



# 工业互联网

## 打破智慧与机器的边界

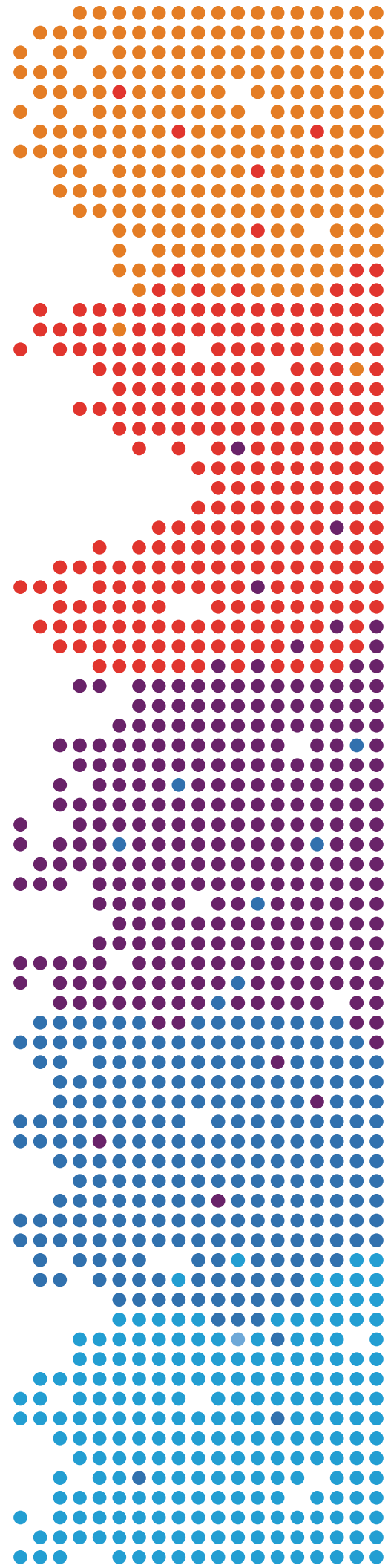
Peter C. Evans与Marco Annunziata



GE梦想启动未来

# 目录

- 一. 综述 1-2
- 二. 创新和生产力：下一步是什么？ 3-4
- 三. 创新和变革浪潮 5-10
  - 第一次：工业革命
  - 第二次：互联网革命
  - 第三次：工业互联网
- 四. 机会有多大？三种视角 11-16
  - 经济视角
  - 能源消耗的视角
  - 硬件设施视角：旋转设备
- 五. 工业互联网的收益 17-28
  - 工业部门的收益：1%的威力
    - 商用航空
    - 轨道交通
    - 电力
    - 石油天然气的开发与配送
    - 医疗
  - 经济效益：下一波生产力大爆发
    - 生产力发展的衰退
    - 互联网革命
    - 怀疑论者的回归
    - 工业互联网：下一波浪潮来临会带来多大的不同？
    - 工业互联网与高端制造业
    - 对全球经济的影响
    - 商业实践和商业环境的角色
- 六. 动力、催化剂和条件 29-31
  - 创新
  - 基础设施
  - 网络安全管理
  - 人才培养
- 七. 结论 32
- 八. 尾注与致谢 33-35



## 一、综述

随着工业互联网的崛起，世界正处在通向新的创新与变革时代的门口，这要归功于全球工业系统与先进的计算、分析、低成本传感技术以及全新互联网连接融合的结果。数字世界与机器世界的更深层次融合有可能对全球产业带来深刻的变革，并对日常生活的方方面面产生影响，其中包括我们许多人的工作方式。这些创新有望为航空、铁路运输、电力、石油和天然气开发，以及医疗等各个行业带来更快的发展速度和更高的效率。无论是在美国还是中国，无论是非洲的大城市还是哈萨克斯坦的乡村地区，工业互联网有望推动更强劲的经济增长、提供更好更多的就业机会，并提高人们的生活水平。

通过使用更低成本带来更好的医疗效果、大量节约燃料和能源，以及使用性能更好、寿命更长的硬件设施，工业互联网将进一步提高效率，就像工业革命和互联网革命那样加快生产力增长。生产力的提高意味着更快地提高人们的收入和生活水平。在美国，如果工业互联网能够使生产率每年提高1-1.5%，使其重回互联网革命时期的峰值水平，那么未来20年，它将使平均收入比当前水平提高25-40%。随着创新意识在全球范围的扩散，如果世界其它地区能确保实现美国生产率增长的一半，那么工业互联网在此期间会为全球GDP增加10-15万亿美元——几乎是当今美国经济的规模。在当今富有挑战性的经济环境中，即使确保实现一小部分生产力提高，也能在个人层面和整个经济层面带来极大的益处。

### 下一波浪潮

这可能吗？工业互联网汇集了两大革命的进步：工业革命带来的无数机器、设备组、设施和系统网络，以及互联网革命中涌现出的计算、信息与通信系统更强大的进步。

结合起来，这些发展汇集了三大元素，这充分体现了工业互联网的精髓：

**智能机器：**将世界上各种机器、设备组、设施和系统网络与先进的传感器、控制和软件应用程序相连接的新方式。

**高级分析：**利用物理分析、预测算法、自动化以及材料科学、电气工程及其它了解机器及更大系统运转方式所需的重点学科的深厚专业知识。

**工作中的人：**在任何时候将人相连——无论他们在工业设施、办公室、医院工作还是在行进中——以支持更加智能的设计、运营、维护，以及更高质量的服务和安全性。

连接并整合这些元素为各种企业和经济体提供了新的机遇。例如，传统统计方法使用的是历史数据收集技术，这种方式往往在数据、分析和决策之间存在孤立性。由于系统监测已得到改进并且信息技术的成本有所下降，支持越来越多实时数据的能力得到了提高。高频率实时数据让人们在全新的高度了解系统运行情况。基于机器的分析为分析流程带来了另一种维度。物理方法、深厚的特定行业领域专业知识、

更多信息流自动化，以及预测功能的整合可加入现有的“大数据”工具套件。其结果就是：工业互联网包括传统方式以及最新混合方式，以便通过特定行业的高级分析来充分利用历史数据和实时数据。

### 构建模块和“旋转设备”

工业互联网最开始是将传感器及其它先进的仪器仪表（从简单到复杂）嵌入各种机器。这能够收集并分析海量数据，用来改进机器性能，并不可避免地提高将其连接在一起的系统和网络的效率。甚至数据本身能够变得“智能”，立即知道自己需要抵达哪些用户。

仅在航空领域就有巨大潜力。目前约有20,000架商用飞机，其中包含43,000个商用喷气发动机。每个喷气机发动机包含3个分别安装仪器仪表和监测的主要旋转设备。试想一下“智能飞机”可以与操作员进行通信时，发动机维护、燃料消耗、机组分配和调度的效率。这还只是当前的情况。未来15年，随着全球范围对航空服务的需求不断提高，将有30,000个新的喷气发动机投入服务。

图表1 工业互联网的关键元素

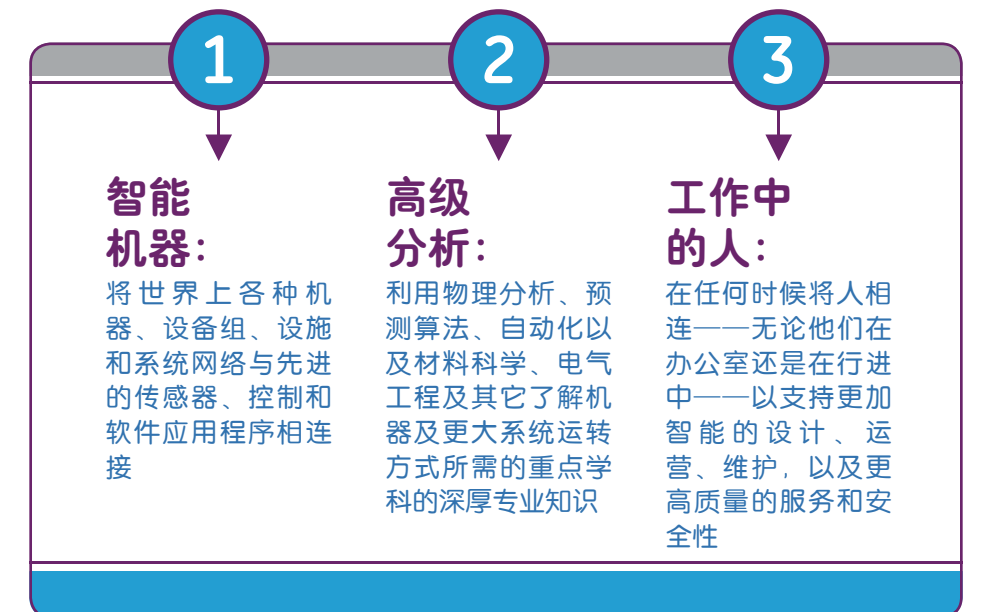


表1 工业互联网：1%的威力

主要部门的潜在收益			
行业	部门	节约种类	15年内的估计价值 (单位: 10亿名义美元)
航空	商用	节约1%的燃料	300亿美元
电力	天然气发电	节约1%的燃料	660亿美元
医疗	整个系统	系统效率提高1%	630亿美元
铁路	货运	系统效率提高1%	270亿美元
石油天然气	勘探与开发	资本支出降低1%	900亿美元

注：基于全球具体行业节约1%  
来源：GE估计

机车、联合循环电厂、能源加工厂、工业设施及其它重要资产中也有类似安装仪器仪表的机会。总体来说，当今全球工业资产库中有超过300万个“旋转设备”——所有这些只是工业互联网可支持的设备的一小部分。

### 1%的威力

机器与分析相结合的收益是多方面的，也是显著的。我们估计，工业互联网的技术创新将在规模高达32.3万亿美元的领域内得到直接应用。随着全球经济的发展，工业互联网的潜在应用也将扩大。到2025年，工业互联网的应用领域将达82亿美元的规模，或占全球经济的一半。

保守看待特定行业的收益是有益的。即使工业互联网只能让效率提高百分之一，其效益也将是巨大的。例如，仅在商用航空领域，未来15年，节约百分之一的燃油就意味着节约300亿美元的成本。同样，全球所有天然气电厂的效率提高百分之一，就意味着节约价值660亿美元的燃油。通过提高流程的效率，全球医疗行业也将受益于工业互联网：全球医疗效率提高百分

之一，就意味着节约630亿美元的医疗成本。在全球铁路运输行业，如果效率提高百分之一，则意味着节约270亿美元的燃料。最后，产业上游的石油和天然气勘探开发的资本利用率提高百分之一，就可避免或推迟900亿美元的资本支出。这些仅仅是有可能实现的几个例子。

### 广泛的全球收益

作为重要创新的发起者和先行者，美国位于工业互联网的前沿。鉴于越来越深入的全球一体化以及更快速的技术转移，带来的收益将是全球性的。事实上，由于新兴市场大量投资基础设施，尽早快速采用工业互联网技术会成为一个强大的放大器。可能有机会避免发达经济体所经历的某些发展阶段。例如，通过直接使用无线技术，可能会避免使用电缆或电线。或者，

目前提供的私有、半公共或公共云系统有可能不再需求孤立系统。从而更快弥合发达和新兴国家之间生产力的差距。在这个过程中，工业互联网将缓解资源和财务限制，使强大的全球经济的成长能够实现可持续发展。

### 动力和催化剂

工业互联网的实现需要一系列关键动力和催化剂：

- 必须在技术创新方面持续努力，并且投资部署必要的传感器、仪器仪表和用户界面系统。投资是将新技术快速转化为资本存量的一个基本条件。工业互联网的发展步伐最终决定于“自身的高性价比，以及使当前方式受益”。部署工业互联网的成本取决于具体领域和具体地区，但我们假设：部署成本将会为投资技术的资金带来积极的回报。
- 一个强大的网络安全系统和方案，用来管理漏洞并保护敏感信息和知识产权。
- 强大的人才储备，包括将机械和工业工程整合为新的“数字-机械工程师”跨部门职位，创建分析平台和算法的数据科学家，以及软件和网络安全专家。为工作人员赋予这些技能将有助于确保创新再次创造更多就业机会并提高生产力。

这将需要资源和大量工作，但是工业互联网能够改变我们的产业和生活——打破智慧与机器的边界。



## 二、创新和生产力：下一步是什么？

在人类历史发展的大部分时间里，生产力的增长几乎难以觉察，生活水平的提升也非常缓慢。大约200年前，发生了创新的飞跃性变化：工业革命。在此期间，人和动物的劳力作业被机器动力所替代。工业革命是分阶段展开的，为我们带来了蒸汽机、内燃机，以及后来的电报、电话和电力。生产力和经济增长急剧加速。到17世纪初，西方经济体中的人均收入水平花了800年时间才翻了一番；而随后的150年，人均收入水平增长了13倍。但是上世纪70年代，在当时处于生产力前沿的美国，生产力的增长却逐渐停止了。

随着计算能力和全球互联网（依赖于信息存储、计算和通信技术的突破）的崛起，最近发生了第二个创新飞跃性变化。它对生产力的影响更为强烈，但是似乎只在10年后——大约在2005年——就失去了上升势头。

现在，有些人认为这就是故事结局。他们承认企业和经济体从过去创新浪潮中受益显著，但是并不看好生产力未来增长的潜力。他们认为，工业革命带来的变革是一次性的，其收益已经实现了；互联网革命已经谢幕了，它所带来的创新远不像工业革命那样具有颠覆性、能够将生产力提升很多。

我们并不同意这一观点。在本文中，我们研究了新一类生产力增长的潜力。我们特别提出了工业革命的成果，及其带来的机器、设施和系统网络是如何与互联网革命的最新成果（智能设备、智能网络和智能决策）相融合的。我们将这种融合称为工业互联网。我们强调的证据表明：各种创新都能对企业和全球经济产生显著效益。我们认为，持怀疑态度的人过早得出了一

个结论，即：生产力不会再增长。就像工业革命一样，互联网革命将以动态方式展开——我们现在正处于一个转折点。

一些发生作用的力量将解释为何工业互联网会在今天发生。机器的能力还没有充分的发挥。长期以来的效率低下问题更多地出现在系统层面，而不是个体机器层面。其复杂性已超出人类操作者识别并减少这些效率低下的能力。尽管这些因素使得在传统方式取得改进更加困难，但是它们正在创造激励措施，以便运用互联网创新从而得到新的解决方案。计算、信息和电信系统现在可支持各种仪器仪表、监测和分析。仪器仪表的成本已大幅下降，从而有可能更大规模配备并监测工业机器。处理能力的提高势头有增无减，并达到有可能通过数字智能而增强机器的水平。可处理大量信息的远程数据存储、大数据集和更先进的分析工具日趋成熟，并且应用更加广泛。这些变化相结合，用于机器、设施和系统网络时，将创造激动人心的新机会。

仪器仪表成本的快速下降与云计算的影响力的上升相辅相成，这让我们能够以更低成本收集并分析更多数据。与上世纪90年代后五年推动快速采用信息与通信技术设备相比，它创造了一个成本下降的趋势，而这将加速工业互联网的发展。移动革命也将加速成本下降趋势，使其更加经济实惠地高效共享信息，并导致分散优化和个性化优化。对工业设施、分布式能源和个性化便携式机器的远程监测和控制只是其中一些最有说服力的示例。

处理能力的提高势头有增无减，并有可能达到通过数字智能而增强机器的水平。

要想充分认识其潜力，重要的是要考虑全球工业系统会变得有多大。现在，全球有数百万台机器，从简单的电动机一直到医疗行业使用的最先进的计算断层（CT）扫描仪；有数十万设施，从发电厂，一直到在全球运送人员和货物的飞机；还有数千个复杂网络，从电网到铁路系统，将机器与设施连接到一起。

工业互联网将帮助工业系统的每个层面都更好地运行。它将通过优化检查、维护和维修流程而提高资产的可靠性。它将在设施层面以及更大的系统网络上提高运营效率。



GE梦想启动未来

条件现已成熟，早期证据表明：新一轮创新浪潮已经来临。在后面的文章里，我们提出了一个思考工业互联网将如何开展的框架，以及它为企业、乃至更广泛的全球经济体所带来的收益。

### 三、创新和变革浪潮

在过去200年里，世界经历了数次创新浪潮。成功的企业学到如何在这些浪潮中前行并适应不断变化的环境。今天，我们处于新一轮创新的风口浪尖，这轮创新有望改变我们发展商业、以及与工业机器世界进行交互的方式。为了充分了解当今的形势，有必要回顾一下我们是如何走到这一步的，以及过去的创新是如何为未来所谓的“工业互联网”搭建舞台。

