

第2章 机床修理精度的检验方法与检验工具

鲍廷镛

第1节 机床导轨精度的检验方法

机床部件的运动精度直接取决于导轨的形状和位置精度,包括导轨的直线度,导轨间的平行度和导轨间的垂直度,单导轨的扭曲,导轨与传动基准轴线的平行度、垂直度等。各种检验方法应根据零件的结构特点,本单位的具体条件和机床精度的要求合理选用。

(一) 导轨直线度的检验方法

矩形导轨的水平表面控制导轨在垂直平面内的直线度(图2-1-1a)。矩形导轨的两侧面控制导轨在水平面内的直线度(图2-1-1b)。

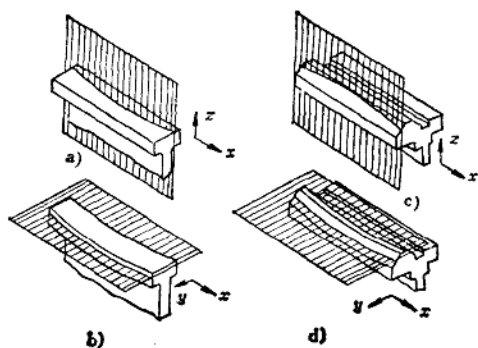


图2-1-1 导轨的直线度

对V形导轨,因为组成导轨的是两个斜表面,所以两个斜表面既控制垂直平面内的直线度(图2-1-1c),同时也控制水平面内的直线度(图2-1-1d)。

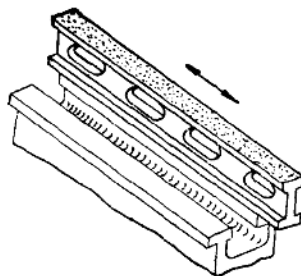


图2-1-2 平尺研点检查导轨直线度

1. 研点法

用一根标准平尺,其精度等级则根据被检导轨的精度要求来选择,一般不低于6级。长度应不小于被检导轨的长度(在精度要求较低的情况下,平尺长度可比导轨短1/4)。研点法常用于较短导轨的检验,因平尺超过2m时容易变形,制造困难,而且影响测量精度。

用平尺检查导轨直线度时,在被检导轨表面均匀涂上一层很薄的红丹油,将平尺覆在被检导轨表面,用适当的压力作短距离的往复移动进行研点(图2-1-2)。然后取下平尺,观察被检导轨表面的研点分布情况及研点最疏处的密度。如研点在导轨全长上均匀分布,则表示导轨的直线度已达到平尺的相应精度。采用刮研法修整导轨的直线度时,大都采用此法。刮研短导轨时,导轨的直线度通常由平尺的精度来保证,同时对单位面积内研点的密度也有一定的要求。可根据机床的精度要求和导轨在本机床所处地位的性质及重要程度,分别规定为每 $25 \times 25 \text{ mm}^2$ 内研点数不少于10~20点(即每刮方内点子数)。

用研点法检查导轨直线度时,由于它不能测量出导轨直线度的误差数值,因而当有水平仪时,一

般都不用研点法作最后测量。但是,应当指出,在缺乏测量仪器(水平仪、光学平直仪)的情况下,采用三根平尺互研法生产的检验平尺,可以较有效地满足一般机床短导轨直线度的检查要求。

2. 平尺拉表比较法

平尺拉表比较法通常用来检查短导轨在垂直面内和水平面内的直线度。为了提高测量读数的稳定性,在被检导轨上移动的垫铁长度一般不应短于200mm,垫铁与导轨的接触面应与被检导轨进行配刮,使其接触良好,否则就会影响测量的准确性。

(1) 垂直平面内直线度的检验方法 如图2-1-3所示,将平尺工作面放成水平,置于被检导轨的旁边,距离愈近愈好,以减少导轨扭曲对测量精度的影响。在导轨上放一个与导轨刮配好的垫铁,将千分表架固定于垫铁上,使千分表触头先后顶在平尺两端表面,调整平尺,使千分表在平尺两端表面的读数相等,然后移动垫铁,每隔200mm读千分表数值一次,千分表各读数的最大差值即为导轨全长内直线度的误差。在测量时,为了避免刮点的影响,使读数准确,最好在千分表测头下面垫一块量块。

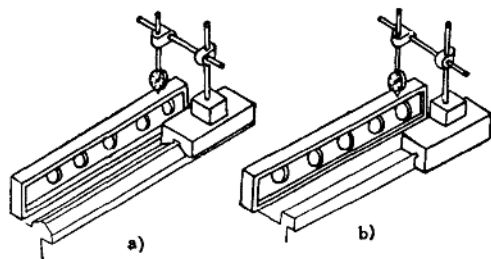


图2-1-3 测量导轨在垂直平面内的直线度

(2) 水平面内直线度的检验方法 如图2-1-4所示,将平尺的工作面侧放在被检导轨旁边,调整平尺,使千分表在平尺两端表面的读数相同,其测量和计算误差方法同上。

3. 垫塞法

此法适用于检查经过研磨的和表面粗糙度较低的平面导轨。如图2-1-5所示,在被检平面导轨上,安放一标准平尺,在离平尺两端各为 $\frac{2}{9}L$ 距离处,用两个等高垫块支承平尺下面,用量块或塞尺检查平尺工作面和被测导轨面间的间隙。如普通车床导轨直线度的公差为每米0.02mm,即用等于等高

垫块厚度加或减0.02mm的量块或塞尺,在导轨上距离为1m长度内的任何地方均不能塞进去为合格。测量精密机床导轨时,宜采用精度较高的量块,以便能较正确地测量出导轨直线度的误差值。

此法也可以用千分表代替塞尺,但要增加等高垫块的厚度,使千分表能进入测量,如图2-1-6所示。

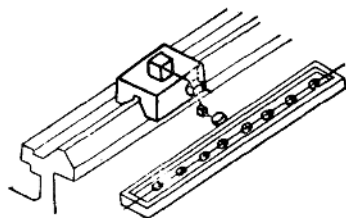


图2-1-4 测量导轨在水平面内的直线度

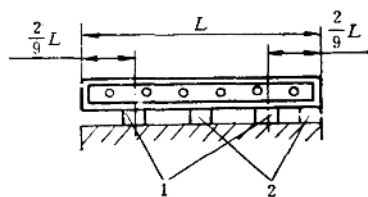


图2-1-5 利用垫塞法测量导轨的直线度
1—等高垫块 2—塞尺或量块

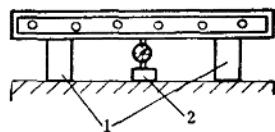


图2-1-6 用千分表测量导轨直线度
1—等高垫块 2—专用千分表座

4. 拉钢丝检验法

利用拉紧后的钢丝作为理想的直线,直接测量导轨上各段组成面的直线度误差值。象用平尺拉表比较法一样,是一种线值测量法。

这种方法只可以检查导轨在水平面内的直线度。测量方法如图2-1-7所示。在床身导轨上放一个长度为500mm的垫铁,垫铁上安装一个带有刻度的读数显微镜,显微镜的镜头应对准钢丝并必须垂直放置。在导轨两端,各固定一个小滑轮,用一根直径小于0.30mm的钢丝,一端固定在小滑轮上,另一端用重锤吊着。重锤的重量(拉紧力)应为钢丝

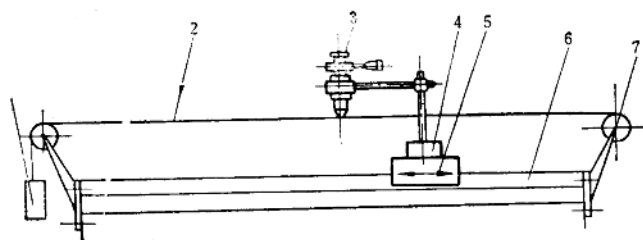


图2-1-7 拉钢丝法测量导轨直线度

1—重锤 2—钢丝 3—读数显微镜 4—显微镜支架 5—V形垫铁
6—被检导轨 7—滑轮及支架

拉断力的30%~80%。然后调整钢丝两端，使显微镜在导轨两端时，钢丝与镜头上的刻线相重合。记下可动分划板手轮上的读数。

移动垫铁，每隔500mm观察一次显微镜。检查钢丝是否与刻线重合，不重合时，调整读数显微镜上手轮使其重合，并记下读数。在导轨全部长度上测量，依顺序记录读数。把读数排列在坐标纸上，画出垫铁的运动曲线图。在每m长度上的运动曲线和它两端点连线间的最大坐标值，就是1m长度上的直线度误差。如果形成的是波折线（即在横坐标轴两侧出现点子），则采用包容线法（见图2-1-15），取距离最小的两根平行线间的坐标值，为导轨全长上的直线度误差。如果形成的曲线是中凸或中凹线，最凸或最凹起点至两端点连线的坐标值即导轨全长上的直线度误差。

