



图1 Dan Rosenthal 先生安装在他车库内的工业用台式 CNC 数控铣床具有一系列可供选用的功能，其中包括一套 10 工位 ATC 自动换刀装置、一套转速为 60000r/min 的主轴、刀具调试测头、触发式测头和第四轴回转工作台

机床 & 软件

感受机加工的魅力

十年前，Dan Rosenthal 先生成功结束他的工程职业生涯，并开始从事数学辅导教育工作。直到他的兴趣转向了航模以及透光浮雕的工艺品，这一爱好最终促使他在两年前购置了一台工业用台式 CNC 数控铣床，准备在家中使用。然而问题是，他从没有任何机加工经验。

文 | Derek Korn

目前，Rosenthal 先生的技能已经逐步成熟，学会了从基本的二维塑料平板加工到具有三维轮廓的复杂零件。然而，促使他希望提高加工技能的主要推动力，并不是来自于他的业余爱好，而是他唯一的一位客户，要求他为其加工塑料原型。后来，这位

客户要求他加工越来越复杂的工件，逐渐促使他在过去的几年中，成为更加熟练的机加工操作员。Rosenthal 先生的目标不是要建立一个机加工车间，他只是希望能够达到一定水平的加工能力，并能为客户加工出任何需要的元件，或满足自己的需要。

开始学习机加工

Rosenthal 先生学到的透光浮雕工艺越多，他就越希望能够加工这些工艺品。透光浮雕是一种蚀刻或者模压的工艺品，传统上是由半透明的瓷器制作而成的。其粗犷的图像，在背光条件下看起来栩栩如生。他希望能够加工这些工艺品，并开

始求购可以完成加工的一台 CNC 数控机床。

显然，机床的大小是一个考虑因素，因为它将被安装在 Rosenthal 先生的车库里。他购置的 CNC 数控机床，是一台工业用台式铣床，来自 S&W 公司。该机床安装在一个钢架上，其重量为 850 lb (1 lb=0.45 kg)，由重型钢结构件与专用铸件组成，以尽可能减少共振，并增加其结构完整性。该机床 X、Y 和 Z 轴行程分别为 18 in、12 in 和 8 in (1 in=25.4 mm)，购置时带有一些备选附件，总价接近 10 万美元。这台机床包括一套转速为 60 000 r/min 的主轴，为安装在平衡刀柄夹套内的小直径刀具提供必要的速度，以便对塑料件和铝件的细节进行切削加工。Rosenthal 先生还同时购置了一套 10 工位自动换刀装置、一个触发式测头、一个刀具长度测量探头和一套可以进行四轴加工的备选旋转工作台。此外，该机床还有一套吹风系统，这有助于对塑料件的加工。另外还配有一套喷雾系统，用于铝件的加工。

Rosenthal 先生第一次将该机床使用于一批透光浮雕件的加工和相对简单的个人加工项目。然而在 2013 年，他有了第一个——至少就目前而言的唯一客户，那时他还不是一个非常熟练的机械师，这个客户决定提供给他一些简单的塑料原型工件，他知道 Rosenthal 先生能够比普通车间以更快的周期提供样品，因为普通车间往往不太愿意接受单一工件的加工业务。此外，客户首先愿意选择经过加工的原型件，而不是那些通过增材制造法打印的原型件，因为经过加工的表面比较光滑。

Rosenthal 先生说，他最初使用的 CAM 软件要求他做出一些与切削参数相关的选择。作出这些选

择对于一位成熟机械师来说是一件很容易的事情，但对于经验有限的 Rosenthal 先生而言就有些困难了。经过一番调查后，Rosenthal 先生从 SolidCAM 获悉了 iMachining CAM 加工软件，并购买了该公司的二维 iMachining 加工模块。他说，当时重要的是没有必要削减编程或加工时间，而是需要生成不会使其小直径刀具断裂的刀具路径。他特别赞赏的是如何在机床及刀具加工能力的基础上利用其内置智能，生成有效的刀具路径。另外，它为其提供了一套集成 CAD/CAM 解决方案，因为他熟悉 SolidWorks CAD 软件，这意味着他不必脱离 SolidWorks 环境去创建刀具路径。

