滚动直线导轨副综合精度的检测

广东高新凯特精密机械股份有限公司 （江门 529100） 杨炫召 叶飞原 张艳红

滚动直线导轨副是一种滚动直线导向部件，由滚动体（钢球、滚柱等）在滑块与导轨之间作无限滚动循环，负载平台能沿着导轨轻易地以高精度作直线运动。滚动直线导轨副以滚动摩擦代替滑动导轨的滑动摩擦，具有大承载、高精度、高速度和低磨损等优良特性，作为功能部件广泛用于各种机床及电子机械中。

1. 滚动直线导轨副综合精度

滚动直线导轨副作为高精度直线运动导向部件，其精度要求非常高，2 级的运动精度为 6 μm/m、15 μm/4 m，组合尺寸公差为 ± 12 μm。我国机械行业标准 JB/T 7175.4—2006 验收技术条件对滚动直线导轨副的精度项目和要求作了规定。

（1）滑块沿导轨运动相对导轨基准面（包括底面基准、侧面基准）的平行度。

（2）滑块顶面与导轨基准底面高度 H 的尺寸偏差。

（3）同一平面上配对导轨的多个滑块顶面高度 H 的变动量。

（4）与导轨基准侧面同侧的滑块侧面与导轨基准侧面之间的距离 W 的尺寸偏差。

（5）同一导轨上多个滑块侧面与导轨基准侧面之间的距离 W 的尺寸变动量。

2. JB/T 7175.4—2006 的检测方法

机械行业标准 JB/T 7175.4—2006 中还对上述精度项目的检测方法作了说明。如图 1 所示，将被测导轨紧固在专用检测平台上，在平台上放置专用表架，表架的一侧平面紧靠在导轨的侧面基准上，在专用表架上固定两个千分表等指示器，使其中一测头触及滑块顶面中心处，另一测头触及与导轨基准侧面同侧的滑块侧面中心处。沿专用检测平台和导轨基准侧面同步移动滑块和专用表架，在导轨的各个位置进行检测。用这种方法对导轨上各件滑块进行检测，最后通过综合运算就可得到上述 5 个项目的检测结果。综合运算的计算方法如下：以测量一根配有两件滑块的导轨副为例，依照上述检测方法，两个方向指示器在导轨各检测位置测得的各件滑块高度偏差和宽度偏差分别为

滑块 1 高度偏差：H_{11}，H_{12}，…，H_{1n}；

滑块 1 宽度偏差：W_{11}，W_{12}，…，W_{1n}；

滑块 2 高度偏差：H_{21}，H_{22}，…，H_{2n}；

滑块 2 宽度偏差：W_{21}，W_{22}，…，W_{2n}。

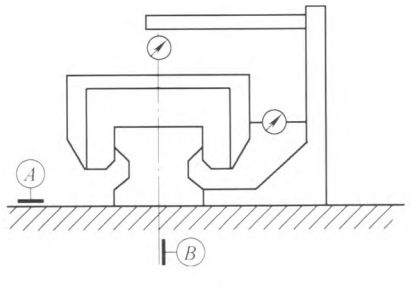


图 1

侧安装的千分表显示测量结果。⑤配重块可保证微分头测杆与三针及丝锥的紧密接触。

8. 检测仪使用效果

（1）任意装配人员只需要简单培训即可操作检测。

（2）检测结果可准确显示。

（3）奇、偶数槽丝锥可在同一测量仪上检测。

（4）采用对比法检测，无需复杂计算即可得到结果。**MW**

（收稿日期：20140313）

根据上述测量得到的偏差值，可以计算出导轨副的各项精度：

$G1_a = \max(H_{11}, H_{12}, \cdots, H_{1n}) - \min(H_{11}, H_{12}, \cdots, H_{1n})$，或

$G1_a = \max(H_{21}, H_{22}, \cdots, H_{2n}) - \min(H_{21}, H_{22}, \cdots, H_{2n})$；

$G1_b = \max(W_{11}, W_{12}, \cdots, W_{1n}) - \min(W_{11}, W_{12}, \cdots, W_{1n})$，或

$G1_b = \max(W_{21}, W_{22}, \cdots, W_{2n}) - \min(W_{21}, W_{22}, \cdots, W_{2n})$；

$G2 = \max[\mathrm{ABS}(H_{11}), \mathrm{ABS}(H_{12}), \cdots, \mathrm{ABS}(H_{1n}), \mathrm{ABS}(H_{21}), \mathrm{ABS}(H_{22}), \cdots, \mathrm{ABS}(H_{2n})]$；