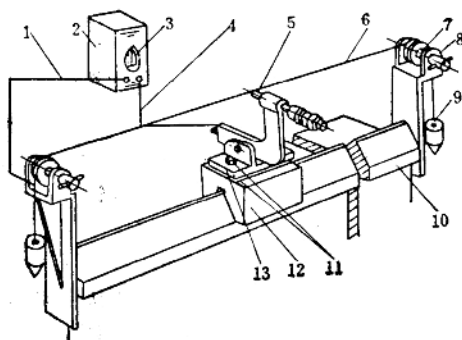


图2-1-8 拉钢丝电接触法测量导轨直线度

1、4—导线 2—电器箱 3—指示管 5—千分尺 6—钢丝 7—调节螺栓 8—支架 9—重锤 10—被检导轨 11—绝缘垫 12—V形垫铁 13—支架

在缺乏读数显微镜的情况下，亦可采用千分尺用电接触法进行测量。在垫铁上夹持一千分尺，使与垫铁绝缘，在钢丝和千分尺之间通6.3V的低压交流电或用电池通直流电。当千分尺测头与钢丝接触时，形成一个回路，可使指示灯发光。为了提高测量精度，必须使接触灵敏度提高，一般可在回路中串联电话耳机或万用电表，或把耳机和电表串联起来同时使用，效果更好。也可专门制造一个由6E1调谐指示管（即电眼）和变压器、电阻等组成的信号发生器，其灵敏度则比用电表及耳机更高。信号发生器的电路图如图2-1-9所示。

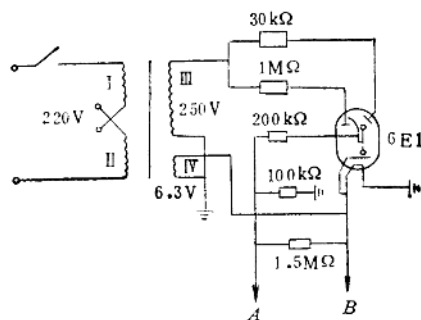


图2-1-9 信号发生器的电路图

变压器铁心截面用 $28 \times 34 \text{ mm}^2$ ，220V一次绕组I、II用线径0.27mm导线平绕880匝，250V二次绕组III用线径0.14mm平绕1030匝，6.3V二次绕组IV用0.51mm导线平绕26匝。

使用时按图2-1-8将信号发生器的两根导线分别与钢丝及千分尺接通，合上开关，使钢丝及千分尺带电，此时指示管荧光屏扇形光即收缩为一直线。调节千分尺使测头与钢丝接触，以指示管由一直线转为扇形闪光时为准，记录千分尺的读数。为了准确，在每个测量位置要多测几次，取其平均值。

千分尺的测量面应与钢丝平行。钢丝的线径应小于0.3mm，线径误差应在0.005mm以内，其截面圆度误差不得大于0.005mm。测量时，附近有接

动严重的设备应暂停使用, 空气的流速也会影响测量精度, 故应采取各种措施防止钢丝的振动或摆动, 以提高测量精度。

采用拉钢丝法测量导轨在水平面内的直线度时, 其测量精度一般可达 $\pm 0.01\text{mm}$ 左右。但因受钢丝线径误差和外界条件的影响(如振动, 空气的流动等), 会使测量精度降低。

5. 水平仪检验法

由于水平仪测量精度较高, 使用方便, 因此在安装机床和测量导轨直线度中广泛采用。但它只能检查导轨在垂直平面内的直线度, 而且气泡因受温度的变动而有极灵敏的变化。

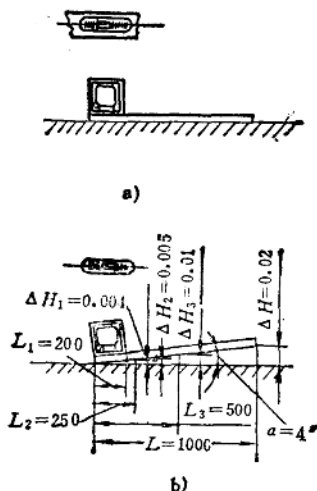


图2-1-10 水平仪读数的几何意义

(1) 水平仪读数的几何意义 如图2-1-10 a所示, 假定平板处于自然水平位置, 在平板上放一根1m长的平行平尺, 平尺两平面假定绝对平行, 平尺上的水平仪所示的读数则为零, 即水平状态。如图2-1-10 b所示, 如果水平仪的规格每格为 $0.02/1000$, 若将平尺右端抬高 0.02mm , 相当于使平尺与平板平面形成 $4''$ 的角度, 则水平仪的气泡向右移动一格, 读数为 $0.02/1000$ 。按相似三角形比例关系:

在离左端 200mm 处

$$\Delta H_1 = 0.02 \times \frac{200}{1000} = 0.004\text{mm}$$

在离左端 250mm 处

$$\Delta H_2 = 0.02 \times \frac{250}{1000} = 0.005\text{mm}$$

在离左端 500mm 处

$$\Delta H_3 = 0.02 \times \frac{500}{1000} = 0.01\text{mm}$$

水平仪是一种测量与自然水平形成倾斜角度的量仪, 因此是一种测角量仪, 测量单位是用斜率作刻度, 如 $0.02/1000$, 含义就是测量面与自然水平倾斜 $\approx 4''$, 斜率 $0.02/1000$ 。上述 $\Delta H_1 \sim \Delta H_3$ 的计算数值虽然相差两倍多($0.004 \sim 0.01$), 可是在水平仪上的示值却都是一格, 即 $0.02/1000$ 。因此证明在用水平仪测量导轨直线度时, 与所采用水平仪的垫铁支点间距离 L_1 有密切的关系。

在用水平仪测量单导轨的直线度时, 为了能精确地量出导轨的实际形状, 应将水平仪放在专用垫铁(图2-1-11)上进行测量。垫铁底面的两个支承面间的距离 L_1 , 如用 $0.02/1000$ 精度的水平仪, 则取 200 、 250 或 500mm , 如转化为线值时, 每格分别为 0.004 、 0.005 或 0.01mm 。测量长度在 4m 以下的导轨时, 可选用 $200 \sim 250\text{mm}$ 的垫铁; 超过 4m 的长导轨, 如测量龙门刨床的导轨, 应选用长度为 500mm 的垫铁。

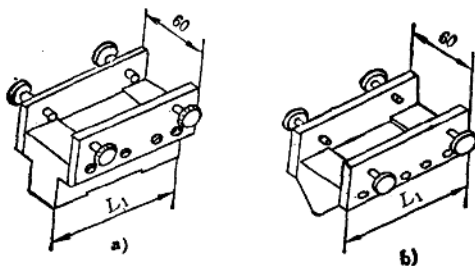


图2-1-11 水平仪垫铁(检具)

(2) 水平仪的读数方法 在测量时, 对水平仪上的水准器气泡的移动位置进行读数。读数的方法有两种, 一种是相对读数法, 一种是绝对读数法(见图2-1-12)。

图2-1-12 a是按水准器气泡的绝对位置读数。水平仪起端测量位置唯有气泡在中间时, 才读作“0”, 偏向起端时读“-”, 偏离起端时读“+”, 或用箭头表示气泡的偏移方向。

采用相对读数方法时, 将水平仪在起端测量位置总是读作零位, 不管气泡位置是在中间或偏在一边。然后, 依次移动水平仪垫铁, 记下每一位置的气泡与前一位置的移动变化方向和刻度的格数(图2-1-12 b)。根据气泡移动方向来评定被检导轨的倾

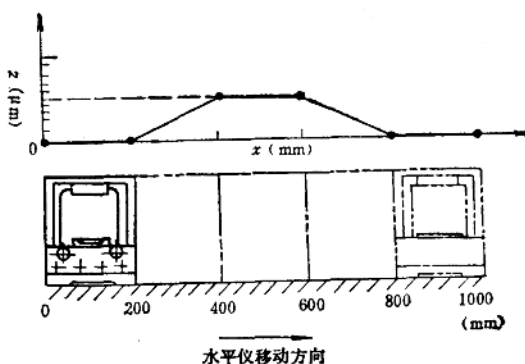
斜方向,如气泡移动方向与水平仪移动方向一致,一般读为正值,表示导轨向上倾斜,如用符号“+1”或箭头 $\nearrow$ 表示;如方向相反,则读作负值,如用符号“-1”或箭头 $\nwarrow$ 表示。

两种读数方法在实践中都采用。安装水平较差时,可用相对读数法,避免因安装水平的误差而使运动曲线离开自然水平线(即曲线图上的 $0-x$ 轴线)太多而无法作图。安装水平已初步调整的床身,可采用绝对读数法,并可为进一步调整安装水平作出形象化的运动曲线图。

