



## 技术信息

# 电子工业直线电机的光栅尺和编码器

半导体工业和自动化技术需要更高精度和更高速度的机床满足日趋强烈的微型化、高质量和低成本要求。直线电机在单进给轴或多进给轴应用中发挥着越来越重要的作用。直接驱动技术的优点是摩擦小、维护简单和生产效率高。

但是，只有控制系统、电机、床身和位置编码器间相间的无缝配合才能实现这种生产效率的提升。直接驱动对测量信号质量提出了更高要求。

### 高质量测量信号

- 床身振动小，
- 无与电机转速有关的噪音，和
- 避免发热量增加，
- 使电机达到最大机械额定功率。

因此，直线电机的效率很大程度上有赖于位置编码器的选型。光学扫描的直线光栅尺或编码器都有利于直接驱动的精度，速度稳定性和温度特性。海德汉公司为电子工业提供大量专为满足该行业直线电机技术特性要求的直线光栅尺。

### 直接驱动结构

直接驱动技术的突出优点是驱动与进给部件间的连接刚性好，其中没有任何机械传递元件。因此控制环的增益比常规驱动技术高很多。

### 间接驱动的速度测量

直接驱动没有单独的测量速度的编码器。位置和速度全部由位置编码器测量：直线电机用直线光栅尺，旋转轴用角度编码器。由于速度编码器和进给机构间没有机械传递，相应地位置编码器必须具有高分辨率才能在低速运动时提供准确的速度控制。速度用单位时间内的运动距离计算。这个方法也适用于常规轴 – 数字差将放大周期性波动或信号噪声。

控制环的高增益 – 特别是用在直接驱动中情况，以及光栅尺或编码器信号质量的不够好这两个因素将极大地降低驱动系统性能。



# 电子工业中直线电机的光栅尺和编码器要求和影响

## 位置编码器信号质量

现代光栅尺和编码器分为两类：计数类的增量式和绝对式位置测量。光栅尺或编码器将行程信息转换成两路相位差为90°的正弦信号。两种光栅尺或编码器都需要通过细分正弦扫描信号使分辨率达到足够高。如果扫描信号质量不高，例如测量基准上的污点，和信号处理能力不足将使信号波形偏离理想的正弦曲线。那么信号细分时，将导致编码器输出信号在一个信号周期内出现周期性的位置误差。这种单信号周期内的位置误差称为“细分误差”。通常，高质量光栅尺或编码器的细分误差为信号周期的1%到2%。

