

# 航空发动机复杂零部件的新型测量技术

发布时间：2014-6-30 13:37:51

近几年来，航空市场发展迅猛，国内的航空发动机制造技术也正加速发展。在技术提升的过程中，航空发动机从研发到制造，对计量和测量的需求都非常迫切。在新型号研制过程中，设计部门希望获得准确的测量数据，用于设计验证；制造部门需要更加高效地完成测量工作，提升合格率并控制制造成本。目前，国内对高精度测量设备的投入和对新型测量技术的采用程度，与国外先进企业的水平还有一定的差距。

航空发动机的零部件种类多、结构复杂，进而带来了复杂的测量任务。以整体叶盘为例，目前测量编程仍然是一个很大挑战，在现有的技术平台上，测量过程既要根据叶盘的整体结构设计测量路线，还要根据叶片型线考虑扫描过程控制。因此，测量设备本身的效率和精度的提升是必然的，同时，在设备的附属工具、测量软件、探测技术等方面寻找新的突破点，提升复杂零部件的测量效率和测量效果，也成为新型测量技术的发展趋势。

全球对航空发动机的性能追求从未停歇，对航空发动机零部件的要求也日益提高。海克斯康最新研发的 Leitz 三坐标测量机扫描技术、HP-O 非接触测量和 I++ Simulator 模拟软件等，为解决航空发动机复杂零部件的测量难题，提出了新的手段和方法。

基于航空发动机复杂零部件的制造发展和质控需求，本文将介绍海克斯康计量新近推出的典型测量技术，包括高效率精密扫描技术、复合式高效高精探测技术和提高测量机有效工时的仿真模拟软件技术等。

## Leitz 高精高速扫描技术

触发式模拟扫描技术已经成为发动机精密零部件测量的主要探测方式，该技术能高速提供密集点云，实现几何量形状和位置的精密判定，但是，复杂曲面曲线的高密度扫描，需要设备能够实时根据曲率变化给出智能的调整，以期平衡点密度和效率的同时获取最精确的结果。Leitz 最新的扫描技术，借助最先进的控制技术，控制系统根据机器特性和工件扫描状态，判断和调整扫描过程。多样的扫描形式和控制形式的实现，使三坐标测量机的扫描能力显著提升，面对复杂专业的测量任务更加得心应手。

### 1 VHSS 扫描技术：可变速扫描

能快则快，当慢则慢。依据曲面曲率，在已知几何特征上实时连续调整测量速度。在此之前的扫描技术，需要人为编程控制机器扫描的速度，速度的设定，需要考虑机器性能、工件特点、效率要求等多种因素，对编程者的挑战是：想达到最佳的效率，要么具备经验，要么从此任务中开始积累经验。VHSS 扫描则无关乎具体使用者的经验，机器根据自身的性能特点和待检测曲面的数据，自动优化扫描过程的速度，编程者直接得到最佳的测量效率。

在进行复杂零部件的扫描时，比如航空发动机叶片，传统的扫描方法需要手动调整速度，以避免探针和工件表面“失联”。采用来自 Leitz Pathfinder 的 VHSS 技术，机器可以在已知几何量情况下进行持续的调整，实时调整扫描。平直的部位扫描速度快，前尾缘附

近区域扫描速度自动降低，实现了检测效率与精度的优化。

## 2 Leitz 四轴扫描: 整合转台实现连续性四轴扫描

叶盘与叶轮这一类零件的测量对测量机来说是一个挑战：没有转台的话需要采用大量的探针配置，需要花费很多的时间。转台一般用来定位零件，然后先后完成扫描（三轴扫描），过程复杂、效率低。Leitz 四轴扫描技术，采用先进的控制技术，实现了四轴联动的连续扫描。

哈尔滨东安使用 1 台 Leitz PMM-C 和 1 台 Leitz Global Reference，检测航空发动机叶轮，采用了 VHSS 可变速扫描和四轴联动扫描技术。可变速扫描检测叶轮的叶型曲面和流道等，测量过程中机器根据曲线的曲率变化调整和优化扫描速度，大大提升了扫描测量的效率。四轴联动保证了 1 根探针高效完成叶片上的全部检测任务。整个检测方案根据需求定制开发，包括测量过程的优化、定制的计算评价及优化、定制的报告输出。测量的输出满足了制造过程控制和最终质量控制的要求。检测时间由原来的 8h，缩短到 2h，实现了效率的飞跃。

