



建筑产业化与绿色装修培训教材



switchasia

出版信息

Title: 建筑产业化与绿色装修培训教材

发布 : 伍珀塔尔研究所 : Gokarakonda, Sriraj;
Moore, Christopher; Xia-Bauer, Chun
中国建筑设计院有限公司: 刘刚 中国建筑节能协会

发布 伍珀塔尔研究所 2016

项目 : 中国西部可持续建筑的推广和主流化 SusBuild

工作包 : 1

资助方 : 欧盟

联系人 : Chun Xia-Bauer
chun.xia@wupperinst.org
Doeppersberg 19
42103 Wuppertal (Germany)

目录

1	建筑工业化现状和发展.....	1
1.1	我国建筑工业化现状	1
1.1.1	新型建筑工业化内涵.....	1
1.1.2	我国新型建筑工业化的发展历程.....	2
1.1.3	我国工业化的发展现状.....	4
1.2	欧洲建筑工业化的经验.....	6
1.2.1	欧洲与德国的建筑产业.....	6
1.2.2	德国预制建筑工业化的发展.....	8
1.2.3	目前欧洲预制建筑工业化.....	10
2	我国建筑工业化的政策支持	13
2.1	国家层面政策汇总	13
2.2	地方层面政策汇总	16
2.2.1	强制性手段.....	21
2.2.2	鼓励性手段.....	21
3	“工业 4.0”背景下的建筑产业化	24
3.1	“工业 4.0”概述	24
3.1.1	产生背景.....	24
3.1.2	五大技术原则.....	26
3.1.3	技术支撑.....	27
3.1.4	政策体系.....	28
3.1.5	规范和标准.....	28
3.1.6	网络安全.....	29
3.1.7	培训.....	29
3.1.8	法律问题.....	29
3.2	我国工业转型升级思路.....	29
3.2.1	与“两化”的契合	30
3.2.2	原则启示.....	30
3.2.3	措施启示.....	31
3.3	“工业 4.0”在欧洲和德国战略发展.....	32

3.3.1	“工业 4.0”在欧洲的战略发展	32
3.3.2	“工业 4.0”在德国的战略发展	33
3.4	我国建筑产业化发展.....	35
3.4.1	发展特性.....	35
3.4.2	发展核心.....	35
3.4.3	战略要点.....	36
4	理论框架-CSP 为例.....	40
4.1	CSP 术语界定.....	40
4.2	CSP 的理论体系.....	40
4.2.1	以人为本.....	40
4.2.2	系统论.....	40
4.2.3	可持续发展论.....	41
4.3	CSP 的核心思想.....	41
4.3.1	建筑成品论.....	41
4.3.2	平行均衡原则.....	43
4.4	CSP 技术体系.....	43
4.4.1	统一标准.....	44
4.4.2	并行开发.....	44
4.4.3	开放接口.....	45
4.4.4	容错纠错.....	45
4.4.5	可视施工.....	45
4.4.6	数据链接.....	46
4.5	CSP 实施体系.....	46
4.5.1	统筹规划.....	46
4.5.2	集成设计.....	47
4.5.3	关联制造.....	47
4.5.4	整合施工.....	47
4.5.5	系统维护.....	47
4.6	CSP 平台构想.....	48
4.6.1	开放的系统研发平台.....	48
4.6.2	开放的行业互联平台.....	48

4.6.3 开放的各方共赢的平台	48
4.7 小结	48
5 内填充应用技术	50
5.1 应用技术分类	50
5.2 典型应用技术	50
5.2.1 隔墙系统	50
5.2.2 给水系统	52
5.2.3 排水系统	54
5.2.4 电气系统	56
6 室内空气质量	59
6.1 概述	59
6.2 室内空气质量与居民健康	60
6.3 室内空气质量评估	61
6.3.1 醚类和 VOCS	61
6.3.2 杀菌剂和异味	62
6.3.3 保证空气质量	63
6.3.4 减少醚类和 VOCS 污染物	63
6.3.5 合理选择室内装修材料—以 DGNB 认证系统举例	66
6.3.6 足够的通风	77

1 建筑工业化现状和发展

1.1 我国建筑工业化现状

走中国特色新型工业化道路，推动新型建筑工业化发展，是新时期党中央、国务院确定的一项重大战略，是全面建成小康社会的重大举措。在住房和城乡建设领域推动新型建筑工业化发展，是关系到住房和城乡建设全局紧迫而重大的战略任务，也是落实科学发展观的重要体现。

1.1.1 新型建筑工业化内涵

新型建筑工业化是指采用标准化设计、工厂化生产、装配化施工、一体化装修和信息化管理为主要特征的生产方式，并在设计、生产、施工、开发等环节形成完整的、有机的产业链，实现房屋建造全过程的工业化、集约化和社会化，从而提高建筑工程质量和效益，实现节能减排与资源节约。新型建筑工业化是住房和城乡建设的传统模式和生产方式的深刻变革，是建筑工业化与信息化的深度融合，是住房和城乡建设提升发展质量和效益的有效途径，是贯彻落实党的十八大精神的具体体现。

第一，新型建筑工业化是以信息化带动的工业化。新型建筑工业化的“新型”，主要是新在信息化，体现在信息化与建筑工业化的深度融合。进入新的发展阶段，以信息化带动的工业化在技术上是一种革命性的跨越式发展，从建设行业的未来发展看，信息技术将成为建筑工业化的重要工具和手段。主要表现在 BIM 建筑信息模型（Building Information Modeling）技术在建筑工业化中的应用。

第二，新型建筑工业化是摆脱传统发展模式路径依赖的工业化。新型建筑工业化是生产方式的深刻变革。长期以来，我国建筑业一直是劳动密集型行业，主要依赖低人力成本和以包代管的生产经营模式。与其他行业以及国外同行业相比，我国手工作业多、工业化程度低、劳动生产率低、建筑工程质量和安全问题时有发生、建造过程的能源和资源消耗大、环境污染严重、建筑寿命低。改革开放 30 多年来，我国其他门类工业都发生了根本性变革，现代化水平越来越高，但是，建筑业却发展缓慢，分散的、低水平的、低效率的传统粗放手工业生产方式仍占据主导地位，传统模式积累的问题和矛盾日益突出。现阶段，城乡建设的传统发展模式与生产方式仍具有较强的路径依赖性，在技术、利益、观念、体制等各方面都顽固地存在着保守性和依赖性。但随着我国人口红利的淡出，人工成本增长加快，传统模式已难以为继，必须向新型工业化道路转轨。

第三，新型建筑工业化是工程建设实现社会化大生产的工业化。新型建筑工业化就是将工程建设纳入社会化大生产范畴，使工程建设从传统粗放的生产方式逐步向社会化大生产方式过渡。而社会化大生产的突出特点就是专业化、协作化和集约化。发展新型建筑工业化符合社会化大生产的要求，因为建筑工业化的最终产品是房屋建筑，属于系统化的产品，其生产、建造过程必须实行协作化，必须由不同专业的生产企业协同完成；同时房屋及其产品的建造、生产必须兼具专业化和标准化，具有一定的精细程度和规模化要求。因此，发展新型建筑工业化才能更好地实现工程建设的专业化、协作化和集约化。新型建筑工业化发展是一个系统性、综合性、方向性的问题，不仅有助于促进整个行业的技术进步，而且有助于统一

科研、设计、开发、生产、施工等各个方面的认识，明确目标，协调行动，进而推动整个行业的生产方式社会化。

第四，新型建筑工业化是与城镇化良性互动、同步发展的工业化。当前，我国工业化与城镇化进程加快，工业化率和城镇化率已经分别超过 40% 和 51%，正处于现代化建设的关键时期。在城镇化快速发展过程中，我们不能只看到大规模建设对经济的拉动作用，而忽视城镇化对农民工转型带来的机遇，更不能割裂城镇化和建筑工业化的联系。在建筑工业化与城镇化互动发展的进程中，一方面城镇化快速发展、建设规模不断扩大为建筑工业化大发展提供了良好的物质基础和市场条件；另一方面建筑工业化为城镇化带来了新的产业支撑，通过工厂化生产可有效解决大量的农民工就业问题，并促进农民工向产业工人和技术工人转型。从这个意义上看，只有促进新型建筑工业化的发展，实现建筑工业化与城镇化良性互动，才能更好地支撑整个城镇化进程。

第五，新型建筑工业化是实现绿色建造的工业化。绿色建造是指在工程建设的全过程中，最大限度地节约资源（节能、节地、节水、节材）、保护环境和减少污染，为人们建造健康、适用的房屋。建筑业是实现绿色建造的主体，是国民经济支柱产业，全社会 50% 以上固定资产投资都要通过建筑业才能形成新的生产能力或使用价值，中国建筑能耗约占国家全部终端能耗的 27.5%，是国家最大的能耗行业。新型建筑工业化通过标准化设计的优化，减少因设计不合理导致的材料、资源浪费；通过工厂化生产，减少现场手工湿作业带来的建筑垃圾、污水排放、固体废弃物弃置；通过装配化施工，减少噪音排放、现场扬尘、运输遗洒，提高施工质量和效率；通过采用信息化技术，依靠动态参数，实施定量、动态的施工管理，以最少的资源投入，达到高效、低耗和环保。因此，新型建筑工业化是城乡建设实现节能减排和资源节约的有效途径、是实现绿色建造的保证、是解决建筑行业发展模式粗放问题的必然选择。

第六，新型建筑工业化是整个行业先进的生产方式。新型建筑工业化的最终产品是房屋建筑。它不仅涉及主体结构，而且涉及围护结构、装饰装修和设施设备。它不仅涉及科研设计，而且也涉及部品及构配件生产、施工建造和开发管理的全过程各个环节。它是整个行业运用现代的科学技术和工业化生产方式全面改造传统的、粗放的生产方式的全过程。新型建筑工业化在房屋建造全过程的规划设计、部品生产、施工建造、开发管理等环节形成完整的产业链，并逐步实现住宅生产方式的工业化、集约化和社会化，使整个产业链上的资源得到优化并发挥最大化的效益。新型建筑工业化在行业中具有牵一发而动全身的作用，在推进过程中必须要掌握成套的、成熟适用的技术体系，必须要具备完整的、有机的产业链，二者缺一不可。

1.1.2 我国新型建筑工业化的发展历程

我国的建筑工业化问题是在 20 世纪 50 年代提出的。从提出到现在大致经历了三个阶段的发展，由于所处的政治、经济、社会背景不同，因此，每个阶段建筑工业化的驱动力、重点任务均有所不同。

1、第一阶段

1956 年，国务院颁布了《关于加强和发展建筑工业的决定》，提出“实行工厂化、机械

化施工，逐步完成对建筑工业的技术改造，逐步完成向建筑工业化的过渡”，要求在工业厂房、住宅及一些基建工程中积极采用工厂预制的装配式结构和配件，要求建筑安装队伍专业化，提高机械化施工程度。这一时期建筑工业化的驱动力是建国初期的大规模建设需求，主要目标是提高劳动效率，主要侧重点是工业建筑。195 年，我国开始发展砌块建筑（非传统的粘土砖，一般比粘土砖尺寸大），1958 年开始了装配式壁板建筑的试点，在 20 世纪 60 年代初期已经有了成片的砖壁板住宅小区。但是，随着十年动乱的开始，建筑工业化的发展也进入停滞阶段。

2、第二阶段

实施改革开放政策后，我国建筑工业化出现了第二次发展。1978 年原国家建委先后召开了香河建筑工业化座谈会和新乡建筑工业化规划会议，明确提出了建筑工业化的概念，即“用大工业生产方式来建造工业和民用建筑”，并提出“建筑工业化以建筑设计标准化、构件生产工业化施工机械化及墙体材料改革为重点”。20 世纪七八十年代，我国制订了建筑工业化的基本标准，产生了一批新型的工厂，各种新型建筑体系发展迅速，尤其是大板建筑取得令人瞩目的发展，实现了生产工艺的机械化、半自动化，北京、辽宁、江苏、天津等地区建起了墙板生产线，全国 20 多个大中城市都积极开展构件研究、开发和生产新型墙板。北京前三门大街的大量住宅即这一时期建筑工业化的代表作品。

然而，从 20 世纪 90 年代开始，国家逐步取消福利分房，商品房带动房地产业高速发展，人们开始对住宅设计要求多样化和个性化，而此时，我国建筑工业化的水平不是很高，缺乏整合的平台以及满足个性化需求的实力，并且建筑材料的整体质量和设计水平不足也逐渐凸显，曾经在全国推行的的大板建筑出现了漏水等问题，工业化建筑的结构抗震性能也受到一些质疑。因此，建筑工业化的研究和发展再次进入停滞甚至倒退的阶段，绝大部分构件企业陷入亏损。同时政府强力推行商品混凝土的政策，也是导致建筑工业化停滞和倒退的原因之一。

3、第三阶段

目前，我国工程建设量虽然仍保持每年上百亿平方米的规模，然而，截至 2013 年城镇人均住宅面积已经超过 30m²，未来若干年内市场将出现饱和。因此，建筑工业化的驱动力已经发生改变——产业的发展不再单单是大规模建设需求的驱动，而是结合了经济目标、环境影响、质量标准、个性化需求、劳动力市场变化等多方面的因素。2013 年 1 月 1 日，国务院办公厅发布《绿色建筑行动方案》，明确提出“推动建筑工业化”，地方政府、开发商、工程建设企业、生产企业积极地增加了投入。北京、上海等城市相继提出大胆的目标，沈阳、安徽、深圳等多地政府也出台了鼓励政策。转型阶段发展建筑工业化，所要解决的问题和关注的重点也与前两个阶段有较大差异（见表 1）。

表 1 不同阶段发展建筑工业化的差异

三个阶段	标志性政策文件及活动	驱动因素	解决问题	关注重点	停滞原因
建国初期	《关于加强和发展建筑	大规模建	建设速度与效率	工业建筑	政治原因

	工业的决定》	设需求			
改革开放 初期	《建筑工业化发展纲要》	大规模建 设需求	劳动生产率不高；质量 问题较多；整体技术进 步缓慢	住宅	市场原因、 政策原因
转型期	《绿色建筑行动方案》	多种因素	劳动力成本增加、公众 对建筑品质要求提高、 可持续发展成为共识	全方位整合 (须科学规 划，理性发 展)	—

1.1.3 我国工业化的发展现状

1.3.1.1 我国建筑工业化的发展取得的成绩

当前，我国建筑工业化已初步形成纵向指导与横向推进相结合、政策引导与市场资源配置相结合、试点示范带动与区域集聚发展相结合的格局。

(1) 建筑工业化试点带动效果明显，推进机制初步形成。目前全国已批准沈阳作为产业化示范城市，批准深圳、沈阳、济南等 10 个城市为产业化试点城市，批准建立了 70 个国家住宅产业化基地。另外，还有多个城市和多家企业正在积极申请试点城市和基地企业。

(2) 技术标准不断完善，产业化技术水平得到较大提升。住宅产业化结构体系、部品体系和技术保障体系初步建立。国家标准《装配式混凝土结构技术规程》正式执行，《工业化建筑评价标准》等也已经发布，为产业化项目发展提供了技术支撑。

(3) 行业内生动力增强，市场机制逐步培育发展。众多开发、施工企业投身住宅产业化工作，整个建设行业走产业化道路的内生动力日益增强。地方政府着力打造市场需求，通过政府投资工程，特别是保障房建设为产业化市场提供项目来源。

(4) 产业聚集效应凸显，基地企业发挥引领作用。由基地企业为主完成的产业化建筑面积已占到全国总量的 85% 以上，集聚度远高于一般传统建筑市场。基地企业发挥龙头优势，带动众多科研院所、高校、设计单位、开发企业、部品生产、施工企业共同形成产业化、集团化发展模式。

1.3.1.2 我国建筑工业化发展存在的问题

与发达国家建筑工业化高达 75% 相比，我国的建筑工业化发展速度、发展水平、发展

规模均明显滞后。以住宅为例，目前，全国范围内工业化方式建造的住宅面积（包括在建和竣工面积）占全部房屋施工面积尚不足 1%，企业发展建筑工业化的积极性有待提高。可以从以下几个方面归纳存在的问题：

（1）激励和引导建筑工业化创新发展的整体机制没有形成。首先，一些地方行业行政主管部门对推进建筑工业化工作还缺乏深刻的认识。建筑工业化主要通过市场力量来推动，但也需要政府积极地引导。其次，支持建筑工业化的政策还没完全到位。现有有些建筑工业化政策还不是强制性的，缺乏必要的鼓励措施。最后，对于政策的执行，还缺乏必要的监督、反馈机制。

（2）建筑工业化标准体系不够完善。建筑工业化标准体系的建立是企业实现建筑产品大批量、社会化、商品化生产的前提。目前，除了各个工业化试点企业自定标准外，国家没有出台行业强制性标准，工业化的设计、生产、安装和验收等各环节的标准都有缺失，造成工业化标准体系建设不够完善，并且滞后于整个行业发展的现状。一直以来，缺失的标准成为了中国住宅工业化“成长的烦恼”。由于相关技术规程的缺失，导致很多工业化项目无法立项、施工、验收的尴尬局面。并且当前住宅工业化的技术发展主要是以单项技术为主，技术缺乏有效地整合和集成，很难形成完整的建筑体系。

住宅工业化技术体系应包含最基本模数体系、构件与部品体系和工业化建筑体系。模数体系是建筑工业化最基本单元和最关键的技术体系，只有实现了模数协调才能进行构件与部品的标准化和通用化的生产。而我国的模数协调主要集中在房屋建筑结构构件方面，对其他的住宅产品和部品和设备的开发缺乏有效的模数协调，从而导致构配件与建筑设计难以协调、施工粗放、严重影响成品质量和施工效率、产品不能系列化发展等后果。

（3）未形成本土化的住宅工业化建筑体系。在我国住宅发展中对住宅工业化的住宅建筑体系虽然进行了大量的理论和实践探索，但是始终没有形成一套完整的住宅工业化通用体系。从建设经验来看，住宅工业化的住宅建筑体系是以专业化的生产方式，将建筑部品加以装配集成为具有优良性能产品的建筑体系。通用化的建筑体系必须满足预制构配件、配套制品和连接技术标准化、通用化，使各类建筑所需的构配件和节点构造可互换通用。无论是欧洲还是日本均形成了各自的通用化的建筑体系，如法国的 25 种工业化建筑体系，日本的 SI 技术体系均已是国家强制实施的工业化建筑体系。而我国目前要真正实现住宅工业化的迅速发展，建立适合我国国情的工业化建筑体系是当前应该着力解决的问题。

（4）建筑工业化面临较高的成本。目前住宅工业化建设项目太少，不能形成规模效益，从造价上来看，工业化住宅要比全现浇住宅略高，主要原因是工业化住宅建设还处于推广试验阶段，总体规模小，预制构件开模费用较高，造成构件预制费用高，工人对工艺不熟练，导致施工效率不高。同时，住宅工业化建设所需的技术工人和机械成本较高，也增加了成本。另外，现行税收制度增加了企业负担，目前，大多数建筑工业化企业在生产过程和现场组装施工时都要缴纳税款，这样明显存在重复征税现象。据测算，重复收税会造成建筑工业化企业的成本上升 10% 左右，这些都使得建筑工业化成本加大，从而制约着建筑工业化的发展

1.2 欧洲建筑工业化的经验

1.2.1 欧洲与德国的建筑产业

欧洲的建筑产业在过去几年内相对稳定，仅在 2016 年上涨了 3%。这一上涨的原因之一是大量移民进入德国、荷兰等西欧国家以及丹麦、芬兰、挪威和瑞典等北欧国家。上涨的另一原因与预制装配式建筑产业的发展有关，装配式建筑跟传统建筑相比建造速度显著提高。

欧洲的年住宅产量约为 1,716,280 个单元，约有 300 万个企业以及 1800 万建筑工人直接参与到建设中，约占欧洲劳动雇佣工总数的 7.1% 以及行业工人总数的近 30%。

2012 年，欧洲预制装配式建筑市场达到了 315 亿美元的价值，其中意大利占有份额最多，约占 25.4%，其次为德国、法国、英国以及俄罗斯，分别占比 12.7%、10.7%、9.2% 以及 8.5%。

一般来说，在欧洲的建筑行业企业规模都非常小，其中 99.9% 的都是中小型企业（员工少于 250 人的企业）。在欧盟的统计中建筑企业的平均规模为每个企业 4 个工人（包含雇员与非雇员）。中小企业负责了整个建筑行业产出的 80%，小型企业（员工少于 50 人的企业）占有其中的 60% 以及整个建筑行业雇佣工人总数的 70%。

德国的生产制造业是德国的主要耗能大户，同时也是欧盟实现 2020 年温室气体减排目标的关键成员。在德国，生产制造业的能源消耗，含与建筑行业相关的所有生产部门，占据了耗电总量的 42%，终端能源消耗的 29%，仅次于建筑的采暖制冷能耗。

德国建筑业在欧洲经济中扮演着很重要的角色，也是德国经济的支柱产业。德国约有超过 240 万建筑从业人员，其中 5.8% 为劳动工人。作为德国最大的行业，建筑行业的从业人员数量相当于化工、汽车制造以及机械制造三个行业从业人员的总和。

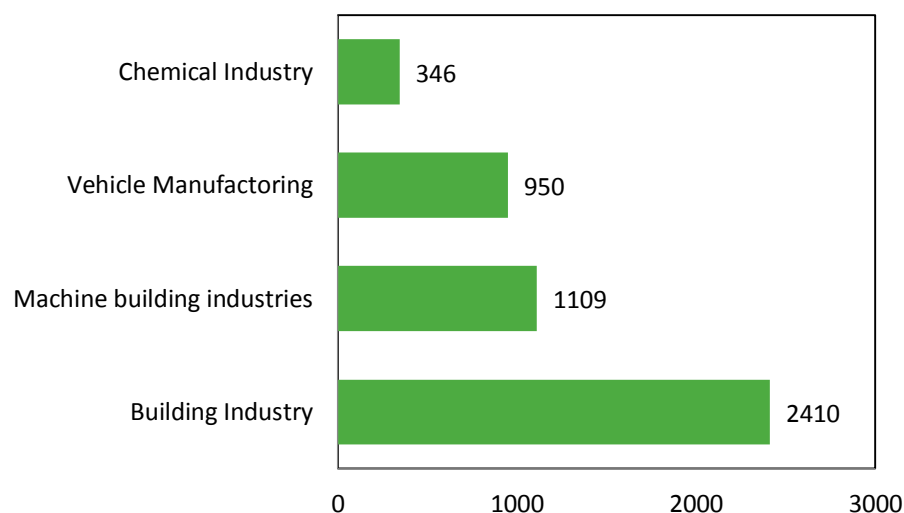


图 1 工人数量 (1:1000)

