

测量

主动扫描 可收集完整的孔内径形状数据

对于擅长精密管状组件的专家而言，通过对复杂的孔内情况进行测量，并对相关的形状测量数据进行完善，将能够令其挖掘出更强劲的竞争优势。

文 | Matt Danford

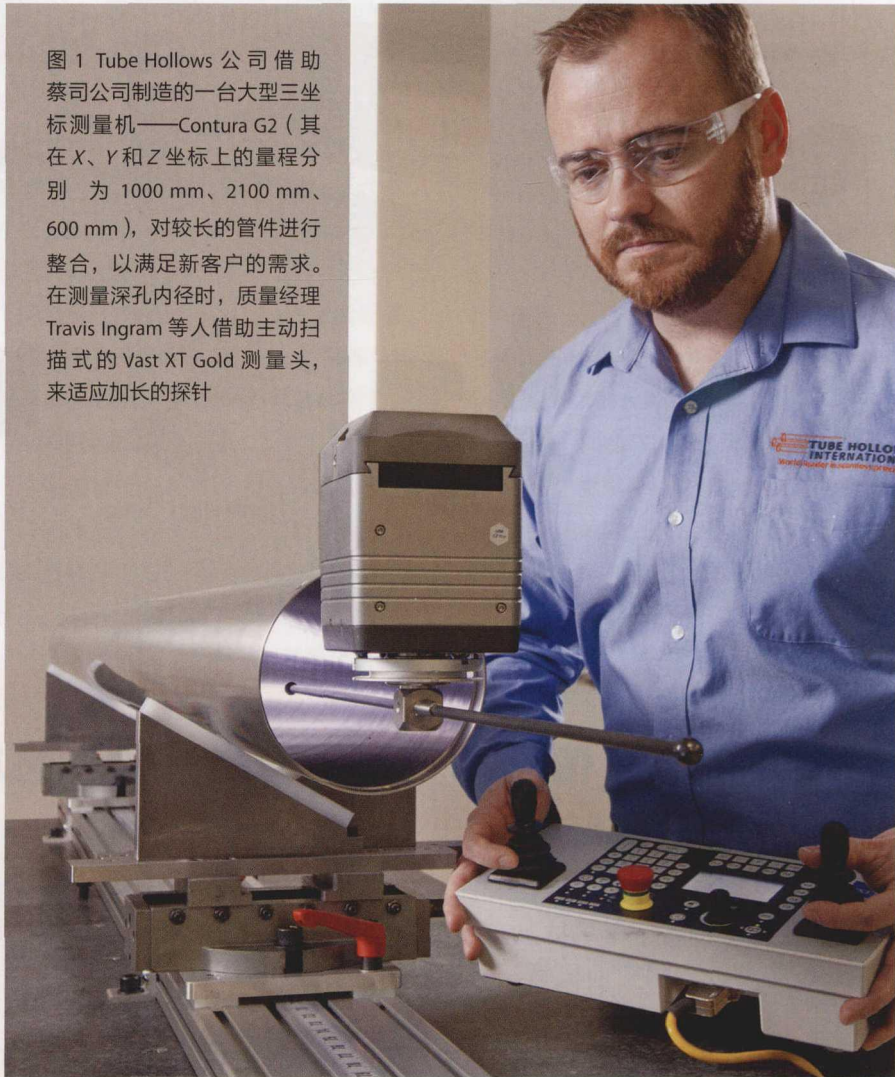


更多精彩请扫描二维码

从高处眺台俯瞰，游客们便能对 Tube Hollows International 公司占地 20 000 ft² (1 ft²=0.093 m²) 的主产区一览无遗，而这也是有充分理由的。该公司拥有 27 台标准型号的枪钻机床，这些机床能够按照精确的直径比，将特殊材料的棒材加工成同轴的、壁厚均匀的管材。此外，这些机床并非能在别处购买到，它们是由该公司自主设计的。这并不是说它们就是“神奇的机床”，总经理 Dave Morse 解释道：“正是这些专有工艺在起初引发了对此类定制机械的需求，而公司的此举也是出于对其保护。”

“对我们来说，一切都以中心为重。” Dave Morse 在评论本公司（拥有 50 名员工）于钻孔工艺中采用的“borecentric”技术时，如此说道。借助这一技术，这家专业制造商（位于 Windham, Maine）的机械工程师们能够对管材的内、外径进行匹配。这与钻直孔的常用方法截然不同——后者以内径为中心，然后缩小外径。除了便于显示 0.008 in（或更小，只要底座是 25 ft）的总指示偏差量（TIR）以外，borecentric 技术还节省了昂贵的材料（诸如钛合金

