

把握德国制造业的未来

实施“工业 4.0”攻略的建议

工业 4.0 工作组

德国联邦教育研究部

2013 年 9 月

【编者按】

为了在新一轮工业革命中占领先机，在德国工程院、弗劳恩霍夫协会、西门子公司等德国学术界和产业界的建议和推动下，“工业4.0”项目在2013年4月的汉诺威工业博览会上被正式推出。这一研究项目是2010年7月德国政府《高技术战略2020》确定的十大未来项目之一——旨在支持工业领域新一代革命性技术的研发与创新。

本文为“德国工业4.0战略计划实施建议”的全文翻译版本。如有问题和错误，敬请批评指正。

主 编： 康金城

供 稿： 中国工程院咨询服务中心
刘晓龙、郗振宇、高金金、
陈守双、占松林、王 波、
李 贞、陈 磊

联系人： 郗振宇

联系方式： xzy@cae.cn 59300248

目 录

【编者按】	I
执行摘要	1
1 引言	5
2 愿景：工业 4.0 作为智能、网络化世界的一部分	12
2.1 塑造工业 4.0 愿景	13
2.2 在工业 4.0 下未来会是什么样子？	15
2.3 新型的商业机会和模式	17
2.4 工作场所的全新社会基础设施	19
2.5 全新的基于服务和实时保障的 CPS 平台	20
2.6 工业 4.0 之路	22
3 双重战略：成为领先的市场和供应商	27
3.1 领先的供应商策略	27
3.2 主导市场策略	28
3.3 双重战略及其关键特征	29
3.3.1 价值网络下的横向集成	30
3.3.2 全价值链的端到端工程	30
3.3.3 纵向集成和网络化制造系统	31
4 需求研究	35
5 优先行动领域	39
5.1 标准化和开放标准的一个参考体系	39
5.2 管理复杂的系统	44
5.3 为工业提供一个全面宽频的基础设施	48
5.4 安保是工业 4.0 成功至关重要的因素	49
5.5 数字化工业时代工作的组织和设计	58
5.6 培训和持续的职业发展	62
5.7 规章制度	67
5.8 资源效率	73
6 德国如何与世界其它国家竞争？	80
7 展望	91
背景资料：	92
工业 4.0 战略计划	92
工业 4.0 平台	94

执行摘要

德国是全球制造业中最具竞争力的国家之一，其装备制造行业全球领先。这是由于德国在创新制造技术方面的研究、开发和生产，以及在复杂工业过程管理方面高度专业化使然。德国拥有强大的机械和装备制造业、占据全球信息技术能力的显著地位，在嵌入式系统和自动化工程领域具有很高的技术水平，这些都意味着德国确立了其在制造工程行业中的领导地位。因此，德国以其独特的优势开拓新型工业化的潜力：工业 4.0。

前三次工业革命源于机械化、电力和信息技术。现在，将物联网和服务应用到制造业正在引发第四次工业革命。将来，企业将建立全球网络，把它们的机器、存储系统和生产设施融入到虚拟网络—实体物理系统（CPS）中。在制造系统中，这些虚拟网络—实体物理系统包括智能机器、存储系统和生产设施，能够相互独立地自动交换信息、触发动作和控制。这有利于从根本上改善包括制造、工程、材料使用、供应链和生命周期管理的工业过程。正在兴起的智能工厂采用了一种全新的生产方法。智能产品通过独特的形式加以识别、可以在任何时候被定位、并能知道它们自己的历史、当前状态和为了实现其目标状态的替代路线。嵌入式制造系统在工厂和企业之间的业务流程上实现纵向网络连接，在分散的价值网络上实现横向连接，并可进行实时管理—从下订单开始，直到外运物流。此外，他们形成的且要求的端到端工程贯穿整个价值链。

工业 4.0 拥有巨大的潜力。智能工厂使个体顾客的需求得到满足，这意味着即使是生产一次性的产品也能获利。在工业 4.0 中，动态业务和工程流程使得生产在最后时刻也可以变化，也可

