机器人

灵活的模具车间自动化生产

Rexam 公司生产的新型 MegaCell 产品旨在最大限度地以它的全自动模式实现无人值守的模具镶件和电极生产，并且能够很容易地转换成手动模式以适应“自定义”工作。

文 | Mark Albert

图 1　一台 Workmaster 机器人正服务于加工单元中所有的机床和设备，并且它不会对操作员在离线的机器上加工自定义工件造成干扰

“从一开始我们就知道 MegaCell 必须被设计得非常灵活。”Rexam Healthcare 公司所属的 Rexam 模具制造业务部（RMM）经理 Len Graham 如是说。MegaCell 是 RMM 的自动化工程团队正在实施的由机器人看管的生产单元，它将自动完成整个模具的制造。目前，MegaCell 的建设正在分阶段进行。

建设的第一阶段已圆满完成，此子加工单元由数台加工中心和电火花机组成，他们分别安放在一台机器人的两边，这样设计是为了简化石墨电极和硬化工具钢模具镶件的生产。按照计划，Rexam 公司还将增加更多的子加工单元，与现有的机器人轨道首尾相连，最终建立一个综合的全自动化生产线，覆盖几乎整个模具制造过程。

MegaCell 体现了一些大胆的设计和运行特点，其中许多都已包含在第一阶段。Graham 先生说：“第一个子加工单元是一种便于将来扩展的原型。它遵循我们正在开拓的 MegaCell 的灵活自动化的主要原则。”Graham 先生认为：基于这种“灵活性”，该加工单元不仅可以生产范围很广的电极或镶件，也能以无人值守的模式或手动自定义加工模式运行。Graham 先生和他的团队在着手开发 MegaCell 概念时，对于手动操作方面要求很高。虽然几个加工单元的概念都是原创的，但此加工单元的双模式能力是最重要的，因为它反映了模具生产和自动化的特殊性（图 1）。

Graham 先生解释说，大多数像 RMM 这样的模具车间都并不太适合自动化加工的工作。这种“自定义加工”的工作包括需要修

理的模具零件、不适合用标准托盘的工件或加急的工件。“如果模具制造商要维持一个能复制传统手动功能的自动化系统，这是不切实际的，反之亦然。不具有双模功能，就不能证明该自动化投资的正确性，或使得此自动化与模具生产的现实不相容。”Graham 先生说。

按照设计，任何在第一阶段配置的机床都可以离线操作，像一台普通的、独立的 CNC 加工中心或电火花机那样运行。集成在第一阶段的三坐标测量机也以同样的方式设置。无论离线状态的设备怎样，该加工单元里的其余部分都可继续在自动模式下安全有效地运转。加工单元的主控系统会把已排定的离线作业暂时搁置。当操作员完成自定义的离线工作后，按下按钮便可在原先暂停时的准确位置恢复自动化生产。

“由于加工单元具有双模功能，它可以进行几乎所有的电极加工，以支持模具车间的其余工作。”Graham 先生说，“无论我们需要 100 件还是只需要 1 件，在第一阶段都可以处理。”不管在何种运行模式下，这个子加工单元都可提供 ±0.0001 in（1 in=25.4 mm，下同）或更高的精度。

为全世界制造模具

Rexam 公司是以英国伦敦为总部的国际消费品包装供应商，是全球最大的易拉罐制造商之一。公司的医疗部是药品硬包装及其他塑料医疗设备硬包装的领先供应商。Rexam 公司的模具制造部（RMM）在 Buffalo Grove 的工厂为其所有工厂提供模具制造服务。RMM 生产的模具包括高精度、高气穴的注塑模具；单层式、叠层式、退扣式、多材料和旋转立方体等各种配置。RMM 还为许多在医疗、制药、通用外壳、日常用品和家庭护理等市场的外部客户提供注塑模具。目前，RMM 的工厂有近 100 000 ft^2（1 ft^2=2903 mm^2，下同）的空间进行模具设计和生产，一个产品开发中心进行模具合格试验和短期试运行，以及一组用于管理、培训和会议的办公室。其制造能力包括线切割和电火花成型机床、数控铣床、各类磨床（坐标磨床、表面磨床以及内外圆磨床）、五轴多任务加工中心以及激光雕刻机。

