

doi:10.11835/j.issn.1008-5831.2016.01.009

欢迎按以下格式引用:毛超,李世蓉,井昕.中国工厂化建造的关键驱动因素和路径[J].重庆大学学报(社会科学版),2016(1):74-81.

Citation Format: MAO Chao, LI Shirong, JING Xin. Critical impetus and paths for off-site construction in China[J]. Journal of Chongqing University (Social Science Edition), 2016(1): 74-81.

# 中国工厂化建造的关键驱动因素和路径

毛超<sup>a,b</sup>, 李世蓉<sup>a</sup>, 井昕<sup>a</sup>

(重庆大学 a. 建设管理与房地产学院; b. 可持续建设国际研究中心, 重庆 400044)

**摘要:**工厂化建造已在诸多国家得到积极推广,但在中国由于受到各种障碍因素的影响,迟迟没有成为建设工程实践领域的主流。工厂化建造作为一项新型生产方式,现阶段亟待分析影响其发展的关键性因素和驱动路径。文章通过案例调研、深度访谈和问卷调查,识别工厂化建造的外部驱动因素和内生驱动因素;通过结构方程模型(SEM)进行了实证研究和数据拟合,挖掘出五条关键驱动路径。研究表明,企业自身对可持续发展的追求是实施工厂化建造的本源,政府政策激励是一项积极的影响因素。

**关键词:**工厂化建造;驱动因素;关键路径;结构方程模型

中图分类号:TU741

文献标志码:A

文章编号:1008-5831(2016)01-0074-08

## 一、问题提出

工厂化建造是建筑生产方式从粗放型向集约型的根本转变,以标准化设计、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,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。在欧美发达国家和亚洲部分地区,工厂化建造已得到较成熟的推广和应用,如丹麦、瑞典、美国、日本等发达国家的预制装配率在60%以上,个别国家甚至达到90%以上<sup>[1]</sup>。这些国家通过政策、标准、技术、市场、法律等手段,已经完成了建筑行业的工业化、规模化和产业化的结构调整,现已进入自动化、智能化的成熟阶段<sup>[2-3]</sup>。虽然中国提出建筑工业化的发展思路已有30余年,但建筑业无论是在劳动生产效率方面,还是在可持续发展方面都明显落后于制造业,也落后于同行业的其他国家水平。当前,在中国建筑业能耗高、污染大、资源消耗大的情况下,党的十八大报告中提出“要坚持走中国特色新型工业化、信息化、城镇化、农业现代化道路,推动信息化与工业化深度融合”的发展战略,而工厂化建造的生产方式正好从本质上回应了这项战略发展。此外,国家发展改革委和住房城乡建设部《绿色建筑行动方案》国办发[2013]1号文件,也将推动新型建筑工业化作为一项重要内容提出。这意味着转变建筑业产业结构和生产方式,走新型工业化道路是建筑产业现代化发展的必然途径和发展方向<sup>[4]</sup>。

目前,中国建筑产业界在推动工厂化建造的进程上多采取观望的态度,战略上过于保守,行动上动力不足<sup>[5-8]</sup>。中国目前仅有为数不多的几个城市(如北京、上海、沈阳、深圳等)在实践工厂化建造的建设项目。整个建筑业仍存在粗放型生产、标准化水平低、成套技术缺乏等问题,这些问题背后的本质原因值得反思。其过程中受到哪些因素影响?因素间的内在机制如何?通过何种手段去推动建筑工业化的成功转型?这些问题均需要从系统层面进行研究。因此,本文结合中国经济环境特点和建筑业行业特色,多角度地对中国建筑工厂化建造转型所涉及的关键因素进行量化,探寻关键路径,并进行实证研究,研究成果将有助于相

修回日期:2015-10-16

基金项目:国家社会科学基金青年项目(15CJY030)

作者简介:毛超(1982-),女,贵州贵阳人,重庆大学建设管理与房地产学院副教授,主要从事建筑工业化、可持续建造、建筑信息技术研究, E-mail:maochao1201@126.com。

关决策部门进行前端决策和规划,对实现中国建筑产业升级有着现实意义。

## 二、文献综述

工厂化建造其实是建筑工业化中关于生产环节的一种方式,有关“工厂化建造”的术语,国内外文献中都没有统一的界定。本文中的“工厂化建造”指的是采用构配件定型生产的装配施工的建造方式,即按照统一标准定型设计,在预制工厂内成批生产各种建筑构件(包括梁、柱子、墙板、楼梯、楼地板、厨卫等),然后运输到项目现场,在现场以机械化方式进行“搭积木式”装配形成建筑的一种建造方式。

