测量

如何选择和使用探针

探头在机床、坐标测量机（CMM）、比较测量仪和便携测量臂上存在着各不相同的应用，因此，为了实现高效、可靠和精确测量，就很有必要正确地选择所使用的探针。以下这些要点有助于我们选择最优秀的测量方案。

文 | Michael Litwin，Renishaw 公司 CMM 业务经理

在测量学领域，探针安装在诸如运动检测、应变计和扫描探头上，发挥与工件接触点的功能。探头在机床、坐标测量机（CMM）、比较测量仪和便携测量臂上存在着各不相同的应用，因此，为了实现高效、可靠和精确测量，就很有必要正确地选择所使用的探针。以下这些要点有助于我们选择最优秀的测量方案。

机床上所使用的传统运动检测，陶瓷探杆和红宝石探针是首选。对于坐标测量机，钢制和碳化钨材料很适合用于较短的探杆，而陶瓷或碳纤维则更适合于较长探杆。陶瓷探杆比碳化钙探杆更轻，其刚度与钢材相近，并且热性质稳定，能够理想地应用于机加工环境。

图 1 这个星形探针方便以最少探头移动实现对内部形状极点的检查工作

红宝石球形探针具有超强的硬度和光滑性，并具备优秀的抗压强度和耐磨蚀性。根据其等级定级，这些探针可以按照不同的精密度等级制造，而等级和探针球体与完美球体之间的最大偏差度相关。球度上的任何衰减都会增加测量上的不确定性。最为常用的两种球度等级为 5 和 10（值越小越好）。坐标测量机越精确，球度等级的影响就越大。Renishaw 公司推荐 5 级球度为标准配置并为要求最严苛的应用提供了 3 级球度（球度仅为 0.08 μm）。

对于高精度的应变计探头，特别是那些用于机床的应变计，推荐采用碳纤维探针。无论中空或实心，这种探针的质量均较轻，能够最好地适用于敏感的应变计探头。碳纤维是长形探针和加长棒最常用的材料，因为碳纤维坚硬、重量轻并且热性能稳定。而在需要使用金属部件处，如接头、肘节之类，钛金属提供了轻重量、强度、稳定性和密度的最佳组合。

图 2 盘式探针可以很理想地应用于探查底切口和凹槽。简单的盘式探针只能探查 X 轴和 Y 轴方向，但添加一个径端辊就可以探查 Z 轴，而前提是这个辊子的中心点应当伸出至探棒直径以外

便携臂式坐标测量机的探针必须坚固耐用，所以采用具有高耐碎裂性的 5 级球度氧化锆球体。氧化锆球体采用耐冲击胶黏剂粘接至高强度碳化钨探杆上，并且采用了特殊结构以确保接头处刚性足够并在实际中达到不可摧毁的程度。

而扫描探头，诸如用于坐标测量机以及 Equator Flexible Gage 测量计的 Renishaw 的 SP25M 探头，引入了一些会影响到球体材料选择的变量。扫描比起接触式探查，能够生成更为积极主动

的表面互动，从而带来了 3 个问题：碎屑堆积、黏附损耗和磨损。碎屑无可避免，但可以很容易地用一块干燥无毛屑的布子擦除。黏附损耗涉及到工件材料永久性地转移至球体。这种状况事实上会降低球体的圆球度，磨损会将球体或工件上的材料磨掉。

红宝石球体对绝大多数扫描应用来说都是最合适的，包括不锈钢和钛金属工件，但这种球体会在极端条件下对铝材料出现黏附损耗。在极端铝材料应用当中，可以用氮化硅来替代红宝石，但是氮化硅在不锈钢或铸铁应用当中会发生黏附损耗。氧化锆球体最适合用于铸铁部件的扫描，尽管碳化钨也能很好地用于此种工件。

