

## 建造源于制造，精益始于设计

高鹏云 汪江华\*

天津城建大学 建筑学院, 天津 300380

**[摘要]**工业化环境下，建造与制造难舍难分，第一次工业革命之后，制造业通过新技术、新材料的革新推动了世界建筑设计向现代主义的蜕变，支撑着建筑业完成了一次又一次的伟大创造。然而，在制造业精益思想诞生后，制造业在精益化的道路上越走越远，建筑业却似乎并没有跟上其脚步，生产效率与产品质量被制造业远远甩在后面。尽管建筑业已经作出了一系列诸如建筑工业化、装配式建筑、精益建造等一系列颇具成效的改革举措，但对制造业仍然难以望其项背，生产效率低、资源消耗大、建造质量差等问题依然突出。为此，文章通过对制造业走向精益的过程进行系统解析，探明制造业精益的本质，进而结合对目前建筑业的精益困境的分析以及对建造活动本质的剖析，探明精益建筑设计是建筑业真正走向精益的核心所在。

**[关键词]**精益制造；精益设计；精益建造；精益建筑设计

DOI: 10.33142/aem.v6i9.13838

中图分类号: U671

文献标识码: A

## Construction Originates from Manufacturing, Lean Begins with Design

GAO Pengyun, WANG Jianghua\*

School of Architecture, Tianjin Chengjian University, Tianjin, 300380, China

**Abstract:** In the context of industrialization, construction and manufacturing are inseparable. After the first industrial revolution, the manufacturing industry promoted the transformation of world architectural design towards modernism through the innovation of new technologies and materials, supporting the construction industry to complete one great creation after another. However, after the birth of lean thinking in the manufacturing industry, the manufacturing industry has gone further and further on the path of lean, while the construction industry seems to have not kept up with its pace, with production efficiency and product quality far behind by the manufacturing industry. Although the construction industry has taken a series of effective reform measures such as building industrialization, prefabricated construction, and lean construction, it still lags behind the manufacturing industry, with problems such as low production efficiency, high resource consumption, and poor construction quality still prominent. To this end, the article systematically analyzes the process of manufacturing moving towards lean, explores the essence of lean manufacturing, and then combines the analysis of the lean dilemma in the current construction industry and the analysis of the essence of construction activities to discover that lean building design is the core of the construction industry truly moving towards lean.

**Keywords:** lean manufacturing; lean design; lean construction; lean architectural design

### 引言

当下，建筑业发展迅速，充满活力，是全球最大的产业，建筑及其相关产业构成了世界实体经济的基础。从海底隧道到摩天大楼，建筑业已经交付了众多极具挑战性的项目。但是，建筑业在诸如生产效率、资源消耗、标准化等方面表现不尽如人意。尽管建筑工业化概念在二战被提出之后，经过几十年的发展，在提升建筑效率、减少资源消耗、提高标准化程度等方面取得一定成效，但是与制造业相比生产效率滞后、资源消耗严重、标准化程度低、产业价值链分散等问题仍尤为突出。

为此，以 Koskela 为首的众多专家学者向制造业的精益制造学习，提出了“精益建造”的概念，对建筑建造过程实施精益化管理来提高建筑建造效率，减少建造过程中的资源浪费，提高建造质量。我国亦在近年来提出新型建筑工业化、现代建筑产业等概念，以工业化发展成果为基础，融合现代信息技术，通过精益化、智能化施工，全面

提升工程质量、性能与品质，达到高效率、高质量、低消耗、低排放的发展目标。尽管这些举措在一定程度上缓解了生产效率滞后、资源消耗大、标准化程度低、产业链条分散等矛盾，但是这些矛盾依然存在，未能得到根本解决。因此，突破建筑产业的精益化困局，真正走上精益发展之路，成为亟待解决的关键问题。

### 1 我国建筑业的精益困局

制造业中的精益制造理论体现了一种不断发展，不断自我革新的制造哲学，是工业工程师在长期反复试验中发展并完善（特别是在汽车产业），并扩散到新的领域，如定制制造、管理及产品设计与开发等，但是这种精益哲学在建筑领域并未得到有效扩散。与制造业自然而然发展的精益之路相对比，目前建筑业的精益之路上困难重重。

