

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、郝振宇、高金金、
陈守双、占松林、王 波、
李 贞、陈 磊

联系人： 郝振宇

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 战略规划 | 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”。

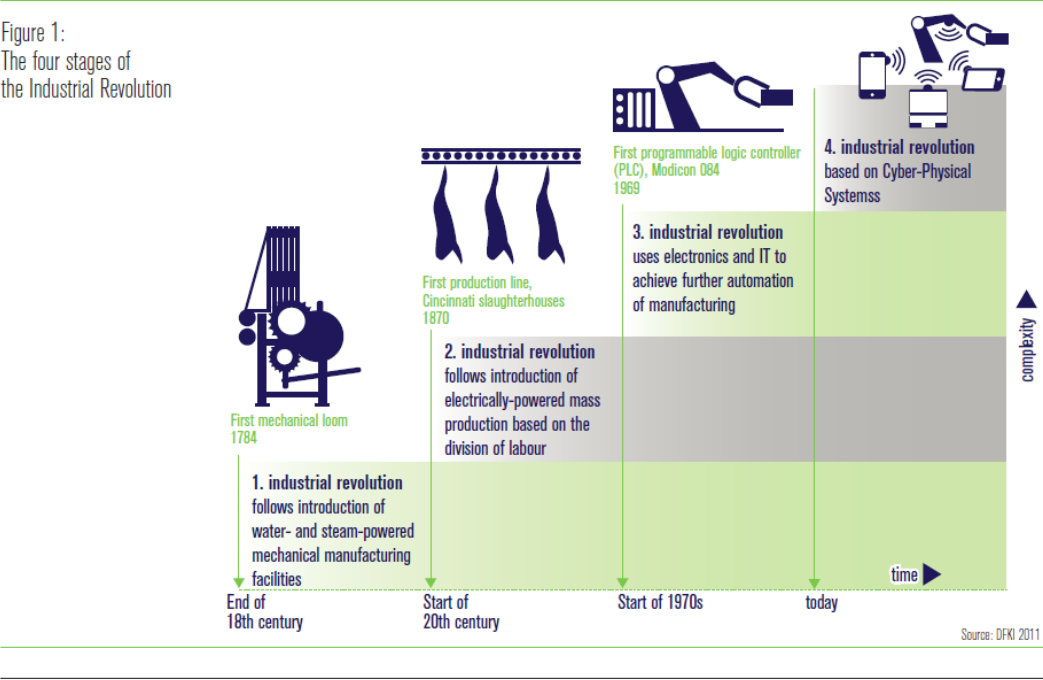


图 1 工业革命的四个阶段

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

三维结构。这正在带来全新的商业模式和服务，使得终端客户可以更密切地参与——用户可以创建他们自己的设计，用电子邮件将他们发送到“影印店”，或者他们可以扫描和“复制”物体。

在工业科研联盟的倡议下，在工业 4.0 平台上的合作伙伴们已经为自己确立目标，贯彻德国政府的战略举措，以确保德国工业的竞争力。

物联网和服务将应用于制造行业：

从本质上讲，工业 4.0 包括将虚拟网络—实体物理系统技术一体化应用于制造业和物流行业，以及在工业生产过程中使用物联网和服务技术。这将对价值创造、商业模式、下游服务和工作组织产生影响。

工业 4.0 计划具有巨大潜力

- 满足用户个性化需求

工业 4.0 允许在设计、配置、订购、规划、制造和运作等环节能够考虑到个体和客户特殊需求，而且即使在最后阶段仍能变动。在工业 4.0 中，有可能在一次性生产且产量很低（1 批量）的情况下仍能获利。

- 灵活性

基于 CPS 的自组织网络可以根据业务过程的不同方面，如质量、时间、风险、鲁棒性、价格和生态友好性等，进行动态配置。这有利于原料和供应链的连续“微调”。也意味着工程流程可以更加灵活，制造工艺可以被改变，暂时短缺（例如供应问题）可以得到补偿，输出的大量增加可以在短时间内实现。



“工业 4.0 为德国提供了一个机会,使其进一步巩固其作为生产制造基地、生产设备供应商和 IT 业务解决方案供应商的地位。令人鼓舞的是,我们可以看到德国的所有利益相关方在紧密合作,通过工业 4.0 平台,一起向前迈进,加以实施。”

----- 孔 翰 宁

(Henning Kagermann) 博士教授(acatech - 国家科学与工程学院,通信行业科学发起人集团发言人, 研究联盟和工业 4.0 工作组联合主席)

● 决策优化

为了在全球市场上取得成功,在短时间内能够做出正确决定变得越来越关键。工业 4.0 提供了端到端的实时透明,使得工程领域的设计决策可以进行早期验证,并且既可以对于干扰做出更灵活的反应,还可以对生产领域中公司的所有位置进行全局优化。

● 资源生产率和利用效率

工业制造过程的总体战略目标仍然适用于工业 4.0: 在给定资源量(资源生产率)的前提下,得到尽可能高的产品输出;使用尽可能低的资源量,达到指定的输出(资源利用效率)。CPS 在贯穿整个价值网络的各个环节基础上,对制造过程进行优化。此外,系统可就生产过程中的资源和能源消耗或降低排放进行持续优化,而不是停止生产。

- 通过新的服务创造价值机会

工业 4.0 开辟了创造价值的新途径和就业的新形式，比如通过下游服务。智能算法可用于各种大量数据（大数据），这些数据是为了提供创新服务而由智能设备所记录的。尤其是对于中小企业和初创公司来说，有显著的机遇发展 B2B（企业对企业）服务。

- 应对工作场所人口的变化

通过工作组织和能力发展计划相结合，人与技术系统之间的互动合作将为企业 provide 新的机会，将人口变化转化为自身的优势。面对熟练劳动力的短缺和日益多样化的劳动力（如年龄、性别和文化背景），工业 4.0 将提供灵活多样的职业路径，让人们的工作生涯更长，并且保持生产能力。

- 工作和生活的平衡

使用 CPS 的公司更加灵活的工作组织模式，意味着它们可以很好地满足员工不断增长的需求，让员工在工作与私人生活之间，以及个人发展与持续的职业发展之间实现更好的平衡。例如，智能辅助系统将提供新的组织工作的机会，即提供一种灵活的新标准以满足公司的需要和员工个人的需求。随着劳动力规模的缩减，CPS 公司在招聘最优秀员工方面将具备明显优势。

- 高工资仍然具有竞争力

工业 4.0 的双重战略将使得德国保持供应商的领先地位，并且成为工业 4.0 解决方案的主导市场。

然而，工业 4.0 不会对相关行业构成纯技术层面或与信息技术相关的挑战。不断变化的技术也将会对组织方面带来深远影响，它提供了开展创新的商业和企业模式、提高员工参与度的机

会。20 世纪 80 年代初，通过将可编程逻辑控制器（PLCs）应用于制造技术，使制造自动化更加灵活，与此同时，通过采用一种基于社会伙伴关系的方法、管理对劳动力的影响，德国成功地进行了第三次工业革命。德国强大的工业基础、成功的软件产业和在语义技术方面的诀窍意味着德国可以很好地实施工业 4.0。德国有可能克服目前的障碍，如技术接受问题或劳动力市场熟练工人数量有限的问题。然而，只有所有利益相关方共同努力，挖掘物联网和服务为制造业带来的潜力，才有可能确保德国工业的未来。

自 2006 年以来，德国政府已在其高技术战略下推动物联网和服务。一些技术项目已经成功启动。工业科学研究联盟正在利用工业 4.0 计划跨部门推进这一举措。在执行过程中下一步顺理成章的是建立第四次工业革命平台，由德国信息技术、通讯、新媒体协会 (BITKOM)、德国机械设备制造业联合会 (VDMA) 以及德国电气和电子工业联合会 (ZVEI) 三个专业协会共同建立秘书处。下一步的任务就是为关键的优先主题制定研发路线图。

确保德国制造业的未来——这是工业 4.0 平台的合作伙伴确立的目标。该平台邀请所有相关的利益方继续探索工业 4.0 带来的机遇，只有这样，我们一起才可以帮助确保成功实施工业 4.0 的革命前景。

2 愿景：工业 4.0 作为智能、网络化世界的一部分

在一个“智能、网络化的世界”里，物联网和服务网（the Internet of Things and Services）将渗透到所有的关键领域¹。这种转变正在导致智能电网出现在能源供应领域，可持续移动通信战略领域（智能移动性，智能物流）和医疗智能健康领域。在整个制造领域中，贯穿整个智能产品和系统的价值链网络的垂直网络、端到端工程和横向集成将成为工业化第四阶段的引领者——即“工业 4.0”

工业 4.0 的重点是创造智能产品，程序和过程。其中，智能工厂构成了工业 4.0 的一个关键特征。智能工厂能够管理复杂的事物，不容易受到干扰，能够更有效地制造产品。在智能工厂里，人、机器和资源如同在一个社交网络里一般自然地相互沟通协作。智能产品理解它们被制造的细节以及将被如何使用。它们积极协助生产过程，回答诸如“我是什么时候被制造的”“哪组参数应被用来处理我”“我应该被传送到哪”等等问题。其与智能移动性，智能物流和智能系统网络相对接将使智能工厂成为未来的智能基础设施中的一个关键组成部分。这将导致传统价值链的转变和新商业模式的出现²。

因此，工业 4.0 不应被孤立地对待，而是应该被看作是一系

¹ 在 2009 年，工业-科学研究联盟确立了五个主要关键领域：气候/能源，人口流动，健康，安全和通信，更多信息参见：<http://www.forschungsunion.de>

² 自第三次工业革命以来，ICT 不仅被用于制造业中以使成本和效率最优，而且也被用于制造业相关或重叠的领域中，如物流，诊断，质保，维护，能源管理和人力资源规划等。但是随着时间推移，不同的 IT 系统各自独立发展，他们结构的独立演变和封闭属性又意味很难将他们整合。这将使得全面的 IT 系统和柔性的再分配制造系统很难实现，这也就意味着不能更加方便地利用这些系统所带来的便利。而在工业 4.0 中，这些限制都将不存在。

列需要采取行动的关键领域中的一个。所以，工业 4.0 应在跨学科状态下加以实施，并与其他关键领域展开密切合作。（见图 2）。

Figure 2:
Industry 4.0 and
smart factories as
part of the Internet
of Things and Services

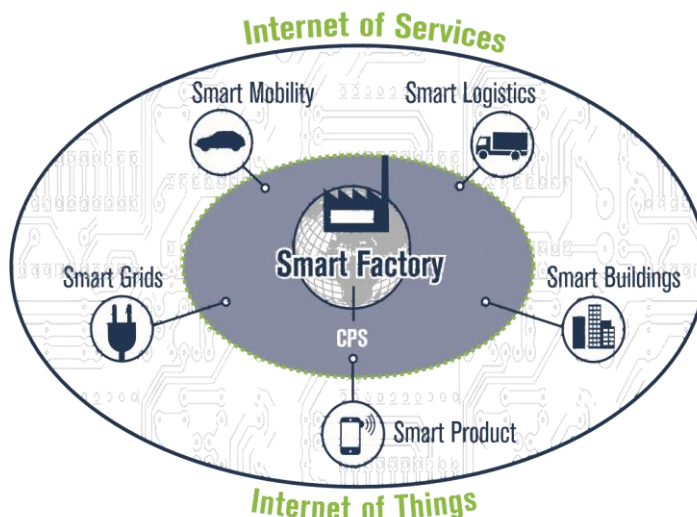


图 2：工业 4.0 和智能工厂——物联网和服务网的一部分

2.1 塑造工业 4.0 愿景

实现整个模式的转变，需要将工业 4.0 作为一个长期的项目来实施，并将是一个渐进的过程。在整个过程里，保留现有制造业体系的核心价值将是一个关键。与此同时，从工业化的早期阶段（参考第 3 章和第 5.4 章）汲取经验也是必需的。然而，导致重大飞跃的创新也有可能出现在一些个别行业。

在生产、自动化工程和 IT 领域，横向集成是指将各种使用不同制造阶段和商业计划的 IT 系统集成在一起，这其中既包括一个公司内部的材料、能源和信息的配置（例如，原材料物流，生产过程，产品外出物流，市场营销），也包括不同公司间的配置（价值网络）。这种集成的目标是提供端到端的解决方案。

在生产、自动化工程和 IT 领域，垂直集成是指为了提供一种端到端的解决方案，将各种不同层面的 IT 系统集成在一起（例如，执行器和传感器，控制，生产管理，制造和执行及企业计划等各种不同层面）。

如果德国工业要生存和发展，在推进第四次工业革命中就需要发挥积极的作用，因此，借助德国工业和研究领域的传统优势将是非常必要的：

- 机械和设备制造的市场领导力量
- 全球瞩目的 IT 集群地
- 在嵌入式系统和自动化工程领域领先的创新者
- 一个高度熟练的和充满干劲的劳动力
- 供应商和用户间距离相近且在某些领域紧密的合作
- 先进的研究和培训设施

工业 4.0 的实施，目的是要拟定出一个最佳的一揽子计划，通过充分利用德国高技能、高效率并且掌握技术诀窍的劳动力优势来形成一个系统的创新体系，以此来促进现有的技术和经济潜力。工业 4.0 将重点聚焦以下方面：

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

这些方面将在第 3 章双重战略中详细阐述。

2.2 在工业 4.0 下未来会是什么样子？

工业 4.0 将更加灵活更加坚强，包括工程最高质量标准、计划、生产、操作和物流过程。这将使动态的、实时优化的和自我组织的价值链成为现实，并带来诸如成本、可利用性和资源消耗等不同标准的最优化选择。而这些都需要恰当的规则框架、标准化接口和和谐的商业进程。



“物联网和服务网在制造业中拥有巨大的创新潜力，如果我们成功把基于网络的服务整合进工业 4.0，将极大地扩展这种潜力。”

——Johannes Helbig 博士，
Deutsche Post AG（德国邮政），
工业-科学研究联盟交流促进团体成员

以下几个方面将构成工业 4.0 的核心特征：

- 工业 4.0 将在制造领域的所有因素和资源间形成全新的社会-技术互动水平。它将使生产资源（生产设备、机器人、传送装置、仓储系统和生产设施）形成一个循环网络，这些生产资源将具有以下特性：自主性、可自我调节以应对不同形势、可自我配置、基于以往经验、配备传感设备、分散配置，同时，它们也包含相关的计划与管理系统。作为工业 4.0 的一个核心组成，智能工厂将渗透到公司间的价值网络中，并最终促使数字世界和现实的完美结合。智能工厂以端对端的工

程制造为特征，这种端对端的工程制造不仅涵盖制造流程，同时也包含了制造的产品，从而实现数字和物质两个系统的无缝融合。智能工厂将使制造流程的日益复杂性对于工作人员来说变得可控，在确保生产过程具有吸引力的同时使制造产品在都市环境中具有可持续性，并且可以盈利。

- 工业 4.0 中的智能产品具有独特的可识别性，可以在任何时候被分辨出来。甚至当它们在被制造时，它们就可以知道整个制造过程中的细节。在某些领域，这意味着智能产品能半自主地控制它们生产的各个阶段。此外，智能产品也有可能确保它们在工作范围内发挥最佳作用，同时在整个生命周期内随时确认自身的损耗程度。这些信息可以汇集起来供智能工厂参考，以判断工厂是否在物流、装配和保养方面达到最优，当然，也可以应用于商业管理应用的整合。
- 在未来，工业 4.0 将有可能使有特殊产品特性需求的客户直接参与到产品的设计、构造、预订、计划、生产、运作和回收各个阶段。更有甚者，在即将生产前或者在生产的过程中，如果有临时需求变化，工业 4.0 都可立即使之变为可能。当然，这会使生产独一无二的产品或者小批量的商品仍然可以获利。
- 工业 4.0 的实施将使企业员工可以根据形势和环境敏感的目标来控制、调节和配置智能制造资源网络和生产步骤。员工将从执行例行任务中解脱出来，使他们能够专注于创新性和高附加值的生产活动。因此，他们将保持其关键作用，特别是在质量保证方面。与此同时，灵活的工作条件，将在他们的工作和个人需求之间实现更好的协调。

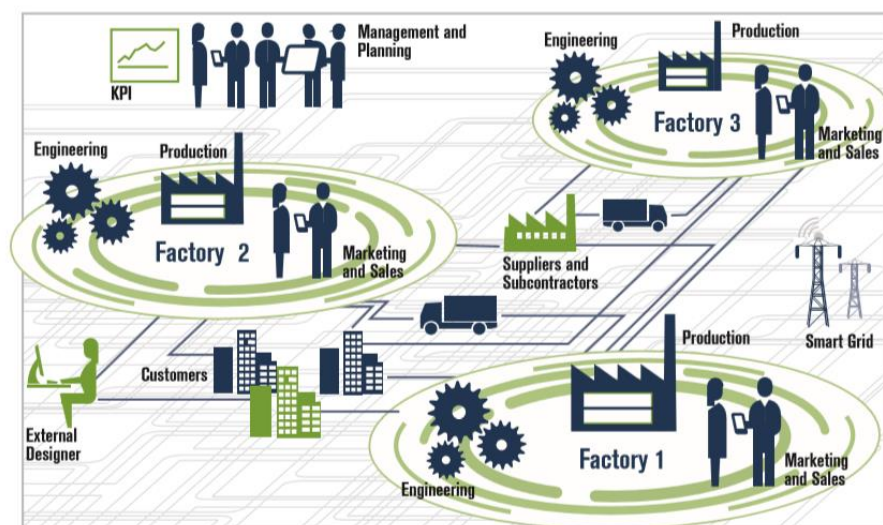
- 工业 4.0 的实施需要通过服务水平协议来进一步拓展相关的网络基础设施和特定的网络服务质量。这将可能满足那些具有高带宽需求的数据密集型应用，同时也可以满足那些提供运行时间保障的服务供应商，因为有些应用具有严格的时间要求。

2.3 新型的商业机会和模式

工业 4.0 将发展出全新的商业模式和合作模式，这些模式可以满足那些个性化的、随时变化的顾客需求，同时也将使中小企业能够应用那些在当今的许可和商业模式下无力负担的服务与软件系统。这些全新的商业模式将为诸如动态定价和服务水平协议（service level agreements, SLAs）质量提供解决方案，动态定价指的是要充分考虑顾客和竞争对手的情况，服务水平协议质量则是关系到商业合作伙伴之间的连接和协作。这些模式将力争确保潜在的商业利润在整个价值链的所有利益相关人之间公平地共享，包括那些新进入的利益相关人。更加宽泛的法规要求，如减少二氧化碳排放量（参考第 5.8 章），也可以而且应该融入到这些商业模式中，以便让商业网络中的合作伙伴共同遵守。（见图 3）

工业 4.0 往往被冠以诸如“网络化制造”、“自我组织适应性强的物流”和“集成客户的制造工程”等特征，它将追求新的商业模式以率先满足动态的商业网络而非单个公司，这将引发一系列注入融资、发展、可靠性、风险、责任和知识产权及技术诀窍保护等问题。就网络的组织及其有别于他人的高质量服务而言，最关键的是要确保责任被正确地分配到商业网络中，同时备有相关约束性文件作为支撑。

Figure 3:
Horizontal value
network



Source: Hewlett-Packard 2013

图 3：横向价值网络

实时的针对商业模式的细节监测¹也将在形成工艺处理步骤和监控系统状态上发挥关键作用，它们可以表明合同和规章条件是否得到执行。商业流程的各个步骤在任何时刻都可以追踪，同时也可以提供他们完成的证明文件（见第 5.7 章）。为了确保高效提供个体服务，清晰且明确地描绘出以下状态将是必要的：相关服务的生命周期模型、能够保证的承诺、以及确保新的合作伙伴可以加入商业网络的许可模型和条件，尤其是针对中小企业。

