

导轨直线度误差测量实验指导

一、实验介绍

直线度是限制实际直线对理想直线变动量的一种形状公差。直线度误差可用刀口尺、平板和带指示表的表架、水平仪和桥板、自准直仪和反射镜等设备与装置进行测量。本实验将用光学自准直仪和反射镜对直线导轨的直线度误差进行测量。

二、实验目的

- 1.了解光学自准直仪的原理、结构及操作方法；
- 2.掌握直线度误差的测量与数据处理方法。

三、测量原理

直线度误差通常按与理想要素比较的原则进行测量，其测量原理如图 1 所示。用准直光线、水平面或高精度平板的平面构成一条模拟理想直线 L ，将被测实际直线 L' 与模拟理想直线进行比较，若能直接测出被测的实际直线上各点相对于理想直线的绝对距离 y_0, y_1, \dots, y_n ，或相对偏距 $\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_n$ ，则这种测量方法称为直接测量法；若每次测量的读数仅反映相邻两测点的相对高度差 $\delta_0, \delta_1, \dots, \delta_n$ ，通过累加后，才能获得相对偏距，则这种测量方法称为间接测量法。不管采用哪种测量方法，其最终目的都是要按各测点的相对偏距，作出被测实际直线的折线图，最后按最小条件确定被测实际直线相对于理想直线的变动量，即直线度误差值。

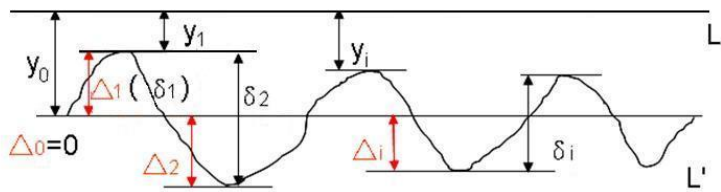


图 1 直线度误差测量原理

三、测量仪器——光学自准直仪

1. 光学自准直仪的测量原理

光学自准直仪（如图 2（a））是一种精密测角仪器。它应用自准直原理进行测量，以光线体现被测直线的理想直线（即测量基准）。如图 2（b）所示，光线由光源 5 发出，形成平

行光束将自准直仪中的十字分划板 4 的十字刻线经物镜 6 投射在反射镜 7 上，经反射后，成像在目镜分划板 2 上。若反射镜与平行光束垂直，则平行光束沿原路返回，反射回来的十字刻线的影像与目镜分划板 2 的指示线重合（如图 2（c））。如果桥板 8 接触的相邻两个测点之间存在高度差 h 而使反射镜与平行光束不垂直，即反射镜产生倾斜角 θ 则反射光轴与入射光轴成 2θ ，使十字刻线的影像相对于目镜分划板 2 的指示线产生相应的偏移量 a （如图 3（d））。偏移的格数由固定分划板 3 和读数鼓轮 1 读出。显然，这样获得的每个读数仅反映桥板两接触点相对于光轴的高度差 δ_i ，而被测表面的直线度误差，还需通过逐点连续测量及数据处理才能获得。



