图 1 除了分布在整个安装过程中的 40 多个不同步骤的不同处理顺序外，Wear Technology 精益生产改革的努力由于挤出螺杆倾向于沉重，让 CNC 操作员 Nick Bowen 等员工觉得难以管理，并且难以通过拥挤的工位来操作

更多精彩请扫描二维码

精益生产

精益生产 自布局而始

要持续优化多品种、小批量产品组合生产，不仅需要针对机群式布置车间制定策略，还需调动员工的驱动力和激情。

文 | MATT DANFORD

精益生产的精华在于其一揽子措施，做到了这些，就足够发挥精益生产的效用。这是因为，作为现代精益生产思想的重要基础，丰田生产体系（TPS）实际上并非完全适用于所有制造体系，特别是机群式布置车间。

尽管如此，有例证表明，对制造商而言，精益生产并不见得与多品种、小批量（HMLV）零部件生产相矛盾。在过去一年多时间里，Wear Technology 在其位于 Kansas 州 McPherson 的工厂中推行精益生产核心理念，改组并改进其运营方式。该工厂占地面积达到 63 000 ft^2，负责为母公司，即塑料加工设备供应商 Milacron 公司制造和翻新数百种双螺杆挤出机用螺杆。正如其他机群式布置车间一样，该工厂的精益生产与 TPS 相去甚远，但不论过去的经验为何，该案例可以说明，为什么对精益生产持负面态度是盲目且不利的。

尽管这个正在运行的项目还处于精益生产 3 个步骤中的第一步，但工厂内产品运输距离、员工花费在非增值任务上的时间以及向客户报价的交付时间已经显著缩短。工厂经理 Chris Keating 认为，之所以能够取得这样的成效，主要是由于他们意识到了灵活运用精益生产思想的必要性，也意识到在 HMLV 型企业中浪费是无法完全避免的，并据此对精益生产作出了调整。

抛开方法论不谈，精益生产改革的重要推动者、为 Wear Technology 生产成绩打下良好基础的真正主角是那些支持和投身于改革的员工。正如 Keating 先生所说，从改革开始，工厂全员就参与了进来。公司甚至为改革专门指派了人选：厂内有 3 位卫奇塔州立大学（WSU）工业工程专业的研究生，他们按照硕士学位课程要求，按期到工厂实习。其中有一位名叫 Sachin Varkey 的学生正式入职工程师团队，领导精益生产改革。具体地说，要想真正落实精益生产，不仅需要在形式上持续改善工厂布局和流程，还需要扭转相关人员的思想。

聚焦作业流程

Varkey、Vasudev Nalapat 和

Ramkumar Harikrishnakumar 三人于 2016 年初首次上任，Varkey 形容他们三人的职责是做“实地工作”。当时，工厂已经和 Shahrukh Irani 博士合作了一段时间，其是 Texas 州 Houston 咨询企业 Lean and Flexible LLC 的董事长，也是机群式布置车间精益生产方面的专家。但是，Irani 博士和工厂管理层都需要有人关注实地情况，无需因生产紧迫而时刻分心。“我们有很多项目要处理。”Varkey 回忆起他们刚到工厂的时候，“我们需要确定这些项目的约束条件，并收集数据来确认这一点。”

图 3 这个过程大部分是在较旧的设备上进行的，如图中所展示的磨床。考虑到与移动设备相关的风险，每个配置更改都需要控制时间。这种有意识的渐进式方法也使员工有时间习惯新的做事方式，并提出更多的改进建议

这种机群式布置车间精益生产（JobshopLean）集约束理论、成组技术及生产流程分析要素于一身，不是通过消除浪费来削减成本，而是将重点放在具体目标上。HMLV 制造商需要重点关注并消除各个工序间工作流程中存在的生产量约束条件。否则，精益项目很有可能会变得如 Irani 博士所说的那样，即“无休无止的搜寻浪费并加以改进”，但在真正重要的“及时交付产品”方面却收效甚微。

