

BCG

THE BOSTON CONSULTING GROUP

工业4.0时代的人机关系

到2025年，技术将如何改变工业劳动力结构？



波士顿咨询公司（BCG）是一家全球性管理咨询公司，是世界领先的商业战略咨询机构，客户遍及所有地区的私人机构、公共机构和非营利机构。BCG与客户密切合作，帮助他们辨别最具价值的发展机会，应对至关重要的挑战并协助他们进行企业转型。在为客户度身订制的解决方案中，BCG融入对公司和市场态势的深刻洞察，并与客户组织的各个层面紧密协作，从而确保我们的客户能够获得可持续的竞争优势，成长为更具能力的组织并保证成果持续有效。波士顿咨询公司成立于1963年，目前在全球48个国家设有85家办公室。欢迎访问我们的网站：www.bcg.com了解更多资讯。



THE BOSTON CONSULTING GROUP

工业4.0时代的人机关系

到2025年, 技术将如何改变工业劳动力结构?

Markus Lorenz、Michael Rüßmann、Rainer Strack、Knud Lasse Lueth、Moritz Bolle

2016年5月

内容概览

从现在到2025年，工业4.0将推动现有的工业劳动力结构发生巨大的转变。我们以德国为例，针对数字化工业技术的介入对23个行业中的40大类工作岗位产生的影响这一课题进行了研究和分析。数字化工业技术将会削减一定数量的工作岗位，但同时也将带来更多的就业机会。此外，对劳动者的技能要求与过去相比将会有极大的差别。

工业劳动力的未来发展

科技不仅能让人们保持职场竞争力，还能帮助有些人群重返职场。我们通过建模预测，从现在到2025年，德国将净增约35万个工作岗位。应用愈加广泛的机器人和计算机技术将削减约61万个组装和生产类岗位。与此同时，在信息和数据技术领域将会相应增加96万个新的就业机会。

推动并实现转型

想要顺利过渡到工业4.0，企业需要对员工进行再培训，改进组织架构，并制定战略性的人才计划。教育系统应努力提供更广泛的技能培训，弥合在IT技能方面的人才缺口。政府可以通过不同方式更好地发挥自身的中央协调功能，以进一步促进更多就业机会的产生。

19世纪的蒸汽机、20世纪初期的电力、20世纪70年代的自动化技术都为工业生产带来了翻天覆地的变化。然而，每次技术革命的大潮并没有减少总体的就业机会。尽管制造类岗位的数量会有所减少，但新的工作岗位不断涌现，随之而来的是对新技能的需求。如今，制造业正在经历第四次工业革命——新型数字化工业技术的崛起被称为“工业4.0”，新一轮的劳动力转型已近在眼前。

新一轮的工业革命将如何展开？它会创造就业机会，还是会摧毁工作岗位？职位要求将如何发展变化？哪些工作技能将倍受青睐？企业领导者和政策制定者有必要了解这些问题的答案，这将有助于他们通过合理安排具有合适技能的员工来充分把握工业4.0所带来的机遇。

为了更好地了解劳动力结构在工业4.0时代的发展变化，我们分析了多项新技术将会对全球领先的德国制造业布局产生的影响。我们发现，工业4.0可以帮助制造型企业提升竞争力，在提高生产力的同时扩大劳动力队伍。由于生产制造日益向资本密集型发展，劳动力成本较低的传统地区将逐渐丧失其优势，制造型企业会更愿意将之前外包的生产工作再度转回国内。工业4.0还有助于制造型企业创造新的工作岗位，以满足因现有市场的发展以及新产品、新服务的推出而产生的更大需求。与此形成鲜明对比的是，在此前每一次技术革命爆发时，尽管产量都会大幅提升，生产制造类的岗位都会有所缩减。比如，从1997年到2003年，自动化和离岸外包使德国制造业减少了18%的工作岗位，但同时产量却保持上涨。

在这份报告中，我们探讨了从现在起到2025年工业4.0将如何改变生产制造类工作的格局。我们展示了劳动力市场演变的定量建模成果，以及通过专家访谈获得的定性见解。基于这些发现，我们为商界、教育界和政界的领导人提供建议，让他们能够迎接工业4.0时代，从而不断提升劳动力队伍的生产力水平，同时帮助劳动力队伍取得进步和发展。

有关工业4.0影响的使用场景分析

科技进步为工业4.0奠定了基础。在接下来的10至15年间，科技创新将重塑商业和经济格局（参阅BCG于2015年4月出版的聚焦报告《工业4.0：生产力的未来和制造业的发展》）。为了量化分析技术对工业劳动力的影响，我们研究了十个最具影响力的使用场景，揭示了技术对德国23个行业40类工作的影响（参阅图1）。对同一类型的工作来说，不同岗位对劳动力技能的要求虽然具有关联性，但在一定程度上也有所不同。

为了确定每个使用场景对不同类型工作就业人数的具体影响，我们与20位行业专家

劳动力成本较低的传统地区将逐渐丧失其优势，制造型企业会更愿意将之前外包的生产工作再度转回国内。

图1 | 10个使用场景分析揭示了工业4.0对劳动力结构及格局的影响



大数据驱动下的质量管理

对历史数据进行运算，发现质量问题，减少残次品



机器人辅助生产

运用灵活的类人型机器人完成组装和包装类工作



无人驾驶物流工具

全自动运输系统在工厂中实现智能运行



生产线模拟仿真

利用新软件模拟和优化流水线



智能供应网络

监控整个供应网络，作出更好的供应决策



预测型维护

远程监控设备有助于在设备出现故障前进行维护



机器即服务

制造商销售的不是机器，而是包括维护保养在内的服务



自组织生产

可自动协调的机器有助于优化使用率和产出



增材制造精密零件

3D打印技术有助于一站式打造复杂的零部件，从而使组装变得冗余



在增强现实技术的辅助下开展工作、维护和服务

第四维度有助于为运营提供指导、进行远程协助和记录

来源：专家访谈；BCG分析。

携手合作，共同分析每个使用场景如何提升现有岗位的生产力水平或是如何创造新的就业机会。我们先从具体部门入手，然后将研究成果外推到企业、行业以及相关行业的层面，最终提升到德国整体制造业的层面。

