测量

对于测量式机加工的展望

当今的定制化加工作业就如同试验场所，从中可以看出，未来的加工业规格要求将更严格、无纸化程度更高、总体质量控制更全面。

更多精彩请扫描二维码

文 | Matt Danford

位于 Maine 南部某小镇上，一家工厂中的一些操作人员正在用机加工方式为美国某些最尖端的防御系统生产零件。他们生产的不是普通零件，而是那些攸关性命的关键零件。该工厂在商业航空航天领域也同样广受信任，他们既为波音和通用电气这样的公司生产飞行安全核心部件，同时也为海军核潜艇推进系统生产部件。

1984 年，Arundel Machine Tool 公司的总裁 Marcel Bertrand 在年仅 16 岁时，就开始帮助父亲 Raymond 操作公司的第一台手动设备。他们的家乡距离 Portland 很近，公司即是以其家乡命名。此后，公司多次搬迁和扩张，到如今，工厂占地面积已达到 40 000 ft^2，并且已经有了新建厂房的条件。事实上，新建 20 000 ft^2 的计划已经开始了，这一建设计划主要是为了增设铣床和五轴加工中心。

谈到在医药及半导体等多个行业的从业经历时，Bertrand 先生表示“自己做了一些特殊贡献”。在他和其他管理人员看来，产品即代表着工厂，Arundel 公司生产的零件广受信赖，意味着公司不论在人力、财务、环境或其他方面的管控上，都达到了很高的程度。销售副总裁 Patrick Shrader 谈到这项工作的重要性时说：“如果海上油井的‘井口采油’阀在不该有毛刺的地方产生了毛刺，或者产品尺寸出现问题，可能导致漏油并产生数百万美元的日损失。”

