

The Autodesk logo, featuring a stylized 'A' icon followed by the word 'AUTODESK' in a bold, sans-serif font.The ASME logo, featuring the letters 'ASME' in a serif font with a globe icon above the 'S', and the tagline 'SETTING THE STANDARD' in a smaller font below.

制造未来

有助于实现工业 4.0 业务成果的新 workflow、角色和技能

研究报告



目录

02	执行摘要	32	工业采用指南
08	简介	34	学术界采用指南
11	研究流程	36	工业界、学术界和政府之间的合作
15	工业趋势推动变革	41	总结
16	业务挑战	43	致谢
17	工业系统级解决方案方法	45	附录
19	未来 workflow、角色和技能		

制造未来

制造业目前面临着—系列变革，这些变革将在未来 10 年内显著改变机械工程师、制造工程师和机械师的角色、技能和工作流。在提高生产效率、产量、盈利能力、竞争力、可持续性、循环设计和降低成本等方面，企业承受着巨大的压力，由此引发了这些变革。预计机械和制造工程角色的融合程度有望提高，CNC（计算机数控）机械师的角色将发生重大转变。

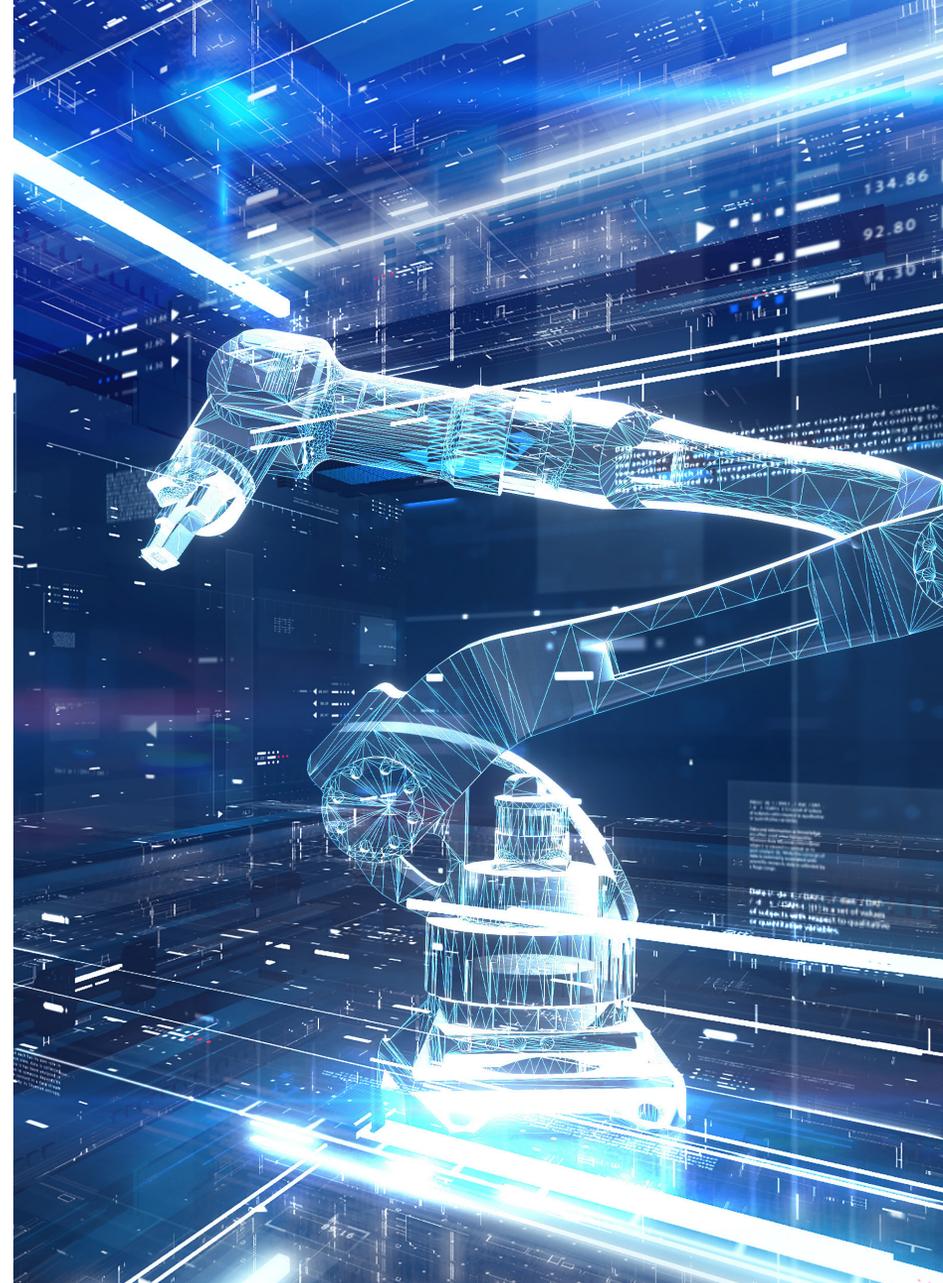


执行摘要

制造业正处于发展的十字路口。其中一条道路将带来一系列工业 4.0 技术，为推动制造、改善业务成果和重新赢得未来竞争地位提供新一代数字化转型机会。另一条道路是由工业 3.0 或更早技术所限定的原有狭窄路线，限制了业务自动化、扩展和优化的能力，难以满足不断变化的市场需求。

在公司考虑决策之际，工业挑战不断加剧，全球垂直市场和制造业务的竞争越来越激烈、成本越来越高、上市时间越来越短。使情况进一步复杂化的是，市场需要更精密、定制和基于电子器件的产品，而企业需要努力采用更智能、更精简和更具可持续性的制造实践来参与全球竞争。

所有工业、市场和商业指标均指向“工业 4.0”的道路。为了实现预期的业务成果，让制造企业能够随着快速变化的工业不断发展，这条道路是最现实的选择。这一转变为转变业务流程、制造工作流程和技术组合提供了战略机遇，有助于打造一个互联、灵活且响应迅速的制造业。



新兴技术包括:

- 可制造性设计 (DfM)
- 运营技术 (OT) 基础设施
- 人工智能/机器学习驱动技术, 如衍生式设计
- 基于远程服务的软件平台, 如集成式计算机辅助设计和制造 (CAD/CAM)
- 项目生命周期管理 (PLM)
- 制造执行系统 (MES)
- 商业智能 (BI) 解决方案
- 用于协作和数据分析的集中数据管理

通过采用系统级方法, 企业能够制定先进制造战略和技术采用计划, 从而提供实现业务目标和成果所需的互联、协作和连续的制造 workflow 和劳动力。(请参见下一页的工业 4.0 转型信息图。)

机械工程师、制造工程师和数控机械师需要具备新的 DfM 和数字技能, 才能出色地完成支持新 workflow 所需的工作。制造业教育计划需要认识到毕业生与工业劳动力需求之间存在巨大技能差距, 并采取措施, 制定新的先进制造课程, 教授紧缺的工业概念、技能和能力。成功取决于开发新的制造业教育的教学方法, 有效培训必要的工业 4.0 技术和技能。这些新技能类别包括:

- 技术/硬技能 (人工智能/机器学习 (AI/ML)、编程、数据分析、可视化)
- 软技能 (协作、沟通、解决问题)
- 跨学科技能 (系统工程、自动化、可持续性、供应链管理、PLM、集成 CAD/CAM)

为了为先进制造提供工业和学术指导, ASME 和 Autodesk 于 2021 年 8 月至 2022 年 5 月之间进行了一项研究, 调查并确定了未来十年机械工程、制造工程和数控机械师角色所需的未来 workflow 和技能。(请参见第 11 页的研究流程。)

每个角色都将以自己的方式发展, 但研究表明, 必要的新技能将包含适用于所有三个职位的通用技能 (硬技能和软技能) 以及跨学科技能的专门组合。

转型, 改善 业务成果

现在

分散。
隔断。
不同。

- ✓ 机械工程师
- ✓ 制造工程师
- ✓ 数控机床师
- ✓ 生产

工业 3.0

旧版 CAD/旧版 CAM

特定任务机器人和特定应用自动化; 分散的数据应用

孤立的工作流和团队

数字化转型

在单一平台收集和组织数据
连接团队, 访问和交换数据
融合远程服务应用

工作流转换

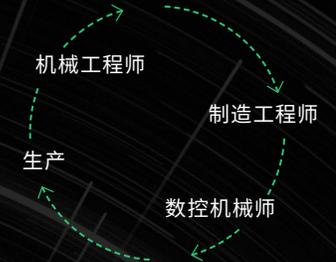
重新设计工作流
重新思考角色和职责; 提升技能和学习新技能
利用远程服务解决方案跨学科协作

业务转型

利用新兴技术, 如 AI/ML、GD、AM、人机协作
可视化和分析数据, 用于实现流程自动化和优化
消除当前孤立现象

未来

融合。
互联。
协作。



工业 4.0

融合远程服务和数据平台 (例如, 集成 CAD/CAM)
AI/ML 应用、衍生式设计、数据分析、AM、人机协作
统一生产 - 跨分布式系统协调
互联工作流和跨职能协作



行业受访者表示, 常见硬技能包括提高 AI/ML 技术 (如衍生式设计) 的能力, 这将有助于根据成本和性能等标准优化设计。324 名受访者 (详见第 14 页) 表示, 机械工程师需要更多 AI/ML 知识来改进产品开发 (56%), 制造工程师需要推进和优化制造流程 (61%), 而数控机械师需要操作和管理生产 (56%)。在整个组织配备可制造性设计技能和知识, 有助于这些工作角色共同改进制造最佳实践。事实上, 90% 的受访者确认, 讲授更深入的 DfM 知识是学术界发展未来制造业劳动力的最有效途径。大多数接受调查的工程师认为, 机械工程师 (84%) 和制造工程师 (88%) 都需要在 5 年至 10 年内提高 DfM 技能。

随着企业越来越依赖数据驱动和自动化, 建模、仿真和数据分析等其他数字化技能将在许多角色中发挥重要作用。



所有角色所需的常见软技能包括创造性解决问题、沟通和协作。在接受调查的工业工程师中, 近 60% 的人预计这三个职位的协作将更加紧密。随着新工作流的融合, 这种不断增加的协作需要更好的沟通和集体解决问题能力。远程协作平台能够打破地理障碍, 以全新的方式将团队衔接到一起, 从而使所有三个工作职能部门能够更高效地协作。





机械工程师将在开发更好的产品方面发挥关键作用，这些产品专为可制造性设计，并且更精简、更智能、更具可持续性。最终的创新将创建基于智能产品设计的新业务模式，其数据反馈回路有助于改进未来的产品迭代。所需的机械工程技能将超出传统范围，包括电子设计能力和延长产品生命周期的产品模块化设计能力。

为了成功设计更复杂的产品，机械工程师需要不断提高技术硬技能，如先进的增材制造和各种 CAD、CAM、CAE（计算机辅助工程）和 PCB（印刷电路板）软件功能。222 名工程师的调查显示，他们的工作量将随着 CAD/CAM (67%)、PLM 软件 (73%) 和增材制造设计 (71%) 的增长而增长。另外，102 位学者预计衍生式设计 (80%) 和编程技术 (75%) 将越来越受到重视。



制造工程师将领导战略工作，改进和采用先进制造技术和流程。他们将决定如何应用 AI/ML 等技术来改善自动化效果，并采用智能制造实践，如对生产线进行编程、管理分散的制造地点和部署实时生产监控系统。他们需要设计和实施制造系统，缩短上市时间，同时降低成本、减少浪费和缺陷。该角色将致力于在人工劳动力和包括机器人、增材制造和数字孪生在内的生产机械中寻找合适的资源利用率，使用生产数据分析和可视化来寻找提高效率的机会。



数控机械师将在三个职位中迈出最大一步，原因是工业 4.0 技术显著增强了数控机械师的角色。数控机械师职位将扩大并转变，包括机器人管理和编程（在无人控制的情况下执行任务的自主机器）和人机协作（与人类协作执行任务的人工智能机器人），以及分析实时生产输出、车间检查及参与质量保证 (QA) 和质量控制 (QC)。机械师需要开发 AI/ML 方面的新技能，用于生产、五轴机床、增材制造和混合制造（同时使用增材和减材制造）。他们还需要与工程团队更紧密地协作，更多地参与设计等上游流程，而这需要更深入地了解 CAD/CAM 软件。在未来 5 到 10 年，工业界专业人士 (51) 指出，顶级数控机械师所需的硬技能将是 CAM 软件 (86%) 和 CAD 软件 (82%)。



随着机械工程师、制造工程师和机械师之间加强协作，跨学科技能也将变得至关重要。在未来 5 到 10 年，预计工程师对系统工程技能的需求将会增长，实施自动化和追求可持续发展目标都属于跨学科的范畴。

跨这三个关键制造角色的通用和跨学科技能激增，增强了利用软件平台连接 workflow、存储集中数据、跨 workflow 和团队角色共享数据的效率，并有助于协作实现共同的产品目标和业务目标。