(3) 导轨直线度曲线的绘制方法 曲线图表的尺寸应选用适中,尺寸过大,绘制与修改不方便;尺寸太小,在计算导轨直线度误差时可能求得不准。推荐在测量中小机床时 $0-x$ 轴长度取200mm,较长的床身取200~400mm,特长的机床也不要超过500mm。 $0-x$ 轴的长度定下来后, x 轴的比例尺也可定下来。实际上, $0-x$ 轴是代表水平仪垫板的间距,可按1:5至1:10绘制,即200mm的测量间距用40或20mm表示之。 z 轴或 y 轴是代表导轨的精度。可用1000:1至2500:1,即精度误差1 μ m用1~2.5mm的坐标表示之。特别精密的机床导轨(一般较短),可取5000:1,即1 μ m的误差用5mm来表示。

例如测量某一机床导轨,长1m,所用的水平仪的读数精度为0.02/1000,水平仪垫铁长度为200mm。把水平仪放在导轨面0~200段时的读数为零,当水平仪依次向前移动至导轨面上200~400段时,水准器中气泡向前移动了一格,为正值,表示此段导轨面是向上倾斜了0.004mm;当水平仪移至导轨面400~600段时,如水平仪气泡向后移动并回复到零位,这表示此段导轨面与0~200段导轨面平行。由于200~400段导轨面向上倾斜,故0~200与400~600两段导轨面虽平行,但并不在同一平面内,就好像人走路一样,开始走了一段平路(如0~200段),上了一个坡(如200~400段)后,又走平路(400~600段);当水平仪移至导轨面上600~800段时,水平仪的水准器中气泡向后移动一格,即为负值,表示此段导轨平面是向下倾斜了(-0.004mm),就好像人下了一个坡。最后一段800~1000水平仪又回到零位。这样继续测量下去,直至全导轨测量完为止,由各线段所组成的曲线就叫做导轨直线度曲线(或检具运动曲线)。

(4) 用水平仪检验导轨直线度误差的计算



- a) b)

图2-1-12 水平仪读数方法

a) 绝对读数法 b) 相对读数法

根据水平仪在导轨每段长度上连续测得的读数,按检验标准规定的计算方法进行计算误差,在机床专业精度检验标准中规定有两种计算误差的方法:①如JB2595—81铲齿车床精度标准中的检验第1项规定,溜板移动在垂直平面内的直线度,公差定为在溜板全部行程上为0.04/1000(只许凸起)。这种规定的方法是属于水平仪读数法(即角值法)。②如GC2—60普通车床精度标准中检验第1项,溜板移动在垂直平面内的直线度,公差规定:在溜板每1m行程上为0.02;在溜板的全部行程上为0.04~0.16。根据溜板行程长度分成6级,它计算的方法是规定用坐标值法来计算的(即线值法)。

1) 水平仪读数法,又称为角度偏差法、角值法。它是用水平仪坡度的正切值来度量导轨的直线度误差,公差值用0.02/1000、0.03/1000等表示。这种方法只是限制导轨直线度的一种重要指标,但不能象坐标值那样形象地反映出导轨表面的几何形状。但这种方法计算方便,对导轨的直线度也能限制,刮研时采用角值法计算也感到简便,所以在某些高精度机床的导轨检验标准中采用。如JB2595—81铲齿车床精度标准,其溜板纵向移动时在垂直平面内的直线度的误差计算,规定用水平仪每m行程和全部行程上读数的最大代数差之半来计算。高精度精密外圆磨床精度标准中,其工作台移动在垂直平面内的直线度误差以水平仪读数最大代数差计。

2) 坐标值法(即线值法)的计算有两种。一种是要求有中凸的导轨,这种导轨以车床为代表。它的运动曲线在两端点的连线之上,而且最高点应位于中部或距车头 $1/3$ 的位置。

位置	1	2	3	4	5	6	7	8
格数	+1	+0.5	+1	0	-0.5	-0.5	-1	0.5
线值(mm)	+0.005	+0.0025	+0.005	0	-0.0025	-0.0025	-0.005	-0.0025
全长误差	0.0125 (不超过0.02, 中凸合格)							
每m	1~4	2~5		3~6		4~7		5~8
	0.0031	0.0052		0.005		0.0031		0.0021
	(不超过0.02合格)							

绘成如图2-1-13所示的运动曲线。

另一种是床身导轨没有误差的方向性,这种导轨以龙门刨床为代表,导轨亦可以中凸或中凹,也允许波折。每m长度上的运动曲线误差应连接每m两端的连线的最大坐标值,导轨全长上的误差作运动曲线的包容线,取坐标值最小的值为全长的误差。

例2 龙刨的床身导轨长4m,用500mm长度的水平仪垫铁,在导轨上测量8档,记录误差如下

位置	1	2	3	4	5	6	7	8
格数	→ 0.5	→ 1	← 1	← 2	← 1	→ 0.5	→ 1	→ 2
线值	+0.005	+0.01	-0.01	-0.02	-0.01	+0.005	+0.01	+0.02

绘成如图2-1-14的运动曲线,因为曲线呈波折形,在两端点连线两侧均出现点。作 $\overline{AB} \parallel \overline{CD}$ 的包容线,该床身导轨在垂直平面内的直线度误差:

每m内最大直线度误差在位置2~3之间,为 δ_1 (mm);

全长内最大直线度误差在位置5~6之间,为 δ_2 (mm)。

所谓导轨运动曲线的包容线,实际上是夹住运动曲线距离最小的两根平行线。它是通过运动曲线同侧最远两凸起点的连线,而另一线平行于该连线并包容全部曲线,可获得最小的平行线之间的坐标。但往往会遇到曲线同侧最远两凸起点的距离相等,如图2-1-15中, $L_1 = L_2$, 此时就要比较 $\overline{AB} \parallel \overline{CF}$ 和 $\overline{CD} \parallel \overline{AE}$ 两组平行线的垂直距离。哪一组最小,就以哪一组为准。图2-1-15的两组平行线, $\delta_1 < \delta_2$, 则以 $\overline{AB} \parallel \overline{CF}$ 的坐标值 δ 为准, $\overline{CD} \parallel \overline{AE}$ 的坐标值 δ' 较大,则不予采用。除了波折曲

例1 有一车床导轨长2m,用水平仪垫铁长为250mm,水平仪精度为每格0.02/1000,量8档,记录如下:

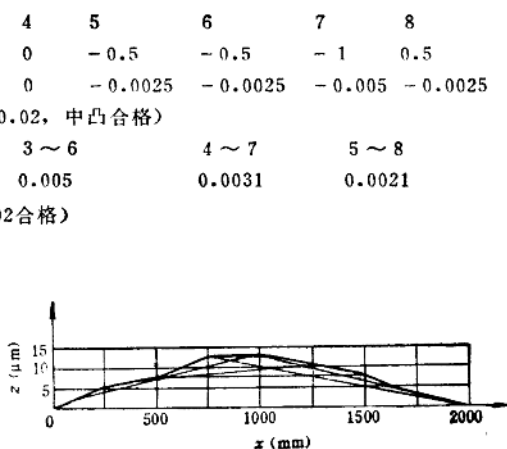


图2-1-13 检具运动曲线(例1)

(水平仪精度为0.02/1000);

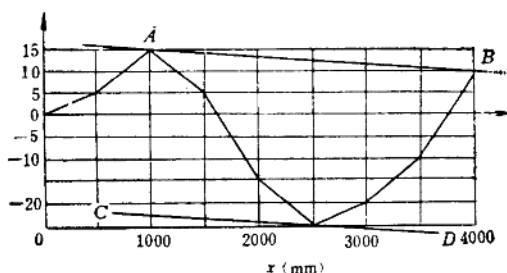


图2-1-14 检具运动曲线(例2)

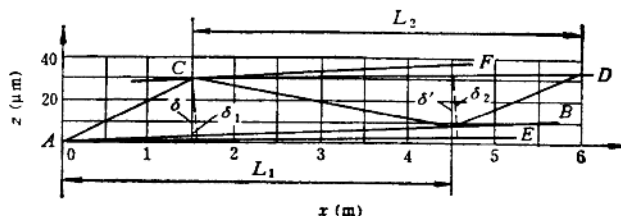


图2-1-15 波折运动曲线的包容线

线,中凸或中凹的运动曲线的包容线,都是首尾相连的直线和平行于该直线并切于上侧或下侧最凸起

点的平行线。

(5) 导轨直线度运动曲线的简便绘制及误差计算法 在机床修理中, 刮研导轨时经常用水平仪检查导轨的精度, 要绘制导轨直线度的运动曲线, 比较麻烦。在实践中, 工人们创造了一种简便工具, 再配合一张速查表, 就可大大简化计算手续, 比较容易掌握, 也不易搞错。

