



图 1 Hydroslice 制作的建筑艺术作品特写代表了车间和水射流切割工艺的性能

水射流切割

扩建水射流加工车间

磨料水射流切割工艺的灵活性、性能和精度完全与企业家的想象力、动力和魄力相匹配。

文 | Mark Albert

2008 ~ 2009 年的大萧条破坏了 Scott Finch 在西雅图地区房地产开发商的职业生涯，他需要找到施展自己能力和抱负的机会。对于他来说，事件的转变并非属于中年危机，而是中年机遇，重新开始新的生活方式以及哲学观的机会。Scott Finch 对个人成功重新定义，尽管承认他从未像现在一样忙碌或专注，但却更能感到满意和知足。

不同的是针对磨料水射流切割工艺创立新型企业。这是 Finch 追寻方向的一次改变。其现有企业的名称为 Hydroslice，是一个专注于制造零部件的

加工车间，需要使用具有高度灵活性的磨料水射流工艺。Finch 说：“我想要一份能最大程度地发挥创造性、机智性和突转性，但对质量的要求非常严格的工作，从最小到最大和最重不等。”

Finch 希望客户能“推陈出新”，因为其项目与众不同或非同寻常，一般承包商并不能满足其需要。他在想象力匹配的基础上茁壮成长。正如所料，其某些工作高度引人注目且极具雕塑感，例如西雅图地区医学院门厅悬挂的照明艺术品。其他作品完全具有工业性质，如同航空航天应用中需要平整度和尺寸精度的钢齿

轮部分（以千分之几的英寸测量）。

Finch 及其 15 位工人发现了该类工作在激励人们方面具有的多样性和独特性，但却应严格注意保持脚踏实地的细节内容和专门技术。正如航空航天领域所用的关键部件不能和规定值之间出现丝毫偏差，即便是装饰件上细微的美观效果也可能会破坏预期的艺术效果。

Finch 承认，磨料水射流工艺的明显潜能是其企业的最初灵感。但是，发明使用该工艺的新方法亦是其成功的关键。将水射流切割与其他制造工艺进行结合起来切割并成型工件也是一个巨大的优势。Finch 表示，引用其中一个重要原因，如果我不能控制它，即不能对其作担保。众所周知，Hydroslice 总是会把一件事坚持做到底，特别是其他加工车间认为非常困难的事情。

非常开心

Finch 于 2009 年在 Fabtech 展会上“发现”磨料水射流技术。前一年房地产市场不景气已使其住宅建筑和土地开发方面的活动受挫。尽管该行业看似适合体现其作为企业家的商业头脑和魄力，但市场不景气还是使其深信，该行业之外能找到更好的生活。由于生产资产和零件生产的有形价值代表一种新型的所有权，允许其更多地掌握自己的命运，他开始涉足制造业。通过向原材料增加价值来创造财富的前景也对其产生吸引力。“我需要这种变更。” Finch 回忆道。

Fabtech 展会上，Finch 见到 Greg Smith——Omax 的销售工程师，也是磨料水射流设备在华盛顿肯特总部的制造商。Smith 对 Finch 展示的内容非常感兴趣。该工艺的灵活性极具吸引力。“我可以看见



图2 水射流的多轴控制可在 1/2 in 钢板上产生洁净的坡口，随后在焊接之前变成椭圆形。完成工件如图所示



图3 Omax 120X 喷射加工中心为华盛顿肯特加工车间设施中四个大型机床水射流机械之一。由于性能是灵活性和高利用率的关键，该车间一般会投入大量机械（该模型具有 10×30 ft 的车床）

许多不同类型零件的生产以及多种原材料的可能性。该工艺似乎在许多方面无限制，这激发了我的想象力。” Finch 说道。一台机床可拥有一个功能强大的加工车间，是其创造作为制造商和企业家新生活的人场券。他购买了第一台 Omax 80160 水射流机床，并安装在其车库的机架之上。