（a）光学自准直仪

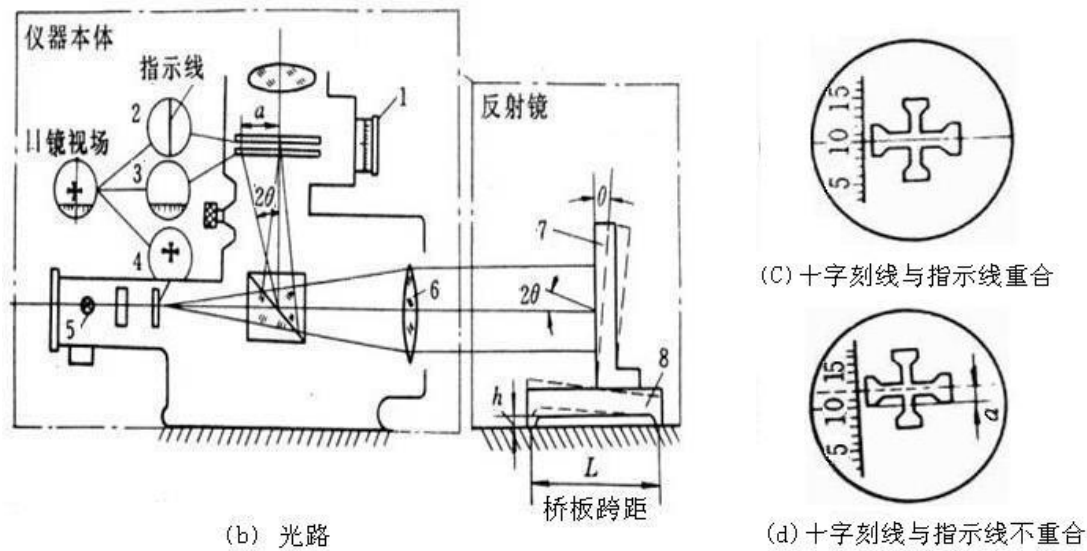
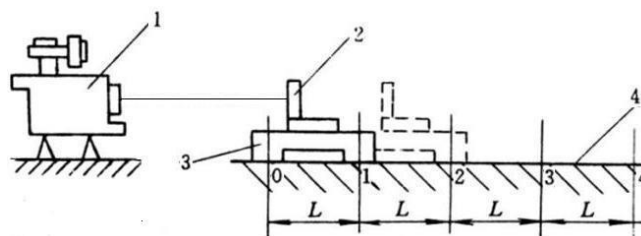


图 2 光学自准直仪及其测量原理

2. 用自准直仪测量的方法

使用自准直仪测量直线度误差时，通常把仪器本体安放在被测零件外面的固定位置上，

反射镜固定在桥板上（如图 3 所示）。首先根据被测直线的长度 l ，确定分段数 n 和桥板跨距 L ($L=l/n$)，并在被测直线旁标出各测点的位置。反射镜固定在桥板上后，将桥板分别放置在被测直线的两端，调整自准直仪本体的位置，使十字刻线的影像在反射镜位于这两端时均能进入视场。然后，沿被测直线按各测点的选定位置依次首尾衔接地移动桥板，同时记录反射镜在各测点上的示值 a_i ($i=0,1,2,\dots,n$)，取 $a_0=0$ 。



1—自准直仪本体；2—反射镜；3—桥板；4—被测直线；L—桥板跨距

图 3 用自准直仪测量直线度误差

光学自准直仪的可测长度范围为 $0\sim 5\text{m}$ ；其读数目镜的示值范围为 $\pm 500''$ ；测微读数鼓轮的分度值为 $1''$ （相当于 $i=0.005\text{mm/m}$ ）。若桥板上前后两接触点的距离为 0.18m ，则实际分度值 $i'=0.005\text{mm/m}\times 0.18\text{m}=0.0009\text{mm}$ ，即 $i'=0.9\mu\text{m}$ 。

四、实验操作说明

1. 在实验目录中，选择“2.导轨直线度误差测量”，打开实验场景；
2. 鼠标点击自准直仪模型上的红色电源按钮或场景下方的“自准直仪开关”按钮，接通电源（如图 1 所示）。

