

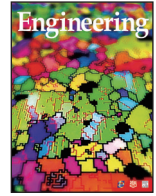


ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/eng



Views & Comments

极限工程——产品开发和制造中的极化

Andrew Kusiak

Department of Industrial and Systems Engineering, The University of Iowa, Iowa City, IA 52242-1527, USA

1. 引言

产品和解决方案通常是合理的市场成本进行开发，以满足客户的需求。可承受风险的新应用大多采用新技术。随着时间的推移，某些应用领域的新技术已经饱和。这种市场现象和技术本身的进步会推动该应用领域技术的新发展（这种技术新发展在一般情况下容易被忽略）。行业需要有所准备，以应对偏离正常运行时的风险。一些新应用涉及本文所讨论的技术的极限发展。

作为一门学科，工程学与技术紧密结合。工程活动的两个领域，即产品设计和制造，将用于假设新兴极限——集成极限和开放极限——的特征（图1）。

2. 集成极限

钙钛矿太阳能电池是集成极限的一个例子[1]。由于钙钛矿太阳能电池与光伏（PV）太阳能电池相比具有更低的成本且能产生更多能量，因此几家公司正在开展将钙钛矿型太阳能电池板推向市场的研发项目。尽管没有充分的证据表明钙钛矿电池比现有的太阳能发电机更具优势，但研究人员已在材料（如粉末）、制造工艺（如在增材制造中使用粉末）和太阳能电池板的设计（如分层结构）方面开展了大量研究计划。

3. 开放极限

开放式制造企业是为生产产品而配置的实物资产和服务的集合。在许多情况下，实物制造资产（physical manufacturing asset）将以制造服务模式运行。这些发展把竞争力的焦点逐渐从内部开发的技术转移到知识的获取以及配置、重新配置和最佳地操作分布式服务及其实物资产的能力上。

最初，这两个工程极限因素将占有产品开发和制造活动的一小部分（图1）。大多数产品开发和制造活动遵循传统和混合（集成度和开放极限）的方法规律。但是，随着两个极值的扩大，图1中部区域会缩小。

4. 为什么要进行极限工程？

迄今为止，工程技术的进步，包括工程设计和制造，在很大程度上是不断发展的，新技术的进步在未来几年会给工程设计和制造带来更大的变化。新材料（如能够对机械力、磁场或其他刺激产生反应的建筑材料）、制造技术（如4D打印）、人工智能、工业数字化以及日益活跃的市场促进了产品开发和制造中集成和开放极限的出现[2]。

集成极限适用于颠覆性产品和技术的开发。这些产品和技术的新颖性会对专有技术产生保护。一旦到位，制造工艺的产能扩张将成为满足市场需求的主要增长方式。集

成企业不会在制造云中推广其制造服务，因为其重点主要是在产品的新颖性方面。但是，集成企业可以贡献或使用制造云中的服务（如供应或分销）。

开放极限将被实例化为一个开放的企业，其中包括产品开发、制造和物流等服务，这些服务不需要企业本身拥有。开放极限源于四个现象：①产品使用时间减少；②产品需求变化越来越大；③企业（包括服务制造业）的服务导向不断增强；④制造业中共享经济概念的普遍性[3]。寿命较短的产品会给制造工艺能力造成压力，这会造成短时间内对某一产品的需求增加 n 倍[4]。通过内部扩大生产能力来满足这种市场条件既不可行，也不具有成本效益。但是，基于共享和服务制造的概念，快速提高生产能力是可行的。

表1总结了集成和开放极限的基本特征。

5. 开放产品的开发与制造

在过去的几十年中，工业界一直在完善“按设计制

造”的方法。这种方法的目的是根据产品和组件的规格设计所需的产品和组件，而无需进行设计更改。制造设计（或专用制造）原理已在业界得到广泛实践。除了离散制造和装配工艺之外，研究人员还开发了支持X-design设计的工具。

在开放制造中，许多未来产品会针对设计阶段未知的制造过程进行设计。这种设计实践将受到以下因素的影响：

- (1) 不断增长的市场动态可能无法容忍建造或扩大现有制造设备所需的开发时间；
- (2) 制造业的实物资产和云资产的可分离性；并将得到以下方面的支持：
- (3) 具有设计制造工艺和工具的经验；
- (4) 制造资源共享的概念。

一些设计将由“设计即服务”企业创建。服务即制造的设计是开放制造设计的一个实例。至少有三个现有的工业实践[①代工制造（如富士康制造Apple产品）；②分包；③外包服务]证明了工业领域已经朝着本文假设的制造配