在 2000-2010 期间，德国约有一半的新建建筑面积属于服务行业。近些年来，随着德国新建住宅产量的逐年提升，居住建筑领域的建设规模平缓上升，2016 年居住建筑总量约为 285 000 户。从德国建筑领域产值来看，2014 年及 2015 年分别上涨了 3.3% 和 2.1%，均高于德国经济整体增长速度。其中居住建筑的产值在 2015 年上涨了 2.7%，预计在 2016 年增长比率会达到 2.2%。公共建筑的产值在 2016 年预计增长达到 2.8%。

由于德国高质量建筑的需求日益增加，在一定程度上导致了建设成本的增加，同时也影响了德国建筑行业发展的方向。德国经济研究所预计，建筑单位平方米的建筑成本的增长速度，会相对高于居住建筑建筑成本指数增长。这表明投资方注重更高的质量，尤其在建设公寓的时候这个现象更甚。对住宅建筑来说，总建设成本占了总投资成本的 50% 左右。

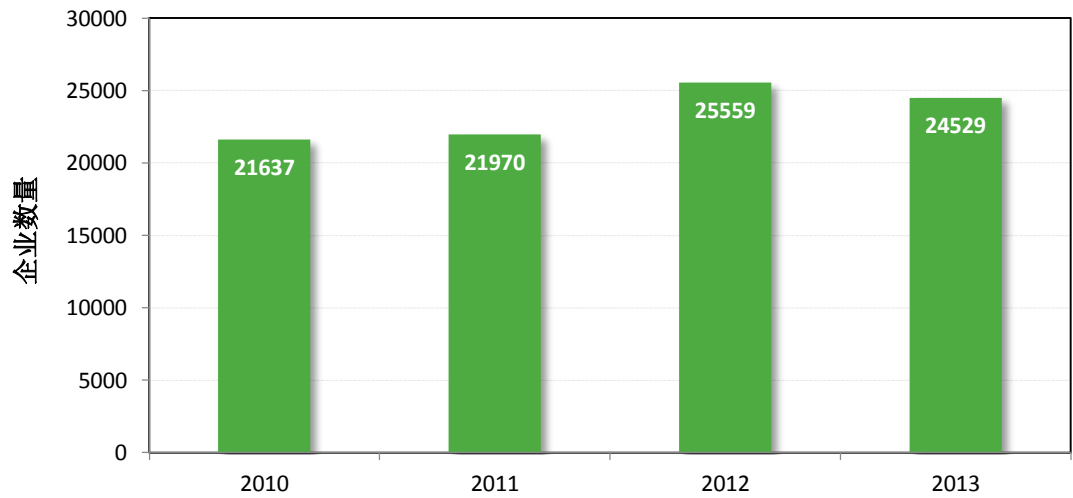


图 2 2010-2013 年德国施工企业总数

由于工程建设的特点，现场条件限制了机械化和自动化，建造领域仍以劳动密集型为特点。德国约有 24000 家建筑公司，与欧盟其他国家的建筑领域类似，德国施工企业也主要由中小型企业组成，其中 65% 的公司员工总数少于 49 人，但却创造了建筑行业总产值的 51%。

在应对气候变化的大背景下，德国的建筑行业越来越关注环境影响。节能、可持续建设方式，提升建筑能效，已经成为建筑行业研究开发的重点。为了满足能效提升的要求，德国建筑业一直致力于探索开发新型建筑材料和技术解决方案。此外，德国在数字化规划和建设中开发最先进的创新方案，包括 BIM，以及 IT 技术在“工业 4.0”中的集成应用。

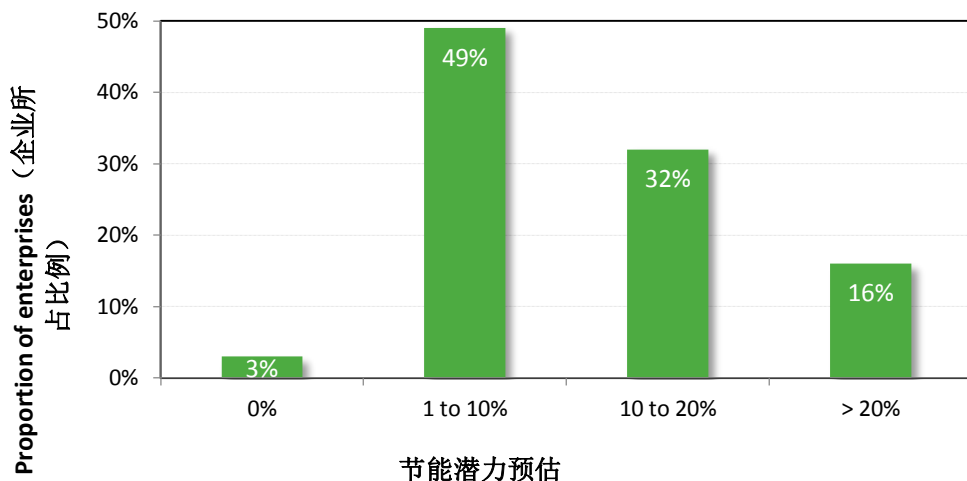


图3 德国生产工业现代化的节能潜力

Fraunhofer Gesellschaft 公司与德国联邦教育与研究部均认为，建筑业最大的节能潜力是实现“最小成本获得最大利润”到“最少资源获得最大利润”的转变。Fraunhofer ISI 在 2009 年对德国各行业，包括建筑业的一项调查显示，至少有 10% 的节能潜力可以从 48% 的生产部门获得。

1.2.2 德国预制建筑工业化的发展

1.2.2.1 1945 年前

在上世纪初，工业革命导致城市对房屋的需求急剧上升。这一庞大的建设需求，促进了建筑技术从传统应用向更多功能需求转型，从而催生了第一次建造热潮。这些新建建筑的建造，也创造了更多建筑新技术，如吊装和起重。过去在紧凑型房屋中大规模应用的预制构件以及装备式生产，直到 20 世纪早期提到议事日程。

19 世纪 20 年代及 30 年代，第一栋工业化生产的预制构件建筑诞生。在如瓦尔特格罗佩斯等建筑师们的努力下，包豪斯学校的创办等原因，预制建筑这个概念得到了推广。包豪斯学校的研究极大地促进了预制建筑的发展。预制建筑也这个时期第一次大规模推动。比如，在法兰克福的 Roemerstadt, Westhausen 和 Praunheim 的发展。当时，这些探索和预制建筑在德国范围内大规模宣传，但仅仅属于方法和理论研究。

最初开发这些预制建筑的目的，是为了减少成本并改善居住质量。1927 年钢铁危机结束后，第一个钢结构建筑被开发出来，并进一步开发了第一个预制水泥建筑构件。也是在这一次，木质的预制建筑形式得到了改变。

1.2.2.2 1945 -1970

1945 年第二次世界大战后，由于城市被大规模破坏，出现了大量的住房需求。尽管如此，预制装配式住宅建筑在 19 世纪 50 年代末也仍然极少。其主要原因是缺乏技术，如当时的格罗佩斯移居美国。

同时，建筑行业在当时仍作为减少失业的重要产业，很多建筑微小中型企业能够得到专项资金和国家补助。在这一时期，逐渐出现了很多开展预制建筑业务的中小企业，而在这之前他们主要从事传统木结构建筑。还有一些是传统建筑事务所和大企业，期望拓展新业务而成立的子公司。在这个时期，出现了第一批大量生产的木质预制建筑的公司，如 HANSE 和 OKAL，也包括其他一些知名的预制建筑如干式钢结构建筑。1949 年，第一个预制装配式建筑协会在法兰克福成立。但这一协会对整个建筑行业影响不大。

随着战后经济复苏，德国于 20 世纪 60 年代预制式建筑开始规模化的生产，然而，在这一时期建筑行业同时也面临“简陋”或“低品质”棚户建筑。

为了降低建设成本，提高建筑的质量，缩短建设期，促进建筑合理化的建设，德国联邦政府在 1961 年成立了预制建筑商协会（BDF）和预制建筑协会（DFV），同时也推动了建筑标准 DIN1052 的修订工作。这一标准提出了对木制预制建筑生产工艺更高的技术要求。

工厂生产的预制配件，运至施工现场组装，也就是建筑行业分析师所谓的“半预制式建筑”。同时，预制建筑总承包方式出现了。相当时期内，随着德国的经济形势的起伏，预制建筑也经历了增长和下降。在德国预制建筑行业发展过程中，面临融资难的问题，通常贷款能力仅为 10%-20%，远低于其他建筑的融资能力。为此，德国联邦建设和城市发展研究机构，在汉诺威建立了预制建筑寄存器。正是在这个时期，大量大型预制建筑企业注册成立。在 1965 年预制建筑大幅减少生产，仅有部分企业在 1967 年的经济萧条中坚持下来。

1.2.2.3 1970 – 1980

20 世纪 70 年代，建筑合理化和工业化在德国普及。国家建立了相应的推广计划和指导方针，也开展了大量国家级竞赛和示范项目，如 1972 年创建的 ELEMENTA，1973 年创建的 INTEGRA，都是为了促进和推动建筑工业化。同时，在高校领域也开展预制式工业化建筑项目。

由于物价上涨和市场供应量不足，整个建筑行业属于卖方市场。OKAL 和 NECKERMAN 公司占据了约 40-45% 预制市场份额，且大多数公司只销售标准化的模型房，而不能按照客户需求改变建筑布局。由于预制式建筑的快速发展，带来了很多创新性、可操作性的技术进步，极大地促进了预制建筑的生产量。主要包括预制建筑基于模块建设、铝预制建筑以及增强性塑料和玻璃纤维建筑。首次做成多户型(超过 1 层)建筑。

为保证规范的一致性，来自各联邦州的成员组建了一个研究小组，统一各个州的现有规范，提高预制式建筑合理化建设和生产，同时也一定程度上遏制了价格上涨趋势。此外，预制行业也打破了联邦政府对建筑模型生产过程的行政审批机制，仅保留特殊典型项目的行政审批。

1973 年，由于经济衰退和石油危机，德国两家最大的预制公司破产，这预示着整个预制行业进入了衰退期，直到 1976 年才有所好转。

1.2.2.4 1980 年以来

20 世纪 80 年，随着石油输出国 OPEC 石油危机，直接影响了建筑业。由于预制建筑破产公司早已从 70 年代时期总结了规避风险的教训和经验，他们在关注产品生产的同时，同时也专注于市场营销，把资产转移到其他领域，从而减少石油危机的损失。

在德国，各行各业都非常关注产品质量。1989 年，德国创建了预制建筑质量管理联盟，旨在消除消费者对预制建筑质量问题的顾虑，极大地促进了预制建筑行业上升了另一高度。

参考

Source: Die Fertighaus – Bauindustrie in der Bundesrepublik als Modell für Rationalisierung durch Industrialisierung im Bauen, Bauforschung, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.

1.2.3 目前欧洲预制建筑工业化

欧洲预制建筑的生产技术日趋成熟，已经建立了完善的自动化生产线、商业模式、成本优化和售后服务体系。目前正在探索光波在预制式新建和改造建筑中移动的创新技术。针对既有建筑改造，采用 3D 扫描测量技术，实现高精度的建筑装配。

工业化建设，促进了节能改造成本的优化。如荷兰试点项目证明，成本节约潜力从 130,000€（2010 年）直接下降至 60,000€（2014 年）。Energiesprong（NL）公司 110,000 套预制建筑住房的改造成本约为 50 亿€。荷兰预制建筑采用“模块分离”的方法，从具有建筑室内系统中分离其中的承重结构。这种改造模式非常灵活，既可以满足客户需要，又可以节约成本。

德国的建筑业市场中，预制建筑已成为工业化程度最高部分。巨大的研发经费投入，保证预制产品部件的竞争力。目前预制构件产品的工业化水平在上世纪 80 年代中期达到了 80%，目前已经高达 90%。在德国，预制建筑已达到工业化生产水平，已相当于普通日用消费品。同时，预制建筑的主体也发生了根本改变，制造商变成了买家，建筑商变成了消费者。

当然，传统建筑还是占据绝大多数市场分额，长期以来占据建筑市场总份额的 90%。尽管目前多数建筑建设仍采用传统现场组装方法，但快速化施工技术极大地推动了预制产品需求量迅猛增长。

预制建筑的市场份额约占 10% 左右，主要包括木制面板、木制框架或这些产品的组合，几乎所有的建设都是在工厂完成。在德国，预制产品的质量与工厂的加工质量直接相关。2014 年，在 246,000 套的新建建筑中，约 9% 属于预制建筑。

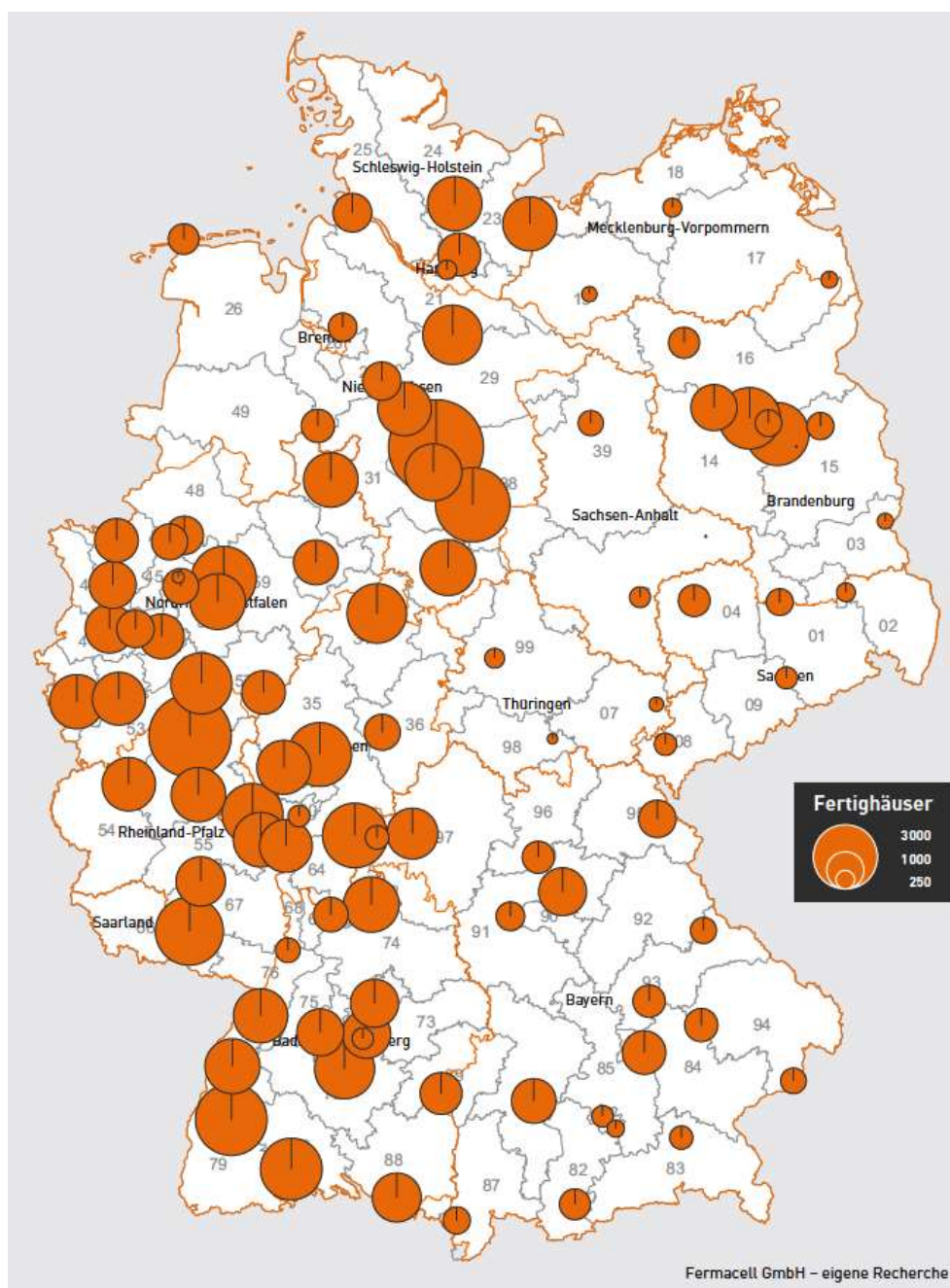


图 3：德国预制建筑数量

德国预制建筑主要是独立住宅，其中的一个重要原因是，新建建筑的产品供应是使用者自行采购，如未来的业主。约占 55%，投机发展机构占 32%，社会住房约占 12%。

采购形式同时反映了建筑形式，自我采购多为独立和半独立式建筑，社会住房和投机发展机构主要采购属于多户型建筑，这同样反映预制建筑最大市场份额使自我采购建筑。

表 2 预制产品的采购形式和用途

采购形式	投机采购	社会住房采购	自我采购
建筑主要形式	公寓或联排住宅	公寓	独立或半独立建筑
预制技术水平	低	低	高

德国预制建筑发展的主要障碍是德国的税收制度。根据规定，政府向预制建筑的设计和开发人员征收二次税费。

目前，德国大约有 100 家预制建筑公司，预制建筑行业的规模有小型的，中型的。这些企业每年大约生产 25,000 套预制建筑，或约 9% 的建筑市场份额。其中有 5 家单位的生产量规模较大的公司，每年预制建筑的产量在 1000-3000 套。他们的利润约占基础预制木材市场的一半左右。小规模的公司每年可生产 50 套预制建筑。这表明，即使一个小规模的预制建筑公司也可以在获利。其中 75% 的公司人员不超过 10 人，90% 的公司人员不超过 20 名，拥有 100 或超过 100 人的公司仅为 4%，但是这 4% 的公司承担预制建筑行业 27% 的生产量。

德国的预制建筑具有优质的质量，在预制建筑中的沟通协调非常重要，可以极大地促进用户对预制建筑的高度认可。德国 BDF（Fertigbau Bundesverband Deutscher）和 DFV（Deutscher Fertigbau Verband）公司代表木制框架 OSM 家庭供应商以及他们的供应链（如窗户、内部石膏板、地下室、车库、采暖、通风和电气系统）

在推进预制建筑节能方面，德国有许多新型建筑展示房，供客户参观交流。通过展示，极大地促进营销和节能工作。

2 我国建筑工业化的政策支持

2.1 国家层面政策汇总

自 1994 年以来，我国出台了近 30 余项围绕住宅产业化工作的法规、意见、办法、纲要和规范，如表 3 所示。

表 3 我国建筑工业化相关政策分析——国家层面

类别	时间	发布主体	文件名称/具体措施
纲领性 政策	1994 年	建设部	《住宅工程初装饰竣工验收办法》同意新建住宅可以实行“初修”
	1999 年	国务院	下发《关于推进住宅产业现代化，提高住宅质量的若干意见》
	2005 年	建设部	出台《关于发展节能省地型住宅和公共建筑的指导意见》
	2005 年	建设部等六部门	制定印发《关于加快建筑业改革与发展的若干意见》
	2013 年 1 月	国务院	《关于转发发展改革委住房城乡建设部绿色建筑行动方案的通知》(国办发〔2013〕1 号) 中，重点任务第八项目，明确提出推动建筑工业化，积极推行住宅全装修。
	2013 年 11 月	政协双周协商座谈 谈会	全国政协主席俞正声主持会议，建言“建筑产业化”
	2013 年 12 月	全国住房城乡建设工作会议	会议工作报告，其中 2014 年十项重点工作任务中第七项明确提出：加快推进建筑节能工作，促进建筑产业现代化。
	2014 年 4 月	国务院	发布《国家新型城镇化发展规划》(2014-2020) 明确提出：“大力发展绿色建材，强力推进建筑工业化”。
	2014 年 5 月	国务院	印发《2014-2015 年节能减排低碳发展行动方案》，提出“以

			住宅为重点，以建筑工业化为核心，加大对建筑部品生产的扶持力度，推进建筑产业现代化”。
	2014 年 5 月	全国住宅产业现代化工作现场交流会	住建部齐骥副部长在会上指出，住宅产业化工作已形成良好基础，应进一步全面加快推进住宅产业现代化发展。
	2014 年 12 月	全国住房城乡建设工作会议	住建部陈政高部长在会议上明确提出：住建部 2015 年 6 个方面努力实现新突破的工作任务，第一项，包括了“实现建筑产业现代化新跨越”。
	2015 年 1 月	住房和城乡建设部	发布关于《建筑产业现代化国家建筑标准设计专项编制工作计划（第一批）的通知》
技术政策	1997 年	建设部	审定通过《1996 年～2010 年建筑技术政策》
	2005 年	建设部	发布《关于新建居住建筑严格执行节能设计标准的通知》
	2015 年 2 月	住房和城乡建设部	关于批准《预制混凝土剪力墙外墙板》等 9 项国家建筑标准设计的通知
	2015 年 5 月	住房和城乡建设部	关于印发《建筑产业现代化国家建筑标准设计体系的通知》
国家康居示范工程政策体系	1999 年	建设部住宅产业中心	启动国家康居住宅示范工程
	2000 年	住房和城乡建设部	发布《国家康居示范工程管理办法》
	2002 年	住房和城乡建设部	《国家康居示范工程选用住宅部品与产品管理办法》