## 细分误差的影响 发热和噪声

如果细分误差频率较大，进给驱动将无法吻合误差曲线。那么细分误差导致的电流分量使电机噪声增大和电机发热量增加。

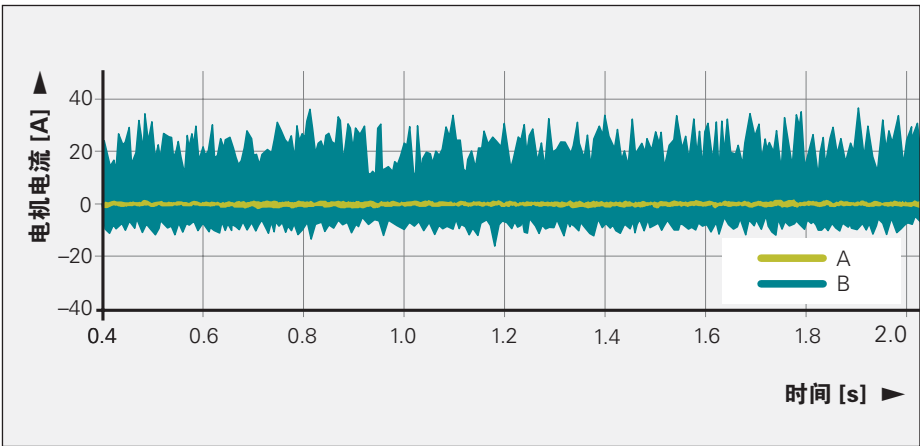
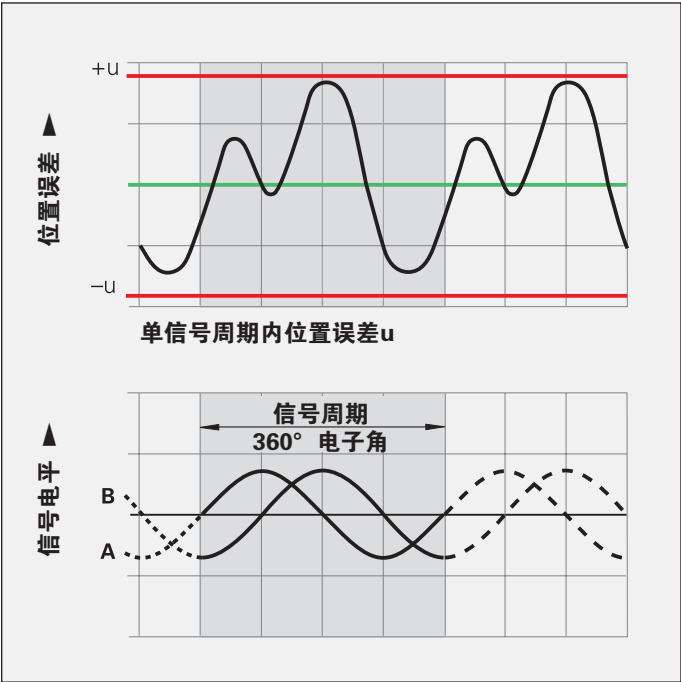
如果比较细分误差大的直线光栅尺与细分误差小的直线光栅尺，可以清楚地发现高质量位置信号的重要性。这里的LIDA直线光栅尺只使电机电流产生非常微小的波动：电机工作正常，几乎不发热。