智能化加工

iMachining 软件具有两个特殊的功能：“变形螺旋”刀具路径和 Technology Wizard 技术向导程序编程接口。变形螺旋刀具路径运动

的设计，旨在通过刀具与工件始终保持接触，以保障刀具上的负载恒定不变。螺旋运动的内部是圆周形的，而外侧部分与加工件的几何形状相吻合。在加工过程中，刀具路径随着几何轮廓而“变形”，形成一个圆周，反之亦然，这取决于切削加工是否从螺旋线的外部或内部开始。对于不能用单个螺旋线切削加工的区域，该软件会自动区分那个部分的几何形状，将通道和紧密的圆角分离开来，然后以其自身的螺旋线切削加工每一个分区。

变形是有可能发生的，因为该软件沿着刀具路径在各点上调节其步距，在沿着螺旋线的厚点使用较大的跨距，在薄点则使用较小的跨距。该软件还使用步距调整方式(在用户定义的极限内)，在沿着刀具路径的所有各点上，使其与材料接触的刀具保持等分距离，以维持稳定的刀具负荷。例如，在螺旋轮廓的薄区，要求采用较低的跨距值，否则会造成刀具负荷的骤降，该软件会自动调整进给速度来给予补偿。在绘制这一运动轨迹时，该软件也会考虑到工件的几何形状，以尽可能减少空气切割和重复定位运动。

根据该机床特有的 Technology Wizard 技术向导中所输入的数据，专有算法会自动确定进给率、速度、步距和切削深度，例如主轴速度、功率和刚性。在软件安装过程中，此信息只被输入一次，而且此信息也可用于帮助创建后处理器。Technology Wizard 技术向导中的滑块，可用于调节加工强度，调节范围在 1~8 的刻度之间，从而改变其切削参数，达到较高的材料切削量，同时又保持在机床和刀具的限制范围之内。然后，该算法使用所有应用程序特定的信息来确定工件的切削加工参数。

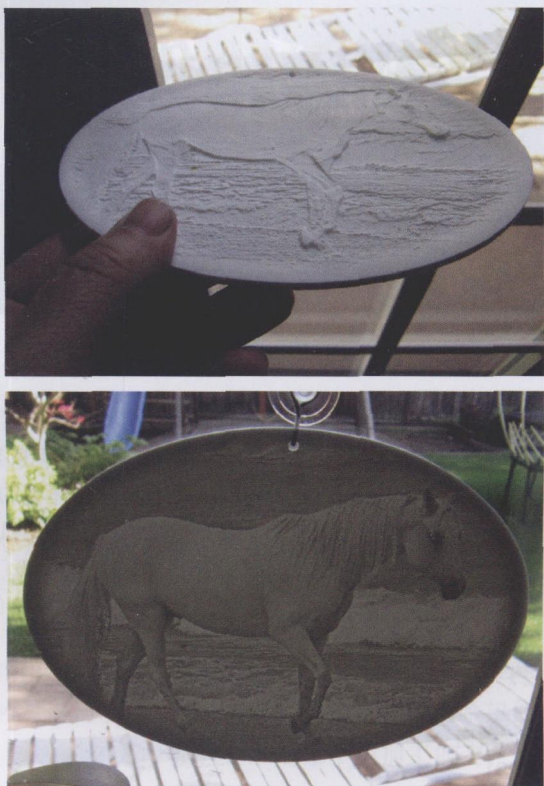


图2 Rosenthal 先生早期的个人铣削加工项目包括 Corian 塑料透光浮雕件，在背光条件下看起来栩栩如生

二维 iMachining 加工模块对 Rosenthal 先生为其客户所做的初步工作起到了很好的作用，其中大部分工作涉及到用塑料板加工零件。然而，由于要求 Rosenthal 先生做的工作越来越复杂，逐步地从棱柱形零件发展到具有复杂轮廓表面的零件，于是，Rosenthal 先生决定购置三维 iMachining 加工模块。