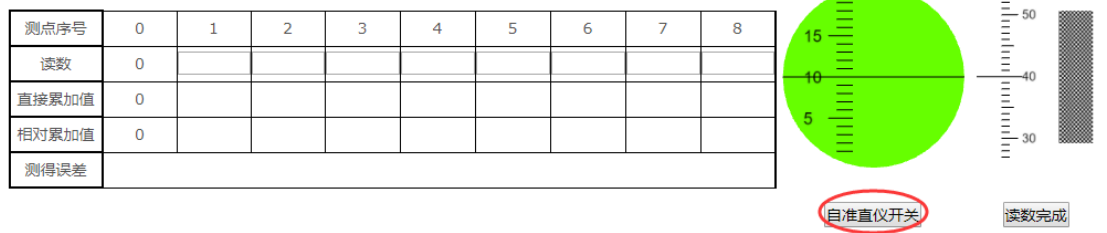
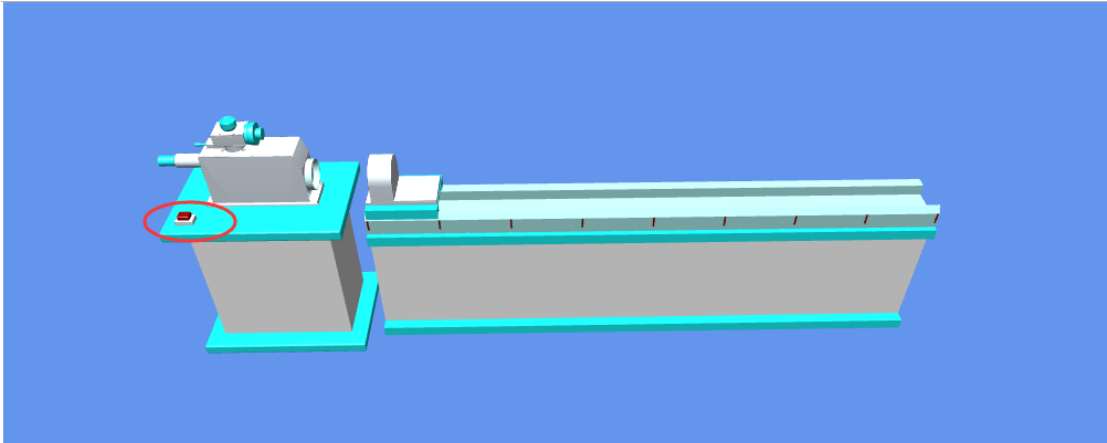


图 1 直线度误差测量场景

3. 从导轨一端开始，利用鼠标依次按桥板跨距（导轨上的红色刻线）前后衔接地移动桥板（如图 2 所示）。