

雷尼绍测头测量技术和采用应变片技术的全新 OMP400超紧凑测头

摘要

自1972年David McMurtry爵士发明触发式测头以来，测头测量已然成为机床自动化生产过程的重要组成部分。这种简单的测头机械传感机构采用机械式结构来固定测针并可确保高重复性，三十多年来构成了许多雷尼绍测头的基础。雷尼绍的机械式触发测头不断为制造行业提供优质服务，至今仍是市场上畅销的测头测量产品，也是广大最终用户和机床制造商等的首选产品。这些测头的测量性能和可靠性不容低估。

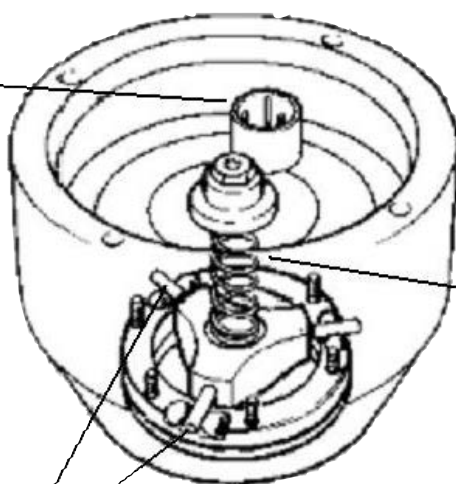
尽管如此，雷尼绍也发现了提升机床触发式测头精度的契机，进而开发和推出了雷尼绍MP700。应变片感应技术的推出使越来越多的用户享受到了高精度测量的益处。

雷尼绍对应变片技术持续进行开发，又推出了具有高测量性能的小巧紧凑型OMP400触发式测头。

机械式触发测头

雷尼绍触发式测头的机械传感机构(图1)采用小球珠和杆的弹簧承载机械安装方式。这种安装方式形成了六个接触点，可确保测针架固定在一个独特的位置上，并具有优异的重复性。当测头的测针接触工件表面时，该机械传感机构可使测针触发(即测针发生偏折)，而测针离开工件表面时，机构内的弹簧则可使测针复位。多年来，雷尼绍以此工作原理为基础，推出了各种触发式测头，在某些情况下，由于此类测头已问世较长时间，一些人也将其称为“传统”测头。然而，这并不是说这种测头机械传感机构多年来没有任何发展与改进、性能始终受到制约。

测针与工件表面接触时产生触发信号，用来停止机床



弹簧将测针固定在机械式结构的接触点上，并在测针与工件接触后，使测头返回复位位置

3根杆，分别放置在2个小球珠上，在机械式结构中形成6个接触点

测球以独特方式定位，可返回相同位置，误差在1 μm范围内

图1:

图2:

高测力方向:

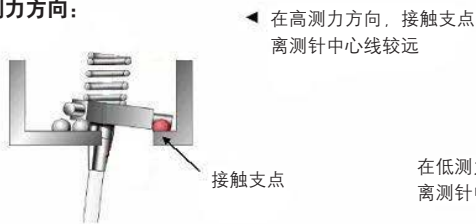


图3:

低测力方向:



图4: 高测力和低测力方向

接触元件由碳化钨制成, 可确保接触面非常小 (接触面处的材料在弹簧作用下发生弹性变形)。电流流过接触点形成电路, 而测头的电子元件则测量该电路的电阻。当电阻达到某个阈值时, 测头的输出设为“已触发”。至关重要的一点是, 触发时小球珠和杆仍保持接触, 因此测针能够位于确定的位置, 从而获得具有重复性的测量结果。

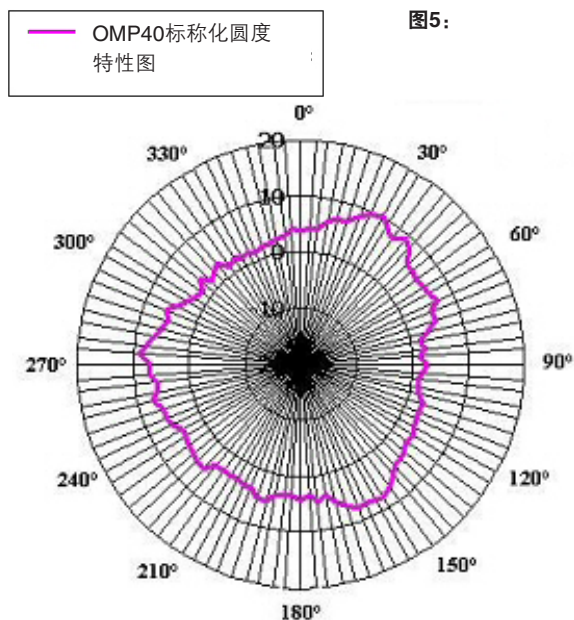
多种因素会影响机械式结构触发测头的测量性能。从测针的测球与工件接触时开始, 到测头电气触发之前, 测针会出现一定程度的偏折。这种偏折就是预行程。预行程因测针长度和刚性及测力而异 (见图2、3和4)。预行程变化 (PTV) 通常也被称为各向异性、测头测量误差或圆度测量误差, 它会影响到测量性能。在雷尼绍测头内, 几组接触点形成三角形布置。接触支点的距离因测力作用于测头机械传感机构的方向不同而异, 因此会导致出现各向异性。测头标定可补偿这种各向异性影响。