如果控制系统设置相同，但调整情况差，同一个编码器的细分误差将变大，电机电流产生的噪声也大。这也造成电机噪声加大和发热量增加。

## 动态性能

直线驱动通常用数字滤波器改善位置信号的平滑性能。但是，速度控制环中的滤波带来的附加相位延迟必须尽可能小，否则动态精度不高。

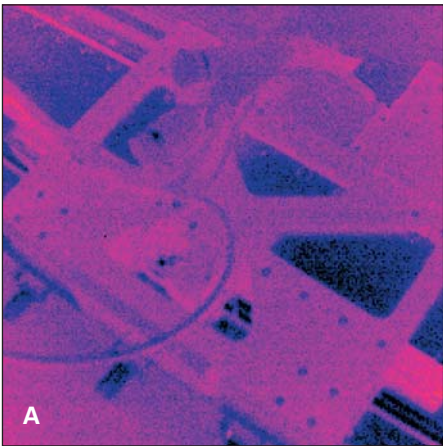
信号质量高的位置编码器可以减少滤波器的使用，也就是说能保证控制环带宽。



带位置编码器直接驱动的电机电流

A: 细分误差小

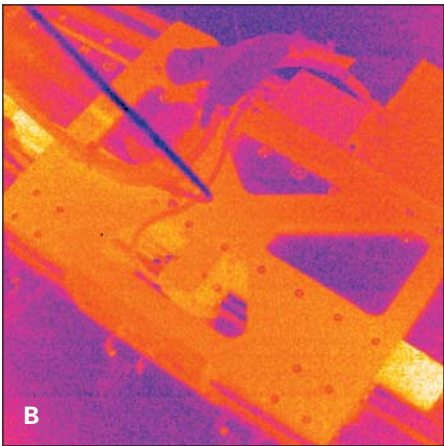
B: 细分误差大



编码器控制的直线电机发热量

A: 细分误差小

B: 细分误差大



### 直接驱动的位置编码器

位置信号质量高、细分误差小的直线光栅尺最适用于电子工业中直接驱动系统。光电扫描法的光栅尺或编码器最适用于这类应用，因为它能扫描栅距很小的光栅尺。

因此光电扫描的直线光栅尺或编码器在直接驱动系统中发挥着重要作用。

### 精密光栅

海德汉公司的光学扫描型光栅尺或编码器的测量基准都是周期刻线 – 光栅。光栅尺基体是玻璃或钢材，如果用于大长度测量时是钢带。这些精细光栅的栅距通常从  $40\text{ }\mu\text{m}$  到不足  $1\text{ }\mu\text{m}$ ，全部采用光刻工艺制造。它们都具有边缘清晰和一致性极好的突出优点，这些特点是细分误差小的基础，因此它能保证工作性能平稳和控制环的高增益。

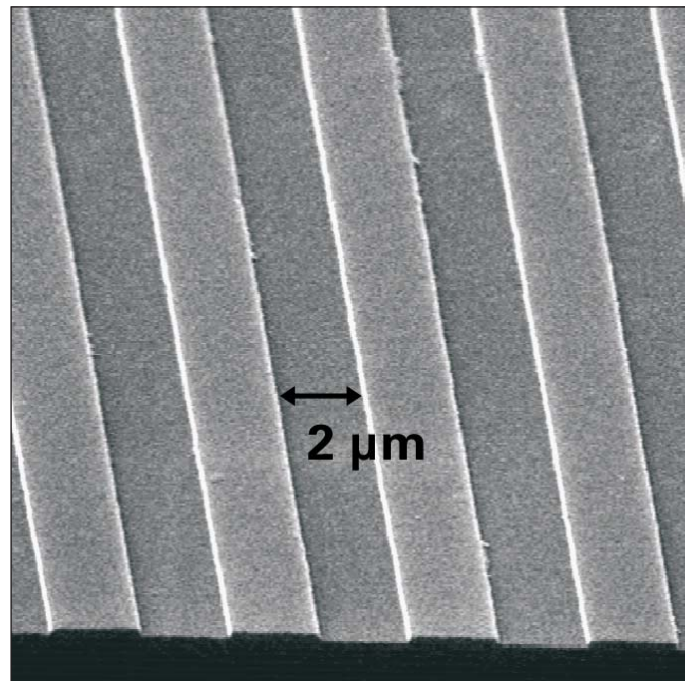
### 坚固耐磨的光栅尺

敞开式直线光栅尺的自身特点是其测量基准的抗污染能力较低。为此，海德汉公司采用独特工艺生产非常坚固耐磨的光栅。

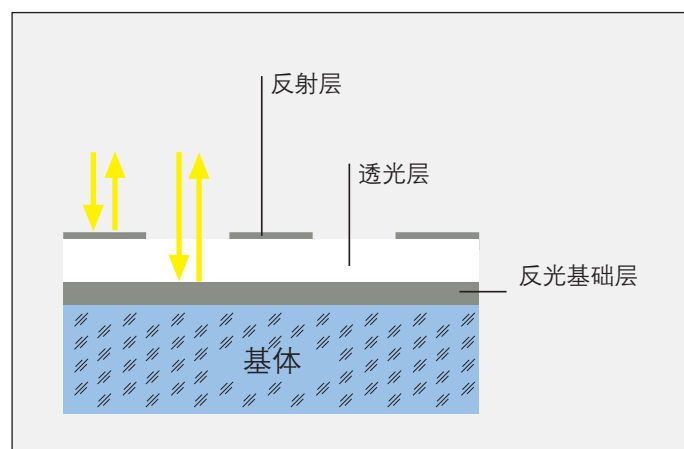
DIADUR工艺是将硬铬线刻在玻璃或钢基体上。AURODUR工艺是在钢带上刻坚硬耐磨的金线。

SUPRADUR工艺是在主反射层上加一层透光层。超细、坚硬的镀铬层用于形成光栅。实践证明，SUPRADUR工艺生产的光栅尺具有极强抗污能力，因为它刻线层超薄，灰尘、污物或水滴难以在上面留存。