需要强调的是，我们的分析聚焦于工业4.0对就业增长的带动作用，并不是对研究期间总体就业状况的变化进行预测。我们的数据并不能说明市场整体发展或生产率提高的原因，而且不同行业之间也会存在巨大差异。

我们挑选这10个使用场景所依据的标准是：对劳动力产生的总体影响，以及为了完成相关工作是否要求员工具备新技能。下面的几个例子表明了多种技术应用对劳动力队伍的影响。

- **大数据驱动下的质量管理：**一家半导体制造企业采用算法来分析质量管理的实时数据和历史数据，识别质量问题及其原因，并准确地找到方法来最大程度地减少产品缺陷和浪费。将大数据运用于制造业将会减少专门从事质量管理的人员数量，同时也会增加对工业数据科学家的需求。
- **机器人辅助生产：**一家塑料制造企业利用与人类高度相近且具有类似手部功能的机器人为其工作。这些机器人很容易接受新的任务。内置的安全感应器和摄像头让机器人可以与周围的环境进行互动。机器人所代表的科技进步将大幅削减生产环节中的人工岗位，比如组装和包装环节中的人工岗位，但同时也将创造出新的工作岗位，也就是机器人协调员（我们将在后文中对此有详细描述）。
- **无人驾驶物流工具：**一家食品饮料制造企业采用了自动化运输系统，该智能系统可以在工厂中独立运作，从而减少了对物流人员的需求。
- **生产线模拟仿真：**一家消费品制造企业利用创新软件，在安装生产线之前先进行模拟，然后将模拟结果用于优化运营。此类技术的应用将增加对工业工程师和模拟专家的需求。
- **智能供应网络：**一家国际消费品企业采用先进技术来操控整个供应网络，从而优化了供应决策。技术的应用将减少从事运营规划的岗位数量，同时创造了对供应链协调岗位的需求，以便更好地处理小批量的交付需求。
- **预测型维护：**一家风力涡轮机制造企业为其客户提供对设备的实时远程监控以及全天候的诊断中心服务。如果涡轮机中的一个振动监控感应器探测到异常，就会立即自动发出警报。监控和传感器技术使制造商能够在设备发生故障前就进行维护，进而将促进与系统设计、IT、数据科学相关的职位大幅增长。这样的技术进步还会催生出一个新的岗位，也就是拥有数字化辅助手段的现场服务工程师，但同时也将导致对传统技工的需求下降。
- **机器即服务：**一家德国压缩机制造企业并不直接销售机器，而是将压缩空气当作一种服务来进行销售。企业为用户安装压缩机，并且按需对设备进行维护和升级。这样的商业模式不仅有助于增加生产和服务类工作岗位，而且还要求制造商扩大自身的销售队伍。
- **自组织生产：**一家齿轮制造企业对产品线进行了专门设计，使之可自动协调和优化

将大数据运用于制造业将会减少专门从事质量管理的人员数量，同时也会增加对工业数据科学家的需求。

监控和传感器技术将促进与系统设计、IT、数据科学相关的职位大幅增长。

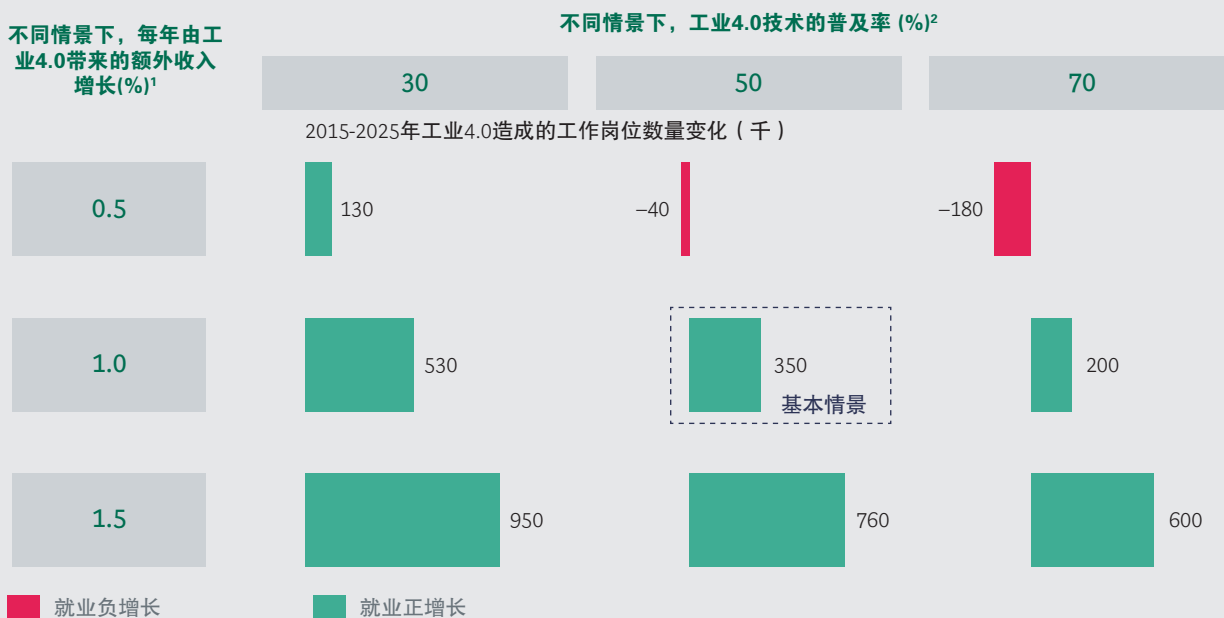
每一环节的利用率。尽管这样的自动化设计将会减少对从事生产规划的人员需求，但同时将提高对数据建模和分析专家的需求。