测量时测力会发生变化, 从而导致不同的预行程距离。还有很多其他类型的测头机械传感机构, 其内部结构与此处介绍的测头不同。有人认为, 这些系统在XY平面的各向异性较低或者测量误差较低。雷尼绍OMP40、OMP60和MP10触发式测头配备50 mm测针时, 小球珠和杆式的测头机械传感机构在XY平面的典型PTV为6 μm。右侧图5显示的是校准环规的测量测试, 测试在位置反馈分辨率为1 μm的机床上执行。使用50 mm标准陶瓷测针时, 最大测量误差为8.85 μm, 其中包括机床误差。通过测试可以看出, 雷尼绍测头的预行程量始终很小, 这表明, 三角形布置方式实际上通常并没有较大测量误差。

在XZ和YZ平面中或对完整的3D曲面进行3D测头测量时, 雷尼绍测头低预行程的优点更为显而易见。这是因为PTV也会出现在三维空间中, 且此时XY和Z轴预行程的影响会相互结合。雷尼绍机械式结构触发测头在Z轴的预行程可忽略不计, 由于XY预行程也很小, 由此产生的3D测量误差实际上接近XY测量结果的误差。此外, 如果使用预行程较小的测头对倾斜表面进行测量, 则在克服测球与表面之间的摩擦力之前, 测头即会发生触发。

与之相反, 机械预行程较大的其他类型测头在触发之前产生的测力可能会克服摩擦力, 从而导致测球相对表面发生滑动。另外, XY平面与Z轴之间的预行程差值越大, 则3D测量误差也会越大。

下面的图5显示的是使用OMP40机械式触发测头测量校准环规圆度的典型图示。



可以看到, 这三个高测力方向是图中的三个峰值点。在本例中, 最大预行程变化约为8.85 μm。

标定

由于很容易通过测头标定来补偿，预行程本身不会造成测量误差。测量已知尺寸和位置的基准特征，以确定相关测针的平均预行程。标定完成后，影响测量精度的关键因素便是测头的重复性。

然而，这种方法存在一些限制。复杂工件可能需要多个测头测量方向。如果测头/测针组合的PTV值足够低，则它对测量精度的影响或许可以接受。然而，如果可能的测量误差较大导致结果难以接受，可能需要在各个方向上进行标定。这会非常耗时。

应变片技术

在研发能够与机床轻松交互的下一代高精度测头测量技术时，雷尼绍的目标是使测头具有较低的预行程量，因此其PTV也会较小。雷尼绍开发了一种新型感应技术，解决了机械式电阻触发测头传感机构的3D测量局限性——这便是硅应变片技术。它将专用集成电路 (ASIC) 微电子技术与固态感应技术相融合，实现了优异的3D测量性能。

尽管应变片式触发测头仍然使用相同的机械结构来固定测针，但它不通过接触元件的电阻变化来感应测针是否触发。取而代之的是，一组应变片被置于测头机械传感机构平台内精心设计的碘型台上，并且与机械装置相互独立。这些应变片测量施加在测针上的测力，当压力在任何方向上超过阈值时便产生触发信号。此类测头因此具有低测力、低预行程和低PTV的特点。

1995年推出的MP700触发式测头是雷尼绍首款采用应变片技术的机床测头。它让用户体验到了这项技术的种种优点——重复性提高、预行程缩短，并实际消除了PTV。在要求更高精度的测量中，这些优点体现得更为明显，尤其是使用多个感应方向测量3D表面时，或者工件找正测量接近矢量未知时。

右侧的图6和图7是应变片式触发测头的示意图。在低测力条件下，机械装置保持就位状态，测力通过它们传递到测头的机械传感机构平台上。应变片安装在精密的碘型台上，从而尽可能提高测头灵敏

度，而又不影响其坚固性。它们会检测机械传感机构平台中的应力，其输出值由电子元件处理，一旦在任何方向超出阈值，就会产生触发信号。此阈值通常只有几克，远低于同等机械式触发测头上的测力。

图6:

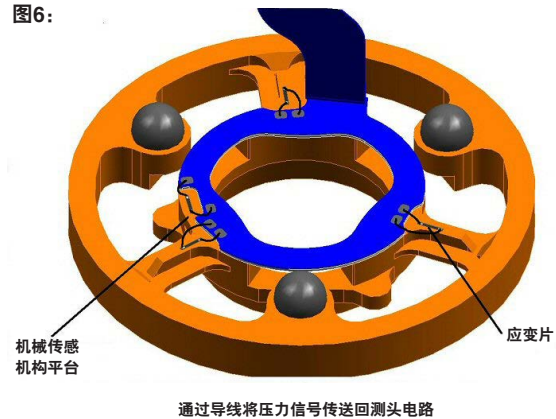
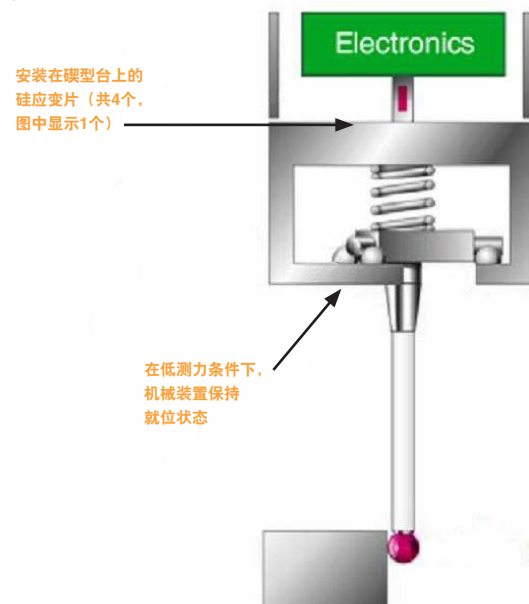