鉴于上述情况，工业 4.0 很有可能将对全球产生难以预测的影响并造就一个极为活跃的环境。新技术的颠覆性及其对相关法律问题（如技术方面、敏感的企业数据、责任、数据保护、贸易限制、密码系统的利用等）的影响将能威胁现存法规的实施。很短的创新周期可以导致频繁的规则架构更新需求，并且造成执行过程的慢性失败。因此，有必要采取一种新的方法，可以提前或者在技术实施过程中检验其同现行法律的相容性（参考第 5.7 章）。另外一项事关工业 4.0 计划实施的关键因素就是安全和保

¹实时意味着数据处理与现实事件的发生同步进行，而不是延迟处理。

障（参考第 5.4 章）。重复地讲，在安全领域，我们需要更富积极性的措施，进而言之，尤为重要，在设计安全的概念里不应仅仅局限于功能组件。

2.4 工作场所的全新社会基础设施

工业 4.0 将给德国带来若干创新变革，而德国当前正处于人口结构变化的困境中，它拥有世界上第二年老的人口，仅次于日本。在许多德国制造公司，员工的平均年龄在四十多岁。年轻员工数量在不断下降，某些行业的熟练技工和学徒申请者已出现短缺。为了确保人口结构的变化不会影响当前的生活水平，德国很有必要更好地利用现有的劳动力市场为工业 4.0 的实施做好储备，于此同时，还需保持并不断改进劳动生产效率。因此，提高老年人和妇女的就业比例就尤为重要。最新的研究表明，个人的生产效率并不取决于员工年龄，而是相反地取决于他们从事某种工作岗位的时间、工作组织方式和工作环境。如果更长的工作生涯可以保持并增加提高劳动生产率，那么，就非常有必要协调和改变相关的工作环境，包括健康管理和工作组织方式、终身学习和职业路径模式、团队结构和知识管理²。这不仅对于商业而且特别包括教育系统来说，都是一个必需迎接的挑战。

因此，决定德国未来竞争力的，不仅是新的技术、商业和法律因素，更是工业 4.0 新的社会基础设施的工作场所，而这也正是在创新过程中有能力使员工取得更高成就的基础。

工业 4.0 所带来的人类-技术（human-technology）和人类-

²参见 Altern in Deutschland, Vol. 9: Gewonnene Jahre, Empfehlungen der Akademiengruppe, Nova Acta leopoldina NF No.371, Vol. 107, Stuttgart 2009, p. 49, 56. 移民与低技能劳动者（如果他们能接受更多的培训）也可以成为劳动力市场中充分利用的劳动力来源，参见 OECD: Zuwanderung ausländischer Arbeitskräfte: Deutschland, 2013, 网址：
http://www.oecd-ilibrary.org/social-issues-migration-health/zuwanderung-auslandischer-arbeitskrafte-deutschland-german-version_9789264191747-de

环境（human-environment）相互作用的全新转变也将发挥重要作用，全新的协作工作方式使得工作可以脱离工厂，通过虚拟的、移动的工作方式开展。员工将被鼓励在他们的工作中通过智能辅助系统使用多种形式的、友好的用户界面。

除了全面的培训和持续职业发展措施（CPD measures）外，工作组织和设计模型也将是广受劳动者欢迎的成功转变的关键。这些模型应使员工将拥有高度的自我管理自主权与领导和管理权力的下放相结合。员工应该拥有更大的自由作出他们自己的决定，更积极地投入和调节自己的工作。

工业 4.0 的社会-技术方法使得人们释放出新的潜力从事迫切需要的创新活动，这是基于对于人在创新过程中重要作用的更新的认识。

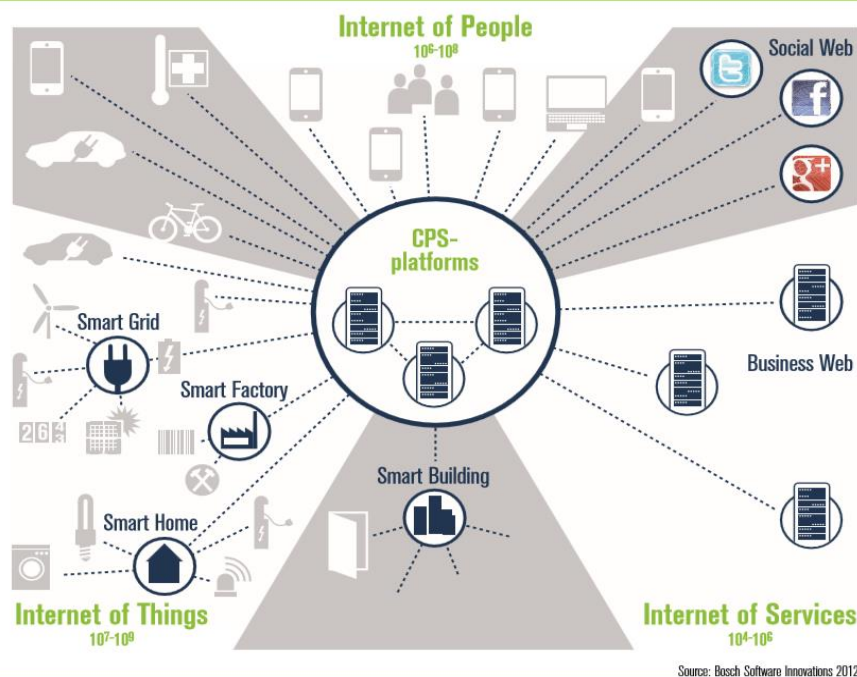
2.5 全新的基于服务和实时保障的 CPS 平台

具有战略意义的工业 4.0 计划将极大地促进全新的 CPS 平台更加适应具有协作性特点的商业化进程和连接智能工厂和智能产品的全生命周期各方面的整个商业网络。

这些平台将提供服务和实际应用，并且能联系到所有参与的人员、物体和系统（见图 4），同时还将拥有以下特征：

- 灵活性，可以提供迅速和简单流程的服务和应用，包括基于 CPS 的软件；
- 在 App Store 模式链下实现商业进程中的调配和部署；
- 提供综合性强、安全可信的全商业进程支持；
- 保障从传感器到客户交流所有环节的安全和可靠系统；
- 支持移动端设备；
- 支持商业网络中互相协助的生产、服务、分析和预测。

Figure 4:
The Internet of Things and
Services – Networking
people, objects and systems



Sources: Bosch Software Innovations 2012

图 4：物联网和服务网—网络中的人、物和系统

在商业网络中，共享的 CPS 平台往往针对包括服务流程和应用在内的 IT 技术发展有特殊需求，因为在这些共享的 CPS 平台上，CPS 的横向与纵向集成、工业流程中的应用及服务往往会诞生出一些特殊的需求（参考表 5.1）。对于工业 4.0 来说，在整个服务网络中，重要的是需要更加宽泛地解释流程条款。很明显，在互相协作的公司间和商业网络中，应该建立起共享的服务和应用。在 CPS 平台，诸如安全和保障、可信任、可靠性、使用、操作模式的融合、实时分析和预测等特性都显得尤为重要，在互相协作的生产和服务过程中，确立流程标准以及安全、可靠、高效的的操作都离不开这些特性，同样，它们对于执行活跃的商业活动也至关重要。最后，这需要应对由大范围数据源和终端设备引发的各种问题。以上所提到的这些需求在当前初级云端基础设施状态下只能得到极少量的满足。CPS 平台被公司间的 IT 人员、软件和服务提供商以及公司本身所使用，这需要有一个工业 4.0 的参考框架，该参考框架应该考虑到 ICT 和制造企业的不同特征。

模式化的操作流程要求 CPS 平台开发全新的应用和服务，以此来满足那些瞬息万变的复杂变化，而这些变化正是由于不同领域和组织之间的功能增长、差异化、活跃性和协作性所带来的（参考第 5.2 章）。最后，拥有一个高带宽、安全高效的网络基础则是保障数据交换安全的关键（参考第 5.3 章）。

2.6 工业 4.0 之路

实施工业 4.0 计划是一个涉及诸多不同企业和部门以不同速度发展的渐进性过程。BITKOM,VDMA 和 ZVEI 在年初提出了一项名为“工业 4.0 前景”的调查³，确认了这一题目的重要性，认为这将关系到德国工业竞争力，并且提出需要提供更加全面及目标更加明确的信息（见图 5）。调查显示，47%的企业表示已经积极参与工业 4.0 计划，18%的企业参加了对工业 4.0 计划的研究，12%的企业则已经开始实施工业 4.0 计划。

Figure 5:
Results of survey
on Industrie 4.0 trends
(January 2013)

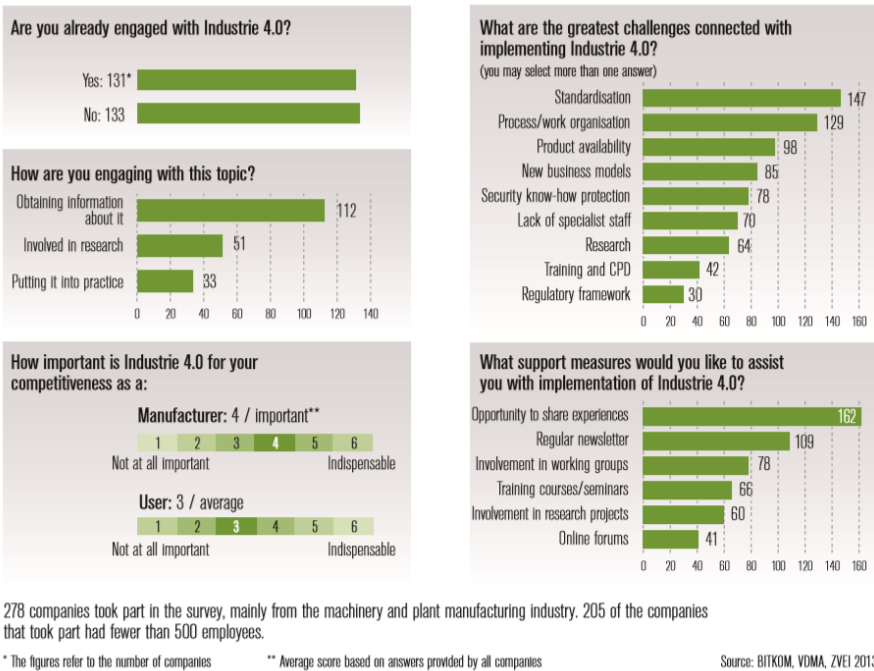
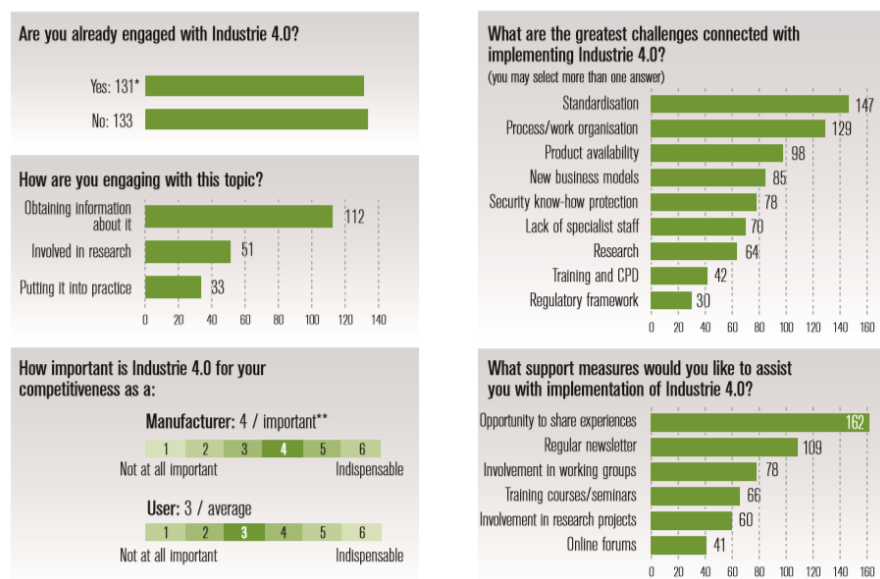


图 5：工业 4.0 趋势调查结果（2013.01）

³278 家企业参与了调查，来源：BITKOM, VDMA and ZVEI, January 2013

Figure 5:
Results of survey
on Industrie 4.0 trends
(January 2013)



278 companies took part in the survey, mainly from the machinery and plant manufacturing industry. 205 of the companies that took part had fewer than 500 employees.

* The figures refer to the number of companies

** Average score based on answers provided by all companies

Source: BITKOM, VDMA, ZVEI 2013

实施工业 4.0 计划会面临三大挑战：标准化、工作组织和产品的可获得性。

随着各个工作小组的积极推进，许多企业提出了一些有利于推进工业 4.0 计划的需求措施，包括可以分享经验的目标研讨会和日常的通讯。而专业协会将在促使社交团体、学术机构和公众间流畅沟通和紧密合作方面发挥重要作用。近 50% 的受访企业表明，他们已经从专业协会那里获得了工业 4.0 的相关资料。此外，为了顺利推进工业 4.0 计划，工作小组认为以下措施是关键：

- 实行实时的 CPS 解决方案将从空间、技术的质量和可靠性方面极大地依赖于服务与基础网络。为了确保德国在世界范围的竞争力，通过融合相关的国际标准来统一服务和商业模式，应该被国内与国际的相关政策制定人员充分考虑。
- 制造业中的商业化进程仍然是静止不变的，并且一直在应用那些不合时宜的软件系统。然而，这些并不可能迅速被服务导向的系统所取代，因此，如何确保新技术可以兼容那些旧

系统就显得尤为重要，旧系统必须要升级为实时系统。

- 在当今物联网与服务网的环境下，制造业中新商业模式的发展程度将与同互联网本身的发展程度相适应。
- 雇员将参与到工作组织、CPD 和技术发展的创造性社会-技术系统早期阶段。
- 为了促进工业 4.0 的转变，使整个 ICT 产业（已适应短周期创新的特点）能够与机器与设备制造商和机电一体化系统（mechatronic system）供应商（倾向于较长创新周期）工作联系更紧密，必须要建立一套众多参与企业都可接受的商业模式。

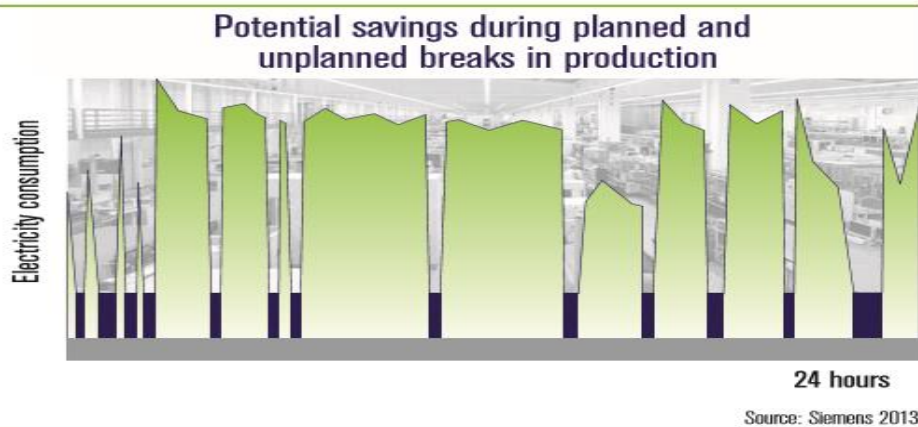
应用 1：减少能源消耗——生产间歇的汽车车身装配线

当今，能源利用效率已经成为制造业生产过程中必须考虑的因素。为了满足这一需求，在生产间歇中随时关闭那些不工作的部分以减少能源消耗，就成为一种必须具备的能力。工业 4.0 将更大程度地利用现有条件实现这一能力，以保证它能够融入到生产设施从计划到运行的整个过程。

如今，许多生产线或者它们的一部分，因生产间歇、周末或者轮班而没有从事生产的时候仍然持续地运行，并消耗大量的能源。例如，使用激光焊接技术的汽车车身装配线在生产间歇时所消耗的能源占据了其全部能源消耗总量的 12%。这些生产线每周工作 5 天，实行 3 班倒。虽然这些复杂的机器在周末并不生产，但它们仍然保持工作状态以便周末结束后迅速投入生产。

在生产间歇 90% 的能源消耗来自于以下设备：机器人（20%-30%），通风设备（35%-100%）和激光源及其冷却系统（0-50%）。

Today

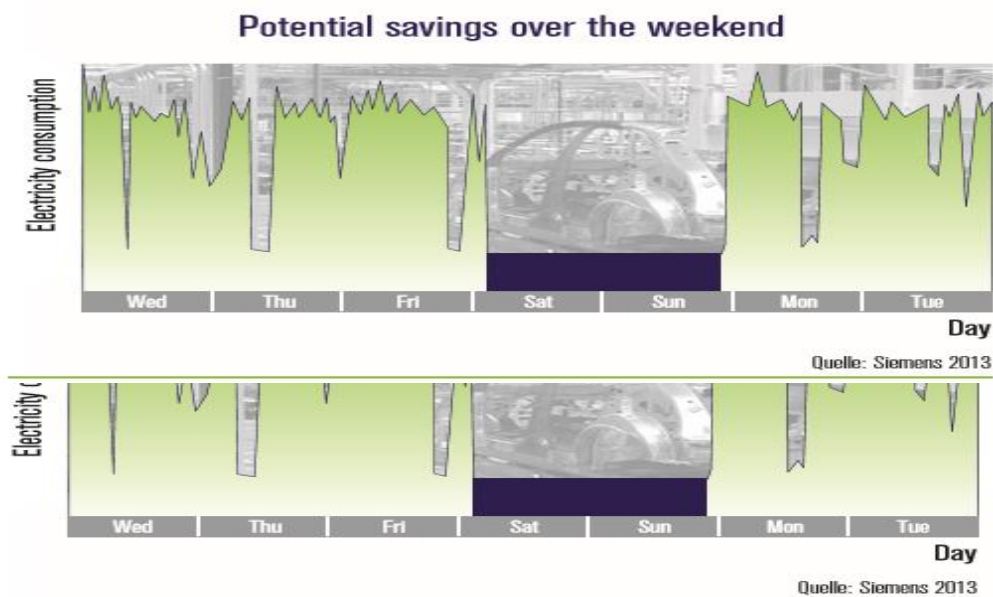


发挥能源效率潜力的措施：

未来，机器人即便在很短的生产间歇也可以关闭，而在比较长的时间段，他们将保持一种被称为“网络唤醒模式”⁴的待命状态；通风设备将可以控制速度以满足不同需求；至于激光源则需要全新的系统以适应节能需求。

综上，这些措施将可以减少总能源消耗的 12%（从

Tomorrow



45,000kWh/w 到接近 40,000kWh/w)，加上生产间歇节能 90%。这些使得能源利用更为有效的措施应该在 CPS 设计的最初阶段就加以考虑。

潜在的收益：

整合了可以控制部分设备开关的汽车车身生产线，将改善能源利用效率。同时，升级现有生产设备带来的成本/风险率也不高，这条道路必将成为一项技术标准，所有工业 4.0 计划中主导供应商生产的新型机械设备都将遵照此标准，从而将使改善能源利用效率最终达成。

⁴机器人由 PROFIenergy 控制

3 双重战略：成为领先的市场和供应商

第四次工业革命（工业 4.0）给德国制造业带来了巨大的发展潜力。越来越多的德国工厂配备虚拟网络—实体物理系统（CPS）将改善德国制造业¹的国内生产效率，进而做强德国制造业。同时，CPS 技术的发展也为出口技术和产品提供了重要的机遇。由此，实施工业 4.0 主要是为德国制造业撬动市场潜力杠杆，通过采用双重战略，即一方面在制造业中装备 CPS 系统，另一方面推广 CPS 技术及产品，进而达到增强德国装备制造业的目的。

3.1 领先的供应商策略

领先的供应商策略是从设备供应商企业²的视角专注于工业 4.0 的。德国的装备供应商为制造企业提供世界领先的技术解决方案，并藉此成为工业 4.0 产品的全球领先的开发商、生产商和市场先导。关键是若想实现创新的飞跃，现在就要寻找出智慧的手段，将顶尖技术解决方案与信息技术新潜力相结合。就是信息通信技术与传统高技术战略的系统性集成，企业得以管理迅速变化的市场和日益复杂的全球市场，进而能为自己开创新的市场机会。

