



图 1 Reata 公司的第一台复合机床就是这台由 Mazak Corp 马扎克公司提供的 Integrex i-200S 型五轴联动机床

复合加工

向复合加工发展

“由于多次装卡，调试设置的时间过多，容易导致重复精度以及计划调度的问题。若想要解决这些问题，就需要我们向复合加工的方向发展。”Cope 先生说道。

文 | Mark Albert

Reata 工程机械厂（位于美国科罗拉多州的 Englewood 镇），该公司的总裁兼创始人是 Grady Cope。最近，他拜访了许多其他的加工车间和合作企业。

“我有机会看到了许多非常先进的生产操作，在这些地方我所注意到的事情之一是这些复合机床的故障率问题。我清楚地知道，解决这个问题对我们公司有很大

好处。”Cope 先生解释说。当时，Reata 公司所生产的大量零件需要经过多台机床加工，包括卧式和立式加工中心的铣削加工、车削加工中心的车削加工，有时候还需要第三种甚至第四种类型的机床，用于钻孔、攻螺纹或磨削加工。

这些数控机床属于相对较新的机型，毕竟不是一堆收藏的“古董”设备。而 Cope 先生意识

到，Reata 公司被锁定到了一个传统的机加工思维模式之中。“我们在车削加工中心上进行车削加工，在加工中心上进行铣削加工。大多数情况下，我们都是由一名铣削操作工负责一台加工中心，一名车削操作工负责一台车削加工中心。不管这些操作的效率有多高，或我们操作这些机床的能力有多大，因为多次装卡，调试设置的时间太多，重复性精度问题不少，我们碰到了计划调度的问题，”Cope 先生说。很显然，Reata 公司必须往复合加工方向发展。而且对于 Cope 先生来说，要向前发展，就必须要求全公司实施根本的变革，“我记得我当时就认为这种想法一定会改变我们的现状，最后果然实现了！”

2011 年的夏天，Reata 公司安装了第一台复合机床，这是一台来自 Mazak 公司的五轴 Integrex i-200S 型机床（图 1）。虽然最初引入复合加工技术涉及到一系列新的问题，但是在可管理的范围之内，这种方法很快成为了零件生产和承接加工业务的一个福音。Cope 先生说，那种批量为 25~50 件的零件在车间中运行生产时，过去需要花费几个星期，而现在，在 Integrex 机床上加工生产，只需要几个小时。该车间能够以同样好的质量，完全满足不同客户的需要，不管是紧急的加工业务，还是通常的 JIT（准时交货制）订货。

此外，一次性调试装卡就可完成零件的全部加工，解决了重复精度问题，且不会造成生产延迟和废品率上升的现象。另一个重要好处是，当其获得某些复杂加工项目的订单时，可使其作出具有竞争性的报价并赚取一定的

利润。

向复合加工方向发展具有很大的挑战性，任务艰巨，但整体的过渡进展顺利，因为 Reata 公司的工作人员从很早开始就得到了一些重要的经验教训。“我们改变了思维和习惯，这么做并不那么容易，但我们所做的每一件事情，几乎都产生了不同的效果。”负责业务操作的副总裁 Rob Volkert 说。他确信，其他的车间都会考虑采用复合加工，并可以从他的车间中学到很多经验，“购买一台产能更强大的机床，是一项重大的投资决策，但又是一项投资回报很快的决策。”

规划未来

Reata 公司是一家合同制造商，其工程设计能力与其加工资源显然是互相平衡的。该公司为各行业提供各种原型模具和生产加工组装服务，其中包括航空航天、医疗、半导体设备、零售、汽车和材料搬运等行业。对寻求合同服务的任何客户，该公司几

