牵引电动机定子机座同轴度检测误差分析与研究

南车株洲电机有限公司 （湖南 412001） 李儒彬 石 江 杨学军 段宗玉

摘要：针对交流牵引电动机定子机座同轴度三坐标检测抽样数据误差，重点分析采用不同测量方法产生误差的原因，结合标准样件检测数据的反证，提出减小定子机座同轴度检测误差的有效方法，提高了定子机座同轴度检测精度。

按照GB/T 1182－1996的定义，同轴度有两种表达方式：一是点的同心度公差，公差带是直径为公差值ϕt且与基准圆心同心的圆内区域；二是轴线的同轴度公差，公差带是直径为公差值ϕt的圆柱面内的区域，该圆柱面的轴线与基准轴线同轴。在牵引电动机定子机座设计中，综合考虑到电动机定转子间气隙与轴承径向游隙的影响，机座两端止口（短圆柱孔）同轴度一般取6～7级精度，其公差在0.06mm左右。因交流电动机定子机座为全叠片结构形式，两端止口同轴度无法直接测量，为此生产现场加工的产品通常要借助于三坐标来进行检测。

而因机座这种短止口、长轴距的特性，其测量值的离散性相对较大，检查输出结果不能完全真实地反映零件的同轴度，因此给广大工程技术人员进行合理判定带来较大的困惑。

1. 定子机座典型结构与三坐标随机抽样数据

交流牵引电动机定子机座为全叠片叠压焊接结构，其两端止口通常较短，止口长度一般为10～25mm，两止口之间轴向距离相对较长，其典型结构如图1所示。

为了较好地说明与分析该种类型机座的同轴度检测误差，特随机抽取批量生产中的某产品，其数据如表1所示，其中同轴度A的值是以传动端平面投影检测值，同轴度B的值是以非传动端平面投影检测值。

表1中的同轴度A、同轴度B的值均为定子机座两端止口之间的同轴度值，两者数据差异较大的原因是基准投影面发生变化，理论上两个短圆柱止口之间的同轴度数据与选择的基准面是没有关系的，之所以检测数据与理论数据发生较大偏差，是由于三坐标检测过程中存在检测基准误差所致。

位置，这样工装与旋转体形成一体，上精密中心孔研磨机床研两端中心孔，最后上S－40数控外圆磨床，顶两端中心孔磨两处ϕ20k5、一处ϕ57h8外圆尺寸，这样工序步骤分为粗磨和精磨，可以保证旋转体ϕ20k5与ϕ57h8外圆尺寸以及同轴度在0.01mm以内。

（3）关键点三：热处理要求硬度为60～65HRC，渗氮深度为0.2～0.3mm。 按以往的热处理经验，普通中碳钢材料通常渗氮深度只能达到0.1mm左右，而该零件材料是合金钢38CrMoAl，预计渗氮深度也只能达到0.1mm左右。准备调整热处理工艺方案，按辉光离子氮化热处理工艺来实现，并同时做试验、做试件，确保该项目热处理达到技术要求。

7. 结语

按此工艺方法精加工后，经检测产品完全达到设计要求，组装成CY14－1C油泵后，经调试检测该油泵基本达到各项技术指标要求。该加工工艺方法的创新对后续类似工件的加工工艺设计具有一定的启发性。MW

（收稿日期：20151118）

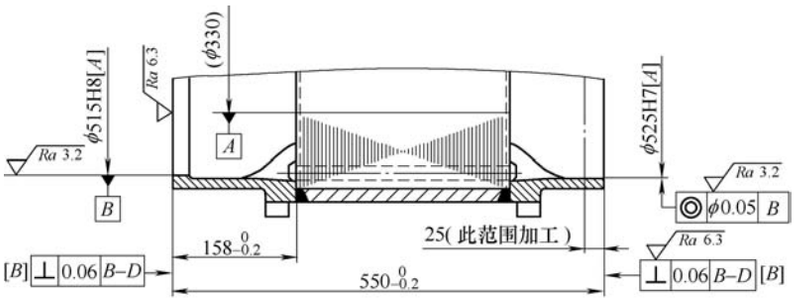


图1　某电动机定子机座结构

2. 定子机座同轴度检测误差分析

根据同轴度的定义（点的同心度、轴线间的同轴度），可使用3种典型的三坐标同轴度测量方法即平面投影法（求距法）、圆柱测量法和公共轴线法。现就该3种典型的测量方式及其测量误差进行具体分析。