$G3 = \mathrm{ABS}(H_{1i} - H_{2i}), (i = n/2)$；

$G4 = \max[\mathrm{ABS}(W_{11}), \mathrm{ABS}(W_{12}), \cdots, \mathrm{ABS}(W_{1n}), \mathrm{ABS}(W_{21}), \mathrm{ABS}(W_{22}), \cdots, \mathrm{ABS}(W_{2n})]$；

$G5 = \mathrm{ABS}(W_{1i} - W_{2i}), (i = n/2)$。

3. 常规检测方法的困难与不足

滚动直线导轨副属于高精度的机械产品，因此导轨副综合精度的测量要求也很高。目前国内大多数导轨生产厂家使用行业标准中所述的检测方法进行检测，这是一种常规的检测方法。这种检测方法如果用手工方式并用接触式指示表进行，对少量导轨副进行综合精度的判定验收是可以的。但如果用于大批量导轨副的检测显然是难以满足要求的，不仅人为误差大，而且检测效率非常低。测量时需小心地移动专用表架和滑块在导轨的每个检测位置进行测量，检测数据需手工逐个记录，测完以后还需要人工进行综合计算才能得到导轨副的各项综合精度。如果导轨副的滑块数较多，导轨长度也比较长，在导轨上检测的位置数相应增多，测量、记录和计算的工作量将成倍地增加。因此，用手工在检测平台上推动专用表架来进行检测的方式不仅效率低，而且检测人员的劳动强度也很大，不适合滚动直线导轨副大批量的检测。

4. 导轨副综合精度检测仪的结构原理

针对滚动直线导轨副综合精度检测的特殊性，根据多年从事滚动直线导轨副综合精度检测的经验，我们设计了可以快速检测导轨副综合精度的检测仪。如图2所示，在专用平台上安装一龙门架，龙门架可沿专用平台两边的高精度导向机构运动。5个非接触式测头通过夹头和调整机构安装在龙门架的横梁上，夹头和调整机构用于调整测头在高度和宽度两方向的位置，以适应不同型号规格导轨副的测量。侧面测头与定位杆组成的机构用于测量导轨副宽度方向的偏差，包括滑块与导轨基准侧面之间尺寸的极限偏差和各滑块之间的尺寸变动量、滑块基准侧面相对导轨基准侧面的运动平行度等。顶面测头用于测量导轨副的高度方向的偏差，包括导轨副高度的极限偏差、滑块之间的高度变动量、滑块顶面相对导轨底面的运动平行度以及滑块沿导轨在全长运动时的偏摆等。基准测头用于高度方向动态系统误差的补偿，达到高精度的测量。编码器通过连接机构固定在龙门架上，并通过齿轮与固定在测量平台侧面下部的同步带啮合，用于实时监控龙门架的移动位置。测量时同步移动龙门架及被测滑块在导轨的各测量位置采集数据，对采集数据进行综合计算就可以得出导轨副的各项综合精度，从而实现导轨副综合精度的测量。

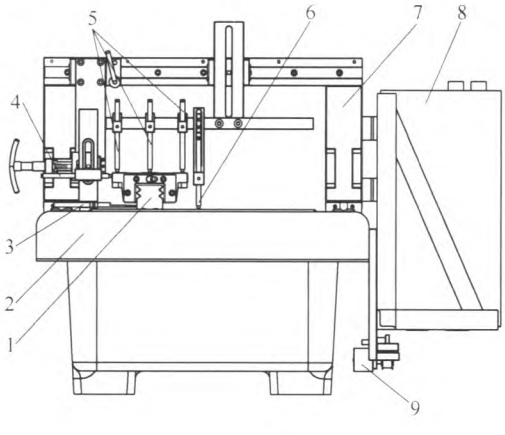


图 2

1. 导轨副 2. 专用平台 3. 定位杆 4. 侧面测头
5. 顶面测头 6. 基准测头 7. 龙门架
8. 测量电箱 9. 编码器

检测仪对采集数据的综合计算方法与手工测量的计算方法是一样的，所不同的是检测数据是自动采集的，减少了人为的读数误差，同时综合计算也是由软件自动完成，因此大大提高了检测效率和检测精度。此检测仪创新之处是采用了非接触式相对测量。由于检测导轨副综合精度时，测头需要在同一根导轨上不同滑块之间来回移动测量，如果使用

接触式测量，将难以保证每次测量时接触示值的稳定性。而非接触式测量由于不存在测量时的接触碰撞，因此测量示值以及对表值都非常稳定，很好地解决了接触式测量由于频繁接触碰撞造成测量值不稳定的问题。