图 2 吸盘放在圆盘传送带货架上的储藏器里

Graham 先生在担任了 8 年的设计和安装自动化模具制造系统的顾问后，于 2011 年末正式加入 Rexam 公司。2003 年，一个由 Graham 先生设计的短暂的蜂窝式模具生产装置吸引了相当多的关注。许多自动化模具制造的创意在此装置上得到了开发。“吸引我到 Rexam 公司的是把模具制造的灵活性和生产率提高到新水平的一个机会。我也很喜欢这里模具制造团队的精神，它是 Rexam 公司制造文化的一个特色。”Graham 先生说。

MegaCell 包括与第一阶段类似的四个加工单元，它是 RMM 所推动的最先进模具制造技术的核心。“它的尖端技术表现在许多层面上。”Graham 先生解释说，“双模运行功能尤其重要。”双模功能解决了模具车间在转换到一个自动化系统时所面临的主要难题之一，即如何在不放弃灵活性的情况下实现

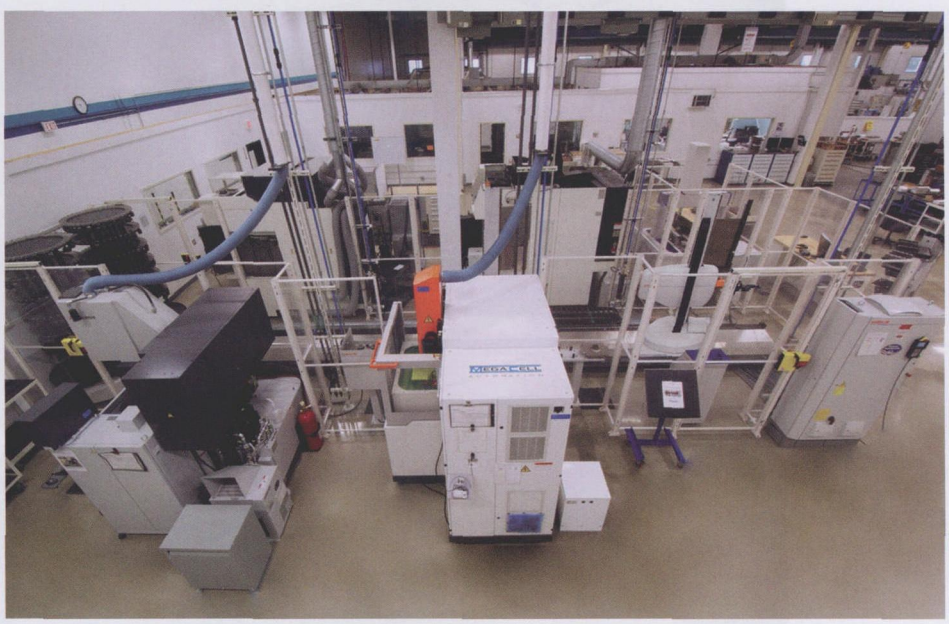

图 3 第一阶段的两台个电火花成型机与装卸站在加工单元的一侧，另一侧则是两台加工中心和三坐标测量机

高产。“成功的模具制造企业必须二者兼得。”Graham 先生说。

为做好自定义工作而定义好自己

第一阶段在机器人运行轨道的一侧有两台电火花成型机；另一侧是两台牧野 CNC 加工中心，一台用于石墨、铜电极和镶件的铣削，另一台仅用于石墨铣削。一端是两台有 250 个位置的圆盘传送带式的 System 3R Macro 托盘存储器（图 2）。在另一端是一台蔡司三坐标测量机和一台 System 3R Dynafix 书架式装卸站（图 3）。安装这个子加工单元的工作于 2012 年 9 月开始，到 2013 年 3 月，所有的机床和设备均已到位，并投入运行。此加工单元配置有许多内置的双模运行装置。

例如，所有的机床都从侧面与机器人连接，这样操作人员便可以自由地走到机床的前面和控制面板处。机器人不可能进入操作员所在的空间。安全联锁装置防止机器人的侧门和操作员的前门同时被打开。压力垫作为进一步的安全措施安装在其中一台电火花机的前面，因为升降罐并不能完全阻挡机器人的手臂进入工作区。踩上垫子能阻止机器人进入工作区域，松开垫子即自动解除阻止，因此不会出现机床工作时的意外。所有机床都朝同一方向，加工单元的监管人员和观察人员能看见操作员的活动。因此，右侧的两台电火花机由机器人从左侧负责照看，左侧的两台加工中心则是由机器人从右侧照看。冷却器、过滤器、液压系统及其他辅助设备都位于机床的过道侧，以方便检查和维修。