在每一个测量位置上，转动测微读数鼓轮，是指标线位于“十”字影像的中心，并记录下该位置的读数，直至测量完整个导轨。

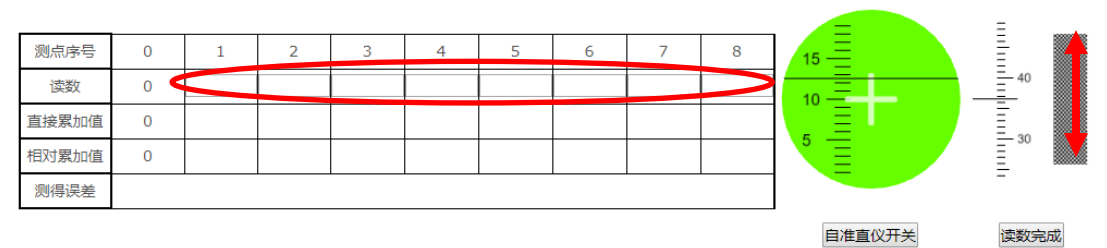
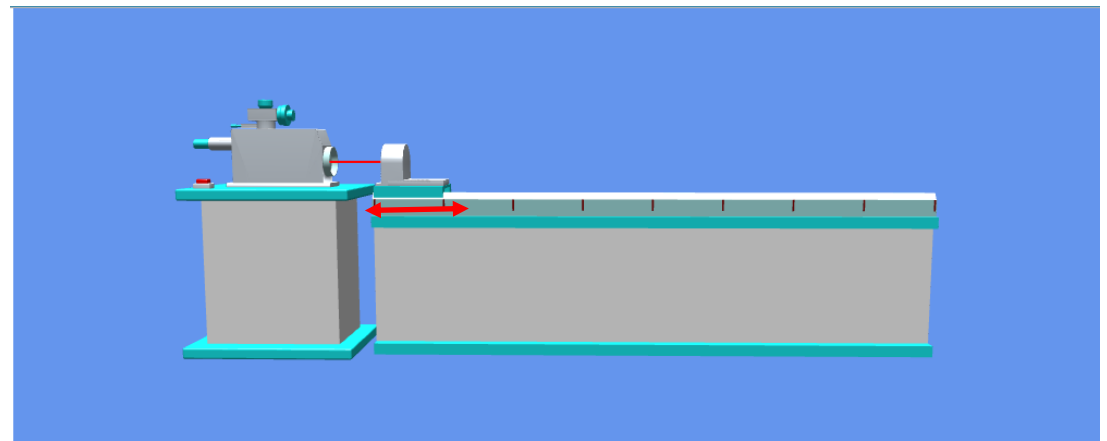


