

文章编号: 2096-9872(2025)05-0029-09

## 我国建筑工业化发展历程与展望

张艳霞, 吴延辉

(北京建筑大学土木与交通工程学院, 北京 100044)

**摘要:** 系统梳理了我国建筑工业化自20世纪50年代至今的发展历程, 深入剖析了当前我国建筑工业化发展瓶颈, 重点对发展过程中存在的问题进行了讨论; 结合课题组在钢结构高效装配、震后自恢复及模块化建造等领域的创新实践, 论证了技术突破对产业升级的支撑作用; 最后对我国建筑工业化未来发展从绿色低碳转型、数字化赋能、智能化建造、模块化集成等方面进行了展望并提出发展建议。

**关键词:** 建筑工业化; 发展历程; 装配式建筑; 智能建造; 绿色低碳

**中图分类号:** TU391 **文献标志码:** A **DOI:** 10.19740/j.2096-9872.2025.05.04

## The Development Process and Prospect of China's Construction Industrialization

ZHANG Yanxia, WU Yanhui

(School of Civil and Traffic Engineering, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044)

**Abstract:** This paper systematically reviews the development trajectory of China's building industrialization from the 1950s to the present, thoroughly analyzes the current bottlenecks in its advancement, and focuses on discussing challenges encountered during its evolution. Drawing upon the research team's innovative practices in high-efficiency steel structure assembly, post-earthquake self-recovery structure, and modular construction, it demonstrates how technological breakthroughs underpin industrial upgrading. Finally, it outlines future development prospects for China's construction industrialization from perspectives including green and low-carbon transformation, digital empowerment, intelligent construction, and modular integration, while proposing development recommendations.

**Keywords:** construction industrialization; development process; prefabricated building; intelligent construction; green and low-carbon

建筑业作为国民经济的支柱产业, 长期以来面临资源能源消耗大、生产效率低、劳动力成本攀升及环境负面影响突出等一系列全球性挑战。为应对这些挑战, 以建筑工业化为核心的产业变革已成为建筑业发展的共识与方向。建筑工业化旨在通

过将工程建设转变为以标准化设计、工厂化生产、装配化施工、一体化装修和信息化管理为特征的现代化制造模式, 从而实现提升品质、提高效率、减少消耗和降低成本的根本目标<sup>[1-2]</sup>。在全球视野下, 欧美及日本等发达国家相继致力于建筑工业化的研

收稿日期: 2025-09-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(52578155)。

第一作者简介: 张艳霞(1970—), 女, 教授, 博士, 研究方向: 装配式、自复位及大跨度钢结构。

究与发展,其研究侧重于建筑的全生命周期碳排放核算、基于模块化的柔性设计及建造机器人的自动化施工等<sup>[3]</sup>。

建筑工业化是发展我国全寿命绿色建筑、促进建筑产业化转型升级,实现我国建筑业现代化的必由之路<sup>[4]</sup>。已成为行业转型升级的必然选择,更是响应国家“碳达峰、碳中和”战略目标的重要举措<sup>[5-6]</sup>。近年来,随着“好房子”概念首次写入政府工作报告,以及《“十四五”规划建筑业发展规划》等政策文件的密集出台,建筑工业化被赋予了推动行业高质量发展的历史使命。

## 1 我国建筑工业化的发展历程

自1955年原建工部第一次提出要实行建筑工业化以来<sup>[7]</sup>,截至2023年,我国全年新开工装配式建筑面积极累计达10.16亿m<sup>2</sup>,占新建建筑面积的30%左右,概括来说,发展历程分为3个发展阶段。

### 1.1 起步探索阶段(20世纪50~80年代末)

20世纪50年代,为适应1949年后大规模工业建设的紧迫需求,我国从前苏联引进了预制混凝土构件技术和标准。在北京、上海、长春等城市建立了第一批预制混凝土构件厂,主要生产桁架、屋面板、梁、柱等工业建筑构件。这一举措标志着我国现代意义上建筑工业化的开端,其核心理念是“工厂预制、现场组装”,这不仅为我国建筑行业带来了全新的变革,也为后来的装配式建筑发展奠定了坚实基础。

进入20世纪60~70年代,在吸收外来经验的基础上,我国开始探索适合国情的建筑工业化道路。预应力混凝土圆孔板、大型屋面板等标准构件得到了广泛应用,并发展出了一些区域性、局部性的建筑体系,如通过内墙现浇、外墙板预制构成的内浇外挂体系。这一时期,预制技术在一定程度上提升了建设效率<sup>[8]</sup>,为缓解当时的住房与工业厂房短缺问题做出了贡献。