这个工具是用一块 $250 \times 180 \text{mm}$ (厚 $3 \sim 5 \text{mm}$) 的橡胶板做成标板, 表面涂白漆, 其上画出坐标格代替坐标格纸 (图2-1-16)。水平仪在读数后, 即用大头针插在坐标格的相应位置处 (注意应用叠加法)。测量完毕, 全部插好大头针, 用细铜丝或尼龙线连接各大头针组成曲线, 再用尺作包容线或头尾连线, 看最大坐标的“格数”, 再查一下坐标值换算表即是直线度的误差值。

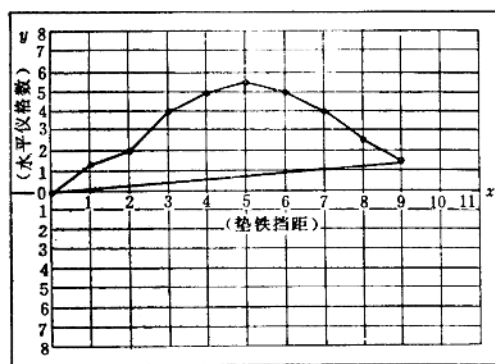


图2-1-16 橡胶标板

例如一导轨长2.25m, 用0.02/1000读数精度的水平仪, 水平仪垫铁长250mm, 测得9档读数(格)如下:

$+1 \frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	$+2$	$+1$	$+\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	-1	$-\frac{1}{2}$	-1
------------------	----------------	------	------	----------------	----------------	------	----------------	------

求得全长内直线度为4.8格; 1m直线度在4~7位置为1.5格。

查换算表2-1-1, 即可知全长直线度为0.024mm, 1m直线度为0.0075mm。

(6) 导轨全长内直线度误差的数学运算法 确定机床导轨全长内直线度误差, 规定采用坐标值计算误差(线值法)时, 亦可用数学运算方法来代替作图法, 不需要烦琐的作图手续。导轨直线度采用数学运算方法的原理是将运动曲线的坐标位置进行变换, 使曲线首尾两端点的连线与横坐标轴 $0-x$

表2-1-1 运动曲线坐标值换算表

(水平仪精度 $\frac{0.02}{1000}$) (μm)

坐标 格数	垫铁挡距			坐标 格数	垫铁挡距		
	200	250	500		200	250	500
0.1	0.4	0.5	1	5.1	20.4	25.5	51
0.2	0.8	1	2	5.2	20.8	26	52
0.3	1.2	1.5	3	5.3	21.2	26.5	53
0.4	1.6	2	4	5.4	21.6	27	54
0.5	2	2.5	5	5.5	22	27.5	55
0.6	2.4	3	6	5.6	22.4	28	56
0.7	2.8	3.5	7	5.7	22.8	28.5	57
0.8	3.2	4	8	5.8	23.2	29	58
0.9	3.6	4.5	9	5.9	23.6	29.5	59
1	4	5	10	6	24	30	60
1.1	4.4	5.5	11	6.1	24.4	30.5	61
1.2	4.8	6	12	6.2	24.8	31	62
1.3	5.2	6.5	13	6.3	25.2	31.5	63
1.4	5.6	7	14	6.4	25.6	32	64
1.5	6	7.5	15	6.5	26	32.5	65
1.6	6.4	8	16	6.6	26.4	33	66
1.7	6.8	8.5	17	6.7	26.8	33.5	67
1.8	7.2	9	18	6.8	27.2	34	68
1.9	7.6	9.5	19	6.9	27.6	34.5	69
2	8	10	20	7	28	35	70
2.1	8.4	10.5	21	7.1	28.4	35.5	71
2.2	8.8	11	22	7.2	28.8	36	72
2.3	9.2	11.5	23	7.3	29.2	36.5	73
2.4	9.6	12	24	7.4	29.6	37	74
2.5	10	12.5	25	7.5	30	37.5	75
2.6	10.4	13	26	7.6	30.4	38	76
2.7	10.8	13.5	27	7.7	30.8	38.5	77
2.8	11.2	14	28	7.8	31.2	39	78
2.9	11.6	14.5	29	7.9	31.6	39.5	79
3	12	15	30	8	32	40	80
3.1	12.4	15.5	31	8.1	32.4	40.5	81
3.2	12.8	16	32	8.2	32.8	41	82
3.3	13.2	16.5	33	8.3	33.2	41.5	83
3.4	13.6	17	34	8.4	33.6	42	84
3.5	14	17.5	35	8.5	34	42.5	85
3.6	14.4	18	36	8.6	34.4	43	86
3.7	14.8	18.5	37	8.7	34.8	43.5	87
3.8	15.2	19	38	8.8	35.2	44	88
3.9	15.6	19.5	39	8.9	35.6	44.5	89
4	16	20	40	9	36	45	90
4.1	16.4	20.5	41	9.1	36.4	45.5	91
4.2	16.8	21	42	9.2	36.8	46	92
4.3	17.2	21.5	43	9.3	37.2	46.5	93
4.4	17.6	22	44	9.4	37.6	47	94
4.5	18	22.5	45	9.5	38	47.5	95
4.6	18.4	23	46	9.6	38.4	48	96
4.7	18.8	23.5	47	9.7	38.8	48.5	97
4.8	19.2	24	48	9.8	39.2	49	98
4.9	19.6	24.5	49	9.9	39.6	49.5	99
5	20	25	50	10	40	50	100

重合, 然后将各档的斜率换算成坐标点, 就能在这组数字中找到运动曲线的误差。运算的方法可以分为以下四个步骤:

- 1) 将原始读数变换成与垫铁(检具)长度相适应的斜率 Δh 值;
- 2) 计算各档 Δh 值代数值的平均值 $\bar{e}$;
- 3) 各档 Δh 值减去(平均值为负时, 则加上)

一个平均值 e ;

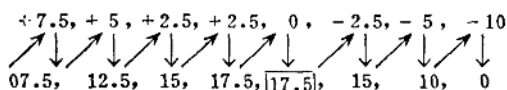
4) 用叠加法变换坐标点, 其中最大坐标点的数值就是导轨全长的误差。

例1 导轨全长2m, 水平仪垫铁长250mm, 用0.02/1000精度的水平仪, 测得8档读数, 求导轨全长上的误差。

读得8档读数(格) K ;

+2, +1.5, +1, +1, +0.5, 0, -0.5, -1.5

③ 各档 Δh 减去平均值 e ;

+7.5, +5, +2.5, +2.5, 0, -2.5, -5, -10


④ 变换坐标点;

按第一步用垫铁长度换算后的 Δh 值作出图 2-1-17 的曲线 1。用第四步变换坐标点位置后作出曲线 2, 两条曲线纵坐标的位置有了变化, 可是各档的坐标值是没有变化。因为曲线 2 首尾两端点连线与 0-x 轴重合了, 因此最大坐标值 17.5 μm 就是导轨全长的直线度误差。

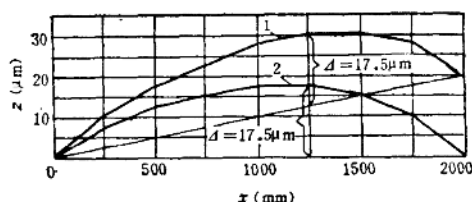
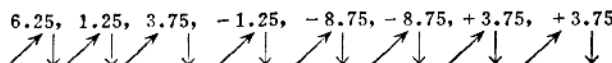


图2-1-17 检具在床身导轨上的运动曲线

③ $\Delta h - e$;

6.25, 1.25, 3.75, -1.25, -8.75, -8.75, +3.75, +3.75


④ 变换坐标点;

0, 6.25, 7.5, 11.25, 10, 1.25, -7.5, -3.75, 0

导轨全长内的直线度 $\Delta = 11.25 - (-7.5) = 18.75 \mu\text{m}$ 。

按第一步得出 Δh 值, 按叠加法作出图 2-1-18 的曲线 1, 按第四步变换坐标点后的数值可作曲线 2。

此例中, 变换后的坐标点 $\Delta = |11.25| + |-7.5| = 18.75 \mu\text{m}$, 出现“+”“-”, 因此曲线呈波折。这种波折曲线用数学运算得出的结果, 比包容线法量出的坐标值 $\Delta' = 15 \mu\text{m}$ 大, 但这并不能因此而废弃数学运算法, 因为在检修机床时一般并不做到允差的极限, 而是留有余量。