图 2 直线度误差测量

4. 鼠标点击“读数完成”按钮，以第一个位置的读数为零点，计算各位置的相对读数，并求相对值的累计值，以获得各测点相对于零点的高度差。（图3）。在界面上的坐标纸中，以横坐标表示测点序号，以纵坐标表示各测点相对于零点的高度差 Δ_k ，作出误差折线图（如图4）。

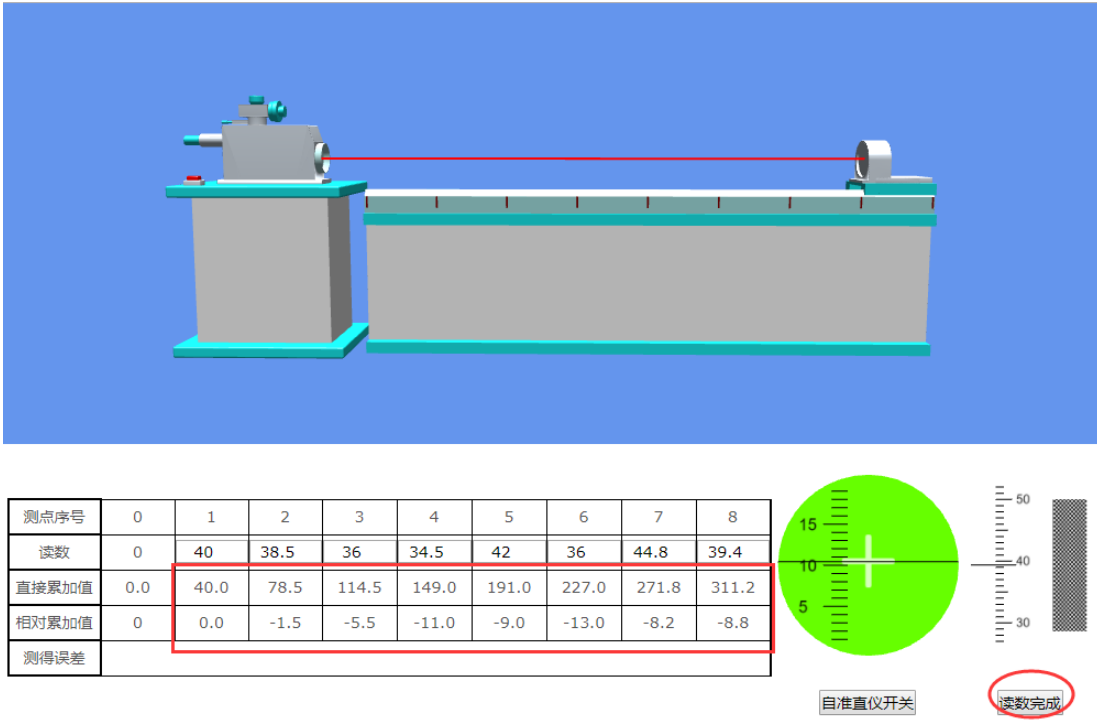


图3 计算记录数据的相对值和累计值

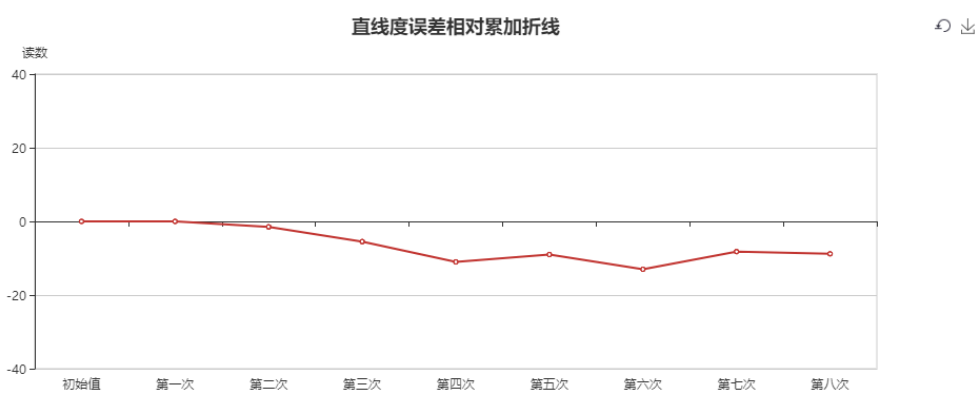


图4 绘制误差折线图

5. 根据形状误差评定中的最小条件，绘制包容线 L_1 、 L_2 。将鼠标移动到一个折线拐点 X_1 上，点击鼠标左键，移动鼠标至另一个拐点 X_2 ，再次点击鼠标左键，则在坐标纸上自动画出一条直线，即为 L_1 ，再点击误差折线上距离 L_1 最远的拐点 X_3 ，坐标纸上自动画出与直线 L_1 平行的直线 L_2 ，保证 L_1 、 L_2 完全包容误差折线，且 X_3 横坐标在 X_1 与 X_2 之

间（图 5）。绘制出正确的包容线后，系统自动计算平行直线 L_1 和 L_2 之间的纵向坐标距离，将其与实际分度值 i' 相乘，其乘积即为所求的导轨直线度误差。将求得的误差填入界面上相应位置。