然而,由于当时整体科技水平有限,存在材料性能不足、节点连接技术落后、标准体系不完善等先天缺陷,导致许多采用预制技术的建筑出现了连接部位渗漏、保温隔音性能差,甚至抗震能力不足等质量问题<sup>[9]</sup>。更为重要的是,改革开放后,农村释放出大量廉价劳动力,使得以手工操作为主的现浇混凝土技术因其灵活性高、初始成本低而

迅速成为市场的主流选择,我国建筑工业化的第一次浪潮因此在20世纪80年代末期逐渐趋于沉寂<sup>[10]</sup>。

### 1.2 初步发展阶段(20世纪90年代—21世纪初)

自1999年成立建筑研究中心起,万科为代表的部分房地产企业,便开始系统研究住宅的标准化和产业化,并与日本、新加坡等工业化先进国家的企业开展合作,在北京、上海、深圳等地试点建设工业化住宅项目<sup>[11-12]</sup>。2006年起,上海金色里程、深圳第五园等项目通过构件工厂生产、模块化施工等方式提升建造效率,降低能耗,推动了建筑工业化在住宅项目中的应用。此外,国内建筑领域专家学者开始重视结构抗震能力的提升,一些低层轻钢结构装配式住宅开始出现,1994年我国完全自行设计建造了位于上海浦东蔡的8层钢框架结构住宅<sup>[13]</sup>。随着钢结构、钢-混结构技术的发展,装配式建筑施工效率高、投资见效快,与社会时代背景十分契合,北京京广中心、上海金茂大厦等一批超高层建筑应运而生,极大地推动了钢结构制造和安装的标准化、工业化进程。

2008年汶川地震以后,国家相继出台了一系列政策法规和标准规范,大力引导和扶持钢结构等装配式建筑的发展,这不仅是提升城乡抗震防灾能力的迫切需要,也是推动建筑业转型升级、落实绿色发展理念、实现高质量发展的国家战略。

与此同时,传统建造模式高能耗、高污染、质量通病难以根治等固有弊端日益凸显<sup>[14]</sup>,社会对建筑品质的要求也不断提升,这为建筑工业化转型的再次崛起埋下了伏笔,积蓄了强大的内生动力。

### 1.3 快速发展阶段(2012年至今)

2012年,住房和城乡建设部《关于加快推动我国绿色建筑发展的实施意见》首次明确将推动建筑工业化作为重要内容。2013年1月,《绿色建筑行动方案》明确提出,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实用比例,这一政策通过资源整合推动建筑工业化的现代化变革。2016年,国务院办公厅发布《关于大力发展装配式建筑的指导意见》,这一纲领性文件确立了具体发展目标,发展装配式钢结构符合时代背景,受到国家政策的鼓励和支持,我国建筑工业化迎来快速发展<sup>[15]</sup>。此后,从中央到地方,一系列涵盖技术标准、财政补贴、土地保障、容积率奖励等方面的配套政策密集出台,形成了强大

的政策合力。

此阶段的建筑工业化,明确以装配式建筑为核心表现形式和主要抓手,并清晰划分为预制混凝土结构、钢结构和现代木结构三大技术体系。全国各地纷纷规划建设建筑产业现代化园区和生产基地,装配式建筑的年新建面积呈现指数级增长,从试点示范走向了规模化推广。典型工程案例北京中国尊采用构件工厂加工、智能造楼机现场安装的建造技术,展现了超高层建筑工业化的高水平实践;雄安市民服务中心则创新运用模块化建筑技术,实现了极短工期内的装配化施工与绿色建造,成为装配式建筑在大型公共建筑中应用的典范。

2020年国家出台以《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》《关于加快新型建筑工业化发展的若干意见》为代表的系列国家政策,标志着中国建筑业开启了以工业化为基础、以智能化为引擎的深度变革。这些文件通过顶层设计,系统地推动了建筑生产方式从粗放、离散向集成、精益的根本性转变,其核心意义在于引领全行业构建起基于标准化、模块化的新型建筑工业化体系,是推动我国建筑工业化发展的重要文件。

