



技术信息

用海德汉编码器打造完美表面

创造完美表面需要消耗大量时间和精力。例如，位于芝加哥千禧公园由艺术家Anish Kapoor创作的“云门”雕塑一的最终抛光消耗了24名专业人士数月时间。这个不锈钢雕塑重达99吨，体积庞大，尺寸达10 m x 20 m x 13 m，它完美无暇地展现了芝加哥的天际线。

同样，在机床行业，也经常需要这样的完美表面，尤其是模具加工中。然而，其经济性是一个重要因素。在短时间内生产严格公差要求和高质量表面的零件十分困难。模具制造中生产高质量工件需要在粗加工阶段切除大量材料，而在精加工阶段又要达到完美的表面质量。只有最优的表面质量才能避免后续成本，例如手动抛光。除机床机械结构质量和数控系统相应性能外，影响最佳铣削效果的第三个因素是测量技术。

为达到零件的更高表面质量，提供单信号周期内极小误差（细分误差）的编码器发挥着关键作用。例如，细分误差导致工件表面留下周期性的异常刀痕，这种刀痕严重影响模具制造。



云门—完美表面实例

表面缺陷突出

人眼对结构性变化非常敏感，即使工件表面极小的缺陷也能被发现。例如，对于一个像素高达500万的显示器，如果有一个像素缺陷也能被立即察觉出来。人眼对周期性表面缺陷更为敏感。测试件显示只有0.2 μm的周期性形状误差都可被清晰地分辨出来。尤其是模具制造，这些形状误差—尽管它对精度没有影响—很难消除，需要高昂的修复加工才能消除。

创造高表面质量的前提条件

周期性表面缺陷的可能原因

工件表面上的可见缺陷有不同的表现形式，可能是暗影也可能是波纹。从正常视距看，人眼能发现这些表面的不连贯现象。其原因其实完全不同：

- 影响加工过程的机床振动（参见技术信息 *动态高精*）
- 轴编码器的短周期误差（单信号周期内位置误差，即细分误差）

该“技术信息”提供了有关由于单信号周期内位置误差导致的表面缺陷。

单信号周期内位置误差

编码器直接提供的分辨率通常无法满足现代化机床要求。因此，需要对信号进行细分处理，即细分周期变化的模拟信号—通常是正弦信号—扫描信号A与B。细分倍数经常达到4096（12 bit），甚至更高。这样可以用栅距较大的测量基准获得用于控制机床的不足0.1 μm的测量步距。海德汉LC 100和LC 400直线光栅尺的测量步距甚至能达到0.001 μm。

只要两个正弦输出信号相同，也就是说相同的波形、幅值、占空比和相位差是准确的90°，细分过程就能没有误差。输出信号的误差将造成重复的误差，每个扫描信号周期重复一次。因此，它被称为单信号周期内误差或细分误差。

单信号周期内位置误差大小由以下因素决定：

- 信号周期大小
- 光栅一致性和周期确定性
- 扫描滤波器结构质量
- 传感器特性
- 模拟信号后续处理的稳定性和动态性能

单信号周期内位置误差的影响

模具制造的几何形状日趋复杂，工件加工难度越来越高。用5轴加工时，所有进给轴共同运动的情况非常普遍。如果用多个NC轴插补加工倾斜面或曲面，细分误差将直接反映到工件上。

用小角度加工倾斜面时，这个影响尤其明显。Z轴编码器的细分误差投影到倾斜工件表面上后明显可见。由于倾斜，沿刀具路径将有n倍放大的信号周期。进给轴沿Z轴运动一个信号周期时，X轴运动n个或更多个信号周期。倾斜的工件表面上波形的波长对应于Z轴编码器的n个信号周期。