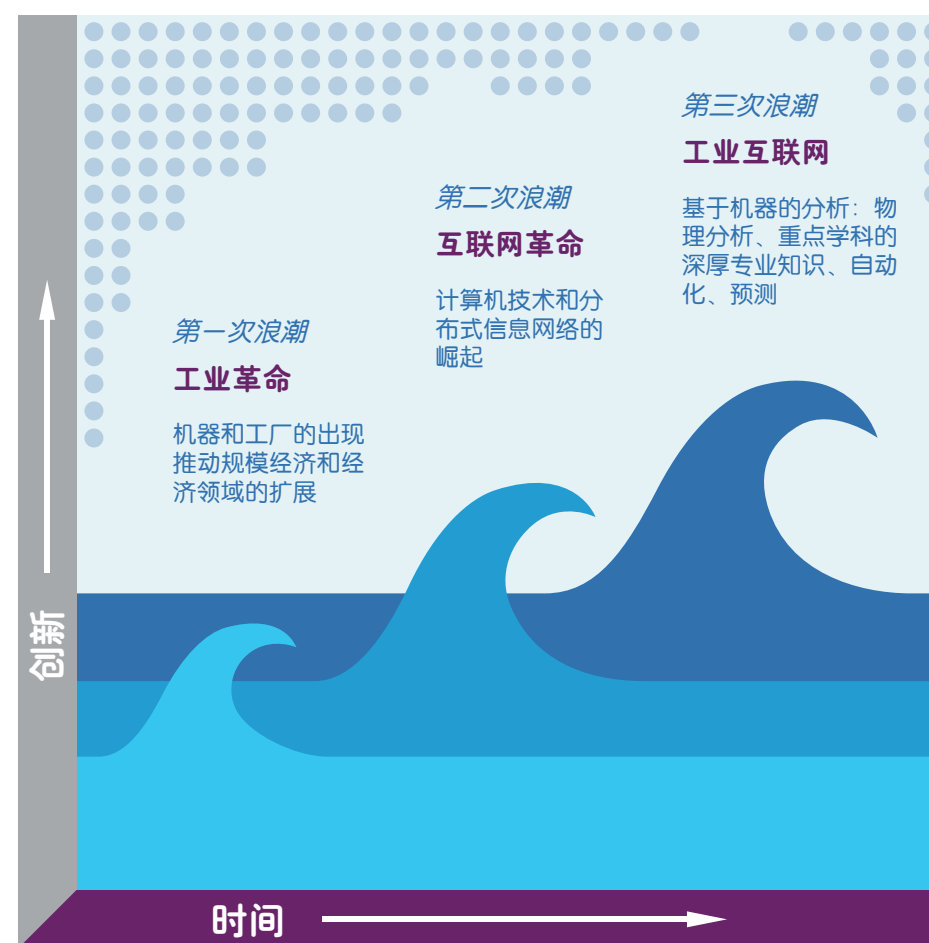
#### 第一次：工业革命

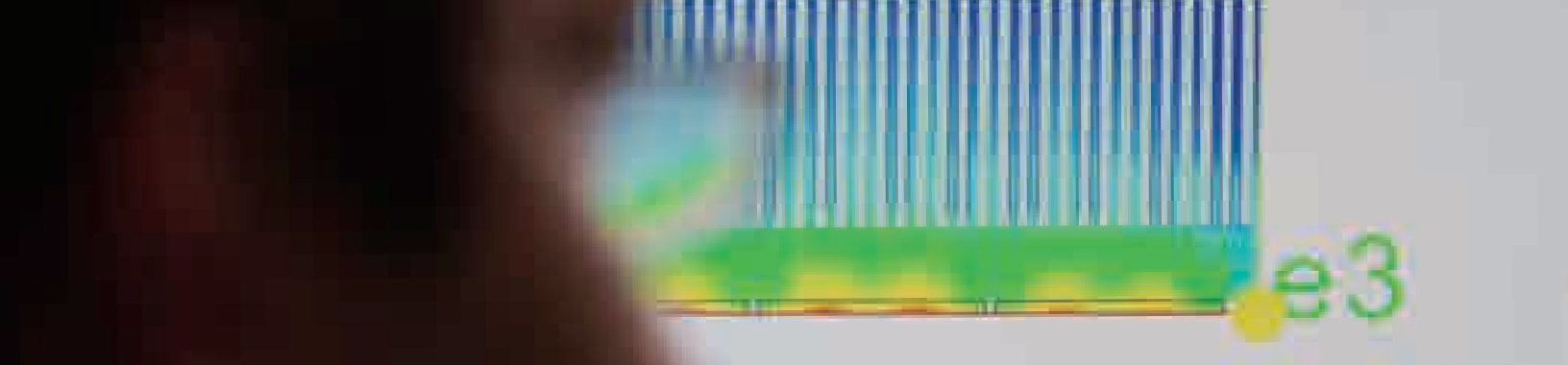
工业革命对社会、经济以及世界文化产生了深远的影响。这是一个跨越150年历史（从1750年到1900年）的漫长创新历

程。在此期间，技术创新应用到制造、能源生产、交通和农业中，迎来了一段经济增长和转型期。首轮创新始于十八世纪中叶的蒸汽机商业化。工业革命从欧洲北部开始，当时那里是最发达的经济体，随后波及到美国，在这里，铁路在加速经济发展中发挥了关键作用<sup>1</sup>。第二轮创新始于19世纪70年代，但是来势更为凶猛，为我们带来了内燃机、电力及其它一大批有用的机器。

工业革命改变了我们的生活方式：为交通运输（从马车和帆船到铁路、轮船和卡车）、通信（电报和电话）、城市中心（电力、自来水、卫生和医疗）带来了意义深远的变革。它大大提高了人们的生活质量和医疗条件<sup>2</sup>。

图表2 工业互联网的崛起





这一时期的一些关键点<sup>3</sup>。它的特点是：大型工业企业的兴起，涵盖各种新行业，从纺织到冶金，一直到电力。它创造了显著的规模经济，并随着机器和设施的日益壮大和生产量的提高而相应降低了成本。它利用层级结构的效率，并采用集中控制。专用厂房和设备的全球资本存量大幅增长。随着中心实验室和研发中心的兴起，开始以系统化的方法来思考创新。企业——无论规模大小——都努力利用新发明，以便创建新市场并从中获利。

尽管经济和社会取得了巨大的收益，工业革命带来的影响日趋减弱。全球经济系统变得更加高度资源密集，并对外部环境产生更大的影响——这是资源开采和工业废物流出所造成的。此外，在这个时代，工作条件需要得到巨大改进。自工业革命以来出现的许多渐进式创新一直聚焦于提高效率、减少浪费并改进工作环境的层面上。

### 第二次：互联网革命

二十世纪末，互联网革命再次改变了世界。它的持续时间比工业革命的150年要短得多，只花了50年；但是就像工业革命一样，互联网革命也是分阶段展开的。第一阶段始于上世纪50年代大型计算机、软件以及允许计算机之间互相通信的“信息包”的问世。首个阶段包括由政府资助的计算机网络实验。

上世纪70年代，这些封闭的政府和私有网络让位于开放式网络，也就是我们现在所说的万维网。相对于互联网各阶段所使用的同构封闭网络，开放式网络是异构的。其中一个重要特点就是：明确设计标准和协议，以便允许不同位置内、由不同群体所拥有的不兼容机器互相连接并交换信息。

网络的开放性和灵活性是为其爆发式增长奠定基础的关键元素，并且增长速度是惊人的。1981年8月，一共有不到300台联网的计算机。十五年之后，这一数字激增到1900万台<sup>4</sup>。现在，这一数字达到数十亿。信息传输的速度和量大幅增长。1985年，最好的调制解调器只能达到9.6千比特每秒（Kbps）的速度。与之相比，第一代iPhone手机的速度快400倍，传输信息的速度可达3.6兆比特每秒（Mbps）<sup>5</sup>

速度和数量的结合为商业和社会交流创造了强大的新平台，这是通过降低商业交易和社会交互成本而实现的。一开始，企业在互联网上什么也不销售，而现在，它们在網上创建了新的大型高效交易市场。在某些情况下，当前一些企业转型为新的数字平台；然而，绝大多数创新和孵化都围绕打造公司品牌和能力。2005年，eBay创立之初时，它第一年的用户只有41,000人，货物交易额是720万美元。到2006年，它的用户达到2200万，货物交易量为525亿美元。社交网络也有类似的发展轨迹。Facebook于2004年2月正式上线，

在不到一年的时间里，活跃用户数量达到100万人。到2008年，Facebook共有1亿活跃用户。Facebook现在有超过10亿用户。在八年时间里，Facebook促成了超过1400亿次朋友联络、上传了2650亿张照片，并播放了220亿次歌曲<sup>6</sup>。

互联网革命的特质与工业革命有很大不同。互联网、计算以及接受大量数据的能力是构建在网络的搭建和价值、横向结构和分布式智能的基础之上。通过允许更深层次的集成和更加灵活的操作，它改变了思考生产系统的方式。此外，与有序的线性研发方式不同，互联网能够支持并行创新。快速交换信息以及分散决策的能力造就了更多不受地理环境限制的协同工作环境。因此，集中化内部创新的旧模式让路于创业企业以及利用更丰富知识的更加开放的创新模式。因此，互联网革命是信息和知识密集型的，而不是资源密集型的。它凸显了网络 and 平台创建的价值。它为降低环境影响和支持生态友好型产品和服务开辟了新的道路。

### 第三次：工业互联网

在当今的二十一世纪，工业互联网有望再次改变我们的世界。工业革命促成的全球工业系统的融合，再加上作为互联网革命的一部分开发的开放式计算和通信系统，这为加快生产力、减少低效和浪费，以及改进人的工作体验开辟了新领域。

事实上，工业互联网革命正在进行中。当工业应用在过去十年出现时，企业已将互联网技术运用于工业应用。然而，我们目前远未达到可能性的极限：互联网数字技术的全部潜力还没有在全球工业系统上完全发挥出来。智能设备、智能系统和智能决策代表着机器、设备组、设施和系统网络的世界能够更深入地与连接、大数据和分析所代表的数字世界融合。

### 智能设备

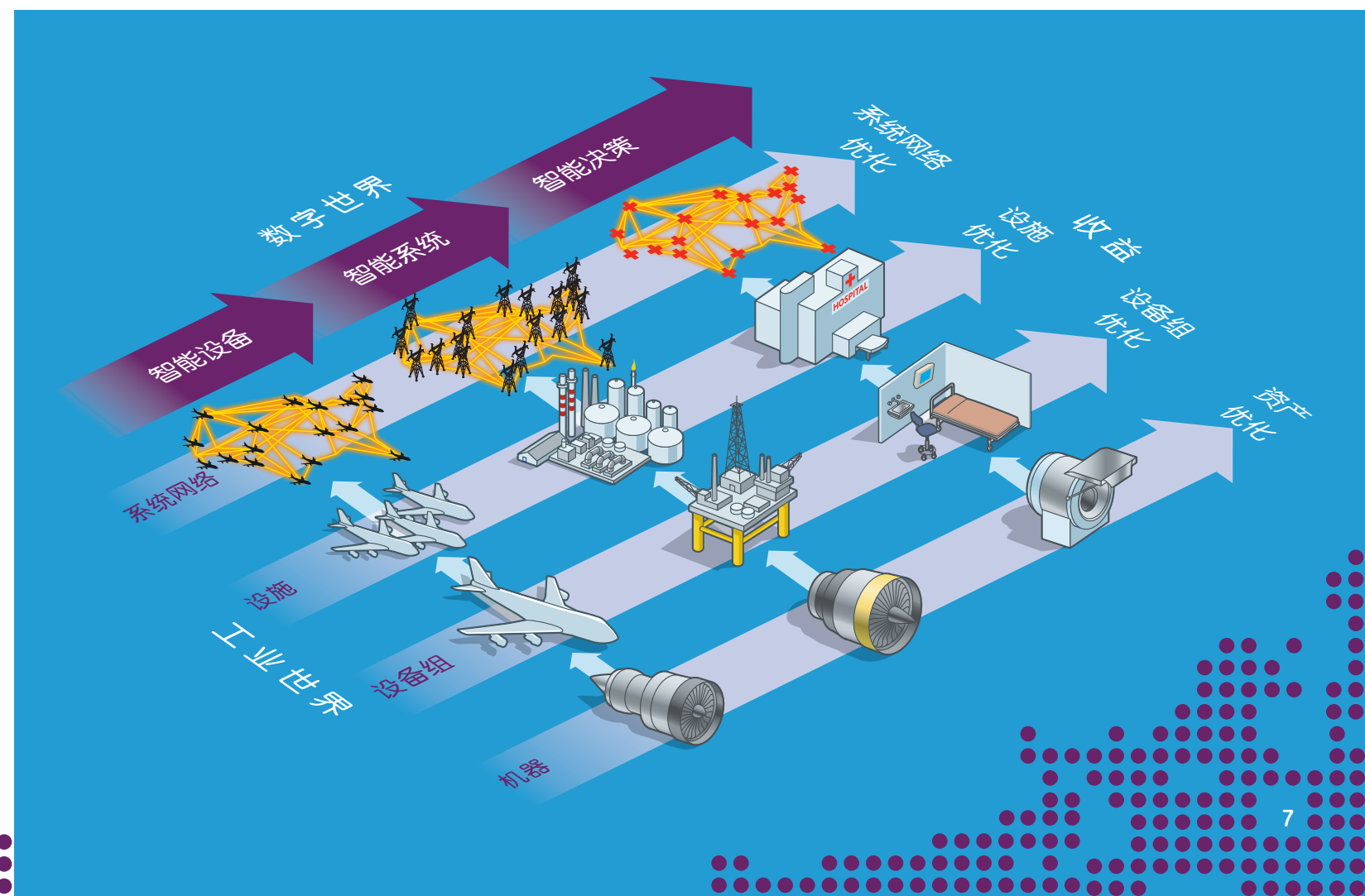
为工业设备提供数字仪器仪表是工业互联网革命的第一步。几个因素让工业机器仪器仪表的广泛应用成为可能，并且在经济上可行。广泛的仪器仪表是工业互联网崛起的必要条件。几大力量让机器和机器数据的收集更加智能。

- **部署成本**：仪器仪表成本已经大幅下滑，使得以更经济的方式装配和监测工业机器成为可能。
- **计算能力**：微处理器芯片的持续进步已经达到临界点，使得利用数字智能增强机器成为可能。
- **高级分析**：大数据软件工具和分析技术的进步提供了理解智能设备产生的海量数据的方法。

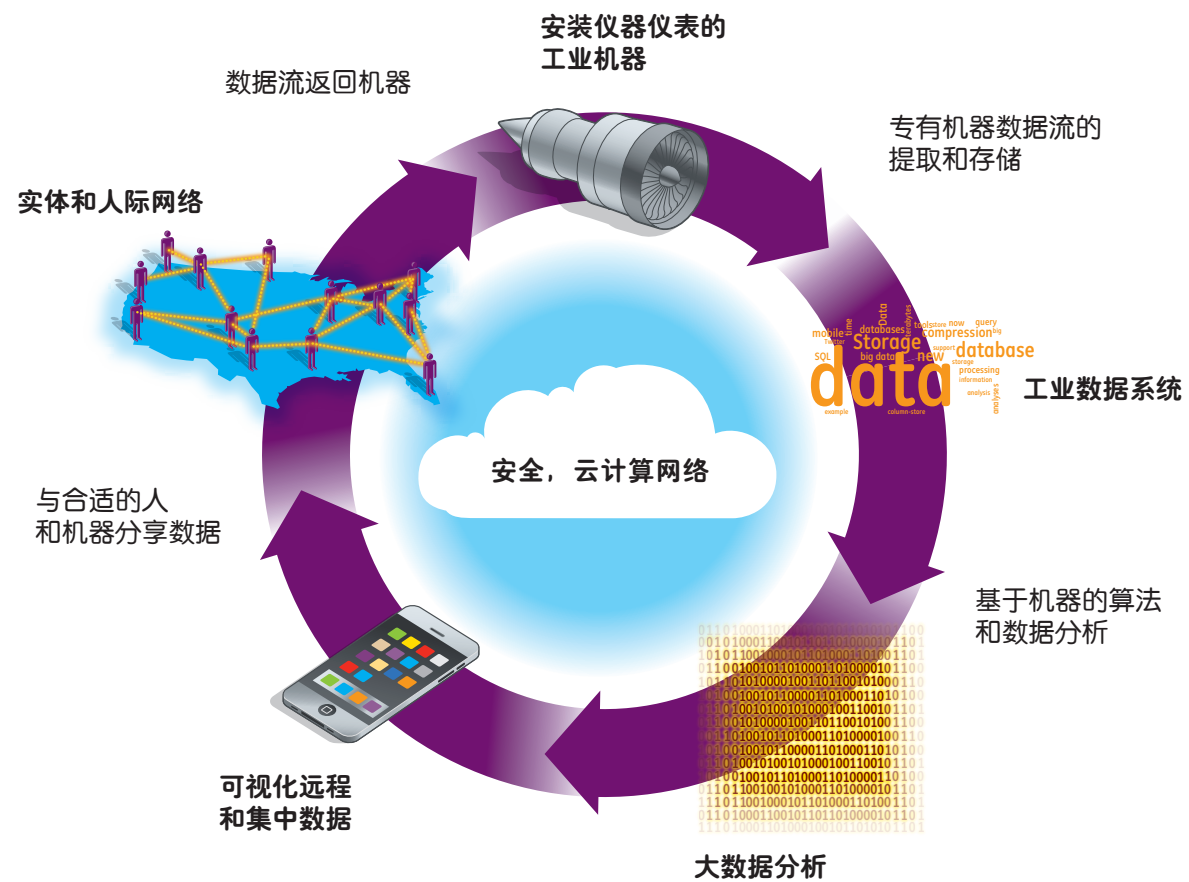
这些因素正在改变收集和分析数据（理论上存在，但在实践中尚未得到充分的利用）并采取行动的成本和价值。

利用智能设备产生的海量数据是工业互联网的一个重要功能。如图3所示，工业互联网可以被看作是数据、硬件、软件和智能的流通与互动。从智能设备和网络中获取数据，然后利用大数据和分析工具进行存储、分析和可视化。最终的“智能信息”可以供决策者（在必要时实时）使用，或者作为各工业系统中更广泛的工业资产优化或战略决策流程的一部分。

图表3 工业互联网的应用



图表4，工业互联网的数据循环



智能信息也可以在机器、系统网络、个人或群体之间分享，推动智能协作和更好的决策。这让更广泛的利益相关者能够参与到资产维护、管理和优化之中。它还确保在合适的时间引入本地和远程拥有相关机器专业知识的人。智能信息还可以返回至最初的机器。这不仅包括该机器产生的数据，还包括可以加强机器、设施和大型系统的运营或维护的外部数据。这些数据反馈循环让机器能够从历史中“学习”，通过板载控制系统更智能的运行。

每个安装仪器仪表的设备将产生大量数据，可以通过工业互联网传输到远程机器和用户。实施工业互联网的一个重要部分将涉及确定哪些数据仍驻留在设备上以及哪些数据传输到远程地点进行分析和存储。确定本地数据的程度是确保工业互联