先进先出的“拉动”式生产始终是精益生产的目标。然而，若无法设立流水线和单件生产单元，这一目标也就无从谈起。挤出螺杆种类众多，且几乎各不相同。螺杆是平行还是锥形？尺寸是多少？机筒的曲率和坡度、通道宽度是多少？不同螺杆各部分的上述指标和其他规格参数有何不同？采用钨涂层还是钼涂层？让这些问题清晰，才能确定某种型号双螺杆下一步应该采用哪道工序。

非独立工序的复杂性使得流水线难以实现，此类产品制造甚至还涉及到庞杂的各种零件，更增添了难度。通常，螺杆的制造流程涉及 40 余个不同的步骤，其中焊接等工作很难直接与数控加工对接。同一螺杆可能需要在某些工序间多次轮转；某些螺杆需要在特定工序间用特殊设备加工，并且在工序间中以及在工序间内各工位之间的加工时间都不尽相同。旧螺杆翻新与新品制造流程重合度较高，使得生产更为复杂。旧螺杆经检查后，会在木架上存放一段时间（通常约几个星期），一旦客户同意开工，就必须将其纳入作业计划。

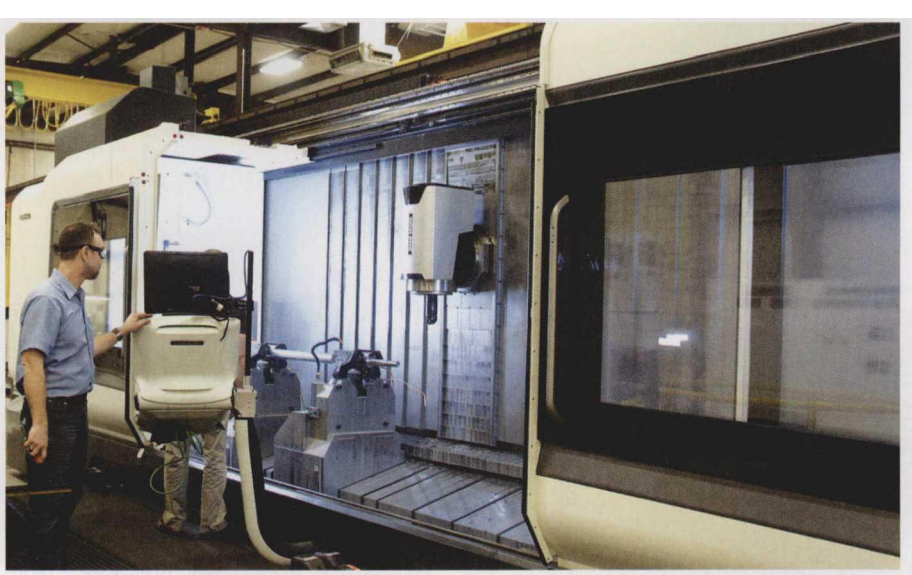

图 2 这台 DMG MORI 的 NT 6600/6000 车床路由器代表了 Wear Technology 生产的未来设计及理念，因为它有望巩固或消除几个加工步骤。然而，必须完成从参数化编程到基于模型的 CAM 编程运动，以充分使用机器以及其他变化。预计精益生产改革将为新方法提供基础，同时帮助母公司在中期内提高市场份额

Wear Technology 并未设想过要在多大程度上实现流水化生产的目标，但车间改革的脚步一直在继续。他们所选择的精益方法秉持着这样的核心原则，即在自足式、单件流生产单元和天然存在浪费属性的“加工群”布局之间，还存在着一种中间策略，使批量工件得以在工厂不同区域经由相似的机器加工生产。Wear Technology 可能仍然还处在加工群的阶段，但其向着中间策略迈进的步伐已见成效，使双螺杆厂内运输距离大幅缩减了约 20%。此外，为解决工厂布局带来的固有约束，他们专门对流程进行改进并推行创造性的变通方案，缩短螺杆加工路径，进一步提升加工速度。最关键的是，这仅仅是一个开始。