三坐标测量机为龙门式结构，其前方为操作员的过道，后方为机器人的轨道。机器人在运动时，光幕会保护操作员的区域。加工单元的装卸站位于机器人轨道的另一侧，同样通过联锁装置和光幕进行保护。这四台机床、一台三坐标测量机和一个装卸站都配备了相同的 System 3R 的 Dynafix 托盘接收器。这些接收器采用通用的固定工件接口。加工单元的充分托盘化保证了三坐标测量机可以精确地确定工件位置，并在托盘进出子加工单元中的任何托盘接收器时，保持在 ±0.0001 in 的误差以内（图 4）。如 System 3R 的 Macro 或 Magnum 这类小托盘，可以安装在较大的 Dynafix 托盘上，以延长加工周期。机器人通过安装在所有托盘上的射频识别芯片（RFID）可以在回收或存储托盘时作出识别。

一座至关重要的桥梁

Graham 先生说，设计这样一个系统，要使自定义工作既能利用托盘化的优势，又能与灵活的、手动操作兼容，这是对 MegaCell 设计团队的一个挑战。该解决方案采用了由 Hermann Schmidt 公司开发的特殊的磁吸盘，与 3R 托盘接收器连接。这些磁吸盘均配备精密研磨过的、精确定位的侧轨，工件的定位完全是可重复的。

此磁吸盘充当了子加工单元的自动化无人照管作业和自定义工件手动作业之间的桥梁，Graham 先

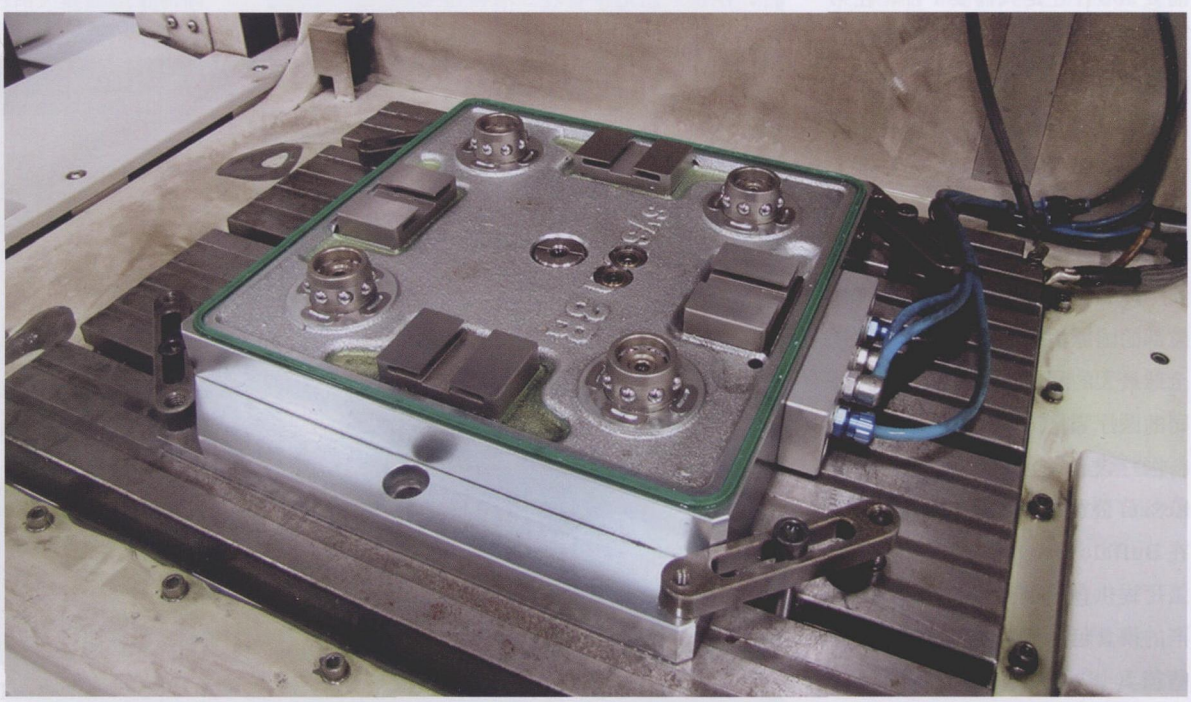

图 4 不论是机器人还是操作员进行托盘装载时，机床上和三坐标测量机上都有相同的托盘接收器以确保精确和可重复的定位

生解释说："我们的目标是使这些常规托盘里始终有足够的工件，以保持加工单元里的机器昼夜不停地在自动模式下运行。与此同时，自定义工件可以固定在磁吸盘的架子上，然后由机器人递送或在机器离线后手动加载。"