#### 1.1 设计管理局限

低水平的设计管理是建筑业精益化程度显著落后于制造业的关键因素之一。随着建筑项目的复杂性增加和社

会专业分工的精细化,一个项目的完成越来越依赖于多个专业的紧密协作。许多原本由建筑师承担的职能和工作职能已经被分离出去,导致建筑师的工作趋于简化,变成了类似制造业流水线式的工作。建筑师在设计管理上受到内部和外部两方面的限制。

内部限制主要源于项目内部的信息交流障碍。建筑设计流程通常采用串联式的结构,设计信息逐级向下传递。不同专业团队分别负责各自的设计内容,由于分工和专业领域的差异,不同层级之间存在管理和信息交流的障碍。这使得负责主导的建筑师难以有效管理和控制下属设计人员及其工作信息。

外部限制则表现在与供应商和施工单位的合作关系上。在建筑项目中,设计方、施工方和供应商的合作具有临时性,不具有稳定的合作关系,这带来的一个不利影响是双方在材料选择和制造工艺等方面缺乏熟练的配合协作。此外,分散的项目管理权力,也给设计方对建筑质量的管理带来巨大的挑战。施工方和供应商各自逐利而偷工减料使用质量不合格的材料和产品,这进一步降低了建筑的整体质量。

### 1.2 设计、制造、建造分离

在项目管理及设计流程中,信息传递往往呈现单方向、逐步深入的特点,这导致了项目中不同利益相关者和不同层级之间存在程度不一的信息障碍,影响了信息的互动交流。因此,设计方案往往难以全面预测未来在制造和建设领域出现的各种技术需求。设计与制造、建设之间存在明显的分离和脱节。

这种脱节的现象导致设计方在设计时,往往只是遵循多年形成的行业惯例,更加注重设计规范和标准,而对于制造、采购、建设安装等方面的关注不足,未能紧密跟随当前制造业的最新技术进展。这种脱节不仅使得建筑设计和建筑质量难以提升,还导致了建筑行业的整体制造技术和建造技术的进步受阻。

### 1.3 价值链条割裂

在建筑产业链中,价值的分布是不均衡、碎片化的。设计和制造、建造之间的脱节是导致这种价值分散的主要原因。以我国为例,我国建筑业在产业化和产业链协同方面与制造业相比还有较大差距。传统的产业分工和工程项目组织方式落后,产业创新体系中的各种要素资源分散,价值链断裂导致建筑工程全过程中各个环节、全产业链之间缺乏紧密的联系。比如,建筑设计多聚焦于功能和规范,而很少考虑到材料、组件的制造和相关建设因素,有时甚至闭门造车;施工企业主要以土建设工为主,只是按照图纸施工,甚至仅凭经验施工,导致施工建造过程产生大量不经济、不合理因素,甚至造成施工质量安全隐患;制造企业则关门搞产品研发,其产品设计与工程设计、施工建造系统的技术不匹配、不配套。建筑全产业链的系统性、

整体性和协同性普遍较低。

在工业化语境下,建造和制造如同孪生兄弟,共同的根基是工业化生产。从世界第一次工业革命至今的二百多年间,制造业经历了多次自我飞跃,从工业 1.0 向工业 4.0 发展,在这一过程中,新技术、新材料不断涌现,生产效率日益提高,随之而来的是产品成本的降低和产品质量的提高。建筑业在制造业飞速发展的过程中与制造业的关系日益紧密,两者呈现出相互融合的状态。因此,制造业的精益发展历程为我国建筑业突破精益困境、走向精益提供了重要的参考。

## 2 制造业的精益之路

总的来看,制造业在精益化的路途上共经历了从大批量制造 (Mass Production) 到精益制造 (Lean Manufacturing)、从精益制造 (Lean Manufacturing) 到精益设计 (Lean Product Design) 两次巨大蜕变。