为了应对这一已经开始且即将加速的转型，制造业教育需要尽快进行严密审查和改革，从而跟上工作场所的快速变化。仅仅增加劳动力培训是远远不够的。学术界应与工业界密切合作，开发新的教学方法，讲授和培养跨学科知识和技能。人们需要开始学习工业 4.0 技术技能，作为教育发展的新基准。重点要在工程师和机械师中增加衍生式设计、AI/ML 和 CAD/CAM 技能，广泛支持使用认证和证书来赋予这些技能，作为学位课程的替代或补充。在所有受访者中，84% 认为工业界和学术界联合开发更多认证项目，将是非常有效的举措。

工业界可以通过提供实习机会、合作项目、认证和最佳实践，为制造业教育做出重要贡献。但是，随着商业压力不可逆转地推动制造业向工业 4.0 迈进，学术界必须立即采取行动，顺应现在的趋势，因为教育实践的现代化不会一蹴而就。

在成本压力、供应链中断、生产效率和可持续性等相关业务驱动因素的推动下，这些技术、workflow 和运营变化需要新的劳动力技能，才能获得最佳结果。如果不对从学术界到工业界的教育进行根本性的端到端变革，我们将面临扩大技能差距的风险。这是成功过渡到工业 4.0 所面临的共同挑战，将带来工业实践和培训项目的转变。这种转变需要时间，但没有多少时间可以浪费。本文讨论了机械工程师、制造工程师和数控机械师的角色和 workflow 的重大变革，提出了实现更好结果的策略；我们知道，如果采取适当的措施，那么就可能实现更好的结果。

“我觉得有必要获得学位。我将学位视为基础。是的，微证书非常重要。从新知识、智能制造、如何制造、人工智能、机器学习的角度来说，它们非常重要。这些是新的学位。”

Raju Dandu 博士

教授；堪萨斯州立大学萨莱纳分校

散料创新中心主任

简介

全球经济给制造业带来了巨大的竞争、成本和上市时间压力。为此，公司必须努力提高生产力、盈利能力和效率。这些转变正在推动制造业转向纯数字化流程，而供应链风险和循环产品生命周期的目标要求在实际生产之前更好地进行前期规划和流程建模。

但是，当前的设计和制造 workflow 是脱节的、串行的、孤立的，导致返工和其他效率低下问题，从而限制企业增加产出、提高质量和减少浪费的能力。这些流程仍然基于几十年前的技术和工业 2.0/工业 3.0 的资源。但是，如今的工业 4.0 技术升级了可用于设计和制造的资源。

为了推动未来工作，我们需要重新思考工作方式。我们需要系统级转型，收集、分析和共享集中的数据，重新设计制造 workflow 和工作职能，采用衍生式设计等技术和其他 CAD/CAM 解决方案，这些解决方案利用 AI/ML 实现可编程流程自动化（如增材和减材制造以及运营技术），利用可互操作的数据实时操纵生产和供应链操作。

“客户要求加快速度、降低成本、减少返工、提高精度。”

Jeffrey Reed

工程总监

Northrop Grumman Corporation

“所有数据都将在远程服务中，工程师将与全球团队一起使用相同的宝贵数据。”

Vukica Javanovic, 博士,

副教授；欧道明大学

机械工程技术

临时系主任

但是，要改善整个系统的制造成果，机械工程师、制造工程师和数控机械师的传统角色必须改变。2020 年的世界经济论坛 (WEF)¹ 估计，50% 的制造业员工将需要再培训。遗憾的是，教育系统没有跟上制造业的变化步伐，无法为未来的劳动力做好充分准备。1955 年《格林特报告》(Grinter Report) 强调数学和物理，而不是基于项目的学习和实践应用，从那以后，美国的大部分工程教育课程未曾发生变化。因此，当前许多课程缺乏数字化方面的现代发展。一些工程课程培训使用近 80 年前的教学法和 30 多年前的软件包。因此，新制造工人之间的技能差距正在扩大。²

制造和工程教育必须从系统级重新设计的角度来开发和优化制造业所需的工作流变革。教育重新设计的关键目标之一是“缩短人才培养时间”。目前对高级学位的需求仍然存在，但需要更多更快的选择，在更短的时间内教会学生工业 4.0 制造业所需的职业技能。

¹ WEF, 《The Future of Jobs Report 2020》(2020 年就业前景报告), <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2020/in-full/infographics-e4e69e4de7>.

² Sorby, S., Fortenberry, N. 和 Bertoline, G., 2021 年, 《Stuck in 1955, Engineering Education Needs a Revolution》(陷于 1955 年, 工程教育需要一场革命), 《Issues Sci. Technol.》(科学与技术问题), <https://issues.org/engineering-education-change-sorby-fortenberry-bertoline/>.

“我们需要放弃固执的承诺，不再执着为了培养工程学教授而设计课程。我们需要能够为工业培养高素质工程师的课程。美国工程教育的基础知识成型于上世纪 50 年代中期，但课程模式在 50 多年里没有什么改变。”

Pierre Larochelle, 博士

南达科他矿业及理工学院
系主任兼教授

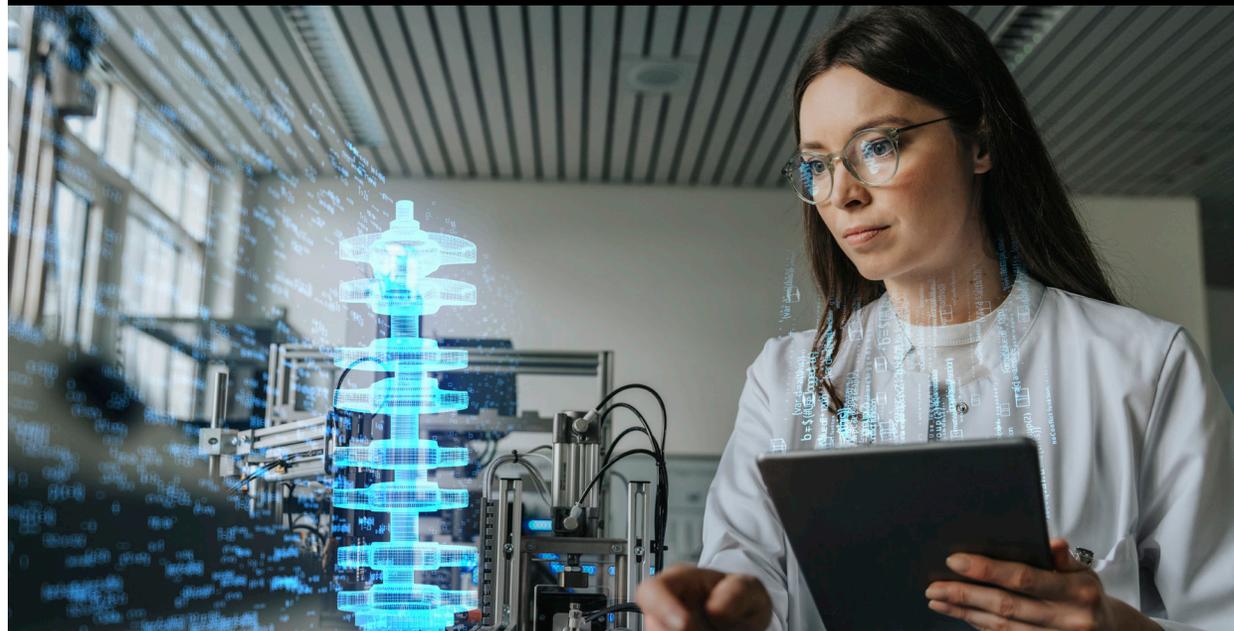
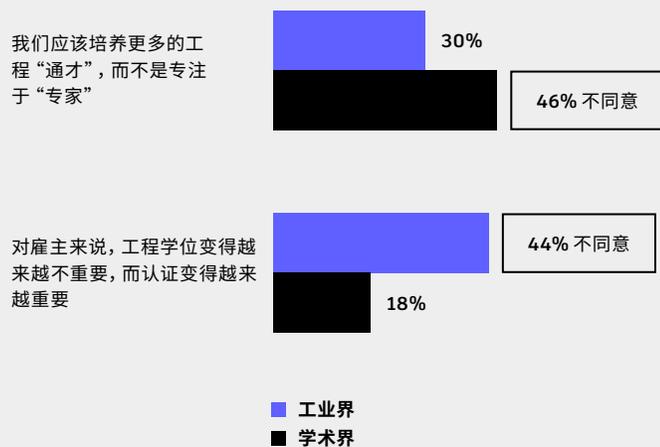


图 1:
对教育和制造业未来的态度 (学术界与工业界持不同意见的百分比)

学术界在培养工程通才和专家方面存在重大分歧。同样，在工业界内部，工程学位与认证的价值也存在很大分歧。

调查人群: 222 名工业界专业人士和 102 名学术界专业人士



ASME 认识到当前制造培训无法满足工业 4.0 劳动力的需求，因此与 Autodesk 合作开展一个多阶段研究项目，为机械工程师、制造工程师和数控机械师定义未来 5 至 10 年的工作描述、典型工作流和预期职责/技能。我们分解了这些职位的传统工作流，研究如何改进整个系统的整体设计和制造成果。

我们的期望是打破限制，并整合所有可用于推动制造业发展的创新，实现互联、协作、循环/连续的工作流、技术和流程，实现更好的业务成果。

考虑到未来 5 至 10 年内的工业 4.0 应用将越来越多，本研究试图回答以下问题：

- 机械工程师、制造工程师和机械师的工作流将如何发展？
- 在这些角色中，人们需要什么样的技能组合和思维模式才能蓬勃发展？
- 这些角色如何变化？
- 这些角色变化将如何影响培训和招聘？
- 工业界、学术界和政府如何确保各种背景的学生和专业人员培养在这些角色中蓬勃发展所需的技能和思维模式？
- 学术界应采取哪些措施来更新教学方法，培训所需的课程？

研究流程



第 1 阶段

文献综述

回顾 **77** 个现有资源

回顾美国和英国项目中的现有课程



第 2 阶段

访谈

30 次单独访谈

10 次学术界

20 次工业界：美国和英国



第 3 阶段

调查

324 名受访者

学术界和工业界：
美国、加拿大和英国

第 1 阶段： 现有文献综述

为了解决这些问题，该项目的第一阶段对来自学术界、政府和工业界来源的相关主题的现有文献进行广泛分析。我们创建了案头研究纲要，帮助指导文献搜索，其中包括 2018 年至 2021 年的学术和灰色文献搜索。³该纲要从美国、英国、欧盟和关键行业报告中挖掘战略文件，确定影响未来工作角色的外部因素和新兴技术。我们用其他学术和灰色文献支持并补充了由此产生的深刻见解。由于这一主题的快速发展，非学术文章进一步证实了我们的主张。

³ 学术环境以外的文献或研究，包括行业报告、政府文件和工作文件



我们创建了反映每个职业的任务和工作活动当前状态的典型 workflow，详细信息来自职业信息网络 (O*Net) 和 Burning Glass，前者是一个美国职业相关信息的免费在线数据库，后者是一个就业市场数据分析平台。我们还根据上述所有来源和我们的解释，为 workflow 中的每个阶段确定所需的技能和相关技术。这些确定的任务、技能和相关技术具有代表性，但并不详尽。

目前最热门的技能是 O*Net 和 Burning Glass 从去年需求最多的技能中选取的。Burning Glass 认定在未来两年预计增长最快的技能，以及近期文献资料所确定的技能，被选为发展最快的技能。此次回顾重点是设计产品的机械工程师，因此取消了管道和暖通空调等技术技能。机械和制造工程师的“体能”等软技能也被取消，原因是此类技能不在关注的范围内。然而，“体能”技能包括在机械师的角色中，它与机械师工作的未来变化有关。

最后，我们通过综合文献中关于推动工业变革的外部性以及影响产品设计和制造的新兴技术的见解，创建了未来的 workflow。我们再将未来的 workflow 映射到当前 workflow。这些映射图确定了新兴技术将协助、转变或取代的当前任务，以及技术和非技术外部性趋势所需的更高层次的转变。

在第 2 阶段和第 3 阶段，我们进行了 30 次访谈和 324 次在线调查，用于扩展第 1 阶段的调查结果，重点关注未来 10 年三个主要角色的 workflow 和职位描述。第 1 阶段结果为第 2 阶段和第 3 阶段的调查和访谈问题提供了信息。

第 2 阶段: 访谈

我们通过 ASME 和 Beacon Technology Partners LLC 对 30 位精心挑选的思想领袖进行了深入的电话访谈, 其中 20 位来自工业界, 10 位来自学术界。⁴访谈讨论主题包括:

- 未来十年, 机械工程师、制造工程师和数控机械师的工作流和技能期望不断变化
- CAD/CAM 软件、衍生式设计、三维制造、数字孪生、跨学科知识和协作、数据分析和编程的影响以及其他主题
- 对于促进必要知识和技能的获取途径, 工业界、政府和学术界有何要求
- 如何通过基于项目的课程鼓励“终身学习”, 提升制造业的形象, 与社区学院合作, 学徒制与实习制, 中小型制造商如何提供培训以及其他问题

⁴“工业界”是指致力于创造或生产工程相关产品或资源的营利性实体; “学术界”是指主要在学术/教育机构工作、专门从事教育和研究、授予学术学位的任何人

第3阶段: 调查

2022年2月1日至3月4日进行的一项在线调查收集了324份有效回复(总置信区间为±3.1%)。

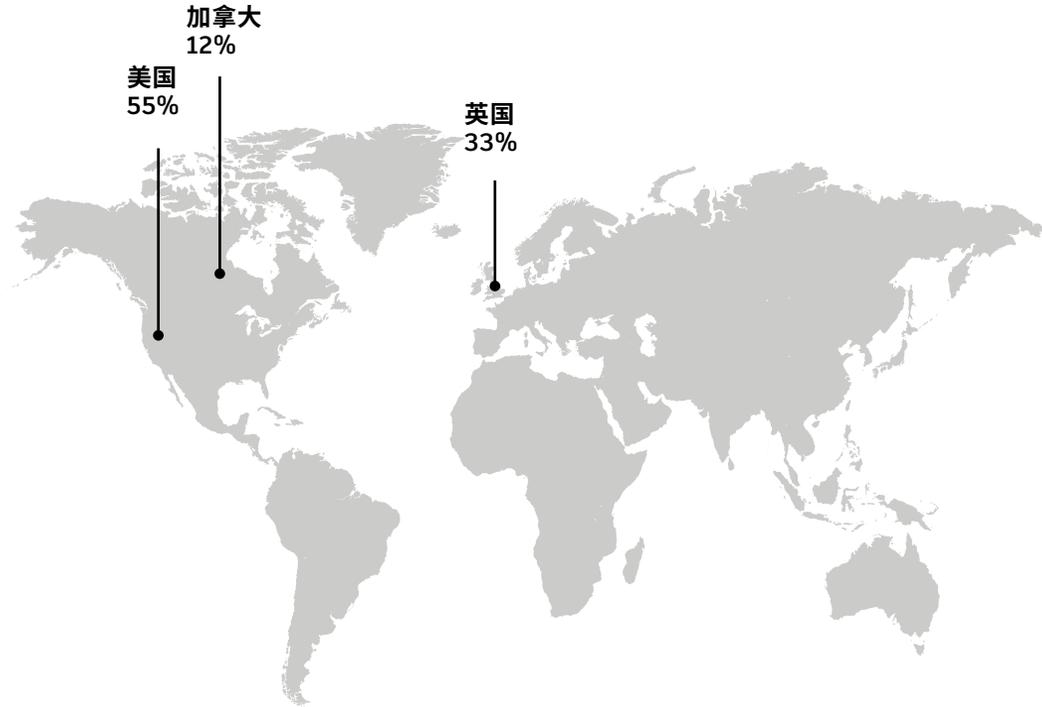


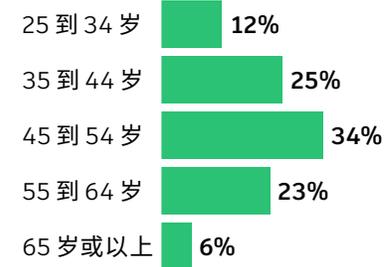
图2:
第3阶段调查受访者的人口统计数据

北美
67%

英国
33%

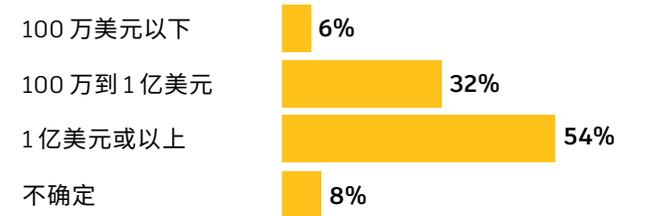
324
份回复

年龄



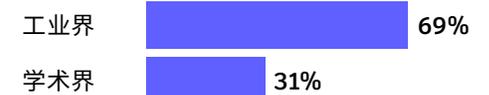
平均年龄 = 47.8岁

按营收划分的组织规模



年均营收 = 7250万美元

身份



工业趋势推动变革

随着工业变革加速，制造环境也变得充满挑战。我们的调查结果清楚地表明，工业和数字化转型的主要推动因素正在提高生产效率、增加利润、缩短产品（开发）生命周期（见图 3）。

制造公司始终致力于实现自动化和简化操作，从而获得更多更高质量的产出。但是，优化生产线带来了更多挑战，原因是许多生产场地和分包商分布在全球各地，并且经常使用不同的机械和系统技术。

与此同时，随着越来越多的公司开始致力于可持续发展，减少对环境的影响，这对其现有的制造工艺和系统提出了进一步的要求。面对这些业务和工业需求，公司在寻找这些核心业务挑战的解决方案方面感受到越来越大的压力。

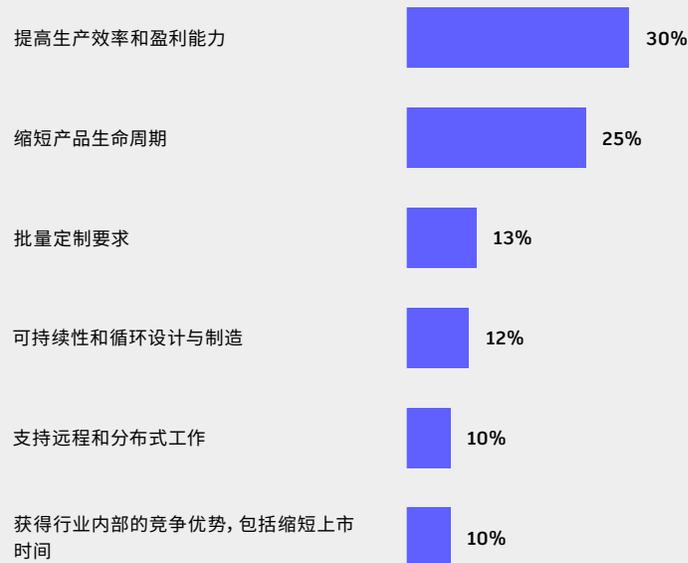
许多公司从技术中寻找答案。可用的工业 4.0 技术为公司提供了识别和采用技术的机会，可通过数字化转型推进业务发展。基于 AI/ML 的技术、软件平台、机器人、物联网 (IoT)、远程数据存储和其他技术协同工作，依托新设备和编程功能构建强大的数字化基础设施。在此基础上，制造团队可以重新思考他们协作和协同工作的方式。但是，这种技术转变也带来了更多的竞争，促使公司确定自己的行动方向，与时俱进。

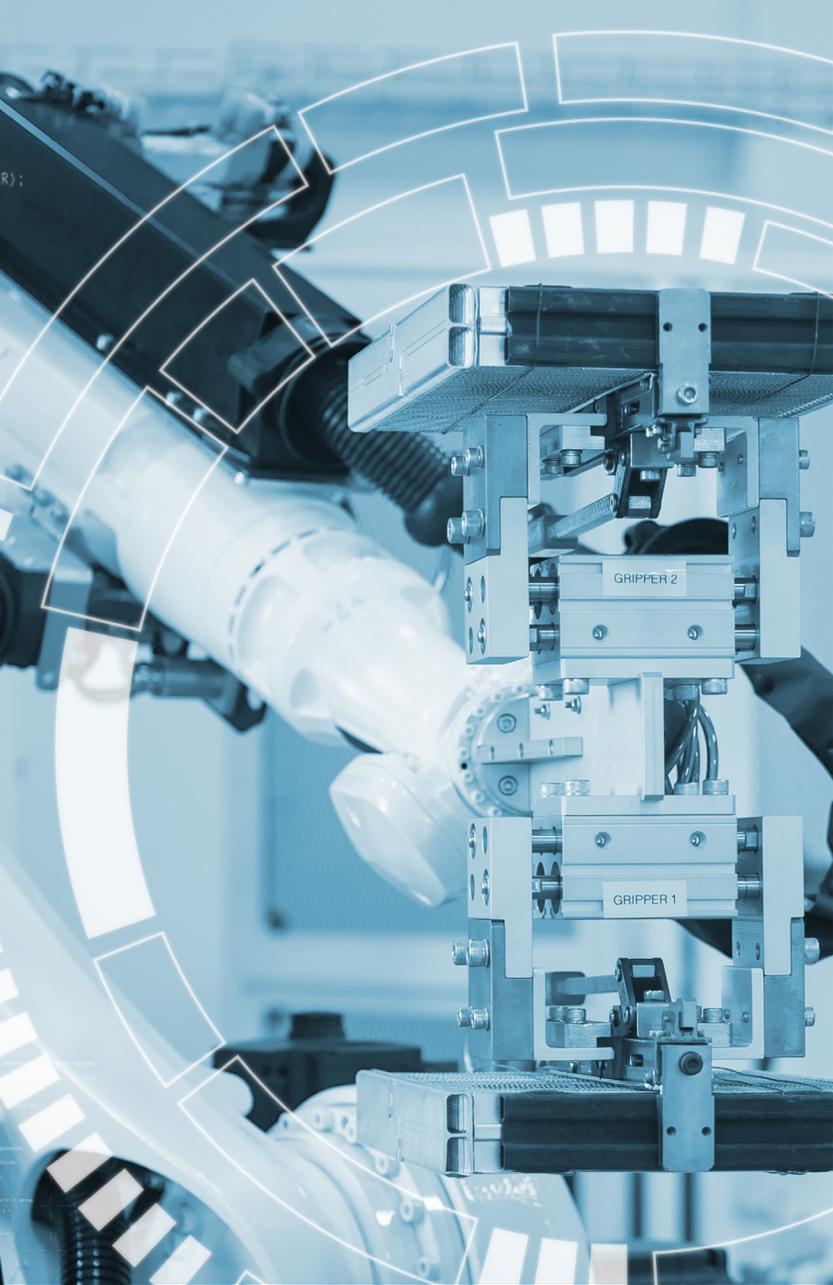
企业认识到需要调整和发展技术基础设施、运营、劳动力和技能，提高产出、增加利润并保持竞争力。但如何实现呢？

图 3：
推动变革的工业和数字化转型趋势

生产效率、盈利能力和缩短产品（开发）周期对工业极具挑战性，对可定制性和可持续性设计提出了更高的要求。

调查人群：171 名机械和制造工程师





业务挑战

为了在生产效率、盈利能力和上市时间方面获得有意义的成果，公司必须经历业务转型，实施新流程、 workflow、技术和技能组合变化，从而产生持久的制造改进。

我们的研究显示，典型机械和制造工程师以及机械师当前使用的技能和技术，与他们在未来两年及未来 5 至 10 年需要掌握的技能和技术之间存在明显差异。

当前的业务流程、 workflow 和技能基于工业 2.0 或 3.0 方法和技术，这些方法和技术从根本上限制了制造业的发展。公司疲于应对脱节的工作流、分离的系统以及孤立的信息和系统，几乎不可能在整个运营中实现逐步改进。但是，降低成本、提高生产效率和促进可持续性的业务动机正在推动制造业加速向工业 4.0 技术和互联协作 workflow 发展。因此，继续像过去一样开展业务（无论是与这三个关键制造角色相关的业务，还是与当前脱节、分离和孤立的工作流相关的业务）根本无法实现必要的业务成果。

只有通过实施数字化转型，重新设计制造解决方案堆栈中的 workflow、应用程序、数字化和运营基础设施以及数据管理，设计和执行工作的新技能培训，公司才能实现业务成果的显著改善。这些创新步骤将使企业能够获得提升业务所需的制造效率、成本降低和差异化。

工业系统级解决方案方法

为了利用工业 4.0 技术,企业需要检查其系统级制造操作模型,确定要集成的技术,以及如何应用这些技术来创建新的 workflow,推进制造流程。每项新技术都为重新设计和简化工作创造了机会。了解这些技术将如何影响员工在 workflow 中的角色非常重要,因此可以开发适当的教育和技能培训,通过数字化转型为员工提供支持。

在本节中,我们将采用自下而上的方法来研究在工业 4.0 数字化转型期间,每个技术解决方案层次如何支持和实现新的 workflow 和业务流程改进。这将有助于解释所需的新技能和教育。