小挫折 大收获

局势逐渐演变得如火如荼。除 Irani 博士外，Milacron 全球持续改进经理 Mark Lonneman 也参与了此次精益生产

改革并担任主要监督负责人。此外该公司还升级了其所有生产设备，Wear Technology 可能需要为改革花费大笔支出，甚至可能重新安置焊接等需要独立基础设施的工序。当然，这都是远期的暂定规划。第一阶段改革仍始终以低成本、渐进的方式推进。除学生薪水、咨询费、新购起重机和其他相对低价的采购项目外，其他所有改善流程（包括消除浪费、缩短交货周期）都只能调配现有资源。

Varkey 说："这一项工作既要求每一步都为后续工作打下基础，还需要留出一定空间，以防遇到意料之外的难题时需要修改方案，就像是在下跳棋。"例如，要将新工件和翻新工件区分开，首先要实施预检，并将到厂待翻新工件存储在离主厂房较远的仓库中。在该区域实施了这一迁移措施、5S 及其他精益办法后，重新空出来的空间就可以用于摆放绕焊材料，而原本摆放绕焊材料的地方现在则用作摆放传送工作台。

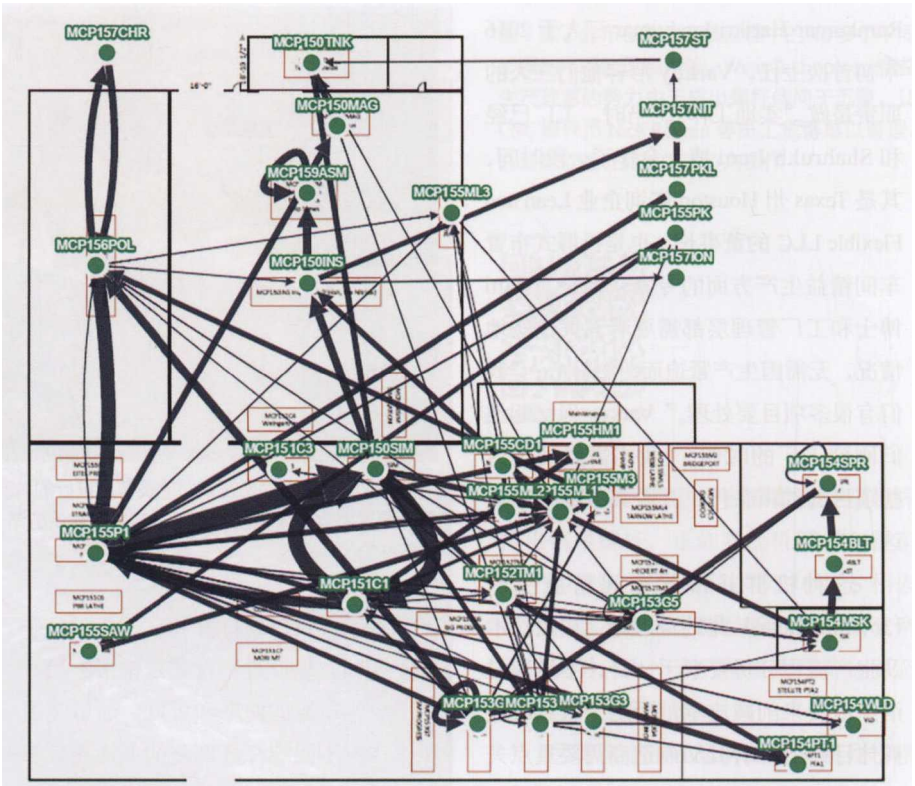

图 5 产生这种物质流程图的 Sgetti 软件对于为修理车间配置提供长久的努力至关重要

几位学生认为，这一系列举措腾出了足够空间，使得迁移变得可行，对整体生产流程意义重大：他们得以将一台压力矫直机移到一台 8 m 的大型 Weingartner 车铣车床对面。此外，还在附近放置了一台模拟质检台（用来检查螺杆安装和功能的工作台）。将这些流程集中到一个专区内，使得大型螺杆的生产实现了"流水化"，改变了此前该类产品需要在车铣和矫直机之间多次移动后才可经由模拟质检许可进入下一道工序的状况。