### 2.1 制造的精益

大批量生产 (Mass Production) 由通用汽车公司在生产“T”型车 (图 1) 的过程中创造,是一种以降低制造成本,提高制造效率为目标,标准化、大批量为特点的生产方式。

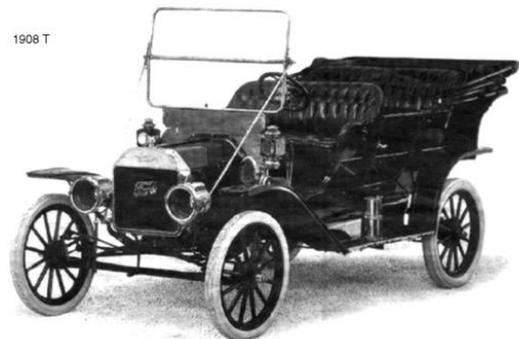


图 1 福特汽车公司“T 型车”与流水线

大批量制造满足了当时人们的生活需求,提升了产品质量,促进了社会制造的分工和专业化,但大批量制造也有其缺陷,大批量制造下的产品虽然标准化程度高,但种类单一,在全球化、信息化变革的冲击下,难以满足消费者对产品种类多样化、个性化的需求<sup>[1]</sup>。特别是在二战之

后，全球范围的原材料及劳动力短缺以及 70 年代能源危机的不良影响，大批量制造方式走向衰落，为了适应当时全球经济环境，粗放的“大批量，单品种”的大批量生产方式开始向更加集约的“小批量，多品种”的精益制造方向转变。

精益制造 (Lean Manufacturing) 在全球经济危机、能源危机的背景下，起源于丰田汽车公司，其核心思想是消除制造过程中的七大浪费<sup>[2]</sup> (表 1)。在小批量、多品种的前提下，通过消除一切可能的浪费，追求更高的生产效率、更低的产品成本以及更好的产品品质。

表 1 制造过程中的七种浪费

序号	名称	说明
1	过量制造的浪费	过量制造就是制造得过多、过早，或者为“以备不时之需”而制造
2	等待的浪费	由于上道工序发送传递不及时，使下道工序只能等待，造成时间上的浪费
3	不必要动作的浪费	对制造来说任何不增值的动作
4	运输的浪费	任何不为制造所必需的物料搬运或信息流转
5	不适当加工的浪费	从用户观点看，对产品做不增加价值的努力
6	不必要库存的浪费	各工序之间的库存或原材料的库存超过了必须有的量
7	不合格品的浪费	对产品或服务的检验以及返工

精益制造概念被提出后，经过国外众多专家学者、政府、研究机构的共同努力，形成了自己一套完整理论体系和技术手段。准时化与自动化是实施精益制造的两大基石。精益制造的目标是消除浪费，而浪费的两大成因就是不产生价值的时间与材料消耗和错误频发<sup>[2]</sup>。

准时化通过时间拉动制造的方式，将全部时间用于制造用户价值，避免生产过程中耗费不产生价值的时间。自动化 (人机结合) 则是通过计算机自动化地对制造过程进行控制，避免原材料浪费和出错，消除原料过剩和不良产品所带来的浪费 (图 2)。



图 2 精益制造理论体系

精益制造本质上是一种整合了设计、制造与管理三方面的技术。精益制造根据用户的需求来识别价值，并定义

出价值连续流动的设计和制造过程，进而生产出满足用户需求的高价值产品。用户价值是这一过程的重要驱动力。在詹姆斯 P. 沃麦克 (James P. Womack) 等人深入研究丰田生产系统 (TPS) 并提出了精益制造的概念之后，精益制造受到了全世界的瞩目，并在制造业领域得到广泛应用和实施，现如今它已经成为了制造业中占据主导地位的生产方式。

## 2.2 设计的精益

当精益制造在制造业广泛传播，精益理念在制造阶段应用深入且彻底时，研究者与实践者们意识到精益制造的内涵不应仅仅局限于产品制造阶段，还应进一步扩散至上游的产品设计阶段，使精益设计成为贯穿产品设计到制造始终的精益理论。传统的产品设计因精益理念的向上延伸转变为了精益的产品设计。