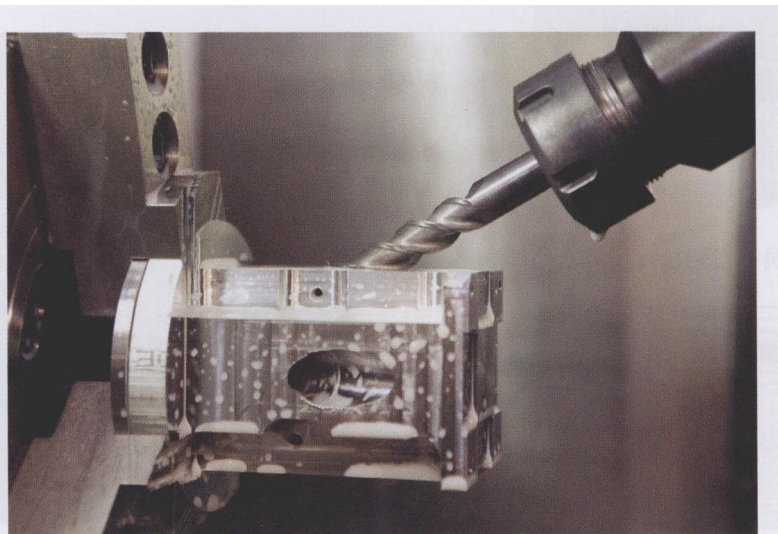


图2 这个医疗行业使用的零件，需要在其四个面的每一个面上，以一个奇特的角度，钻削加工一个直径 0.625 in 的孔径。在 Integrex 机床上，要使这些孔径精确地交叉是很容易达到的。再加上该零件的正面和背面，使其成为一个真正的六面体加工实例

乎都感兴趣，并且一直将售后支持服务进行到底。

在获得机械工程学士学位前，Cope 曾做过近海机械作业的技工，他在那里看到了精密制造零部件的重要性和工程资源的价值。这些经历对他的影响很大，于是他开始从事自己的制造业务。1993 年，他以 6000 美元为资本，创建了 Reata 公司，购置了一台

二手手动车床和一台铣床。1994 年，这家羽翼未丰的加工车间增添了其第一台数控铣床，并开始雇用机械师。

今天，Reata 公司拥有 37 名员工，分三班工作，平均每月完成 190 项加工任务，其中 25% 是全新编号的零部件加工。然而，如果该公司还不能打破“一名操作工对应一台机床以及一个零件



滚珠轴承和 滚柱轴承
外径尺寸 30 毫米至 1600 毫米不同型号
主轴部件
钻床主轴，铣床主轴，车床主轴
电动机砂轮轴，
带法兰盘的主轴亦即电主轴
专用主轴

SLF
那里在 转动



地址: Fabrikgelände 5
D-08427 Fraureuth
电话: +49 (0) 37 61 / 80 10
传真: +49 (0) 37 61 / 80 11 50
电子邮件: slf@slf-fraureuth.de
www.slf-fraureuth.de

主轴和轴承技术 FRAUREUTH 股份有限公司



▲反馈服务编码M2994

刀具修磨RG250/300

Marquart



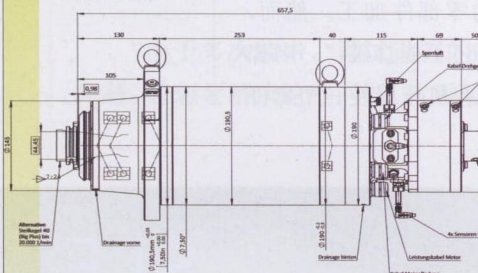
- 6轴数控，任意3轴联动
- 测量及磨削过程均为全自动控制
- 友好的用户界面，所有参数均配有图片说明
- 非刀具专业人员亦可轻松操控