		部	
	2004 年	住房和城乡建设部	《国家康居示范工程建设技术要点（2004 修）》
全装修	2001 年	住房和城乡建设部	编制《住宅装饰装修工程施工规范》，经有关部门会审批准为国家标准
	2002 年	住房和城乡建设部	《商品住宅装修一次到位实施导则》出台，其中明确提出发展商申请康居示范工程 3A 级住宅必须一次性装修到位。
	2008 年	住房和城乡建设部	出台《商品住宅装修一次到位实施细则》
产业化试点、基地政策	1996 年	建设部	下达住宅产业现代化试点工作大纲，计划用 20 年的时间，分 3 个阶段实行
	2002 年 7 月	住房和城乡建设部	颁布了《住宅产业化基地实施大纲》
	2002 年		北新房屋薄壁轻钢结构住宅产业化基地、海尔集团和正泰集团等七家国家住宅产业化基地成立。
	2005 年 11 月	住房和城乡建设部	颁布了《国家住宅产业化基地实施大纲》
	2006 年	住房和城乡建设部	制定《国家住宅产业化基地试行办法》
	2015 年 10 月	住房和城乡建设部	《关于组织申报 2016 年建筑产业现代化示范项目的通知》

住宅性能认定	2002 年	住房和城乡建设部	与中国工商银行签署协议，把建设部开展的商品住宅性能认定工作和工商银行住房信贷业务联系起来
	2002 年	建设部住宅产业化促进中心	与中国人民保险公司签署了“A 级住宅质量保证保险合同”
	2005 年	住房和城乡建设部	我国第一部有关住宅性能评定的国家标准《住宅性能评定技术标准》发布，从 2006 年 3 月 1 日起实施。
结构体系	2015 年 10 月	住房城乡建设部；工业和信息化部	《召开钢结构建筑推广应用》工作座谈会
	2015 年 11 月	国务院常务会议	指出：结合棚改和抗震安居工程等，开展钢结构建筑试点。扩大绿色建材使用。会议提出要推广钢结构在建设领域的应用，提高公共建筑和政府投资建设领域钢结构使用比例。

国家层面的政策从战略高度为建筑工业化的发展指明了方向。目前，我国国家层面对建筑工业化（住宅产业化）的推进，主要体现在以纲领性政策为指导，从实行产业化试点项目、产业化基地、国家示范康居工程、推广适合国情的结构体系等多个方面入手，以组织机构的建立、经济政策、技术政策为保障，多方位综合推进住宅产业化发展。但是，从目前实施的效果来看，建筑工业化的推进依然不是很理想。究其原因，存在政策规范体系不完整、“重结构体系、轻填充体系”、强制性措施不足等问题。因此，建筑工业化的推进急需国家层面制定更完善、更具针对性的政策法规。

2.2 地方层面政策汇总

北京、上海、浙江、沈阳等近 20 个省市出台了有关推进住宅产业现代化的指导意见，一些城市还出台了配套行政措施，有力促进了产业化项目的落地实施。各地政策汇总见表 4。

表 4 我国建筑工业化相关政策分析——地方层面

地区	时间	文件名称/具体措施
北京市	2010 年 3 月	北京市住房和城乡建设委员会等八部门《关于推进本市住宅产业化的指导意见》京建发〔2010〕125 号
	2010 年 3 月	北京市住房和城乡建设委员会《关于产业化住宅项目实施面积奖励等优惠措施的暂行办法》京建发〔2010〕141 号
	2010 年 7 月	北京市住房和城乡建设委员会《北京市产业化住宅部品使用管理办法》京建发〔2010〕450 号
	2010 年 11 月	北京市住房和城乡建设委员会关于印发《北京市产业化住宅部品使用管理办法》(试行)的通知,京建发〔2010〕566 号
	2010 年 11 月	北京市住房和城乡建设委员会《北京市产业化住宅部品使用管理办法》京建发〔2010〕566 号
	2012 年 8 月	北京市住房和城乡建设委员会《关于在保障性住房建设中推进住宅产业化工作任务的通知》京建发〔2012〕359 号
	2013 年 3 月	北京市住房和城乡建设委员会《关于确认保障性住房实施住宅产业化增量成本的通知》京建发〔2013〕138 号
	2014 年 10 月	北京市住房和城乡建设委员会《关于加强装配式混凝土结构产业化住宅工程质量管理的通知》京建法〔2014〕16 号
	2015 年 1 月	北京市《关于产业化住宅项目实施面积奖励等优惠措施的暂行办法》
上海市	2009 年 10 月	上海市城乡建设和交通委员会等《关于加强本市住宅全装修建设管理的通知》沪建交联〔2009〕1355 号

	2011 年 8 月	上海市城乡建设和交通委员会等《关于“十二五”期间本市加快推进住宅产业现代化发展节能省地型住宅的指导意见》
	2013 年 7 月	上海市城乡建设和交通委员会等《关于本市进一步推进装配式建筑发展的若干意见》
	2014 年 6 月	上海市人民政府办公厅发布《上海市绿色建筑发展三年行动计划（2014-2016）》
	2015 年 2 月	上海市人民政府办公厅转发市建设交通委等七部门《关于加快推进本市住宅产业化若干意见的通知》
	2015 年 2 月	上海市建设交通委关于印发《〈关于本市进一步推进装配式建筑发展的若干意见〉实施细则的通知》
深圳市	2014 年 11 月	深圳住房和建设局《关于加快推进深圳市住宅产业化的指导意见》（试行）
	2015 年 8 月	深圳市《住宅产业化项目单体建筑预制率和装配率计算细则（试行）》
山东省	2011 年 7 月	济南市人民政府办公厅《济南市人民政府办公厅关于促进住宅产业化发展的指导意见》
	2014 年 7 月	《济南市人民政府办公厅关于加快推进住宅产业化工作的通知》
	2014 年 8 月	济南市城乡建设委员会《济南市加快推进建筑（住宅）产业化发展的若干政策措施》
	2014 年 9 月	青岛市人民政府办公厅转发市城乡建设委《关于进一步推进建筑产业化发展意见的通知》
江苏省	2014 年 10 月	江苏省人民政府《关于加快推进建筑产业现代化促进建筑产业转型升级的意见》
	2015 年 3 月	江苏省住房城乡建设厅省财政厅《关于组织申报 2015 年度省级节能减排（建

		筑产业现代化) 专项引导资金项目的通知》
	2015 年 4 月	江苏省财政厅 江苏省住房和城乡建设厅关于印发《江苏省省级节能减排 (建筑节能和建筑产业现代化) 专项引导资金管理办法》的通知
湖南省	2014 年 4 月	《湖南省人民政府关于推进住宅产业化的指导意见》
	2014 年 12 月	湖南省人民政府关于印发《湖南省推进住宅产业化实施细则》的通知
	2015 年 8 月	长沙市住房和城乡建设厅、长沙市财政厅关于《关于做好绿色建筑、产业化住宅、全装修普通商品住宅财政补贴的通知》
	2015 年 7 月	《湖南省住宅产业化生产基地布点规划 (2015—2020 年) 》
	2015 年 8 月	长沙市住房和城乡建设委员会《关于建立两型住宅产业化专家库的通知》
浙江省	2014 年 12 月	浙江省人民政府《关于印发浙江省深化推进新型建筑工业化促进绿色建筑发展实施意见的通知》
	2015 年 1 月	浙江省人民政府办公厅关于印发《浙江省深化推进新型建筑工业化促进绿色建筑发展实施意见的通知》
	2015 年 1 月	杭州市人民政府《关于加快推进建筑业发展的实施意见》
安徽省	2014 年 5 月	合肥市人民政府发布《关于加快推进建筑产业化发展的指导意见》
	2014 年 12 月	安徽省住房和城乡建设厅、安徽省财政厅《关于做好首批建筑产业现代化综合试点城市和示范基地建设工作的通知》
	2014 年 12 月	安徽省人民政府办公厅《关于加快推进建筑产业现代化的指导意见》
	2015 年 2 月	安徽省住房和城乡建设厅《关于印发安徽省推进建筑产业现代化联席会议成员单位名单的通知》
	2015 年 2 月	安徽省住房和城乡建设厅《安徽省住房和城乡建设厅关于成立安徽省建筑产业

		现代化专家委员会的通知》
	2015 年 9 月	安徽省住房城乡建设厅、安徽省财政厅关于《2016 年安徽省建筑产业现代化综合试点城市和示范基地申报工作的通知》
重庆市	2014 年 12 月	重庆市人民政府办公厅转发市城乡建委《关于加快推进建筑产业现代化意见的通知》
福建省	2015 年 5 月	福建省人民政府《关于推进建筑产业现代化试点的指导意见》
	2015 年 5 月	福建省建设厅、发改委、财政厅关于《实施建筑产业现代化试点期间招投标指导意见》的通知
	2015 年 9 月	福建省住房和城乡建设厅《关于成立福建省建筑产业现代化专家委员会的通知》
	2014 年 1 月	厦门市人民政府办公厅发布《厦门市绿色建筑行动实施方案》
	2014 年 10 月	厦门市人民政府办公厅发布《厦门市新型建筑工业化实施方案》
河北省	2015 年 3 月	河北省人民政府《关于推进住宅产业现代化的指导意见》
辽宁省	2015 年 2 月	沈阳市人民政府《关于印发加快推进现代建筑产业发展若干政策措施的通知》
	2013 年 5 月	《沈阳市建委关于推动沈阳市现代建筑产业化工程建设的通知》(沈建发[2013]68 号文)
河南省	2015 年 7 月	河南省住房和城乡建设厅《关于推进建筑产业现代化的指导意见》
吉林省	2013 年 9 月	吉林省人民政府发布《吉林省关于加快推进住宅产业化工作的指导意见》吉政发〔2013〕28 号
四川省	2014 年 7 月	《四川省住房和城乡建设厅关于加快推进住宅产业化工作的指导意见》

在国家推行建筑工业化的号角声中，地方政府积极响应，因地制宜推出建筑工业化的发

展措施，并取得了一定成绩。通过对各地政策进行详细分析，可以将地方政府推动建筑工业化发展的手段归纳为强制性手段和鼓励性手段两个方面：

2.2.1 强制性手段

各地根据本地实际情况的不同，大多选择在政府投资的保障性住房中采取强制性手段，有的也因地制宜地针对全装修进行了强制性规定，见表 5。

表 5 部分地区运用强制性手段推动建筑工业化发展

地区	政策
沈阳	要求：具备装配式建筑技术应用条件的保障性安居工程等政府投资项目，全部采用装配式建筑技术进行建设；凡在行政区二环内新开工的商品住宅开发项目，必须实行全装修。
重庆市	要求：本市公租房、廉租房装修设计必须严格执行《设计标准》，实行成品住宅交房。
江苏、深圳	要求：新建保障性住房按成品住房标准建设/按经济环保原则进行一次装修。

2.2.2 鼓励性手段

鼓励性手段主要体现在财政政策、金融政策、税收政策、土地政策等方面，各地侧重点不同。

在财政政策方面，部分地区研究出台了财政补贴产业化住宅开发企业或项目的政策，代表城市有上海、沈阳、济南和长春（详见表 6）。

表 6 部分地区出台财政政策鼓励建筑工业化发展

地区	财政政策
上海	对满足一定预制装配率和相关技术规范要求的住宅产业化项目，加快研究制定预制外墙部分不计入建筑面积、建筑节能专项资金支持、保障性住房成本增加计入项目基地建设成本等的激励措施。 对全装修住房发放节能财政补贴；
沈阳	社保费的计取按工程造价扣除工厂生产的预制构件成本作为计费基数。

	<p>安全措施费首次缴纳 1%，其余部分根据工程投资进度和工期安排适当缓缴。</p> <p>质量保证金按土建工程施工成本为基数计取。</p> <p>优先返还墙改基金及散装水泥基金。</p>
济南	<p>通过采取贷款贴息、财政补贴等扶持方式，加快住宅产业化项目示范和推广，支持住宅产业化企业进行技术研发、标准制定、部品生产、项目试点等工作。</p> <p>实施产业化试点开发企业的开发项目，在法律法规和政策许可范围内，经相关部门批准认可，试点部分的建筑面积可享受城市建设配套费减缓优惠。</p>
长春	<p>经长春市或上级有关部门确定的住宅产业化示范项目，引进的国外先进住宅产业化设备、技术，在项目开工或设备、技术投入运行后，按国家有关政策规定，从市收缴墙体材料专项基金余额中给予一定的补贴、大额贴息。</p> <p>对于确定为住宅产业化项目，比照棚户区改造，减免行政事业性、经营性收费。</p>
绍兴	<p>对满足一定要求的新设新型建筑工业化企业或新增投资项目，按项目当年生产性设备投入额给予 5% 的财政资助，最高资助不超过 2000 万元。</p> <p>设专项奖励资金，用于奖励采用新型建筑工业化的项目业主单位，按照新型建筑工业化建筑面积给予 50 元/平方米的奖励，最高奖励额不超过 100 万元。</p>

在金融政策方面，宁夏回族自治区要求金融部门对符合住宅产业化发展政策的开发建设项目实行优先优惠放贷，对购买通过住宅性能认定并达到 A 级的住宅和符合节能省地环保要求住宅的消费者可适当增加贷款额度和贷款期限。

在税收政策方面，上海和宁夏将住宅产业化纳入高新技术产业，享受高新技术产业政策及相关财税优惠政策；宁夏和陕西对生产使用有利于资源节约、绿色环保和产业化发展的“四新”技术的企业给予所得税的适当减免。重庆规定，新建商品房属于成品住宅的，在不变更计税交易价和适用税率的情况下，建筑面积交易单价在上两年主城九区新建商品住房成交建筑面积均价 3 倍以下的，按 15% 的比例扣除装修费后计税，3 倍（含）以上的，按 20% 的比例扣除装修费后计税。

在土地政策方面，各地主要通过将产业化要求作为土地出让条件、实行容积率奖励、完

善惩罚措施等做法，鼓励建筑工业化的发展，见表 7。

表 7 部分地区出台土地政策鼓励建筑工业化发展

土地政策特点	示例
将产业化要求作为土地出让条件（北京、上海、浙江、宁夏、深圳、合肥、沈阳）	沈阳市国土规划局在土地出让公告中将“采用现代建筑产业化装配式建筑技术实施建设”作为土地出让条件，并在土地出让合同和其他规范性文件中注明。
	浙江省在保障性住房等政府投资项目建设用地中，要确定一定的比例用于建筑工业化示范项目建设
容积率奖励政策（北京，宁夏）	北京市对于产业化方式建造的商品房项目，在原规划的面积基础上，奖励一定数量的建筑面积，不超实施产业化的单体面积规划之合的 3%。
	宁夏对符合住宅产业化发展政策的开发建设项目或新建住宅全装修面积占到项目建筑面积一定比例的，实行容积率优惠政策，即：占到项目建筑面积 10% 以上的，容积率可以提高 1%；占到 50% 的，容积率可以提高 2%；占到 100% 的，容积率可以提高 3%
享受土地政策后未达到规定要求的接受惩罚（宁夏）	宁夏各级国土资源部门将全装修住宅面积比例、住宅性能等级等纳入土地出让条件。开发商在工程建设过程中应及时上报相关材料接受监督。达不到规定要求的，要缴纳一定比例的违约金，2 年内不得参与土地竞买

在行政审批方面，宁夏规定，对于专业从事住宅全装修的外地企业，在办理登记备案手续时，可以提供绿色通道，便捷服务；沈阳和银川规定，采用全装修的商品住宅开发项目优先参与各类工程建筑领域的评选、评优。

此外，部分地区还研究出台了较为灵活的其他激励政策，如考虑实施装配式住宅方式而增加的成本，经核算后计入该基地项目的建设成本（上海、沈阳），产业化方式建造的政策性住房项目根据实际成本确定销售或租赁价格（北京），装配式建筑工程的构件生产投资可作为办理《商品房预售许可证》的依据，同时在商品房预售资金监管上给予支持（沈阳）等，这些政策均在建筑工业化进程中起到积极的推动作用。

3 “工业 4.0”背景下的建筑产业化

建筑业是国民经济的支柱产业，在扩大内需拉动经济方面起着重要的作用。当今，我国建筑业正面临着工业化转型的关键时期，本章通过结合“工业 4.0”的发展策略，分析了其对我国工业转型升级的启示，并针对我国建筑产业化发展提出思考。

3.1 “工业 4.0”概述

3.1.1 产生背景

“工业 4.0”是德国联邦教研部与联邦经济技术部在 2013 年汉诺威工业博览会上提出的概念。它描绘了制造业的未来愿景，提出了继蒸汽机的应用、规模化生产和电子信息技术等三次工业革命后，人类将引来以信息物理融合系统¹（CPS）为基础，以生产高度数字化、网络化、机器自组织为标志的第四次工业革命。“工业 4.0”概念的提出在欧洲乃至全球工业业务领域都引起了极大的关注和认同。

				4. 工业革命
				以网络物理系统为基础
				3. 工业革命
				通过使用电子和 IT 进一步自动化生产
				2. 工业革命
				使用电能的多元化大批量生产
				1. 工业革命

¹通过充分利用嵌入式控制系统，实现创新交互式生产技术的联网，相互通信，即物理信息融合系统。

使用水和蒸汽动力的 机械生产设施			
18 世纪末	20 世纪初	20 世纪 70 年代初	现如今

图 4 复杂程度越来越高的工业革命中的四个阶段

2011 年德国汉诺威工业博览会上，德国相关协会提出工业 4.0 的初步概念，之后德国机械设备制造联合会等协会牵头，联合企业、政府、研究机构的专家成立了工业 4.0 工作小组，进一步加强对工业 4.0 的研究，2013 年发表了工业 4.0 标准化路线图。随后，德国政府也将工业 4.0 纳入《高技术战略 2020》中，工业 4.0 正式成为一项国家战略。工业 4.0 战略在很短的时间内得到各方认同，有其偶然性也有必然性，这种认识来自于德国长期以来把工业作为国家经济发展的基石，来自于信息通信技术给工业带来的革命性影响，也来自新一轮科技革命中对德国工业地位的担忧，概括起来主要基于三种意识：危机意识、机遇意识、领先意识（表 6）。

（1）危机意识

众所周知，德国是传统的科技工业强国，但在新一轮产业技术的冲击下，传统的竞争优势受到挑战，部分新兴产业缺乏成长能力，各界对德国也表示很不服。德国在自身发展上的忧虑主要表现在对新兴产业创新能力、传统产业竞争优势、国家产业战略方向的忧虑。

（2）机遇意识

面对美国、欧盟、日韩等国家对制造业的深刻反思与发展决心，德国从自身出发，思考在新一轮技术变革中正确的发展方向。其充分肯定传统优势的竞争力，并认为应抓住市场机遇、技术机遇、产业机遇。

（3）领先意识

面对自身危机及所面对的机遇，德国试图以领先意识抢战工业领域全球高点。领先意识主要表现在五个方面，分别是理念领先、技术领先、产业领先、标准领先、市场领先。

表 6 三种意识

危机意识	机遇意识	领先意识
对新兴产业创新能力的担忧	市场机遇	理念领先、技术领先、产品领先、

对传统产业竞争优势的忧虑	技术机遇	标准领先、市场领先
对国家产业战略方向的忧虑	产业机遇	

3.1.2 五大技术原则

德国“工业 4.0”战略旨在通过充分利用信息通讯技术和信息物理融合系统（CPS）相结合的手段，推动制造业向智能化转型。其基本内涵包括互联、集成、数据、创新、转型五个方面：

（1）互联

互联是“工业 4.0”的手段，旨在将设备、生产线、工厂、供应商、产品、客户紧密地连接在一起。“工业 4.0”适应了万物互联的发展趋势，将无处不在的传感器、嵌入式终端系统、智能控制系统、通信设施通过 CPS 形成一个智能网络，使得产品与生产设备之间，不同的生产设备之间以及数字世界和物理世界之间能够互联，使机器、工作部件、系统以及人类会通过网络持续地保持数字信息的交流。

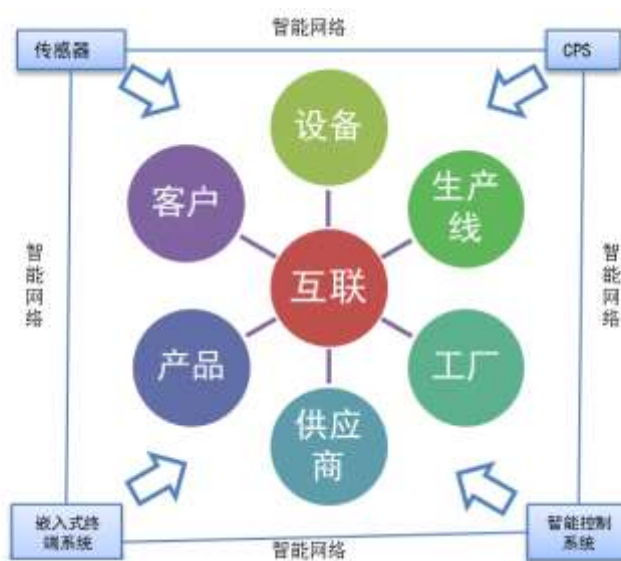


图 4 互联

（2）集成

集成是“工业 4.0”的关键。工业 4.0 将无处不在的传感器、嵌入式终端系统、智能控制系统、通信设施通过 CPS 形成一个智能网络，使人与人、人与机器、机器与机器以及服务与服务之间能够互联，从而实现横向、纵向和端对端的高度集成。

（3）数据

数据是“工业 4.0”的保障。在“工业 4.0”时代，制造企业的数字数据将会呈现爆炸式增长。随着信息物理系统（CPS）的推广、智能装备和终端的普及各种各样传感器的应用，将会带来

无所不在的感知和无所不在的连接，所有的生产装备，感知设备，联网终端，包括生产者本身都在源源不断的产生数据，这些数据将会渗透到企业运营，价值链乃至产品的整个周期，是工业 4.0 和制造革命的基石。

（4）创新

创新是“工业 4.0”的基础。在“工业 4.0”时代，创新是集合研发、行业支持、标准化于一体的行业整合层面的合作创新，这一新的工业化发展创新模式打破了传统“标准化”与“创新”知识产权保护之间所形成的制约关系，促进了高新技术的诞生、发展、标准化，进而转化为经济效益的过程。

（5）转型

转型是“工业 4.0”的必要条件。在“工业 4.0”时代，物联网和（服）务联网将渗透到工业的各个环节，形成高度灵活、个性化、智能化与服务的生产模式，推动生产方式向大规模定制、服务型制造、创新驱动转变。