（1）平面投影法（求距法）。同轴度为被测元素与基准元素轴线间最大距离的2倍，即用关系计算出被测元素与基准元素的最大距离后，将其乘以2即可，而平面投影法计算最大距离时要将其投影到一个平面上来计算（按照定义的同心度公差），因此这个投影平面（作基准投影面的平面）与孔的轴线垂直度要好，否则将产生较大偏差y，如图2所示，其中测量误差说明如下：①三坐标检测精度误差为0.005＋0.005L/1 000。②基准投影平面与理想平面偏差x=精度误差＋轴线与基准面的垂直度＋平面度。③y为被测圆柱与基准圆柱轴线测量的误差值。④同轴度检测误差值t=2y。

从图2中可以看到，平面投影法检测定子机座同轴度时，其基准平面的平面度、基准平面与基准轴的垂直度、基准平面提取要素（三坐标探头采样点）、三坐标机自身测量精度误差形成基准平面检测的综合误差x值，其还将通过几何比例放大，形成最后的测量误差值y=2$x$$L$/$D$，由此可见，求距法原理检测时其误差值按照2$L$/$D$的倍数放大。

表1　某电动机定子机座同轴度三坐标检测值　（单位：mm）

机座编号	同轴度A	同轴度B
1	0.036 2	0.052 2
2	0.022 5	0.057 2
3	0.018 7	0.066 5
4	0.017 1	0.073 2
5	0.023 3	0.051 5
6	0.017 2	0.050 1
7	0.036 4	0.060 3
8	0.054 4	0.077 0
9	0.011 6	0.065 5
10	0.062 7	0.081 3
均值	0.031 6	0.054 8
均方差	0.013 7	0.021 4

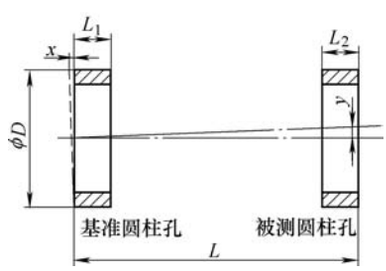


图2　求距法在同轴度检查中误差分析示意图

（2）圆柱测量法（轴线对轴线）。该方法是在空间上求取两轴线之间的最大距离，将其乘以2即为圆柱测量法检测的两圆柱轴线的同轴度值，如图3所示。

由图3可知，由于三坐标检测设备自身精度误差H=0.005±0.005L/1 000的存在，会导致基准圆柱轴线在提取要素拟合时产生偏差x，假定x为0.005，则两圆柱孔轴线的测量误差值y将按照两圆柱之间的轴向距离L/基准圆柱长度L_1的几何倍数放大，其最终检测误差值y将达到ϕ0.10 mm。

（3）公共轴线法（轴线对公共轴线）。该方法是在空间上求取基准轴线、被测轴线与两轴线拟合的公共轴线之间的最大距离，将其乘以2即为公共轴线法检测的被测圆柱孔、基准圆柱孔轴线的同轴度值2x，如图4所示。

该方法即根据基准圆柱孔、被测圆柱孔的提取要素，分别进行拟合产生基准轴线、被测轴线，然后对两轴线进行拟合生成公共轴线，计算基准轴线、被测轴线与公共轴线的最大距离x，其值的2倍即为同轴度值。