网以及相关公司安全的重要因素之一。这里的重点是新的创新可以让安装仪器仪表的设备所生成的敏感数据保留在本地。其它数据流将远程传输，以便可以让在办公室或移动中的人实现可视化、分析、增强并采取行动。

随着时间的流逝，这些数据流提供了运营和性能的历史信息，让操作员可以更好地了解工厂关键设备的状况。操作员可以了解某个具体设备已经运行了多长时间及其运行条件。分析工具可以比较其它工厂中类似设备的运行历史，以便可靠地估计该设备出现故障的可能性以及时间。这种方式把运行数据和预测分析相结合，避免意外停机并最小化维护成本。

所有这些收益都来自机器仪器仪表，使用现有信息技术并提高人们的工作效率。这就是为什么广泛部署智能设备有如此大的威力。在飞机发动机等高性能机器越来越难以提高生产力的情况下，广泛部署智能设备有望释放额外的性能和运营效率。

### 智能系统

智能系统的潜在利益非常庞大。智能系统包括各种传统联网系统，但其定义更加宽泛，包括整合广泛的机器仪器仪表与设施和系统网络上部署的软件。随着越来越多的机器和设备进入工业互联网，广泛机器仪器仪表的整合效应可以在设施和系统网络上实现。

智能系统包括多种形式：

**网络优化：**一个系统中互联机器的运营可以协调，以便在网络层面提高运营效率。例如在医疗领域，不同资产可以连接起来以帮助医生和护士更快把患者引导至恰当的设备。然后，信息可以无缝地传输给医护人员和患者，从而减少等待时间、提高设备利用率并提高医护质量。智能系统还适用于交通网络中的路线优化。联网中的车辆会知道它们的位置和目的地，也能知道系统内其它车辆的位置和目的地——实现路线优化以找到最高效的系统级解决方案。

**维护优化：**设施的最优、低成本、机器维护也可以通过智能系统实现。机器、组件和单个零部件的聚合视图提供了这些设备的状态信息，从而实现在合适的时间向合适的地点提供恰当数量的零部件。这最小化了零部件库存要求和维护成本，并提高了机器可靠性。智能系统维护优化可以与网络学习和预测分析相结合，让工程师实施有望把机器可靠性提高到空前高度的预防性维护计划。

**系统恢复：**建立广泛的系统级智能也有助于在重大故障后更快速高效地恢复系统。例如，在暴风雨、地震或其它自然灾害发生时，智能仪器仪表、传感器以及其它智能设备和系统构成的网络可用于快速检测和隔离最大的问题，以便它们不会连在一起造成更大的灾难。也可以整合地理和运营信息来支持恢复工作。

**学习：**网络学习效应是机器与系统互联的另外一个收益。每个机器的运行情况可以汇集到一个信息系统中，让机器群能够以单个机器无法实现的速度进行学习。例如，飞机中收集到的数据可以与位置和飞行历史信息相结合，提供有关飞机在各种环境中的性能的丰富信息。来自这些数据的洞察力是可行的，并能够用于让整个系统更加智能，从而促进知识积累和洞察力实施。

建设智能系统可以充分发挥广泛部署智能设备的优势。一旦一个系统内连接更多的机器，就会形成一个持续扩展、自学系统，随着时间的流逝而变得更加智能。

*每个机器的运行情况  
可以汇集到一个信息  
系统中，并加快整个  
机器群的学习速度。*



### 智能决策

工业互联网的全部威力将通过第三个元素实现——智能决策。当从智能设备和系统收集到足够的信息以促进数据驱动的学习时，智能决策就出现了，这反过来让机器子集和系统网络级运营功能从操作员转到安全的数字系统。工业互联网的这个元素对于应对互联网机器、设备组、设施和系统网络的越来越高的复杂性至关重要。

设想一下在广泛地点的设备组或设施的全仪器仪表化网络。操作员需要快速做出数千个决策以保持最优的系统性能。通过让系统在人的同意下执行指定的操作可以克服这种复杂性挑战。复杂性带来的负担被转移到数字系统。例如，在智能系统中，提高电厂产出的信号不必发送给单个电厂的操作员。相反，智能自动化可以直接根据风能和太阳能、电力需求的变化以及其它电厂的情况而直接分派灵活的电厂。这些功能将有助于人和机构更高效地完成工作。

智能决策是工业互联网的长期愿景。随着工业互联网的元素在设备间和系统间逐步组装，这将是所收集知识的极致。这是一个大胆的目标，如果实现，将能够带来工业革命和互联网革命这种规模的生产力提升和运营成本降低。

### 整合各元素

随着智能元素汇集到一起，工业互联网通过机器分析汇集大数据的威力。传统统计方式使用的是历史数据收集技术，这种方式往往在数据、分析和决策之间存在孤立性。由于系统监测已得到改进并且信息技术的成本有所下降，支持越来越多实时数据的能力得到了提高。更好地管理和分析高频率实时数据让人们在全新的高度了解

系统运行情况。基于机器的分析为分析流程带来了另一种维度。物理方法、深厚的特定行业领域专业知识、更多信息流自动化，以及预测功能的整合可加入现有的“大数据”工具套件。其结果就是：工业互联网包括传统方式以及最新混合方式，以便通过特定行业的高级分析来充分利用历史数据和实时数据。

只有三大数字元素——智能设备、智能系统和智能决策——与机器、设备组、设施和系统网络全面融合之后，才能发挥工业互联网的全部潜力。到时，整个工业经济都能享受到提高生产力、降低成本和减少废物排放的收益。



## 四、机会有多大？ 三种视角

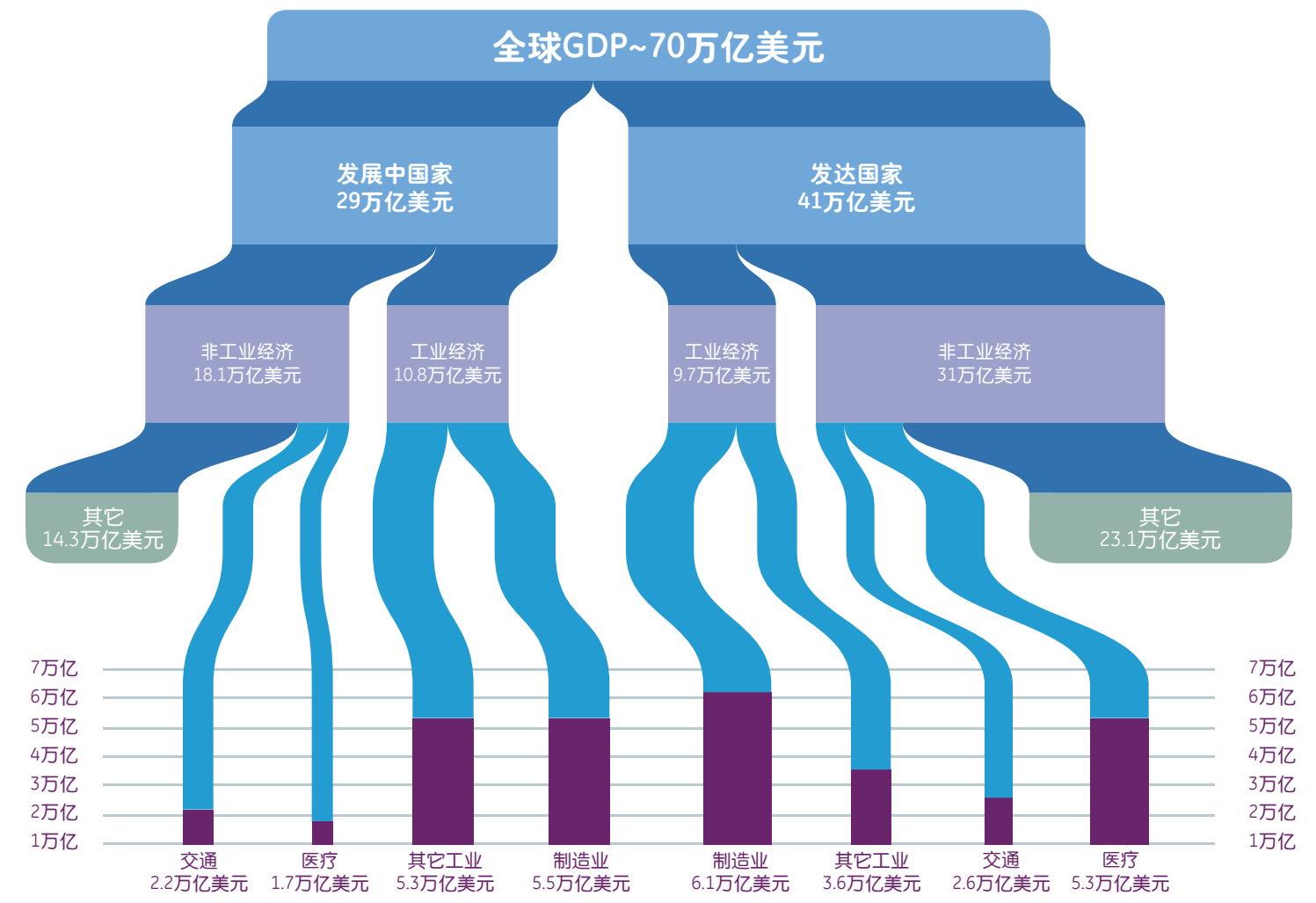
为了评估工业互联网的机会有多大，首先需要评估全球工业体系的规模。这个体系究竟有多大？简单地说，非常大。但是，这没有一个简单的衡量标准。我们因此建议采用三种不同的视角：经济增长、能源需求以及机器、设备组、设施和系统网络等硬件设施。虽然这三项衡量标准无法涵盖一切，但结合起来能够较好地评估工业互联网潜在的庞大规模和范围。

### 经济视角

传统上，全球工业的经济定义包括制造、自然资源开采、建筑和公用事业部门<sup>7</sup>。全球经济的规模在2011年为70万亿美元。根据这些分类，全球工业部门占大约30%，或者说21万亿美元<sup>8</sup>。其中，商品制造占产出的大约17%，而包括资源开采和建筑在内的其它行业占全球产出的大约13%。在地区层面上，由于各国经济结构和资源状况的不同，这些比例有很大的差异。

发达经济体的工业部门占产出的大约24%，而发展中国家的工业部门占GDP产出的大约37%。从整个工业部门的角度来说，制造业在发达和发展中国家所占的比例分别为15%和20%。因此，按照传统经济计量方式，工业活动大约占所有经济活动的三分之一，但各国之间存在很大差异。

图表5 工业互联网潜在GDP份额



工业互联网影响46% (32.3万亿美元) 的全球经济

来源：世界银行，2011年，GE

虽然全球经济的三分之一极为庞大，但这不能涵盖工业互联网的全部潜力。工业互联网将包含比传统经济分类更广泛的部门。例如，它还涉及庞大的交通运输行业，包括：运输编队以及航空、铁路和海运等大型物流行业<sup>9</sup>。2011年，包括陆运、空运、海运、管道、电信和物流支持服务在内的全球运输服务部门大约占全球经济活动的7%。运输编队是制造和能源生产等相关供应和分销产业链上重要的环节。在这里，工业互联网通过优化重工业的时间和商品流动而提供帮助。在客机等商用机运输服务领域，也有优化运营和资产并加强服务和安全的机会。

其它商业和政府服务部门也将受益匪浅。例如在医疗领域，在海量的安全数据中找到关键的共性和模型将是一个涉及生死存亡的问题。医疗行业，包括公共和私有部门的支出在2011年估计占全球经济的10%或者说7.1万亿美元，本身就是全球经济中一个庞大的部门。在这里，工业互联网的重点从优化商品物流转变为优化信息流和人们的工作流程——在合适的时间为合适的人提供合适的信息。

传统工业部门加上交通运输和医疗，大约全球经济的46%（或全球产值中的32.3万亿美元）均可受益于工业互联网。随着全球经济和工业部门的增长，这一数字还会提高。到2025年，我们估计工业部门（广义）在全球经济中的份额将增加到大约50%，或以名义货币计算占未来全球产值中的82万亿美元<sup>10</sup>。

工业互联网的技术不会立即应用于上述全球经济50%的整个资产。引入这些技术需要投资，而投资的步伐取决于基础设施开发的速度。在这个意义上说，我们所描述的是上限。另一方面，这个上限局限于可以直接应用工业互联网的那些部门。但

工业互联网的收益将不仅限于这些部门。例如，对医疗行业的积极影响将带来更好的医疗成就，这反过来可以减少其它经济部门因为病休而减少的工作日数量。类似地，交通运输和物流的改善将受益于所有依赖商品运输以及供应链的可靠性和效率的经济活动。

### 能源消耗的观点

更智能的技术和强大的网络相结合，所带来的其中一个关键收益是能够节约能源并降低成本。能源系统的限制在不断加剧。资源匮乏、需要更好的环境可持续发展以及缺乏基础设施是世界各地都面临的问题。甚至可以说，工业互联网的崛起是对资源限制和匮乏直接的反应。因此，评估工业互联网规模的另外一个视角是了解与全球工业部门相关的能源问题。提供全球所需的产品和服务需要大量的能源。如果在制造和运输部门的基础上考虑能源的生产和储存，工业互联网将惠及全球能源消耗的一半以上。

能源部门在生产能源时涉及各种活动，包括：

- 提取燃料（例如石油、天然气、煤炭、铀）或利用水力、风能和太阳能
- 把主要燃料精炼处理为最终产品（例如汽油、液化天然气）
- 把燃料转化为电力

大约全球经济的46%或者相当于32.3万亿美元的全球产量会受益于工业互联网。

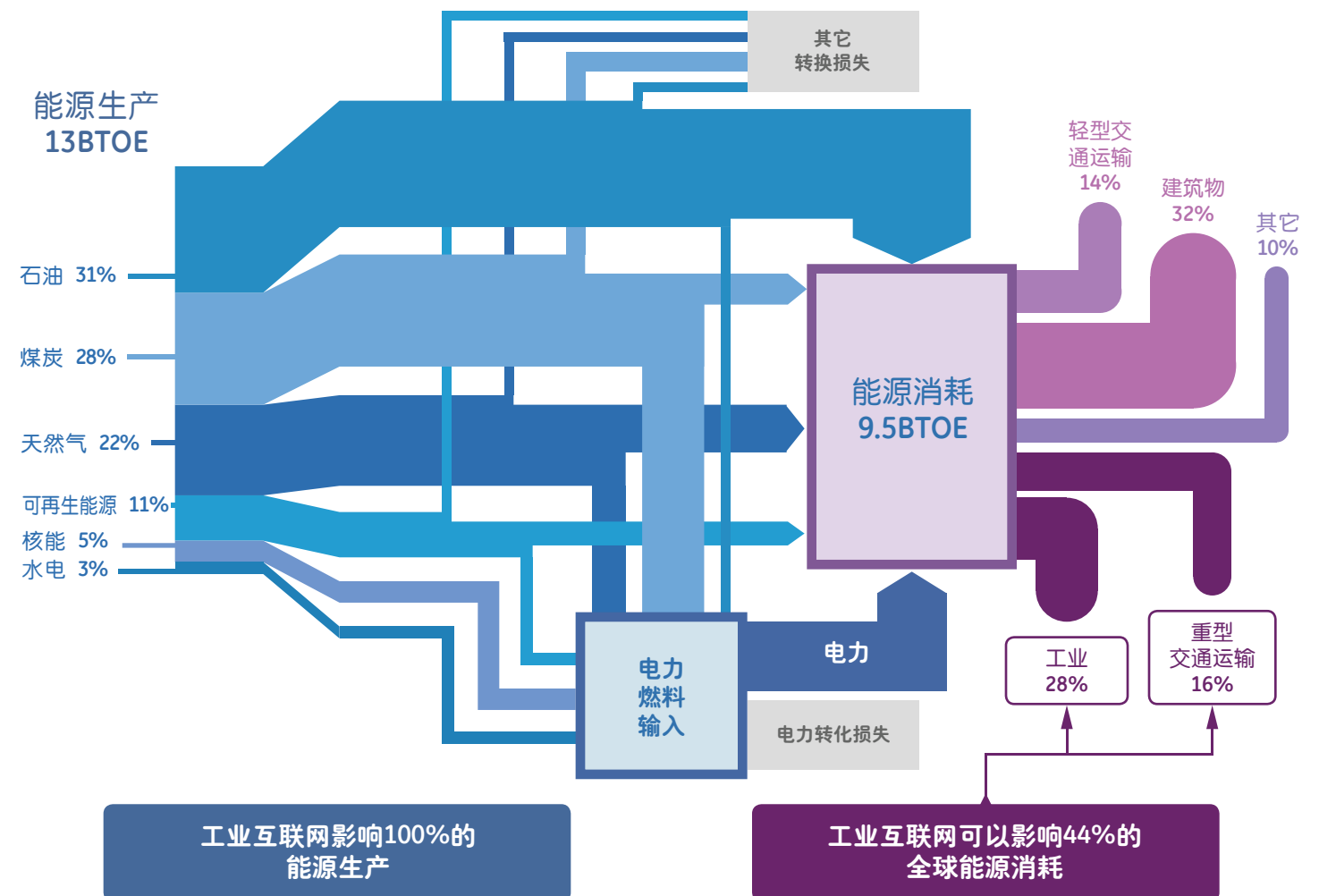


2011年，全球生产了超过130亿吨能源（为了比较而转化为石油当量，Btoe为十亿吨油当量）<sup>11</sup>。美国目前拥有大约2.4亿辆轿车和轻型车，所有这些车队消耗不到0.5Btoe的能源。在全球13.0Btoe主要能源产出中，4.9Btoe以大约40%的效率转化为电力，剩余的8.1Btoe被精炼、处理以去除杂质，清洁（比如煤）或转化以供能源消费者使用。重要的是认识到能源生产的成本很高。为了保持和扩大能源供应，煤炭、天然气、石油和电力等全球能源行业平均每年的新资本支出大约为1.9万亿美元（大约占全球GDP的3%）。庞大的量和成本为工业互联网技术的持续部署带来了大量机会。