从终极目标上来看，“工业 4.0”不是为技术而技术，核心在于提高企业、行业乃至国家的整体竞争力；从企业来看，通过“工业 4.0”可以实现劳动生产率大幅提高，产品创新速度加快，满足个性化需求，减少能耗，大幅提高产品质量和附加值，显著增强企业核心竞争力；从行业来看，通过“工业 4.0”可以建立起高度协作的创新服务体系，提高整个行业的资源配置和运行效率；从国家来看，在于抢占新一轮产业竞争的制高点。

3.1.3 技术支撑

技术支撑包括三个方面，分别是面向未来的两大牵引技术、两大硬件和两大软件、基于分布式和连接的三大基础。

（1）面向未来的两大牵引技术

包括虚拟现实、人工智能

虚拟现实技术是一种可以创建和体验虚拟世界的计算机仿真系统，它利用计算机生成一种模拟环境，通过多源信息融合的交互式的三维动态视景和实体行为的系统仿真，使用户沉浸到该环境中。虚拟现实是多种技术的融合，包括实时三维计算机图形技术，广角立体显示技术、对观察者头眼和手的跟踪技术、以及触觉与力觉反馈、立体声、网络传输、语言输入输出技术等。

人工智能是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能理论、方法、技术及应用系统的移门新的技术科学。人工智能是计算机科学的一个分支，它企图了解智能的实质，并生产出一种新的、能与人类智能相似的方式作出反应的智能机器，该领域的研究包括机器人、语言识别、图像识别、自然语言处理和专家系统等。

（2）两大硬件和两大软件

两大硬件包括 3D 打印、工业机器人；两大软件包括工业网络安全、知识工作自动化。

3D 打印通过数字化增加材料的方式进行制造。

工业机器人是面向工业领域的多关节机械手或多自由度的机器装置，它能自动执行工作，是靠自身动力和控制能力来实现各种功能的一种机器。由主体、驱动系统和控制系统三个基本部分组成，具有可编程、拟人化、通用性的特点。可接受人类指标，可按照预先编排的程序运行，现代的工业机器人还可以根据人工智能技术制定的原则纲领行动。

工业网络安全风险和压力将远远大于消费互联网。工业 4.0 时代，产业互联网接入的识别数量极为庞大，并且设备接入的复杂程度和管理难度，因为分布式和跨行业的特点，将远远大于消费互联网。

知识自动化将在智慧社会、智能产业、智能制造以及工业 4.0、工业 5.0 当中起到核心作用。实现知识自动化的主要方法和技术包括智能控制、人工智能、机器学习、人机接口、基于大数据的管理。从物理过程的自动化到虚拟空间的自动化是关键。

（3）基于分布式和连接的三大基础

包括工业物联网、云计算、工业大数据。

工业互联网由美国通用公司提出，代表全球工业系统与智能传感技术、高级计算、大数据分析以及互联网技术的连接和融合，其核心三要素包括智能设备、先进的数据分析工具、人与设备交互接口。工业互联网是智能制造体系和智能服务体系的深度融合，是工业系统产业链和价值链的整合和外延。

云计算是互联网大脑的中枢神经系统。在互联网虚拟大脑的架构中，互联网虚拟大脑的中枢神经系统是将互联网的核心硬件层、核心软件层和互联网信息层统一起来为互联网各虚拟神经系统提供支持和服务。云计算甚至可以让你体验每秒 10 万亿次的运算能力，拥有强大的计算能力，可以模拟核爆炸、预测气候变化和市场发展趋势。

工业大数据是以新兴技术的发展为背景，通过工业传感器、无线射频识别、条形码、工业自动化控制系统、企业资源计划、计算机辅助设计等技术来扩充工业数据量。工业大数据在工业企业中的生产线上高速运转，是机器所产生的一种非结构化数据。

3.1.4 政策体系

专家认为，政策制定过程中，应积极借鉴国际国内的相关标准。对“工业 4.0”标准而言，可以自下而上逐步发展的策略，而不是自上而下的策略。例如，在具体项目实施中，应该采取国际化的标准。这对政策制定而言是至关重要的。可行的方法是支持和鼓励开放源码，协助编制互联网标准，如 TCP/IP 互联网协议。政策制定者可以通过研讨会和会议，邀请新兴行业标准制定者、科研机构等参加会议，共同探讨未来的发展方向。对于个体的企业标准，政策制定者可以积极支持和许可标准的发展，同时也鼓励更多的其他企业加入并采用这些标准，形成价值共同体。

3.1.5 规范和标准

执行“工业 4.0”的规范、标准、法规是一项基础性工作。例如标签、协议、数据连接、

安全程序，IT 认证接口（硬件、数据格式、网络服务），编程平台和控制软件等。通用标准能够实现设备之间的数据交换，构建系统和软件之间的网络链，同时允许机器人把智能化工厂加工的产品，通过简单的“即插即用”技术，集成到工业生产过程中。参考建筑作为其中的一部分，可以有效的介绍这些标准并推动标准实施，促进企业实现“工业 4.0”。

如果数据和通信协议属于专有协议，或只在国内通用，那么只有公司或集团公司自身的设备之间能够互相兼容，就会导致不正当竞争和成本增加。相反，如果采用独立或国际公认的标准通信协议，数据格式和接口可以完美兼容，保证不同行业 and 不同国家之间互相兼容，可以有效推动“工业”4.0 技术广泛应用，欧洲制造的技术和产品向全球市场开放。这一工作要互相之间的开放和合作，形成统一的标准。此前，一个基础性的工作就是约定共同的方法和术语。最近，联合研究中心表示，需要预测欧洲标准要求，加速欧洲标准的发展。

3.1.6 网络安全

在“工业 4.0”背景下，跨公司生产过程的网络安全保护至关重要。合作伙伴之间，大量的数据被收集和共享，企业一方面想获取对手掌握的数据，同时又不愿意把自己的数据在未经允许的情况下被竞争对手或合作单位获取。特别是在制造过程中智能设备生产的数据信息及其智能服务。如，汽车制造商就不愿意分享汽车制造过程中的参数，他们担心会被竞争对手挤压。为了确保竞争力，亟需建立一套完整的规则，包括隐私、数据存储、版权、新人和数据保护。

3.1.7 培训

“工业 4.0”及其相关产业将不断发展。制造业从体力劳动转变到编程和控制高性能机器的劳动。工作变得越来越技术性，组织结构也越来越复杂。跨界能力越来越重要。要求员工具备协调能力、控制通信能力、自主决策能力，以及与生产过程其他能力。对于未经过培训，技术水平较低的员工，可能随时被淘汰。相反，那些成功适应“工业 4.0”从业人员，会发现更大的自由性，更多的乐趣以及更少的体力劳动。雇主更需要有创造力的、有决策能力的、以及拥有通信技术专业的从业人员。政府、教育机构以及企业都面临“工业 4.0”的机遇和挑战，为从业人员提供培训和锻炼的机会。

3.1.8 法律问题

先进制造业也引发了一系列的法律问题，包括员工管理、产品责任和知识产权问题等。例如，本应该指导和记录工人动作的“智能手套”，同时也监督和评价工人业绩。如果自主制造系统，涉及许多网络系统，生产出缺陷或有危害的产品，其法律责任由哪个网络负责？如果客户生产个性化产品，产品知识产权（IP）归属问题。法国委员会经济分析师呼吁，要平衡知识产权创新和知识共享的关系，保证两者在未来同时进步。

3.2 我国工业转型升级思路

当今，全球制造业格局正处在深刻变化之中，我国在加快经济发展方式转变的同时应抓住新一轮科技与产业变革带来的挑战与机遇。“工业 4.0”理念对我国工业的转型升级提供了很多启示，以下结合其与我国“两化”理念的契合、原则启示、措施启示三个方面予以说明。

3.2.1 与“两化”的契合

我国十七大提出“大力推进信息化与工业化融合”，十八大进一步提出“两化”深度融合是我国走新型工业化道路的重要途径和必然选择。“两化”深度融合指信息化与工业化在更大范围、更细的行业、更广的领域、更深的层次、更实的应用、更多的智能方面实现彼此更紧密的关联、交融与合作。结合德国“工业 4.0”理念，对比分析两国的工业化阶段、企业水平、技术基础、主导产业、运行机制可以看出均不相同，但面对新一轮产业技术革命的发展趋势，则具有相同的危机感和紧迫感，都有举全国之力抢占新一轮产业竞争制高点的战略意图。两国的战略在核心理念、发展重点、方法路径等方面比较相似，具体来讲：

（1）在核心理念方面，剥开工业 4.0、产业互联网以及两化深度融合（信息化和工业化）等这些新概念的外壳，我们可以看到不同国家应对新一轮产业技术变革的理念和战略布局方面存在着差异性，但其最根本的内核是一致的，即工业 4.0 互联、数据、集成、创新、服务、转型这些理念也是推进两化深度融合所秉持的核心理念。

（2）在实施路径方面，近年各地在推进量化融合方面做了很多探索，可以看到中国的两化融合与工业 4.0 的相似之处。以浙江为例，其结合自身发展在与两化融合工作中提出了六个“换”的思路：产品换代（实现产品智能化升级）、机器换人（制造设备智能化，自动化，网络化），制造换法（车间级设备互联，企业级设备互联的智能工厂）、电商换市（以电子商务拓展最新的市场）、商务换型（云制造，服务型制造等新的商业模式）、管理换脑（发挥云计算，大数据在企业管理决策等方面的作用），其本质上与德国工业 4.0 所强调的智能车间，个性定制，数据驱动，服务化转型等发展路径是一致的。

（3）在企业实践方面，提升企业核心竞争力是所有产业战略规划出发点和落脚点，对中国如此，对德国也是如此。西门子，博世，SAP 等从各自的角度出发提出了一些能够体现工业 4.0 特征的示范工厂和企业。其在企业管理，业务模式和生产方式等方面开展了一系列创新，这既是德国工业 4.0 的方向，也是中国量化融合的方向。与此同时，国内企业在这些方面也做了一些积极探索，家电，服装，家具等行业正形成以大规模定制为主导的新型生产方式，青岛红领、维尚家具、小米科技等一批创新型企业通过建立新的生产模式实现了逆势增长；工程机械、电力设备等行业服务型制造业务快速发展，陕鼓，徐工，中联等企业全生命周期服务，总集成总承包服务日益成为企业利润的重要来源；汽车，钢铁，石化等行业的协同供应链管理水平的不断提高，宝钢与供应商之间建立了供应商早期介入和及时生产体系。

以上看出，从目标、理念、路径、方法的角度来看，我国两化深度融合与德国工业 4.0 如出一辙。但中国企业整体的工业化程度与德国相比还是有比较大的差距，依然面临更加复杂而艰巨的任务。

3.2.2 原则启示

- （1）自主创新与学习借鉴的结合统一
- （2）投入与效益的结合统一
- （3）软件发展与硬件发展的结合统一

- (4) 产业与企业的结合统一
- (5) 市场决定与政府指导的结合统一
- (6) 工业文明与生态文明的结合统一

3.2.3 措施启示

“工业 4.0”带来的工业新思维与模式，对工业化转型升级起到了关键作用。

(1) 超前部署建设国家信息物理系统网络平台

美、德等世界工业强国都高度重视信息物理空间构建，加强战略前瞻部署，并取得积极研究进展。中国要决胜未来的竞争，必须在构建信息物理系统网络平台上先行一步。一方面，在国家新的信息化发展战略中加强对 CPS 的总体布局，研究制定 CPS 建设的战略目标、重点任务、发展路径和政策举措。

同时，在制造业发展、智慧城市建设、国家网络和信息安全等工作中加强前瞻部署和应用推广。另一方面，可借鉴美国组建“国家制造创新网络中心”的做法，组建一批国家信息物理系统网络平台，负责承担基础理论研究，组织力量研发突破 CPS 软件、传感器、移动终端设备等工具和装备，推动重点行业企业的开发应用。

(2) 启动国家智能制造重大专项工程

智能制造已成为全球制造业发展的新趋势，智能设备和生产手段在未来必将广泛替代传统的生产方式。当前，我国在智能测控、数控机床、机器人、新型传感器、3D 打印等领域，初步形成完整的产业体系。

但总体看，我国制造业发展仍然以简单地扩大再生产为主要途径，通过智能产品、技术、装备和理念改造提升传统制造业的任务艰巨而迫切。建议从国家层面启动实施智能制造专项工程，加强技术攻关，开展应用示范，推动制造业向智能化发展转型。

(3) 用标准引领信息网络技术与工业融合

工业 4.0 战略的关键是建立一个人、机器、资源互联互通的网络化社会，各种终端设备、应用软件之间的数据信息交换、识别、处理、维护等必须基于一套标准化的体系。为了保障工业 4.0 的顺利实现，德国把标准化排在八项行动中的第一位，同时建议在工业 4.0 平台下成立一个工作小组，专门处理标准化和参考架构的问题。

我们在推进信息网络技术与工业企业深度融合的具体实践中，也应高度重视发挥标准化工作在产业发展中的引领作用，及时制定出台“两化深度融合”标准化路线图，引导企业推进信息化建设。同时，还要着力实现标准的国际化，使得中国制定的标准得到国际上的广泛采用，以夺取未来产业竞争的制高点和话语权。

(4) 构建有利于工业转型升级的制度保障体系

德国工业 4.0 战略十分重视产业创新、组织创新与现有制度相冲突的问题。工业 4.0 一方面增加了管控的复杂性，技术标准的制定需要符合相应的法律法规；另一方面也需要制定

相应的规章制度促进技术创新。

工业 4.0 采取了一系列措施以加强制度保障，比如设立处理各类问题的专职工作组，制定和实施安全性支撑行动，建立培训和再教育制度等。我国在推动工业转型升级的问题上，也同样面临制度保障方面的相关问题。因此，非常有必要建立和完善有利于工业转型升级的长效机制，比如知识产权保护制度，节能环保、质量安全等重点领域的法律法规，人才培养和激励机制等，从而形成推动工业转型升级的制度保障。

（5）产学研用联合推动制造业创新发展

德国工业 4.0 是由德国工程院、弗劳恩霍夫协会、西门子公司等联合发起的，工作组成员也是由产学研用多方代表组成的。因此，工业 4.0 战略一经提出，很快得到了学术界、产业界的积极响应。事实上，政府支持产学研合作的动机不单纯来自于市场考量，通过产学研合作创新促进竞争往往成为发达国家重要的战略意图。

我国应该充分吸收和借鉴发达国家产学研用联合模式，一方面，针对不同类型自发的产学研合作网络或产业研发联盟，政府要通过引导和支持的方式促进其发展；另一方面，选择几个重点行业和关键技术领域进行试点，以行业骨干企业为龙头，联合科研实力雄厚的大学和科研机构，组建多种形式的产学研研发联盟，充分调动各方资源和力量，共同推进技术研发和应用推广。

3.3 “工业 4.0”在欧洲和德国战略发展

3.3.1 “工业 4.0”在欧洲的战略发展

欧盟开展一系列政策研究，同时资助支持开展相应的研究和基础设施建设，推动“工业 4.0”发展。欧盟希望通过“工业 4.0”，彻底改变工业化衰退的现状，计划在 2020 年将制造业增加值总量提高 20%。据估计，“工业 4.0”可以使欧盟能效每年提升 6% 至 8%。为此，需要健全配套政策框架体系。工业 4.0 市场正日趋形成。

欧盟制造商面临这些机遇和挑战的同时，欧盟针对个别公司或成员国难以独立完成的研究，进行支持和资助，并建立了泛欧研究平台（如通过 Horizon 2020）分享信息、经验和好的实践模式。2012 年工业政策交流会，欧盟委员会确定了六个优先领域，其中三个领域与工业 4.0 直接相关，即先进制造、关键使能技术（例如电池，智能材料和高性能生产工艺）、以及智能电网和智能基础设施（工业互联网的基础设施和互联互通作为关键内容）。交流会还明确了 2020 年欧盟总增加值中制造业份额实现 20% 的目标。

然而，一些观察家认为，在可预见的未来，因为产能过剩和经济增长乏力，再加上更具增长潜力的服务行业的发展（服务业在总增加值中的比例增加），上述的目标实现可能性很小。2013 年，欧盟委员会成立了清洁生产先进制造工作组，2014 年创办了数字创业战略政策论坛，专注欧洲工业和企业的智能化转型。论坛建议通过设立国家目标、建立卓越中心、加强标准化建设、提供资金等途径推动数字技术开发。同时，论坛也呼吁成立数字化转型观察站，以通过数字化相关措施和政策解决智能转型，提高政治意识。同时，欧盟还推广了 eSkills，以解决 ICT 技工短缺的问题，通过建立各利益相关方的合作平台，即数字工作大联

盟，使 ICT 教育更具吸引力、更符合行业需求。欧洲理事会呼吁在所有经济部门实现深深入的数字化，推动数据驱动创新，同时利用欧洲结构和投资基金（ESIF）支持 ICT 教育和职业培训。欧盟委员会数字化单一市场战略部门承诺，2016 年将通过“自由数据流”行动，明确数据所有权，实现企业与企业，机器与机器的互通，鼓励工业部门编制数字化标准、研发数字化技术和专业技能。

2014 年“欧洲工业文艺复兴宣传”，欧盟委员会提出了数字化技术（包括云计算，大数据，新型工业互联网应用，智能工厂，机器人和 3D 打印）的重要性，特别是对重构商业模式，创新产品和服务，提高欧洲生产力。证据表明，欧洲现有的大型制造企业都在供应链中组织实施“工业 4.0”。欧洲制造业的中小企业也逐步在复杂的产业链中逐步整合，除了提供地方性的服务和区域网络外，主要为大型跨国公司提供零件以及其他产品和服务。中小企业供应链与大型制造商相互依赖，必须遵循并采用这些先进制造技术和工作流程。为了保持竞争力，并紧跟产业链和生产网络，这些中小企业还必须不断适应行业新标准和新方法。一旦大公司设定行业标准，中小企业必须紧跟采纳这些标准。除了这些激励措施外，“工业 4.0”也使中小企业产生强大的动力，如生产力提高，创新能力的增强，现代化形象的塑造。此外，欧盟及其成员国也在倡议，支持制造行业的中小企业采用数字技术，如 I4MS，并通过试点和推广项目来展示“工业 4.0”创新和效益，避免中小企业放弃新技术。在欧盟与地区层面，正在广泛开展数字制造计划，“工业 4.0”在整个欧洲广泛应用，成员国也纷纷实施本国的行动，如德国“工业 4.0”，法国和意大利的“未来工厂”。

3.3.2“工业 4.0”在德国的战略发展

“工业 4.0”是德国联邦政府高科技创新战略的重要内容，德国联邦政府从工业和科学两个方面支持实施“工业 4.0”，将德国定位为现有技术的领跑者，也定为为未来的生产中心和 2020 年网络物理系统领跑者。与许多其他工业化国家不同的是，德国一直保持着稳定的制造业劳动力资源，同时将新技术开发提前纳入工业产品和工艺流程。这一领跑带动了“工业 4.0”的进程，也促进了生产效率的提高。德国国家科学和工程学院认为，“工业 4.0”可以使工业生产率增加 30%。波士顿咨询集团预测，仅在德国，“工业 4.0”在未来 10 年内每年将贡献 1% 的 GDP，创造 39 万个就业机会。BITKOM 行业协会的一项研究表明，Fraunhofer IAO 估计，“工业 4.0”可以在十年内为六大行业的生产力提高约 78 亿欧元。同时，年均行业作为附加值可达到 1.7%（BITKOM / Fraunhofer IAO 2014）。此外，德国工业联合会（德国工业联合会）90% 的成员认为“工业 4.0”是未来面临的巨大挑战，只有 12% 的成员认为已经对此有所准备（Klein 2014）。因此，政府的任务是在“工业 4.0”背景下加强企业家和中小企业创新能力。如，建立五个能力中心，三年内资助 2800 万欧元，帮助中小企业应用“工业 4.0”，为其提供信息和建议，提高意识，并在能力中心使用特定展示和测试工具。将相关的贸易联盟、商业协会、商业俱乐部等，以及 IT 咨询机构等其他单位，最大限度的吸引参与者，进行宣传。同时，开展一系列的活动，如开发技术，组织实施规划，通过创新提高竞争力，将“工业 4.0”技术介绍给缺乏意识的中小企业供应商。2010 年德国工业政策中提出了“工业 4.0”的属性，2012 年政府将“工业 4.0”作为高科技战略的 10 个重点项目之一。德国教育和研究部成立了由工业界，学术界和科学界的代表共同组成的工作组，并在 2013 年发布了一份报告，概述了从标准化到持续学习“工业 4.0”战略的 8 个优先领域。

此外，经济部明确了对“不完全竞争阶段”的驱动研究和创新，实现“科学发现”转化为“可销售技术”的进程。随着国家战略层面提出建设工业 4.0 能力中心，以此推动企业家和中小企业创新，大型企业的发展目标也日益清晰。由经济和研究部牵头打造的平台，将商业、科学、工会的代表聚集在一起，实现了“工业 4.0”的制度化。“工业 4.0”平台分为以下几个工作组：参考架构、标准化、研究与创新、网络系统安全、法律环境、以及职业教育和培训。2015 年 4 月平台发布了第一份报告，介绍了“工业 4.0”对经济和社会的促进作用，以及未来发展的关键领域，同时也预测 2030 年更详细的研究路线图。从时间来看，“工业 4.0”是一个长期的发展战略，目前仍处于启蒙阶段。

2010 年 7 月，德国政府发起了“高技术战略 2020”，旨在创造引领市场，促进科学与工业的合作，持续改善创新环境。2012 年 3 月，德国政府通过了“高科技战略行动计划”，进一步明确实施高科技战略。行动计划确定了 10 个“未来项目”，其中包括“工业 4.0”——被认为是实现创新政策目标、促进研究和创新的关键途径。随着这些引领性项目的实施，在未来 10 至 15 年内实施创新目标。在“高科技战略 2020”行动计划中，工业 4.0 预计可实现 2 亿欧元资金。2013 年 12 月 14 日，新成立的 CDU-CSU-SPD 签署了第 18 个立法期协议，确定了“工业 4.0”未来项目是巩固德国在机械制造领域保持技术领先地位的重要措施。政府计划计划推进传统产业数字化，扩展未来“智能服务”领域，以及加强“绿色 IT”领域的项目与活动。自动工业 4.0（生产，产品，未来多维互联网服务）技术计划，将极大地促进“高技术战略 2020”目标的实现。