产品的设计开发是一个高度复杂的社会技术系统，是一个高创造性的、跨学科的、动态的、高度耦合的、大规模并行的、迭代的、基于交流的、不确定的、有风险的密集规划和活动。它具有不确定、以人为基础、模糊、非线性、复杂等特点<sup>[3]</sup>。

产品的设计开发是生产信息的过程，在精益产品设计以前，产品的设计开发流程同现今普遍的建筑流程一样，是一种串行结构，上下级流程接续进行。与制造过程一样，其中存在一系列的浪费。Marcus Vinicius Pereira Pessôa 和 Luís Gonzaga Trabasso 将其归结为十类：生产过剩、等待、传输、过度加工、堆积、人员移动、缺陷、纠正、错误决策以及意外<sup>[4]</sup> (表 2)。

表 2 产品设计开发中的浪费

浪费	说明
生产过剩	产生的信息高于或早于下一个过程的使用需要，它一般是由不必要的流程或不同步的流程导致的
等待	由于缺少必要的输入、资源或控制，不创造价值的时间
传输	将信息或资源从一个地方输送到另一个地方，但不增加价值
过度加工	一个过程中完成非必要的工作
堆积	未使用的信息、知识或材料的积累
人员移动	流程中执行非转换任务期间人员或活动的任何不必要的移动
缺陷	产品设计开发过程中，产生有缺陷的信息
纠正	修改、返工、取消、检查
错误决策	在没有必要信息输入或正确的控制的情况下做出决策
意外	意料之外的所有事情

浪费通过一个错综复杂的网络影响产品设计与开发流程 (图 3)，使整个产品设计系统性能降低，影响最终产品质量<sup>[4]</sup>。基于产品设计的固有点，精益设计以系统工程思想为基础，以消除产品设计与开发过程中的浪费为目标，将人员、流程与技术整合一体，在允许的成本范围内增加产品附加价值，更深层次地降低成本<sup>[4]</sup>。

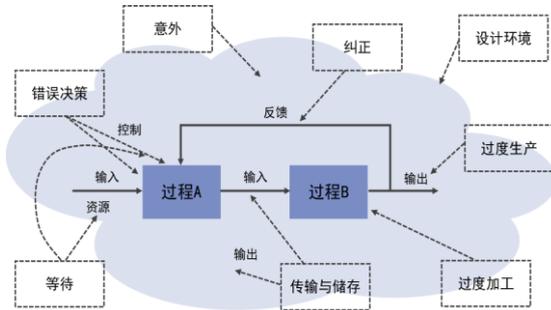


图3 浪费对产品设计的影响

产品的精益设计认为产品的设计决定了产品设计与制造的流程，而流程又反向对产品的设计造成影响，产品设计与流程循环促进的过程中产生的大量标准化信息被存储下来，为产品提供设计支持（图4）。产品设计因此是管理项目，保障产品质量与成本的有效手段。产品精益设计中的精益主要体现在设计过程中深入执行设计标准化、流程标准化以及信息标准化对产品的设计开发实施全面管理，消除因设计而产生的浪费。

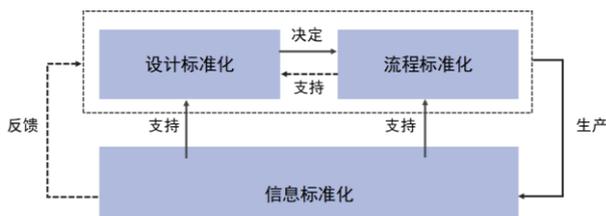


图4 产品精益设计的三大标准化板块

### 2.2.1 设计标准化

设计标准化的核心思想是基于面向制造与装配的产品模块化设计。这涉及两方面内容，其一是模块化设计，其二是设计面向制造与装配。不同于传统意义上的整体式设计，模块化设计基于系统思维将产品依照层级关系分解成相互联系的一个个功能独立的、具有通用性、可互换的模块单元，通过标准化接口将不同模块单元进行组合共同构成系统功能，满足用户不同需求。