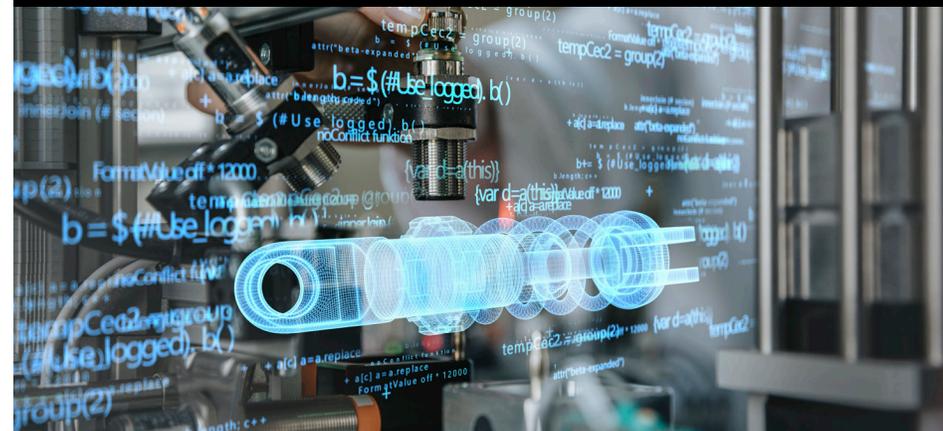
数据为运营提供信息。产品设计模型、制造成本、生产计划和数控机床程序都包含有价值的信息。团队在需要时能够访问和获取的信息越多,就可以做出越明智的工作流决策,指导和支撑制造过程中的每个步骤。团队成员将创建、共享和使用数据,因此他们需要具备相关技能,贡献、管理和分析集中式数据存储。

“我认为这只是能够跨不同学科工作的人际交往技能,任何一个在制造业工作过的人都知道,机械师的个性与工程师的个性可能完全不同。我认为,这种技能能够有效地将机械车间的情况传达给其他领域。”

Timothy Robertson

ATDM 技术项目经理

高级学习研究所



基础设施对于网络化和连接团队、系统和应用程序至关重要。数字和运营基础设施提供制造系统和运营状态的整体视图，用于管理性能和输出。运营系统面板将提供可见性和分析，从设计、工程、制造工程和生产无缝地管理和运行端到端系统操作。自动化机会需要利用数据分析和可视化技术，确定如何调度和运行系统，从而提高效率和可扩展性。

应用程序和软件平台有助于整合工具、连接 workflow 并促进工作协作。例如，集成式 CAD/CAM/CAE/PCB 软件平台现在整合了设计、工程和制造 workflow，为机械工程师、制造工程师和数控机械师提供通用工具，简化和流线化传统上使用独立桌面工具、不同文件格式并独立运行的一系列离散工作任务。现在，虚拟团队可以使用基于远程服务的软件平台进行协作，更高效地执行必要的任务。

workflow 定义了不同角色之间的工作关系以及各个团队如何协作完成工作。继续以使用集成式 CAD/CAM 为例，重新设计的工程 workflow 可以利用衍生式设计等新的 AI/ML 技术功能。对于机械工程师来说，衍生式设计完全改变了创建产品设计选项的方式，可用于优化成本、重量和耐用性等特定设计参数。基于供应链可用性和生产线中的增材设计能力，可明智地确定设计参数选择，所有这些都通过整个系统捕获的集中数据来实现。

新设计的业务流程可以改进业务成果。例如，灵活、快速和连续的新敏捷项目管理方法可快速生成原型，并支持更加模块化的产品设计与制造。这些新流程可以提高生产效率、降低成本并缩短上市时间。

业内人士承认，要保持竞争力并创造持久的业务价值，就需要重新思考 workflow，促进更好的协作。企业还需要灵活地创建与其他解决方案轻松集成的流程，从而实现从构思到最终产品的无缝交互。

在这种协作和互联的工作环境中，新的软技能对于所有角色而言都与硬技能一样至关重要。同理心、沟通、解决冲突、解决问题和团队建设技能对于跨制造专业和团队更有效地工作至关重要。此外，还需要这些软技能进行社交，支持整个组织中新的互联和协作 workflow。由于未来是协作的时代，工程师必须不断发展软技能，提高沟通能力和团队协作能力，从处理孤立组件转变为处理团队、系统和跨学科项目，不断转变思维模式。

未来 workflows、角色和技能

工业界人士明确指出，所需的工作技能与候选人技能组合之间存在巨大差距。随着制造公司加快向工业 4.0 的数字化转型，技能差距只会扩大。雇主越来越希望获得更先进的计算和数据分析技能，使核心生产工人能够为新的车削工作编写数控机床程序，制造工程师能够自动化和简化制造生产线，机械工程师能够利用衍生式设计等技术优化设计成本。为了培训新的制造业劳动力，教育工作者需要在直接的实践技能发展与可制造性设计 (DfM) 和操作研究教育之间取得平衡，以便毕业生能够为设计和实施更高效的制造 workflow 和工艺做出贡献。

我们的研究确定了机械工程师、制造工程师和数控机械师目前紧缺的技能，以及在未来 5 至 10 年取得成功所需的新技能。简而言之，所需的额外工业 4.0 技术知识和技能远远超过当前的技能组合。

每个角色都将以自己的方式发展，但也有一些共同的变化。新的技能组合分为三类：硬技能，即履行明确的工作职责所需的知识和能力；软技能，即沟通、协作和问题解决等人际交往能力；跨学科技能，即随着工作职责在整个端到端制造流程中联系得更加紧密和更具协作性，跨不同制造职能整合知识的能力。例如，在接受调查的工业工程师 (171) 中，几乎 60% 预计这三个职位将更多地相互合作。

在这三个职位中，有越来越多的 DfM 等通用技能和衍生式设计等 AI/ML 技术，表明为了实现富有成效的协作，需要对关键概念和能力有共同的理解。工业界受访者 (222) 指出，AI/ML 知识不但与产品开发 (56%) 有关，还与制造流程 (61%) 和生产 (56%) 有关，机械工程师、制造工程师和数控机械师需要越来越多的 AI/ML 知识。

全面掌握 DfM 技能将成为所有制造角色的基础，且日益重要。在所有 324 名受访者中，90% 的人表示，讲授更深入的 DfM 知识是学术界发展未来制造业劳动力的最有效途径。

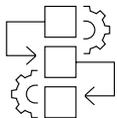
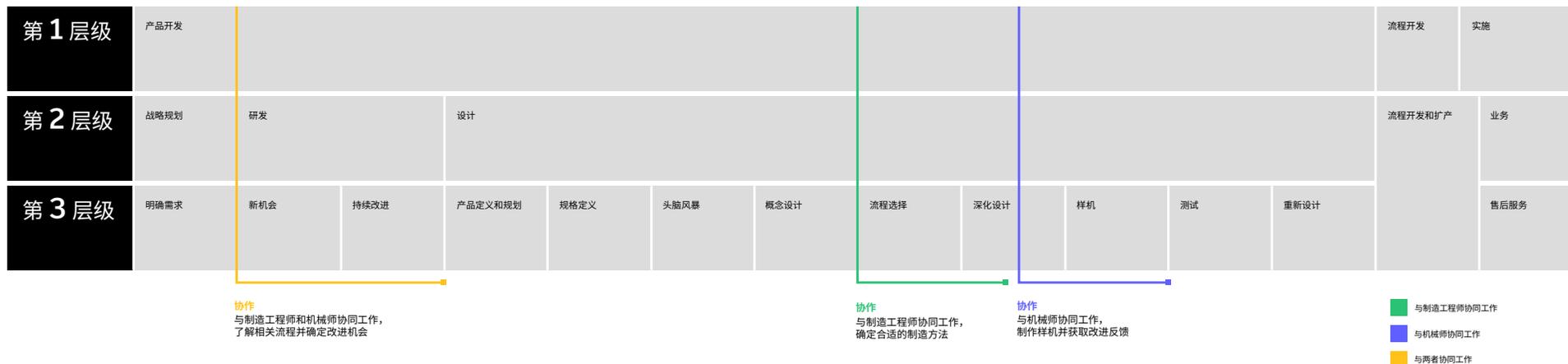


图 4:
当前机械工程师 workflow

注意：有关新技术和工具支持的未
来连接 workflow 图和关键协作点，请
参见附录 A。



如今，机械工程师主要负责新产品和现有产品、机器和工具的研究、规划、设计、开发、测试、持续改进和重新设计，大部分工作在设计阶段完成（见图 4）。一些机械工程师 (ME) 也专注于战略规划和创建售后服务。大多数机械工程师至少拥有学士学位 (83%)，但少数机械工程师只拥有副学士学位 (7%) 或没有学位 (5%)。⁵

当前使用的机械工程师技能和技术：

- 计算机辅助设计 (CAD)
- 分析软件，如 Matlab 和 Minitab
- 企业资源规划 (ERP) 软件
- 编程工具
- 财务分析软件

⁵ O*Net, “机械工程师 17-2141.00”, <https://www.onetonline.org/link/summary/17-2141.00>

未来 5 至 10 年内，机械工程师将在开发更好的产品方面发挥关键作用，这些产品专为可制造性设计，并且更精简、更智能、更具可持续性。最终的创新将基于智能产品迭代创建新的业务模式。所需的机械工程技能将超出传统范围，包括电子设计能力和延长产品生命周期的产品模块化设计能力。

为了成功设计更复杂的产品，机械工程师需要不断提高技术硬技能，如先进的增材制造和各种 CAD、CAM、CAE (计算机辅助工程) 和 PCB (印刷电路板) 软件功能。工程师调查结果显示，他们的工作量将随着 CAD/CAM (67%)、PLM 软件 (73%) 和增材制造设计 (71%) 的增长而增长。学术界预计，衍生式设计 (80%) 和编程技术 (75%) 将越来越受到重视。

随着对增材制造的日益关注，机械工程师需要利用基于 AI/ML 的衍生式设计促进产品设计的可制造性 (见图 6)。

在保持产品强度、耐用性和其他产品质量的同时，衍生式设计非常有利于缩短上市时间和减少材料使用。在接受调查的 171 名机械和制造工程师中，65% 的受访者认为机械工程师需要在未来 5 至 10 年内采用衍生式设计技术 (见图 6)。

“未来的工程师需要至少能够编写底层代码，能够在工作的 CAD 系统中编写宏和脚本。”

Dmitry Ovsyannikov

首席技术官

Matre

“我认为机器学习和人工智能也将极大地改变机械工程师。由于可用的数据量非常巨大，他们需要对制造流程有更深入的了解，将数据应用到设计流程中。”

Timothy Robertson

ATDM 技术项目经理

高级学习研究所

“工程和制造之间的障碍正在逐渐消除。我认为 10 年后，拥有同等学位的毕业生走出大学后既能成为制造工程师，也能成为机械工程师。”

Jeffrey Reed

工程总监

Northrop Grumman Corporation

“机械工程专业的学生缺乏的主要技能之一是制造方面的技能，而制造技能必须整合到设计中。这不仅仅是设计产品，而是拥有构想：如何制造产品？用户将如何处理？”

Raju Dandu 博士

教授；堪萨斯州立大学萨莱纳分校

散料创新中心主任

随着物联网和其他工业 4.0 技术的采用，大量运营数据将变得可用。工程师需要具备相应的工具和技能，才能从数据中提取有意义的信息和见解。在接受调查的 171 名机械和制造工程师中，69% 的受访者认为机械工程师的核心技能组合需要具备数据分析和可视化技能。还需要具备一些编程知识（特别是底层代码/无代码方法），才能确定要优化和自动化的领域。

84% 的工业界受访者表示，机械工程师越来越需要在工作中应用 DfM 原则，以便有效地创造更智能、更能循环利用的产品。DfM 可创建更高效的工作流，减少返工需求。大多数组织不再接受“各人自扫门前雪”的方法。现在更加强调基于项目的学习和集成的端到端设计平台，它们将设计和生产阶段融合在一起。

协作也是 DfM 取得成功的关键。设计师需要与机械师和制造工程师互动，收集有关产品的直接反馈。通过与团队成员更频繁的讨论，以前的工程孤岛将开始瓦解，更加开放和协作的工作环境将逐渐形成。我们的数据显示，90% 或更多的工业界受访者强烈认为，机械工程师越来越有必要发展有关创造性解决问题、协作和沟通的软技能。

机械工程师将越来越多地成为跨学科工作者，他们设计和规划复杂的集成解决方案，需要具备机械、电气和软件工程知识。对 171 名机械和制造工程师以及 102 名学者的调查表明，他们有一种强烈的共识（分别为 77% 和 87%），那就是机械工程师需要具备系统工程技能。79% 的工业界受访者认为，机械工程师需要具备电气和软件工程原则的工作意识。在北美 217 名受访者中，59% 的人表示，机械工程师也需要关注可持续性，考虑整个产品生命周期。

未来所需的机械工程师技能



硬技能

衍生式设计

AI/ML 产品开发

可制造性设计 (DfM), 包括后续制造流程的知识 (针对参与设计阶段的工程师)

编码知识

注重美学的

三维建模/设计

数据分析和可视化

样机制作

工程仿真和数字孪生仿真



软技能

创造性解决问题

个人/团队协作

沟通 (书面/口头)