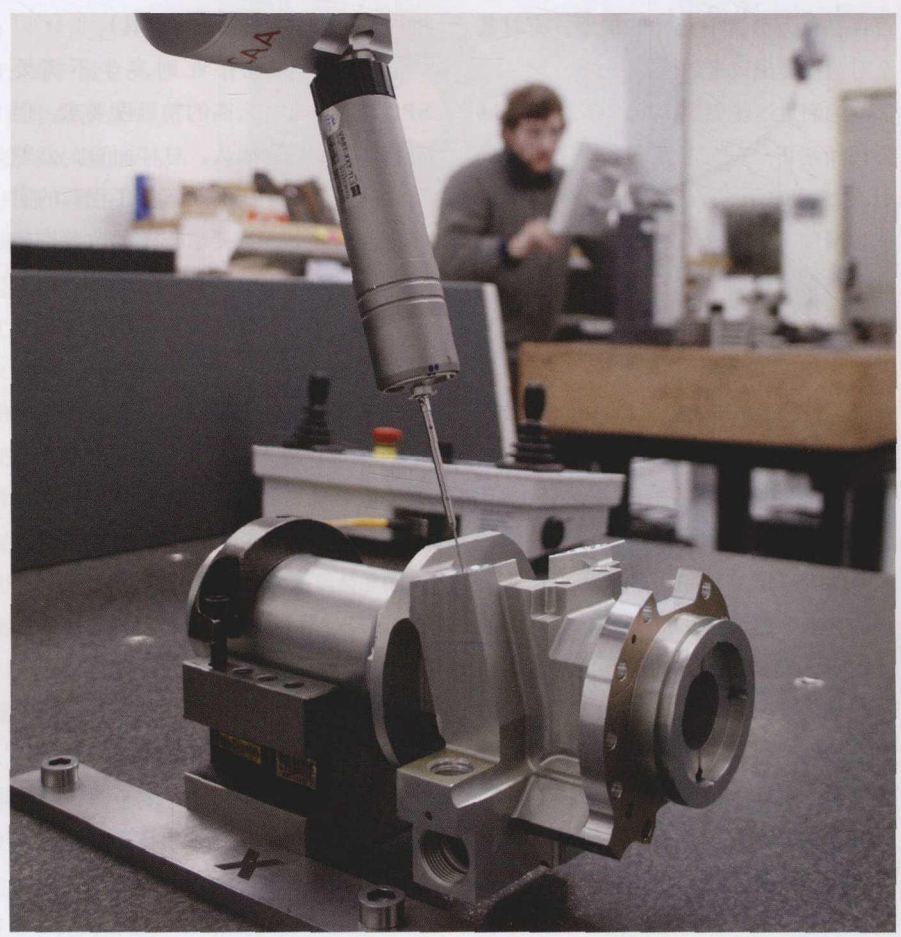


图 1 Arundel 机床的新款 Zeiss 三坐标测量仪 CMM，它使用绞接式测头架和 VAST XXT 传感器来收集驱动模块所需壳体尺寸信息。这项技术对工厂敏感工作所需的扫描程序而言至关重要

Bertrand 先生和 Shrader 先生也以身临其境般的语气谈起了这个问题。要进行敏感度、要求更高的作业，就意味着

不断加速应用新工艺和新技术，正如目前五轴及车铣机床过渡期的情况一样。如果历史重演，那么尖端加工作业总体上会越来越类似今天的定制化作业，这些技术与工艺的优势也会彼此融合。

同时，按照过去的经验，新型作业在流程和结果验证方面要应对的挑战将不亚于加工本身。然而这一次，转变来得十分彻底，客户希望亲眼看到所需数据。如果有分析显示装配可以加紧、特征定位可以更准确或表面光洁度可以更高，那么客户很有可能提出相应要求，尤其是在该类改动可以改善设计的情况下。事实上，客户和联邦政府品质控制检查人员经常在 Arundel 公司的工人旁边增设专用工作站，在那里检查数据是否存在百万分之一英寸的误差，有时甚至对流程提出改进建议。

为满足这些要求，2015 年，Arundel 公司新建了一间质量实验室。其中，最引人注目的新设备是一台坐标测量机（CMM），它有一个绞接式的扫描测头，能够在更短的时间内收集更多数据。此外，Arundel 公司还增配了便携式 CMM 以加快车间测量速度，并使用自研发量具跟踪系统，从中可以看出 Arundel 公司乃至精密车间的未来质量控制发展趋势。

质量过滤控制

Bertrand 介绍说，多数加工作业要求的标准公差为 ±0.001inch，但对于关键飞行、安全及其他功能部件而言，通常要求标准公差为 ±0.000 2 inch。而这样的作业目前占据该工厂工作量的约 20%。在这 20% 的作业中，有 5% 的作业要求更为严苛：这些零件的功能太过重要，因此需要进行全面统计过程控制（SPC）。

机床在加工完每个零件后，工程师需要手动检查其功能，然后将数据输入 Excel 中。这样做的目的是在指定公差带内跟踪各零件形体尺寸变化的趋势，并据此对流程进行调整，尽量减小公差。对于工程师而言，这意味着实际精确度要超过设计标准要求（如要将公差保持在 ±0.000 3 inch 而非 ±0.000 5 inch 范围内，可能需要提前更换刀具）。