尽管 Finch 无工程学或制造业方面的背景，但他却对自己的商业本能非常自信。“我深知自己的学习能力强、不怕冒风险且致力于成功。”他说道。

水射流工艺的基本知识容易掌握。受到高压作用（多达 60 000 bf/in²，1 bf/in²=0.0068 MPa），一束从小孔喷嘴中射出的细水流。通过横跨在工件所在位置上隔栅机床的门架刀头来放置喷嘴。高速（大于声速的两倍）打击在工件上，水流的作用力足以穿透并切割较轻及较柔软的物质，例如纸张、薄塑料、纤维绝缘材料等。为了切割较硬且密度较高的物质，应在水流中加入磨粉（通常为石榴石），术语磨料水射流切割即来源于此。穿透工件后，磨料水流的作用力便快速消失于机床和工件周围及覆盖的水池中。该工艺中仅有的切割工具为水和磨粉。未产生影响工件材料性质的热量，几乎所有的切屑都可通过水冲洗掉。

Finch 通过其第一台机械了解到该工艺实际上非常有效。但是，他很快发现，巧妙处理该工艺的技能使得机械设备的精细调整以及掌握其他纷繁难懂之处有所不同。他还认识到 Omax 作为机械供应商所提供服务和支持价值。供应商还可协助适当维护水射流机械、拥有最先进的程序设计技术、使用最新的软件版本、故障排除以及优化设置。

第一台机床初见成效，使 Hydroslice 处于稳步增长的曲线之中。Finch 在未来四年中曾三次重新安置其车间，以容纳更大的设施，其为另外购买的磨料水射流机床而进行扩建，每年约增加一台新机床，该类机床均由 Omax 提供。他雇用了操作员、工程师和程序员来推进其发展，但其却经常作为经理和实践者亲自参加操作。如今，Hydroslice 在肯特市中心附近地区占地 30 000 ft²（1 ft²=0.092 m²）。该设施顶部较高，且内外均为装卸码头。该车间在此地为其他机床和设备预留了空间。

Finch 表示：“最重要的是企业的发展及其制造能力的扩展已证实事业上巨大转折的正确性，我非常开心。”

发展的指导方针

Finch 认为，Hydroslice 的发展和成

功是基于许多明确的指导方针和原则。其中最重要的是制造能力投资。该地区的车间拥有四台最大型磨料射水法机床。最大的机床配备有 10 ft×30 ft 的车床，且具有分别加工大型、厚钢板组的能力。该能力有助于生产紧密嵌套于钢板上的多数零件。右边所示的边料输送带可证明其优势。大型机床可使车间进行多项操作。通常情况下，当某项操作到达机床末端时，另一项操作便可在另一端开始。三台机床配备多个刀头也使得机床更加多产。

Finch 说，Hydroslice 从未必须继续进行某项操作，由于其制造能力欠缺。如车间内的工作台上有开放空间，将抽空进行切割操作，并根据需要增加工作班次。

功能投资。Hydroslice 充分利用其水射流机床的先进功能。例如，四台机床全部配备 Omax A- 倾斜——射流刀头。该项功能可通过自动补偿水射流高速切割时向外倾斜的趋势来切割直棱。同样地，3D 切割的多轴功能是另外一个例子。切割坡口、成角各边和椎口钻头已成为许多工业及装饰应用的必要功能。

典型的工业实例为从厚度 1.25 in 的 4340 钢材上切割航空航天所用扇形齿轮的加工。车间切割了 10 种不同尺寸的扇形齿轮。齿轮的某些特征须包括具有坡



图4 水射流切割的各种形状、尺寸及材料参见 Hydroslice 接待处角落的一排零件样本

度，且公差应为 ± 0.001 in。Finch 说，固定该工件以维持平整度是成功的关键。（尽管水射流未给该工件施加巨大的切割力，但如未受到有效工件夹紧策略的控制，切割过程中产生的剩余应力会对零件质量产生不利影响）。