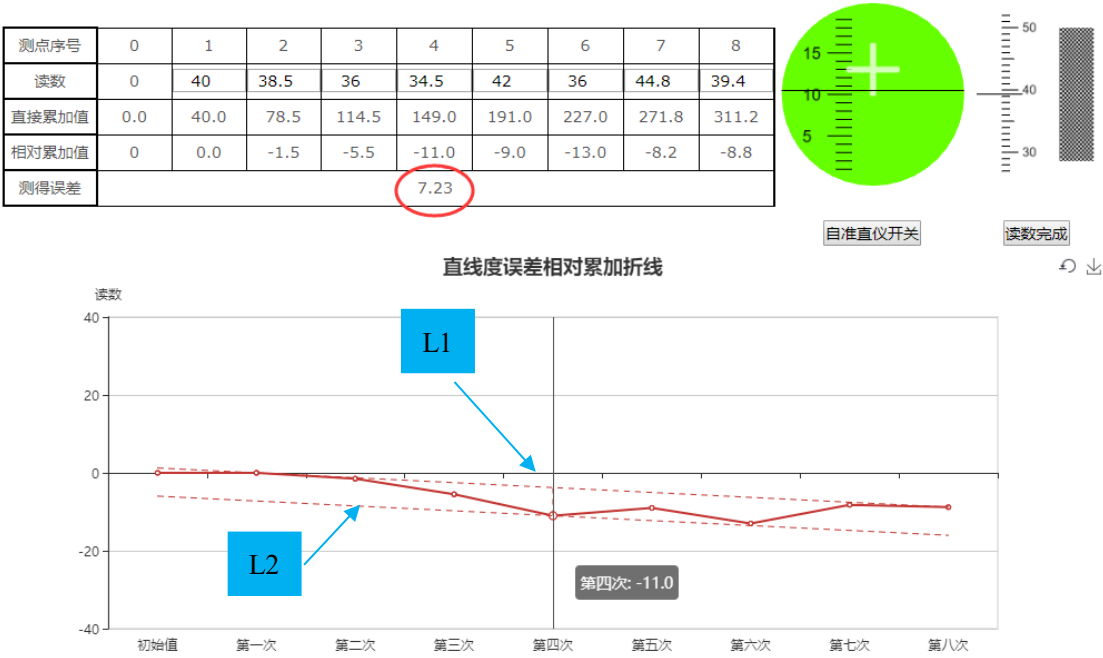


图 5 绘制误差包容线

6. 点击误差曲线右上角的后撤图标，可重绘包容线；点击下载图标，则可将所绘误差折线和包容线以图片格式保存。若所绘制包容线不满足最小条件，则弹出警告窗口，提示重绘包容线（图 6）。

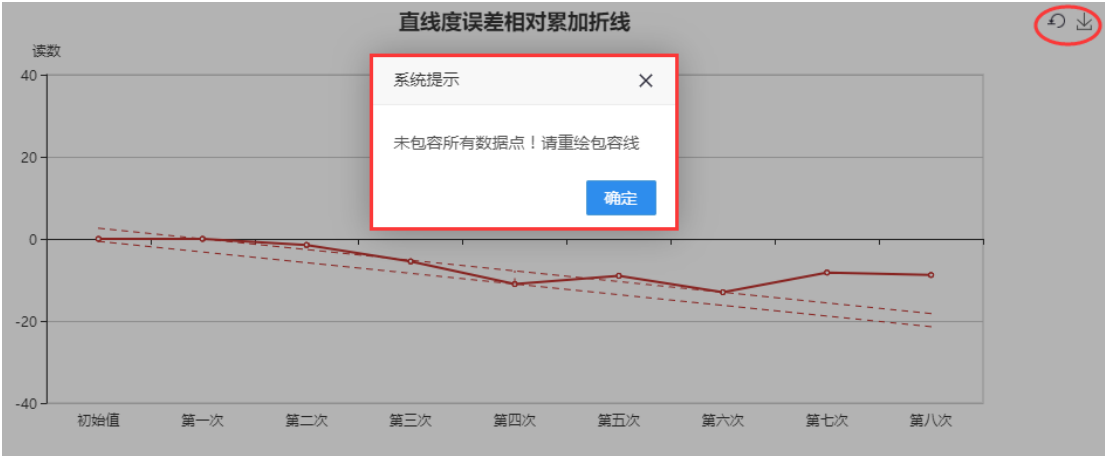


图 6 绘制包容线错误提示

五、补充知识——直线度误差评定方法

1. 最小包容区域法

参看图 7，根据给定平面内直线度公差带的形状，由两条平行直线包容被测实际直线 S 时，成“高—低—高”或“低—高—低”三级点相接触，则这两条平行直线之间的区域就是最小包容区域(简称最小区域)。这称为给定平面内直线度误差最小区域判别准则。它们之间的宽度 f_{MZ} 即为符合定义的误差值。