优先领域包括为机器，服务机器人、以及其他智能处理复杂任务系统，即从 ICT 的控制机制向智能部件和系统过渡，向效率、成本效益、提高灵活生产质量的创新领域发展。物联网的技术发展已经在联邦经济和能源部（BMWi）下一代媒体（新技术和永续计算）和自主系统（基于模拟中小企业的自主系统）前身项目，为不同应用场景的新产品、新服务和新的商业模式提供手段和途径。在 BMWi THESEUS R&D 资助项目中，在适用于互联网应用和服务的语义技术逐渐形成。后工业 4.0 自动化项目，政府已经为相关科研机构和企业提供了 4000 万欧元资金，在面向未来的生产系统和生产逻辑领域，推动 ICT 与工业生产之间智能交互；面向未来的优质产品（包括服务机器人）；面向未来的知识密集型电子服务。

此外，2011 年 6 月，由联邦教育和研究部资助推出 RES-COM 项目，通过高度互连和集成的传感器 - 致动器系统在工业 4.0 环境中实现资源的自动化保护，实施激活自然情景的资源效率。RES-COM 采用基于主动数字产品存储、嵌入式传感器和执行器的软件服务的全新核心技术。该项目由德国人工智能研究中心（DFKI）与合作伙伴（包括 SAP，西门子，IS Predict 和 7x4 Pharma）共同实施。此外，为了促进德国标准化发展，工业 4.0 工作组建立一个全国范围内标准化工作组。该工作组自成立以来，专注于以下活动：

1. 召集专业协会和其他利益攸关方，以建立共同标准实现相互信任。
2. 关键术语的匹配和“工业 4.0 术语”。
3. 编制服务架构、程序和功能描述、术语等相关标准，自主和自组织系统的备忘，以及系统结构描述等标准。
4. 生产自下而上的发展路线图，归纳与工业 4.0 相关的标准和方法。
5. 制定自上而下的发展路线图，并向利益相关者传达。

6. 协助构建工业 4.0 社区，继续完善标准和参考架构体系。

3.4 我国建筑产业化的发展

当今，我国建筑业面临着工业化转型的关键时期，在规划设计、技术标准、关键技术、全产业链打造等方面面临着重要问题。在建筑产业化的建设中，如何健全统一的技术标准、规范要求、关联各企业、健全建筑产品的全产业链是我们应该思考的问题。以下结合建筑产业化发展核心、发展特性、战略要点予以说明。

3.4.1 发展特性

（1）组织的变化

组织将逐渐远离中心的计划和控制，走向分散化的自我组织形式，事先规划的、呆板的生产系统逐渐变为自治的、自我组织的生产单位，并通过由组件和加工机器，产品和物流人员等组成的无线临时网络实现，逐步建立创造价值网络的组织。

（2）智能产品

智能产品在实物产品生产之前，就已经在虚拟世界中产生，最初由若干虚拟零件构成，之后逐步与制造工艺、制造过程挂钩，进而在智能工厂生产。智能产品自身能积极支持生产过程，同时，通过智能产品能清晰了解产品的运行状态、工作过程中可能产生的偏差，并能运用这些知识控制接下来的生产步骤。智能产品同时链接客户信息、物流信息，方便把产品顺利送达顾客手中。

（3）自我控制

自我操控使产品个性化的实现更加轻松。

（4）人员的灵活性

员工的工作状态变得更加灵活，打破了传统死板的考勤制度。生产过程中人员的投入由一定时间内所要求的专家人才及是否有足够的工人可以支配来决定。

3.4.2 发展核心

智能制造是“工业 4.0”模式的核心，指以信息物理系统为核心，以智能工厂为载体，以数据互联互通为主线，以产品、生产、管理与服务等产品全生命周期的智能化为标志，以定制化、分散化生产方式为主要特征。智能制造涵盖了产品设计、生产规划、生产执行、售后服务等制造业的全部环节。

智能制造同样也是建筑产业化发展核心，“工业 4.0 的”模式的核心与我国建筑业转型升级的发展目标不谋而合。结合“工业 4.0”的智能制造理念，应逐步完善建筑产业化发展的理论构建、实践应用，推动我国建筑产业化发展。

3.4.3 战略要点

表 7 战略要点

1 个网络				
物理信息融合系统 (CPS)				
2 大主题	智能工厂		智能生产	
3 项集成	横向集成	纵向集成	端到端集成	
2 项战略	领先的供应商战略		领先的市场战略	
3 个设想	智能产品	设施	管理	
8 项计划	标准化和参考框架	复杂系统的管理	一套综合的工业化 宽带基础设施	安全和环保
	工作的组织和设计	培训和持续的职业 发展	监管框架	资源效率

(1) 1 个网络

信息物理融合系统 (CPS, Cyber Physical System)是在环境感知的基础上,深度融合计算、通信和控制能力的可控、可信、可扩展的网络化物理设备系统。它通过计算进程和物理进程相互影响的反馈循环实现深度融合和实时交互来以增加或扩展新的功能,以安全、可靠、高效和实时的方式检测或者控制一个物理实体。CPS 的意义在于将物理设备联网,通过互联网的连接,让物理设备具有计算、通信、精确控制、远程协调和自治等五大功能。

CPS 连接了虚拟空间与物理现实世界,使智能物体通信并相互作用,创造了一个真正的网络世界。利用 CPS 技术,不仅产品联网,所有的装配也都联网,形成了一台“超级机器”,这将从根本上改变未来的制造模式,也将开发出创造价值的新方法和新的服务模式;智能产品在全生命周期内被识别、被定位、被控制,这其中所蕴含的是生产力最本质的进步,即使产品只生产一次,也能通过颇具收益的方式制造出来;在工业 4.0 中,动态业务和工程流程能够帮助供应商根据生产需要最终做出相应改变,并灵活应对生产中中断和故障。

德国工业 4.0 战略指出,利用 CPS 可以跨越单个工厂、企业的界限,连接并高效利用全社会的设计资源、制造资源,实现智慧化生产。随着大数据、云计算、物联网等新一代信息技术的发展,网络空间还在迅速演进,其中最重要的一个趋势就是网络空间本身不在完全虚拟化,而是日趋融合现实物理空间的“虚实结合,虚实相生”的新空间。以冰箱为例,工业化思维下的冰箱,是一件孤立的产品,除了售后服务环节,在卖给用户后与制造企业的关系基

本中止。而互联网思维下的冰箱，却是包括制造企业在内的各类企业提供创新服务的开始。研究表明，现在的冰箱使用过程中有三分之一的存储视频因为变质被浪费。未来的冰箱将通过互联网，物联网和 CPS 连接，等同于制造企业、服务企业、食品企业甚至物流企业实现多维连接，以获得自动化、智能化的控制，防止变质并获取及时的供应。



图 4 信息物理融合系统

(2) 2 大主题

工业 4.0 的两大主题是智能工厂与智能生产。

智能工厂重点是智能化生产系统及过程，以及网络化分布式生产设施的实现。它是现代工厂信息化发展的新阶段，是在数字化工厂的基础上，利用物联网的技术和设备监控技术加强信息管理和服务；清楚掌握产销流程、提高生产过程的可控性、减少生产线上人工的干预、及时正确地采集生产线数据，以及合理的生产计划编排与生产进度，并加上绿色智能的手段和智能系统等新兴技术于一体，构件一个高效节能的、绿色环保的、环境舒适的人性化工厂。

智能生产主要涉及整个企业的生产物流管理、人机互动、3D 打印以及增材制造等技术在工业生产过程中的应用。

(3) 3 项集成

3 项集成包括纵向集成、横向集成、端到端集成三项：

纵向集成是企业信息化发展的里程碑，是企业内部信息流、资金流和物流的集成，既是生产环节上的集成（如研发设计内部信息集成），也是跨环节的集成（如研发设计与制造环节的集成），还是产品全生命周期的集成（如研发、设计、计划、工艺到生产、服务的全生命周期的信息集成），工业 4.0 所要追求的就是在企业内部实现所有环节信息无缝连接。在明天的智慧工厂，生产结构不会是固定的，预定义的。相反，一组 IT 配置的规则将被定义，可以根据具体情况进行工厂解构的拓扑解构配置组合，其中包括针对模型，数据，通信和计算算法的所有相关要求。

横向集成即产业链信息集成。企业之间通过价值链以及信息网络所实现的一种资源整合，为实现各企业间的无缝合作，提供实时产品与服务，推动企业间研产供销、经营管理与生产控制、业务与财务全流程的无缝衔接和综合集成，实现产品开发、生产创造、经营管理等在不同企业间的信息共享与业务协同。

端到端集成指围绕产品全生命周期的价值链所创造，通过价值链上下不同企业资源的整合，实现从产品设计、生产制造、物流配送、使用维护的产品全生命周期的管理和服务。它以产品价值链创造集成供应商（一级、二级、三级...）、制造商（研发、设计、加工、配送），分销商（一级、二级、三级...）、一级客户信息流、物流和资金流为客户提供更有价值的产品和服务的同时，重构产业链各环节的价值体系。



图 4 纵向集成



图 5 横向集成



图 6 端到端集成

（4）2 项战略

领先的供应商战略强调装配制造供应商要通过技术创新和集成, 不断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。

领先的市场战略强调要将制造业做为主导市场加以培育, 率先在制造企业加快推行“工业 4.0”与部署信息物理网络系统, 进一步壮大装备制造业。

（5）3 个设想

产品、设施、管理是“工业 4.0”的 3 个设想。其中, 产品集成有动态数字储存器、感知和通信能力, 承载着在其整个供应链和生命周期中所需的各种必需信息; 设施由整个生产价值链所集成, 可实现自组织; 管理能够根据当前的状况灵活决定生产过程。

物料（原材料）等同于“信息”。具体来讲, 就是工厂内采购来的原材料, 被“贴上”一个标签, 给 A 客户生产的 XX 产品, XX 项工艺中的原材料。准确来说, 是智能工厂中使用了含有信息的“原材料”, 物料（原材料）=“信息”, 制造业终将成为信息产业的一部分。



图 7 3 个设想

（6）8 项计划

8 项计划包括标准化和参考框架、复杂系统的管理、一套综合的工业宽带基础设施、安全和环保、工作的组织和设计、培训和持续的职业发展、监管框架、资源效率。

4 理论框架-CSP 为例

伴随着我国经济持续高速增长和建筑业的快速发展,建筑的建造、使用和更新过程中出现了诸多问题,如资源环境问题、产业结构问题、运维管理问题等。随着工业化程度的提高和信息化的发展,这些问题需要从新的视角去审视,用现代化的技术手段去解决。基于长期的摸索、研究和实践,中国建筑设计院有限公司 CSP 研发推广中心对我国的建筑产业现状和预期实现的发展目标进行了多维度的对应梳理,从最基本的建筑构成出发,整合相关联的产业链资源,兼收并蓄国内外成熟经验,逐步建立起一套具有相对完整的理论、技术、实施能力的、开放的工业化建筑体系,力求构筑一个可持续发展的多层次的开放平台。目前我们的研究还属于较前沿的阶段,希望通过我们的努力最终达到预期的效果,为我国的建筑业的发展和进步贡献我们的一点力量。

4.1 CSP 术语界定

CSP 是 CAG architecture System Platform 的缩写,其中文全称是中国建筑设计院建筑体系平台。中国院尝试建立一个能够链接整个建筑产业的平台,为推动中国建筑产业现代化提供一个可能的解决方案。

一个体系的建立就是对相关社会资源有目的的建立一个关联逻辑,从而使其得以平衡、补充、发展,同时更合理的调节、释放资源潜能,以产生更大的复合效力。CSP 就是以建筑产品为核心,以建筑产品相关联的社会资源为对象,以统筹规划、集成设计、关联制造、系统维护、全程服务为步骤,以节能环保、安全可靠、高质高效、惠及社会为目的,以标准化的组织方式建立起来的贯穿建筑全生命周期的理论、技术和实施体系。

4.2 CSP 的理论体系

4.2.1 以人为本

CSP 的第一个理论基础是以人为本,任何建筑都是为人类服务的,建筑是供人使用的,只要是与人的行为活动有关,都是建筑学的范畴。建筑实质上就是生活的容器,要充分考虑人类的需求,尊重地方文化,体现人文情怀,真正意义上实现“以人为本”的朴素思想。

通过研究人体工程学和尺度空间理论,从使用需求出发,考虑到人在建筑物中的行为活动,提供给人们更好的生活环境,在满足人们不断增长的物质和文化需求的同时使其自身探索能力和创造能力不断地提高。

4.2.2 系统论

系统论,又称系统科学,是一门最近几十年兴起的思想体系,由理论生物学家 L.V.贝塔朗菲提出的,贝塔朗菲这样写道“亚里士多德的论点‘整体大于它的各部分的总和’是基本的系统问题的一种表述,至今仍然正确。”^[1]系统论的核心思想是系统的整体观念,L.V.贝塔朗菲强调任何系统都是一个有机的整体,它不是各个部分的机械组合或简单相加,系统的整体功能是各要素在孤立状态下所没有的性质。他用亚里士多德的“整体大于部分之和”的名言来说明系统的整体性,反对那种认为要素性能好,整体性能一定好,以局部说明整体的机械

论的观点。

CSP 将系统论的思想借鉴到建筑科学里，将建筑物看作是一个系统产物，而不只是构件的简单叠加。将系统论作为 CSP 的理论基础，目的在于通过先进的技术手段，调整建筑系统结构、协调各部分之间的关系，使整个建筑系统达到最优。只有建筑物的各组成部分有机地组合在一起，才能使建筑体成为一个完整的、优质的、可使用的产品。

4.2.3 可持续发展论

可持续发展理论（Sustainable development）源于在经济增长、城市化、人口、资源等所形成的环境压力下，人们对“增长=发展”的模式反思。1987 年联合国世界环境与发展委员会发表的报告《我们共同的未来》中，关于可持续发展的定义是：可持续发展是既满足当代人的需要，又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展。

CSP 正是基于可持续发展的需求，针对当前建筑业存在的高消耗、高污染、低效率、低质量的问题而提出的，其关注点不仅在工艺或技术体系上，更重要的是其对社会、经济 and 环境的积极影响。

4.3 CSP 的核心思想

在业内，长时间以来对建筑的理解和细分因目的的差异、视角的差异、认识的差异等原因产生了结果的差异，不是孰是孰非，只是因不同果自异而已。在科技、经济、社会日益发展的今天，用单一的视角、传统的认知去理解和细分建筑显然已经不合时宜，而当我们换一个思维方式，换一个审视角度去看、去理解建筑时，会得到一些有别于以往的结论，这些结论有助于加深我们对“建筑工业化、住宅产业化、产业现代化”的认识，有助于找到使其尽早实现的方法。这些结论与传统认知的差异正是 CSP 的出发点，是 CSP 理论体系、技术体系、实施体系、平台体系的构建基础，在此基础上加以分析、归纳、总结，逐步形成了 CSP 的核心思想。

CSP 的核心思想包括：建筑成品论、建筑三分法、平行均衡原则。

4.3.1 建筑成品论

房屋建筑是一种建筑产品，在建筑经济学中建筑产品的概念是指建筑业向社会提供的具有一定功能、可供人类使用的最终产品，是经过勘察设计、建筑施工、构配件制作和设备安装等一系列劳动而最终形成的[3]。产品是有标准的，与部品、部件、半成品有着本质上的不同。在“车轮世界”的今天，我们很容易买到各式各样的汽车，有低配、高配，也可以个性化，但很难买到“毛坯”汽车，在大众的认知中，它不是一个完整的、可使用、可交易的产品。

当我们从完整的、可使用、可交易的产品的角度去审视、分析、界定建筑时，不难发现建筑也是一种产品，一种具有一定使用功能、具备必要使用条件、可使用、可交易的产品，这一结论界定了建筑的目的性、产品特性和商品属性。很明显在我国长期以来存在的毛坯房不是一个完整的建筑产品，不具备完整的建筑产品性能评定要素，只能叫做建筑半成品。从半成品到成品的过程中不确定、不可控的因素很多，出现私拆乱改以致危及建筑安全事件频发的现象也就不足为奇了。

从建筑半成品到成品之间还存在着资源浪费、产业结构不合理的现象,从使用者角度看,需要耗费足够多的时间、精力和金钱,才能使半成品建筑达到使用要求,且不够专业化;从装修市场角度看,业主零散化,管理不规范,过程缺乏关联,导致市场交易混乱,占用社会较大资源,很难实现工业化的生产建造模式。

为解决以上问题,CSP 提出建筑成品论,即以建筑成品为研究对象,拆分梳理其制造过程中设计、生产、装配、运维等要素的关联性;用现代科技手段实现完整的建筑产品的制造,并保证其科学性、实用性、安全性、多样性;强调建筑的整体性,过程的关联性和结果的安全性(图 8、图 9)。



图 8 CSP 建筑成品展示样板间一



图 9 CSP 建筑成品展示样板间

4.3.1.1 建筑三分法

建筑种类繁多、式样万千,这个丰富多彩、让我们生存栖息的建筑世界到底是如何构成的?结论一定让人眼花缭乱。建筑的差异性让人们看到多样的建筑,也容易让人忽略了那些差异中内含的共性,这是一个差异与共性并存的世界。而当我们从建筑构成、功能特性的角度来系统的拆分、梳理建筑时,可以清楚的看到建筑是由三大部分组成的——结构支撑体、外围护体、内填充体,各个部分既具有自身相对独特的功能要素,又具有各部分间相互依存的关联要素,缺一不可。

建筑三分法的前身是 SI 住宅体系。SI 体系将住宅分为不可变和可变的两部分,其中不可变的部分不仅包括主体结构,也包括不允许住户变动的部分,如非承重分户墙、外围护体和公共管井等,这样划分的出发点是让住户可以根据自身需求,灵活设计、改变私有居住空间,以提高住宅的适用性和使用寿命。SI 住宅体系为我国住宅产业的现代化发展提供了一个先进、可行的解决方案和发展方向,可以延长住宅使用寿命、提升住宅品质、促进社区和城市的可持续发展。在全面推行建筑产业现代化的形势下,其基本理念完全可以推广至其他类型的民用建筑,而在其外延扩展之后,有必要对这一理论体系重新进行梳理。首先,除住宅以外的民用建筑基本无法以控制权的概念进行空间和构件划分,只能以功能和耐久年限进行划分;同时,在建筑实践中可以发现,外围护体实际上是介于可变和不可变之间的部分,从建筑本身的构成上来说,外围护体应属于非支撑体,然而由于其功能上的公共属性,又在一定程度上具有不可变的特性。在实际情况中,外围护体寿命往往是介于结构支撑体和内填

充体之间的，而当建筑功能发生较大改变或有其他需要时，外围护体又可能单独或者和内填充体一起被改变。可见，从功能角度和可变性角度来看，外围护体应该被独立划分，而所有建筑内部的非结构构件和部品都属于内填充体的范畴。CSP 建筑三分法的思想由此产生，即从建筑的本体构成出发将一个完整的建筑体分为结构支撑体、外围护体、内填充体三个部分。

在建筑中用于承载、传导、分解建筑自身和外部荷载的结构体统称为结构支撑体。很明显预制混凝土结构（PC）、钢结构、木结构等都是适应建筑工业化生产、装配的先进结构形式，这些结构形式近两年的快速发展和应用代表着我国建筑工业化已取得了长足的进步。建筑结构工业化是建筑工业化的重要环节，但不是建筑工业化的全部。

用于结构支撑体外部，具有保温隔热、防风防雨、避雷防辐射、采光遮阳、装饰美化等功能的非结构支撑构件，因功能和设计需要而设置的挑阳台、凸窗、附加构件等统称为外围护体。大众能够直接感受到的建筑识别信息，如建筑的风格、色彩、材质等等都是由外围护体表达出来的，这是外围护体除了安全防护、保温隔热、采光通风等基本功能要求外的一个重要作用。

在结构支撑体、外围护体构筑的建筑空间内，为分隔空间而设置的墙体、隔断、天花等，为使用需要而安装的设备、管线、功能部品等，为舒适美观而添加的装饰部品等统称为内填充体。内填充体决定了建筑内部空间的功能属性，同一栋建筑物，当添加酒店客房设施为内填充体时，该建筑的功能属性即为酒店；当添加医疗病房设施为内填充体时，该建筑的功能属性则变为医疗设施。

CSP 建筑三分法是对建筑进行研究、分解的一种分类体系，建筑作为一个完整的产品，结构支撑体、外围护体、内填充体这三部分既自成体系又相互关联、不可分割。

4.3.2 平行均衡原则

在“建筑成品论”的理念基础上，CSP 制定了建筑产品构成体系的平行均衡原则。平行指的是建筑构成体系（结构、外围护、内填充等）和项目实施体系（规划、设计、制造、安装、运维）中各项技术研发、推广应用的同步性；均衡强调的是发展均衡、技术均衡、配置均衡、质量均衡、服务均衡。从建筑产业链的角度分析，产品构成体系中任何环节的滞后，都会制约整个产业链的发展。比如在强调建筑结构工业化的同时也应重视外围护和内填充部分的工业化发展，只有建筑结构工业化无法全面提升和保障建筑产品的综合品质，还会造成建筑产业链发展的严重失衡；再比如在设计、生产、施工环节中建筑工业化已经有了相当程度的发展，后期的物业运维管理也必须对工业化建筑进行研究和学习，制定出相应的管理模式，才能让部品易维修、可更换等工业化建筑的优势得以体现。因此，只有平行推进、均衡发展，建筑产业现代化才会协调发展。

4.4 CSP 技术体系

在统一的技术标准指导下，CSP 通过并行开发、开放接口、容错纠错、可视施工、数据链接等技术措施，将建筑体系的不同构件、产业链的不同环节紧密的联系在一起，形成有机的整体