跨学科技能

系统工程经验

电气和软件工程知识

注重可持续性

图 5:
制造技术倡议的现状

在未来十年, 工业 4.0 技术的应用将继续增长。

调查人群: 171 名机械和制造工程师

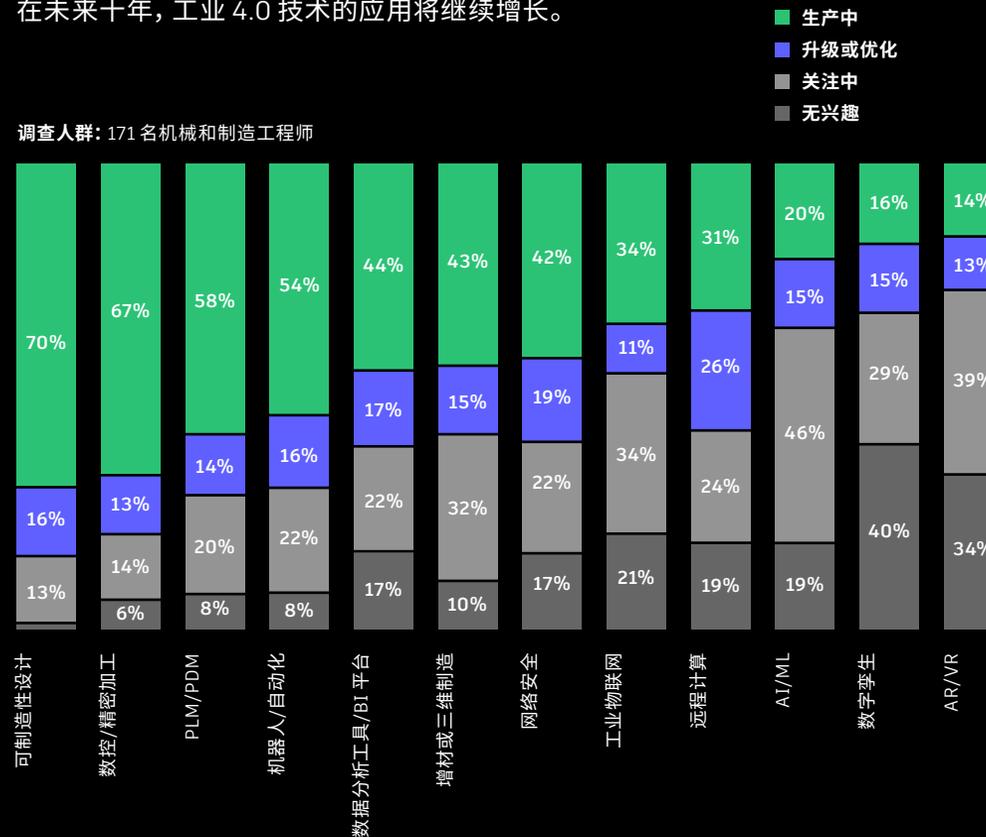
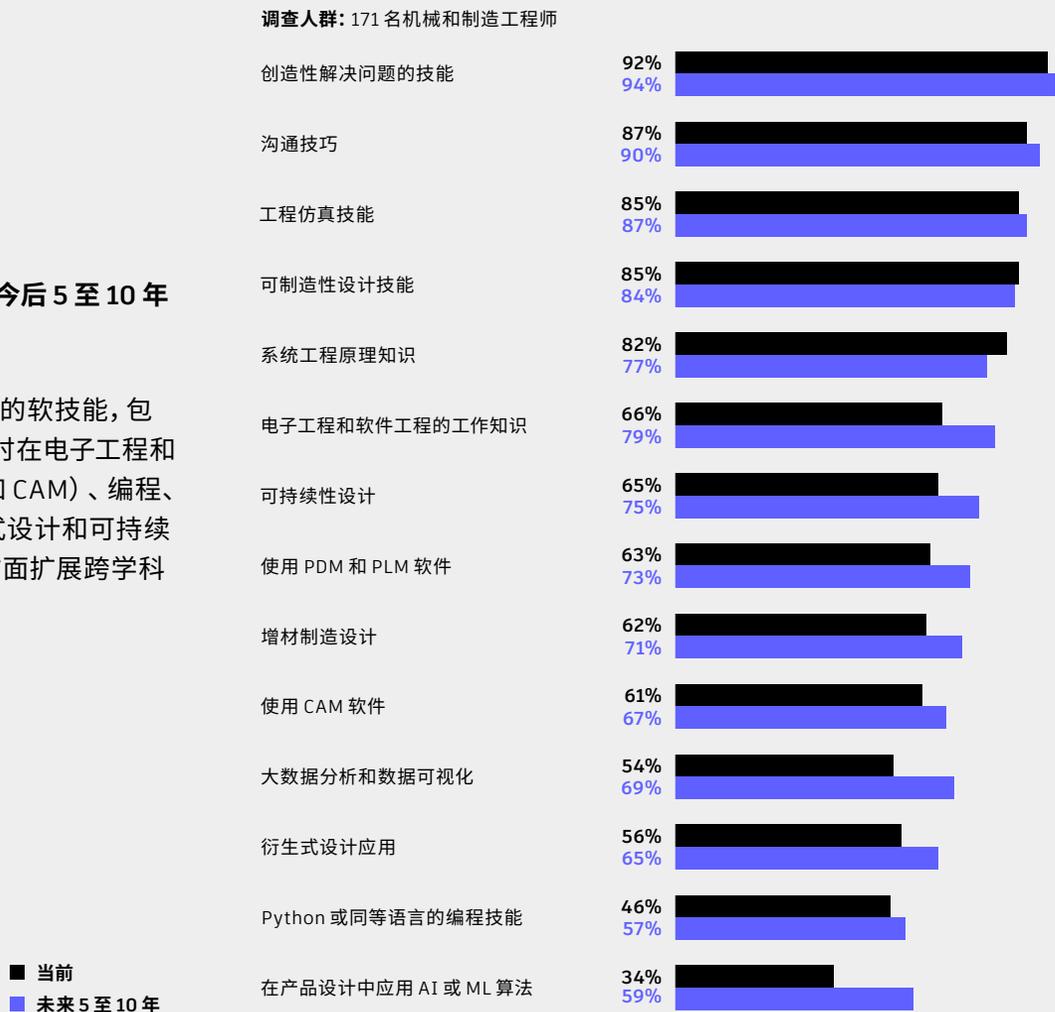


图 6:
今天需要的机械工程技能与今后 5 至 10 年需要的机械工程技能

机械工程师将继续需要强大的软技能, 包括问题解决和沟通技巧, 同时在电子工程和软件工程知识、软件使用 (如 CAM)、编程、数据分析、增材制造、衍生式设计和可持续设计以及 AI/ML 算法应用方面扩展跨学科技能。



如今的制造工程师通常设计、实施和改进制造流程和系统 (见图 7)。他们中的大多数获得了学士学位 (76%), 相当一部分人获得了副学士学位 (16%), 其他人则获得了高中文凭 (4%)。⁶

当前使用的制造工程师技能和技术:

- 机床和硬件
- 精益制造
- 流程改进
- 质量控制 (QC)
- 计算机辅助设计 (CAD)
- 分析软件, 例如 Matlab 和 Minitab

⁶ O*Net, “制造工程师 17-2112.03”, <https://www.onetonline.org/link/summary/17-2112.03>

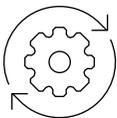
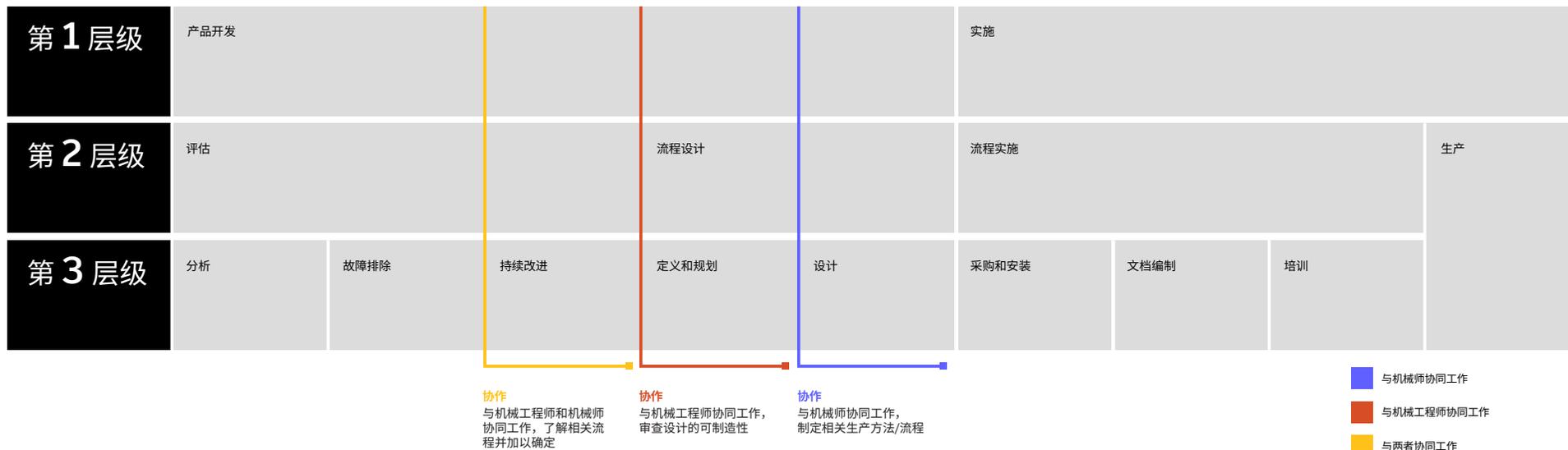


图 7:
当前制造工程师 workflow

注意：有关新技术和工具支持的未来连接工作流图和关键协作点，请参见附录 B。



未来 5 至 10 年的制造工程师将领导战略工作，改进和采用先进制造技术和流程。他们将决定如何应用 AI/ML 等技术来改善自动化效果，并采用智能制造实践，如对生产线进行编程、管理分散的制造地点和部署实时生产监控系统。他们需要设计和实施制造系统，缩短上市时间，同时降低成本、减少浪费和缺陷。该角色将致力于在人工劳动力和包括机器人、增材制造和数字孪生在内的生产机械中寻找合适的资源利用率，使用数据分析和可视化来寻找提高效率的机会。

超过 70% 的受访者认为，像人机交互之类的硬技能将有助于制造工程师角色的巨大转变。更多的受访者指出 AI/ML 方面的技能，可以提高工厂车间的生产力、增材/混合制造和更强大的运营技术 (OT)，包括远程存储服务、边缘计算、MES/ERP 平台、网络安全和物联网 (IoT)。人工智能和物联网通过运行故障排除和设备性能仿真来影响流程优化，从而持续改进运营。

大多数接受调查的工程师 (88%) 还认为, 制造工程师在未来 5 至 10 年需要更好的可制造性设计技能以及实时车间检查 (58%)。英国受访者 (107) 预计制造工程师将越来越多地采用 AR/VR (增强现实/虚拟现实) 工具和技术 (65%)。

与所有这三个制造角色一样, 制造工程师将从提高解决问题、沟通和协作等软技能中受益。大多数受访者认为, 在未来 5 至 10 年, 机械工程师、制造工程师和机械师将越来越多地相互协作。接受调查的北美工程师预计, 设计师与机械师 (68%) 以及 QA/QC 专家 (62%) 之间的协作会更加紧密 (见图 8)。

制造工程师职位融合了机械工程师和数控机械师的技能, 学科跨度将变得更大。因此, 他们将需要更卓越的设施来集成机器人和数控机床、CAD/CAM 软件以及更好的数据分析。74% 的工业界受访者认为, 制造工程师在提高机床、机器人、传感器和促动器的生产线自动化方面发挥着重要作用。

“未来, 设计软件将能够考虑制造限制, 并执行更精确的制造流程仿真, 从而减少设计工程师与制造工程师之间的工作差异, 降低设计互不兼容而无法制造的风险。”

Andrew Partin

创新工程师

Stallantis



未来所需的制造工程师技能



硬技能

DfM

AI/ML 用于提高工厂车间的生产效率

机器人/人机协作

CAD/CAM 软件和编程

增材和混合制造

数据分析

运营技术，
包括远程存储服务、
边缘计算、网络安全、
MES/ERP 平台和物联网 (IoT)

数控加工

AR/VR



软技能

创造性解决问题

个人/团队协作

沟通 (书面/口头)



跨学科技能

机械工程基础知识

机床、机器人、传感器和促动器的工厂生产
线自动化

注重可持续性

图 8:

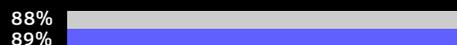
今天需要的制造工程技能与今后 5 至 10 年需要的制造工程技能

与机械工程师类似，未来的制造工程师将继续需要增强的沟通技巧以及制造系统和 QA/QC 方面的知识。他们还需要掌握数据分析、增材制造 (3D 打印)、数字孪生、编程和 AI/ML 应用方面的技能，从而提高制造的产量和效率。