在能源消耗方面，全球主要能源被转化为9.5Btoe的能源产品，包括1.9Btoe的电力和7.1Btoe的其他燃料。工业终端用户以电力、柴油、炼焦煤、天然气和化学原材料的方式消耗36%。这与上面经济视角中描述的制造部门大体上相当。在工业部门，能耗最高的行业是钢铁与金属行业以及石油化工行业。这些高能耗行业消耗了大约50%的工业能源。最近的研究表明，如果采用最好的技术，重工业的能耗可以降低15%到20%<sup>12</sup>。通过流程集成、生命周期优化以及电机和旋转设备的高效利用和维护，工业互联网有助于实现这个目标。

交通运输部门是另外一个能源消耗大户，占全球能源需求的27%——主要是石油制品。在交通运输部门，大约一半（48%）的燃料被重型编队所消耗，包括卡车、公共汽车、飞机、船只和铁路机车，大约另外一半（52%）被轻型车辆所消耗。使用信息技术和网络设备及系统来优化交通运输是工业互联网所带来的最令人兴奋的机会之一。假设大多数大型运输工具和一部分轻型车辆可以受益，或许工业互联网技术可以影响14%的全球交通运输业的燃料需求。

图表6 2011年全球能源流



来源：GE，全球战略与规划估计，2011年



很明显，为全球能源消耗带来真正的变革面临很多因素和挑战。每个系统和子系统都需要评估它们在整个系统内的情况，及其与更大型能源网络的互动。过去20年在流程管理和自动化方面的进步在很大程度上取得了成功。虽然能源系统中的某些部分正在被优化，人们仍在尝试新的努力。能源生产和转化中涉及的所有机器、设备组、设施和系统网络都存在可以通过工业互联网的增长而提高效率的空间。

### 硬件设施视角：旋转设备

评估工业互联网扩展机会的第三个视角是

工业系统各个领域的具体的硬件设施。工业系统包含大量的机器和关键系统。全球目前有数百万台机器，从简单的电机到医疗部门使用的极为先进的计算宇宙学（CT扫描仪）。所有这些设备都与信息相关（温度、压力、振动以及其它关键指标），对于了解设备本身的性能及其与其它机器和系统的关系很重要。

一个特别的领域是关键的旋转机器。要想确切知道全球工业系统中存在多少机器和设备、设施和系统网络或许是不可能的，但通过某个特定领域感受工业系统的规模是可能的。

表2列出了主要行业中的300万种大型旋转设备。这些数字的获得是基于对这些机器和工厂中主要系统流程的基本审查。工业系统中的高度定制化让对比极为困难。但是，我们可以根据典型的旋转设备以及用于监控的主要设备进行综合评估，也就是评估工业系统中的旋转设备。所有这些资产都受温度、压力、振动和其他关键指标的制约，而这些指标已经或可以被监测、建模和远程操作以提供安全、提高生产力并节约运营成本。

表2 旋转设备：旋转机器列表

部门	旋转机器	#全球资产 & 工厂	旋转设备
<b>交通</b>	<b>旋转机器</b>		
铁路：内燃机车（使用电力传动）	牵引电机、发动机、传动装置、交流发电机	120,000	2,160,000
飞机：商用发动机	压缩机、涡轮机、涡轮风扇	43,000	129,000
海运：散货船	蒸汽涡轮机、往复式发动机、泵、发电机	9,400	84,600
<b>石油天然气</b>	<b>旋转机器</b>		
大型能源加工厂（1）	压缩机、涡轮机、泵、发电机、风扇、鼓风机、发动机	990	36,900
中游系统（2）	发动机、涡轮机、压缩机、涡轮膨胀机、泵、鼓风机	16,300	63,000
钻探设备：海上、陆上	发动机、发电机、电机、钻探设备、电力推进	4,100	29,200
<b>发电厂</b>	<b>旋转机器</b>		
热汽轮机：蒸汽、CCGT等	涡轮机、发电机	17,500	74,000
其它发电厂：水力、风力、发动机等（3）	涡轮机、发电机、往复式发动机	45,000	190,000
<b>工业设施</b>	<b>旋转机器</b>		
钢铁厂	高炉和转炉系统、蒸汽轮机、处理系统	1,600	47,000
纸浆、造纸厂	去皮机、削片机、蒸汽轮机、长网造纸机、轧滚机	3,900	176,000
水泥厂	回转窑、传送带、传动电机、球磨机	2,000	30,000
糖厂	甘蔗处理系统、旋转式真空泵、离心机、结晶器、蒸发器	650	23,000
酒厂	谷物处理系统、传动带、蒸发器、再沸器、鼓风机干燥机、电机	450	16,000
氨与甲醇厂	蒸汽轮机、裂化和蒸馏系统、压缩机、鼓风机	1,300	45,000
<b>医疗设备</b>	<b>旋转机器</b>		
CT扫描仪	旋转的X射线球管阳极、旋转的扫描架	52,000	104,000
		<b>总计：3,207,700</b>	

注：未详尽列举。（1）包括液态天然气（LNG）设备组、炼油厂和乙烯蒸汽裂解炉。（2）包括压缩机和泵站、液态天然气再汽化终端、大型原油运输船、天然气加工厂。（3）只计算超过30MW的大型发电机

来源：多个来源，包括Platts UDI、IHS-CERA、石油天然气学报、Clarkson Research、GE航空与运输、InMedica、工业信息、RISI、美国能源部、GE战略与分析对大型旋转系统的估计。

### 商用喷气式飞机

商用喷气式飞机中有安装大量的旋转设备和仪器仪表的潜力。根据飞机信息服务的数据，全球在2011年大约有21,500架商用喷气式飞机和43,000个喷气发动机。商用喷气式飞机通常采用两个喷气发动机。这些飞机每天大约起飞3次，每年总计起飞2300万次<sup>13</sup>。每个喷气发动机包含很多可动部件；但是，主要的三种旋转设备是：涡轮风扇、压缩机和涡轮机。每个部件均需要单独的仪器仪表和监测。目前，商用飞机中大约有总计129,000个主要的旋转设备。除了商用喷气式飞机，仪器仪表机会还存在于军用和非商用及通用航空飞机上，它们是商用喷气飞机的10倍大<sup>14</sup>。重要的是，在喷气飞机上安装仪器仪表机会很广，而且每天都在增加。GE航空估计，为了满足航空旅行的需求，未来15年全球需要增加32,000个发动机。这意味着全球商用发动机中的旋转机器将增加100,000个。

### 联合循环电厂

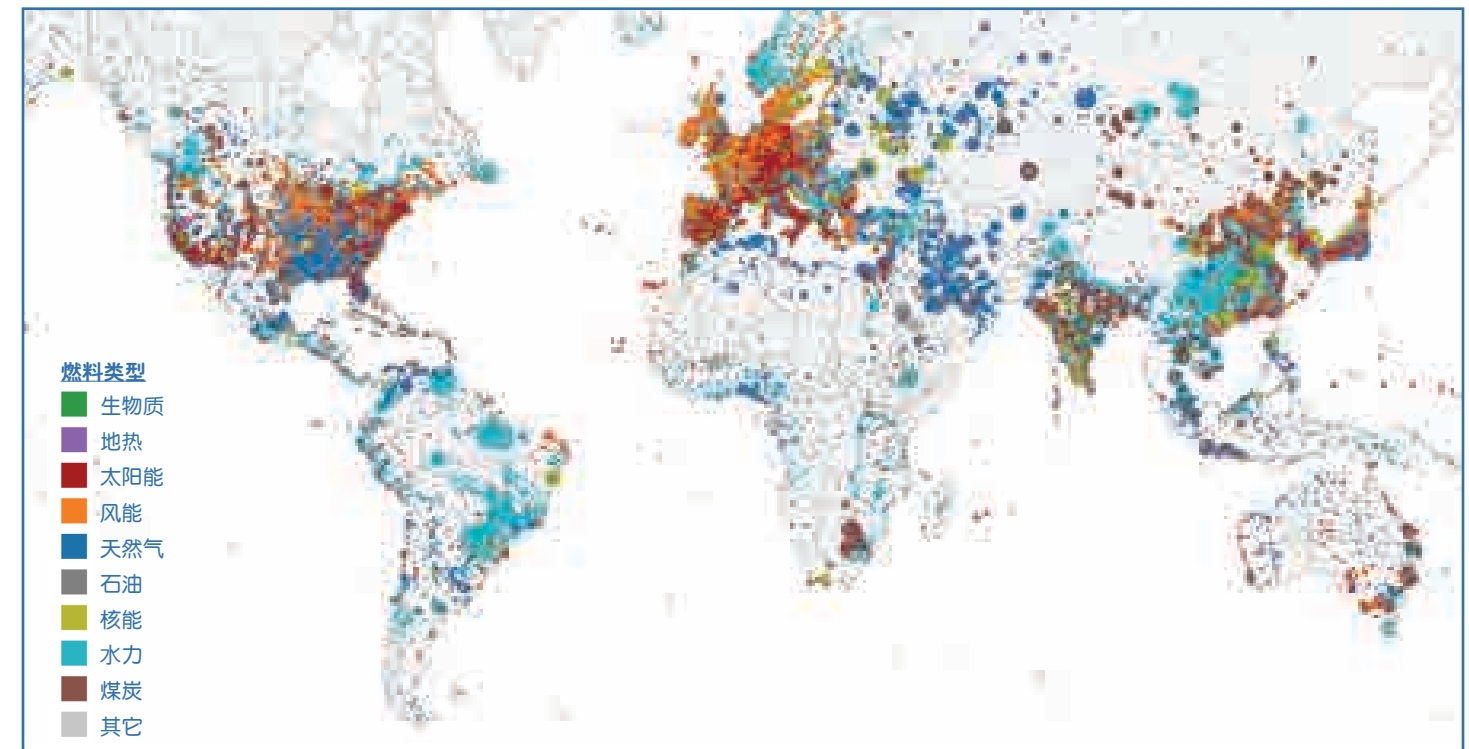
工业互联网在全球电厂中也有很大的发展机会。目前全球有62,500个电厂在运营，装机容量为30兆瓦或更高。电厂的全球总装机容量大约为5,200吉瓦（GW）。图7中展示了这些电厂。只考虑联合循环电厂（仅占全球电厂的2.5%或1,768座电厂）中大量的旋转设备。这些电厂的全球总装机容量是564吉瓦<sup>15</sup>。

联合循环燃气涡轮机组使用燃气涡轮机和蒸汽涡轮机，把相同的热源——天然气——转化为机械能，然后转化为电能。通过燃气和蒸汽涡轮机的联合，联合循环燃气涡轮机使用两个热动力循环（燃气涡轮机布雷顿循环和蒸汽涡轮机朗肯循环）以提高转化效率并降低运营成本。一个联合循环燃气涡轮机电厂通常使用多套燃气涡轮机-蒸汽涡轮机组合。

目前最常见的联合循环配置是2x1，也就是两台燃气涡轮机和一台蒸汽涡轮机。在这个例子中有6个主要旋转设备：2个燃气涡轮机、2个燃气涡轮发电机、1个蒸汽涡轮机和1个蒸汽涡轮发电机。除大型关键系统之外，我们估计电厂中还存在从水泵到空气压缩机的另外99个旋转设备。总之，一个2x1联合循环电厂中有105个旋转设备是可以测量的。

以全球联合循环电厂为例。如果所有1768个电厂中的每个组件都安装仪器仪表，这意味着有大约10,600个大型系统和175,000个小型旋转设备可以测量。未来15年，全球工业系统预计将增加2,000个联合循环电厂，装机容量达到638吉瓦<sup>16</sup>。这将意味着新增12,000个大型旋转设备和至少200,000个小型旋转设备。如果把其它类型的电厂考虑在内，工业互联网技术进一步扩展的机会非常庞大。

图表7 按技术类型分类的全球发电厂设施



来源：电厂数据，Platts UDI数据库 2012年6月

注：圆圈大小代表装机容量（MW）

## 机车

机车在全球范围内运输大量的原材料和商品。2011年，全球110万公里铁路系统的货物运输超过9.6万亿吨公里。在这个系统内，目前全球大约有120,000条铁路用柴电力发动机。一台柴电力机车中大约有18个主要旋转设备，可以分为六大系统：牵引电机、散热器风扇、压缩机、交流发电机、发动机和涡轮机。如果铁路运输工具的每个组件都安装仪器仪表，这意味着有超过220万个旋转设备可以安装仪器仪表。保守的预测，未来15年将增加大约33,000辆柴电力机车——这意味着到2025年，仅仅是柴电力机车就将部署396,000个传感器进行监测。

## 炼油厂

炼油厂和化工厂多年来一直是高级监测和控制的对象。采用过时技术的老旧工厂被迫与一流的新工厂进行竞争。与此同时，石油行业的盛衰周期和严格环保要求迫使它们不断进行流程的改进和调整。活塞式和离心式压缩机等旋转机器以及数以百计的泵都是炼油厂等能源加工厂的关键组件。目前，运营商正在对这些设备进行监测和建模，主要是为了预防性维护和安全以及整个工厂的优化。对这些工厂进行管理以提高效率、安全性和生产力是工业互联网可以一展身手的领域。

全球有655个炼油厂，每天处理8800万桶原油——大约相当于全球每天的石油消耗量<sup>17</sup>。每个现代化炼油厂的各个关键炼油环节拥有大约45个大型旋转式系统，包括原油和真空蒸馏、炼焦、氢化裂解和异构化。有些炼油厂较小，有些更为复杂。这是因为，由于其加工的原油以及目标客户的不同，全球每个炼油厂都有针对性地进

行了定制。大多数炼油厂的主要设备包括离心式电荷泵、干湿压缩机、动力涡轮机和冷风机。如果只考虑主要系统，一个炼油厂内大约有30,000个大型旋转装置。除此之外，数以百计的泵和较小的设备也是系统监测的目标。未来15年，全球预计需要新增100多个炼油厂并扩建现有炼油厂才能满足新兴市场越来越高的需求<sup>18</sup>。这意味着仅仅炼油厂就有超过4,500个大型旋转系统需要进行流程管理和自动化。

## 医疗

很多人并未意识到，医疗服务也涉及旋转机械。其中一个例子就是计算机断层（CT）扫描仪。这些机器用于人体内部结构的可视化。CT扫描仪采用了旋转的X射线设备来创建身体的3D断层影像。全球大约有52,000台CT扫描仪，用于各种疾病的诊断和治疗评估，包括心脏、血管、大脑、胸、腹部和骨科。

这些例子只是数百万可以监测、建模以及远程控制和自动化的机器和关键系统的一小部分。更强大的全球网络的兴起将提高更高效地部署资产的能力、提高服务能力和安全性，以及优化资源流。实现技术集成的收益需要采用新设备，或者改造旧设备。这将为流程优化、提高总体要素生产力和降低成本带来了新的可能性。这些系统预计将改变各个行业的竞争状况，因此很多企业为了生存将快速采用这些系统。下面的章节将探讨部署工业互联网所带来的潜在收益和挑战。



## 五、工业互联网的利益

工业互联网将为机器、设备组、设施和工业系统网络带来各种收益，这反过来将对整个经济产生更广泛的影响。如上所述，全球工业系统极为庞大。在本节，我们将更详细地探讨具体行业所能获得的潜在收益。即使在部门层面实现相对较小的效率提升，也能为整个经济带来显著的收益。此外，我们将探讨生产力趋势在过去几十年如何影响经济增长，并估计工业互联网的广泛应用未来20年全球经济带来的影响。

工业互联网给工业经济带来诸多收益。智能仪器仪表实现单个机器的优化，从而提高性能、降低成本并提高可靠性。优化的机器是以峰值性能运行的机器，从而最小化运营和维护成本。智能网络实现了互联机器的优化。

一些公司已经采用，实现了效益并克服了与收集和操作数据流相关的挑战。传统

## 工业部门的收益： 1%的威力

工业资产和设施通常是针对该部门的需求而高度定制。收益各不相同，并且侧重于工业互联网的不同领域。然而，常见的收益包括降低风险、提高燃油效率、提高员工生产力以及降低成本。为了更详细地描述工业互联网的收益，我们探讨了多个具体部门。每个例子着重介绍了微小改进（即使是1%的改进）能够为整个部门带来庞大的系统级节约。

### 商用航空

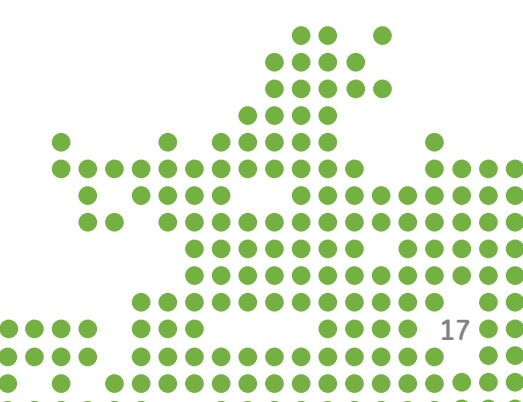
就像其他商用运输系统，航空业将受益于工业互联网的部署。通过聚焦优化运营和资产并提高航空运营每个环节的安全性，工业互联网应用拥有改变整个航空业的潜力。

工业互联网拥有改进航空公司运营和资产管理的潜力。改善运营的方式包括降低油耗、提高机组成员的效率、减少航班延迟和取消、更高效的维护计划和零部件库存，以及最优的航班安排。航空公司的资产可以通过改进预防性维护而进一步优化，这将有助于延长发动机寿命和减少意外中断。