因公共轴线拟合过程中利用到了基准圆柱、被测圆柱上的提取要素，拟合生产公共轴线过程中减少了两轴线的实际偏差值，其测量输出值相对较小，但在短

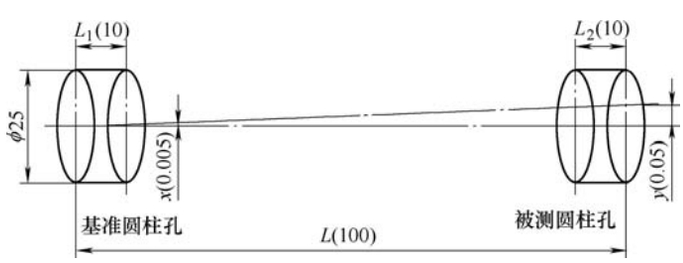


图3　圆柱测量法检测误差分析示意图

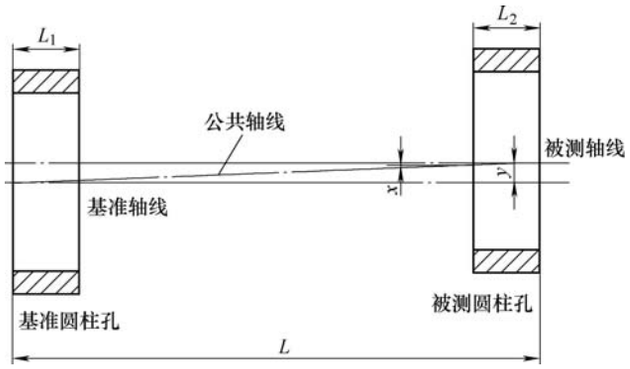


图4　公共轴线法测量原理图

基准、长距离的测量中，该方法较为接近定转子的装配实际应用。

3. 标准样件检测试验反证分析

为了进一步求证同轴度在三坐标检测中的误差存在，同时更好地比较主要形位公差同轴度在不同检测方法中数据的差异性，制作了一个缩小的机座模型，该模型的一端端面、内腔各孔一次装夹，通过高精密磨床磨削加工而成，如图5所示。

对此标准模型恒温12h后，按照上述3种方式分别进行同轴度检测与输出，每种检测方法重复5次，其检测数据如表2所示。

考虑到标准样件的两圆柱孔为一次精密磨削加工到位，其两端内孔的理论值应为0，但从标准样件的测量统计值可知，各测量方法均存在相应的误差，且具备如下规律。

（1）圆柱测量法：对于定子机座这样的短止口、长距离产品的检测，相比其他两种方法误差值更大，数据更离散（均方差达0.049 3mm）。

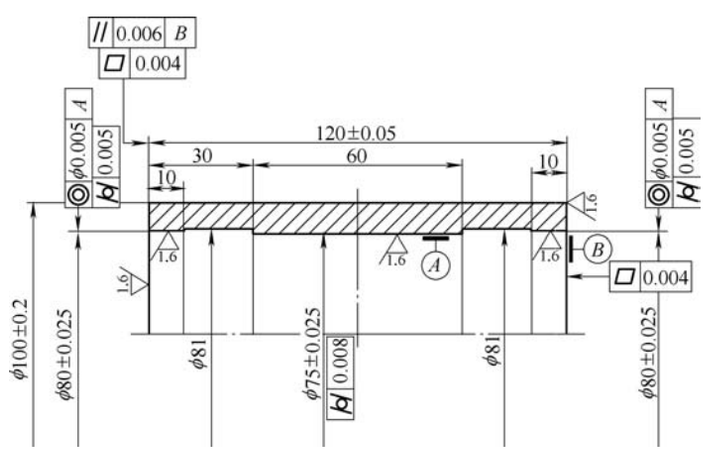


图5　内孔端面一次精密磨削加工的标准模型图

表2　标准模拟样件检测数据统计表　（单位：mm）

评测方法	5次检测值					均值	均方差
	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次		
平面投影法	0.097 0	0.073 7	0.090 3	0.063 7	0.070 5	0.079 0	0.012 5
	0.070 4	0.038 8	0.015 4	0.041 2	0.035 3	0.040 2	0.017 6
圆柱测量法	0.241 6	0.128 3	0.155 8	0.092 8	0.164 5	0.158 6	0.049 3
公共轴线法（联合基准）	0.021 4	0.014 8	0.014 2	0.015 8	0.013 5	0.015 9	0.002 8
	0.022 7	0.014 1	0.007 6	0.008 1	0.021 1	0.014 7	0.006 3

（2）求距法：从测量数据来看，其检测误差也有一定的影响，其检测均方差分别为0.012 5mm、0.017 6mm，其误差大小处于圆柱测量法、公共轴线法之间。

（3）公共轴线法：该方法检测出的同轴度，其均值、均方差相对较小，数据趋于理想化，评价结果一般在0.01～0.02mm。

4. 结语

对于交流牵引电动机定子机座这种“短止口长轴距结构”，采用3种不同的同轴度检测方法，其测量输出值与实际值均存在不同程度的误差y，因此工作中不能简单地根据某一种测量数据来评判定子机座的合格与否，否则将会造成相当一部分产品的误判。

根据上述分析，结合定子机座的加工工艺情况，找出提高同轴度检测精度较为可行的方法与措施如下：

（1）根据机座的结构特点，为减少定子机座检测中的误判，同轴度检测中宜采取求距法与公共轴线法相结合的方式进行。

（2）为了提高三坐标检测精度，应减小求距法、公共轴线法中的x值，从而达到减小误差的目的。检测中应注意在产品检测前恒温足够的时间，确保被测平面干净、工件的待检测平面与测量头的垂直。检测过程中，应保证被测部位的表面粗糙度值要小、有效检测点数要多，并从去除异常点等多方面着手，以提高三坐标检测中提取要素的精度，减少x值偏差，从而提高检测精度。MW

（收稿日期：20151103）