调查人群: 171 名机械和制造工程师

■ 当前 ■ 未来 5 至 10 年

与其他工程师和生产车间工人沟通的沟通技巧



更好地掌握应用的大数据分析和数据可视化



可制造性设计



在生产流程中使用增材制造



设计制造系统的知识



在制造流程中集成物联网，并遵循相关的网络安全原则



六西格玛/精益制造/持续改善



使用数字孪生模拟制造车间



在生产环境中实时进行 QA/QC 检查



在制造流程中应用 AI 或 ML 算法



安装机器人并编程，与人类协同工作



Python 或同等语言的编程技能



使用 PDM 和 PLM 软件



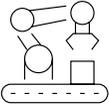
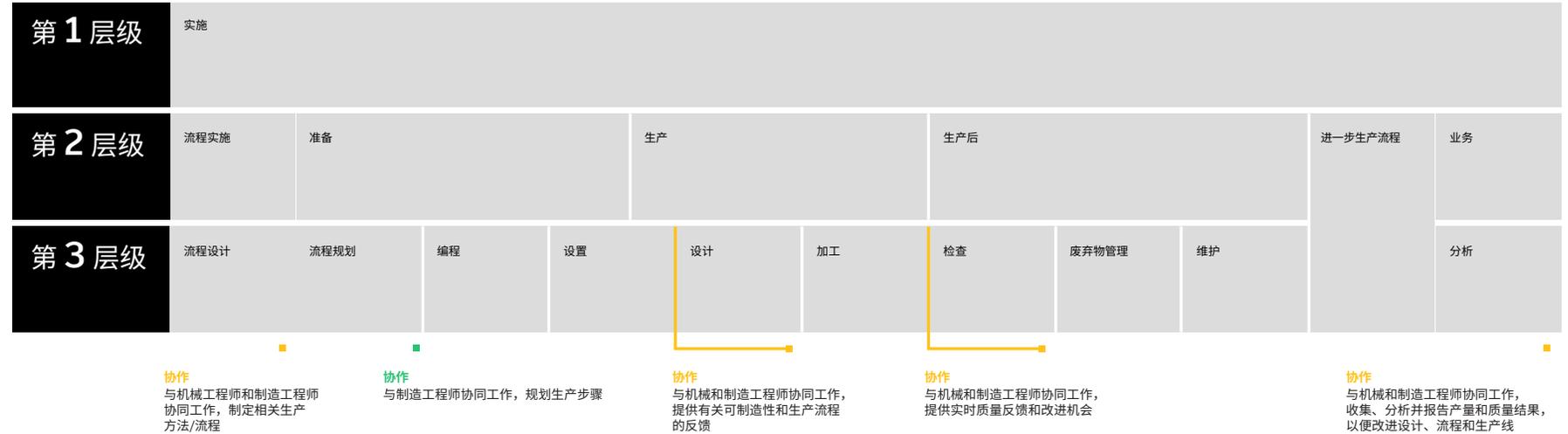


图 9:
当前机械师 workflow

注意：有关新技术和工具支持的未来连接 workflow 图和关键协作点，请参见附录 C。



如今的数控机械师负责使用加工设备和工具生产精密部件，以及进行设备设置、操作、维修和维护（见图 9）。这些专业人员拥有高中文凭或同等级别证书(36%)、高等教育证书(33%)，或者一些没有学位的大学学分(17%)。⁷

当前使用的数控机械师技能和技术：

- 数控加工
- 夹紧装置、机床运动学、几何尺寸和公差 (GD&T)
- 用于设计夹具和刀具的 CAD 和 CAM 软件
- 全面了解机床及其使用的其他硬件
- ERP 工作知识
- 分析和工业控制软件

⁷O*Net, “机械师 51-4041.00”, <https://www.onetonline.org/link/summary/51-4041.00>

未来 5 至 10 年的数控机械师将在三个职位中迈出最大一步，原因是工业 4.0 技术显著增强了数控机械师的角色。他们的职位将扩大并转变，包括机器人管理、编程和人机协作、分析实时生产输出、车间检查以及参与质量保证 (QA) 和质量控制 (QC)。机械师需要开发 AI/ML 方面的新技能，用于生产、五轴机床、增材制造和混合制造。他们还需要与工程团队更紧密地协作，更多地参与设计等上游流程，而这需要更深入地了解 CAD/CAM 软件。在未来 5 到 10 年，工业界专业人士指出，顶级数控机械师所需的硬技能将是 CAM 软件 (86%) 和 CAD 软件 (82%)。

工业界专业人士断言，越来越熟练地使用 CAD/CAM 软件和编程，将使机械师能够增加对技术的使用，包括五轴机床 (65%)、增材/混合制造 (66%) 和机器人/人机协作交互 (65%)。尽管机器人在当今的数控机械师工作中并不普遍，但他们需要将机器人集成到工作流和故障排除中，同时具备对核心加工原理的良好基础知识。在不久的将来，数控机械师必须能够利用具有内置 GD&T 功能的三维 CAD/CAM 软件工具，并应用编程技术来操作和维护数控机床机群。事实上，62% 的受访工业工程师认为，在未来 5 到 10 年，数控机械师需要具备更多编程技能来对智能产品进行编程 (见图 10)。

“数控机床将打印各种不同的材料。每个人使用不同类型的材料，相应需求将呈爆炸式增长。数控机械师必须知道如何处理钢、铝、钛和锂等各种材料。”

Pierre Larochelle, 博士

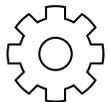
南达科他矿业及理工学院

系主任兼教授

一般来说，数控机械师必须具备和发展机械专业知识，但也需增加更多的现代化数字技术和软件编程能力，从而影响生产产量和质量控制。

79% 的受访者普遍认为，工程师和数控机械师之间更多的跨学科合作对于系统级产品开发是必要的。随着越来越多的智能工厂 (包括大型和小型工厂) 实施物联网设备、增材制造、AI/ML 和高级数据分析，迫切需要合作来妥善管理数据。

未来所需的数控机械师技能



硬技能

用于生产的 AI/ML

预测性/预防性维护

增材和混合制造

机器人/人机协作交互、
编程和/或维护

CAD/CAM 软件和编程

五轴或五轴以上机床



软技能

创造性解决问题

个人/团队协作

沟通 (书面/口头)



跨学科技能

与工程师合作开发产品

与 QA 和 QC 团队合作

图 10:

今天需要的数控机械师技能与今后 5 至 10 年需要的数控机械师技能

数控机械师的许多当前技能仍将非常重要。与此同时，他们应越来越关注人机交互，结合使用增材和减材制造（混合制造），应用 AI/ML 算法、数据分析和通用编程技能。

调查人群: 222 名工业界专业人员

■ 当前 ■ 未来 5 至 10 年

机床固定、夹持和运动知识



使用电子表格软件的基本数据分析技能



能够就刀具和切削参数做出明智决策



在加工中使用机器人或利用人机交互



高级数控编程技能



了解手动和自动化 QA/QC 流程和技术



与设计、工程和生产团队协作的沟通技巧



结合使用增材制造与减材制造



GD&T



在数控加工中应用 AI 或 ML 算法



使用 CAM 软件



Python 或同等编程语言的通用编程技能



使用 CAD 软件



随着业务驱动因素进一步推动制造业进入工业 4.0，机械工程师、制造工程师和机械师将需要更先进的技术知识，而在职再培训并不能完全获得这些知识。工业是教育的最终用户，制造业教育必须与工业 4.0 趋势保持一致，才能让学生做好准备。在教育转型尚未开始的地方，现在就必须开始。

与此同时，制造业不能简单地将新技能要求强加给这三种职业并期望实现业务成果。随着机械工程师、制造工程师和数控机械师对工业 4.0 技术形成越来越根深蒂固的观念，需要进行根本性的转变，重新设计工作流程和运营基础架构，将解决方案堆栈中的每一层都集中、互联起来，使它们能够协同工作。

机械工程师、制造工程师和数控机械师的重新构造角色和技能组合远非简单易学的技能，而是实现推动制造业进入工业 4.0 的预期业务成果所必需的技能。由于当前的工程教育基础设施无法培养出未来的工程师，让劳动力掌握这些新的技能组合，需要企业接受终身学习的概念，保持一支强大的劳动力队伍，为最新创新做好准备。

幸运的是，在我们的调查中，86% 的学者欢迎降低对学位的依赖，而重视与工业界合作开发的更专业的认证。工业界和学术界之间的持续合作有助于培养和保留工业 4.0 所需的劳动力，从而在提高生产效率、缩短上市时间和提高整体盈利能力方面获得竞争优势。



“十年后，机械师将成为今天的制造工程师，而十年后的制造工程师将成为今天根本不存在的角色。”

Timothy Robertson

ATDM 技术项目经理

高级学习研究所



工业采用指南

本文概述的一些当前现实可能看起来相当严峻：设计与制造领域主要基于几十年前的工业 2.0/3.0，而教育系统尚未跟上发展步伐向学生传授迫切需要的工业 4.0 技能。

但是，这种情况也有一线希望。实现公司期望的业务成果所需的工业 4.0 技术和 workflows 已经存在，且在某些情况下已经建立。要利用这些技术和 workflows，企业不能想着一夜间实现飞跃。在工业 4.0 中，通往更高效、可持续且可盈利的未来之路要一步一步走，逐步推进。如果公司拒绝在短期内开始这一循序渐进之旅，就有可能永远被抛在后面。现在就接受变革，企业将处于有利地位，并在生产效率、产出、上市时间、成本效益和可持续性方面取得积极成果。

三阶段工业采用路径将引导组织采用上述系统级方法，全面实施工业 4.0。第一阶段是数字化转型，采用基础和使能技术来支持和促进新 workflows 和业务流程。第二阶段是工作流转型，重新定义工作，利用数字化转型中提供的技术能力。第三阶段是业务流程转型，新技术和 workflows 共同实现更好的业务成果。



转型

数字化

workflow

业务



解决方案层次

应用

基础设施

数据

workflow

流程



目标

整合和集成应用和工具，融合 workflow

连接团队和系统，访问和交换数据和文件

在单一的集中数据管理平台上收集和组织所有数据

重新定义角色、职能和工作交互，充分利用新数据洞察、技术和能力

采用新技术和方法，提高整个设计与制造流程的生产效率



优势

使用通用软件平台，减少应用并简化工作

将团队成员联系在一起，更好地跨职能部门和地点进行交互

使团队成员能够访问数据，做出更明智的工作决策

跨角色和团队进行更多协作，协调和简化 workflow

通过流程改进，实现更好的业务成果

完整的工业 4.0 转型融合所有劳动力角色，使每个人都能跨学科协同工作，使用集中、共享的数据和在所有设备上实时更新的信息。人和机器 workflow 都是互联的。衍生式设计等技术、其他 AI/ML 流程、增材和混合制造、人机协作、数据可视化等全面用于生产。

这种系统级转型本身更加高效，但同时也为创造性设计和制造改进打开了大门，从而释放出更高的效率、供应链能力、新利润中心、循环产品生命周期以及一系列其他机会。

学术界采用指南

无论是机械工程或制造工程学位课程，还是职业数控加工课程，教育机构和教授都希望使用行业领先的工具和技术指导学生。但对这些毕业生来说，现实世界中的工作要求正在快速发展，超出了现有教育和培训课程的范围。大部分教育课程与行业目前需要的最新工业 4.0 技能不一致，并且近期还需要更多此类技能。

因此，许多制造公司需要投资并花费数月时间对新员工进行在职再培训，消耗了整个公司的宝贵资源。在某些情况下，公司可能会让刚毕业的学生与现有的工程师或机械师搭档，实际上是为两个人支付报酬，让他们完成一个受过全面培训的人就可以完成的工作。

但随着制造商向工业 4.0 转型，学术界面临的问题越大，转型的机会就越大。制造业教育必须全面了解工业需求，确定所需的教育课程。学术界仅仅更新现有课程，并不能满足需求。学术界需要采用新的教学方法，讲授在工业生产中取得成功所需的先进制造知识、技术和技能。首先确定最紧迫的差距，并将这些差距视为创建新教育和培训课程的机会。

根据工业需求，机械工程和制造工程课程是彻底改革过时课程的最大机会。ABET 认证最低标准将显著影响这些工程课程的方向，而社区学院和职业学校在创建新课程方面具有最大的课程灵活性。也就是说，重新构想制造业培训应伴随着对认证标准的相应审查，允许跨教育部门的灵活性。

当然，除了两年制和四年制课程外，还需要有替代方案。幸运的是，工业界和学术界都在寻求这些替代方案。例如，84% 的受访者（包括工业界和学术界）认为，制造业雇主和学术界应根据雇主的需求合作开展新型认证项目，91% 的受访者希望获得长期实习和合作计划的新机会。