2022年,从国家层面的《“十四五”规划建筑业发展规划》到各地的配套实施方案,从技术标准规范到财政激励措施,为建筑工业化提供了制度保障。工业化的内涵不断扩展,从主体结构向建筑内装部品延伸。数字孪生与智能建造平台、建筑机器人、装配式建筑体系等先进理念与实践逐步推广,模块建筑、整体卫浴、集成厨房、装配化装修等内装部品体系日益成熟,为实现建筑的长期耐用和内部空间的灵活可变奠定了基础,标志着工业化正在向建筑的“全生命周期”渗透。

## 2 我国新型建筑工业化的发展瓶颈

建筑工业化作为建筑业转型升级的核心引擎,其发展质量直接关系到我国建筑业能否实现高质量发展目标。经过十余年政策强力驱动下的快速发展,我国已成为全球最大的装配式建筑市场。然而,技术瓶颈、成本瓶颈、标准化不足、产业链割裂、高端人才短缺等问题依然突出。

### 2.1 结构连接节点可靠性是首要技术瓶颈

梁、柱、墙、板等构件之间的连接节点是工业化装配式结构的生命线,其性能直接决定结构的整体

性、承载力和抗震能力。目前常用的连接技术,如混凝土结构钢筋套筒灌浆连接、浆锚搭接、后浇混凝土节点等,虽已广泛应用,但其复杂受力下的性能,尤其是在罕遇地震作用下,节点的延性、耗能能力、损伤模式以及与现浇结构的等效性仍需更深入的理论研究和试验验证。钢结构虽然天然具有工业化装配式的优势,但也应减少现场焊接作业,而采用螺栓或其他机械连接的节点在极端荷载下的受力性能也同样需要重点关注,同时空间复杂节点的工厂预制的精度控制、现场装配的便利性和效率,仍需优化设计。

### 2.2 构件标准化与建筑产品个性化协同的瓶颈

建筑工业化追求构件标准化、模数化以提升效率、降低成本。然而,实际工程项目功能需求、建筑造型、场地条件差异巨大,导致结构体系、跨度、荷载、抗震设防要求各不相同。过度标准化会限制建筑设计的灵活性和适用性,难以满足复杂、个性化项目的需求;而过度定制化则丧失工业化优势,增加模具成本和生产复杂性。如何在满足结构安全、功能需求的前提下,实现更大范围的结构体系标准化和构件通用化,是设计层面的核心难题。

### 2.3 经济与市场层面的成本效益瓶颈

建筑工业化规模不够,导致固定成本无法被摊薄,这构成了其市场化推广的最大阻力。其高成本并非单一环节所致,而是源于全产业链的叠加效应:前期研发与自动化生产线投入巨大,非标准化的设计导致模具摊销成本高昂,物流运输体系专业化程度低且半径受限,以及现场施工对高技术工种的需求带来的管理成本上升。

与此同时,传统现浇建筑模式因其极致的劳动力成本优势和高度灵活的施工组织,在当下建筑市场仍保有强大的成本锁定效应。因此,工业化建筑的成本优势并非自然显现,而是需要通过形成规模效应、完善产业链集群、并将隐性的社会与环境成本纳入综合评估体系后,方能真正突破这一经济瓶颈。

### 2.4 管理与人才层面的发展生态瓶颈

传统的“设计-招标-建造”平行发包模式,导致设计方案难以工业化、标准化,造成生产与施工阶段的额外成本与工期损耗;生产方与施工方则被动接受图纸,难以将高效生产和便捷安装的诉求前置到设计阶段。这种产业链各环节的孤岛效应,使得工业化建筑本应具备的质量、效率和成本优势在内

部协作的损耗中被大幅抵消。

产业工人队伍面临结构性转型,熟悉传统施工的农民工难以快速转变为能操作精密设备、理解复杂节点构造的产业工人。行业更迫切需求的是横跨建筑、结构、机电、信息技术与先进制造的复合型领军人才与项目管理专家,当前的教育体系与职业培训尚无法满足这一需求,这已成为制约产业向高端迈进的软肋(图1)。

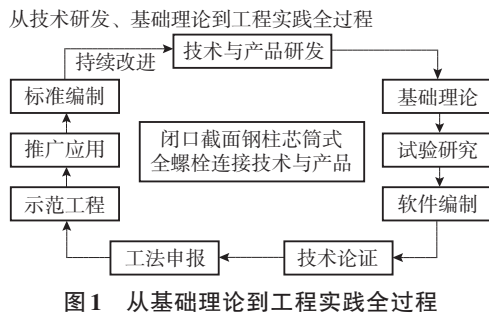


图1 从基础理论到工程实践全过程

Fig. 1 From fundamental theory to engineering practice throughout the entire process