劳动力投资。由于水射流工艺具有灵活性，其可自然而然地应用于各种外形和尺寸的工件以及材料。因此，车间的劳动力必须足智多谋且能随机应变。Hydroslice 的所有机械操作员可操作任何一台水射流机床。多数操作员还应具备操作二次加工或增值加工所用一台或多台机床的其他技能，并接受相关培训。

该车间还依赖于其劳动力对加急或客户紧急需要的反应能力。Finch 说，他亲自在车间内指导多数该类工作，因为该种关注力可反应其敬业程度。他也保持其技术培训的先进性。“我从未停止学习。”他说道。

几乎未拒绝任何一项工作。由于 Hydroslice 赢得了可准时且高质量地完成困难工作的名声，它经常挑战“不可能”的工作。该车间并不惧超越机床和工人技能的极限来满足该需求。该项政策会在若干天后获得回报。首先，该项工作有利可图，客户乐意为该服务支付额外费用，

因为客户深知最终获得的质量和及时性是其付出成本的回报。另一方面，具有挑战性的工作是难得的学习锻炼机会。他们可培养专业技能，并能完善技能，以便日后解决日常工作以及下次出现的挑战。

添加增值的工艺

除上述发展原则外，Hydroslice 已对若干其他可增加客户零件价值工艺进行投资。其包括加工、制造和焊接服务。Hydroslice 设法想成为一站式车间。对于顾客来说，这是利好因素，因为其简化了采购行为且责任主体单一。对于该车间来说，内部的各种二级加工更加有利于对时间安排和质量进行控制。这也是一个竞争优势。提供该类工艺能将 Hydroslice 和具有水射流操作能力的其他车间区分开来。详情如下：

1、数控加工。2015 年初，Hydroslice 安装了 Haas VF-5XT 立式加工中心。为符合车间的采购习惯，根据容量和功能，选定锥度为 50 且 30hp 的设备。其使得能在车间内进行钻孔和孔加工。另一种常用方法为厚零件的圆边操作，需要铣削表面。

2、弯曲成型。添加到 Hydroslice 设备名单中的第一批非水射流机床有一台为 Dener Diamond Elite 20036 折弯机。其弯曲长度为 144 ft 且弯曲承载力约为

230 t。该折弯机可使 Hydroslice 提供水射流切割部件组成的制成品。

最近，该车间已安装了大型的平整机床。Davi MCB 3034 可加工宽度为 10 ft，厚度为 $3/4$ in 的板材。其主要用途为增加平行工件的曲率，该工件的样式已通过水射流机械切割。可通过该台机床生产直径为 20 in 且高度为 48 in 的鼓形零件。尽管未公布该项目详情，但该项功能可对 Finch 开发的生产线发挥一定作用。

3、焊接。Hydroslice 的焊接设备使得在车间内即可对钢铁、铝以及某些异金属进行焊接操作。由于对于结构完整性以及外形来说，高质量的焊缝不可缺少，因此，熟练的焊接在多数重要项目中发挥越来越重要的作用。

4、3D 打印。Hydroslice 去年采购了 MakerBot 3D 打印机。其主要用于制造比例模型，以在全面切割和制造前，协助设计者对美学设计进行评估。显而易见，Finch 认为增材制造工艺的工业应用与其水射流切割经验相类似。其相关性可触发两种工艺内在的想象力。

艺术与工程

管理水射流加工车间的某一方面能够赋予 Finch 对该工艺的热情，指的是艺术和工程之间非同寻常的结合。Hydroslice 客户包括艺术家，如无水射流技术，其作品无法成型。使用混合材料结合金属、石料、塑料、木材或橡胶的艺术创造是该车间的专长，原因在于所有该类材料均可通过水射流切割。

其他客户需要水射流切割具有加工精心设计部件的功能，例如飞机和航空航天市场中所用部件。该类应用通常需要钛合金或其他航空合金，且须避免热损害、杂质颗粒污染或诱发零件内部应力的作用力。

这两类客户均得益于磨料水射流切割功能，水射流技术解除了阻碍创造力的多种限制。Finch 作出简要总结：“水射流是一种解放。” [M]