以下建议旨在支持学术机构努力应对 workflow、技术和技能变化：



教育同行

参加会议和网络讲座，探索课程演变，发现领先和最具创新性的机构的最佳实践



行业教师

邀请活跃的行业专家和从业者参加课程，分享真实的经验、见解和学习成果



行业合作

从行业思想领袖和顾问委员会了解新兴技术和技能趋势，帮助制定新的教育和培训计划



技术公司

利用制造硬件和软件公司提供的现有在线和现场教育资源，了解行业中部署的最新创新和解决方案



继续教育计划

为在职成年人创建灵活的大学和社区学院课程，便于学习必要的新技能，并解决核心课程中可能未涵盖的差距

学术发展分为四个阶段：

阶段 1

根据工业 4.0 技术，自下而上重新构思培训，以适应当前和未来 workflow 的数字化转型。寻找机会，用应用学习取代理论知识。

阶段 2

与工业界和技术合作伙伴建立工业界/学术界关系，及时了解工业趋势、发展和所需技能，为学生就业做好准备。

阶段 3

重新调整当前课程和/或创建新课程或计划，讲授行业要求的先进制造主题和技能，支持新的 workflow 和业务流程。

阶段 4

与工业界保持开放对话，定期审查课程和计划，确保符合工业要求。

工业界、学术界和政府之间的合作

政府、工业界和学术界都必须参与培养未来的制造业劳动力。在 324 名受访者中，工业界和学术界的受访者均认为，工业界可以通过实习和合作计划 (90%)、强大的内部培训和发展 (86%) 以及与当地大学和社区学院合作并为其提供支持 (74%)，为未来的制造业劳动力做出贡献。

在接受调查的 102 名学者中，大多数学者希望看到行业高管担任讲师 (80%) 以及提供直接的财政支持 (87%)。三分之二的工程师看到了向中学生推广先进制造职业的前景。工程学者知道，他们必须将更实用的“实践”学习机会融入到学生的学习中，以便学生充分掌握可制造性设计的知识和技能 (90%) (见图 11)。我们看到大学等学术机构与社区学院之间的合作越来越多，这将从根本上重塑工程教育。学术界还倾向于增加更多的专业认证 (86%)，并包括促进批判性思维和沟通的科目 (81%)。

工业界专业人士 (51%) 建议工程课程再增加一年，用来讲授未来的先进制造技能。但对于工程教育应该培养“通才”而不是“专家”，或者工程学位正在失去重要性的推断，存在明显的分歧 (见图 11)。

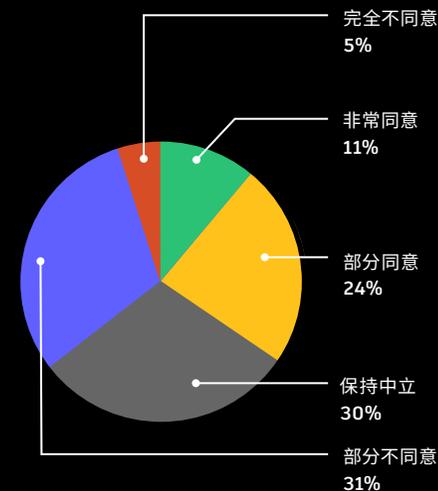
图 11:
对教育和制造业未来的态度

对于工程教育应该培养“通才”而不是“专家”，或者工程学位正在失去重要性的推断，存在明显的分歧。

调查人群：324 名受访者

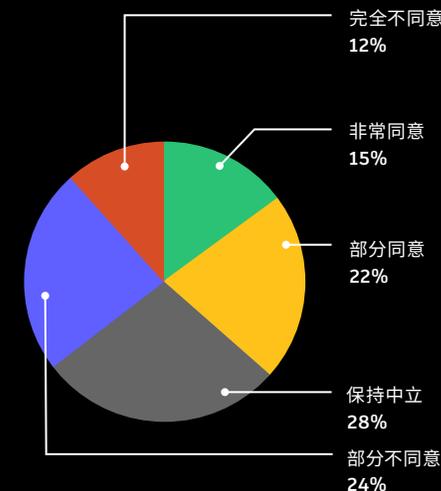
完全同意
35%

我们应该培养更多的工程“通才”，而不是专注于“专家”



完全同意
37%

对雇主来说，工程学位变得越来越不重要，而认证变得越来越重要



工业界的作用

为了让学生和现有员工为未来的工作任务做好准备，工业界必须了解并接受继续教育和培训。工业界还应该实施内部培训计划以及定期的工作和项目轮换，让员工接触一系列跨职能学科（见图 12）。

工业界可与学术机构合作，清楚阐明需求，为学生提供长期实习机会。活跃的工业界高管和其他专业人士也可以通过担任大学顾问委员会成员和兼职教师，讲授必要的专业知识。

让年轻人及早参与，工业界可以证明制造业充满高科技，关注可持续发展，整体上是更有价值的职业道路。工业界可以通过展示先进制造业不再是黑暗工厂、烟囱和老龄化劳动力的过时愿景，更好地控制劳动力的命运。

“对于初级劳动力来说，接触各种流程非常重要。理想情况下，雇主会为他们提供机会，让他们在电子和机械工作、液压和气动以及制造支持等职位之间进行轮岗。”

John Saunders

Saunders Machine Works 负责人

图 12:

工业界发展未来制造业劳动力的最有效战略举措

工业界可以延长实习和合作计划、与当地大学和学院一起开发认证项目，以及增加对大学、社区学院和小学/中学的支持，进一步做出贡献。

调查人群：222 名工业界专业人士和 102 名学术界专业人士



学术界的作用

制造和工程教育需要全面改革，“缩短人才培养时间”。虽然仍然需要专业化和研究，但需要更快的替代方案，培养以应用为中心的专业人员。这场运动正在兴起，目的是将制造业教育重新聚焦于现实世界、动手实践、基于项目的教学方法。但是，学术界不愿意放弃数学和科学等工程基础知识。工程教育必须增加学科跨度，同时也要避免过于一般化的方法，即学生什么都知道一点，但缺乏某一领域的实用专业知识。

雇主和学生仍然需要与制造业相关的工程学位。但是，软件、职责或特定机器认证等其他证书将在这十年变得更加流行，并且获得认可。

一些大学工程课程正在招聘当前的行业专业人士作为讲师，向下一代传授 DfM 技能。社区学院发挥着至关重要的作用（尤其是提高机械师和操作员的技能），原因是社区学院与当地企业联系密切，而且课程更具灵活性。许多社区学院与当地大学合作，为拥有两年制副学士学位的学生提供先进制造工程课程。

在所有受访者中，82% 的人支持学徒制，认为学徒制是新制造业劳动力的流行概念（见图13）。与欧洲学徒模式不同，学术界/工业界学徒制合作关系与政府监督资金、法规和标准也在讨论中。同样，91% 的受访者认为与工业界和学术界合作的长期实习和合作计划是行之有效的选择。

更多的工业界代表（51%，相比之下，学术界代表为 33%）建议让工程专业的学生多在学校学习一年，讲授工业 4.0 技能，这与欧洲的做法类似。但是，除非工业界、大学或政府提供补贴，否则学生和家庭将不得不承担额外的经济负担。这种方法还会让受训者留在学校的时间更长，而制造业现在面临技能缺口和合格人才短缺的问题。

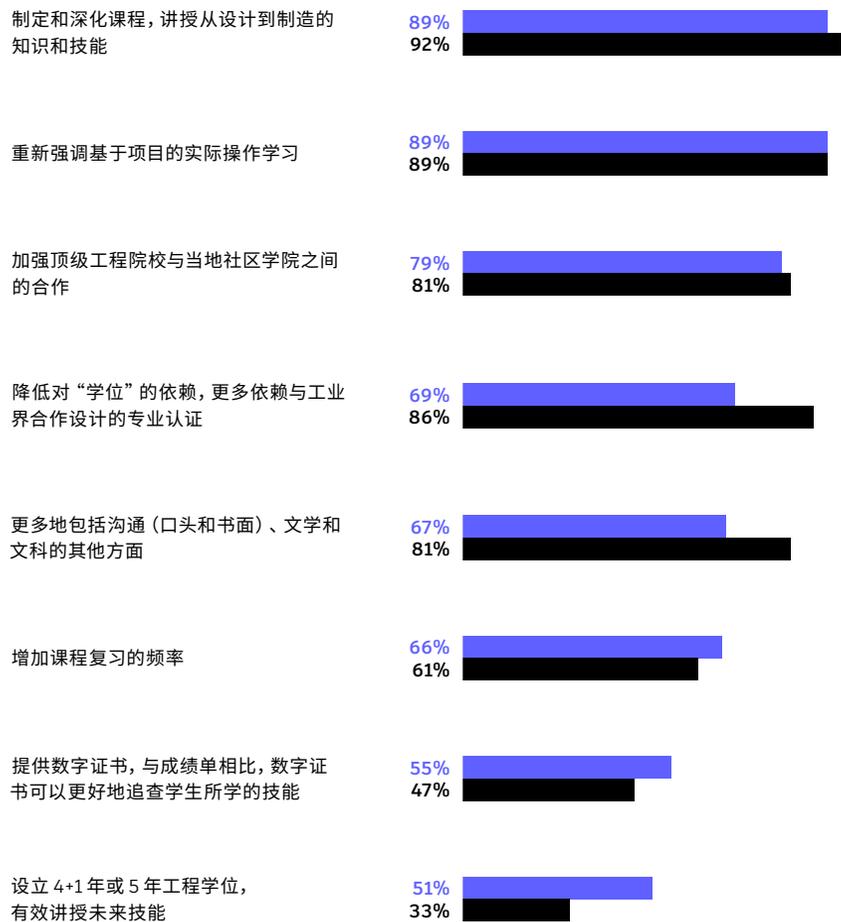


图 13:
学术界发展未来制造业劳动力的最有效战略举措

学术界倾向于更专业的认证, 以及更多促进批判性思维和沟通的科目。工业界专业人士建议工程课程再增加一年, 用于讲授先进制造技能。

■ 工业界
■ 学术界

调查人群: 222 名工业界专业人士和 102 名学术界专业人士



“我们需要通过现实世界的例子, 进一步完善课程。如果我们创建一个环境, 让学生在复杂的现实世界环境中, 以基于项目的方法看待问题, 那么学生能够看到问题并将它们联系起来。”

Raju Dandu 博士
教授; 堪萨斯州立大学萨莱纳分校
散料创新中心主任

政府的作用

政府机构也可以在培养先进制造劳动力方面发挥积极作用。在所有 324 名受访者中，政府资助的工程和机械师培训奖学金是最受欢迎的政府援助选择 (86%) (见图 14)。工程系教师希望政府为学校的下一代制造设备拨款的比例为 89%，而工业界受访者的这一比例为 80%。88% 的学术界受访者支持通过政府合作来定义和资助标准化学徒制，而工业界的这一比例为 79%。