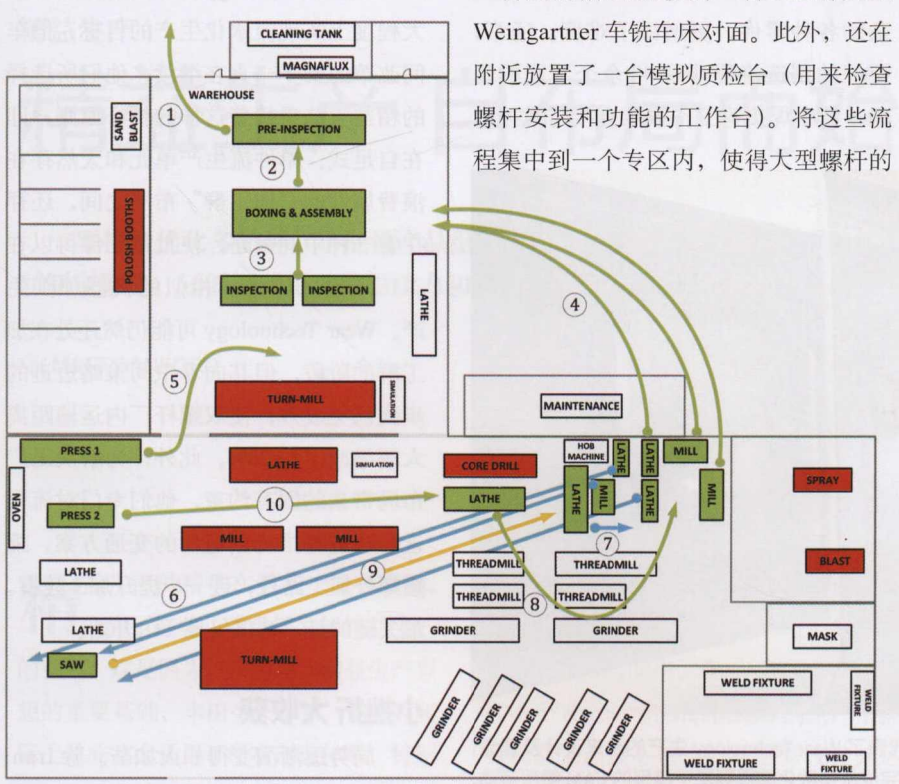

图 4 完整描述初步咨询中确定的第一阶段配置变更的初始计划。然而，认识到这些计划运动的潜在障碍，并充分赞扬他们，同时准备完成改革，需要三名学生决定谁来承担这项的工作

整个工厂都在推行类似的举措，这些举措的基本目标只有一个：最大程度缩减物料工序间运输距离、提升工序间沟通，将最为常用的连续工序安排在一起，最终缩短交付时间。为避免干扰生产，工作人员事先充分规划，除计划和设备迁移本身外，其他附加工作微乎其微。

也就是说，设备迁移工作可以在第一时间开始。几位学生认为，工序分组时保持 Weingartner 车床不动是个明智的举动，因为这台机器的体积及重量都很大，如果要移动它，必然会干扰生产，也会偏离第一阶段的改革目标。另外，其他仪器（如部分磨床）太过老旧，但它们在生产中的作用又非常重要，因此无法进行迁移。用于进厂棒料钻孔的大型空心钻机等设备，则是同时面临着上述两个难题。因此，至少在这一阶段，

这些大型设备只能留在原地。

即使其他方面难以一步到位，但是秉持精益生产原则的企业至少可以抛弃旧思维带来的固有约束。在 Wear Technology，螺杆的运输距离也许尚未达到期望，有些区域甚至无法设立生产专区，但仍有办法可以让一切归于正轨，最大限度地满足及时且高效流通的要求，尽管这个办法看起来有点疯狂。工厂抽调了两名员工，他们从本部门流程改进事务中抽身出来，专门负责运输工件的工序间传送事宜。