图 1 Tube Hollows 公司借助蔡司公司制造的一台大型三坐标测量机——Contura G2（其在 X、Y 和 Z 坐标上的量程分别为 1000 mm、2100 mm、600 mm），对较长的管件进行整合，以满足新客户的需求。在测量深孔内径时，质量经理 Travis Ingram 等人借助主动扫描式的 Vast XT Gold 测量头，来适应加长的探针



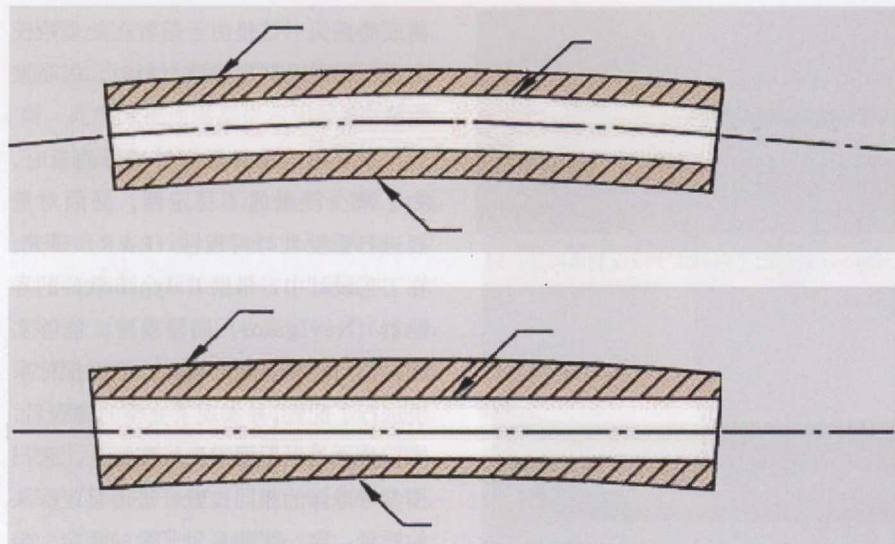


图2 借助 Tube Hollows 公司的 borecentric 技术（顶部），机械工程师们能够对壁厚均匀的管道（甚至是弓形杆）实现内、外径匹配。这与传统方法形成了对比——后者通过缩小外径实现匹配（底部）

和镍基合金），并且能够对轴类（具有预加工的外径尺寸）进行钻孔和修整处理。

尽管如此，Morse 坚持认为，如果无法将 borecentric 钻孔技术的测量能力提升到与其加工能力相同的水平，则公司将不会充分地挖掘出该技术的全部潜能。技术销售工程师 Andrew March 说道：“内径规及其他手持式仪器不够精细，无法满足 Tube Hollows 公司新型客户的需求，航空航天及能源行业的制造商所需要的不仅仅是直的、壁厚均匀的管材。”借助坐标测量机的扫描功能能够提供完整的几何尺寸与公差（GD&T）等形状数据，而这对那些复杂的、具有多种尺寸的管件内构（如涡轮驱动器、起落架组件等）而言，都是必需的。

然而，并非所有扫描头都适用于公司新近（在刚刚过去的六月）从蔡司工业测量处购得的三坐标测量机 Contura G2。测量凹陷的槽部和凹口，突出的几何体，如肋状和齿条结构；多种轮廓线直径，带有步进式的半径过度；完全平坦的盲孔底部；以及需要加长探针的其他管内深处的复杂尺寸。事实上，由于此类管材过长，因此采用被动扫描头及其静态系统（弹簧和位移传感器）时，无法实现准确的测量，甚至有时根本无法测量。因此，公司选择了主动扫描

头——Vast XT Gold 来取代静态扫描头，利用力发生器和其他内部组件，对管件表面持续施加一个由用户自定义的均匀应力。在这一过程中，它补偿了由较长或较重的探针所产生的任何多余作用力，蔡司公司的高级技术销售工程师 Kevin Donovan 说道。

考虑到半成品零件的复杂性，为了使此类管件的生产步入正轨，对主动扫描技术的采纳也是十分必要的。最终，主动扫描所提供的全面形状数据（包含几何体的外径尺寸，甚至还包括非管型的零部件）满足了新型客户的需求。“尺寸越复杂，越能凸显主动扫描的优势。” March 说道。

