

优化测量循环时间

摘要

在机床上，任何测头测量循环的基本要求都是实现可靠、良好的测量性能。除此之外，测头测量循环还必须在合理的时间内运行完成。因此，优化测量循环时间是为生产加工过程构建测量解决方案的重要一环。为了优化测量循环时间，必须先了解影响测量循环时间的各种因素。本文将介绍这些因素及其影响。

正如文档TE412《一次触发与二次触发测头测量策略》所述，测头测量循环的类型对测量重复性和循环时间具有显著影响。该文档还介绍了进给率、回退距离和过行程等其他影响因素。

进给率

在测头测量循环开始时，机床必须将测头从起始位置移至被测表面。我们可以假设，加快测量循环运行速度只需提高进给率，使测头更早碰触被测表面。但是，正如文档TE412所述，由于机床控制器对测头触发信号的响应时间存在延迟，这种操作会显著增加测量不确定性，从而影响测量精度。此外，该文档还表明，对于一次触发循环，测量不确定性与测量速度成正比。采用一次触发循环，在具备直接输入和快速响应触发信号功能的机床上，可以在一定程度上降低测量不确定性。

在扫描周期较长（例如4 ms）、进给率为3,000 mm/min的机床控制器上，不确定性可达0.2 mm。这导致机床无法了解被测表面的精确位置，因此，在碰触被测表面前，无法可靠地将测头测量进给率降低到一定水平（可能为30 mm/min），以实现精确测量。在这种情况下，需要使用二次触发循环。

对于扫描周期为4 μs、进给率为3,000 mm/min的直接输入式控制器，测量不确定性可降至0.2 μm。在不确定性如此低的情况下，理论上可以通过提高进给率来优化循环时间；但是，由于机床加速特性的限制，使得这种方案难以实施。

加速和减速

控制机床的加速和减速方式的算法由控制系统制造商设定。不同的制造商有各自特定的逻辑方案和计算方法。但是，机床通常不会以恒定速率加速。如图1所示，某些机床会计算加速速率，以确保在设定时间内达到编程设定的进给率。因此，轴达到编程设定的进给率所需的移动距离会随进给率线性增加：

$$2 \times \text{加速距离 (mm)} = [\text{进给率 (mm/min)} \times \text{时间常数N (s)} / 60]$$

$$[2 \times \text{加速距离} = \text{加速距离} + \text{减速距离}]$$

例如，在典型时间常数为0.06 s时，如果进给率从50 mm/min增加到5,000 mm/min，则加速距离从0.025 mm增加到2.5 mm。加速距离与减速距离完全相同。因此，轴达到编程设定的进给率所需的最小移动距离分别为0.05 mm（进给率为50 mm/min时）和5 mm（进给率为5,000 mm/min时）。

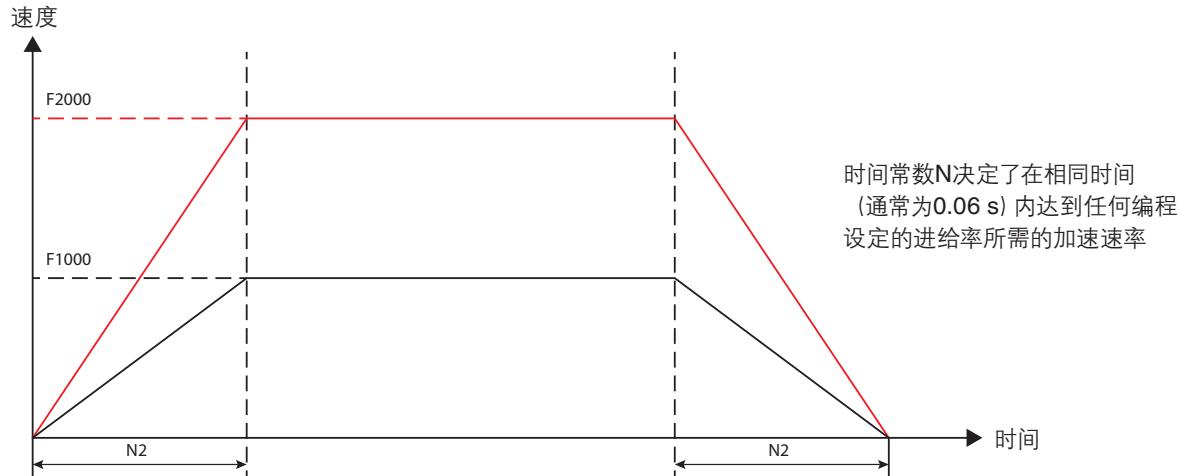


图1: 机床在设定时间内加速,使得加速速率取决于所需的进给率。

在机床确认测头触发信号后, 测头将继续朝工件移动, 同时测针偏折。随着测头测量速度提高, 测头在减速阶段越过触发点之后的移动距离也会随之增加。这会增加测头在返回移动过程中返回起始点所需的移动距离。

