

机床产业如何协助企业从源头碳中和？

文 | MFC 特约撰稿人

无法达成减碳的企业将逐渐退场

各国在净零碳排的压力下纷纷推出各种措施来应对减碳目标，美国在2030年前碳排放要较2005年降低50%、英国则是预计在2035年前碳排放要较1990年降低78%、韩国正拟定禁止海外煤矿投资、日本计划在2030年前碳排放要较2013年降低

46%、欧盟要在2030年前碳排放要较1990年降低55%，在2050年达到碳中和，并将目标纳入欧洲气候法，同时将在2023年将开征碳关税；而中国也将2021年设为国家的“碳中和元年”，身为全球最大碳排放国之一，中国政府也提出“2030碳达峰、2060碳中和”的目标，并在2026~2030年期间逐步减少煤炭消费。如发电、钢

铁、冶金、石化、汽车等产业，皆是被中国政府点名优先绿化之对象，也带来未来40年高达140万亿元的绿色投资市场。

各国政府的措施必然造成企业短期内的冲击，但长期来看，企业可能迈向低碳经济转型及循环经济模式的开发，不仅在产品设计、原材料开发及制造上逐渐绿化，也在数字技术如云端、物联



网、人工智能的协助下，将价值链与外部第三方整合，建立绿色供应链，事实上，特斯拉、苹果、三星等大厂也纷纷投入相关行动。这是一场从上到下（政府到人民）的运动，也是由下游（消费端）到中上游（生产端）的产业变革。

数字化是企业绿化的第一步

在投入绿色转型前，数字转型可能是企业必须先执行的项目，由于减碳过程中会需要搜集、分析各式各样的数据源，相关工具必不可少；同时，绿色转型是一种内外部价值链整合的流程，因此企业内外部的数据如何做有效运用，攸关减碳成效。当前最常应用的为运用数字制造设备（如智能机顶盒、智慧机械）搜集相关生产端信息，然后可透过不同频谱，让设备之间具有相互沟通能力，同时引进传感器与人工智能在自动检测、质量管理、存货管理发挥作用；另外透过搜集到的信息数据，结合信息实时传送与数据分析后，可用于改善既有流程或风险预防（如导入预测性维护以防止停机发生）。数字化制造流程为多数制造业正在投入转型阶段，从单机、整线、整厂的改良，到建立情报室同时监控整体生产概况皆是其应用范围。值得注意的是，依如产品开发一般，数字化生产制程是一种滚动式调整，而非单一项目结束后即停止。

同时，数字供应链也在成形，如终端供货商的销售与上端供货商的原物料采购进行信息整合，透过部分信息共享进一步建立紧密合作与透明度，使所有营运皆透过数据分析进行，达到进、销、存的优化，常见的应用技术包含 RFID



（无线射频辨识）、GPS 追踪、智能标记、传感器网络，与数字分析平台等。数字供应链的概念在疫情发生后开始受到国际重视，加上当前供应链在供料与备货上经常受塞港冲击影响，企业如何调度资源因应，数字技术就相当关键。供应链相关应用技术涵盖物联网、端到端生产、云端运算、边缘运算、人工智能、装戴式装置（人员）、数字控制塔、机器人、无人搬运车、软件即服务等，可说是各种技术的综合应用，单有技术导入还不足以构成数字供应链，上下游合作伙伴也需要有足够的数字资源串接，才能发挥信息共享与透明度的优势，工具大厂如 TRUMPF、DMG MORI 等也开始打造自己的数字供应链体系，以期望在未来能具备更多供应链韧性，且能专注在减碳转型上。