1. 目前的基本 IT 技术需适应制造业的具体需求并特别要以应用为目标不断地开发。为实现规模经济，确保取得广泛效益，并作为向工业 4.0 迈进的一部分策略，有必要借助 CPS 功能推广制造技术和现有设备的信息系统。同时，有必要在新场

¹ 制造业企业包括，通过应用某一制造系统将原材料或半成品制造（或是委托别人制造生产）成一个完整的产品的所有公司。这包括加工过程和基础处理过程。

² 设备供应企业包含机器和生产制造、自动化产品、系统、解决方案和软件供应商，如产品生命周期管理系统（PLM）、制造或物流软件应用程序或业务规划软件系统的提供商。

所为设计和实施 CPS 制造业框架建立模型和发展举措。

2. 如果德国希望取得工业 4.0 装备供应商的持续领导地位，则应将研究、技术和培训都作为优先事项来推进（参见 5.2），在自动化工程建模和系统优化领域开展方法论研究和中试应用。
3. 另一项关键的挑战将是利用技术创建新型价值网络。这将包括开发新的商业模式，尤其是要考虑将产品与恰当的服务相衔接。

3.2 主导市场策略

工业 4.0 主导市场的就是德国国内制造业。为了形成并成功扩展这一主导市场，地处不同地方的商务活动需要建立紧密的网络联系，企业间也需建立更加密切的合作关系。这将反过来要求对处于不同价值创造阶段和产品全生命周期、产品不同生产阶段及相应的制造系统进行逻辑的、端对端数字集成。一项最特殊的挑战在于能够同时将全球化运作的大型公司和基本在地区范围运行的中小企业集成到正在形成的新价值链网络中。德国制造业的优势一定程度上在于其保持了工业系统中大批中小企业和少数大型企业的结构平衡。但是，或许是因为缺乏必要的专业人员或对其仍然不熟悉的技术战略持谨慎甚至怀疑态度，许多小企业尚未做好向工业 4.0 结构转型的准备。

将小企业融入全球经济价值链的一个关键策略，就是设计并实施一套全面的知识和技术转化方案。例如，建立试点并通过最佳案例对在大型工业企业和中小企业合作网络进行示范，使网络价值链潜力更加直观，以增强中小企业信心，接受主导供应商的方法、组织手段和技术的理念。这将扫除认知障碍，使中小企业

熟悉 CPS 技术的应用，将其应用到本企业中去。



德国经济以其强大的工业基础为特征，特别是它的机械与设备制造、汽车工业和能源工业。工业 4.0 的实施绝对是未来发展的关键——因为我们不能容忍国家的工业陷入停滞状态。

Ernst Burgbacher，国务秘书，联邦工业与经济技术部长

为了实现这一步，加快包括高速宽带数据传输（见 5.3）等在内的技术基础设施的应用和开发将十分必要。同时，教育和培训出熟练的技术工人（见 5.6），并开发定制复杂、高效的工作组织设计系统同样重要（见 5.5）。

3.3 双重战略及其关键特征

工业 4.0 最优配置目标，只有在领先的供应商策略和领先的市场策略交互协调并能确保其潜在利益都能发挥的情况下才能实现。自此，这种方法被称为双重战略。它包括三个关键特征（见 2.1）：

1. 通过价值链及网络实现企业间横向集成
2. 贯穿整个价值链的端到端工程数字化集成
3. 企业内部灵活且可重新组合的网络化制造体系纵向集成

这些特征可使制造商面对变化无常的市场灵活地根据不断变化的市场需求调整自己的价值创造活动，进而稳固自己的市场地位。在双重 CPS 战略下，制造业公司将在一个高速的、动荡的

市场环境下，按照市场价格实现快速、及时和无失误生产。

3.3.1 价值网络下的横向集成

价值网络横向集成的模型、设计和实施会对下面关键问题提供答案。

为什么企业通过使用 CPS 系统，可以将其新商业策略、新价值网络和新商业模式得到持续的支持和实施？

这个问题用在衡量研究、开发与应用领域也是如此(见图6)。除了“商业模式”和“在不同公司间的合作形式”外，也有必要应对诸如“可持续发展”、“商业秘密保护”、“标准化策略”和“中长期培训及员工发展计划”等问题。

3.3.2 全价值链的端到端工程

下面一个关键问题涉及到在整个工业生产过程中实现端到端数字集成这一目标，使现实世界和数字世界在产品的全价值链和不同公司之间实现整合，同时也满足客户的需求。

如何应用 CPS 系统实现包括工程流程在内的端到端的商业过程？

在这方面，建立模型对管理日益复杂的技术系统起着关键作用（见 5.2）。从产品开发到制造工程、产品生产和服务，应装备恰当的 IT 系统，为整个价值链提供端对端支撑（见图7）。一个跨越不同技术学科的、全面的系统工程方法是必需的。如果要实现这些，工程师们需要接受适当的培训。

Figure 6:
Horizontal integration
through value networks

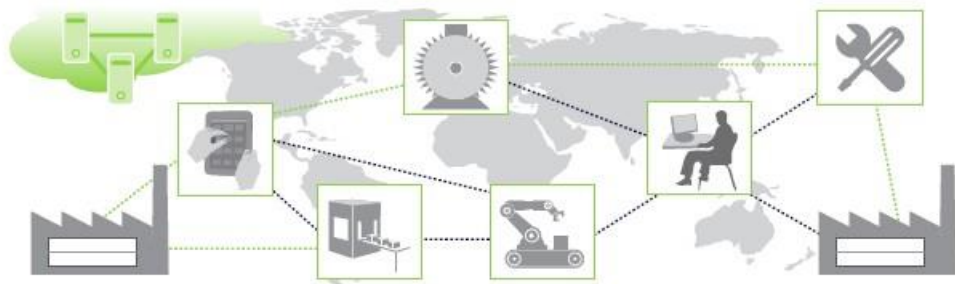


图 6：价值网络的横向集成

Figure 7:
End-to-end
engineering
across the entire
value chain



图 7：全价值链的端到端工程

3.3.3 纵向集成和网络化制造系统

对于纵向集成而言，以下关键的问题需要回答：

如何应用 CPS 系统创建灵活且可重新组合的制造系统？

纵向集成是在工厂进行。在将来的智能化工厂里，制造业结构不会固定并被先期限定。取而代之的，是根据个性化需求定制的一组 IT 结构化模块，根据不同情况下产品生产的需要自动搭建出特定的结构（拓扑³）——包括模型、数据、通讯和算法等所有相关需求（见图 8）。

为了实现纵向集成，确保不同层次的制动器和传感器的信号传输到 ERP 层面对端对端数据集成来说非常重要。为特别的网络化和重新组合制造系统开发模块化和重用策略，以及对智能系统

³ 拓扑是指如何通过资源配置（如机器、工作、物流等）和其相互作用关系（如原料周转）以完成制造业系统调配组合的一种途径。

进行功能描述也很重要。而且，带工者和操作员都需要进行培训，以使其了解这些方法的运行和操作对制造系统的影响。



图 8：纵向集成和网络化制造系统

参考信息：

工业 4.0 在战略层面有助于创建横向价值网络，在业务流程层面提供全价值链的端对端集成系统，包括工程，以及在工业系统上形成纵向集成和网络化设计。

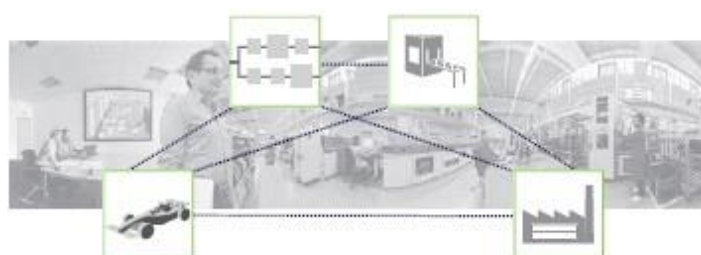
实施工业 4.0 战略计划——包括研究经费、具体开发与应用措施——应基于两个目标构建其双重策略，即在德国制造业企业中营造主导市场并将德国装备制造业建成世界领先的供应商。

应用实例 2：全价值链端到端系统工程

收益：端到端的数据系统工程和价值链优化将意味着，顾客不用再从供应商预先制作的产品系列中挑选产品；取而代之的是通过个性化功能和组件的混合或重置，来满足自己的特殊需求。

Today

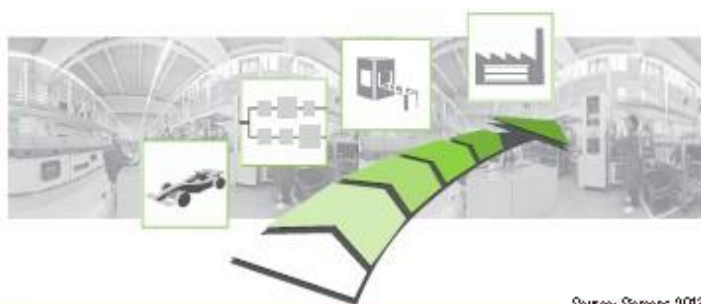
A variety of interfaces between IT support systems



Source: Siemens 2013

Tomorrow

End-to-end system engineering
across the entire value chain



Source: Siemens 2013

当前的价值链——从客户提出需求到产品设计和投入生产——往往是相对静态的，且需要多年时间完成。IT 支撑系统通过各种接口来交换信息，但是只能在具体个案中应用这些信息。这样无法催生产品制造的全球化视野。结果，尽管从技术角度来

说可以实现，但顾客仍无法自由地选到满足其所有需求的功能和特性的产品。例如，你可以为一辆汽车订购后挡风玻璃刮水器，但刮水器却不能用在由同一家公司生产的豪华轿车上。而且，目前 IT 系统的维护费用仍相当高昂。

通过 CPS 应用到基于模型的开发，可以完成端到端、模拟、数值方法等涵盖了从客户需求到产品结构、加工制造、成品完成等各个方面的配置。它可在端到端的工程工具链中，对各环节的相互依存关系进行确定和描述。这种制造业系统是打包开发模式，意味着它总能跟上产品开发的脚步。结果是，它开启了个性化定制产品的可行性。

在保存现有装备价值的基础上，可以通过多个阶段逐渐转移到这个工具链。

潜在收益

1. 高销售额源自更大的市场和更高的客户满意度。
2. 通过价值链中端到端的数字集成减少内部运营成本。

4 需求研究

尽管工业 4.0 将大部分由企业自己实施,但从根本上说它仍需开展更深层面的研究。2012 年 10 月,工业 4.0 工作组确定和提出了中长期研究需求和行动规划,下面部分加以概要说明。

工业 4.0 的主要目标就是实施基于领先供应商和主导市场战略相互协调的双重策略(参见第 3 章)。这需要研发活动的支撑。在工业 4.0 中,根据预期,这一革命性的应用将主要是 ICT 与制造业和自动化技术相结合的结果。

若要实现这一步,当前的 CPS 系统装置特征需在中期阶段适应制造系统。这将需要机械和设备制造商具有类似于系统集成商的能力,即能将 ICT 和自动化产业集成,并建立有针对性的、有创意的开发过程,用于创建新的 CPS 系统。更高水平的网络需要实现产品模型、制造资源和制造系统的端到端集成。因此,有必要从长远着想大力开展研发投入。

将来的研究将优先转向制造系统的研究和开发,这一系统能全面可描述、可管理、关联敏锐和可控或自我调制。

从长远看,这些将由包括来自交叉学科的,具有可配置使用帮助功能或在生产过程中可将自身嵌入到现有的基础设施协同工作的模块化工具包 CPS 功能组件。这同时也意味着应能使虚拟计划与实际制造过程的集成显著提高。从长远来看,研究人员需要开发出模块化的 CPS 并配备相应的组件目录,这是任何模型智能工厂一个关键特征。

创新的飞跃将只会在现有的基本技术被开发到可适应当前制造环境特殊需求的应用方式时才能实现。结论、方法和最佳实践案例需要推广到不同层次的价值网络,以获取交叉学科知识和

技术转移。正因如此，在阐述双重策略的章节（第3章）已对五个中心研究主题的三个方面进行了深入探讨：

1. 价值网络的横向集成
2. 全价值链端到端系统工程
3. 纵向集成和网络化制造系统

着眼长远，这种由技术驱动专注于制造系统应用的研究会提高公司间或行业间的跨学科合作，这将从战略上有力助推广大的中小型机械和设备制造企业。企业将更加迅速地应对市场需求，从而确保自己在新型产品、服务和商业模式的主要供应商地位。

但是，实现学科交叉不能仅靠单纯的制造工程师和自动化工程师的协作。第四次革命对未来的工业就业的重大影响，需在研究和实践层面来解决。这是我们讨论的第四个方面。

4. 工作场所中新的社会基础设施

在社会责任方面，有必要增加员工的参与度和促进主人翁责任感，在创新型设计和规划过程，以及改善员工工作环境中充分发挥他们的技术水平和工作经验。CPS 将因此需要新的覆盖整个价值网络的工作组织结构，来激发员工的工作效率，并提供可支持个人终身发展的组织架构。

应采取跨学科方法应对这些问题，吸纳囊括由工程师、IT 专家、心理学家、人机工程学家、社会和职业科学家，以及医生和设计师等组成的整体团队的聪明才智。

上述分析表明，目前在许多领域，制造工程与自动化工程领域协同工作的实际操作方法和基本技术仍未具备。

为了确保该方法用在包含各类 IT 系统、技术资源和能力的不同公司及行业，基本的信息通信（ICT）技术应能适应自动化工程的需求。取得成功更进一步的关键是，建立实用的参考架构。

这项工作还涉及需要建立用于纵向和横向集成的以服务为基础和实时的（或从属于）ICT 平台基础设施，这在第 2 章中已经提及。这些架构应是标准化的，使其能适配于不同企业和技术规划中，以便通过适当的 Web 服务器创建广泛的共享业务网络。

这将引导我们进入最终领域，即工业化 4.0 仍然需要研究及实施。



“通过工业 4.0，我们也能建立一种人—技术互动的崭新变化，就是机器适应人的需求而不是相反的情况。具有多通道用户界面的智能工业辅助系统，能将数字学习技术直接搬到生产车间。”

-----rer.nat 教授等，
沃尔夫冈·瓦尔斯特尔(德国人工智能研究中心 (DFKI GmbH) CEO，工业科学研究联盟通信促进组成员)

5. 虚拟网络—实体物理系统技术

诚如本节所述，综合研究需求已被分解成五个研究领域。通过工业 4.0 工作组收到包括商业和研究机构针对联络沟通小组的建议提出的反馈意见，建议反映在 2011 年 1 月和 9 月提交给工业科学研究联盟的两个报告中。这些建议，连同 BMBF 资助的项目“虚拟网络—实体物理系统集成研究议程”和 BMWi “互联网服务的经济潜力”研究的结果，都是可取的。因此，它们应被理解为，应使基本的 ICT 技术适应自动化与制造工程的需要造，

包括继续努力专注于一般性研究的需求。他们也应被看作是为了实现上述的“工业工程”具体应用中对实施需求的具体描述。

为了为有关资金计划的安排提供相关的思路和指导，工业 4.0 工作组进一步指出了中长期工作中的关键举措和研究需求。

参考信息：

有关部委和工业 4.0 平台需保持密集对话，以便形成一个综合融资方案供行业和研究团体参考。工业 4.0 平台应确保其工业指导委员会和科学咨询委员会是来自于制造业、自动化和信息、法律、管理和社会科学等领域的专家。工业 4.0 平台工作组应邀请研究和商业团体，协助其在力求满足每一工作组特殊需求的条件下，制定出综合各项建议的全面的研发路线图。

除了在工业 4.0 工作组内部促进讨论和非正式交流外，工业 4.0 平台还应能在现存的各种项目和合作伙伴间识别找出潜在的协同效应。¹

¹参阅制造业的 CPS 研究建议：“虚拟网络—实体物理系统在制造业上的应用诞生了智能工厂，在其中，产品、资源和流程都可由虚拟网络—实体物理系统来描述。较之于传统制造业，它们在质量、时效、成本等方面的特殊品质均占优势。2011 年，作为“工业 4.0”倡议的一部分，我们建议设立一个项目，旨在消除技术和经济上的障碍和加快智能工厂的实施与设置”。引用 acatech (Ed): 在人员流动、健康、能源和生产方面的创新驱动动力。

5 优先行动领域

工业 4.0 是一项复杂的计划，它包括几个部分重叠的领域。2012 年 10 月，工业 4.0 工作组提出了全面征集中长期研究建议。为对建议的重点关键领域优先执行，以下各节主要讨论工作组认为需要采取的具体产业政策和业务决策。为了规范实施过程，成立了工业 4.0 平台。

5.1 标准化和开放标准的一个参考体系

如果工业 4.0 是为了通过价值网络（见第 3 章），使公司间联网和集成，需要制定相应的标准。标准化工作将需要把重点放在规定的合作机制和信息交换。完整的技术说明和这些规定的执行，被称为参考体系。

因此，参考体系是一个通用模型，适用于所有合作伙伴公司的产品和服务。它提供了工业 4.0 相关的技术系统的构建、开发、集成和运行的一个框架。它构建了软件的应用程序和服务架构（参见图 9）。

由于工业 4.0 的价值网络包括几个非常不同的业务模型的公司，参考体系的作用是将这些不同的方法统一到到一个单一的、共同的方法。这将需要合作伙伴们基本结构原理、接口和数据等方面达成一致意见。

制造业系统的示例中提出了一些不同的方面，需要被集成到一个参考体系中（参照图 10）：

- 从制过程中的加工和运输功能的角度来看

- 从制造系统中特定的网络设备（智能）的角度来看，如自动化设备、现场设备、现场总线、可编程逻辑控制器、操作装置、移动设备、服务器、工作站、网络接入设备等

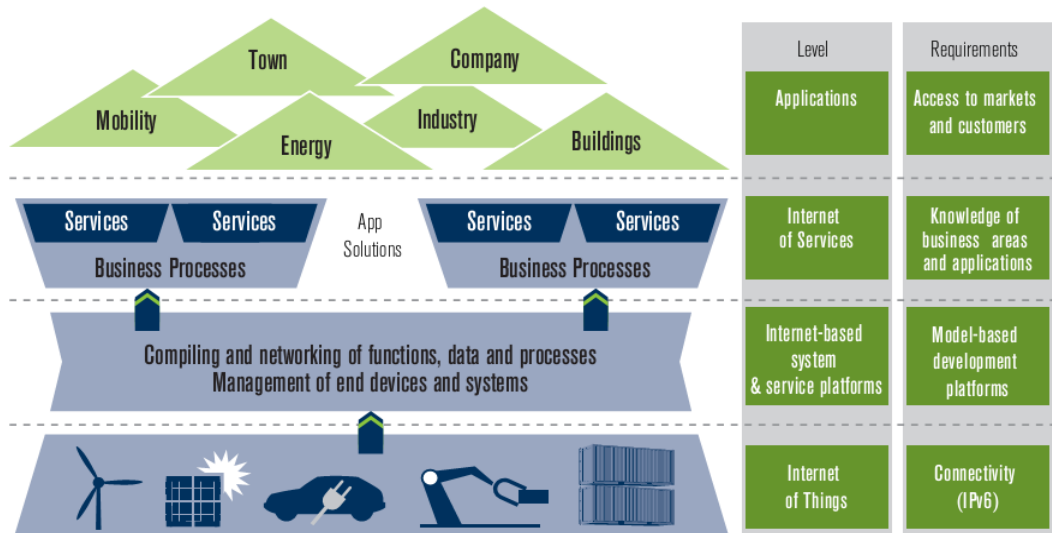


图 9 互联网服务与物联网连接的参考体系

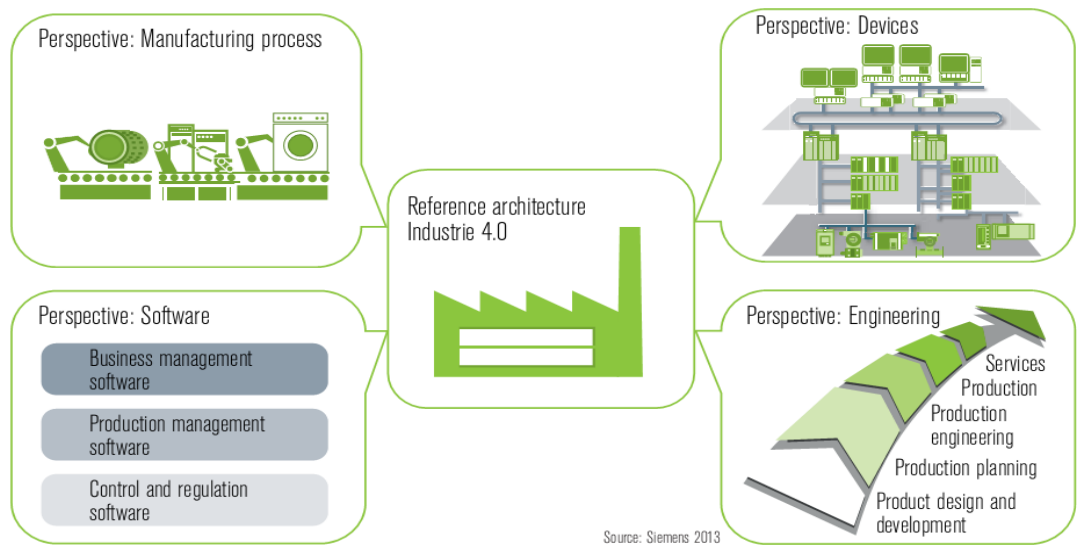


图 10 工业 4.0 参考体系中不同视角的示例

- 从制造环境中软件应用的角度看，如数据采集传感器、顺序控制、连续控制、环环相扣、运行数据、机床数据、处理数据、归档、趋势分析、规划和优化功能等；
- 由一个或多个企业使用的软件应用程序，如业务规划和管理、公司间的物流或配套价值网络，包括与制造业环境相关的接