能为供应商对生产过程中的干扰与失灵作出灵活反应。制造过程中提供的端到端的透明度有利于优化决策。工业 4.0 也将带来创造价值的新方式和新的商业模式。特别是，它将为初创企业和小企业提供发展良机，并提供下游服务。

此外，工业 4.0 将应对并解决当今世界所面临的一些挑战，如资源和能源利用效率，城市生产和人口结构变化等。工业 4.0 使资源生产率和效率增益不间断地贯穿于整个价值网络。它使工作的组织考虑到人口结构变化和社会因素。智能辅助系统将工人从执行例行任务中解放出来，使他们能够专注于创新、增值的活动。鉴于即将发生的技术工人短缺问题，这将允许年长的工人延长其工龄，保持更长的生产力。灵活的工作组织使得工人能够将他们的工作和私人生活相结合，并且继续进行更加高效的专业发展，在工作和生活之间实现更好的平衡。

在制造工程领域，全球竞争愈演愈烈，德国不是唯一已经认识到要在制造行业引入物联网和服务的国家。再者，不仅仅亚洲对德国工业构成竞争威胁，美国也正在采取措施，通过各种计划来应对去工业化，促进“先进制造业”的发展。

为了将工业生产转变到工业 4.0，德国需要采取**双重战略**。德国的装备制造业应不断地将信息和通信技术集成到传统的高技术战略来维持其全球市场领导地位，以便成为智能制造技术的主要供应商。与此同时，有必要为 CPS 技术和产品建立和培育新的主导市场。为了实现这一双重的 CPS 战略目标，应将工业 4.0 的下列特性加以落实：

- 通过价值网络实现横向集成
- 贯穿整个价值链的端到端工程数字化集成
- 纵向集成和网络化制造系统

迈向工业 4.0 需要德国投入大量的研发精力。为了实施双重战略，需要研究制造系统的横、纵向集成，以及工程端到端集成。此外，应重视由于工业 4.0 系统所建立的工作场所新的社会基础设施，并要继续发展 CPS 技术。

如果工业 4.0 能够成功实施，那么研发活动将需要恰当的产业和产业政策决策与之伴随。工业 4.0 工作组认为需要在以下八个关键领域采取行动：

- **标准化和参考架构：**贯穿整个价值网络，工业 4.0 将涉及一些不同公司的网络连接与集成。只有开发出一套单一的共同标准，这种合作伙伴关系才可能形成。需要一个参考架构为这些标准提供技术说明，并促使其执行。
- **管理复杂系统：**产品和制造系统日趋复杂。适当的计划和解释性模型可以为管理这些日益复杂性提供基础。因此，工程师们要配备为开发这些模型所需的方法和工具。
- **为工业建立全面宽频的基础设施：**可靠、全面和高质量的通信网络是工业 4.0 的一个关键要求。因此，不论是德国内部，还是德国与其伙伴国家之间，宽带互联网基础设施需要进行大规模扩展。
- **安全和保障：**安全和保障两个方面对于智能制造系统成功是至关重要的。重要的是要确保生产设施和产品本身不能对人和环境构成威胁。与此同时，生产设施和产品，尤其是它们包含的数据和信息，需要加以保护，防止滥用和未经授权的获取。比如，这将要求部署统一的安全保障架构和独特的标识符，还要相应地加强培训以及增加持续的专业发展内容。
- **工作的组织和设计：**在智能工厂，员工的角色将发生显著变化。工作中的实时控制将越来越多，这将改变工作内容、工

作流程和工作环境。在工作组织中应用社会技术方法将使工人有机会承担更大责任，同时促进他们个人的发展。若使其成为可能，有必要设置针对员工的参与性工作设计和终身学习方案，并启动模型参考项目。