### 3 课题组相关研究进展

#### 3.1 钢结构高效装配工业化体系

在国家“十三五”重点研发课题资助下,针对闭口截面钢柱现场焊接存在的施工效率低、人工成本高及污染环境等问题,通过钢结构竖向构件内部增设芯筒、自攻螺栓和法兰连接等关键技术创新了钢框架全螺栓连接体系<sup>[16-17]</sup>,攻克了钢结构竖向闭口截面构件现场必须焊接连接的技术难题,完成了框架柱芯筒式法兰全螺栓连接节点、平面框架以及3组5层空间钢框架振动台试验研究(图2~图4)。研究表明该技术体系在不增加造价的前提下,可实现与焊接节点一致的力学性能,大幅减少施工现场焊接作业,实现了钢结构现场的高效装配,节约人工成本50%,提高施工效率75%。新技术列入北京市住房和城乡建设委员会2019年北京市绿色建筑和装配式建筑适用技术推广目录,发布了中国钢结构协会《多高层建筑全螺栓连接装配式钢结构技术标准》。新体系已成功推广应用至首师大附中通州校区项目、北京城市副中心九年一贯制学校地块项目、首钢医院等多项工程中,取得了良好的社会、环境和经济效益(图5~图6)。



图2 新型钢框架全螺栓连接体系

Fig. 2 New steel frame fully bolted connection system

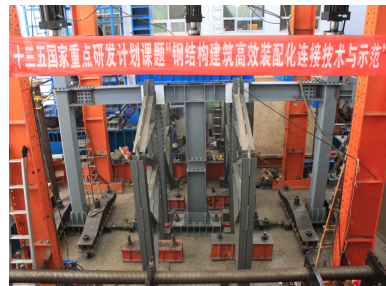


图3 设置芯筒的全螺栓连接平面框架拟静力试验

Fig. 3 Quasi-static test of full bolted plane frame with core tube



图4 设置芯筒的全螺栓连接钢框架振动台试验

Fig. 4 Shaking table test of fully bolted steel frame with core tube

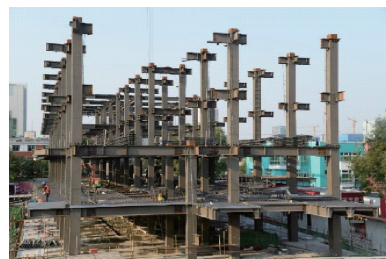


图5 首师大附中通州校区钢结构工程

Fig. 5 Steel structure engineering of tongzhou campus of affiliated high school of Capital Normal University



图6 通州区九年一贯制学校钢结构工程

Fig. 6 Steel structure engineering of Tongzhou district nine-year consistent school

### 3.2 震后可恢复功能韧性钢结构工业化体系

课题组研发了基于预应力钢绞线的自复位梁柱节点,构建了可恢复功能钢框架体系和适合较大跨度的带有中间柱型阻尼器或钢板剪力墙等耗能装置的减震体系<sup>[18-19]</sup>(图7)。设计并完成了三类足尺10个自复位梁柱节点试验、10组不同类型的可恢复功能钢框架及其减震体系的平面、空间框架及振动台试验(图8~图10)。提出了自复位钢结构节点和体系的设计理论、设计准则和设计方法。课题组在该领域已授权国家发明专利15项,发表核心及以上论文30篇,其中SCI论文16篇、EI论文10篇。新型可恢复功能体系在无需高空张拉预应力钢绞线,显著提高施工质量和施工效率、提升建筑装配化与工业化基础上,能够实现震后结构低损、自动复位和恢复结构功能,可用于医院、博物馆等重要工程中。



图7 设置中间柱型阻尼器的可恢复功能钢框架试验

Fig. 7 Test of recoverable functional steel frame with intermediate column damper

### 3.3 模块化建筑集成建造工业化体系

模块化建筑集成建造工业化体系具备快速生成建筑产品、规模效益好等独特优势,适用于城市各类新建与原拆原建项目,是未来城市建筑品质提升与绿色转型的重要形式。团队与中建科技集团有限公司等头部企业深度合作,针对模块化建筑钢