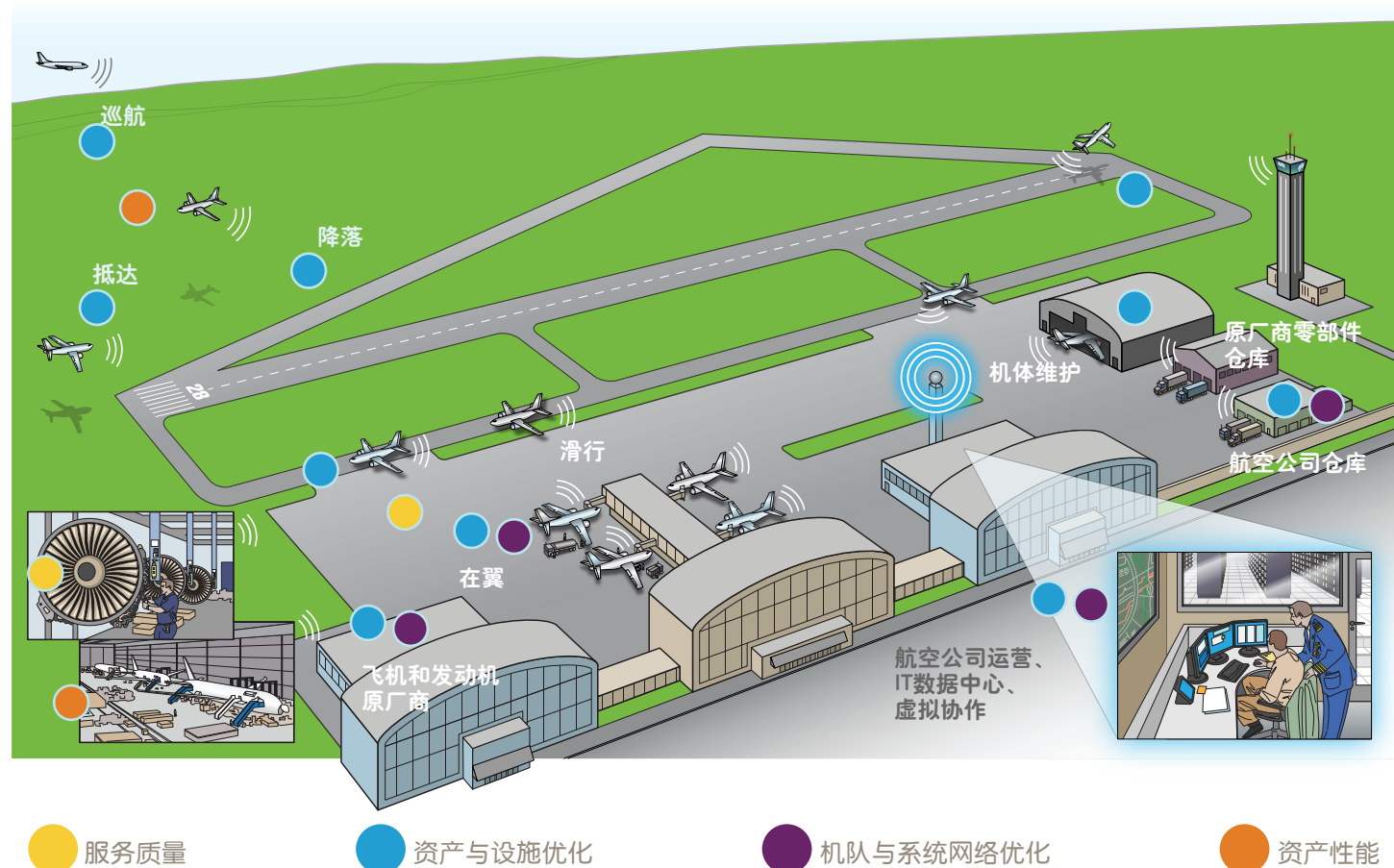
上，很多工作围绕工业资产的数字控制系统展开，与目前可能的方式相比，有效范围更有限，而且被严格划分。鉴于涉及资产的庞大规模，随着传感和数据处理的成本降低，预计将在产品层面通过智能设备实现更广泛的系统和子系统集成。

另一方面，企业层面已经广泛地采用企业管理软件和解决方案来提高效率。它们的收益包括更好地跟踪和协调跨地理位置和产品线的劳动力、供应链、质量、合规以及销售和分销。但是，这些工作有时候未达到预期效果，因为虽然它们可以在产品层面跟踪资产运营，影响资产表现的能力却受到了限制。工业互联网就是优化这个系统以充分利用资产并最大化提高企业的业绩。

除了单个机器优化所实现的收益，系统级优化让员工能够提高效率并降低成本。智能决策让智能软件能够巩固机器和系统级的收益。此外，持续学习的收益是更好地设计新产品和服务的关键——形成良性循环，更好的产品和服务带来更高的效率和更低的成本。



图表8 航空业工业互联网



工业互联网影响航空业的一个方式是飞机维护的库存管理。一架智能飞机可以告诉维护人员，哪个零部件何时需要更换。这将让商用航空公司从目前基于循环周期的维护计划转到基于实际需求的维护计划。传感器、数据分析以及人和机器之间的数据分享相结合，预计将降低航空公司的成本并提高维护效率。这些系统就像虚拟的主动维护团队，确定飞机及子系统的状态并提供可行的实时信息来帮助航空公司在故障发生之前进行预测，并提供快速、精确的整体健康状况。

随着这个行业更习惯采用智能监测设备来提示零部件更换，有机会摆脱传统的零部件更换周期。规章制度要求航空公司在特定的飞行次数后进行维护或更换零部件。

在合适的时间（而不是由零部件周期决定）更换零部件所带来的效率提升将非常可观。假设满足或改进所有安全措施，就可以减少零部件库存、提高飞机利用率并降低成本。航空公司可以检测问题，以简单、精确的方式看到问题发生的地方。

过去几十年，全球商用航空业的增长速度是全球经济增长速度的2-3倍，通常以与全球贸易相同的步伐扩张<sup>19</sup>。现在，全球商用航空公司的收入大约为每年5600亿美元。但是，盈利能力和资本回报率仍旧是这个行业面临的巨大挑战<sup>20</sup>。这些挑战凸显了注重燃油成本（占行业成本的接近30%），以及提高资产利用率的潜在收益。美国航空管理局的一项调查显示，在8年的时间内，航班的低效率让成本平均

提高了8-22%<sup>21</sup>。也就是说，如果实现更高的生产力即可节约大量成本。

全球商用航空公司每年的燃油支出大约为1700亿美元。行业预计，更好的航班规划和运营变革或许能够把成本降低5%，相当于每年超过80亿美元。如果工业互联网技术在成本节约方面实现仅仅1%的成本节约，整个行业每年将节约20亿美元或者在15年内节约300亿美元的燃油成本。

另外一个潜在的收益是避免资本成本。从2002到2009年，商用航空业总计支出接近1万亿美元或每年1350亿美元<sup>22</sup>。从运营的角度来说，一架双发动机宽体商用喷气式飞机每个飞行小时的维护成本大约平均1200美元<sup>23</sup>。2011年，商用喷气式飞机的飞行时间为5000万小时，也就相当于每年的维护成本为600亿美元。仅发动机维护就占总维护成本的43%。如果工业互联网把发动机维护的效率提高1%，商用喷气发动机的维护成本就将降低2.5亿美元。

### 铁路运输

全球地面交通系统的主要网络是商用汽车和铁路系统。工业互联网在全球交通运输系统中的应用范围很广泛。在机器层面，车辆和机车仪器仪表为解决速度、可靠性和容量挑战奠定了洞察分析的基础。实时诊断和预测分析将降低维护成本并防止机器故障。在设施层面，车辆仪器仪表有着消除车辆安排中浪费的潜力。此外，优化目标也存在灵活性。可以针对成本最小化、速度或最优的供应或分配链时间安排而优化设施。

铁路系统的一个例子是运动规划软件。这些工具可以在单个复杂的显示屏上提供实时的网络运营信息，以便运营商做出最优的决策。借助这个软件，铁路运营商在有信号和无信号的领域均可使用全球定位系统、铁路电路、自动设备识别器以及基于时间跟踪来监测火车。内置的交通管理软件让运营商可以高效地管理列车调度，并迅速响应意外事件。这些软件解决方案为未来工业互联网实现的全球铁路系统奠定了基础。这个数字架构是改进铁路运营的关键组件。

全球范围内，运输物流成本估计为每年4.9万亿美元，占全球GDP总量的大约7%<sup>24</sup>。铁路交通的投资、运营和维护成本占其中的5%，每年2450亿美元。铁路运营成本占铁路运输总成本的75%，或每年1840亿美元。GE交通运输集团估计2.5%的铁路运营成本源自系统的低效率，也就是拥有每年节约56亿美元的潜力。即时仅仅实现1%的节约，每年节约的资金也达到大约18亿美元或者15年内270亿美元。重型卡车、运输编队和海运也存在类似的情况，这意味着更广泛的交通运输系统可以实现更高的利益。

### 电力

能源生产是工业互联网可以发挥效力的另外一个重要领域。全球电力系统包含大约5200吉瓦的发电能力。1吉瓦电力可以供75万个美国家庭使用。此外，还有数百万英里的高压输电线路、电力分站、变电站和更多的配电线路。机器预防性维护或设施优化等适用于交通领域的很多概念也适用于电力部门，帮助实现可靠性、加强安全性、提高生产力和燃油效率等广泛的目标。

停电不仅成本高昂，而且有很大的破坏性和危险性。由于电线断裂位置不清、需要进行大规模系统检修，而零部件可能在世界的另一端，电力有时候长达数周时间无法恢复。借助工业互联网，从最大型的发电设备到安装在电线杆上的变压器等一切设备都可以联网，提供状态更新和性能数据。从这些数据中，运营商可以针对潜在问题采取措施，从而避免给企业带来数百万或几十亿美元的损失。此外，现场工作人员可以在计划维修之前避免成本高昂的“实地查看”，并且能够预测问题并准备好修复用的零部件。这包括让公用事业部门尽可能降低与树木砍伐相关的成本。通过整合有关传输资产、植被和气候的信

## 新的数据压缩技术让工厂的经理可以跟踪大规模数据流中的变化，而不是时刻跟踪所有数据。

息，就可以确定植被造成断电的可能性以及断电的潜在影响。这让运营商能够更好地开展工作并尽可能降低成本。

另外一个例子是工业互联网的兴起对电厂运营的影响。新的数据压缩技术让工厂的经理可以跟踪大规模数据流中的变化，而不是时刻跟踪所有数据。对于运营商，这可能是两个被监测数据集之间的关系。之前，运营商可能错过了炎热的气候、高负荷、高湿度和设备性能低下之间的关联性。现在，可以更轻松地对比和可视化大数据集中的变化以及互相之间的关系。这让公司进行持续学习。未来，工程师可能只需问一个有关不常规的问题并挖掘数千个设备上的历史数据即可在几秒钟内获得答案。更快速的响应能力可以提高效率并降低成本。

随着这些技术和实践在全球的扩展，思考工业互联网的影响非常有趣。下一个例子与燃料成本相关。全球范围内，GE估计天然气电厂消耗了大约1.1Btoe的天然气来发电<sup>25</sup>。天然气的价格在全球各地有很大的差别。在某些国家，天然气价格与石油价格挂钩。在美国等其它国家，天然气价格由供求关系来决定。在全球范围内，GE估计电力部门去年在天然气上支出了超过2500亿美元，这项支出到2015年预计将增加到大约3000亿美元，到2020年甚至会超过4400亿美元<sup>26</sup>。通过更好地集成天然气和电网，工业互联网可能会提高效率。保守地假设在国家层面把燃气发电效率平均提高一个百分点，燃料支出在2015年可能降低超过30亿美元，在2020年降低44亿美元。在15年的期限内，累积节约的成本可能超过660亿美元。

### 石油天然气的开发与配送

对于工业互联网如何提高生产力和优化工业流程，石油天然气行业提供丰富的例子。随着传统石油天然气田的枯竭，石油天然气行业的上游产业越来越需要到更加偏远的地区来寻找新的大规模石油天然气田。很多行业观察人士提到，虽然资源潜力仍很巨大，但需要更多资本和技术才能开采出来。轻易获得石油天然气资源的时代正在结束；对石油天然气行业的监管日趋严格。公司的运营环境越来越透明（部分地是由于信息技术），但这个行业的风险和资本密集的特性需要行业、监管机构和社会加强合作。目前的现实推动石油天然气行业要实现多个重要的目标，包括：

- 提高运营效率和生产力
- 降低项目开发、运营和维护中的生命周期成本
- 在安全、环保和合规方面不断改进
- 改造老旧设施并进行调整以适应不断变化的劳动力
- 开发本地能力并支持日趋偏远的物流配送

虽然运营复杂性从多个层面来说都在增加，工业互联网节约成本和提升效率的潜力仍很高。很明显的例子包括工业互联网如何提高关键设备的可用性、降低燃料消耗、提高生产率 and 降低成本。传统上，石油天然气行业在采用新技术上比较缓慢。鉴于资本支出极为庞大，企业希望在部署新技术之前看到强有力的案例和技术验证。虽然采用技术的步伐缓慢，但有三个不同的技术采用阶段以应对行业面临的重大挑战。每个技术集成阶段都给行业带来重大收益，而这些工作对扩大必要的资源基础有直接责任。

沿着上游价值链，这个行业过去十年开始采用特定的技术。例子包括：

- 井下传感器跟踪矿井内的事件，智能化完整优化产品流，以及矿井模拟提高生产力
- 无线通信系统把当地设施的地下和地上信息网络连接到公司的集中站点
- 实时数据监测以提高安全性并实现优化
- 预测分析，更好地了解 and 预测储层的行为
- 4D地震等一次性监测，了解生产引起的流体迁移和储层变化

这些努力在很多情况下已经降低了成本、提高了生产力并扩大了资源潜力。

石油资源潜力的概念为工业互联网的价值提供了视角。全球石油资源很丰富，但发现率相对较低。全球范围内，平均发现率只有35%，或100桶地下石油中35桶可以使用目前技术开采出来<sup>27</sup>。十多年以来，数字油田的概念很流行<sup>28</sup>。早期预测指出，如果积极地部署数字技术，十年内将开发额外的1250亿桶石油<sup>29</sup>。此后，这个行业一直积极地宣传这些概念以及消除对可靠性与连接的担心转向现在成功地管理数据和运行运营中心，以便从技术投资中获得最高的回报。目前，全球石油开采量为每天8400万桶或每年310亿桶（4.0Btoe）<sup>30</sup>。目前已探明的石油储量估计为16000亿桶。发现石油资源的潜力仍很高，特别是在不太成熟的油区。假设新一波工业互联网技术可以把探明储量提高1%，就意味着160亿桶或全球半年的石油需求量。虽然上面的例子只是说明性的，但在更长的时期内确实会发现新的储量。因此，这个论点仍然成立——石油勘探的些许进步能够带来极大的收益。

考虑收益的另外一个方式是资本支出的效率。石油天然气的上游支出在2012年预计为6000亿美元<sup>31</sup>。未来，GE预计这项支出将以每年8%的速度增加，以便为世界提供所需的石油和天然气<sup>32</sup>。如果工业互联网技术可以把资本支出减少1%，就意味着每年节约60亿美元或15年内节约900亿美元。



## 医疗

通过改善全球人类的生活质量，医疗数字化有可能会带来我们生活的革命。全球医疗产业是工业互联网发挥其功能的另外一个主要部门，因为它迫切需要降低成本和提高效率。医疗几乎是当前所有国家面临的最重要挑战：在人口快速老龄化的情况下，大多数先进的经济体需要提高效率并控制成本；同时，很多新兴国家需要把医疗服务扩展到蓬勃发展的市中心和快速增长的农村人口。

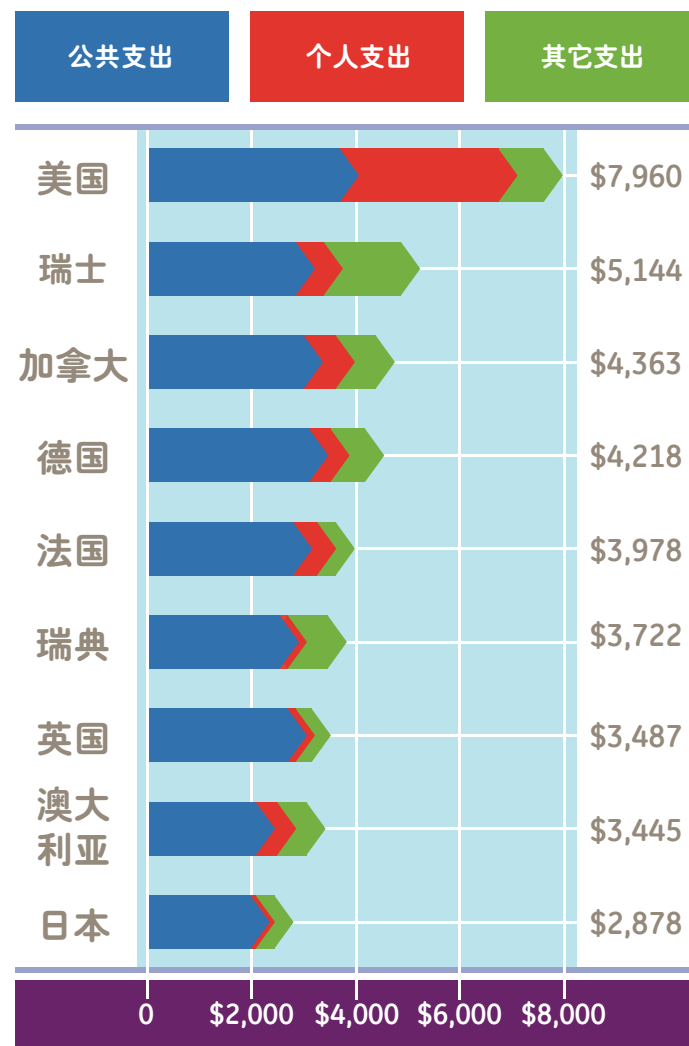
全球医疗产业的规模非常庞大，在2011年占全球GDP的10%。效率改进的机会同样也很大。据估计，超过10%的医疗支出因为系统低效而浪费，这意味着全球医疗低效率的成本至少是每年7310亿美元<sup>33</sup>。受工业互联网直接影响最严重的临床和运营低效率占总体医疗低效率的59%，也就是每年4290亿美元。据估计，部署工业互联网有助于把这些成本降低大约25%，意味着每年节约大约1000亿美元<sup>34</sup>。在这种情况下，成本降低1%就意味着每年节约42亿美元或者15年内节约630亿美元。