电主轴

GTW MARQUART
powered by precision

- 中德合作中国制造，使用GTW高精轴承
- HSK 100/63, JT-BT 50/40
- 主轴转速 13000 ~ 24000 转/分
- 主轴维修



欢迎莅临我们展位:



s|mar|t
上海斯脉特机电科技

Tec@s-mar-t.net
www.s-mar-t.net

T+86 2164 035973 / F+86 2164 036499

上海斯脉特机电科技有限公司
漕溪北路圣爱大厦2009室
200030 中国·上海

▲反馈服务编码M4972

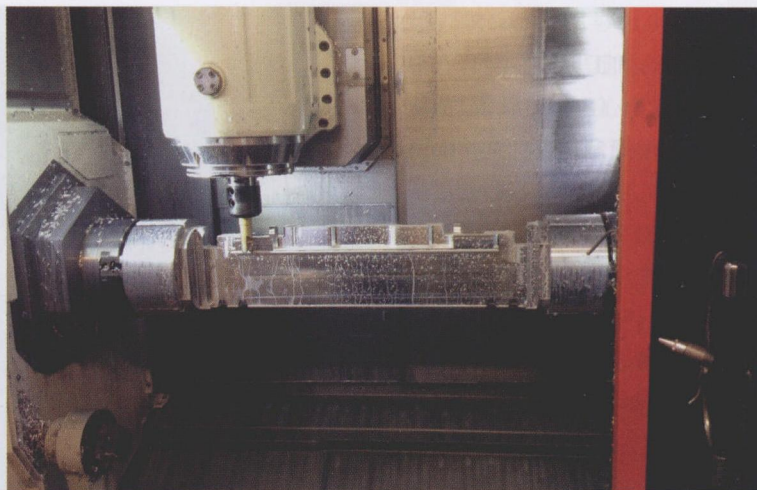


图3 Reata 公司在其 Integrex 机床上生产的最不寻常的工件之一是这个由 7075 号铝材制成的航空航天业零件。该车间开始用一段长 30 in、直径为 7 in 的圆形材料加工。生产这个零件需要大量的铣削加工

需反复装卡”的常规加工模式，那么要达到这种发展水平是不可能的。“尽管我们是一家工程公司，但我们忽略了对加工方法重新设计的需求。其他车间采取复合加工的行动，打开了我们对实施这一行动可能性的眼界。” Volkert 说。

学到了什么

Cope 和 Volkert 分析了他们的车间向复合加工方向的转变过程，并为成功实施这一计划确定了重要原则和学习要点，对它们的意义和重要性作出的评价。

1. 购置一台复合机床并不简单

首先，不要因机床的价格而迟疑不决。其次，务必在早期解决必要的刀具和良好的后置处理器需求问题。最后是让操作员和编程员参与机床的采购过程，这样，他们将更了解该技术。

2. 慎重地选择你的机床供应商，并应考虑本地分销商的能力

作为一家小型的加工车间和从事复合加工作业的新手，Reata 公司需要一家能够理解其需求的机床制造商。Mazak 公司就做到

了这一点。

另外，当地分销商的参与也是至关重要的。Action 机械公司审核了 Reata 公司提供的全套零件打印图纸，帮助他们确定了最为适合的 Integrex 机床。

3. 培训不是任选项目

Reata 公司清楚地知道，他们必须认真参加培训，因为培训费用已包括在 Mazak 公司的机床报价之中。

培训是一种投资，也是一种承诺。对于 Reata 这样规模的一个车间来说，派遣两名最好的操作员参加为期一周的培训是一笔很大的开支，但它将会很快得到回报。

4. 聘用合适的复合机床操作人员十分重要

对于复合机床的操作人员来讲，才智、思维的灵活性和适应性是其应具备的特点。操作员的技能，可以使一台复合机床具有更高的生产效率。

5. 辅助设备并不只是起到“辅助”的作用，还可以体现机床产能

Integrex 机床配有一套棒料进给装置和一套零件接收装置。来



图4除了需要切断之外，这已经是一个即将完工的成品。在零件每一端以一定角度钻削加工的孔径，其相互之间的位置必须非常精确，在任何其他类型的机床上加工生产这个零件，是很难满足这一加工精度要求的

自 LNS 公司的 80 S2 型快速加载服务器，是使其能够可靠地实施无人化操作的自动化系统的一个组成部分。虽然可以用手工方式装卡毛坯件或铸件，但他们还是在积极地寻求使用棒料进给装置的方式，确定如何能够使方形零件与棒料进给装置的长度相匹配。