国际同业观察：DMG MORI 如何在 2021 年达到碳中和

全球机床大厂 DMG MORI 除附加价值较高、产品智能化外，在减碳

行动上也不遗余力，从 2021 年起，DMG MORI 将原物料采购至机床生产的流程完全达到碳中和，这让公司成为全球第 1 批具备中性“产品碳足迹”的制造业之一；所谓碳中和指的是“企业、组织或政府在一定时间的二氧化碳排放量，与植树、使用再生能源等方式所累积的减碳量相互抵换，过程中需透过碳盘查掌握碳排放量／碳足迹，接着采取减量措施或抵换行动，使大气的碳排放量维持现状、无增无减，达成中和的状态”。事实上，DMG MORI 在 2020 年即达到生产价值链的碳中和，在通风、冷却系统上避免碳排放，同时在生产地点使用自行发电的再生能源（如太阳能），公司大量购买绿色电力，此举每年为公司减少 25,000 吨碳排放量。除生产流程外，DMG MORI 提供的制造解决方案运用软硬件整合与大量数据分析，也能为客户提供能耗控制至最低的能力，达到协助“自己减碳，也帮别人减碳”的代表业者。

公司在减碳路径上分为三大策略：

“建立绿色机械”、“投入绿色模式”、“采用绿色科技”，按部就班进行。首先，在建立绿色机械部分，虽然生产机床的排碳量并不多，主要碳排放计算是在企业采购零部件与出货时造成的碳足迹（DMG MORI 指出这部分占进货到出货的 70%），加上早在多年前欧美就开始限制加工用的切削油、冷却机冷媒的使用，但一台机床在客户手上运作时耗电量却不低，进而造成排放量增加，因此机台本身能不能降低碳排即是未来产品竞争力所在；故此，DMG MORI 为抵消客户碳排放，公司在 2021 年起开始提供碳中和的机床产品给全球客户，机台本身结合节能、智能设计等，进一步提高附加价值。

而在绿色模式上，公司强调以软件服务来驱动硬件，如 CELOS 应用程序来追踪能耗状况，该应用程序能将机台设备数据（传感器、PLC、SCADA）与企业营运软件（MES、ERP）做 OT 与 IT 的整合，使营运端能及时掌握机台耗能状况。公司将

CELOS 搭配自身机床一起绑定销售，这种模式的优势是不用比单一机台价格，而是透过全套软硬件整合的解决方案来套装出售，甚至发展成订阅制模式。由于全球机床产业处于稳定发展，每年产值约 800 ~ 900 亿美元，企业许多处于停滞阶段，这种新型态的商业模式，能带给企业第二成长曲线的现金流。

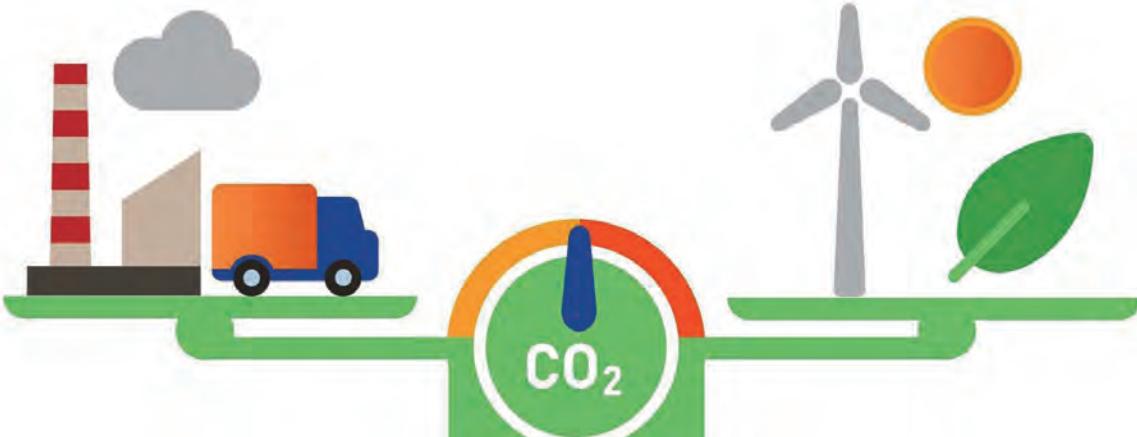
最后为采用绿色科技，如前所述，公司强化绿色技术的研发与购买，除了在土耳其推行风力发电项目外，公司也在中国开发生物质能（Biomass），以确保整个生产过程中达到碳中和，重工业客户如钢铁产业在使用碳中和机床时，能减少碳足迹，让自身在减碳基础上能有较佳利基点。2022 年，公司将目标放在整条供应链的碳中和，供应链的碳中和相较于自身做法要复杂许多，牵涉到不同的厂商与上中下游，但透过公司在产业的影响力与议价能力，DMG MORI 认为“现在不做，未来会更难做”依旧坚持推行碳中和，并逐渐朝向净零碳排目标前进。