工业互联网在全球医疗行业的应用范围就像潜在成本节约一样大。工业互联网将实现安全高效的医疗运营，挽回利用率和生产力低下所造成的数百万小时损失，从而接诊更多患者。考虑一下工业互联网通过强化核磁共振MRI扫描和诊断而给个人带来收益。虽然高效地帮助诊断了多发性硬化症、脑瘤、韧带撕裂和中风，影像设备目前产生的数据并没有传递给最需要他们的人——医生和患者。而在运营层面，需要有多人组成的团队进行扫描工作。一名护士管理药物或检查所需的造影剂；一名核磁共振MRI技师操作扫描仪；一名放射科医师辨别影像顺序并解释影像。这些信息随后交给护士，而该护士随后传达给主治医生查看并采取相应的措施。这是“大数据”，但它没有让信息更加智能。

为了让信息智能化，需要建立新的连接以便大数据知道何时、以何种方式传输至什么地方。如果影像数据更好地连接，合适的医生能够自动收到患者的影像——也就是信息寻找医生，而不是医生寻找信息。此外，当医生查看这些影像之后，进一步的连接可以把这些影像提交到患者的数字病历中。这种主动、安全的数字医疗数据路由似乎只是流程的简单升级，但实际上它是工业互联网有助于提高效率和治疗效果的有效方式。

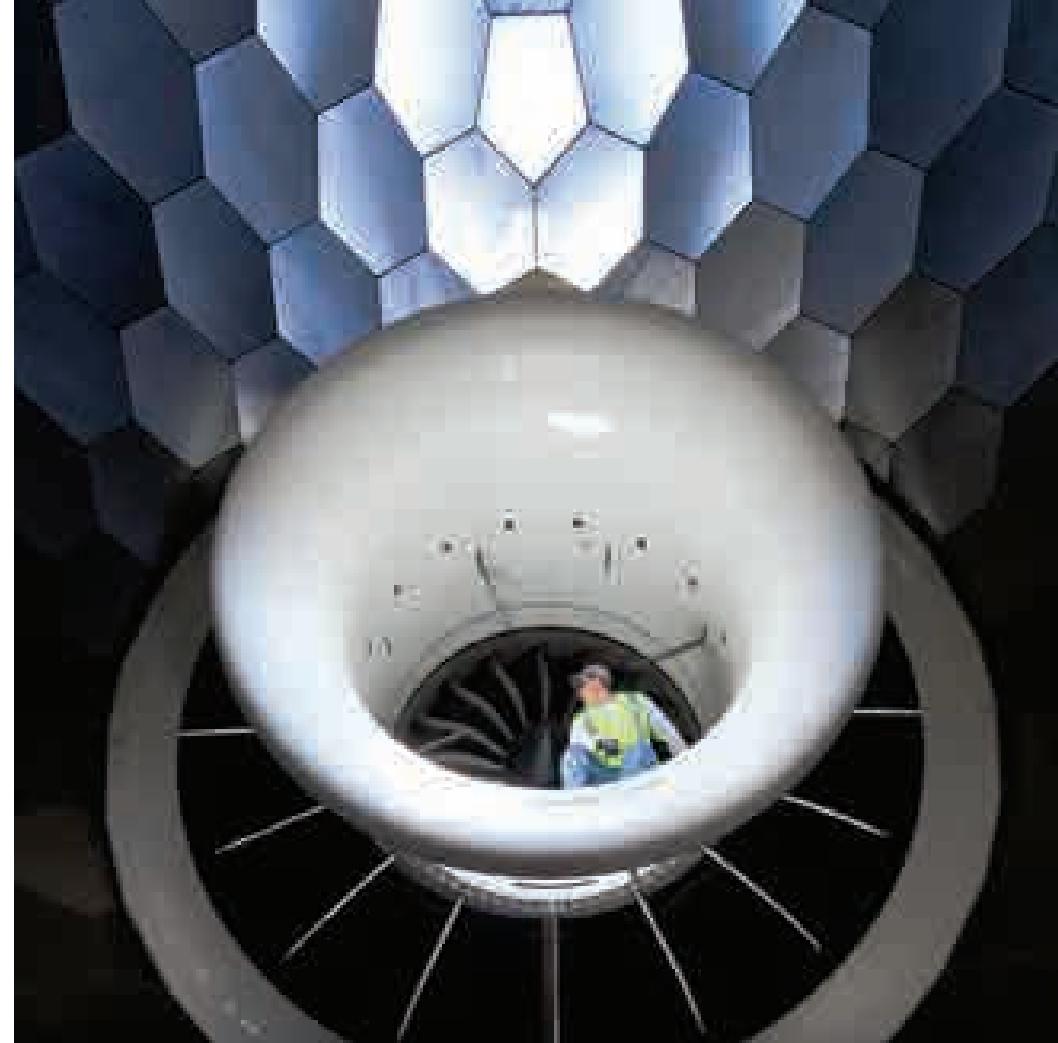
系统级工业互联网应用为医院建立“医护流控制系统”创造了可能性。医院中有数千个关键的设备，其中很多是移动设备。重点是知道它们都在哪里，并有一个系统可以提醒医生、护士和技术人员相应的改变，并提供指标以提高资源利用率以及治疗效果和业绩。这类系统目前已经开始得到部署，代表着工业互联网在医疗行业已经启动。GE医疗集团估计这些创新可以把医院的设备成本降低15-30%，让医护工作者提高工作效率。这些方法还改善了资产利用率、工作流程和病床管理，从而把接诊量提高15-20%。很明显，工业互联网在各部门的运营很复杂且各不相同。此外，提高运营效率、降低支出和提高生产力的机会很大。使用1%改进的保守估计，整个工业体系的节约开始浮现。可衡量的收益不仅仅是降低成本和提高资本的利用效率，还有提高生产力。

图表9 人均医疗支出



## 人均GDP (美元)

人均医疗支出基于国家资金和生活费用。  
来源：经济合作与发展组织的健康数据（2011年6月）



## 经济效益： 下一波生产力大爆发

生产力是经济增长的终极发动机，增加收入和提高生活标准的关键推动力。劳动生产率的快速提高让一个工人可以生产更多东西并赚取更高的薪水。在约束力很大且普遍存在的时代，生产力甚至更加重要：更高的生产力为需要充分利用每分钱的公司和政府带来更高的收益；而且更高的生产力让每加仑或每吨自然资源使用更长时间。随着新兴市场致力于提高人口的生活水平和消费水平，这对可持续发展有着重要意义。

因此，工业互联网可以推动新一波的生产力大爆发，推动经济增长和收入增长。收益究竟有多大？在1995到2004年期间，第一波互联网革命让美国的劳动生产率平均

每年提高3.1%，是之前25年生产率增长的两倍。如果保持生产率的这种增长率，到2030年，平均收入将增加20,000美元，或者说当前美国人均GDP增长的大约40%。如果生产率以更保守的2.6%的速度增长（低于1950到1968年工业革命期间的速度），其带来的平均收入增量仍相当于目前人均GDP的四分之一。

随着美国和其它早期采用者推动技术发展，这增加了对更高生产力的需求，引起全球其它地区的收入增长。在高端制造领域，工业互联网的收益立竿见影；在美国，这可以把失业率降低到危机前的水平。新兴市场将继续加强基础设施投资；如果及早采用新技术，他们可以大幅加快增长并放大工业互联网对全球经济的影响。在1995到2004年期间，全球信息技术投资大潮把全球GDP增长率提高了接近一

个百分点；现在，新兴市场占全球经济的接近一半，他们的影响力可能会更高。

生产率增速降低或加快将对美国和其他国家产生重大不同。然而，生产率增长是一个相对近期的现象。在人类历史上，直到大约1750年之前，生产率几乎没有任何增长——经济增长很小。然后工业革命来临——如前所述——经济开始腾飞。工业革命产生了深远的影响。虽然第二次创新在1900年终止，它的发现在未来几十年仍继续被用于新产品并以新方式的到应用。美国的生产率增速在工业革命开始之前接近于零，但在1950和1960年代达到了每年近3%。

## 生产力发展的衰退

然而，从1960年代末开始，生产率增速突然下降，在1980年代中期下滑到接近于零。后来，生产率在某种程度上开始反弹，但仅为1.5%到2%之间，远低于之前数十年的水平。相比来说，从1950到1968年期间，美国的生产率增长速度平均为2.9%；从1969到1995年期间，平均只有1.6%。为什么生产率增速大幅下降？逆向供给冲击或许是重要原因，特别是1970年代的石油危机，但它们不足以解释长达四分之一世纪（服务部门的生产率几乎停滞不前）的生产率增速萎靡。一个似乎更加合理的解释是工业革命的创新已经达到一个更为成熟的阶段，边际效益消失（参见例子Gordon 2012）。

## 互联网革命

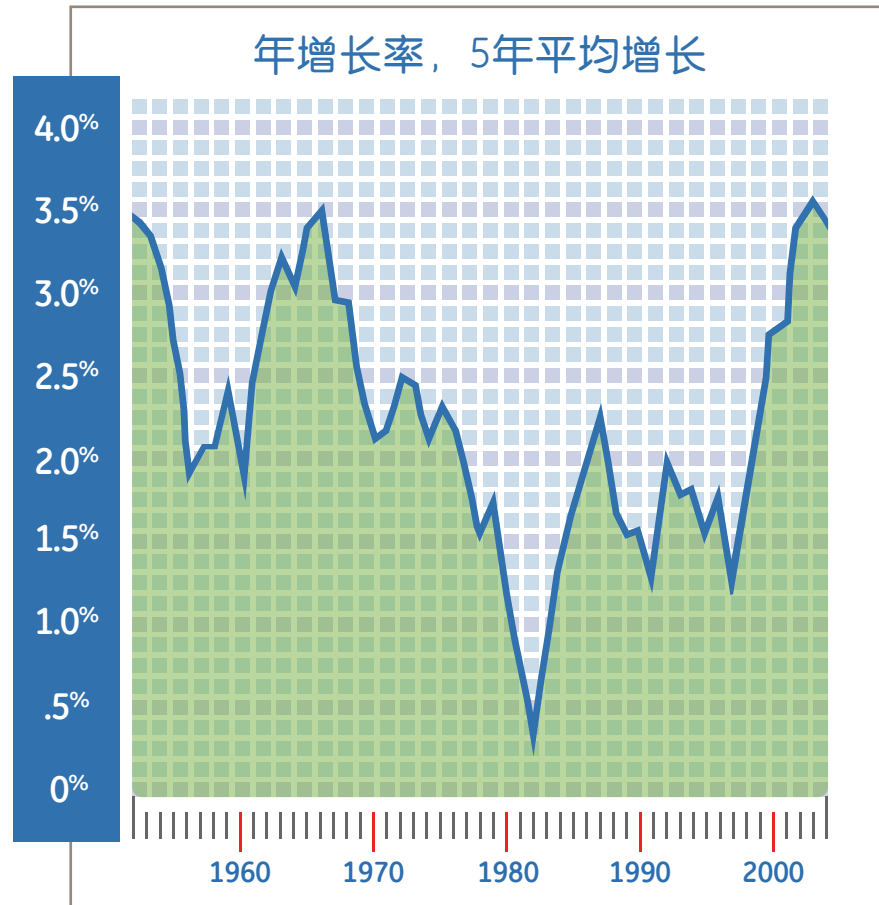
虽然生产率增速突然下降，创新的步伐并未停止：恰恰相反，计算机和互联网开始浮出水面。但缺乏可见的经济影响让质疑声四起。最著名的是Robert Solow的嘲讽：“计算机时代无处不在，但生产力统计除外”。Solow在1987年说的这句话，近10年后他的话仍然似乎很恰当。

突然：美国劳动生产率在1990年代中期剧增，达到了1960年代中期时创纪录的高度。

这种加速延续了随后十年：1996到2004年期间，生产率增速平均达到了令人吃惊的3.1%，几乎是之前四分之一世纪停滞期的两倍。

为什么会这样？有大量文献资料探讨了1990年代的生产力复苏，广泛的共识是此次生产力加速源自互联网革命及其背后的计算技术所带来的信息与通信技术。

图表10 美国劳动生产率的增长1952-2004

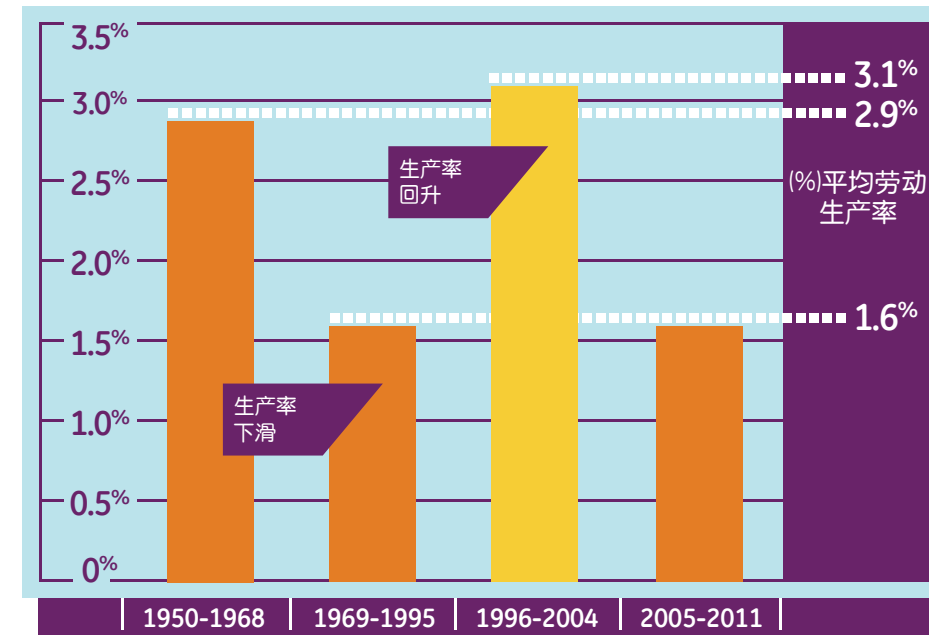


来源：美国劳工部，劳工统计局，劳动生产率和成本数据库，年度数据，2012年11月。  
<http://www.bls.gov/lpc/>

这个背景中值得注意的几点：

- 首先，生产力加速出现在经济扩张的相对末期。生产力提升有着周期性浮动的特点，一般在经济刚刚开始复苏的时候开始；1990年代中期的暴涨呈现了一个更加结构化的推动力。
- 此次革命的背后是激进的创新速度（摩尔定律<sup>35</sup>），这让信息和通信设备的价格飞速下滑。
- 随着设备得到更广泛的使用，此次革命也扩展到其它经济领域。经验证据表明，服务密集型行业的生产率增速高于其它行业，再次表明互联网革命是推动力<sup>36</sup>。

图表11 美国生产率的下降和回升



来源：美国劳工部，劳工统计局，劳动生产率和成本数据库，年度数据，2012年11月。  
<http://www.bls.gov/lpc/>

- 在利用硬件和软件创新方面的投资扮演关键角色，因为价格降低刺激企业更快速地升级资本存量。
- 服务业出现了生产力的飙升，混淆了另外一个经济误解，也就是“鲍莫尔病”。知名经济学家William Baumol在1960年代提出：(i)生产力上升主要源自资本设备中的创新；而且(ii)与制造业相比，服务行业更加劳动密集，而非资本密集；因此(iii)服务行业的生产率增速注定较低。事实上，服务行业是采用信息技术最多的行业，实现了最令人瞩目的生产力增长。批发和零售部门就是一个例子，因为信息技术实现了供应链和配送网络的革命<sup>37</sup>。

## 怀疑论者的回归

生产率增速从2005年开始再次下滑。可以预见，这引起了新一轮的质疑。智能手机和平板电脑以及社交媒体（已经快速出现在商务应用之中）的盛行进一步改变了我们的互动和沟通方式。

但随着生产率增速的下滑，把这些创新作为娱乐和愚蠢游戏的论调开始盛行。《金融时报》的经济编辑Martin Wolf表示：“如今的信息时代充满了毫无意义的声音和愤怒。”<sup>38</sup>

全球金融危机和接踵而至的大衰退也影响着人们的情绪，把水搅浑。对最新一波信息通信技术创新的质疑与对市场经济的质疑遥相辉映。这些创新——不管多么地令人印象深刻——将不会对生活水平产生影响，这也符合财经报道中经常出现的悲观论调。此外，2008-09年间的大衰退和缓慢的经济恢复以及就业率的大幅下滑让人们无法从前几年生产率增速的摇摆（劳动生产率增速在2009-10年飙升，但在2011年迅速下滑）中得出任何有意义的结论。

Robert Solow不成熟的失望应引起注意，但说1996-2004年的生产力复兴是昙花一现还为时尚早。

在最近的一篇文章中，西北大学的Robert Gordon教授（发表了大量有关生产力和经济增长的论文）认为，互联网革命的创新并不像工业革命的创新那样具有革命性。在一个引起争议的论点中，他断定工业革命所带来的某些主要变化是一劳永逸的变化：航空旅行的速度并不比1950年代末高，城市化的效力在美国已经耗尽。