## 3 Leitz 标注扫描技术

带有凹坑、孔洞或者沟槽的曲面扫描采用 Leitz 标注扫描技术（如图 1），表面分布的凹处、孔或者沟槽特征能够依次进行。Leitz 标注扫描技术借助安全距离的设置自动控制扫描，而不需要探针输入特征深度。工件表面设定了安全的角度（ $>35^\circ$ ），避免了沟槽与孔测量时发生碰撞。后续的计算只考虑测量点相关的几何量，缩短了编程时间并使得测量速度进一步加快。在航空发动机盘环上，扫描路线可以直接跨越孔，而无需探针反复离开工件并再次接触。在检测整体叶盘的叶尖跳动时，借助标注扫描技术，直接在叶尖上进行扫描而转台连续匀速旋转，检测效率相比单点触测提升 90% 以上。



图1 Leitz标注扫描技术

AERO TIME  
www.amte.net.cn

#### 4 Leitz 智能锁定扫描技术

测量时，如果偏差过大或者零件有缺陷，往往会使得接触点丢失。比如试制阶段的整体叶盘，以较快的速度扫描时，在前尾缘处，探针会离开工件或得到的扫描点质量较差。采用 Leitz 智能锁定扫描技术，能够实现测量的持续进行，一旦丢失点，控制器会将探针放置于上一个正确的测量点，并减速继续测量，通过问题区域后，系统自动提升扫描速度。

Leitz 智能锁定扫描技术确保了即使在面对有缺陷的工件时，测量程序依然能够完整执行而不需要操作者的参与。这项技术为借助托盘无人值守的连续测量提供了便利。相反，在测量出错后停止程序，并调试程序后重新运行，检测效率将大打折扣。

#### 5 Leitz 三维自定心扫描技术

测量非线性的槽是一项相当复杂的任务。如图 2 所示，采用 Leitz 三维自定心扫描技术，测量机自动独立寻找槽最深的点，并在槽底实现连续扫描。Leitz 三维自定心扫描技术还在配备转台情况下的测量。完成丝杠、轴承等工件的球道的测量，更加高效与可靠。连续扫描螺纹中径，也是对先前测量手段的颠覆。

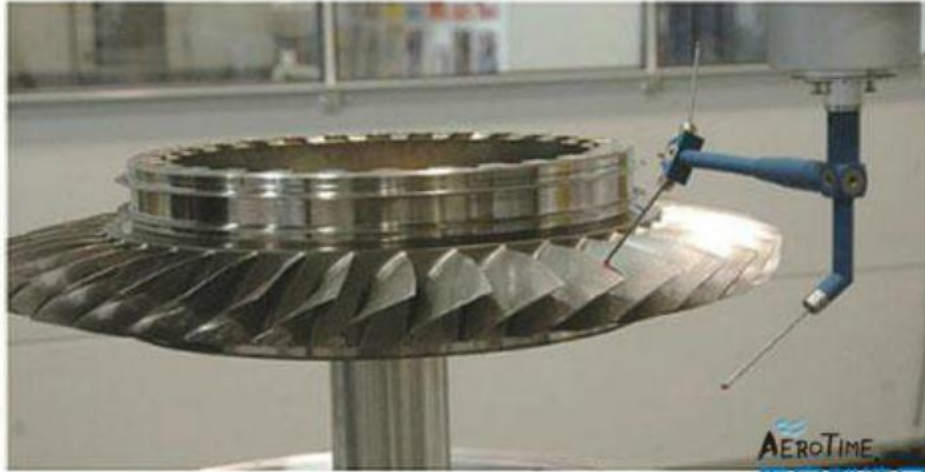


图2 Leitz智能锁定扫描技术提供不间断扫描

AERO TIME  
航空制造网  
www.amte.net.cn

在德国 MTU 新的整体叶盘制造工厂，应用了 Leitz 新的扫描技术。VHSS 扫描根据叶片曲率变化，优化扫描速度控制。四轴联动的扫描减少了探针的更换，提高了机器效率。智能锁定扫描技术，不会因为制造偏差大导致机器中断，保证了测量过程的连续性，使机器连续运行完成叶盘测量任务。一系列扫描新技术的采用，实现了测量叶片中多达 70% 的效率提升。