- **增材制造精密零件：**诸如选择性激光烧结和3D打印等技术可令制造商一站式打造复杂的零件，消除对零件进行组装和设置库存的需要。在研发中心和工程学领域，与3D计算机辅助设计和3D建模相关的新工作岗位正在出现，而与此同时，从事零件组装的工作岗位正在不断减少。
- **在增强现实技术的辅助下开展工作、维护和服务：**一家德国物流企业的员工使用具有增强现实功能的眼镜来查看派件信息和位置信息，包括精准识别货物在货架上的位置，同时还能自动扫码。这一系统还能远程辅助基本的维护任务，并提供针对具体客户的货物包装指导。采用增强现实技术大大提高了维修技术人员的处理效率，同时要求企业在研发、IT和数据辅助系统等领域建立起广泛的新能力。

就业水平的变化

根据这10个使用场景所展示的情况，为了预测从2015年到2025年工业4.0对德国工业劳动力的影响，我们从两个变量的角度对一系列情景进行了分析。这两个变量包括：由技术进步带来的额外收入增长，以及先进技术的普及率（参阅图2）。我们还运用了波士顿咨询公司（BCG）的专有定量模型来分析工业4.0对具体公司劳动力队伍的影响。

图2 | 德国的新增就业机会取决于收入的额外增长以及先进技术的普及



来源：BCG分析。

注：数据四舍五入为最接近的万位数。

¹此处所使用的收入增长仅源于工业4.0的先进技术成果，而未考虑其他行业发展或生产力进步所带来的影响。

²基于可促进生产力提高的10个定量使用场景；普及率不影响额外收入增长。

制造型企业可以通过以下方法来推动收入增长：

- 采用更具柔性的生产线、机器人和3D打印技术来提供更多定制化的产品
- 采取机器即服务（machine as a service）等创新的商业模式来开拓新的市场
- 运用增强现实技术，以拓展售后服务并开发新服务
- 采取更多措施以满足对工业4.0技术（如自动化机器人）日渐增长的需求

所有的情景都显示，先进技术成果的普及将带来生产力的大幅提升，从而减少了为达到固定产量而所需的劳动力数量。尽管有些岗位将会消失，但人与机器之间的合作关系将会更加密切。

在最有可能发生的基本情景中，我们认为德国企业将利用工业4.0来额外实现1%的年增长，先进技术成果的普及率将达到50%。在这样的情景中，工业4.0将为德国净增约35万个就业岗位，与研究目前所涉及的23个制造行业的700万劳动力相比，增幅达5%。机器人和计算机技术的普及将减少约61万个组装和生产类岗位，但新增的96万个就业机会将抵销组装和生产类岗位的减少。IT、分析和研发领域额外需要21万高技能人才；此外，前文所述的收入增长机遇也将带来约76万个新的工作岗位——所有这些都是新增就业机会的来源。

在基本情景中，通过对不同类型的工作和行业进行分析，我们发现情况截然不同（参阅图3）。总体来说，德国尤其需要具备IT和软件开发技能的人才。IT和数据整合领域的岗位数量将翻倍，新增工作岗位将达到11万，占据了这一类型工作岗位增长的96%。研发和人机界面设计领域的工作岗位将增加约11万。

在意料之中的是，考虑到数据在工业4.0使用场景和商业模式中的重要性，工业数据科学家将成为增速最快的工作岗位，新增岗位将达到约7万。对软件和IT界面的更多应用也会导致对IT解决方案架构师和用户界面设计师的需求激增。随着机器人的日益普及，制造型企业将需要一个全新的工作岗位，也就是机器人协调员，从而有望带来4万个新增岗位。

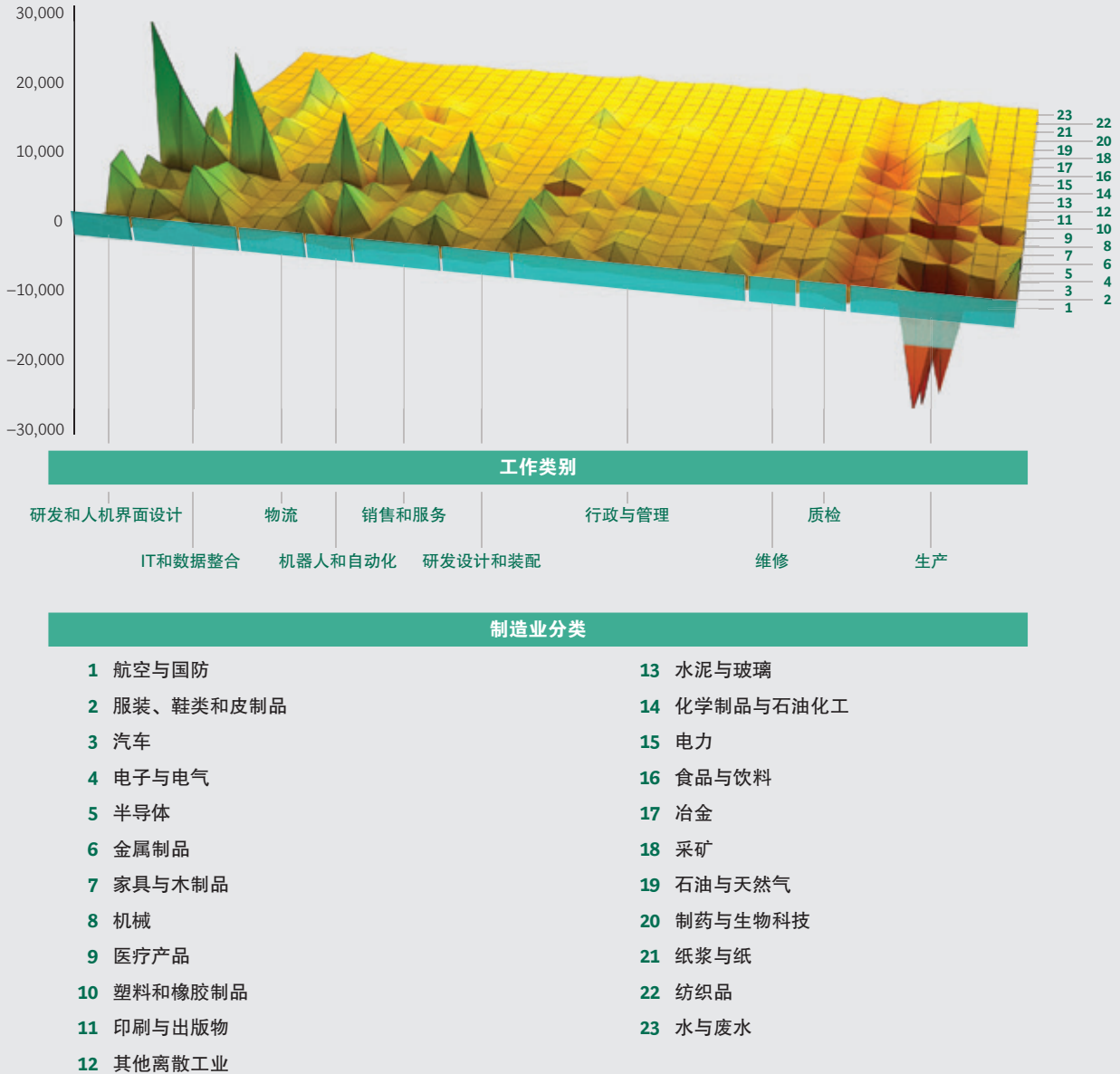
企业将减少对从事简单、重复性工作的人员需求，因为它们可以利用机器来从事这些工作并实现标准化操作。此类工作岗位的减少将主要源于机器人在生产车间的应用以及常规工作实现计算机化操作。生产类岗位将减少12万（相当于4%），质量管理类岗位将减少2万（相当于8%），维护类岗位将减少多达1万（相当于7%）。常规的认知型工作也将会受到影响，比如，2万多个生产计划岗位将被取消。到2025年以后，顶替劳动力的机器人和人工智能将加速发展。