计量功能愈加完善

在获取必要证书的同时（Tube Hollows 公司在 2017 年 2 月进行了 AS9100 认证），Morse 表示，他和其他领导人共同审查了对坐标测量机的引进和应用情况，这是自公司成立以来，迈向下一阶段的一步举措。

这一阶段很快就实现了。该公司成立于 2011 年，其创立团队来自于一家更大规模的制造商企业（该企业已被收购）。在随后一年内，Tube Hollows 公司从原先所租用的地点处，搬迁到了一个更大

的办公场所（占地 50 000 ft²），也就是目前的办公地点，并且凭借原公司在收购时留下的少量最基本的成孔加工设备，开始了业务运营。Morse 认为，公司的稳定发展主要在于其对核心业务领域的专注，尤其以医疗行业的零件加工（如钛合金髓内棒、镍钛管材等）而享有名气。

不过，若仅仅专注于对管型部件（同轴、壁厚均匀）的加工，则将无法涉足上述所提及的航空航天及能源行业，而在 Morse 和其他领导人看来，此类行业对公司的未来发展是极其重要的。尽管这一点更具挑战性，一般而言，产品的前置时间为 8 ~ 12 周，对比之下，处理遗留问题的时间为 2 ~ 4 周。现已证实，Tube Hollows 公司的机械加工能力完全能够精准地处理这些零件。不过，除了对内、外径尺寸、总指示偏差量（TIR）和表面粗糙度的测量外，客户还需要对复杂几何体的内径表格给出完整的定义。与手持式测量仪器不同（需要在数个选择测量基准上，对剖面几何体进行投影），坐标测量机借助数千个数据点来描绘 3D 轮廓线，并且能够对这些数据点作出直接的解释。对形状的标注也更容易、更精确（比如对圆柱体而言，需结合对圆度、平直度和锥度的测量）。

此外，即便是那些能够用手持式仪器完成的检测，也通常会用坐标测量机来取代此类仪器，完成检测。同步工程是 Tube Hollows 公司的规范操作，在决定对成品零件的几何形状采取何种最优的测量方式之前，首先进入制造流程。利用这一工具的 Calypso 软件，公司及其客户能够借助各种算法，以不同的方式对同一数据作出说明。“一旦我们设立了基线，便会逐个地审核所有零件，以确保它们的统一性，或者进一步对数据进行分析，又或者会依据不同的标准来进行。” March 如此说道。

积极追求精度

抛开软件功能不谈，如果在车间内对坐标测量机采用被动扫描头，则无法



图 3 这一产品表明（不排除有更简单的方法）Tube Hollows 公司已不再满足于仅仅制造同轴、壁厚均匀的管材，而是能够实现更高水平的加工

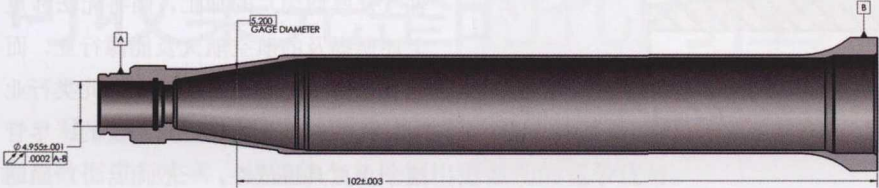


图 4 在各类复杂的内、外径尺寸之间，往往彼此密切相关，因此不仅需要将它们加工成型，还应对其作出完整的规定，这就需要借助坐标测量机（CMM）来完成

实现这些操作。被动扫描头借助内径量规来获取表面数据：内径量规主要用来测量弹簧（与探针相连）在探头离开零件表面时的压缩和松弛程度。March 把这一构造比作游乐场的机动设施：古董车的复制品无法接触到围绕轨道中心的导轨，以防止车辆偏离路线。同样地，被动扫描头的精确操作窗口能够执行拉伸或压缩弹簧的指令，同时不会对测量结果造成影响。较长的探针会因重力作用而下垂，这会在检查程序开始前，部分甚至完全地关闭这一窗口，尽管这一情况通常无法被人眼识别。

“而主动扫描头就不会受此限制，它能够通过适时调整来控制探头的受力。一系列为探针提供主动稳定作用的平行四边形，以及内力控制器、传感器和标尺等，都保证了 Vast XT Gold 在零件表面上施加了均匀一致的探头压力，而无需考虑重力、接触角度、零件的几何结构或任何其他外部因素。”Donovan 说道。因此，探头可适用长 500 mm，重 500 g 的探针。