在时间常数为0.06 s的机床上应考虑:

在以30 mm/min的进给率进行测头测量移动后, 以5,000 mm/min的进给率返回到距离被测表面2.5 mm的位置, 可能需要移动2.52 mm, 耗时0.085 s。

在以5,000 mm/min (而不是30 mm/min) 的进给率进行测头测量移动后, 返回到同样的位置可能需要移动5.833 mm, 耗时0.13 s。

这对于确定测头测量循环时间极为重要, 而且在进给率超过2,000 mm/min时, 将会抵消许多预期测量优势。

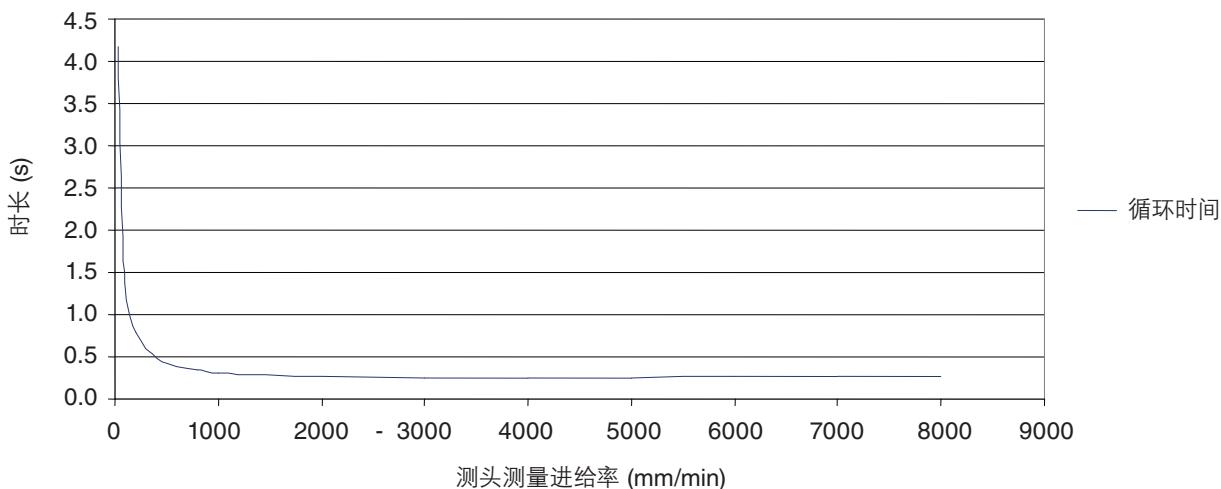


图2: 一次触发循环时间

图2显示了, 随着进给率提高到2,000 mm/min, 循环时间会逐渐缩短; 但在超过这个速度后, 循环时间就不会进一步缩短。在更高的进给率下, 触发后减速距离的增加会导致循环时间无法进一步缩短。因为在测头触发后, 必须重新移动同样的距离返回起始位置。

在进给率非常高的情况下，还会发生损坏测头和测针的风险。在测头仍与工件保持碰触时，测头移动的额外距离可能接近其过行程极限，特别是在Z轴或其他轴上使用短测针时。在较小的特征内部测量时也会有风险，因为如果使用不适当的高进给率，测针可能会卡住或弯曲。

回退距离

在二次触发测量循环期间，第一次触发采用较高的接近进给率，以快速定位被测表面。在回退后，测头再以足够缓慢的测量速度进行第二次测量，以实现较低的测量不确定性（如文档TE412所述）。在优化测量循环时，回退距离是一个重要参数。由于测量速度缓慢，大约为30 mm/min，在回退距离为2 mm的情况下，以测量速度接近表面可能需要4 s才能完成，这是一段相当长的时间。为了优化循环时间，必须尽可能缩短回退距离。