- 培训和持续的专业发展：工业 4.0 将极大改变工人的工作和技能。因此，有必要通过促进学习、使终身学习和以工作场所为基础的持续专业发展的计划，实施适当的培训策略和组织工作。为了实现这一目标，应推动示范项目和“最佳实践网络”，以及研究数字学习技术。
- 监管框架：虽然在工业 4.0 中新的制造工艺和横向业务网络需要遵守法律，但是考虑到新的创新，也需要调整现行的法规。这些挑战包括保护企业数据、责任问题、处理个人数据以及贸易限制。这将不仅需要立法，而且也需要代表企业的其他类型的行动—需要大量适当手段，包括准则、示范合同和公司协议，或如审计这样的自我监管措施。
- 资源利用效率：即使抛开高成本不谈，制造业消耗大量的原材料和能源，这也对环境和安全供给带来了若干威胁。工业 4.0 将提高资源的生产率与利用效率。这就有必要计算在智能工厂中投入的额外资源与产生的节约潜力之间的平衡。

迈向工业 4.0 将是一个渐进的过程。目前基本的技术和经验需要调整从而适应制造工程的具体要求；同时应探讨为开发新地点和新市场制定创新型解决方案。如果这样做成功的话，工业 4.0 将使德国提升全球竞争力，并保护其国内制造业。

1 引言

确保德国制造业的未来

德国是世界上制造业最具竞争力的国家之一。因为它具备管理复杂工业流程的能力，使不同的任务可由不同地理位置的不同合作伙伴来执行。几十年来，它已经成功地应用信息和通信技术（ICT）做到了这一点。当今，ICT 大约支撑了 90% 的工业制造过程。在过去的 30 年左右的时间里，IT 革命给我们生活和工作带来了根本性变革，其影响不亚于第一次和第二次工业革命中机械化和电气化所带来的影响。从个人电脑到智能设备的演进伴随着这样的趋势，越来越多的 IT 基础设施和服务将通过智能网络（云计算）提供。比以往任何时候都更加小型化的设备与势不可挡的互联网相结合，使无处不在的计算成为现实。

功能强大的、自主的微型计算机（嵌入式系统）正越来越多地相互间或与互联网以无线方式互联。这正在导致引起实体物理世界与虚拟网络世界（cyberspace）以虚拟网络—实体物理系统（CPS）的方式相融合。继 2012 年推出新的互联网协议 IPv6，现在已有足够的地址使智能对象间通过互联网大范围直接互联。

这意味着有史以来第一次，有可能将资源、信息、物品和人进行互联，从而造就物联网和服务。这种现象的影响也将反映到工业领域。在制造领域，这种技术的渐进性进步可以被描述为工业化的第四个阶段，即工业 4.0（图 1）。

工业化始于 18 世纪末机械制造设备的引进，那时像纺织机这样的机器彻底改变了货物的生产方式。继第一次工业革命后的第二次工业革命大约开始于 20 世纪之交，在劳动分工的基础上，采用电力驱动产品的大规模生产。20 世纪 70 年代初，第三次工

业革命又取代了第二次工业革命，并一直延续到现在。第三次工业革命引入了电子与信息技术（IT），从而使制造过程不断实现自动化，机器不仅接管了相当比例的“体力劳动”，而且还接管了一些“脑力劳动”。