6. 光学平直仪(自动准直仪)检验法

利用准直仪和自动准直仪(光学平直仪)测量导轨直线度的原理是基于光束运动是一直线。采用

① 换算检具相应长度的 Δh 值;

$$\Delta h = 0.02 \times 250 \times K (\mu\text{m})$$

+10, +7.5, +5, +5, +2.5, 0, -2.5, -7.5

② 计算代数和的平均值 e ;

$$e = \Sigma \Delta h / n$$

$$[10 + 7.5 + 5 + 5 + 2.5 + 0 + (-2.5) + (-7.5)] / 8 = 2.5 (\mu\text{m})$$

例2 导轨全长2m, 水平仪垫铁(检具)长250mm, 用 $\frac{0.02}{1000}$ 精度的水平仪测得8档读数, 计算导轨全长上的误差。

8档读数(格) K ;

+2, +1, +1.5, +0.5, -1, -1, +1.5, +1.5

① 换算检具相应长度的 Δh 值;

$$\Delta h = 0.02 \times 250 \times K (\mu\text{m})$$

10, 5, 7.5, 2.5, -5, -5, +7.5, +7.5

② 求平均值 e ;

$$[10 + 5 + 7.5 + 2.5 + (-5) + (-5) + 7.5 + 7.5] / 8 = 3.75 (\mu\text{m})$$

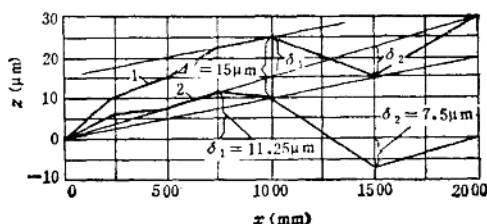


图2-1-18 波折运动曲线

光学仪器测量的优点是: ①在测量过程中, 仪器本身的测量精度受外界条件(温度、振动等)的影响小, 因此测量精度较高; ②既可象水平仪一样测量导轨在垂直平面内的直线度(不等于水平), 又可代替钢丝和显微镜测量导轨在水平面内的直线度。

所以,在机床的制造和修理中,已经普遍采用。但是对于测量10m以上的长导轨,由于光束通过的路程较长,光能损失较大,因而呈象不够清晰,不能进行直接测量,而必须分段接长测量。

(1) 用光学准直仪(照准仪)测量导轨直线度的原理 图2-1-19所示,准直仪是由平行光管2和望远镜1组成。平行光管由光源3、分划板4(刻有十字线)和物镜5组成。由于分划板4位于物镜5的焦面上,因此,光源3经过分划板4、物镜5,将分划板上的十字线图象以平行光束射入望远镜1内。因望远镜的分划板7位于物镜6的焦面上,因此,平行光管2内分划板4上的十字线便成象在望远镜的分划板7上。由于导轨不平直而使平行光管的垫铁产生了一个微小的倾斜角度 α 时,即使分划板4上的十字线图象投射到刻有瞄准线的分划板7上时偏转了一个 Δ_2 的距离。 Δ_2 的大小随望远镜的焦距 f ,垫铁9的长度 L 和导轨直线度变动量 Δ_1 的变化而变化,其相互关系式如下:

$$\Delta_2 \approx f \alpha \approx f \frac{\Delta_1}{L}$$

式中, Δ_2 、 f 和 L 为已知数,由此便可得

$$\Delta_1 = \frac{\Delta_2 L}{f}$$

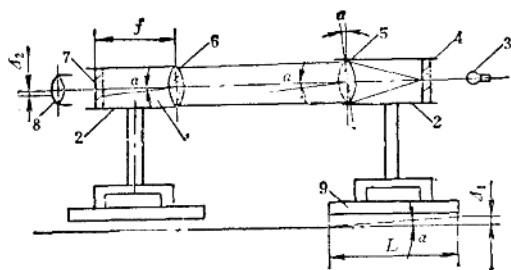


图2-1-19 准直仪工作原理

1—望远镜 2—平行光管 3—光源 4、7—分划板
5、6—物镜 8—目镜 9—垫铁

从目镜的测微手轮盘上读出 Δ_2 值后,根据上式,便可以算出平行光管在该段导轨上的斜率 Δ_1/L 。

利用准直仪测量导轨直线度时,将望远镜固定在机床导轨的一端,平行光管固定在专用垫板上置于导轨的另一端,并进行对光轴校正,即调整两个镜筒,使平行光管分划板4上的十字线与望远镜分划板7上的瞄准线对准。然后将带有平行光管的垫

板沿着被检查的导轨依次移动一个垫板 L 的长度(移到最后,如果不是一个垫板长度时,则使垫板与导轨末端放齐即搭接但仍以一个 L 计),在每档测量位置上观察平行光管中的十字线与望远镜目镜分划板的瞄准线是否对准,用转动目镜测微手轮来调整分划板使与十字线对准,在测微手轮上读出误差 Δ_2 的读数。然后,按一组读数作图或计算导轨误差。

(2) 用光学平直仪(自动准直仪)测量导轨直线度的原理 平直仪由仪器本体及反射镜座两部分组成:①在仪器本体里装有发光灯泡1(图2-1-20),刻有“+”形划线的固定分划板2,由双三棱镜组成的立方棱镜3,两块相互平行的平面镜4及由两片透镜组成的物镜5,这一部分光学元件组成平行光管;②由可动分划板6,放大目镜7及测微手轮8等元件组成的读数显微镜。

光线由灯泡发出,将位于物镜焦点平面上的带有“+”形分划板之十字象经立方棱镜、两平面镜及物镜形成平行光发射至反射镜,若反射镜的平面与平行光轴垂直,则光线由反射镜经原光路反射回发光光源。但光线在反射回发光光源的途中经过立方棱镜,因立方棱镜是由两个三棱镜组成,在对角线的平面上涂有半透明膜,反射回来的光线其中一部分则由此层半透明薄膜向上反射聚焦成象在可动分划板上,此分划板是位于目镜的焦点平面上,固定分划板上的十字象映在可动分划板上。

若反射镜有微量倾斜的变化,则经反射的光线在可动分划板上所成之“+”象亦随之产生位移,由手轮、丝杆组成的测微机构可测出此位移量,亦可测量出反射镜的倾斜角。仪器的结构见图2-1-21。

上海生产的光学平直仪有两种规格,其技术数据列表2-1-2。

因为光学平直仪是属于测角仪器,所以反射镜垫板的长度和水平仪垫板的长度一样是决定导轨直线度线值的一个参数。如用HYQ03型光学平直仪测量导轨,当刻度值是一格时,则导轨直线度的线值

$$\Delta = \text{tg} 1'' \times L = \frac{0.005}{1000} \times L. \text{ 当 } L = 200\text{mm 时}$$

$$\Delta = \frac{0.005}{1000} \times 200 = 0.001\text{mm}$$

又如用HYQ011型光学平直仪, $L = 200\text{mm}$ 时

$$\text{一小格 } \Delta_{\text{小}} = \frac{0.0025}{1000} \times 200 = 0.0005\text{mm}$$