虽然 DMG MORI 公司作为国际大公司，相较于我国中小业者的型态略有不同，但由于其在机床产业地位举足轻重，加上与终端产业互动良好，因此其作为可能为终端用户要求其他机床厂商有所作为的范例。首先，DMG MORI 具备明确的减碳蓝图，相较于净零碳排的一步到位，公司采用同地区单点、同地区多厂、不同地区多厂的方式先达到碳中和，原因在于各地区营运状况有别，先从单点切入较为容易，先从自身减碳做起。其次为提供一致性的减碳足迹产品，考虑到客户种类多元且排碳量不同，公司将机床绑定 CELOS 软体，使得客户能够连结机台使用状况与掌握能耗控制，走向卖解决方案的服务性模式。最后则是在行有余力时研发再生能源购买绿电，逐渐达到能源自主的效果。

此外，DMG MORI 在达到碳中和前，其数字化程度堪称完整，打造智慧机械是公司主要数字策略，透过 API 让零部件、系统及服务串联，DMG MORI 的机床台多数已具备联网和侦测功能。在转型策略上，公司将新兴科技拆分为四大类别，包含机床、开放式传感器、嵌入式软体，以及人机接口协作，以此四方向为核心，成为软硬整合的“智能自造者”。

在米兰的工厂内，公司与德国轴承制造商 Schaeffler Technologies 合作，打造“机床 4.0”，透过机器与云端联机，在 DMC80FDduoBLOCK® 几台上安装 60 具传感器，透过实时数据搜集与算法分析。同时，公司也搭配自建的 CELOS®APP 应用程序，使





一线工人与管理人员能及时以可视化方式找出机台潜在问题，达到设备的预测性维护的功能。这一连串的数字旅程，间接奠定了绿色转型的基础。

循环经济会不会是机床产业的下一个机会？

循环经济 (Circular Economy) 相较于传统的线性经济 (Linear Economy)，其主要重点为资源再利用、降低浪费、减少废弃物等原则，透过产品设计、物流优化、鼓励回收等方式，让每项资源的副产品或损坏的商品，都能进入新的循环，而其对企业最主要的影响，除了产品重新设计外，也进一步牵涉到商业模式的改变，例如产品共享、产品服务化、订阅制、再制造、副产品应用于其他产业、再生原物料等，看似容易，但在初期需投入不少资本与创新技术。虽然许多国家都已投入循环经济的执行，但欧盟无疑是循环经济的

领先者，其次为多数的循环经济多从消费性产业如快消品、包材相关出发，但欧盟却对机床产业提出循环经济模式，主因在于机床身家电、汽车、航天、医疗器材与风力发电设备的上游，对整体的产业潜在影响巨大，鼓励相关厂商投入循环经济有其必要。

此外，欧盟的机床产业型态相当多样，且因不同规模的企业而展现更多差异性，车床、铣床、刨床、磨床无所不包，且以中小企业居多，员工人数多在 100 人左右；部分较先进者融合机械设计、加工制造、自动控制、信息软件、机电接口、系统整合等相关技术的应用。此外，欧盟机床产业也具备高度定制化的特质，且 77% 的业者为出口导向，以中国、美国、俄罗斯、墨西哥、日本、土耳其为主要市场。在面临中国、日本、韩国同业者的激烈竞争时，欧盟的做法为鼓励业者以升级转型代替杀价竞争；因此，除导入数字科技外，也以循环经

济、减碳的模式，以终为始鼓励业者拓展新营运方式，促进整体产业的升级。而根据麦克阿瑟基金会 (Ellen MacArthur Foundation) 的研究，循环经济的目的为维持整体产业链的价值，手段为通过可重复利用的材料与产品来达成。