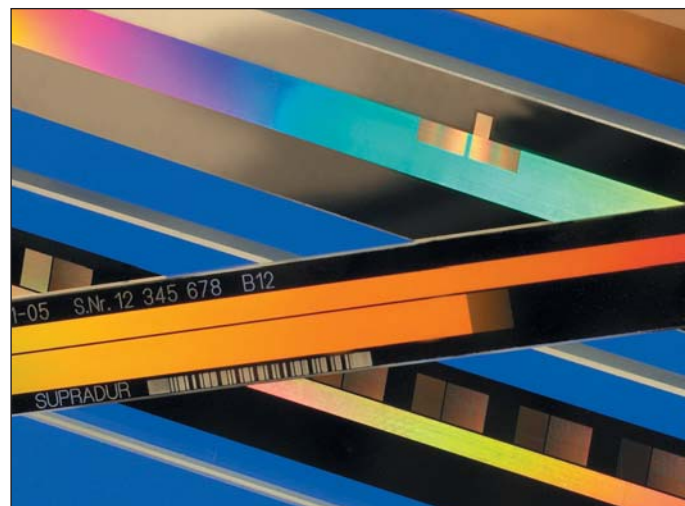
因此，海德汉公司的生产技术可确保信号的高质量持久稳定，特别能满足直接驱动系统的高要求。



DIADUR相位光栅，刻线高度约 $0.25\text{ }\mu\text{m}$



SUPRADUR工艺：光学三维光栅结构



高质量扫描

扫描方法和光栅质量共同决定着细分误差的大小。海德汉公司的敞开式直线光栅尺的单场扫描方法的突出优点是：输出信号只由一个扫描场产生。大面积扫描场和扫描掩膜形成的光学过滤器和感光传感器生成的扫描信号质量在整个行程上保持一致。这保证了：

