

五轴加工

机床厂商偏爱不同特点的五轴加工技术

Campbell 工程公司受益于多零件加工模块工件夹紧概念的一个新转折，其使得 HMC 之一执行 3+2 加工，以减少废料，同时支持其医疗客户的更大量需求（图 1）。

文 | Derek Korn



更多精彩请扫描二维码

对于五轴加工客户可能会要求带有双轴耳轴或 B 式轴头的立式机床，或者是棒式进给 B 式轴车铣削。如果这两种情况中任意一种成为客户第一个想到的方式，那么在 Campbell 工程公司中所应用的五轴技术可能看起来并不典型。

由 Jay Campbell 于 1999 年成立于 California 州 Lake Forest 的这家公司，主要为医疗器械行业加工部件。直到 2014 年，Campbell 工程公司在支持医疗创业时仅使用三轴 VMC 进行原型和短期工作，其中一些工作在那时正接近于其新产品开发的最后阶段。

来自这些客户预期产品的推出，促使机床厂商考虑替代加工设备和策略，将其变成为一个同等有效的“生产车间”，以支持更高强度的工作。其第一步就是添加带有双 400 mm 托盘和标准多零件加工模块的 Makino a51NX HMC，可以固定多个零件。不仅该工厂希望通过这一附加来提高生产量，而且还希望尽可能减少加工复杂零件期间“接触”工件的次数（当其跨越多个 VMC 时会有很多零件）。

不过产量持续增加，促使该工厂

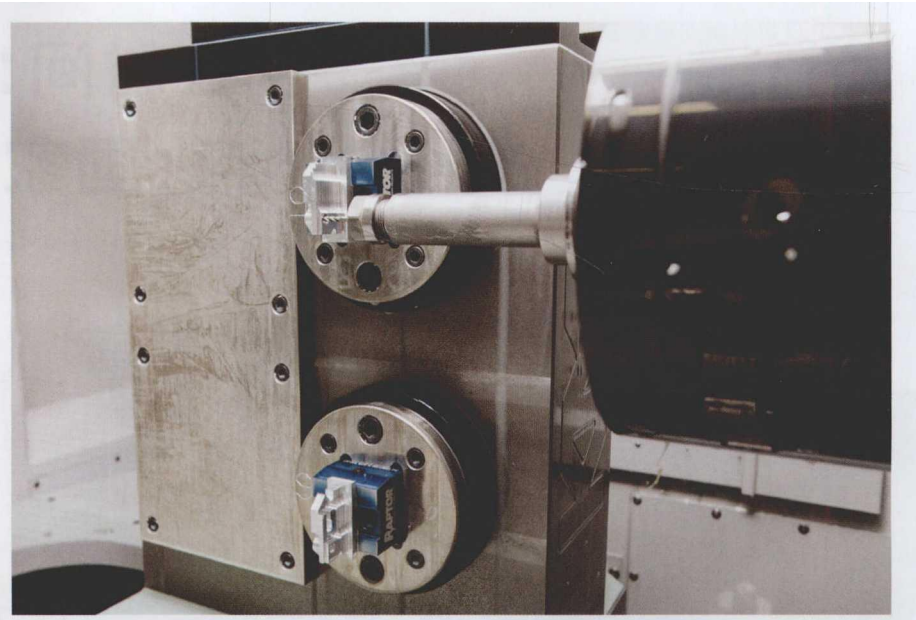


图 1 结合了燕尾棒零件夹紧的这种第五轴多零件加工模块技术，使得 Campbell 工程公司能够满足医疗客户更大量需求，并且应用 3+2 五轴加工，以减少加工复杂零件所需要的设置数量

一年后再增加另外一台 a51NX。然而，在最终确定第二台 HMC 工装之前，Campbell 先生学习了一种多零件加工模块技术，其使用整体可编程旋转分度器，在 HMC 第四轴工作台顶部提供第五轴运动，使得该工厂从五轴加工的 3+2 定位方式上受益。

对于该工厂而言，通过将该项技术添加到其第二台 HMC 上，现在不仅可以多个工件固定在单个多零件加工模块上（这是因为其在第一水平位置上进行固定），而且还使机床主轴能够接近于夹具中一个零件的五个侧面。因此，将零件加工到更接近完成的状态，进一

步最小化设置，因为 HMC 主轴可以接近两个附加零件面，以及可能具有低至 0.001 in (1 in=2.54 cm) 真实位置公差的部件废料。

采用的生产加工方式

Campbell 先生表示，他在获得工业技术学位以及学习数控机床技术后，他加入了父亲的公司，并工作十年，之后在 1000 ft² (1 ft²=0.0929 m²) 的工厂中开始了自己 15 年的创业。今天，Campbell 工程公司的营业额是这个规模的 10 倍以上，有 28 名员工分两班工作。这个工厂也获得了 ISO9001:2008 的认证。