图8 可恢复功能平面框架试验

Fig. 8 Test of recoverable functional plane frame



图9 装配式可恢复功能空间钢框架试验

Fig. 9 Test of assembled recoverable functional space steel frame

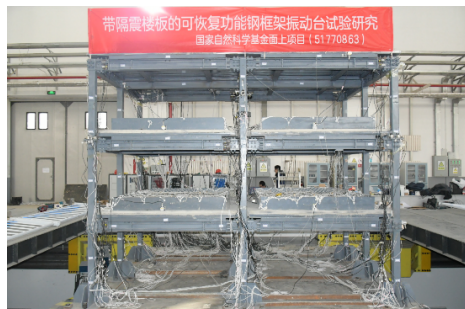


图10 带隔震楼板的可恢复功能钢框架振动台试验

Fig. 10 Shaking table test of recoverable functional steel frame with isolation floor

结构体系、组合结构体系连接等关键技术开展了模块建筑钢结构体系、组合结构体系连接关键技术研究,顺利完成了二十余组模块化钢结构、组合结构关键节点抗弯、抗剪、抗拉等力学性能试验研究,极大助力了首都北京模块建筑钢结构体系、组合结构体系的推广应用(图11~图12)。

## 4 我国建筑工业化发展展望

建筑工业化作为建筑业转型升级的核心引擎,其发展质量直接关系到我国建筑业能否实现高质量发展。经过十余年政策强力驱动下的快速发展,我国已成为全球最大的装配式建筑市场。然而,成

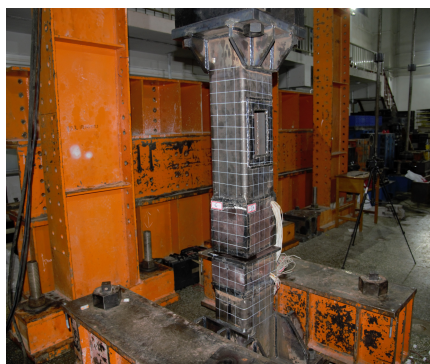


图11 模块化钢结构高强度螺杆连接节点拉伸试验  
Fig. 11 Tensile test of high-strength bolted joints in modular steel structures



图12 模块化钢结构高强度螺杆连接节点框架试验  
Fig. 12 Modular steel structure high-strength bolted Joint frame test



图13 模块化组合结构连接轴向拉弯性能试验  
Fig. 13 Axial tension-bending performance test of modular composite structure connections



图14 模块化组合结构连接节点剪切性能试验  
Fig. 14 Shear performance test of connecting nodes in modular composite structures

本瓶颈、产业链割裂、标准化不足、高端人才短缺等问题依然突出。面向高质量发展、“双碳”目标和“数字中国”的宏伟蓝图,我国建筑工业化将迈向一个以智能、绿色、高质量为标志的崭新阶段(图13~图14)。

#### 4.1 绿色低碳全面转型

钢结构、木结构等可循环结构体系将迎来更广泛应用。相较于传统混凝土结构,钢结构具有材料强度高、构件截面小、施工周期短、材料可循环利用等优势,其全生命周期碳排放可降低20%~30%。现代木结构建筑作为一种重要的固碳方式,其碳存储功能日益受到重视。通过推广钢木组合结构、预应力钢结构等新型结构体系,并结合耐候钢、重组竹等高性能材料应用,可显著降低建筑隐含碳,推动建筑业从能源消耗型向资源循环型转变。

结构性能化设计与材料减量化技术将推动资源集约利用。基于结构受力分析和优化算法,通过拓扑优化、形态找形等数字化设计方法,实现材料在结构中的精准分布和高效利用,在保证结构安全的前提下实现材料用量最优化。同时,高强混凝土、高强钢材等材料的推广应用,可进一步减小构件截面尺寸,降低材料消耗。通过结构优化设计,常规建筑的结构材料用量可降低10%~15%,有效减少资源消耗和碳排放。

基于可逆设计理念的结构连接技术将促进建筑循环经济发展。通过研发推广螺栓连接、模块化插接等机械连接方式,替代传统的焊接,实现建筑结构的易拆解、易重组。这种“建筑即材料库”的设计理念,使建筑结构在达到使用年限后,其构件仍可作为资源在其他建筑中继续使用,极大提高资源