有了磁吸盘，便可以安装各种单个或多个夹具。这些夹具全都附属于 System 3R Dynafix 托盘化系统，包括较小的 Mini 托盘和 Magnum 托盘或其他各种方便的工件固定装置。装调时，磁吸盘便可介入子加工单元的装卸站的工作，送到三坐标测量机以验证所有工件的位置，然后传送到适当的加工中心或电火花机上。任何其他安装在 Dynafix 上的工件固定装置都能以这种方式移动。但是，磁吸盘并非专用于自定义工作。销子或衬套这类不能用托盘 System 3R 夹具固定的工件，可以用 V 形块或虎钳来夹持，固定在磁吸盘上。因此，磁吸盘提高了子加工单元的自动和手动运行能力。

Graham 先生强调，无论采用何种操作模式，保证子加工单元效益的一个关键因素是分配给每个工作站的测量球。这些测量球用来确定物体对于某一参考点的位置。坐标定位（*X*、*Y* 和 Z）和机械偏移总是建立在与测量球的关系上，无论该工件是否安装在磁铁上，或在磁铁上的夹具里，还是在 Dynafix 上的 Macro 或 Magnum 托盘里（图 5）。

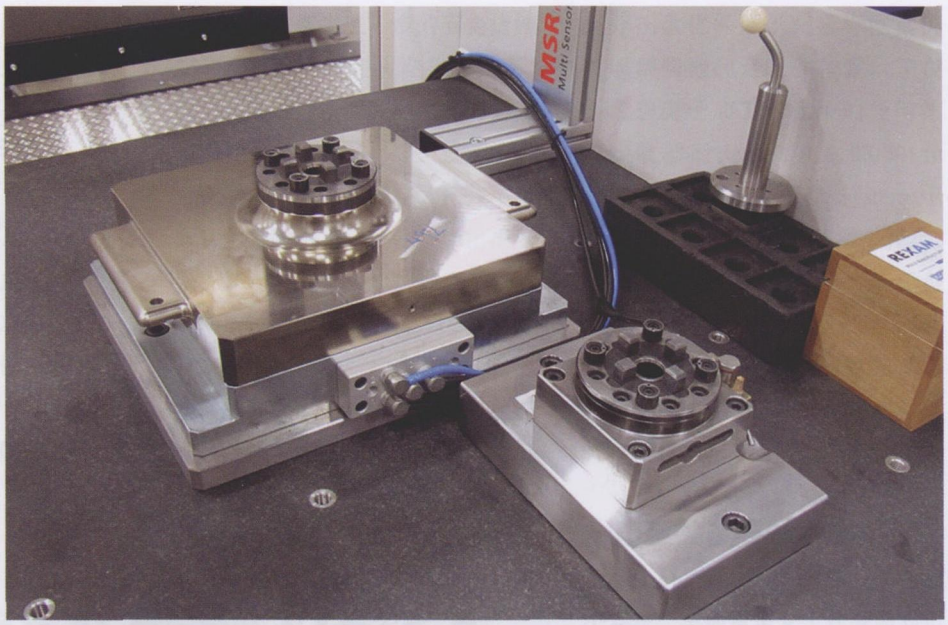

图 5 带有 System 3R Macro 接口的托盘被夹在三坐标测量机上的 Dynafix 接收器里，另一个 Macro 单元附近安装有一个主工装球或其他工件

自定义的加工单元

在这个加工单元中，用于加工自定义工件的最重要的元素是不可见的，即此加工单元控制软件的修改和 CAM 编程系统。例如，加工单元总体控制的基础是 System 3R 的 Workshop Manager 软件。该软件旨在通过按计划顺序工作，跟踪每一个托盘的行踪，移动托盘进出加工站等，协调自动化加工单元的运行。