## 工业互联网：下一波浪潮来临

工业革命持续了150年，某些最强大的创新在末期才出现。即使我们把1950年代作为互联网革命的开端，做出它没有持续经济影响的结论还为时尚早。

事实上，我们认为第二次、最强大、最具爆发性的互联网革命正在到来：这就是工业互联网。工业互联网注定要提高生产力。之前我们已经证明工业互联网将直接影响全球经济的很大一部分。我们也探讨了工业互联网如何在诸多重要部门产生重大效率提升和成本削减，从医疗到航空，从交通到能源各领域。

这种情况之前从未发生过。工业互联网有望优化各种经济活动中的运营。成本下降趋势很可能极大地提升工业互联网扩散的速度，这与信息通信技术的采用非常类似：云计算现在让我们能够以较低的成本分析海量数据。数据处理的价格在下滑，帮助实现生产力提升。

类似地，移动革命将加快这种成本下降趋势，降低分享信息的成本，从而实现离散化优化和个性化优化。对工业设施、分布式能源、个性化和便携式医疗的远程监测和控制只是一些最显著的例子。

## 会带来多大的不同？

由于存在广泛的不确定性，预测生产力的提升极具挑战性。尽管如此，我们对工业互联网在多个重要部门的影响分析表明，其提升生产力的潜力至少与第一次互联网革命相当。

工业互联网不仅仅涉及“工业”。这是一个关键点。我们把第二次互联网革命称为“工业互联网”，因为其主要特点是智能嵌入机器和设备的方式，并且这些是在工业部门内生产。但就像第一次信息技术浪潮一样，很多服务部门都大量采用新技术。医疗和交通这两个服务行业将从工业互联网中受益匪浅，我们之前也看到了这样的现象。这是一个关键的倍增效应：服务占美国GDP总量的近80%。

工业互联网究竟能够在多大程度上提高生产力？如果其潜在影响力至少向第一次互联网革命一样高，其生产率增速将达到1996-2004年期间的生产率增速，平均增长3.1%。就像之前的工业革命，我们预计这种影响将持续很长时间。

为了了解一下其中的含义，考虑下面几个例子。假设生产力提升一直持续到2030年，也就是比第一次信息技术持续时间的两倍略短。假设更高的人均收入增速可以完全反应生产率增速。美国的人均GDP目前大约为50,000美元。如果从现在到2030年的人均收入以3.1%的速度增加，而不是1995年前四分之一世纪的1.6%的速度，这意味着收入以目前的美元计算将增加20,000美元。换句话说，生产率增速加快将是目前平均GDP的40%。

我们更保守地假设生产率增速仅提高1%到2.6%，也就是低于1950-68年工业革命期间的增速。这仍将平均增加13,000美元的收入，或目前人均GDP的四分之一。

这是复合增长率的魔力：如果每年仅增长1.6%，收入需要44年才能翻一番；如果每年增长3.1%，则只需要23年。换句话说，在更高速度的情况下，收入翻番需要一代人的时间；而在速度较低的情况下，收入翻番需要两代人的时间。

当然，这些估计存在很多的不确定性。要把生产力提升转化为更快速的GDP增长，我们需要假设生产力、劳动力和资本的系数与没有这些创新时相同。例如，劳动力系数的降低将抵消生产率增速提升所带来的某些影响。我们预计投资速度将至少与无创新时的速度相同：新一代设备所带来的更高投资回报将刺激资本存量的更新。实际上，投资是创新的重要条件——就像第一次互联网革命时一样。

但劳动力呢？新一波创新和生产力发展是否会减少工作岗位？鉴于美国和其他发达国家的失业率目前已经很高，这是一个重要的问题。毫无疑问，进一步创新会让某些工作变得没有必要——例如，一些流程可以实现某种程度上的自动化。虽然某些以前的工作岗位会消失，但会创造出更好的新工作岗位。如下所述，工业互联网的发展将需要大量的分析与工程等岗位。教育系统需要做出改变，并进一步匹配市场的需求——确保新技能的供应跟上需求至关重要。如果我们可以做到，新职业的创建以及更快速的经济增长将催生更多更好的工作。

### 工业互联网与高端制造业

事情远非如此简单。虽然工业互联网会给整个经济带来收益，其最初的影响可能只有在高端制造领域可以强烈地感受到<sup>39</sup>。



美国失业率在大衰退期间大幅增加并一直保持在较高的水平，这加剧了有关制造业和服务业重要性的辩论。虽然全面的分析不包括在本次研究的范围之内，我们应当注意几个观察：

- 从制造业向服务业的转移是经济发展中的常见现象；在大多数发达经济体，服务业在GDP和用工量中所占的比重最高。例如在美国、英国和澳大利亚，服务业占经济总量的接近80%（以总附加值计算）；在欧盟占73%；在日本占72%。
- 在美国，这种转移是否过度呢？Spence和Hlatshwayo教授<sup>40</sup>表示，美国经济在1990到2008年期间新增的工作岗位（大约2700万）都是在非贸易领域，主要是服务领域。这些新增工作岗位主要在五大行业：政府、医疗、零售、餐饮住宿服务，以及建筑业。Spence和Hlatshwayo令人信服地认为这些领域创造工作岗位的速度不太可能达到过去30年的水平。更高的公共债务、激增的医疗成本以及仍在艰难恢复中的房地产部门构成了强大的阻力。
- 要想美国就业率回到危机前的水平，制造业可能需要扮演更重要的角色。要想工资和生活标准持续增长，发达经济体制造业的复兴需要更高的生产率增速的驱动。页岩气等低成本能源提高了美国制造业的竞争力，但工业互联网可能是对这种变革同样，甚至更强大的引擎。

### 对全球经济的影响

目前的讨论主要还是聚焦美国。原因很简单。因为美国是目前最发达的经济体，处在生产力的前沿<sup>41</sup>。在打破边界方面，技术创新必须在美国扮演重要角色。

但一旦这个前沿转向国外，所有人原则上都可以实现。

第一次互联网革命再次提供了有用的基准：1995年之后，信息技术投资不仅在美国也在全球其他地区飙升，其中发达经济体和新兴的亚洲国家处在领先地位。Jorgenson和Vu估计，1995年之后，信息技术投资对增长的贡献大约翻了一番，包括新兴的亚洲国家、拉丁美洲、东欧、中东和北非，以及撒哈拉沙漠以南的非洲国家<sup>42</sup>。

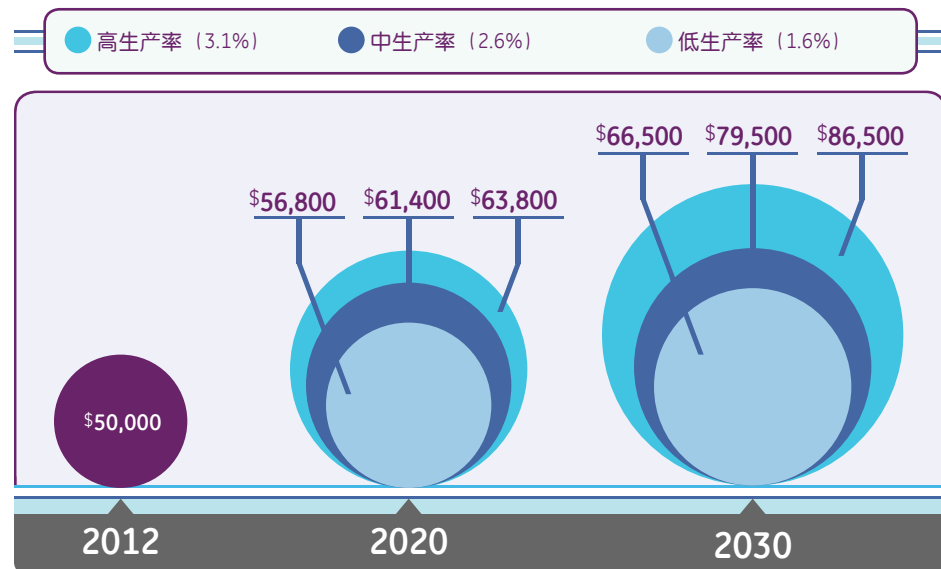
在信息技术投资在全球飙升的同时，世界经济也在显著增长。增长速度接近一个百分点。

全球经济能够多快地享受到工业互联网的收益将取决于采用新技术的速度。由于新兴市场已经占全球经济的大约一半，它们采用新技术的速度所产生的影响将大大超过互联网革命时期，以及工业革命时期。

一个积极因素是新兴市场仍需要增加大量基础设施投资，这是快速提高产量和收入的优先条件。如果新兴市场这次能够及早采用新兴技术，工业互联网革命将对全球经济产生更快速、更强大的影响力。它对全球可持续发展的制约条件的影响——例如商品消费和环境影响——将更为重大。

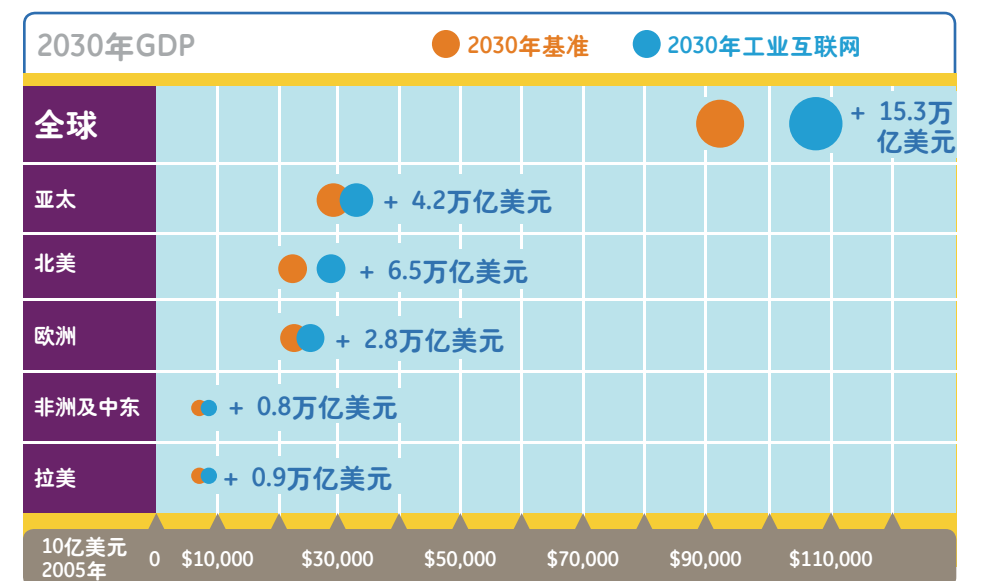
一个简单的模拟有助于理解工业互联网对全球经济的潜在影响。假设工业互联网可以把美国劳动生产率的增速提高到互联网繁荣时期的3.1%，并且全球其它地区可以通过投资新技术实现美国一半的生产率增速。这比工业互联网无影响时的基准高0.75%。如果生产率以这样的速度提高至2030年，全球GDP将增加大约15万亿美元（按照2005年的美元币值）。换句话说，更快的生产率增长所新增的GDP相当于目前美国的GDP总量。人均收入也相应地提高，到2030年，全球人均GDP将比没有工业互联网时的基准高近五分之一。

图表12 美国人均GDP的潜在变化



注：名义美元 来源：国际货币基金组织世界经济展望数据库，2012年10月。GE预测

图表13 工业互联网对全球经济的贡献



来源：GE预测



或者，考虑上面更保守的估计，其中美国生产率增速只提高1%至2.6%。再次假设全球其它地区可以实现美国一半的生产率增速，也就是生产率增速提高0.5%。全球GDP在此期间仍将增加大约10万亿美元。

#### 商业实践和商业环境的角色

工业互联网能够以多快的速度为全球经济带来收益还取决于公司在业务流程中使用工业互联网的能力；这反过来也将取决于商业环境以及经济政策。

工业互联网的收益不仅仅源自资本设备效率的提高，也来自能够把机器和设备推至技术极限，还来自优化运营以及优化运营改进速度的能力。

这要求商业实践随着技术创新进行变革。MIT的Brynjolfsson强调了数据驱动型决策（DDD）的作用，并表明采用DDD的企业可以实现比不采用DDD的企业高5-6%的生产率提升<sup>43</sup>。

因此，无论在公司还是在整个经济层面，这些收益都是巨大的。但他们需要合适的条件才能实现繁荣。我们上面提到，1995年之后，信息通信技术投资在全球飙升，而发达经济体处于领先地位。虽然生产率增速在美国大幅提升，但在欧洲却大幅下滑（接近1%）<sup>44</sup>。这种分歧一直是学术界研究和争论的焦点。

管理时间和业务流程似乎扮演重要角色：Bloom、Sadun和Van Reenen近期的一项研究发现，美国的跨国公司在欧洲的生产力提升高于非美国跨国公司，而且倾向于更多地采用信息技术<sup>45</sup>。他们指出，美国的跨国公司在“人力资源管理”上做的也更好，例如更高效的招聘、解雇和升职。新的颠覆性技术需要工作和管理实践做出快速的重大变革，更灵活地管理公司的人力资本才能最好地实现这个目标。

外部环境也很重要。僵硬的劳动力市场——严厉的招聘和解雇限制——将不可避免地对公司的人力资源管理战略产生负面影响。在欧洲，僵硬的劳动力市场已经造成生产力低下以及国际竞争力的降低，在很大程度上造成了欧元区成员国目前面临的高债务窘境。

类似地，产品与服务市场上的限制也会影响新技术的变革潜力。我们之前提到，美国生产力的飙升在很大程度上来自服务部门。加拿大、澳大利亚、英国和荷兰也有类似的情况。但在大多数欧洲国家，1995-2004年期间的生产率增速不到美国的三分之一<sup>46</sup>。



## 六、动力、催化剂和条件

实现工业互联网不是一个必然的结论。需要关键的动力、催化剂和支持条件才能把机器的世界与数据和数字世界融合起来，发挥其全部潜力。某些最重要的元素毫无疑问将继续发展，包括创新、强有力的网络安全管理、基础设施以及培养新人才。

#### 创新

工业互联网是已有创新的结果，有些创新是技术创新，还有一些是系统、网络和流程创新。虽然具体需要哪些创新尚不明确，但很明显它们代表着一套至关重要的催化剂和动力。

下面是工业互联网发展必须的一些创新类型：

**设备：**把传感器集成并部署到新工业设备的设计中，以及现有设备的改造方案中；高效收集和快速传输信息所需的硬件等。

**高级分析：**新的数据标准，实现来自不同原始设备制造商（OEM）的类似资产或不同资产的数据的更深度集成；技术架构，让数据更快速地转化为信息资产，为集成和分析等做好准备。

**系统平台：**除了技术标准和协议，还需要让企业在共享框架/架构上开发特定应用的新平台；与供应商、OEM和客户建立新型关系，支持平台的可持续发展。

**业务流程：**新的业务实践，把机器信息全面集成到决策中；监测机器数据的流程；法律程序的进步，实现合作公司之间更快速、更灵活的安排。

类似这样的创新需要对公司、行业机构、整合和教育机构的投资。他们都希望从这

些投资中获得收益——行业需要销售与客户关系、政府需要提高就业率和增加税收但也有兴趣提高自己的运营效率，而教育机构希望通过承担某些复杂的挑战而吸引学生和资金。幸运的是，他们的投资方向不同，有助于实现创新的差异化。

除了创新，现有技术也需要进一步提高普及率，例如传感器和监控器这些目前已经存在的技术。

#### 基础设施

工业互联网将需要适当的基础设施。数据中心、宽带频谱和光纤网络都是信息通信技术基础设施的组成部分。基础设施需要进一步发展以连接各行各业位于各个位置的各种机器、系统和网络。这将需要整合国内和国外的基础设施，以便支持工业互联网所涉及数据流的大幅增长。

对数据中心的需求与日俱增就是挑战规模的一个例子。将在2025年全球用于处理数据的绝大多数数据中心还没有建成。关键原因是数据处理需求目前每两年就翻一番，到2020年将增加20倍<sup>47</sup>。如果这个趋势延续下去，我们可以预期2025年的数据处理需求将增加40倍。虽然更加模块化设计和效率提升降低了数据中心的能耗，但对高质量电力的需求预计将大幅增长。目前，全球数据中心每年消耗大约130吉瓦的电力，相当于全球最大的超级城市之一纽约市耗电量的2.6倍。到2025年，数据中心的耗电量将增加到相当于9-14个超级城市耗电量的水平。在这种情况下，与数据中心相关的资本投资将大幅增加。到2025年，全球资本支出很可能将接近1000亿美元，到2025年将在此翻一番，达到





2000亿美元<sup>48</sup>。很明显，高效、清洁和具有弹性的未来数据中心对于工业互联网有着重要意义。

### 网络安全管理

实现工业互联网的愿景需要有效的互联网安全制度。网络安全需要考虑网络安全（针对云的防御战略）以及与网络连接的领先设备的安全。

拥有受保护的IT基础设施是一项关键要求。安全流程和控制应有多层防御的能力。Dell SecureWorks打击威胁部门/研究部门的总监Barry Hensley认为：“安全流程和控制应包括漏洞生命周期管理、端点保护、入侵检测/预防系统、防火墙、日志可见性、网络可见性以及安全培训。”<sup>49</sup>。防御战略需要扩展到每一层，从网络一直到用户。

保护宝贵的敏感信息是安全管理的关键。确立并维护企业间以及企业与消费者之间的网络信任至关重要。信息安全和隐私保护是建立这种信任的基础。确保受限数据（包括知识产权、专有信息以及个人

身份信息）安全的措施至关重要。这些措施包括加密设备上的数据，对数据向云传输的加密。某些数据保护措施已经在企业层面得到实施，推动了这些措施在工业网络上的扩展和部署。