利用效率。

#### 4.2 数字化赋能

BIM技术深度整合,BIM将从设计工具升级为贯穿规划、设计、生产、物流、施工、运维,即BIM全过程的协同工作平台和信息载体。实现“一模到底,无图建造”,确保信息传递的准确性和一致性。

数字孪生构建虚实融合,基于BIM和物联网技术,构建物理建筑与其数字模型的实时映射,即数字孪生技术。通过在实体建筑中布置传感器,实时采集结构健康、能耗、环境、设备运行等数据,反馈至数字模型进行分析、模拟和预测,实现对建筑性能的持续优化和智慧运维管理。

建筑产业互联网平台崛起,面向全产业链的建筑产业互联网平台将加速发展,整合设计、生产、物流、施工、金融、运维等资源,促进供需精准匹配、资源共享和业务协同,构建透明、高效、可信的数字生态。

#### 4.3 智能化建造

智能化建造将作为建筑工业化迈向高阶发展的核心引擎。未来,以BIM、数字孪生、人工智能和物联网为代表的技术将构建起项目全生命周期的“数字神经中枢”。通过创建与物理实体实时交互的数字孪生模型,项目各方可在虚拟环境中进行方案优化、碰撞检测和施工模拟,实现先模拟、后建造的精准管控。这种数字化前置不仅能够有效预见并解决潜在问题,还将大幅提升决策的精准度,为后续的工厂化生产和装配化施工奠定坚实基础。

建筑机器人及智能装备的规模化应用将彻底改变传统施工现场的面貌。针对“危、繁、脏、重”的施工作业环节,如高空焊接、墙面喷涂及构件安装等,专业机器人将推广应用。以中建三局智能建造平台为例,通过应用焊接机器人与测量机器人,关键工序的施工精度提升至毫米级。此外,智能塔吊、无人上料车等装备通过5G网络实现协同作业,形成人机协作的智能作业场景,推动施工现场向少人化、无人化方向演进。

智能建造的深入发展将重构传统建筑产业生态。这类平台通过打通设计、生产、物流、施工等各环节数据壁垒,实现全产业链的资源优化配置与实时协同。基于平台积累的海量数据,人工智能算法可进行进度预测、资源调度和风险预警,推动项目管理从经验驱动转向数据驱动。

#### 4.4 模块化建筑集成建造体系

模块化建筑集成建造代表了建筑工业化发展的高级形态,其核心在于以产品思维取代工程思维,将建筑分解为具有完善功能的标准空间模块。这种建造方式通过一体化协同设计,实现了建筑、结构、机电、内装四大系统的深度融合。在体系创新方面,建立完整的“标准化设计-工厂化生产-装配化施工-一体化装修”技术体系,通过统一的模数协调和接口标准,确保不同系统间的无缝对接。这种集成化建造模式将大幅提升建设效率,实现建筑品质的精细控制,为建筑业向制造业转型升级提供重要路径。

模块化建筑集成建造的技术突破主要体现在3大领域:首先是结构体系创新,特别是钢结构模块体系的快速成熟,通过研发可靠的模块间连接节点技术,解决结构整体性和抗震性能等关键技术难题;其次是工厂精益制造工艺,通过建立智能化生产线,实现模块单元的标准化流水作业,将现场施工转化为精密制造,使模块在工厂完成度达到95%以上;最后是数字化全过程管控,基于BIM技术实现从设计、生产到吊装的全流程数据贯通,通过虚拟建造指导实体施工。

随着技术体系的日益成熟,模块化建筑集成建造将从临时建筑、低层建筑向永久性高层建筑、复杂公共建筑领域拓展。这种建造方式将推动建筑业从劳动密集型向技术密集型转变,催生了一批专业化模块制造企业。未来,随着智能建造技术与模块化体系的深度融合,模块化建筑将向着更高品质、更大规模、更加绿色的方向发展,为建筑业高质量发展提供强大动能。

#### 4.5 建筑工业化人才培养

我国建筑工业化的人才培养需要构建多层次、系统化的教育体系。在高等教育层面,应设立智能建造、建筑工业化等交叉学科,推动土木工程专业与计算机科学、机械制造等学科的深度融合。通过校企合作共建产业学院和实训基地,让学生参与实际工程项目,培养具备跨学科知识背景的复合型人才。同时,要注重培养学生的创新思维和系统化设计能力,使其能够适应建筑工业化的发展需求。

针对现有产业工人队伍,需要实施全面的职业技能提升计划。通过建立标准化培训体系和职业技能等级认证制度,帮助传统建筑工人掌握构件生产、装配施工等新型技能。重点加强BIM技术应