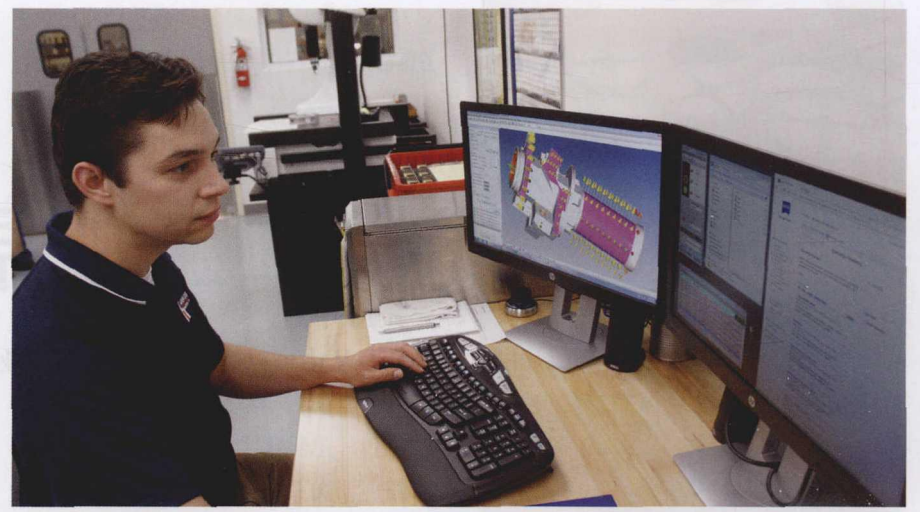


图 2 CMM 程序员 Casey Sigler 表示，他对 Zeiss 的新款 CMM Calypso 测量软件的灵活性非常满意

工厂的其他作业则多半不需要 SPC，也没有这么高的精确度要求。但是 Shrader 先生承认，总体而言，公差要求越来越严格了。从车间工程师的实际操作中判断，高要求作业的改善措施和相关经验对其他作业也有影响。在未来，这些改善措施和经验可能会更加重要。例如：

● 加快过程开发。工程经理 John Hebert 说，最为困难的部分，是要求工程师能够提出新的生产策略（即使对常见的几何形状也是如此）。例如，要实现表面光洁度要求，可能需要使用砂轮（而非铣刀）对某一常见零件进行加工。此外，还需要学习如何进一步发挥机床的单步设置生产能力。他举例说，采用正确的方式操作车铣，就可以免除在关键 SPC 功能部件上保留“安全库存”，并在另一次设置或另一台机器上再次将其移除以规避尺寸影响的麻烦。

● 加大技术投资。大约几年前，该车间投资了首批车铣和五轴机床（大部分是 DMG MORI 的 NTX 和 DMU 系列），当时它还未开始接触客户敏感作业。然而，这一设置整合优势大幅提升了这些设备的通用可用性，其在这一方面的重要性不亚于新市场。不论是否采用 SPC，这些零件都不适合由车间的托盘 HMC 系统以熄灯生产方式加工。Hebert 先生说，这样的产品无法允许再次夹紧带来的叠加误差，也不能允许功能部件彼此影响定位精确度的问题出现。Shrader 先生说：“十分之一的刀具磨损和千分之一的磨损是截然不同的。”在这样的挑战下，新的作业不但促进了工厂增设机床，也推动其为投资提供支持。

● 加速应用新技术。该企业仅 2016 年一年的投资额就超过 150 万美元，近年来，除增设机床外，公司还在其他方面作出了投入。Hebert 举例说，他们使用了新品级和形状的刀片来替换老款刀片，也更倾向于使用现场磨削设备定制刀具。经常实施特定尺寸切割、珩磨边缘、制作各种螺旋形状以及使用专门涂层等变更。此外，该工厂对新刀具轨迹（如驱动车铣的 DP Technology 公司 Esprit CAM 软件 ProfitMilling 策略）的使用也进一步提升。这些刀具路径能够优化啮合角度、进刀量、横向切削力和机器加速度，提升材料去除率。

但是，不论这些进步价值有多大，其在打破严苛质量要求带来的检测瓶颈方面不无裨益。Bertrand 先生和 Shrader 先生希望测量技术和实践能够和机加工技术一样，在单独作业之外进一步发挥其作用。毕竟在增设新质量实验室后，除精度要求越来越高外，其余的零部件



图 3 首席机械师 Justin Patry 依据实体模型测量一系列定点，准备工厂新型便携式 CMM 轮廓度测量所需工件。在这一系统上对轮廓度测量进行设置比手动 CMM 设置更轻松

功能数据需求也越来越大。“我们建好实验室，后面的事情便会跟随而来了。”Shrader 先生说。

为单个零件创建点云数据

新质量实验室的核心设备是新款 CMM，即一款 Zeiss 公司研发的，配有 RDS 绞接式扫描测头的三坐标测量机。配备了 Vast XXT 绞接式测头后，该新型系统可以使红宝石探针沿表面对一系列点进行测量，而非每次只能测量一个点（图 1）。程序员 Casey Sigler 认为，要想实现复杂加工特性要求更高且需进行 100%批次检验，尤其是客户亲自检查并对 CMM 程序提出反馈的作业，必须具备这一能力。他说，2004 年采购的 CMM 设备仍然很大程度上依赖触发式测头，而这一次升级就像用 HD 录像取代拍照片一样（图 2）。