口和集成。

- 制造系统的工程视角（产品生命周期管理/ PLM）。例如，这可能涉及使用数据衍生制造过程中所需的资源（诸如机械和人力资源）。随后，它将有可能在机械、电气和自动化技术性能方面优化机器，面向制造系统设置和联机的需要，同时也考虑到操作和维护。

挑战

第一个挑战是使得在下列领域中，把目前业已存在的处理问题的不同方式集中起来，并建立起一个共同认可的方式。

- 生产工程、机械工程、工艺工程
- 自动化工程
- IT 和互联网

由于工业 4.0 将需要公司之间在机械和设备制造、自动化工程和软件业之间进行合作，第一步是要在共同基本术语上达成一致。

尽管一些既定的标准已经在各种技术学科、专业协会和工作组中使用，但是缺乏对于这些标准的协调。因此，有必要将现有标准，如在自动化领域（工业通信、工程、建模、IT 安全、设备集成、数字化工厂等）纳入一个新的全球参考体系。

参考体系不能以自上而下的方式发展，因为它需要整合几个不同的视角，而自上而下的方法通常会花费太长的时间。因此，从不同的出发点推动参考体系渐进性地发展更合乎情理。在这方面，这将是必要的策略，将目前经常发生在地区情况基础上的特定项目，逐步转换成在一个国际标准下加以实施。重要的是这样做，能确保接口保持技术稳定，使用多年，以保持安装基础的价

值。

在互联网上，标准化的方法是基于目前机械和设备制造业常态下的不同范式，例如

- 开放的作业系统：例如 Linux 公司，一个由 100 多个国家的超过 2000 名的企业、研究机构和个人创业组合到一起的企业，发展和维护成世界上最成功的操作系统之一。
- 开放式开发工具：一个包括超过 1500 名开发人员和以百万计的用户参与软件开发的行业，为要求苛刻的应用程序建模。
- 开放式通信基础设施：“征求意见稿”是由成立于 1969 年 7 月 4 日的互联网协会出版的技术和组织文件。它们被广泛接受和使用，从而被转化为事实上的标准。著名的例子包括因特网协议和电子邮件协议。

这些范例使标准化工作进展更为迅速。

最后，对参考体系建立信任是很重要的。特别重要的是知道如何保护（见第 5.7 章）。确保参考体系的预定用户以适当方式全方位地参与早期的设计，也很关键。

建议采取的行动

工业 4.0 工作组建议在工业 4.0 平台下成立一个工作组，专门处理标准化和参考体系的问题。工作小组的职权范围将包括以下任务：

- 建立对目标、利益、潜力和风险、可能的内容和实施策略的共同理解，以便建立互信，从而支持联合执行措施。专业协会应带头实施建立互信措施。
- 瞄准关键术语和后续生产制定通用的“工业 4.0 词汇表”。此外，应该对以下方面与工业 4.0 具体内容有关的问题给予详

细关注。

- 模型共性（底层的核心模型，参考模型，架构设计）
- 工业 4.0 服务架构标准
- 一个超自动化水平的程序和功能的描述标准
- 术语标准和使用本体
- 对自治和自组织系统的了解，包括它们的策划、运作和安全
- 特性维护和系统结构描述
- 改变现有的架构方法
- 制定自下而上的地图，概述目前存在的标准化机构。现存的“自动化参考架构”方法和实例，将标示在地图上。在当前工业 4.0 和识别集群主题尚未覆盖的背景下，这可以作为评估不同的主题进一步发展和迁移的基础。
- 考虑到成本效益和时间的限制，开始生产工作依据自上而下的路线图。应该采取一种全面的方法，在标准化和个性化之间实现合理的平衡。结构应该公开和透明，所有的利益相关者应该参与到标准的开发和应用。许可模式也应得到解决。
- “工业 4.0 社区”发展的成员来自几个不同的公司，对参考体系的技术实施负有责任，能使其运行起来，并保持长期维护。这将需要选择一个合适的许可模式和合适的社区进程。
- 由其它任务组成的工作组，任务包括协调、建议、评估、沟通和激励。

工作组还建议建立适当的旗舰项目，以展示成功开发和部署的参考体系。图 11 提供了一个可能的参考架构，专注于横向集成价值网络。

参考体系的其他主题包括终端到终端工程产品及其相关的

制造系统或管理和控制制造工艺的高动态技术的实时进程通信。

5.2 管理复杂的系统

产品以及其相关的制造系统变得越来越复杂。这是由于功能的增加、产品用户特定需求增加、交付要求频繁变化、不同技术学科和组织日益融合、以及不同的公司之间合作形式迅速变化的结果。

建模可以作为一种手段管理这一日益复杂的系统。模型代表与正在考虑的问题有关的真实或假设的情景。模型的使用是数字世界的一个重要战略，对于工业 4.0 来说也是至关重要的。。

两类模型之间有着根本的区别：

- 规划模型提供了工程师创造价值方面的透明度，从而使复杂系统的建立成为可能。规划模型的一个例子是由工程师通过示意图来解释，他或她如何实施适当的功能，以满足系统的要求。因此，该模型包含工程师的知识。
- 解释性模型描述现有系统，以通过模型获得这一系统的知识。这通常需要采用不同的分析方法，如仿真。例如，它可以用来仿真计算一个工厂的能源消耗量。解释性的模型通常用于验证工程师的设计选择。

数字世界通过规划模型对现实世界的设计产生重要影响，而现实世界也通过解释模型影响数字世界中模型的使用。¹

模型通常包含形式化描述，这意味着它们可以通过计算机处理，让电脑接管日常工程任务，如执行计算或其他重复性工作。因此，模型的好处之一是它们允许体力工作实现自动化，并在数

¹ 模型可以解决一个非常广泛的真实的或假想的情境，例如技术体系：产品，制造资源或整个制造系统，又如生物方面：人类行为或生物的相互作用，物理或化学的相互作用和影响，或者组织之间：如组织结构及业务流程。

字世界状态下加以执行，而此前这些工作是在现实世界中操作的。

模型提供了巨大潜力，不仅用于工业 4.0。例如，它们允许在一个项目中通过早期检测错误或早期验证系统的要求和提出的解决方案来满足这些需求，减少风险。或者，它们可以提供一个透明的信息流，通过增强跨学科合作和促进更一致的工程数据，实现高效工程。

解释模型描述了现实世界中的交互和行为，不仅在开发和设计阶段起到验证作用。在未来，它们将主要部署在生产阶段，以检查生产运行平稳，检测磨损，无需停止生产或预测组件故障和其他干扰。

挑战

特别是在中小企业，仍然无法基于模型模拟使用标准的方式来配置和优化制造工艺。工业 4.0 的一项主要挑战是在更广泛的工程领域提高对模型潜力的认识，提供工程师方法和工具，使其能够在虚拟世界中使用适当的模型来描述真实世界的系统。（参见第 5.6 章）

有某些情景下（如化学物生产过程中的相互作用）不存在合适的模式或很难将他们描述为一个正式模型。

与不明确使用模型相比，为工业 4.0 开发明确的模型在初期需要较高的资金支出。这是因为一种可以降低后期成本的增值活动被提到早期阶段。这立即引起了建模是否具有成本效益的问题。答案显然是要看它针对的是何种业务。在高产量行业（如汽车行业）或有严格安全标准的行业（如航空电子²行业），公司更有可能接受较高的初期投入。如果它们只生产小批量或个性化产

²航空电子设备（该词来自于词语“航空”和“电子产品”，其中“航空”取自拉丁语中的 avis 或鸟）是指所有安装在飞机上的电气和电子设备。

品，则不太可能这样做。在这方面，客户的具体活动费用、客户无关的活动费用的比例，也起着重要作用。模型成功的关键是它们应符合成本效益，并且得到有效应用，不只是用于设计阶段，而且也能用在随后的阶段，包括操作。

建模与仿真只能由合格的专家来实施。因此重要的是，有关企业应给这些专家提供合适的职业机会。目前，机械工程行业中小企业的员工，谁被认为在这个领域是合格的，往往很大程度上被视为“怪人”。

最后，一个全面的方法应是为工业 4.0 “引进来”模型。首先，这将需要对产品和制造系统综合考虑，既要为他们配备模块化的设计，又要确保不同学科的参与（如制造工程，自动化工程及 IT）。其次，实际发生在工厂的开发、工程和制造工艺等过程也必须全面地考虑到。最后，建模需要高效的软件工具，进行优化和调整提供必要的功能，使它们能与现有的工具和流程集成在一起，并使其与推广战略相一致。

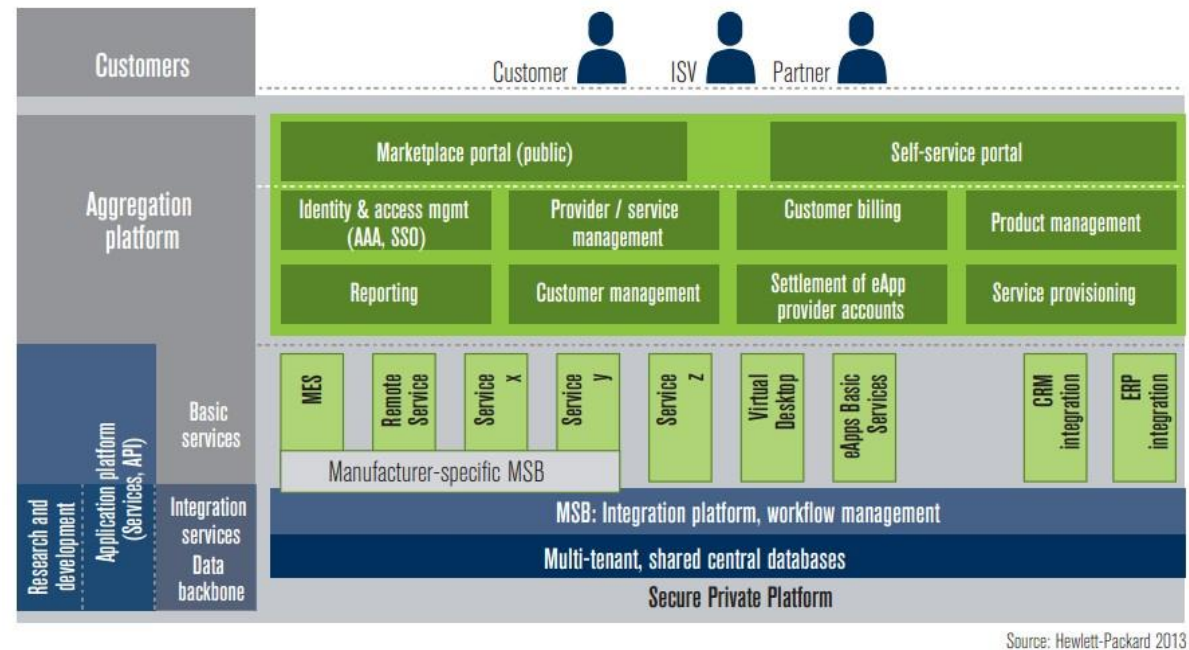


图 11: CPS 平台参考体系示例

建议采取的行动

工业 4.0 工作组建议在工业 4.0 平台下成立一个工作小组，专门处理与建模管理复杂系统有关的问题，特别是在制造工程领域。工作组的职权范围应包括以下任务：

- 有代表性的调查应瞄准建模领域最迫切的要求，以缩小这种非常广泛的学科领域，集中到执行中最重要的方面。
- 最佳实践应实现共享，尤其是在中小企业间，以在从业者和决策者之间宣传建模的重要性。潜在的主题可包括模块化、虚拟新创企业或数字工厂。此外，应安排适当的活动，讨论进入壁垒和迁移策略（参见由专业协会所做的一项调查要求提供的更多信息，第 2 章）。还应为相关组织和专家团队提供协调服务，作为一个一站式服务点为（潜在的）用户回答模型建设问题。
- 工作组应鼓励工具用户建立共同的用户群体，工具制造商（产品经理，建筑师）和培训人员，以期通过参与其中，更好地了解对方情况。根据工业 4.0 主要供应商，重点应该以“机器及设备制造”为目标用户群，为工具制造商提供一个平台，提供满足他们的需求最佳解决方案（如集成，端对端能力，缺点和潜力）。最好能邀请特定工程工具的用户群，参与相关的议题。
- 此外，工作组应该建立适当的指导方针和行动建议。

除了平台的活动，在建模和系统工程方面应作出有针对性的努力，提供培训及持续职业指导（CPD）。这既为年轻工程师提供适当的培训，也为经验丰富的工程师提供适宜的持续职业指导措施。培训的内容应专门面向制造企业的要求（见第 5.5 和 5.6 章）。

工作组还建议建立适当的旗舰项目，部署和测试现有的建模

方法和工具，以说明在不同情况下建模的价值（工程与操作，大规模生产与小批量或个性化产品，制造业与加工工业，内部设计制造与公司间合作生产，生产与物流等）。

5.3 为工业提供一个全面宽频的基础设施

如果 CPS 是一个广泛的基础上推出的，一般来说有必要建立一个比目前的通信网络提供更高容量和更高质量的数据交换基础设施。

工业 4.0 的核心需求是提升现有的通信网络，以提供保证的延迟时间、可靠性、服务质量和通用带宽。为与国家 IT 峰会在《2011 年的数字基础设施年鉴》中提出的建议一致，需要在德国、德国和其制造伙伴国家之间大规模地扩大宽带互联网基础设施建设。³

“高运行可靠性和数据链路可用性是机械工程及自动化工程应用的关键。保证的延迟时间和稳定的连接是关键，因为他们直接影响应用程序的性能。网络运营商应该多做些工作，以满足企业的意愿。

- 绑定可靠的 SLA（服务水平协议）
- 通信容量的可用性和性能
- 支持数据链路调试/跟踪，尤其是提供相关的技术援助
- 提供广泛可用/有保证的通信容量（固定/可靠的带宽）
- 所有移动网络运营商之间的短信传递状态通知
- 标准化的应用程序编程接口（APIs）的配置，涵盖所有供应商（SIM 卡激活/停用）

³以下报价取自：Arbeitsgruppe 2 des Nationalen IT Gipfels (Ed.): Digitale Infrastrukturen. Jahrbuch 2011/2012, 2012, pp. 176-177.

- 资费管理
- 移动服务合约的成本控制
- 服务质量（固定带宽）
- 负担得起的全球漫游
- 广泛使用的嵌入式 SIM 卡
- 以卫星为基础的解决方案 [在人烟稀少的地方]。”

不只是工业 4.0 需要这种基础设施，所有 CPS 应用也需要，包括在能源和医疗保健领域的（见第 2.1 章）。

挑战

一个有效的宽带基础设施，是有大量的用户访问，总体要求是简单、可扩展性、安全性、可用性和支付得起。

建议采取的行动

工业 4.0 工作组强烈建议实施扩大德国的宽带互联网基础设施，即第二工作组在 2011 年全国 IT 峰会提出建议的“数字基础设施”。有必要对具体应用进行研究，以建立工业 4.0 所需的确切带宽和实时能力。

按照第二工作组的建议，工业 4.0 工作组还建议扩大德国的宽带互联网基础设施。

5.4 安保是工业 4.0 成功至关重要的因素

对于生产设施和它们制造的产品来说，安保是其中的两个关键环节（见信息面板）。一方面，它们不应对人或环境（安全）构成危险；另一方面，生产设施和产品，尤其是数据和它们所包含的诀窍，需要加以保护，以防止误操作、未经授权的访问（安全）。与后者相比，前者多年来已成为生产设施及其制造产品设计方面重要的考虑因素。生产安全是受一个整体机制所规范，其

法规和标准管理着此类系统的建设和运营⁴。

自从上世纪 60 年代末信息技术首次与机电相结合(工业 3.0⁵)，制造业环境中对于生产安全和信息安全的要求就急剧增长。为操作过程中的安全提供确凿证据变得更加复杂，同时，信息安全也逐渐显现出来。那些已出现在工业 3.0 (“公测版本”的工业 4.0) 的许多安全问题尚未得到完全解决。尤其是安保措施往往实施很慢而且经常只提供部分解决方案。随着工业 4.0 的来临，有关安全的进一步要求势必会提出。基于 CPS 的工业 4.0 的制造系统涉及高度网络化系统结构，将大量的有关人、IT 系统、自动化元件和机器信息纳入其中。高容量且通常是时间性强的数据和信息交换发生在技术系统组件间，其中许多是自主行为。同时，更多的参与者涉入到整个价值链(见第 2 和第 3 章)。然而，安全问题总是整个系统的特性。因此，除了运营安全问题，广泛的网络和假设潜在的第三方访问至少意味着一系列全新的安全问题呈现在工业 4.0 背景中。只有以下几点付诸实践，才有可能使工业 4.0 得以实施并让人们接受它：

1. **从设计上保障安全是一项关键的设计原则。**在过去，针对外部攻击的安全通常由物理措施来提供，例如访问限制或其它中控安全措施。在基于 CPS 的生产系统中，在以后的某个时间点上简单地将安全功能注入到系统是不够的。在涉及到安全问题的所有方面，必须从一开始就被设计到系统中。

2. **需要制定和实施 IT 安全策略、架构和标准**，以赋予高度的保密性、完整性和可用性，使得这些高度网络化、开放和异构组件间可以相互作用。保护数字化过程中的诀窍、知识产权和数据，一般每一个体制造商和运营商，不论是相对于外面世界，还

⁴这些规章样本包括欧洲机构方针 2006/42/EG 和德国的设备和产品安全第九章的变更形式 Act, 9. ProdSV

⁵第一台可编程逻辑控制器 (Modicon 084) 于 1969 年在制造中有效利用，见第 1 章

是关于隶属不同的运营商和（或）制造商的相对另一方的组件，它们还需要提供一个适当的、可靠和负担得起的解决方案（见第 5.7 章）。

因此，在工业 4.0 中，总是需要采取全球性安全措施。必须要考虑到信息安全措施（加密程序或认证程序）对生产安全的影响（时间关键功能、资源可用性）；反之亦然（“一个子系统内的特定关键安全功能是否会增加网络攻击的风险？”）。