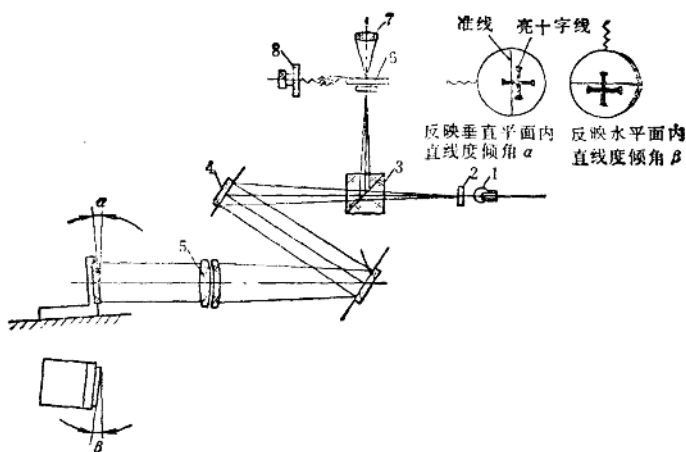


图2-1-20 HYQ03型光学平直仪原理图

1—灯泡 2—带有十字线的固定分划板 3—立方棱镜 4—平面镜 5—物镜 6—可动分划板
7—目镜 8—测微手轮

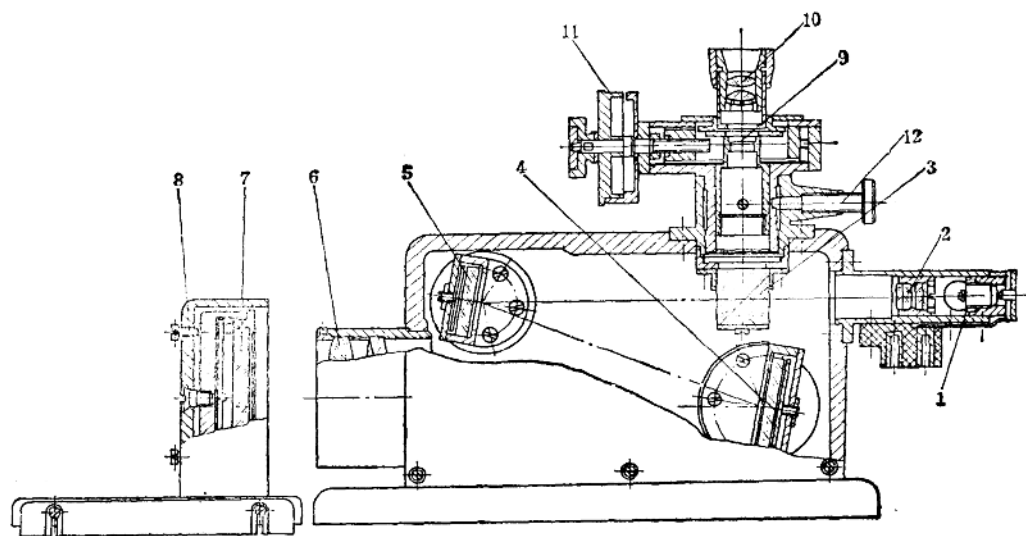


图2-1-21 HYQ03型光学平直仪结构图

1—灯泡 2—带有十字线的固定分划板 3—立方棱镜 4、5—平面镜 6—物镜 7—反光镜 8—调整螺钉
9—可动分划板 10—目镜 11—测微手轮 12—夹紧螺钉

表2-1-2 光学平直仪的技术规格

型 号	HYQ03	HYQ011
能测导轨长度	约 5 m	约 10 m
物 镜 焦 距	400 mm	800 mm
物镜通光口径	φ 40 mm	φ 80 mm
目 镜 倍 数	20×	20×
测 量 范 围	± 500 刻度值 (≈ ± 500″)	± 250 刻度值 (≈ ± 250″)
格 值	每格 ≈ 1″ (0.005/1000)	每小格 ≈ 0.5″ (小格) (0.0025/1000) 每中格 ≈ 1″ (中格) (0.005/1000)

$$\text{一中格} \quad \Delta_{\text{中}} = \frac{0.005}{1000} \times 200 = 0.001 \text{mm}$$

(3) 测量导轨直线度的方法 仪器本体要配制一个能升降调节及水平调节的支架1(图2-1-22)和按导轨形状配制的一个安放反射镜座的垫铁2, 垫铁长度取200mm时计算较方便(也可取250、500mm), 一般以仪器测量长度的 $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{20}$ 为宜。

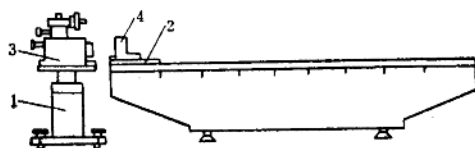


图2-1-22 利用光学平直仪测量导轨直线度

1—调节支架 2—反光镜垫铁 3—光学平直仪本体
4—反射镜

在距床身一端距离不远的地方放调节支架1, 其上固定光学平直仪本体3, 将反射镜2置于垫铁上移至被测导轨靠近仪器本体的一端, 调节支架用目测使本体的镜头基本上平行于被测导轨, 高低亦与反射镜等高。左右摆动反射镜, 同时观察目镜(此时电源已接通, 灯泡已发亮), 使可动分划板上映出的“+”形图象位于视场中心位置, 对准数字10(HYQ03)或5(HYQ011), 然后移动反射镜垫板2使反射镜移至导轨另一端, 再观察亮十字线是否出现在分划板的视场中, 必要时重新调节支架和平直仪本体使十字形图象能很清晰完整地出现在视场中。用压板或橡皮泥将仪器和反射镜固定, 否则在测量过程中常会出现轻微走动而不觉察, 就会导致测量错误。

将被测导轨按垫铁长度等分若干段作好记号, 反射镜可依次由后向前移动, 反射镜在第一档位置时, 观察目镜, 调节微调手轮, 使可动分划板上的黑色基准线对准亮十字线的一边, 记下手轮刻度值。顺序向前移动一个垫铁距离, 再观察目镜, 视准线与亮十字线是否重合。不重合时, 再调节微调手轮使准线仍如第一档位置时一样对准, 记下手轮读数。如此重复, 顺序前进。然后再自前向后重复测量一次, 若相同位置往返两次读数相差2格以上, 则可能是仪器已走动, 须重新测量。

在每档位置, 将两次读数取平均值, 即作为测量的原始数据。

在测量导轨垂直平面内的直线度时, 读数目镜

座须按图2-1-23 a所示位置放置。当测量导轨在水平平面内的直线度时, 读数目镜须按图2-1-23 b所示位置放置。在改变目镜的位置时, 应先松开夹紧螺钉, 将读数头转过90°后再紧固夹紧螺钉。

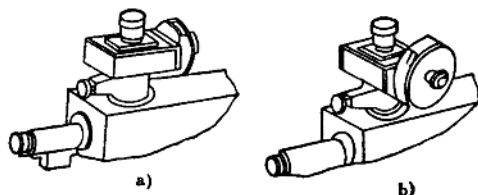


图2-1-23 读数目镜座的正确位置

a) 测量导轨垂直平面内直线度
b) 测量导轨水平平面内直线度

(4) 光学平直仪读数后用作图法计算导轨直线度误差

例 光学平直仪测量导轨全长2m, 用200mm垫铁。

现将导轨在测量时, 读取的两组读数, 顺序填入表2-1-3, 填写步骤如下:

- ① 由后向前读数顺序填入第一行(由右向左填)。
- ② 由前向后读数反顺序填入第二行。
- ③ 取两组读数的平均值。
- ④ 将读数的平均值减去一个数值28, 目的是使各读数靠近在0-x轴线附近, 便于作图。也可减少差错的可能性。因此这个数值应取平均值附近的任意近似整数, 在该例中, 可取28~43内任意数值。

⑤ 顺序叠加, 即第1项第一位数相加后, 拖向下格, 后再与第二位置简化读数叠加后, 拖向下格, 再与第三位简化读数叠加后拖向下格直至末项(如表2-1-3中箭头所示)。

⑥ 作图, 取坐标轴0-x为1:20; 0-y轴精度偏差值取1000:1。将叠加后的第5行数值标于坐标纸上, 并顺次序连接各点坐标点得一曲线(图2-1-24)。

连接首尾两端点成一基准轴线, 导轨直线度可由曲线对基准线的垂直坐标0-y轴读出。本例为21μm。

(5) 光学平直仪读数后用数学运算计算导轨直线度误差

表2-1-3 导轨直线度计算表(一)

(μm)

序号	测量位置 (mm)	0~200	200~400	400~600	600~800	800~ 1000	1000~ 1200	1200~ 1400	1400~ 1600	1600~ 1800	1800~ 2000
1	由后向前读数	27.5	30	30.5	33	35.4	38	38	38.5	40.5	43
2	由前向后读数	28.5	31	31.5	34	36.2	39	40	39.1	41.5	44
3	平均值	28	30.5	31	33.5	35.8	38.5	39	38.8	41	43.5
4	简化读数减去一个任意数28	0	2.5	3	5.5	7.8	10.5	11	10.8	13	15.5
5	各点叠加数(原点为0)	0	2.5	5.5	11	18.8	29.3	40.3	51.1	64.1	79.6

表2-1-4 导轨直线度计算表(二)

(μm)

序号	测量位置 (mm)	0~200	200~400	400~600	600~800	800~ 1000	1000~ 1200	1200~ 1400	1400~ 1600	1600~ 1800	1800~ 2000
1	由后向前读数	27.5	30	30.5	33	35.4	38	38	38.5	40.5	43
2	由前向后读数	28.5	31	31.5	34	36.2	39	40	39.1	41.5	44
3	平均值	28	30.5	31	33.5	35.8	38.5	39	38.8	41	43.5
4	简化读数减去一个数35	-7	-4.5	-4	-1.5	0.8	3.5	4	3.8	6	8.5
5	求代数平均值	[(-7)+(-4.5)+(-4)+(-1.5)+0.8+3.5+4+3.8+6+8.5)]+10=0.96									
6	求减后读数	-7.96	-5.46	-4.96	-2.46	-0.16	2.54	3.04	2.84	5.04	7.54
7	各点叠加数(原点为0)	-7.96	-13.42	-18.38	-20.84	-21	-18.46	-15.42	-12.58	-7.54	0