像二维 iMachining 加工模块那样，三维 iMachining 加工模块采用变形螺旋刀具路径，以保持恒定的刀具负荷，同时利用刀具排屑槽较长部分的优势。在向下加工的步骤中，采用了连续、深入的粗加工进给方式，而其余的粗加工操作是在较小的向上加工步骤中进行的。当 Rosenthal 先生添置三维 iMachining 加工模块时，他还添置了 SolidCAM 的高速表面加工模块（简称 HSS）。对于大多数的工作而言，他使用三维 iMachining 加工模块进行粗加工操作，对于多余库存量的选择表面，则使用 HSS 进行后续精加工处理。他可以从一些 HSS 的加工策略中进行选择，来完成对选定表面的精加工，例如底切法表面加工、圆角加工、开槽、两个表面之间的变形加工以及两条曲线之间的变形加工等。

加速调试设置

正如 Rosenthal 先生使用的 CAM 软件包已经简化了编程、刀具和零件的探测能力，实践证明采用 Centroid 探头，对其小批量原型件加工的流水线调试设置是很有帮助的。通过从机床专用 PC 机上安装的 Centroid 控制软件，调取适当的探测程序后，安装在机床工作台上的刀具测头就能够自动检测刀具长度，也可将触发式测头安装到机床的主轴之中，并当其安装到工作台上时，使用控制坐标系统的旋转



图3 测头决定了工件设置在工作台上的真实位置，并通过移动坐标系统来进行补偿，这就避免了使用千分表和传统设置方法对工件准确定位所带来的固有挑战

功能来确定零件的边缘是否对齐。这不但可确定零件在工作台上的位置，而且可以知道它的朝向。这样一来，就没有必要用千分表来测量一个零件，以确保它的调试设置与机床坐标轴保持平行。

事实上，Rosenthal 先生利用零件探测功能作为标准化工件夹紧法的一个部分，此方法是由他开发的，他采用了一种 Corian 定位板，上面钻有网格格式小孔，可接纳来自 Jergens 公司的 DexLoc 扩张定位销。车间通常使用这些定位销简单地将台钳固定在一块底板上，在这一应用领域中，定位销具有定位功能并作为工件夹紧装置。

采用安装在工作台上的 Corian 带孔底板，该机床就可以在整个底板表面上进行轻度端面切削。这将使其处于底板表面的后面，与机床的 Z 轴保持正常的状态，以补偿工作台水平度所发生的变化，同时，在该表面被检测后，创建一个 Z 轴方向上的基准面，对一个经过锯切的毛坯件进行检测，确定其 X-Y 中心点，然后按照正确的间隔钻孔，

其中有两个孔径或多个孔径的位置与底板上的孔径相匹配。为了固定该毛坯件，Rosenthal 先生在底板的适当孔位上插入扩张定位销。这些定位销的顶部和底部分别扩张，所以他首先用一种手工具，将每个安装定位销的底部扩张，使其与底板锁紧，再将备料落放到定位销上，并将每个定位销的顶部扩张，固定该工件，以便对其进行进一步加工。

这种工件夹紧方法具有足够的夹持力，因为 Rosenthal 先生加工的大部分工件，切削负荷较轻。另外，在加工过程中，它可接近工件的五个面，采用普通的夹具是不可能达到这一目的的。这使他能够准确地将锯切的备料垂直就位，并从备料的中部开始加工这一零件。他还可以轻松地移动、翻转和重新安装工件，以便接近其底面。如果定位销孔对零件的设计没有影响，那么 Rosenthal 先生还可以围绕其定位销扫描轮廓。

下一步是什么？

Rosenthal 先生在他车库内的一侧安装了 CNC 数控铣床和空气压缩机，这两者之间的空间十分有限，Rosenthal 先生就在这一空间内工作。不过，他还想再添置一台 CNC 数控车削加工中心。当他开始碰到适合于使用他购置的工作台加工的零件时，他还计划购置一套四轴加工模块添加到他的 CAM 软件包中。

这就是说，Rosenthal 先生所做的一切最终将会向哪个方向发展仍然是不确定的。他可能将为他现有的客户承担更多的工作或增加其他客户。希望 Rosenthal 先生在能再在为他人工作与为自己工作之间保持一个良好的平衡，而不要将加工看作一种工作，而更多地将其作为一种愉快的体验。[MM]