用、数字化管理、智能设备操作等现代建造技术的培训,推动建筑工人向产业技工转型。

建立政府引导、企业主体、院校支撑的人才培养长效机制。政府部门应完善建筑工业化人才发展规划,制定激励政策引导企业加大人才培养投入。龙头企业要发挥示范作用,建设面向项目的实训中心,开展新型建筑产业工人的继续教育。通过建立产学研用一体化平台,形成人才培养与产业发展的良性互动,为建筑工业化提供持续的人才保障。

## 5 结论

本文系统回顾了我国建筑工业化自20世纪50年代至今的发展历程,并概括划分为起步探索、初步发展和快速发展3个阶段。文章深入剖析了当前面临的成本较高、结构连接节点可靠性有待深入研究、构件标准化与结构体系多样性难协同、复合型人才短缺等发展瓶颈,结合课题组在钢结构高效装配体系、震后自恢复功能韧性结构及模块化建筑集成建造等领域的研究与实践表明,通过全螺栓连接、自恢复节点等技术创新,能够有效提升钢结构建筑的装配效率与抗震韧性,为保证结构安全提供了具体的技术路径。最后,对我国建筑工业化绿色低碳转型、数字化赋能、智能化建造、模块化集成等发展方向进行展望。

我国建筑工业化将向以“智能、绿色、高质量”为特征的新型建造方式转型,为建筑业高质量发展提供支撑。对其当前发展中存在的问题进行了思考与分析,提出如下建议:

1)大力发展和应用低碳混凝土结构、钢结构、木结构及其组合结构等可循环结构体系,结合高性能材料与结构优化设计,推动建筑业从能源消耗型向资源循环型转变,助力实现“双碳”目标。

2)推动BIM技术从设计工具向全生命周期协同平台升级,发展建筑产业互联网平台,打通数据壁垒,构建透明、高效的数字生态。

3)推广应用建筑机器人、智能装备等,替代“危、繁、脏、重”的人工作业,推动施工现场向智能建造演进,并通过数据驱动决策,从根本上提升施工效率与安全性。

4)大力发展模块化集成建造体系,通过一体化协同设计和智能化精益制造,实现建筑品质的精细

控制和建设效率的飞跃,引领建筑业向制造业转型升级。

5)在高校大力发展土木工程同计算机、物联网等的交叉专业及智能建造专业,以在职培训推动传统建筑工人向产业技工转型,并通过政企校协同,建立长效机制,培养面向建筑工业化的复合型人才,为产业升级提供核心动能。

## 参考文献:

- [1] 张爱林. 工业化装配式高层钢结构体系创新、标准规范编制及产业化关键问题[J]. 工业建筑, 2014, 44(8): 1-6+38.  
ZHANG A L. The key issues of system innovation, drawing up standard and industrialization for modularized prefabricated high-rise steel structures [J]. Industrial Construct, 2014, 44(8): 1-6+38. (in Chinese)
- [2] 张爱林, 张艳霞. 工业化装配式高层钢结构新体系关键问题研究和展望[J]. 北京建筑大学学报, 2016, 32(3): 21-28.  
ZHANG A L, ZHANG Y X. Study and overview of critical problems for the new system of industrialized prefabricated tall steel structure [J]. Journal of Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2016, 32(3): 21-28. (in Chinese)
- [3] CHAU C K, LEUNG T M, NG W Y. A review on life cycle assessment, life cycle energy assessment and life cycle carbon emissions assessment on buildings [J]. Applied Energy, 2015, 143(1): 395-413.
- [4] 叶浩文, 苏衍江. 关于我国建筑工业化发展的战略思考[J]. 土木工程学报, 2024, 57(12): 1-8.  
YE H W, SU Y J. Strategic consideration on the development of building industrialization in China [J]. China Civil Engineering Journal, 2024, 57(12): 1-8. (in Chinese)
- [5] 李晓明, 郁银泉, 高晓明. 工业化建筑部品与构配件制作关键技术研究[J]. 工业建筑, 2020, 50(8): 1-4.  
LI X M, YU Y Q, GAO X M. Research on the key manufacturing techniques for parts and components of industrialized buildings [J]. Industrial Construction, 2020, 50(8): 1-4. (in Chinese)
- [6] 张希黔, 康明, 黄乐鹏. 对我国建筑工业化现状的了解和建议[J]. 施工技术, 2015, 44(4): 5-13.  
ZHANG X Q, KANG M, HUANG L P. Present situation and advisement for building industrialization in China [J]. Construction Technology, 2015, 44(4): 5-13. (in Chinese)