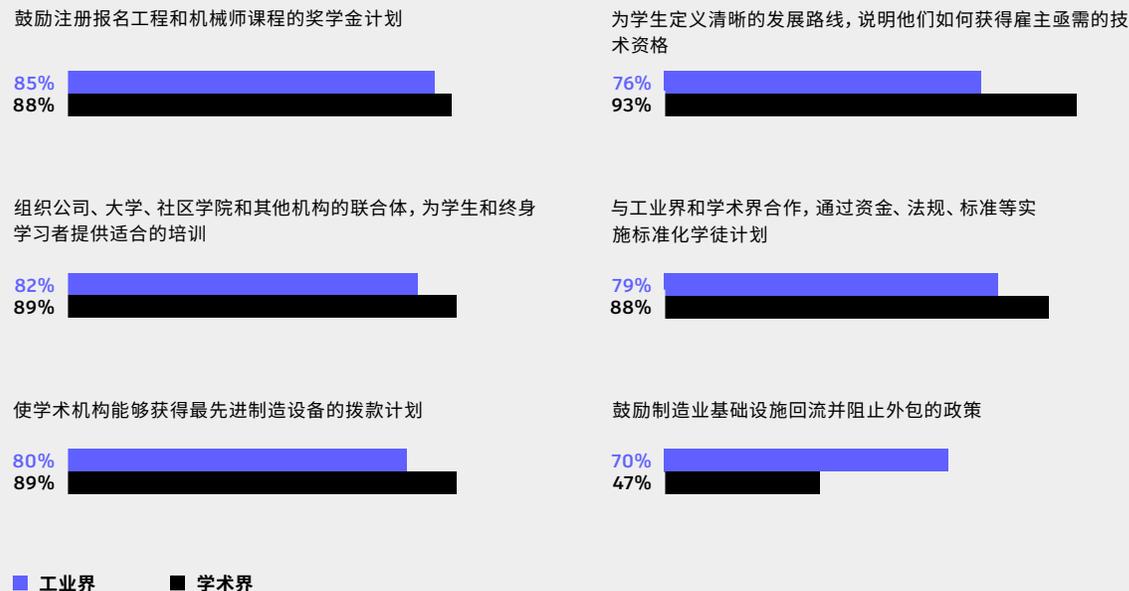
在公私合作关系中，联邦、州和地方政府机构可以通过以下方式帮助劳动力提高技能：

- 为大学和研究联盟提供财政支持
- 鼓励教育/私营部门协作
- 倡导和推动新的多机构培训方法的发展

图 14：
政府发展未来制造业劳动力的最有效战略举措

工程系教师迫切希望政府通过拨款计划帮助培养制造业劳动力，制定明确的技术资格，并促进政府、工业界和学术界之间的积极合作。

调查人群：222 名工业界专业人士和 102 名学术界专业人士



总结

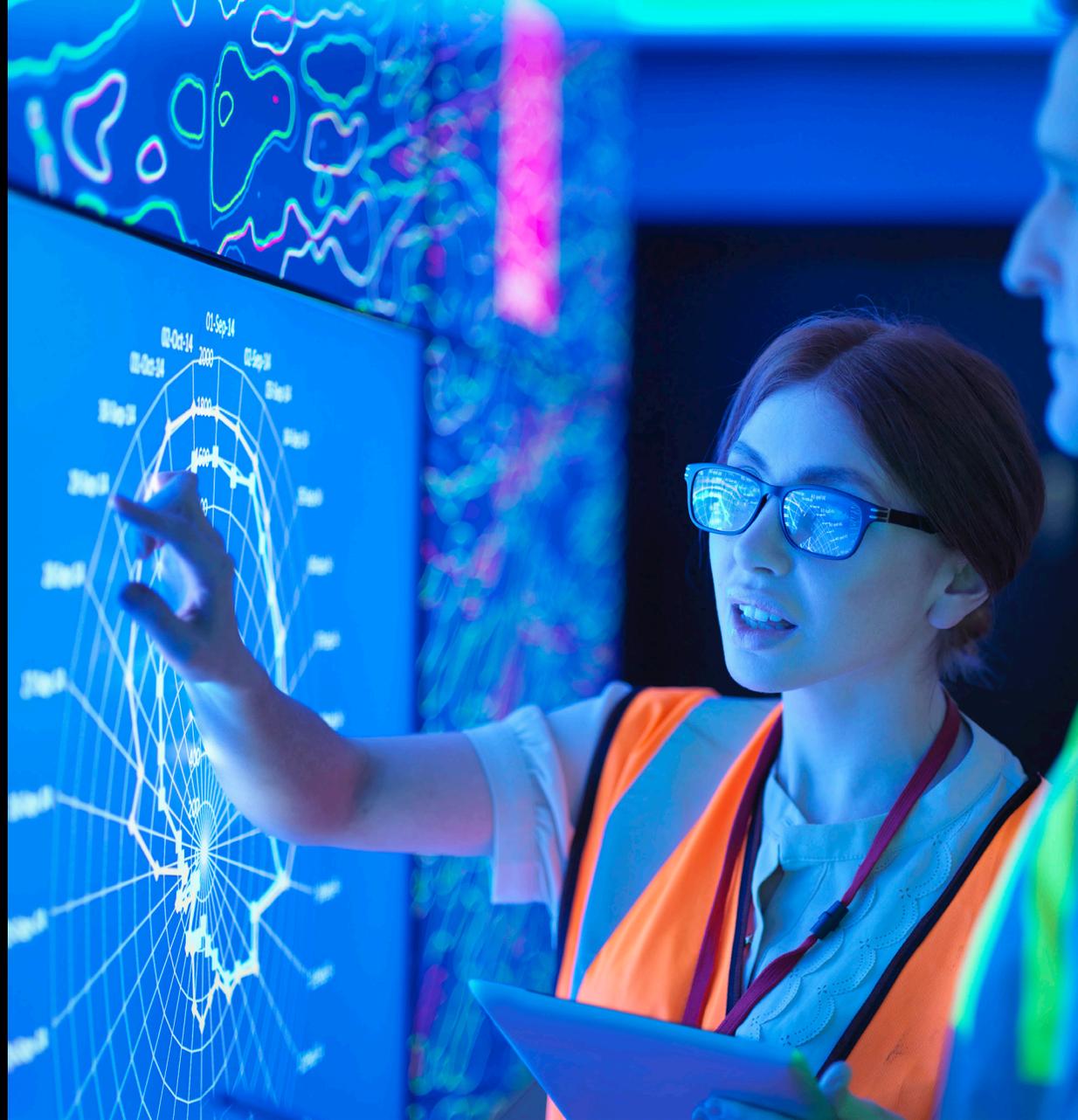
毫无疑问，每个制造企业都希望建立更好的系统，提高生产效率、利润、可持续性和竞争优势。要实现这些结果，制造商必然转向工业 4.0 技术，而这一转变正在顺利进行。

他们的数字化转型之旅将确定工业 4.0 技术，支持和实现重新设计的制造业务流程和工作流。采用 AI/ML、基于远程服务的软件平台、数字和运营技术基础设施、机器人/人机协作、增材/混合制造、性能监控和数据分析等新技术，以及新的工作流，将形成一个互联程度更高、协作性和连续性更强的制造系统。

这反过来将决定支持整个劳动力的新系统级变化所需的教育和培训需求。借助重新构想的制造业教育生态系统，工程师和机械师能够获得知识、培训和技能发展，利用新技术和工具在劳动力市场取得成功。通过通力合作，了解全球趋势和行业需求，政府、学术界和工业界利益相关方可以使下一代机械工程师、制造工程师和数控机械师具备完成制造业历史上最大转变所需的技能。

这一转变将改变机械工程师、制造工程师和数控机械师所需职责和技能的重点和范围。为新学生和现有员工提供新的硬技能和软技能培训，对于实现数字化转型的价值至关重要。

但是，目前占主导地位的制造业教育方法和课程不足以培养具备必要技能的学生。与制造业一样，教育必须开始自身的转型，开发必要知识和技能的讲授方法。





学术界、工业界和政府之间进行合作, 通过以下方式发展制造业培训, 从而实现这一转型:

- 重新构思培训, 使当前工作流与工业 4.0 的未来工作流保持一致
- 根据工作流所需的技能重新调整课程
- 与工业界、科技公司和学术界合作, 创建课程, 跟上工业趋势和满足技术教育需求
- 与工业界保持对话, 定期审查符合工业需求的课程和计划

制造业的未来不断发展和变化。工业 4.0 并非旅程中的最终技术目的地。但是, 它是朝着正确方向实现所需业务结果的关键和必要的一步。在向工业 4.0 转型之后, 创新型企业将继续寻找新的方式来提高效率、盈利能力和可持续性。他们将继续增加新技术组合并优化工作流, 支持他们在制造业的未来发展。工业界将需要教育来培养未来的劳动力, 为未来的设计和制造做好准备。

致谢

特别感谢以下所有帮助开发、设计和审查本文的个人：

Autodesk 投稿人

Christina Batelli
营销活动高级经理

Lorenzo Canlas
教育部门战略、业务和运营总监

Fabiola Clayton
现场接洽项目/计划经理

Gary Conrad
现场接洽高级总监

Alan Eng
产品营销高级经理

Campbell Foster
市场营销高级总监

Jaime Perkins
学习战略高级总监

Debra Pothier
工程建设高级经理，
上市战略经理

Timothy Robertson
设计与制造战略和业务拓展经理

Alexander Stern
PDMS 平台战略高级经理

ASME 和其他投稿人

Iana Aranda
ASME, 全球工程发展总监; E4C 总裁

Elizabeth Collins
Engineering for Change, 研究员

Bruce Falstein
ASME, 顾问

Ashley Huderson
ASME, 工程教育与外联总监

Lauralyn McDaniel
Metrix, 战略与接洽

Loreena Persaud
ASME, 设计与品牌体验总监

Erin Peiffer
Engineering for Change, 研究员

Francisco Plaza
Engineering for Change, 研究员

Anne Nadler Shaffer
ASME, 政府关系高级经理

Christine Reilley
ASME, 战略与创新部总经理

Anand Sethupathy
ASME, 战略与计划部总经理

Svetlana Shaknes
ASME, 市场情报总监

Sahar Shamsi
Engineering for Change, 研究员

Stephanie Viola
ASME, 公司与基金会关系总监

James Warrick
Beacon Technology Partners LLC,
执行合伙人

Aaron Weinerman
ASME, 国际发展部经理

研究限制

本研究基于已发布的报告、半结构化访谈以及对指定专家的调查。本研究仅供参考和教育之用。如任何人或实体根据本出版物中包含的任何材料采取行动导致任何损失或损害，Autodesk、ASME 和作者概不承担任何责任或义务。

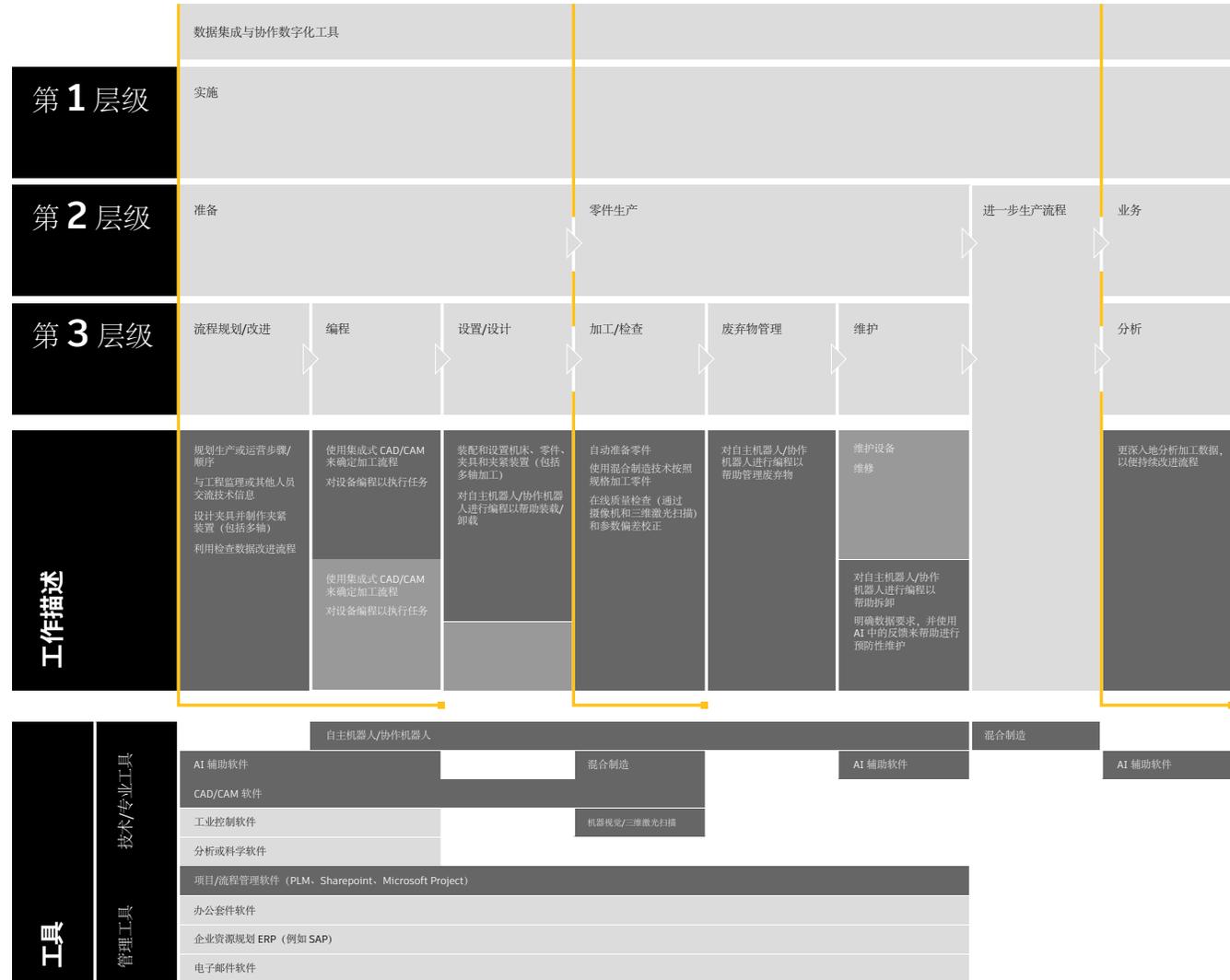
Autodesk 和 Autodesk 标识是 Autodesk, Inc. 和/或其子公司和/或其关联公司在美国和/或其他国家或地区的注册商标或商标。所有其他品牌名称、产品名称或者商标均属于其各自的所有者。Autodesk 保留随时调整产品和服务、产品规格以及建议零售价的权利，恕不另行通知，同时 Autodesk 对于此文档中可能出现的文字印刷或图形错误不承担任何责任。

© 2022 Autodesk, Inc. 保留所有权利 (All rights reserved)。

附录 C

机械师：当前和未来工作流的比较

注意：
未来状态工作流需要与当前状态工作流类似的步骤；但通过融合平台、互联工作流和跨职能协作，实现目标的速度将大大加快。





AUTODESK™



ASME
SETTING THE STANDARD