图7:



采用应变片技术开发低预行程测头可能会让一些人觉得，测头容易受到振动和冲击的影响，导致意外触发。然而，在具有较大机械预行程而影响测量性能的情况下，雷尼绍采用测头内部的滤波电路来确定在应变片上检测到的压力，是否是由于测针真正持久偏折（而不是瞬态冲击或振动）所导致。为此，从第一次超过测力阈值的那一刻起，在检测电路中便会插入一个短暂的高重复性延迟，在此延迟周期结束前，必须检测到持续且不断增加的压力，然后才会发出触发信号。

OMP400触发式测头

OMP400是雷尼绍最新款采用光学方式传输信号的机床触发式测头。OMP400采用了MP700首次采用的高精度应变片技术的改进版本，并且其尺寸与屡获殊荣的OMP40机械式触发测头一样小巧。小型机床用户因此首次享受到应变片技术带来的精度优势。

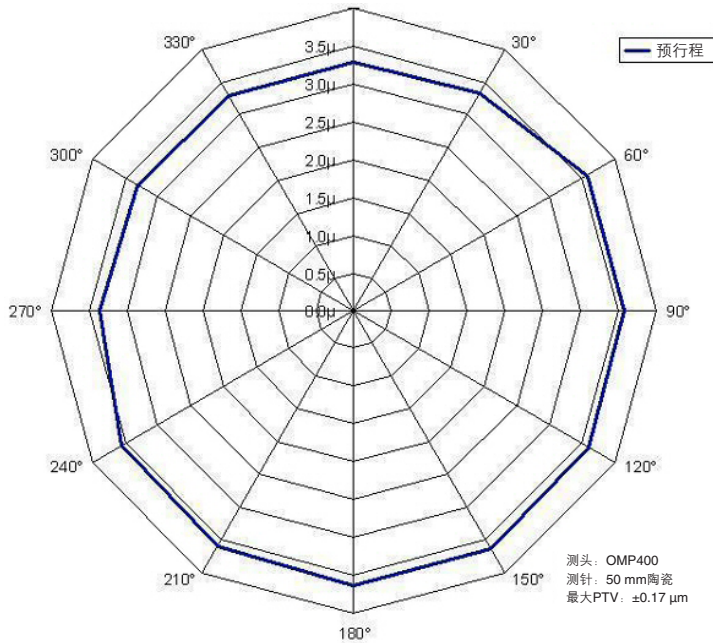
OMP400触发式测头的预行程极低，测头电子元件采用最新的改进型算法，因此其PTV比行业领先的MP700触发式测头还要低。其优点在于只需要一次简单的测头标定程序，就可在任意方向使用该产品进行测量。再加上应变片式触发测头的超高重复性，OMP400是模具和其他复杂工件唯一可行的测量解决方案。



应变片技术还有一个优点，即该类测头的使用寿命是传统电阻测头的十倍。此外，测头内的应变片结构进行了改良，产品的可靠性随之提高，确保它可以很好地适应机床内恶劣的工作环境。

机械式电阻触发测头的PTV随测针长度而增加，这意味着对测量性能的要求会限制所用测针的长度。OMP400触发式测头具有更低、更一致的测力，测量性能更加出色，支持更长的测针应用。OMP400可支持使用长达200 mm的测针，测量性能仅略微下降。

图8:



左侧图8显示了在分辨率为10 nm的雷尼绍测头测试装置上进行的测量测试，其中以30°为增量围绕一个圆采集12个点。图中显示了OMP400触发式测头的典型PTV图，所有方向的预行程都很低，而且几乎一致。使用50 mm测针时，XY平面中的PTV值仅为0.34 μm，比类似尺寸的机械式触发测头的PTV值低大约90%。OMP400触发式测头的XYZ PTV值通常小于1微米。

OMP400测头	测针长度			
	50 mm	100 mm	150 mm	200 mm
重复性 12个方向中任意方向的最大2 sigma	0.25 μm	0.35 μm	0.50 μm	0.70 μm
2D (XY) 各向异性 环规的最大偏差	±0.25 μm	±0.25 μm	±0.40 μm	±0.50 μm
3D (XYZ) 各向异性 已知空间位置的最大偏差	±1.00 μm	±1.75 μm	±2.50 μm	±3.50 μm