此外，鉴于目前的情况，还需要一个关于安全的工业 4.0 双重策略。首先，现有的工厂将必须升级安保措施，以满足新的要求。通常机械长寿和创新周期短，与外部的和在某些情况下很难联网的陈旧基础设施一起，意味着这将不会是一件容易的事。其次，要为新的工厂和机器制定解决方案。从第三到第四次工业革命的过渡应该尽可能无缝，而且应该可以清楚地被所有相关利益攸关方理解的方式来实现。两个支柱对策的一个关键方面是在整个价值链中所有执行者的安保问题及相关的架构，在实施前要达成共识。

挑战

在工业 4.0 中，面对安保挑战是不同种类的。撇开技术挑战，成功的安保解决方案，也必须要解决商业、心理和教育问题。例如，企业界目前缺乏完全标准化的操作平台，以实施足够的安保解决方案。这些方案要针对其实施和成本方面企业的具体要求，让它们不只是被视为成本驱动。往往无力对现有的基础设施进行扩大或升级，特别是因为许多安保解决方案最初是为其他行业或应用而开发的。此外，安全意识往往起着关键作用，特别是关于 IT 安全问题。目前不同行业的安全意识水平差异太大。考虑到工业 4.0 将使价值链中不同合作伙伴间的网络联系与合作

不断增加，合作伙伴彼此间的相互信任（安全及信任）将需要提升到更高水平，以及为他们提供的竞争力确凿证据，是必要的。

机械和设备制造商越来越意识到软件的增值潜力，这造成了将使制造设施及机器中的软件组件数量急剧上升。然而，人们对相关的 IT 威胁仍然时常知之甚少。自公众就恶意软件，如 Stuxnet, Duqu 或 flame 展开辩论以来，工业 IT 安全问题才开始在自动化行业中讨论。此外，在提供和维持安保方面，软件也发挥着越来越重要的作用。但是必须要实施的、方案有效的制造过程，仍未走上正轨。

总体而言，与迄今的案例（尤其是安全设计方面）相比，工业 4.0 将需要一个对于安保更积极的方案。同时，一旦发展过程结束，特定保险或安全问题已经发生，安保问题往往只能被动地提出。然而，安保解决方案这一迟来的实施，既昂贵，往往也不能提供一个解决相关问题的永久方案。因此，安保不能简单地分解为功能部件，而应该视为一个过程加以发展。为了实现快速响应时间，通过监测和跨部门综合信息交流来提供支持，也是重要的。同时，风险评估指标监测不足，特别是与工业 IT 安全相关的方面，几乎没有任何安保事故信息的交换。这些方面的措施将有助于阻止病毒的传播或识别网络攻击。

“安全”是指技术系统（机器、生产设备、产品等）不应造成人或环境的危险；而“安全”是指系统本身也需要加以保护，以防止滥用和未经授权的访问（访问保护、安全攻击、数据和信息安全）。安保的各个方面都与工业 4.0 相关，有必要划清这两个术语之间的区别：

安全/IT 安全/网络安全：保护数据和服务（数字）系统，以防

止误用，例如未经授权的访问、修改或销毁。安全措施的目标是提高保密性（特定机器/人类用户的数据和服务的访问限制）、完整性（数据的精度/完整以及服务的正确操作）和可用性（测量系统在特定时间内执行函数的能力）。根据问题的技术系统、数据及其合并的服务，安全提供了信息隐私性的基础，例如即保护个人防止其个人数据被侵犯的权利。它还能够保护技术诀窍，例如保护知识产权。

保险：缺乏人与环境系统运行，会产生不可接受的风险和威胁。

“保险”需要操作的保险和高度的可靠性。根据技术系统问题，保险也可能涉及了其它方面，如防止机械或电气危险，辐射防护，预防有关蒸汽或高压的危害等方面。操作保险是指依赖于所提供系统或由该系统本身的正确操作。组件要求提供运营的保险，包括低故障率、高容错性（即能够保持正常运行，即使发生故障时）和鲁棒性（基本功能的能力，以保证在发生故障）。可靠性是指既定环境下既定时间内一个（技术）系统正常运行的概率。

建议措施

作为网络安全问题研究的一部分，联邦信息安全办公室（BSI）列出了当前直面工业控制系统（ICS）的十大最严重威胁名单。⁶工业 4.0 工作团队已与多位专家一起，形成了一份安保方面包含 8 个优先行动领域的名单：

1. 集成的安保战略、架构和标准

工业 4.0 需要修改安保策略以及在整个系统生命周期内相应原理和方法的系统应用。这就要求以建立“知识库”作为这种

⁶ BSI 网络安全分析，BSI-A-CS 004，1.00 版本，日期 12. 4. 2012.

方法的基础。这使得目前所用的策略和流程将可以应用于过程自动化和机电工程等行业，以便使 IT、汽车和航空航天行业应用的安保策略和流程适于工业 4.0 的特殊要求。

- 需要研究开发隶属于不同厂商和运营商间基于假设开放、协作子系统的安保策略。这些策略要基于那些在受到威胁情况下可初步开发个别行业如机械工程或汽车供应行业，但这些策略最终还是要适用于所有行业。
- 确保相关策略和系统的研发与其他安保研究项目的紧密协调非常重要。这些项目包括诸如身份证据的安全、网络安全或关键基础设施保护，以及知识与其他行业的交换，如汽车和航空工业。
- 建立在这些策略之上的制造系统安保架构，应该被定义为工业 4.0 方案的参考架构。应尽可能使它们都能向后兼容现有的工业 3.0 系统。

除了确保工业 4.0 成功关键的方法和程序的标准化，这些参考架构也可以用来测试那些已定义的以及测试设备已被建立起来的程序。这些程序可以用来测试从个人计算机到网络的机器和应用阶段的各个层面上的整体安保系统。参考架构还可以作为给那些新的以及尤其是现有子系统发放安全分类和证书的基础。因此，这种方法构成迁移策略的组成部分。

2. 产品、工艺和机器身份识别的独特性和安全性

在整个制造过程中的安全信息交换是工业 4.0 被认可和成功的关键。这适用于机器及其部件、所交换的数据，受影响的过程及其所涉及的组织单元。要启用此交换，单独的机器、过程、产品、元件和材料具有的独特电子身份识别是必要的。而且，最好是发放一种包含风险细节的“安全护照”的组件。这些风险已

经被考虑到，在开发过程中可以抵消，并且这些风险需要集成者、安装人、操作员或用户也都需要考虑到。护照还包含上面提到的安全分类。

作为安全身份的一部分，这些护照可以形成一个 CPS 的生产环境中，在它发展和在生产过程中都能为整体安全系统评级的基础。安全评级会考虑产品的价值、潜在的威胁以及修改或相应的对策。因此，“安全标识”的战略对策应扩展到包括“产品”、“机器”和“过程”，而且应该像实物产品一样，纳入虚拟产品。

3. 从工业 3.0 到工业 4.0 的迁移策略

迁移策略的目标是逐步提高目前工业 3.0 设施（有可能继续使用相当长一段时间）的安全性，并且为转换到工业 4.0 做好准备。然而，异质性、使用寿命长以及现存制造设施个性化本质都阻碍了 IT 安全解决方案共同标准的发展。因此，除了上述评估现有设施的当前状态、迁移策略也将需要一个标准化过程模型的发展。这一模型可以使得个人安全解决方案快速实现、务实和更具成本效益。这个程序可以通过调整现有（通用）的 IT 安全流程来实现。基于个人安全目标，找出弱点和威胁的状态分析，以及随后建立一个措施目录，并加以实施。

4. 用户友好的安全解决方案

人们往往对那些用户不友好的流程和应用避而不用。这可能会对安保解决方案，特别是在高度网络化的环境中，造成致命后果。因此，有必要制定面向用户需求、拥有友好用户界面的安保解决方案，从而保证应用系统得以执行。从最初设计阶段起，这些因素就应在工程、经营权包括维护过程中考虑到。

5. 商业管理方面的安保

不可避免的是，安保始终是成本因素。当机器发生故障，它

们即会造成直接影响（如低营业额），也会产生间接影响（如客户、供应商、合作伙伴的赔偿要求或对公司形象造成损害）。然而，到现在为止，很少有厂家利用保险来处理因 IT 问题所造成损失。因此，有必要制定能够更加清楚计算工业 4.0 本身风险和相关安全解决方案成本的方法，而不是在一个真实或怀疑收到威胁事件时，转变成关停生产设施。

6. 安全保护与打击盗版产品

成功的产品始终会成为盗版产品目标。因此，在一个全球性的市场中，保护知识产权是高工资经济体存在的关键⁷。与这种现象有关的问题并不局限于其对销售的影响，而且也包括企业形象受损和技术先机的丢失。在最极端的情况下，昔日的盗版者甚至可以成为竞争对手。此外，问题不仅限于往往相当复杂产品的物理复制——企业和产品技术先机的被窃现在也变得越来越普遍，尤其是对目前仍然很容易复制的软件或配置这种形式。

对于价值网络中不同合作伙伴间更高层次的合作，防止盗版产品对于工业 4.0 就显得更加重要。因此，有必要在技术层面工作，特别是在企业和竞争法的层面找到解决方案，以确保信任和透明度平台能够同时保护关键商业技术机密。

7. 培训和（内部）持续职业发展

对于一个组织的所有成员，IT 安全问题知识是必不可少的。这对于提高所有人的意识是至关重要的，这包括了参与生产的所有人，从熟练的机器操作员、安全软件开发员到设备工程领域工作的规划师。在商业工程中实施安全方案，仅仅安装技术产品还不够，即使它是用户友好的（见第 4 点），员工也需要得到充分

⁷根据德国工程联合会（VDMA）进行的最新调查显示，在 2011 年，德国机械和设备制造损失正好 8 亿欧元的销售价值在非法盗版上，这距两年前的上次调查，上升了 24%。如果这些损失的钱可以重新使用，足够支付行业中的 37,000 个就业机会。现在，从三分之二的企业在参与调查产品盗版的影响，上升至 93%，员工 1000 余人，这些公司都是国际间比较活跃的公司（见 VDMA: Studie der Arbeitsgemeinschaft Produkt- und Know-how-Schutz, Produktpiraterie 2012, November 2012）。

相关安全要求的训练。在生产环境中，适当提高认识的活动有助于克服目前这方面的短板，而在高等教育机构引入这一主题的必修课，将有助于为未来的劳动力做好准备（见第 5.6 章）。

8. 工业 4.0 中数据保护的“社区建设”

工业 4.0 将需要更严格的数据保护计划，例如通过智能工厂或智能辅助系统的机器，记录和分析员工的健康信息，这在技术上是可行的。在德国，个人信息的使用是一个特别敏感的问题，因此那里信息自决权受到很多关注。因此，建议数据保护的话题应在“安全标识”的初始战略、联邦信息安全（BSI）、联邦和地区数据保护专员、工会及劳资联合会间的密切合作中得到解决（见第 5.7 章）。

为了确定优先次序以制定路线图或产生一个需求目录，工业 4.0 平台需要进行深入的讨论。在设想工业 4.0 最佳解决方案之时，考虑到不只是如何提供机器和部件间的安全通信，而且个体机器固有的安全也要考虑到，这是重要的。建议重点应该是务实的解决方案，这相对于现有的而无需等待长期“理想”解决方案研发的设备来说，能够立即实施（见第 2.1 章）。

德国在复杂 IT 安全解决方案和安全领域都占据世界领先地位，而德国保安专家在全球范围内也享有良好声誉。然而，传统的 IT 安全产品绝大多数是在其他国家生产，如美国和以色列。通过借鉴其在制造、自动化工艺、机电工程和嵌入式系统方面独特技术先机所提供的竞争优势，在 CPS 和 CPS 产品平行发展的同时，德国有机会建立自己的安全行业——工业 4.0。重要的是要迅速采取行动，以确保这一优势能够在工业 4.0 中充分发挥其潜力。



“为了满足中小型企业的需求,工业 4.0 需要开发技术和组织解决方案,在企业中利用专业的方案是很有必要的,保护工人的组织与实践培训是实现方案的关键。”

-----乔治·舒特博士（德国联邦教育研究部国务秘书）

5.5 数字化工业时代工作的组织和设计

工业 4.0 对工作环境会有什么影响? 在分散的高技术经济体中 CPS 普遍存在的情况下,企业与社会将面临怎样的责任?工作如何应对这些变化?面对未来日益发达的自动化和实时导向性控制系统,我们怎样确保人们的工作是愉快、安全与公平的? 这些问题的答案决定着是否有可能通过广泛的自动化控制、以知识为基础和与传感装备制造系统调动已有的创新和生产力储备,并确保竞争优势。

创新不应仅聚焦在克服技术难题上。由于员工在执行与吸收技术创新中起到关键作用,因此,创新的范围应扩展到包括工作与员工技能的智能组织。随着开放虚拟工作平台与人机交互系统的广泛使用,员工的角色会发生很大变化。工作内容、工作流程和工作环境会发生转变,同时导致在工作灵活性、工作时间规章、医疗保健、人口学和人们业余生活方面产生影响。因此,为了使未来获得成功的技术集成,需要形成创新的社会组织。

挑战

在工业 4.0 时代，工作性质很可能将在管理复杂局面、抽象工作与解决问题方面对所有的劳动力提出更高的要求。员工需要有较强的主观能动性、极好的沟通能力、组织自身工作的能力，简单说，就是对员工的主观能力和潜力提出了更高的要求。同时，也会在丰富的工作内容、更有趣的工作环境、很好的自主性和个人发展方面提供更多机会。

然而，新的虚拟工作场所的要求也对维持和保护人才资本的安全构成了威胁。随着技术集成的不断提升，员工需要更具灵活性和处理更多要求苛刻的任务，同时，虚拟世界与员工实际工作之间的冲突也会上升。这会导致员工失去控制或在工作中出现疏离感，这正是渐渐形成的无形虚拟的商业与工作模式所导致。也有可能是新老矛盾叠加导致大量的创造力和生产效率丧失和员工工作量增加的倾向。

最后，需要考虑的重要一点是制造业中出现越来越多的信息技术对招聘员工数量的影响。简单体力劳动者的需求将会不断下降，这会对于一部分员工特别是半技术工人的就业问题构成威胁。这样的情况对于员工本身讲是不能接受的，从社会融合这一社会上广泛的公众观点来说也是如此，而且也会严重阻碍工业 4.0 的成功实现。

技术与工作组织协调一致

智能工厂提供一个创建新的工作文化环境的机会来满足劳动人员的利益。然而，这种可能性并不是简单的自然而然就可以实现的。采用合适的工作组织和设计模型将是至关重要的，这种组织模型可以将高度的个人责任感和自主权与分散的领导和管理方法相结合，让员工拥有更大的自由来做出决定，更多地参与

和调节他们自己的工作量，同时又能支持灵活的工作安排。

技术可用于十分不同的工作，系统可以对一个人工作的微小细节设置实施严格的控制，或者它们可以配置为一个开放的信息来源，员工利用其为基础做出自己的决定。换句话说，人们的工作质量并不是由技术或任何技术约束而决定，而是由模拟和执行智能工厂的科学家和管理人员决定。

因此，有必要采用一种“社会技术方法”进行工作组织，将持续的职业发展措施和技术及软件架构进行紧密配合，来提供一个单一的、连贯的解决方案，该方案专注于在贯穿整条价值链的员工和/或技术操作系统之间提供智能、合作和自我组织的相互协调机制。

“更好，而不是更便宜”作为工业化变革的机会和基准

这个社会技术方法认为，采用一种更极端的科学管理方法进行工作组织是由于频繁重复的高度标准化和单调无味的工作方式不是实现工业 4.0 最有希望的方式，而主动与员工合作的方式可以实现新的效率收益。事实上，智能工厂将被配置为高度复杂的、动态的和灵活的系统意味着他们需要被授权的员工充当决策者和控制者。比如，一个以顾客为中心的工作需要宽范围的培训、促进学习的工作组织模式、培养自主工作的全面持续专业发展，可以设计成一个有效的工具来促进系统的员工发展和职业提升。在工业 4.0 框架下，技术发展目标和工作组织模式应该根据具体的经济和社会条件一起建立和配置。建立灵活的制造业组织模式是必要的，可以在员工的工作和私人生活之间建立清晰的边界，使他们达到现实的工作和生活的平衡。

在这种背景下，创新战略在工会组织“更好，而不是更便宜”

¹的口号下得到发扬光大，可以为创造良好和公平就业与未来制造业网站和工作人员的安全提供标准和途径。这一战略包含一个拥有参与权、共同决策和培训机会的以员工为本的组织设计。尽管如此，它仍能满足全球竞争力的要求和更大灵活性的需要。“更好，而不是更便宜”的战略目标是确保德国工业成为未来技术领导者。因此，好的工作、技术创新和职工共同决策在工业 4.0 背景下并非互相排斥。相反，他们为寻找从社会角度讲更可持续的技术高效解决方案形成了一个前瞻性的方法。

建议措施

- 工业 4.0 平台应该通过跨学科专家工作组继续研究“工业 4.0 时代的人与工作”这一课题，主要有以下三个主要目标：
 1. 结合需要实现员工为本的劳动和培训政策的行为，确认和展示对工作和就业（机会和风险）的影响。
 2. 会同有关参考项目，为开发和实施社会—技术方法提供指导性和切实性帮助。
 3. 推进参与工作组织和使得所有劳动员工（不论年龄，性别或资格）可以终身学习的创新方法。
- 该平台应该建立定期的社会合作伙伴之间的对话，使与工业 4.0 有关的主要进展、存在问题和潜在的解决方案能够得到公开透明的确定和讨论。
- 该平台应在公司内部和外部利益相关者之间（函括国内和国际层面）安排有效的知识转让。除了创新知识管理，还需要建立广泛的社会网络。

¹见：Tanja Fondel/Jochen Schroth: Innovationsführerschaft durch Mitbestimmung In: Martin Allespach/ Astrid Ziegler (Ed.): Zukunft des Industriestandortes Deutschland 2020, Marburg, 2012, pp. 174-192.

5.6 培训和持续的职业发展

如上所述，工业 4.0 将导致以劳动员工为本的社会—技术工厂和劳动力体系，继而对职业及学术培训和持续性的职业发展（CPD）带来新的挑战。这些挑战包括扩大至制造工程组件开发者及其使用者。

工业 4.0 将很可能显著地把工作和技能向两个趋势转变。第一，以明确分工为特征的传统制造工艺现在将被嵌入一个新的组织和运营结构，配之以决策、协调、控制和支持等方面的服务功能。第二，组织和协调虚拟与真实的机器之间，以及设备控制系统与生产管理系统之间的交互作用变得非常必要。

实际上，这意味着信息通信技术、制造业和自动化技术融合以及软件将导致很多任务现在会作为一个范围更广的技术、组织和社会背景的一部分来执行。

工业 4.0 还要求 IT 专家培养方式的根本改变。对不同行业应用程序需求的识别能力以及从世界各地招募开发伙伴的能力的重要性将逐渐超过纯粹的技术专长。极其广泛的潜在应用程序意味着通过标准化的培训方案可取得的成效有限。参加与制造业的对话以确保数字经济的要求被体现在培训供给上将变得越来越重要。因此，企业与高校之间的培训伙伴关系在未来将比现在更加重要。短期基础培训项目将需要由工作实习和进修课程跟进。开展理工科学习并更强调可转化技能，如工商或项目管理，将是重要的。这是企业及其客户需要推动的对 IT 专家学术培养的改变。

按照这些支持工业 4.0 的原则，这也将包括 IT 及生产工程培训间的紧密融合。需要确定与工业 4.0 相关的学习内容，开发适当的教学的和方法论。有可能尤其是在一些极富创造性的商业

领域，比如跨学科产品和过程开发会需要全新的任职资格。这将构成一个双重战略的一部分，使得企业能够应对萎缩的劳动力市场及高市场波动的挑战。

因此，这将是开发职业成人教育规定（教学方法，职业规划）的关键。

技能评估²应被用来完善职业教育与学术教育间的可动性，以及不同的培训与可持续职业发展项目和系统之间的可动性，此外，也用来提高对技能的认可，尽管那不再与一名员工的专业领域相联系但在工作场所仍然是相关的。人们越来越需要整体把握并了解生产过程中有关各方之间的相互作用。因此，除了对元认知能力的需求增加，由于原划分部门和学科进一步整合带来的现实生活与计算机相互作用的日益增长的重要性，社交能力也变得越来越重要。在技术方面，更多的重点将放在跨学科技能，在这方面仍有许多工作有待完成。

为了确保个人的培训潜力可以被认可并清楚描述，开发出非正规教育与非正式教育的认可标准是非常必要的。目标是教授人们新的整体组织模型的原则，并确保这些体系得以被清楚描述，以便员工对他们正在做的事充满信心。

学院立方体

学院立方体是由德国和国际工业企业与公共机构联合推出的一项倡议，目的是应对由工业 4.0 产生的新的培训形式和内容的需求。目前的规定明确地把来自欧洲南部的技术工人作为目标，那里的失业率*非常之高。学院立方体给有关各方提供在线信息，告诉他们在本国和国外可以如何使用他们的技能和知识。

²德国的学历资历架构（DQR），建立了基于复杂任务和域名，以及在何种程度上进行独立决策的八个技能水平。根据本行业的专业协会和工会，“技能”定义为“在当前和未来的开放式和复杂的情况下独立行事”的个人能力，见 BITKOM, Gesamtmetall, VDMA, ZVEI (Ed.): Die Anforderungen des Beschäftigungssystems. Ein Beitrag zur Gestaltung des Deutschen Qualifikationsrahmens, 2007, p. 10.