工厂化建造作为一种技术创新,在初期推进过程中必然会受到各种因素的影响。国外关于推进工厂化建造影响因素方面的研究较为丰富,主要从驱动和制约两个角度研究。关于驱动力因素的讨论,已有的文献中通常采用直接阐述和间接反映的方式来研究。第一种是直接阐述驱动因素的种类。Pan等提出英国私人业主采用工厂化建造的主要动因在于该方式能够节约工期,解决行业用工问题,确保产品质量、健康与安全以及环境效益等<sup>[7-8]</sup>。第二种是通过工厂化建造的可持续属性、政府角色与政策制定等方面的研究,间接反映这些方面对工厂化建造的驱动作用。在工厂化建造的可持续性能表现上,Tatum早在1987年就率先发表文章说明了预制模式(PPMOF)以一种可持续的方式改进项目的各项性能。Jaillon和Poon研究表明预制生产方式能够节约41%的水资源消耗,减少约56%的垃圾排放,减少约6%的安全事故等<sup>[9]</sup>。Mao等对传统施工和工厂化施工过程的碳排放进行了对比分析,研究发现预制率越高,工厂化建造带来的碳排放量越小<sup>[10]</sup>。这些可持续性带来的经济收益是对企业行为的一种激励因素。通过对工厂化建造在可持续方面显著优势的分析,间接地表达了工厂化建造自身带来的附加值也对业主产生一定的诱惑力,从这个方面反映了企业在追求可持续发展时,工厂化建造能起到重要的推动作用。在政府角色和政策制定方面,郭戈提到欧洲国家有完善、成体系的标准和规范,其建筑工业化的应用程度相对较高,如瑞典国家标准和建筑标准协会(SIS)在20世纪60年代初就开始出台了工业化建筑的设计规格和标准<sup>[10-11]</sup>;日本通过一系列财政、金融制度和技术政策推动了住宅产业化发展<sup>[11]</sup>;香港房屋署也要求其公屋的混凝土构件预制率需达到65%,并颁布了相应的面积豁免政策,该政策调动了本土开发商的积极性<sup>[12]</sup>;新加坡强制性要求采用工业化预制构件以实现房屋“可建性(Buildability)”,并颁布了一系列政策、法规和标准进行推动<sup>[13]</sup>。这些研究也说明了政府对建筑工业化的发展具有极大的推动性。这些因素都是属于正向驱动力范畴。

除此而外,与正向驱动力相对的另一力称为阻力,实质上阻力可作为一种负动力而存在,它们对工厂化建造的应用有一定制约影响。目前,关于工厂化建造障碍性因素的研究较多。无论是发达国家还是发展中国家,诸如前期研发经费的投入<sup>[14]</sup>、产业链分散<sup>[16]</sup>、认知程度低<sup>[17]</sup>、政策激励<sup>[18]</sup>等问题都是工厂化建造推进过程中较典型的障碍性因素,严重影响了企业决策行为<sup>[8]</sup>。潘璐阐述了当前中国建筑工业化的障碍因素表现在建筑体系标准化的政策缺失、消费者个性化需求难以满足、企业内部激励缺乏等方面<sup>[19]</sup>。欧阳新重点研究了中国建筑工业化发展中技术、生产、融资方面的制约因素<sup>[20]</sup>。

已有文献对工厂化建造的影响因素都有所涉及,但在中国鲜有研究对影响因素及因素间的内在联系进行深入探讨。所以,寻求关键的驱动因素和关键路径,从而调动中国相关企业和行业的积极性,是实现工厂化建造的重要内容。

## 三、研究方法

本文研究采用文献综述、问卷调查法和结构方程模型(Structural Equation Modeling,简称SEM)三种方法进行因素识别、关系假设和实证研究。首先,通过文献综述识别主要驱动因素。其次,建立工厂化建造的驱动结构理论模型,确定该模型的潜在变量和中介变量,形成结构方程模型SME的基本假设。最后,通过问卷调查进行数据收集,利用结构方程模型进行验证,探寻关键驱动路径。