早期工作主要是通过口碑来获得的，其中很多是医疗初创公司的原型项目。VMC 对于工厂为这些客户所进行的小批量工作是非常有意义的，它们的新产品仍然处于初步设计阶段。事实上，该工厂仍然拥有 9 个 VMC 用于这项工作以及一些生产作业，并且还购买了一台电火花线切割机。

Campbell 工程公司于 2014 年购置了第一台 a51NX HMC，认识到一些医疗客户接近完成它们的产品设计。由于该工厂早期对其进行了原型设计，所以

他们赢得了工作机会。

虽然具有 160 个工位自动工具换刀器 (ATC) 和刀具以及零件探测能力的 HMC 表示，比 VMC 具有更大的初始投资，Campbell 先生表示：成本合理，因为回报将会以更快的速度和进给方式实现（更高材料去除速度和更低循环次数），并且有能力在多零件加工模块上同时固定多个零件。此外，当 HMC 在多零件加工模块上加工零件时，操作人员可以将新工件固定在另一个设备上，因此将其预备好并准备快速穿入，以最大化主轴正常运行时间。

Campbell 工程公司正在使用 Open Mind 公司的 HyperMill CAD/CAM 软件，并且要求程序员 Steve Butner 带头学习如何使用新软件，并对 HMC 进行最佳编程。虽然之前 Butner 先生没有 HMC 编程经验，但他并没有对这项新工作感到畏惧。他最大的调整就是，在处理多零件加工模块背面执行工作时，变得越来越得心应手，在初始设置期间，人们看不到机床运动所发生的情况，然而 Butner 先生表示 HyperMill 的有效模拟功能则消除了这些顾虑，因为在机床本身执行干式运行之前，可以识别各种离线工件夹具和工装元件之间的潜在干扰问题。

也就是在这段时间，工厂发现了燕尾榫扣夹具的优点。Campbell 先生解释道：因为 HMC 可以采取更积极的切削，有可能将零件拉出标准虎钳夹具，并且在加工期间固定。工件和夹具之间的燕尾榫扣连接则提供了更强大、更安全的接口，从而有助于防止这种情况的发生。

为使用燕尾榫扣工件夹紧夹具，首先在零件坯件底部加工一个 60° 的燕尾条。然后将坯件插入夹具中，该夹具带有夹爪，其配有与坯件燕尾条配合和接合的倾斜凹槽。该接头的强度则要求在坯件底部仅有一点额外的坯料，以容纳燕尾条，在后续铣削或“铺板”操作中从加工工件上将坯料去除。

由此产生的工厂中 HMC 的加工工艺，适用于 200 个零件同样尺寸的批量生产，已证明比在多个 VMC 上运行更有效。也就是说，机床主轴仅能够接近被夹紧零件的三个侧面，这意味着仍然需要额外的操作。Campbell 先生表示，虽然这种能力使得工厂更能够在仅有的几个设置中完成一个零件，但它并没有达到想要的程度。然而他发现第五轴多零件加工模块技术将使工厂更加接近于加工完成。

五轴的优势明显

在 2015 年，Campbell 工程公司两个最大的客户被一家大型医疗公司收购，并且如预期的那样，该工厂实现了零件订单数量的大幅度增长，这就要求工厂必须要购买第二台 a51NX。工厂已经计划装备机床配有标准多零件加工模块，与第一台机床一样。然而在最终确定其工装选择之前，Campbell 先生阅读了一家工厂的成功案例，使用一种多零件加工模块技术，使得四轴 HMC 能够提供 3+2 五轴共建定位能力。他几年前开始与这家工厂的拥有者频繁联系，所以他请求对方让他采用这项技术。在收到积极反馈后，Campbell 先生决定使用这个替代性工件夹紧概念。

第五轴多零件加工模块是由 KME 数控机床公司来设计和制造的，它们的设计利用了空心 T 型 Meehanite 多零件加工模块中的内部空隙，使得多个独立驱动分度器的伺服电机被容纳其中。因此分度器面板从两个多零件加工模块固定表面上只延伸出几英寸，这意味着与具有表面安装分度器相比，它在 HMC 工作区内占用的空间更少。

Campbell 工程公司购买了一对 KME 数控机床五轴多零件加工模块，这是该公司的标准模型，拥有 4 个分度器。每个五轴多零件加工模块侧面都有两个分度器，以及可以容纳标准夹具的平面（可用定制分度器配置）。通过已经集成到 a51NX 的电缆管理系统，可以