学院立方体给无业的信息通讯技术和工程学毕业生提供获得有针对性的任职资格的机会，帮他们与工业企业直接联系。这是通过一个基于云的平台实现的，企业和单位在上面提供在线学习课程和发布具体职位空缺。平台帮助求职者获得他们申请特定职位所需的培训，同时也给他们颁发相应的证书。这些证书建立在标准课程的基础上，可确保潜在的雇主对培训的标准有信心，并就其内容提供透明度。最好的候选人会自动送往参与企业的最高职位空缺。

学院立方体的概念是由德国联邦教育研究部和思爱普公司主持的关于数字社会教育研究的工作 6 组在国家 IT 峰会上产生，并在 2013 德国汉诺威消费电子、信息及通信博览会(CeBIT 2013)上正式推出。自 2013 年 3 月起，该项目已提供了工业 4.0 领域的 6 个完整课程及 12 个专项课程。学习内容包括自动化、大数据分析、制造和物流流程以及安全和数据保护等领域。

更多信息可登陆：www.academy-cube.com



图 12：学院立方体网络体系中的不同参与者

* 2012 年，西班牙的失业率达到 27%，同时西班牙和希腊的青年失业率高达 52%（来源：欧盟统计局 2012）。欧洲委员会估计，到 2015 年，欧洲将有 700,000 信息通讯技术专业人才缺口（来

源：欧洲委员会新闻， 2012. 3. 20)；德国信息技术、通讯、新媒体协会认为，德国每年缺少 9,000 个 IT 毕业生（来源：德国信息技术、通讯、新媒体协会 2012）。意大利需要 10,100 个信息通讯技术专家，波兰需要 18,300 个，西班牙还需要 41,800 个，德国还需要 87,800 个（来源：欧盟统计局 2012）。

当培训体系所有不同层面都受到影响的时候，特别优先权应该放在持续性职业发展（CPD）的扩展上。尤其是，在工作场所 CPD 应考虑健康、身体活动和生活方式的重要性，以保证长期的工作生涯。

通过以一种促进学习和实施适当培训策略的方式组织工作，应该可以在制造业实现一种以人为本的方法，考虑员工的教育、经验和技能集合差异，从而增强个人和企业二者的创新能力。以一种促进学习的方式组织工作也是终身学习的关键要求。鉴于以 CPS 为基础的体系的引入预期将导致快速的技术变化，因此它也应该是智能工厂目标之一。内部学习与外部学习以及一般教育与职业教育的相对效力应该是进一步研究的课题。

此外，在工业 4.0 框架下，工作将被设计用于使用诸如 CPS 的技术以加强员工和整体工作支持之间的沟通，在工作场所的学习任务和体能训练以适当的间隔放进标准工作日中。这就要求对员工的工作量进行持续监测。

工作设计还应考虑员工扮演的不同角色（从非熟练和熟练工人或具有高级职业技术资格的员工到具有如学士和硕士学位的有学历管理人员或有资格的工程师）和他们的情况差异，如年龄、教育、经验或文化背景。

建议措施

●在工业 4.0 背景下,关于任职资格、培训与持续性职业发展,平台工作组推荐以下几种措施:

1. 推广模式方案

方案应包含可以用来发展培训和持续性职业发展策略的行动。这些不但能识别员工拥有在特定的专业领域外的额外技能,还应该包括促进职业和学术训练之间和不同培训和持续性职业发展课程系统之间互动的策略。

2. 建立和推广“最佳实践网络”

为了保证知识转让和可持续性,应该建立培训和持续性职业发展“最佳实践网络”竞争性投标。这些网络将负责开发和记录案例研究、网络各种参与者和支持知识转让。

3. 调查在工作场所获取知识和技能、发展数字化学习技术的新方法

数字媒体和创新学习技术(在线学习)将在知识转让和技能发展中起重要作用。鉴于技术和人口变化与不同学习者有不同要求的情况,发展新的教学方法和学习辅助系统很有必要。

4. 推广工作组织的跨领域方法

所有工业 4.0 时代的任职资格、培训和持续性职业发展措施需要采取合伙研究执行形式的综合研究。调查工作组织、流程设计、管理和合作,以及它们对工业 4.0 时代工作和培训进展的影响是重要的。还应包括的问题是随着预期寿命的增加,老员工如何能保持自己的就业能力。为了在工作中促进学习,开发相应的培训策略、分析方法和管理模式将是必要的。总的来说,这将会存在许多重大挑战,包括需要全面持续的职业发展条款和至少部分培训系统的改进。

5. 推广工业 4.0 特有的学习内容与跨领域合作

促进所有学科的跨学科合作（例如制造工程、自动化工程和 IT）来完成系统工程方法是很有必要的。这需要不同的学科之间相互理解对方的立场和方法，在战略、业务流程和系统上采用综合观点。跨学科研究在技术和法律之间的层面也是必要的。法律专家应该介入早期阶段的研发过程。同样，工程师将越来越多地需要对法律有一个基本的了解，以便他们能与法律同行开展完整的法律层面的对话。

6. 基于 IT 技术的系统模型

这包括现实和数字世界之间的相互作用的模型，包括适当的形式描述，以及模拟机电工程或考虑适应现有系统等方面的方法，这与从零开始开发新系统不同。

5.7 规章制度

与其它的基本技术创新一样，与工业 4.0 相结合的新制造工艺也将面临着在现有的监管体系下两个相互关联的挑战。一方面，关于新技术的不确定性和数据保护问题的合法性的问题尚未得到明确解决，可能抑制工业 4.0 被接纳并放缓创新的过程。反过来，新技术和商业模式事实上的影响和变革效应足够大，使得沿袭固有规章制度几乎不可能。因此，技术创新周期短和新技术颠覆性变革可能会导致缓慢的滞后效应风险，即现有规则未能跟上技术变化的步伐。

就整体而言，虽然工业 4.0 没有完全涉足目前未知的监管领域，但它确实显著增加了有关监管问题的复杂性。需要做两件事情来协调现有法规和新技术：以促进创新的方式制定标准来确保新技术符合法律和监管框架的发展；在工业 4.0 的环境下，通过

通常的契约可能实现这一目标。这两个因素都要求监管分析新技术，以在研发阶段尽早介入，而不是直到已进入使用过程中还没有涉及。

挑战

1. 企业数据保护

随着物联网在智能工厂中的建立，企业数据产生的数量和细节将增加。此外，商业模式将不再只是涉及一家公司，而是会包括随时可能发生变化的动态公司网络以形成全新的价值链，例如，已经被证实的 RAN Project³。智能机将会自主产生和传输数据，而这些数据将不可避免地超过公司内部可控范围。在这种情况下将伴随一些特殊风险，例如，生成初始数据，并进行数据交换以配合不同公司之间的生产和物流活动需要，或与其他数据读取相结合，意外地提供给第三方有关合作伙伴公司的高度敏感信息，可能就提供给他们一个洞察其业务策略的机会。如果企业希望继续通过常规策略来保存这些知识秘密，从而保护自己的竞争优势，将需要新的工具。新的规范的商业模式也将是必要的——所产生的原始数据可能包含对第三方有价值的信息，因此，公司可能希望收费来进行共享。像这样的创新商业模式也需要法律保障（主要是以合同形式），以确保创造的附加值可以公平共享，比如，可以使用动态定价模型。

目前企业数据保护监管只解决这些危险的某些方面，而且一般需要将数据归类为商业或贸易秘密。此外，它通常只适用于非法泄露的情况下。作为一项规则，已经合法获得的保密信息，经

³ RAN（基于 RFID 技术的汽车网络）项目是联邦经济和技术的扶持下的 14 个“自治计算：为小型和中小型企业，基于系统的模拟”技术方案之一。RAN 目标是在汽车行业提供透明和最佳的过程控制。该项目正在为订单履行流程的公司间成本效益管理，研究新的管理方式和方法。Workstream3 正在开发一种标准化的 IT 基础设施（“信息经纪人”），以便能够自动识别不同的公司之间进行交换的数据，使它们可以用于改善业务流程。欲了解更多信息，请访问：www.autoran.de

其拥有者的许可，随后可能用于其他目的。然而，自我约束，如保密协议应该使人们有可能关闭这些法律的漏洞。合同法提供了一种手段在各种不同场景下实现高度针对性的调节。这将需要对数据的敏感性，在逐个案例剖析的基础上，根据需保护的程来确定--在某些情况下，个人数据保护法的原则可以提供这方面的典范。

然而，合同也有其局限性，它涉及到管理大量的法律事务，因为在计算风险和为每个单独案例进行单独合同谈判时要涉及超量工作。因此，有必要制定新的合同模式，允许企业保留“它们”独立主权的数据，同时还促进创业的灵活性。

2. 责任

在不同的公司之间交换敏感数据是有风险的，这些数据可能会被非法使用和/或泄漏，例如，如果收件人没有实施足够的 IT 安全措施，这些数据可能由第三方黑客攻破。这个问题的一个解决方案是提供一种已经广泛使用的合同条款，设置必要的技术和组织安排并采取一些附加措施（如有义务提供有关任何安全问题或违反规定的通知），并对不遵守的事项规定惩罚。然而，在工业 4.0 中制造设备比过去负责更广范围的事项。一旦它们没有完成其主要职责（在产品的耐久性，正确的操作和外观方面），它们现在可能承受的将不仅有法律责任行为， 同时也将承受自己作为智能网络中一个成员的失误。

在这些情况下，责任和职责问题变得更加重要--当自主系统部署在网络上，结构透明度的缺乏可以使它几乎不可能明确地确定谁执行一个特定的动作，从而产生在法律责任方面的不确定性。事实是，相对于第三方，企业装备配有自主数据处理的生产系统，对他们的生产设施和产品的安全性承担法律责任。当前侵

权法和产品责任法已经在这一领域提供了足够的解决方案。然而，如果其他合作伙伴在网络中希望避免负连带责任，或者，如果他们想至少对其他合伙人有追偿权，那么从合同规定一开始就和/或采取行动要明确业主各自系统的责任是必不可少的。这也牵涉到残余风险的可保性，及保险业计算相关保费影响的方式。

提供对不同生产步骤和系统状态精确的书面描述将有助于确认责任归属（虽然涉及到具体个人数据的非常详细的协议可能会导致数据保护法律问题）。因此，在工业 4.0 中，基于新技术的文档程序如个人或绑定设备的数字签名，将起到更为重要的作用。

3. 处理个人资料

由于员工和 CPS 之间的互动增加，员工个人资料的数量和详细程度也都将增加。这对辅助系统来说更是如此，它可以记录有关员工的位置，他们的生命体征或他们的工作质量。这个问题可能对员工的信息自决权构成威胁。在这方面，一旦涉及国际层面，其问题将尤其严重。德国数据保护法严格限制将从智能工厂中获取的数据外包给欧盟（EU）或欧洲经济区（EEA）（包括同地区公司）以外的公司进行分析，或将包含员工个人的企业信息泄漏到欧洲以外。如果在该国接收数据的数据保护标准低于那些在欧洲建立的，此限制是特别适用的。这可能会导致全球联网的价值链的约束性问题。

现在的规则未能充分解决这些问题。外包数据处理模型已经遇到困难（例如在云计算领域），因为本地数据保护标准通常不适用于欧洲以外的国家，这意味着，客户公司实际上无法遵守数据保护责任。

因此，企业越来越需要一个从法律上明确和实用的解决方案

处理个人资料。有可能在一定程度上，要达到这点需要通过具有内部约束力的公司规则、集体协议和企业协议。虽然这将是重要的，但是也要确保这些方式不在任何情况下削弱现有的数据保护标准。在任何情况下，考虑到工业 4.0 的具体特征，这些工具将需要进行调整。

数据保护法要求定制的产品功能将依赖于该产品及其应用。例如，尤其是有关工业 4.0，将数据处理组件集成到最终产品。虽然这些组件可能首先用在生产过程中，但他们最后可能被最终客户所拥有，虽然最终用户起初使用时并无该目的。为了防止这种情况的发生，限制此类内置组件可用于的数据处理，其应用能力应限于数据保护法所定为是绝对必要的。

4. 贸易限制

随着越来越复杂的系统部署在工业 4.0，个别元件越来越有可能会受到国内和国际贸易的限制。加密技术既是必要的也是客户所需求的，以确保 CPS 通信的保密性和完整性。然而，在许多新兴市场，如中国，只允许根据许可证进行加密产品的使用、销售、进口和出口。另一方面，在欧盟，加密技术的装运只允许在欧洲和某些其它国家，如日本，加拿大和美国，但许多其他目的地则被归类为双重使用商品⁴并受出口限制。即使在今天，有些公司希望在明天的主要市场有一个全球性的存在地位，但在一定程度上，如果加密组件构建到了较大的生产设施中，他们发现自己被迫在法律的灰色地带经营。这种法律上的不确定性在工业 4.0 中只会增加，并可能成为一个重大的贸易壁垒。

⁴术语“双重使用商品”通常是，特别是在出口管制领域，描述可用于一个以上目的的货物（例如机器，软件或技术）。虽然这些货物可能已被主要用于民用领域，但其属性（例如，它们所包含的材料或它们的性能规格）表示它们也可以被用于军事目的。

建议采取的措施

上述监管方面的挑战是不平凡的，如果工业 4.0 倡议成功，必须要找到解决方案。在多数情况下，这些“解决方案”将不涉及立法，而是需要包括法规、技术和政策因素的组合工具。此外，中小企业之间通过专业协会和政府部门，提高对上述问题的认识是非常重要的。

对中小企业十分重要的一个方面是开发实践指南、清单及示范合同条款。另一方面，新的合同模式需要保证对业务和商业秘密的保护，同时确保因新的商业模式产生的任何增值可以公平共享。因此，尽可能准确地定义各种合作伙伴（包括不同类型的信息经纪人等新的）的角色将是非常必要的。

至于责任方面，提供的支持应注重数据的安全性并要求提供书面证据，特别是在项目从一个到另一个伙伴交接的关键点上。至于员工的数据保护，应开发包含样本公司协议的最佳实践模式，以确保工业 4.0 的各项要求不侵犯员工的数据保护权。属于第三方的敏感企业数据的安全和保密的处理方面，最好是促进自我规范管理，通过诸如审计或符合 IT 安全标准的认证等措施加以实现。尽管如此，仍需要在某些问题上进行立法。这包括外包数据处理活动，虽然它是在欧盟层面上，这方面的立法需求目前存在。

还有一个迫切需求是在该领域的贸易限制方面实现协调一致，特别是关于加密产品。为了确保德国能够成功地维持工业 4.0 的领先供应商地位，应努力在中长期促进共同的国际法规，例如，通过世界贸易组织。

在通常情况下，由工业 4.0 提出的挑战是当技术发展到设计法规层面时，将需要跨学科的研究，要确保法律专家能在研发最

初阶段时便参与进来。同样的道理，工程师将越来越需要掌握对法律问题的基本了解，使他们能够与法律工作者进行全对话。沿着这样的方法，工程师和法律专家之间的合作伙伴关系可为德国在的工业 4.0 市场中提供真正的竞争优势。因此，确保法律专家从早期阶段参与工业 4.0 平台的各个工作组是非常重要的。

5.8 资源效率

制造业的性质意味着，它是由迄今为止在工业化国家最大的原材料消费者。与私营部门一起，它也是能源和电力的主要消费者。除了成本高昂，这种局面导致对环境和供应安全风险，而这种风险需要通过法规使其最小化。因此，工业界正进行重大努力，以减少其对能源和资源的消费，或寻找替代资源。然而，如果有任何成功的机会，这些努力将需要持续多年。最终，这将涉及在生产过程以及机器和设备的设计上发生变化，因为这是唯一的材料和能源消耗可受到影响的地方。其出发点是制造企业所使用的资源量，包括在公司本身和整个价值网络的其余部分。这三类资源以及如何使用它们作如下区分：

1. 原材料，添加剂，经营供应品及所有不同种类的能源载体，包括从一种能量类型转换成另一种类型；
2. 人力资源，即人类劳动力；
3. 财务资源，即所需的投资和运营成本。

在如何使用这些资源方面，可把重点放在给定资源数量，来实现最大化的输出，或在使用尽可能低的资源数量下达到一个给定输出。在第一个方案中，强调的是计算资源的生产率，而在第二个方案中，重点是计算资源的效率。一系列指标现在可用来进

行这些测量（生命周期评估，碳排放量⁵等）。

挑战

总体而言，工业 4.0 作为一个整体，需要研究如何减少在工业生产过程中能源消耗的办法并加以实施，以及在生产过程中所使用的机械和设备的能源消耗。联合联邦教育与研究部(BMBF)和德国工程联合会 (VDMA)“效率工厂”(Effizienzfabrik)⁶倡议的成果，可以作为这方面的典范。在实施高效的制造工艺时，重要的是不仅要考虑基本功能，还要考虑在动态条件下过程的稳定性，如频繁停止和启动，预防缺陷产品（这种产品是对材料和能源的浪费）。

因此，有必要考虑生产效率，以防止不稳定过程导致质量问题，而因为需要将产品进行维修或完全重造，可用性也需要加以考虑。制造设备可能出现故障（所以重要的是要建立备用冗余，以减少失败的风险），资源有可能供不应需，存货水平可能不符合需求（半成品和成品）。

工业 4.0 的关键挑战之一将是证明，基于在工程设计、制造、生产控制、内部物流、采购及分销物流等过程中使用资源的总量，在 CPS 和相关的基础设施中投入额外的资源可以产生足够的机会以实现资源生产率和效率的收益。

工业 4.0 提供了契机，在逐案基础之上优化资源生产率和效率的总体目标。

⁵生命周期评估 (LCAs) 涉及产品对环境影响的全面分析（包括为其制造在环境中提取的任何物质，如矿石或原油，也包括释放到环境中的任何物质，如废物或二氧化碳排放量），其整个生命周期，包括其制造，使用和后续处置，以及相关的上游和下游流程（如生产相关的原材料，添加剂和燃料；还通过了 ISO14040 和 14044 标准）。LCAs 可以被用在产品规划和设计阶段，以确保该产品的设计是可持续发展，以及帮助制定产品在营销阶段和重新设计的目的声明。一个产品的碳排放量是指在其整个生命周期中的温室气体排放总量。换句话说，这个指标的范围变窄，会对产品的气候变化产生影响。