他们被称作“流水线运输员”，有了他们，其他员工可以专注于自己的工作。这就意味着，不再会出现过去那种员工将双螺杆放到手推车（如有）里，推着车穿过狭窄拥挤的走廊到下一工序间（也许中间还会停下来和他人聊天）的情形。如今，由这些运输员专门从事此类工作，并负责管理手推车、调配起重机并仔细检查进出工件。从 WSU 学生提供的数据看来，设立了运输员职位后，每天节约的工时共计为 5 ～ 8 h。走廊变得更加整洁，人员、零件和信息也都更加有序。

图 7 基于 Wear Technology 的经验，提供最舒适的工作环境可能会使人们乐于参与变革到改革中。直到最近，大型的难以控制的螺丝才被转移到可一次容纳 4 个的设备中。虽然这里只能容纳两种类型，而且更安全，更符合人体工程学

活化思维 善用工具

预检部门迁移所需的一系列准备事宜看起来似乎很容易。然而，若是没有合适的工具，对复杂的 HMLV 型生产流程而言，即使是最有效的设备分组策略也难以推行。以 Ohio 州立大学 Irani 博士和 Smart Khaewsukkho 博士共同研发的软件套件——生产流程分析和简化工具包（PFAST）为例，简而言之该软件根据零件数量和利润对工厂整体产品结构进行分组，然后对其加工路径进行比较，进一步将那些需要由同一区域内临近机械加工的零件细分为一类。这些相邻机械形成了组合制造单元，在此类单元内，针对加工流程类似却不完全相同（如先铣后削而非先削后铣）的零件设立了多个进出点。该类机械可以以不同的方式组合使用或单独使用，如有需要甚至还可以与其他“制造单元”内的机械配合使用。

Irani 博士还设计了另一种补充工具，该工具专门为即时、虚拟布局改动而设计，可以即时反馈单台机械移动的结果。Khaewsukkho 博士则开发了一款名为 Sgetti 的软件，该软件使用 PFAST 结果或原始数据创建产品路径图。与人工绘制价值流图纸不同，使用这款软件，可以在数秒之内生成图形，并且其生成的图纸绝非仅能静态展示产品路径，而是可以根据客户选择显示产品路径的任意组合。该软件以气泡来表示单个工作站，客户可以点击气泡并把它拖动到任意位置。路径一旦发生变化，整个图纸会自动更新，并且立即显示材料总运输距离减少（或增加）的百分比。

Wear Technology 在改革过程中同样使用了传统精益工具。正如 Irani 博士所说，在生产单元或类似组织中，精益就等同于机群式布置车间的精益。Wear Technology 认可标准化作业指导书、5S、由员工主导改善方法等策略的重要性，但并非完全照搬，而是根据战略目标（通常各部门有所不同）选择性地采用它们。例如，该公司在抛光区设立看板系统，对手持工具和其他人体工学设备的替换进行管理，提升该作业区吞吐量。

图 6 重新安置在仓库中使用的引入螺丝的预检，使黄色印刷机移动到更靠近右侧的 Weingartner 铣刀（无法移动）的位置（左）。模拟站在房间后面可见，也是这个单元的一部分。Sgetti 软件显示，这项改革使大螺丝行驶距离减少了 6.89%

Lonneman 先生就工具、走动管理和质量控制快速响应等策略的使用向员工提供专门培训，使这些有针对性的改善措施得以发挥作用，让员工将注意力集中在增值活动上，从现有人员中抽调流水线运输员仅仅是其中一例。

发挥人员能动作用

在 Wear Technology“以人推动精益生产”的进程中，流水线运输员是最为生动的案例，但绝不是唯一的例子。每一步行动都需要有大量的数据提供理论支持，以免造成浪费员工时间或破坏其他改革措施成果的情况。事实上，尽管 PFAST 是 Irani 博士咨询服务的一部分，但由于缺乏数据，这一复杂的专有工具难以发挥其全部效用。当时，工厂只是笼统地规划了零件路径，并未考虑到双螺杆在厂内运输路径的所有可能情况。因此在 Sgetti（可以向 Khaewsukkho 博士付费使用该系统）中尝试不同布局选择时，PFAST 能发挥的作用十分有限。如要补全 PFAST 数据，使 Sgetti 效用最大化，就需要预先制作一系列流程图，尽量将全部可能性包含在内。