在行业层面，智能机械市场的不断拓展将为智能机械制造商新增7万个工作岗位，相当于6%的增长。相比之下，机器人的应用将会抑制汽车行业和金属制品制造企业的就业增长。

工业数据科学家将成为增速最快的工作岗位，新增岗位将达到约7万。

图3 | 德国就业增长会因岗位和行业不同而有显著差异

到2025年工作岗位数量的绝对变化



来源：BCG分析。

基于对所有使用场景的分析，我们预计机器人辅助生产将导致相关制造领域的工作岗位净增幅大减，这是因为机器人辅助生产将带来生产效率的极大提升，使制造型企业能够大幅缩减生产车间的人员数量。与此同时，机器人以及包括预测型维护和增强现实技术在内的其他使用场景也将帮助制造型企业采用新的商业模式，以促进新的就业机会。

工业岗位将如何发展变化？

工业4.0将为工业劳动力的工作方式带来重大的变化，并且在削减部分工作岗位的同时催生出全新的就业机会。尽管工业4.0（特别是机器人）将在何种程度上取代人力仍是专家争论的焦点，但我们发现得到一致认同的观点是：制造型企业将越来越多地使用机器人和其他先进技术成果来为工人提供协助。部分专家并不认同所有与制造相关的工作都能实现自动化。德国联邦教育与研究部IT系统特别顾问Ingo Ruhmann表示：“完全实现自动化是不现实的。技术主要是通过物理和数码辅助系统来提高生产力，而不是取代人力。”辅助系统的更多应用意味着工业4.0所带来的质变对于劳动力而言将会起到积极的影响。对体力有要求的工作或是简单重复的常规工作将逐渐减少，而那些需要灵活反应、解决问题以及具备定制化能力的工作将会增多。

为了在工业4.0时代更加高效地开展工作，工人需要掌握多种“硬”技能。他们必须把有关具体工作或流程的专门知识（如操作机器人或更换工具）与IT技能（从最基础的电子表格使用和界面访问到高级的编程和数据分析）结合在一起。对多种“硬”技能的需求以及在生产车间发生的空前改变——所有这一切意味着“软”技能要比以往任何时候都更加重要。员工必须对变革持更加开放的态度，提高自身的灵活度以适应新的角色和新的工作环境，并且持续不断地进行跨领域的学习。