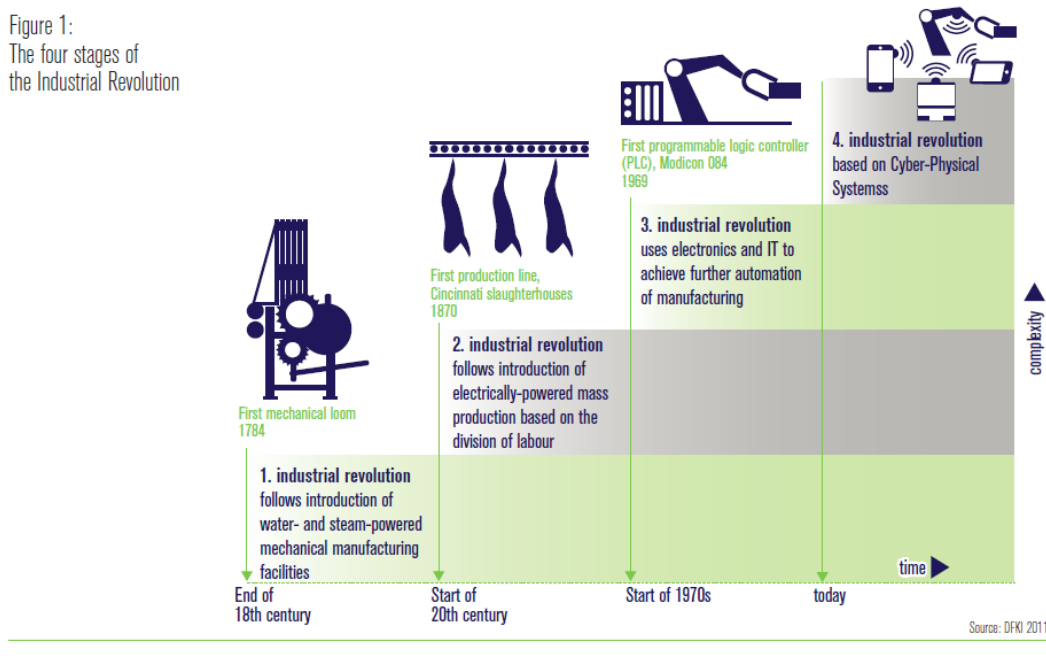


图 1 工业革命的四个阶段

德国需要借鉴其作为世界领先的制造设备供应商以及在嵌入式系统领域的长处，广泛地将物联网和服务应用于制造领域，这样它就可以在第四次工业革命的道路上起到引领作用。

推出工业 4.0 不仅能巩固德国的竞争地位，而且也可推动解决全球性挑战(如资源和能源利用效率)和国家所面临的挑战(如应对人口变化)。然而，关键是要考虑在社会文化背景下的技术创新，因为文化和社会的改变本身也是创新的主要驱动力。例如，人口的变化有可能会改变社会中的所有关键领域，如学习方式的组织、伴随着寿命延长工作和健康的性质、以及当地社区基础设施建设等等。这将反过来显著影响德国的生产率。通过优化技术创新和社会创新之间的关系，我们将为德国经济的竞争力和生产

率作出重要贡献。

在制造业中采用物联网和服务

物联网和服务使得有可能创建网络整合整个制造过程，将工厂转变为一个智能环境。虚拟网络—实体物理生产系统包括智能机器、储存系统和生产设施，从入厂物流到生产、销售、出厂物流和服务，实现数字化和基于信息通信技术的端对端的集成。这样不仅可以更加灵活地配置生产，而且还可以通过提供更加差异化的管理和控制过程来拓展机会。

除了优化现有的基于 IT 的过程，工业 4.0 也将有可能在全球范围内释放潜力，对详细过程和整体效果进行更具差异化的跟踪，而这在以前是不可能记录的。它还将使业务合作伙伴（如供应商和客户）间、雇员间更加紧密合作，提供新的共赢机会。

作为世界领先的制造设备供应商，德国具有独特的地位挖掘这种新型工业化的潜力。德国的全球市场领导者包括许多“隐形冠军”，他们提供专门的解决方案——德国最顶级的 100 家中小型企业（SMEs）中的 22 家是机械和设备制造商，其中 3 家居于前十名。的确，许多机械和设备制造业领军人物认为他们的主要竞争对手在国内。机械和设备与汽车和化学品一样，也列为德国主要出口的商品之一。此外，德国的机械和设备制造商期望在未来仍然保持自己的领先地位。他们之中有 60% 的人相信在未来五年里，他们的技术竞争优势将进一步增强，而只有不到 40% 的人希望保持目前的地位。尽管如此，在制造工程领域的全球性竞争将越来越激烈。不仅是亚洲竞争对手对德国工业构成威胁，而且美国也正在采取措施促进“先进制造”，应对去工业化。此外，制造业一直以来不断变化，并且愈加复杂。例如，先进的激光烧结技术意味着现在有可能在数小时内高质量地“打印”出复杂的

欢迎访问：电子书学习和下载网站 (<https://www.shgis.com>)

文档名称：《德国工业4.0实施建议（中文版）》工业 4.0 工作组 著.pdf

请登录 <https://shgis.com/post/5200.html> 下载完整文档。

手机端请扫码查看：