工业互联网的扩展需要所有利益相关者积极地参与到安全管理之中。每个人都在推动网络安全方面扮演角色。下面是一切潜在的责任：

**技术厂商：**重点是供应链安全，以及产品设计与产品性能。产品（设备和软件）应内置安全功能以最大化网络威胁防御层。

**资产所有者/运营商：**重点是保护设施和系统网络。与监管机构、执法部门和情报部门合作有助于防范可见的威胁。具体行动包括分享威胁信息以及应对方法。

**监管机构/决策者：**有效的网络安全监管制度应能够推动创新，鼓励对所有利益相关者的教育，以及支持人才培养。为了奠定稳定的基础，政府应为网络安全制定并推广自愿的行业标准和最佳实践。应当有基于行业的性能和技术标准，鼓励“安全

文化”。理想情况下，标准和数据隐私保护政策在各州和各国都保持一致。目前有几个标准机构，但是碎片化的。推广和采用通用、一致的数据结构、加密、传输机制标准以及数据的正确使用在推进网络安全方面还有很长的路要走。

**国际机构：**虽然各国会制定国家层面的指南，仍需要制定国际标准。重点应当是制定与知识产权保护和国际数据流（例如服务器本地化要求）以及互联网“武器化”相关的标准。

**学术界：**应当进一步研究数据安全和隐私保护，包括研究加强IT安全计量、推理非敏感数据，以及数据聚集中隐私保护的**法律基础**<sup>50</sup>。

一致的网络**安全战略**将把风险降到最低，让社会能够充分抓住工业互联网相关的机会。

### 人才培养

没有专业人才就没有创新。工业互联网的崛起需要培养新的人才库。除了机械和电气工程技能，还需要跨学科的新的技术、分析和领导人才。就像如今的数据科学家，主要是已经从事相关工作的人群。久而久之，部分地通过最初人才库的自定义，松散的**实践行为**将会得到提升。

推动工业互联网的发展需要下面的各种工作种类：

**下一代工程：**对各种交叉人才的需求将增加，他们融合了机械工程等传统工程学科与信息**和计算学科**，从而成为“数字-机械”工程师。

**数据科学家：**将形成分析平台与算法、软件和网络安全工程师，包括统计、数据工程、模式识别与学习、先进计算、不确定性建模、数据管理以及可视化。

**用户界面专家：**人机互动的工业设计领域，高效地整合最低投入所需的硬件和软件，以实现所需的产出；以及机器最小化不必要的产出。

这些人才来自哪里？很多国家和地区目前都缺乏很多基础性的人才：网络安全、软件工程师、分析专家等等。人才市场应当最终重新调整，但企业或许需要通过最多才多艺（冒险精神）的员工组建自己的人才库。因为文化或规章制度而**顽固不化**的劳动力市场将无法适应这些新的需求。

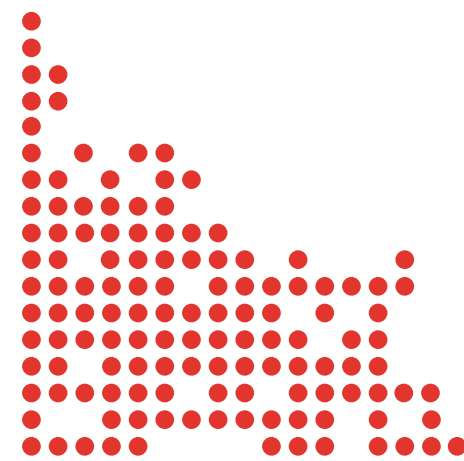
通过合作发展**现有的人力资源**是获得跨学科人才的另一方法。不是培养或雇佣拥有多种技能的人才，而是创建一种环境，让拥有不同技能的人们能够互动并合作创新。在更高层面上，众包等方式可能能够弥补由能力差距引起的问题。

上游教育系统的改变需要校企加强合作来推动。需要制定教育计划以奠定“数据人才”所需的**知识基础**。目前，管理大数据系统或进行高级分析的人已经通过自我驱动的专业化而发展成为独特的人才，而不是通过任何标准化的技能或学科训练。需要联合开发课程、学术人员融入产业等方法来确保工业互联网的人才需求超出教育系统的**能力**。某些计划已经开始出现，但还需要更多。

形成并推动工业互联网的愿景、价值和应用最终是领导者的工作。这些有远见卓识的领导者需要公司领导层的支持，才能在行业高峰和低谷中保持投资。创新需要承受风险，工业互联网的很多领域可能让公司不舒服或必须建立新的合作伙伴关系。企业需要新一代领导人，他们能够执行这一愿景，并且打造所需的组织、文化和人才。

总之，工业互联网的增长取决于重要的关键动力、催化剂和支持条件。其中包括持续的动态创新、高效的互联网安全机制、IT基础设施以及合适的人才、技能和专业知识。

## 制定专门的教育计划 以奠定“数据人才” 所需的知识基础



## 七、结论

经济和社会中已经发生的创新和演进的长期性已经得到广泛的认可。当新技术出现并被大规模采用时，就会出现大量的变革和破坏。传统工业系统集成智能技术——不仅在工业系统的外围，还在新一代机器的设计和功能的内部——也会出现这种变革周期。虽然仍处于早期发展阶段，工业世界与互联网及相关技术的融合可能像之前历史性的创新和变革浪潮一样具有革命性。

变革的范围极广。工业互联网技术的潜在影响力涉及几乎半数的全球经济，以及超过半数的全球能源流动领域。在多个行业，把智能设备、设备组、设施和系统网络与在办公室和移动中的人连接在一起将为流程优化、生产力和效率提升带来新的可能性。早期采用者已经开拓出了一些前进的道路，为工业互联网奠定了基础。未来，工业互联网技术的更广泛采用将对产业成本结构带来更深远、更有益的变化。这将打破竞争平衡，迫使业内其它公司为了生存而快速采用工业互联网技术。很明显，不同行业的步伐可能不同，但随着采用率的提高，整个经济将感受到更广泛的影响。

复合效应使得相对较小的效率变化也能在全球范围内产生重大影响，因此不容忽视。正如我们所提到的，即使成本降低1%也能通过行业和区域放大效应而节约大量成本。如果工业互联网能够通过成本节约和效率提升而把美国的生产率增速提高1-1.5个百分点，经济增长可能是巨大的，有望把目前的人均GDP提高25-40%。互联网革命在10年内把生产率增速提高了1.5个百分点——根据本论文中详述的证据，我们认为工业互联网有望提供类似的收益并持续更长时间。

虽然美国相对处于技术领先地位，工业互联网的收益将惠及整个世界。为了快速提高生产力和居民收入，新兴市场有提高基础设施投资的大量需求。如果新兴市场及早采用新技术，工业互联网革命将对全球经济产生巨大影响。如果美国可以把生产率增速保持在1.5%而且全球其它地区的生产率增速只有其一半高，在未来20年，工业互联网将把全球经济的规模提高15万亿美元——相当于目前美国经济的规模——并把全球人均GDP提升近五分之一。

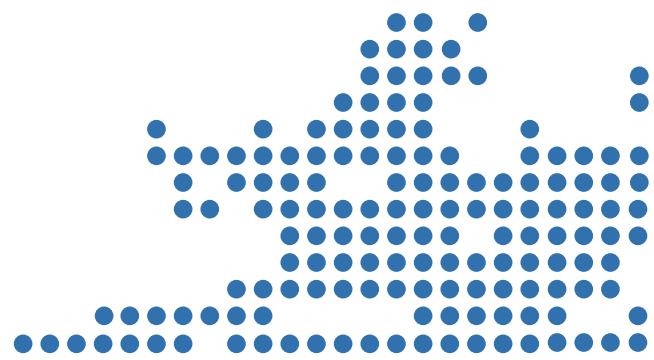


在发达经济体的经济增长、失业率以及居民收入令人失望的背景下，这样的生产率增长速度将带来巨大的收益。此外，工业互联网有望缓解可持续的全球强劲增长所面临的限制，包括商品消费以及降低对环境的影响。

在利用更少的资源做更多事情、消除限制以及提升更多人的生活水平方面，创新一直是最强大的推动力。通过进一步打破智慧与机器的边界，工业互联网有望推动新一轮的创新。



GE梦想启动未来



## 八、尾注

- 1 Jan Luiten Van Zanden, 《工业革命的漫长道路》, (Leiden: 荷兰: Koninklijke Brill, 2009年)。
- 2 详见Robert Gordon的《美国经济增长结束了么? 摇摇晃晃的创新面临六大问题》, (CEPR Policy Insight nr. 63, 2011年9月)。
- 3 参见Chris Freeman和Francisco Louca的《时光飞逝: 从工业革命到信息革命》(牛津大学出版社: 纽约, 2010年)。
- 4 Johnny Ryan, 《互联网的历史与数字未来》(伦敦: Reaktion Books, 2010年), 125页。
- 5 Ryan, 82页。
- 6 美联社, “Facebook历年的活跃用户数”, 2012年10月23日; 华尔街日报, “Facebook: 10亿并继续增长”, 2012年10月4日; Facebook, 10亿——重要指标, <http://newsroom.fb.com/News/One-Billion-People-on-Facebook-1c9.aspx>。
- 7 本文中的工业部门的定义见国际标准行业分类 (ISIC) 第10-45节, 并包括了制造业 (ISIC第15-37节)。其中包括采矿、制造、建筑、电力、水务、石油和天然气中的附加值。制造指的是ISIC第15-37节中规定的行业。在北美 (美国、加拿大和墨西哥), 更详细的北美行业分类系统 (NAICS) 是美国联邦统计机构采用的标准。对于NAICS, 工业部门被定义为 (21-23) 和 (31-33) 分布两个层面。两个体系在大多数报告中通常都是相合的。
- 8 经济份额计算是国家层面的最近GDP份额乘以世界银行提供的2011年名义GDP统计。
- 9 交通部门的定义见ICIS Division I — 交通、储存与通信。医疗服务业的定义见ICIS Division N — 医疗与社会网络。
- 10 GE的估计是基于2012年8月份的预测, 采用当前的美元价值。
- 11 除非特别注明, 本节中的统计数据是GE根据2012年BP全球能源统计评论, 国际能源署 (IEA) 以及GE内部分析。
- 12 IEA (2009) 能源技术为能源而转变: 下一次工业革命的战略。
- 13 波音商用飞机统计汇总, 2012年7月, <http://www.boeing.com/news/techissues/pdf/statsum.pdf>
- 14 通用航空制造商协会, 2011年统计数据与行业展望, [http://www.gama.aero/files/GAMA\\_DATABOOK\\_2011\\_web\\_0.pdf](http://www.gama.aero/files/GAMA_DATABOOK_2011_web_0.pdf)
- 15 Platts UDI数据库, 2012年6月
- 16 2012年GE在发电领域的战略、分析及展望。
- 17 石油天然气学报炼油厂调查 (2011年12月5日), <http://www.ojg.com/ojg-survey-downloads.html>。
- 18 GE根据石油天然气学报2012年5月期的2012年全球建筑业调查, 其中介绍了超过130个新的炼油厂项目和现有炼油厂扩建项目。
- 19 国际航空运输协会 (IATA) 2050年展望, 2011年, [http://www.iata.org/pressroom/facts\\_figures/Documents/vision-2050.pdf](http://www.iata.org/pressroom/facts_figures/Documents/vision-2050.pdf)
- 20 国际航空运输协会 (IATA) 2011年年报以及2012年9月份的行业展望演示。
- 21 联邦航空管理局 (FAA)。NAS低效估计, 2006。包括更好的航班规划和运营以及其它运营变化带来的潜在燃油节约的估计。这表明燃料节约5%是可能的。
- 22 Idem IATA 2050年展望
- 23 IATA, 航空公司维护成本主管评论, 2011年1月, [http://www.iata.org/workgroups/Documents/MCTF/AMC\\_ExecComment\\_FY09.pdf](http://www.iata.org/workgroups/Documents/MCTF/AMC_ExecComment_FY09.pdf)
- 24 来源: GE运输系统集团, 交通支出联合国统计署, MIT调查: 第三方物流的商品化。商务杂志: <http://www.joc.com/logistics-gdp-and-rising-costs>。
- 25 GE战略与分析计算是基于国家层面的电厂天然气需求估计, 其中原始数据来自国际能源机构 (IEA) 以及EIA BP统计能源报告的历史数据。
- 26 GE战略与分析估计是基于国家层面的估计天然气价格乘以估计的电力部门天然气需求。

## 尾注（续）

- <sup>27</sup> Maugeri, Leonardo。“石油：下一场革命”论文2012-10，Belfer科学与国际事务中心，哈佛肯尼迪学院，2012年6月。<http://belfercenter.ksg.harvard.edu/files/Oil-%20The%20Next%20Revolution.pdf>
- <sup>28</sup> 参见数字油田：石油天然气投资者增补，2004年4月，探讨了工业互联网的潜力。<http://www.oilandgasinvestor.com/pdf/DOF0404.pdf>
- <sup>29</sup> 同上，数字油田：第3页。
- <sup>30</sup> 原油产量和全球石油产品消耗量之间每天大约8800万桶的差异源自生物燃料和液化天然气的使用。来源：BP世界能源统计评论，2012年6月
- <sup>31</sup> Barclay的权益调查，全球E&P资本支出更新，2012年5月。
- <sup>32</sup> GE石油天然气估计是基于内部项目跟踪以及Barclays、Petroleum Finance Consultants (PFC) 和Rystad Consulting等外部机构提供的补充信息。
- <sup>33</sup> 普华永道医疗研究机构（2010）
- <sup>34</sup> 同上。
- <sup>35</sup> 英特尔的联合创始人Robert E. Moore在1995年根据观察结果得出，集成电路上晶体管的数量大约每两年翻一番。他预测这个趋势将持续至少10年——回顾，“至少”是一个关键词。
- <sup>36</sup> Kevin Stiroh，信息技术与美国生产力复兴：行业数据怎么说？（员工报告，纽约联邦储备银行，nr. 116，2001年1月）。
- <sup>37</sup> Barry Bosworth和Jack Triplett，服务行业的生产力测量问题：“鲍莫尔病”已经治愈（纽约联邦储备银行经济政策评论，2003年9月）；以及Barry Bosworth和Jack Triplett，美国的服务业生产力（难以测量的商品与服务：向Zvi Griliches致敬，芝加哥大学出版社，2007年）。
- <sup>38</sup> Martin Wolf，无限增长的年代是否结束？金融时报，2012年10月3日。
- <sup>39</sup> 有关高端制造定义的详细讨论见科技政策研究院（2010）和这里的参考资料。
- <sup>40</sup> Michael Spence和Sandile Hlatshwayo，美国经济结构的演进与就业率挑战，（外交关系委员会工作书，2011年3月）。
- <sup>41</sup> Gordon（2012年）
- <sup>42</sup> Dale W. Jorgenson和Khuong M. Vu，全球经济的潜在增长，（政策建模杂志，第32卷，nr. 5，2010年）。
- <sup>43</sup> Erik Brynjolfsson、Lorin M. Hitt和Heekyung Hellen Kim，数字的威力：数据驱动型决策如何影响公司业绩？（ICIS论文集，13号论文，2011年）。
- <sup>44</sup> Bart Van Ark、Mary O’ Mahony和Marcel P. Timmer，欧洲和美国之间的生产力差距：趋势及原因，（经济展望期刊，第22卷，nr. 1，2008年）
- <sup>45</sup> NNicholas Bloom、Raffaella Sadun和John Van Reenen，美国人做的更好：美国跨国公司与生产力奇迹，（美国经济评论，nr. 102，2012年）
- <sup>46</sup> Van Ark、O’ Mahony和Timmer（2008）
- <sup>47</sup> Ganz、John；Reinsel、David；2011年数字宇宙研究：从混乱中提取价值，IDC：EMC公司赞助，2011年。
- <sup>48</sup> GE能源、全球战略与规划的预测，2012年。  
注意：这是建设基础设施以及机械和电气设备的成本，但不包括服务器成本。
- <sup>49</sup> GGTCS2011，2012年新兴网络威胁报告[http://www.gtisc.gatech.edu/doc/emerging\\_cyber\\_threats\\_report2012.pdf](http://www.gtisc.gatech.edu/doc/emerging_cyber_threats_report2012.pdf)
- <sup>50</sup> 国家科技研究所。  
[http://csrc.nist.gov/groups/SMA/forum/documents/june2012presentations/fcsm\\_june2012\\_cooper\\_mell.pdf](http://csrc.nist.gov/groups/SMA/forum/documents/june2012presentations/fcsm_june2012_cooper_mell.pdf)

## 致谢

感谢本论文的诸多贡献者。特别地，我们要感谢Michael Farina、Brandon Owens、Shlomi Kramer、JP Soltesz、Matthew Stein、Niloy Sanyal、Nicholas Garbis、Alicia Aponte和Georges Sassine。

## 作者简介

**Peter C. Evans**是GE公司全球战略与分析总监，曾担任GE能源集团全球战略与规划的主管长达五年时间。在加入GE之前，他在剑桥能源研究协会（CERA）担任全球能源论坛研究总监和全球石油总监。他还作为独立顾问为各种企业和政府客户服务，包括美国能源部、经济合作与发展组织（OECD）和世界银行。Evans博士拥有丰富的国际能源经验，包括在东京电力行业中央研究院担任访问学者。他是外交关系委员会的终生会员以及美国商业经济协会的董事会成员。Evans博士在汉普郡学院获得了学士学位，在麻省理工学院获得了博士学位。

**Marco Annunziata**是GE公司首席经济学家和全球市场洞察执行总监。他曾撰写了Palgrave MacMillan出版的《金融危机的经济学》，两次荣获伦敦商业经济学会颁发的商业经济最佳论文Rybczynski奖。在2010年加入GE之前，Annunziata博士曾担任Unicredit的首席经济学家以及德意志银行东欧、中东和非洲地区首席经济学家，并且曾在国际货币基金工作六年时间，涉足新兴和发达经济体。Annunziata博士在博洛尼亚大学获得了经济学学士学位，并在普林斯顿大学获得了经济学博士学位。