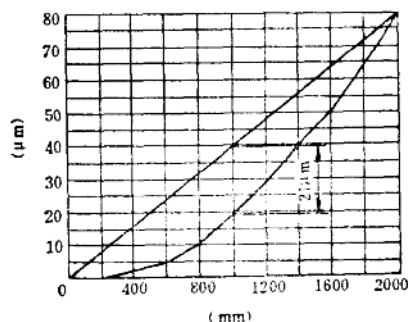


图2-1-24 检具运动曲线

例 条件与测量对象同上例。

第①~④步,与作图法相同。

⑤ 求算术平均值:将各简化数相加,除以测量档数。

⑥ 求减后读数:将各简化数减去(或加上)算术平均值。

⑦ 求各点叠加数:即把各减后读数顺序连续叠加。

由数列中看出 $-21\mu\text{m}$ 为导轨的最大直线度误差。

将各步骤列入表2-1-4。

此例的最后一档数值0是校验运算是否正确的参考数,如果在取算术平均值时没有余数和欠数,该档数值应为“零”便是计算正确。若取近似值而有差额数(如0.96取1则差0.04,10档共差 -0.4),则最后第10档为 -0.4 时,计算正确。导轨最大直线度误差为 $-21.20\mu\text{m}$,位置亦在第5档。

当导轨的全长不能为反射镜垫铁长度整除时,如2.25m导轨,用200mm垫铁测量则在250mm最后一档搭接测量两次,读数按两档计,以22档读数运算,用2.4m横坐标作图。

为了直观起见,将表中第7行数值作图如图2-1-25所示,这和水平仪读数数学运算法一样,曲线的图形较图2-1-24虽有了变化,但各点位置的坐标值和上例一致。

当用数学运算法出现正负数时,说明曲线呈波折,把最大的负数和正数的绝对值相加,即为导轨

表2-1-5 导轨直线度计算表(三)

(μm)

序号	位置(mm)	0~200	200~400	400~600	600~800	800~1000	1000~1200	1200~1400	1400~1600	1600~1800	1800~2000
1	原始读数平均值	45	47	50	53	56	58	55	51	49	46
2	减去45后求简化数	0	2	5	8	11	13	10	6	4	1
3	求平均值	$(0+2+5+8+11+13+10+6+4+1) \div 10 = 60 \div 10 = 6$									
4	求减后读数	-6	-4	-1	2	5	7	4	0	-2	-5
5	各点叠加数 (原点为0)	0-6	-10	-11	-9	-4	+3	+7	+7	+5	0

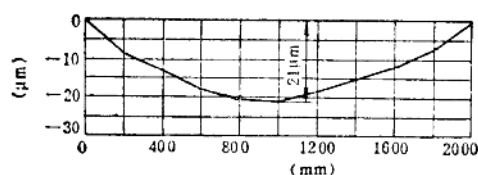


图2-1-25 基线与坐标轴重合后的运动曲线

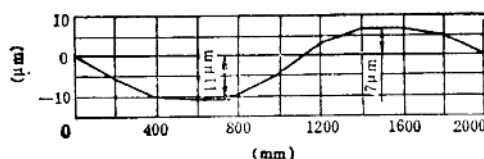


图2-1-26 检具的运动曲线(波折)

的最大直线度误差。

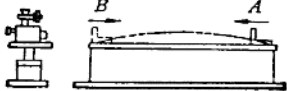
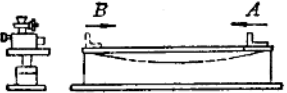
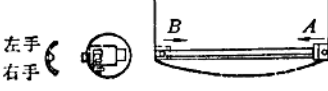
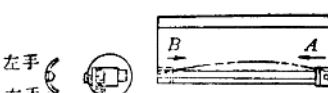
例如用光学平直仪测量导轨全长2m，用200mm反射镜垫铁，原始读数以及运算过程列于表2-1-5。

导轨直线度误差 $\Delta = |7| + |-11| = 18\mu\text{m}$ 。

按表中第5项叠加数作图2-1-26后可知是波折曲线。

(6) 导轨直线度误差方向的判断 用光学平直仪测量导轨直线度时，其误差方向的凹或凸，在读数中不能象水平仪那样比较容易判断。而各种不同产品的平直仪规律也不尽一样，一般可以用薄纸垫高反射镜垫铁的一端来搞清十字象在可动分划板上的移动方向是否与测微手轮上的读数变化相一致来确定，按HYQ03和HYQ011型光学平直仪的设计结构，可由表2-1-6确定导轨弯曲方向。

表2-1-6 导轨弯曲方向的确定

 	 							
导轨直线度方向	测量垂直平面内直线度				测量水平面内直线度			
反射镜移动方向	图1A	图1B	图2A	图2B	图3A	图3B	图4A	图4B
测量时之读数	由小→大	由大→小	由大→小	由小→大	由大→小	由小→大	由小→大	由大→小
计算叠加后数值	负	正	正	负	正	负	负	正
导轨弯曲方向	凸		凹		凸向右		凸向左	

7. 基准旋转法求直线度误差

(1) 基准变换的目的 用作图计算法求直线度误差的方法比较麻烦, 作图求符合最小条件的包容线要在误差曲线上凭直观判断画出来, 有时难以画准, 而用包容线计算法则要通过两端点连线作为过渡基准, 也不是很简便。

有一个更简便的方法, 既符合最小条件, 又能直接根据测量读数求出直线度误差, 这就是把基准经过适当变换(旋转和平移), 使测量基准和评定基准重合, 测量读数也经过变换, 就能直接求出直线度误差, 这种方法称为“基准旋转法”。

被测实际线的直线度误差是相对于理想形状而确定的, 评定误差的理想直线是包容线, 叫评定基准。测量时, 事先不知道包容线的位置, 常常是以水平线或量具、平板等比较方便的基准为出发点进行测量, 这种测量时依据的理想直线或平面, 称为测量基准。测量基准和评定基准常常不相重合, 测出的结果就不能直接判断为直线度误差, 因而要经过数据处理才能求得。两端点连线作为评定基准不符合最小条件, 得到的往往是偏大的误差值。只有当测量基准和评定基准重合, 而又符合最小条件时, 测量读数才能直接反映直线度误差。因此, 我们可以设法使测量基准平移一个距离和旋转一个角度, 使它与符合最小条件的评定基准(包容线)重合, 这时, 测量读数经过适当变换, 便能求得直线度误差。这就是基准变换所要达到的目的。换句话说, 我们可以改变被测线相对于理想直线(包容线)的相互位置, 经过平移和旋转, 获得符合最小条件的位置, 并用测量数据的增减代替实际线位置的调整, 从而求出直线度误差。

如图2-1-27所示, 测量基准为水平线(0x轴), 评定基准为包容线 L_1 、 L_2 。测量基准和评定基准不重合, 倾斜一个角度。设想将0x轴旋转一个角度, 与下包容线 L_2 重合(或与上包容线 L_1 重合), 实际线上各点经过坐标变换, 以便获得符合最小条件的位置, 就能求出直线度误差。

位置变换是相对的, 也可以旋转和移动测量基准, 使测量基准相对于实际线的位置符合最小条件(与包容线重合)。光隙法测量直线度时, 转动刀口尺, 使两端光隙相等, 符合最小条件, 便得到正确的直线度误差值。

也可以旋转和移动被测实际线, 使它相对于测

量基准的位置符合最小条件。如图2-1-28所示, 转动被测零件, 使两端间隙相等($\Delta_1 = \Delta_2$), 即0-0线与平板重合, 也能得到正确的直线度误差值。这

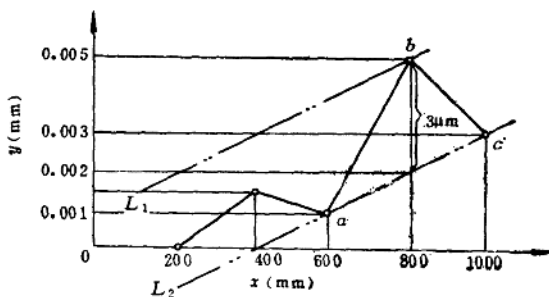


图2-1-27 包容线

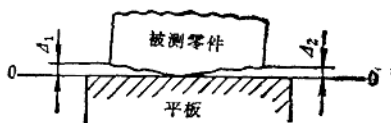


图2-1-28 光隙测量

种情况的实用价值更大。

当测量基准选定以后, 设法旋转实际线, 使实际线相对于测量基准的位置符合最小条件, 就可以在任选基准进行测量后, 很方便的求得真正的直线度误差。这是我们采用“基准旋转法”所要达到的实际目的。以下介绍的原则、方法和示例都是以此出发点。

(2) 旋转法的原则

1) 两项假设

① 计量方向不变 即平移和旋转后计量方向仍然垂直于测量基准, 不随评定基准的旋转而改变。这是因为测量基准和评定基准之间的夹角很小, 由旋转夹角而产生的误差也很小, 可以忽略不计。

