

光干涉仪检测后的结果。

2 设备的基本原理和组成

根据国家专业技术标准对水准标尺的精度要求,我们设定标尺模板的全分划刻线误差满足:

$$\Delta' \leq \pm (0.001 + 0.7L \times 10^{-5})(\text{mm}) \tag{2}$$

同时要求模板孔形规则,所有孔排列平齐,孔间隔一致,孔的左右边线平行。

图 2 是设备的原理图。工作时,母尺带一端固定,另一端串接一弹簧并加拉力 2kg 后固定,并保证母尺带的直线方向和导轨直线方向平行。冲模实际上是一个能冲制若干分划孔形的模具,被安放在床身的导轨上,且和光栅读数头固定在一起。工作时由电机带动蜗杆转动,由蜗杆驱动蜗轮转动,因蜗轮和螺母固定在一起,则使螺母转动并移动(丝杠固定),而螺母和冲模工作台固结,从而带动冲模沿导轨直线方向移动,冲孔时电机停止工作,在完成一次冲压后,电机工作并将冲模移动一个冲压步距,冲模的这个进给量由计量光栅控制,然后重复上述过程。当冲制量接近光栅量程(1 米)时,固定冲模(光栅读数头),移动光栅至起始位置并固定之,然后可以重复上述冲制过程,直到完成对整个母尺的加工。

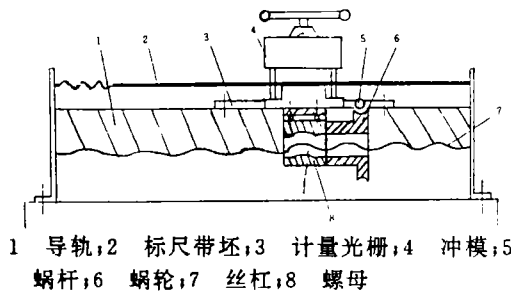


图 2 ILS—A 水准标尺模板生产设备原理图

显然在整个母尺的加工过程中,我们必须解决下述两个主要技术环节。一是高精度的冲孔模的设计,它保证了单个分划的形装和一次冲制的 5 对分划的位置精度;二是不同冲孔模进给步距的计量控制,由它来保证任意分划间隔的精度均满足式(2)的要求,且所有排分划均排列并齐。

3 冲孔模的设计

冲孔模步距定为 50mm,即一次可冲出 5 组全分划,根据母尺精度要求,冲模冲出的孔距公差比一般概念冲模冲出的孔距公差所能达到的精度还要高出 2~3 个等级,因此在模具的设计加工和装配时均要作精心安排。

综合考虑后设定冲头间距误差 $\delta_1 \sim \delta_5 \leq \pm 0.005\text{mm}$,且正负最好交替分布(如图 3 所示),以利于控制尺寸链封闭环,从而使累积误差 $\delta \leq 0.005\text{mm}$ 。而两次冲模步距的精度由光栅计量装置保证,并要求衔接误差 $\delta' \leq 0.005\text{mm}$,各项误差按上述方案分配,从而可以保证步距内的孔距和步距间的孔距合格。

凸模凹模材料均选用 Cr12MoV,采用全镶拼结构。凸、凹模分别采用 1.5mm 厚的冲头片经线切割和研磨后组装而成,并调整冲头间距误差分布按图 3 分布,调整和组装好的凸模用低熔点合金浇注固于凸模固定板。由于冲头的刚性较差,所以冲孔时可能产生弯曲变形,因此必须加卸料板导柱导套。卸料板孔与冲头的配合间隙要小而均匀,使冲孔时前者有为后者正确导向。

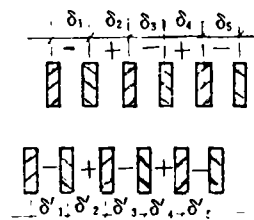


图 3 冲头分布示意图

上下模间的导套和卸料板导套都用低熔点合金浇注固定以保证工作行程内导向间隙均匀,凸凹模在固定板中的固定也用低熔点合金浇注,而不能以过盈配合

来实现。

模具装配后,在万能工具显微镜上实测凸模冲头间距,若不符合设计要求,则重新进行研磨,表(1)是对冲头间距进行 10 次观测并求平均后的误差实测值。

表 1 冲头间距误差实测值

	分 划 误 差				
	1	2	3	4	5
δ_1	+0.7	+1.6	-2.8	+1.5	-3.2
δ_2	-2.1	+1.1	-0.9	+2.4	-1.2

从实测结果看冲头间距误差值及其正负分布情况基本上符合设计要求。

4 冲模步距控制

模板冲制过程中,首先由冲模每次在母尺上冲出一个标长为 50mm 的短分划尺,然后移动冲模 50mm 再进行第二次冲制,以次进行,直到完成对整个 3 米长标尺模板的加工。而每两次冲制的冲模步距则由精密长光栅位移传感器控制(1 米长)。由于母尺长 3 米,则计量光栅要 3 米长,而 3 米长光栅的加工很困难,这里我们采用一个 1 米长的光栅,通过动态接长技术,实现了对 3 米长测量范围的量测。