由于各类倾斜面都是在自由曲面加工中形成的，因此都有相应的信号周期放大作用。人眼可以很容易发现0.5 mm至5 mm的波长。

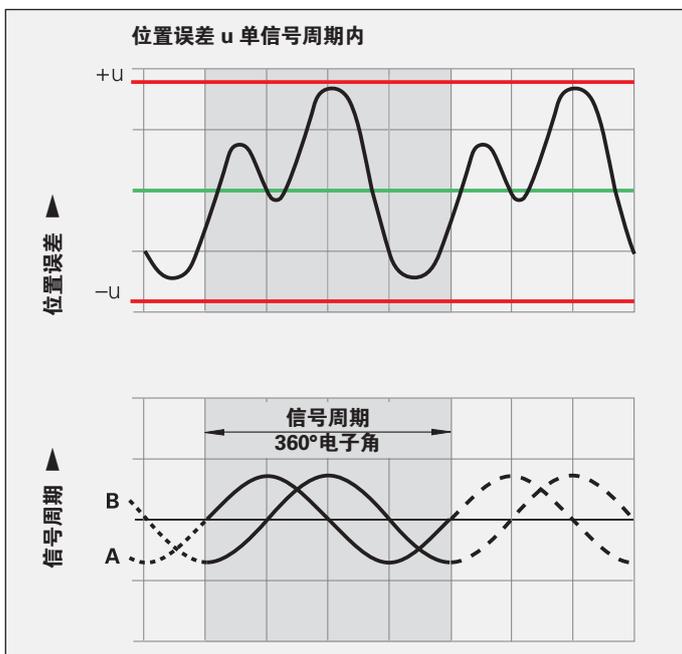


图1：单信号周期内位置误差（细分误差）

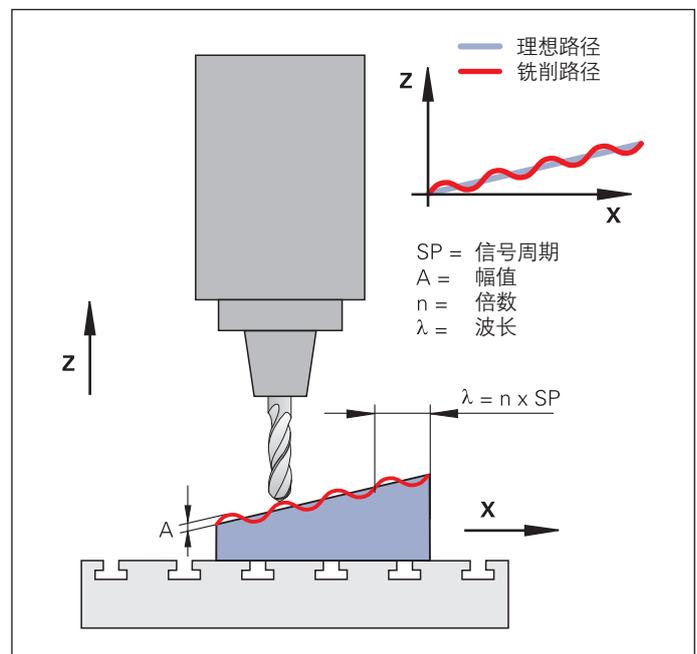


图2：图示倾斜工件上的细分误差

如果细分误差值小于100 nm，工件表面看不到缺陷。从大约200 nm的细分误差开始，细分误差都能体现在铣削结果中。如果细分误差更大，将形成光影不连续的形状误差。