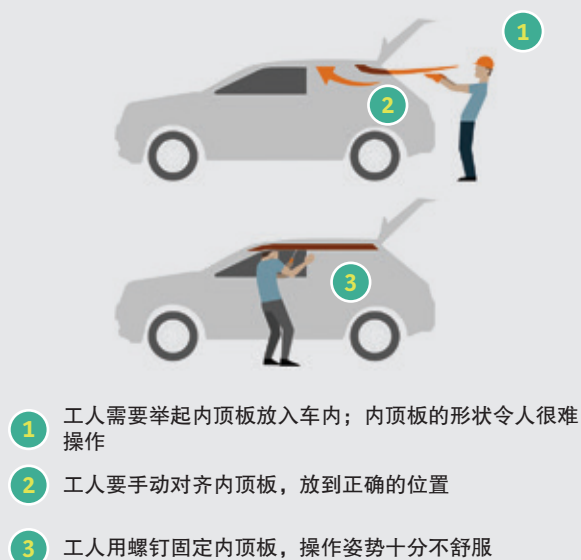
以下几个例子诠释了工业4.0为工作性质带来的改变。

- **汽车装配流水线工人：**对老龄化问题日渐凸显的部分发达国家来说，利用自动化装置来协助工人完成手工作业尤为重要。例如，一些汽车流水线的工作需要提举重物，或是要求工人保持难受的姿势，而运用机器人设备就能帮助流水线工人解决上述问题。比如，机器人可以举起内顶板等车内装饰，在工人手动对准内顶板后，机器人可以自动将内顶板固定在车架上（参阅图4）。
- **流动维修技术人员：**工业4.0还将极大提升在一线工作的维修技术人员的生产效率（参阅图5）。目前技术维修人员每天可能仅花费几个小时在一个地点从事增值型工作。他们的大部分时间都花费在去现场的路上以及与其他专家或提供二级支持的同事探讨技术问题和解决方案。端到端流程各环节的人工作业带了严重的延误和停工。相比之下，工业4.0将使技术辅助下的预测型维护成为可能。通过远程监控设备运行的实时数据，技术人员可以在到达现场前就能自主识别问题所在并订购零部件。一旦到达现场，技术人员就可以在增强现实技术的辅助下开展维修工作，并且还能够接受专家的远程指导，同时，维护工作将会被自动记录。生产效率的提高使设备的停机时间从一天缩短到两个小时，为用户带来极大的便利，并且让技术人员能在一天中去往多个地点开展维修保养。
- **机器操作员：**目前的情况是，一名机器操作员负责在一台设备上处理半成品、监控设备运行和产品质量。工业4.0的技术进步可以令一名操作员同时负责几台机器。各种任务的标准化操作步骤都会显示在屏幕或眼镜上。对设备运行和产品质量的监控可以通过自动系统进行查询。这样，操作员将不再需要接受太多有关具体设备和

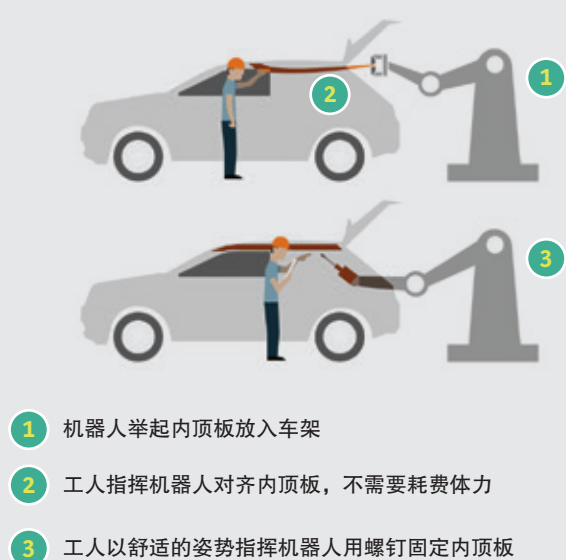
员工必须对变革持更加开放的态度，提高自身的灵活度以适应新的角色和新的工作环境，并且持续不断地进行跨领域的学习。

图4 | 自动化系统可以为工人提供协助

流水线工人完成对体力有要求的工作

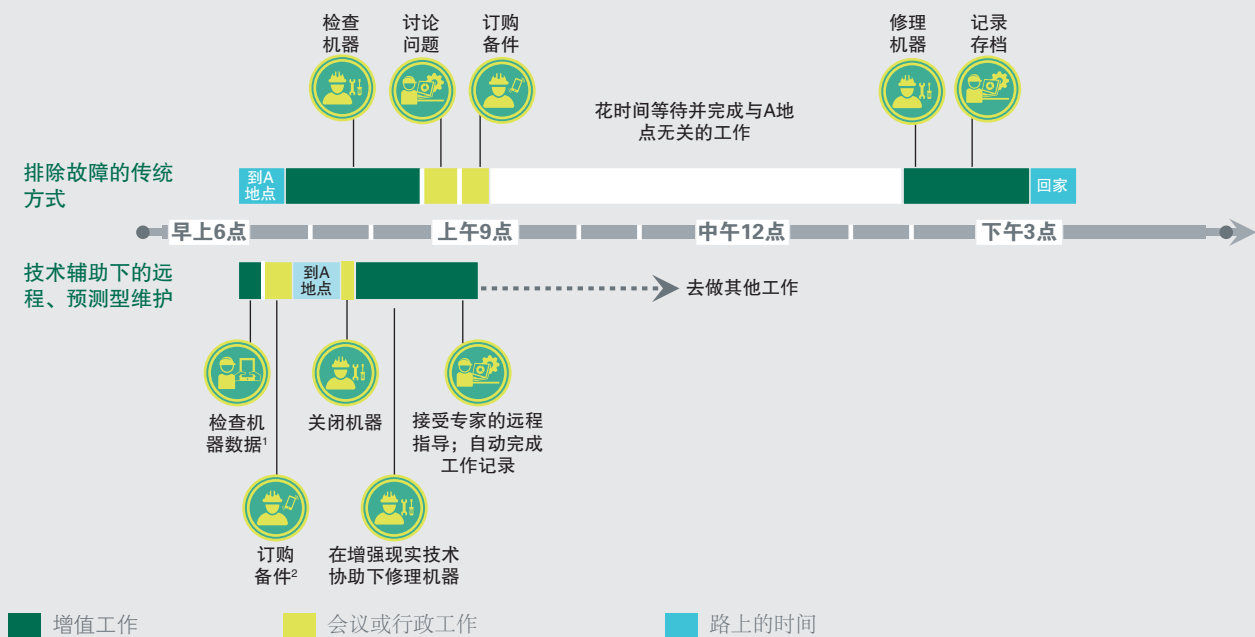


机器人可以在人体工程学上实现改善



来源：专家访谈；BCG分析。

图5 | 技术改变了维修技术人员的日常工作方式



来源：专家访谈；BCG分析。

¹查看机器感应器的实时数据以及时发现异常。

²为所有出现异常或部件受损的设备订购零部件。

产品的培训，而是需要增强对数字化设备和软件的使用能力，并且需要有能力使用数字化知识库。

以下两个例子诠释了工业4.0催生出的新型工作岗位。

- **工业数据科学家**：制造型企业需要创造出工业数据科学家这一新的工作岗位。这些专家将负责提炼和准备数据，开展先进分析，并将结论应用于完善产品或生产。工业数据科学家必须对制造流程和IT系统有着深刻的了解，也要具备很强的根本原因分析能力，能够发现关联并得出结论。工业数据科学家必须具备编程技能，掌握R等统计编程语言以及Python等通用编程语言。工业数据科学家既要有持续解决问题的能力，又要有应对具体需求的能力。他们既能在一线工作，又可以远程办公。
- **机器人协调员**：这一职位的诞生是为了监督生产车间的机器人工作并及时应对机器人的功能异常和错误信号。机器人协调员需要负责常规维护和紧急维修任务，必要时也需要得到其他专家的协助。如果一台机器人需要停止使用，协调员必须找到替代的机器人，以便缩短停工时间。在许多情况下，制造商将会对原有的机器操作员进行再培训，而不是另行招聘。