零件接收装置，是一套来自 Royal 公司的 Rota-Rack 系统，用于保护成品，使它们易于检索，便于打毛刺或做进一步的处理。

6. 从本质上来说，复合加工更有利于实现无人化操作

Integrex 机床的无人化操作运行已接近每周 7 天和每天 24 h 的工作时间，这是复合机床发挥盈利潜力的一个关键部分。

7. 从圆形零件加工成方形零件，只需很少的加工或无需车削加工

通常需要在铣床或车床上加工操作的零件，并不一定是复合机床的唯一候选方案。带有不同角度的多孔径和偏心孔径的棱柱形零件，采用 Integrex 机床加工可能比较理想。

由圆形材料加工而成，这是一个向复合机床过渡的关键组成部分。

Reata 公司选用 Integrex 机床的原因之一是因为其顶尖之间的距离较宽，这能够处理多面体铣削加工的较长零件。对于涉及到大量铣削加工的零件灵活性而言，其 Y 轴的行程也是非常重要的。机床的 Y 轴行程为 9.8 in (1 in=25.4 mm)，垂直的 X 轴行程为 24 in，包括中心线以下的近 5 in 行程。

有了这些功能，Integrex 机床本身便可以作为一种加工能力非常强大的加工中心了。

8. 考虑六面体加工的灵活性

Integrex 机床使用第二根车削加工主轴，主要是为了背面加工操作。大部分加工是在第一根主轴上完成的，它利用了该机床的 B 轴铣削加工头，然后将其传送到第二根主轴上，通过 C 轴的同步化旋转加工，赋予此机床真正的六面体加工能力。

C 轴的轮廓加工功能使 Integrex 能够在零件的两端加工复杂的形状。在一台标准的加工中心上，将零件翻转和重新夹紧，是完成同样加工结果的唯一方法。

9. 让客户参与其中，教他们如何使用复合机床

在零件设计方面，设计人员将变得更富有创造性，因为他们拥有实体造型设计的 CAD 系统，使他们能够设想和构建复杂零件的几何形状。这种复杂性已成为制造业所面临的严峻挑战。Reata 公司已经能够承接复杂的加工业务，因为这些工件本身就只能借用复合机床进行加工生产，而采用过去传统的方法几乎是不可能生产的。

其中一个实例是，在一个零件上添加一个圆角半径。现在，利用 Integrex 机床的五轴联动特

点，加工一个位置良好的圆角半径是一件非常简单的事情，即在该零件的程序上添加几条线。现在，凡是可能涉及到额外的调试装卡或特殊的刀具问题，也只不过是台复合机床上多增加几秒钟的加工时间而已。

一种新的度量公制

Cope 承认，向复合发展的趋势，不但改变了他的车间对加工零件的心态，而且也改变了他对普通制造业的观点。例如，他已经习惯了用车间的工作人员数量和机床主轴数量来评价一个车间。现在，他认为，这些数字不能充分反映一个制造业公司的生产率或竞争力。“真正重要的是其产量，即整个车间可以完成多少工作量。”他说。

Cope 参与了 NTMA 美国全国加工工业协会的领导工作，并为科罗拉多州丹佛大学的工程咨询委员会提供服务。“复合加工技术是一种使机加工车间能够保持精益管理，并能够以少量的机床和只有几个很有才华的个人进行工作的方式。这将使得该行业在全球范围内具有更大的竞争力。”他说，“我们也必须与学校合作，开发一种具有强大科学技能的工作力量。复合机床本身让这些人能够充分地发挥技能。”

现在，Reata 公司对复合机床充满信心，并于 2012 年 11 月向 Mazak 公司订购了第二台较大的 i400S 型 Integrex 机床。这台机床配有一套 4 in 孔径的主轴，因此该车间希望使用这台机床加工其 90% 的零件，Cope 先生说。“这台机床的自动化水平和生产效率，可确保 Reata 公司在今后的几年内走上稳固发展的道路。”