### (一)理论模型及基本假设

工厂化建造方式是一个复杂过程,作为建筑领域的一种技术创新,推进着建筑业的发展,同时其推进过程也必定会受多重因素的影响。已有的文献总结和归纳了建筑业技术创新的内在机制<sup>[21-22]</sup>,包括以成本等经济因素为主导的驱动、市场结构、产品需求和市场特点、企业组织结构和企业竞争。企业社会责任和企业对可持续竞争力的追求也被部分学者认为是技术创新的源动力<sup>[23-24]</sup>。从外部机制看,在技术创新过程中,政府规制是行业创新的一个关键激励因素,政策制定会对技术实施者的行为产生直接引导作用<sup>[25-26]</sup>。在技术方面,从根本上看工业化根植于技术的推动,工厂化建造也不例外<sup>[26-27]</sup>。依根报告(Egan Report)指出,建筑行业的持续发展需要通过技术创新进行改善<sup>[28-29]</sup>。技术进步也推动了工厂化建造方式的萌芽和发展,它改变了建筑产品的整个生产流程、生产工艺,甚至是理念,未来还会改变组织结构形态和产业链结构,使建筑业逐步从手工生产向机械化转型,最终向全面自动化过渡<sup>[28-29]</sup>。技术创新理论认为,市场需求拉动是技

术创新的一项重要力量。在早期,工厂化建造之所以能够在欧洲发达国家得以蓬勃发展,也主要是基于市场大量的住宅需求。

基于已有文献的理论基础,本文首先假定工厂化建造的实施受到了参与主体(企业、政府、消费者)的行为影响,包括多方面、多维度施加的作用力。根据行为理论,从动力行为方式而言,工厂化建造的推动是由人来决策的,在工厂化建造方式实施过程中,“人”是“企业”、“政府”;“人”的行为方式通常来源于动机,动机来源可以是经济、惩罚、自我精神追求、责任、自我需求等。从参与主体的行为内涵出发,本文构建实施和推进工厂化建造的驱动力概念模型。该概念模型主要是由企业持续竞争力追求、企业社会责任、政府规制、消费者市场需求、技术进步、经济效益、社会与环境效益等驱动因素构成,相互间作用关系形成 21 个基本假设。其中,经济效益、社会与环境效益两个因子是驱动企业实施工厂化建造的直接因素。

工厂化建造的驱动结构理论模型架构如图 1 所示。

根据相关的理论基础和工厂化建造的驱动力理论模型,提出如下 21 个假设。

H1:企业持续竞争力追求对经济效益有显著的正向影响;

H2:企业持续竞争力追求对社会与环境效益有显著的正向影响;

H3:企业持续竞争力追求对企业实施工厂化建造的意愿与行为有显著的正向影响;

H4:企业社会责任对经济效益有显著的正向影响;

H5:企业社会责任对社会与环境效益有显著的正向影响;

H6:企业社会责任对企业实施工厂化建造的意愿与行为有显著的正向影响;

H7:政府规制对经济效益有显著的正向影响;

H8:政府规制对社会与环境效益有显著的正向影响;

H9:政府规制对企业实施工厂化建造的意愿与行为有显著的正向影响;

H10:消费者市场需求对经济效益有显著的正向影响;

H11:消费者市场需求对社会与环境效益有显著的正向影响;

H12:消费者市场需求对企业实施工厂化建造的意愿与行为有着显著的正向影响;

H13:技术进步对经济效益有显著的正向影响;

H14:技术进步对社会与环境效益有显著的正向影响;

H15:技术进步对企业实施工厂化建造的意愿与行为有显著的正向影响;

H16:工厂化建造的经济效益对企业实施工厂化建造的意愿与行为有显著的正向影响;

H17:工厂化建造的社会与环境效益对企业实施工厂化建造的意愿与行为有显著的正向影响;

H18:政府规制对技术进步有显著的正向影响;

H19:技术进步对企业持续竞争力追求有显著的正向影响;

H20:政府规制对消费者市场需求有显著的正向影响;

H21:政府规制对企业社会责任有显著的正向影响。

根据图 1 的理论模型和测量假设,一共有 8 个潜在变量,它们之间存在一定的因果关系,其中企业持续竞争力追求、企业社会责任、政府规制、消费者市场需求、技术进步为外因潜在变量,分别用 CDC、DRV、GIP、HMD、CTI 来表示;企业实施工厂化建造的意愿和行为是为内生潜在变量,用 DNB 表示。在模型中,5 个外因变量皆通过工厂化建造的经济效益、社会与环境效益对企业实施行为 DNB 产生影响,因此,经济效益、社会与环境效益为此模型的中介变量,分别用 ECO 和 ENS 表示。