检测仪有以下性能特点：①采用非接触式测量，检测精度高，稳定性好。②对滚动直线导轨副型号规格的兼容性强，能检测从小型的 LM12 到大型的 LGR100 等数十种型号规格，测量导轨副长度可达 4 m，而且导轨副上的滑块数量不限。

5. 数据采集与高精度测量

不仅接触式测量和非接触式测量在测量值的稳定性上存在区别，数据采集和数字滤波技术也会对检测仪的示值稳定性产生影响。检测仪数据采集原理如图 3 所示。

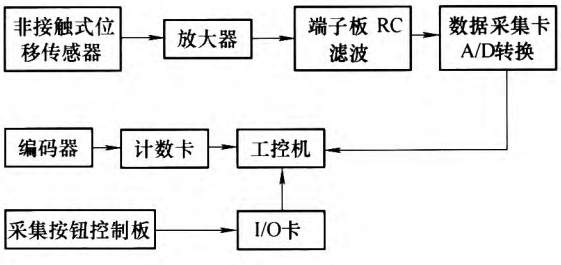


图 3

在工控机上安装数据采集卡、计数卡及 I/O 卡等功能卡，测量软件通过这些卡分别采集非接触式位移传感器输出的测量值、编码器发出的脉冲数以及采集按钮控制板发出的控制信号。非接触式位移传感器将导轨副尺寸变化产生的位移量转换成毫伏电压模拟量，需要经过模/数转换才能用计算机软件进行处理，模/数转换由数据采集卡实现。测量软件按设定的时钟周期不断地扫描安装在工控机上各板卡的端口、通道，并将扫描数据读入内存中的动态变量数组，经过数字滤波等处理后再更新软件界面上的示值。当测量软件通过扫描 I/O 卡检测到采集按钮控制板发出采集等控制信号后，将动态变量数值读入固定变量数组，从而实现检测仪的数据采集。非接触式位移传感器将导轨副尺寸变化产生的位移量转换成几毫伏的电压输出，经放大器放大后成为几伏的电压信号。由于测量环境中存在振动、温度变化和电场耦合等干扰因素，经放大器放大后的电压信号不可避免地存在干扰信号，因此需要对电压信号进行滤波处理。电压信号在进入数据采集卡进行 A/D 转换之前先经过具有 RC 滤波功能的端子板进行模拟滤波。经过模拟滤波后干扰信号虽然大为减少，但仍然存在低频的脉冲干扰，仍不能满足高稳定性示值的要求，因而要对经 A/D 转换后的数字信号进行数字滤波。数字滤波的方法有很多，其中中位值平均滤波法对脉冲干扰有良好的过滤效果。中位值平均滤波法是先对采集的一组数据进行排序，截去首尾各若干个数据后，将剩余数据的平均值作为本组数据的滤波结果。

6. 测量软件的功能

此检测仪的另一关键之处是强大的软件功能。为此检测仪器专门编写软件，具有系统误差自动修正、检测位置自动监测、综合精度自动计算、自动判定合格与否、可供选择接收或拒收，以及生产批次管理、测量数据共享管理等众多功能。检测时，检测人员需要做的就是选择生产批次，在平台上紧固被测导轨，然后采集数据，其余工作全部由软件自动完成，软件界面如图 4 所示。

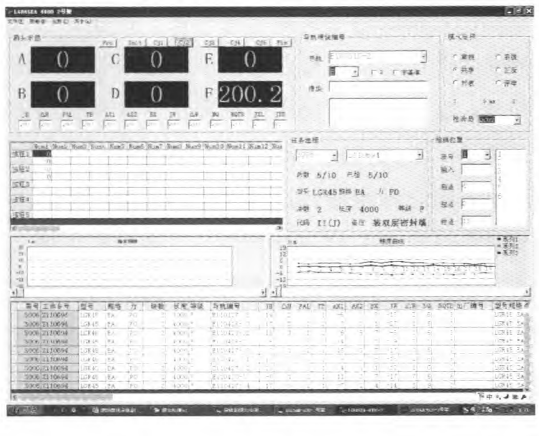


图 4

7. 结语

综上所述，应用新技术设计开发的导轨副综合精度检测仪具有检测精度高、稳定性好的优点，在降低检测人员劳动强度的同时，可以大幅提高检测效率和检测精度，满足导轨副综合精度批量检测的需要（该检测仪的研制受 2012 年国家重大专项“高档数控机床滚动功能部件共性技术研发”的支持，支持基金的项目编号为：2012ZX04002021-06）。**MW**

（收稿日期：20140327）