- [7] 沈采文,张文华.我国建筑工业化发展的历史回顾和现状估计[J].建筑技术开发,1994(3):4-7.  
SHEN C W, ZHANG W H. Historical review of the development of building industrialization in China [J]. Building Technique Development, 1994 (3) : 4-7. (in Chinese)
- [8] 严薇,曹永红,李国荣.装配式结构体系的发展与建筑工业化[J].重庆建筑大学学报,2004(5):131-136.  
YAN W, CAO Y H, LI G R. Development of assembly-type RC structure and building industrialization [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2004 (5) : 131-136. (in Chinese)
- [9] 史纯一.内浇外挂大板住宅墙缝渗漏修补措施[J].住宅科技,1984(2):29-30.  
SHI C Y, Leakage repair measures for wall joints of in-pouring and external hanging large plate residential buildings [J]. Housing Science, 1984 (2) : 29-30. (in Chinese)
- [10] 沈祖炎,罗金辉,李元齐.以钢结构建筑为抓手推动建筑行业绿色化、工业化、信息化协调发展[J].建筑钢结构进展,2016,18(2):1-6+25.  
SHEN Z Y, LUO J H, LI Y Q. Discussion on coordinated development of greenization, industrialization and informatization with steel buildings as objects in construction industry [J], Progress in Steel Building Structures, 2016, 18(2) : 1-6+25. (in Chinese)
- [11] 王俊,赵基达,胡宗羽.我国建筑工业化发展现状与思考[J].土木工程学报,2016,49(5):1-8.  
WANG J, ZHAO J D, HU Z Y. Review and thinking on development of building industrialization in China [J]. China Civil Engineering Journal, 2016, 49(5) : 1-8. (in Chinese)
- [12] 陆荣秀,卿科,谭宇昂,等.开发商视角下的装配式建筑发展的主要问题和应对策略[J].建筑结构,2021,51(S2):1134-1138.  
LU R X, QIN K, TAN Y A, et al. The main problems and countermeasures in the development of prefabricated buildings from the perspective of developers [J]. Building Structure, 2021, 51 (S2) : 1134-1138. (in Chinese)
- [13] 苏磊,王艳艳.钢结构住宅技术应用发展及展望[J].钢结构(中英文),2024,39(11):46-55.  
SU L, WANG Y Y. The application and development of steel structure residential technology and its prospects [J]. Steel Construction (Chinese & English), 2024, 39 (11) : 46-55. (in Chinese)
- [14] 蒋勤俭.国内外装配式混凝土建筑发展综述[J].建筑技术,2010,41(12):1074-1077.  
JIANG Q J. Summary on development of assembled concrete building both home and abroad [J]. Architecture Technology, 2010, 41 (12) : 1074-1077. (in Chinese)
- [15] 王翠坤,陈才华,崔明哲.我国建筑结构发展与展望[J].建筑科学,2022,38(7):1-8.  
WANG C K, CHEN C H, CUI M Z. Development and prospect of building structures in China [J]. Building Science, 2022, 38(7) : 1-8. (in Chinese)
- [16] YAN X Z, ZHE W H, YANG L L, et al. Experimental and numerical investigation of prefabricated prestressed vertical steel strand core tube flange column connection joint [J]. Journal of Constructional Steel Research, 2022, 190: 107124.
- [17] ZHANG Y, YANG Z, LI Y, et al. Experimental and theoretical investigation of self-tap bolt core tube flange column connection of prefabricated steel structure [J]. Engineering Structures, 2023, 278: 115482.
- [18] 张艳霞,叶吉健,杨凡,等.自复位钢框架结构抗震性能动力时程分析[J].土木工程学报,2015,48(7):30-40.  
ZHANG Y X, YE J J, YANG F, et al. Seismic behavior time - history analysis of integral steel self - centering moment resisting frame [J]. China Civil Engineering Journal, 2015, 48(7) : 30-40. (in Chinese)
- [19] ZHANG A, ZHANG Y, LI R, et al. Cyclic behavior of a prefabricated self-centering beam-column connection with a bolted web friction device [J]. Engineering structures, 2016, 111: 185-198.