加工举例

样件（图4）用一个 $\varnothing 12$ mm的球头铣刀进行多道铣削加工。三个加工面存在不同大小的细分误差。

图4顶部的工件是用最小细分误差编码器加工的，例如海德汉LC 100系列直线光栅尺。其典型细分误差远远小于100 nm。该工件表面完美。

细分误差较大编码器的工件照片则不同：由于进给轴细分误差较大，工件表面有明显的波纹。

图4中间的照片是细分误差为200 nm编码器的铣削效果。波形明显可见。如果细分误差达到500 nm，工件表面的波纹非常明显（图4，下图）。

结论

细分误差极小的编码器，例如海德汉直线光栅尺LC 100、LC 400或LF能满足没有可见波纹达到完美工件表面的铣削要求。

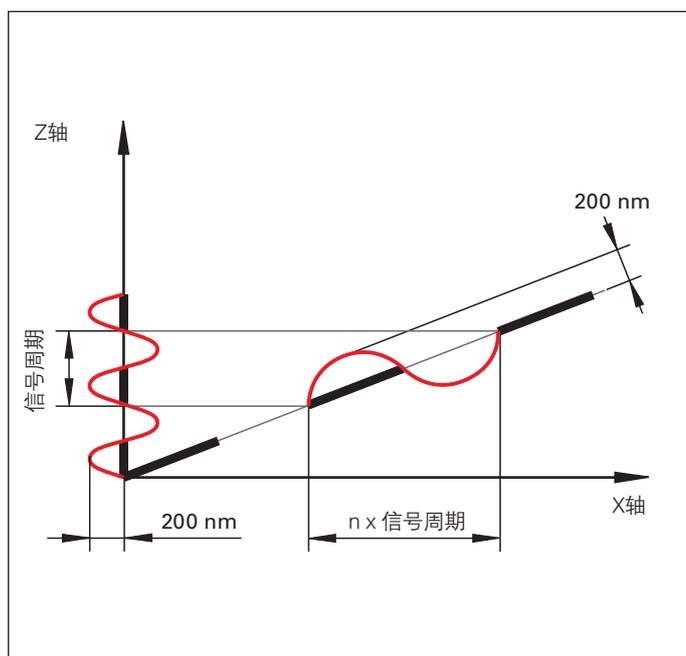
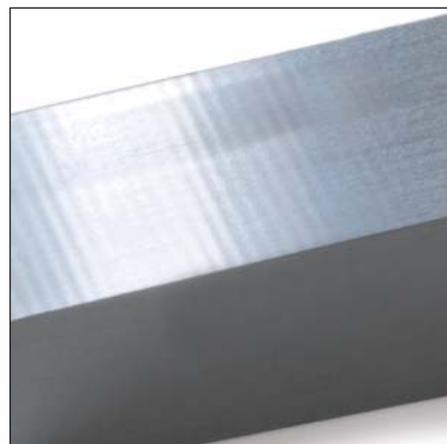
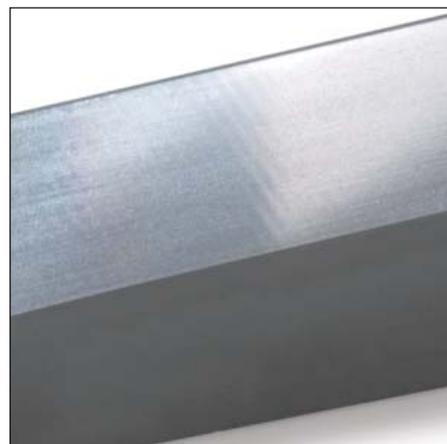
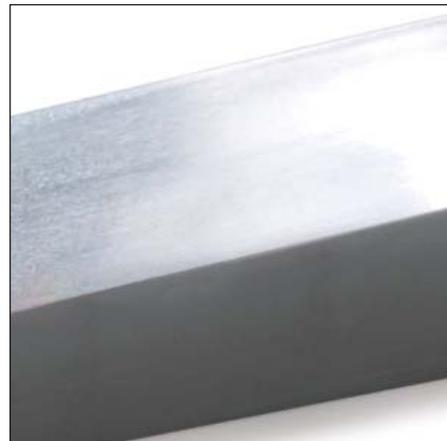


图3：倾斜面细分误差影响（例如200 nm）

图4：加工面，分别用细分误差小于100 nm（上图），200 nm（中图）和500 nm（下图）的编码器

海德汉直线光栅尺

海德汉直线光栅尺的突出特点是精度极高和耐用性极强。其高质量的信号是由于采用了超精密的DIADUR测量基准和高精度的单场扫描方法。它是极高精度和极小单信号周期内位置误差编码器的基础。

例如，海德汉LC系列直线光栅尺的最大细分误差远远小于100 nm。

从5图可见，1,000个LC 183直线光栅尺连续测量的细分误差的RMS值。85%测试的直线光栅尺的细分误差的RMS值小于12 nm。新一代LC 115直线光栅尺的RMS误差更小。

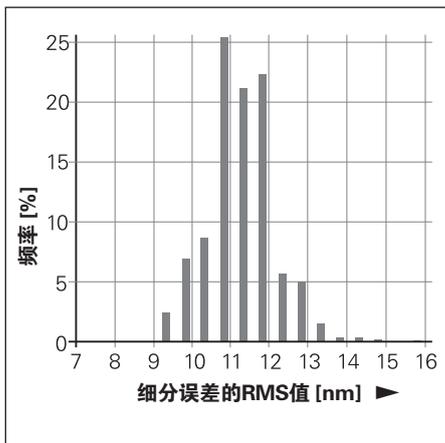


图5: 海德汉LC 183直线光栅尺细分误差分布 (RMS值)

	信号周期	单信号周期内最大位置误差	测量长度	接口	型号
紧凑外壳直线光栅尺					
绝对式	-	± 100 nm	至2040 mm ¹⁾	EnDat 2.2	LC 415
增量式	4 μm	± 40 nm	至1 220 mm	~ 1 V _{PP}	LF 485
标准外壳直线光栅尺					
绝对式	-	± 100 nm	至4 240 mm	EnDat 2.2	LC 115
增量式	4 μm	± 40 nm	至3 040 mm	~ 1 V _{PP}	LF 185

¹⁾ 超过1240 mm长的测量长度带安装板



LC 415



LF 485



LC 115



LF 185

HEIDENHAIN

约翰内斯·海德汉博士 (中国) 有限公司

北京市顺义区天竺空港工业区A区

天纬三街6号 (101312)

☎ 010-80420000

☎ 010-80420010

Email: sales@heidenhain.com.cn

www.heidenhain.com.cn

更多信息:

- 样本: 直线光栅尺用于NC数控机床
- 技术信息: 机床加工精度
- 技术信息: 用直线光栅尺提高加工精度