模块化设计体现了“化整为零、分区控制”的思想（图

5），主要体现在价值以及成本的分区控制。将产品的整体价值与成本分解，分散到各个模块单元中，而后以各个模块单元为设计对象，降低复杂度及成本，提升价值，进而为整个产品带来降本增值。

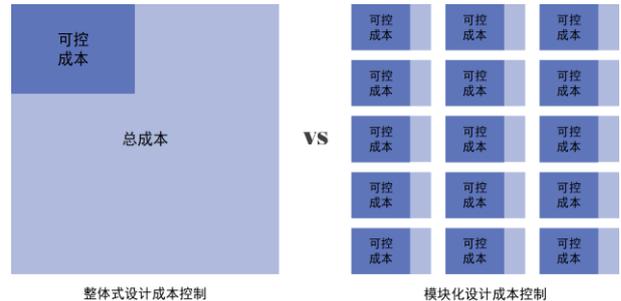


图5 整体式设计成本控制与模块化设计成本控制对比

设计面向制造与装配则体现了一种设计哲学，它为模块化设计提供思想基础，对产品的模块化架构起决定作用。它强调在产品之初就要考虑来自下游制造端、装配端的各类技术需求，避免设计过程中的错误决策、意外、纠错以及过度加工，在实现用户价值的同时，具有易制造性、易装配性，实现价值最大化、成本最小化<sup>[5]</sup>。

### 2.2.2 流程标准化

产品的模块化设计通过设计流程来实现。精益的设计流程通过跨职能 IPD 团队建立标准化的并行设计流程来构建。

跨职能 IPD 团队的任务是确保所有产品设计阶段的需求在产品概念设计中得到均匀体现。IPD 团队致力于通过取舍权衡各产品设计技术领域需求，使产品达到最好的平衡。IPD 团队拥有产品设计中所有技术领域的代表，如营销、设计、制造、装配、维护等，以实现互补能力。跨职能 IPD 团队由负责整个产品架构设计的总工程师领导，以确保团队成员专注于设计并在各技术需求间取得平衡<sup>[4]</sup>。

跨职能 IPD 团队是一种扁平化设计组织，其中的不同专家在各自的专业领域都拥有深厚的专业知识，在并行设计流程中，各个专业领域知识之间发生相互作用、相互补充，最终使整个产品获益（图6）。

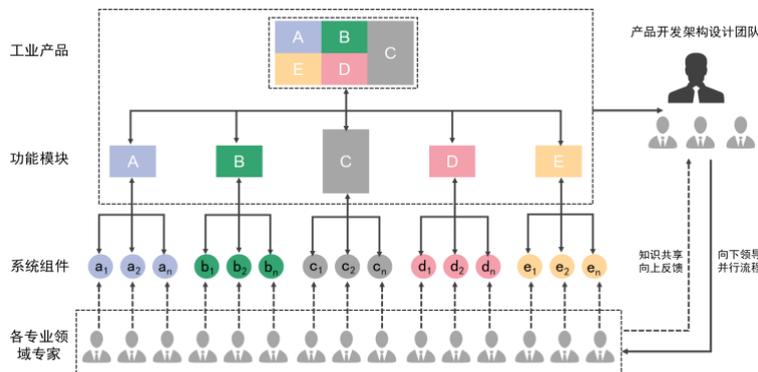


图6 产品精益设计标准设计流程

### 2.2.3 信息标准化

设计是制造信息的过程。跨职能 IPD<sup>1</sup> 团队通过并行流使用模块化和面向制造与装配的设计方法进行设计的过程中会产生大量产品精益设计信息。信息的标准化实质就是对设计产生的信息进行精益管理，主要涉及三个方面：建立信息标准格式、对信息进行分类以及将信息集成于设计系统中。