主动扫描头复杂的内部结构，可免于对连接式固定器的使用，而后者在被动扫描头中较为常见。因此，在测量复杂的内径时，需要采用多个加长探针，

并且结合不同的连接方式和测量角度，确保探头在法向矢量上（垂直）接触待测表面。在 Tube Hollows 公司，这些加长探针主要是从蔡司的 ThermoFit Pro 系统中组装的。与常见的铝制或钛制构造不同，这些工具的碳纤维构造在设计上集高硬度、轻质量和热稳定性等特点于一体。在 Donovan 看来，这种构造对长距离的测量应用是不可或缺的。在探头上，与常见的红宝石探头相比，Tube Hollows 公司更青睐于使用氮化硅材料

制成的探头，这是由于前者在处理哈氏合金、钼类及其他硬质材料时，极易发生磨损。

在采用这些长形探针进行测量时，为了减少测量的不稳定性，必须对量规进行重复性与再现性（R&R）研究。在工艺设计中，借助 Calypso 软件的导航器（Navigator）向导程序，能够实现适当应用参数的校正。在对探针系统进行了配置，并实现了完整的编程后，操作员通过以不同力度操作探头，来扫描参考球体的相同位置，进而鉴定探头的质量。这一程序是对张量的测定，借助它能够明确探针在每单位力下的精确弯曲度。凭借该程序、CNC 和传感器的反馈，由探头的内部结构完成剩下的操作。

与 Tube Hollows 公司采用的扫描技术相比，其计量程序拥有更广义的“主动性”。坐标测量机为各类工作的衔接提供了大量的主动性，这是由于：对新型复杂零件的生产活动，是在质量控制部门与车间之间进行的一种交替，而主动扫描数据则为该流程中的每一步骤都提供了指导。举例来说，销售经理 Evan Spoerl 援引了最近的一项工作，将处于两个内径之间过度阶段的临界半径，与外径上的某一特定点进行匹配。这种情



图 5 项目工程师 Kelly Wright 选取了一个在该公司走心式自动车床上生产的零件，对其进行了测量。长久以来，车间测量在此处已成为了一种规范操作，并且在某些情况下还会进行加工过程中的测量。然而，即便对于各类新型的、更为复杂的产品，往往也会在坐标测量机上采用简单的测量方法（借助手持式仪器）来获取更全面、更可靠的形状数据

况下，在对离线监测的零件进行牵拉后，证实钻孔棒材已达到了合适的深度。然而，此类扫描通常都提示需要进行轻微的工艺调整。

于是，这一工艺逐步进行下去，通常需要与客户进行持续的反复沟通，直到开始编制全面检查报告。“到那时，大部分的所需数据都已收集完毕。” March 说道。这就节省了一些时间测量，但它仍无法弥补的事实是：对于在加工过程中进行的检测，当把零件从车间取出后，需要在不同的操作之间进行额外的设置。即便如此，这一影响是微小的，因为由硬质材料加工而成的复杂零件，通常需要耗费较长的加工时间。同时，March 还提到，用于某些钻孔和成孔操作的周期时间通常都需要按小时计。简言之，这是奢侈的，因为它为规划和执行扫描预留了大量的时间，而扫描一个零件所需的时间一般为 20 min。

“这并不是说 Tube Hollows 公司不看重机械加工的效率。” March 说道。恰恰相反，效率性正是该公司一直以来所秉承的原则（近期，该公司投资购入了一台机床，该机床集车削与铣削功能为一体）。因此，不如说它反映了加工流程的性质。它还反映了另外一个事实：无论是在最初为了制造零件，还是为了提供全面的形状数据，进而能够与客户就重大工程展开讨论，坐标测量机在加工过程中的扫描功能都是必不可少的（因此，人们甚至十分乐意采用坐标测量机来进行那些简单的测量活动）。简言之，选择 Tube Hollows 公司的客户，并不是为了实现产品的快速生产，而是为了解决设计上的难题，确保那些关键性的部件具有极高的精度，避免在其发生故障时，造成人身伤害和财产损失。