供应商为 RMM 修改了该系统，使得操作员可以根据任何机床的数控系统指令中断自动操作。每台机床上的数控系统也需要修改，使其能够脱离并重新参与到 Workshop Manager 的界面。在实践中，操作员通常会挑选一个方便的停止点切换模式，例如在当前托盘任务完成时。当切换到手动操作时，机器人会搬走当前的托盘，把它送到存储传送带备用。

机器人或者带着通过 RFID 的托盘自定义工件（通常在磁吸盘上）返回，或者激活联锁装置，使操作员能够打开机器的门。从这一点开始，操作员便以常规方式运行机床，就好像它是车间里的一台独立的机床。当自定义工作完成后，操作员发送一个"返回到自动模式"的信号让 Workshop Manager 系统重新介入对机床的控制。

Graham 先生说，加工单元内的机床通常每天在手动模式下离线运行约 4~6 h。在其余的时间，它们 80% 在无人值守的情况下运行，这取决于工作日程的安排。每一台机床的目标是每周加工一种工件至少 125 h。"我们认为这是最长的切削时间，是合理可行的，还必须留出适当余量做首件检验，并对所有组件进行验证。"Graham 先生解释说，"使加工单元中的每台机床和三坐标测量机实现这一目标，便可帮助我们的客户缩短生产周期，提高整体质量，并最终降低模具成本，从而获益。"

MegaCell "超级精灵"

虽然 MegaCell 的第一阶段已全面运行，但并非其所有特性和功能都得到了充分发挥。RMM 的自动化工程队制订了一个改进和提高的项目单，正在实施中，现已接近完成。"第一阶段是一个工作实验室，将帮助我们使 MegaCell 成为自动化模具制造的最智能的系统。"Graham 先生表示，他将 MegaCell 称作"超级精灵"。进一步改进第一阶段生产能力的项目包括：

- 作业调度适当超前，使机器

人能适时移动到位，在工作站做好进行装卸的准备，以消除由于机器人移动而生产的时间滞后。

●通过无线视频上传到互联网，使客户能够远程查看正在进行的作业。加工单元监管人员能够远程视频监控和远程生产控制在家里通过移动设备运行子加工单元，并查看运行进程检验报告。

●并发编程。与 Delcam 的 PowerShape、PowerMill 以及 PowerInspect 之间无缝相连。这个概念是建立一个“一站式”的编程会话，从 SolidWorks 3D CAD 模具设计开始。程序员在创建石墨电极的刀具路径之前，先使用 PowerShape 创建电极模型和相关的电火花机程序。然后使用该电极的模型通过 PowerMill 来创建铣削程序。当所加工的电极在三坐标测量机上检查时，该加工单元的技术员使用 PowerInspect 确保所需的“关键”要求得到满足。

●加工运行过程中的校正基于三坐标测量机的检测数据。例如，当三坐标测量机检测到电极某个尺寸稍小时，它会发出信号给电火花机以调整程序中电极的最后一道精烧的环绕轨道参数。新的偏移量会被自动下载以更新原来的程序设置。最后持有该电极的托盘上的 RFID 鉴定它是否是调整程序所要得到的结果。

●电极按尺寸自动分拣以优化电火花加工时间。此策略是根据其已被加工的尺寸把电极分配到粗加工或精加工步骤。较接近上限的电极最适合在粗加工中高磨损的使用情况。那些接近下限的可应用于精加工并调整到常规环绕轨道。

第二阶段的建设计划于 2014 年第一季度开始。此加工单元将包括五轴加工中心、表面和内外圆磨床以及一台现场工装的车床。并将配备一台三坐标测量机和一个机器人。在第一阶段和第二阶段的交界处有圆盘传送带，使托盘能在加工单元之间移动。该阶段将是最后一个构建的加工单元，是在车间对面的独立加工单元，它将包括制造模具板和模具基座的几台卧式加工中心。

模式之间没有竞争

Graham 先生说，MegaCell 概念的双模能力体现了模具制造的重要原则。“重要的不是自动化的水平，而是运用的水平。”换句话说，运行在手动模式下的加工单元并不代表其利用先进技术少，相反是更充分地利用了其生产潜力。该加工单元加工自定义工件的功能增加了其非凡的盈利能力，因为自定义工件的流动和托盘化的工作一样几乎是无缝的。两种模式是出于需要，并且互补的。“关键是要让每台机床的加工时间最大化。”Graham 先生说。实际上，不论是操作员还是机器人都可以使机床保持运行，这没有多大差别，只要机器尽可能地忙碌。”MM

▲反馈服务编码M2620