对产生的有用的设计信息进行标准化处理，建立信息描述的标准格式，以便于信息的交流、共享和分析。而后建立科学、完整、有序的信息分类编码标准，对信息进行分类。信息分类完成后，将分类后的信息集成于与之相关的设计系统之中，以便于设计中依照设计需求快速调用。设计产生的信息经过一系列标准化处理后，储存于标准化设计库之中，最终沉淀为通用的设计标准（包含工艺、材料及物理特征等与设计、制造、装配有关的参数），用以指导产品精益设计及工厂制造。

丰富的设计库为产品的精益设计提供了强力的支持，在设计库的支持下，跨职能的 IPD 团队奉行面向制造与装配的设计哲学，通过并行设计流程，调用设计库中有用的设计信息对产品进行模块化设计，经过持续的迭代循环，不断降低产品成本、提高产品价值，最终形成精益的设计产品，同时新的可复用的信息又会存储至设计库中，用以指导下一次产品设计，不断提高产品设计的精益起点（图 7）。

综上，不论是在制造过程中实施精益还是在设计过程中实施精益，标准化永远是制造业的核心中的核心。在深入执行三大标准化方面，制造业远超建筑业。

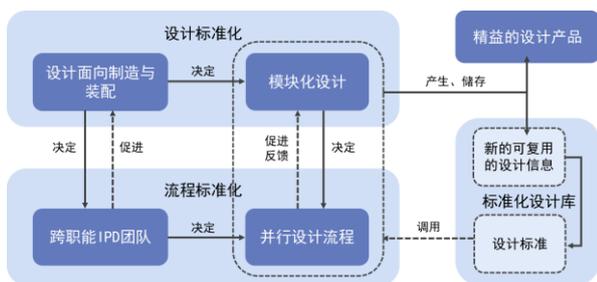


图 7 精益设计交互网络

## 3 建造源于制造，精益始于设计

### 3.1 建造亦是制造

建造与制造的不同在于三点：现场生产、独一无二的项目以及项目复杂度。建造活动涉及广泛，包括大量工业制造活动，如制造标准化的模块单元、具有标准化尺寸的预制建筑构件等。

但相同的是，建筑与工业产品一样最终都要经过物质生产性活动使其成为实在物。尽管建造与制造存在差异，但通过 Koskela 对建造与制造的对比可知，建造与制造存

在同构关系，在根本逻辑上别无二致，即都是由一系列转换和流动过程构成，转化活动在向前流动的过程中不断生产用户价值<sup>[6]</sup>。

从构成逻辑上，工业化背景下，建造越来越制造化，制造业产品也越来越多地渗透到建筑领域之中，在形式上呈现一种相互融合的状态。建筑对制造体系高度依赖，大到建筑功能模块，小到用于固定的螺丝钉，几乎所有的建筑零部件都是在工业制造体系制造出来，并经过一系列复杂的转化、流动过程汇集在一起，构成一个完整的建筑产品。

因此，建筑与制造业产品，建造与制造同根同源，建造亦是制造。

### 3.2 设计是精益核心

从精益的角度看，评价建筑产品是否精益的两个关键指标是价值与成本。

建筑业在提升价值、降低成本的道路上，进行了建筑工业化、精益建造、建筑信息模型（BIM）等一系列重大革新。在应用过程中，建筑工业化与精益建筑在建筑业的实施取得了巨大成效，建筑工业化通过工业生产、技术革新极大地提高了建筑业的生产效率、建筑产品质量。精益建造则通过对建造过程进行精益化管理，以消除浪费的方式，提高建造效率和建造质量，降低建造成本。建筑信息模型（BIM）统一设计信息标准格式，从设计、制造、建造到运维各个专业在同一个设计平台上协同进行工作，信息实时反馈，及时纠正错误，提升了工作效率，也为建筑工业化与精益建造提供了信息平台支撑。

但目前看来，建筑工业化更多是关注生产技术的革新，消除的是技术浪费。精益建造更多关注的是施工管理技术的革新，消除的是过程浪费。BIM 在从设计到建造过程中更多的是发挥信息平台作用，为从设计到建造提供信息支撑，强化各方协作，避免因信息交流不畅、错误频发造成的浪费。但这三者都无法通过后期的改善消除早已在设计阶段固化在建筑中的浪费。同时，建筑在设计过程中用户价值与建筑成本早已填满“价值—成本”框架，后期不产生设计变更的情况下，增值降本空间极为有限。因此，从价值与成本的角度来看，建筑业的精益空间受到了建筑设计的制约。

