 5	形状
6	外圆圆柱度	0.013	0.042 9/0.017 3	0.015 7	0.017 2	形状

公差带2/3者为基本吻合，差值>2/3者为不吻合。根据这一判定方法来对比分析两类数据。形状公差组和位置公差组数据对比分别如表4、表5所示，其中“判定结果”中，“1”表示吻合，“2”表示基本吻合，“3”表示基本不吻合。

（1）数据分析。形状组的7组数据中，吻合的为5项，基本吻合的为1项，基本不吻合的为1项，吻合与基本吻合的数据占了85.7%。位置

表4 形状公差组数据对比（单位：mm）

序号	标准值	1/3公差值	2/3公差值	FARO测量值	蔡司测量值			FARO与蔡司差值	判定结果
					第一次	第二次	平均值		
1	0.007	0.002 3	0.004 6	0.010 0	0.004 4	0.007 7	0.006 1	0.004 0	2
2	0.005	0.001 7	0.003 3	0.011 7	0.004 7	0.004 6	0.004 7	0.007 1	3
3	0.015	0.005 0	0.009 9	0.014 4	0.014 9	0.012 8	0.013 9	0.000 6	1
4	0.015	0.005 0	0.009 9	0.015 2	0.015 9	0.015 6	0.015 8	0.000 6	1
5	0.013	0.004 3	0.008 6	0.042 9/0.017 3	0.015 7	0.017 2	0.016 5	0.000 9	1
6	0.025	0.008 3	0.016 5	0.027 0	0.039 2	0.037 5	0.045 4	0.001 3	1
7	0.050	0.016 5	0.033 0	0.036 5	0.043 0	0.047 7	0.005 3	0.006 2	1

表5 位置公差组数据对比 (单位: mm)

序号	标准值	1/3公差值	2/3公差值	FARO测量值	蔡司测量值			FARO与蔡司差值	判定结果
					第一次	第二次	平均值		
1	0.3	0.099 0	0.198 0	0.09	0.555 7	0.564 9	0.560 3	0.470 3	3
2	0.02	0.006 6	0.013 2	0.049 9	0.027 6	0.026 7	0.027 2	0.022 8	3
3	φ0.04	0.013 2	0.026 4	φ0.027 1	φ0.011 3	φ0.011 5	0.011 4	0.015 7	2
4	φ0.05	0.016 5	0.033 0	φ0.040 7	φ0.038 2	φ0.039 1	0.038 7	0.002 1	1
5	0.06	0.019 8	0.039 6	0.013 5	0.046 7	0.052 0	0.049 4	0.035 9	2
6	0.05	0.016 5	0.033 0	0.033 3	0.064 1	0.060 1	0.062 1	0.028 8	2
7	0.05	0.016 5	0.033 0	0.017 8	0.048 7	0.031 5	0.040 1	0.022 3	2
8	φ0.04	0.013 2	0.026 4	φ0.128 9	φ0.103 1	φ0.107 5	0.105 3	0.023 6	2
9	0.01	0.003 3	0.006 6	φ0.007 5	φ0.002 6	φ0.002 7	0.002 7	0.004 9	2
10	φ0.12	0.039 6	0.079 2	φ0.319 8	—	—	—	—	—
11	0.06	0.019 8	0.039 6	0.031 8	0.032 5	0.037 7	0.035 1	0.003 3	1
12	0.10	0.033 0	0.066 0	0.082 2	0.031 3	0.032 7	0.032 0	0.050 2	2
13	0.04	0.013 2	0.026 4	0.016 2	0.018 0	0.016 7	0.017 4	0.001 2	1

组的13组数据中,吻合的为3项,基本吻合的为7项,基本不吻合的为2项,还有一项不可比。吻合和基本吻合的数据占了83.3%。

(2) 对基本不吻合的数据做进一步分析。形状组的一组不吻合数据是连杆小孔圆柱度,标准公差值要求很高,仅0.005mm,任何随机因素都有可能导致出现偏差超限。

位置度有两组数据基本不吻合,分别是连杆的大端侧面对基准C的对称度和小端侧面对基准B的平行度。这两组数据因为与基准的建立和选取有关,所以不同的测量方法可能在基准的选取上存在差异,导致出现较大误差。如连杆的大端侧面对基准C的对称度,对基准C的选取,FARO采用的是用两大端侧面和两小端侧面形成的公共中线基准,因此测量结果十分理想,蔡司采用的杆身中线基准,所以测量结果相差很大。同样,连杆小端侧面对基准B的平行度,如果采用不同测量装置时B基准分别选用不同的大端侧面,也有可能造成比较大的偏差,而其标准公差值也很小,因此容易出现不吻合现象。

(3) 关于适用性的初步结论。根据以上分析认为,FARO对产品是基本适用的,但对于精度要求很高的设计数值,数据处理时仍应比较慎重。

4. 便携式三坐标测量机的可靠性验证

可靠性验证主要是对便携式三坐标测量装置的重复测量精确度进行测试。

(1) 用FAROARM对280连杆大孔孔壁上确定的4个点位连续测量,采集了一组数据并进行数据处理如表6所示。其中平均绝对差=

表6 280连杆大孔连续测量数据处理结果 (单位: mm)