#### HP-O 光纤扫描技术

在超高精密固定式三坐标测量机上采用高精密光学扫描技术一直是测量行业追寻的目标。因为光学探测能够避免损坏零件表面的同时延伸触发探测不能及的测量范围，所以，将触发与非接触探测联合到一起实现复合式测量，零件在一次性装夹情况下采用 1 个程序自动检测所有尺寸，则能大大提升复杂零部件检测效率，因此，HP-O 技术应运而生。

HP-O 技术基于调频干涉式光学测距技术，是固定式三坐标测量机新型高精密复合式扫描技术（如图 3 所示）。HP-O 中的光纤测头提供了能够与触发式扫描测头相媲美的精度与可靠性，同时提供了更快的扫描速度、更广的测量范围，拥有通用光学非接触测量的优势。如果需要高效的扫描测量，而触发测头又难以接近工件，或者零部件会在触发探测过程中变形、受损时，HP-O 光纤测头将是高精度触发扫描的替代选择。

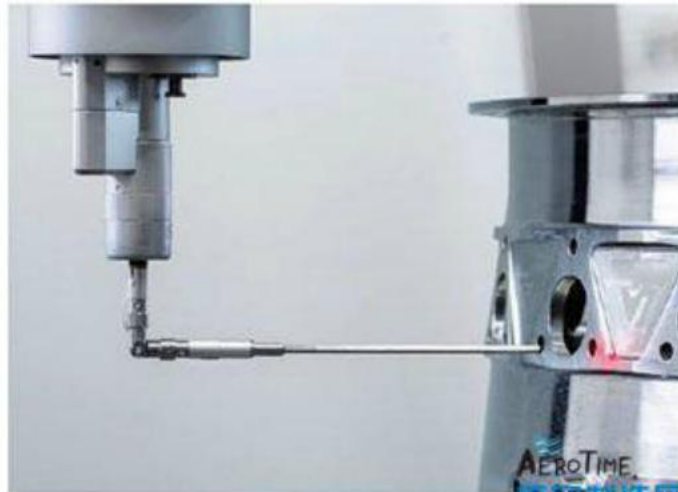


图3 HP-O高精度光学扫描技术 [www.amte.net.cn](http://www.amte.net.cn)

### 1 HP-O 解决方案支持多传感器测量

借助测头更换架，多个光学测头和触发测头可以在一个程序中互换。光学测头可用于单点检测和连续的3轴或4轴扫描测量。解决方案提供了一个完整的测量系统，包含QUINDOS测量软件、Leitz PMM-C高精度测量机、光学/触发测头及转台等工具。

### 2 HP-O 的独特优势

- (1) HP-O 光纤测头拥有 $\pm 30^\circ$  的接收角度，重复性小于 $0.3 \mu\text{m}$ ；
- (2) 非接触测量：使得零件免受任何机械损伤，可避免测针磨损，同时零件不需要任何喷涂标记。对有涂层的叶片，非接触测量能保持叶片涂层不受损伤；
- (3) 测量点到测头末端的距离多达60mm。在检测整体叶盘内腔时，能够解决接触测头无法达到的难题；
- (4) 减少机械探测的局限性，实现高效的数据采集，提供了更快的扫描速度。如检测叶盘的叶尖，直接扫描全部叶片的叶尖，转台匀速旋转即可；
- (5) 空间分辨率高，完成最小细节乃至微观尺寸的测量，如倒角和划痕等；
- (6) 以高点密度简便的获得特征信息。在微小特征处，接触测量必须使用足够小直径的探针，以求清晰表达特征详情。小探针的强度较弱易受损，测量过程由此中断。FOP微小的光斑，远小于接触式探针的直径，能更加准确地获得细小轮廓。