超越 Tube Hollows 公司

Tube Hollows 公司的团队之所以如此重视坐标测量机的主动扫描功能，除了长距离测量之外，还有其他原因。对标注了“光滑镜面处理”的表面，或带

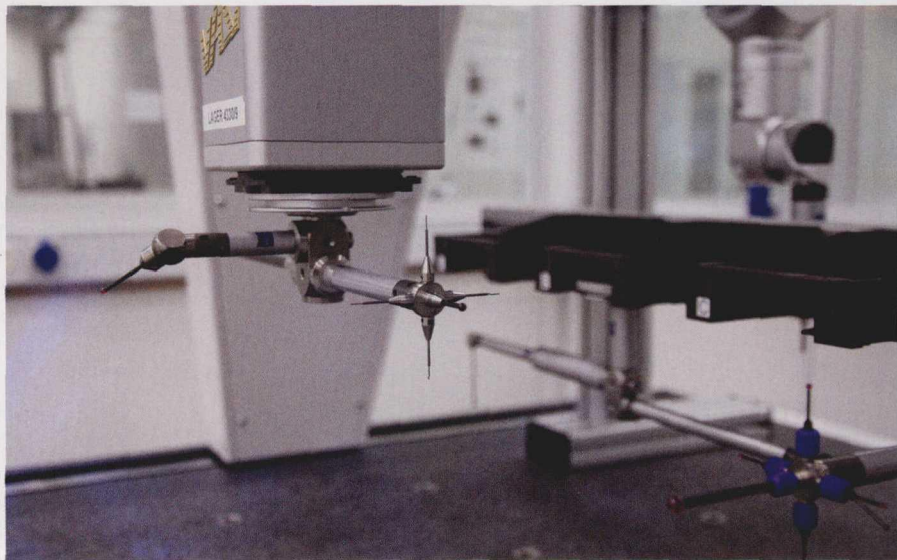


图 6 本图片显示的是一个经过配置的探针系统，其探头端部能够在法向矢量上接触待测的几何体（垂直）。Tube Hollows 公司的复杂产品通常都需要加长的探针，而且单个部件可能会需要多个探针系统

有精细的亚光图案的表面，力控功能也使其测量更加容易。即便要在这类表面上进行简单的测量，采用一个红宝石制的探头进行轻触，也要远远优于采用内径规上的钢制探针。“我们实际上还能用它来测量聚苯乙烯泡沫（泡沫塑料）。” Donovan 在谈及蔡司公司使用 Vast XT Gold 进行的自测时，如此补充道。

事实上，对非管型的零件而言，坐标测量机的主动扫描功能是极佳的，但它仅仅是一种补充，就像齿轮是某一组件的一个组成部分一样。Tube Hollows 公司将这种复杂的工艺视为一种额外的机遇，它能够使公司大大拓宽核心业务领域，提供更广泛的服务类型。尽管被动扫描头在除长距离测量以外的工艺中，拥有自身的优势，但公司并不考虑再向其中投入资金。“主动扫描所能实现的功能真的是极其重要。” March 说道。

“与被动模型相比，主动扫描头在任何类似测量（长距离或其他）活动中都能提供更多的数据。” Donovan 说道。借助在扫描过程中持续的实时调整，主动扫描头可被视作一个迷你型的坐标测量机，并且处于更接近测量点的位置。这就给工艺流程增加了一定的精细度，而并非像轴形发动机带动各类机械运转那样简单，对比

之下，后者所说的正如被动扫描头那般。在没有主动力控或稳定的情况下，当离开零件表面的探针在拉动探头时，压力会随着每个轮廓线而发生变化。因此，被动系统必须更多地依靠补偿式的软件算法，来完成同样的结果。

Donovan 强调，这些算法都是极其复杂的，并且蔡司公司对这两种不同的扫描头，引用了同样的测量不确定度。尽管如此，在工业生产条件下（也即在质量实验室环境之外），“借助主动扫描头，或许能更好地处理各零件之间不太理想的差异性问题的。”

对 Tube Hollows 公司的客户而言，这正是他们所关心的问题。“尺寸越复杂，我们越想对其采用更多类型的算法。” March 说道。在描述完主动扫描的优点之后，他又返回到一开始那个游乐场古董车的比喻上来，这种车只能被限制在某些狭窄的路径上行驶。“如果你在一个齿轮齿上应用主动扫描探头，它将沿着轮廓线行走，并保持一定水平的压力，无论轮廓线的走向如何。而被动扫描探头是由一个标称值带动的，如果这一标称值及其实际值开始发生偏离，结果也必将发生偏离。对我们而言，选择主动扫描实为一项明智之举。” MM