4.4.1 统一标准

CSP 是建立在统一技术路径的前提下的。在推进建筑工业化、产业化的进程中，企业会根据自身的认识和各种客观条件，选择适合自身发展的技术体系、技术装备，制定产品规划，往往出现虽属同一类产品但在技术发展方向上的差异却很大。在单一类别的产品上存在技术方向、路径的差异是可以理解的，但在建立整体的、相关联的技术实施体系时，涉及到不同的行业、企业，技术，产品种类繁多，要做到平行推进、均衡发展就必须选择统一的技术路径。以点带面、有序推进、均衡发展是制定统一技术路径的基本原则，在这一原则的指导下，确定相关联的技术发展方向和目标，编制、制定相关联的技术实施体系框架、实施原则、推进阶段计划和方案等，从而达到资源融合、技术融合、功能融合，市场融合，才能够实现协同发展、各方共赢的目的（图 3）。



图 10 CSP 标准体系

4.4.2 并行开发

指对形成建筑产品的各种要素及其制造、运输、施工、运维等相关生产运行过程同期进行一体化设计的一种系统化的设计开发模式。传统建设项目一直采用的是一个阶段结束后再进入下一个阶段的串行工作模式，由于专业不同、考虑问题的角度不同，上一阶段的工作往往不会考虑下一阶段的需求。这种方式不可避免地会产生各种问题，比如施工图阶段发现设备空间不够，只得回去改方案；施工阶段发现所选材料运输成本过高，只能回去改设计，造成人力、物力、时间成本的损失。CSP 借鉴制造业中并行工程这一先进的产品开发模式，建立建筑产品并行开发的工作体系（图 11），力图从产品策划阶段就全面考虑



图 11 CSP 建筑产品并行开发模式

建筑全寿命周期内的所有相关因素，以提高工作效率、缩短整体建设周期、降低全周期成本、确保产品质量。

4.4.3 开放接口

指不同企业的构件和部品实现适配连接的技术，既包括实体接口也包括信息接口。接口技术使原本割裂的建筑生产过程（从规划、设计、生产、运输、安装到运行维护）和专业分工（建筑、结构、机电、装修）紧密联系在一起，使不同技术、不同性质的部品能够有效、高速、顺畅地连接。CSP 是一个开放的平台体系，符合 CSP 统一标准的构件、部品和技术都可以通过开放接口成为 CSP 的组成部分。

4.4.4 容错纠错

建筑成品是由众多的部品部件组合而成，涉及的部品种类和制造厂家繁多、生产周期长，受各种外部条件影响大，在制造过程中必然会产生较大的公差，这是建筑工业化生产必须解决的一个关键问题。为避免因累积公差带来建筑产品的质量、安全隐患，CSP 除建立相互关联的质量监管体系外，在部品部件的设计中，特别强调相关联的部品部件设计必须考虑适度的容错量，建筑部品设计必须在合适的位置留有适当容错空间。同时，在建筑部品装配过程中，技术管理人员通过对各种部品部件容错量的合理使用，来分解、消除装配过程中产生的各种公差，达到纠错的目的。容错与纠错是工业化建筑生产与装配相互关联的重要技术手段之一。

4.4.5 可视施工

与传统的施工方法不同，CSP 力争减少或消除在结构支撑体内的各种管线预埋。在设计阶段利用科学规划空间、结合装修部品设置管线夹层等方法，在施工阶段通过合理的流程安排、按序施工，达到管线、设备、功能部品等的现场可视施工（图 12、图 13）。可视施工的目的不仅是保证施工质量可检、可控，更重要的是后期可以方便地进行可视维护、可视更换，这一过程对结构支撑体不会造成任何影响，从而保证了建筑在寿命周期内的结构安全性。CSP 涵盖建筑生命周期的各个阶段，施工可视、质量可控、部品可换是 CSP 追求的目标之一。



图 12 电气线路的可视施工



图 13 完成后效果

4.4.6 数据链接

数据链接是指产业链前后环节的信息传递与共享，是实现并行开发的必要手段。通过信息集成，实现设计数据与部品加工中心、施工现场、后期物业管理数据的连通。在科技发展日新月异的今天，信息技术的开发水平和应用程度几乎可以代表一个国家、一个行业、一个企业的现代化水平。对于建筑行业来说，只有实现了设计、生产、施工、运维这几个环节之间的数据链接，才能真正实现建筑产业现代化

4.5 CSP 实施体系

CSP 的实施体系由统筹规划、集成设计、关联制造、整合施工、系统维护五部分组成，是一个涉及建筑全产业链、涵盖建筑全生命周期的全程服务体系。各个部分既具有相对独立的阶段任务，又具有承上启下的关联要素，在前期的统筹规划和集成设计阶段需要考虑到后期的生产、施工和运维，后期的生产、施工和运维也需要依赖前期集成设计和信息化数据作为前提条件和基础，是不能被割裂的，各阶段环环相扣构成了整体的 CSP 实施体系(图 14)。

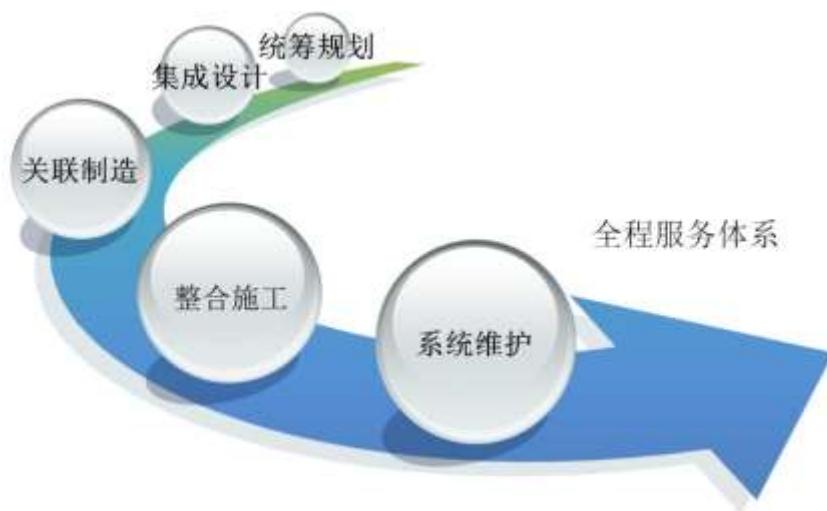


图 14 CSP 实施体系

4.5.1 统筹规划

在全程服务体系（技术软件）的支持下，开展包括环境（场地）规划、产品规划、能源

规划、环保规划、成本规划、运营规划等实施前的必要工作。统筹规划是一种分析问题和解决问题的方法，将建筑作为一种具有一定使用功能，具备必要使用条件，可使用，可交易的完整的成品，通过对建筑成品整体目标的分析，选择适当的手段去描述整体的各部分、各部分之间、各部分与整体之间及它们与外部环境的关系和相应的评审指标体系，进而综合成为一个整体，用以进行分析并得出全局的最优决策以及与之协调的各部分的目标和决策。

4.5.2 集成设计

在全程服务体系（技术软件）的支持下，严格遵守统筹规划意见书的要求，进行产品的标准验核；开展技术集成、部品集成、综合信息（数据）集成等产品集成设计；建立二维、三维、数据等产品设计信息链；完成综合设备管线、部品部件和建筑产品总成等设计，支持并指导关联制造、整合施工、系统维护的运行。CSP 的集成设计是与制造进行关联的第一步，一个项目一旦进入集成设计阶段（可对应于传统设计的施工图阶段），就意味着该建筑产品已完成前期相关策划和设计工作，标志着要开始为关联制造和整合施工进行技术准备。

4.5.3 关联制造

在全程服务体系（技术软件）的支持下，依据集成设计提供的产品设计信息链，完成系统拆分、系统配置、系统加工、系统配送、系统安装、系统调试、系统验收的工作。制造是建筑产品完成过程中一个重要的环节，随着工业化和信息化的发展，手工生产和纸面方式的信息传递已经显现出了它的不足之处，CSP 通过前期产品的集成设计，依靠信息数据的有效传递和系统的分解，从而实现高精度、高完成度的工业化部件部品的生产，再通过对部件进行电子数据化的识别，实现系统的配送、安装、调试、验收和后期的维护。

4.5.4 整合施工

在全程服务体系（技术软件）的支持下，采用工程总承包的一体化项目实施模式，依据产品设计信息链，实行施工全程信息化、精细化管理，整合协调场地、物料、设备、技术、人员、资金等各方面需求和资源，实现设计、制造、施工的高度集成。在工程总承包的模式下，CSP 的施工策划在集成设计阶段就已制定完成，并在产品设计信息链中形成控制数据，明确部件部品的生产计划、配送信息和工序安排，以确保集成设计的成果能够准确、高效地得到落实。

4.5.5 系统维护

建筑作为一种产品在供人使用的过程中会出现不同程度的老化和破坏，CSP 通过前述全过程详细精准的数据信息链的建立，明确把握建筑变化的过程和所处的状态，对建筑进行及时的维护和管理。既然建筑是一种产品，那么产品随着用户的使用就会涉及到维护、维修和更换零部件，就像汽车一样，我们要定期的对汽车进行维护和保养，建筑也一样，建筑物的各个部分和各种材料的寿命周期不同，随着时间的变化和用户的使用情况，各种材料之间会出现自然或人为的改变，CSP 关注建筑产品的长期维护和部品部件的更换，包括建筑发生功能性改变时各部分的可更换性

4.6 CSP 平台构想

在平台思维盛行的今天，各行各业都在试图通过平台的理念寻找资源整合、创新发展的机会，思想、技术、市场、利益的关联性是构筑平台的本质基础，在市场经济下，共同利益、共同发展、共同生存是平台聚合众多企业的核心要素。

CSP 涵盖建筑领域的方方面面，涉及到体系建立、系统整合、技术研发、标准制定、试点示范、政策指引、推广应用等各个阶段的系统工程。CSP 力求构筑一个多层次的开放平台，在政策指引下，通过以点带面、有序推进的方法，达到系统研发、行业互联、各方共赢的目的。

4.6.1 开放的系统研发平台

中国院经过多年的探索和实践，逐步明确了 CSP 的发展方向，用现代科技手段建立了完善的技术体系和全程服务的实施体系。为使体系建设更加科学、合理、完善，CSP 在统一的技术路径、标准的指导下，面向国内外有识企业、院校、科研单位等建立起一个开放的系统研发平台。强强合作，优势互补，共同研发、共同拥有的态度是 CSP 系统研发平台的优势所在。

4.6.2 开放的行业互联平台

CSP 的核心要素是关联，把过去房屋建设过程中独立的、分散的单项技术、工艺、阶段等关联为一个互相配合、互相支撑、互相制约的整体，实现建筑设计、部品生产、系统配送、施工安装、运维管理等各个阶段的互联互通，达到生产高效率、建设高速度、房屋高品质、服务高质量的目的。在标准认证体系框架下，CSP 为相互关联的建筑、制造、物流、服务、保险、金融等不同行业的众多企业建立一个开放的行业互联平台，为企业关联生产、关联服务、关联保障提供支撑，为产业结构转型提供路径、为产业融合、行业融合、协同发展提供平台。

4.6.3 开放的各方共赢的平台

CSP 体系的房屋建设是在统筹规划、集成设计、关联制造、整合施工、系统维护这样一个全程服务体系的支撑下完成的，为设计、生产、物流、施工、服务、认证、保险、金融等众多企业提供了互相关联的商机。关联的技术带来关联的产品、关联的企业、关联的服务以及关联的市场、关联的利益，这是一个建立在统一技术路径、标准、认证体系下的各方共赢的平台。在这个平台上资源共享、责任共担、利益共赢。

4.7 小结

在现代数字信息技术的支持下，装备技术的发展可以说是革命性的，速度之快、领域之广、影响之大是我们难以想象的。它不仅改变了传统的生产方式，提高了生产效率，拓展了生产领域，实现了各阶段、各企业、各行业的数字化高速契合链接，更重要的是改变了我们固守已久的思维方式、工作模式和技术体系。

CSP 就是建立在统一标准、规范下，用标准化的组织方式集合相关产业资源完成建筑成

品从策划到设计、制造、施工、维护全过程的体系平台。**CSP** 充分发挥现代科技和装备技术优势，用标准化的生产管理方式、智慧制造的手段，实现连接技术标准化、终极产品个性化的目标，以期满足更多的社会需求，并为中国建筑产业现代化的发展做出有益的尝试。

5 内填充应用技术

CSP 对符合自身思想逻辑的技术都持开放态度，认为各种技术类型都有其优、缺点和适应性，每个项目应根据具体情况进行系统选型。在系统选择时，应对项目所在地区、服务人群、造价要求等进行综合分析，针对每种方式的功能性指标和经济性指标进行综合评判。

相对支撑体的长寿命体系，内填充体采用灵活、可变性的策略应对建筑的使用寿命和使用者需求的快速变化、个性化要求等。在保证内填充体快速、便捷更换的条件下，坚持与支撑体分离的原则，避免因填充体的变化对支撑体性能产生不良影响。为应对内填充体可变性策略的技术手段和工业化生产的需求，内填充应用技术多采用干法施工技术和各种集成技术。

5.1 应用技术分类

CSP 应用技术包括设备系统、部品系统两大类（表 1）。其中，设备系统分类包括给水系统、排水系统、电气系统、采暖系统、空调系统、新风系统、智能系统；部品系统系统包括隔墙系统、天花系统、地面系统、门窗系统、设备管线、木作部品。

表 8 应用技术分类

分类	设备系统	部品系统
类型	给水系统	隔墙系统
	排水系统	天花系统
	电气系统	地面系统
	采暖系统	门窗系统
	空调系统	设备管线
	新风系统	木作部品
	智能系统	——

5.2 典型应用技术

5.2.1 隔墙系统

隔墙系统是内填充体的重要组成部分，对空间起着分隔、组合、引导和过渡的作用。综合考虑内填充体特点、建筑工业化的需求，隔墙系统不仅应满足隔声、防火、防潮、强度、稳定性等的性能要求，还应改变传统内隔墙的作业模式，实现工厂生产、现场装配、便于维

护和拆除。

通过对国内、外隔墙市场，国内现行标准、图集进行背景研究，并对国内主要使用的混凝土条板、石膏条板、纸蜂窝复合条板、轻钢龙骨石膏板、钢板网内模石膏板喷筑墙、NALC 蒸压加气混凝土板等隔墙进行分析研究，CSP 将隔墙系统划分为工厂生产现场组装、工厂组装现场拼装两种模式（表 9）。隔墙选型建议根据内填充体隔墙要求、产品定位进行选择。其中，前者建议采用轻钢龙骨石膏板隔墙、纸蜂窝复合条板隔墙、NALC 蒸压加气混凝土板隔墙。后者建议采用 CSP 自主研发的拼装隔墙。

表 9 隔墙分类

分类	工厂生产现场组装	工厂组装现场拼装
类型	轻钢龙骨石膏板隔墙、 纸蜂窝复合条板隔墙、 NALC 蒸压加气混凝土板等	CSP 拼装隔墙

CSP 拼装隔墙是基于统一的技术路径和标准进行的专项部品研究系统。以下结合隔墙系统分类、拼装、优势三个方面予以说明。

（1）分类

隔墙系统按使用位置分为分户隔墙、分室隔墙、功能隔墙三类（表 10）。其中，分户隔墙具有高安全性，高耐火性，主要用于分户及特殊功能房间等的分隔；分室隔墙具有一般安全性，耐火性，主要用于分室及功能房间等的分隔；功能隔墙具有一般安全性，耐火性，主要用于管井封闭，装饰隔墙等。

表 10 CSP 拼装隔墙分类

分类	分户隔墙	分室隔墙	功能隔墙
介绍	具有高安全性，高耐火性，主要用于分户及特殊功能房间等的分隔。	具有一般安全性，耐火性，主要用于分室及功能房间等的分隔	具有一般安全性，耐火性，主要用于管井封闭，装饰隔墙等。

（2）拼装

拼装过程仅需经过综合放线、五金固定、立板、调整及固定隔墙板、饰面处理即可完成（图 15）。



图 15 隔墙拼装

(3) 优势



CSP 隔墙系统采用了设计集成，工厂生产、组装，现场固定、装配的拼装模式，大幅度提高了隔墙的拼装效率、质量和精度，有利于安装和后期更换。采用的材料可循环再生，节省资源，降低成本。其中，分室隔墙是由强质薄板、金属边框及配件组合而成的复合结构。墙体内腔添加绝热吸声材料，满足不同空间墙体的性能要求；墙体表面平整，并可根据空间使用需求在工厂加工成具有不同饰面的墙体。

5.2.2 给水系统

给水系统分为并联、串联两种模式，以下结合两者定义、优缺点予以说明（表 11）。

表 11 给水系统

类型	并联	串联
定义	给水供水干管从户外接至户内的给水分水器，	给水供水干管从户外接入，每个用水点通

	<p>每个用水点供水管直接从给水分水器单独接出；</p> <p>热水从户内的燃气热水器/ 电热水器/...接出，接至户内的热水分水器。然后通过热水分水器单独接至每个用水点。</p>	<p>过供水支管与干管相连；热水从户内燃气热水器/ 电热水器/...接出，通过支管接至每个用水点。</p>
示意图		
优点	<ol style="list-style-type: none"> 1、多点用水时水压稳定 2、单一用水点发生漏水后，仅需关闭对应的分水器支路，不影响其它用水点使用 3、接头最少，系统最安全 4、优选 PB 管，可工厂完成热熔、打压、检测工作，现场仅需简单安装 	<ol style="list-style-type: none"> 1、市场占用率大，使用、安装、维护技术成熟且认知度高 2、市场常用 PPR 给水管道，成本低 3、空间占用少，系统简单
缺点	<ol style="list-style-type: none"> 1、不常用的用水点水体循环少，可能会出现细菌滋生； 2、空间占用多，系统复杂度高 3、管材较长，成本较高 	<ol style="list-style-type: none"> 1、连接管件较多，国内现有管材品质、管件、安装工艺水平等原因使管件连接处容易出现漏水 2、漏水点不易查找 3、单一用水点发生漏水后，需关闭进户水阀，停止用水，直至维修结束

除考虑给水的系统外，应同时分析管材、成本等内容。给水系统选型建议根据内填充体给水系统要求、产品定位、建筑高度、市场管材品质、安装工艺、成本等条件进行综合选用。

5.2.3 排水系统

目前，国内住宅建筑的排水工程设计包括隔层排水、同层下排水、同层后排水三种做法（表 12）。隔层排水系统占据市场绝大多数，同层排水系统使用数量较少，且多以同层下排水为主。以下结合三种做法的定义、优缺点予以说明。

表 12 排水系统分类

类型	隔层排水	同层排水	
		同层下排水	同层后排水
定义	指接纳卫生器具(如坐便器、浴缸、淋浴器等)的排水支管均在设置设备的下层接至排水立管，即排水支管需要穿越楼板的一种排水方式。	指接纳卫生器具(如坐便器、浴缸、淋浴器等)的排水支管均在设置设备的同一层接至排水立管，即排水支管不需要穿越楼板的一种排水方式。	
		即结构在需要敷设排水横支管处将楼板相应降低 250~350mm，待排水管道安装后，用轻质材料填实，再做找平防水层。	即接卫生器具的横支管走在夹墙内，一般在原有隔墙外再砌一道假墙，先安装排水横支管，再砌墙，一般净空在 150~200mm，加工墙厚总厚度控制在 300mm。 95 课题采用部品与管道相结合的方式，无假墙。在解决排水系统的同时增加了储物功能。
示意图			
优点	1、造价低 2、渗漏率较同层下排水低	1、房屋产权界限明确 2、卫生器具在卫生间区域内	1、房屋产权界限明确 2、卫生器具选用侧排水，无卫生

		<p>可灵活布置</p> <p>3、排水噪音小</p>	<p>死角</p> <p>3、减少渗漏、易于更换和维修</p> <p>4、排水噪音小</p> <p>5、平整的结构楼板增加卫生间净空高度 ,为空间布局提供多样可能</p> <p>6、便于清洁、有益健康</p>
缺点	<p>1、房屋产权界限不明确</p> <p>2、排水噪音、管线漏水易对楼下产生影响；</p> <p>3、卫生器具布置相对固定，不能灵活改动</p> <p>4、存在卫生死角、异味</p> <p>5、铸铁管、塑料管等管子长时间埋地，因热胀冷缩、震动等因素影响，地面混凝土容易引起开裂，影响防水层使用，建议使用同层后排水的方式。</p>	<p>1、管道埋在降板沉箱内，维修和更换管道不便；</p> <p>2、卫生间使用期间，水可能会渗透到回填层内，日积月累，回填层内会有积水存在，造成异味；</p> <p>3、铸铁管、塑料管等管子长时间埋地，因热胀冷缩、震动等因素影响，地面混凝土容易引起开裂，影响防水层使用，建议使用同层后排水的方式。</p> <p>4、卫生间净高受限；</p>	<p>1、成本较高</p>
选用	一般	一般	推荐
<p>注：相关数据统计显示，同层下排水渗漏率高达 50~55%，隔层排水渗漏率 2~5%</p>			

除考虑排水系统外，应同时分析排水管材、成本等内容。排水系统选型建议根据内填充体排水系统要求、产品定位、建筑高度、市场管材品质、安装工艺、成本等条件进行综合选用。并在可视施工的原则下，通过建筑、给排水、部品、部件的集成设计，对排水系统进行综合设计。

5.2.4 电气系统

以照明系统为例。

CSP 照明系统采用新型的低压照明系统(图 2)，照明端仅有照明芯片和基本稳流部分。电驱动由中央电源产生，并通过低压直流的方式传输到各个芯片端，将各个部分整体考虑，加强联系，明确分工，变成一个照明的整体控制系统。