② 平移旋转后, 使被测点相对于测量基准的距离朝着符合最小条件的方向变化, 使这些点中的最大误差达到“最小”(即为被测线符合最小条件的直线度误差)。

2) 数值增减规律

① 被测线相对于测量基准平移后, 各点测量数据同加或同减同一数值(即各点相互位置关系没有变化)。

② 被测线绕线上某一点旋转后, 在旋转中心两侧各点的增量和各点到旋转中心的距离成正比,

两侧的方向相反(图2-1-29)。

假设被测线绕0点旋转,由位置1旋转到位置2,计量方向不变,仍然垂直于测量基准,被测线上 P_1 点的增量为 Δ_1 , P_2 点的增量为 Δ_2 ,则有: $\Delta_1:\Delta_2 = x_1:x_2$,而 Δ_1 和 Δ_2 的方向相反。

3) 判别准则 被测线在平移和旋转后,相对于测量基准的位置符合最小条件时,判别线上各点的误差分布符合最小条件的准则简称为判别准则。

如果极峰和极谷的位置符合以下两种情况之一,则被测线的位置符合最小条件:

- ① 极峰的位置在两个极谷的中间(两谷夹一峰);
- ② 极谷的位置在两个极峰的中间(两峰夹一谷)。

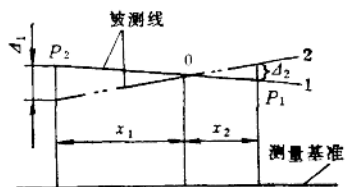


图2-1-29 旋转测量

(3) 旋转的方法 将被测线相对于测量基准平移一个距离和旋转一个角度,目的是要使被测线符合最小条件的包容线和测量基准重合,以便直接求出直线度误差值。旋转的方法是:

1) 建立上包容线(也可以建立下包容线) 将测量基准(0x轴)平移至最高点, 0_1x_1 为上包容线(图2-1-30)。

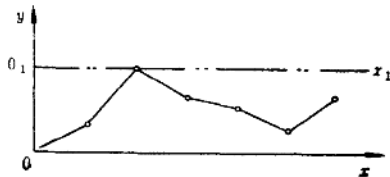


图2-1-30 建立上包容线

由于平移是相对的,可认为被测线下移,即移下最高点的y坐标值(误差值),被测线上各点应同时减去最高点的y坐标值(误差值),即得各点相对于上包容线的误差值。

2) 旋转被测线,使其上各点的分布规律符合判别准则(即符合最小条件)。旋转时要合理选择旋转中心、旋转方向和旋转量。旋转中心可选在最

高点(有二个以上最高点时,则视情况选择其中一点)。旋转方向和旋转量的选择应在不出现正值(保证上包容线和实际线不相割)的前提下,通过旋转以减小最大误差值(不允许出现比原来最大负值还要负),直到各点的分布规律符合判别准则为止。

3) 求直线度误差 各点中数值最大的误差值即为直线度误差。

(4) 举例

例1 用准直仪按节距法测直线度,桥板跨距250mm,仪器分度 $1''(0.005/1000)$,共测5档。

① 仪器读数 a_i (格):

8.76, 8.78, 8.79, 8.75, 8.74

② 以第1档作为测量基准时的相对读数 a'_i :

0, +2, +3, -1, -2

③ 相对于测量基准的误差 $\sum_{i=0}^i a'_i$:

0, 0, +2, +5, +4, +2

④ 建立上包容线,各减最大正值(+5):

-5, -5, -3, 0, -1, -3

⑤ 旋转:

以0值点为旋转原点,顺时针旋转(以减小-5的负值),单位旋转量取为0.5,即分别各加以下数值:

+1.5, +1, +0.5, 0, -0.5, -1

得 -3.5, -4, -2.5, 0, -1.5, -4

至此,极峰(0)的位置在两个极谷(-4)的中间,故包容线的位置已符合最小条件。

⑥ 求直线度误差:

取各点中最大的误差(-4)点,即直线度误差值为4格(5μm)。

这和作图法(图2-1-31)的结果是一致的。

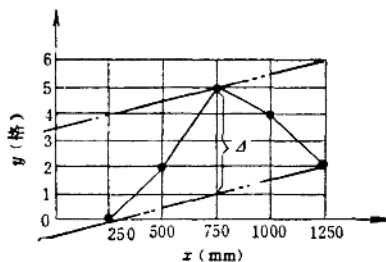


图2-1-31 作图法求直线度误差

例2 根据测得数据,用旋转法求直线度误差

上有两极峰点)。

应当指出,也可以建立下包容面来求直线度误差,计算时,作相应的变换,具体做法就不再叙述了。

本例还说明用两端点连线法计算出的直线度误差,当其不符合最小条件时,即可用旋移法求出正确的直线度误差,不必再用包容线计算法进行复杂的计算了。

(二) 单导轨表面扭曲的检验方法

对于每条导轨的表面形状,除了在水平面内和垂直平面内有直线度要求外,为了保证导轨和运动部件相互配合良好,提高接触率,还要求控制导轨表面的扭曲,这对大型导轨特别重要。在刮研时,为了测量导轨间的平行度,作为基准测量用的导轨,更要防止有严重扭曲。

导轨表面扭曲的检验方法如图2-1-32所示, V形导轨用V形水平仪垫铁,平导轨用平垫铁,从导轨的任一端开始,移动水平仪垫铁,每隔200~500 mm读数一次,水平仪读数的最大代数差值,就是导轨的扭曲误差。该项误差要求在机床精度标准中都未规定,主要规定于刮研或配磨工艺中。

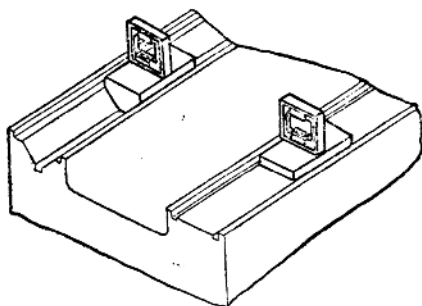


图2-1-32 单导轨扭曲的检验

(三) 导轨平行度的检验方法

1. 千分表拉表检验法

这是较常用的测量方法之一,图2-1-33中是利用各种专用垫铁或桥板结合千分表检验导轨与导轨表面的平行度的方法。在全长内千分表指针的最大偏差,即平行度的误差。当利用千分表测量导轨的平行度时,要防止单导轨的扭曲使专用垫铁和千分表产生回转,这样往往会造成测量误差。因此,用图2-1-33 g的方法测量平行度时,应先检查三角导

轨的单导轨扭曲,先修刮三角导轨,使单导轨扭曲合格后再测量。

2. 千分尺测量法

千分尺测量导轨面间是否平行,也是在机床刮研时较多采用的一种测量方法(图2-1-34 a)。

机床导轨两个要求平行的导轨表面,在导轨的前中后三点用千分尺测量,比较三个读数的大小,以了解平行度情况。图2-1-34 b是下接触式的燕尾导轨,利用两根直径相等的圆柱棒紧靠导轨表面,用千分尺在导轨两端进行测量,千分尺读数的变化值就是导轨的平行度误差。圆柱棒直径,可按表2-1-9选择,长度约50 mm。

3. 桥板水平仪检验法

两条导轨在垂直平面内的平行度,采用水平仪及检验桥板进行测量,方法简便,测量精度也较高。其误差的计算一律采用角度偏差值表示,当桥板在导轨上移动时,每隔250 mm(小机床短导轨)或500 mm(长床身)记录一次水平仪读数,水平仪在每1 m行程上和全部行程上读数的最大代数差,就是导轨平行度误差。

例如,有一床身导轨全长2 m,其平行度允差,在1 m长度上为 $\frac{0.02}{1000}$,在全长上为 $\frac{0.03}{1000}$ 。

现用水平仪精度为 $\frac{0.02}{1000}$,检验桥板每250 mm移动一次,取得8个读数,列于表2-1-10,检查方法如图2-1-35所示,其1 m长度上的最大平行度误差在3~6'位置处,其误差为 $\frac{0.01}{1000} - \left(-\frac{0.01}{1000}\right) = \frac{0.02}{1000}$,精度合格;全长上的平行度误差为2~8'的位置处,其误差值为 $\frac{0.015}{1000} - \left(-\frac{0.015}{1000}\right) = \frac{0.03}{1000}$,精度亦未超差。

根据各种不同型式的导轨,应设计各种不同的桥板,桥板设计时要求与导轨面的接触面小(如线接触)才能有较好的灵敏度。图2-1-36所示为四种不同型式的桥板结构。

(四) 导轨垂直度的检验方法

机床溜板的导轨,如车床溜板、铣床溜板、镗床溜板等零件,一般都设计成上下互相垂直的十字导轨,便于在工件加工时能加工出纵横互相垂直的工作表面。横梁类零件,在立柱上作垂直移动,而刀架则又在其导轨上作水平移动,因此亦要求横梁