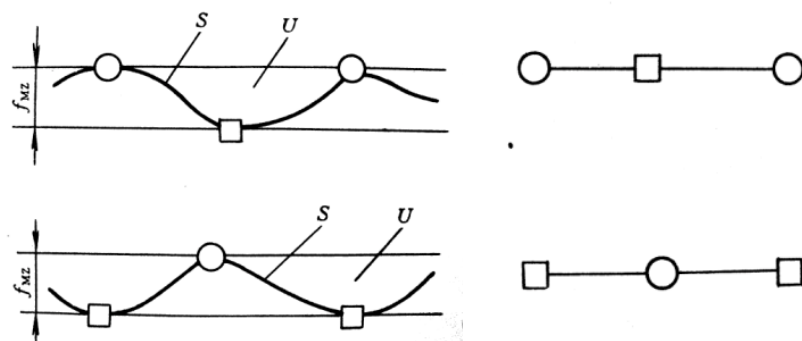


图 7 最小包容区域

2. 最小二乘中线法

参看图 8，最小二乘中线 l_{LS} 是一条穿过实际被测直线 S 的理想直线，它所处的位置使实际被测直线上各点至它的距离的平方和为最小。以该理想直线作为评定基准，取测得各点相对于它的偏离值中最大的偏离值 h_{max} 与最小偏离值 h_{min} 之差 f_{LS} 作为直线度误差。在它上面的测点偏离值取正值；在它下面的测点的偏离值取负值，即 $f_{LS} = h_{max} - h_{min}$ 。

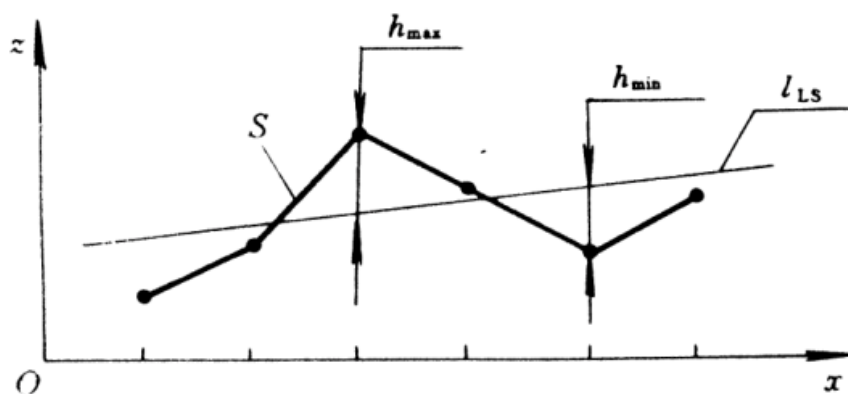


图 8 最小二乘中线

3. 两端连线法

参看图 9，以实际被测直线 S 的首、末两点 B 和 E 的连线 l_{BE} 作为评定标准，取测得各点相对于它的偏离值中的最大偏离值 h_{max} 与最小偏离值 h_{min} 之差 f_{BE} 作为直线度误差在它上

面的测点偏离值取正值；在它下面的测点的偏离值取负值，即 $f_{BE}=h_{\max}-h_{\min}$ 。

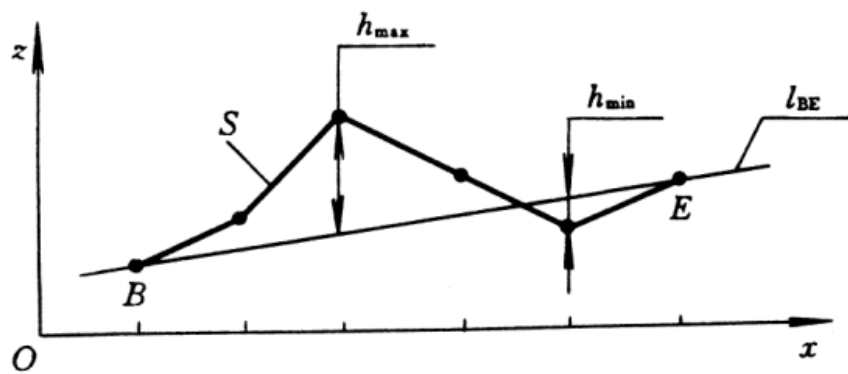


图 9 两端点连线