扫描技术采用多种过滤算法，其数据更多，因此测量更为准确并且可重复进行。“投入多产出也增多。”Sigler 先生表示，他强调 Vast XXT 的独立绞接方式在匹配精确度与速度方面至关重要。要将运动对象限定为该机器自带的三个轴，在形状和特征测量时需要对正弦板和其他复杂夹具进行设置，并且在编程过程中要注意到偏移值。Sigler 先生说，相比之下，新系统中测头几乎没有用武之地，因为这里有 40 000 多种定位可供选择，让编程变得简单。”

当然，这并非表示学习曲线不存在，即便忽略两个附加轴，单是将最长的探针安装到 5.5 inch 长的检测头上，整个装置的长度就达到了约 9 inch。Sigler 先生说：“这会占据原有的工作空间。”移动时必须特别小心，避免干扰到设备。另一个关键的经验是，要限制检测头变动并尽可能避免其快速移动。这样做所节约的时间最初看来微不足道，但整体累积下来就变得十分可观。此外，零件和检测头的清洁度也很重要，碎屑会附着在扫描检测头上，并污染零件，导致数据失真。在扫描过程特别长的情况下，铝等较软的工件材料甚至可能在检测头表面上堆积。

从“心”出发！
权威、分享、新鲜是我们的关键词！
MM 现代金属加工



微信公众号

MM 现代金属加工订阅号，致力于传播先进制造技术，与实际加工应用相对接，面向机械制造全产业链提供解决方案。引领智能制造、智能工厂、大数据制造等发展趋势，为行业输送全球领先制造理念，致力于中国制造业的转型与发展。

MM 现代制造
联系我们：
电话 (Tel)：+86-10-63326090-98
传真 (Fax)：+86-10-63326099
E-mail: mm@vogel.com.cn
Vogel 弗戈工业传媒 MM创刊于1894年
广告

由于 Sigler 先生可以在机床运行的同时编程，因此额外安装的 Calypso 测量软件也有助于避免质量实验室瓶颈。迄今为止，最显著的时间节约成效乃至上述某些策略都很大程度上有赖于这款软件的灵活性。比如可以更改操作程序以减少快速移动，而无需担心破坏程序。“可以很轻松地将‘直径、直径、平面’更改为‘平面、直径、直径’，各种功能好像积木：可以随意堆叠，抽出或移动一些，它们还是能叠在一起。”

同时，CAD 模型自动特征提取使得不必在进行人为区分半径、表面、孔等工作。格式转换功能使人们可以轻易剪切和粘贴特征属性，为编制例行作业程序（如需要在特定深度对螺栓孔进行内径扫描）提供方便。Sigler 先生表示，他并没有在点云中花费大量时间手动“填补空白”。他需要做的仅仅是指定密度，Calypso 软件则在待测功能部件上平均分布测量点（通常在 400 度采集 400 个测量点）。他还补充道，在 CAD 模型比较中，导入类似零件模型或修正同一模型时可以自动合并更改，加快编程速度。同样，可以使用保存 / 载入测量点功能将同一路径应用于类似零件。

不久后，Zeiss 的另一款 CMM 可能会进一步精简此流程（Sigler 先生也在进一步展现其技术）。这款 CMM 将保留 Accura 系列产品的非接触式光学扫描功能，他希望借助这一功能，能够进一步加快复杂、多功能零件的大量数据生成速度。（Bertrand 表示说，该设备已经列入公司 2018 年度支出计划）。

数字化

非接触式扫描已经成为车间流程的一部分，Faro Technologies 的六轴主测量臂长 4 ft，能够即时反馈测量数据与实体模型的比对情况。这一便携式 CMM 通常用于测量非关键指标（精度为 ±0.001 inch）。首席机械师 Justin Patry 认为：“轮廓度测量是它的优势所在。”测量准备工作与实际测量工作并无二致。设计师借助笔记本电脑上的实体模型投影，将一系列点与高亮区域相对应，无需平移或定位偏移即可调整该零件（图 3）。