电线采用带状电线敷设，配线不埋在主体结构内，直接黏贴在吊顶处，方便翻新更换，节省吊顶部分的空间高度。



图 16 低压照明系统

低压照明系统的节能效率非常高。同样照度下，7W 低压照明相对于白炽灯的综合节电效率为 88%，相对于节能灯的节点效率为 42%。

表 13 节能效率

暗调灯光	10%	25%	50%	75%
节省能源	10%	20%	50%	75%
延长灯泡寿命	2 倍长	4 倍长	20 倍长	比 20 倍长

5.2.5 采暖系统

目前，国内北方地区多采用散热器、低温热水地板和分户壁挂式燃气采暖三种方式，其它辅以中央空调、电热膜等采暖形式。以下结合三种常用采暖方式优、缺点予以说明。

表 14 常用采暖系统

类型	散热器	低温热水地板	分户壁挂式燃气
概述	<p>在我国的家用采暖中占主导地位，以对流传热为主。</p> <p>温度较高的热媒在暖气散热片内流过时，热媒所携带的热量通过暖气散热片不断地传给温度较低的物体，从而实现热能的温差传递</p>	<p>将地板表面加热至一定温度，依靠地板的热辐射加热室内空气的采暖方式</p>	<p>由常规低温热水地板采暖（常规型）发展而来，薄型较常规型做法薄约 30~40mm，采用干法施工，若地面材质是木地板，省去地暖管上垫层的做法。</p>
优点	<p>1、升温速度快，一般 20~30 分钟左右能达到舒适的温度</p> <p>2、较空调采暖舒适度好、燥热程度好</p> <p>3、采用燃气锅炉作为热源，可兼顾采暖和生活热水两重需要</p> <p>4、材质众多、造型各异，既可以达到采暖效果又有装饰的作用</p> <p>5、不占用层高空间</p>	<p>1、室内温度均匀性好，大面积加热，室内温度均匀</p> <p>2、温度阶梯符合人体生理要求</p> <p>3、美观、卫生、不占用使用空间</p> <p>4、热稳定性好、适应性强</p> <p>5、维护费用低，寿命长（40 年）</p>	<p>1、地面整体做法减薄</p> <p>2、干法施工，工厂生产，现场拼装、布管，省时高效</p>
缺点	<p>1、舒适度较水地暖、电地暖差</p>	<p>1、增加楼层荷载</p>	<p>1、寿命约 15 年，更新维修费</p>

	2、占用室内空间，对装修会造成一定得影响 3、供暖期前后无热源	2、厚度较厚，占用空间 3、对地板质量要求高，持续加热情况下会挥发气体	用由业主承担； 2、家中无人时需保留 4℃左右的低温运行（防冻） 3、热泵启动及火焰燃烧，噪音较大，存在一定的空气污染问题
--	--	--	---

除考虑采暖系统外，应同时分析区域环境、采暖管材、成本内容。采暖系统选型建议根据内填充体采暖系统要求、产品定位、市场管材品质、安装工艺、成本等条件进行综合选用。

6 室内空气质量

6.1 概述

室内空气质量（IEQ）包含了很多因素，旨在保障室内人居健康和高效环境。IEQ 包含以下几方面内容

类型	描述
室内空气品质	可感知的室内空气质量，是通过保证提供最少量的，去除颗粒物和微生物的室外新风。新风需要不断的排出室内污染物，如二氧化碳、氨等。
室内热舒适	热舒适包括很多室内因素，如温度、相对湿度、辐射温度、空气流速，以及室内人居参数，如衣服热阻、新陈代谢水平等
室内光舒适	光舒适的基本要求是为了保证室内空间各种活动的最小照度等级。同时，也包括充分利用自然光，减少人工照明能耗，通过适合的遮光设备以减少眩光，人员视线能够看到外界，且照明能由用户独立控制。
室内声环境	声环境通过隔离外部噪声改善。除了外部噪声影响外，还需要保证室内空间产生混响、隔绝户间噪声，以及室内如供暖、制冷、通风以及备用发电机系统噪声源。
其他方面	其他最佳的 IEQ 的措施，如使用绿色卫生的清洁方式、病虫害防治、通过设置吸烟区来阻止烟气扩散等。

本章的重点是室内空气质量。欧洲正在实施的关于室内空气质量项目，即欧洲合作计划（ECA）“城市空气，室内环境与人体接触”项目。ECA 项目已经运作了 25 年，其目的是实现为健康、可持续建筑建立框架。项目内容之一，是邀请不同学科专家共同分析多种影响到室内空气质量不同的影响因素，如热舒适、污染源、室内化学与生物污染的数量和质量、用

能情况以及通风情况等。为了这个框架，已经出版了关于以下三个主要影响因素和工作领域的 28 份系列专题报告：

- 1. 居民的健康和舒适。如 4 号报告：病态建筑综合症——实用指南， 10 号报告：室内空气污染物对人体健康的影响， 11 号报告：建筑物通风要求管理办法等。
- 2. 室内外污染物来源、评估及控制。举例来说， 1 号报告：室内氡污染， 6 号报告：室内空气化学物质取样策略， 20 号报告：室内空气质量感知评价等。
- 3. 室内空气质量相关的节能节材以及可持续发展。举例来说， 17 号报告：室内空气质量与建筑物能源应用， 23 号报告：通风，优良空气品质与能源合理应用等。

6.2 室内空气质量与居民健康

通常人们在室内度过大部分时间，因此建筑舒适健康环境对居民尤为重要。不健康的室内环境可能会问题，并导致病态建筑综合症（SBS）。病态建筑综合症的主要症状表现为，如眼、鼻、口腔、皮肤以及身体其他部位的不适感，同时对呼吸、免疫、内分泌以及生殖系统造成不良影响。有些室内污染物还可能致癌。下表列举了影响居民健康的主要因素：

因 素	来源/诱因	处理方式
物理因素	室内温度，相对湿度，照明和噪声	通过建筑设计，改善舒适度相关的系统（制冷和供暖系统）
化学因素	室内化学因素可分为以下：环境烟雾，乙二醇醚类，挥发性有机化合物（VOC），杀菌剂，异味和其他气体物质。	保证合适的通风，避免有害气体浓度升高
生物因素	霉菌、螨虫等微生物的产生	注意控制物理因素如相对湿度等，也要注意日常清洁与维护
心理因素	不同情况有差异，往往是其他因素刺激和结果，具有主观性，与具体事例相关	通过控制其他类型的因素而减轻不利影响

在室内可持续设计中，较差的材料和室内空气质量是导致病态建筑综合症的主要生物和化学因素，污染物会不断散发到室内。在这四大类因素中，乙二醇醚类和 VOC 主要是来源于室内装修材料，杀菌剂和其他异味主要来自空间功能、人员活动和新陈代谢等。因此，需要重点关注这两种影响因素。

类别	描述
醚类和 VOCS	<ul style="list-style-type: none"> 乙二醇醚类 <p>乙二醇醚类有两种类型，由乙二醇形成的 E 系列以及丙二醇形成的 P 系列。它们主要来自于黏结剂、涂料、油墨、清漆、清洁剂以及木制品如刨花板、胶合板和保温脲醛泡沫塑料。他们通常会影影响生殖健康以及诱发血液系统毒性。</p> <ul style="list-style-type: none"> 挥发性有机化合物 (VOCs) <p>主要由乙二醇醚类以及其他在室温下具有较高气压的有机化合物组成。主要是由家具、地板喷涂材料以及保护层中释放而来。他们会影响感知能力、呼吸和生殖系统，也会导致龋齿。</p>
杀菌剂和其他异味	<p>包括二氧化碳、一氧化碳、二氧化氮、臭氧以及二氧化硫等由人体新陈代谢产生的气体。</p>

6.3 室内空气质量评估

对室内空气质量中，针对醚类、VOCS 以及杀菌剂、异味的污染物的评估方法不尽相同。前者在浓度很低时也会对人体有害，而后者在浓度较高时才有害。因此，他们的评估方法以及后续的减量措施也略有不同。本章节将会讨论如何评估室内空气质量，下章节会对减量措施进行讨论。

6.3.1 醚类和 VOCS

查找污染源的关键是将各种化合物以及它们会对人体造成危害临界浓度列出。因此，一般用可测得的最小浓度（LCI）法，评估建筑材料释放不同物质对人体健康的影响。一份 EU-LCI 文件在欧洲广泛应用。这份文件列出了不同的化合物以及他们的阈值。EU-LCI 工作组已经建立了“欧洲统一的评估挥发物健康影响的参考阈值，该数值主要从‘可测得的最小浓度’（LCI）这一概念获得”。LCI 概念被定义为“室内环境中，通过专业判定得到的污染物浓度限值。超过最小值的，污染物会对人体健康产生危害”。

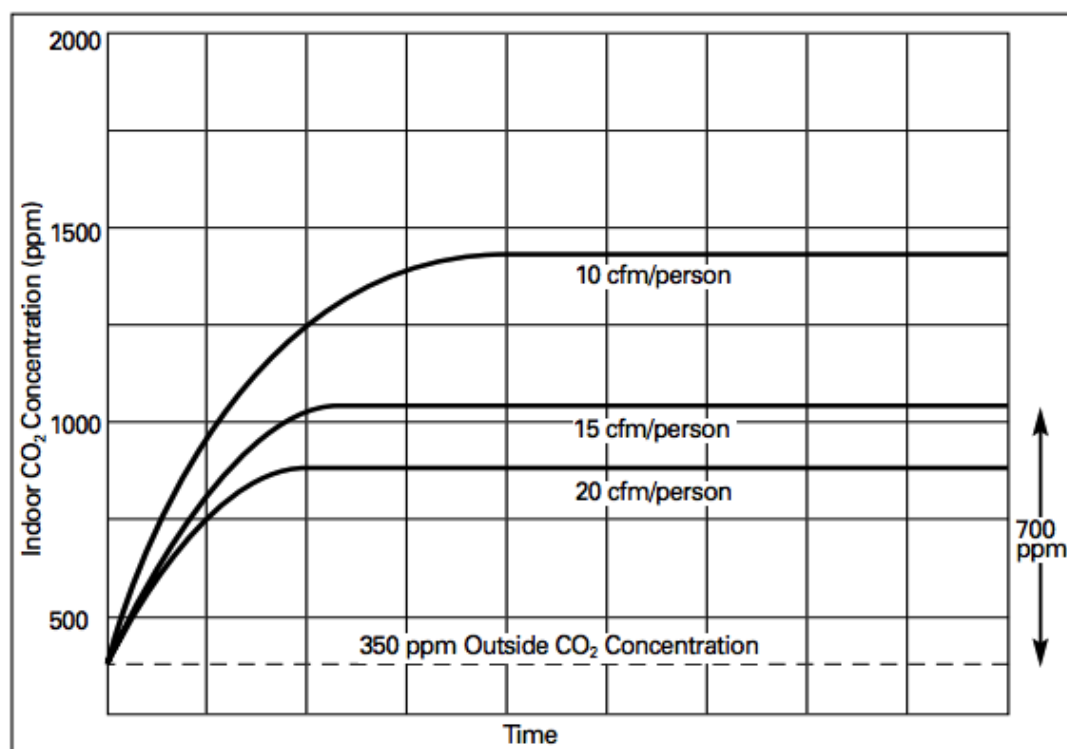
EU-LCI 的定义是，单一产品在实验室内放置 28 天后对健康无影响的挥发物参考临界浓度称之为 EU-LCI 限值。CEN TC 351/WG 2 拓展技术规范 TS 16516 规定的水平测试方法对实验过程有明确要求。EU-LCI 限值的单位是 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。为了强化 EU-LCI 限值的透明度，编制了数据汇编表和情况说明书，其中包含了相关的毒理数据、基本信息、评估因素以及 EU-LCI 限值来源等。汇编表格目前已经包含复合物 EU-LCI 限值，但可根据情况调整修改。

6.3.2 杀菌剂和异味

常用室内二氧化碳含量替代室内所有杀菌剂（不含醚类和 VOCS）含量的评估。特别是在住宅和办公环境的评估时采用。通常，室外 CO₂ 含量一般 250-350 ppm 左右。不同研究报告中对严格 CO₂ 浓度值及其影响的定义略有差异，通常有人活动且有新风的房间内，CO₂ 浓度值范围为 350-1000 ppm。当浓度上升到 1000-5000 ppm 时，虽然不会对健康造成严重影响，但会导致身体不适感，如嗜睡、头痛、倦怠等。实际应用中，通常按法规规定 8 小时加权平均计算（TWA），将 5000 ppm 规定为工作场所的限值。

ASHRAE 62.1，当室内 CO₂ 浓度高于室外浓度，且低于 700 ppm 是容易达到的舒适度标准。当室外空气 CO₂ 浓度为 300 ppm，且换气次数达到 15 cfh/人时，可以保证室内浓度维持 1000 ppm（1.8 g/m³）左右。不同的标准和手册对人体安全的 CO₂ 浓度许可限值、附加说明和相应的解释有所差异。下图显示了不同通风水平下的 CO₂ 浓度。加大通风量可以稀释 CO₂ 浓度，但也意味着更高的能耗。因此，下一章节将重点讨论如何维持平衡。

Figure 9: Equilibrium of CO₂ Concentration at Various Ventilation Rates



在主要功能房间内，距地面 3-6 英尺的高度安装 CO₂ 感应器/监测器，测定 CO₂ 浓度，或在机械通风系统回风口安装，以此监测区域内 CO₂ 浓度。通常感应器会与新风系统联动，当 CO₂ 浓度过高时会报警同时联动增加新风量，即按需控制新风。这种方法可以在确保适当新风的同时，优化能源利用效率。

Reference: Trane. 2002. Indoor Air Quality. A Guide to Understanding ASHARE Standard 62-2001. From: <https://www.trane.com/commercial/uploads/pdf/520/iss-apg001-en.pdf>

6.3.3 保证空气质量

居民可接受的室内空气质量一般通过降低室内污染物浓度实现。室内污染物浓度一般通过以下两种措施：

1. 抑制醚类和 VOCS 的来源：首先是施工前选择适合的室内装修材料和部件（包含醚类和 VOCS），尽可能从源头减少污染物浓度。
2. 适当通风:包含以下两部分
 - ✓ 完工入住前，在材料或部件安装后，保证适当的通风，入住前及时排出高浓度污染物（醚类和 VOCS）。
 - ✓ 住户入住后，保证室内适当通风时间（主要适用于杀菌剂和异味，对醚类和 VOCS 作用较小）。

6.3.4 减少醚类和 VOCS 污染物

6.3.4.1 施工前选择室内绿色装修材料

目前市场上室内装修及建筑材料非常丰富，有的材料和产品会污染土壤、空气、地表和地下水，并危害到居民身体健康。为了减少污染，DGNB 研究开发了保障人体安全、减少环境污染的方法。该方法主要分析各种材料、产品对土壤、空气、地表和地下水、以及人体及动植物的短期、中期、长期的危害程度。

如上所述，在材料选择时，尽量选择 VOC 和乙二醇醚类（如：甲醛）等污染物含量低的材料和产品，以减少这类材料在办公场所、住宅和其他功能空间释放和扩散污染物，确保居民健康的居住环境。

随着 IAQ 的深入研究，公众意识的不断增强，政府部门及一些 NGO 组织开发了一系列的 IAQ 认证体系。不同国家都有各自的认证体系和认证方法，也有不同的 TVOC、气味和 LCI 限值分类方式，例如环境质量分类,有的是逐日的，还是选择性的（接受与否）。

多数认证标识初期都基于自愿，如芬兰和丹麦认证体系，后来逐渐发展成强制认证，如法国的认证系统。在 ECA27 号报告中，欧盟对自愿性和强制性认证体系提出了统一框架体系。在 IAQ 认证中，明确了挥发物质含量很低的地板铺装材料“GEV-EMICODE”认证，以及挥发物含量很低室内装饰涂料“Blue Angel RAL-UZ 102”认证等。



EMICODE 是用以衡量黏合剂、密封剂、清漆等建筑产品中醚类及 VOC 散发量的认证

系统。根据实验室测试结果，分三个挥发量等级：EC2（低挥发），EC1（极低挥发），以及EC1 PLUS（超低挥发）。目前德国地板黏合剂 80~90% 市场份额获得 EMICODE EC1 和 EC1 PLUS 认证。



蓝色天使认证

蓝天使认证是世界上最早出现的环保认证，涉及 80 个产品种类，10000 多种产品。蓝天使认证主要应用于德国。申请认证的同时要申请 RAL 认证。德国已经编制了一系列室内装修低挥发材料的蓝天使标准。举例来说，室内装饰涂料“Blue Angel RAL-UZ 102”标准要求，最低的涂料的溶剂和甲醛含量，软化剂含量低于 0.1%，防腐剂含量应达到规定最小值。

欧洲范围内常用建筑材料监测方法以及认证标识列举如下：

- ✓ AgBB 认证 (挥发物含量测试)
- ✓ 建筑材料 Blue Angel - RAL UZ 认证(挥发物含量测试)
- ✓ TÜV 测试 (挥发物含量测试)
- ✓ IBR / IBN 检查 (建筑生物测试和挥发物含量测试)
- ✓ Nature Plus (挥发物含量测试，空气成分测试)
- ✓ Emicode - EC1 (胶水以及装置性材料中甲醛挥发含量测试)
- ✓ E1 and E1plus - (木质及橡胶材料中甲醛挥发含量测试)
- ✓ 其他地方性测试方法

绿色建筑评级标准	材料认证的要求
LEED 室内装修	<p>LEED 认证的室内空气质量的部分，明确了关于 VOC 含量的得分点。</p> <p>可以通过满足两个选项之一来得分，即每种不同的材料和组件满足排放量或组成成分的标准。</p> <p>在总排放量评估中，建筑所选择的产品必须遵循加利福尼亚公共卫生部</p>

	<p>(CDPH) 标准方法 v1.1–2010。根据标准规定的方法进行 14 天 (336 小时) 测试, 将 VOCs 含量按以下三个范围归类 : 小于等于 0.5 mg/m^3 ; $0.5\sim 5.0 \text{ mg/m}^3$; 大于等于 5.0 mg/m^3 。</p> <p>现场湿作业的产品如油漆和涂料、黏结剂和密封剂必须满足相关标准规定的 VOC 挥发量限值, 例如加州空气资源委员会 (CARB) 对甲醛的挥发量有相关规定。</p> <p>CARB 规定, 如 E-717:2004 标准等规范要求的测试, 复合木材甲醛含量浓度限值不得超过 0.05 ppm ($0.06 \text{ mg/m}^2\cdot\text{h}$) 。</p>
英国 BREEAM 2014 翻新与装修	<p>在施工后, 入住前进行TVOC浓度测试。根据建筑规范要求, 应满足连续8小时测定值不大于$0.30/\text{m}^3$。此外, BREEAM对建筑部品产品还有VOC含量的要求。它列出了8种不同部品种类, 至少满足其中5类产品应满足相关规范规定的测试要求及VOC挥发量限值。</p>
DGNB-德国可持续建筑委员会	<p>DGNB 对独栋住宅的要求是, TVOC 含量在 $0.2\sim 0.3 \text{ mg/m}^3$ 范围内, 且其他醚类和 VOC 污染物中, 甲醛含量不得高于 0.1ppm。</p> <p>所有复合木材、湿作业涂料、油漆、涂层、密封剂以及聚氨酯、沥青、塑料、油及蜡制品, 均应按照 GISCODE 相关标准进行使用和黏合。</p> <p>室内外所有涂料的 VOC/甲醛含量应满足 RAL-UZ 准则 (“蓝天使认证”), 所有黏合剂如有机硅、地毯胶、环氧树脂产品等的 VOC/甲醛含量满足 RAL-UZ-, GEV-EMICODE 或 GISCODE 的相关规定。</p>
中国绿色建筑评价体系	<p>室内空气质量应满足室内空气质量标准 (GB/t18883)。TVOC含量不得高于0.60mg/m^3。</p>

除了室内空气质量相关的认证, 建筑还有其他针对较低环境影响认证系统。如 BRE

Global 开发的 GreenBookLive 认证，同时也作为第三方为 BREEAM 可持续建筑评估，验证建筑产品是否为环境友好，并拥有相应的产品库。

6.3.5 合理选择室内装修材料—以 DGNB 认证系统举例

以 DGNB 认证系统为例，阐述如何有效选择建筑装饰材料、产品，尽可能减少对人体以及环境产生影响。如前所述，为了实现安全室内空气质量，必须减少并限制建筑材料和产品中 VOC 和乙二醇醚类（例如甲醛）含量。

DGNB 认证系统

DGNB 认证系统（Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen;德国可持续建筑委员会）涵盖了所有可持续建筑的主要评价方面：环境、经济、社会、功能、技术、工艺和选址等。它按照建筑全生命周期的影响评价，对城区或建筑的可持续承诺进行评估，特别是那些对建筑的感知和健康有所要求的居民。DGNB 评价不是单一技术和方法，而是对建筑或城区规划的总体性能评估。

6.3.5.1 方法

室内空气质量是 DGNB 认证系统的关键部分：通过对 TVOC 挥发测试得出，将 VOC 挥发量降至最小值，可以实现良好的室内空气质量。

（1）工程前期方案设计阶段，某些特定材料、产品中的关键物质含量需要参照 DGNB 中的相关要求关注 and 查证。应重点考虑下列建筑组件：

- ✓ 楼板，包括地基
- ✓ 外墙构造
- ✓ 隔墙构造
- ✓ 天花板构造
- ✓ 屋顶构造
- ✓ 地下车库（需单独考虑）

DGNB 所有材料目录的建筑材料和组件都可以考虑。根据不同临界值要求（表格#）各种材料和组件被分为了四个质量等级。表格#中给出了不同质量等级的产品示例。

质量等级										
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
	相关建筑组件/ 材料/表面	领域	评 价 内 容	相关标 准	质量 等级 1	质量 等级 2	质量 等级 3	质量 等级 4	类别	范围
	适用地点	产品种类	En 说 明		限值 -10CL P	参考 值 -50CL P	分目 标值 -100C LP	目标 值 -100C LP	各方面的 证明材料 要求	适用对象
与列 A 中所列物质有关的任何合法有效的证明材料，如标准、参考文献或标识										
1	非矿物底板涂 层：金属、木制 品、塑料	液态涂料：装 饰漆与底漆涂 层/釉层（如金	VO C	根据指 导书 2004/42/ EC 中所	根据 RL 2004/4 2/EC 中所	现行 指导 书中	< 100 g/l 或 满足 RAL- UZ 12	RAL- UZ 12 a	TM + SDB +制 造商声明/ 送检证书	所有相关的建 筑组件与产品