中国建筑业的未来将以“全产业链协同、设计建造整合”为两翼的精益化发展。借助 BIM 技术，全产业链的协同发展能够进一步节约项目时间和成本，帮助企业在有限的预算内整合和调动更多的优势资源。同时，这为建筑产品的标准体系在整个产业链中的延续提供了保障。精益的范围在设计 and 建造整合的过程中得到延展，各种技能和知识聚合其中，设计师与施工人员之间的传统隔阂也在整合中得以消除，促进了组织和个人之间的有效合作与实践，以及以精益为核心的合作文化的建立。

<sup>1</sup>IPD团队即集成产品开发团队

在建筑业精益化的大趋势下,建筑设计不再是建筑师的“独角戏”,而是有组织的上下游全产业链协同参与的设计活动。建筑设计的内涵在当今时代发生了延伸拓展,要像制造业那样,通过不同层面的标准化对建筑实体进行设计的同时,还要对涉及的设计、制造与建造阶段以及相应流程进行管理,将建筑生产、建造管理、信息管理捏合在一起,成为制造与建造“两手抓”的精益设计方法。

建筑设计决定了建筑业的精益,如果不对建筑设计进行精益化革新,则无法消除早在建筑设计阶段就固化在建筑中的浪费并进一步提高建筑整体价值,也就无法实现真正的精益建筑。因此,建筑精益设计是建筑业(尤其是我国建筑业)走向精益的核心。

#### 4 结语

精益观念在建筑业其实早有雏形。柯布西耶曾经发出“建筑是居住的机器”的呐喊,同时主张工艺精美的密斯·凡·德罗也曾提出“少即是多”的设计主张。在之后将近百年的时间里,“建筑是居住的机器”和“少即是多”两句话被无数建筑师奉为圭臬,但是对它们的理解却一直停滞在对建筑形式的关注上面。

不论是“建筑是居住的机器”还是“少即是多”,笔者认为都是在强调建筑应像工业产品那样精密、精良、精确,倡导站在产品的维度、制造的角度去审视建筑设计方法与过程,而不是单纯去追求机器一样的形式,其中其实就已暗含精益设计的思想。

建筑业暗含精益基因,只是目前还未被激活。制造业用自身的精益之路,为建筑业提供的绝佳模板,建筑业在精益建筑设计的带领下,定会走出一条自己的精益之路。

基金项目:天津市制造业高质量发展专项资金项目,项目名称:新型建筑工业化生产体系关键技术与示范,项目编号:23ZGCXQY00010。

#### [参考文献]

- [1]Yoram K. THE GLOBAL MANUFACTURING REVOLUTION[M]. The United States of America:John Wiley Sons,2010.
  - [2](日)大野耐一(Taiichi Ohno).丰田生产方式[M].北京:北京出版社,1978.
  - [3]Negele H et al. Modelling of integrated product development processes[Z]. Proceedings of the 9th annual symposium of incose, 1999.
  - [4]Marcus Vinicius Pereira Pessôa, Luís Gonzaga Trabasso. The Lean Product Design and Development Journey[M]. Berlin: Springer International Publishing, 2017.
  - [5]钟元.面向制造与装配的设计指南[M].北京:机械工业出版社,2011.
  - [6]Lauri Koskela. Application of the New Production Philosophy to Construction[R]. CIFE Technical Report 72,1 992.
- 作者简介:高鹏云(1992.11—),毕业院校:天津大学建筑学院,所学专业:建筑与土木工程(建筑),当前单位名称:华城(天津)建筑科技有限公司,就单位职务:经理,职称级别:初级工程师。\*通讯作者:汪江华(1975.4—),毕业院校:天津大学建筑学院,所学专业:建筑学,当前单位名称:天津城建大学建筑学院,就单位职务:院长,职称级别:正教授。