值得一提的是，工业4.0对工作性质的改变以及新岗位的出现将使许多就业前景堪忧的工人从中受益。比如，机器人辅助系统将帮助工人从事对体力要求高的工作，还能工人为工人提供关于如何使用新设备的详细指导，这样年长的工人就有可能延长工作年限。这样的环境也将使那些因技术和经验过时而失去工作的人有机会重返劳动力市场，登上全新的工作岗位。

为变革做好准备

就业格局的转变将为工业企业、教育系统和政府带来重要的影响。为了在提高生产力和竞争力的同时促进就业水平的提升，企业领导人和政策制定者可以考虑采纳以下建议。

企业应如何应对？

企业需要重新培训现有员工，采取新的工作和组织模式，为工业4.0招兵买马，并且有策略地制定人才战略计划。

重新培训现有员工。德国等国的企业拥有强大的工业劳动力根基，这些企业应做好准备，时常对其员工重新培训，以便跟上技术进步的步伐。德国金属工业工会专门研究工业4.0的顾问Constanze Kurz表示：“我们预测，德国大约65%的员工能够实现技能提升，以满足工业4.0的新要求。”尽管许多企业已经落实了帮助员工重新充电的培训项目，但企业还需要对此继续加大力度并不断进行完善。针对特定工作技能的有效培训项目应该包括在职指导（比如通过运用增强现实技术，或通过观察有经验的员工如何完成任务）以及课堂教学。考虑到再培训的范围和规模以及时间安排上的灵活性，企业必须为员工提供以能力为基础的在线学习项目。企业通常需要安排多种技能培训，因为许多员工将需要完成多样化的任务。此外，企业还有必要培养员工对变革的积极态度，这将有助于他们更好地适应新的工作流程和挑战。

采用新的工作和组织结构。工业4.0创造了人与机器之间的新型互动，这种互动将

就业格局的转变将为工业企业、教育系统和政府带来重要的影响。

企业也必须确保由人来继续负责创新工作以及整体流程的协调工作，而不是试图将这些重要的能力完全交付给机器。

对工作性质和组织结构产生非常重大的影响。为了适应日益多变的生产规划，企业应考虑采用新的工作模式，比如柔性生产计划，类似于办公室环境下的灵活办公模式。正如德国弗劳恩霍夫协会工业工程研究所（Fraunhofer Institute for Industrial Engineering IAO）的研究员Stefan Gerlach所说：“移动辅助系统和智能机器为灵活的工作安排奠定了基础。轮班生产让每位工人能够有不同的开工时间。今后，机器操作员甚至能在一个星期的不同时间段为不同企业工作，从而帮助他们维持全职工作。”

企业还需要重新考虑决策权。比如，机器人协调员应该不需要等待上级的指示就可以让机器人启动对生产设备的紧急维修。在许多情况下，企业将会受益于更扁平的组织结构，以便更好地管理、使用和控制数据。工业4.0还会要求企业的IT部门与其他运营部门进行更紧密的合作，这样软件开发人员才能充分了解其解决方案在生产中的应用，而运营人员才能明白这些解决方案对生产线会产生怎样的影响。比如，软件开发人员需要获得车间运营者的同意来为灵活的流水线重新配置软件。因此，开发人员和运营人员之间的互动必须确保实现无缝衔接，以便更好地处理复杂的IT任务。企业也必须确保由人来继续负责创新工作以及整体流程的协调工作，而不是试图将这些重要的能力完全交付给机器。

为工业4.0招兵买马。要想在工业4.0时代取得成功，企业应考虑采用新的招聘方式，更加注重人才能力，而非按学历和职位划分的所谓资历。由于员工将完成多种与自己所受的核心教育无关的任务，因此招聘人员常常需要把注意力从正规学历上转移开来，为具体职位发掘那些具有相关技能的员工。

劳动力研究所（the Institute for the Study of Labor）的德国劳动力政策负责人Alexander Spermann指出：“我们需要通过截然不同的思路 and 平台来关注能力而不是资历——这种新的方法类似于使用一款名为‘Tinder’的约会软件。”换言之，制造型企业应在职位要求中强调与该职位相关的特质和能力，正规学历和培训将不再那么重要。比如，制造商寻找的应该是对变革持开放态度、有在生产中维修机器的专业技能、有操作特定品牌机器的经验、以及使用过特定IT界面的技工，而不是有特定维修证书的技工。

为了准备好迎接工业4.0对工作岗位的要求变化，企业应与政府就业机构合作，为每种岗位制定具体的能力要求，并根据这些要求来评估人员能力。由于工业4.0型岗位的人才储备并不只限于应届毕业生，因此企业必须认清哪些现有员工或外部人员有能力从事哪些具体工作。招聘部门的员工需要在新环境下更新其技能，以提高工作效率。

有策略地制定人员规划。工业4.0不仅带来了一线工业员工的转型，而且还推动了对新型领导力的需求，并且加剧了许多国家中的人才之争（参阅附录“电子领导力与人才之争”）。为了应对未来的多种挑战，企业需要特别注意有策略地制定人员规划。首先，企业需要系统收集与全体员工相关的基准信息，将不同员工按工作类型进行分类。企业可以使用定量建模来收集有关员工离职和退休的信息（人员供应），并基于企业对工业4.0普及率、生产力提升和收入增长的预测来模拟人员需求。通过结合供求模型，企业可以对人员缺口进行综合分析，以便了解有必要制定哪些措施，比如人员培养、转移、内包或外包、以及建立新的招聘目标。每年，企业都应重复这样的规划流程。