这项工作交由三名学生负责，除此以外，他们还有其他工作任务。三位专职于此的工作人员抽出时间，带着秒表和记事本深入车间每一个工序间测量并记录加工时间；确认设置机床、寻找工具和其他活动所需时间；推进操作规程和作业指导书标准化；并监督实施各项针对性的改进举措。要这些咨询专家将全部精力投放在工厂改革上，付出成本是必然的，但 Keating 先生认为：“到目前为止，我们已经得到了足够回报。没有他们，我们肯定无法做到像今天这样。”

学生们则强调，在 Wear Technology 的精益生产改革过程中，并非只有他们“实地工作”。抛光等工序加工时间较长，每件螺杆所需时间为 8 ～ 40 h 不等，甚至更长的时间，要用秒表来测定时间并不现实。何况即便缩短了产品运输路线，每个工序间仍有许多数据需要跟踪。例如，要精确和彻底地将非增值时间和增值时间区分开来，可能需要螺杆在各工序的加工等待时间或螺杆各部分所需加工时间等数据。因此操作者完成手头工作的同时，通常还需要跟踪此类信息。

图 8 生产力、质量的提高，员工离职率的降低是抛光部门改进的重点，也是改善人体工程学、产能规划、质量和时间标准的重要手段。因此该部门现在每天螺丝的加工数量比原来增长了 33%

更重要的是，他们在跟踪数据（或其他方面）所做的工作往往超出了管理层的要求。几名学生说，他们对车间工作人员的感激难以表达。工人们不仅为他们详细说明了各项工作内容、协助确定哪些数据需要跟踪，甚至还针对流程改善提出了建议。

Varkey 以将预检物资从主厂房搬迁至仓库为例对这一点作出了解释。这个搬迁计划看起来没有任何问题，按照计划专职预检工人和以前一样，负责初步清洁待翻新螺杆，并手动测量其尺寸，尽管工作内容没有改变，但将此道工序迁入仓库可以消除来料对主厂房的干扰。仅当需要探伤机使用磁力油和紫外线对螺杆进行模拟、矫直和检查，用以检验裂纹和缺陷时，才会将其运送到主厂房。完成检验后，待翻新螺杆将重新运至仓库存放，由客户决定是否继续下一步作业。

但是，工人们反对这个设想，认为不断将螺杆运至主厂房（通常在寒冷恶劣的天气下）完成后三道工序，然后还要将其运回仓库，这个做法并不合理。管理人员听从了这个建议，最终将流程进一步简化。主厂房内的工人无需再负责模拟、矫直和磁通探伤工序，而之前他们往往必须完成其他工作之后才能开始这些工序。他们在仓库为预检部门单独配置了一台老款磁通设备，这样工人无需离开岗位就可以完成大多数预检工作。之所以发现这一策略可行，很大程度上是因为管理者在与工人交谈的过程中意外得知，多数待翻新螺杆并不需要矫直处理。此外，通过在磁通探伤机上安装直线度测量设备，工人们可以在工位上完成工作，工厂也节省下了新装压力矫直机的时间和成本。

若是直接采购成型精益方案，则很难直接实现诸如物料运输距离年减少 100 m、通过优化预检流程使得交付周期平均缩短 5 日以上、抛光工序吞吐量提升约 50% 等可量化的改进。尽管成绩斐然，但 Wear Technology 的故事同时也说明了，指标远非精益生产改革的全部。Varkey 说，他确信在后续的精益生产工作中，车间工人们是否一如既往地保持热情并切身参与才是改革能否持久的最关键因素。到目前为止，主要是依靠沟通鼓励工人参与积极性。“工人们明白，推行精益生产工作会让他们的工作变得更轻松，需要数据是为了新增设一台起重机，其他的需求也都是有的放矢。”他补充道。MM