



单纯利

发动机航空计量技术专家

■ 单纯利 Shan Chunli

中航工业发动机首席技术专家

Aero-Engine Chief Expert of AVIC

中航工业沈阳黎明航空发动机（集团）有限责任公司研究员级高级工程师

Researcher of AVIC Shenyang Liming Aero-Engine (Group) Corporation Ltd.

☞：您致力于航空发动机测量技术研究，完成了多项科技攻关项目，目前航空发动机整体叶盘测量中面临的主要挑战有哪些？可从哪些方面予以解决？

单纯利：整体叶盘作为发动机典型的整体、弱刚性、复杂结构零件，由叶片与压气机盘一体加工而成，每个整体叶盘均布着几十个叶片，叶片型面复杂，叶片间间距窄小，测量空间开敞性差。目前整体叶盘测量主要采用触发式模拟扫描测量方法，主要面临两大挑战。

首先，部分叶盘曲面接触扫描测量分析存在一定失真，影响结果可靠性。叶盘型面作为空间自由曲面，每个截面高度的轮廓形状不尽相同并呈扭曲上升状态，叶盘后缘部分相对较薄，排气边缘半径很小，测量叶片前缘和后缘微小的几何尺寸，一方面，会出现跳点、重叠点、尖边点等不符合零件实际情况数据，使测得的形貌实际轮廓失真；另一方面，受测球半径矢量补偿实际效果影响，实测与理论截面位置无法完全吻合，叶盘前后缘形状、轮廓及叶根大扭转区域叶型轮廓度检测准确度有待提高。

其次，叶盘测量需要多次换针，分段扫描测量，影响测量效率。整体叶盘中相邻叶片之间的通道深而窄、开敞性差，叶根弯扭区域型面曲率大，三坐标测量机测针接触扫描时容易造成干涉，进排气边缘等叶型细节部分扫描测量困难。测量时，测针需要变换若干方向才能完成整个型面测量，测针每个方向都需进行校针，测量效率难以满足生产需要。

在现有技术平台上，既要根据叶盘整体结构设计测量路线，还要根据叶盘叶片型线考虑扫描过程控制。应在测量设备本身以及测量设备的附属工具、测量软件、探测技术等方面寻找新突破点，提升测量效率和效果。具体来讲，可通过采用非接触型面扫描、提升坐标测量机测头半径补

偿能力、优化曲面测量路径等方法提高测量准确度；可从采用多轴旋转测头，减少测针配置数量，以及脱机编程和固化检测程序等方面来提高检测效率。

☞：航空发动机零部件种类多、结构复杂，带来复杂的测量任务，您认为新型测量技术发展趋势是什么？

单纯利：触发式模拟扫描技术已经成为航空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，实现几何形状和位置的精确判定，但是，复杂曲面曲线的高密度扫描，需要设备能实时根据曲率变化给出智能的调整，以在平衡点密度和效率的同时获取最精确结果。智能化、复合化测量日益成为航空发动机测量技术发展趋势。

智能化测量基于机器人、数控与测控技术的有机结合，通常采用多轴主动式扫描探头或测量机器人，拓展坐标测量设备多轴测量功能。多轴主动式扫描技术使传统测头增加了类似机械手的功能，可以任意转向，同时还能做回转运动，进行圆度及圆柱度误差测量。基于工业机器人良好的重复定位精度，以机器人为运动平台，结合多种在线精密测量设备，采用高度柔性和灵活的应用形式，可完成复杂测量任务。

复合化测量基于非接触和接触多元传感器的复合坐标测量技术，在一定程度上方便了航空发动机复杂零件的测量。零件在一次性装夹情况下采用一个程序自动检测所有尺寸，应用该技术克服了单纯接触测量模式的局限性，可实现零件表面全误差测量（包括表面粗糙度），大大提升复杂零部件检测效率。例如，固定

式三坐标测量机上采用高精密光学扫描技术能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，

单纯利：研究员级高级工程师，中航工业发动机航空计量技术首席专家，主要从事航空发动机制造过程中计量测试技术应用研究，参与完成国防科技工业技术基础科研项目3项；主持完成压气机叶片前后缘轮廓精密高效检测和基于UG数模发动机零组件数字化检测项目，主持完成测温贴片变色温度校准装置研制和校准方法编制；作为项目主要成员完成整体叶盘检测、超声波探头回波频率测试和发动机转角指示器校准等航空计量项目技术攻关。获得国家工业和信息化部科学技术进步三等奖1项和中航工业科

技成果三等奖2项，获国家专利6项。



采用工业CT对零件进行断层扫描，再利用多

元传感器复合测量和数据重建技术建立被测零件三维图像，可测量复杂零件内部三维误差，给出其三维误差效果图，便于直观体现和分析零件工艺方面的误差，尤其适于航空复杂零件封闭内腔几何参数非接触测量。

☞：据您多年科研经历及丰富的任务攻关经验，怎样才能提高团队技术攻关能力？

单纯利：建设高效攻关团队必须高度关注团队分工和团队目标达成。团队分工要依据团队成员知识结构、专业特长和性格特点进行，做到扬长避短，有机融合；目标达成，要做好目标聚焦，咬定青山不放松，调焦，因势利导，借力而行。

作为团队核心，攻关项目组长要有担当意识、大局意识，还应具备良好的学术道德和职业操守，知人善任，科研态度严谨，学风民主，有效激发团队每个成员主观能动性，凝聚集体智慧，快速形成团队合力。

（采访 良辰 责编 春早）