## (二) 结构方程模型

结构方程模型(SEM)是应用统计领域一个重要分支<sup>[30]</sup>。作为验证性因子分析、路径分析和一般统计检验方法的结合体,结构方程模型尤其广泛应用于经济、市场、管理等社会科学以及自然科学等研究领域。结

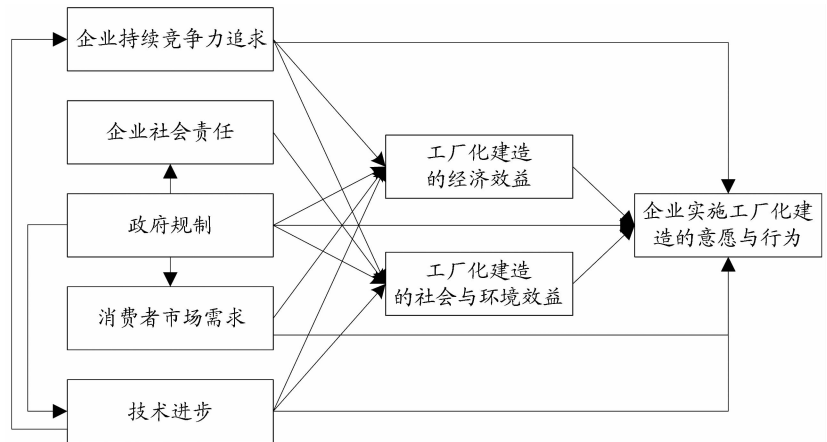


图 1 工厂化建造的驱动结构理论模型

构方程模型常用于多个原因、多个结果的关系处理分析,还可以通过为不可测量的潜变量设定观测变量,进而利用可以用于统计分析的观测变量之间的关系来研究潜变量之间的关系,这些都是传统统计方法不能很好解决的问题。20世纪80年代以来,结构方程模型迅速发展,弥补了传统统计方法的不足,成为多元数据分析的重要工具。

考虑到建筑工厂化建造发展与推进的驱动因素较多,且各因素之间相互关联和相互作用,很难用传统统计学方法直接度量、分析因素之间的相互关系。在本文提出的工厂化建造驱动因素中,企业持续竞争力追求、企业社会责任和价值取向、政府规制、消费者市场需求、技术进步等5个直接驱动因素均属于管理研究中很难直接观测和度量的潜在变量,只能通过一些外显指标间接测量这些潜在变量。然而,传统的多元回归分析方法不能处理这些潜在变量,也很难解决这些多自变量或其构成的相互关联复杂系统的多重共线性问题,而结构方程模型刚好可以弥补这一缺失。因此,本文采用结构方程建模,对驱动企业实施工厂化建造行为的关键因素的影响路径和强度进行分析。

### (三) 问卷调查

问卷设计包括了变量和指标的选择,这是问卷的核心组成部分。前文中归纳出来的8个潜在变量构成了问卷的主要内容,由于这些变量无法直接测量,参考已有文献,对这些潜在变量进一步指标化,每个变量分别用2~3个测量指标进行描述和转化。基于表1中的测量指标,本研究采用了5点李克特量表来设计问卷。问卷中“5”=驱动力很高,“4”=驱动力比较高,“3”=驱动力一般,“2”=驱动力较低,“1”=驱动力很低。