		属漆) 除外		规定的 VOC 定 义	规定的 的 D 类—< 300 g/l	规定的 的水 溶产 品	a			
2	矿物底板, 如混凝土、砌块、砂浆、腻子 (包括开孔腻子)、石膏板、壁纸等上的涂层。具有特定阻力要求 (如计算机操作系统) 的地板表	没有特殊阻隔要求的装饰涂料、装饰填充物、降尘涂层、地面涂层和地板, 混凝土保护涂层	VO C/S VO C	根据指 导书 2004/42/ EC 中所 规定的 VOC 定 义	现行 指导 书中 规定 的水 溶性 产品	< 30 g/l	VdL-R L01 或 RAL- UZ 102 (SVO C)规 定的 不含 溶剂 和增	VdL-R L01 或 RAL- UZ 102 (SVO C)规 定的 不含 溶剂 和增	TM + SDB +制 造商声明/ 送检证书	所有相关的建 筑组件与产品 DIN277 规定 没有证明文件 的面积最大不 得超过总建筑 面积的 5%

	面，或交通线路 如地下停车场、 公路						塑剂 的产 品	塑剂 的产 品		
--	----------------------------------	--	--	--	--	--	-----------------------	-----------------------	--	--

表不同质量等级产品示例

序号	材料种类 送检验收表应包含所有材料证明文件	满足 GB50325-2010 或当地 GB/T 标准或 DGNB 或 LEED 认证体系的要求	质量等级 1	质量等级 2	质量等级 3	质量等级 4
1	非矿物底板表面的室内涂层（金属、木制品、塑料），不包括浮雕涂层 木器漆	TVOC 及甲醛含量测试分别持续 24h 及 72h	VOC < 300g/l 多乐士水性木器漆： 160RMB/L	水溶性产品 LEED	VOC < 100g/l	RAL UZ 12a 通过蓝天使认证 (RAL UZ 12a*) 或其他同等认证的产品 Schulz Farben 水性丙烯酸漆： 300 RMB/L
2	矿物底板表面的室内涂层（混凝土、砌块、砂浆、墙纸、织物、石膏板） 内墙涂层		水溶性产品 多乐士： 20-40 RMB/L	VOC < 30g/l LEED	RAL UZ 102 通过蓝天使认证的产品 (RAL UZ 102)	通过蓝天使认证 (RAL UZ 12a*) 或其他同等认证的产品 Schulz PS143 内墙涂料：100-150 RMB/L
3	矿物底板表面的室外涂层（混凝土、砌块、砂浆、保温材料、幕墙涂料、石膏板等）	HJ/T 201-2005 GB24408-2009 JG/T210-2007 水性底漆： VOC <120g/l	VOC <40g/l 的水溶性产品 VOC <40g/l	VOC <40g/l 的水溶性产品 VOC	VOC <40g/l 的水溶性产品 VOC <40g/l	VOC <40g/l 的水溶性产品 VOC <40g/l

		水性涂层： VOC <150g/l		<40g/l		
--	--	--------------------------	--	--------	--	--

现场使用的产品或涂料的一般要求：

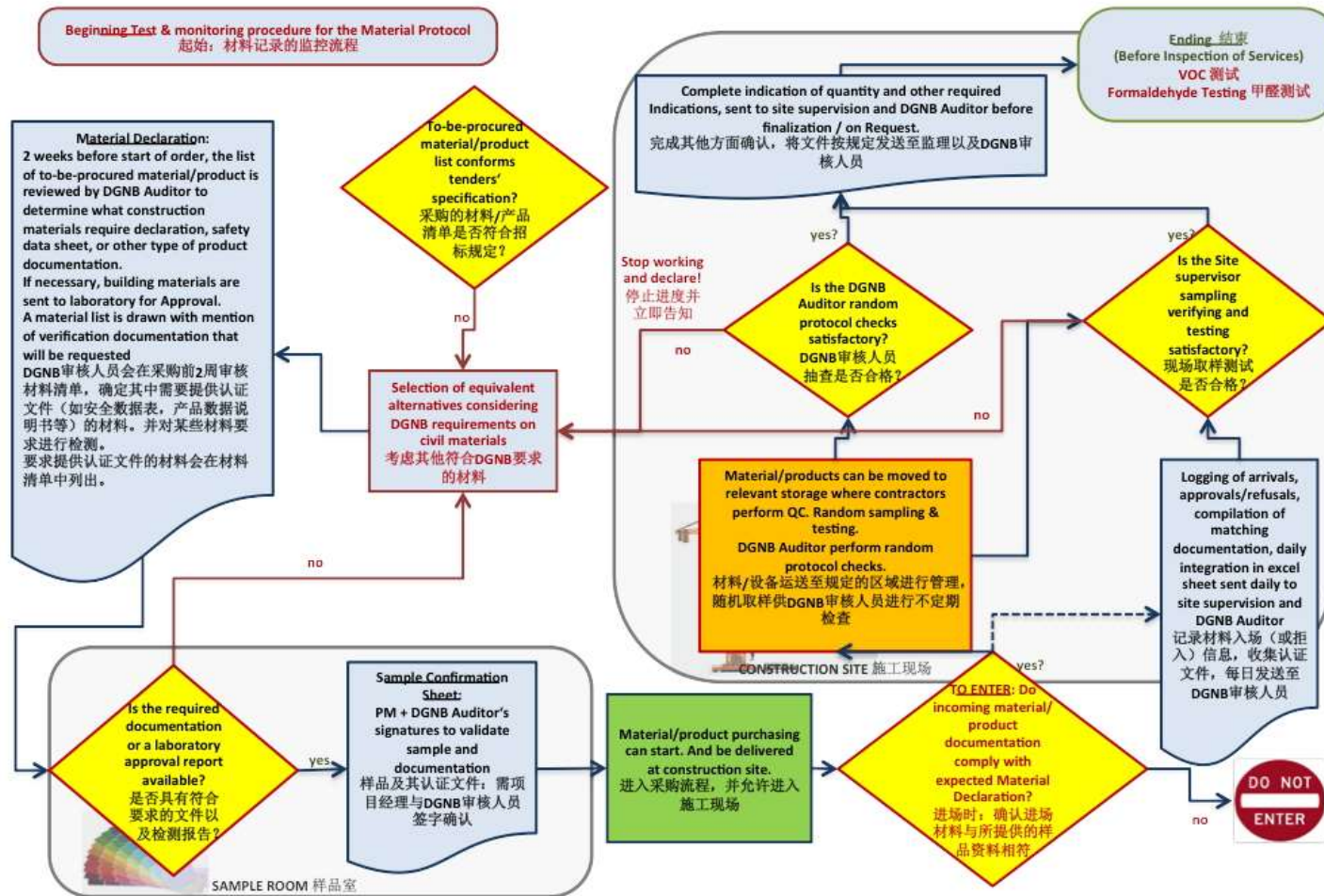
- ✓ 室内外所用的涂料应满足 RAL-UZ 指导书 (“蓝天使认证”) 所规定的 VOC/甲醛含量
- ✓ 黏结剂，如有机硅、地毯胶、环氧树脂等产品的 VOC/甲醛含量应满足 RAL-UZ-, GEV-EMICODE- 或 GISCODE 指导书的要求

场地外加工的建筑材料应满足以下要求：

- ✓ 场外喷涂涂料、清漆、油漆的组件 (如钢结构、门、框、散热器等) 中 VOC 和重金属含量的要求
- ✓ 泡沫保温材料中卤代物含量的要求
- ✓ 预处理木质构件中 VOC 和杀菌剂的要求
- ✓ 铝和不锈钢组件关于含六价铬化合物的处理要求
- ✓ 塑料制成的窗或地板墙壁覆盖层中的铅、铬、锌稳定剂的要求

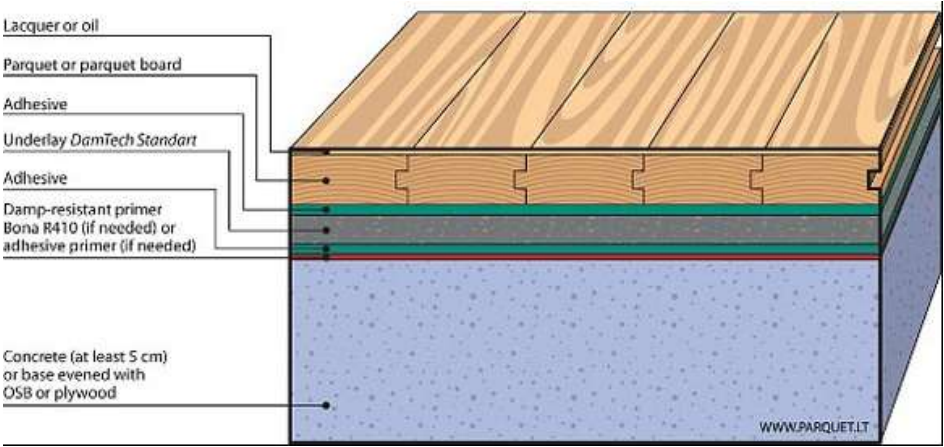
图 17 所示为 DGNB 关于建筑材料和组件认证系统步骤

图 17 过程概述



物料跟踪

建筑所有的组件都应提供全面的分层图，包括各种附加材料如黏结剂、底漆等。下图为分层示意图。



对每种材料和产品，均须全面收集各项可验证数据，包括：

- ✓ 技术信息
- ✓ 安全说明书 (物料安全数据表)
- ✓ 关于产品成分与配方的环境产品生命和制造商声明
- ✓ 制造商声明

基本信息					
编号	产品统一编码	材料名称	产品品牌	状态	DGNB 要求
12	MA_ID_012	竹胶板	WV-01 Da Zhuang	正常	
12.1	MA_ID_012.1	竹胶板胶	Mapei	正常	通过环境标识认证：EmiCode (EC1/EC1plus 等级)，蓝天使认证 (RAL-UZ 113)
12.2	MA_ID_012.2	硝基漆	Schulz	正常	UZ 通过蓝天使认证 (RAL UZ 12a*)或其他同等认证的产品

DGNB 检查								
编号	注释	临界值	DGNB 质量等级	样本 (是/否)	EDS 批准日期	Idealsun 批准日期	德国中心 批准日期	VA 批准日期
12	样品中请包含材料协议中提到的所有附加材料 150806_GCT_1.6_Material Tracking Table_0X. 已提供.		–	需 要 准 备	10/12/2015	9/18/2015	10/14/2015	9/17/2015
12.1	已提供		4		11/17/2015	11/25/2015	11/25/2015	11/25/2015
12.2	已提供		4		11/17/2015	11/25/2015	11/25/2015	11/25/2015

材料确认

各项目相关方都应制作并签署每一种材料和产品的样品确认单（如下图），与材料其他的证明文件一并在认证时提交。

样品确认单

编号		封存日期	
样品名称			
颜色			
型号、规格			
厂家名称			
使用方位			
样品照片			
总包工程师签名			
业主工程师签名			
DGNB 代表签名			
业主代表签名			

6.3.5.2 我国实行 DGNB 材料选择系统的可行性与挑战

我国具有蓝天使认证或 EMICODE 认证的产品并不常见。除了进口产品，还没有本土认证体系能够替代。国内的地方标准的技术要求无法实现德国蓝天使认证或 EMICODE 认证的效果，主要是由于各项临界值不是来自同一类测试结果。下表列出了国内不同标准体系与蓝天使认证及 EMICODE 体系的区别。

国标	产品组别	TVOC 挥发量测试	VOC 含量测试	甲醛含量测试	是否满足 EMICODE 的要求？	是否满足蓝天使认证的要求？
GB 18582-2008	室内装修装饰材料(室内建筑涂层)	无	有	有	-	甲醛/VOC
GB 24410-2009	室内装修装饰材料(水性木质涂层)	无	有	有	-	甲醛/VOC
HJ 2537-2014	环境标识认证的技术要求 (水性涂层)	无	有	有	-	甲醛/VOC
GB 18583-2008	室内装修装饰材料(黏结剂)	无	有	有	TVOC	TVOC/ 甲醛
HJ/T 220-2005	环境标识认证的技术	无	有	有	TVOC	TVOC/

	要求 (黏结剂)					甲醛
GB 187597-2001	室内装修装饰材料(地毯、地毯垫和黏结剂)	有(连续测定24小时后)	无	有	TVOC	TVOC/ 甲醛
HJ/T 220-2005	环境标识认证的技术要求(地毯黏结剂)	有(连续测定24小时后)	无	有	TVOC	TVOC/ 甲醛
GB 18580-2001	室内装修装饰材料(人造板及其制品的甲醛释放量)	无	无	有	-	TVOC/ 甲醛
HJ 571-2010	环境标识认证的技术要求(人造板及其制品)	有(连续测定72小时后)	无	有	-	TVOC/ 甲醛
GB/T 5849-2006	木芯板	无	无	有	-	TVOC/ 甲醛

国内建筑产品主要认证体系，如涂料和黏结剂，是环境标志认证，俗称“十环标志”。这项认证体系所涵盖的产品种类越来越多，适用于 ISO 体系。目前越来越多的产品通过该项认证。



6.3.5.3 推荐案例青岛德国企业中心，已获 DGNB 认证。

国内测试方法和 DGNB 的要求不同，项目组为青岛德国项目中心提出了一种要求额外的 VOC 排放测试的方法。

该案例研究对象是防水涂料。由于 EMICODE 指南所要求的 VOC 排放试验缺失，该涂料无法达到比 2 级更高的质量水平。本产品只能依照《室内装饰和翻新材料 - 粘合剂有害物质限制》(GB 18583-2008)，但该指南没有进行 VOC 排放测试的内容。为了在该项目中达到高分，采用《室内翻新和装饰材料(地毯，地毯垫和粘合剂)》(GB18587-2001)标准中“VOC 排放测试方法”的内容来测试该涂料。

项目组邀请上海 WESSLING 咨询有限公司进行测试与咨询工作。WESSLING 公司计划

根据国际指南，提供测试标准，以确保阈值与 DGNB 相当。但是用户因为无法支付额外的测试费用，而选择了另一个可以符合 DGNB 要求的产品。

将测试方法在国内其他指南中应用，可以在更广泛范围内推动实施 VOC 排放测试。特别是我国供应商粘合剂，可以确保满足 DGNB 的要求。

针对德国中心太仓项目的建议：

如果具备相关产品 VOC 排放测试的相关标准，就可以将我国 VOC 测试值与 Blue Angel 或 EMICODE 阈值进行比较，这意味着：

- ✓ 如果根据中国准则 3 天后的结果已经低于 EMICODE 或蓝天使 3 天后的结果，该产品可以认定为通过 EMICODE 或其他相关标准验证。
- ✓ 如果根据中国准则 2 天后的结果低于 EMICODE 或蓝天使 3 天后的结果，该产品可以得到 30% 的保守评分验证。

现实情况是，项目管理单位采用提高 1 级的更高质量的产品，如内部涂料选择具有蓝色天使标签的产品。

这个项目的经验包括：

- ✓ 在租户手册中已经明确了油漆，粘合剂和其他装修材料的要求。
- ✓ 这一做法可以确保装配办公室满足 DGNB 未来 VOC 排放测试的要求。
- ✓ 进行永久现场检测，确保材料被验证和批准。

6.3.6 足够的通风

6.3.6.1 建造后和入住前

确保足够的通风水平非常重要，在安装后、使用前及时去除高浓度污染物，特别是稀释醚和 VOC。可以在几天或几周之内通过加大通风来完成的。通风率和通风持续时间取决于所使用的标准。例如，LEED 系统提供三种路径，其中一条是在室内温度 15℃ 条件下通过提供每平方英尺地板面积 14,000 立方英尺的室外空气来冲洗建筑物，相对湿度不超过 60%，保持机械冷却系统运行。

6.3.6.2 居住期间

室内需要足够的通风量，去除室内积累的二氧化碳，令人不快的气味和其他代谢气体，稀释如乙二醇醚和 VOC 等有害物质。

标准 EN 15251 定义了各种 IEQ 参数，包括室内空气质量，并规定了不同建筑类型和使用功能的最小通风量计算方法。由于在自然通风状态下通风模式相对不稳定，这些标准适用于机械通风建筑物。

下表提供了欧洲不同国家住宅建筑通风率要求

国家和标准参考	整体建筑通风率	客厅	卧室	厨房	浴室+洗手间	洗手间	标准
布鲁塞尔 (NBN D50-001)	$3.6\text{m}^3 / (\text{hm}^2)$ 地板表面积	最小 $75\text{m}^3 / \text{h}$ (限制为 $150\text{m}^3 / \text{h}$)	最小 $25\text{m}^3 / \text{h}$ (限制为 $72\text{m}^3 / \text{h}$)	开放式厨房 最低 $75\text{m}^3 / \text{h}$ (排气)	最小 $50\text{m}^3 / \text{h}$ (限制为 $75\text{m}^3 / \text{h}$)	最小 $25\text{m}^3 / \text{h}$	需求
丹麦 (BR10)	最小 $0.3 \text{ l} / (\text{sm}^2)$ 供应	最小 $0.3 \text{ l} / (\text{sm}^2)$ (供应)		$20 \text{ l} / \text{s}$ (排气)	$15 \text{ l} / \text{s}$ (排气)	$10 \text{ l} / \text{s}$ (排气)	需求
法国 (Arrêté24.03.82)	$10\text{--}135\text{m}^3 / \text{h}$ (取决于房间号和通风系统)			连续 $20\text{--}45\text{m}^3 / \text{h}$		最小 $15\text{m}^3 / \text{h}$	需求
德国 (DIN 1946-6)	$15\text{--}285 \text{ m}^3 / \text{h}$			$45\text{m}^3 / \text{h}$ (标称排气流量)	$45\text{m}^3 / \text{h}$ (标称排气流量)	$25\text{m}^3 / \text{h}$ (标称排气流量)	需求
意大利 (第 192/2005 号法令, Uni EN 15251)	自然通风 $0.3\text{--}0.6 \text{ vol} / \text{h}$	$0.011\text{m}^3 / \text{s} / \text{人}$, 占用等级为 $0.04 \text{ 人} / \text{m}^3$			$4\text{vol} / \text{h}$		需求

商业建筑计算程序根据以下因素：

- ✓ 空间类型
- ✓ 机械通风方式
- ✓ 居住密度
- ✓ 地区

EN 16798-3, ASHRAE 62.1 等标准综合考虑上述因素，对通风量要求和房间调节系统作出了说明。

节能通风

机械通风系统分两种，简单独立通风系统，或者与冷却加热系统集成。不管那种方式，都是耗能。室内补充新风会导致冷热交换，因此需要关注足够新风量的最小能耗值。

非洲经委会在 17 和 23 号报告中指出,合理使用能源,保持良好的室内空气质量和通风的标准。空气渗透和通风中心(AIVC)发表了一份指南:指导节能通风,强调各种有效通风策略的最优成本。BUILDING ADVENT 项目阐述了 18 个非居住建筑能源效率通风系统,支持低能耗的通风系统,通过如下有效通风措施保证节能通风:

✓ 使用能源/热回收系统

能源回收系统可以回收废气中 60-90%的热量或冷量。大大减少了加热或冷却空气所消耗的能量。如果不能有效回收,这些热量将以污染空气形式排出建筑物。

通过使用能量回收通风装置,来自回流空气热/冷量可以与被吸入的新鲜空气对流交换,从而预热/预冷新鲜空气,从而降低系统通风负荷。常见的技术是热轮式热交换器,效率为 65%-75%,最大可达 90%;平板式热交换器,效率为 50%-65%,最大可达 70%(碳信托)。需要说明的是,效率不仅取决于 ERV 系统,还取决于其他因素,如通风率等。

✓ 使用 CO₂ 传感器的需求控制通风

研究表明,采用按需调节通风可实现 40%的节能量(Pavlovas, 2004; Becker, Bollin & Eicker, 2010)

最低通风需求是满足新风对呼吸和保持适度的要求。各种标准和指导手册(例如 ASHRAE 62.1-2010, CIBSE Guide E,)都提到最低通风要求(更多关于通风的信息见通风板块)。通过需求控制策略,居民的通风要求可以有效满足。

该策略通过室内测量二氧化碳(CO₂)和湿度计算通风量。二氧化碳传感器、湿度传感器放置在室内或回风管道中,测量室内二氧化碳浓度和湿度,并联动调整通风比例。这一措施可以通过减少新风量减少空调负荷,同时又保证了最小新风量。该策略可以集成于所有新风系统和制冷系统,并通过不同通风调节节约能源。

一体化的设计方案是最大限度的优化室内通风。室内设计师和和供应商应当提高意识,在建造过程中使用低排放产品。建筑师和室内设计师也积极与供热、通风、空调等供应商合作,设计最适合项目的供热通风空调系统。

为了避免通风系统短路以及风机停滞,进风和回风应设置在室内合适的位置。设计地板下送风系统时,应避免把进风口设置在循环地区。在座位下送风和会议室设计时,应避免多余气流和辐射对称问题。尽管现在空调系统设计一般不是室内设计师的任务,但强烈建议室内设计师在设计前期与暖通设计师进行充分沟通,为暖通设计师未来工作提供有效保障。

参考文献

- Buhr, D. (2015). Friedrich Ebert Stiftung. Social Innovation Policy for Industry 4.0.
- Deloitte. (2015). Industry 4.0: Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies.
- European Commission. (June 2016). The I4MS Initiative. ICT Innovation 4 Manufacturing SMEs : Enhancing the digital transformation of the European manufacturing sector. Available at: http://i4ms.eu/documents/i4ms_v11.pdf
- European Parliamentary Research Service. (September 2015). Industry 4.0: Digitalisation for productivity and growth- Briefing.
- Germany Trade and Invest. (2014). Industrie 4.0, Smart Manufacturing for the Future.
- Kockat J., Rohde C.,ENTRANZE, (2012). The challenges, dynamics and activities in the building sector and its energy demand in Germany.
- Building Ecology: European Collaborative Action on Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure Reports. Available at:
- <http://www.buildingecology.com/iaq/useful-publications/european-collaborative-action-on-urban-air-indoor-environment-and-human-exposure-reports-1/>