探针类型变型

直型探针典型情况下用于简单的工件外形，测量时探头将与部件直接接触。但是，对于特殊化应用可以使用许多替代类型：

- 星形：多个针尖的星形探针能够高效检查内部外形的各个极点，诸如钻孔内的滑道或沟槽，最大程度减少探针运动。
- 指针形：指针形探针可以理想地用于探查螺纹外形、特殊点和划线，尽管这种探针不适合用于标准 X-Y 探查。圆弧端指针形探针可以用于检查非常小的直径孔位置。
- 陶瓷中空球形：这种体积较大的探针可以理想地用于从 X、Y 和 Z 轴上探查较深的外形和钻孔。采用球形探针探查可以平均化抵消非常粗糙表面的影响。
- 盘形：盘式探针可以很理想地应用于探查底切口和凹槽。较薄的盘形探针要求进行仔细的角度对准以确保与部件外形的正确接触。简单的盘形只要求在一个直径上进行拉平（通常应用于环规），但是只限在 X 和 Y 方向实现有效探查。而增加一个圆弧端辊子可以实现 Z 方向探查，前提条件是这个圆弧端辊子的中心点必须伸出到探头直径范围以外。
- 圆柱形：圆柱形探针可以理想地用于探查较薄材料上的孔洞和螺纹形状，并可用于定位螺纹孔的中心。其半球形端头可以充分满足认证要求并可探查 X、Y 和 Z 方向。
- 定制形状：对于特殊应用也可以提供定制探针。

基本应用规则

这几项探针使用简单规则能够最大程度提高绝大多数探查应用的精度：保持探针长度短并具有高刚性，最小化的探针长度能够带来最优化的测量结果，较长的探针会放大误差并引入过度弯曲的潜在问题。尽量减少接头的数量，接头和延伸杆会引入可能的弯曲和变形点。使用较粗的探杆会增加探针的刚度。

保持探针球头直径尽量大，这一策略能够减少由于探杆接触部件而导致的错误触发现象的发生机率。直径较大的球体能够增加有效的探头长度并允许采用较大的探杆直径，从而增加探针的刚度。最后，更大的红宝石球体减少了部件表面粗糙度对测量的影响。

图 3 陶瓷半球形探针以最小重量提供了非常有效的球体直径。这种探针用于测量较深的外形和钻孔，并且可以很理想地用于探查非常粗糙的表面，通过球体直径平均化除去粗糙度的影响

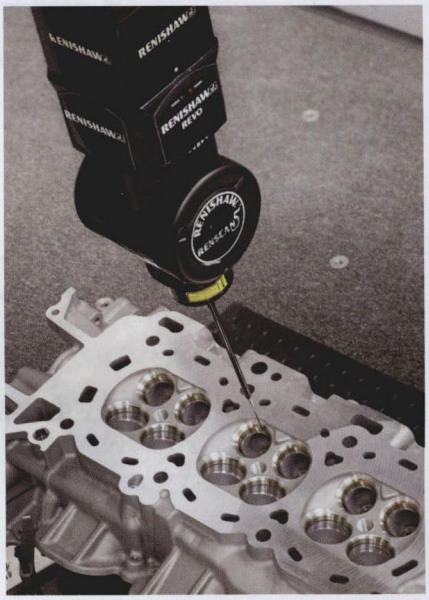

图 4 这个配备了高速 5 轴扫描功能的坐标测量机能够测量这个位于圆柱头内部的阀座。扫描能够在探针尖端生成比接触式探查更为积极主动的表面互动

尽管表面上很简洁，但在生产探针时，在其材质、设计和制造技术方面都涉及到大量的科学知识以及肯定需要的超高精度。无论是将球体固定到探杆上的方法，还是所选用的材料，看似简单的探针实质上绝不简单。

校准探针

在执行测量之前，必须针对所有测量规程对探头执行校准，首先探查一个校准用球体，校准过程应当遵守机床和探头制造商的说明来执行。校准使用要求典型情况下随坐标测量机附带或机床 CNC 所用探查软件所包含的一种专用程序。校准球体采用超强精度制造，其精确尺寸已经确定并包含在软件当中。校准能够确定探头部件的有效尺寸。这些数值将存储在坐标测量机或机床控制装置内。如果使用的坐标测量机超过一台，则校准球体在使用时应当将其数值输入到给定机床的控制软件内。MM