HP-O 解决方案将成为航空复杂零部件高效率精密测量的最佳方案，它刷新了精密测量的历史记录，整体叶盘检测效率提升95%。敏感的零部件要求高精度的非接触测量，避免机械接触的损伤。细小的局部特征，在接触测量中受探针直径的限制。高精度非接触的光纤测头，则很好地解决了这类问题。例如，焊接后的叶盘内腔，接触探针无法抵达，非接触手段通过延长的光线可有效抵达测量部位，实现对内腔的测量。目前，HP-O 将是航空发动机双层盘类工件复杂内腔大尺寸底径测量的唯一解决方案。

### I++ Simulator 仿真模拟编程技术

新的零部件制造完毕送到质保室之后，不能立即展开检测工作，因为技术人员需要利用测量机进行测量编程，编程的时间长短依工件的复杂程度而定，因此，联机编程时间关系着测量机的有效工时，即“测量产能”。

基于 CAD 仿真模拟，I++ Simulator 能够在模拟环境下调试和运行程序，无需测量机和实体工件的参与，就能够得到可用的测量程序。因此，质检工作流程速度获得了很大的提升，测量机的测量产能得到提高。

I++ Simulator 是测量模拟软件，可以进行可行性分析与计划。该软件提供了全套的脱机模拟工具，涵盖设备规划、应用模拟以及 3D 全程的可视化。如图 4 所示，用户在进行零部件编程时，就如同操作真实的机器。用户用现有计量软件（如 Quindos）编写测量程序，I++ Simulator 模拟出真实的测量机，以响应计量软件。脱机编程如在真实机器上进行，机器操纵盒用常见的游戏手柄取代。



图4 用户操作I++ Simulator

某些计量软件内置了机器的图像或模型，编程时机器运动可见。I++ Simulator 则完全作为单独的软件包和计量软件通信，通信协议遵守 I++ DME，这是重要的差别。所以说，I++ Simulator 模拟了“真实的机器”。另一方面，支持 I++ DME 意味着，可以支持不同厂家的计量软件。

I++ Simulator 的优势：

- (1) 减少了编程成本和时间。在新型号研制中，实际工件加工完毕之前，已经可以基于 CAD 进行脱机编程。工件加工完毕时测量程序已经具备。特别是对叶盘等复杂零部件，以及盘轴类检验特征量大的零部件，能够缩短研制的整体时间；
- (2) 测量过程优化、合理化以及透明化。对零部件内腔中不易直接目视查看的部位，模拟编程中可以清晰看到内部的情况；
- (3) 快速与经济的可行性分析。如探针定制的周期长，且存在一定的风险。在软件中可以模拟出需要的探针，并运行程序进行确认；
- (4) 减少机器停机时间。编程完全在 I++ Simulator 中进行，机器的使用效率提高；
- (5) 通过避免碰撞而长时间保持机器测量精度；
- (6) 含有完善的工具库：各种测量机、测头、探针、更换架、转台、上下料系统、夹具、仿真实验室等。能够完成整个计量室计量方案的模拟。

得益于 I++ Simulator 的强大功能，德国 MTU 的新型号叶盘在制造开始的同时，也开

始了测量程序的编制。新的工件加工完毕之前，测量程序已经具备，并且在虚拟的测量环境中运行通过。测量程序几乎无需调整，即可在实际的三坐标测量机上运行。工件到位时，测量工作即可开始。测量设备无需因为测量程序的编制而停止，4台高精度的PMM-C机器总是在执行实际工件的测量任务。

#### 结束语

依托海克斯康计量集团的5S（经过验证的解决方案（Solution）、完善的客户服务（Service）、广泛的软件选择（Software）、高精密的传感器（Sensor）和专业细分的行业团队（Sector））优势，面向航空发动机制造业，海克斯康提供了全面的计量解决方案，并持续投入增效降本的技术创新，为中国航空行业发展赢得竞争优势而努力。（作者 责海克斯康测量技术（青岛）有限公司 孟书广 责编 亿霖）