- 信号噪声低
- 细分误差小
- 运动速度快
- 直接驱动控制环的高性能
- 电机发热量小

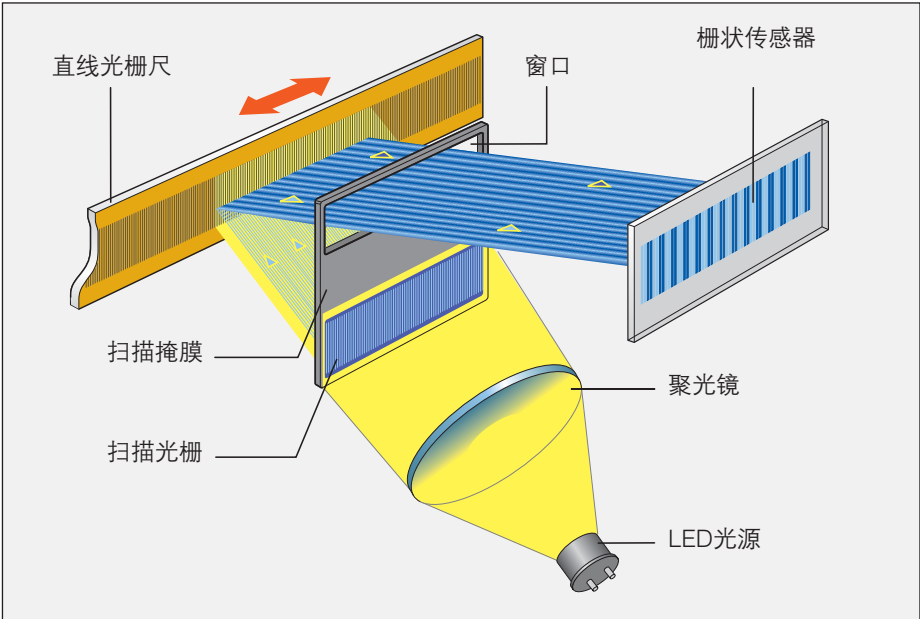
基于成像扫描原理的信号（LIDA 400）

简单的说，成像扫描原理是采用透射光生成信号：栅距相同的光栅尺与扫描掩膜彼此相对运动。扫描掩膜的基体是透明的，而作为测量基准的光栅尺可以是透明的也可以是反射的。

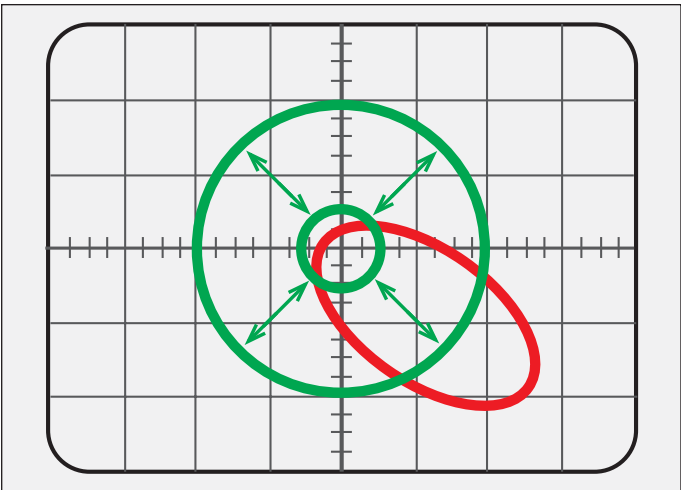
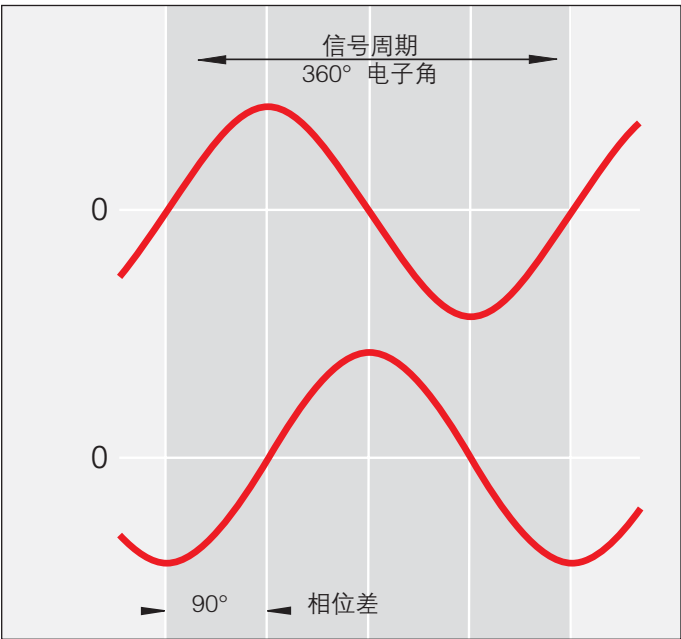
当平行光穿过一个光栅时，在一定距离处形成明/暗区。具有相同栅距的扫描光栅就位于这个位置处。当两个光栅相对运动时，穿过光栅尺的光得到调制。如果狭缝对齐，光线通过。如果一个光栅的刻线与另一个光栅的狭缝对齐，光线无法通过。光电池将这些光强变化转化成电信号。特殊结构的扫描掩膜将光强调制为近正弦输出信号。

示波器的XY坐标显示信号形成了里萨约图。理想输出信号为同心圆。偏离正圆形状和位置的误差为单信号周期位置误差，因此它直接影响测量结果。圆的大小对应于输出信号幅值，它可在一定限度内变化，不影响测量精度。

对直接驱动，如果圆形偏离正圆形将造成噪声，使控制质量下降和发热量增加。



基于成像扫描原理的钢带光栅尺的光电扫描和单场扫描（LIDA 400）



### 抗污染能力强

半导体工业的生产设备和搬运设备要求加速度快和结构紧凑。这些要求特别适合于敞开式测量系统，因为它工作时无摩擦，也无外壳，因此整个系统尺寸可以很小，重量更轻。特殊的扫描方法和生产技术使这种无密封的编码器具有极强的抗污染能力。