表1 潜在变量和观测变量

外因潜在变量	
CDC - 企业的持续竞争力追求	GIP - 政府规制(激励性或强制性政策)
企业对技术创新的创新与变革	预制装配技术的财政补贴或税费优惠
企业的市场份额	对预制房屋的面积豁免或奖励
企业的劳动生产率	对预制房屋的容积率的奖励
产品生产阶段三大目标的要求	规划与设计审批中的强制性标准
	工厂化建造的市场准入制度
	对新建建筑采用预制构件的限制
DRV - 企业的社会责任感和价值取向	HMD - 市场需求
企业对可持续发展的意识	客户对工厂化住宅的喜好和需求
对精益建造的理解和追求	客户对工厂化住宅的认识和理解
企业的长期战略目标	生命周期内工厂化住宅低成本的预期
	劳动力的供需情况
CTI - 技术进步	
先进施工技术的技术扩散效应	
对现有施工工艺改进的必要性	
工厂化技术研发的资金保障	
工厂化技术研发的人员的培训	
中介变量	
ECO - 工厂化建造的经济效益	ENS - 工厂化建造的社会与环境效益
工厂化建造预期经济收益的高	工厂化建造的建筑固体废弃物污染
工厂化建造的成本低	工厂化建造的施工过程中噪音污染小
工厂化建造的施工工期短	工厂化建造的施工过程中大气扬尘少
工厂化建造的人工少	工厂化建造的安全性高
内生潜在变量	
DNB - 企业实施工厂化建造的意愿和行为	
对施工过程的管理进行改造的意愿	
制定了企业可持续的长期战略发展目标	
每年会有专项经费用于创新技术研发	
企业对项目要求均需达到绿色认证等	

### (四) 数据收集

为了保证问卷能够收集到高质量和可靠的数据,本文在问卷发放过程中考虑了问卷发放地区、发放对象和发放渠道等方面的因素。

数据收集主要采用了两种方式:(1)纸质问卷调查;(2)Internet 在线问卷。借助“问卷星”(http://www.sojump.com/jq/1826949.aspx)在线平台进行调查。发放的主要渠道是通过校友关系和朋友关系发出问卷,在此基础上采用滚雪球(snowballing)技术扩大发放规模。在发放对象上,主要包含房地产企业、施工单位、咨询机构、政府和预制构件供应商。由于工厂化建造方式在国内应用并不广泛,且很多企业认识程度并不高,调研中必须要确保调查对象对工厂化建造方式有一定认识和了解,才能保证调查样本的质量。为此,本文的调研区域主要集中在国家推行建筑工业化或住宅产业化的试点城市,包括北京、上海、深圳、重庆、长沙等城市,并有针对性地在国内排名靠前且有相关工厂化建造经验的房地产企业、施工单位、咨询单位进行发放,如万科、中海、远大住工、瑞安、中国建筑等公司。由于目前国内住宅部分的预制构件商并不多,主要集中在广东地区,笔者通过直接走访发放问卷并进行深入访谈。

本次问卷历时3个月,发放了300份,回收有效问卷176份,发放回收率达到58.7%。样本数量达到176份,满足了结构方程模型数据拟合分析的样本要求(100~200份)。本次收集的数据样本基本情况如表2所示。

#### (五)信度检验

本文采用SPSS17.0软件中的信度分析(Reliability Analysis)对企业持续竞争力追求、企业社会责任、政府规制、消费者市场需求、技术进步、经济效益、社会与环境效益、企业实施工厂化建造的意愿和行为等8个数据量表进行信度Cronbach'  $\alpha$  检验,结果如表3所示。检验结果显示,各项变量的信度值均超过了0.8,具有较高的信度;尽管意愿和行为的信度值低于0.8,但仍然超过了0.7,也具备较好的信度。

### 四、实证结果

#### (一)拟合指标

利用AMOS软件对模型进行拟合,以验证本文提出的21个假设。首先,验证性因素分析的主要目的是决定事前定义评估模型拟合实际数据的能力。通过一次拟合修正后,得到拟合指数如表4所示,结果显示最终结构模型具有良好的适配度。

#### (二)模型结果

运行AMOS软件后,其结果显示初始模型拟合指标较差, $\chi^2/df$ 为11.42,需要进一步对模型进行调整。同时,通过AMOS软件运行,

表2 调查样本构成情况

特征	类别	样本数	比例
调查对象	建设单位	88	50%
	施工单位	51	29%
	咨询机构	18	10%
	构件供应商	12	6.9%
	政府部门	5	2.9%
	其他	2	1.1%
所在城市	北京	30	17%
	上海	22	12.5%
	重庆	25	14%
	广东	61	35%
	四川	18	10%
	其他	20	11%
是否参与过工业化项目	有	20	13%
	无	156	87%

表3 信度检验 Cronbach'  $\alpha$  值

研究变量	Cronbach' $\alpha$	信度等级
企业持续竞争力追求	0.787	高
企业社会责任	0.798	高
政府规制	0.917	高
消费者市场需求	0.848	高
技术进步	0.898	高
经济效益	0.726	高
社会与环境效益	0.903	高
意愿和行为	0.781(0.861)	较高