测头测量软件提供一个默认回退距离值，足以使测头在大多数机床上撤回足够远的距离，以便复位测针。该参数定义的回退距离，是从测头在快速接近的过程中第一次碰触被测表面时停止的位置算起，而不是从被测表面算起。由于某些因素，测头碰触被测表面后会在一定时间（也就是一定距离）内停止，这个现象称为过行程（详见下文）。在优化测量循环的回退距离设置时，必须考虑机床的特性。回退距离参数应设置为，机床在快速接近速度下的通常过行程距离，加上测头复位需要离开表面的最小距离。

过行程

过行程是指，从被测表面到工件检测测头在碰触被测表面后停止的位置之间的距离。如图3所示，这个距离由测头触发过程的三个阶段组成。

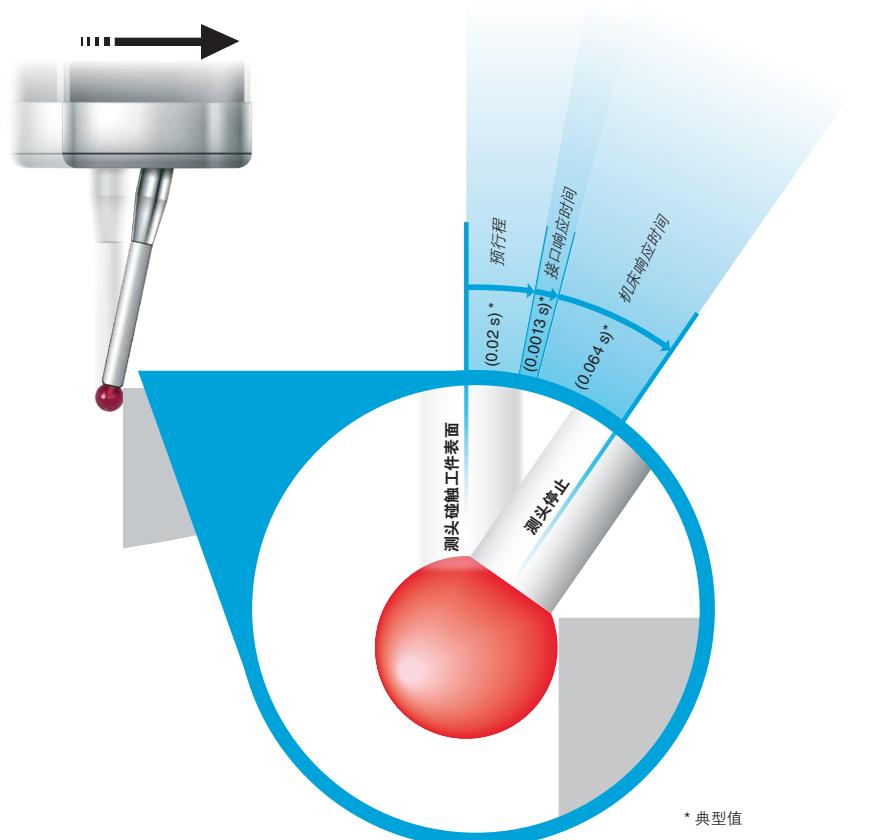


图3：测头触发过程和信号传输

测头触发过程可分为三个不同的时间阶段：

- 第1阶段 — 从测头碰触工件表面直至测头机械触发，即“机械预行程”
- 第2阶段 — 从测头机械触发直至触发信号传输至机床控制器，即“接口响应时间”
- 第3阶段 — 从触发信号传输至机床直至机床响应触发信号，即“机床响应时间”

第1阶段 — 机械预行程

机械预行程是指，从测头碰触特定表面的碰触点开始，到达到测头感应阈值之间所需的移动距离。预行程取决于测头硬件，不会随测头测量速度而改变，而且可通过合适的标定和应用软件进行标定校准。

测头触发过程的机械预行程的终点，并不是测头测量系统向机床发出触发信号的时间点，而是接口识别到机械触发已发生并开始响应的时间点。预行程和预行程变化是机械测头测量设备的重要基本特性，也是决定测量性能的重要因素。

机械预行程距离 (μm)	速度为30 mm/min	速度为1,000 mm/min
	预行程时长 (s)	预行程时长 (s)
2	0.004	0.0001
10	0.02	0.0006
50	0.1	0.003

表1：预行程对测量循环时间的影响

从表1可以看到，预行程确实会对循环时间产生影响，但只有测头具有较长预行程且测量速度较低的情况下，预行程才会产生重要影响。

第2阶段 — 接口响应时间

接口响应时间是指，测头机械结构触发的时间点与触发信号传输至机床控制器的时间点之间的时间差（如文档TE412所述）。接口持续监控测头的状态，并在测头碰触工件表面时向机床发送触发信号。在优化循环时间时，这个因素无法改变，但在选择其他参数时必须将其考虑在内。