教育系统应怎样配合？

教育系统应努力提供更广泛的技能培训，弥合在IT技能方面的差距，并且为继续教

信息化领导力与人才之争

制造型企业必须确保其组织领导力能够跟上工业4.0快速前进的步伐。要想运用最先进的信息与传播技术来监督不同市场中的团队，并利用新技术来进行创新，管理者们必须具备信息化领导力（e-leadership）。培养信息化领导力需要在以下四个方面采取行动：

- **认知**：认识和了解数字化的机遇与威胁，比如不断发展的数字生态系统和数字消费者。
- **能力**：培养特定的能力来推动数字创意实现商业化，比如从数据中获得洞察的能力或带领数字化团队的能力。
- **文化**：培养数字文化的思维理念，以推动理想的组织行为，比如乐于进行尝试并接受失败。

- **驱动力**：发展组织驱动力量，比如新的IT部门，以获得持久的成果。

工业4.0将进一步加剧对人才的争夺。由于缺少符合能力需求的年轻员工以及现有劳动力的老龄化趋势，许多国家都将面临具备适合技能的劳动力储备不足的问题。例如，BCG的研究预示，到2030年，整个德国（不仅仅是制造业）的劳动力缺口将在580万到770万之间。¹

注：

1. BCG在德国本土出版了一份针对此主题的报告，请访问<http://www.bcg.de/documents/file193349.pdf> 阅读BCG于2015年5月出版的报告“Die halbierte Generation: Die Entwicklung des Arbeitsmarktes und die Folgen für das Wirtschaftswachstum in Deutschland”。

育提供新的形式。

提供更广泛的技能培训。工业4.0将会创造大量跨职能的新岗位，因此员工需要同时具备IT和生产知识。目前许多教育项目提供的都是单一培训，很少有机会在不同领域之间进行交流。为了培养跨职能的知识和交流，大学应在现有的商业信息学和商业工程学的基础上，提供更多融合IT和工程学知识的跨学科项目。数学和物理等传统学科应额外增加与IT和基础工程学相关的课程，并且要求学生在制造业实习，以培养学生对工作要求、术语和文化的了解。大学应注重培养新的工作岗位所需要的具体技能，并且根据公司对工业4.0技术的期望来调整自己的课程安排。同时，大学还需要培养软技能，帮助员工不断提升自身能力、能够进行跨领域的合作以及创新。

学术界应寻找机会来培养在读高中生的跨学科技能。比如，学校可以为学生提供有关课程，指导学生建立联通的系统并进行编程。德国通过“学徒”模式和“合作教育”模式，将理论与实践紧密结合。这样的模式可以在德国国内和世界其他国家进行推广。这些混合模式是国际公认的专业培训最佳模式，尤其适合用来培养与工业4.0相关的能力。

弥合在IT技能方面的差距。教育系统必须解决工业4.0所需的IT技能存在缺口的问题。以德国制造型企业与工业4.0相关的人才需求为例，我们预计到2025年将缺少12万拥有IT或计算机工程学学位的大学毕业生。要获取这些技能，则需要在大学进行深度学习。一般来说，现有员工很难在工作中获取这些技能，或是再次通过资格考试获得。

大学应与企业、行业协会以及政府通力合作，鼓励学生攻读IT或计算机工程学位

企业应与政府就业机构合作，为每种岗位定具体的能力要求，并根据这些要求来评估人员能力。

大学应进一步将计算机工程学的元素融入其他学科的教学，尤其是工程学与商科。

位，同时设法吸引国外的计算机工程学学生。学术界领袖应与政府就业机构携手合作，帮助学生了解IT技能对未来各类工作，而不只是对工业4.0相关工作的重要性，打破只有专家才能掌握这些技能的错误印象。为了实现拓展人才技能的目标，大学应进一步将计算机工程学的元素融入其他学科的教学，尤其是工程学与商业。这些元素包括：IT基础设施设计的指导、用户体验编程、机电测控原理和数据科学编程等。

为继续教育提供新形式。学术界领袖应完善教育系统，使之能够帮助工业劳动力不断接受再培训。这样的培训不仅应在厂区以外的“传统”地点授课，而是应在更多场合进行。这样的支持包括：提供在线学习平台；在公共大学提供无门槛限制的免费课程；通过手机应用来提供培训和知识。大学可以为全民免费提供有关编程的在线公开课程。学术界领袖应与商界领袖开展合作，讨论企业特定的培训需求。这样的合作将会为企业带来新的教育模式，比如以培养能力为目标，而不是获得学位为目标的教学项目。

政府如何为创造就业机会提供支持？

为了使工业4.0最大化地创造就业机会，并帮助企业尽可能多地保留员工，政府应促进商界与学术界各方的协作。在很多情况下，这意味着政府需要着力于促进工业4.0的成功实施，这是实现制造业增长和促进就业的先决条件。

在德国，联邦经济与能源部以及联邦教育与科研部联合成立了一个协调机构，帮助各方集聚一堂，共同商讨有关工业4.0的长期战略。¹不过，一些专家也表示希望联邦政府能够借鉴一些省份的成功经验，在协调与融资方面扮演更重要的角色。有力的中央协调机构将领导制定有关工业4.0的国家战略，帮助德国工业实现这些先进技术成果的全部潜力。通过这一机构，政府可以为关键的产业升级项目提供资金，以能力为基础来制定职业要求。这样的支持对德国许多中小企业来说至关重要。这些企业目前没有能力来开展必要的研究或进行相关投资，也不能作出有关工业4.0的高层次决策，从而无法提升长期业绩，也不能促进就业。