表4 修正后结构模型拟合检验结果

统计检验指标	适配标准	检验结果	模型拟合判断
$\chi^2/df$	$\leq 5.00$	849.5/280 = 3.0	达标
RMSEA	$\leq 0.05$	0.031	达标
CFI	$\geq 0.9$	0.94	达标
GFI	$\geq 0.9$	0.94	达标
NFI	$\geq 0.9$	0.90	达标

对结构模型中的各个假设进行验证,得到的路径图如表 5 所示,每条路径上都标注标准化的因子负荷。其中,5 条路径均小于 0,同时 CR( $t$  值)小于 1.96,说明这 5 条路径并不显著。其余 16 个假设均得到验证。

表 5 模型路径效果评估结果

	未标准化路 径系数估计	S. E.	C. R.	$P$	标准化路径 系数估计	结论
CTI ← CDC	0.73	0.11	6.44	***	0.70	接受
CTI ← GIP	0.98	0.11	8.91	***	0.97	接受
DRV ← GIP	0.86	0.11	8.10	***	0.82	接受
ENS ← CTI	0.17	0.13	5.50	*	0.14	接受
ENS ← CDC	0.12	0.12	4.01	*	0.09	接受
ENS ← DRV	0.14	0.11	2.10	*	0.12	接受
HMD ← GIP	0.99	0.13	9.02	***	0.98	接受
ECO ← GIP	0.25	2.61	6.52	*	0.23	接受
ECO ← CDC	0.57	0.16	3.65	***	0.64	接受
ECO ← ENS	-0.17	0.08	-2.11	0.03	-0.24	拒绝
ECO ← HMD	-1.88	2.05	-0.92	0.36	-2.56	拒绝
ECO ← CTI	0.50	0.87	4.35	*	0.48	接受
DNB ← CTI	-0.07	1.3	-0.05	0.96	-0.06	拒绝
DNB ← HMD	0.88	0.97	5.91	**	0.85	接受
DNB ← DRV	1	0.18	5.56	***	0.87	接受
DNB ← ENS	0.12	0.18	2.68	**	0.12	接受
DNB ← ECO	0.24	0.96	6.15	**	0.52	接受
DNB ← GIP	-1.27	1.12	-1.14	0.26	-1.06	拒绝
DNB ← CDC	0.27	0.56	0.48	**	0.25	接受
ENS ← HDM	-0.97	0.11	-3.23	0.85	-0.92	拒绝
ENS ← GIP	-1.22	1.67	-2.21	0.52	-1.01	拒绝

注: \* 表示  $p < 0.05$ , \*\* 表示  $p < 0.01$ , \*\*\* 表示  $p < 0.001$ 。

根据以上结果,可以分析出驱动工厂化建造方式的关键路径为: CDC→ECO→DNB、CDC→CTI→ECO→DNB、GIP→HMD→DNB、GIP→DRV→DNB、GIP→CTI→ECO→DNB。

从关键线路上可以看出,企业的可持续竞争力追求和政府规制是两个源头性主导因素,这也反映了政府和企业两大主体在推动工厂化建造方式中的重要作用。在建筑领域中,推进技术创新的一个关键主体是开发商<sup>[21]</sup>。开发商是整个工业化建筑产品上游产业链的驱动者,他们的意愿和行动直接影响到整个建筑生产产业链的各个相关参与方提供服务的导向和需求。

从模型所得的结果看,值得一提的是工厂化建造的社会与环境效应受其他因素的影响程度并不大,从而导致它并不是影响决策主体实施工厂化建造意愿和行为的关键驱动因素。导致这一效果出现的原因是,对于决策者而言,在中国工厂化建造初期阶段,更多还是以经济利益为导向的行为模式。因此,在驱动模型关键路径中,企业在寻求可持续竞争力时首先考虑工厂化建造方式的经济价值的体现。

## 五、结论

笔者建立了工厂化建造的驱动理论模型,该模型构建了 8 类外生和内生驱动因素之间的关联体系,并开发了中国企业实施工厂化建造过程中主要驱动力问卷调查表,采用实证数据对该理论模型进行验证。对驱动工厂化建造的 7 类因素进行分析,以实施工厂化建造的意愿为结果变量,工厂化建造的经济效益、工厂化建造的社会与环境效益 2 个因子是驱动企业实施工厂化建造的直接因素;其余 5 个因素通过工厂化建造的经济效益和社会与环境效益间接作用和直接作用于“企业实施工厂化建造的意愿和行为”,构建工厂化建造方式驱动结构理论模型,提出了 21 个假设。本章通过结构方程模型方法,量化地分析,得到以下结论。