强调产品生命周期与再制造的欧盟生态设计倡议

身为欧盟生态设计倡议的一环，生态设计倡议强调从业者需定期检视产品的生命周期 (PLC)，指出机床业者应在产品设计时间即评估机台的能耗，但一台机床最终使用权在客户手上，因此客户如何使用也是衡量重点，由于各使用者所属产业有所差异，欧盟期望机床从业者除了在设计时间引入有助于降低能耗的措施外，如何教育使用者也相当时，许多机床业者已经在使用手册中向使用者提供降低能耗的操

作方式的建议,或是提供特定人员培训,以确保其设备的最佳性能,可说是人与机器是决定能耗高低的关键要素。

除产品生命周期外,原物料的采用也是循环经济相当重要的一环。机床几乎有 83% 主要由铸铁、焊接钢和其他金属材料制成,这些材料基本上都易于回收且可以重复利用。金属零部件的价值也相当高,这意味着从业者能在机床生命周期结束时能透过自身或请回收业者有效回收机台。此外,由于机床的产品寿命相当长,许多产品使用了 20 多年依旧还可以使用。根据欧盟统计,意大利的机床的平均使用年限为 12.8 年,而在德国,CNC 与非 CNC 机器的平均使用年限为 10.5 年和 19.7 年;目前有 80% 安装十年的机床台仍在运转,而其中的 65% 预计能够再使用 20 年,虽然产品使用寿命并不是坏事,但机台随着时间不断磨损,功能逐渐下降,届时可能产生更多能耗,因此,机台是否能够透过新技术进行再制造与翻新,

成为机床产业在循环经济上的重点项目。

欧盟认为,机床是知识密集型产业,需投入大量创新与研发来维持产品竞争力。欧盟的从业者在研发部分,主要投入在机床的能源管理上,积极研发降低能耗的功能或机型。其中较知名者为 DEMAT 计书,该计书为机床在循环经济的一部分,主要内容为研发轻量机械结构提升最大产能,这些材料主要用于打造机械结构,要求较高的刚度和减振比,以确保其稳定性、生产效率和精度,同时透过将制造机床所需要的金属材料降低 50%,且必须 100% 可回收,以最小化环境冲击。DEMATT 能提升机床的可靠度、可用性、环保性与安全性。

检测机台耗能状态的标准 ISO14955

对欧洲的机床业者而言,当前的策略性营运议题以减少能耗为主轴,此举

来自终端消费者投入永续消费,品牌端从业者强调循环经济,OEM 代工厂则展开减碳运动,进而影响到机床从业者的策略制定,协助客户供应链绿化已成为机床厂商刻不容缓的事情。如前所述,机床因需求不同造成产品间的异质性相当高,无论是组成材料、动作(车削、铣削、非中心孔钻削、键槽、线性轮廓加工)、机台大小等皆是差异来源,依照欧盟的分类,单是金属切削机床及金属成形机床就高达 59 种,要如何衡量不同种类机床的能耗即有难度;此外,由于智能机械的崛起,当前的机床功能复杂度与操作性逐渐提升,如软件与感测器的使用等,或是新型激光切割机床,皆会提高能耗。

提供给机器的能源量并不足以作为能源效率的充分指标,为了衡量机床的能源效率,需要根据所取得的结果来考虑能源消耗,例如,生产的零部件数量、形状、质量、精度和其他由特定应用参数决定的相关因素。有鉴于此,欧盟决议在用 ISO14955 来衡量,该标准由国际标准化组织 ISO 于 2009 年制定,主要衡量机床在能源使用效率。其衡量标准为根据机床不同的执行功能,如加工过程、机床冷却等,该标准中描述的功能由各种机床零件执行,如油压泵浦、冷却装置、驱动轴等,进而从中衡量能耗状况。ISO14955 的测量结果旨在记录与评估使用特定机床在制造某个零部件所耗费的能源,同时辨识出高耗能的部分以供后续产品优化。