海德汉公司的敞开式直线光栅尺用**单场扫描**原理。只需一个扫描场生成扫描信号。光栅尺上的局部污染（例如安装时的手指印或导轨的油滴污染）影响信号分量光强，因此等量影响扫描信号。输出信号幅值虽有变化，但无偏移和无相位变化。这些信号仍可以进行大倍频细分且细分误差小。

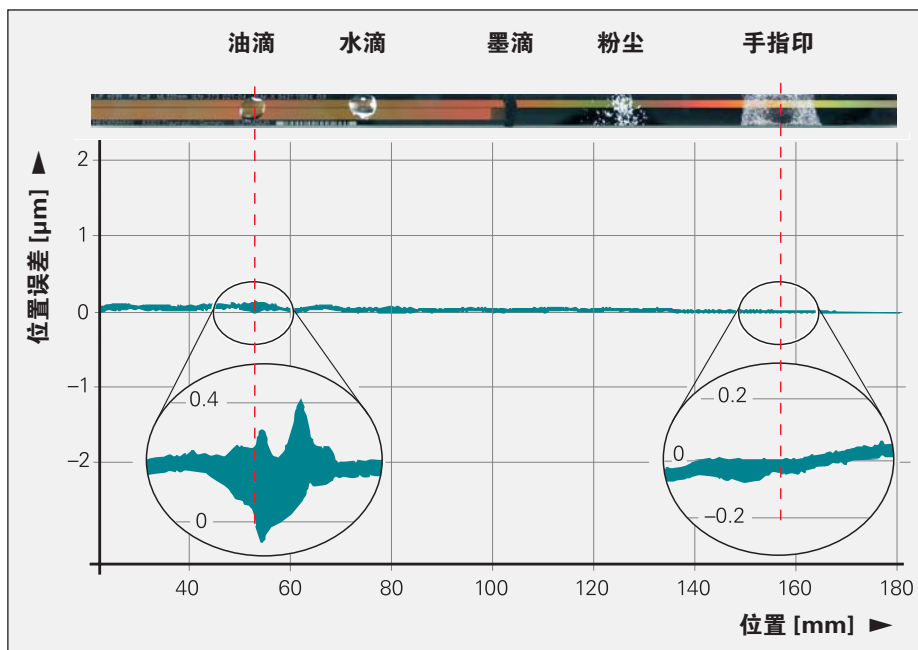
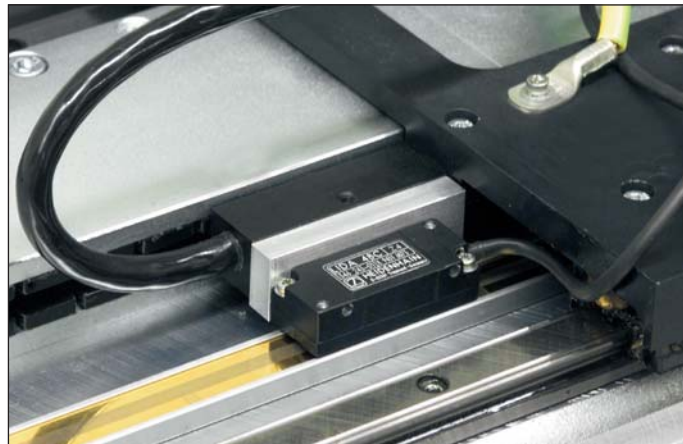
此外，**大面积扫描场**还能降低对污染的敏感性。这常常可以避免光栅尺失效。特别是LIDA 400和LIF 400系列光栅尺，相对其栅距，其扫描面积非常大，达 $14.5 \text{ mm}^2$ 。即使这些光栅尺有3 mm直径的污点，仍可以输出高质量信号。位置误差远远低于光栅尺精度等级对应的误差值。

