

水切割

用于精密切割作业的 CNC 辅助水射流技术

与其他对工件进行热切割或机械切割的工艺（如锯或等离子切割）相比，水射流切割工艺可以为使用者提供很多好处。通过结合采用 CNC 辅助手段，可以对硬质或软质材料进行更加精确和灵活的切割。

文 | Roland Simon

为了精确而高效地掌控水射流工艺，控制技术是至关重要的。在切割设备自动化控制方面颇有建树的 Eckelmann 公司的技术专家就接到了很多咨询意向。虽然大多数 CNC 可以通用于很多加工设备上，但是唯有在一个特殊的工艺，即水射流切割上得到具体的验证，

才能反映出其真正的能力。在这个方面，Eckelmann 公司的 CNC 技术则显得非常特别。

采用冷式切割刀具 可以保护材料

水射流切割工艺的好处是多方面的：与热切割（如等离子切割和

气焊切割）和激光切割不同，水射流切割作为一种冷切割工艺，可以在加工边缘层上对材料进行无热和冷却切割。如燃烧、硬化、变形、滴渣和熔化等不良现象不会发生。在进行水射流切割时，冷却过程是不应被忽视的，这是因为水射流的巨大动能会转变为热能，因此必须采取相应的预防措施，避免这种热能在这段时间的切割过程中影响到材料边缘区域而导致材料膨胀。

水介质被加速到两倍音速的程度，因此水射流切割的噪声也会比较大，声压最大可以达到 120 db。但噪声的发展程度会受到切割材料的制约，因此在水下切割便会降低噪声发展水平。通过采用水射流切割设备，可以实现 $\pm 0.05\text{ mm}$ 的可重复精度。根据不同的切割设备，也可以达到 0.4 mm 的切割缝。在大多数情况下，人们可以省去昂贵的切割边缘后续处理工序。具有复杂外形和精细易碎的工件均可通过水射流工艺进行高精加工。在特殊的微型水射流切割设备上，水射流

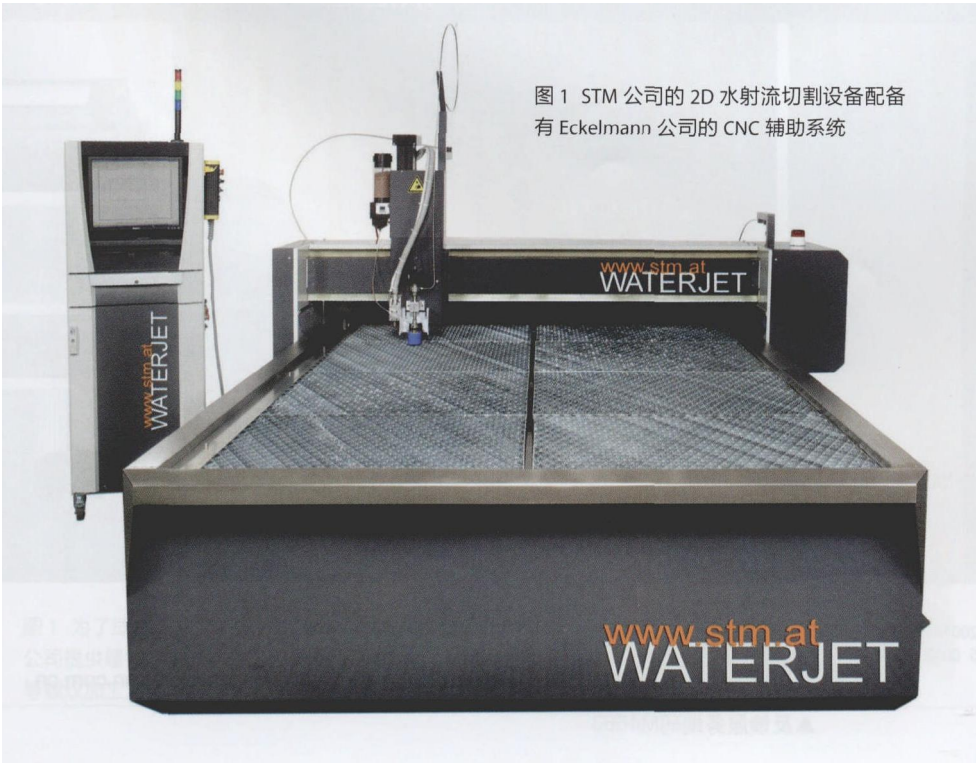
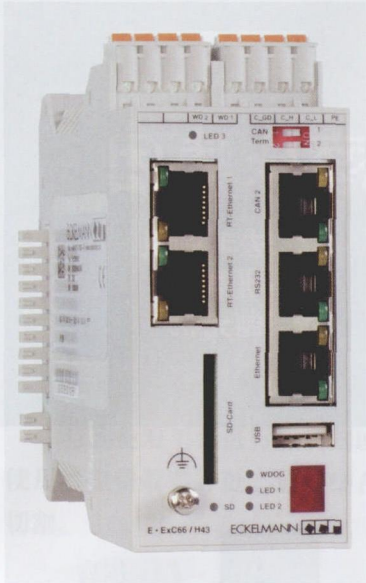