积层制造 (Additive Manufacturing, AM) 技术即一般所称之 3D 打印技术,透过数字化加法制



造方式，将 3D 设计数据进行 2D 离散化，再将此离散资料分层制造堆栈成 3D 组件。由于当前企业对于复杂外型、网格形状、内部孔道等设计需求提升，传统加工制程方法无法一次加工完成，需藉由拆解成多件组件设计，分别进行加工后，再组装，导致工时冗长，且结构设计强度可能不若预期。当前积层制造技术在使用材料、陶瓷、金属及复合材料，可应用在汽车、航天零件、橡塑料模具，大幅提高竞争优势。常见的积层制造技术如粉床熔融成型\黏着剂喷途成型技术、叠层制造成型技术、直接能量沉积技术等。

而积层制造也是厂商进入循环经济的重点技术之一，根据一项统计，在某些情况下，积层制造生产的金属零件可以比机加工零件轻 50%，换句话说，600 多架商用客机中的每架飞机减少一公斤，每年即可节省约 90000 公升燃料，并减少多达 230 吨碳排放。同时，积层制造并不影响生产效率，甚至生产效率更高，环保与生产并非站在对立面，从业者依旧能透过模块化大规模生产，甚至更加定制化，这种数位生产技术正在全球蔓延开来。

通胀与超额下单下的转型契机

在疫情与供应链的连续冲击下，我国机床产业在 2022 年遭遇了前所未有的挑战。不过大环境的冲击依旧，当前俄乌战争与通膨压力使得业者接单开始出现压力，即便在强势美元下人民币贬值，从业者依旧战战兢兢，一方面期待机床出口能维持 2021 年水平，一方面也希望客户不轻易砍单；由于大环境的

因素较难掌握，因此机床业者不妨趁势进行数位化与绿化，由于这两者对全产业而言势在必行且存在时间压力，当前投入相关技术与研拟策略皆未算太迟，具备充足资源之企业，可同时投入数位与绿色转型投资，资源有限之业者，建议先智慧化再投入绿色转型，此转型均需要 5 ~ 10 年，甚至更长的时间完成，及早布局方为上策。

机床需传感器化

作为智能产品的第一步在政府大力推动智慧机械，以及从业者对智能制造逐渐了解的情况下，机床装上传感器只是迟早的问题，加上国际供应链从较封闭的垂直供应链体系转型成具弹性的开放式产业生态体系，按需制造已成为主流。由于轴向负载监控、制程参数调整补偿、健康状态监控、预防保养等均依赖传感器搜集相关数据并进行分析，因此从业者可加紧与研发单位合作，研发技术门槛较高的工业传感器。此外，从上述内容应可发现，智能型产品是从业者迈向循环经济与减碳的必要项目，具备传感器的机床可视为迈向永续产品的第一步。

将精益生产精神整合至当前智能制造投资

我国与欧盟机床产业在规模、结构，与经营方式上依旧有别，许多国内企业受港澳台日文化影响较深，自然对于精益制造较为熟悉。精益生产是一种系统性的生产方式，主要目标在于减少生产过程中的浪费，消除无法增加附加价值的活动，如物料搬运、存货等无附加价值的活动，为终端消费者创造经济价值。而当前各国从业者强调运用数字科技来

降低成本与对未来可能状况进行预测，能使精益生产更上一层楼，特别是运用通讯科技来达到缩短制程时间 (Lead Time)、提高产品合格率，此外，智能制造强调机床的指标如 OEE，为透过智能机械平时运转的数据库搜集异常数据，可运用在预测性维护，降低突发性停机的概率，这些观念在过去即已存在，但当前数字化科技融合的情况下，结合精益生产精神，应能提升机床产业的制造竞争力。

留意科技从业客户的绿色转型

由于机床的使用者有不少为科技从业者，如电子制造、汽车产业等，而科技从业者本身的减碳与其他产业不同的是，科技从业者除了自身减碳外，也需运用 ICT 技术协助他人减碳，这点与机床产业不谋而合，因此可参考科技业的减碳做法。

除同业外，业者也可从科技大厂如苹果的做法或能得灵感，苹果达到净零碳排的措施包含产品采用低碳材料设计、使用 100% 再生能源、提升设备能源效率、使用非化石燃料、投资减碳项目 (如人造林)。由于科技业的减碳路径较为明确，机床业者不妨多参考其他行业的做法，或许对于企业未来发展绿色机床与减碳转型上有所帮助。MFC