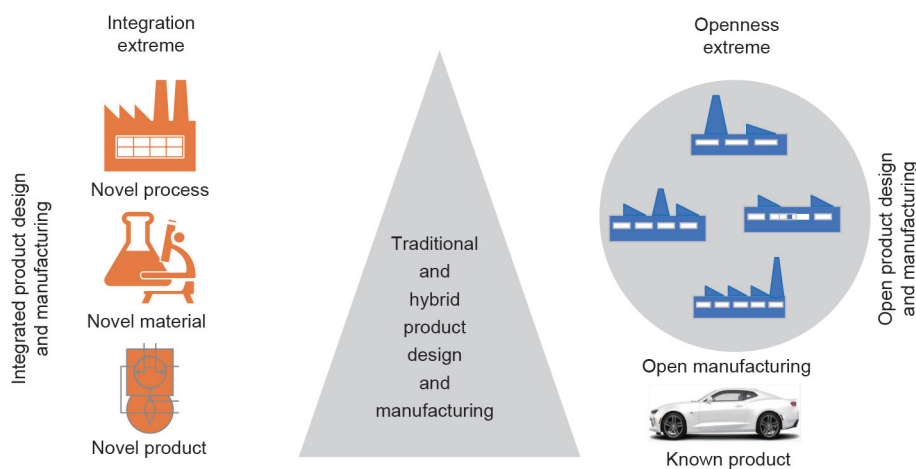


图1. 两个极限的企业架构。

表1 集成和开放极限的特征

Characteristic	Integration extreme value	Openness extreme value
Product novelty	High	Low to high
Process novelty	High	Low to high
Material novelty	High	Low to high
System integration	High	Low
Design for manufacturing	Manufacturing specific	Open manufacturing
Service design	Low	High
Service manufacturing	Low	High
Reliance on the cloud	Low	High

置模型发展。

在未来的企业中，其中一些服务可能由企业自身拥有和运营，而其他服务可能构成独立的业务实体，并分布在全球范围内。

6. 极限工程领域的例子

从当前技术的局限性到不断变化的市场和气候条件的原因，极限工程的概念很可能会进入工程活动的各个领域，包括：

(1) 土木工程，因为极限天气会影响建筑和结构的设计。

(2) 计算机工程，因为神经网络的规模不断扩大及其能力不断提高，可以模拟其反映的复杂现象，如极限、深度和广泛的神经网络。

(3) 环境工程，因为河流水位以及水电和废水处理厂的运行会受到降雨方式变化的影响。

(4) 能源，因为电气设备、发电机的运行以及电力的拣选需求受到极端天气条件的影响。

(5) 电子产品，因为过去该领域一直遵守摩尔定律，这迫使半导体行业探索包括量子计算在内的新技术。

(6) 制造过程，因为用于医疗、工业和消费产品的高精度组件需要新的尺度和公差。Zhang等[5]对高精度材料技术进行了综述。Fang等[6]总结了近原子尺度制造的进展。Fujimoto等[7]回顾了用于大批量生产的极紫外光源的情况。产品设计和制造需求中需要考虑自然灾害和流行病[如新冠病毒肺炎(COVID-19)]导致的产品结构和数量的意外变化。

(7) 运输，如航空、私家车和公共交通工具，都会对极端天气条件产生影响。

7. 结论

科学正在寻找尚未解决的问题的解决方案。可以假设，影响最大的想法出现在主流研究领域之外，如从生物学和医学领域的基因编辑到发现新行星，生成对抗网络的概念可以被认为是一种数据科学的极限发展。生成对抗网络的最新应用由Kusiak [8]提出。这些发展将支持极限科学作为未来的研究学科。

在工程中可以观察到类似的极限发展。本文主要关注两个工程极限：集成极限和开放极限。通过涉及新材料、新产品和新制造过程的产品开发和制造案例，说明了集成的极限性。集成极限是创新的核心。

本文将一家开放企业作为开放极限的例子。这样的企业是包括服务制造在内的服务集合。在两个极限中，原始业务实体不需要拥有任何产品开发资产；相反，所有这些都通过开放服务进行配置。原始业务实体将拥有产品，其重点将放在新概念（如产品）的开发上，而不是传统的产品开发和制造活动。某些工程学科已经提供了一些极限示例，这些示例证明极限工程值得研究界和实践界的关注。

References

- [1] Extance A. Perovskites on trial. *Nature* 2019;570(7762):429–32.
- [2] Kusiak A. Smart manufacturing. *Int J Prod Res* 2018;56(1–2):508–17.
- [3] Kusiak A. Service manufacturing: basic concepts and technologies. *J Manuf Syst* 2019;52(Pt A):198–204.
- [4] Kusiak A. Smart manufacturing must embrace big data. *Nature* 2017;544(7648):23–5.
- [5] Zhang Z, Yan J, Kuriyagawa T. Manufacturing technologies toward extreme precision. *Int J Extreme Manuf* 2019;1(2):022001.
- [6] Fang F, Zhang N, Guo D, Ehmann K, Cheung B, Liu K, et al. Towards atomic and close-to-atomic scale manufacturing. *Int J Extreme Manuf* 2019;1(1):012001.
- [7] Fujimoto J, Mizoguchi H, Abe T, Tanaka S, Ohta T, Hori T, et al. Laser-produced plasma-based extreme-ultraviolet light source technology for high-volume manufacturing extreme-ultraviolet lithography. *J Micro-Nanolith MEM* 2012;11(2):021111.
- [8] Kusiak A. Convolutional and generative adversarial neural networks in manufacturing. *Int J Prod Res* 2020;58(5):1594–604.