⁶联合 BMBF（联邦教育与研究部）和 VDMA（德国工程联邦）“效率工厂”的创新平台传播 BMBF 资助优先“资源效率制造”下组合在一起的 31 个项目的研究结果。这一平台的重点，资源节约型的生产，可以随后提供给有兴趣的企业集成解决方案的发展趋势分析，以便能够在不同的个别项目。更多信息，请在线：www.effizienzfabrik.de。

建议采取的行动

工业 4.0 工作组建议,应通过工业 4.0 平台建立一个工作组,专门处理资源生产率和效率问题。工作小组的职权范围应包括以下任务:

- 采用和发展 BMBF/ VDMA “效率工厂”倡议的成果。
- 在源于生产率或可用性问题所规避的替代过程中,于制造环境里提高的资源生产率和效率方面,示范资源节约。
- 计算和评估部署 CPS 和相关基础设施所需额外资源和所产生的节约潜力之间的平衡。当它涉及到在现代化生产线,或建立新的和所需的自动化设备的类型方面做出决定时,也要考虑不同类型的资源。这些评估应考虑行业或部门的问题,价值网络是区域还是全球范围的问题。
- 考虑用来评估资源生产率和效率,和当前的项目和倡议生态友好性的各种指标和 KPI (关键绩效指标)也是必要的。开发决策支持的 KPI 如绿色生产指数,连同采取透明且面向资源的投资决策所需的尤其是工业自动化领域的基本数据,也应被考虑进来。

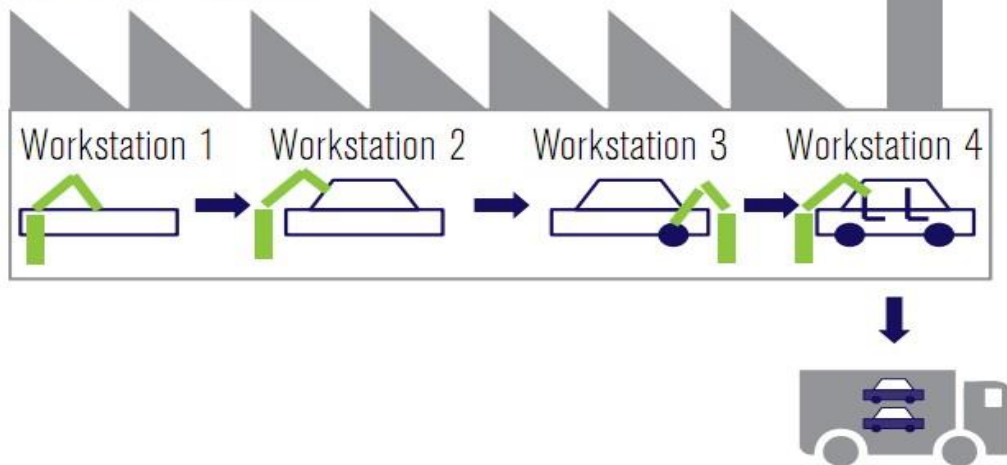
应用实例 3

支持定制生产：何以满足客户个性化的需求

工业 4.0 的动态价值链能使客户和特定产品的设计、配置、订货、计划、生产和物流得到统一协调。这也为即时响应、生产前甚至在生产过程中最后一分钟的需求变更提供了支撑的可能。

Today

Rigidly sequenced car manufacture on a production line



Source: Hewlett-Packard 2013

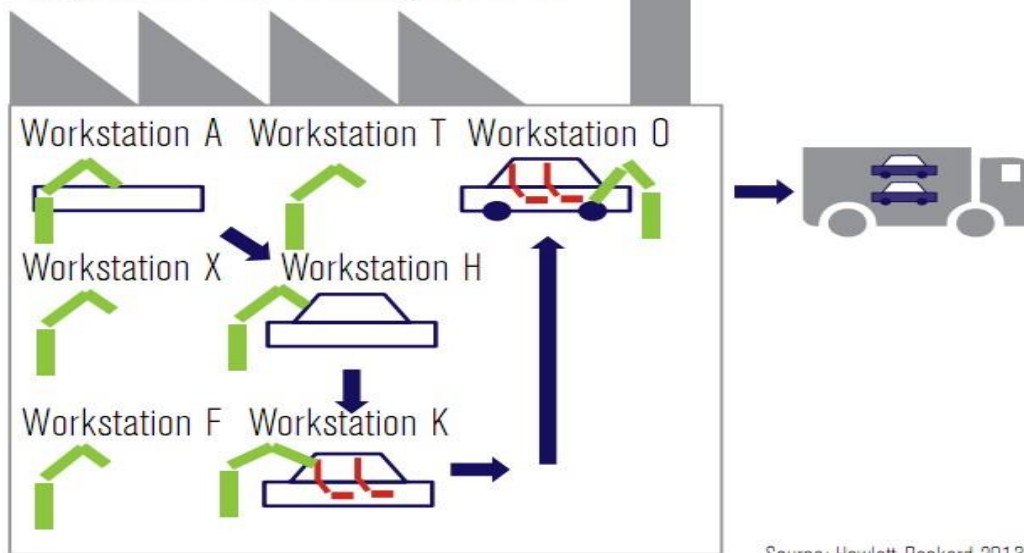
今天的汽车行业的特点是静态的生产线（使用预定义的序列），这很难为新的变异产品进行重新配置。软件支持的制造执行系统（MES），通常是在生产线的硬件基础上狭义定义功能的设计，因此同样是静态的。

雇员的工作的性质也视生产线的功能而定，因此，往往很单调。在这里不鼓励个性。

其结果是，它不可能把各个客户的需求，将同一厂家某一产品组的部件加入到另一产品组中，例如，将保时捷车的座位安装在大众车里。

Tomorrow

Decoupled, fully flexible and highly integrated manufacturing systems



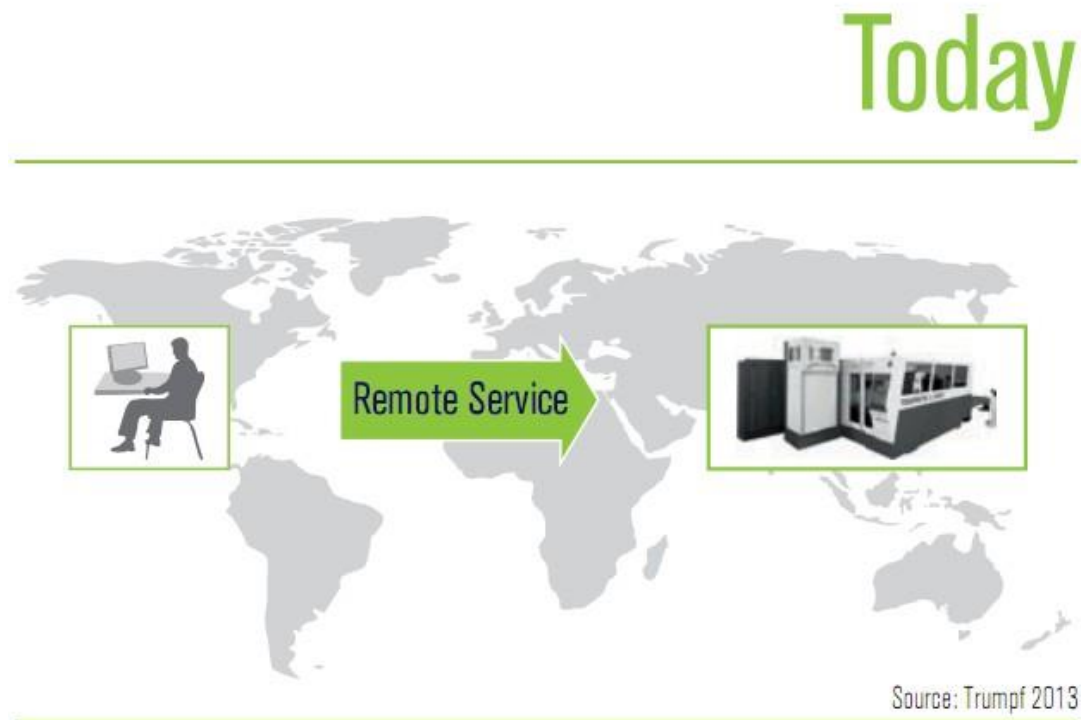
工业 4.0 将形成动态的生产线。车辆成为可以通过装配车间从一个 CPS 功能处理模块到另一个自主移动的智能产品。动态重新配置生产线，使得它可以与合适车辆的设备混装并匹配，此外，个体差异（如从另一个车系列配备座椅）可以在任何时间根据物流情况加以执行（如瓶颈问题），而不被中控系统事先设定的时序所约束。执行这类重新配置将很简单，汽车可以自主移动到相关的工作站。现在的制造执行系统 IT 解决方案构成一个核心组成部分，从开始到结束 - 从设计到组装和操作。

潜在益处

第一个应用程序，如上所述 MOS 解决方案和共享 IT 平台将很快出现，即在未来几个月内。但是，到我们能看到终端到终端的 CPS 功能动态生产线，还需要若干年。尽管如此，在制造过程中执行特定任务预计会早些时候出现。

应用实例 4：通信网真平台

网真远程服务是设备厂商已经推出好几年的工具，它利用远程访问和控制机器为客户提供快速、高效的支持。通过增加生产系统的网络连接属性，制造系统能产生新的潜力，提供更多的生产收益。



启用远程服务能在供应商和用户之间建立连接，提供通信解决方案。通常，技术人员将设备通过调制解调器直接连接。自从互联网的问世以来，VPN 连接（虚拟专用网络）技术获得了较快的普及，因为它们允许客户的企业网络得到有安全保障的访问。这种方式是为了进行远程诊断和控制，以减少计划外中断和宕机。

通信链路的配置和管理涉及大量的管理工作，因为与每个客户都需要独立的进行配置、制定特定路由策略。此外，这种方法目前只可以用来提供响应性服务，即事件发生后进行维修。

Tomorrow



在工业 4.0，技术人员将不再手动连接到他们所管理的设备。生产系统将如同“社会机器”一样运转——在类似于社交网络的网络中——自动连接到基于云计算的网真平台去寻找合适的专家来处理问题。专家们将能够通过集成的知识平台、视频会议工具和强大的工程技术方法，通过移动设备更有效地进行传统的远程维护服务。此外，设备将通过网络持续加强和扩展自身的服务能力，随着情况的发展通过自动更新或加载相关功能和数据，通过网真平台实现标准化以及更安全的通信链路。

同时，通过从设备的统一门户网站实现的复杂计算任务（如模拟和预测），将有可能获得大量的处理能力、以确保相关操作在最短时间内进行，从而提供更多的生产收益。

潜在益处

首个基于云计算的网真系统门户网站最近已经上线，这能预示什么是未来的发展方向。这样的门户技术的快速发展将开辟新的视野，在未来几年，将对生产制造系统产生革命性的改变。

6 德国如何与世界其它国家竞争？

德国不是唯一一个发现制造业越来越倚重物联网的趋势（工业互联网⁷）的国家，并且认识到它在工业工程中作为未来制造业战略挑战的颠覆性影响。然而，世界各地的人们使用各种各样的术语来形容工业 4.0 的现象。特别是在讲英语的国家和欧盟层面，人们通常将它称之为象征着第三次工业革命的物联网和数字化趋势。这个数字的由来，或者是将第二次工业革命作为第一次工业革命的一部分⁸，或者不把因制造加工自动化而产生的第三次产业转型本身作为一次真正的革命^{9,10}。

“智能生产”、“智能制造”或“智能工厂”，这些词语在欧洲，中国和美国¹¹专指以数字化、网络化生产创建智能制造体系，与之相比，意思相同却更显时髦的名词“先进制造”使制造环境下的现代化趋势包含的范围更广¹²。

这些作为案例的国家能够说明为应对设备及装备的全球市

⁷在 2012 年年底，总部设在美国的通用电气公司（GE）公开推出一个专注于物联网具有广泛基础的倡议。虽然 GE 的“工业互联网”在大量的不同领域中有应用，制造业只扮演一个小角色。GE 认为通过在一定范围不同工业中部署物联网来产生巨大的全球性节约是有潜力的。经计算，航空旅行部门油耗在商业 15 年来可以削减 1%，产生节约 30 亿美元，而在医疗保健和货运的效率收益和铁路运输行业可以分别节省 66 亿美元和 27 亿美元。（见 Evans, Peter C./Annunziata, Marco: 工业互联网。推动思想与机器的边界（GE 研究），2012 年 11 月，p4）

⁸有关如何使用这个术语，请参阅例如 Evans, Peter C./Annunziata, Marco: 工业互联网。推动思想与机器的边界（GE 研究），2012 年 11 月，p. 7f。

⁹这是由欧盟工业和企业专员发表的声明合理的基础的生命，当安东尼 Tajani 在 2012 年 5 月宣布了第三次工业革命（见欧盟委员会：在欧洲建立一个新的工业革命。企业和工业杂志，2012 年 6 月）。几个月后，在公众咨询后，Tajani 确定了六个重点领域应由欧盟成员国和独立成员在未来加强。其中两个领域直接与工业 4.0 相关：“先进制造技术”和“关键使能技术”的推广（参见欧洲委员会：工业革命将工业带回欧洲（新闻稿），2012 年 10 月 10 日）。

¹⁰在一定程度上，围绕第三次工业革命的论述也和一个以可再生能源的使用和扩展（参见：Rifkin, Jeremy: 第三次工业革命：横向动力是如何转化为能源，《经济和世界》，2011 年），资源生产率的显著增加，使用新材料、新物质和流程（如：3D 打印；参见：Hill, Jürgen: 3D 压印的潜能，计算机周报，2013 年 1 月 29 日）为特征的新的创新周期相关联。

¹¹参见：博客 smartmanufacturing.com 或主动智能的制造业领袖联盟（SMLC），更多信息可在网上 www.smartmanufacturingcoalition.org 查询。

¹²先进制造业是依赖于信息的使用和协调，自动化，计算，软件，传感，网络，和/或利用尖端材料和新兴功能，通过物理和生物科学的一个家庭的活动，例如纳米技术，化学和生物学。它涉及新的方法来生产现有产品，以及制造新的先进技术的新产品层出不穷。这是产生的总统科学和技术（PCAST）和美国政府的定义，是最重要的咨询委员会对技术的发展趋势建议之一，是使用这个特定的名词的典型应用（参见 PCAST：确保美国在先进制造的领导地位，2011 年 6 月，p2）。

场、电气工程、自动化以及 ICT（信息通信技术）方面的发展趋势所作出的不同的政策反应。

国际发展趋势

经过 2004 年到 2008 年之间一段时间的飞速增长，当产量增长到 38% 时，全球金融危机引发了德国机械和设备制造商订单和产量的大幅度下跌。然而，2009 年年中，企业拼命努力弥补金融危机期间的损失，使商业开始回暖。需求也恢复了正常，预测 2013 年将增长百分之二。

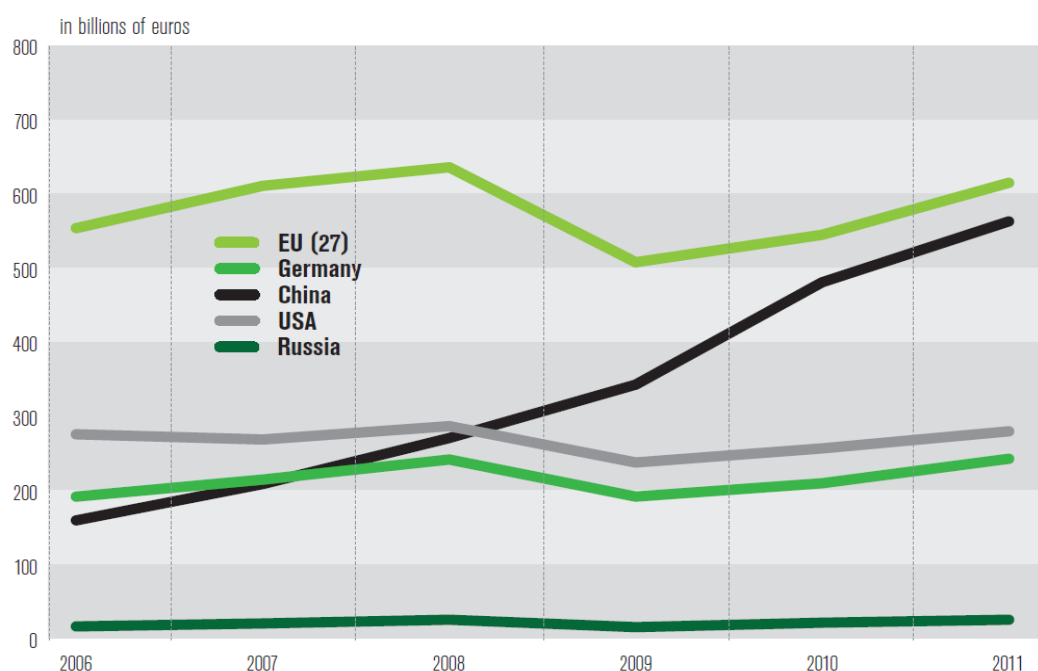


图 13：案例国家机械工业行业的销售额

* 机械工程行业不包括如安装，维修和保养类的服务；

上述销售数字尽可能的涵盖所有案例国家的机械工业制造企业。

来源：德国机械设备制造业联合会，2012 年 11 月

由德国机械设备制造业联合会（VDMA）最近发布的一份调研报告显示¹³，大部分德国的机械工程公司仍然自以为处于世界领先地位，认为他们的主要竞争对手来自于国内的企业，接下来才

¹³这次 VDMA 调研共有 483 家企业参加（参见 VDMA：当前趋势调研. 德国机械与设备制造商的全球竞争地位，2012 年 10 月）

是被甩在后面的来自美国和意大利竞争者。2011 年，机械工程行业全球销售额达到近 2.1 万亿欧元。图 13 中各案例国家在机械工程工业中所处的位置显示了极其不均的分布局面。(见图 13)



“在合作期间，我明显感觉到，德国已经拥有了制造技术和机械工程领域中的所有必要条件，使其可以继续获得未来全球物联网与服务成功”。

——Dr. Siegfried Dais,
Robert Bosch GmbH 公司，工业
4.0 工作组联合主席

自 2002 年以来，在世界其他地区进行的大规模转移生产造成了美国机械制造业对进口需求的急剧增长。2002 年至 2010 年，美国机械制造业从业人员人数下降了 25%¹。但随着国内和出口需求的增长，2010 年后已经有逐步好转的迹象。美国媒体则迅速反应，用诸如“重新支撑”²和“繁荣内销”³这样的大标题，把它比喻成一个翻天覆地的变化。

与此同时，中国也在机械工程技术领域投入大量精力，追赶其他国家，增强其市场地位。在过去 5 年中，中国已发展成为全球最大的机械制造商，2011 年销售额达到 5630 亿欧元。同时，在出口方面上也毫不示弱。2011 年，中国投资品行业的出口货物价值 877 亿欧元，同比增长超过 20%。一跃成为世界第四大机械出口国，掌握了 10.2% 的全球市场份额。

¹参见 Le Monde Diplomatique: Die Zukunft der Industrie liegt in Asien, in: Atlas der Globalisierung – Die Welt von morgen, 2012, p. 28.

²参见 Minter, Steve: 美国制造重组的证据。2012 年 10 月，全球制造商，重制造。回家，特别报告，2012 年 1 月。

³参见 Fishman, Charles: The Insourcing Boom. The Atlantic, December 2012.