光栅动态接长原理如图 4 所示,设起始工作时光栅 A 和读数头 B 处于位置 I,当光栅读数头移动到 B' 时(测长 L_1),固定读数头,再移动光栅 A 到位置 II 后,固定光栅 A',移动读数头 B' 至 B''(测长 L_2),重复上述步骤直到实现对整个 3 米范围的量测。

在这个动态接长过程中,主光栅由于在各个位置的计量原点不是以统一的原点为基准,显然会引入接长误差,即位置 II 的计量原点是 B' 处的光栅读数头的量测值,位置 III 的计量原点则是 B'',因此,读数头在 B' 和 B'' 处的量测误差将直接引入到后序各个位置的量测中。

为了克服接长误差,我们首先检测出计量光栅的误差值,并在计算机上制正表,然后根据 B' 点(或 B'' 点)位置的量测值在计算机上自动寻求修正,这样就有效地克服了动态光栅接长时因原点不一致而引起的误差积累,对此可以从图(5)所示的产品检测误差曲线上看出,我们采用的光栅位移传感器经过比较检测,光栅精度为 $<3.4\mu\text{m}$,在 1 米处的计量误差为 $+2.4\mu\text{m}$ 。

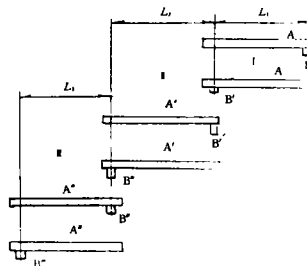


图 4 光栅动态接长原理图

5 检测结果与结论

目前 ILS-A 水准标尺生产设备已投入生产,黑龙江省测绘局测绘仪器检测中心采用双频激光干涉仪水准标尺检测设备对三类水准标尺(N3、004、007)进行了检测(检测设备精度 $1\mu\text{m}$)。检测结果表明标尺的重复性精度很好,而且均满足国家专业技术标准 ZBN31001-87 的精度要求,图(5)所示是 004 水准标尺全分划误差检测曲线,每米标准中误差 $M_0=9.2\mu\text{m}$ ($<13.0\mu\text{m}$)。标尺系统真值补偿量为 $-36.39\mu\text{m}$ ($<100\mu\text{m}$),而且由于是负值,可以通过调正拉力改正之。

母尺的系统真值补偿量可以通过调节子尺带的拉力和母尺加工时的拉力来调节,国家专业技术标准规定拉力调节量为:50~100N,拉力调节量可接下式调节:

$$\Delta S = \Delta L_{\#} + \Delta L_{\#} - \Delta L_{\mp} \approx -0.036\text{mm} \quad (3)$$

式中:

$$\Delta l = PL/EF \quad (4)$$

其中 P 为所加拉力, L 为尺长 (3000mm), E 为因瓦带的弹性模量 (15500kg/mm²), F 为受力件的截面积。

另外从整个误差曲线的分布形态上看似乎有一个周期性,这可能是由于导轨直线度和光栅接长误差没有完全消除造成的,因此如果进一步提高导轨直线度,则有利于精度的提高。

详细分析检测数据可以发现,误差离散性大的区域的分划是由于分划转移过程中产生的分划边缘的飞边引起的,由于双频激光干涉仪检测时,采用光电显微镜扫描分划,而分划的位置是基于分划中心两边的光能量积分确定的,所以这种飞边直接影响检测精度。

另外模具导向件的间隙,模板带自重引起的挠度等对分划精度也有或多或少的影晌。

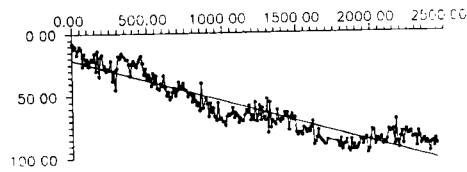


图 5 004 水准标尺全分划检测误差曲线

参 考 文 献

- [1]冲模设计手册.北京:机械工业出版社,1987
 [2]毛英泰,误差理论与精度分析.北京:国防工业出版社,1982

Development of ILS—A Equipment for Machining Invariable Levelling Staff

Wang Xinhua Gao Baoshan

(Dept. of opties engineering, wuhan Technical University of Surveying amd Mapping, Wuhan 430070)

Abstract

High precision invariable levelling staff is essential equipment in survey, seismology, geology field. Up to mow, there are still no special equipments for machining invariable levelling staff in our conantry. The paper presente the principle and configuration of ILS-A equipment we developed, especially, including the key to the technology for designing and making die and the advantages of using the dynamic grating connecting technology. Finally, we put forcuard the results detected by using laser interferometer and a discussion.

Key words: Levelling staff, Staff's carving, Grating, Matrix band.