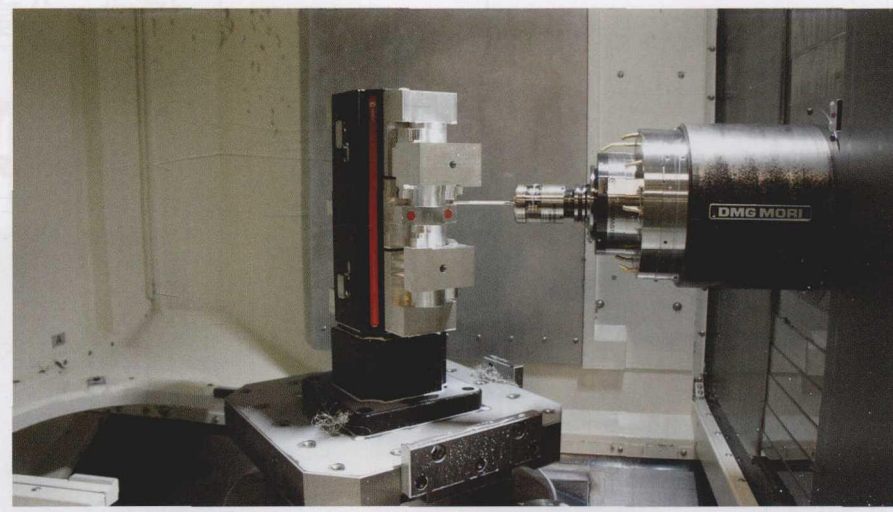


图 4 目前在设置过程中机上测头的使用较为广泛，但启动测量功能的计划正在酝酿当中。其他正在酝酿中的质量控制手段还包括使用自研发 SPC 软件、实现多种量具自动数据传输及具备非接触式扫描功能的新款 CMM

Bertrand 先生说，这项技术和那些工程师们使用的车铣一样，正在快速向成熟方向发展。他说，可以想象有一天，此类系统会具备足够的精确度，不仅能够完成正在生产的产品测量，还能进行最终验证。或许这在短期内难以实现，但 Faro 测量臂确实并非依靠纸质蓝图，而是依靠实体模型来运行。

而且，在以数字化取代纸面办公的流程上，这并非个例。Arundel 公司的 Gagetrace 系统是该公司的最新成果，能够提高检测可追溯性。Shrader 先生评价它时表示，所有设备使用及校准时间表相关信息都会在工厂网络上进行数字存档，可以随时升级，而且可快速分类、搜索和检索，而不像过去那样“无法辨认的手写稿”。

不论是 CMM 还是手持式内径规，所有测量工具都附带条形码（与商业运输和物流公司相似），员工用手持设备扫描条形码即可。这一操作可跟踪日期，校准通过 / 未通过数据和截止日期，设备的仓位，以及员工、岗位和作业的识别号信息。这一系统主要为该公司自主研发，目前已使用两年，而这只是其简化数据收集、组织和报告的一个案例。

Bertrand 先生和 Shrader 先生认为，尽管所有的客户都对此类改善大加赞赏，但 Arundel 公司承担的作业最具挑战性，因此它也面临原有设备制造商改革的压力，而这样一种改革压力会随着竞争的加强而越来越大。例如，Faro 测量臂就是应客户要求采购的。此前，另一个大客户要求 Arundel 公司以 3D 方式单独生产零件。这仅仅是一项案例研究，旨在确定其流程与使用传统蓝图的供应商流程有何不同，然而这一案例的意义非比寻常。Shrader 先生说：“我很喜欢 3D 文件，套用一句话说，你可以将它翻转过来，看到需要的一切。”

他和 Bertrand 先生认为，就制造过程中使用 3D 文件而言，他们确信不论整个行业需要多长时间才能完成必要的实践（如在 CAD 文件中嵌入完整几何尺寸和公差数据），未来，Arundel 公司一定会在车间使用平板电脑，将仪器数据自动转换到自行研发的 SPC 软件中（目前正在开发），同时会进一步推行无纸化（图 4）。上文提及的实验说明客户已经开始对高敏感作业提出需求。随着这些客户的动作，供应链的其余部分也将开始变革，而 Arundel 公司希望在这个风口抓住机遇。MM