光学光栅尺或编码器的抗污染能力强的基础是高质量扫描，大面积扫描场和抗污染的光栅。

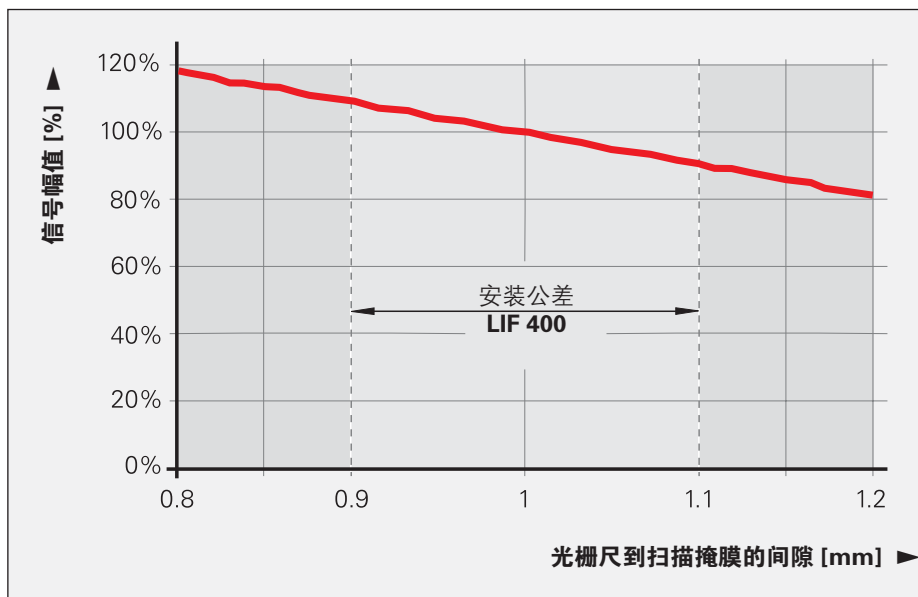
### 面向应用的安装公差

信号周期越小一般也要求读数头与光栅尺间的间距公差越小。由于LIF 400系列光栅尺采用干涉扫描原理和创新的扫描光栅技术，例如LIDA 400系列，即使很小的信号周期也允许较大的安装公差。因此，在安装公差内，信号幅值变化十分微小。

这是为什么海德汉公司的敞开式直线光栅尺具有高可靠性的原因。

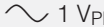
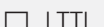
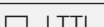
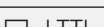


污染对LIF 400的影响



# 直线电机的位置编码器

海德汉公司的敞开式直线光栅尺是半导体和自动化系统所需高速、高精设备的最佳选择。尽管它为敞开式机械结构，但它仍具有很高抗污染能力，能保证长期稳定工作，而且安装快捷和简单。LIF ①，LIP ②和LIDA ③系列直线光栅尺重量轻和尺寸小，特别适用于直线电机。

| 应用                    | 信号周期     | 最大细分误差     | 接口                                                                                                    | 型号       |
|-----------------------|----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 超高精度                  | 0,128 µm | • 0,001 µm |  TTL               | LIP 372  |
|                       |          |            |  1 V <sub>PP</sub> | LIP 382  |
|                       | 2 µm     | • 0,02 µm  |  TTL               | LIP 471  |
|                       |          |            |  1 V <sub>PP</sub> | LIP 481  |
|                       | 4 µm     | • 0,04 µm  |  TTL               | LIP 571  |
|                       |          |            |  1 V <sub>PP</sub> | LIP 581  |
| • 安装简单<br>• 带限位开关和回零轨 | 4 µm     | • 0,04 µm  |  TTL               | LIF 471  |
|                       |          |            |  1 V <sub>PP</sub> | LIF 481  |
| • 高速运动<br>• 限位开关      | 20 µm    | • 0,2 µm   |  TTL               | LIDA 47x |
|                       |          |            |  1 V <sub>PP</sub> | LIDA 48x |

海德汉公司用于直接驱动的位置编码器（选型）：细分误差最大值为相对信号周期



## 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  
FAX 010-80420010  
Email: sales@heidenhain.com.cn  
[www.heidenhain.com.cn](http://www.heidenhain.com.cn)

更多信息：  
• 样本：敞开式直线光栅尺  
• 技术信息：单场扫描