通过结构方程模型的优化和拟合,得到 4 条关键驱动路径,分别是:“企业持续竞争力追求”→“工厂化建造的经济效益”→“实施意愿与行为”(CDC→ECO→DNB)、“企业持续竞争追求”→“技术进步”→“经济效益”→“实施意愿与行为”(CDC→CTI→ECO→DNB)、“政府规制”→“市场需求”→“实施意愿与行为”(GIP→HMD→DNB)、“政府规制”→“社会责任感”→“实施意愿与行为”(GIP→DRV→DNB)、“政府规制”

→“技术进步”→“经济效益”→“实施意愿与行为”(GIP → CTI → ECO → DNB)。这5条关键路径也是推动工厂化建造方式推进过程中激励措施实施的切入点。

企业的可持续竞争力追求和政府规制是两个源头性主导因素。通过拟合结果还可以推断得出,现阶段中国实施工厂化建造方式让企业最为关心的还是其经济价值,经济价值是让决策者实施工厂化建造行为的决策评价要点。本文的研究有助于在政策制定者进行工厂化建造驱动方案设计时,为其相关政策、制度设计提供参考和借鉴。

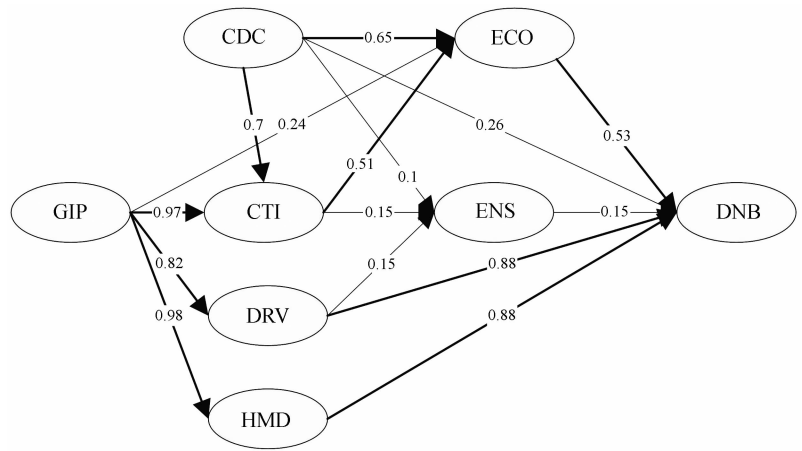


图2 驱动模型的关键路径

#### 参考文献:

- [1] 纪颖波. 建筑工业化发展研究[M]. 北京: 中国建筑出版社, 2010.
- [2] RICHARD R. Industrialised building systems: Reproduction before automation and robotics[J]. Automation in Construction, 2005 (14): 442 - 451.
- [3] GIBB A, ISACK F. Re-engineering through pre-assembly: Client expectations and drivers[J]. Building Research & Information, 2003, 31(2): 146 - 160.
- [4] 宋健. 新型建筑工业化: 建筑业转型发展的大机遇[J]. 中国建设报, 2014(2): 5 - 6.
- [5] 刘禹. 我国建筑工业化发展的障碍与路径问题研究[J]. 建筑经济, 2012(4): 20 - 24.
- [6] ARIF M, EGBU C. Making a case for offsite construction in China[J]. Engineering, Construction and Architectural Management, 2010, 17(6): 536 - 548.
- [7] PAN W, SIDWELL R. Demystifying the cost barriers to offsite construction in the UK[J]. Construction Management and Economics, 2011, 11(29): 1081 - 1099.
- [8] MAO C, et al. Major barriers to off-site construction: The developer's perspective in China[J]. Journal of Management in Engineering, 2015(2): 04014043 - 1 - 8 DOI: 10.1061/(ASCE)ME.1943 - 5479.0000246.
- [9] JAILLON L, POON C. Sustainable construction aspects of using prefabrication in dense urban environment: A Hong Kong case study[J]. Construction Management and Economics, 2008, 26: 953 - 966.
- [10] MAO C, et al. Comparative study of greenhouse gas emissions between off-site prefabrication and conventional construction methods: Two case studies of residential projects[J]. Energy and Buildings, 2013, 66: 165 - 176.
- [11] 郭戈. 住宅工业化发展脉络研究[D]. 上海: 同济大学, 2009.
- [12] HKBD. Joint practice note No. 2, second package of incentives to promote green and innovative building[R]. Hong Kong Building Department, 2002.
- [13] CHIANG Y, CHAN E, LOK L. Prefabrication and barriers to entry: A case study of public housing and institutional buildings in Hong Kong[J]. Habitat International, 2006, 30: 482 - 499.
- [14] 邓志旺. 我国住宅产业化发展的路径选择[J]. 商业时代, 2007(19): 86 - 87.
- [15] 聂梅生. 我国住宅产业化发展的途径[J]. 房材与应用, 2000, 1(28): 3 - 4.
- [16] KAMAR K A M, HAMID Z. Supply chain strategy for contractor in adopting industrialised building system( IBS)[J]. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 2011, 5(12): 2552 - 2557.
- [17] BLISMAS N, WAKEFIELD R. Drivers, constraints and the future of offsite manufacture in Australia[J]. Construction Innovation, 2009, 9(1): 72 - 83.
- [18] 宋春华. 住宅产业化面临的历史背景及发展思路[J]. 中外房地产导报, 2005(15): 4 - 6.