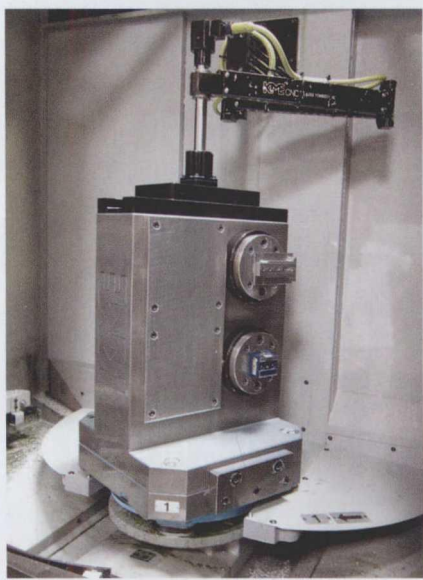


图 2 第五轴多零件加工模块的任一侧都具有两个分度器和一个平坦区域，以接受标准夹具

提供电源，并且在机床和多零件加工模块之间进行通信（图 2）。对多零件加工模块进行编程，通过来自数控机床直接 M 代码来发挥作用。例如，一旦新的托盘穿梭并下降至工作台下，来自多零件加工模块控制装置的信号则告诉数控机床：多零件加工模块已经准备就绪，控制装置还向数控机床发送关于零件程序运行的信号。

各分度器都拥有 5.7 in 面板和来自 Raptor 工件夹紧的燕尾榫扣工件夹紧夹具。每个保持力矩均为 300 英尺磅（KME 根据应用和 HMC 托盘尺寸提供更大的面板和扭矩能力），并且分度器旋转精度和重复性分别为 $\pm 10''$ 和 $\pm 5''$ 。

除了夹紧强度以外，燕尾榫扣工件夹紧口为机床主轴提供了更容易接近零件五个侧面的机会，因为基本上没有要避免的固定元件。该间隙加上道具定位垂直于机床 Z 轴，使得其有可能使用更短、更具刚性的刀具。因此，Campbell 工程公司需要最少的专用工具，并且能够实现改进的切削速度和进给以及增加刀具使用寿命。

编程注意事项

块状零件为使用五轴多零件加工模块进行加工的第一个，之前其要求是在

多个 VMC 上进行 9 次操作。因为一些真实位置公差低至 0.001 in，并且在许多机床上很多次运行都接触到了它，所以零件报废率为 30%（图 3）。现在，采用五轴多零件加工模块对其进行加工，每个周期加工 4 个，报废率几乎为零。一旦在 HMC 上完成加工，该零件要求额外线材电火花加工操作，并且盖好燕尾条。

当然，必须做出决定以识别表面，从而合并每次作业的燕尾条。Butner 先生表示，在铺板之后，如果这个面是要求最少后续加工操作最少，是很方便的，但是更重要的是选择好关键特征所在基准的侧面。

正如作业的那种情况，机床厂通常在 4 个分度器之一上面固定和加工相同零件。Butner 先生认为：在移动到下一个之前，并非在分度器上完成加工每一个单独的零件，他对 HMC 进行编程，以便分阶段对每个零件进行加工。在更换刀具之前，随后使用相同道具在所有 4 个零件向执行同样的操作，以便在下一个操作中跟进所有零件。这里的目的就是最小化设备的更换次数，以缩短总的周期。

此外，机床上 160 个工位自动换刀器（ATC）与工厂五轴编程策略相结合，

有助于速度更换至新作业中。这使得工厂保持安装在 ATC 刀具库中一些标准道具，同时在 HyperMill 中建立标准道具数据。此外，Open Mind 公司与 KME 数控机床公司为此应用而联合开发的后处理器一部分，将工位偏移置于各分度器中心线和表面之外，而非在零件模型自身内部。因此，被调用的各程序为各分度器清理相同的公共零位置。如果作业无需专用工具，那么工厂所有需要做的，就是固定好燕尾工件毛坯，调用零件程序，并开始切削。

事实上，快速固定燕尾坯料和调用新零件程序的灵活性，也使得 Campbell 工程公司使用 HMC，以执行原有工作。其优点在于当原型作业转为生产工作时，工厂拥有编程和工艺，用于已经准备好的生产机床。因此，在这一方面，五轴分度能力使得工厂完全回到原型制造，只有这时才能有效地利用其生产设备，进行这种小批量工作。

五轴多零件加工模块设计
现在为无线模式

虽然通过电缆管理系统提供 Campbell 工程公司所用五轴多零件加工模块所用电源，以及它们和 HMC 数控机床之间的通信，KME 数控机床最近已经修改其多零件加工模块设计为无线模式，消除了任何潜在在电缆连接问题。通过多零件加工模块中的电源电池提供分度器电源，这些电源电池进行等级评定，以提供多达 8 h 的加工时间。具有路由器和接收器连接平台的 IP 基于地址系统，使得多零件加工模块和数控机床之间进行无线通信。

通过各多零件加工模块自身特定 IP 地址对其进行定义，在进入加工包络的情况下，攻螺丝至路由器内。此时，路由器仅与多零件加工模块接合。路由器能够识别多个离散的 IP 地址，使得其能够控制托盘架系统中的多个多零件加工模块，例如当它们在加工包络中可以使用时。[MM]



图 3 该零件要求沿着每一侧长度的平整度为 $\pm 0.001\text{in}$ ，当跨越多个 VMC 运行时，这会导致废品率达 30%。今天，在机床厂 HMC 之一上进行 3+2 加工，已经将废品率降低到几乎为零，同时提高了产量，这是因为可以同时固定 4 个零件