测量内容	测量值							计算值		
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	平均绝对差	极差	方差
直径	219.978 4	219.977 9	219.977 9	219.982 2	219.982 2	219.984 3	219.978 7	0.002 3	0.006 4	6.813×10^{-6}
圆度	0.002 3	0.005 5	0.002 8	0.003 5	0.001 9	—	0.005 0	0.001 2	0.003 6	2.148×10^{-6}

$\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}$, 极差 = $x_{\max} - x_{\min}$, 方差 $S^2 = \frac{1}{n-1} \sum(x_i - \bar{x})^2$, 标准差 = $\sqrt{S^2}$ 。

根据表6的计算值,可以得出此次测量的直径标准差 $S_1 = 0.002 6 \text{ mm}$, 圆度标准差 $S_2 = 0.001 5 \text{ mm}$ 。由此可以得出结论,该台便携式三坐标测量机的重复精度是可靠的。

(2) 某公司采用于2002年购置的一台FARO便携式三坐标测量机在标准块上的任意测点进行测量,获得的几组重复测量数据及数据处理结果如表7所示。

由表7可以看到,几组数据之间精确度的可靠性差别很大。分析认为,一是某公司购置的是1.8m臂展的钛金10轴测量臂,设计精度等级低于目前为我公司演示的1.2m臂展的钛金6轴测量臂。二是某公司的设备型号比较早,使用的时间也比较长了。在测试前对设备也没有要求专门做精度验证,采集的都是随机性很大的数据。

但是,即便如此,对直径测量的标准差和平面度的标准差仍表现出 < 0.01mm 的很高的一致性。

(3) 关于可靠性的初步结论。从表6和表7中的数据和实际的现场测试情况分析,便携式三坐标测量机现场检测的数据是基本可靠的,但需要定期进行精度的测定。事实上,任何现场使用的量具都需要定期做精度可靠性检定。

5. 结语

我公司机械加工的产品对象主要是和谐内5型内燃机车(HXN5)和280柴油机系列轨道交通零部件,有很多长度在1m左

塔式起重机起重臂腹杆冲模改进

■ 中联重科建筑起重机械公司（湖南常德 415106） 彭成辉 万传芳

摘要：本文对起重臂腹杆的下料冲模进行分析改进，采用剪板机模式成形下料，省略了零件的修磨倒钝工序，降低了粉尘污染。



随着建筑业的飞速发展，高层、大型建筑大量兴建。塔式起重机作为建筑施工中必不可少的垂直运输机械，因具有工

作高度、运输距离长等优点，其使用也日趋广泛。起重臂是塔式起重机关键件之一，大多数起重臂截面为等腰三角形，通常采用腹杆、上弦杆、两下弦杆、接头和耳板等组焊成桁架结构，其中上下弦杆通过斜腹杆相联，斜腹杆作为重要受拉压杆件，其制造加工非常重要，关系到整条臂的质量和寿命。为了提高产品质量、提高生产效率以及提高经济

效益，对塔式起重臂冲模进行了多次改进。

1. 改进前的冲模

以主要适应中小塔式起重机斜腹杆形状的冲模（见图1）为例。材质为20钢，设计要求为：端部形状及尺寸模具剪切自然成形。根据要求设计出如图2所示的冲剪模，它由上模固定板、上模旋转板、导柱导套、上刀板、下刀板、下模旋转板和下模固定板组成，可根据斜腹杆角度自由调

表7 便携式三坐标测量臂测得的数据及计算结果（单位：mm）

测量内容	测量值			计算值			标准差
	第一次	第二次	第三次	均差	极差	方差	
圆柱直径	130.488 2	130.474 4	130.480 2	0.004 8	0.013 8	4.802×10^{-5}	0.006 9
圆柱度	0.007 5	0.010 9	0.039 5	0.013 5	0.032 0	3.089×10^{-4}	0.017 6
平面度	0.047 2	0.039 3	0.044 2	0.002 8	0.007 9	1.590×10^{-5}	0.004 0
垂直度	0.039 5	0.076 6	0.121 2	0.028 0	0.081 7	1.669×10^{-3}	0.040 9

右的中型零件，都有精度要求比较高的形状和位置公差控制要求。比较典型的如连杆、缸头、凸轮轴、抱轴箱、空心轴系列零件以及各种变速箱体等。这些零件的长度公差带值大多在0.02mm以上，形状位置公差带值大多在0.01mm以上，也有很少的设计公差数值小于这些值。除了个别情况以外，多年以来，在加工工艺手段上没有提供保证这些产品的形状位置公差的实际检测控制方法，主要依靠加工设备的精度来保证。

根据现场大多数产品的精度要求情况建议，如果能有一台测量空间范围在2m左右、长度测量精度在0.03mm左右的检测装备，则可以解决

80%以上中型零件的形状与位置公差的现场检测控制要求，而且可以拓展使用到大部分生产装备质量的检测控制、精度要求比较高的铆焊产品和模具产品的制作质量检测控制，以及测量范围内的装配生产产品的形状位置设计要求的检测控制，在提高生产效率的同时，保证了产品的质量。

参考文献：

- [1] 全国质量专业技术人员职业资格考试办公室. 质量专业理论与实务[M]. 北京：中国人事出版社，2010.

MW（收稿日期：20160126）