- [19] 潘璐. 中国住宅产业化面临的障碍性问题分析及对策研究[D]. 重庆:重庆大学,2008.
- [20] 欧阳新. 中国住宅产业化发展的制约因素及其对策研究[D]. 南京:河海大学,2006.
- [21] BLAYSE A M, MANLEY K. Key influences on construction innovation [J]. *Construction Innovation: Information, Process, Management*,2004,4(3):143-154.
- [22] BROUWERS B, JACKE H E. Corporate sustainability and innovation in SMEs; Evidence of themes and activities in practice [J]. *Business Strategy and the Environment*,2010,19(7):417-435.
- [23] HUSTED B W, ALLEN D B. Corporate social responsibility in the multinational enterprise; Strategic and institutional approaches [J]. *Journal of International Business Studies*,2006,37(6):838-849.
- [24] ASONGU J. Innovation as an argument for corporate social responsibility [J]. *Journal Of Business And Public Policy*, 2007,3(1):1-21.
- [25] BEEREPoot M. Public energy performance policy and the effect on diffusion of solar thermal systems in buildings; A Dutch experience [J]. *Renewable energy*,2007,32(11):1882-1897.
- [26] EDQUIST C, MALERBA F, METCALFE S. Sectoral systems; Implications for European innovation [M]// *Policy Sectoral Systems of Innovation in Europe: Concepts, Issues and Analyses of Six Major Sectors in Europe*. Cambridge: Cambridge University Press, 2004: 427-461.
- [27] LI Q, et al. Constructors and innovation credits in green building projects [J]. *Construction Innovation*,2013,13(3): 320-338.
- [28] EGAN J. The report of the construction task force [R]. London, United Kingdom, 1998.
- [29] VERNIKOS V. Optimising building information modelling and off-site construction for civil engineering [J]. *Proceedings of the ICE-Civil Engineering*,2012,165(4):147-147.
- [30] 侯杰泰. 结构方程模型及其应用 [M]. 北京:教育科学出版社,2004.

## Critical impetus and paths for off-site construction in China

MAO Chao<sup>a,b</sup>, LI Shirong<sup>a</sup>, JING Xin<sup>a</sup>

(*a. School of Construction Management and Real Estate; b. International Research Center of Sustainable Built Environment, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China*)

**Abstract:** Off-site construction (OSC) has been actively promoted in many countries, but it has not become the mainstream in Chinese construction industry due to various obstacles. As a new innovation construction method, the critical factors and driven routes for promoting OSC should be explored in this stage. This paper employed case study, in-depth interview and questionnaire survey as research methods. Seven driving factors of off-site construction had been identified. Four Key Driven Route were developed based on structural equation model (SEM). The results shows that the enterprise to pursue sustainable development is the origin of off-site construction implementation, and government policies are significant factors.

**Key words:** off-site construction; driving factors; driven paths; structural equation model

(责任编辑 傅旭东)