图 1 STM 公司的 2D 水射流切割设备配备有 Eckelmann 公司的 CNC 辅助系统

图2 Eckelmann 公司的 EoEXC 66 是一种能够支持水射流特殊加工工艺的 CNC 辅助系统



技术还可以对几毫米大小的工件进行切割加工。另外一个重要优点是，在切割过程中不会产生有害蒸汽、粉尘和气体，而在克服这些有害物质方面，往往需要采取特殊的安全预防措施。

对水射流进行控制

Eckelmann 公司的 EoEXC 66 型设备拥有强大的水射流切割功能库，这是该公司多年来对这种加工技术的应用经验的结晶。Eckelmann 公司在很多应用领域成为了设备制造业用户的合作伙伴，也拥有大量的技术诀窍。其中一个例子便是在水射流切割装备方面的主导厂商 STM 公司。STM 公司在其部分设备上加装了 Eckelmann 公司的控制系统，因为 Eckelmann 公司拥有常规切割应用和特殊的水射流切割的极其丰富的功能库。其特色功能包括高度扫描和自动高度调节（Z 轴）、对边角和曲线上因制动和加速最佳化而导致的行走误差的自动补偿、为避免出现 v 形切割缝的切割角度误差补偿（需要用到可翻转 / 可旋转的切割喷嘴）、带有多个 2D 切割头的平行加工、针对射流计量和水压的特性曲线的设定（即使是非线性）、材料参数管理工

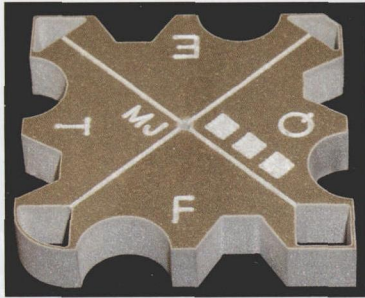


图3 带有标识符号的铝质样件，这种标识符号由相应的水射流雕刻而成

艺卡、各种切入工艺的支撑（如水射流镗孔）、采用水射流作标识以及为了检测加工程序所进行的干运行和自动干涉监控等。

此外，还可以有选择性地对其他刀具（如镗刀）和其他切割工艺（气焰、等离子等）进行 SPS/CNC 的集成，以便使加工设备多功能化。STM 公司在设计上，将功能性和经济性以及高度的操作舒适性作为决定性因素：每台设备均可用于纯净水切割、剥离切割或复合型切割等工艺。这就意味着所有设备无需换装便可直接用于对各种不同材料的加工。同时也可实现最多为六个切割头（多头作业）的平行切割（2D）。为了对工件表面进行首次探测和对切割高度的调整，Eckelmann 公司的 CNC 技术可以对七种触摸方式进行支持：

- 固定的 Z 轴：切割高度的手动调节，控制系统可以对调节结果进行存储；
- 无触摸，即对所计算的绝对切割高度进行切入；
- 通过距离传感器对首个外形轮廓（该轮廓也适用于后续的工件）进行一次触摸；
- 每个工件；
- 每个外形轮廓；
- 以特定的时间间隔对每个外形轮廓进行周期性的触摸；
- 连续的距离测量和距离调整。

切割开始便决定了加工质量

水射流切割比较关键的节点便是切入点。材料在突然受压情况下会发生变形，因此也很容易受到损伤。Eckelmann 公司 CNC 技术可以对各种不同的切入方法进行支持：通过特别设定的工艺参数以降低水压和切割量。对此，HMI 可以为工艺卡提供额外的应用范围。

控制系统还可以以集中控制的方式，对通过换刀装置安设在龙门架上的单独镗刀的镗孔方法进行支撑。在切入一个边角时，通常在分散的工作点上逐步降低运行轨迹速度，直至在边角点上运行轨迹速度瞬时为零为止。然后方可在另一个方向上进行切割作业。特殊的 CNC 技术还可以对自动边角切割速度减缓工艺的支持。这种工艺旨在通过所设定的制动坡度对切割速度进行连续的降速，由此可以避免外形轮廓的切割边角往往因制动动作而容易出现的质量损失。

干式水射流切割练习

Eckelmann-CNC 技术还可以通过“干式运行”的方式帮助用户进行练习：在实际条件下对外形轮廓进行切割，而无需打开水阀和给水。使用者由此可以很好地以直观的方式对整个过程进行观察，并对程序进行审核和调整。

在需要时也可以采用 CNC 技术对部件进行标识，例如划线、系列号、条形码或图形。水射流不会穿透材料，而只能雕刻材料。控制系统可以依据材料特性情况，自动降低切割量和水压。在 CNC 程序范围内无需停止作业，即可实现对模式、切入、切割和标识之间的相互转换。通过这种特性，用户可以节省下一些工作步骤，从而提高了生产的经济性。MM