超越2025

虽然我们的研究主要着眼于到2025年工业4.0带来的影响，但商界、教育界、政界领袖必须预见到下一个十年之后的发展。人工智能的使用和机器“深度学习”的发展值得关注。专家预测，人工智能将会从事更具认知能力的工作，比如对工人和自动化系统进行监督管理，确保法律和监管上的合规性，并履行HR的职责。而人工智能和高级机器人的更多应用将大幅减少需要人力工作的工种。一些实验性的项目现在已经启动，让计算机承担经理的职责，比如安排工作以及进行时间规划等等。更令人惊讶的是，这些项目得到了员工参与者的好评。由于人工智能可以拥有人类无法企及的更加广泛而细致的知识储备，因此将有机会在工业中得到大量应用。有朝一日当机器人学会人脑的思维模式时，它们就可以完全胜任机器操作员或机器人协调员的角色。

工业4.0将为制造业和国家经济创造巨大的机遇。尽管某些类型的工作（如组装和生产计划）会失去许多岗位，但同时在其他领域（尤其是IT和分析领域）将涌现大量新的工作机会。工业4.0最终能在多大幅度上促进就业机会，则将取决于企业如何利用这些先进的技术成果来开发新产品、新服务以及新的商业模式。为了实现工业4.0的

全部潜力，企业需要对现有劳动力进行再培训，教育系统需要弥合在IT技能方面的人才缺口，政府需要提供更强有力的支持。要想取得成功，就必须深入了解科技的发展，并从“量”和“质”的角度了解其对不同类型工作的影响。获得并有效运用这些知识将会带来巨大的回报：国家经济将繁荣发展，劳动力队伍将变得更加强大高效，员工将全身心地投入到工作之中。

注：

1.若需了解更多信息，请登录www.plattform-i40.de访问“工业4.0平台”。

关于作者：

Markus Lorenz是波士顿咨询公司合伙人兼董事总经理、机械业务领域的全球领导人，同时也是BCG工业4.0议题的联合领导人，常驻慕尼黑办公室。如需联络，请致信lorenz.markus@bcg.com。

Michael Rüßmann是波士顿咨询公司合伙人兼董事总经理、数字技术领域的专家，同时也是BCG工业4.0议题的联合领导人，常驻慕尼黑办公室。如需联络，请致信ruessmann.michael@bcg.com。

Rainer Strack是波士顿咨询公司资深合伙人兼董事总经理，同时也是BCG人力资源议题的全球领导人，常驻杜塞尔多夫办公室。如需联络，请致信strack.rainer@bcg.com。

Knud Lasse Lueth是IoT Analytics公司的首席执行官，该公司提供有关工业4.0以及物联网的市场洞察。如需联络，请致信knud.lueth@iot-analytics.com。

Moritz Bolle是有关卓越运营和工业4.0商业模式的独立顾问。如需联络，请致信moritz.bolle@iot-analytics.com。

致谢：

作者要感谢多位专家以及机构提供的真知灼见以及合作，包括：维斯塔斯风力系统公司的Julian Demetz；Bitkom e.V.的Wolfgang Dorst；弗劳恩霍夫协会工业工程研究所的Stefan Gerlach博士；科隆经济研究所的Hans-Peter Klös博士；德国金属工业工会的Constanze Kurz博士；慕尼黑工业大学的Klaus Mainzer；德国教育研究部的Ingo Ruhmann；德国劳动力政策研究所的Alexander Spermann博士；edacentrum的Andreas Vörg博士；西门子前员工Hans-Joachim Ziemer；以及卡尔斯鲁厄理工学院生产科学研究所。

作者也要感谢以下BCG同仁的支持：Julien Bigot、Michael Bloos、Torben Deuker、Pascal Engel、Petra Gerhardt、Michael Harnisch、Dominik Keupp、Sabine Krömer、Daniel Kuepper、Mary Leonard、Frank Lesmeister、Marion Noeske、Nicole Scherschun、Thorben Schmidt、Sebastian Ullrich、Manuela Waldner、Johannes Willberg。作者还要感谢David Klein对报告撰写提供的协助以及报告的编辑和制作团队：Katherine Andrews、Gary Callahan、Kim Friedman、Abby Garland、Trudy Neuhaus、Sara Strassenreiter。

更多联系：

如果您希望与我们作进一步探讨，请联系任何一位作者。

如需获得有关BCG的详细资料, 欢迎访问:bcgperspectives.com
或登陆我们的大中华区网站:www.bcg.com.cn

如欲了解更多BCG的精彩洞察, 请关注我们的官方微信帐号,
名称:BCG波士顿咨询;ID:BCG_Greater_China;二维码:





BCG

THE BOSTON CONSULTING GROUP

阿布扎比
阿姆斯特丹
雅典
亚特兰大
奥克兰
曼谷
巴塞罗那
北京
柏林
波哥大
波士顿
布鲁塞尔
布达佩斯
布宜诺斯艾利斯
卡尔加里
堪培拉
卡萨布兰卡

金奈
芝加哥
科隆
哥本哈根
达拉斯
丹佛
底特律
迪拜
杜塞尔多夫
法兰克福
日内瓦
汉堡
赫尔辛基
胡志明市
香港
休斯顿
伊斯坦布尔

雅加达
约翰内斯堡
基辅
吉隆坡
拉各斯
利马
里斯本
伦敦
洛杉矶
罗安达
马德里
墨尔本
墨西哥城
迈阿密
米兰
明尼阿波利斯
蒙特雷

蒙特利尔
莫斯科
孟买
慕尼黑
名古屋
新德里
新泽西
纽约
奥斯陆
巴黎
珀斯
费城
布拉格
里约热内卢
利雅得
罗马
旧金山

圣地亚哥
圣保罗
西雅图
首尔
上海
新加坡
斯德哥尔摩
斯图加特
悉尼
台北
特拉维夫
东京
多伦多
维也纳
华沙
华盛顿
苏黎士