第3阶段 — 机床响应时间

机床响应时间是指控制器响应时间加上减速时间。控制器响应时间取决于机床识别并响应测头触发输入的过程。这完全超出了测头测量硬件供应商的控制范围，尽管对循环时间的影响极小，但对测头测量系统的测量性能有直接影响。在接口将触发信号传输到机床控制器后，接下来发生的事情完全取决于机床控制器的能力和触发信号的接口类型。从接口将测头触发信号传输至控制系统，到控制系统响应触发信号，这个时间延迟可能低至4 μs ，也可能高达4 ms，具体取决于控制器规格和所购选件（亦如文档TE412所述）。

因此，在测头碰触工件表面时，这三个阶段会导致机床确认触发信号出现短暂的延迟。第1和第2阶段对测量的完整性没有影响，因为这两个阶段引起的时间延迟是各自一致的，只要在标定和测量循环期间使用相同的动态条件，就可以进行补偿。

然而，在第3阶段，控制器的响应时间是无法确定的，并且可能会对测量性能产生显著影响。

结论

在数控机床上，测头测量循环时间的决定因素有很多。

有些因素来自于测头硬件，例如测头预行程和接口响应时间，这些一般都可以通过标定程序进行补偿，以确保所有测量都在相同的动态条件下进行。然而，影响更大的因素包括：机床制造商设定的加速和减速速率，控制系统的选型和设置，采用的测量策略，以及针对特定机床对测头测量系统进行的优化。这些影响因素可以概括如下：

- 与测头硬件的选择相比，控制器响应时间和加速速率等机床特性对优化测头测量循环时间的影响更大。
- 如果在测头测量软件中对回退距离进行了优化，则二次触发和一次触发测量之间的循环时间差异就会很小。
- 当使用触发式测头时，无论使用一次触发还是二次触发测量，如果以超过2,000 mm/min的速度进行测量，则可能不会优化循环时间，反而会对测量精度产生负面影响。
- 由于测头测量循环时间主要取决于机床，而不是测头传感装置，因此任何测头制造商都不能仅凭速度来宣称自己的产品优于其他产品。
- 被测表面位置的测量不确定性会直接影响测头测量循环时间。在测量“已知工件”（即刚加工的表面）时，初始安全接近距离可以非常靠近被测表面。通过优化进给率和回退距离，可以缩短测头测量时间。在测量“未知工件”时，由于工件表面位置的不确定性，测头的定位必须谨慎。典型的应用包括在夹具定位不精确的情况下进行工件找正，或者在（铸件等）来料存在差异的情况下进行测量。

www.renishaw.com.cn/machinetool

#雷尼绍

© 2024-2025 Renishaw plc。版权所有。RENISHAW®和测头图案是Renishaw plc的注册商标。
Renishaw产品名、型号和“apply innovation”标识为Renishaw plc或其子公司的商标。

其他品牌名、产品名或公司名为各自所有者的商标。

Renishaw plc。在英格兰和威尔士注册。公司编号：1106260。注册办公地：New Mills, Wotton-under-Edge, Glos, GL12 8JR, UK。
在出版本文时，我们为核实本文的准确性作出了巨大努力，但在法律允许的范围内，无论因何产生的所有担保、条件、声明和责任
均被排除在外。



扫码关注雷尼绍官方微信

文档编号: H-5650-2065-02-A

发布: 2025.09

上海 T +86 21 6180 6416 E shanghai@renishaw.com	天津 T +86 22 8485 7632 E tianjin@renishaw.com	青岛 T +86 532 8503 0208 E qingdao@renishaw.com
北京 T +86 10 8420 0202 E beijing@renishaw.com	成都 T +86 28 8652 8671 E chengdu@renishaw.com	西安 T +86 29 8833 7292 E xian@renishaw.com
广州 T +86 20 8550 9485 E guangzhou@renishaw.com	重庆 T +86 23 6865 6997 E chongqing@renishaw.com	宁波 T +86 574 8791 3785 E ningbo@renishaw.com
深圳 T +86 755 3369 2648 E shenzhen@renishaw.com	苏州 T +86 512 8686 5539 E suzhou@renishaw.com	郑州 T +86 371 6658 2150 E zhengzhou@renishaw.com
武汉 T +86 27 6552 7075 E wuhan@renishaw.com	沈阳 T +86 24 2334 1900 E shenyang@renishaw.com	