自 2010 年以来，俄罗斯对机械和设备的需求出现了明显的增长。作为今年汉诺威展销会官方合作伙伴的俄罗斯已经是德国机械工程企业继中国、美国和法国之后的第四大出口市场。德国则是俄罗斯第一大机械设备供应商，占有了其国内市场 22.6% 的市场份额。俄政府预测俄罗斯市场将在未来几年内持续增长，并计划通过数十亿欧元的融资计划作为支撑。从长远来看，德国机械和设备制造商将工业 4.0 产品出口到俄罗斯具有巨大潜力。

2011 年，全球电气工程市场价值 34140 亿欧元。德国电气工程市场以 1160 亿欧元排名全球第五大市场，位列中国（11190 亿欧元）、美国（4860 亿欧元）、日本（2840 亿欧元）和韩国（1550 亿欧元）之后。近年来，全球电气工程市场已经在很大程度上属于新兴工业化国家，2011 年其市场总容量达到了 1.7 万亿美元，第一次达到了工业化国家的水平。预计在 2012 年和 2013 年，新兴工业化国家市场容量将继续攀升，明显超越工业化国家。

近来，全球自动化市场达到 3500 亿欧元，这意味着它的市场已超过了全球电气工程市场的十分之一。在过去的几年中，中国已经上升为全球最大的区域市场。目前其市场价值为 1000 亿欧元，占全球市场份额的 29%，这意味着它已超过了市场价值只有 930 亿欧元的欧洲。紧随二者的是美国（占全球市场份额的 12% 或市场价值 400 亿欧元）和日本（占全球市场份额的 8% 或市场价值 260 亿欧元）。德国以 210 亿欧元（占全球市场份额的 6%）成为世界第四大市场。

中国在自动化产品制造上有着更大的领先优势。中国占全球产量的 30%，3500 亿欧元的全球总产量中占 1030 亿欧元。美国和日本旗鼓相当，各以 11% 的比例并列第二位，紧随其后的是德国，占 10%。然而，德国是世界上最大的自动化产品和系统出口

国（290 亿欧元），其次是中国（270 亿欧元）和美国（210 亿欧元）。

信息通信技术行业的全球营业额预计今年将上涨 4.6%，达到 2.69 万亿欧元。信息技术和电信两个关键的分支市场涨势迅猛，分别为占总营业额的 5.2% 和 4.2%。但是，不同地区的市场发展趋势有着显著差距。虽然信息通信技术行业在新兴工业化国家蓬勃发展，而大部分西欧国家的数据与去年相比要么是持平要么是下降。中国、印度和俄罗斯三国的营业额已经占到今年全球信息通信技术需求的七分之一（即 14%）。预计 2013 年，仅中国市场的营业额就会增长 6.6% 达到 2350 亿欧元，超过日本（营业额 2210 亿欧元）成为世界第二大 ICT 市场。在 ICT 需求方面美国市场仍然是无可争议的高居榜首。最新数字显示，其总价值为 7250 亿欧元，同比增长 5.8%。与世界其他地区相比，西欧发展一直较为低迷。2013 年，ICT 销售额预计将小幅增长 1.3% 达到 6250 亿欧元。另一方面，德国的信息技术市场预计在 2013 年将增长 3.0% 达到 750 亿欧元。德国的软件市场也经历强劲增长，销售额达到 17.80 亿欧元，上升了 5.1%。IT 服务市场，如外包和维护等服务，预计将增长 3.0% 销售额达到 359 亿欧元，而硬件市场则有望回归良性增长，上升 1.2 个百分点。

与 SAP 公司、Software AG 公司、Telekom 公司，连同美国子公司（如 IBM 和惠普）和亚洲公司一起，德国拥有这个集结全球最先进水平 IT 精英集群。这为德国在工业 4.0 中发挥主导作用提供了新的契机。

案例国家的工业政策资金举措

其它国家也通过资助计划和研究活动来支持制造业的现代化。然而现有信息表明，工业 4.0 所预期的变革，对于诸如美

国和中国而言，预期的众多趋势充其量也就只有一种，例如新材料和技术的引进⁴。

美国

美国政府再次赋予机械工业行业更大的优先权⁵。它目前正在努力实行积极的产业政策以创造就业机会和鼓励制造业回归美国。2011 年夏，奥巴马总统推出了先进制造伙伴计划（AMP），这是一个汇集了来自研究、商业和政治部门的代表私营机构，来共同描绘“投资和促进新兴技术发展”的路线。AMP 指导委员会由顶尖级工程大学（麻省理工学院，加州大学伯克利分校，斯坦福大学，卡内基梅隆大学，密歇根大学和佐治亚理工学院）校长和美国知名企业（包括卡特彼勒公司，康宁公司，陶氏化学，福特，霍尼韦尔，英特尔，强生，诺斯罗普·格鲁门公司，强生公司，宝洁公司和联合技术公司）老总组成。

2012 年 7 月，AMP 提出了一份带有 16 条详细建议的报告，包括建立一个全国制造创新研究院网络（NNMII）建议⁶。这些研究院采取公—私合作形式，试图充当“区域性卓越制造的枢纽”，旨在提高美国商业的全球竞争力和增加对美国制造设施的投入⁷。

此外，奥巴马政府正在将更多的研发资金用于制造业研究。在 2013 年预算中，先进制造业拨款增加了 19% 至 22 亿美元。负责标准化的国家标准与技术研究院（NIST）获得 1 亿美元资金，

⁴参见：例如，麦肯锡全球研究院：制造未来：未来时代全球经济增长和创新，2012 年 11 月。

⁵这至少是对机械制造技术协会建议和总统科技顾问委员会（PCAST）理事会建议的响应。PCAST 的建议美国政府“捕捉国内先进制造的竞争优势”，呼吁美国正在失去其作为一个领先的制造国的地位，与其他工业化国家不同，很难做任何政策层面的事情。

⁶ PCAST：捕捉国内有竞争优势的先进制造业。AMP 督导委员会的发球报告，2012 年 7 月；国家科学和技术委员会（NSTC）也能看到：2012 年 2 月先进制造业的国家战略计划。

⁷该网络是目前正在开发中。从美国国务院主管部门和企业的代表中央政府投资十亿美元。目的是建立一共有 15 家科研机构，将侧重于不同方面的先进制造业。这是为了提高大学的研究和企业内的产品开发（参见附录 1：技术发展工作流程报告，在 PCAST：捕捉国内竞争优势的先进制造业。AMP 督导委员会的发球报告，2012 年 7 月）。

通过提供研究设备和技术诀窍来支持本国制造业。NIST 也负责先进制造门户网站⁸工作，该门户网站是在 AMP 的建议下成立的，旨在促进该领域政府、大学和私人之间活动的联网。最后，美国政府的工作和创新加速挑战倡议组织投资 2 千万美元在先进制造领域的十个进一步的公共—私营伙伴关系。

CPS 和物联网（IOT）已经在美国的公共资助中获益了好几年。事实上，CPS 系统早在 2006 年就被美国国家科学基金会（NSF）确定为关键研究领域。然而，实际上在制造业中很少具体使用 CPS⁹。网络信息技术研究开发计划（NITRD）召集 18 家研究机构以协调包括在人机交互和信息管理等不同 IT 领域的研究。在 2011 年，NITRD 有超过 30 亿美元的预算供其支配。

中国

中国也努力在扩大其机械工程行业。其第十二个五年计划（2011-2015 年）提出了减少对国外技术的依赖和追求包括高端装备制造业发展与新一代信息技术的七个“战略性新兴产业”全球技术领导地位的目标。¹⁰中国的领导者为了到 2015 年实现这个目标投入 1.2 万亿欧元，正通过补贴、税收减免和其他财政激励手段来刺激供给和需求。他们还打算到 2015 年增加研发投入占 GDP 比例从 1.5%到 2%。¹¹在机床领域，重点之一是发展“智能制造装备”、“智能控制系统”和“高档数控机床”，而在 IT 领域的重点则包括物联网及其应用，包括工业控制和自动化。

2010 年以来，北京对物联网的重视程度显著增长。¹²中国物

⁸网站：www.manufacturing.gov

⁹自 2008 年以来的 108 个项目，已收到 50 万至 100 万美元的资金，似乎只有一个是特别侧重于使用 CPS 制造。

¹⁰在这些领域中，计划着重讲“跨越式”。

¹¹这将带来中国的研发支出到 2015 年高达到大约 215 十亿欧元，或大致 3 倍德国目前花在研究和开发的花费（参见 Nürnberg, Jörg/Wang, Thomas: 第 12 个五年度计划对于德语机械制造商的启示，2012 年 4 月）。

¹² 2010 年以来，即将离任的总理温家宝在很多次讲话中讲到了物联网作为一项关键技术的重要性。为中国的发展在几个演讲。工业和信息化部部长李毅中，也在一篇题为“我们必须利用信息技术重组和改造提升传统产业，我们应该制定政策鼓励发展物联网”强调了这一话题。（参见：<http://en.cbf.net.au/Item/639.aspx>

联网会议每年举办一次，首个物联网中心在第一次会议上开启。这个研究中心已经收到了 1.17 亿美元资金用于调查基础的物联网技术和与之相关的标准化需求。除此之外，大连理工大学的软件学院在 2009 年用汇款建立了一个研究组，包括对自动化工程中 CPS 应用的研究。¹³中国还在江苏省无锡市建立了一个有 300 家公司、雇佣超过七万人的物联网创新区。中国的领导人正在计划从现在到 2015 年在物联网领域总计投资 8 亿美元。¹⁴

欧洲

在欧洲层面，对物联网的研究正在从第七研究框架计划（2007-2013 年）中不断增加的支持获利。最大的预算拨款超过 90 亿欧元被优先专用于信息和计算机技术。在这项计划中，有许多种在制造业中实现物联网的跨领域措施。西门子主导的物联网工作工程已被注入了 580 万欧元预算来发展在实际情境下的即插即用方案。与此同时，24 亿欧元已经投入到 ARTEMIS 技术平台来促进包括制造和生产自动化及 CPS 的八个子方案的研发项目。¹⁵除此之外，12 亿欧元已经投入到“未来的工厂”这一公私合作计划，该计划每年征集有关智能、ICT 驱动的制造业领域的申请。在这一计划的支持下，以 SAP 主导的“行动计划 T”最近提交了它的“制造 2.0 愿景”，即拟作为第八研究框架计划——地平线 2020（2014-2020）下的未来研究资助计划的讨论稿。地平线 2020 提出了 800 亿欧元预算建议，这将使其成为世界上最大的研发经费计划。¹⁶

- 上次访问是作者在 2013 年 1 月）。

¹³参见： See Geisberger, Eva/Broy, Manfred: CPS 机构. Integrierte Forschungsagenda cyber 物理系统（cps. 集成研究议程 cyber 物理系统）（acatech 研究）Heidelberg et al.: Springer Verlag 2012.

¹⁴参见： Voigt, Kevin: 中国看起来引领物联网，有线电视新闻网（CNN）2012 年 11 月 28 日

¹⁵ 2008 年以来，也一直 ARTEMIS 每年举办的全球“CPS 周”。欧洲研究物联网（IERC）集群是通过协调在这一领域的研究活动的第七研究计划框架资助的一项举措。

¹⁶在英国，一个专家小组目前正在研究制造业的未来。“未来制造业转型”项目将找出到 2050 年潜在的制造业发展战略。

印度

创新资金是印度五年计划（2012-2017）核心优先事项之一，公共和私人的研发投入增长将至 GDP 的 2%。¹⁷在 2011 年，“CPS 创新中心”项目在通信与信息部支持下主导了对各种领域的研究，包括人形机器人。此外，Bosch 公司于 2011 年 11 月在班加罗尔创立了 CPS 研究中心。弗劳恩霍夫协会和一些印度研究中心正以顾问的身份在参与在这个项目中。该合作伙伴关系资助了 228 亿欧元，旨在为未来的 IT 专家创造一个最佳的研究和工作环境。今后，也将给工业界和研究机构提供支持，例如通过研究合同。¹⁸即使在今天，根据斑马技术公司最近的一项研究，印度企业是世界上采取行动并使用物联网技术的领导者。¹⁹

关键信息

德国的许多竞争对手也承认在生产环境中使用物联网的趋势，并通过一系列的机制和财政措施来推动它的发展。工业 4.0 工作组认为，德国已作好准备在工业 4.0 领域中成为一个全球的标兵。工业 4.0 平台应在由德国所采取的措施和计划成功地实施这一目标的程度上进行定期评估。

应建立一个独立的研究项目更详细地分析德国的国际竞争对手和市场，它应把目标定在未来 10 到 15 年。

¹⁷参见印度政府计划委员会：更快，可持续和更具包容性的增长。一个第十二个五年计划的路径，2011 年 10 月，p 115。

¹⁸参见：See Geisberger, Eva/Broy, Manfred: CPS 机构. Integrierte Forschungsagenda cyber 物理系统（cps。集成研究议程 cyber 物理系统）（acatech 研究）Heidelberg et al.: Springer Verlag 2012.

¹⁹请参阅的 CXO 今天新闻台：印度 CIO 们热衷于采纳物联网，2012 年 10 月 11 日。

应用实例 5:

由于超出制造商所能控制的危机导致生产过程中供应商的突然改变

出现超出制造商所能控制的局面，如始料未及自然灾害或政治危机，意味着他们往往在生产过程中需要突然更换供应商。工业 4.0 可以通过运行受影响的下游服务的仿真系统，帮助使这些变化平稳许多，从而使不同的供应商得到评估，并从中选择最好的替代供应商。

今天

当出现意想不到的供应商爽约情况，目前制造商难以判断对目前生产与下游流程的影响并做出及时的反应。供应商突然爽约会导致显著的额外费用和生产延误，因此会给公司业务带来重大风险。他们需要就如下问题采取迅速的决策，关于使用替代供应商作为填补，如何执行处在生产过程中的货物物流，目前的存货将维持多久，哪些产品已经包含爽约供应商提供的组件，以及替代供应商是否有足够能力和本领在最后期限前提供所需物品。目前，IT 只能为这些决策提供部分支持。

明天

在工业 4.0，将有可能模拟在制造过程中的所有步骤，并描绘出它们对生产的影响。这包括对库存水平、运输和物流等进行模拟，对已经用于生产中的组件的历史状况以及这些组件在失效前可以使用多久的相关信息跟踪。这将能计算特定产品的固定成本，并将生产资源的重新配置保持在最低限度。判断相关风险也是可能的。因此，它将能够模拟可供选择的供应商的成本和利润空间，包括仿真用一个供应商替代另一个供应商对环境的影响。广泛的网络制造系统将使分析可替代供应商和他们的实

时能力成为可能。

通过供应商云里适当的安全通道来直接接洽联系供应商将成为可能。

潜在益处

IT 创新技术（如大数据与云计算）允许进行实时优化模拟。必要的软件设计已经存在。各种价值驱动因素力主之一方法得以尽快实施，它包括时间和成本的节约和最大限度减少业务风险的能力。

7 展望

德国有潜力成为一个工业 4.0 的主导市场和领先的供应商。如果这一目标得以实现，除了满足技术的挑战，还要使不同行业及其员工一起工作致力发展。工业 4.0 平台构成了确保工业 4.0 创新潜力应用到所有工业中的关键一步。

实施工业 4.0 愿景的旅程是一个渐进的过程，各个企业和部门将以不同的速率推进。因此示范项目应尽快开展，新产品也应尽快进入市场。

工业 4.0 的实施应通过一个双重战略进行。现有的基本技术和经验将需要适应制造工程的需求并在一个宽阔的基础上迅速铺开。与此同时，为新生产基地和新市场研究和开发创新的解决方案也将是必要的。如能成功实施，德国将成为工业 4.0 的领先供应商。此外，建立主导市场将有助于使德国变为一个更具吸引力的制造地并有利于保护国内制造业。

工业—科学研究联盟在 2011 年年初发起工业 4.0 战略方案。截至 2013 年 4 月，工业界的专业协会 BITKOM, VDMA 和 ZVEI 将和商界与科研界和民间社团参与者汇成一起，以确保这一方案协调推进。这一所有的利益相关者参与其中的系统方法在相互交流技术和社会创新中将提供一个在这方面成功合作的坚实基础。

工业科学研究联盟主页：forschungsunion.de

高技术战略行动计划：bmbf.de/pub/HTS-Aktionsplan.pdf

工业 4.0 工作组报告：[acatech.de/工业 4.0](http://acatech.de/工业4.0)

背景资料：

工业 4.0 战略计划

工业 4.0 是一项“战略方案”，在 2011 年 11 月被德国政府采纳为高科技战略 2020 行动计划的一部分。它于 2011 年 1 月由科学研究联盟（FU）通信促进小组发起。工业 4.0 工作组在 2012 年 1 月和 10 月间在德国国家科学与工程院的协调下出台了初步实施建议。工作组主席由 Robert-Bosch GmbH 公司董事会副主席 Siegfried Dais 博士和国家科学工程院院长 Henning Kagermann 教授担任。2012 年 10 月 2 日，所提建议于柏林生产技术中心举行的工业科学研究联盟的实施论坛上作为一份报告提交给德国政府。下一阶段，通过工业专业协会 BITKOM，VDMA 和 ZVEI 最近成立的并有自己秘书处支持的工业 4.0 平台下的一些工作组，将出台更进一步的实施办法。

自 2006 年以来，德国政府一直在努力德国建立部门间高技术战略协调机制，推动德国的研究与创新工作，其目的是通过技术创新确保德国的强有力竞争地位。这几种体现在目前的在高科技 2020 战略，聚焦在五个优先领域：气候/能源，健康/饮食，移动性，安全和通信。该战略围绕一些“战略方案”，使工业—科研联盟瞄准十到十五年的具体中期科学和技术发展目标。这些举措都制定了具体的创新战略和实施路线图，旨在使德国成为向全球性挑战提供解决方案的领导者。

本报告在工业 4.0 工作组于 2012 年 10 月提出的建议基础上加以说明和扩展，并将提供一个工业 4.0 平台的工作基础，该平台将在 2013 年 4 月开始启动。

工业科学联盟主页：

forschungsunion.de

高科技战略行动计划可查：

bmbf.de/pub/HTS-Aktionsplan.pdf

工业 4.0 工作报告：

acatech.de/industrie4.0

工业 4.0 平台

专业协会 BITKOM, VDMA 和 ZVEI 共同建立了工业 4.0 平台，其目的是为了推动倡议并确保在协调、跨部门的形式下实施。平台的中央协调和管理主体是由工业主导的指导委员会。它负责设置平台的战略方针，任命工作组并指导其工作。指导委员会得到科学咨询委员会的支持，科学咨询委员会由包括制造业、IT、自动化工业和其他行业成员的科学建议委员会所支持的组成。工作组向指导委员会汇报工作，同时可以自由确定自己的架构。他们对所有感兴趣的机构开放。

理事会提供战略方面的建议并支持平台的政治活动。在必要的情况下，它代表平台与政策制定者、媒体和公众面对面对话。

秘书处工作人员被三个专业协会的成员雇佣并提供给指导委员会组织和行政的支持。它应对着知识转移，内部关系及交易与类似的举措。它也负责媒体和公共关系活动。

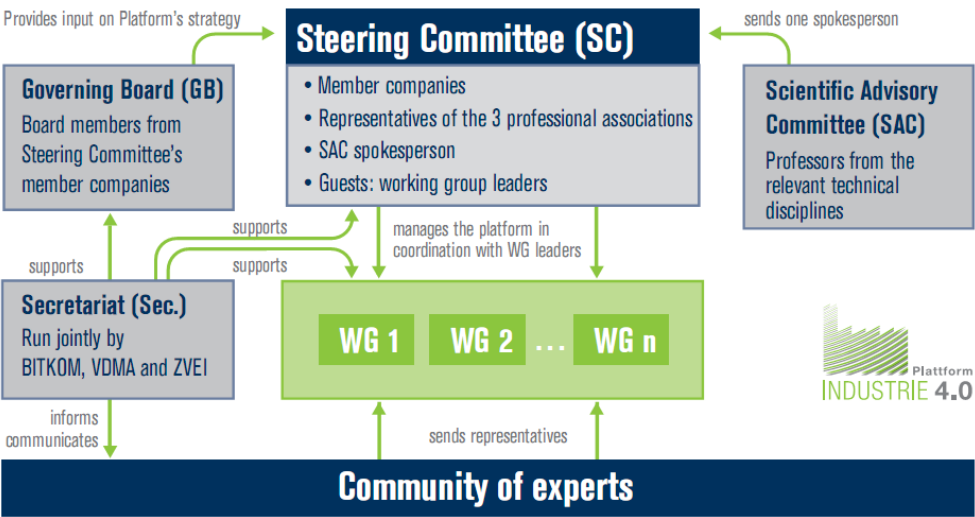


图 14